

交通职业教育教学指导委员会推荐教材
高职高专院校道路桥梁工程技术专业教学用书

高等职业教育规划教材

公 路 工 程

Gonglu Gongcheng

主 编 俞高明

副主编 金仲秋

主 审 程兴新

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是交通职业教育教学指导委员会推荐教材,由路桥工程学科委员会组织编写。主要包括:公路工程的主要组成部分,公路分级与技术标准,公路勘测设计的依据、程序和内容,平、纵、横断面设计,选线与定线,公路交叉,高速公路简介,路基设计、路基路面排水,路基稳定性验算,路基防护与加固,挡土墙设计,土质、石质路基施工,路面设计有关资料和参数确定,常用路面基层、底基层和垫层,沥青路面、水泥混凝土路面设计,路面基层(底基层)施工,沥青路面、水泥混凝土路面施工及滑模施工技术。书中标有*者为选修内容。

本书是高职高专院校道路桥梁工程技术专业教学用书,也可供相关专业教学使用,或作为有关专业继续教育及职业培训教材。

书 名:公路工程

著 作 者:俞高明

责任编辑:富砚博

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)85285838 85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:

开 本:787×1092 1/16

印 张:

字 数:

版 次:2005年10月第1版

印 次:2005年10月第1次印刷

书 号:ISBN 7-114-05720-2

印 数:0001~5000册

定 价:48.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



交通职业教育教学指导委员会 路桥工程学科委员会

主 任：柴金义

副主任：金仲秋 李加林 夏连学

委 员：（按姓氏笔画为序）

于敦荣 王 亮 李全文 张贵元

张洪滨 陆春其 周志坚 俞高明

郭发忠 施 斌 梁金江 程兴新

谢远光 彭富强

秘 书：伍必庆



出版说明

CHUBAN SHUOMING

为深入贯彻落实《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》及全国普通高等学校教学工作会议的有关精神,深化教育教学改革,提高道路桥梁工程技术专业的教学质量,按照教育部“以教育思想、观念改革为先导,以教学改革为核心,以教学基本建设为重点,注重提高质量,努力办出特色”的基本思路,交通职业教育教学指导委员会路桥工程学科委员会在总结教育部路桥专业教学改革试点的 6 所交通高职高专院校办学实践经验的基础上,经过反复调研和讨论,制定了三年制“高职高专院校道路桥梁工程技术专业教学指导方案”,随后又组织全国 20 多所交通高职高专院校道路桥梁工程技术专业的教师编写了 18 门课程的规划教材。

本套教材依据教育部对高职高专人才培养目标、培养规格、培养模式及与之相适应的知识、技能、能力和素质结构的要求进行编写。为使教材中所阐述的内容反映最新的技术标准和规范,路桥工程学科委员会还组织有关人员参加了新技术和新规范学习班。

按照 2004 年 10 月路桥工程学科委员会所确定的编写原则,本套教材力求体现如下特点:

1. 结构合理性。按照道路桥梁工程技术专业以培养技能型人才为主线的要求,对传统的专业技术基础课和专业课程进行了整合,教材的体系设计合理,循序渐进,符合学生心理特征和认知及技能养成规律。所编写的教材更适合高职教育的特点,强调现代教学技术应用的需要和教学课件的应用,以节省教学成本和提高教学效果。每章列有教学要求、本章小结和复习思考题,便于学生学习本章核心内容。

2. 知识实用性。体现以职业能力为本位,以应用为核心,以实用、实际、实效为原则,紧密联系生活、生产实际,及时反映现阶段公路交通行业发展和公路交通科技进步对道路桥梁工程技术专业人才的需要,采用最新的技术标准、规范和规程。加强教学针对性,与相应的职业资格标准相互衔接。在内容的取舍方面,在以适应当前工作岗位群实际需要为主基调的同时,为将来的发展趋势留有接口。

3. 职业教育性。渗透职业道德和职业意识教育,体现就业导向,有助于学生树立正确的择业观。教材中所选编的习题、例题,均来自工程实际,不仅代表性强,而且对解决实际问题具有较强的针对性。在教材编写中注重培养学生爱岗敬业、团队精神和创业精神,树立安全意识和环保意识。

4. 使用灵活性。本套教材体现了教学内容弹性化、教学要求层次化、教材结构模块化,

有利于按需施教、因材施教。

《公路工程》是高职高专院校道路桥梁工程技术专业规划教材之一,内容包括:公路工程的主要组成部分,公路分级与技术标准,公路勘测设计的依据、程序和内容,平、纵、横断面设计,选线与定线,公路交叉,高速公路简介,路基设计,路基路面排水,路基稳定性验算,路基防护与加固,挡土墙设计,土质、石质路基施工,路面设计有关资料和参数确定,常用路面基层、底基层和垫层,沥青路面、水泥混凝土路面设计,路面基层(底基层)施工,沥青路面、水泥混凝土路面施工及滑模施工技术等。

参加本书编写工作的有:安徽交通职业技术学院俞高明(编写第二篇第一分篇第一章、第二章、第三章、第四章,第二分篇第二章,第三篇第一分篇第一章、第二章、第三章),浙江交通职业技术学院金仲秋(编写第一篇第一章、第三章、第六章、第八章),浙江交通职业技术学院王建林(编写第一篇第二章、第七章),陕西交通职业技术学院赵学民(编写第一篇第四章、第五章、第二篇第二分篇第一章,第三篇第二分篇第一章、第二章),南京交通职业技术学院罗云军(编写第二篇第一分篇第五章,第六章,第三篇第一分篇第四章),北京交通管理干部学院尤晓玮(编写第二篇第二分篇第三章,第三篇第二分篇第三章),河南交通职业技术学院王玮(编写第三篇第一分篇第五章,第二分篇第四章、第五章)。全书由俞高明担任主编,金仲秋担任副主编,陕西交通职业技术学院程兴新担任主审。

本套教材是路桥工程学科委员会委员及长期从事道路桥梁工程技术专业教学与工程实践的教师们工作经验的总结。但是,随着各项改革的逐步深化,书中难免有错误之处,敬请广大读者批评指正。

本套教材在编写过程中,得到了交通职业教育教学指导委员会的关心与指导,全国各交通职业技术学院的领导也给予了大力支持,在此,向他们表示诚挚的谢意。

交通职业教育教学指导委员会
路桥工程学科委员会
2005年5月

第一篇 公路勘测设计

第一章 绪论	3
第一节 公路的特点及其主要组成部分	3
第二节 公路分级与技术标准	5
第三节 公路勘测设计的依据、程序和内容	7
第四节 公路勘测设计的发展概况	12
思考题与习题	14
第二章 平面设计	15
第一节 概述	15
第二节 平面圆曲线半径、全超高、全加宽	16
第三节 缓和段	26
第四节 行车视距	43
第五节 平面线形的设计与调整	48
第六节 平面设计成果	53
思考题与习题	56
第三章 纵断面设计	58
第一节 概述	58
第二节 汽车行驶对纵坡设计的要求	59
第三节 竖曲线计算	70
第四节 平面和纵面线形组合设计	77
第五节 纵断面设计方法及成果	79
思考题与习题	84
第四章 横断面设计	85
第一节 公路横断面的组成	85
第二节 路基横断面设计方法及成果	90
第三节 路基土石方计算与调配	98
思考题与习题	103
第五章 选线	104
第一节 选线的原则、方法与步骤	104

第二节 平原区选线	105
第三节 山岭区选线	109
第四节 丘陵区选线	127
第五节 路线方案比选及示例	130
思考题与习题	135
第六章 定线	136
第一节 纸上定线	136
第二节 实地定线	138
第三节 纸上移线	140
第四节 弯道平曲线半径及长度的选定	142
思考题与习题	146
第七章 公路交叉设计	147
第一节 公路平面交叉	147
第二节 公路立体交叉	157
思考题与习题	166
第八章 高速公路简介	167
第一节 高速公路的特点和平、纵、横设计要点	167
第二节 高速公路的沿线设施	170
第三节 高速公路交通控制的基本方式	173
思考题与习题	177

第二篇 路基工程

第一分篇 路基设计

第一章 绪论	181
第一节 概述	181
第二节 路基土的工程性质	184
第三节 路基干湿类型判定	185
思考题与习题	190
第二章 一般路基设计	191
第一节 路基典型横断面形式及其特点	191
第二节 路基附属设施及功能	193
第三节 一般路基几何尺寸设计	195
思考题与习题	201
第三章 路基路面排水	202
第一节 概述	202
第二节 路基常用的地面排水设施	203
第三节 路基常用的地下排水设施	209
第四节 路面排水设施	212

思考题与习题	216
第四章 路基稳定性验算	218
第一节 概述	218
第二节 高路堤和深路堑的边坡稳定性验算	221
第三节 陡坡路堤的稳定性验算	228
第四节 浸水路堤边坡稳定性验算	231
思考题与习题	235
第五章 路基防护与加固	237
第一节 防护与加固的分类	237
第二节 坡面防护	238
第三节 冲刷防护	245
第四节 湿软地基加固	249
思考题与习题	253
第六章 挡土墙设计	255
第一节 挡土墙的分类与用途	255
第二节 重力式挡土墙的构造与布置	259
第三节 重力式挡土墙的力学验算	265
第四节 常用的其他形式挡土墙的构造特点	281
思考题与习题	288

第二分篇 路基施工

第一章 绪论	293
第一节 路基工程的特点与基本方法	293
第二节 施工准备	294
第三节 施工放样	296
思考题与习题	300
第二章 土质路基施工	301
第一节 路基填筑	301
第二节 路堑开挖	304
第三节 路基压实	306
思考题与习题	312
第三章 石质路基施工	314
第一节 爆破作用原理及爆破器材与方法	314
第二节 工程中各种爆破的应用	319
第三节 爆破施工易出现的问题及处治	328
思考题与习题	329

第三篇 路面工程

第一分篇 路面设计

第一章 绪论	333
--------------	-----

第一节 路面面层类型的选用	333
第二节 路面结构分层及功能	334
思考题与习题	336
第二章 路面设计有关资料和参数的确定	337
第一节 行车荷载	337
第二节 路基(含土基)的力学特性和强度指标	342
第三节 路面材料的力学特性和强度指标	345
思考题与习题	347
第三章 常用的路面基层、底基层和垫层	349
第一节 碎石、砾石类结构层	349
第二节 无机结合料稳定类结构层	352
思考题与习题	358
第四章 沥青路面设计	359
第一节 沥青路面设计理论及指标	359
第二节 沥青路面结构设计	366
第三节 新建路面的结构层厚度计算	370
第四节 改建路面补强厚度计算	380
思考题与习题	386
第五章 水泥混凝土路面设计	388
第一节 水泥混凝土路面构造	388
第二节 水泥混凝土路面力学特性及设计理论	398
第三节 普通水泥混凝土路面板厚计算	403
第四节 其他类型的水泥混凝土路面简介	415
思考题与习题	419
第二分篇 路面施工	
第一章 绪论	423
第一节 路面工程的特点及基本要求	423
第二节 路面施工的前期工作	424
思考题与习题	426
第二章 路面基层(底基层)施工	427
第一节 路面基层、底基层、垫层常用材料的要求	427
第二节 常用路面基层、(底基层)的施工程序和施工要点	432
第三节 路面基层、底基层施工的质量控制及检查验收	437
思考题与习题	441
第三章 沥青路面施工	442
第一节 沥青路面的分类	442
第二节 沥青类路面对常用材料的要求	445
第三节 沥青路面各种施工方法、程序和要点	448
第四节 沥青类路面施工质量控制及检查验收	458

第五节 沥青类路面常见的病害及处治	461
思考题与习题	463
第四章 水泥混凝土路面施工	464
第一节 水泥混凝土路面所用材料要求	464
第二节 水泥混凝土路面的各种施工方法、程序和要点	470
第三节 水泥混凝土路面施工质量控制与监督验收	474
第四节 水泥混凝土路面的病害及处治	477
思考题与习题	478
第五章 滑模施工技术	479
第一节 概述	479
第二节 滑模摊铺工艺流程及机械设备配置	480
第三节 基准线设置与混凝土搅拌及运输	484
第四节 滑模摊铺水泥混凝土路面施工要点	487
第五节 滑模摊铺水泥混凝土路面施工质量控制与检查验收	491
思考题与习题	494
参考文献	495

第一章

绪论

教学要求

1. 通过介绍公路工程的特点、发展概况及其我国公路发展规划,描述公路分级、各级公路的技术指标以及公路主要组成部分;
2. 描述公路等级选用的一般原则和方法;
3. 描述公路勘测设计的原则、依据和程序。

• 第一节 公路的特点及其主要组成部分 •

一、公路的特点

1. 公路运输特点

交通运输是国民经济的动脉,是国家经济发展的基础产业之一。随着交通运输的发展和人民生活水平的提高,它在联系工业与农业、城市与乡村、生产与消费等各个领域起着十分重要的作用。

现代交通运输由铁路、公路、水运、航空及管道运输等五种运输方式组成。这些运输方式在技术经济上各有特点,它们根据运输的需要合理分工、相互衔接、互为补充,形成完整的国家综合运输体系。铁路运输对于中、远程的大宗货物及人流运输具有运输量大、成本低的特点;水运在通航地区具有运量大、运价低廉的特点;航空运输具有速达作用,但成本高、能耗大;管道运输则多用于运输液体和气态或散装物品。与其他运输方式相比,公路运输具有如下特点:

(1)机动灵活性高,能迅速集中和分散货物,在规定的的时间和地点可做到直达运输而不需要中转,节约时间和费用,减少货损,经济效益高。

(2)适应性强,服务面广,适应于小批量运输和大宗运输,可以深入到城市、乡村及工矿企业,可独立实现“门到门”的直达运输。

(3)建设投资相对较省,但见效快,经济效益和社会效益显著。

(4)由于公路运输服务人员多,单位运量小,故汽车运输费用比铁路和水运高。

2. 公路工程的特点

公路是在天然地表面上按照线形设计要求开挖或堆填而成的工程结构物,其中路基和路面作为不可分割的整体,共同承受着汽车荷载的重复作用和自然条件的长期影响。由于公路沿线地形起伏,地质、地貌、气象特征多变,再加上沿线城镇经济发达程度与交通繁忙程度不

一、因此工程技术人员必须掌握广博的知识,善于处理各种环境因素,从而设计出理想的线形和路基与路面工程。

公路是一种线形工程,其长度可延续数百公里甚至上千公里,因而工程数量十分可观。例如微丘区的三级公路,每公里土石方数量约 $8000 \sim 16000\text{m}^3$,山岭、重丘区的三级公路每公里可达 $20000 \sim 60000\text{m}^3$,对于高速公路,数量将更为可观。路面工程在公路造价中所占比重很大,一般都要达到 30% 以上。因此精心设计、精心施工,使公路工程能长期具备良好的使用性能,对节约投资、提高运输效益,具有十分重要的意义。

现代化公路运输,不仅要求公路能全天候通行车辆,而且要求车辆能以一定的速度、安全、舒适而经济地在道路上运行,这就要求公路具有良好的使用性能,提供良好的行驶条件和服务水平。为了保证公路最大限度地满足车辆运行的要求,提高车速,增强安全性和舒适性,降低运输成本和延长道路使用年限,要求公路具有平顺的线形、坚固的结构、平整、坚实、少尘的路面。

二、公路主要组成部分

公路是一种承受行车荷载的线形带状结构物,它主要由路基、路面、桥涵、隧道、排水系统、防护工程和交通服务设施所组成。

1. 公路路基

公路路基是在天然地面上填筑成路堤(填方路段)或挖成路堑(挖方路段)的带状结构物,主要承受路面传递的行车荷载,是支撑路面的基础。设计时必须保证路基具有足够的强度、变形性能和足够的稳定性,并防止水分及其他自然因素对路基本身的侵蚀和损害。

2. 公路路面

公路路面是用各种材料或混合料,分单层或多层铺筑在路基顶面供车辆行驶的层状结构物。设计时必须保证路面具有足够的强度、刚度、平整度和粗糙度,以满足车辆在其表面能安全、迅速、舒适地行驶。

3. 桥涵

桥梁是为公路跨越河流、山谷或人工建筑物而建筑的构造物。涵洞是为了排泄地面水流或满足农田灌溉需要而设置的横穿路基的小型排水构造物。

4. 隧道

隧道是公路根据设计需要为穿越山岭、地下或水底而建造的构造物。

5. 公路排水系统

公路排水系统是为了排除地面水和地下水而设置的,由各种拦截、汇集、输送及排放等排水设施所组成的构造物。除桥梁、涵洞外,排水系统主要有路基边沟、截水沟、排水沟、暗沟、渗沟、渗井、排水隔离层、暗管、跌水与急流槽、渡槽等路基排水构造物。

6. 防护工程

防护工程是为了加固路基边坡,确保路基稳定而修建的结构物。按其作用不同,可分为坡面防护、冲刷防护和支挡构造物等三大类。路基边坡坡面防护一般有植物防护、坡面处治及护坡与护面墙等;冲刷防护除上述防护外,为调节水流流速及流向,防护路基免受水流冲刷,在沿河路基可设置顺坝、丁坝、格坝等导流结构物;支挡构造物一般是指填(砌)石边坡、挡土墙、护

脚及护面墙等。

7. 交通服务设施

交通服务设施一般是指公路沿线设置的交通安全、养护管理、服务环境保护等设施,一般有交通标志、标线、护栏、护墙、护柱、中央分隔带、隔音墙、隔离墙、照明设备、停车场、加油站、汽车修理站、养护管理房屋和绿化美化设施等。

• 第二节 公路分级与技术标准 •

一、公路分级与技术标准

公路是为汽车运输或其他交通服务的工程结构物。交通部2004年颁布的《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)(以下简称《标准》)根据公路的使用任务、功能和适应的交通量分为五个等级:高速公路、一级公路、二级公路、三级公路和四级公路。

1. 高速公路

高速公路是指为专供汽车分向、分车道行驶并全部控制出入的多车道公路。它具有四个或四个以上车道,设有中央分隔带,全部立体交叉,并具有完善的交通安全设施、管理设施和服务设施。

四车道高速公路应能适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量为25000~55000辆;六车道高速公路应能适应将各种汽车折合成小客车的远景年限年平均日交通量为45000~80000辆;八车道高速公路应能适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量为60000~100000辆。

2. 一级公路

一级公路是指为供汽车分向、分车道行驶,并可根据需要控制出入的多车道公路。当作为集散公路时,纵横向干扰较大,为保证供汽车分道、分向行驶,可设慢车道供非汽车交通行驶;当作为干线公路时,为保证运行速度、交通安全和服务水平,应根据需要采取控制出入措施。

四车道一级公路应能适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量15000~30000辆;六车道一级公路应能适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量25000~55000辆。

3. 二级公路

二级公路是指为供汽车行驶的双车道公路。为保证汽车的行驶速度和交通安全,在混合交通量大的路段,可设置慢车道供非汽车交通行驶。

双车道二级公路应能适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量5000~15000辆。

4. 三级公路

三级公路是指为供汽车行驶的双车道公路。它也允许拖拉机、畜力车、人力车等非汽车交通使用车道,其混合交通特征明显,设计速度应在40km/h以下。

双车道三级公路应能适应将各种车辆折合成小客车的年平均日交通量2000~6000辆。

5. 四级公路

四级公路是指为主要供汽车行驶的双车道或单车道公路。它也允许拖拉机、畜力车、人力车等非汽车交通使用车道,其混合交通特征明显,设计速度应在20km/h以下。

双车道四级公路应能适应将各种车辆折合成小客车的年平均日交通量 2000 辆以下；单车道四级公路应能适应将各种车辆折合成小客车的年平均日交通量 400 辆以下。

以上五个等级的公路构成了我国的公路网。其中高速公路、一级公路为公路网骨干线，二、三级公路为公路网内基本线，四级公路为公路网的支线。

公路工程技术标准是国家颁布的法定技术准则，反映了我国公路建设的方针、政策和技术要求，是公路设计、修建和养护的依据。因此，在公路设计、施工和养护中，必须严格遵守。同时，在符合《标准》要求和不过分增加工程造价的前提下，根据技术经济原则尽可能采用较高的技术指标，以充分提高公路的使用质量和效益。

我国《标准》规定的各级公路主要技术指标见表 1-0-1-1。

各级公路的主要技术指标汇总表

表 1-0-1-1

公 路 等 级		高速公路、一级公路								
设计速度(km/h)		120			100			80		60
车道数		8	6	4	8	6	4	6	4	4
行车道宽度(m)		2×15.00	2×11.25	2×7.50	2×15.00	2×11.25	2×7.50	2×11.25	2×7.50	2×7.00
路基宽度 (m)	一般值	45.00	34.50	28.00	44.50	33.50	26.00	32.00	24.50	23.00
	最小值	42.00	—	26.00	41.00	—	24.50	—	21.50	20.00
平曲线最小半径 (m)	极限值	650			400			250		125
	一般值	1000			700			400		200
停车视距(m)		210			160			110		75
最大纵坡(%)		3			4			5		6
车辆荷载		公路-I 级								
公路等级		二级公路、三级公路、四级公路								
设计速度(km/h)		80		60	40		30	20		
车道数		2		2	2		2	2 或 1		
行车道宽度(m)		2×7.00		2×7.00	2×7.00		2×6.50	2×6.00(单车道时为3.5)		
路基宽度 (m)	一般值	12.00		10.00	8.50		7.50	6.50 (双车道)		4.50 (单车道)
	最小值	10.00		8.50	—		—	—		
平曲线最小半径 (m)	极限值	250		125	60		30	15		
	一般值	400		200	100		65	30		
会车视距(m)		220		150	80		60	40		
最大纵坡(%)		5		6	7		8	9		
车辆荷载		公路-II 级								

二、公路等级的选用

公路等级的选用应根据公路的使用功能、公路网规划、交通量，从全局出发，并充分考虑项

目所在地区的综合运输体系、远期发展等,经综合论证后确定。在确定公路等级时,应明确以下几个问题:

(1)确定一条公路的等级,应首先确定该公路的功能,是干线公路,还是集散公路,即属于直达还是连接,以及是否需要控制出入等,根据预测交通量初拟公路等级,然后再结合地形、交通组成等,确定设计速度、路基宽度。

(2)一条公路可根据预测的交通量等情况分段采用不同的公路等级。各级公路所能适应的年平均日交通量是指设计交通量。高速公路和具有干线功能的一级公路的设计交通量应按20年预测;具有集散功能的一级公路,以及二、三级公路的设计交通量应按15年预测;四级公路可根据实际情况确定。设计交通量预测的起算年应为该项目可行性研究报告中的计划通车年。

(3)同一条公路,可分段选用不同的公路等级、不同的设计速度和路基宽度,但不同公路等级、设计速度、路基宽度间的衔接应协调,要结合地形的变化设置过渡段,使主要技术指标随之逐渐过渡,避免出现突变。不同设计路段相互衔接的地点,应选择在驾驶人员能够明显判断路况发生变化而需要改变行车速度的地点,如村镇、车站、交叉道口或地形明显变化等处,并应设置相应的标志。

(4)一级公路既可作为干线公路,也可作为集散公路。当作为集散公路时,纵横向干扰较大,为保证供汽车分道、分向行驶,可设慢车道供非汽车交通行驶,作为干线公路时,为保证运行速度、交通安全和服务水平,应根据需要采取控制出入措施。二级公路也具有作为干线公路或集散公路的两种功能,应根据其不同的功能和交通组成等决定是否设置慢车道以及其他设施。

(5)设计路段的长度不宜过短,一般情况下,高速公路不宜小于15km;一级公路、二级公路不宜小于10km;三级、四级公路可根据实际情况适当缩短。

(6)干线公路宜选用二级及二级以上公路。

• 第三节 公路勘测设计的依据、程序和内容 •

一、设计依据

路线设计是按勘测设计程序、已批准的计划任务书和《标准》等进行的。无论是新建公路或是改建公路,都应有充分的技术经济依据,其中最基本的设计依据是设计车辆、交通量和设计速度。

1. 设计车辆

行驶在公路上的车辆主要有机动车和非机动车两类,其中机动车有摩托车、小客车、公共汽车、载重汽车、拖拉机和大型集装箱车等,非机动车有自行车、三轮车、板车和兽力车等。根据公路的使用任务和性质,高速公路、一级公路为机动车服务,二、三、四级公路为混合车型(含非机动车)服务。

车辆的外廓尺寸是公路几何设计的重要依据,如路幅组成、弯道加宽、纵坡、视距、交叉口设计等都与车辆的外廓尺寸密切相关。规范对各种车辆进行归类,将其尺寸标准化称为设计

车辆。我国《标准》将设计车辆分为小客车、载重汽车和鞍式列车 3 类。各类设计车辆的基本尺寸见表 1-0-1-2 和图 1-0-1-1。

设计车辆外廓尺寸表

表 1-0-1-2

项目 车辆类型 尺寸(m)	总长	总宽	总高	前悬	轴距	后悬
小客车	6	1.8	2	0.8	3.8	1.4
载重汽车	12	2.5	4	1.5	6.5	4
鞍式列车	16	2.5	4	1.2	4+8.8	2

注：自行车的外廓尺寸采用宽 0.75m，高 2.00m。

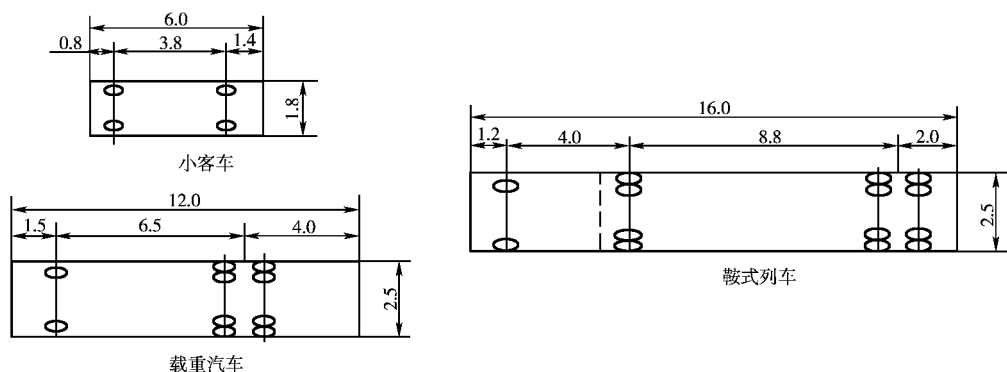


图 1-0-1-1 各种设计车辆的平面尺寸图(尺寸单位 m)

2. 设计速度

设计速度是指在气候和交通量正常的情况下，汽车运行只受公路自身条件（几何要素、路面、附属设施等）影响时，具有中等驾驶技术的人员能够安全、顺适驾驶车辆的速度。

设计速度是决定公路几何线形的基本要素。曲线半径、超高、视距、合成坡度、路幅宽度和竖曲线设计等都直接或间接与计算行车速度有关，所以它是体现公路等级的一项重要指标。

设计速度与运行速度有密切的关系，但它们是不同的两个概念。运行速度是指汽车在公路上的实际行驶速度，它受气候、地形、交通密度以及公路本身条件的影响，同时与驾驶员的技术也有很大的关系。在设计速度低的路段上，当行车条件（交通密度、气候、地形等）比较好时，行车速度常接近或超过计算行车速度。设计速度愈低，出现这种现象的几率愈大。考虑到这一特点，同一等级的公路按不同的条件采用不同的设计速度是合适的。同时，超过计算行车速度的情况是危险的，所以在地形良好，线形顺适，视野开阔容易产生超速行驶（超过计算行车速度）的路段，要特别注意曲线半径、超高、纵坡等方面的合理配置。

《标准》从工程难易、工程量大小及技术经济的合理性考虑，规定各级公路的设计速度见表 1-0-1-1。高速公路、一级公路由于在设计、施工、运营管理上与一般公路不同，其设计速度不与地形条件直接挂钩，而将设计速度分别定为 120km/h、100km/h、80km/h 和 100km/h、80km/h、60km/h 三级，供设计时结合交通需求的变化，考虑技术经济的合理性，更好地与地形、景观相配合，做出合理的设计。

我国《标准》规定的各级公路计算行车速度见表 1-0-1-1。

3. 交通量

交通量是确定公路等级的主要依据。公路的交通量是指单位时间内(每小时或每昼夜)通过公路上某一横断面处的往返车辆总数。交通量与社会经济发展速度、气候、物产、文化生活水平等多方面因素有关,且随着时间、地点的不同而随机变化。其具体数值通过交通调查和交通预测确定。

1) 年平均日交通量

公路交通量的普遍计量单位是年平均日交通量(简称 AADT),即一年 365 天交通量观测结果的平均值,其表达式为

$$N = \frac{1}{365} \sum_{i=1}^{365} Q_i \quad (1-0-1-1)$$

式中: N ——年平均日交通量 辆/日;

Q_i ——一年内的日交通量 辆/日。

2) 设计交通量

设计交通量是指达到预测年限时的年平均日交通量,它是确定公路等级的主要依据。设计交通量根据公路使用的功能、任务和性质,目前一般按年平均增长率计算确定。

$$N_d = N_0(1 - \gamma)^{t-1} \quad (1-0-1-2)$$

式中: N_d ——达到预测年限时的年平均日交通量 辆/日;

N_0 ——起始年平均日交通量 辆/日;

γ ——年平均增长率 %;

t ——预测年限。

3) 设计小时交通量

设计小时交通量是以小时为时段的交通量(简称 DDHV),用于确定公路等级、车道数和车道宽度或评价公路运行状态和服务水平的重要参数。我们知道,一年中的每月、每日、每小时交通量的变化是相当大的,如果用一年中最大的高峰小时交通量作为设计依据,必然造成浪费,但如果采用日平均小时交通量则不能满足实际需要,甚至造成交通阻塞。因此,必须选择适当的小时交通量作为设计小时交通量。研究认为,取一年中的排序第 30 位最大小时交通量为设计小时交通量最合适,即将一年中测得的 8760 小时交通量按大小顺序排列,取序号为第 30 位的小时交通量作为设计小时交通量。如图 1-0-1-2 所示,在第 30 位小时交通量以上,曲

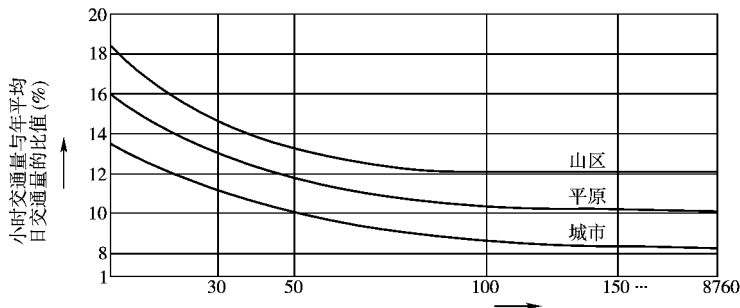


图 1-0-1-2 第 30 位最大小时交通量示意图

线斜率急剧加大,第30位以下,曲线变化明显变缓,采用第30位小时交通量作为设计依据,每年只有29个小时的交通量超过设计小时交通量,保证率达99.67%。目前许多国家包括我国均采用第30位小时交通量作为设计依据。

设计小时交通量按下式计算

$$N_h = N_d \cdot K \cdot D \quad (1-0-1-3)$$

式中 N_h ——设计小时交通量,辆/h;

N_d ——达到预测年限时的年平均日交通量,辆/日;

K ——设计小时交通量系数,即第30位小时交通量与年平均日交通量的比例。一般平原区 K 取13%,山区 K 取15%;

D ——方向不均匀系数,一般可取 $D=0.5 \sim 0.6$ 。

4) 交通量换算

在确定设计交通量时,应将在公路上行驶的各种车辆,按规定折算为标准车型。我国公路设计时是以小客车为标准车型。设计时应将公路行驶的各种车辆(含非机动车辆)按规定折合成小客车的年平均日交通量。各种汽车的折算是为了有统一尺度才能比较交通量的大小。确定公路等级的各汽车代表车型和车辆折算系数如表1-0-1-3所示。

各汽车代表车型与车辆折算系数

表 1-0-1-3

汽车代表车型	车辆折算系数	说 明
小客车	1.0	小于等于19座的客车和载质量小于等于2t的货车
中型车	1.5	大于19座的客车和载质量大于2t且小于等于7t的货车
大型车	2.0	载质量大于7t且小于等于14t的货车
拖挂车	3.0	载质量大于14t的货车

注:①畜力车、人力车、自行车等非机动车,在设计交通量换算中按路侧干扰因素计。

②一、二级公路上行驶的拖拉机按路侧干扰因素计。三、四级公路上行驶的拖拉机每辆折算为4辆小客车。

③公路通行能力分析所要求的车辆折算系数应针对路段、交叉口等形式,按不同的地形条件和交通需求,采用相应的折算系数。

二、设计程序和内容

1. 工程可行性研究

工程可行性研究是公路基本建设前期工作的一项重要内容,是建设项目决策和编制设计(计划)任务书的依据。工程可行性研究的目的是对建设项目的必要性、技术的可行性、经济的合理性、实施可能性以及宏观和微观经济效益,做出科学的评价和评估,并拟出多种比较方案,作为决策的依据。

公路工程可行性研究一般应包括以下内容:

(1)概述:主要论述任务依据和历史背景、研究范围、研究的主要结论、主要存在的问题和建议。

(2)现有公路技术状况及问题:主要阐述现有公路技术现状和适应程度,拟建项目在交通网中的作用、存在的主要问题。

(3)运输量和交通量发展预测:主要阐述项目所在地的经济特性、经济增长与客货运输增

长的关系,交通调查情况和交通量发展预测。

(4)公路建设规模及标准:主要论证公路等级和桥梁的结构规模、征地范围、技术标准等重要指标。

(5)建设条件与方案选择:主要阐述地理位置、自然条件对工程方案、施工条件和工程造价的影响,社会环境及地方经济对建设项目的影 响;工程方案的比选与推荐意见。

(6)投资估算及资金筹措:根据主要工程数量、建设用地、拆迁数量作出投资估算,并说明资金来源和筹集办法。

(7)实施方案:提出设计和施工的安排、工期和投资安排、工程管理和 技术管理等方面的意见。

(8)经济评价:主要是作出直接经济效益计算、经济投资费用计算、经济与社会效益分析等。

对上述内容进行研究后写出工程可行性研究报告,作为工程项目的决策依据。工程可行性研究报告批准后,一般不得随意修改和变更。

2. 设计任务书

公路勘测与设计工作是根据批准的设计任务书进行的,设计任务书由提出计划的主管部门下达或由下级单位编制后按规定上报审批。设计任务书包括以下基本内容:

- (1)建设依据和意义;
- (2)公路的建设规模和修建性质;
- (3)路线基本走向和主要控制点;
- (4)工程技术标准和主要技术指标;
- (5)按几个阶段设计,各阶段完成的时间;
- (6)建设期限和投资估算,分期修建的应提出每期的建设规模和投资估算;
- (7)施工力量的原则安排;
- (8)路线示意图、工程数量、三材数量及投资估算表等。

设计任务书批准后,如对建设规模、工程技术标准、路线基本走向等主要内容有变更时,应经原批准机关同意。

3. 勘测设计阶段

公路工程基本建设项目的勘测设计阶段可分为“一阶段设计”、“两阶段设计”和“三阶段设计”等3种。通常情况,勘测设计采用两阶段设计,即初步设计和施工图设计。对技术简单、方案明确的小型建设项目,可采用一个阶段设计,即一阶段施工图设计。当技术复杂而又缺乏经验的建设项目或建设项目中的个别路段、特殊大桥、互通式立体交叉、隧道等,必要时可采用三阶段设计,即初步设计、技术设计和施工图设计。

一阶段设计应根据批准的设计施工预算,作为公路施工的依据。

两阶段设计应根据批准的设计任务书(或测设合同)的要求,经过初步测量,编制初步设计文件 and 设计概算,再根据批准的初步设计,进行定线测量,编制施工图设计文件和施工预算,作为公路施工的依据。

三阶段设计是在初步设计文件 and 设计概算批准后,通过补充测量,然后编制技术设计文件 and 修正概算,最后根据批准的技术设计文件经过定线测量(或补充定测),编制施工图设计文

件和施工预算,作为公路施工的依据。

在采用一阶段设计、两阶段设计或三阶段设计时,不论是新建公路还是改建公路,在公路勘测设计之前,均必须进行视察和工程可行性研究工作。视察和工程可行性研究虽不独立作为一个设计阶段,但它们是勘测设计工作之前都必须进行的一个重要步骤。

• 第四节 公路勘测设计的发展概况 •

一、公路的发展

我国公路建设有着悠久的发展历史,早在公元 2000 年前,就有了可以行驶牛、马车的道路。到清代全国已形成了层次分明、功能较完善的“官马大路”、“大路”、“小路”等道路系统,分别为京城到各省城、省城到重要城市及重要城市到一般市镇的三级道路。其中“官马大道”就达 2000 多公里(4000 余里)。但由于封建统治对生产力的束缚,使我国公路建设事业发展缓慢,交通运输工具也很少改进,长期停留在人力、兽力拉车的水平。直到 1949 年,全国才修建了 13 万 km 的公路,能勉强维持通车的公路仅有 8.1 万 km,而且标准低、质量差、分布也极不合理,大部分公路都集中在东部沿海地区,占全国土地面积三分之二的山区和边疆少数民族地区几乎没有公路。

新中国成立以后,为了恢复和发展国民经济、改善人民生活、巩固国防、促进民族团结,党和国家对公路建设作出了很大的努力,取得了显著成就。改革开放以来,我国社会经济飞速发展,经济结构发生很大变化,社会需求趋于个性化、多样化,对公路交通提出了更高的要求。多品种、多用户、小批量产品的运输需求迅速增加,运输的方便性、及时性和可靠性要求增加,使适合公路运输的货运量迅速增长,加之人民生活水平的提高和生活节奏的加快,使以商业、探亲、旅游、购物等为目的的出行快速增长使得公路建设高速发展。至 2003 年底,公路总里程已突破 181 万 km,居世界第 4 位,并实现了县县通公路,98% 的乡和 80% 以上的村通了汽车。

我国高速公路的建设最早开始于台湾省,自台湾高雄起,经台南、台中、台北到基隆止,全长 373.4km。该线 1968 年开始设计,1978 年竣工,历时近 10 年。1988 年 10 月,长度为 18.5km 的上海至嘉定高速公路建成通车,中国大陆高速公路实现了零的突破。至 1988 年底,全国高速公路通车总里程达到 6258km,跃居世界第八;至 1999 年底,突破 1 万 km,位居世界第四;至 2000 年底,达到 1.6 万 km,居世界第三;截至到 2003 年底已有 30 个省、市、自治区修建了高速公路,通车总里程已达 3 万 km,居世界第二。在高速公路建设方面,我国用短短的 10 多年时间,完成了发达国家 40 年走的历程,已跨入了世界先进行列。

我国公路建设虽然得到了快速发展,但仍不能完全适应国民经济发展对公路运输的要求,而且与世界上发达国家相比,仍存在着较大的差距。公路网标准低、基础设施薄弱、密度小、通行能力差,抗灾能力弱,服务水平不高和布局不尽合理仍是当前存在的突出问题。从高速公路在各地区分布情况看,东、中、西各地区高速公路总量以及所占比例都存在较明显的差异。东部地区共有高速公路 10878km,占全国高速公路总里程的 56%;中部地区 5014km,占 25.8%;西部地区 3545km,仅占全国高速公路总里程的 18.2%。公路密度低,高等级公路总量不足,仍影响着西部地区经济发展水平的进一步提高。据 2001 年统计,在通车里程中,我国二级及二级以上的公路只占总里程的 13.4%

(其中东部为 19% ,中部为 12% ,西部仅为 7%) ,达不到技术标准的等外公路占 21.3% ,高级、次高级路面里程只占总里程的 39.6%。因此 ,加快公路网新线建设 ,对原有公路进行技术改造 ,逐步提高技术标准和通行能力 ,仍然是我国当前的主要任务。

二、公路的发展规划

根据交通部规划 ,从“八五”开始 ,我国将用几个五年计划的时间 ,建设主要由高速公路组成的全国公路主骨架 ,这就是国道主干线系统。国道主干线系统将贯通首都和省会 ,连通所有 100 万人口以上的特大城市和 93% 的 50 万人口以上的大城市 ,串联的城市超过 200 个 ,覆盖人口约 6 亿。由 12 条线路组成的“五纵七横”国道主干线 ,全长 3.5 万 km ,其中 2.2 万 km 为高速公路。各省、市、自治区根据规划修建省级干线网及网内支线 ,至 2020 年公路通车里程将达到 200 万 km 以上。

根据经济社会发展的要求和交通加快发展的新形势 ,交通部对“十五”计划的主要目标进行了调整。据介绍 ,调整后的“十五”计划 ,到 2004 年年底 ,全国公路通车总里程达到 188 万 km ,高速公路里程达到 3.3 万 km ,新改建农村公路 10 万 km ,到“十五”末 ,全国公路总里程达到 195 万 km ,“五纵七横”将在 2010 年提前建成。那时 ,我国汽车的经济运距将大幅度提高 ,东部、中部和西部地区平均上高速的时间可缩短为半小时、1 小时和 2 小时 ,大城市间、省际间和经济区域间 ,逐步形成 400 ~ 500km 内当日往返 ,800 ~ 1000km 内朝发夕至的现代高等级公路网。我国的公路交通必将出现一个崭新的局面。

本章小结

(1)公路勘测设计主要讲述公路平、纵、横 3 个基本几何组成部分的设计原理、原则、方法和步骤 ,分析选线、定线的一般原则、基本操作方法和内容 ,并以基本理论、基本知识和基本技能为主要内容。

对于三维空间体的公路 ,设计时既要把它分解为公路的平面、纵断面和横断面分别研究处理 ,也要把路基、路面结构设计结合起来作整体考虑。因此 ,本课程是公路与桥梁工程专业综合性和实践性都很强的一门主干课程。在学习过程中应理论联系实际 ,认真完成课程设计和参加野外教学与生产实习 ,以加深对理论的理解 ,提高运用基本理论解决实际问题的能力。

(2)公路等级根据公路的使用任务、功能和适应的交通量分为高速公路、一级公路、二级公路、三级公路和四级公路。其中高速公路、一级公路为公路网骨干线 ,二、三级公路为公路网内基本线 ,四级公路为公路网的支线 ,构成了我国的公路网。

公路工程技术标准是国家颁布的法定技术准则 ,是公路设计、修建和养护的依据。因此 ,在公路设计、施工和养护中 ,必须严格遵守。同时 ,要求在不过分增加工程造价的前提下 ,根据技术经济原则尽可能采用较高的技术指标 ,以充分提高公路的使用质量和效益。

公路等级的选用应根据公路的使用功能、公路网规划、交通量 ,从全局出发 ,并充分考虑项目所在地区的综合运输体系、远期发展等 ,经综合论证后确定。

(3)公路不论是新建公路或是改建 ,都应有充分的技术经济依据 ,其中最基本的设计依据是设计车辆、交通量和设计速度。

设计车辆是公路几何设计(如路幅组成、弯道加宽、纵坡、视距、交叉口设计等)的重要依据;设计速度是决定公路几何线形(如曲线半径、超高、视距、合成坡度、路幅宽度和竖曲线设计等),体现公路等级的一项重要指标,交通量是确定公路等级的主要依据。

(4)工程可行性研究是公路基本建设前期工作的一项重要内容,是建设项目决策和编制设计(计划)任务书的依据,而公路勘测与设计工作是根据批准的设计任务书进行的。公路勘测设计一般按两阶段进行设计,即初步设计和施工图设计,对于技术上复杂而又缺乏设计经验的项目或建设项目中的个别路段、特殊构造物等,必要时进行三阶段设计,即初步设计、技术设计和施工图设计。

初步设计是根据批准的可行性研究报告的要求和初测的资料,拟订修建原则,制订设计方案,计算主要工程数量,提出施工方案的意见,编制设计概算,提供文字说明和图表资料。

技术设计是根据批准的初步设计和补充初测(或定测)资料,对重大、复杂的技术问题通过科学试验、专题研究、加深勘探调查及分析比较,解决初步设计中遗留问题,落实技术方案,计算工程数量,提出修正的施工方案,编制修正概算。

施工图设计是根据批准的初步设计(或技术设计)和定测资料,进一步对审定的修建原则、设计方案、技术措施加以具体和深化,最终确定工程数量,提出文字说明和适应施工需要的图表资料和施工组织计划,编制施工图预算。

思考题与习题

1. 现代交通运输方式有哪些特点?与这些运输方式比较,公路运输有哪些特点?
2. (JTG B01—2003)《公路工程技术标准》的主要技术指标有哪些?
3. 公路的主要组成部分有哪些?公路设计主要包括哪些内容?
4. 简述公路设计的基本要求。
5. 公路勘测设计的依据有哪些?何谓设计速度?
6. 简述“两阶段设计”的程序步骤。

第二章

平面设计

教学要求

1. 叙述圆曲线最小半径理论公式的含义 ;会按《公路工程技术标准》要求 ,选用极限最小半径、一般最小半径和不设超高的最小半径。
2. 描述公路平面弯道的超高方式 ,计算公路弯道全超高值 ;
3. 描述加宽的原则 ,按《公路工程技术标准》要求正确取用加宽值 ;
4. 进行平曲线要素计算 ;
5. 描述设置缓和曲线的原因以及确定缓和曲线最小长度的理论依据 ,说明缓和曲线、超高缓和段及加宽缓和段之间的区别与联系 ;
6. 进行缓和段上超高值与加宽值的计算 ;
7. 描述行车视距的概念 ,叙述平面视距保证的方法与计算步骤 ;
8. 说明平面线形设计的一般方法 ,按照《公路工程技术标准》及《公路路线设计规范》要求 ,进行公路平面线形调整。

• 第一节 概 述 •

公路线形 ,主要是指道路中心线的空间线形。为研究方便和直观起见 ,对该空间线形应进行三视图投影。路线在水平面上的投影称作路线的平面 ,沿中线竖直剖切并展开构成纵断面线形。中线上任一点的法向切面构成横断面线形。公路线形的设计实际上是确定平面、纵断面及横断面线形的尺寸和形状 ,也就是通常所指的平面设计、纵断面设计和横断面设计。三者之间既相互联系又相互制约 ,因此在路线设计时 ,必须综合考虑。

公路的平面线形 ,由于其位置受社会经济、自然地理和技术条件等因素的制约 ,公路从起点到终点在平面上不可能是一条直线 ,而是由许多直线段和曲线段 (包括圆曲线和缓和曲线) 组合而成。对平面线形而言 ,一般可分解为直线、圆曲线及缓和曲线 ,因此我们对线形的研究 ,实际上是对直线、圆曲线和缓和曲线三要素的研究 ,同时对此三要素进行恰当组合 ,切合实际地在实地上综合应用 ,以保证汽车在公路上能安全、顺适的运行。怎样把直线和缓和曲线连接起来 ? 如何保证汽车在平面上能安全、迅速、舒适以及经济地行驶 ? 平面线形各几何元素的合理配置与计算车速度的关系是怎样的 ? 这些原理和方法即为本章所研究的主题。

• 第二节 平面圆曲线半径、全超高、全加宽 •

各级公路和城市道路不论转角大小均应设置平曲线,而圆曲线是平面线形中的主要组成部分。在平面线形中的单曲线、复曲线、虚交点曲线和回头曲线等,一般都包括有圆曲线。圆曲线由于具有与地形适应性强、可循性好、线形美观和易于测设等优点,使用十分普遍。各级公路当圆曲线半径小于不设超高最小半径时,应在曲线上设置由路面向内侧倾斜的单向坡(超高)。超高横坡度按公路等级、设计车速、圆曲线半径、路面类型、自然条件和车辆组成等情况确定。圆曲线内当半径小于或等于 250m 时,应在圆曲线路面内侧进行全加宽。

一、圆曲线半径

1. 汽车在圆曲线上的受力特点

1) 汽车转弯行驶时的受力特点与力的平衡

汽车在公路曲线上行驶时,除受重力外,还受到离心力的影响。由于离心力的产生,使汽车在平曲线上行驶时会发生两种不稳定的危险:汽车可能会向外滑移和向外倾覆。由图 1-0-2-1 可以看出,离心力的作用点在汽车重心,方向水平,并与圆心方向相反。

计算公式为:

$$F = \frac{G v^2}{g R} \quad (1-0-2-1)$$

式中: F ——离心力 N ;

R ——圆曲线半径 m ;

v ——汽车的行驶速度 m/s ;

G ——汽车重力。

将作用在汽车上的离心力 F 和汽车重力 G 分解为平行于路面的横向力 X 和垂直于路面的竖向力 Y 则有:

$$X = F \cos \alpha \pm G \sin \alpha$$

$$Y = G \cos \alpha \mp F \sin \alpha$$

因为 α 很小,所以 $\cos \alpha \approx 1$, $\sin \alpha \approx \tan \alpha = i$ (i 为路面横坡度)。由此可得:

$$X = F \pm Gi = \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \pm Gi \quad (1-0-2-2)$$

式中:“+”——汽车在圆曲线外侧车道上行驶;

“-”——汽车在圆曲线内侧车道上行驶。

横向力和竖向力是反映汽车行驶稳定性的两个重要因素,其中横向力为不稳定因素,竖向力为稳定因素。但横向力与竖向力的大小均与重力的大小有关。为了准确衡量汽车在圆曲线上行驶是否稳定、安全与舒适,采用横向力与竖向力的比值,称为横向力系数,它近似地可看作单位车重上所受到的横向力大小,以 μ 表示,即

$$\mu = \frac{X}{Y} \approx \frac{X}{G} \quad (1-0-2-3)$$

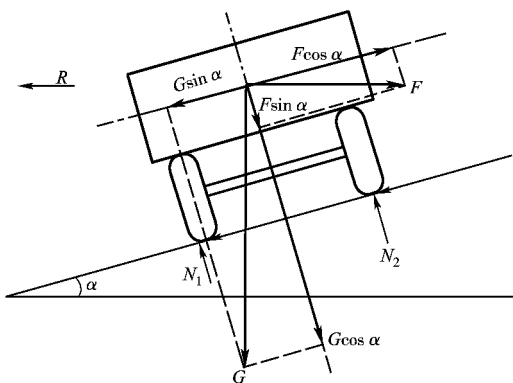


图 1-0-2-1 汽车在弯道内侧行驶

将式(1-0-2-2)代入式(1-0-2-3) 则得

$$\mu = \frac{X}{G} = \frac{v^2}{gR} \pm i \quad (1-0-2-4)$$

式中 μ ——横向力系数；

其余符号意义同前。

2)横向倾覆分析

汽车在具有横坡的圆曲线上行驶时,由于离心力的作用,当横向力增加很大,就有可能使汽车绕外侧车轮边缘旋转而产生倾覆的危险。要使汽车不产生倾覆,就必须使横向力与汽车重心所产生的不稳定力矩 Xh 小于或等于竖向力对车轮外侧所产生的稳定力矩 $Y\frac{b}{2}$, 即

$$Xh \leq Y\frac{b}{2}$$

因

$$Y \approx G, X \approx \mu G$$

故

$$\mu \leq \frac{b}{2h} \quad (1-0-2-5)$$

式中 b ——两后轮中心距 m ；

其余符号意义同前。

3)横向滑移分析

汽车在圆曲线上行驶时,同时存在着使汽车向外侧滑移的横向力和阻止汽车向外侧滑移的横向摩阻力。要使汽车不产生滑移,就必须保证横向力小于或等于横向摩阻力,即

$$X \leq Y\varphi \quad (1-0-2-6)$$

因

$$\mu = \frac{X}{Y} \quad (1-0-2-7)$$

故

$$\mu \leq f \quad (1-0-2-8)$$

式中 φ ——轮胎与路面之间的横向摩阻系数,一般 $\varphi = (0.6 \sim 0.7)\varphi_{纵}$, 见表 1-0-2-1。

横向摩阻系数 φ 值

表 1-0-2-1

路面类型	水泥及沥青 混凝土路面	表面平整的 黑色碎石路面	碎石路面	干燥平整 的土路	潮湿不平整 的土路
φ 值	0.01 ~ 0.02	0.02 ~ 0.025	0.03 ~ 0.05	0.04 ~ 0.05	0.07 ~ 0.15

2. 计算公式及其影响因素

由汽车行驶在圆曲线上的受力特点理论 根据汽车行驶在曲线上力的平衡式(1-0-2-4)可知圆曲线半径计算公式为

$$R = \frac{v^2}{127(\mu + i)} \quad (1-0-2-9)$$

式中 v ——各级公路的设计速度 km/h ；

μ ——横向力系数；

i ——路拱横向坡度,以小数计。

从上式可知,圆曲线半径越大,横向力系数越小,汽车就越稳定。所以从汽车行驶稳定性出发,圆曲线半径越大越好。但有时因受地形、地质、地物等因素的限制,圆曲线半径不可能设

置得很大,往往会采用小半径的圆曲线,这时如果半径选用的太小,就会使汽车行驶不安全,甚至翻车。所以必须综合考虑汽车安全、迅速、舒适和经济,并兼顾美观,使确定的最小半径能满足某种程度的行车要求。这种最起码的半径数值,就是圆曲线的最小半径限制值。《标准》根据各级公路的不同要求,规定了圆曲线最小半径有如下3类:极限最小半径、一般最小半径和不设超高的最小半径。其中极限最小半径主要满足行车安全,适当考虑舒适性;一般最小半径已具有较好的安全性和舒适性;不设超高的最小半径是考虑即使不设超高也能保证其安全性和舒适性。

在一定车速 v 的条件下,要满足3类最小半径不同要求的安全性和舒适性,关键在于横向力系数 μ 值的合理确定。

1)行车安全性分析

汽车在弯道上安全行驶的必要条件是轮胎不在路面上产生滑移。即要求横向力系数 μ 要小于或等于轮胎与路面间的横向摩阻系数 φ ,即

$$\mu \leq \varphi \quad (1-0-2-10)$$

式中 φ ——轮胎与路面的横向摩阻系数,见表1-0-2-1。

2)舒适性分析

根据国内外大量资料分析,乘客随 μ 值的变化其心理反应如下:

当 $\mu < 0.1$ 时,不感到有曲线存在,很平稳,近似于在直线上行驶;

当 $\mu = 0.15$ 时,感到有曲线存在,但尚平稳;

当 $\mu = 0.2$ 时,感到有曲线存在,略感不平稳;

当 $\mu = 0.35$ 时,感到明显不平稳;

当 $\mu > 0.4$ 时,感到非常不平稳,有倾倒的危险感。

由此可知,从乘客的舒适性出发, μ 值以不超过0.10为宜,最大不超过0.15~0.20。

3)经济性分析

在确定 μ 值时,还应考虑汽车运营的经济性。根据试验分析,汽车在弯道上行驶与直线相比,存在着以下关系:

横向力系数 μ	燃料消耗(%)	轮胎磨损(%)
0	100	100
0.10	110	220
0.15	115	300
0.20	120	390

综上所述, μ 值大小与行车安全、经济与舒适等密切相关。因此, μ 值的选用应根据行车速度、圆曲线半径及超高横坡度的大小,在合理的范围内选择。

3. 圆曲线最小半径确定

1)极限最小半径

极限最小半径是路线设计中各级公路所能允许的极限值,其 μ 值的选用,主要满足安全要求,兼顾舒适性,因此在非特殊困难的情况下,一般不轻易采用。极限最小半径可按下式计算:

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127(\mu_{\max} + i_{b\max})} \quad (1-0-2-11)$$

式中 $R_{\min}$ ——极限最小半径 m ；

$\mu_{\max}$ ——极限最小半径所对应的横向力系数，见表 1-0-2-2；

$i_{b\max}$ ——最大超高横坡度，见表 1-0-2-2。

极限最小半径横向力系数及超高横坡度取用表

表 1-0-2-2

设计速度(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
$\mu_{\max}$	0.10	0.12	0.13	0.15	0.15	0.16	0.17
$i_{b\max}(\%)$	8	8	8	8	8	8	8

2)一般最小平曲线半径

为避免在路线设计时只考虑节约投资，不考虑线形的整体协调和今后提高公路等级而过多采用极限最小半径的片面倾向，同时也要考虑在地形比较复杂的情况下不会过多地增加工程量，而且也具有充分的舒适感。为此，《标准》规定出了“一般最小半径”。一般最小半径可按下式计算：

$$R_{\text{一般}} = \frac{v^2}{127(\mu + i_b)} \quad (1-0-2-12)$$

式中 $R_{\text{一般}}$ ——一般最小半径 m ；

i_b ——路拱超高横坡度，见表 1-0-2-3；

μ ——一般最小半径所对应的横向力系数，见表 1-0-2-3。

一般最小圆曲线半径横向力系数及超高横坡度取用表

表 1-0-2-3

设计速度(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
μ	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05
$i_b(\%)$	6	6	7	8	7	6	6

3)不设超高的最小圆曲线半径

当路面不设超高时，路拱为双向横坡度，与直线段的路拱横坡度相同，当路线某一半径大于一定值时，即使汽车在圆曲线外侧行驶也能获得足够的安全性和很好的舒适性。不设超高的最小圆曲线半径可按下列式计算：

$$R_{\text{免}} = \frac{v^2}{127(\mu - i_1)} \quad (1-0-2-13)$$

式中 $R_{\text{免}}$ ——不设超高最小半径 m ；

i_1 ——路拱横坡度，二级及以上等级公路时，取 $i_1 = 0.01 \sim 0.02$ ，二级以下公路时，取 $i_1 = 0.03 \sim 0.04$ ；

μ ——不设超高横向力系数，一般取 $\mu = 0.035 \sim 0.06$ 。

其中：“-”表示汽车在公路圆曲线外侧行驶。

根据公式计算并结合我国的具体情况，《标准》规定了各级公路的圆曲线半径，如表 1-0-2-4 所示。

各级公路的圆曲线最小半径

表 1-0-2-4

设计速度 (km/h)		120	100	80	60	40	30	20
极限值 (m)		650	400	250	125	60	30	15
一般值 (m)		1000	700	400	200	100	65	30
不设超高 最小半径 (m)	路拱 $\leq 2.0\%$	5500	4000	2500	1500	600	350	150
	路拱 $> 2.0\%$	7500	5250	3350	1900	800	450	200

《标准》规定了各级公路的 3 种圆曲线最小半径。具体应用时 需考虑以下几方面的要求：

(1) 在选用圆曲线半径时 应与设计速度相适应 并应尽可能选用较大的圆曲线半径；

(2) 一般情况下尽量选用大于或等于一般最小半径 只有受地形限制及其他特殊困难时，才可采用极限最小半径；

(3) 桥位处两端设置圆曲线时，一般大于一般最小半径；

(4) 隧道内必须设置圆曲线时，应大于不设超高的最小半径；

(5) 长直线或陡坡尽头 不得采用小半径圆曲线；

(6) 不论偏角大小 均应设置圆曲线；

(7) 改建公路工程中利用现有公路路段 设计速度为 40km/h 的最小圆曲线半径可采用 50m 设计速度为 30km/h 的最小圆曲线半径可采用 25m；

(8) 半径过大也无实际意义 故一般宜小于 10000m。

【例 1】某二级公路 设计速度 $v = 80\text{km/h}$ ，试问该等级公路的极限最小半径为多少？

【解】按表 1-0-2-2 可知 横向力系数 $\mu = 0.12$ $i_b = 0.08$

根据公式(1-0-2-11)极限最小半径为：

$$R = \frac{v^2}{127(\mu_{\max} + i_{b\max})} = \frac{80^2}{127(0.12 + 0.08)} = 251.97\text{m}$$

《标准》规定为 250m(表 1-0-2-4)。

【例 2】某三级公路 其设计速度 $v = 30\text{km/h}$ ，试问该公路的一般最小半径为多少？

【解】按表 1-0-2-3 可知 横向力系数 $\mu = 0.05$ $i_b = 0.06$

根据公式(1-0-2-12)一般最小半径为：

$$R = \frac{v^2}{127(\mu + i_b)} = \frac{30^2}{127(0.05 + 0.06)} = 64.42\text{m}$$

所以，《标准》规定为 65m(表 1-0-2-4)。

【例 3】已知某高速公路 其设计速度 $v = 120\text{km/h}$ ，设该公路的路面横坡度采用 $i_1 = 1.5\%$ ，试计算该等级公路不设超高的最小半径 并与《标准》进行比较。

【解】已知 $i_1 = 0.015$ ，设 $\mu = 0.035$

根据公式(1-0-2-13)不设超高的最小半径公式：

$$R = \frac{v^2}{127(\mu - i)} = \frac{120^2}{127(0.035 - 0.015)} = 5569.29\text{m}$$

由表 1-0-2-4 可知,不设超高最小半径 $R = 5500\text{m}$,说明《标准》的规定是符合理论要求的。

二、全 超 高

1. 超高及其作用

当汽车在弯道上行驶时,要受到离心力的作用,横向力是引起汽车不稳定行驶的主要因素。所以在平曲线设计时,常将弯道外侧边道抬高,构成与内侧车道同坡度的单向坡,这种设置称为平曲线超高。其作用是为了使汽车在圆曲线上行驶时能获得一个指向内侧的横向分力,用以克服离心力,减小横向力,从而保证汽车行驶的稳定性及乘客的舒适性。该单向倾斜的断面即为超高。

2. 超高横坡度的确定

超高横坡度的大小与公路等级、圆曲线半径大小及公路所处的环境、自然条件、路面类型、车辆组成等因素有关。

超高横坡度可按下式计算,即

$$i_b = \frac{v^2}{127R} - \mu \quad (1-0-2-14)$$

上式中横向力系数的取值,主要考虑设置超高后抵消离心力的剩余横向力系数,其值的大小在 $0 \sim \mu_{\max}$ 之间,并与多种因素有关,如车速的大小,考虑快慢车的不同要求,乘客的舒适与路容之间的矛盾等。根据研究,超高横坡度的大小可以用图 1-0-2-2 表达比较合适。

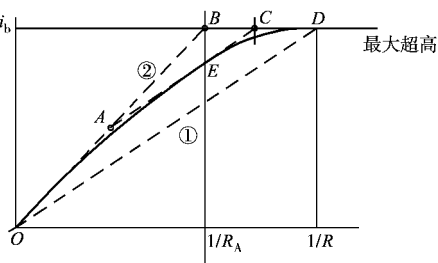


图 1-0-2-2 超高值的计算

图中,以纵坐标表示超高横坡度,横坐标表示曲线的大小。

(1)确定最大超高横度大小。结合实际情况确定如表 1-0-2-5 所示:

各级公路圆曲线部分最大超高值

表 1-0-2-5

公 路 等 级	高速公路	一	二	三	四
一般地区(%)	10 或 8		8		
积雪冰冻地区(%)	6				

(2)确定 R :

$$R = \frac{v^2}{127i_{b(\max)}} \quad (1-0-2-15)$$

式中 v ——设计速度,根据表 1-0-1-1 确定;

$i_{b(\max)}$ ——最大超高横坡度,根据表 1-0-2-5 确定;

R ——实际设置弯道的半径 m 。

(3)作出图中 OB 及 BD 的中点 A 和 C 点并连接 AC ,作圆弧 OE 和 ED 并使两弧相切即可。

《标准》规定,当圆曲线半径小于不设超高的最小半径时,必须设置超高。超高值的计算根据上图计算并整理如表 1-0-2-6。

圆曲线半径与超高

表 1-0-2-6

设计速度 (km/h)		120			100		
		最大超高(%)			最大超高(%)		
超高(%)		10	8	6	10	8	6
超 高 (%)	2	<5500 (<7550) ~2950	<5500 (<7550) ~2950	<5500 (<7550) ~2860	<4000 (<5250) ~2180	<4000 (<5250) ~2150	<4000 (<7550) ~2000
		<2950 ~ 2080	<2860 ~ 1990	<2730 ~ 1840	<2180 ~ 1520	<2150 ~ 1480	<2000 ~ 1320
	4	<2080 ~ 1590	<1990 ~ 1500	<1840 ~ 1340	<1520 ~ 1160	<1480 ~ 1100	<1320 ~ 920
		5	<1590 ~ 1280	<1500 ~ 1190	<1340 ~ 970	<1160 ~ 920	<1100 ~ 860
	6		<1280 ~ 1070	<1190 ~ 980	<970 ~ 710	<920 ~ 760	<860 ~ 690
		7	<1070 ~ 910	<980 ~ 790		<760 ~ 640	<690 ~ 530
	8		<910 ~ 790	<790 ~ 650		<640 ~ 540	<530 ~ 400
		9	<790 ~ 680			<540 ~ 450	
	10		<680 ~ 570			<450 ~ 360	

设计速度 (km/h)		80			60			
		最大超高(%)			最大超高(%)			
超高(%)		10	8	6	10	8	6	4
超 高 (%)	2	<5500 (<3350) ~1460	<2500 (<3350) ~1410	<2500 (<3350) ~1360	<1500 (<1900) ~900	<1500 (<1900) ~870	<1500 (<1900) ~800	<1500 (<1900) ~610
		<1460 ~1020	<1410 ~960	<1360 ~890	<900 ~620	<8730 ~590	<800 ~500	<610 ~270
	4	<1020 ~770	<960 ~710	<890 ~600	<620 ~470	<590 ~430	<500 ~320	<270 ~150
		5	<770 ~610	<710 ~550	<600 ~400	<470 ~360	<430 ~320	<320 ~200
	6		<610 ~500	<550 ~420	<400 ~270	<360 ~290	<320 ~240	<200 ~135
		7	<500 ~410	<420 ~320		<290 ~240	<240 ~170	
	8		<410 ~340	<320 ~250		<240 ~190	<170 ~125	
		9	<340 ~280			<190 ~150		
	10		<280 ~220			<150 ~115		

续上表

设计速度 (km/h)		40							
		最大超高(%)							
超高(%)		8	6	4	2				
超 高 (%)	2	<600 (<800) ~470	<600 (<800) ~410	<600 (<800) ~330	<600 (<800) ~75				
	3	<470 ~ 310	<410 ~ 250	<330 ~ 130					
	4	<310 ~ 220	<250 ~ 150	<130 ~ 70					
	5	<220 ~ 160	<150 ~ 90						
	6	<160 ~ 120	<90 ~ 60						
	7	<120 ~ 80							
	8	<80 ~ 55							
	9								
	10								
设计速度 (km/h)		30				20			
		最大超高(%)				最大超高(%)			
超高(%)		8	6	4	2	8	6	4	2
超 高 (%)	2	<350	<350	<350	<350	<150	<150	<150	<150
	3	(<450) ~250	(<450) ~230	(<450) ~150	(<450) ~40	(<200) ~140	(<200) ~110	(<200) ~70	(<200) ~20
	4	<250 ~ 170	<230 ~ 140	<150 ~ 60		<140 ~ 90	<110 ~ 70	<70 ~ 30	
	5	<170 ~ 120	<140 ~ 80	<60 ~ 35		<90 ~ 70	<70 ~ 40	<30 ~ 15	
	6	<120 ~ 90	<80 ~ 50			<70 ~ 50	<40 ~ 30		
	7	<90 ~ 60	<50 ~ 35			<50 ~ 40	<30 ~ 15		
	8	<60 ~ 40				<40 ~ 30			
	9	<40 ~ 30				<30 ~ 15			

3. 设置超高的一般规定和要求

(1) 各级公路当圆曲线半径小于表 1-0-2-4 所列不设超高的最小半径时,应在曲线上设置超高。一般地区的圆曲线最大超高值宜采用 8%。

(2) 超高横坡度的大小按公路等级、圆曲线半径大小及公路所处的环境、自然条件、路面类型、车辆组成等因素合理确定。

(3) 各级公路圆曲线部分最小超高应于该公路直线部分的正常路拱横坡度一致。

(4) 二、三、四级公路混合交通量大且连接城镇路段,或通过城镇作为街道使用的路段,当车速受到限制,按规定设置超高有困难时,可按表 1-0-2-7 规定设置超高。

(5) 位于曲线上的行车道、硬路肩,均应根据设计、圆曲线半径、自然条件等按表 1-0-2-6 规定设置超高值。

市区路段全超高横坡度

表 1-0-2-7

计算行车速度(km/h)	80	60	40、30、20
超高横坡度(%)	6	4	2

(6)在有纵坡的弯道上设置超高时,应考虑合成纵坡。

$$i_k = \sqrt{i_{纵}^2 + i_b^2} \quad (1-0-2-16)$$

式中 $i_{纵}$ ——道路纵坡,%;

i_k ——合成纵坡,%。

三、全加宽

1. 加宽及其作用

从图 1-0-2-3 可知,汽车在曲线上行驶 4 个轮子轨迹半径不同,其中前轴外轮半径最大,后轴内轮的轨迹半径最小,因而需要比直线上更大的宽度;汽车在曲线上行驶时,其行驶轨迹并不完全与理论行驶轨迹相吻合,而是有一定的摆动偏移,故需要路面加宽来弥补,以保证安全。这种在曲线上适当拓宽路面的形式称为平曲线加宽。

2. 圆曲线全加宽值计算

路面加宽值与平曲线半径、车型尺寸及会车时的行车速度有关。

1)根据汽车交会时相对位置所需的加宽值

如图 1-0-2-3 所示假设汽车尺寸相同,且 $K_1 = K_2 = b/2$,汽车后轴至前保险杠之距为 d 则由三角形 OBF 得

$$d^2 + \left(R + \frac{b}{2}\right)^2 = \left(R + \frac{b}{2} + e_1\right)^2$$

$$e_1 = \sqrt{d^2 + \left(R + \frac{b}{2}\right)^2} - \left(R + \frac{b}{2}\right)$$

故由三角形 OCD 得

$$d^2 + (R - e_2)^2 = R^2$$

,

$$e_2 = R - \sqrt{R^2 - d^2}$$

故得双车道上的加宽值

$$e = e_1 + e_2$$

实际上 $e_2 > e_1$ 现安全地取 $e = 2e_2$

则

$$e = 2(R - \sqrt{R^2 - d^2})$$

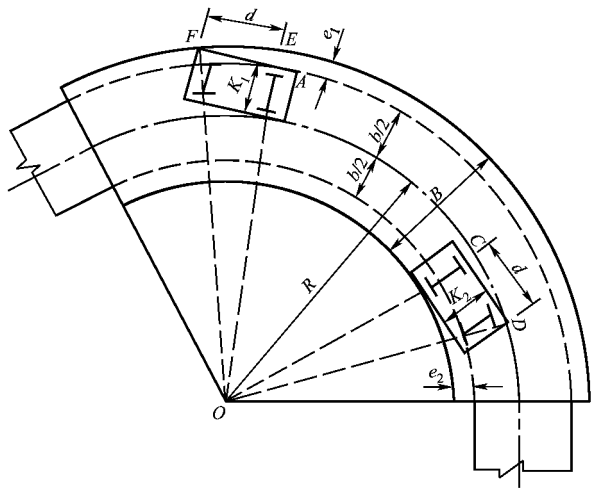


图 1-0-2-3 圆曲线上加宽值计算图式(图中 $b/2$ 为一个车道宽 B 为加宽后的路面宽)

即

$$e = \frac{d^2}{R - e/4}$$

由于 e 与 R 相比 相对很小 ,

$$e \approx \frac{d^2}{R} \quad (1-0-2-17)$$

2)根据不同车速摆动偏移所需的加宽值

以上仅考虑汽车在圆曲线上的几何布置 还应引入一个由于速度变化的修正值。根据试验和行车调查 行车速度引起的汽车摆动幅度的变化值为 :

$$e' = \frac{0.1v}{\sqrt{R}} \quad (1-0-2-18)$$

3)圆曲线上的全加宽值

由式(1-0-2-17)及式(1-0-2-18)可得圆曲线上的全加宽值为 :

$$B_j = \frac{d^2}{R} + \frac{0.1v}{\sqrt{R}} \quad (1-0-2-19)$$

式中 B_j ——圆曲线上路面的全加宽值 m ;

d ——汽车后轴至汽车保险杠前缘之距离 m ;

R ——圆曲线半径 m ;

v ——设计速度 按会车时的速度计算 ,一般取 $v=40km/h$ 。

4)半挂车对加宽的要求

半挂车等大型车辆对加宽的要求包括牵引车、拖车及汽车摆动幅度的变化值有 3 部分组成。可按下式计算 :

$$B_j = \frac{d_1^2}{R} + \frac{d_2^2}{R} + \frac{0.1v}{\sqrt{R}} \quad (1-0-2-20)$$

式中 d_1 ——牵引车后轴至保险杠前缘之距离 m ;

d_2 ——拖车后轴至牵引车后轴之距 m ;

其他符号意义同前。

5)加宽的有关规定与要求

(1)《规范》规定 当 $R \leq 250m$ 时 应设置加宽 双车道路面的全加宽值见表 1-0-2-8。单车道路面的全加宽值按表 1-0-2-8 值的 1/2 取用 三车道以上的路面 其加宽值应另行计算。

平曲线加宽值

表 1-0-2-8

加宽类别	加宽值	圆曲线半径(m)	250	<200	<150	<100	<70	<50	<30	<25	20
	汽车轴距前悬(m)		~200	~150	~100	~70	~50	~30	~25	~20	~15
1	5		0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.8	2.2	2.5
2	8		0.6	0.7	0.9	1.2	1.5	2.0	—	—	—
3	5.2+8.8		0.8	1.0	1.5	2.0	2.5—	—	—	—	—

(2)高速、一、二级公路及设计速度为 40km/h 的三级公路采用 3 类加宽值。对不经常通行集装箱运输半挂车的公路 可采用 2 类加宽值。四级公路和设计速度 30km/h 的三级公路

可采用 1 类加宽值。

(3) 加宽指路面加宽。路面加宽时路基一般也同时加宽。

(4) 圆曲线的加宽应设置在圆曲线的内侧。

(5) 分道行驶的公路, 当圆曲线半径较小时, 其内侧的加宽值应大于外侧车道的加宽值。设计时应按内外车道不同半径通过计算分别确定其加宽值。

• 第三节 缓和段 •

一、缓和曲线

缓和曲线是设置在直线与圆曲线之间或大圆曲线与小圆曲线之间, 由较大圆曲线向较小圆曲线过渡的线形, 是道路平面线形要素之一。它的主要特征是曲率均匀变化。《标准》规定, 除四级公路可不设缓和曲线外, 其他各级公路, 当平曲线半径小于不设超高的最小半径时, 应设缓和曲线。缓和段包括超高缓和段与加宽缓和段。本节主要讨论缓和曲线的作用、性质、参数、长缓和曲线度和设计方法以及缓和段的设置及缓和段上超高值与加宽值计算。

1. 缓和曲线的作用

1) 便于驾驶员操纵转向盘

汽车从直线进入圆曲线, 或从大半径圆曲线驶入小半径圆曲线时, 插入缓和曲线, 可使汽车前轮转向角逐渐从 $0^\circ \sim \alpha$ 转向, 从而有利于驾驶员操纵转向盘, 保证安全行驶。

2) 满足乘客乘车的舒适与稳定

离心力的大小与汽车行驶的曲率半径大小成反比。在直线段中, 离心力为零; 在圆曲线上, 离心力最大。当插入缓和曲线时, 因为缓和曲线的曲率是逐渐变化的, 可以消除离心力的突变, 从而保证乘客乘车舒适与稳定。

3) 满足超高、加宽缓和段的过渡, 利于平稳行车

当圆曲线上有超高与加宽时, 由直线段上无超高及加宽过渡到主圆曲线的全超高及全加宽时, 必须有一个缓和段, 因而设置了缓和曲线。通过缓和曲线可以完成超高及加宽的逐渐过渡。

4) 与圆曲线配合得当, 增加线形美观

圆曲线与直线径向连接, 在连接处曲率会产生突变, 在视觉上有不平顺的感觉。设置缓和曲线后, 可使线形连续圆滑, 以增加线形的美观, 同时具有良好的视觉效果和心理效果。

2. 缓和曲线的性质

当汽车逐渐由直线驶入圆曲线, 为简便可作两个假定: 一是汽车作匀速行驶; 二是驾驶员操纵转向盘作匀角速转动, 即汽车的前轮的转向角由直线上的 0° 均匀地增加到圆曲线上 α 角值, 如图 1-0-2-4 所示。

由图 1-0-2-4 可知:

$$\Phi = k\rho$$

$$(1-0-2-21)$$

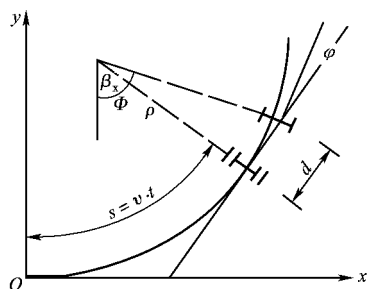


图 1-0-2-4 汽车行驶轨迹图

$$\varphi = \omega t (\text{rad}) \quad (1-0-2-22)$$

式中 k ——系数, 小于 1;

φ ——转向盘的转动角度 rad ;

t ——行驶时间 s ;

ω ——转向盘转动的角速度 rad/s 。

由式(1-0-2-21)及式(1-0-2-22)得

$$\begin{aligned} \Phi &= k\omega t \\ \rho &= \frac{d}{\tan\varphi} \end{aligned} \quad (1-0-2-23)$$

因为 d 很小, d 所对应的圆心角很小, 所以

$$\tan\varphi \approx \varphi$$

则

$$\rho = \frac{d}{\varphi} = \frac{d}{k\omega t} = \frac{d}{k\omega} \frac{v}{s}$$

即

$$s = \frac{d}{k\omega} \frac{v}{\rho} = \frac{1}{\rho} \frac{d}{k\omega} v$$

因 d 、 ω 、 k 均为常数, 可令

$$\frac{d}{k\omega} v = A^2$$

则得

$$s = \frac{A^2}{\rho} \quad (1-0-2-24)$$

式中 s ——汽车从曲线起点行驶至所求点之距离 m ;

A ——参数;

ρ ——曲线上所求点处的曲率半径 m 。

式(1-0-2-24)为汽车转弯时的理论轨迹方程, 从中可以得出两个结论: 一是该曲线上任一点的曲率半径与该点至曲线起点距离成反比, 它符合于汽车在道路上的行驶轨迹; 二是参数 A 对某一曲线来说, 是一个常数, 但就整个公路线形而言, 其实质为一个放大倍数, 它适应于不同的情况。因此, 可建立一个数学模型, 即以回旋线作为公路上由直线进行圆曲线的缓和曲线, 是合理的。

3. 回旋线基本方程

从回旋线的数学定义可知, 其曲率半径 ρ 随曲线上某一点至该曲线起点之距离成反比 (即回旋线为曲率半径 ρ 随曲线长度增长而减小的曲线), 见图 1-0-2-5。即

$$\rho = \frac{C}{s} \quad (1-0-2-25)$$

式中 C ——曲率与曲线长度的比例常数;

其余符号意义同前。

因 C 为常数, 可令 $C = A^2$

则

$$s = \frac{A^2}{\rho}$$

式中符号意义同前。

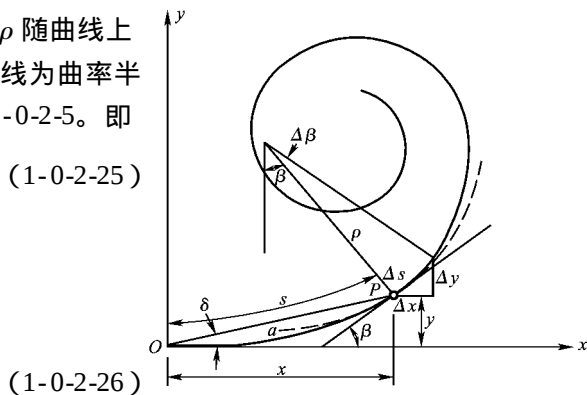


图 1-0-2-5 回旋线

式(1-0-2-26)即为回旋线的基本方程,它与式(1-0-2-24)中汽车转弯时的理论行驶轨迹完全吻合,即用回旋线作为缓和曲线的数学模型,有充分的理论依据。

$$\begin{aligned} \text{令} \quad s &= l_h \\ \rho &= R \end{aligned}$$

则由式(1-0-2-26)得

$$l_h = \frac{A^2}{R} \quad (1-0-2-27)$$

4. 缓和曲线最小长度

由于汽车要在缓和曲线上完成不同曲率的过渡行驶,所以要求有足够的缓和曲线长度,以保证驾驶员操纵转向盘所需的时间及满足设置超高与加宽过渡的要求。

1) 根据离心加速度变化率

为了保证乘客乘车的舒适性,就需控制离心力的变化率。

在缓和曲线起点处

$$\rho = \infty, a_1 = 0$$

在缓和曲线终点处

$$\rho = R, a_2 = \frac{v^2}{\rho} = a_{\max}$$

如果汽车从缓和曲线起点行驶到终点的行程时间为 t , 则

$$T = \frac{l_h}{v}$$

离心加速度平均增长率为:

$$\begin{aligned} a_s &= \frac{\Delta a}{t} = \frac{a_2 - a_1}{t} = \frac{a_{\max}}{t} = \frac{v^3}{l_h R} \\ &= \frac{v^3}{47 l_h R} \end{aligned}$$

则

$$l_h \geq \frac{v^3}{47 R a_s} \quad (1-0-2-28)$$

式中 v ——计算行车速度 km/h ;

R ——圆曲线半径 m ;

Δa ——离心加速度的变化率 m/s^3 ;

t ——汽车在曲线上行驶的时间 s ;一般取用 $t = 3\text{s}$ 。

确定缓和曲线的最小长度,我国公路设计时采用 $a_s \leq 0.6$, 则

$$l_h \geq 0.035 \frac{v^3}{R} \quad (1-0-2-29)$$

2) 依驾驶员操纵转向盘反应时间

试验表明,驾驶员在缓和曲线上操纵转向盘的最合适时间为 $t = 3 \sim 5\text{s}$,我国采用 $t = 3\text{s}$, 所以缓和曲线最小长度为:

$$l_h = vt = \frac{v}{3.6} t = \frac{v}{1.2} \quad (1-0-2-30)$$

式中 v ——计算行车速度 km/h。

上式表明,最短的缓和曲线与半径的大小无关,即使平曲线半径较大,当汽车高速行驶时,也应有个转变过程,因而式(1-0-2-30)是高等级公路设置缓和曲线的校核式。

3) 根据超高附加纵坡不宜过陡来确定缓和曲线最小长度

超高附加纵坡(即超高渐变率)是指缓和曲线上设置超高缓和段后,因路基外侧由双向横坡逐渐变成单向超高横坡后,所产生的附加纵坡,当附加纵坡过小时,不利于排水;当附加纵坡过大时,路容不美观。

为了保证适中的超高渐变率,就需确定合适的缓和曲线长度。由超高缓和段长度计算公式知

$$l_c = \frac{h_c}{p}$$

即

$$l_h \geq \frac{h_c}{p} \quad (1-0-2-31)$$

式中 l_c ——超高缓和段长度 m;

l_h ——缓和曲线长度 m;

h_c ——路基外侧的全超高断面处的全超高值 m;

p ——超高渐变率。

4) 从视觉上要求计算缓和曲线最小长度

根据视觉的要求,缓和曲线的起点和终点的切线角 β_1 和 β_2 最好在 $3^\circ \sim 29^\circ$ 之间,任意一点的切线角阶于 β_1 和 β_2 之间。这样可获得良好的视觉效果。由图 1-0-2-6 及式(1-0-2-36)可知

$$\beta = \frac{l_h}{2R}$$

而

$$R = \frac{A^2}{l_h}$$

则

$$\beta = \frac{l_h^2}{2A^2} \quad (1-0-2-32)$$

将 $\beta_1 = 3^\circ$ 及 $\beta_2 = 29^\circ$ 代入上式,得

$$\frac{\beta}{3} \leq A \leq R \quad (1-0-2-33)$$

或

$$s_1 \leq l_h \leq s_2 \quad (1-0-2-34)$$

按上述 4 点要求,计算缓和曲线长度公式与行车速度关系最大,与半径的关系则有差异,其中第 2、3 两点与半径无关,第 1、4 点则算得结果相反。为此,我国《标准》规定按行车速度来求缓和曲线最小长度,同时考虑了行车时间和附加纵坡的要求,因此在相同计算行车速度的公路上,不论曲线半径大小如何,都可取同一个缓和曲线长度。各级公路最短缓和曲线长度见表 1-0-2-9。

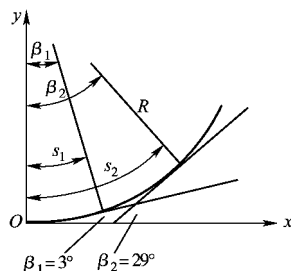


图 1-0-2-6 按视觉要求的回旋线长度范围

各级公路缓和曲线最小长度

表 1-0-2-9

设计速度(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
最小长度(m)	100	85	70	60	40	30	20

注 四级公路为超高加宽缓和段长度。

5. 直角坐标及要素计算

1) 回旋线切线角

(1) 缓和曲线上任意点的切线角 β_x

缓和曲线的切线角,是指缓和曲线上任一点的切线与该缓和曲线起点的切线所成夹角。如图 1-0-2-7 所示,在缓和曲线上任意一点 P,取一微分弧段 ds,则

$$d\beta_x = \frac{ds}{\rho}$$

$$\beta_x = \int d\beta_x = \int \frac{ds}{\rho}$$

将 $\rho = \frac{A^2}{s}$ 代入并积分得

$$\beta_x = \frac{s ds}{A^2} = \frac{s^2}{2A^2} = \frac{s^2}{2Rl_h} \quad (1-0-2-35)$$

(2) 缓和曲线的总切线角 β_h

在 l_h 终点处 $s = l_h$, $\rho = R$,代入式(1-0-2-23),则得

$$\beta_h = \frac{l_h}{2R} \frac{180}{\pi} \quad (1-0-2-36)$$

2) 缓和曲线直角坐标

在图 1-0-2-7 中,设缓和曲线所在直角坐标系 xOy, O 为原点,任意一点 P 处取一微分弧段 ds,其所对应的中心角为 $d\beta_x$,则

$$\begin{cases} dx = ds \cdot \cos\beta_x \\ dy = ds \cdot \sin\beta_x \end{cases} \quad (1-0-2-37)$$

将 $\sin\beta_x$ 及 $\cos\beta_x$ 用函数幂级数展开可得:

$$\begin{cases} dx = ds \left(1 - \frac{\beta_x^2}{2!} + \frac{\beta_x^4}{4!} - \frac{\beta_x^6}{6!} + \dots \right) \\ dy = ds \left(\beta_x - \frac{\beta_x^3}{3!} + \frac{\beta_x^5}{5!} - \frac{\beta_x^7}{7!} + \dots \right) \end{cases} \quad (1-0-2-38)$$

积分后略去高次项并化简得

$$\begin{cases} y = \frac{s^3}{6Rl_h} - \frac{s^7}{336R^3l_h^3} \\ x = s - \frac{s^5}{40R^3l_h^2} \end{cases} \quad (1-0-2-39)$$

当 $s = l_h$ 时,则缓和曲线终点的坐标为

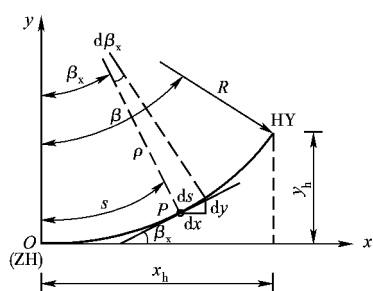


图 1-0-2-7

$$y_h = \frac{l_h^2}{6R} - \frac{l_h^4}{336R^3}$$

$$x_h = l_h - \frac{l_h^3}{40R^2} \quad (1-0-2-40)$$

3) 缓和曲线常数

为了能在直线与圆曲线之间插入缓和曲线, 必须将原有圆曲线向内移动一定的距离 p 。圆曲线的向内移动有两种方法: 一种是圆心不变, 使圆曲线半径减小, 从而使圆曲线向内移动; 另一种是半径不变, 而圆心沿分角线方向内移, 使圆曲线向内移动。由于后者是不平行移动, 圆曲线上的各点的内移值不相等, 测设工作麻烦, 因此采用第一种方法。

采用圆心不动的平行移动方法, 可以假设平曲线在未设置缓和曲线时的圆曲线半径为 $R+p$, 而该平曲线要插入缓和曲线, 就需向内移动距离 p 后, 圆曲线半径正好减小一个 p 值, 即为 R (图 1-0-2-8)。

(1) 主曲线的内移值 p 及切线增长值 q

由图 1-0-2-8 可知:

(2) 起、终点的切线交点距起、终点之距 T_d 及 T_k

由图 1-0-2-9 可知:

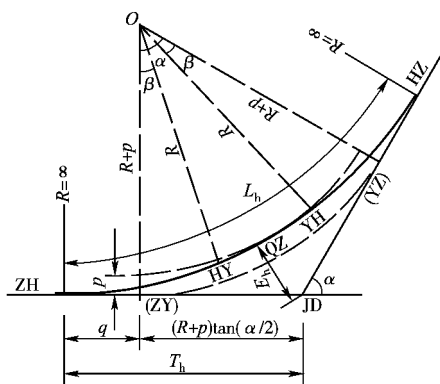


图 1-0-2-8

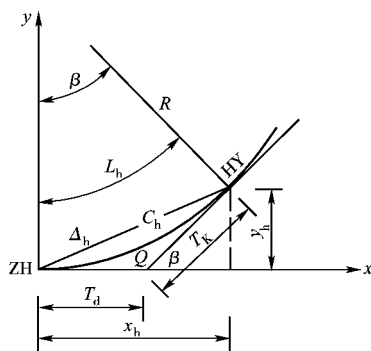


图 1-0-2-9

$$p = x_h + R \cos \beta_h - R$$

$$= x_h - R(1 - \cos \beta_h)$$

$$q = x_h - R \sin \beta_h$$

将 $\sin \beta_x$ 及 $\cos \beta_x$ 用函数幂级数展开可得:

$$p = \frac{l_h^2}{24R} \quad (1-0-2-41)$$

$$q = \frac{l_h}{2} - \frac{l_h^3}{240R^2} \quad (1-0-2-42)$$

$$T_d = x_h - y_h \operatorname{Ctan} \beta$$

$$T_k = y_h \operatorname{csc} \beta_h$$

同理将 $\operatorname{Ctan} \beta$ 、 $\operatorname{csc} \beta$ 级数展开并化简得:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_d = \frac{2}{3}l_h + \frac{11l_h^2}{360R^2} \\ T_k = \frac{1}{3}l_h + \frac{l_h^3}{126R^2} \end{array} \right. \quad (1-0-2-43)$$

(3) 缓和曲线的总偏角及总弦长

由图 1-0-2-9 可知,缓和曲线的弦长为 C_h (又称动径),该弦与横轴之夹角即总偏角 Δ_h 。因为 Δ_h 很小 $\sin\Delta_h \approx \tan\Delta_h \approx \Delta_h$ 。

则 $\Delta_h \approx \tan \Delta_h = \frac{x_h}{y_h} \approx \frac{y_h}{l_h}$

因 $y_h \approx \frac{l_h^2}{6R}$ (取公式的前一项)

$$\text{又} \quad \beta_h = \frac{l_h}{2R}$$

$$\Delta_h = \frac{l_h^2/6R}{l_h} = \frac{l_h}{6R} = \frac{\beta_h}{3} \quad (1-0-2-44)$$

同理,由图 1-0-2-6 知 $C_h = x_h \sec \Delta_h$ (1-0-2-45)

将 $\sec \Delta_b$ 用级数展开得

$$\sec \Delta_h \approx 1 + \frac{\Delta_h^2}{2} \text{ (取级数的前二项)}$$

将上式代入式(1-0-2-45)并简化得

$$C_h = l_h - \frac{l_h^3}{90R^2} \quad (1-0-2-46)$$

4)缓和曲线要素计算

《标准》规定,当平曲线半径小于不设超高的最小半径时,必须在直线和圆曲线间插入缓和曲线。缓和曲线长度应视圆曲线半径及线形需要按表 1-0-2-6 取值。

缓和曲线设置在直线与圆曲线间,起点处与直线相切,终点与圆曲线相切。如前所述,为便于插入缓和曲线,必须使圆曲线向内移动一距离 p ,如图 1-0-2-10 所示。

总切线长度

$$T_h = T + p = (R + p) \tan \frac{\alpha}{2} + q \quad (1-0-2-47)$$

设缓和曲线后为外距

$$E_h = E + p = (R + p) \sec \frac{\alpha}{2} - R$$

(1-0-2-48)

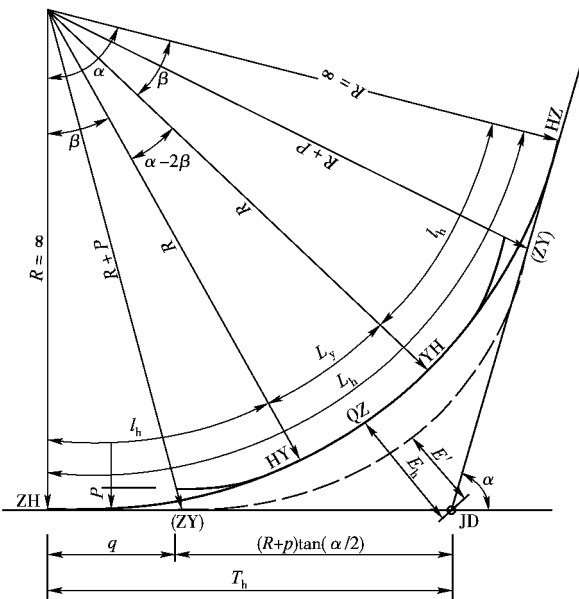


图 1-0-2-10

总平曲线长

$$L_h = \frac{\pi}{180} R(\alpha - 2\beta) + 2l_h = \frac{\pi}{180} \alpha R + l_h \quad (1-0-2-49)$$

主圆曲线长度

$$L_y = L_h - 2l_h \quad (1-0-2-50)$$

总外距

$$D_h = 2T_h - L_h \quad (1-0-2-51)$$

在平曲线中设置了缓和曲线后,整个平曲线有 5 个基本桩,即

ZH——第一段缓和曲线的起点(直缓点);

HY——第一段缓和曲线的终点(缓圆点);

QZ——平曲线的中点(曲中点);

YH——第二段缓和曲线的终点(圆缓点);

HZ——第二段缓和曲线的起点(缓直点)。

【例 1】某二级公路设计速度为 80km/h,今有一弯道,其平曲线半径 $R = 260\text{m}$,交点 JD 桩号为 $K16 + 721.26$,其交点偏角为 $\alpha = 29^\circ 23' 24''$,试计算该曲线上设置缓和曲线后的 5 个基本桩号。

【解】1. 确定缓和曲线长度

由题意可知,因为设计速度 $v = 80\text{km/h}$,则

$$l_h \geq 0.035 \frac{v^3}{R} = 0.035 \frac{80^3}{260} = 68.92(\text{m})$$

$$l_h \geq \frac{v}{1.2} = \frac{80}{1.2} = 66.67(\text{m})$$

《标准》规定, $v = 80\text{km/h}$ 时,查表 1-0-2-9 得最小缓和曲线长度为 70m。取该缓和曲线长度 $l_h = 70\text{m}$ 。

2. 计算缓和曲线常数

$$p = \frac{l_h^2}{24R} = \frac{70^2}{24 \times 260} = 0.78(\text{m})$$

$$\beta = \frac{l_h}{2R} \times \frac{180}{2\pi} = \frac{70 \times 180}{2 \times 260 \times \pi} = 7^\circ 42' 46''$$

$$x_h = l_h - \frac{l_h^3}{40R^2} = 70 - \frac{70^3}{40 \times 260^2} = 69.87(\text{m})$$

$$y_h = \frac{l_h^2}{6R} - \frac{l_h^4}{336R^3} = \frac{70^2}{6 \times 260} - \frac{70^4}{336 \times 260^3} = 3.14(\text{m})$$

3. 判断能否设置缓和曲线,即 $a > 2\beta$ 是否成立

$$2\beta = 2 \times 7^\circ 42' 46'' = 15^\circ 25' 32'' < \alpha = 29^\circ 23' 24'' \text{ (符合要求)}$$

4. 平曲线要素计算

总切线长:

$$q = \frac{l_h}{2} - \frac{l_h^3}{240R^2} = \frac{35}{2} - \frac{70^3}{240 \times 260^2} = 34.98(\text{m})$$

$$T_h = (R + p) \tan \frac{\alpha}{2} + q = (260 + 0.78) \tan \frac{29^\circ 23' 24''}{2} + 34.98 = 103.37(\text{m})$$

总曲线长度：

$$L_h = \alpha R \frac{\pi}{180} + l_h = 29^\circ 23' 24'' \times 260 \times \frac{\pi}{180} + 70 = 203.36(\text{m})$$

外距：

$$E_h = (R + p) \sec \frac{\alpha}{2} - R = (260 + 0.78) \sec \frac{29^\circ 23' 24''}{2} - 260 = 29.30(\text{m})$$

主圆曲线长度：

$$L_y = L_h - 2l_h = 203.36 - 140 = 63.36(\text{m})$$

曲切差：

$$D_h = 2T_h - L_h = 2 \times 103.37 - 203.36 = 3.38(\text{m})$$

5. 基本桩桩号计算

JD	K16 + 721.26
-) T_h	103.37
ZH	+ 617.89
+ l_h	70.00
HY	+ 687.89
+) L_y	63.36
YH	+ 751.25
+ l_h	70.00
HZ	+ 821.25
-) $L_h/2$	101.68
QZ	+ 719.57
+ $D_{h/2}$	1.69
JD	K16 + 721.26(计算正确)

6. 实地敷设步骤

- (1) 在 JD 处沿两切线方向分别量取 103.37m 得平曲线起点(ZH)终点(HZ)的位置；
- (2) 在 JD 沿分角线方向量取 39.30m 平曲线终点(QZ)位置；
- (3) 分别以 HZ(或 ZH)为坐标原点,沿切线方向分别以 X_h 和 Y_h 用切线支距法定出 YH

(或 HY)的位置。

二、超高缓和段

1. 超高缓和段的过渡形式

从直线上的路拱双向坡断面,过渡到圆曲线上具有超高横坡度的单向坡断面,要有一个逐渐变化的区段,这一变化段称为超高缓和段。如图 1-0-2-11 所示,超高缓和段的形成过程,可根据不同的旋转基线可有两种情况(无中间带和有中间带公路)共 6 种形式。

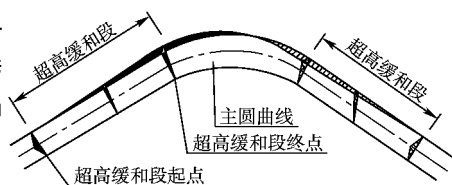


图 1-0-2-11 曲线上的超高

1) 无中央分隔带公路

(1) 绕路面未加宽时的内侧边缘旋转,简称内边轴旋转,如图 1-0-2-12a)所示;

(2) 绕路面中心线旋转,简称中轴旋转,如图 1-0-2-12b)所示;

(3) 绕路面外侧边缘旋转,简称外边轴旋转,如图 1-0-2-12c)所示。

2) 有中央分隔带的公路

(1) 绕中央分隔带两侧边缘分别旋转,如图 1-0-2-12d)所示;

(2) 绕中央分隔带中心旋转,如图 1-0-2-12e)所示;

(3) 绕各自的行车道中心旋转,如图 1-0-2-12f)所示。

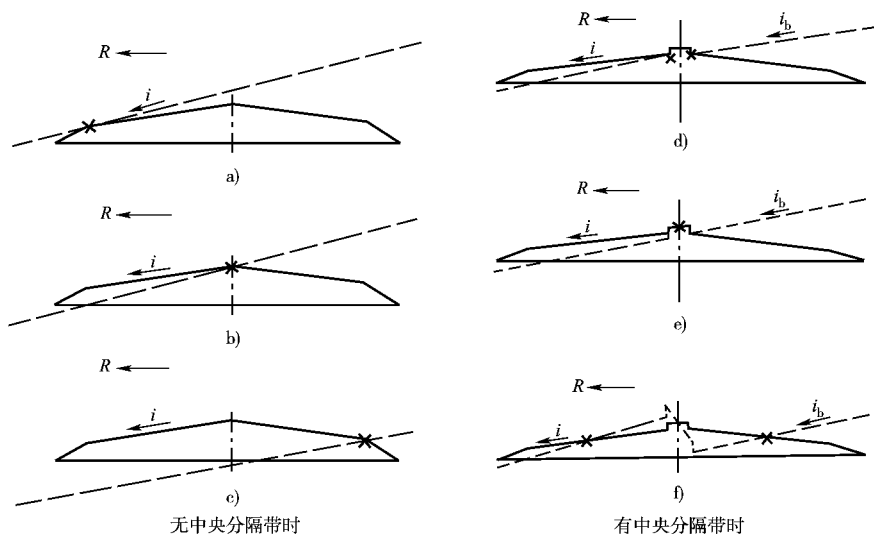


图 1-0-2-12

2. 超高缓和段的构成

在超高缓和段中,由双向坡逐渐向超高横坡过渡时,其逐步变化的过渡方式也不同,即超高缓和段的构成也不同。

1) 无中央分隔带的公路

(1) 绕内边轴旋转

绕内边轴旋转(图 1-0-2-13)是将路面未加宽时的内侧边缘线保留在原来位置不动。这种旋转形式首先在超高缓和段以前,将两侧路肩的横坡度 i_0 分别同时绕外侧路面未加宽时的边缘线旋转,使 i_0 逐渐变为路面的双向横坡度 i_1 ,这一段旋转过程的长度为 L_0 ,一般取 $1 \sim 2\text{m}$,但不计入超高缓和段长度内(因为路面尚未旋转),这时内外侧的路肩与路面都为双向横坡度 i_1 。然后将外侧路面(连同外侧路肩)的 i_1 绕中轴旋转同时向前推进,直至使外侧 i_1 逐渐变为内侧路面的 i_1 ,这时外侧的路面和路肩均与内侧路面的 i_1 相同,成为 i_1 的单向横坡度,在这旋转阶段中,所需长度为 L_1 。最后将内外侧的路面和路肩的单向横坡度 i_1 整体绕路面未加宽时的内侧边缘线旋转同时向前推进,直至使单向横坡度 i_1 逐渐变为全超高横坡度 i_b 为止,在这旋转阶段中,所需长度为 L_2 。所以绕内边轴旋转的超高缓和段全长 $L_c = L_1 + L_2$ 。

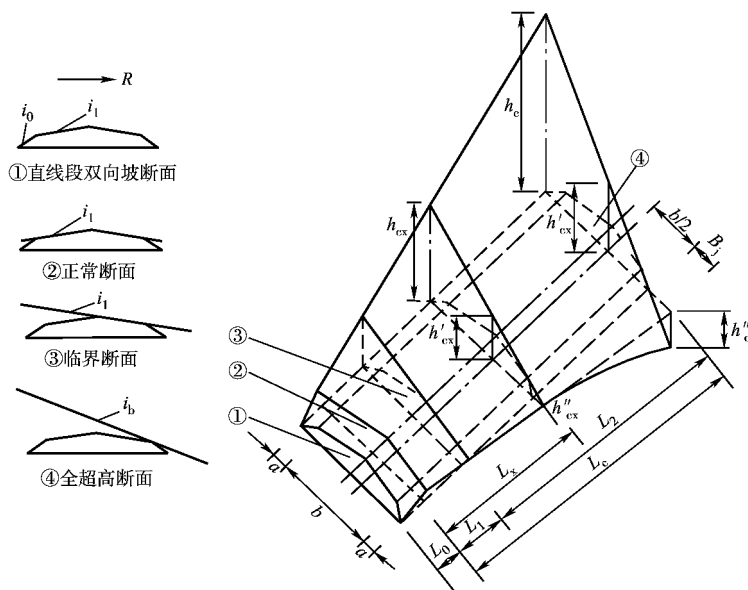


图 1-0-2-13 绕内边轴旋转的超高过渡方式

(2) 绕中轴旋转

绕中轴旋转(图 1-0-2-14)是将路面未加宽时的内侧边缘线保留在原来位置不动。这种旋转形式首先在超高缓和侧面以前,将两侧路肩的横坡度 i_0 分别同时绕外侧路面未加宽时的边缘线旋转,使 i_0 逐渐变为路面的双向横坡度 i_1 ,这一段旋转过程的长度为 L_0 ,一般取 $1 \sim 2\text{m}$,但不计入超高缓和段长度内(因为路面尚未旋转),这时内外侧的路肩与路面都为双向横坡度 i_1 。然后将外侧路面(连同外侧路肩)的 i_1 绕中轴旋转同时向前推进,直至使外侧 i_1 逐渐变为内侧路面的 i_1 ,这时外侧的路面和路肩均与内侧路面的 i_1 相同,成为 i_1 的单向横坡度,在这旋转阶段中,所需长度为 L_1 。最后将内外侧的路面和路肩的单向横坡度 i_1 整体绕路面中轴旋转同时向前推进,直至使单向横坡度 i_1 逐渐变为全超高横坡度 i_b 为止,在这旋转阶段中,所需长度为 L_2 。所以绕内边轴旋转的超高缓和段全长 $L_c = L_1 + L_2$ 。

(3) 绕外边轴旋转

绕外边轴旋转(图 1-0-2-15)是将路面未加宽时的内侧边缘线保留在原来位置不动。这种旋转形式首先在超高缓和段以前,将两侧路肩的横坡度 i_0 分别同时绕外侧路面未加宽时的

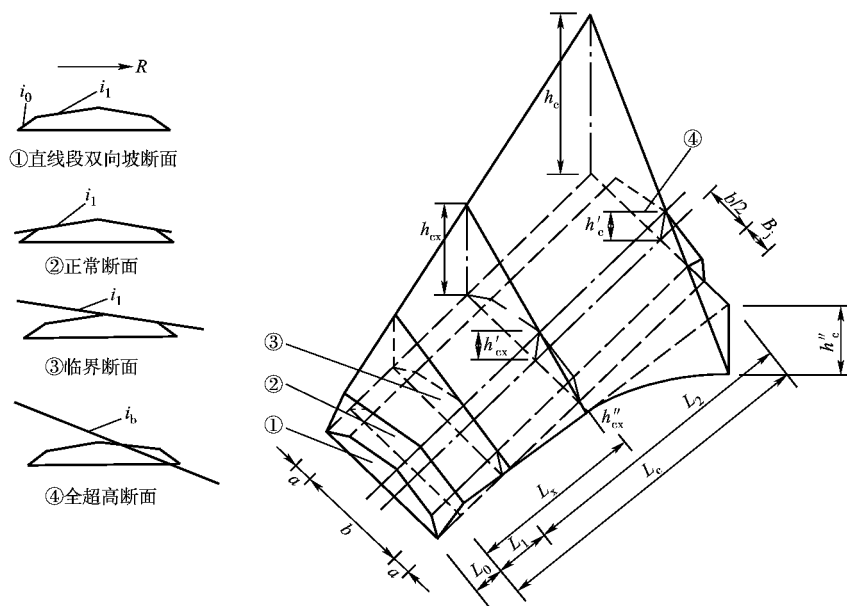


图 1-0-2-14 绕中轴旋转的超高缓和段过渡

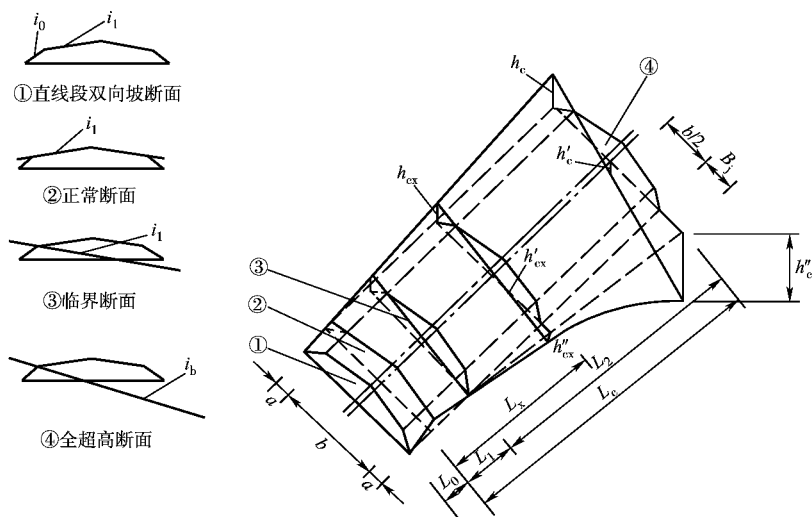


图 1-0-2-15 无中间带且绕外边轴旋转的超过渡

边缘线旋转,使 i_0 逐渐变为路面的双向横坡度 i_1 , 这一段旋转过程的长度为 L_0 , 一般取 $1 \sim 2\text{m}$, 但不计入超高缓和段长度内(因为路面尚未旋转), 这时内外侧的路肩与路面都均为双向横坡度 i_1 。然后将外侧路面(连同外侧路肩)的 i_1 绕未加宽时的路面外侧边缘旋转同时向前推进, 在此同时, 在侧车道和路肩随中心线的降低而相应降坡, 使外侧路面和路肩的 i_1 逐渐变成同内侧路面和同肩的单向坡 i_1 , 成为 i_1 的单向横坡度, 在这旋转阶段中, 所需长度为 L_1 。最后将内外侧的路面和路肩的单向横坡度 i_1 整体绕路面未加宽时的外侧边缘线旋转同时向前推进, 直至使单向横坡度 i_1 逐渐变为全超高横坡度 i_b 为止, 在这旋转阶段中, 所需长度为 L_2 。所以

绕内边轴旋转的超高缓和段全长 $L_c = L_1 + L_2$ 。

2) 有中央分隔带的公路

(1) 绕中央分隔带中心旋转

绕中央分隔带中心线旋转(图 1-0-2-12d)是将路面未加宽时的内侧边缘线保留在原来位置不动。这种旋转形式首先在超高缓和侧面以前,将两侧路肩的横坡度 i_0 分别同时绕外侧路面未加宽时的边缘线旋转,使 i_0 逐渐变为路面的双向横坡度 i_1 ,这一段旋转过程的长度为 L_0 ,一般取 $1 \sim 2\text{m}$,但不计入超高缓和段长度内(因为路面尚未旋转),这时内外侧的路肩与路面都均为双向横坡度 i_1 。然后将外侧路面(连同外侧路肩)的 i_1 绕外侧车道的中央分隔带中心线旋转同时向前推进,直至使外侧 i_1 逐渐变为内侧路面的 i_1 ,这时外侧的路面和路肩均与内侧路面的 i_1 相同,成为 i_1 的单向横坡度,在这旋转阶段中,所需长度为 L_1 。最后将内外侧路肩和整个路面绕中央分隔带中心旋转并同时向前推进,直至使单向横坡度 i_1 逐渐变为全超高横坡度 i_b 为止,在这旋转阶段中,所需长度为 L_2 。所以绕内边轴旋转的超高缓和段全长 $L_c = L_1 + L_2$ 。

(2) 绕中央分隔带边缘旋转

绕中央分隔带边缘旋转(图 1-0-2-12e)是将路面未加宽时的内侧边缘线保留在原来位置不动。这种旋转形式首先在超高缓和侧面以前,将两侧路肩的横坡度 i_0 分别同时绕外侧路面未加宽时的边缘线旋转,使 i_0 逐渐变为路面的双向横坡度 i_1 ,这一段旋转过程的长度为 L_0 ,一般取 $1 \sim 2\text{m}$,但不计入超高缓和段长度内(因为路面尚未旋转),这时内外侧的路肩与路面都均为双向横坡度 i_1 。然后将两侧路面(连同两侧路肩)的 i_1 绕中央分隔带各自的边缘线分别作同方向旋转同时向前推进,使分隔带两侧的路面和路肩逐渐超高,直至成为两个独立的单向超高横坡度 i_b ,所需长度为 L_1 。这时中央分隔带仍保持水平状态,缓和段全长为 $L_c = L_1$ 。

(3) 绕各自行车道中心旋转

绕各自行车道中心旋转(图 1-0-2-12f)是将超高前中央分隔带两边的行车道中心保留在原来位置不动。这种旋转形式首先将公路两侧的路肩横坡度将两侧路肩的横坡度 i_0 分别同时绕外侧路面未加宽时的边缘线旋转,使 i_0 逐渐变为路面的双向横坡度 i_1 ,这一段旋转过程的长度为 L_0 ,一般取 $1 \sim 2\text{m}$,但不计入超高缓和段长度内。然后将中央分隔带两侧的路面和路肩的 i_1 分别绕各自的行车道中心线旋转,使两边的行车道分别逐渐超高,直至使两边的行车道分别成为全超高单向横坡度 i_b 为止。所需长度为 L_1 ,此时中央分隔带因两边分别升高或降低而成为倾斜状。缓和曲线全长为 $L_c = L_1$ 。

3. 全超高断面全超高值的计算

为便于道路的施工放样,在设计中一般要计算出路基的左、中、右实际标高,或实际标高与设计标高的差值,这一差值即为“超高值”。在全超高断面上为“全超高值”。超高值的计算与超高方式有关。这里,仅介绍无中间带时绕内边轴旋转的全超高值计算。

(1) 绕内边轴旋转如图 1-0-2-16 所示。

路基左、中、右经超高后,其 3 个超高值 h_c 、 h'_c 、 h''_c 可按式(1-0-2-42)计算。

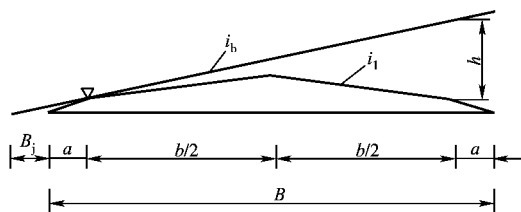


图 1-0-2-16 绕内边轴旋转的全超高断面

$$\left. \begin{aligned} h_c &= ai_0 + (a + b)i_b \\ h'_c &= ai_0 + \frac{b}{2}i_b \\ h''_c &= ai_0 - (a + B_j)i_b \end{aligned} \right\} \quad (1-0-2-52)$$

式中 a ——土路肩宽度 m ；

i_0 ——土路肩横坡度 $\%$ ；

b ——路面宽度 m ；

i_1 ——路拱坡度，它与路面类型有关，参见横断面设计；

B_j ——圆曲线部分的全加宽值，见表 1-0-2-8。

(2)绕中轴旋转如图 1-0-2-17 所示。

路基左、中、右经超高后，其 3 个超高值 h_c 、 h'_c 、 h''_c 可按式(1-0-2-53)计算。

$$\left. \begin{aligned} h_c &= ai_0 + \frac{b}{2}i_1 + \left(a + \frac{b}{2}\right)i_b \\ h'_c &= ai_0 + \frac{b}{2}i_1 \\ h''_c &= ai_0 + \frac{b}{2}i_1 - \left(a + \frac{b}{2} + B_j\right)i_b \end{aligned} \right\}$$

(1-0-2-53)

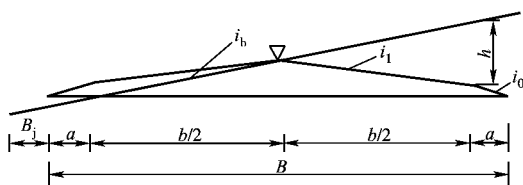


图 1-0-2-17 绕中轴旋转的超高

4. 超高缓和段长度

为了满足行车舒适、路容美观及排水的要求，超高缓和段必须有一定的长度。超高缓和段长度的确定一般以“超高渐变率”来控制。所谓超高渐变率，是指在超高缓和段上由于路基抬高，外侧路缘纵坡较原来设计纵坡增加了一个附加纵坡。超高渐变率过大，会使行车不舒适，路容不美观；但过小，则易在路面内侧积水。我国《规范》规定的超高渐变率见表 1-0-2-10 所示。

超高渐变率

表 1-0-2-10

设计速度(km/h)	超高旋转轴位置		设计速度(km/h)	超高旋转轴位置	
	中轴	边轴		中轴	边轴
120	1/250	1/200	40	1/150	1/100
100	1/225	1/175	30	1/125	1/75
80	1/200	1/150	20	1/100	1/50
60	1/175	1/125			

1)绕内边轴旋转的超高缓和段长度计算

由图 1-0-2-18 可知，路面外缘最大抬高值为：

$$h = bi_b$$

则

$$L_c = \frac{h}{p} = \frac{b}{p}i_b \quad (1-0-2-54)$$

式中符号意义同前。

2) 绕中轴旋转的超高缓和段长度计算

从图 1-0-2-19 可知,路面外缘最大抬高值为:

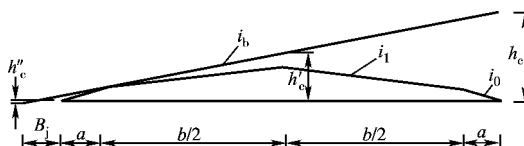


图 1-0-2-18 内边轴旋转时

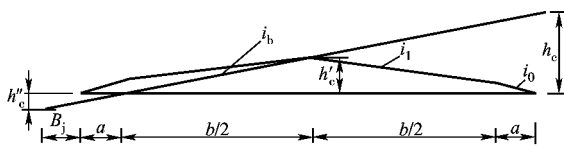


图 1-0-2-19 中轴旋转时

$$h = \frac{b}{2}i_1 + \frac{b}{2}i_b = \frac{b}{2}(i_1 + i_b)$$

则

$$L_c = \frac{h}{p} = \frac{b}{2} \times \frac{i_1 + i_b}{p} \quad (1-0-2-55)$$

式中符号意义同前。

由式(1-0-2-54)及式(1-0-2-55)进行归纳得出一般式为:

$$L_c = \frac{b'}{p} \times \Delta i \quad (1-0-2-56)$$

式中 b' ——超高旋转轴至路面外侧边缘之间的距离, m;

Δi ——超高旋转轴外侧的最大超高横坡度与原路面横坡度的代数差;

p ——超高渐变率, m/m, 参照表 1-0-2-10;

L_c ——内边轴旋转或中轴旋转时的超高缓和段长度, m, 由上式计算的超高缓和段长度取 5m 的整数倍, 并不小于 20m 的长度值。

【例 2】某三级公路设计速度为 $v=30\text{km/h}$, 有一半径 $R=125\text{m}$ 的弯道, 求超高为绕内边轴旋转的缓和段长度。

【解】由 $v=30\text{km/h}$, $b=6\text{m}$, $R=125\text{m}$, 查表 1-0-2-6 可得 $i_b=4\%$, 查表 1-0-2-10 可得 $p=1/75$, 则

$$L_c = \frac{b}{p}i_b = \frac{6}{1/75} \times 3\% = 18\text{m} \approx 20\text{m}$$

5. 超高缓和段上超高值的计算

通过对超高缓和段的构成分析及缓和段长度的确定, 下面进一步分析超高缓和段上任意断面的超高值计算。此处仅介绍以无中间带的内边轴旋转及中轴旋转超高的超高值计算。

1) 绕内边轴旋转

(1) 在临界断面之前 $0 \leq x \leq L_1$,

这里

$$L_1 = \frac{i_1}{i_b} \times L_c \quad (1-0-2-57)$$

式中 i_1 ——路拱横坡度, %;

i_b ——超高横坡度, %;

L_c ——超高缓和段长度, m。

由图 1-0-2-20 并经整理得

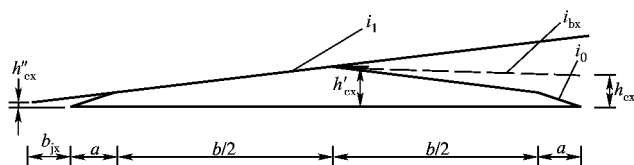


图 1-0-2-20 在临界断面之前的超高断面

$$h_{cx} = a(i_0 - i_1) + [ai_1 + (a + b)i_b] \frac{x}{L_c} \approx \frac{x}{L_c} \times h_c \quad (1-0-2-58)$$

$$h'_{cx} = ai_0 + \frac{b}{2}i_1 \quad (1-0-2-59)$$

$$h''_{cx} = ai_0 - (a + b_{jx})i_1 \quad (1-0-2-60)$$

式中 b_{jx} ——缓和段上加宽值 m $b_{jx} = \frac{x}{L_c} B_j$;

B_j ——圆曲线上全加宽值 m 按《标准》取用 ;

x ——缓和段上任一断面至缓和段起点之距离 m ;

其他符号意义同前。

(2)在临界断面之后 $L_1 \leq x \leq L_c$ 由图 1-0-2-13 和图 1-0-2-21 并经整理得 :

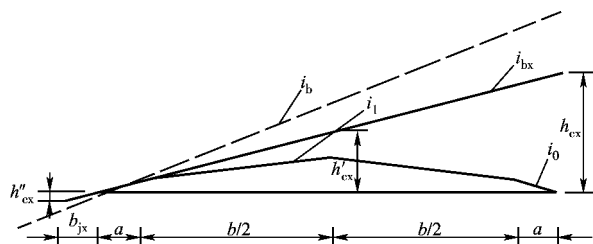


图 1-0-2-21 在临界断面之后的超高断面

$$h_{cx} = a(i_0 - i_1) + [ai_1 + (a + b)i_b] \frac{x}{L_c} \approx \frac{x}{L_c} \times h_c \quad (1-0-2-61)$$

$$h'_{cx} = ai_0 + \frac{b}{2}i_{bx} \quad (1-0-2-62)$$

$$h''_{cx} = ai_0 - (a + b_{jx})i_{bx} \quad (1-0-2-63)$$

式中 i_{bx} ——临界断面之后 在缓和段上任一断面的超高横坡度 可按 $i_{bx} = \frac{x}{L_c} i_b$ 计算 ;

其他符号意义同前。

2)绕中轴旋转

根据绕中轴旋转的过程 同理可以建立其相应的超高值计算公式如表 1-0-2-11。

绕中轴旋转的超高计算公式

表 1-0-2-11

超高值	计 算 公 式		备 注
	$0 \leq x \leq L_1$	$L_1 \leq x \leq L_c$	
h_{cx}	$h_{cx} = a(i_0 - i_1) + \left(a + \frac{b}{2}\right)(i_1 + i_b) \frac{x}{L_c}$ 或 $h_{cx} = \frac{x}{L_c} h_c$		各超高值均为未加宽超高前 路基边缘标高(设计标高) 其中： $L_1 = \frac{2i_1}{i_1 + i_b} L_c$ $b_{jx} = \frac{x}{L_c} B_j$ $i_{bx} = \frac{x}{L_c} (i_1 + i_b) - i_1$
h'_{cx}	$h'_{cx} = ai_0 + \frac{b}{2} i_1$		
h''_{cx}	$h''_{cx} = ai_0 - (a + b_{jx}) i_1$	$h''_{cx} = ai_0 + \frac{b}{2} i_1$ $- \left(a + \frac{b}{2} + b_{jx}\right) i_{bx}$	

三、加宽缓和段

1. 加宽缓和段长度计算

在平曲线上加宽时,应在圆曲线上全加宽。在主曲线的两端设置加宽缓和段,其长度一般与超高缓和段或缓和曲线长度相同;当圆曲线不设超高仅有加宽时,其长度不应小于 20m,但加宽缓和段长度和全加宽值的比例应按其加宽渐变率 1:15 计算,且取 5m 的整数倍。

2. 加宽值的计算

(1)对于二、三、四级公路设置加宽缓和段时,采用在加宽缓和段全长范围内按其长度成正比例增加的方法。即

$$b_{jx} = \frac{x}{L_j} B_j \quad (1-0-2-64)$$

式中 b_{jx} ——缓和段上加宽值, m;

x ——缓和段上任意点至缓和段起点之间的距离, m;

L_j ——加宽缓和段长度,可取缓和曲线长度或超高缓和段长度。

(2)高速、一级公路设置加宽缓和段时,应采用高次抛物线过渡,如图 1-0-2-22a)所示。任一点的加宽值可按下式计算:

$$b_{jx} = (4k^3 - 3k^4) B_j \quad (1-0-2-65)$$

式中 k ——加宽值参数 $k = \frac{x}{l_h}$;

l_h ——缓和曲线长度, m;

其他符号意义同前。

(3)在城郊路段、桥梁、高架桥、挡土墙、隧道等结构物及各种安全防护设施的地段,可插入缓和曲线过渡,如图 1-0-2-22b)。

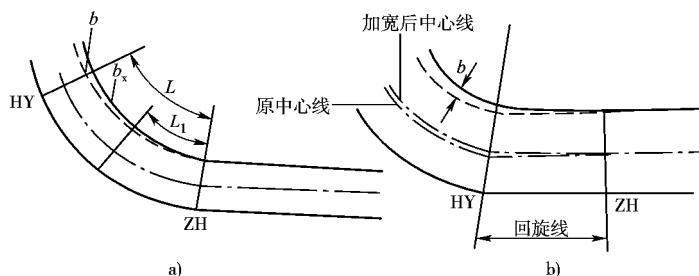


图 1-0-2-22

a)高次抛物线加宽形式 b)回旋线加宽形式

• 第四节 行车视距 •

为了保证行车安全,驾驶员应能看到前方一定距离内的公路路面,以便及时发现障碍物或对向来车,使汽车在一定的车速下及时制动或绕行,汽车在这段时间内沿路面所行驶的最短距离称为行车视距。行车视距将直接关系到汽车行驶的安全与行车速度,是公路主要技术指标之一。因此,无论在公路的平面上或纵断面上,都应保证必要的行车视距。在平面设计中,行车视距包括停车视距、会车视距和超车视距。

在双向混合的公路上,往往两辆对向行驶的车辆可能会相互碰撞,从双向采取措施进行制动直至停止时两辆汽车同时所行驶的距离为会车视距。根据计算,会车视距约为两倍的停车视距。

在双向行驶的道路上,若公路上的车辆相对比较密集时,后车会超越前车,从开始驶离原车道至可见逆行车并能超车后安全驶回原车道所需的安全距离,即为超车视距。在本章中,主要讲述的是平面视距,对于纵面视距,将在纵断面设计中讲述。

一、停车视距

汽车在单车道或有分隔带的多车道公路上行驶时,遇到障碍物或路面破坏处,驾驶员只有采取制动的方法,才能使汽车在障碍物前完全停车,以保证安全。因此,离路面 1.2m 高的驾驶员视线看到障碍物,从开始采取制动措施到完全停车,这一必须保证的最短视距,称为停车视距。停车视距由 3 部分组成,见图 1-0-2-23。

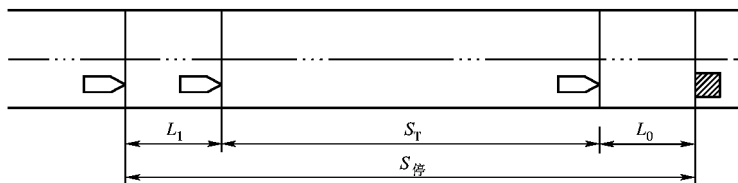


图 1-0-2-23 停车视距

$$S_{\text{停}} = L_1 + S_T + L_0$$

(1-0-2-66)

式中 $S_{\text{停}}$ ——汽车的停车视距, m;

L_1 ——汽车驾驶员的反应距离 m ;

S_T ——汽车的制动距离 m ;

L_0 ——安全距离 m 。

汽车驾驶员反应时间是从发现障碍物开始,经判断是否采取制动措施,到决定制动至制动开始生效所需的时间,称为反应时间。在这一反应时间内汽车所行驶的距离为反应距离。反应距离可按下式计算:

$$L_1 = \frac{v}{3.6}t \quad (1-0-2-67)$$

式中 L_1 ——反应距离 m ;

v ——计算行车速度 km/h ;

t ——反应时间,一般取 $1 \sim 2s$ 。

汽车从制动生效到汽车完全停止,这段时间内所行驶的距离为制动距离。制动距离的大小与汽车的制动性能、车速有关,同时,也与汽车的质量、驾驶员的技术高低等有关,因此,还需考虑汽车制动方面的使用系数。其计算公式为:

$$S_T = \frac{Kv^2}{254(\varphi \pm i)} \quad (1-0-2-68)$$

式中 S_T ——汽车的制动距离 m ;

v ——计算行车速度 km/h ;

φ ——纵向摩阻系数,查表 1-0-1-1;

i ——公路纵坡,以小数计;

K ——制动使用系数,一般取 $1.2 \sim 1.4$ 。

安全距离一般可取 $5 \sim 10m$,以保证汽车在障碍物前停车而不发生冲撞。

停车视距的计算公式为

$$S_{\text{停}} = \frac{v}{3.6}t + \frac{Kv^2}{254(\varphi \pm i)} + L_0 \quad (1-0-2-69)$$

式中符号意义同前。

高速公路、一级公路应满足停车视距的要求;其他各级公路一般应满足会车视距的要求,会车视距的长度不应小于停车视距的两倍。我国《标准》所采用的停车视距见表 1-0-2-12。

各级公路停车视距

表 1-0-2-12

设计速度(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
停车视距(m)	210	160	110	75	40	30	20

注 积雪冰冻路段的停车视距宜适当增长。

二、超车视距

在对向混合行驶的双车道公路,各种车辆的行驶速度不同,快速行驶的车辆追上慢速行驶的车辆并超车,需占用对向一定长度的车道。为保证车辆行驶的安全,驾驶员必须看见前面足够长度的车流空隙,以便顺利完成超车,并在超车过程中不影响被超车的行驶状态及其他车流,如图 1-0-2-24 所示。

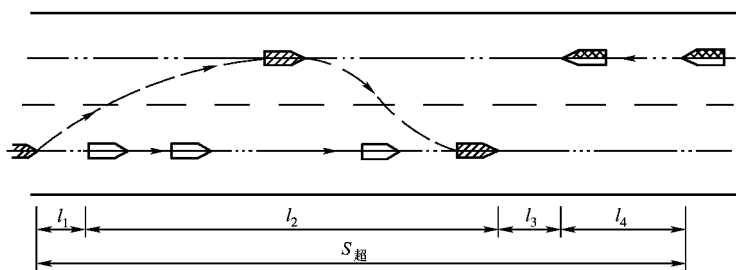


图 1-0-2-24 超车视距

超车视距由 4 部分组成：

$$S_{\text{超}} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 \quad (1-0-2-70)$$

式中 l_1 ——加速行驶距离,可按 $l_1 = \frac{v_0}{3.6}t_1 + \frac{1}{2}at_1^2$ 计算 m ;

v_0 ——被超汽车的速度 km/h ;

t_1 ——加速时间 s ;

a ——平均加速度 m/s^2 ;

l_2 ——超车车辆在对向车道行驶的距离 m ,可按 $l_2 = \frac{v}{3.6}t_2$ 计算;

v ——超车汽车的速度 km/h ;

t_2 ——对向车道行驶时间 s ;

l_3 ——超车完以后超车汽车与对向车之间的安全距离,一般取 $15 \sim 100\text{m}$;

l_4 ——超车汽车从开始超车至超车完成后对向汽车的行驶距离,按式 $l_4 = \frac{v}{3.6}(t_1 + t_2)$ 计算。

当地形困难时,超车视距也可按下式计算：

$$S_{\text{超}} = \frac{2}{3}l_2 + l_3 + l_4 \quad (1-0-2-71)$$

式中符号意义同前。

《规范》所规定的超车视距见表 1-0-2-13。

各级公路超车视距

表 1-0-2-13

设计速度 (km/h)	80	60	40	30	20
一般值 (m)	550	350	200	150	100
最小值 (m)	350	250	150	100	70

《规范》规定,二、三、四级公路除应符合停车视距的规定外,还应当在适当间隔内设置满足表 1-0-2-13 所列超车视距“一般值”的超车路段。当地形及其他原因不得已时,超车视距长度可适当缩短,最小不应小于表 1-0-2-13 所列“最小值”。二级公路宜在 $3 \sim 4\text{min}$ 的行驶时间内,提供一次满足超车视距要求的超车路段。一般情况下,不小于路线总长度的 20% 左右。

三、平面视距保证

当汽车在弯道上行驶时,弯道内侧树木、路堑边坡及建筑物等可能会阻挡行车视线。因

此,要保证汽车的平面视距,必须清除弯道内侧一定范围内的障碍物,如图 1-0-2-25 所示。

设汽车行驶轨迹线至驾驶员视线间的距离为 h ,障碍物线至行车轨迹线之间的距离为 h_0 ,
 s 为平面视距长度,图中阻碍驾驶员视线的阴影部分为清除范围。

则由图可知:

当 $h < h_0$ 时,视距能保证;

当 $h > h_0$ 时,视距不能保证,应进行障碍物清除。

为了保证汽车行驶的平面视距,需通过计算确定最大横净距值 h ,而 h_0 值则可在公路横断面图上量取,如图 1-0-2-26 所示。

对最大横净距值确定,可按有无缓和曲线以及视距与汽车行驶轨迹长度的关系分几个方面进行计算。

1. 无缓和曲线时的横净距计算

(1) 当视距 s 小于曲线长度 L_s 时:

由图 1-0-2-27a) 可知,

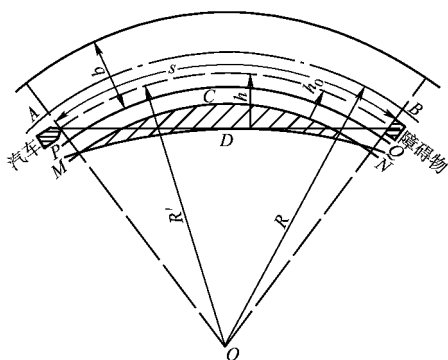


图 1-0-2-25 平面视距

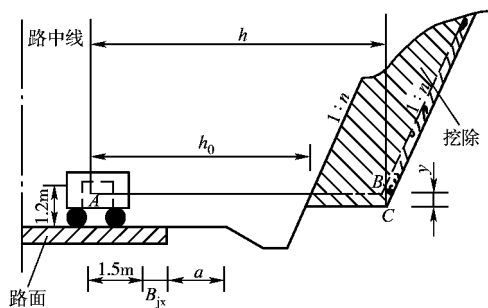
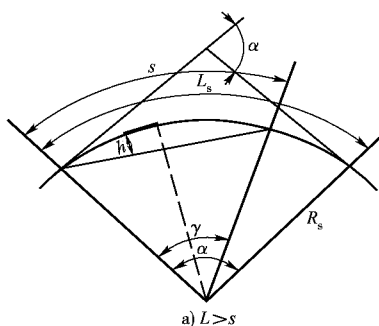
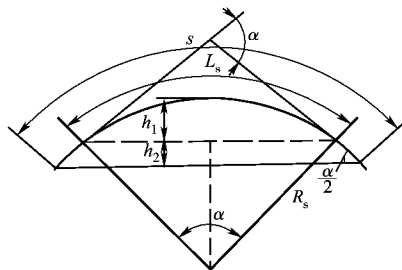


图 1-0-2-26 视距台



a) $L > s$



b) $L < s$

图 1-0-2-27

$$h = R_s - R_s \cos \frac{r}{2} = R_s \left(1 - \cos \frac{r}{2} \right) \quad (1-0-2-72)$$

$$= \frac{s^2}{8R_s}$$

式中 R_s ——汽车行驶轨迹半径,为路面未加宽前内侧边缘加 1.5 的半径;

h ——最大横净距 m ;

S ——行车视距 m ;

r ——视距 s 所对应的圆心角 rad 。

(2) 当视距 s 大于曲线长度 L_s 时:

如图 1-0-2-27b) 所示,

$$\begin{aligned} h &= h_1 + h_2 \\ &= R_s \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) + \frac{s - L_s}{2} \sin \frac{\alpha}{2} \\ h &= \frac{L}{8R_s} (2s - L) \end{aligned} \quad (1-0-2-73)$$

2. 有缓和曲线时横净距计算

(1) 当视距长度 s 小于主圆曲线长度 L_s 时

$$h = R_s \left(1 - \cos \frac{r}{2} \right) = \frac{s^2}{8R_s} \quad (1-0-2-74)$$

(2) 当 $L_y \leq s \leq L'_s$ 时, 如图 1-0-2-28 所示:

$$h = h_1 + h_2 = R_s \left(1 - \cos \frac{\alpha - 2\beta}{2} \right) + (l_h - l_0) \sin \left(\frac{\alpha}{2} - \delta \right)$$

式中, 通过 M 点(或 N 点)并且与平曲线的切线相平行的直线与 MN 的夹角,

$$\delta = \arctan \left\{ \frac{1}{6} \frac{l_h}{R_s} \left[1 + \frac{l_0}{l_h} + \left(\frac{l_0}{l_h} \right)^2 \right] \right\} \quad (1-0-2-75)$$

β ——缓和曲线的切线角 rad ;

l_h ——缓和曲线长度 m ;

L'_s ——转角为 α 半径为 R_s 时的平曲线长度 m ;

l_0 ——汽车计算位置(M 或 N)到缓和曲线起点的距离 m 。

$$l_0 = \frac{1}{2} (L'_s - s)$$

(3) 当 $s > L'_s$ 时, 如图 1-0-2-29 所示,

$$\begin{aligned} h &= h_1 + h_2 + h_3 \\ &= R_s \left(1 - \cos \frac{\alpha - 2\beta}{2} \right) + l_h \sin \left(\frac{\alpha}{2} - \delta \right) + \frac{s - L'_s}{2} \sin \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \quad (1-0-2-76)$$

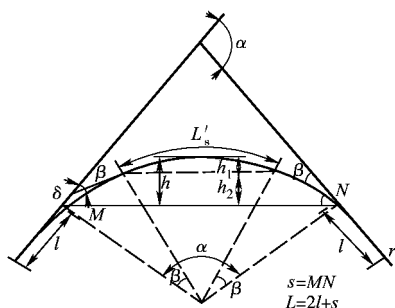


图 1-0-2-28 $L_y \leq s \leq L'_s$

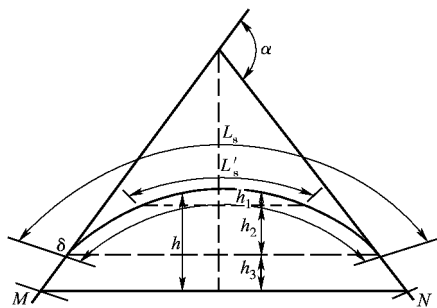


图 1-0-2-29 $s > L'_s$

式中符号意义同前。

3. 视距保证的方法与步骤

绘制视距包络图及确定视距清除范围

的具体方法如下：

(1)按比例绘制弯道平面图；

(2)确定 R_s 并计算 h 值；

(3)丈量(量取)行车轨迹线至障碍物线之间的距离 h_0 值,如图 1-0-2-30 所示；

(4)判断视距是否保证,若视距不能保证,则需进行下列工作；

(5)在平面图上距曲线起点(或终点)

处分别向直线方向两端量取 s 长度得 0 点及 n 点；

(6)由 0 ~ n 长度范围内进行平分若干等分,得 0 1 2 3 4 ... n 各点；

(7)由 1 点开始,沿轨迹线方向每隔等距离量取 s 得 1' 2' 3' 4' ... n' 各点,并连接 1-1', 2-2', 3-3',用一光滑曲线外切各连线,该光滑曲线即为视距包络线；

(8)图中的阴影部分即为视距切除范围；

(9)根据平面图与横断面图中相对应的桩号分别在平面图上量取 h_0 (图 1-0-2-30),即为视距切除范围。

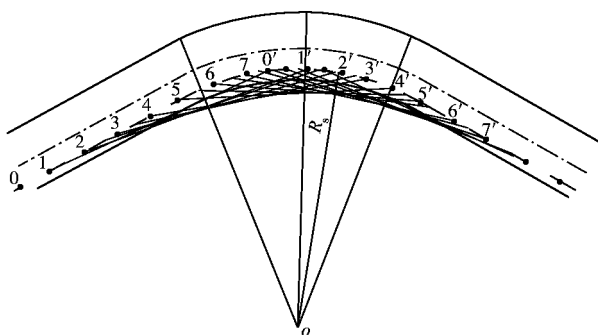


图 1-0-2-30 视距包络图

第五节 平面线形的设计与调整

一、直线的运用

直线是两点间距离最短的线形,一般情况下,这种线形测设、施工简单,视线良好,运行距离短,可降低汽车的运营成本,因而在公路设计中被广泛运用。

但由于直线线形的灵活性差,受地形、环境等条件限制,并且直线线形很容易导致驾驶员的思想麻痹,经常性超车,从而易发生交通事故。所以,在设计中不能片面强调采用直线线形,直线的长度不宜过长。直线的长度(极限最大长度)一般很难从理论上进行论述,但在实际应用时可根据地形、安全及景观,按以下几个方面考虑。

1. 适宜采用直线的路段

(1)不受地形、地物限制的平坦地区 and 山间的开阔地段；

(2)城镇及其近郊或规划方正的农耕地等以直线条为主体的地区；

(3)长大桥梁、隧道等结构物地段；

(4)路线交叉点前后；

(5)双车道公路供超车的路段。

2. 采用长直线线形的注意事项

当采用长直线线形时,应注意：

(1)纵坡不宜过大,一般应小于 3%；

(2)同大半径凹型竖曲线组合为宜；

(3)两侧地形过于空旷时,宜采取植不同树种或设置一定建筑物等措施；

(4)长直线或长下坡尽头的平曲线,除曲线半径、超高、视距等必须符合规定要求外,还必须采用设置标志、增加路面抗滑能力等安全措施；

(5)对较高车速的公路($v \geq 60\text{km/h}$),其直线长度宜控制在 70s 左右时间的行程距离。

3. 最小直线长度的限制

直线长度不宜过长,但也不宜过短,特别是在同向的平曲线间不应设置短直线,以免产生视觉上的错觉而危及行车安全。当计算行车速度 $v \geq 60\text{km/h}$ 时,同向曲线间的直线长度(以 m 计)应以不小于该公路计算行车速度(以 km/h 计)的 6 倍为宜;反向曲线间的直线长度(以 m 计)以不小于计算行车速度(以 km/h 计)的 2 倍为宜。当计算行车速度 $v \leq 40\text{km/h}$ 时,可参照上述规定执行。

二、圆曲线的运用

直线线形与圆曲线一样也是公路的基本线形,在路线设计中若能配合地形选用恰当的圆曲线半径,则能取得良好的线形效果,所以,在选用圆曲线半径时,应尽量选用较大半径并应考虑以下几方面因素:

(1)一般情况下,以采用极限半径的 4~8 倍为宜,当条件受限制时也应采用大于或等于一般最小半径,只有当地形特殊困难时才采用极限最小半径；

(2)圆曲线半径过大也无实际意义,故一般不宜大于 10000m；

(3)各级公路不论 α 大小如何,均应设置平曲线；

(4)圆曲线应同前后相邻的平面线形相协调,不宜悬殊过大,使之构成连续、均衡的曲线线形；

(5)应与纵断面线形相协调,必须避免小半径平曲线与竖曲线相重合。

三、缓和曲线的运用

缓和曲线是平面线形中的一种主要线形。对缓和曲线的运用,具体有以下几方面要求:

(1)回旋线在线形设计中应作为主要线形要素加以运用。

(2)在确定回旋线参数时,应在下述范围内选定:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

式中:A——缓和曲线参数；

R——与缓和曲线相连接的圆曲线半径, m。

(3)当 R 接近于 100m 时,取 A 等于 R;当 R 小于 100m 时,则取 A 等于或大于 R。当 R 较大或接近于 3000m 时,取 A 等于 $R/3$;当 R 大于 3000m 时,则取 A 小于 $R/3$ ；

平面线形包括直线、缓和曲线和圆曲线。

1. 基本形

按直线→回旋线→圆曲线→回旋线→直线的顺序组合起来的形式称基本形,如图 1-0-2-31 所示。基本形的两个回旋线参数应符合上述 1、2 条的规定。两个回旋线的参数可根

据地形条件设计成对称的或非对称的曲线。

回旋线、圆曲线在长度组合时尽可能满足：

回旋线 : 圆曲线 : 回旋线 = 1 : 1 : 1。

2. S 形

两个反向圆曲线用回旋线连接组合的线形为 S 形 如图 1-0-2-32 所示。

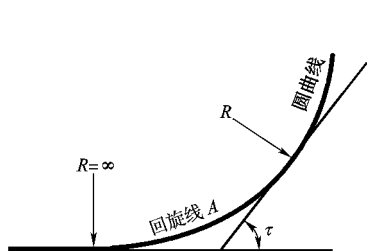


图 1-0-2-31 基本型

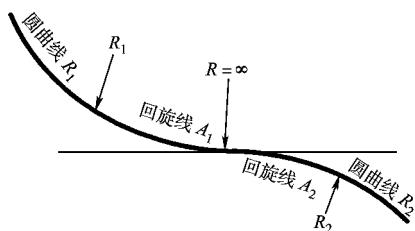


图 1-0-2-32 S 形

S 形相邻两个回旋线参数 A_1 与 A_2 宜相等。当采用不同参数时 A_1 与 A_2 之比应小于 2.0 , 有条件时以小于 1.5 为宜。

S 形的两个反向回旋线以径向衔接为宜 , 当地形条件限制必须插入短直线或当两圆曲线的回旋线相互重合时 , 短直线或重合段长度应符合下式规定 :

$$l \leq \frac{A_1 + A_2}{40} \quad (1-0-2-77)$$

式中 l ——反向回旋线间或重合段长度 m ;

A_1 、 A_2 ——回旋线参数。

两相邻反向圆曲线的半径之比不宜过大 , 以 $R_2/R_1 = 1 \sim 1/3$ 为宜。

3. 卵形

用一个回旋线连接两个同向圆曲线的组合的平面线形称之为卵形 如图 1-0-2-33 所示。

卵形回旋线的参数应符合下式规定的范围 :

$$\frac{R_2}{2} \leq A \leq R_2 \quad (1-0-2-78)$$

式中 A ——回旋线参数 ;

R_2 ——小圆的圆曲线半径 m 。

两相邻圆曲线半径之比 , 以 $R_2/R_1 = 0.2 \sim 0.8$ 为宜。

两圆曲线的间距 , 以 $D/R_2 = 0.003 \sim 0.03$ 为宜。 D 为两圆曲线间的最小间距 (m) 。

4. 凸形

两个同向回旋线间无圆曲线而径相衔接的平面线形称之为凸形 如图 1-0-2-34 所示。

凸形回旋线参数及其连接点的曲率半径 , 应分别符合容许最小回旋线参数和圆曲线一般最小半径的规定。一般情况下 , 只有在受地形、地物限制时 , 才采用凸形。

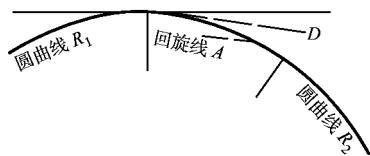


图 1-0-2-33 卵形

5. 复合形

两个以上同向回旋线间在曲率相等处相互连接的形式为复合形,如图 1-0-2-35 所示。复合形的两个回旋线参数之比以小于 1:1.5 为宜。

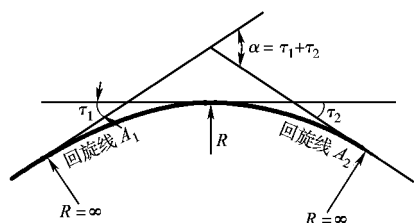


图 1-0-2-34 凸形

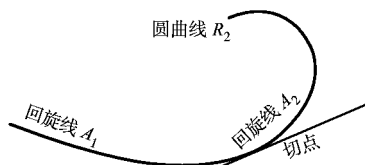


图 1-0-2-35 复合形

复合型仅在受地形或其他特殊原因限制时(互通式立体交叉除外)使用。

6. C 形

同向曲线的两回旋线在曲率为零处径相衔接(即连接处曲率为 0, $R = \infty$)的形式,如图 1-0-2-36 所示。

C 形只有在特殊地形条件下采用。

四、平曲线最小长度

平曲线包括圆曲线和缓和曲线。当平曲线不设缓和曲线时,则只有圆曲线,超高缓和段或加宽缓和段不计入平曲线内。公路平曲线长度的取值应从 3 个方面考虑:

(1)从设置缓和曲线的角度考虑,平曲线至少要保证两条缓和曲线的插入,以满足公路线形的要求;

(2)平曲线长度过短,从满足驾驶员操作转向盘的时间以及从乘客的心理来看也是不好的;

(3)对小偏角的弯道,从视角及心理考虑,驾驶员在高速行驶时,会认为该弯道的曲线长度及曲线半径比实际要小,从而降低了行车速度;或不想降速时,势必采用增大行车转弯半径而侵入其他车道,造成车祸。所以,平曲线长度的取值应由下列因素决定:

1. 保证驾驶员操作转向盘所需时间

曲线过短,驾驶员操作困难。根据经验,驾驶员操作转向盘至少要有 6s 的行驶时间。因此,最短平曲线最小长度可按下式计算:

$$L \geq tv(m) \quad (1-0-2-79)$$

即

$$L \geq \frac{v}{3.6}t(m) \quad (1-0-2-80)$$

式中 L ——平曲线最小长度 m ;

v ——设计速度 km/h ;

t ——适宜的操作时间 s ,一般取用 6s。

《规范》规定的各级公路平曲线最小长度如表 1-0-2-14 所示。

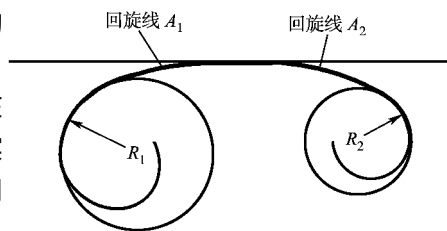


图 1-0-2-36 C 形

各级公路平曲线最小长度

表 1-0-2-14

设计速度(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
一般值	1000	850	700	500	350	250	200
最小值	200	170	140	100	70	50	40

2. 小偏角平曲线最小长度的取值

当路线交点偏角很小时,驾驶员行车时,特别是高速行车时,一般会把平曲线长度看成比实际的小,对公路产生急转弯的错觉,这种错觉在偏角越小时就越明显。所以,当偏角越小则越应采用更大的平曲线半径,以便驾驶员正确识别出曲线。《规范》规定,当路线转角等于或小于 7° 时,应设置较长的平曲线,其长度应大于表 1-0-2-15 中规定的“一般值”。但如受地形及其他特殊情况限制时,可减小至表中的“低限值”。

公路转角等于或小于 7° 时的平曲线长度

表 1-0-2-15

设计速度(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
一般值	$1400/\theta$	$1200/\theta$	$1000/\theta$	$700/\theta$	$500/\theta$	$350/\theta$	$280/\theta$
最小值	200	170	140	100	70	50	40

注:表中的 θ 为路线转角($^{\circ}$),当 $\theta < 2^{\circ}$ 时,按 $\theta = 2^{\circ}$ 计算。

【例 1】求某二级公路的平曲线最小长度($v=80\text{km/h}$, $t=6\text{s}$)。

【解】由式(1-0-2-79)得:

$$L = \frac{1}{3.6} \times 80 \times 6 = 133.3(\text{m})$$

取 5m 的整数倍,则 L 取 140m。

【例 2】已知某三级公路弯道的偏角为 $\alpha = 2^{\circ}30'$,求该弯道最小平曲线半径($v=60\text{km/h}$)。

【解】由表 1-0-2-15 可知,三级公路

$$L \geq \frac{700}{\theta} = \frac{700}{2.5^{\circ}} = 280(\text{m})$$

$$L = \alpha R \frac{\pi}{180^{\circ}}$$

$$\text{则 } R = \frac{180^{\circ}L}{\pi\alpha} = \frac{180^{\circ} \times 280}{\pi \times 2.5^{\circ}} = 6417(\text{m})$$

取 100m 整数倍,则 $R=6500\text{m}$,才能保证该平曲线的最小长度。

五、平面线形的组合与衔接

平面线形设计在保证直线、缓和曲线及圆曲线三要素的合理取用外,还应考虑三者之间的相互配合,即直线的最大长度及曲线间直线的最短长度取用、直线与圆曲线间的缓和曲线的设置都应综合考虑该设计公路等级的计算行车速度、地形、地物及地质等自然条件,考虑立体线

形的视觉效果、保证公路线形的行车安全与舒适。设计时一般要考虑以下几个方面：

(1)两相邻的同向曲线间应设有足够长度的直线段,不得以短直线连接,否则应调整线形使之成为单曲线或复曲线或运用回旋线组合成卵形、凸形、复合型等曲线形式,以免产生断背曲线。

(2)两反向曲线夹有直线段时,以设置不小于最小直线段长度的直线段为宜,否则应调整线形或组合成S形曲线,使其连续均匀。

(3)三、四级公路两相邻反向曲线无超高、加宽时可径相衔接;无超高有加宽时,中间应设有长度不小于10m的加宽缓和段;工程特殊的山岭区,三、四级公路设置超高时,中间直线长度不得小于15m。

(4)应避免连续急弯的线形,可在曲线间插入足够长的直线或回旋线。

(5)线形设计的要求与内容应随公路等级和计算行车速度的不同而异。对于高速公路、一级公路以及设计速度 $\geq 60\text{km/h}$ 的公路,应注重立体线形设计,尽量做到线形连续、指标均衡、视觉良好,景观协调、安全舒适。设计速度越高,线形设计所考虑的因素愈应周全。设计速度 $\leq 40\text{km/h}$ 的公路,首先应在保证行驶安全的前提下,正确地运用线形要素规定值(包括最大、最小值),在条件允许情况下力求做到各种线形要素的合理组合,并尽量避免和减轻不利的组合,以期充分发挥投资效益。

(6)在路线交叉前后应尽可能采用技术指标较高的线形,保证行驶安全和提高公路的通行能力。

(7)平面线形应在地形、地物、地质等各种具体条件的基础上,选用相应技术指标进行组合设计,应合理运用直线和曲线(包括圆曲线、回旋线)线形要素,不得片面强调以直线或以曲线为主,或必须高于某一比例。

(8)应解决好线形与桥、隧道轴线之间的关系。原则上对于大桥或特大桥或隧道以路线服从为主,即尽可能采用直线线形,但应视具体情况及其他条件选用适当的曲线线形,并应满足视距要求。

• 第六节 平面设计成果 •

路线平面设计以后应提供各种图纸和表格。其中主要的图纸有:路线平面设计图、路线总体布置图、路线交叉设计图、道路用地图、纸上移线图;主要的表格有:直线、曲线及转角表、路线交点坐标表(或含在直线、曲线及转角表中)、逐桩坐标表、路线固定表、总里程及断链表等。各种图纸和表格的样式可参照交通部所颁布的《设计文件图表示例》。这里仅就主要表格“直线、曲线及转角表”与“路线平面设计图”作一介绍。

一、直线、曲线及转角表

“直线、曲线及转角表”为平面设计的主要成果,它反映了路线的平面位置和路线平面线形的各项指标。路线平面设计只有根据这一成果才能进行后面的一系列设计,如路线平面设计图、逐桩坐标表。它同时为路线纵断面设计、横断面设计提供设计依据。本表的样式一般如表1-0-2-16所示。

直线、曲线及转角表

表 1-0-2-16

× × 公路 × × 段

交点 号 JD	交点 桩号	转角值 α		曲线要素值(m)							曲线位置		
		左转角 α_z	右转角 α_y	半径 R	缓和 曲线 参数 A	缓和 曲线 长度 l	切线 长度 T	曲线 长度 L	外距 E	校正 值 J	第一缓和 曲线或超高 缓和长度加 宽缓和长度 起点 ZH	第一缓和 曲线终点或 圆曲线起点 HY(ZY)	曲线中 点 QZ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
曲线位置							直线长度及方向				测量断链		备注
第二缓和曲线或圆曲线 终点 YH(YZ)				第二缓和曲线或超高 缓和长度、加宽缓和长度 起点 HZ			直线 长度	交点 间距 (m)	计算方 位角或 计算方 向角	桩 号	增长 (m)	减短 (m)	
15				16			17	18	19	20	21	22	

二、路线平面图

路线平面设计图是公路设计文件的重要组成部分。通过路线平面图,可以反映出公路的平面位置和所经过地区的地形、地物等,还可以反映出路线所经地段的各种结构物如挡土墙、边坡、排水结构、桥涵等的具体位置以及和地形、地物的关系。它是设计人员对路线设计意图的总体体现。路线平面图无论对提供有关部门审批、专家评议、设计初审、设计会审、工程施工以及指导后续工作如施工图设计、施工放样等起着重要的作用。路线平面图的绘制步骤如下:

1. 路线平面图比例尺及测图范围

公路路线平面图是指包括路中线在内的有一定宽度的带状地形图。若一般为工程可行性、初步设计阶段的方案研究与比选,可采用 1:5000 或 1:10000;但作为初步设计、施工图设计等设计文件组成部分则应采用更大的比例尺,一般采用 1:500 ~ 1:2000;在地形复杂地段或重要设计路段,如大型交叉、大中桥等,则应采用 1:500 ~ 1:1000 的地形图。

带状地形图的测图范围,一般视具体情况确定,常用路中心线两侧 100 ~ 200m。对于 1:5000 的地形图,则测图范围应适当放大,一般不小于 250m。若为比较线,则需包括比较线的范围。

2. 路线平面图的内容及测绘步骤

1) 路线平面图的内容

- (1) 公路沿线的地形、地物情况;
- (2) 公路中心线交点和转点位置及里程桩标注、公路沿线的各类控制桩位置及有关数据;
- (3) 路线所经地段的地名、重要地理位置情况标注;
- (4) 各类结构物的设计成果的标注;
- (5) 若图纸中包含弯道,应包括曲线要素表和导线、交点坐标表;

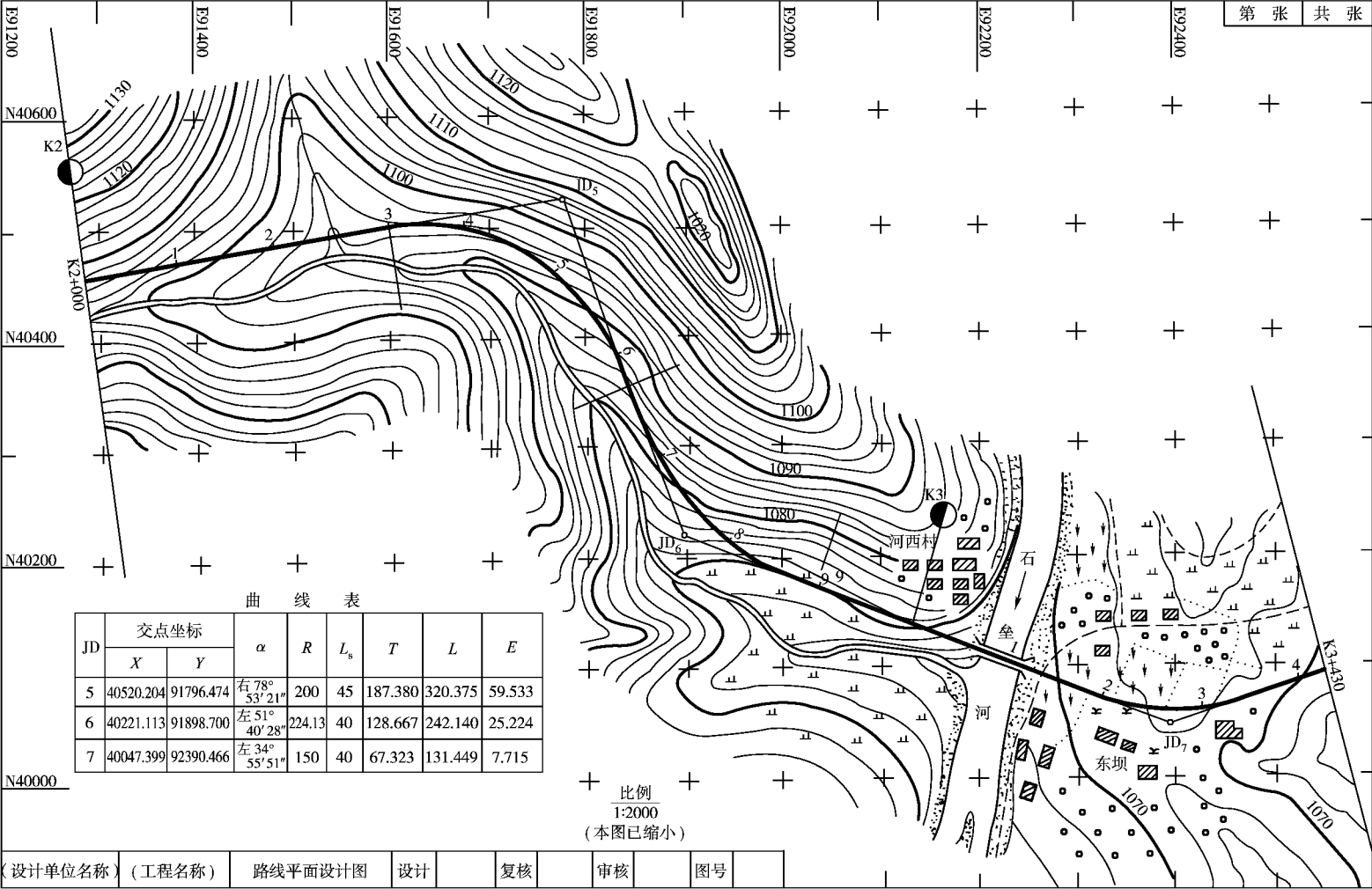


图 1-0-2-37 路线平面图示例

(6)图签和有关说明。

2)测绘步骤

(1)按要求选定比例尺；

(2)依直线、曲线及转角表及中线资料绘制公路中线图；

(3)在公路中线图上标出公路起终点里程桩、百米桩、公里桩、曲线要素桩、桥涵桩及位置；

(4)测绘沿线带状地形图并现场勾绘出等高线；

(5)根据设计情况在图纸上标出各类结构物的平面位置并在图上列出直线、曲线及转角表等有关内容。

路线平面图示例如图 1-0-2-37 所示。

本章小结

(1)汽车在弯道上行驶时,要产生离心力,离心力的大小,与车速及弯道的曲线半径有关。曲线半径越小,离心力越大,汽车越容易产生横向滑移和倾覆。平曲线设计的任务就是确定合适的半径,保证汽车能以设计速度在弯道上行驶。

(2)超高就是把曲线外侧抬高,形成向内侧倾斜的同坡度单向坡,使弯道的内侧与外侧有相同的行车条件。超高的主要内容是确定合适的超高横坡度以及在弯道上的超高值计算。保证汽车在弯道上安全行驶,需在曲线内侧加宽,其主要任务是确定合适的加宽值。

(3)设置缓和曲线的目的是消除离心力的突变和使汽车沿汽车行驶轨迹由直线进入圆曲线。缓和曲线采用回旋线。设置缓和曲线的主要工作是确定合理的缓和曲线长度,以及缓和曲线常数计算公式及带缓和曲线的曲线要素计算。

(4)《规范》要求:当半径小于规范要求时,主圆曲线上全超高与全加宽,缓和曲线上(或超高与加宽缓和段)逐渐超高,以保证路容的美观与平顺,且保证公路排水畅通。

(5)为保证汽车安全行驶,应有一个保证驾驶员看到前面车辆或障碍物而及时制动或避让的最短距离,即行车视距。行车视距有停车视距、会车视距与超车视距。弯道内侧凡阻碍视线的建筑物、树木、路堑边坡等均应清除。按绘制的视距包络线可以确定障碍物清除范围。

(6)平面线形设计时应综合考虑,即平面线形三要素(直线、圆曲线、缓和曲线)的合理设计以及它们之间的相互协调,特别对于同向曲线间与反向曲线间经平曲线设置完以后的直线段距离应综合考虑,做到平面顺直与视线正确诱导及路线与环境的恰当配合。

思考题与习题

- 1.《标准》中 $R_{\min}$ 、 $R_{\text{一般}}$ 、 $R_{\text{免超}}$ 是如何确定的？
- 2.《规范》中 i_b 、 B_j 是如何确定的？
- 3.什么是超高缓和段？为什么要加宽？加宽值如何确定？
- 4.什么是停车视距？停车视距由哪几部分组成？

5. 为什么要设置缓和曲线？如何确定缓和曲线最小长度？
6. 平曲线长度的确定如何考虑？
7. 什么是超高渐变率？如何确定超高渐变率？超高缓和段长度如何确定？
8. 各种平面线形如何运用？如何合理的连接各种平面线形？
9. 平面设计成果主要有哪几方面？
10. 某弯道半径 $R = 100\text{m}$, 偏角 $\alpha = 90^\circ$, 超高横坡度 $i_b = 0.06$, $b = 7.0\text{m}$, $a = 0.75\text{m}$, $i_1 = 2\%$, 路肩横坡度 $i_0 = 3\%$, 超高缓和段长度 $L_c = 30\text{m}$, JD 桩号为 $K0 + 900$, 全加宽值 $B_j = 0.9\text{m}$, 试分别以内侧边轴超高方式与中轴超高方式计算 $K0 + 780$ 及 $K0 + 800$ 两桩号的超高值。



第三章

纵断面设计

教学要求

- 1. 描述汽车动力性能对纵坡设计的要求；
- 2. 解释纵坡设计的一般规定与要求 根据具体地形、地物、地貌等影响因素综合进行纵坡设计；
- 3. 合理布设竖曲线并计算竖曲线要素 ,进行平面和纵断面的线形组合设计 ,提供纵断面设计成果。

第一节 概 述

通过公路中线的竖向剖面称为路线纵断面图。由于地形、地物、地质、水文等自然因素的影响以及满足经济性的要求 ,公路路线在纵断面上不可能从起点至终点是一条水平线 ,而是一条有起伏的空间线。纵断面设计的主要任务就是根据汽车的动力性能、公路等级和性质、当地的自然地理条件以及工程经济等 ,来研究这条空间线形的纵坡大小及其长度 ,它是公路设计的重要内容之一 ,而且将直接影响到行车的安全和迅速、工程造价、运营费用和乘客的舒适程度。

图 1-0-3-1 为公路路线纵断面示意图。在纵断面图上 ,通过路中线的原地面上各桩点的

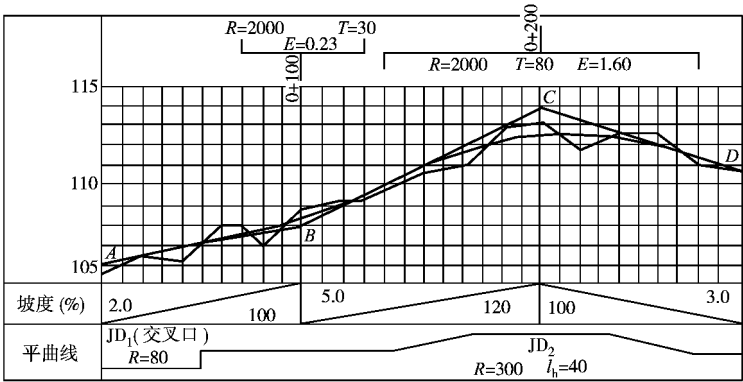


图 1-0-3-1 路线纵断面简图

高程 称为地面标高 ,相邻地面标高的起伏折线的连线 ,称为地面线。设计公路的路基边缘相邻标高的连线 ,称为设计线 ,设计线上表示路基边缘各点的标高 ,称为设计标高。在同一横断面上设计标高与地面标高之差 ,称为施工高度。当设计线在地面线以上时 ,路基构成填方路

堤 ;当设计线在地面线以下时 ,路基构成挖方路堑。施工高度的大小直接反映了路堤的高度和路堑的深度。

公路纵断面设计线由直线和竖曲线两种线形要素所组成 ,它是根据汽车的动力性能、地形条件、路基临界高度以及运输与工程经济等方面的要求 ,通过技术、经济以及视觉效果等多方面的比较后定出来的 ,反映了公路路线的起伏变化情况。直线有上坡和下坡 ,是用高差、水平长度及纵坡度表示的。纵坡度 i 表征匀坡路段坡度的大小 ,用高差 h 与水平长度 l 之比量度 ,即 $i = h/l(\%)$ 。在直线的纵坡转折处为了平顺过渡 ,须设置一定长度的竖曲线来进行缓和。

• 第二节 汽车行驶对纵坡设计的要求 •

公路设计是以满足汽车行驶要求为前提的。因此 ,在公路设计时 ,首先要研究汽车的动力性能以及汽车对公路的具体要求 ,综合考虑人、车、路和环境等方面的各种因素 ,通过合理设计来达到汽车行驶的安全、迅速、经济、舒适和美观的要求。

一、汽车的动力性能

1. 汽车的行驶阻力

汽车行驶时需要不断克服运动中所遇到的各种阻力。这些阻力有的来自汽车周围的空气介质 ,有的来自汽车行驶的路面 ,有的来自汽车上下坡行驶 ,也有的来自汽车加减速行驶 ,这些阻力分别称为空气阻力、滚动阻力、坡度阻力和惯性阻力。

1) 空气阻力

汽车在空气介质中行驶 ,由于迎面风压力、车前后的空气压力差以及空气质点与车身表面的摩擦等阻碍汽车前进 ,称为空气阻力。空气阻力可按式近似确定

$$P_w = c \cdot \rho \cdot F v^2 = \frac{k F v^2}{13} \quad (1-0-3-1)$$

式中 P_w ——空气阻力 N ;

c ——汽车流线形系数 ;

ρ ——空气密度 ;

F ——汽车迎风面面积 m^2 ;

v ——汽车与空气的相对速度 ,可近似地取汽车的行驶速度 ;

k ——空气阻力系数 $k = c \cdot \rho$,其值由试验测得。

2) 滚动阻力

汽车的轮胎具有弹性 ,当车轮滚动时 ,不仅轮胎产生变形 ,而且路面也会产生变形 ,其接触面之间产生功率消耗。此外 ,当汽车在不平整的路面上行驶时 ,由于轮胎的振动和撞击 ,也会引起功率的消耗。当汽车在纵坡度倾角为 α 的公路上行驶时 ,滚动阻力与汽车总重力成正比 ,其值可按式计算

$$P_f = G f \cos \alpha$$

由于公路纵坡的坡度倾角 α 很少超过 5° ,故可认为 $\cos \alpha \approx 1$,则

$$P_f = G \cdot f \quad (1-0-3-2)$$

式中 P_f ——滚动阻力 N ;

G ——汽车的总重力 N ;

f ——滚动阻力系数,它与路面的类型、行驶速度以及轮胎的构造、材料、气压等有关,一般由试验确定。

3) 坡度阻力

汽车在纵坡度倾角为 α 的公路上行驶时,坡度阻力可按式计算

$$P_i = G \cdot \sin \alpha$$

由于公路纵坡的坡度倾角一般较小,可认为 $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx i$, 则

$$P_i = \pm G \cdot i \quad (1-0-3-3)$$

式中 P_i ——坡度阻力 N ;

G ——汽车总重力 N ;

i ——公路纵坡度,“+”号表示上坡,“-”号表示下坡。

4) 惯性阻力

汽车变速行驶时,需要克服其质量变速运动时产生的惯性力和惯性力矩,称为惯性阻力。汽车的质量分为平移质量和旋转质量(如飞轮、离合器、齿轮、传动轴和车轮等)两部分。汽车变速行驶时,平移质量产生惯性力,旋转质量产生惯性力矩。

汽车旋转质量产生的惯性力矩组成内容较多,计算复杂。为简化计算,一般以平移质量惯性力乘以一个大于 1 的系数 δ 来代替旋转质量惯性力矩的影响。即

$$P_j = \delta \frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt} (N) \quad (1-0-3-4)$$

式中 P_j ——惯性阻力 N ;

δ ——汽车旋转质量换算系数;

G ——汽车总重力 N ;

g ——重力加速度 m/s^2 ;

$\frac{dv}{dt}$ ——汽车的加速度,加速为正,减速为负 m/s^2 。

2. 汽车的牵引力及其行驶条件

1) 汽车的牵引力

汽车在公路上行驶,必须要有足够的牵引力来克服各种行驶阻力。汽车行驶的牵引力来自它的内燃机发动机,在发动机里的热能转化为机械能,产生有效功率 N ,从而使发动机的曲轴上在旋转过程中产生转矩 M 。

发动机曲轴上的转矩 M 经过离合器、变速器、传动轴、主传动器、差速器和半轴等一系列的变速和传动,传给汽车的两驱动轮,产生有效转矩 M_k 驱动汽车行驶。

如图 1-0-3-2 所示,作用在驱动轮上的转矩 M_k 可化为一对力偶 P_t 和 P_k , P_t 作用在轮胎与路面的接触点处,在 M_k 的作用下使车轮对路面产

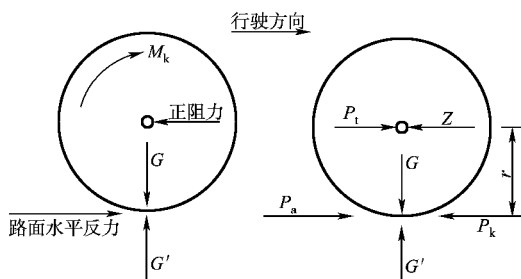


图 1-0-3-2

生一周缘力,周缘力 P_k 是车轮对路面的作用力。当车轮与路面之间有足够的附着力时,则会产生与此周缘力 P_k 大小相等,方向相反的路面对车轮的切向反作用力 P_a 。 P_t 作用在轮轴上推动汽车向前行驶,它是驱动汽车行驶的外力,与汽车行驶阻力 Z 抗衡,通常称为汽车的牵引力,其值为

$$P_t = \frac{M_k}{r_k} = \frac{M \cdot i_k \cdot i_o \cdot \eta_m}{r_k} \quad (1-0-3-5)$$

式中 P_t ——汽车的牵引力;

r_k ——车轮工作半径 m ,即变形半径,一般为未变形半径 r 的 0.93 ~ 0.96 倍;

M_k ——汽车驱动轮转矩 $N \cdot m$;

M ——发动机曲轴转矩 $N \cdot m$;

i_k ——随排档而变的变速器变速比;

i_o ——主传动器变速比;

η_m ——传动系统的机械效率。一般载货汽车为 0.8 ~ 0.85,客车为 0.85 ~ 0.95。

此时相应的车速为:

$$v = 2\pi r_k \cdot \frac{n}{i_k i_o} \cdot \frac{60}{1000} = 0.377 \frac{n r_k}{i_k i_o} \quad (1-0-3-6)$$

式中 v ——汽车行驶速度 km/h ;

n ——发动机转速 r/min 。

由式(1-0-3-5)可知,如果要获得较大的牵引力 P_t ,则必须有较大的变速比 i_k, i_o 与其相对应。但由式(1-0-3-6)可知 i_k 与 i_o 增大,则车速要降低,因此对同一发动机要同时获得较大的牵引力与较高的车速是不可兼得的。为此,在汽车构造设计时设置了若干个排档,每一排档都有固定的变速比以及该排档相对应的最大和最小车速。当采用低排档时,变速比取值大,转矩 M_k 及牵引力 P_t 就增大,但车速 v 则降低;反之,则转矩 M_k 及牵引力 P_t 减小而车速 v 则提高。

2)汽车行驶的条件

(1)汽车行驶的必要条件

为使汽车能向前行驶,汽车的牵引力必须与汽车行驶时所遇到的各项行驶阻力之和相平衡,其牵引平衡方程式为:

$$P_t = P_w + P_f \pm P_i \pm P_j = \frac{kfv^2}{13} + G(f \pm i) + \delta \frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (1-0-3-7)$$

汽车在公路上行驶,牵引力等于各项行驶阻力之和时,汽车作等速行驶;当牵引力大于各项行驶阻力之和时,汽车作加速行驶;当牵引力小于各项行驶阻力之和时,汽车就作减速行驶,直至停车。因此,要使汽车向前行驶,牵引力必须大于或等于各项行驶阻力之和,这是汽车行驶的必要条件,即:

$$P_t \geq P_w + P_f \pm P_i \pm P_j \quad (1-0-3-8)$$

(2)汽车行驶的充分条件

汽车行驶的必要条件只有在驱动轮与路面之间不发生滑转现象时才有效。如果驱动轮与路面之间的附着力不够大,车轮将会在路面上打滑空转而不能行进。因此,汽车行驶除受牵引

条件制约时外,还受轮胎与路面之间的附着条件制约。即汽车的牵引力必须小于或等于轮胎与路面之间的附着力,这是汽车行驶的充分条件,即

$$P_t \leq G_z \cdot \varphi \quad (1-0-3-9)$$

式中 G_z ——汽车驱动轮上的荷载;

φ ——附着系数,与路面的粗糙程度和潮湿泥泞程度、轮胎花纹和气压、车速和荷载等有关。

将公式(1-0-3-8)与(1-0-3-9)结合起来考虑,则有

$$P_w + P_f \pm P_i \pm P_j \leq P_t \leq G_z \cdot \varphi \quad (1-0-3-10)$$

这就是汽车行驶的 necessary 和充分条件,亦称汽车运动的驱动与附着条件。

根据以上汽车行驶的两个条件,在公路设计工作中对路面提出了,一是要求路面平整坚实,以尽量减小路面的滚动阻力;二是要求路面粗糙,以增大附着力。

3. 汽车的动力特性

1) 动力特性图

汽车的动力特性是指汽车具有的加速、上坡、最大速度等性能。其牵引平衡方程式为

$$P_t = P_w + P_f \pm P_i \pm P_j \quad \text{或} \quad P - P_w = P_f \pm P_i \pm P_j$$

上式等号左边 $P - P_w$ 称为汽车的后备牵引力,其值与汽车的构造和行驶速度有关;等号右边的各项阻力与道路状况和汽车的行驶方式有关。

将各项行驶阻力的表达式代入上式,得

$$P_t - P_w = G(f \pm i) \pm \delta \frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt}$$

设 $\psi = f \pm i$, μ 为道路阻力系数,将上式两边除以汽车总重力 G , 则得

$$\frac{P_t - P_w}{G} = (f \pm i) \pm \frac{\delta}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (1-0-3-11)$$

设上式左边为 D , D 为动力因素,则

$$D = \frac{P_t - P_w}{G} \quad (1-0-3-12)$$

动力因素 D 表征汽车单位车重所具有的后备牵引力,可以用来克服公路上的行驶阻力或用来加速,能直接评价不同类型汽车的牵引性能。由于 P_t , P_w 和 G 只与车速和汽车的类型有关,而与公路条件无关,因此对任何类型的汽车,都可以根据

$$D = \frac{P_t - P_w}{G}, P_w = \frac{kFv^2}{13}, P_t = \frac{M \cdot i_k \cdot i_0}{r_k} \eta_m$$

及有关汽车技术性能数据,以 D 为纵坐标,以 v 为横坐标,绘制出各个排档的 $D-v$ 关系图,称为动力特性图。图 1-0-3-3 是某型汽车的动力特性图。

利用动力特性图,可以求出汽车在某一条件下(即道路附着系数 φ 为某一定值时)行驶时所能保持的速度 v ,并可决定汽车在克服一定行驶阻力所

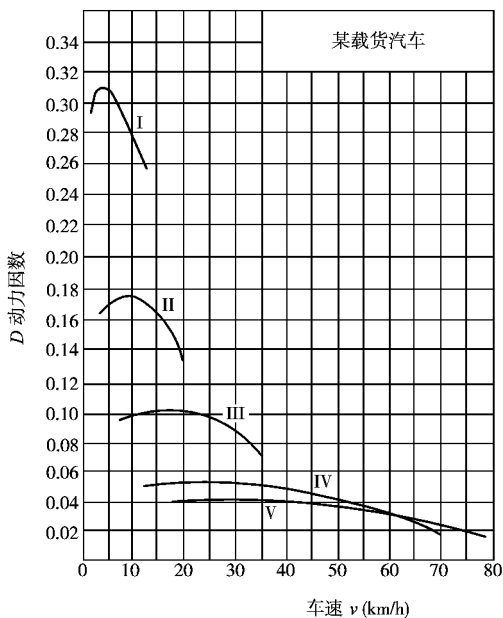


图 1-0-3-3

采用的排档,同时还可以近似地确定在比最高速度为低的任何速度 v 下所能获得的加速度,以及求得低一排档行驶时汽车所能克服的坡度等。

2) 动力特性分析

当汽车在一定的行驶条件下作等速行驶,则由式(1-0-1-11)、(1-0-1-12)可知 $D = \psi$ 。因此,从图 1-0-3-3 可知 $D = \psi$ 的直线与 $D = f(v)$ 曲线的交点 b 为汽车在道路阻力系数为 ψ 时的最大行驶速度,同理 $D_{\max}$ 值的水平直线与曲线 $D = f(v)$ 相切的切点 α 的速度称为临界速度 v_k 。

对于不同排档的 $D-v$ 关系曲线来说, D 值均有一定的使用范围。档位越低, D 值越大,则速度也越低。对某一排档来说,又有各自的动力因数最大值 $D_{\max}$,与最大值 $D_{\max}$ 相对应的等速行驶的速度值称为临界速度 v_k 。如图 1-0-3-4 所示。

当某一排档的 $\psi = D_{\max}$ 时,则说明在该排档已无法加速,只能等速行驶。若要加速,必须改善道路行驶条件(如减小滚动阻力和纵坡度等),使 ψ 减小。

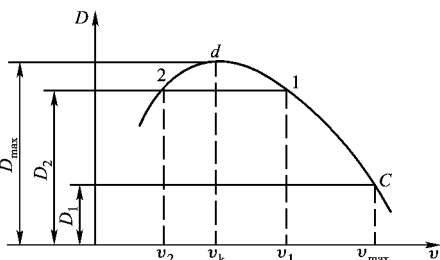


图 1-0-3-4

如果汽车采用某一排档作等速行驶,当道路阻力系数为 $D_2 = \psi_2$ (因 $\frac{dw}{dt} = 0$) 时,则汽车可以采用 v_1 或 v_2 的任一速度作等速行驶,其中 $v_1 > v_k$, $v_2 < v_k$ 。下面分别讨论 v_1 和 v_2 的行驶情况。

(1) 当汽车采用 $v_1 > v_k$ 的速度行驶时,若汽车遇到意外的行驶阻力(如公路纵坡局部增大或碰到坑槽),汽车可以在原来排档上降低行驶速度,以获得较大的 D 值来克服意外阻力,待意外阻力消失后立刻提高到原先的速度行驶。这种行驶状况称为稳定行驶。

(2) 当汽车采用 $v_2 < v_k$ 的速度行驶时,若汽车遇到同样的意外阻力,汽车只能在原来的排档上降低车速,这样由图 1-0-3-4 可知,汽车减速行驶反而使 D 值减小。 D 值减小后又使车速更低,直至汽车熄火停止。这样的行驶状况称为不稳定行驶。

因此,临界速度 v_k 是汽车稳定行驶的极限速度,又称为某一排档的稳定行驶的最小速度。一般汽车行驶的速度均采用大于同一排档的临界速度 v_k 值,以便克服意外阻力而继续行驶。

二、汽车行驶对公路纵坡的要求

根据前述的汽车动力特性分析可知,汽车上坡时,若道路纵坡较缓,汽车的行驶阻力的代数和小于或等于汽车所用排档牵引力,汽车就能用该排档以等速或加速走完该段纵坡的全长。若汽车所用的排档愈高,行驶速度愈快,但爬坡能力愈差。因此,公路纵坡设计总是力求纵坡较缓为好,特别是等级较高的公路更是如此。

当道路的纵坡较陡,汽车上坡时的行驶阻力的代数和大于汽车所用排档的牵引力时,在坡段较短的情况下,只要在上坡之前加大汽车油门,提高汽车的初速,利用动力冲坡的惯性原理,在车速降到临界速度之前即使不换档也能冲过此段纵坡,但如果道路纵坡既陡又长,汽车利用动力冲坡无法冲过坡顶,此时就必须在车速下降到某一程度时(如临界车速),换到较低的排档来获得较大的动力因数,从而增大牵引力,汽车才能继续走完全程,但排档愈低,汽车的行驶速度愈慢。

汽车使用低档的行程时间越长或换档次数频繁,会增长行程时间,增加汽车燃料消耗和机件磨损。此外,从汽车的动力特性可知,道路纵坡对车速的影响极大,因为纵坡越陡,需要的动力因素越大,从而导致采用的档位越低位,行驶速度越慢。为了使汽车能保持较高的车速行驶,少用低档和减少换档次数,对道路纵坡提出如下要求:

- (1)纵坡度力求平缓;
- (2)陡坡宜短,长陡坡的纵坡度应加以严格限制;
- (3)纵坡度变化不宜太多,尤其应避免急剧的起伏变化,力求纵坡均匀。

三、纵坡设计的一般规定与要求

1. 纵坡设计的一般要求

为使纵坡设计达到经济合理的目的,在设计之前必须全面掌握勘测资料,并结合选(定)线时的纵坡考虑意图,经综合分析、比较后定出设计纵坡。纵坡设计应满足以下几点要求。

(1)纵坡设计必须满足《标准》中的各项规定。

(2)为保证汽车能以一定的车速安全舒顺地行驶,纵坡应具有一定的平顺性,起伏不宜过大及过于频繁。平原地形的纵坡应均匀、平缓;丘陵地形的纵坡应避免过分迁就地形而起伏过大;山区的沿河线,应采用平缓的纵坡,坡长不宜超过规定的限值,纵坡不宜大于6%;山区的越岭线尽量避免采用极限纵坡值,缓和坡段应自然地配合地形设置,在连续采用极限长度的陡坡之间,不宜插入最短的缓和坡段,以争取较均匀的纵坡。垭口附近的纵坡应尽量放缓一些。连续上坡或下坡路段,应避免设置反坡。

(3)纵坡设计时,应对沿线的地形、地质、水文、气候等自然条件综合考虑,根据不同的具体情况妥善处理,以保证公路的畅通和稳定。

(4)地下水位较高的平原微丘区和潮湿地带的路段,应满足最小填土高度的要求,以保证路基稳定。

(5)纵坡设计在一般情况下应考虑填挖平衡,并尽量利用挖方运作就近路段填方,减少借方和废方,以降低工程造价。

(6)纵坡设计时,应照顾当地民间运输工具、农业机械、农田水利等方面的特殊要求。

2. 最大纵坡与最小纵坡

1) 最大纵坡

最大纵坡是指各级公路容许采用的最大坡度值,它是公路纵断面设计的重要控制指标。在山岭地区,纵坡的大小将直接影响路线的长度、使用质量、运输成本和工程造价。因此,纵坡大小的取值必须要通过全面分析,综合考虑后合理确定。

(1)确定最大纵坡应考虑的因素

①汽车的动力特性:要根据公路上主要行驶车辆的牵引性能,在一定的行驶速度条件下确定。

②设计速度:设计速度愈高,要求的行车速度愈快,但从汽车的动力特性可知其爬坡能力愈低,因此不同设计速度的公路有不同的最大纵坡值;

③自然因素:公路所经地区的地形、气候、海拔高度等自然因素,对汽车的行驶条件和爬坡能力也有很大的影响。

(2)最大纵坡的确定

最大纵坡的确定主要取决于汽车的动力性能、设计速度和自然因素,但另一方面还必须保证行车安全。从实际调查中可知,汽车在陡坡路段下坡时,由于制动次数增多,易使制动器发热而失效,导致事故频发。如东风 EQ—140 载货汽车及解放 CA—140 载货汽车上坡时,均可用 II 档顺利地通过 12% 以上的纵坡,但在下坡时很不安全。因此,确定最大纵坡不能只考虑汽车的爬坡性能,还要从行驶的快速、安全及经济等方面综合分析,同时兼顾汽车拖挂车、民间运输工具的特殊要求等。实践证明,四级公路为了达到其相应的行车速度,一般情况下最大纵坡不宜超过 8%,只有在工程特殊困难的山岭地区,经技术论证合理最大纵坡可增加 1%,但在海拔 2000m 以上或积雪冰冻地区,为考虑安全,最大纵坡不应大于 8%。我国《标准》规定各级公路的最大纵坡规定如表 1-0-3-1 所示。

各级公路最大纵坡

表 1-0-3-1

设计速度(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
最大纵坡(%)	3	4	5	6	7	8	9

设计速度为 120km/h、100 km/h、80km/h 的高速公路受地形条件或其他特殊情况限制时,经技术经济论证合理,最大纵坡可增加 1%。

位于市镇附近非汽车交通比例较大的路段,纵坡可根据具体情况适当放缓:平原、微丘区一般宜不大于 2%~3%;山岭、重丘区一般宜不大于 4%~5%。

小桥涵处的纵坡可按表 1-0-3-1 的限值设计,但大、中桥上的纵坡不宜大于 4%,桥头引道纵坡不大于 5%,引道紧接桥头部分的线形应与桥上线形相配合,其长度不宜小于 3s 的设计速度行程长度;位于市镇附近非汽车交通量较大的路段,桥上及纵坡均不得大于 3%;

隧道内的纵坡不应大于 3%,并不小于 0.3%;独立的明洞和长度小于 100m 的隧道其纵坡不受此限;紧接隧道洞口的路线纵坡应与隧道内纵坡相同。

(3)高原地区纵坡折减

在海拔 3000m 以上的高原地区,因空气密度下降而使汽车发动机的功率和汽车的牵引力降低,导致汽车爬坡能力下降;此外,在高原地区,汽车水箱中的水容易开锅而破坏冷却系统。故《标准》规定在海拔 3000m 以上的高原地区,各级公路的最大纵坡值应按表 1-0-3-2 的规定予以折减。最大纵坡折减后若小于 4%,则仍采用 4%。

高原纵坡折减值

表 1-0-3-2

海拔高度(m)	3000~4000	>4000~5000	5000 以上
折减值(%)	1	2	3

2)最小纵坡

一般来说,为使公路上汽车行驶快速和安全,纵坡设计的小一些总是有利的。但在挖方路段,设置边沟的低填路段和横向排水不畅路段,为保证排水的要求,防止积水渗入路基而影响其稳定性,一般在这些路段应避免采用水平纵坡,以免因为排水而将边沟挖的过深。故《标准》规定,在各级公路的长路堑路段,以及其他横向排水不畅的路段,应采用不小于 0.3% 的纵坡。当必须设计平坡(0%)或小于 0.3% 纵坡时,其边沟应作纵向排水设计。

干旱地区以及横向排水良好的路段,其最小纵坡可不受上述限制。

3. 坡长限制与缓和坡段

1) 坡长限制

坡长限制包括最小坡长和最大坡长两个方面的内容。

(1) 最小坡长限制

最小坡长的限制是从汽车行驶平顺性、乘客的舒适性、纵面视距和相邻两竖曲线的布置等方面考虑的。如果坡长过短,转坡过多,使纵坡线形呈锯齿形状,对路容也不美观。此外,当相邻坡段的纵坡相差较大,而坡长又较短时,汽车运行中换档频繁也增加了驾驶员的操作劳动强度。因此,纵坡的坡长应有一定的最短长度。

我国综合考虑了设计速度和地形条件等情况,规定的最小坡长如表 1-0-3-3 所示。

最 小 坡 长

表 1-0-3-3

设计速度 (km/h)		120	100	80	60	40	30	20
最小坡长 (m)	一般值	400	350	250	200	160	130	80
	最小值	300	250	200	150	120	100	60

(2) 最大坡长限制

最大坡长限制是指比较大的纵坡对正常行车的影响。根据汽车的动力性能可知,公路纵坡的大小及其坡长对汽车的行驶影响很大,特别是长距离的陡坡对汽车行驶非常不利。实际调查资料表明,当纵坡的坡段太长,汽车因克服行驶阻力而使行驶速度显著降低,在提高汽车功率时又易使水箱开锅,导致汽车爬坡无力,甚至熄火;下坡时制动次数增加易使制动器发热而失效,造成车祸。所以我国《标准》规定,各级公路不同纵坡时的最大坡长可按表 1-0-3-4 选用。

不同纵坡的最大坡长 (m)

表 1-0-3-4

设计速度 (km/h)		120	100	80	60	40	30	20
纵坡坡度 (%)	3	900	1000	1100	1200	/	/	/
	4	700	800	900	1000	1100	1100	1200
	5	/	600	700	800	900	900	1000
	6	/	/	500	600	700	700	800
	7	/	/	/	/	500	500	600
	8	/	/	/	/	300	300	400
	9	/	/	/	/	/	200	300
	10	/	/	/	/	/	/	200

在实际纵坡设计中,当某一坡度的坡长还未达到其规定的限制坡长时,可变化坡度(应为连续上坡或连续下坡),但其长度应按坡长限制的规定进行折算。例如:某山岭区公路(设计速度 $v=30\text{km/h}$)的第一坡段纵坡为 8.0%,长度为 180m,即占坡长限制值的 $3/5$,若相邻坡段的纵坡为 7.0%,则其坡长不应超过 $500 \times 2/5 = 200\text{m}$ 。也就是说 8.0% 的纵坡设计了长度为 180m 以后,还可接着设计坡度为 8.0% 的 200m 坡长,此时坡长限制值已用完。

2) 缓和坡段

缓和坡段的作用主要是为了改善汽车在连续陡坡上行驶的紧张状况,避免汽车长时间低

速行驶或汽车下坡产生不安全因素。因此,当陡坡的长度达到限制坡长时,应安排一段缓坡,用以恢复在陡坡上行驶所降低的速度。汽车在缓坡上行驶的长度,从理论上应满足汽车加速或减速行驶过程的需要。

我国《标准》规定,当公路连续上坡(或下坡)时,以利提高车速和行驶安全,应在不大于表 1-0-3-4 所规定的纵坡长度范围内设置缓和坡段。缓和坡段的纵坡应不大于 3%,其长度应符合表 1-0-3-3 纵坡长度的规定。

4. 平均纵坡

平均纵坡是指一定长度路段的高差与水平距离之比,以百分率(%)表示。它是衡量纵断面线形设计质量的一个重要限制性指标。

在山区越岭线纵坡设计中,有时虽然公路纵坡的设计完全符合最大纵坡、坡长限制和缓和坡段的规定,但也不一定能保证使用质量。当极限长度的陡纵坡与缓和坡段交替频繁使用,同样会使汽车在这样的坡段上长时间的低速行驶,引起不良后果,甚至造成事故。这说明汽车短时间内在陡坡路段上坡或下坡,问题尚不严重,但如果长时间地连续在陡坡夹缓和坡段的路段上行驶,就相当危险。因此有必要从行车顺利和安全考虑来控制设计纵坡的平均值。

我国《标准》规定,为了合理运用最大纵坡、坡长和缓和坡段,以利汽车安全顺利行驶,越岭路线连续上坡(或下坡)的路段,相对高差为 200~500m 时平均纵坡不应大于 5.5%,相对高差大于 500m 时平均纵坡不应大于 5%,且任意连续 3km 路段的平均纵坡不宜大于 5.5%。

5. 合成坡度

合成坡度是指在设有超高的平曲线上,路线纵坡与超高横坡或路面横坡组合而成的最大坡度。其方向为流水方向,又称流水线坡度。合成坡度的计算公式为

$$i_{\text{合}} = \sqrt{i_{\text{纵}}^2 + i_{\text{横}}^2} \quad (1-0-3-13)$$

式中 $i_{\text{合}}$ ——合成坡度,%;

$i_{\text{纵}}$ ——路线纵坡度,%;

$i_{\text{横}}$ ——超高横坡度或路面横坡度,%。

汽车在有合成坡度的路段行驶时,如果合成坡度过大,由于离心力的作用,可能引起汽车向合成坡度方向的倾斜和侧向滑移,给汽车行驶带来危险。因此,应将合成坡度控制在一定的范围之内。我国《标准》规定各级公路的最大容许合成坡度值如表 1-0-3-5 所示。

公路最大容许合成坡度

表 1-0-3-5

公路等级	高速公路				二、三、四级公路				
设计速度 (km/h)	120	100	80	60	80	60	40	30	20
合成坡度 (%)	10	10	10.5	10.5	9	9.5	10	10	10

当陡坡与小半径平曲线相重叠时,在条件许可的情况下,以采用较小的合成坡度为宜。特别是在下述情况下,其合成坡度必须小于 8%。

- (1) 冬季路面有积雪、结冰的地区;
- (2) 自然横坡较陡峻的傍山路段;

(3) 非汽车交通比率高的路段。

各级公路的最小合成坡度不宜小于 0.5%。在超高过渡的变化处,合成坡度不应设计为 0%。当合成坡度小于 0.5% 时,则应采取综合排水措施,以保证路面排水畅通。

合成坡度的临界线图及其各种设计速度所对应平曲线半径的关系如图 1-0-3-5 所示。

6. 爬坡车道

爬坡车道是指在陡坡路段正线行车道右侧设置的专供载货汽车行驶的专用车道。

在确定高速公路和一级公路的最大纵坡时,一般是以小客车行驶速度为标准的,当公路纵坡较大时载货汽车因爬坡时需克服较大的坡度阻力,只有降低车速才能通过。当载货汽车所占比例较大时,小客车的行驶速度受到影响,超车频率增加,导致爬坡路段的通行能力下降,甚至产生堵塞交通的现象。为了不使爬坡速度低的载货汽车影响爬坡速度高的小客车行驶,就需要在陡坡路段的上坡方向增设爬坡车道,把载货汽车从正线车流中分离出去,来保证道路的通行能力。

《标准》规定,高速公路和一级公路,当纵坡大于 4% 时,可设置爬坡车道,其宽度一般为 3.5m。

《规范》中规定,高速公路、一级公路以及二级公路,当纵坡对载货汽车上坡运行速度、路段通行能力、安全等产生严重影响的路段,纵在其纵坡长度受限制的路段,应对载货汽车上坡行驶速度的降低值和设计通行能力进行验算,符合下列情况之一者,宜在上坡方向行车道的右侧设置爬坡车道,其宽度一般为 3.5m。

(1) 沿上坡方向载货汽车的行驶速度降低到表 1-0-3-6 的容许最低速度以下时,宜设置爬坡车道;

上坡方向容许最低车速

表 1-0-3-6

设计速度(km/h)	120	100	80	60	40
容许最低速度(km/h)	60	55	50	40	25

(2) 上坡路段的设计通行能力小于设计小时交通量时,宜设置爬坡车道。

(3) 纵坡设计中,对需设置爬坡车道的路段,应与减小主线纵坡不设爬坡车道的方案进行比较,对隧道、大桥、高架构造物及深挖方路段等特殊工程,当因设置爬坡车道使工程费用增加很大时,爬坡车道可暂不设置,视交通量增长对行车速度的影响程度在改建公路时再考虑是否设置爬坡车道;对双向六车道以上的高速公路,行车影响干扰的程度已不大,可不另行设置,对小客车较多的旅游公路或交通量很大、重载汽车比率较大的其他等级公路,也可参照上述条件,从工程建设目的、服务水平、工程投资规模综合分析后确定是否设置爬坡车道。

爬坡车道的宽度包括左侧路缘带 0.5m 在内如图 1-0-3-6 所示。由于爬坡车道上的车速要比主线上的车速低,故超高横坡度可相应减小,超高的旋转轴为爬坡车道内侧边缘,其超高横坡度如表 1-0-3-7 所示。

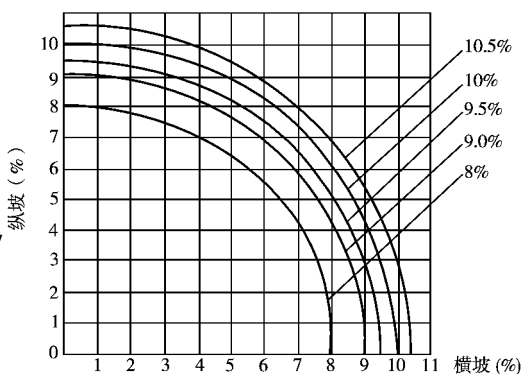


图 1-0-3-5 合成坡度临界线图

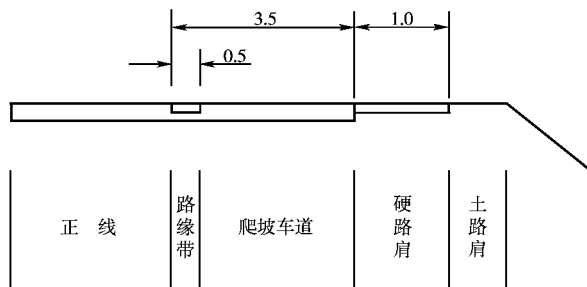


图 1-0-3-6

爬坡车道的超高横坡度

表 1-0-3-7

行车道超高坡度(%)	10	9	8	7	6	5	4	3	2
爬坡车道的超高坡度(%)	5			4				3	2

爬坡车道的加宽按主线行车道加宽的有关规定进行。

爬坡车道的长度与起、终点按下述规定进行：

(1)爬坡车道的长度应与主线相应纵坡长度一致；

(2)爬坡车道起点、终点处应按规定设置分流、合流渐变段,其长度规定如表 1-0-3-8 所示；

(3)为使载货汽车车速恢复到容许最低速度,在爬坡车道终点处应设置表 1-0-3-9 规定的附加长度 L_2 ,以便载货汽车加速后顺利驶入主线行车道。该附加长度包括终点渐变段长度 60m 在内,如图 1-0-3-7 所示。

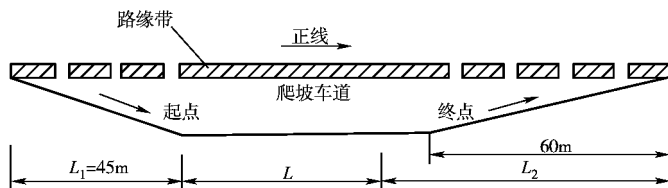


图 1-0-3-7

渐变段长度

表 1-0-3-8

公路等级	分流渐变段长度(m)	合流渐变段长度(m)
高速公路、一级公路	100	150 ~ 200
二级公路	50	90

爬坡车道终点附加长度

表 1-0-3-9

附加段的纵坡(%)	下坡	平坡	上坡			
			0.5	1.0	1.5	2.0
附加长度(m)	100	150	200	250	300	350

(4)设计爬坡车道时,应综合考虑爬坡车道与主线线形设计的关系,其起、终点应设在通视良好、便于辨认和过渡顺适的地点。

(5)高速公路、一级公路爬坡车道长度大于 500 m 时,应在其右侧按规定设置应急停车带。

• 第三节 竖曲线计算 •

纵断面上相邻两条纵坡线相交的转折处,为了行车平顺用一段曲线来缓和,称为竖曲线。

竖曲线的形状,通常采用平曲线或二次抛物线两种,但在设计和计算上抛物线更为方便,故一般采用二次抛物线的形式。

在纵坡设计时,由于纵断面上只反映水平距离和竖直高度,因此竖曲线的切线长与弧长是其在水平面上的投影,切线支距是竖直的高程差。相邻两条纵坡线相交角用转坡角表示。当竖曲线转坡点在曲线上方时为凸形竖曲线,反之为凹形竖曲线,如图 1-0-3-8 所示。

一、竖曲线要素计算公式

如图 1-0-3-9 所示,设转坡处相邻两纵坡度分别为 i_1 和 i_2 ,转坡角以 ω 表示,则转坡角 ω 为 i_1 与 i_2 的代数差,即 $\omega = i_1 - i_2$ 。

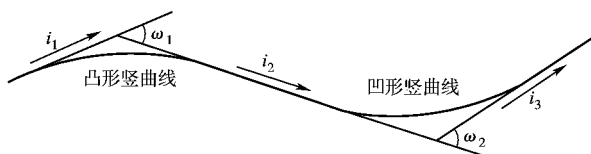


图 1-0-3-8

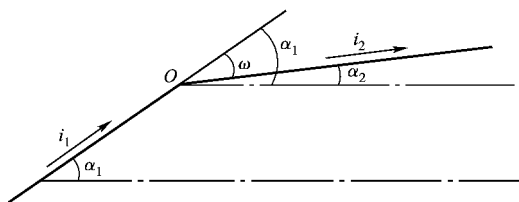


图 1-0-3-9

当 ω 为正值时,则为凸形竖曲线,当 ω 为负值时,则为凹形竖曲线。

1. 竖曲线基本方程式

二次抛物线作为竖曲线的基本线形是我国目前常用的一种形式。二次抛物线的基本方程为 $x^2 = 2Py$ 。由图 1-0-3-10 可知,若原点设在 O 点,则二次抛物线的参数(即原点的曲率半径) $P = R$,则

$$x^2 = 2Ry$$

$$\text{即} \quad y = \frac{x^2}{2R} \quad (1-0-3-14)$$

式中 R ——二次抛物线的参数,(原点的曲率半径),通常称为竖曲线半径 m 。

2. 竖曲线要素计算公式

1) 切线上任意一点与竖曲线间的竖距 $h(PQ)$

$$PQ = y_p - y_q = \frac{1}{2R}(x_A - l)^2 - (y_A - li_1) = \frac{1}{2R}(x_A^2 - 2x_A \cdot l + l^2) - \left(\frac{x_A^2}{2R} - l \frac{x_A}{2R} \right)$$

$$\text{所以} \quad h = PQ = \frac{l^2}{2R} \quad (1-0-3-15)$$

式中 h ——切线上任意点至竖曲线上的竖向距离 m ;

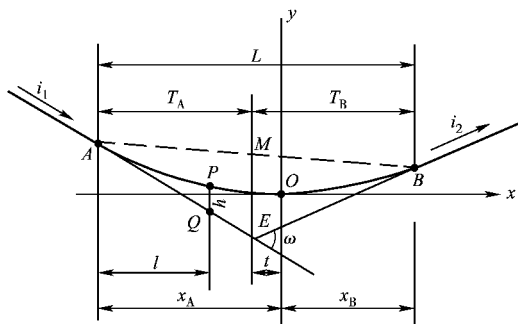


图 1-0-3-10

l——竖曲线上任意点 P 至切点 A 或 B 的水平距离 m 。

2) 曲线长 L

$$AB = x_B - x_A = Ri_2 - Ri_1 = R(i_2 - i_1)$$

所以

$$L = R(i_2 - i_1) = R\omega \quad (1-0-3-16)$$

3) 切线长 T

$$T = T_B = T_A = \frac{L}{2} = \frac{1}{2}R \cdot \omega \quad (1-0-3-17)$$

4) 外距 E

$$E = \frac{T_A^2}{2R} = \frac{T_B^2}{2R}$$

所以

$$E = \frac{T^2}{2R} \quad (1-0-3-18)$$

综上所述,竖曲线的要素计算公式为:

$$\left. \begin{aligned} L &= R\omega \\ T &= \frac{L}{2} = \frac{1}{2}R \cdot \omega \\ E &= \frac{T^2}{2R} \\ h &= \frac{l^2}{2R} \end{aligned} \right\} \quad (1-0-3-19)$$

二、凸形竖曲线的最小长度和半径

凸形竖曲线的最小长度和半径是以满足汽车平顺地由直坡段过渡到竖曲线,不使驾驶员的视线受到影响,以及汽车在竖曲线上行程时间不宜过短来考虑的。此外,汽车在竖曲线上行驶时,产生的径向离心力,也会引起乘客不适。所以,凸形竖曲线的最小长度与半径是按视距、行程时间和减小径向离心力的要求进行计算的。

1. 按视距要求确定竖曲线最小长度与半径

汽车在凸形竖曲线上行驶时,如果竖曲线半径太小,会阻挡驾驶员视线而产生盲区(见图 1-0-3-11)。为了行车安全,应以满足视距的要求,按竖曲线长度 L 和停车视距 $S_{\text{停}}$ 的关系分两种情况。

1) 当竖曲线长度 L 小于停车视距 $S_{\text{停}}$ 时

如图 1-0-3-12 所示,设驾驶员眼睛离路面的高度

$h_1 = 1.2\text{m}$, 前方障碍物离路面的高度 $h_2 = 0.1\text{m}$ 。

将竖曲线延长至 h_1 与 h_2 的竖直方向上,则可求得:

$$h_1 = \frac{d_1^2}{2R} - \frac{t_1^2}{2R}$$

则

$$d_1 = \sqrt{2Rh_1 + t_1^2}$$

$$h_2 = \frac{d_2^2}{2R} - \frac{t_2^2}{2R}$$

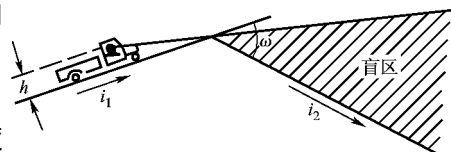


图 1-0-3-11

则

$$d_1 = \sqrt{2Rh_2 + t_2^2}$$

$$t_1 = d_1 - l = \sqrt{2Rh_1 + t_1^2} - l$$

则

$$t_1 = \frac{Rh_1}{l} - \frac{l}{2}$$

因

$$t_2 = d_2 - (L - l) = \sqrt{2Rh_2 + t_2^2} - (L - l)$$

则

$$t_2 = \frac{Rh_2}{L - l} - \frac{L - l}{2}$$

停车视距长度

$$S_{\text{停}} = t_1 + L + t_2 = \frac{Rh_1}{l} + \frac{L}{2} + \frac{Rh_2}{L - l} \quad (1-0-3-20)$$

为求得 $S_{\text{停}}$ 为最小值时的 l , 可令 $\frac{dS_{\text{停}}}{dl} = 0$ 则

$$\frac{dS_{\text{停}}}{dl} = -\frac{lh_1}{l^2} + \frac{Rh_2}{(L - l)^2} = 0$$

解得 $l = \frac{\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}} L$, 代入式(1-0-3-9) 则

$$S_{\text{停}} = \frac{R}{L} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2 + \frac{L}{2} = \frac{1}{\omega} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2 + \frac{L}{2}$$

凸形竖曲线最小长度为：

$$L_{\min} = 2S_{\text{停}} - \frac{4}{\omega} \quad (1-0-3-21)$$

凸形竖曲线最小半径为：

$$R_{\min} = \frac{L_{\min}}{\omega} = \frac{1}{\omega} \left(2S_{\text{停}} - \frac{4}{\omega} \right) \quad (1-0-3-22)$$

式中 $L_{\min}$ ——凸形竖曲线最小长度 m ；

$R_{\min}$ ——凸形竖曲线最小半径 m ；

$S_{\text{停}}$ ——停车视距 m ；

ω ——转坡角 $\%$ 。

2) 当竖曲线长度 L 大于停车视距 $S_{\text{停}}$ 时

这种情况如图 1-0-3-13 所示。

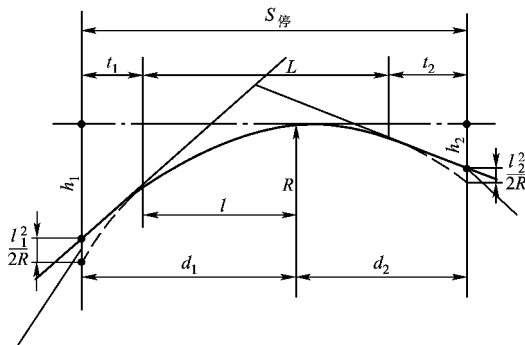


图 1-0-3-12

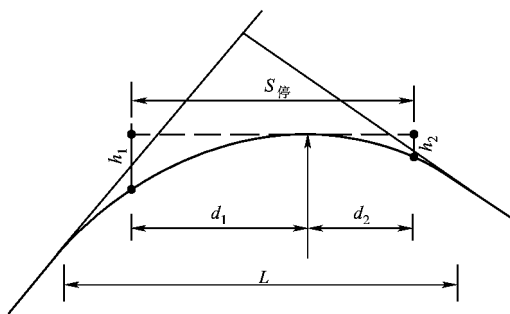


图 1-0-3-13

图中：

$$h_1 = \frac{d_1^2}{2R} \quad \text{则} \quad d_1 = \sqrt{2Rh_1}$$

$$h_2 = \frac{d_2^2}{2R} \quad \text{则} \quad d_2 = \sqrt{2Rh_2}$$

$$S_{\text{停}} = d_1 + d_2 = \sqrt{2R}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) = \sqrt{\frac{2L}{\omega}}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

凸形竖曲线最小长度为：

$$L_{\min} = \frac{S_{\text{停}}^2 \cdot \omega}{4} \quad (1-0-3-23)$$

凸形竖曲线最小半径为：

$$R_{\min} = \frac{L_{\min}}{\omega} = \frac{S_{\text{停}}^2}{4} \quad (1-0-3-24)$$

式中符号同前。

从以上两种情况的计算公式可知,式(1-0-3-24)计算结果明显大于式(1-0-3-22),因此它是凸形竖曲线上满足视距要求的计算公式。

2. 按行程时间求竖曲线最小长度和半径

汽车从直坡段驶入竖曲线时,当竖曲线的转坡角很小,即使半径较大,如果其竖曲线长度过短,汽车倏忽而过,冲击力大,旅客会感到不舒适,太短的竖曲线长度从视觉上也会感到线形突然转折。因此,应限制汽车在竖曲线上的行程时间不宜过短,以此来控制竖曲线的最小长度和半径,即

$$L_{\min} = vt = \frac{v}{3.6}t$$

或

$$R_{\min} = \frac{L_{\min}}{\omega} = \frac{v}{3.6\omega}t \quad (1-0-3-25)$$

式中 v ——计算行车速度 km/h；

t ——汽车在竖曲线上行程时间,一般取 $t = 3s$ 。

3. 按径向离心力求竖曲线最小长度和半径

汽车在竖曲线上行驶时,产生径向离心力。这个力在凸形竖曲线上减少重力,在凹形竖曲线上增加重力,如果这种离心力达到某种程度时,旅客就会有不舒适的感觉,同时对汽车的悬挂系统也有不利影响。因此,应对径向离心力加以控制。汽车在竖曲线上行驶时其径向离心力为：

$$F = \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} = \frac{Gv^2}{127R} \quad (1-0-3-26)$$

式中 F ——径向离心力 N；

G ——汽车的总重力 N；

g ——重力加速度 m/s^2 ；

v ——计算行车速度 km/h；

R ——竖曲线半径 m。

为保证车辆在竖曲线上行驶的安全和舒适,根据试验得知,一般应将 F/G 控制在 0.025

以内,则得竖曲线最小半径为:

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127(F/G)} = \frac{v^2}{127 \times 0.025} = \frac{v^2}{3.2} \quad (1-0-3-27)$$

$$\text{或} \quad L_{\min} = R_{\min} \cdot \omega = \frac{v^2}{3.2} \cdot \omega \quad (1-0-3-28)$$

根据汽车在凸形竖曲线上行驶的视距要求、行程时间及径向离心力 3 种影响因素,分别计算出凸形竖曲线的最小长度和半径,取其中较大者作为确定依据。

各级公路的竖曲线最小长度和半径规定如表 1-0-3-10 所示。

竖曲线最小半径和最小长度

表 1-0-3-10

设计速度 (km/h)		120	100	80	60	40	30	20
凸形竖曲线半径 (m)	一般值	17000	10000	4500	2000	700	400	200
	极限值	11000	6500	3000	1400	450	250	100
凹形竖曲线半径 (m)	一般值	6000	4500	3000	1500	700	400	200
	极限值	4000	3000	2000	1000	450	250	100
竖曲线长度 (m)	一般值	250	210	170	120	90	60	50
	极限值	100	85	70	50	35	25	20

三、凹形竖曲线的最小长度与半径

确定凹形竖曲线的最小长度与半径的影响因素(即视距的要求、行程时间和径向离心力)与凸形竖曲线基本相同,主要异同点是:

(1)凹形竖曲线的径向离心力和行程时间的计算公式与凸形竖曲线完全相同,但凹形竖曲线与凸形竖曲线所产生的径向离心力,前者有增重作用,后者有减重作用,当这种径向离心力增大到一定程度时,都会使乘客感到不适。具体可参见凸形竖曲线。

(2)凸形竖曲线最不利的情况是以满足视距要求作为主要控制因素的,而凹形竖曲线最不利的情况是以径向离心力产生的冲击力不应过大作用主要控制因素,因为这种冲击力在相同的条件下,对凹形竖曲线更为严重。

(3)在公路等级和地形条件相同的条件下,凸形竖曲线的最小半径值较凹形竖曲线的最小半径值高,这主要是凸形竖曲线的视距要求更高所致,将其取的大一些才更为合理,见表 1-0-3-10。

(4)凹形竖曲线的视距是以保证夜间行车安全,前灯照明应有足够的距离来确定最小长度和半径的,如图 1-0-3-14 所示。设前照灯高度为 h ,前照灯光束扩散角为 δ ,则按竖曲线长度 L 与停车视距 $S_{\text{停}}$ 分两种情况。

1)竖曲线长度 L 小于停车视距 $S_{\text{停}}$ 时

这种情况如图 1-0-3-14 所示。

图中 $S_{\text{停}} = L + l$ 则 $l = S_{\text{停}} - L$

$$h + S_{\text{停}} \cdot \tan \delta = \frac{(L + l)^2}{2R} - \frac{l^2}{2R} = \frac{\omega(3S_{\text{停}} - L)}{2}$$

解得

$$L_{\min} = 2 \left(S_{\text{停}} - \frac{h + S_{\text{停}} \tan \delta}{\omega} \right) \quad (1-0-3-29)$$

2) 竖曲线长度 L 大于停车视距 $S_{\text{停}}$ 时
这种情况如图 1-0-3-15 所示。

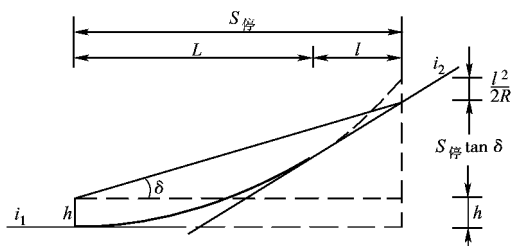


图 1-0-3-14

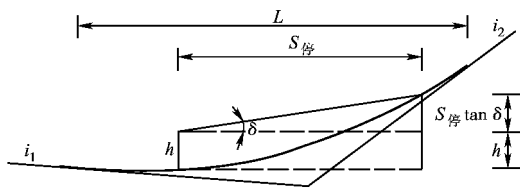


图 1-0-3-15

图中：

$$h + S_{\text{停}} \cdot \tan \delta = \frac{S_{\text{停}}^2}{2R} = \frac{S_{\text{停}}^2 \cdot \omega}{2L}$$

$$L_{\min} = \frac{S_{\text{停}}^2 \cdot \omega}{2(h + S_{\text{停}} \tan \delta)} \quad (1-0-3-30)$$

式中 h ——前照灯高度, 一般 $h = 0.75\text{m}$;

δ ——前照灯光束扩散角, 通常 $\delta = 1.5^\circ$ 。

其余符号意义同前。

根据汽车在凹形竖曲线上行驶的 3 种影响因素, 并以径向离心力为主要控制, 即可确定凹形竖曲线的最小长度和半径。《标准》规定的各级公路的凹形竖曲线最小长度和最小半径如表 1-0-3-10 所示。

四、竖曲线设计与计算

1. 竖曲线设计

竖曲线设计, 首先要合理地确定竖曲线半径和长度。如表 1-0-3-10 所示, 表中规定的一般最小半径约为极限最小半径的 1.5 ~ 2.5 倍。因此, 当条件许可时应尽量采用大于一般最小半径, 只有当地形受到限制或有其他特殊困难时, 方可采用极限最小半径。对设计速度较高公路, 为了使公路的线形获得理想的视觉效果, 还宜从视觉观点确定最小半径值, 如表 1-0-3-11 所示。

视觉所需要的最小竖曲线半径值

表 1-0-3-11

设计速度 (km/h)	竖曲线半径 (m)		设计速度 (km/h)	竖曲线半径 (m)	
	凸形	凹形		凸形	凹形
120	20000	12000	60	9000	6000
100	16000	10000	40	3000	2000
80	12000	8000			

竖曲线半径选择主要考虑以下因素：

(1) 同向竖曲线间, 特别是同向凹形竖曲线之间, 当竖曲线半径小于 10000m, 如果直线坡

段不长,应合并为单曲线或复曲线,避免出现断背曲线;

(2)反向竖曲线之间,为使汽车的增重与减重之间有一过渡段,应尽量在中间设置一段直线坡段,以利汽车行驶的过渡。直线坡段的长度一般以不小于 3.0s 的行程时间为宜。当插入直线段有困难时,也可直接连接。

(3)在不过分增加土石方数量情况下,为使行车舒适,应尽量采用较大半径。

(4)根据竖曲线范围内的纵断面地面线起伏情况和标高控制要求,尽量考虑土石方填挖平衡,确定合适的外距值,按外距控制选择半径。

(5)夜间行车交通量较大的路段,选择半径时应适当加大,使汽车前照灯有较长的照射距离。

2. 竖曲线计算

竖曲线计算的目的是确定设计纵坡上指定桩号的路基设计标高。其要点是:首先根据转坡点处的地面线与相邻设计直线坡段情况,按上述竖曲线设计中的有关规定和要求,合理地选定竖曲线半径。其次,根据转坡点相邻纵坡度 i_1 、 i_2 和已确定的半径 R ,计算出竖曲线的基本要素 ω 、 L 、 T 、 E 及竖曲线起、终点桩号。第三,分别计算出指定桩号的切线设计标高,指定桩号至竖曲线起(或终)点间的平距 l 和指定桩号的竖距 h 。则指定桩号的路基设计标高为:

(1)凸形竖曲线:

$$\text{路基设计标高} = \text{切线设计标高} - h$$

(2)凹形竖曲线:

$$\text{路基设计标高} = \text{切线设计标高} + h$$

【例】某山岭区二级公路,转坡点设在 $K6+140$ 桩号处,其高程为 428.90,两相邻坡段的前坡 $i_1 = +4.0\%$,后坡 $i_2 = -5.0\%$,选用竖曲线半径 $R = 2000\text{m}$ 。试计算竖曲线要素及桩号 $K6+080$ 和 $K6+200$ 处的路基设计标高。

1. 计算竖曲线要素

转坡角: $\omega = i_1 - i_2 = (0.04) - (-0.05) = 0.09$

$\omega > 0$,为凸形竖曲线。

曲线长: $L = R\omega = 2000 \times 0.09 = 180\text{m}$

切线长: $T = \frac{L}{2} = \frac{180}{2} = 90\text{m}$

外矩: $E = \frac{T^2}{2R} = \frac{90^2}{2 \times 2000} = 2.03\text{m}$

2. 计算竖曲线起、终点桩号

$$\text{竖曲线起点桩号} = (K6+140) - 90 = K6+050$$

$$\text{竖曲线终点桩号} = (K6+140) + 90 = K6+230$$

3. 计算路基设计标高

桩号 $K6+080$ 处:

平距: $l = (K6+080) - (K6+050) = 30\text{m}$

竖距: $h = \frac{l^2}{2R} = \frac{30^2}{2 \times 2000} = 0.23\text{m}$

$$\text{切线标高} = 428.9 - 60 \times 0.04 = 426.50\text{m}$$

$$\text{设计标高} = 426.50 - 0.23 = 426.27\text{m}$$

桩号 K6 + 160 处 ,

$$\text{平距 : } l = (K6 + 230) - (K6 + 160) = 70\text{m}$$

$$\text{竖距 : } h = \frac{l^2}{2R} = \frac{70^2}{2 \times 2000} = 1.23\text{m}$$

$$\text{切线标高} = 428.9 - 20 \times 0.05 = 427.90\text{m}$$

$$\text{设计标高} = 427.90 - 1.23 = 426.67\text{m}$$

• 第四节 平面和纵面线形组合设计 •

公路平面和纵面线形组合设计是指在满足汽车运动学和力学要求的前提下 ,结合地形、地物、景观、视觉和经济性等 ,研究如何满足驾驶员在视觉和心理方面的连续性、舒适性以及与周围环境相协调 ,以保证汽车行驶的安全、舒适与经济。

一、平面和纵面线形组合原则

公路平面和纵面线形组合应遵循以下设计原则 :

- (1)应在视觉上能自然地诱导驾驶员的视线 ,并保持视觉的连续性。
- (2)平面、纵断面线形的技术指标应大小均衡 ,避免出现平面高标准 ,纵断面低标准 ,或与此相反的情况 ,使线形在视觉上、心理上保持协调。
- (3)选择组合得当的合成坡度 ,以利于路面排水和行车安全。
- (4)平、纵面线形组合应注意与周围环境相配合 ,充分利用公路周围的地貌、地形、天然树林、建筑物等 ,尽量保持自然景观的连续 ,以消除景观单调感 ,使公路与大自然融为一体。

二、平曲线与竖曲线组合

1. 平曲线应与竖曲线相互重合

平曲线与竖曲线相互重合 ,使平曲线稍长于竖曲线 ,并将竖曲线的起、终点分别放在平曲线的两个缓和曲线的中间 ,这是平、纵面最好的组合 ,如图 1-0-3-16 所示。如果做不到平曲线与竖曲线较好的组合 ,而两者的半径均较小时(一般指平曲线半径小于一般最小半径值) ,宁

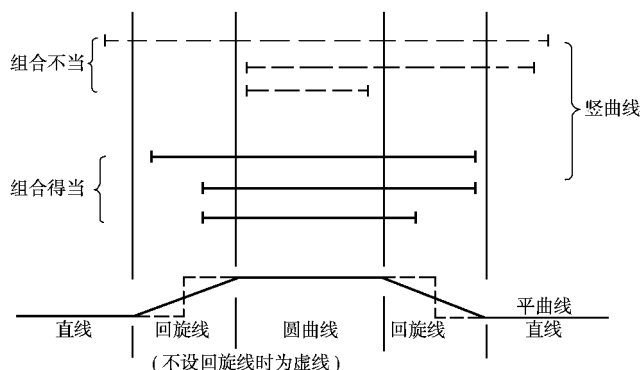


图 1-0-3-16

可把平曲线、竖曲线错开相当距离,使竖曲线位于平面的直线上,但如果平曲线与竖曲线半径都很大,则平、竖曲线的位置可不受上述限制。

2. 平面曲线与竖曲线的大小应保持均衡

如果其中一方大而平缓时,则另一方也要与之相适应,不能变化过多。一个平曲线内含有两个以上的竖曲线或与此相反的情况,总给人一种不舒服的感觉。

平曲线与竖曲线重合时,如果平曲线不大于 1000m,当竖曲线半径为平曲线半径的 10 ~ 20 倍时,可在视觉上获得满意的效果。

3. 下列情况下应避免平曲线与竖曲线组合

(1) 凸形竖曲线的顶部和凹形竖曲线的底部,应避免插入小半径平曲线;凸形竖曲线的顶部,不得与反向平曲线的拐点重合。

如果在凸形竖曲线的顶部设有小半径的平曲线,驾驶员需驶近坡顶才能发现平曲线,会导致紧急制动并急转转向盘而易发行车危险;在凹形竖曲线的底部设有小半径平曲线,会因汽车高速下坡时急转弯,同样可能发生行车危险。

凸形竖曲线的顶部,不得与反向平曲线的拐点重合。主要是因为这样的组合除存在上述所列情况外,还因组合后的扭曲使线形很不美观。

(2) 小半径竖曲线不宜与缓和曲线相互重叠。

4. 线形设计中应避免的组合

(1) 小半径的平曲线起、讫点不得设在或接近凸形竖曲线的顶部和凹形竖曲线的底部。

(2) 长平曲线内不得设置短的竖曲线;长竖曲线内也不得设置短的平曲线。

(3) 凸形竖曲线的顶部和凹形竖曲线的底部,不得同反向平曲线的拐点重合。

(4) 直线上的纵面线形应避免出现驼峰、暗凹、断背等使驾驶者视觉中断的线形。

(5) 直线段内不得插入短的竖曲线。

(6) 小半径竖曲线宜与回旋曲线相互重叠。

(7) 避免在长直线上设置坡陡或曲线长度短、半径小的凹型竖曲线。

(8) 应避免急弯与陡坡相重合。

(9) 应避免短的平曲线与短的凸形竖曲线组合。

(10) 应避免一个平曲线内含有两个以上竖曲线或与此相反的情况。

(11) 应避免平曲线与竖曲线错位的组合。

三、平面与纵坡的组合

平面与纵坡组合时,在平面的长直线上不宜设置陡坡,并应避免在长陡坡下端设置小半径平曲线。有条件时,应将合成坡度的控制与线形组合设计相结合,一般最大合成坡度不宜大于 8%,最小合成坡度不小于 0.5%。特别应避免急弯与陡坡相重合的线形,以策安全。

在直线上的纵面线形应避免出现驼峰、暗凹、跳跃等使驾驶员视觉中断的线形。特别是在短直线上反复变坡更会加剧上述现象的发生,使线形既不美观也不连贯。所以,只要公路的纵坡有两次以上的较大起伏,就应避免采用长直线,而使平面线形随纵坡的变化略加转折,同时注意平、纵面的合理组合。

平、纵面线形的组合,是通过设计者对立体线形要素所形成的想象来分析判断的,必要时

还应绘制透视图进行分析研究。各种直线和曲线组合的立体线形要素如图 1-0-3-17 所示。

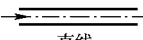
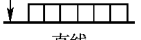
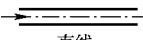
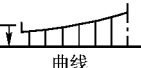
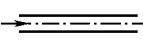
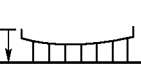
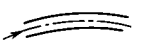
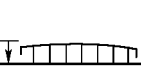
平面要素	纵面要素	立体线形要素
 直线	 直线	 纵坡不变的曲线
 直线	 曲线	 凹形曲线
 直线	 曲线	 凸形直线
 曲线	 直线	 纵坡不变的直线
 曲线	 曲线	 凹形直线
 曲线	 曲线	 凸形曲线

图 1-0-3-17

• 第五节 纵断面设计方法及成果 •

纵断面设计主要是指纵坡和竖曲线设计。它的主要内容是根据公路等级和相应的有关规定,以及路线自然条件和拟建造构造物的标高要求等,确定路线适当的标高、各坡段的纵坡和坡长,并设计竖曲线。

一、纵断面设计要点

纵断面设计首先涉及的内容是纵断面线形布置,它包括不同地形条件下的设计标高控制,各坡段的纵坡设计和转坡点位置确定等。

1. 各种地形条件下的标高控制

所谓设计标高的控制,是指在纵坡设计时将路线安排在哪一个高度上最为合适。

(1)在平原区,地形平坦,河沟纵横交错,地面水源多,地下水位较高,因此,路线设计标高主要由保证路基稳定的最小填土高度所控制。

(2)在丘陵地区 地面有一定的高差 除局部地段外路线在纵断面上克服高差不很困难。因此 设计标高的选定 主要由土石方平衡和降低工程造价所控制。

(3)在山岭地区 地形变化频繁 地面自然坡度大 布线有一定的困难。因此 设计标高主要由纵坡度和坡长所控制 但也要从土石方尽量平衡及路基防护工程经济性等方面考虑 力求降低工程造价。

(4)沿溪(河)路段 为保证路基安全稳定 路基一般应高出规定洪水频率的计算水位加壅水高、波浪侵袭高和 0.5m 以上。

此外 纵断面设计标高的控制 还应考虑公路的起终点、交叉口、垭口、隧道、桥梁、排灌涵洞、地质不良地段等方面的要求。有时这些地物和人工造物对设计标高控制往往起着决定性的作用。

2. 各种地形条件下的纵坡设计

对不同地形的纵坡设计 要在初步拟定设计标高控制的基础上 按下列要求和规定进行 以求纵坡设计合理。

(1)平原、微丘地形的纵坡应均匀、平缓 并注意保证路基最小填土高度和最小排水纵坡的要求；

(2)丘陵地形的纵坡应避免过分迁就地形而使路线起伏过大；

(3)山岭、重丘地形的沿河线 应尽量采用平缓的纵坡 坡长不宜过短 纵坡度不宜过大 较高等级的公路更应注意不宜采用陡坡；

(4)越岭线的纵坡应力求均匀 尽量不采用极限或接近极限的坡度 更不宜连续采用极限长度的陡坡之间夹短距离缓和坡段的纵坡线形。越岭线不应设置反坡 以免浪费高程；

(5)山脊线和山腰线 除结合地形不得已时采用较大的纵坡外 在一般情况下应采用平缓的纵坡。

3. 转坡点位置的确定

转坡点是两条相邻设计纵坡线的交点 两转坡点之间的水平距离称为坡长。转坡点位置的确定 直接影响到纵坡度的大小、坡长、平、纵面组合、土石方填挖平衡和公路的使用质量。因此 在确定转坡点位置时 要尽量使填挖工程量最小和线形最理想外 还应使最大纵坡、最小纵坡、坡长限制、缓和坡段满足有关规定的要求 同时还要处理好平、纵面线形的相互配合和协调。此外 为方便设计和计算 转坡点的位置一般应设在 10m 的整数桩号处。

二、纵断面设计方法与步骤

公路的纵坡是通过公路定线和室内设计两个阶段来实现的。在定线阶段 选线人员在现场或纸上定线时结合平面线形、地形等已对公路纵坡作了全面的考虑 所以纵断面设计由选线人员在室内根据选线时的记录 以及桥涵、地质等方面对路线的要求 综合考虑工程技术与经济的因素 最后定出路线的纵坡。

纵断面设计一般按以下方法与步骤进行：

1. 准备工作

纵坡设计(俗称拉坡)前 首先应搜集和研究地形、地质、水文、筑路材料的各项记录、图表等野外资料 熟悉领会设计意图和各项具体要求。然后 在纵断面图上点绘出里程、桩号、地面

高程和地面线、直线与平曲线,并将桥梁、涵洞、隧道、交叉、地质、土质等与纵坡设计有关的资料在纵断面图上标明,以便供拉坡时参考。

2. 纵坡设计

1) 标注控制点

控制点是指影响纵坡设计的高程控制点。如路线的起终点、垭口、桥涵、地质不良地段、最小填土高度、最大挖深、沿河线的洪水位、隧道进出口、路线交叉点以及受其他因素限制路线必须通过的高程控制点等,都应作为控制坡度的依据。

对于山岭公路,除上述控制点外,还有根据路基填挖平衡关系控制路中心填挖值的标高点,称为经济点,如图 1-0-3-18 所示。其含义是指如果纵坡设计线刚好通过该经济点,则在相应横断面上填方和挖方基本平衡,最为经济。经济点的位置是用“路基断面透明模板”在横断面图上得到的。如图 1-0-3-19 所示,路基断面透明模板可用透明胶片或透明描图纸制作,在其上按比例绘制路基宽度和各种不同边坡坡度线。使用时将透明模板扣在横断面图上,中心线与路基中心线重合,上下移动透明模板,使填、挖面积大致相等,此时透明模板上路基顶面至地面线之间的高差即为经济填挖值,将这些值点绘到纵断面相应的桩号上即为经济点。

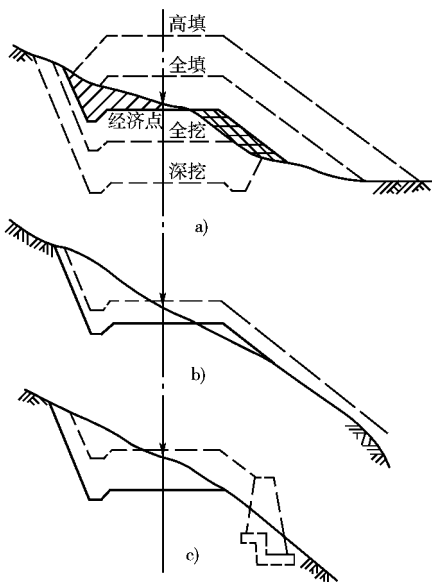


图 1-0-3-18

控制点和经济点在纵断面图上的标记,通常可用不同的符号表示。如经济点用“ $\odot$ ”,必须通过的控制点用“ $\times$ ”;只能上不能下的控制点用“ δ ”,只能下不能上的控制点用“ ∇ ”,设置挡土墙时用“ $\triangle$ ”等。

2) 试定纵坡

在已标出控制点与经济点的纵断面图上,以控制点为依据,尽量照顾经济点为原则,根据定线意图,结合地面起伏情况,在控制点与经济点之间进行插点穿线,试定出纵坡。在试定纵坡时,每定一个转坡点,均需全面考虑前后几个转坡点的情况,要前后照顾,交出转坡点的位置。一般来说,如果试定的纵坡线既能符合技术标准,又能满足控制点要求,而且土石方工程量又较省,则这样的设计纵坡是最理想的,关键是要反复比较,通盘考虑,抓住主要矛盾。

3. 调整纵坡

试定纵坡之后,首先将所定的坡度与定线时所考虑的坡度进行比较,两者应基本相符,若有较大差异,应全面分析,找出原因,决定取舍。然后检查纵坡度、坡长、合成坡度等是否符合《标准》规定,平、纵面组合是否合理,若有问题应进行调整。

调整纵坡的方法一般有抬高、降低、延长、缩短坡线

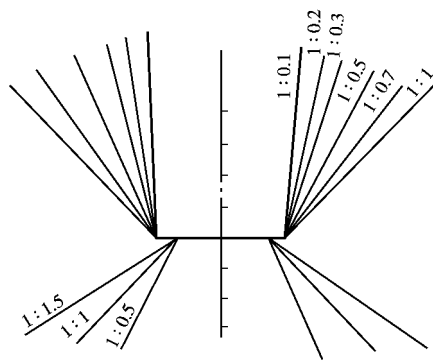


图 1-0-3-19

和加大、减小纵坡度等。调整时应以少脱离控制点,尽量减少填挖量,与自然条件协调为原则,使调整后的纵坡与试定纵坡基本相符,避免因纵坡调整产生填挖不合理等现象。

4. 与横断面进行核对

根据已调整的纵坡线,选择有控制意义的重点横断面,如高填深挖、挡土墙、重要桥涵等横断面,在纵断面图上直接估读出填挖高度,对照相应的横断面图进行认真的核对和检查。若出现填挖工程量过大、填方坡脚落空以及挡土墙工程量过大等情况,应再次调整纵坡线,直到满足为止。

5. 确定纵坡

纵坡线经调整核对无误后,即可确定纵坡。方法是从起点开始,按纵坡度和坡长分别计算出各转坡点的设计标高。公路的起终点设计标高是根据接线的需要事先确定的。转坡点设计标高确定后,公路纵坡设计线也随之确定。

设计纵坡时还应注意以下几点:

(1)在回头曲线地段设计纵坡时,应先确定回头曲线上的纵坡,然后从两端接坡,以满足回头曲线的特殊纵坡要求。

(2)大、中桥上,一般不宜设竖曲线。桥头两端的竖曲线,其起终点应设在桥头10m以外;

(3)小桥涵可设在斜坡地段和竖曲线上。但对等级较高的公路,为使公路纵坡具有一定的平顺性,应尽量避免小桥涵处出现急变的“驼峰式”纵坡,如图1-0-3-20。

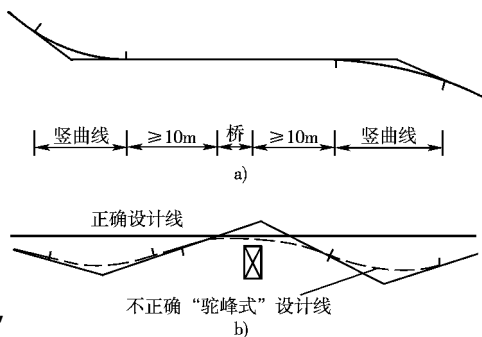


图 1-0-3-20

三、纵断面设计成果

纵断面设计成果,主要包括路线纵断面图和路基设计表。其中纵断面设计图是公路设计的重要文件之一,它反映路线所经范围的中心地面起伏情况与设计纵坡之间的关系。把纵断面线形与平面线形组合起来,就能反映出公路线形在空间的位置。

1. 纵断面图的绘制

纵断面图采用直角坐标,以横坐标表示里程桩号,纵坐标表示高程。为了清楚地反映路中心线上地面起伏情况,通常将横坐标的比例尺采用1:2000,纵坐标采用1:200。

纵断面图由两部分内容组成。图的上半部主要是用来绘制地面线和纵坡设计线,同时根据需要标注竖曲线位置及其要素;沿线桥涵及人工构造物的位置、结构类型、孔径与孔数;与公路、铁路交叉的桩号及路名;沿线跨越河流名称、桩号、现有水位及最高洪水位、水准点位置、编号和高程;断链桩位置、桩号及长短链关系等。图的下半部主要是用来填写有关数据,自下而上分别填写直线与平曲线、里程桩号、地面标高、设计标高、填挖高度、土壤地质说明等。

绘制的纵断面图,应按规定采用标准图纸和统一格式,以便装订成册,如图1-0-3-21所示。

2. 路基设计表

路基设计表是公路设计文件的组成内容之一。表中填写路线平、纵面等主要测设与设计资料、里程桩号、填、挖宽度(包括加宽)、超高值等有关内容,为公路横断面设计提供基本数据,同时也可作为路基施工的依据之一。路基设计表如表1-0-3-10所示。

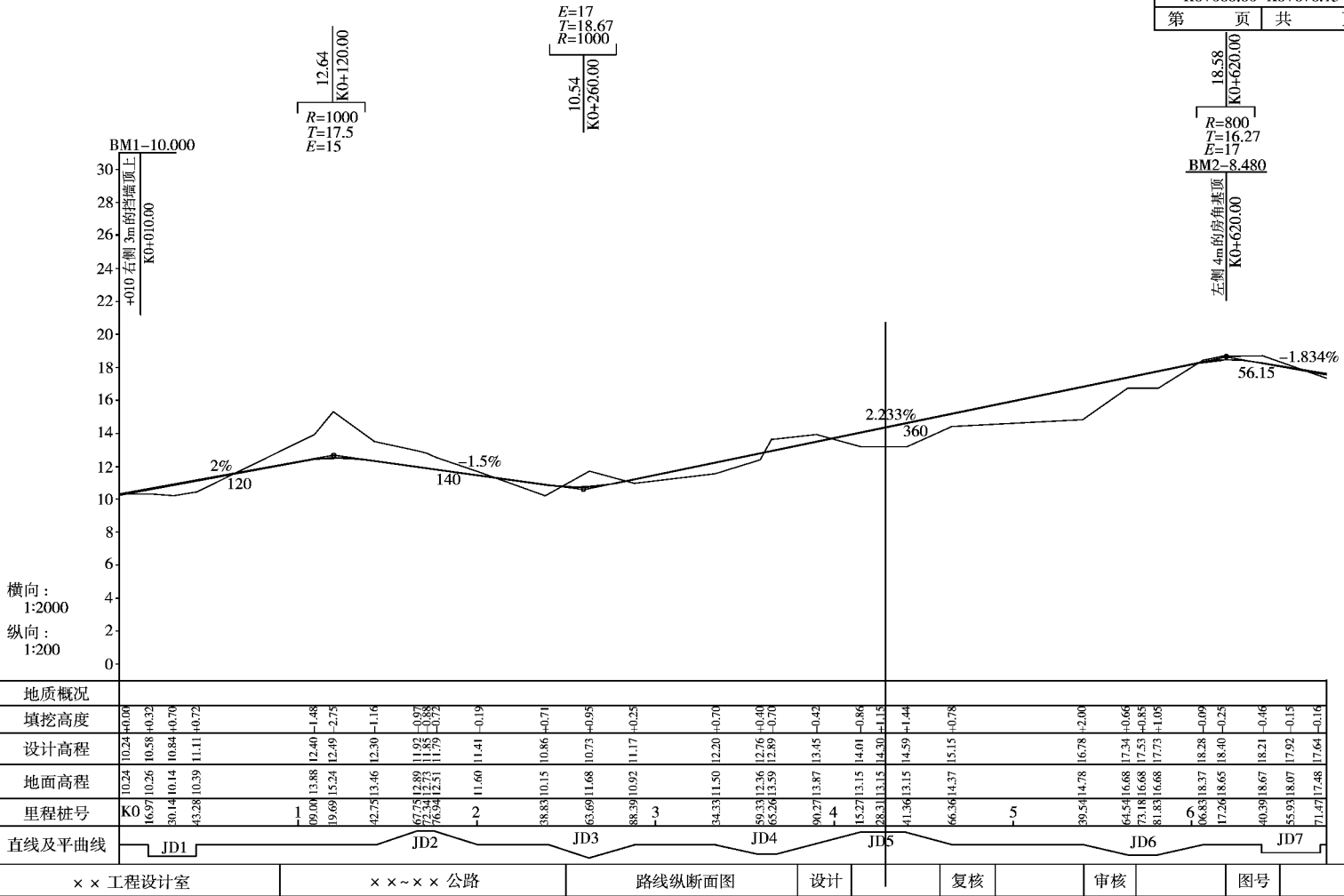


图 1-0-3-21

本章小结

(1)公路纵坡设计是以满足汽车行驶的要求为前提的。因此,在公路线形设计时,首先需要研究汽车的牵引力和行驶阻力、汽车的动力特性以及汽车动力特性对纵坡设计的影响等具体要求。

通过对汽车动力特性图分析,可以求得汽车在某一条件下(即道路附着系数 φ 为某一定值时)行驶时所能保持的速度 v 以及某一排档行驶时汽车所能克服的坡度等,从而建立各级公路的设计车速与设计纵坡的对应关系,所以汽车动力特性是公路纵坡设计的理论基础。

(2)纵坡设计的一般规定与要求主要讲述了最大纵坡与最小纵坡、坡长限制与缓和坡段、平均纵坡、合成坡度、爬坡车道的合理确定以及纵坡设计的一般要求等,这是进行纵坡设计的理论依据,必须很好地理解和掌握。

(3)竖曲线设计时,从理论上确定凸形竖曲线和凹形竖曲线的最小长度与半径的影响因素(即视距的要求、行程时间和径向离心力)是不同的,设置凸形竖曲线主要是为了保证视距,设置凹形竖曲线主要是为了缓和径向离心力的冲击,在公路等级和地形条件相同的条件下,凸形竖曲线的最小半径值比凹形竖曲线的最小半径值高,因而将其值取的大一些才更为合理。

在实际确定竖曲线半径和长度时,要从满足《标准》的技术要求、线形的衔接、行车舒适以及尽量考虑土石方填挖平衡和降低土石方工程数量等因素考虑。

(4)公路是由公路的平面线形和纵面线形所组成的空间立体形状。平面线形设计、纵面线形设计和平纵线形组合设计的过程,最终是以平、纵组合的立体线形展现出来的。汽车在行驶过程中,驾驶员所选择的实际行驶速度,是由他对立体线形的判断作出的,因此,设计中仅满足平面、纵面线形标准是不够的,还应充分考虑驾驶者在视觉和心理上的要求,使这条空间线形能尽量做到线形连续、指标均衡、视觉良好、景观协调、安全舒适。

(5)在纵断面设计时,应根据技术指标,具体结合地形反复研究,所拟定的纵断面设计线,有时会有几个方案,此时应进行反复比较,最后选定设计线。在实践工作中,为了使所定设计线更符合选线的意图及实际情况,应在设计线拟定后,拿图纸到实地复核,并进行局部修正最后决定。

思考题与习题

1. 公路纵坡设计应考虑哪些技术指标的限定要求?
2. 简述公路纵坡设计的方法与步骤。
3. 公路平、纵面线形组合设计的原则有哪些?为了满足这些原则,平曲线与竖曲线、平面与纵坡应满足哪些要求?
4. 简述平原区、丘陵区、山岭区纵断面设计标高控制的主要因素。
5. 决定转变点位置时应考虑哪些问题?
6. 某山岭区三级公路,转坡点设在K6+770桩号处,其高程为396.67m,两相邻坡段的前坡 $i_1 = +3.0\%$,后坡 $i_2 = -1.0\%$,选用竖曲线半径 $R = 3000\text{m}$ 。试计算竖曲线要素、竖曲线起、终点桩号及竖曲线上每隔整10m桩号的设计标高。

第四章

横断面设计

教学要求

- 1. 描述公路横断面的组成、横断面设计方法及横断面设计成果；
- 2. 描述横断面设计方法及步骤,进行路基土石方数的计算及调配,完成相关表格的填写,描述横断面的组成及各组成部分的功能和尺寸。

• 第一节 公路横断面的组成 •

一、横断面的组成及布置

沿着公路平面中心线的法线方向作一垂直剖面,这个剖面称为公路横断面。它是由横断面设计线与横断面所围成的图形。在横断面图上反映了路基的组成和几何尺寸,以及路基形成前的原地面线。公路横断面应根据公路等级、设计速度,结合地形、气候、土壤、水文、地质等条件,作出正确的设计,以保证路基的强度和稳定性。二级、三级、四级公路横断面的组成包括:行车道、路肩、边坡、边沟、截水沟、排水沟、护坡道、支挡防护工程以及专门设计的取土坑、弃土堆、环境保护等设施。高速公路和一级公路的横断面设置有中间带,根据需要有时还设置有紧急停车带、加(减)速车道、爬坡车道和其他安全设施。各部分的位置、名称如图 1-0-4-1 所示。

二、横断面几何尺寸

1. 车道数及车道宽度

在公路上提供每一纵列车辆安全行驶的路面,称为一个车道。车道数目的多少则依远景年的设计小时交通量和一条车道的设计通行能力而定,即车道数 = (远景年的单向设计小时交通量 / 每一车道的设计通行能力) × 2。《公路工程技术标准》依照公路等级和设计速度将车道数分为单车道、双车道、四车道、六车道及八车道。

车道宽度是指一个车道边缘之间的水平距离,不同设计速度时的车道宽度如表 1-0-4-1 所示。

车 道 宽 度 表 1-0-4-1

设计速度(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
车道宽度(m)	3.75	3.75	3.75	3.50	3.50	3.25	3.00 (单车道时为 3.50)

注:高速公路为八车道,当设置左侧硬路肩时,内侧车道宽度可采用 3.50m。

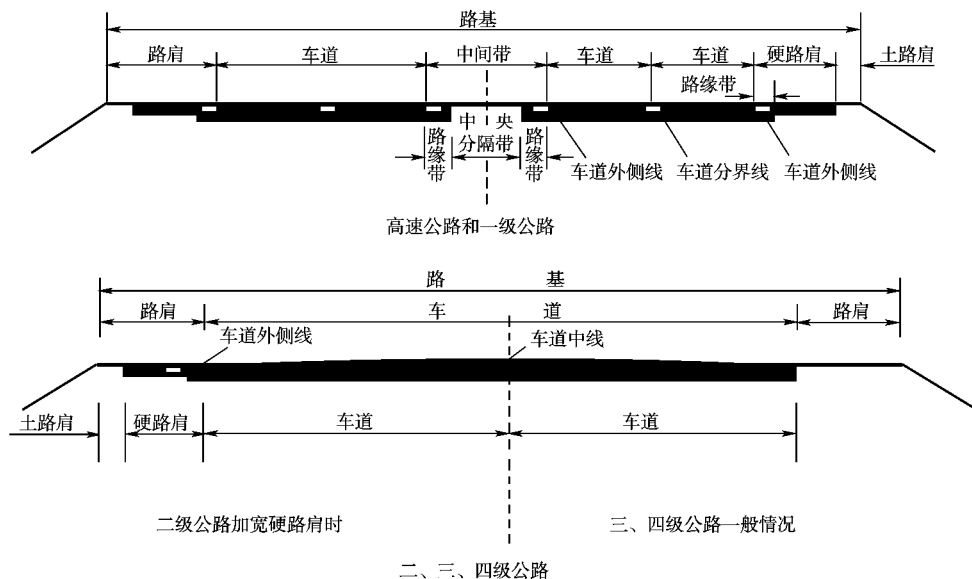


图 1-0-4-1 路基横断面组成

2. 路面宽度

路面宽度应是在保证设计速度及道路通行能力的情况下,安全行车所必需的宽度。路面宽度取决于设计车辆的横向几何尺寸、行驶速度以及车辆间或车辆与路肩之间的安全距离。单车道的路面最小宽度为 3.5m,最大宽度为 3.75m;一条双车道的最小宽度为 6.0m,最大宽度为 7.5m。一般来说,路面宽度 = 车道数 × 车道宽度。

3. 路肩宽度

路肩设于行车道外缘至路基边缘之间,是具有一定宽度的带状结构物,其功能为供行人通行,临时停放故障车辆,并作为路面的横向支承及侧向余宽的组成部分。按路肩上铺筑的材料性质可分为硬路肩和土路肩。

《公路工程技术标准》规定的各级公路路肩宽度值见表 1-0-4-2。

路 肩 宽 度

表 1-0-4-2

设计速度 (km/h)		高速公路、一级公路				二级公路、三级公路、四级公路				
		120	100	80	60	80	60	40	30	20
右侧硬路肩宽度 (m)	一般值	3.00 或 3.50	3.00	2.50	2.50	1.50	0.75	—	—	—
	最小值	3.00	2.50	1.50	1.50	0.75	0.25			
土路肩宽度 (m)	一般值	0.75	0.75	0.75	0.50	0.75	0.75	0.75	0.50	0.25(双车道)
	最小值	0.75	0.75	0.75	0.50	0.50	0.50			0.50(单车道)

注 ①“一般值”为正常情况下的采用值,“最小值”为条件受限制时可采用的值。

②设计速度为 120km/h 的四车道高速公路,采用 3.50m 的右侧硬路肩,六车道、八车道高速公路,采用 3.00m 的右侧硬路肩。

高速公路、一级公路应在右侧硬路肩宽度内设右侧路缘带,其宽度为 0.50m。

高速公路、一级公路采用分离式断面时,应设置左侧硬路肩,其宽度应符合表 1-0-4-3 的规定。左侧硬路肩宽度包含左侧路缘带宽度。

分离式断面高速公路、一级公路左侧路肩宽度

表 1-0-4-3

设计速度(km/h)	120	100	80	60
左侧硬路肩宽度(m)	1.25	1.00	0.75	0.75
左侧土路肩宽度(m)	0.75	0.75	0.75	0.50

在公路路肩上不得植树,在路肩设置路用设施时,不得侵入该等级公路的建筑限界之内。

二级、三级、四级公路在村镇附近及混合交通量较大的路段,路肩应予以加固。在实际工作中,有条件的地方,二、三级公路的路肩,全线都做了加固处理。

八车道高速公路宜设置左侧硬路肩,其宽度应为 2.50m。左侧硬路肩宽度内含左侧路缘带宽度。

高速公路、一级公路的右侧硬路肩宽度小于 2.50m 时,应设置紧急停车带。紧急停车带宽度应为 3.50m,有效长度不应小于 30m,间距不宜大于 500m。

4. 中间带宽度

中间带的主要功能是分隔对向车流和保证来往两个方向的汽车能高速、安全地行驶,防止车辆互相碰撞,并可作为设置防护栅、标志和绿化,以及埋置地下管线等设施之用。高速公路必须设置中间带,一级公路应设置中间带。

中间带由两条左侧路缘带及中央分隔带组成。其一般值为 3.0~4.5m,最小值为 2.0~3.5m。各级公路中间带的宽度见表 1-0-4-4。中央分隔带的表面形式有凸形、凹形两种,前者用于宽度 $\leq 4.5\text{m}$ 的中间带,后者用于宽度 $> 4.5\text{m}$ 的中间带。宽度 $> 4.5\text{m}$ 的,一般植草皮,栽灌木,宽度 $\leq 4.5\text{m}$ 的可铺面封闭。

中间带宽度

表 1-0-4-4

设计速度(km/h)		120	100	80	60
中央分隔带宽度(m)	一般值	3.00	2.00	2.00	2.00
	最小值	2.00	2.00	1.00	1.00
左侧路缘带宽度(m)	一般值	0.75	0.75	0.50	0.50
	最小值	0.75	0.50	0.50	0.50
中间带宽度(m)	一般值	4.50	3.50	3.00	3.00
	最小值	3.50	3.00	2.00	2.00

5. 路基宽度

公路路基宽度为行车道宽度与路肩宽度之和。当设有中间带、加(减)速车道、爬坡车道、紧急停车带、错车道等时,应计入这些部分的宽度。各级公路的路基宽度一般规定如表1-0-4-5所示。

各级公路路基宽度

表 1-0-4-5

公 路 等 级		高速公路、一级公路								
设计速度(km/h)		120			100			80		60
车道数		8	6	4	8	6	4	6	4	4
路基宽度 (m)	一般值	45.00	34.50	28.00	44.00	33.50	26.00	32.00	24.50	23.00
	最小值	42.00	—	26.00	41.00	—	24.50	—	21.50	20.00
公 路 等 级		二级公路、三级公路、四级公路								
设计速度(km/h)		80	60	40	30	20				
车道数		2	2	2	2	2 或 1				
路基宽度 (m)	一般值	12.00	10.00	8.50	7.50	6.50(双车道)			4.50(单车道)	
	最小值	10.00	8.50	—	—	—				

注:①“一般值”为正常情况下的采用值,“最小值”为条件受限制时可采用的值。

②八车道高速公路路基宽度“一般值”为设置左侧硬路肩、内侧车道采用 3.50m 时的宽度;八车道高速公路路基宽度“最小值”为不设置左侧硬路肩、内侧车道采用 3.75m 时的宽度。

二级公路因交通量、交通组成等需设置慢车道的路段,设计速度为 80km/h 时,其路基宽度可采用 15.00m,设计速度为 60km/h 时可采用 12m。四级公路宜采用双车道路基宽,交通量小的路段,可采用单车道 4.50m 的路基宽,但应在适当距离内设置错车道,并使驾驶人员能看到相邻两错车道的形式和尺寸,如图 1-0-4-2 所示。确定路基宽度时,中央分隔带宽度、右侧硬路肩宽度、土路肩宽度等的“一般值”和“最小值”应同类项相加。

6. 加(减)速车道

当车辆需要加速合流或减速分流时,应根据公路的等级、使用性质等增加一段使车辆速度过渡的车道,使变速车辆不致因速度的变化而影响其他车辆的正常行驶。在高速公路和一级公路的互通式立体交叉、服务区等与主线连接处,设有变速车道,其宽度一般为 3.5m,长度与速度变化范围、车辆特性等因素有关,可经计算确定,一般情况下可采用《公路路线设计规范》规定的数值。

7. 错车道

四级公路路基宽度采用 4.5m 时,路面只能设一个车道。错车道是为了解决双向行车的错车而设置的。错车道应设在有利地点,使驾驶员能够看清相邻两错车道间的车辆,错车路段的路基宽度不小于 6.5m,有效长度不小于 20m,如图 1-0-4-2 所示,错车道的间距应根据错车时间、视距、交通量等确定,一般不大于 300m。

8. 紧急停车带

紧急停车带是车辆发生故障时紧急停车的区域。当硬路肩宽度足以停车时就无须设置紧急停车带;当高速公路和一级公路右侧硬路肩宽度小于 2.5m,不足以停车时,为使发生故障的车辆尽快离开行车道,就设置紧急停车带。其他等级的公路是否设置紧急停车带,根据实际情况确定。

停车带的间距主要考虑发生故障车辆可能滑行的距离和工程量、交通量等因素,使其既能

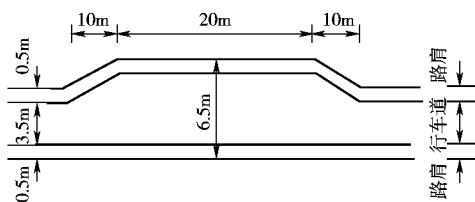


图 1-0-4-2 错车道

发挥紧急停车的作用,又不造成工程量的大幅度增加,所以《公路工程技术标准》规定,紧急停车带的间距不宜大于 500m。

紧急停车带的宽度包括硬路肩在内为 3.5m,有效长度不小于 30m。此外,在紧急停车带的两端还需设置一个斜线的缓和过渡段,长度为 20m(对低等级公路可为 10m)。

三、横断面其他组成的设计要求

1. 路拱、路肩横坡度

双车道和较宽的非分割式路面以及直线上分隔式路面上的雨水由路拱横坡排向路肩之外。路拱的形式有直线形、抛物线形或者直线与弧线的组合形,如图 1-0-4-3 所示;路拱坡度应根据路面类型和当地自然条件按表 1-0-4-6 所列数值采用。

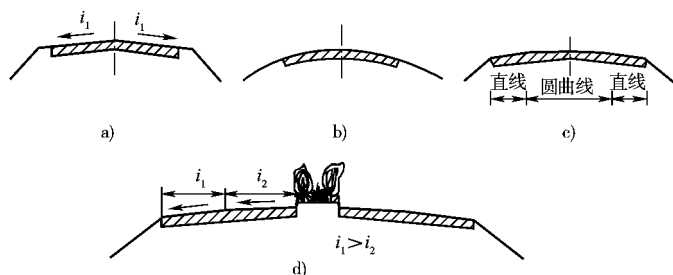


图 1-0-4-3 路拱的形式

a)直线形 b)抛物线形 c)直线夹圆曲线形 d)折线形(用水泥混凝土路面)

路拱横坡

表 1-0-4-6

路面类型	路拱坡度(%)	路面类型	路拱坡度(%)
沥青混凝土、水泥混凝土	1~2	碎、砾石等粒料路面	2.5~3.5
其他沥青路面	1.5~2.5	低级路面	3~4
半整齐石块	2~3		

注:路肩横向坡度一般应较路面横向坡度大 1%~2%。

2. 公路建筑限界

为保证车辆、行人通行的安全,公路上一定宽度和一定高度范围内不允许有任何障碍物,这个空间限界称为公路建筑限界,如图 1-0-4-4 所示。

公路建筑界限是一个空间概念,不同等级的公路其公路建筑限界的大小不同。在公路建筑限界内不允许设置公路标志牌、护栏、照明等各种设施,甚至粗树枝及矮林也不得伸入限界内,以确保行车空间的通畅。

3. 用地范围

公路用地范围是指包括行车道、分隔带、路肩、边坡等整个路幅范围以外宽度不小于 1.0m 的土地。对新建公路,其范围为:路堤两侧排水沟外边缘(无排水沟时为路堤或护堤道坡脚)以外,路堑坡顶截水沟外边缘(无截水沟为坡顶)以外不小于 1m 的土地。在有条件的地方,高速公路、一级公路不小于 3m,二级公路不小于 2m 的土地为公路用地范围。

4. 护坡道与碎落台

当路堤较高时,为保证边坡稳定,在取土坑与坡脚之间或边坡坡面上,沿纵向保留或筑成

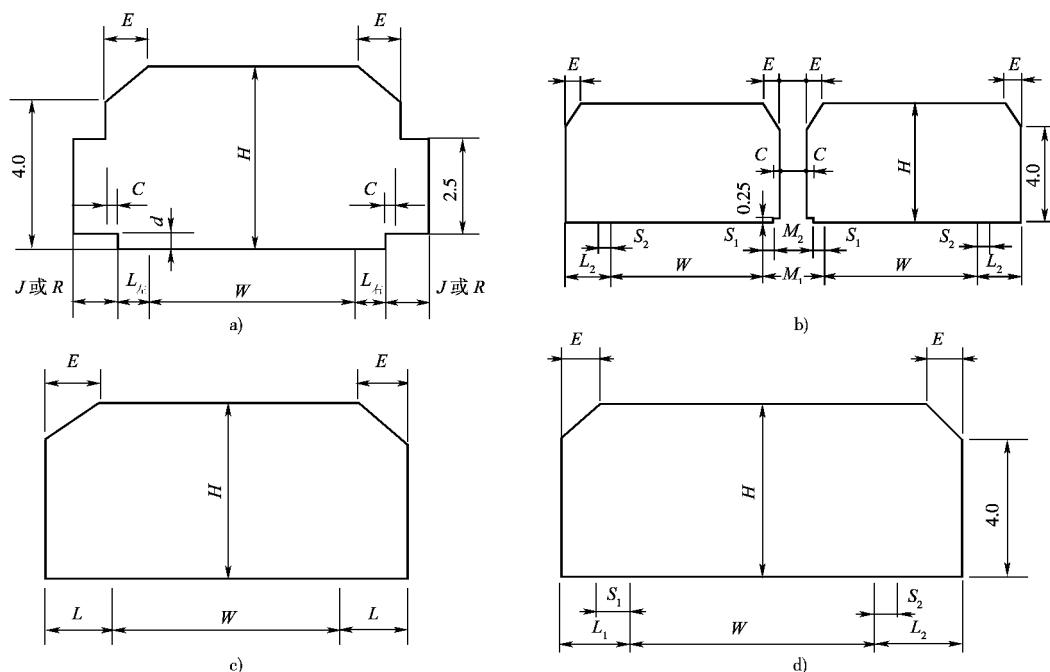


图 1-0-4-4 建筑限界(尺寸单位: m)

a)高速公路、一级公路(分离式) b)高速公路、一级公路 c)二、三、四级公路 d)隧道

注 ①其他各级公路的侧向宽度为路肩宽度减去 0.25m;

②当桥梁、隧道设置的人行道宽度大于侧向宽度时,建筑界限应包括所增加的宽度;

③人行道、自行车道与行车道分开设置时,其净高一般为 2.5m。

有一定宽度的平台称为护坡道。其目的是加宽边坡横距,减缓边坡平均坡度。护坡道愈宽,愈有利于边坡稳定,但工程量随之增加。根据实际情况,宽度至少为 1.0m,并随填土高度的增加而增大。一般情况下,护坡道宽度 d 为 $h < 3.0\text{m}$ 时, $d = 1.0\text{m}$; $h = 3 \sim 6\text{m}$ 时, $d = 2\text{m}$; $h = 6 \sim 12\text{m}$ 时, $d = 2 \sim 4\text{m}$ 。

碎落台通常设置在路堑边坡坡脚与边沟外侧边缘之间,有时也设在边坡中部,如图1-0-4-5所示,其作用是防止零星土石碎落物落入边沟,碎落台宽度一般为 1.0 ~ 1.5m。对于兼顾护坡道的可根据情况适当放宽。

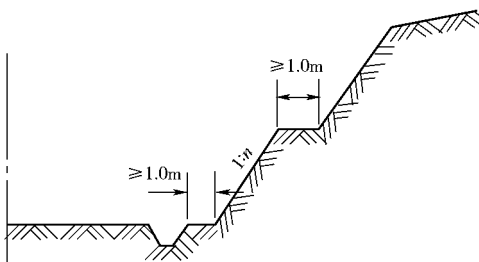


图 1-0-4-5 碎落台示意图

• 第二节 路基横断面设计方法及成果 •

一、概 述

公路横断面的组成除了与行车有关的路幅宽度外,还与路基工程、排水工程、环保工程的各种措施有关,这些设施的位置和尺寸均应在横断面设计中有所体现。路基横断面形式和尺

寸实际上在确定路线平面位置时就已经有了考虑,在纵断面设计中又根据路线标准和地形条件对路基的合理高度,特别是工程艰巨路段已仔细作了分析研究,拟定了横断面方案。因此,施工图设计阶段的横断面设计是在总结上述工作的基础上把它具体化,绘制出横断面图纸,作为计算土石方数量和日后施工的依据。

路基横断面设计应充分考虑当地的气象、地形、土壤、地质、水文、环境、土地利用、材料供应等自然条件和社会条件,本着节约用地的原则,选用合理的断面形式,以满足行车顺适、工程经济、路基稳定且便于施工和养护的要求,设计出适合路基稳定和经济的横断面。

二、基本要求

横断面是由横断面设计线和横断面地面线所构成的。地面线是自然的真实的情况,是客观存在的,横断面设计线是设计的结果,是主观表达,它应满足如下要求:

- (1)稳定性:在荷载、自然因素的共同作用下,不倾覆、滑动、沉陷、坍方;
- (2)经济性:工程量小,节约资金;
- (3)规范性:断面的某些尺寸(如路基宽度等)必须符合公路规范和设计标准的要求;
- (4)兼顾性:要兼顾农田基本建设的需要,在取土和弃土以及挡土墙设置等方面应与农田改造、水利灌溉相配合。

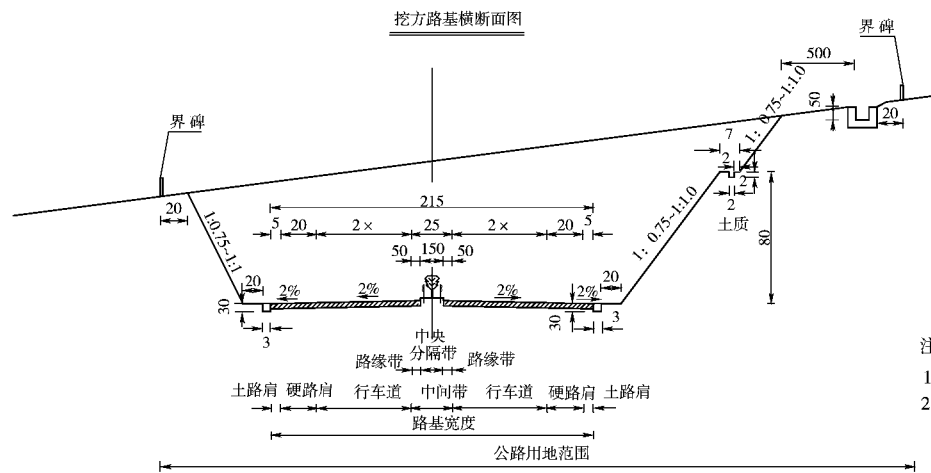
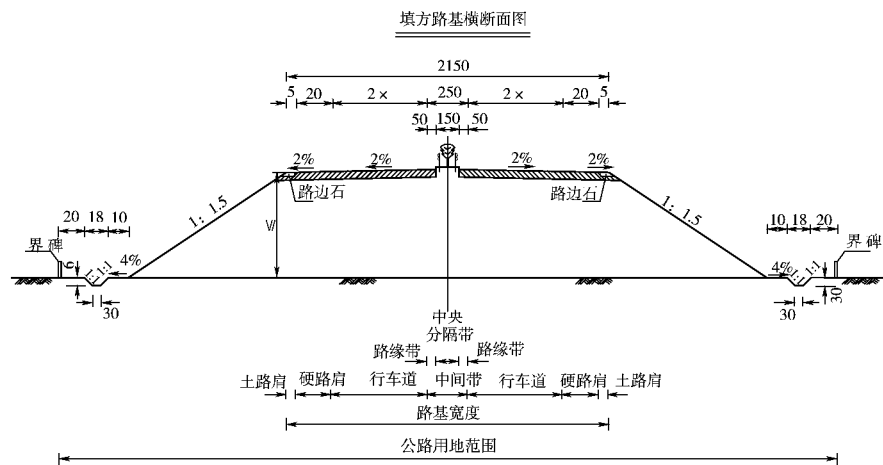
三、路基标准横断面图及路基一般设计图

路基标准横断面图是反映一般路堤、路堑、半填半挖路基横断面设计的具体成果,在图中应标示出路幅范围内各组成部分的具体尺寸,还应反映出边坡的坡度、边沟、排水沟、截水沟、碎落台及其他设施的位置及尺寸,为逐桩横断面设计提供依据。路基一般设计图是路基横断面设计图中所出现的所有路基横断面形式的汇总,应绘制出设计图中采用的一般路堤、路堑、半填半挖路基、高填方路堤、深挖路基、水田内路堤及沿河水塘等不同形式的路基设计图,并应分别示出路基路幅范围内各组成部分的具体尺寸、边坡坡率、排水设施、护脚墙、护肩、护坡、挡土墙等防护加固结构形式和标注主要尺寸。图 1-0-4-6 和图 1-0-4-7 是某公路的路基标准横断面图和路基一般设计图。

四、路基横断面设计方法与步骤

路基横断面设计图应绘出所有整桩、加桩的断面图,在图中示出加宽、超高、边坡、边沟、截水沟、碎落台、护坡道、路侧取土坑、填方路基开挖的台阶及视距台等,并注意标明地界。挡土墙、护面墙、护脚、护肩、护岸、边坡加固、边沟(排水沟)及截水沟加固等均绘在图上,并注明起讫桩号、圬工种类及断面尺寸(另绘有防护工程设计图的只绘出示意图,注明起讫桩号和设计图编号)。高速公路、一级公路还应标出设计高程、路基边缘标高、边沟(排水沟)底设计高程等。

横断面设计俗称“戴帽子”,其过程就是绘制横断面设计图的过程。它有 3 种基本形式(路堤、路堑、半填半挖),在地面线、路基设计标高、路幅设计、边坡坡率、排水、防护设计等确定后,则只有一种基本断面形式能够采用。“戴”就是要判定哪种“帽子”能戴在相应桩号的地面线上,在此基础上进一步确定哪种“规格”(标准横断面设计图、一般路基设计图)的帽子满足横断面设计的要求,然后把它绘制在横断面图纸上,从而完成“戴帽子”的工作。



注:

1. 图中尺寸以厘米计;
2. 本图适用于路基宽度为21.5m的路段。

设计单位名称	项目名称	路基本标准横断面图	设计		复核		审核		图号		日期	2004.2
--------	------	-----------	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--------

图 1-0-4-6 路基本标准横断面图

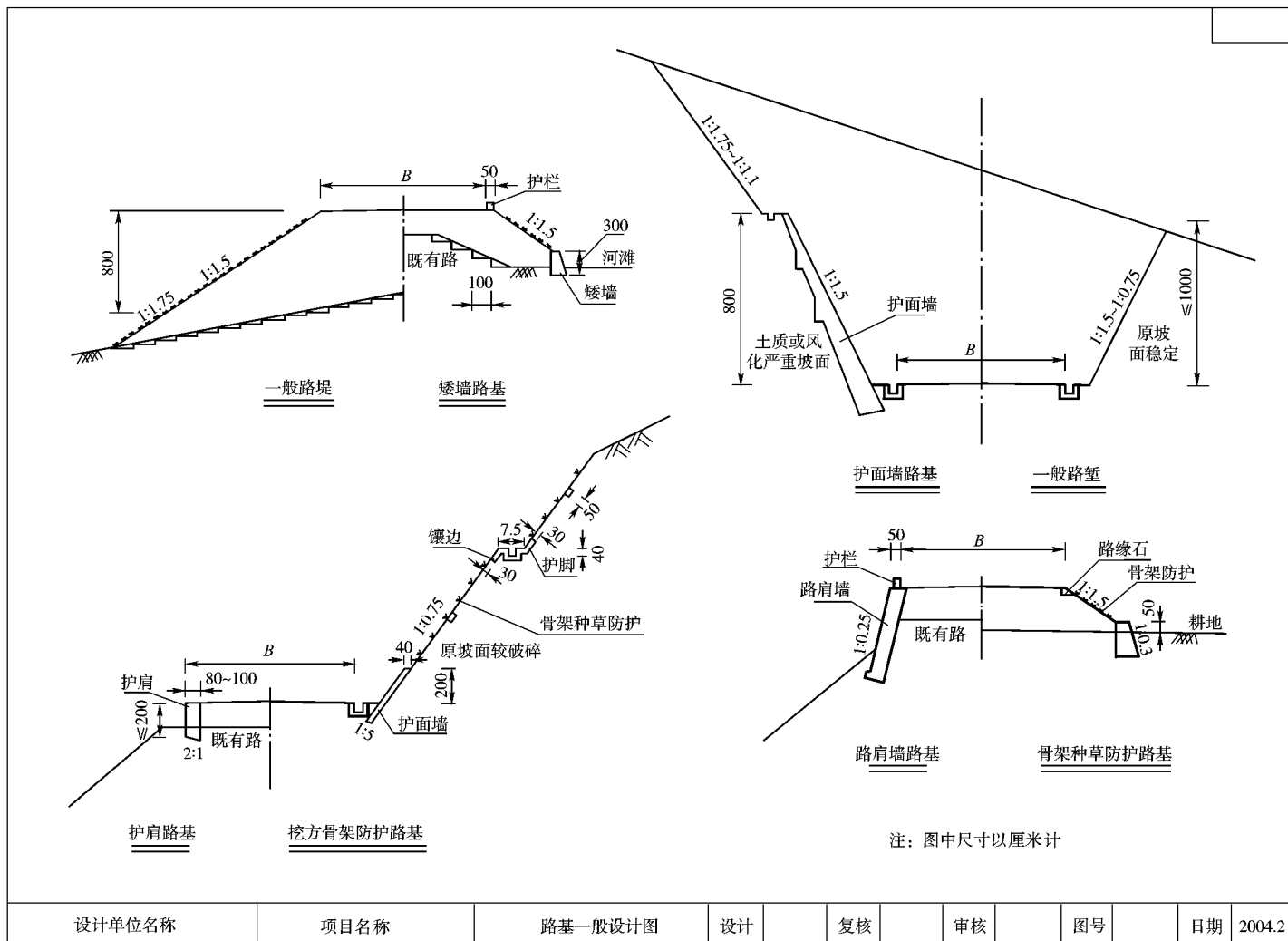


图 1-0-4-7 路基一般设计图

横断面设计应在路线平面设计、纵断面设计完成后进行,其方法和步骤如下:

(1)在计算纸上绘制横断面的地面线。地面线是在野外勘测时由横断面组测绘的,若是纸上定线,可从大比例尺的地形图上内插获得。在计算机辅助设计中可利用相关软件(如 HEFD、纬地、海地、CARD 等),按其要求的格式输入地面线数据,可由计算机自动生成。

(2)从“路基设计表”中抄入路基中心填挖高度数据,对于有超高和加宽的曲线路段,还应抄入“左高、右高、左宽、右宽”等数据。

(3)根据现场调查所得的土壤、地质、水文资料,参照标准横断面图、路基一般设计图,画出路幅宽度、填或挖的边坡坡线,在需要设置各种支挡、防护工程的地方画出该工程结构的断面图。

(4)根据综合排水设计,画出路基边沟、截水沟、排水沟等的位置和形式。必要时须注明各部分尺寸。此外,对取土坑、弃土堆、绿化等也尽可能画出。

(5)分别计算各桩号断面的填方面积(F_T)和挖方面积(F_W),并标注于图上。

对于分离式断面的公路和具有加(减)速车道、爬坡车道、紧急停车带的的断面,可参照上述步骤绘制。

在以上横断面设计时,尽管在横断面图上按比例绘出了边沟、排水沟、截水沟、碎落台、护肩、护脚、挡土墙、护坡等设施,但一般不标注详细尺寸,仅注明其起讫桩号,其设计的详细尺寸可见该路段的标准横断面设计图和一般路基设计图。对于特殊路基还应进行单独设计,绘制特殊路基设计图。

横断面设计图按里程桩号从左到右、从下到上的顺序排列,比例一般采用 1:200,如图 1-0-4-8 所示。

一条道路的横断面图数量极大,为提高手工绘制的工作效率,可事先制作若干透明模板。但根本的解决办法是使用“路线 CAD”,它不但能准确绘制横断面图,而且能自动解算横断面面积。目前由我国自行研发的“路线 CAD”系统已日趋成熟和完善,关于“路线 CAD”可参阅相关书籍。

五、横断面设计成果

横断面设计完成后应完成的图表包括:标准横断面设计图、一般路基设计图、路基设计表、横断面设计图、路基土石方数量计算表、每公里土石方数量计算表、路基土石方运量统计表等。

1. 路基设计表

路基设计表是公路路线设计文件中的主要技术文件之一,它是综合路线平、纵、横 3 个方面设计资料汇编而成的。在表中列有平面线形及纵断面线形资料,如中桩桩号、平曲线情况、竖曲线情况、中桩地面标高、设计标高、施工高度等。还列有横断面情况,如路基宽度、路拱坡度、小半径弯道上的超高及加宽等。路基施工必用此表。路基设计表包括平、纵两种设计图纸,它在施工现场使用极为方便,但不如平、纵面图直观。某公路路基设计表如表 1-0-4-7 所示。

路基设计表有 22 栏,其中 1~14 栏的数据是根据纵断面设计资料填写的,15~22 栏是根据横断面设计资料填写的,15~19 栏分别填写路基宽度与超高加宽情况,对于直线段(或者平曲线半径大与不设超高加宽的路段)为不变的路基宽度,但对半径较小(需设超高加宽)的弯道,有超高和加宽值,因此填写时需注意填上,有些中桩是在缓和曲线(或超高缓和段)上,则其超高、加宽值与弯道上的不同,需逐个计算,然后填上。

项目名称

路基设计表

表 1-0-4-7

桩 号	平 曲 线		竖 曲 线		地面 高程 (m)	设计 高程 (m)	填挖高度 (m)		路基宽度(m)						以下各点与设计高之差(m)						坡口、坡脚至 中桩距离(m)		备注	
									左 侧			中分带	右 侧			左 侧			右侧					
	左偏	右偏	凹形	凸形			填	挖	W1	W2	W3	W0	W3	W2	W1	A1	A2	A3	A3	A2	A1	左侧		右侧
K0+000	IDJ I-31°37'11.2" R=500.00 L=120.00 L _s =155.93	K0+011.608 (ZH)	-1.680% QD K0+047.500	200.00	1139.448	1140.865	1.417		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	-0.190	-0.190	-0.140	-0.140	-0.190	-0.190	10.75	11.12	
+011.608					1139.207	1140.670	1.463		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	-0.190	-0.190	-0.140	-0.140	-0.190	-0.190	10.75	12.26	
+020					1138.894	1140.529	1.635		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	-0.126	-0.126	-0.093	-0.140	-0.190	-0.190	10.75	11.47	
+040					1138.552	1140.193	1.641		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.026	0.026	0.019	-0.140	-0.190	-0.190	10.00	11.75	
+060					1138.163	1139.860	1.697		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.178	0.178	0.131	-0.140	-0.190	-0.190	10.75	12.71	
+080					1137.622	1139.542	1.920		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.330	0.330	0.243	-0.243	-0.330	-0.330	14.13	12.24	
+100					1136.907	1139.240	2.333		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	14.77	13.23	
+120					1136.452	1138.954	2.502		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	15.37	14.23	
+131.608					1136.298	1138.795	2.497		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	15.07	15.88	
+140					1136.153	1138.684	2.531		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	15.12	15.18	
+160		1134.996	1138.430	3.434		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	16.47	15.93				
+180		1134.323	1138.192	3.869		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	16.92	15.99				
+200		1133.399	1137.970	4.571		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	17.59	17.04				
+209.576		1133.107	1137.870	4.763		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	18.16	17.32				
+220		1133.014	1137.764	4.750		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	17.84	18.50				
+235		1132.719	1137.620	4.901		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	18.37	19.03				
+240		1131.551	1137.574	6.023		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	20.02	20.72				
+260		1137.719	1137.400	5.681		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	18.57	18.70				
+280		1131.531	1137.242	5.711		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	19.89	18.75				
+287.543		1131.582	1137.187	5.605		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	19.73	18.59				
+300		1131.529	1137.100	5.571		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	19.68	18.54				
+320		1131.545	1136.974	5.429		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.380	0.380	0.280	-0.280	-0.380	-0.380	19.76	18.32				
+340		1131.460	1136.864	5.414		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.323	0.323	0.238	-0.238	-0.323	-0.323	19.36	18.39				
+360		1131.518	1136.769	5.251		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.171	0.171	0.126	-0.140	-0.190	-0.190	18.88	16.99				
+380		1131.553	1136.677	5.124		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	0.019	0.019	0.014	-0.140	-0.190	-0.190	18.47	14.65				
+400		1131.602	1136.585	4.983		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	-0.133	-0.133	-0.098	-0.140	-0.190	-0.190	17.43	15.07				
+407.543		1131.763	1136.550	4.787		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	-0.190	-0.190	-0.140	-0.140	-0.190	-0.190	17.65	15.75				
+410		1131.873	1136.539	4.666		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	-0.190	-0.190	-0.140	-0.140	-0.190	-0.190						
+413	1131.824	1136.525	4.701		0.00	2.50	7.00	2.50	7.00	2.50	0.00	-0.190	-0.190	-0.140	-0.140	-0.190	-0.190							

编制:

复核:

路基土石方数量表

表 1-0-4-8

项目名称

桩 号	横断面面积 (m ²)		距离 (m)	挖方分类及数量(m ³)														填方数量(m ³)			利用方数量及调配(m ³)								备注																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
				总数量	土						石						本桩利用				填 缺		挖 余		远运利用及纵向调配示意																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	I				II		III		IV		V		VI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	%	数量			%	数量	%	数量	%	数量	%	数量	%	数量	%	数量			总数量	土										石	土	石	土	石	土	石																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
挖方	填方																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

编制:

复核:

000

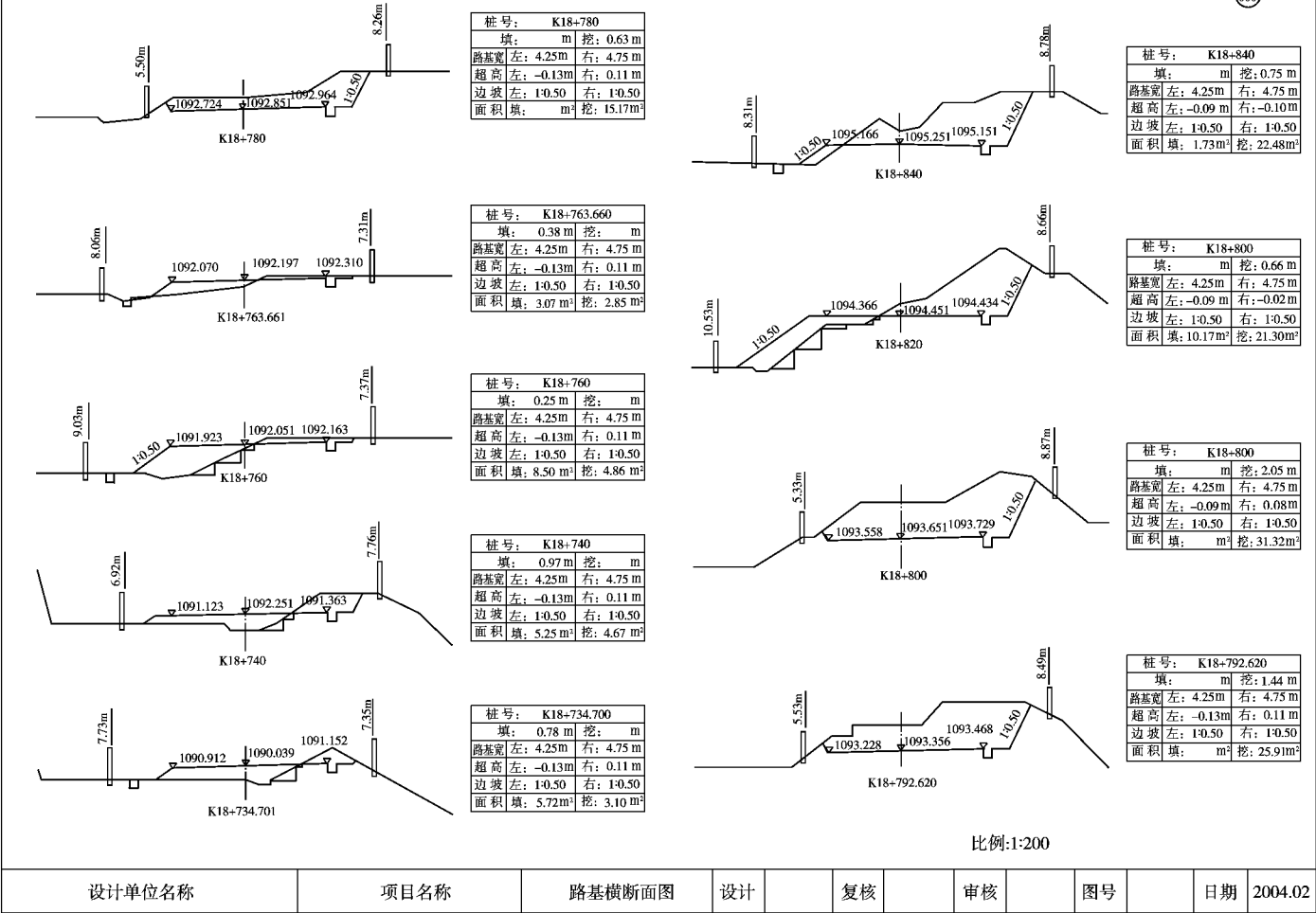


图 1-0-4-8 横断面设计图

2. 路基土石方数量计算表

路基土石方数量计算和调配是计算工程数量的主要环节,它直接影响工程数量正确与否,因此,在填表和计算中要注意每一栏的相互关系,做到填表、计算、复核3个环节统一,以保证数据的准确性。某公路土石方数量计算表如表1-0-4-8所示。

3. 横断面设计图

比例尺一般用1:200,每页图纸的右上角应标明横断面图的总页数和本页图纸的编码数,在横断面图上要标注桩号、填(挖)高度、填(挖)面积、边坡坡度,在有超高、加宽的断面还要标明其相应数值。

• 第三节 路基土石方计算与调配 •

中桩路基横断面设计完成后,就可以进行横断面面积和土石方体积的计算,并对土石方进行合理的调配。

路基土石方工程的工程数量在整个工程项目中所占的比例较大,它影响公路的造价、工期、用地等许多方面,是主要技术经济指标之一。土石方数量及其调配关系到取土或弃土地点、公路用地范围,同时对工程造价、所需劳动力和机具设备的数量及施工期限有一定影响。

土石方计算与调配的主要任务是计算每公里路段的土石数量和全线总土石方工程数量,涉及挖方的利用和填方的来源及运距,为编制工程预(概)算、确定合理的施工方案以及计量支付提供依据。

由于自然地面起伏多变,填、挖方体积不可能是一个简单的几何体,若依实际地面起伏变化情况进行土石方数量地计算,不仅繁杂,而且实用意义不大。因此,在公路的测设过程中,土石方的计算通常采用近似方法,计算精度按工程的要求而定。一般情况下,横断面的面积以平方米为单位,取小数后一位,土石方的体积以立方米为单位,取至整数。

一、横断面面积的计算

路基横断面上的填挖面积是原地面线与路基设计线所包围的面积。可分别计算出填方面积 F_T 和挖方面积 F_W 。横断面面积计算的方法有许多种,一般常用的计算方法如下。

1. 积距法

积距法是按单位宽度 b 把横断面划分为若干个梯形和三角形条块,则每个小块的近似面积等于其平均高度 h_i 乘以横距 b , F 为平均断面积的总和,如图1-0-4-9所示。其计算公式为:

$$F = h_1 b + h_2 b + \dots + h_n b = b \sum_{i=1}^n h_i \quad (1-0-4-1)$$

式中 F ——横断面面积 m^2 ;

b ——横断面所分成的三角形或梯形条块的宽度,通常为1m或2m;

h ——横断面所分成的三角形或梯形条块的平均高度 m 。

由此可见,积距法求面积就是在实际操作中转化为

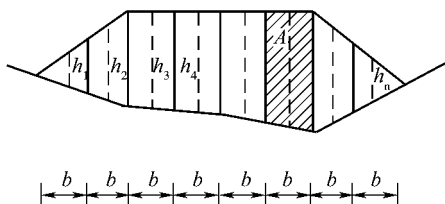


图 1-0-4-9 积距法计算示意图

量取 h_i 的累加值,这种操作可以用分规按顺序接连量取每一条块的平均高度 h_i ,分规最后的累计高就是 $\sum h_i$,将条块宽度乘以累计高度 $\sum h_i$ 即为填或挖方的面积。积距法也可以用米格纸拆成窄条作为量尺,每量一次 h_i 在窄条上画好标记,从开始到最后标记的累计距离就是 $\sum h_i$,然后乘以条块宽度 b ,即为所求面积。

2. 坐标法

建立如图 1-0-4-10 所示的坐标系,给定多边形各顶点的坐标,由解析几何可得多边形面积的计算公式为:

$$F = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (1-0-4-2)$$

式中 x_i, y_i ——分别为设计线和地面线围成面积的各顶点的坐标 m 。

坐标法计算精度较高,方法较繁,适用于计算机计算。

3. 几何图形法

当横断面地面线较规则时,可分成几个规则的几何图形,如三角形、矩形和梯形,然后分别计算面积,即可求出总面积。

4. 混合法

在一个填方或挖方面积较大的横断面设计图中,几何图形法和积距法共用,可以加快计算速度。

在横断面面积的计算中应注意以下几个问题:

(1)填方和挖方的面积应分别计算。

(2)填方或挖方的土石也应分别计算,因为其造价不同。

(3)有些情况下横断面上的某一部分面积可能既是挖方面积,又要算做填方面积,例如,遇淤泥既要挖除,又要回填其他材料,当地面自然坡度较陡,按《路基设计规范》的要求需挖台阶的面积等。

二、土方数量计算

在所有中桩的横断面积求出来后,就可以进行土石方数量计算。

1. 平均断面法

现在工程上通常采用平均横断面法来计算土石方数量。该方法是假定相邻两断面间为一棱柱体,其间距为 L (图 1-0-4-11),棱柱体的体积可按式计算:

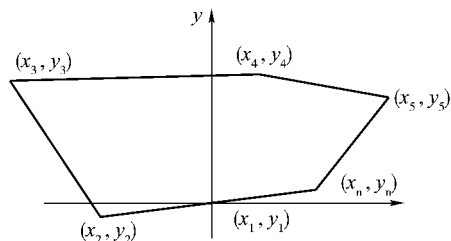


图 1-0-4-10 坐标法计算示意图

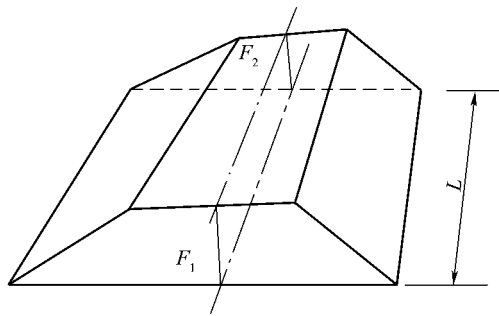


图 1-0-4-11 土石方数量计算示意图

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot L \quad (1-0-4-3)$$

式中 F_1 、 F_2 ——相邻桩号两填方面积或者两挖方面积 F_1 、 F_2 分别大于或等于零。

按平均断面法计算土石方量,通常都利用《路基土石方数量计算表》进行计算,并进行土石方调配。

2. 棱台体积法

相邻两个横断面面积相差较大时,用棱台体积公式计算误差相对较小,其公式如下:

$$V = \frac{1}{3}(F_1 + F_2)L\left(1 + \frac{\sqrt{m}}{1+m}\right) \quad (1-0-4-4)$$

式中 $m = F_1/F_2$; 其中 $F_2 > F_1$ 。

从式(1-0-4-3)与式(1-0-4-4)比较可知

当 $F_1 = F_2$ 时,

$$\text{平均断面法} \quad V = \frac{1}{2}(F_1 + F_2)L = F_1L$$

$$\text{棱台体积法} \quad V = F_1L$$

当 $F_2 = 0$ 时,

$$\text{平均断面法} \quad V = \frac{1}{2F_1L}$$

$$\text{棱台体积法} \quad V = \frac{1}{3F_1L}$$

由比较可见,只有在 $F_1 = F_2$ 时,平均断面法才是准确的,其他情况下这种计算结果体积比实际偏大,在极端情况 $F_2 = 0$ 时,比棱台体积法计算结果扩大了 20%。尽管如此,为简化计算,目前一般仍采用平均断面法计算填挖方体积。

三、土石方调配

路基土石方数量计算完毕后,应考虑土石方的调运问题,以便确定填方用土的来源、挖方弃土的去向,以及计价土石方的数量和运量。

在路基的施工过程中,就某一断面的土石方而言,会发生 3 种情况。一是挖去多余的土,形成路基,或者本桩有填有挖,利用了本桩的土后,还有多余,需要调走(挖余);二是借其他地方的土,形成路基,或者本桩有填有挖,利用了本桩的土后,还不够,需要借土(填缺);三是本桩有填有挖,利用本桩的土填挖平衡(本桩利用)。通过调配,合理地解决各路段土石方数量的平衡与利用问题,把从路堑挖出的土石方,在经济合理的调运条件下移挖作填,就近运到填方路堤,达到填方有所“取”,挖方有所“用”,避免不必要的借土和弃土,尽量减少占用耕地的数量,减少水土流失,保护自然环境。

针对这些情况,“挖余”有两种处理方法:调至其他断面利用或作为废方弃土。“填缺”也有两种处理方法:从其他断面调土或从路外借土。土石方调配就是要解决这些问题。

1. 调配原则

(1)半填半挖路基,应首先考虑本路段内横向移挖作填,进行横向平衡,然后再作纵向调配,以减少总的运量。

(2)调配时应考虑到桥涵位置对施工运输的影响,一般不跨沟、跨河调运。同时应注意施工的可能与方便,如人工运输尽可能避免和减少上坡运土。

(3)为使土方调配合理,必须根据地形情况和施工条件,选用适当的运输方式,确定合理的经济运距,用以分析工程用土是调运还是外借。

(4)土方调配“移挖作填”,固然要考虑经济运距问题,但这不是惟一的指标,还要综合考虑弃土或借方占地、赔偿青苗损失及对农业产生影响等问题。有时移挖作填虽然运距超出一些,运输费用可能稍高一些,但如能少占地、少影响农业生产,这样,从整体来看也是经济的。

(5)不同的土方和石方应根据工程需要分别进行调配,以保证路基稳定和人工构造物的材料供应。

(6)位于山坡上的回头曲线,要优先考虑上、下线的土方竖向调运。

(7)土方调配,对于借土和弃土应事先同地方商量,妥善处理。借土应结合地形、农田规划等选择借土地点,并综合考虑借土还田、整地造田等措施;弃土应不占或少占耕地,在可能条件下宜将弃土平整为可耕地,切莫乱弃乱堆,防止产生水土流失、泥石流和堵塞河流、损害农田等病害。

2. 调配方法

土石调配方法有多种,如累计曲线法、调配图法以及土石方计算表调配法等。目前设计上多采用土石方计算表调配法。该法不需要绘制累计曲线与调配图,可直接在土石方表上进行调配。其优点是方法简捷、调配清晰、精度符合要求。该表也可由计算机自动完成。具体步骤是:

(1)调配是在土石方数量计算与复核完毕的基础上进行的。调配前应将可能影响运输调配的桥涵位置、陡坡、大沟等注在表旁,供调配时参考。

(2)弄清各桩号间路基填方、挖方情况并先作横向平衡,明确本桩利用方、欠方及可作远运土石方等的数量。

(3)在纵向调配前,应根据施工方法及可能采用的运输方式定出合理的经济运距。

(4)根据欠方、可作远运土石方数量的分布情况,结合路线纵坡和自然条件,本着技术经济和支农的原则,具体拟定调配方案。方法是逐桩、逐段地将毗邻路段的可作远运方就近纵向调运到欠方段内,加以利用,并把具体调运方向和数量(土、石分开)用箭头及数字标明在纵向利用调配栏中,见表 1-0-4-8。

(5)经过纵向调配,如果仍有欠方或可作远运方,则应会同当地协商确定借土或弃土地点,然后将借土或弃土的数量和远运距离分别填注到借方和弃方栏内。

(6)土石方调配后,应按下面的公式进行复核检查:

$$\text{横向调运方} + \text{纵向调运方} + \text{借方} = \text{填方}$$

$$\text{横向调运方} + \text{纵向调运方} + \text{弃方} = \text{挖方}$$

$$\text{挖方} + \text{借方} = \text{填方} + \text{弃方}$$

以上检查一般是逐页进行,如有跨页调配,须将其数量考虑在内。通过复核可以发现调配与计算过程中有无错误,经核实无误后,即可分别计算计价土石方数量、运距和运量等,为编制概、预算提供资料。

3. 调配计算中的几个问题

1) 免费运距

根据公路工程概算定额和预算定额,土方作业包括挖、装、运、卸等工序,这里的“运”是指在规定的距离范围内,只按土石方数计价,计价中包括了挖、装、运、卸的所有工作,而不再计算运费,这个不再计算运费所规定的距离就是免费运距。施工方法不同,免费运距也不同,如人工作业时,人工运输的免费运距为100m,各种作业方法的免费运距可以在《公路工程概算定额》和《公路工程预算定额》中查到。

2) 经济运距

填方用土来源,一是纵向调运;二是就近路外借土。在一般情况下,调运路堑挖方来填筑距离较近的路堤还是比较经济的,但是如调运距离过长,以致运价超过了填方附近借土所需的费用时,借土就显得经济了。因此,采用“调”还是“借”,有个限度距离问题,这个限度距离即所谓“经济运距”。计算公式如下:

$$L_{\text{经}} = \frac{B}{T} + L_{\text{免}} \quad (1-0-4-5)$$

式中 $L_{\text{经}}$ ——经济运距 km;

B——借土单价,元/ m^3 ,由征用土地费、青苗补偿费、挖和运输费用等组成;

T——远运运费单价,元/($\text{m}^3 \cdot \text{km}$);

$L_{\text{免}}$ ——免费运距 km,定额规定挖方后应无偿运输的距离。

由上可知,经济运距是评定借土或调运的指标,当调运距离小于经济运距时,采取纵向调运还是经济的;反之则可考虑就近借土。

在计算运距时注意预算定额的规定:土石方的运距,第一个20m(指人工运输)为免费运距,如不足20m也按规定20m计,此后每增加10m为一个超运距单位,尾数不满5m时不计,满5m时按10m计。这个超运距单位称为“级”。

3) 平均运距

土方调配的运距,一般是指平均运距。所谓平均运距是指从挖方体积的重心到填方体积的重心之间的距离。为简化计算起见,平均运距可用挖方断面间距中心至填方断面间距中心的距离计算。

4) 运量

土石方运量为平均运距与土石方调配数量的乘积,运量的单位是“级立方米”。“级”是长度单位,每一级等于多少要根据运输工具和运输方式而定。以人力运输土方为例,一级为10m。其计算运量的公式为:

$$\text{运量} = \text{调配的(土石方)方数} \times n \quad (1-0-4-6)$$

$$n = \frac{L - L_{\text{免}}}{10}$$

式中 n ——平均运距单位,级;

L——平均运距;

$L_{\text{免}}$ ——免费运距。

5) 计价土石方数量

在土石方调配中,所有挖方,无论是“弃”掉或“调走”,都应予计价,但对于填方,它要根据用土决定。如果是路外借土,就需计价和计算运量;尚若是移挖作填,调配利用,则不应计价,只计算运量,因此计价土石方的数量必须通过土石方调配后来确定。其数量是:

$$\text{计价土石方数量} = \text{挖方数量} + \text{借方数量}$$

$$\text{或} \quad \text{计价土石方数量} = \text{挖方数量} + \text{填方数量} - \text{利用方数量}$$

6)天然密实方与压实方

路基横断面设计图中的填挖方土石量,一般称为“断面方”。断面方中的填方是按压实后的体积计算,称为“压实方”。断面方中的挖方是按天然密实体积计算,称为“天然密实方”。实践证明,天然密实的 1m^3 土体开挖运来填筑路堤,并不等于 1m^3 的压实方。公路工程定额规定:当以填方体积为工程量,采用天然密实方为计量单位的定额时,所采用的定额应乘以调整系数。对于调整系数的采用,应在路基土石方工程量的计算及填挖平衡调运过程中充分注意和考虑,不应简单地按断面方进行调配。

本章小结

(1)公路是一种带状三维空间结构物。公路设计是由路线几何设计和结构设计两大内容所组成。路线设计是研究几何方面的问题。对于三维空间的道路,设计时既要作为整体来考虑,也要把它解剖为路线的平面、纵断面和许多横断面来分别考虑。本章主要介绍了横断面设计的内容、方法及横断面设计的成果。横断面设计是一项复杂、繁琐的工作,工作量大。横断面设计的成果对路基的稳定性、工程造价、环境保护等方面有着重要的影响,应给予足够的重视。

(2)计算机辅助设计(Computer Aided Design,简称 CAD)目前已广泛用于路线平、纵、横设计及交叉设计,同时采用道路透视图(线形透视图、复合透视图为动态透视图)使设计者在设计阶段获得形象逼真的道路全貌,用以检查路线设计的线形质量以及道路与周围自然景观的协调程度,并以此作为设计依据。

思考题与习题

1. 简述公路横断面的组成。
2. 什么是中间带?中间带的作用有哪些?
3. 简述横断面设计的方法及步骤。
4. 土石方调配的原则是什么?
5. 在土石方调配过程中应注意哪些问题?
6. 简述路肩的作用。

第五章

选线

教学要求

1. 描述选线在整个外业勘测中的核心作用,说明其他作业都是根据它所标定的路线开展测量工作的关系;
2. 描述选线的原则、方法和步骤,分析平原、山岭、丘陵地区选线工作的要点和区别点。

• 第一节 选线的原则、方法与步骤 •

公路选线是在路线的起点、终点间的大地表面上,根据计划任务书所规定的使用任务和性质,结合当地自然条件,经过研究比较,选定公路中线位置,然后进行测量和设计。好的选线,应使设计的公路符合使用要求和规定的技术标准,以保证行车的安全、舒适和畅通,且要求工程量小、造价低、营运和养护费用省。另外,路线线形与沿途景观应相协调,人、车、路和环境应作为一个统一体进行研究。

一、选线的一般原则

路线是道路的骨架,它的优劣关系到道路本身功能的发挥和在路网中是否起到应有的作用。选线工作要综合考虑妥善处理各方面关系,其基本原则如下:

(1)在道路设计的各个阶段,应运用各种先进手段对路线方案作深入、细致的研究,在方案论证、比选的基础上,选定最优路线方案。

(2)选线要注意贯彻工程经济与营运经济相结合的原则。在不过分增大工程造价的情况下,尽量提高技术指标;在不降低技术指标的情况下,尽量降低工程造价。

(3)选线要充分利用地形、地势及地质特征,正确运用技术指标,搞好平、纵、横三个方面的综合设计,做到平面短捷顺适、纵坡平缓均衡、横面稳定经济。线形应考虑车辆行使的安全舒适及驾驶人员的视觉和心理反应,并注意与当地环境相协调。

(4)选线要注意选择地质稳定、水文地质条件较好的地带通过,尽量避开滑坡、崩塌、岩堆、泥石流、泥沼、排水不良的低洼地等不良地段,保证路基稳定,不出现后遗症。

(5)对于大、中桥的桥位原则上服从路线的总方向,路桥应综合考虑。既不应单纯强调桥位,而使路线过多迁绕或使桥头接线不合理,也不应只顾路线,而使桥位不合适。小桥涵位置应服从路线走向,在不降低路线技术指标情况下,也应照顾小桥涵位置的合理性。

(6)干线尽可能避免穿过城镇、工矿区及较密集的居民点,可采用修支线的方法予以连接。应坚持靠村不进村,便民不扰民的原则,主干线公路不宜横穿城镇。

根据上述选线原则,选线工作必须是由浅入深,由轮廓到具体,按照测设程序,分阶段、分步骤进行,通过多次比较和选择,最后选出一条最合理的路线。

二、选线方法和步骤

一条路线的起、终点确定以后它们之间有很多走法。选线的任务就是在这众多的方案中选出一条符合设计要求、经济合理的最优方案。其最有效的作法是通过分阶段,由粗到细反复比选来求最佳解。

选线一般要经过下面 3 个步骤:

1. 总体布局

总体布局主要是解决路线的基本走向。这就是在路线的起点、终点间及中间必须通过的控制点间寻找可能的“路线带”,在路线总方向(起讫点和中间必须经过的城镇或地区)确定后,把一些大控制点连接起来,即形成路线基本走向。例如,某条路线起、终点或两控制点间可能沿某河,越某岭;也可能沿几条河,越几个岭;可能走某河的这岸,靠近某城镇;也可能走对岸,避开某城镇。总体布局在勘测中是通过视察工作来解决的。

2. 逐段安排

这是进一步加密控制点,解决局部性控制方案问题的工作。根据视察选定的基本走向,在大控制点之间,逐段地结合地形、地质水文、气候等情况,定出具体小控制点。这样在可能通行的路带内,进一步选定能提高路线标准和降低工程造价的有利的路线带,从而解决路线的局部方案。例如,翻越垭口时从哪侧展线;沿河时为避免艰难工程或改善路线,走一岸还是跨河。这些路线局部方案都是在逐段安排中解决的。逐段安排路线通常是在初步测量或详细测量前分段核查中进行。

3. 具体定线

这是在逐段安排的小控制点间根据自然条件和技术标准,在有利路带内进行路线平、纵、横综合设计,定出中线的最终位置。

具体定线由详细测量时的选线组来完成。

• 第二节 平原区选线 •

平原除指一般平原外,还包括山间盆地、高原等平坦地形。其特征是地面起伏不大,一般自然坡度在 3° 以下,除泥沼地、平原、沙漠、戈壁等外,多为宽阔成片的农田,城镇村庄比较稠密,各种道路和农田水系渠网纵横交错,电力电信线路交叉频繁;在天然河网湖区,还具有湖泊、水塘、河汊多等特点。

一、路线走向的确定

平原区由于地势比较平坦,路线受高差和纵坡限制小,平、纵、横三方面的几何线形易达到较高的技术标准,但往往由于受地形自然条件和地物的阻碍以及支农的需要迫使路线转折,选

线应综合考虑各方面因素。

确定路线走向,首先是把总方向内所规定经过的地点,如城镇、工厂、农场、以及文物风景地点作为大控制点,然后在大控制点之间进行实地勘察,了解农田优劣以及地物分布情况,注意路线需要绕越的位置和范围,选择中间控制点,如大片建筑物、水电设施、河流桥位以及必须绕过的洼地、湖泊,均可作为中间控制点。路线由一个控制点直达另一个控制点,无充分理由不应转弯。图 1-0-5-1 所示为江汉平原上一个主干公路的一段,路线选择普安桥位、蟹湖、红星镇、石灰厂和新丰桥位作为控制点。路线的前一段,系考虑河流、湖泊及居民情况,穿越蟹湖,绕开红星镇,后一段考虑地势较高处的石灰厂,用正交桥跨过新丰江。

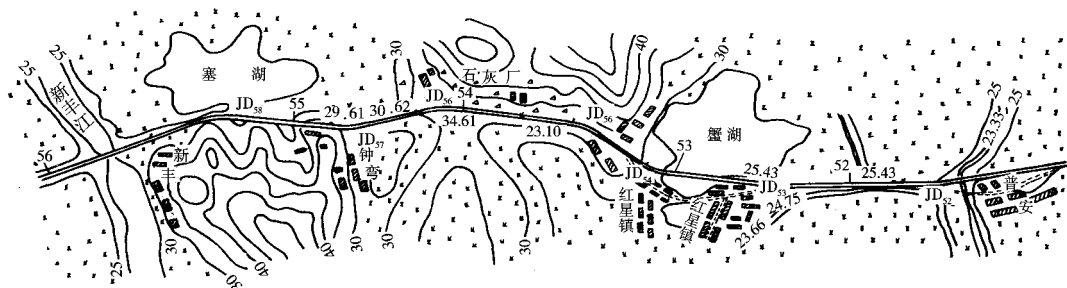


图 1-0-5-1 平原区路线示例

障碍路线的地物,除军事禁区必须绕过外,对其他地物障碍是否绕越,应进一步进行技术经济比较取舍。一般交通量大的高级公路,以穿过障碍物,缩短路线为宜;交通量小的低级公路,则以绕越障碍,减少工程费用较为合理。

平原区对交通运输的要求增长比较迅速。因此,路线要充分考虑远期和近期相结合,路线尽可能采用较高标准,以便将来提高时能充分利用原有路基和桥涵等工程。

二、路线的布设

根据平原区地形条件和地物分布的特点,路线布设尽可能顺直和短捷,一般应采用较长的直线、较大半径的曲线、中间加入缓和曲线的线形。凡需要转向处,应在较远处开始偏离,使偏角小而线形平顺。综合平原地区的特点,布线应注意以下要点:

1. 正确处理道路与农业的关系

(1) 平原地区新建公路占用一些农田是必要的,但要尽量或做到少占或不占高产田。要从路线对国民经济的作用,对支农运输效果、地形条件、工程数量、交通运输费用等方面全面分析比较,使路线既不片面求直而占用大量良田,也不片面强调不占田而使路线弯曲过多,造成行车条件恶化。如图 1-0-5-2 所示,公路通过某河附近时,如按虚线方案走田中间穿过,路线短,线形好,但多占好田,填筑路基取土困难;如将路线移向坡脚(实线),里程虽略有增长,但避开了大片高产田,而且沿坡脚布线,路基可为半填半挖,既节省了土方,又避免了填方借土的远运。

(2) 布线要注意了解灌溉渠道的分布情况,使路线尽可能减少和灌溉渠相交,布置在灌溉上方非灌溉的一侧,或者布设在渠道的尾部。当路线和水渠走向基本相同时,可沿渠堤布线,

堤路结合,以减少占田和便利灌溉。图 1-0-5-3 为豫东平原某公路的一段,利用人工运河河堤与路堤结合,且使路线布设在岸河堤上,跨越支渠少,减少桥涵数量,节省了占用农田,路线又

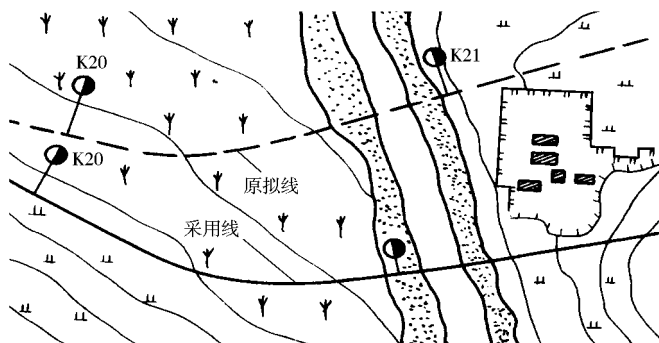


图 1-0-5-2 占地路线方案比较

很平顺,如果因路基占用水塘,影响农田给水,可考虑将水塘另一边拓宽取土筑路,宽大水塘使支得到补偿。

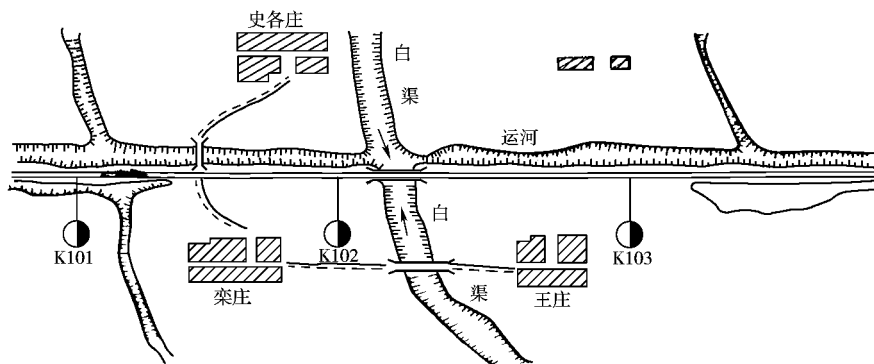


图 1-0-5-3 河堤与路堤相结合

2. 合理考虑路线与城镇的关系

路线穿过居民区时,有直穿和绕行两种方案。路线原则上不宜穿过城镇内部,因为由内部穿过不仅降低过境车速,增多交通事故,而且给城镇居民在生产活动上造成干扰。公路等级越高则其经过的城镇越少,路线定在城镇外围也越恰当;但不宜偏离城镇太远,要做到靠城不进城,利民不扰民。联系的支线要既方便运输,又保证安全。对于沟通县、乡、村镇内部,但要有足够的路基宽度和行车视距,确保交通安全。

3. 处理好路线与桥位的关系

(1) 平原区河渠湖泊较多,桥涵工程量较大,路线在跨越水道时,无论在平面或纵断面上,都要尽可能不破坏中线的平顺性。大中桥位是路线的控制点,应将路桥综合考虑。桥位应选在河床稳定、河道顺直、河面较窄、地质良好和两岸地形有利于桥头路线布置的河段,尽可能使桥位中线与洪水主流向正交。不应片面地强调桥位,以至造成路线过分迂回,或过分强调正交

桥位不合适或斜交角度过大,增大工程投资或增加施工难度。图 1-0-5-4 为某路跨河的 3 个桥位方案,方案 II 为正交桥位,跨河条件好,但路线线形弯曲,不利于行车;方案 III 路线顺直,但桥位正处于河曲地段,对桥梁不利;综合比较方案 I 桥位虽略呈斜交,桥长稍大于方案 II,但路线比较顺适,为可取方案。

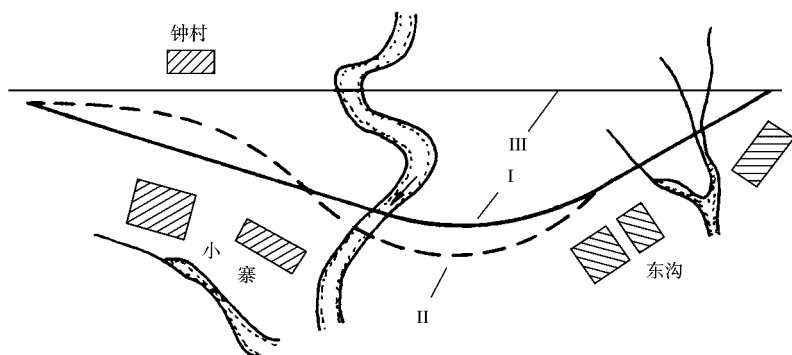


图 1-0-5-4 桥位方案比较

(2) 小桥涵位置应服从路线走向,若遇到斜交过大或河沟过于弯曲,则可采取改河措施或改移路线予以适当调整,如图 1-0-5-5 所示。

4. 注意土壤与水文条件

平原区土壤水文条件较差,容易影响路基的稳定性。当路线遇到湖泊、水塘和洼地时,一般应绕越通过。如需穿越,应对其进行调查钻探,了解淤泥深度及基底情况。路线应选在最窄、最浅和基地坡面较平缓地方通过,并采取经济有效的措施保证路基稳定。当路线走向与分水岭走向基本一致时,尽可能沿接近分水岭的地势较高处布线。该处土壤干燥,地下水位低,路基稳定,借土方便,桥涵工程较少,对农田、灌溉沟渠干扰也比较小。图 1-0-5-6 为一平原区路线中的一段,方案 A 走高处,长 4.68km,土方 34.8km^3 ,占田 29766m^2 (44.65

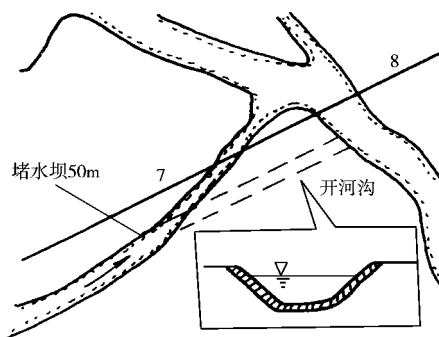


图 1-0-5-5 局部改移河沟

亩);方案 B 走低处,路线长 4.48km,土方 34.8km^3 ,占田 39253m^2 (58.88 亩);两方案中的桥涵与排水工程,方案 A 路线略长于方案 B,土方稍多,但少占地 9487m^2 (14.23 亩),桥涵与排水工程较少,路基也较稳定,且联系的居民点较多,因而方案 A 优于方案 B。

5. 正确处理新、旧路的关系

在平原区常有较宽的人行大路,对于现有一般公路改建成二级及以下等级公路时,新建的公路尽可能利用这种老路,但要注意从公路的长远发展考虑,根据本路在整个公路网中的地位和作用,预计到它将来可能达到的交通量,严格按照技术标准要求对老路进行技术改造;当新建公路为高速公路或一级公路时,原有公路宜作为辅道,路线全部新建。

6. 尽量靠近建筑材料产地

平原地区一般缺乏砂石建筑材料,路线应尽可能靠近材料产地,以减少施工、养护材料运

输费用。

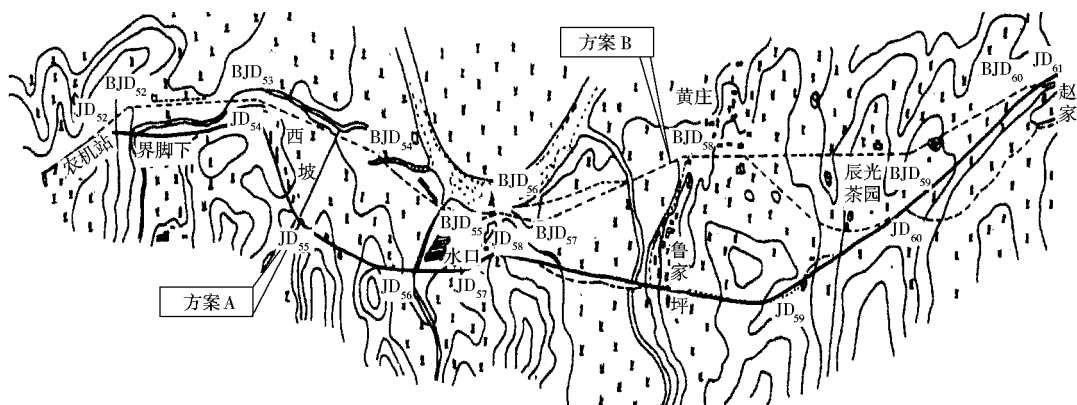


图 1-0-5-6 路线走高处与走低处的方案比较

• 第三节 山岭区选线 •

山岭区路线的布设受山区地形、地质和气候条件的限制甚大。在地形方面,山高坡陡,沟深谷窄,路线平、纵、横三方面都受到约束;在地质方面,山区土层薄,岩层厚,岩层产状和地质构造变化复杂,影响线位的布设;在气候方面,山区暴雨多,山洪急,溪流水位变化幅度大,是选线中不可忽视的因素。

山区路线布设应与山区地形相适应。在山区地形中,一般是河谷、山脊、深沟和山岭的综合排列。在两个分水岭之间,即存在一条溪谷或河流。这种山脉水系分布的规律,为山区选线确定基本走向和选择大的路线带指明了途径。一种是路线基本走向与分水岭及溪流方向一致;另一种是路线基本走向与分水岭溪谷方向横交。前者按位置不同有沿溪线和山脊线,后者为越岭线。在一条路线中,这几种形式往往形成同一路段几个不同的比较方案。在一条相当长的路线中,又往往不是一种形式的路线,而是几种形式的路段相互交替所构成。

一、沿溪线

沿溪线是沿山谷溪流两岸布设的路线,如图 1-0-5-7 所示。由于溪谷地面纵坡一般较平缓,常有台地可布线,除上游较短地段和中游有个别地段外,一般不超过山区公路所容许的最大纵坡;山区居民多聚居于傍山沿溪一带,城镇居民点多,沿溪线便于为政治、经济服务,发挥公路的效益;溪谷内有丰富的砂砾石料,水源充足,便于施工、养护和行车使用。因此,沿溪线常成为山区选线中优先考虑的方案,它也是山区路线中比较常见的一种线形。但是沿溪线也有许多不利条件:由于溪谷一般较窄,两岸台地常被支沟截断,溪流又多具有曲流的特点,曲流两岸横坡不对称,一般是凹岸较陡而凸岸较缓,如沿一岸设线,则常常是陡岸与缓岸交替出现,溪流平时流



图 1-0-5-7 沿河(溪)线

量小,但一遇暴雨,山洪骤至,洪流夹带泥沙、砾石、树木下泄,冲刷两岸,对设计施工不合理的路基常常造成水毁。溪谷两岸常存在不良地质情况,寒冷地区的峡谷因日照少,常有积雪、雪崩和流冰等现象。这些都给布线造成不少的困难。

1. 路线布局

沿溪线以溪流(或溪谷)为指导方向,路线的基本走向明确,除个别冗长河曲外,通常,路线无大的方案问题。因此,沿溪选线需要解决的主要问题是:路线沿溪谷哪一岸设置,争取利用较好的谷岸台地和避免各种不良地质地段以及工程困难地段,线位定在哪一级台地上,使路基高度免受洪水的威胁。

1) 河岸选择

适于布线的一岸应是谷坡较缓、支沟较少、地质条件较好、有连续适宜布线的台地。当这些有利条件交替出现在两岸时,就有必要交替使用两岸有利地段。因此,困难工程集中地段、严重不良地质地段、其他工程干扰地点、城镇村庄以及跨河建桥地点,是沿溪线布设的控制点。

对于困难工程集中地段和不良地质地段,原则上以避让为主。避让有3种可能方案(图1-0-5-8):一是及早提升线位,绕走崖顶部通过;二是走支脊内垭口穿过;三是改走对岸。

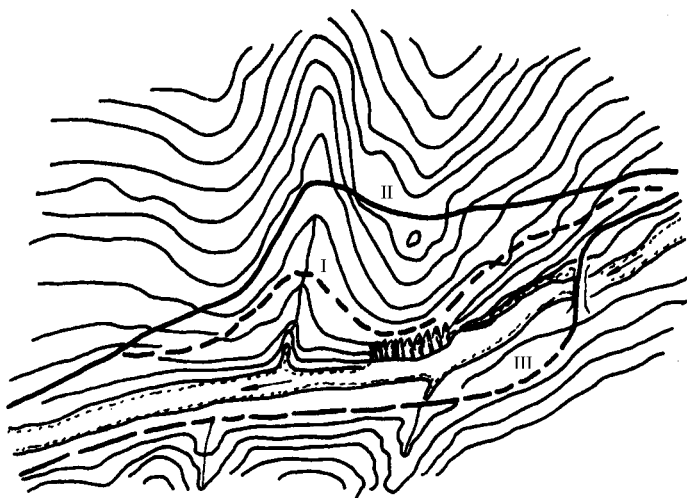


图 1-0-5-8 避让工程困难和不良地质路段的方案

I-从崖顶通过 II-从支脊垭口通过 III-改走对岸

绕走崖顶,需要崖顶有适宜布线之地形。若困难工程集中地段是在大河湾之支脊凸部,则在支脊内常有低垭口,利用这种垭口绕避困难地段,是一个较好的方案(图1-0-5-9)。这两种方案,路线都需要由河谷上升到崖顶或垭口,然后又下降到河谷,有无这种升坡及降坡之适宜地段,是选用这种方案的又一重要条件。

2) 综合考虑临河选岸

改走对岸,需要选择适宜之桥位和考虑建桥方案。由于沿溪线与溪谷走向平行,路线跨河时往往使路线形成急弯,桥头线形顺适。若跨河地点选择在河曲及S形河段(图1-0-5-10及图1-0-5-11),可使桥头线形显著改善。要尽量避免在直河段跨河,必须跨越时,中小桥可适当考虑斜交,对大中桥不宜斜交时,可对桥头路线作适当处理,争取较大的转弯半径(图1-0-5-12)。

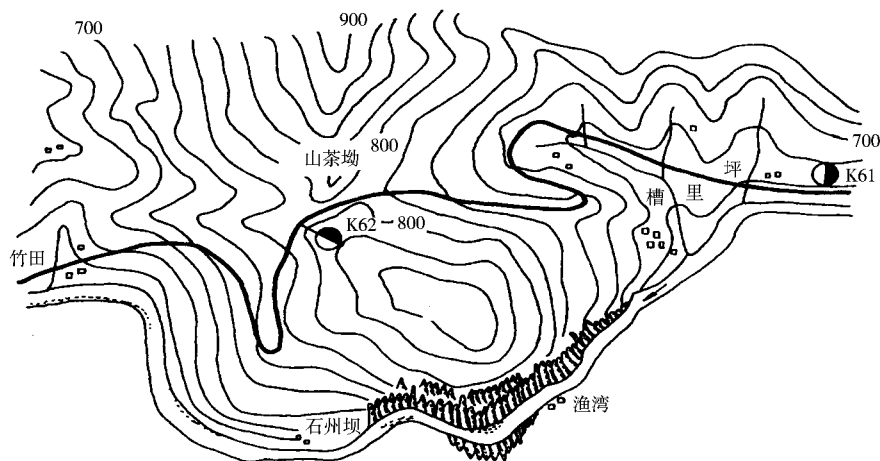


图 1-0-5-9 绕走支垭口的方案

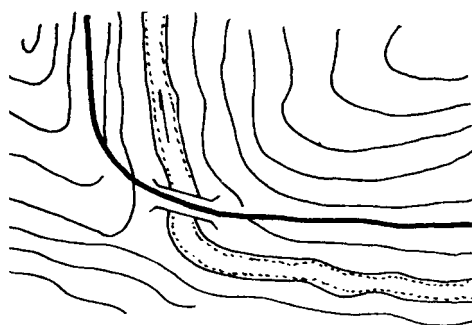


图 1-0-5-10 利用河曲跨河

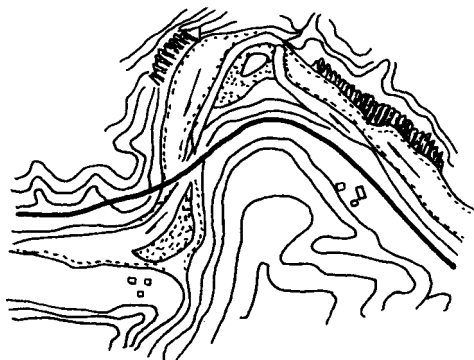


图 1-0-5-11 绕走支垭口的方案

跨河建桥,要进行技术经济比较来确定方案。如图 1-0-5-13 沿响水河一段路线,北岸因地形陡峻,有断续的陡崖,路线改走南岸,到夏村后前方又遇陡崖,只好又返回北岸。这样在 3km 内跨河两次,需建中桥两座。如路线不跨河,虽需集中开挖一段石方,但较建桥经济得多,因此,以不跨河换岸为宜。又如图 1-0-5-14 所示,德达沟两岸有两处大型岩堆,很难根治,路线跨河避让,虽多建桥两座,但避开了病害,减少了土石方工程,对施工、营运、养护都有利,因

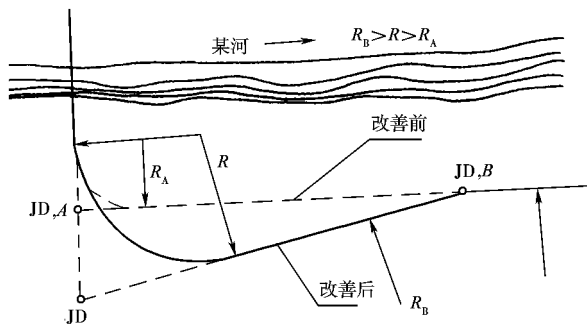


图 1-0-5-12 直河段桥头线形改善示例

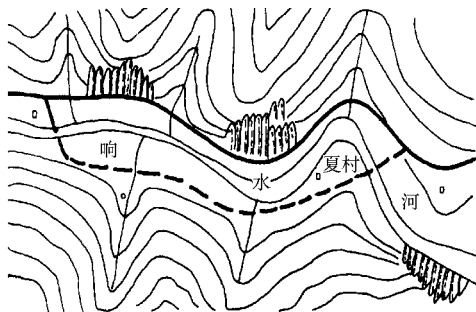


图 1-0-5-13 不宜跨河换岸的实例

而跨河换岸是适宜的。

当困难工程集中路段及地质不良路段不太长,能以工程措施通过时,路线临河而行,也是一种比较可行的方案。

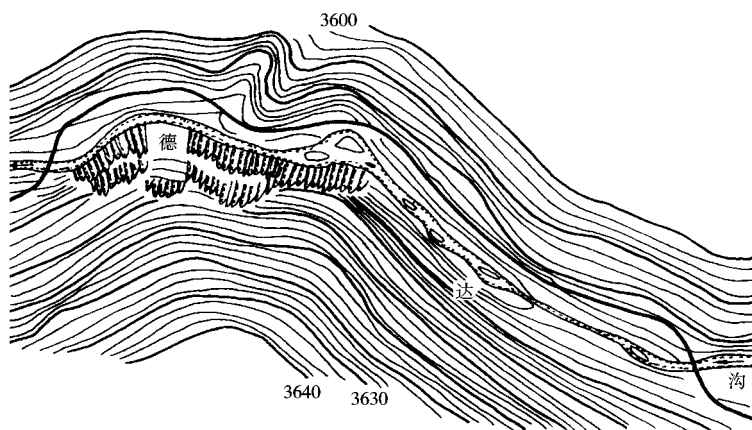


图 1-0-5-14 跨河换岸的实例

3) 考虑城镇及居民点的分布

对于城镇村庄,一般路线应尽可能选走城镇、厂矿、居民点多的一岸,以便利居民。若有几个控制点同河异岸,则需建桥联系。图 1-0-5-15 中,城镇点在河之对岸,用一座桥联系的方案 II 较用两座桥联系方案 I 经济,且使干线直通快速,应予优先考虑。沿溪线在溪河内常遇有各种水库、水电工程设施或是规划设计中的水利工程项目,这些也是路线的干扰因素,选线中要充分调查研究。当沿水库选线时,路基标高应考虑水库坍岸影响小的一岸。当路线横跨水库时,一般绕走水库上游回水曲线范围以上、或下游冲刷范围以下的河段。

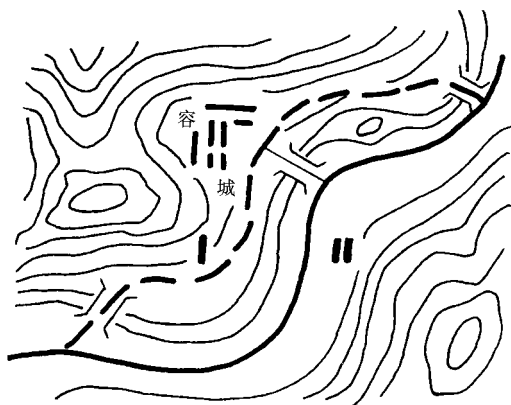


图 1-0-5-15 用桥联系中间点之方案

2. 路线高度

路线走多高,主要考虑洪水对路基的威胁。因此,选线中要做好洪水调查工作,掌握水流变化规律,把路线布设在设计洪水位上。一般原则是:当出现设计洪水位时,应能保证路基不受冲刷,使路基稳定坚固,路线畅通。对更大的洪水,则考虑宁淹勿冲,路线虽短时中断运行,但路基和人工构造物不遭水毁。对交通量很小的低等级道路,如提高路线高度会使工程量增大很多时,可允许路基被一定频率的洪水淹没。

在不受洪水淹没和破坏的前提下,路线布置通常有低线和高线两种情况。低线指路基高出设计水位(包括浪高加安全高度)不多,路基一侧临水很近的路线。如河谷岸坡有较低的平整台地,地质、水文条件好,且不受洪水影响,采用低线是比较理想的。其优点是:平、纵面线形较顺,易争取到较高标准,土石方工程小,路基边坡低较稳定,路线活动的范围较大,便于利用有利地形和避让不利地形及地质,便于在沟口直跨支流,在必须跨越主流时也较易处理。最大

缺点是受地形与洪水威胁,防护工程较多。对于洪水涨落幅度特大或严重积雪的河谷,采用低线很不利。对于遇到V形的峡谷,平、纵面线形受地形与洪水位限制,活动余地不大,若岸壁崖顶高,再翻越崖顶时工程量太大。但采取各种工程措施能在崖脚布线时,这种低线方案还是可行的。

高线指路基高出设计水位很多,完全不受洪水威胁的路线。采用高线在相当程度上取决于较高台地的利用程度以及临河低线不适宜的情况。高线的主要优点是:免除洪水威胁,节省防护工程,路基稳定,若有大段较高台地利用时,可使土石方工程减少。但由于有利于地形多不连续,其间或有深沟相间,或有山埂阻隔,或相邻台地高差很大,这就会迫使路线随山势弯绕,线形差;另外山坡缺口多,路基需要的挡土墙工程量大,跨越支沟的桥涵工程量也大。此外,高线如要避让不良地质段以及跨河换岸时,都较低线困难。

在一段沿溪线中,为了利用有利地形和避让不利地形、地质条件,往往交替使用低线 with 高线。这种路线由低处升到高处,再由高处降到低处,都需要选择一段适宜的升(降)坡展线地段,以实现二者的过渡。

3. 路线在河谷断面上的布设

山区河谷,由于水流的侵蚀作用,形成浅盆形、U形及V形3种河谷形态。

1) 开阔河谷

浅盆形河谷比较开阔,从溪岸到山坡有较宽的台地,台地上农田、村镇居民点多。布线一般有傍河或中穿3种走法(图1-0-5-16)。

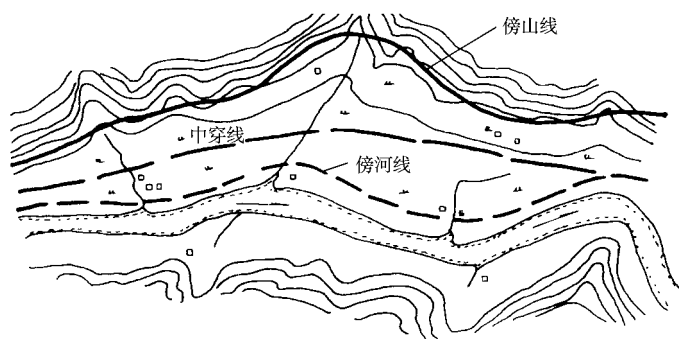


图1-0-5-16 开阔河谷路线方案

(1)傍山走,沿较高台地内缘修建路基较为有利,其优点是:不占或少占农田,不受洪水威胁,路基强度高;但遇窄而短的台地,其间有深沟或山埂阻隔,以及高差很大的相临台地,则考虑用适当的纵坡或平曲线穿插其间,以求合理利用有利地形。

(2)傍河走,坡度均匀平缓,线形顺适,路基需按设计水位考虑,做好防护工程;如将公路路堤与河堤相结合,桥闸结合,有利于防止洪水、保村护田。对于个别弯曲的小溪流,可局部改迁,以便线形顺适。

(3)中穿方案线形标准高,但占田多,路基稳定性差,一般不宜采用。

图1-0-5-17所示为某地一段沿溪线,河谷呈浅盆形,根据地形和居民点条件,在阳平一段傍河走,河堤与路堤结合;在小堰对岸傍山走,因河谷曲折不利于布线,傍山走较顺适;在JD₉~JD₁₀之间,采取改河方案以求线形顺直,改河以后,靠山一侧还可开垦为耕地。U形河谷横断

面较窄(图 1-0-5-18),由于侧向侵蚀较大,两岸多不对称,凹岸陡凸岸缓,河弯、蛇曲较为发育,



图 1-0-5-17 开阔河谷的路线示例

溪谷比较大而常水位较小,若遇山洪暴发,则流速大而冲刷力猛。在这种窄谷布线,不外临溪与山腰线两种方案。临溪多为一般人所推荐,因为它比山腰线土石方工程小,平、纵线形好些;但有大量的浸水挡土墙工程,在可能引起冲刷边坡的溪岸,需要做导流、挡水等调治构造物。山腰线支挡工程多,废方处理困难,且容易侵占河床,若遇支沟,需绕进绕出,增加桥高涵长,但是山腰线用于避开山洪冲刷,避开临溪的悬崖陡壁困难地段以及支沟下游冲击扇的桥梁和导治工程,又是可行方案。

2) 河道弯曲、狭窄的河谷

对于河弯、蛇曲地段(图 1-0-5-19),可有 3 种走法:一是随河弯绕山嘴走;二是改移河床;三是两次跨河取直路线。采用哪种走法要通过技术经济比较决定,一般是交通量大的干线宜取直,而等级低的支线则采用工程量小的方案。

3) 陡崖峭壁河段

V 形河谷及为峡谷,两岸陡崖峭壁。遇到这种溪谷,路线能自远处开始提升,绕过崖顶,选择有利地带通过是一种较好的方案。当崖顶过高,上下崖展线困难,或峡谷不长,则宜采用穿过峡谷的方案。穿过时可根据峡谷宽

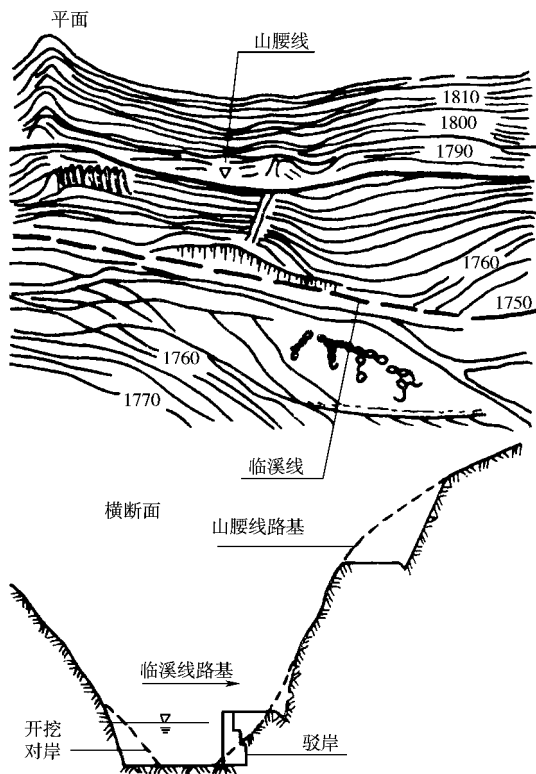


图 1-0-5-18 U 形窄谷布线

度、水流状况采用不同的布线方式:当河床较宽,水流不深,压缩部分河床不致引起洪水位抬高过多时,可考虑占河筑路(图 1-0-5-20);若河床较窄,不宜过分压缩,则可采用筑路与治河相结合的办法,从对岸河槽开挖整治中得到补偿;当可床较窄,水流很急,不容侵占河床时,则可在岸壁上开挖台口式路基(图 1-0-5-21);对个别缺口或短段不够宽的路段,可及半山洞、隧道、半山桥或悬出路台等工程措施通过(图 1-0-5-22)。

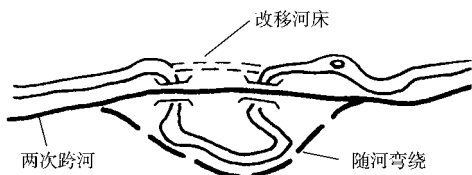


图 1-0-5-19 河湾路线方案示意图

在山区溪谷内,常有急流、跌水河段,河床纵断面在短距离内突然下落几米至几十米。路线应自上游贴近谷底部进入跌水河段,以不超过最大纵坡的坡度下降,当进到下游时,就已经高出溪谷底部很多,为了尽快降低线位,必须利用支谷或山坡展线下降(图 1-0-5-23)。

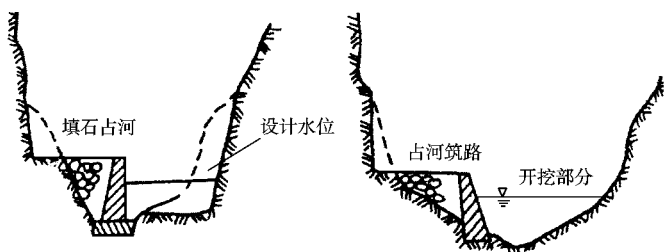


图 1-0-5-20 占河筑路

4. 通过不良地质地段之路线布设

山区溪谷通常是地质、地貌比较复杂的地段,两岸滑坡、岩堆、泥石流等不良地质较为常见。路线通过这些地段总的原则是:避强制弱,避重就轻,加强调查,综合防治。

防治滑坡的主要措施是消灭、减轻水对滑坡体的危害与增加滑坡体的平衡条件。路线以浅挖方式自滑坡体上方通过,可减轻滑坡体上方压力;以路堤加挡墙方式从滑坡体下方通过,增强对滑坡体稳定(图 1-0-5-24)。不论是在上方或下方通过,都要做好排水设施。对大型滑坡,选线时务必绕避。

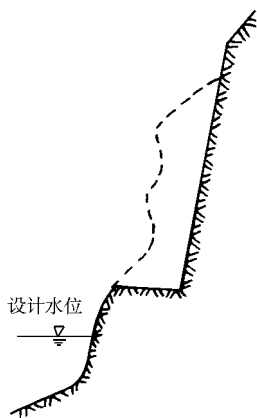


图 1-0-5-21 台口式路基

路线经过岩堆,首先要调查其稳定性。凡岩堆表面长满草木,无新鲜石块,岩堆胶结密实的,可视为已稳定,否则为不稳定。不稳定岩堆,路线一般应绕避。路线通过岩堆,宜在下方用路堤形式,目的是加强其稳定性。对已稳定岩堆,可修浅路堑通过,上下均应修建挡墙加以防护(图 1-0-5-25)。

路线遇泥石流时,一般以绕线方式避开冲击扇,从较窄的颈部穿过有利。当无法绕线时,可视具体情况用单孔桥、过水路面配合小桥涵等方式通过。图 1-0-5-26 为采用单孔桥过泥石流之实例,图 1-0-5-27 为川藏公路过瓦斯沟段用 3 座小桥和 210m 过水路面通过泥石流之实例。

二、越岭线

当路线的两个主要控制点位于山脊线的两侧山麓时,路线需从

一侧山麓翻过山脊至另一侧山麓,这种路线即为越岭线。它的特点是路线需要克服很大的高差,路线的长度和平面位置主要取决于路线纵坡的安排,因此,在越岭线的选线中,须以路线纵断面为主导。

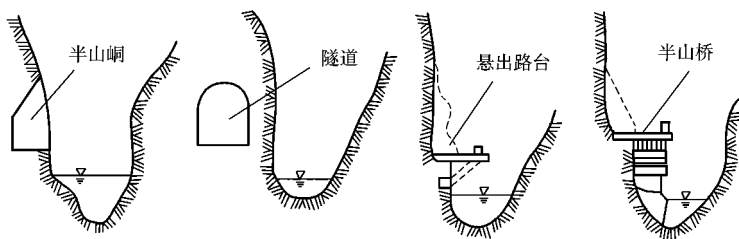


图 1-0-5-22 用特殊工程措施通过陡崖



图 1-0-5-23 急流跌水河段路线

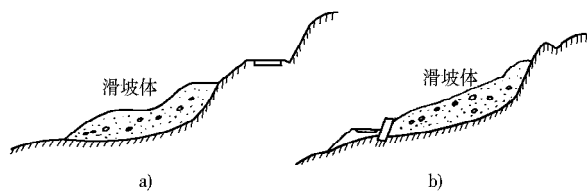


图 1-0-5-24 滑坡地段的路基布置

a)从滑坡体上方通过 b)从滑坡体下方通过

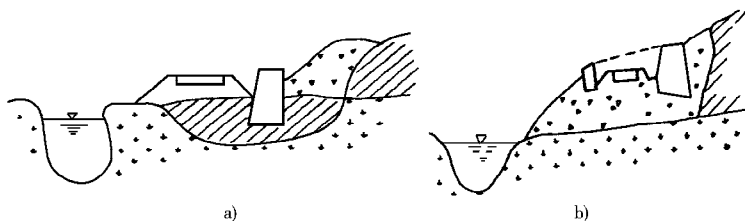


图 1-0-5-25 在岩堆地段的路基布置

a)从岩堆体下方通过 b)从岩堆体上方通过

越岭线主要问题在于垭口的选择、过岭标高的确定和垭口两侧路线展线的拟定。它们是相互联系、相互影响的。布局时应综合考虑,处理好三者的关系。

1. 垭口选择及布线

1) 垭口位置选择

选择垭口通常利用国家现有的 1/10000 等高线地形图或航测影像图,在基本符合路线总方向的范围内,与两侧山坡展线方案结合在一起选择地质条件好的低垭口。

2) 垭口标高选择

越岭高差较小,地质条件稳定,展线降坡后能与山麓控制点直接地衔接,不需无效延长路线,这种垭口最为理想。如垭口虽低,但地质条件不好,或两侧山坡不适于展线,或展线后与山麓控制点接线不顺,则应稍微偏离总方向上另行选择。对于高寒山区,标高低的垭口对行车和养护条件都有利,有时需适当偏离路线总方向找低垭口通过。

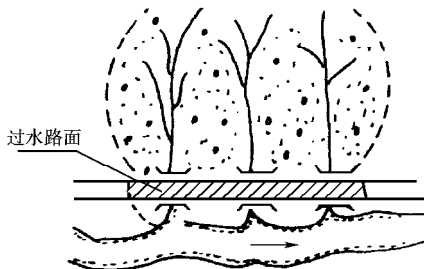


图 1-0-5-26 采用明峒通过泥石流

3) 垭口地质条件选择

垭口是地质构造上软弱地带或断层破碎带。由于修建路基开挖边坡,就要破坏原来垭口处岩层的天然平衡状态,当垭口下切深度越大时,这种影响就更为严重。因此选择垭口,要对其地层构造情况进行实地调查。对软弱层型、构造型和松软土侵蚀型垭口,只要注意岩层产状

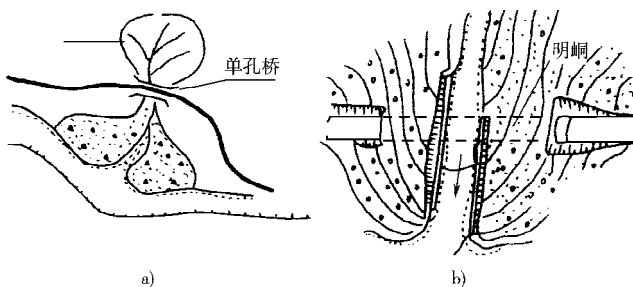


图 1-0-5-27 小桥与过水路面结合穿过泥石流

及水的影响,路线通过一般问题不大,对断层破碎带型及断层陷落型垭口,一般应尽量避免,必须通过时需查清破碎带的大小及程度,选择有利部位通过,并做好可靠的工程措施,地质条件恶劣的垭口,则决不应考虑,如图 1-0-5-28 所示。

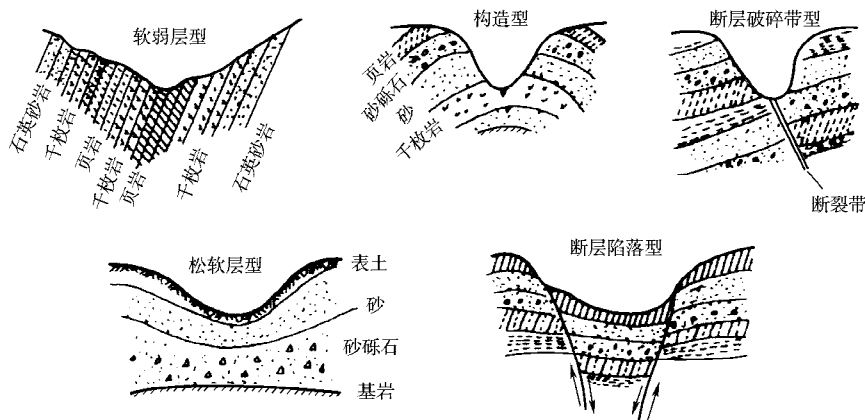


图 1-0-5-28 垭口的地层构造

4) 垭口展线条件选择

垭口以下的两侧山坡线是越岭线的主要组成部分,山坡的地形、地质条件直接影响路线的质量、造价和路线的稳定。陡坡悬崖、深沟割切,有滑坡、崩塌地质问题的山坡,都不适合布线;若自垭口下来的路线不能绕避这些不良地形、地质条件时,就需另择垭口。如地形、地质条件好,即使偏离总方向稍远一点,或者高差稍大一点,也可能是合理的。

图 1-0-5-29 为一越岭线选择垭口的例子。由岭北控制点下村到岭南控制点西坑,按总方向可沿人行道越马岭垭口,下村上岭高差近 700m,平面直线距离仅长 1800m,需展长路线 14km 方可爬上垭口。稍偏东有一个垭口,比马金岭低 40m 但地形复杂、工程困难,不宜选用。偏西有浣田岭垭口,较马金岭低 90m,由于可节省展线 2km,且上、下岭地形适于布线,故推荐走浣田岭垭口通过。

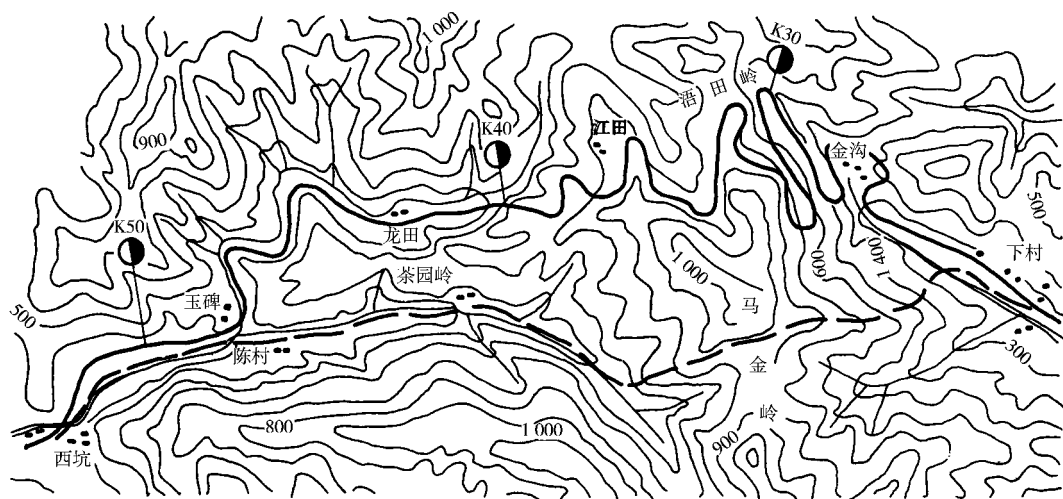


图 1-0-5-29 垭口选择 1

图 1-0-5-30 为砂甸至塘下公路之一段,循总方向有仙狐亭垭口(标高 840m),偏离总方向有拾花亭砂甸及塘下之距离与两侧所需之长度适当,因而线形较顺适,加之标高低,因此最后选用拾花亭垭口。

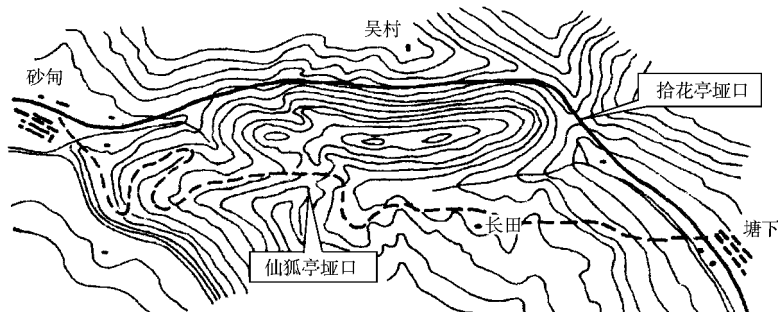


图 1-0-5-30 垭口选择 2

2. 过岭标高的确定

当垭口选定之后,过岭标高就直接关系到垭口处的切深问题,而切深是与垭口处的地形、地质条件、两侧展线方案等因素相互联系的。从地形、地质条件来看,一般是山脊肥、地质条件差的不宜多切,而采用浅挖低填过岭,山脊瘦、地质条件好的可以深切,切深以不危及路基稳定为度,最大切深根据岩石类型和构造情况而异,一般可达20m。

1) 浅挖低填

从两侧展线方向来看,切得越多,所需展线长度越短,不同切深会得出不同的展线方案。图1-0-5-31是通过飞来石垭口之路线,甲方案切深9m,需设两个回头曲线;乙方案切深13m,只需设一个回头弯;丙方案切深20m,较甲方案多切11m,路线缩短377m,线形好,有利于行车和节约运输费用。但深切垭口,要有良好的地质条件,加之工程量集中,要处理大量废方,影响施工限期,这是在方案比较中值得慎重考虑的。

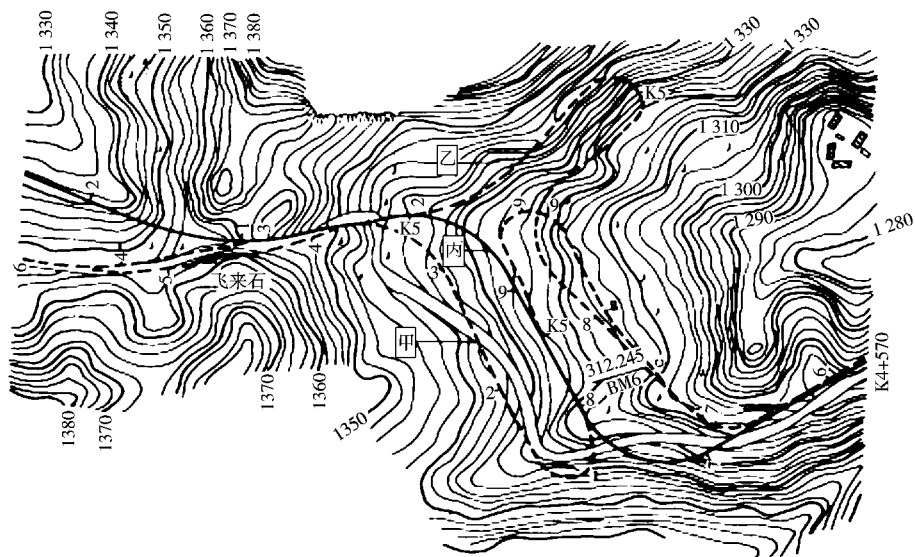


图 1-0-5-31 垭口不同切深的展线方案

2) 深切垭口

当垭口切深超过20m而又不宜作路堑或山坡展线困难时,可考虑用隧道过岭。采用隧道具有路线短、线形好、不破坏自然环境和路基稳定等优点,在高寒地区可降低海拔,不受冰冻积雪影响,从而大大改善行车条件。图1-0-5-32为河南某公路越岭线采用隧道方案的实例。以隧道穿越的甲方案较垭口翻越的乙方案路线缩短2552m,土石方减少近10万 m^3 ,涵洞减少22道共长220m,防护工程减少14处共计400 m^3 ,大于7%以上的纵坡路段乙方案有14处共长1160m,甲方案只有1个。但是隧道造价较高,受地质条件影响较大,施工技术比较复杂,采用时需要做技术经济比较。

3. 垭口两侧山坡路线的布设

1) 展线布局

经过视察和踏勘测量,确定了垭口和两侧山麓起点之后,就进一步在山麓起点和垭口之间的山坡上进行路线的详细布局。由于其间的详细地形、地质条件变化很大,不可能一次就把路

线布局确定下来,而需要通过试坡布线,定出中间控制点,在控制点之间逐段展线布局,最后形成路线的整体。

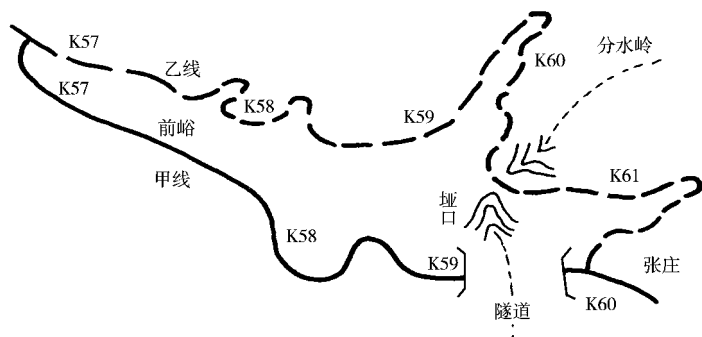


图 1-0-5-32 采用隧道越岭的路线方案

2) 试坡布线

试坡通常先固定垭口,自上而下,视野开阔,便于争取有利地形。试坡用的工具有带角水准和经纬仪,有条件时可使用 GPS。坡度一般按规定的平均坡度。试坡是为了初步摸清路线高差情况及了解展线方案的可能性,因此试坡前要对整个地形、地物和地质情况有个初步、全面的了解,拟定路线大致走法。

中间控制点的选择,首先要注意选择最适宜于展线的地带。就是路线进入该地带后,能争取较长的延伸路线,少设回头弯,必须设置时,在同一山坡上下线要有适当间距,往返道数越少越好。因此回头弯位置为一种控制点。

其次是试坡中遇到的地质不良地段和工程艰巨地段,要把路线适宜通过的位置作为控制点暂定下来,然后与前后控制点相连,研究其间的纵坡是否符合规定的坡度。若坡度符合或略小于规定值,即可将此点作为控制点定下,若纵坡过大无法调整时,则应另找比较线。对于必须联系的中间居民点、林场或工矿,也应作为中间控制点。当一系列中间控制点拟定之后,一条路线方案的轮廓也就基本确定了。在主要控制点间,可能有几个方案,经过比较,提出推荐方案供定线采用。

3) 展线形式

根据中间隔控制点的地形、地质情况,展现可采用自然展线、回头展线和螺旋式展线 3 种形式。

(1) 自然展线

当垭口一侧有较整齐的长段山坡,无较大割裂地带而地质较稳定时,路线可以适当的坡度顺山坡自然地形,绕山嘴、侧沟来延展距离、克服高差,这就是自然展线。其优点是:符合路线基本走向、纵坡均匀、路线短、线形好,技术指标一般较高。缺点是避让艰巨工程或不良地质路段的自由度不大,与高崖、峡谷段,只能采用回头展线方式。

自然展线的山下起(终)点往往不在本山脚下。如山岭支脉有开阔的地形,可充分利用及早提升,以达到自然展线的目的(图 1-0-5-33)。

(2) 回头展线

当两控制点的高差较大,靠自然展线无法取得所需的距离以克服高差,或地形、地质条件

不宜采用自然展线时,则可利用适于布设回头曲线的地形进行展线。

回头曲线的来回两支可以在同一平面上,也可以不在一个平面上;可在同一山坡上,因为路基是上切下填,工程量大,易遭破坏,对行车施工、养护都不利。因此,选择适宜的地形和采用相应线型,对路线使用质量和工程数量有着密切的关系。

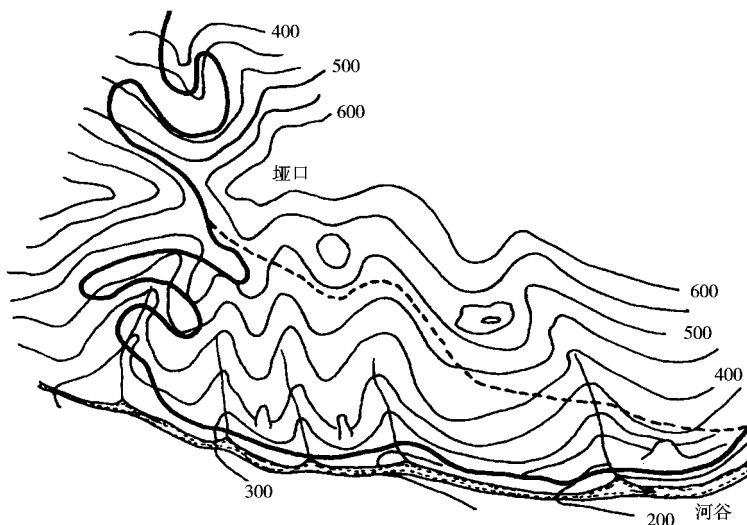


图 1-0-5-33 自然展线与回头展线

回头曲线一般半径不大于(15~30m),由于半径小,需要用较小纵坡才利于行车(在回头曲线长度内,二、三、四级公路最大纵坡分别为3.5%、4%、4.5%)。如果来回路线是在同一山坡上,则两侧不能隔得太近,要求在转弯后迅速分开,这样就需要用较大的纵坡,因此回头曲线两端要尽可能用大半径曲线或直线段相衔接。根据这一特点,适宜布设回头曲线的地形一般如图1-0-5-34所示。

绕山包是布设回头曲线的有利地形。因为利用山包展长路线,分开两线,可以缓坡克服高差,缺点就是视距较差有碍行车。利用山脊平坦台地或平缓坡地布置回头曲线也是适宜的,因为上线切方不深、下线填方不高而路基稳定。地形开阔、横坡较缓的山沟和山洼,无不良水文地质情况时,作为回头地点,不仅节省工程,而且视距良好,只是涵洞及排水构造物工程量要大些。

在陡峻山坡上回头曲线之间间距不长,则造成线形差、工程量大。图1-0-5-35所示地形不宜设回头曲线。

利用一面山坡连续回头展线也是不好的,因为上下线重叠排列,对行车、施工、养护都不利,如图1-0-5-36所示。图1-0-5-37为西南某公路一面坡上重叠24道弯,行车极为不利,以后改为一个回头曲线,大大改善了线形,虽增长路线1.67km,仍是合理的。

(3)螺旋式展线

当路线受地形限制,需要在某处集中提高或降低某一高度才能充分利用前后有利地形上具有瓶颈型的支谷和圆形山包,路线环绕谷坡和山包一周又回到环形起点处的上面或下面,用跨线桥或隧道与原路线形成立体交叉,以达到展线延长路线、提升一定高度的目的。

图 1-0-5-38 为利用山包螺旋式展线, 图 1-0-5-39 为利用山谷螺旋式展线的例子。

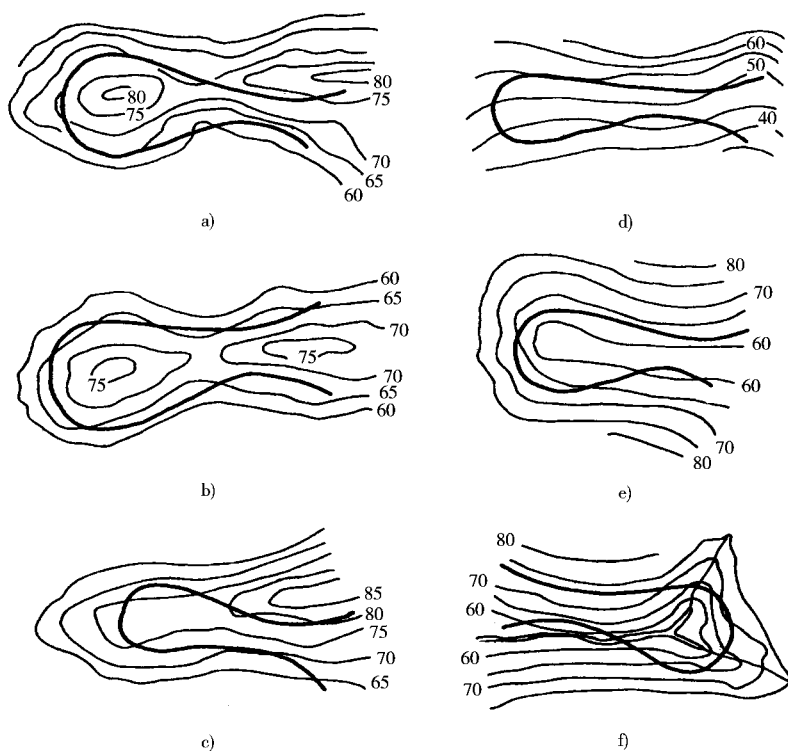


图 1-0-5-34 适宜设回头曲线的有利地形

a)穿垭口、绕山包回头 b)绕山包回头 c)利用山嘴平台回头 d)利用山坡平坦地回头 e)利用山洼回头 f)利用山沟回流处回头

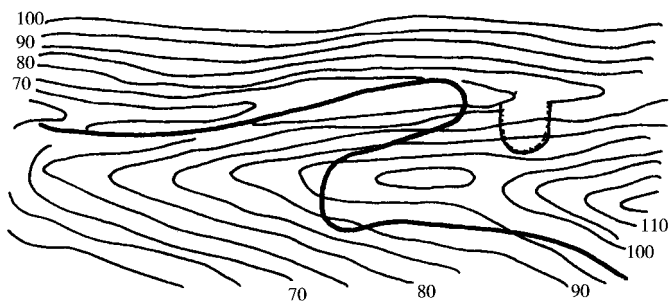


图 1-0-5-35 不宜设回头曲线的地形

4. 展线示例

1) 利用山谷展线

图 1-0-5-40 为利用主谷与侧谷的展线例子。当主谷两侧有较开阔的侧谷, 路线伸入侧谷是增长距离, 爬坡升高的有效办法。其主要优点是上下线不重叠干扰, 线形与自然景观协调。

当主谷两侧无侧谷可利用, 但两侧山坡有山嘴, 山凹台地或平缓山坡可回头时, 可采取反复跨主沟展线(图 1-0-5-41)。因反复跨主沟, 需多设桥涵, 但由于主沟分隔, 使上下线重叠减

少,对行车和施工都是有利的。

图 1-0-5-42 为利用平行山谷展线的例子。这种平行山谷若利用得好,能使路线在短距离内较快争取高程,而且线形舒畅。由图可见,利用平行山谷之间得山脊较肥厚,有平缓的侧坡容易使路线由一谷转入另一谷。



图 1-0-5-36 利用狭窄山坡回头展线的不良示例

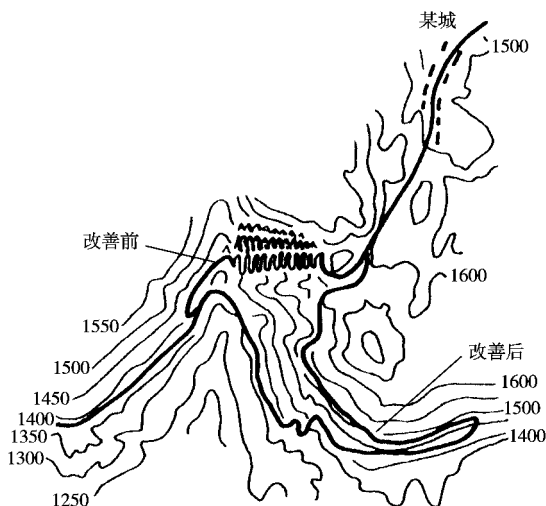
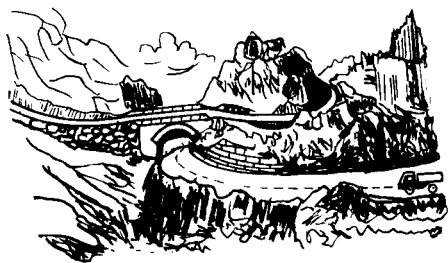


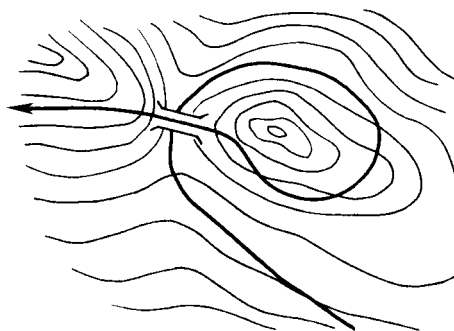
图 1-0-5-37 一面坡上 24 道连续弯

2) 利用山脊展线

当沟谷地形复杂难以展线时,可考虑利用两谷之间的平缓山脊展线,如图 1-0-5-43 所示。采用这种展线,要求选肥厚的山谷或山嘴,以减少路线重叠。有条件时,还可选择适当地点跨沟,使路线伸向另一坡面,充分利用有地形展线。



a)



b)

图 1-0-5-38 绕山包螺旋式展线

a) 立体图 b) 平面图

3) 利用山坡展线

当地形受到限制,不能利用山谷山脊展线时,如有横缓平坡,地质稳定,路线能较长延伸的山坡,也可进行展线。图 1-0-5-44 为山坡展线的例子。

总之,展线布局只要善于利用地形特点,因地制宜,运用各种展线形式,就能做出较好的布局方案。

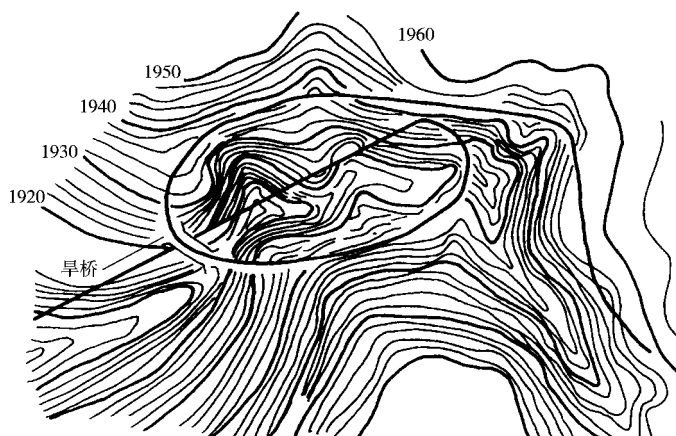


图 1-0-5-39 山谷螺旋式展线

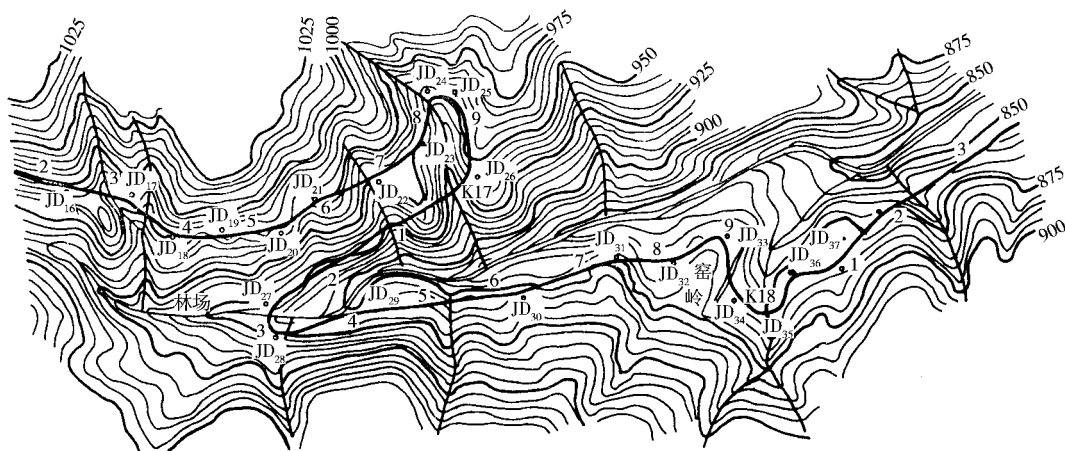


图 1-0-5-40 利用主谷和侧谷展线

三、山 脊 线

1. 山脊线的特点及选择条件

山脊线是一种大体沿山脊布设的路线。连续而又平直的山脊通常是很少的,因此长距离的纯粹山脊线比较少见。西(安)兰(州)公路华家岭段长达 50 余公里的山脊线是罕见的例子。它一般为较短的里程,并且是作为越岭线的中间连接或沿河线的比较线而考虑的。

采用山脊线首先要求分水岭的位置和方向不能偏离总方向太远;另外应选择山脊顺直平缓、起伏不大、岭肥脊宽的理想地带,使路线大部分或全部设在分水岭上。但高山地区的分水岭常常峰峦、垭口相排列,有的相对高差很大,这种地形的山脊线,则为一些较低垭口所控制,路线应沿分水岭侧坡在控制垭口之间穿行,路线大部分设在接近分水岭的山腰上。此外,采用山脊线还要求分水岭地质条件好,上下山脊线的引线有合适的地形可以利用,否则,山脊本身条件再好也难以采用。

山脊线一般具有土石方工程小、水文地质条件好、桥涵构造物少的优点。但山脊线位置高,离居民点较远,水源和筑路材料缺乏,以及高山气候条件不利行车等,往往成为方案选择中放弃山脊线的因素。

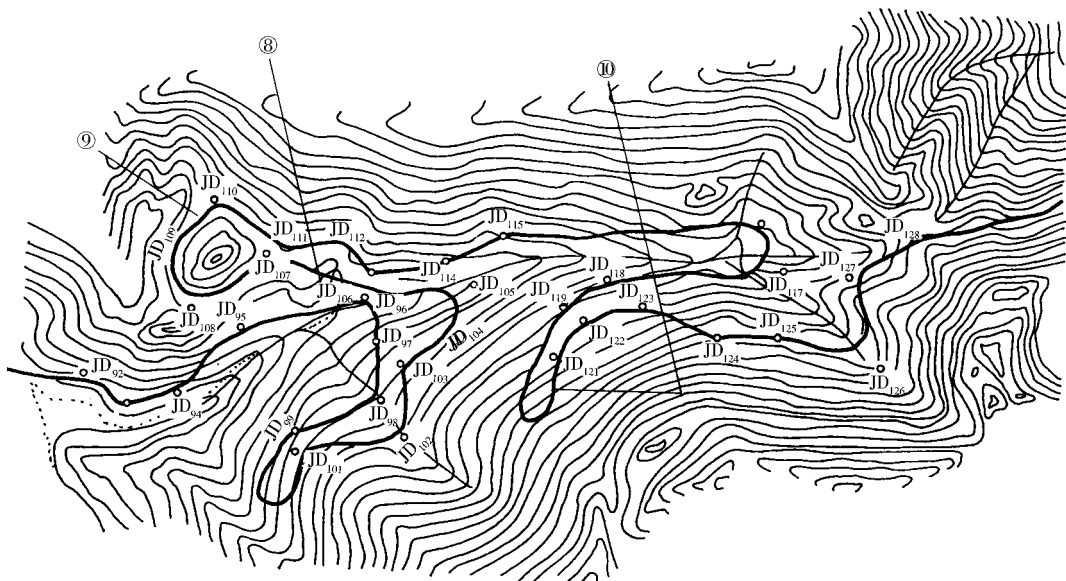


图 1-0-5-41 反复跨主沟展线

由于山脊线基本上是沿分水岭前进,所以走向明确,因此布线的关键是如何连贯山脊上的各个控制垭口,选择条件好而接近分水岭的侧坡布线。

2. 控制垭口选择

每一组控制垭口代表着一个山脊线方案。当分水岭方向顺直、起伏不大时,各垭口均考虑为控制点;若起伏较大,则舍去高垭口,留下低垭口为控制点;若有支脉隔离,在相距不远的并排几个垭口间选择其中一个与前后条件好、路线较短的作为控制点。垭口选择还应与两侧山坡不线条件一起考虑,通过试坡以后取舍确定。

3. 侧坡选择

分水岭的侧坡是山脊线主要布线地带,选择哪一侧坡通过,要综合分析比较决定。一般选择坡面整齐、横坡平缓、路线短捷、地质稳定、无支脉横隔的向阳山坡布线较为理想。如图 1-0-5-45 所示,实例 A、D 垭口为前后路线所决定的固定控制点,其间有 3 个垭口 B、C、E,因此有甲、乙、丙 3 种走法。由于 C 垭口比 B、E 垭口高 35m,使丙线一上一下,起伏很大,可不予考虑。

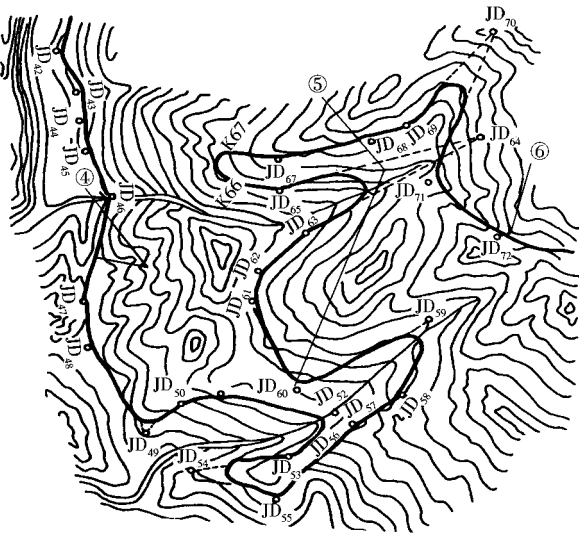


图 1-0-5-42 利用平行山谷展线

甲线走左侧山坡,路线短捷、平面顺直,但横坡较陡,要穿过一陡崖和跨一深谷;乙线走向右侧山坡,绕线较长,平面线形稍差,但纵坡平缓,横坡也不太陡,工程较省。究竟选用哪一方案需进一步试坡后比选而定。

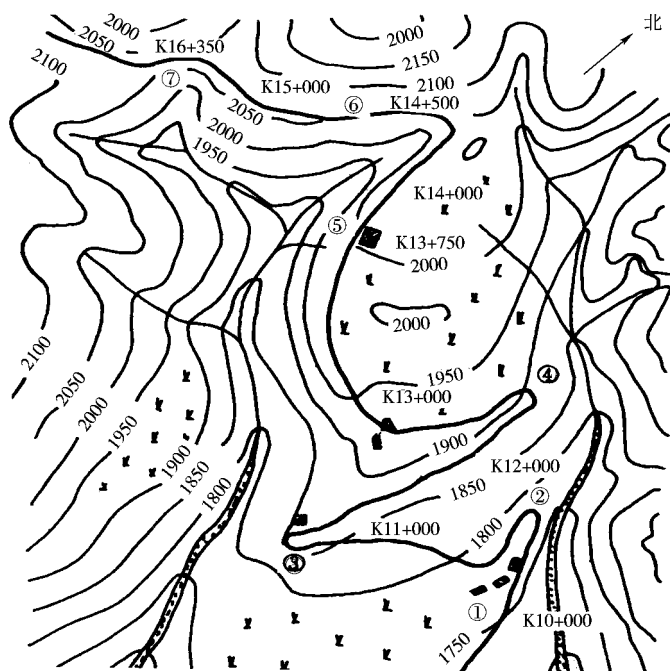


图 1-0-5-43 山脊展线

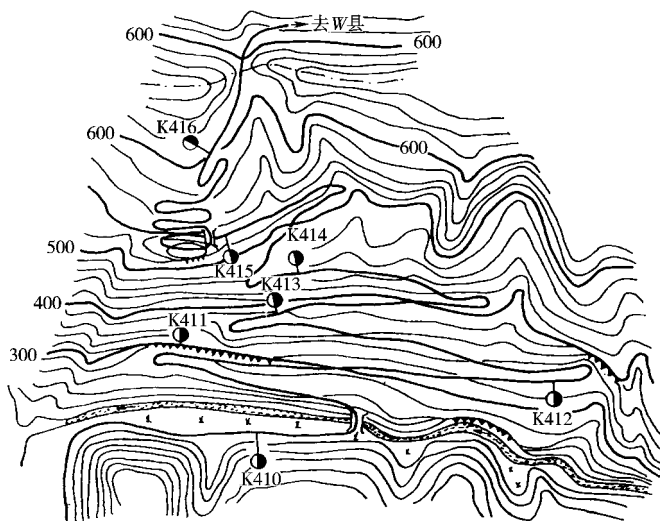


图 1-0-5-44 山坡展线

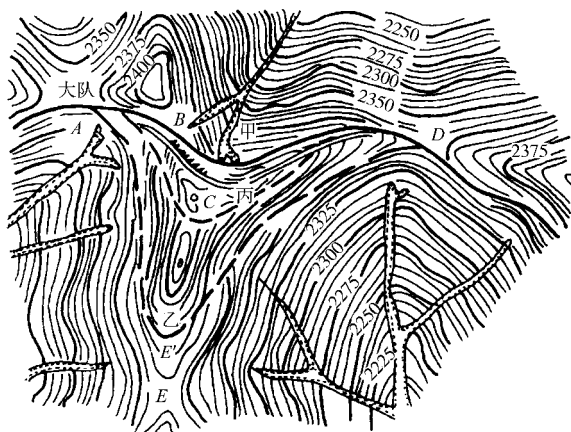


图 1-0-5-45 山脊线方案比较

4. 试坡布线

在两控制点间布线,要结合具体地形,有时要用起伏坡。如在图 1-0-5-45 中,乙线自 D 用 5%~5.5% 向 E 试坡,定出 E', 检查 AE' 平均坡度为 3%, 使乙线得到合理的最短长度。

图 1-0-5-46 为一山脊线布线实例。路线首先由山下采用回头展线,升坡到山脊(图中 A 段)路线上到山脊后,循分水岭前进,遇山脊高峰,乃选择有利一侧山坡布线(如图中 B 段所示)如线路继续前进,遇见个别低垭口(如图中 C 点),前后路段又无法降低,则考虑用路堤或建旱桥通过,如垭口出现陡坎,按具体情况采用螺旋式展线(如图中 D 段)或回头展线升坡前进;当山脊自然坡度接近路线最大纵坡时,可寻求较缓山坡,适当展线前进(如图中 E 段);当山脊自然坡度超过规定最大纵坡时,需选择有利地形进行展线(如图中 F 段所示)。

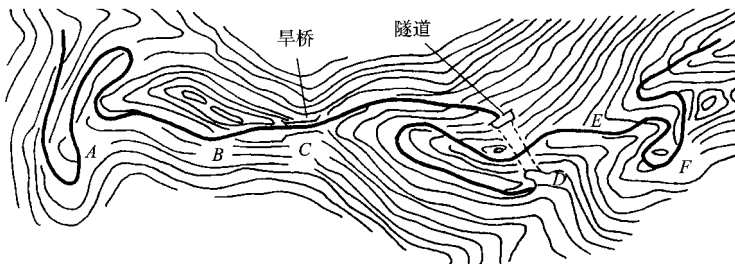


图 1-0-5-46 山脊展线示意图

总之,山脊线难免有曲折、起伏,但不要使其过于急促、频繁,对于平、竖曲线和视距等指标要掌握得高些,以取得平、纵线形好,工程量小,路基稳定的效果。

• 第四节 丘陵区选线 •

丘陵区是介于平原和山岭之间的地形,其特征是宽脊低岭,山岭连绵,分水岭多,垭口不高,常存在路路可通的情况。根据地形起伏轻重不同和对路线布设的限制程度分为重丘区与微丘区两类。前者类似于山岭地区,技术指标的掌握与山岭区大致相同;后者类似于平原地

区,技术指标的掌握近于平原区。但是,丘陵区毕竟有它本身的特点,在选线方面,应按丘陵区地形分布规律进行分析,寻求合理的方案。

一、路线走向的选择

丘陵区路线(图 1-0-5-47),一般情况下应按地形大势来选定它的走向,合理的方案往往不是最直最短的路线。因为丘陵区路线平、纵、横三方面制约较严,路线短直会造成高填深挖,工程量大,占田过多,破坏自然景观和生态平衡。但也不是随地形变化而变化,不填不切过分曲折、起伏频繁的路线,从而使行车条件恶化,达不到公路使用性质和任务的要求。因此选线首先要摸清路线总方向所规定经过的主要控制点之间的地形情况。为此,可先利用国家已有的小比例尺地形航拍片,顺总方向两侧寻找路线可能通过的山沟、山梁和垭口,掌握地形变化的规律,然后深入实际,通过视察和初步测量,做到不遗漏任何一个可以考虑的方案,最后选择几个可行的方案进行比较,确定路线走哪个山沟,翻越哪道山梁,穿越哪个垭口,在什么地方跨河,先靠近哪个村镇等,从而建立一系列控制点。



图 1-0-5-47 丘陵区路线

当路线总方向上的局部地形是狭长的分水岭时,在岭的两侧必有山沟。丘陵区分水岭虽多为宽脊,但平面上往往曲折而纵断面起伏频繁,路线只能利用宽脊的垭口作为中间控制点,路线布置在脊的两侧山坡上。这就要比较两侧山坡和山沟内土地种植情况、支沟分布情况、农田水利设施和居民点的分布情况,一般应走土地产量低、支沟少、对水利设施干扰少和为居民点服务好的一侧。

当路线总方向上的局部地形是连续跨越几道山梁和山沟时,低垭口和窄山沟可考虑作为中间控制点。如局部地形是比较宽的田垄,路线不能盲目求直,应选择田垄较窄处或其间有稍高地势处作为中间控制点跨过,这样路线占用高产田少,且路基稳定性好。

图 1-0-5-48 为丘陵区一条三级公路中一段路线的方案选择情况。路线总方向上规定经过云溪和尚冈两城镇,北线方案以杨桥、河背为中间控制点,南线方案以杨桥、龙虎为中间控制点。由云溪至河背段,陈冲一带为大片高产田,井湾子一带支沟多而乱,故选走柳冲和茶园岭。由云溪至龙虎段,周冲和吴家湾一带为高产田,因此以王冲和李冲控制路线走向。由龙溪至尚冈,可利用大段老路。两方案的主要指标比较如图 1-0-5-48 所示。由此可见,北线虽里程短 1.78km,但从河背至尚冈占用大片平田,和背至柳冲又占部分梯田,比南线方案多占农田

42666m²(64 亩) ,南线方案除少占田外 ,尚可利用老路 5km 联系一大集镇龙虎 ,故推荐走南线方案。

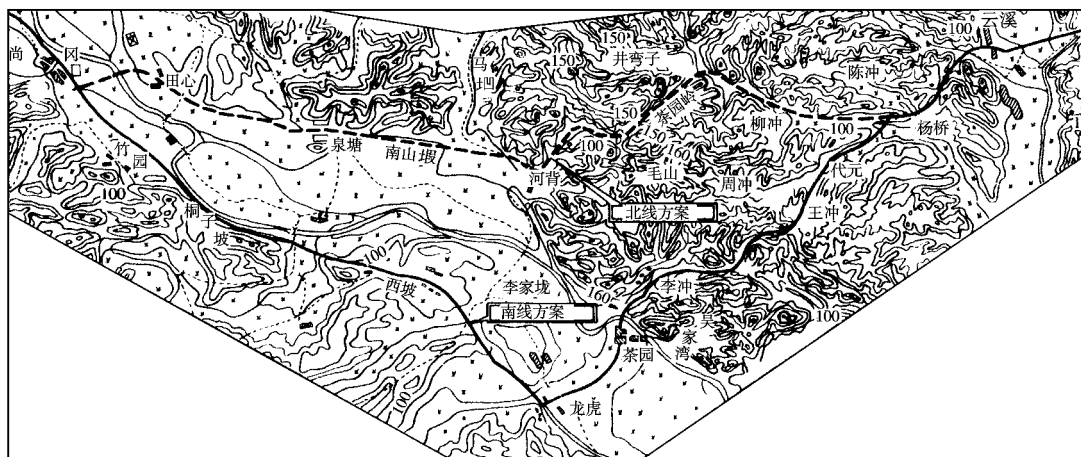


图 1-0-5-48 丘陵路线方案

二、路线的布设

在丘陵区布线 ,首先要因地制宜 ,掌握好线形技术指标。一般是丘陵地形按平原区掌握 ,而重丘陵区则按山岭区方式处理。等级高的路要强调线形的平顺 ,路线只和地形大致相适应 ,不迁就丘陵区微小的地形变化 ,等级低的则较多考虑小地形 ,以节省工程投资。各级路线都要避免不顾纵坡起伏 ,片面追求长直线 ,或不顾平面过于弯曲 ,片面追求平缓纵坡的倾向 ,都应注意平、纵、横三方面协调 ,考虑驾驶员和乘客的视觉和心理效应。

丘陵区路线的布设 ,要考虑横断面设计的经济合理性。在一般横坡平缓地段 ,可采用半填半挖或填多于挖的地基 ,横坡较陡的地段 ,则宜采用全挖或挖多于填的路基 ,并注意纵向土石方平衡 ,以减少废方和借方 ,尽量少破坏自然景观。

丘陵区农林业比较发达 ,土地种植面积很广 ,低地为稻田 ,坡地多为旱作物和经济林 ,小型水利设施多 ,布线时要注意支援农业 ,尽可能和当地的整田造地及水利规划密切配合。

根据上述要求 ,针对不同地形地带 ,采用不同布线方式。

路线遇平坦地带 ,如无地质、地物障碍影响 ,可按平原区以直线方向主导的原则布线 ,如有障碍或应联系的地点 ,则加设中间控制点 ,相邻控制点间仍以直线相连 ,凡线路转弯处 ,设置与地形协调的长而缓的曲线。

在具有较陡的横坡地带 ,两个已定控制点间 ,如无地形、地物、地质上的障碍 ,路线应沿均坡线布设。均坡线是两点间顺自然地形以均匀坡度所定的地面点连线 (图 1-0-5-49) ,这种坡线常需要多次试放才能求得。两个已定控制点间如有障碍 ,则在障碍处加设控制点 ,相邻控制点间仍沿均坡线布设。

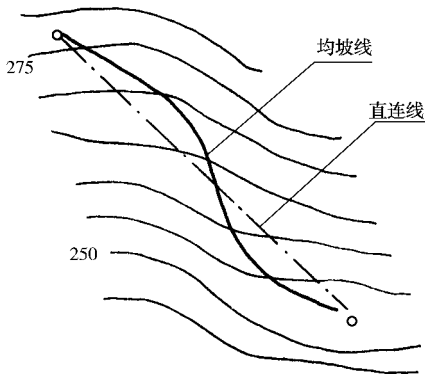


图 1-0-5-49 均坡线示意图

路线遇横坡较缓的起伏带,如走直线,纵向坡度大,势必出现高填深切;如走直线,路线迂回,里程增长不合理。因而走均坡线与直线之间,选择平面顺适、纵坡均衡的地段穿过较为适宜。但路线具体位置,要视地形起伏程度及路线等级要求而定。对于较小的起伏,在坡度和缓前提下,考虑平面与横断面之关系,一般是低级路工程宜小,路线可偏离直线稍远(如图 1-0-5-50 中方案 II),高等级路可将路线定得离直线近些(如图 1-0-5-50 方案 I),高速公路走直线。对于较大的起伏地带,两侧高差常不相同,高差大的一侧的坡度常常是决定因素,一般以高差大的为主,结合梁顶的挖深和谷底的填高来确定路线的平面位置。如图 1-0-5-51 所示, A、B 间跨一谷地,靠 A 一侧高差大、坡度陡,当梁顶 A 可多切,谷底 D 可多填时,路线放坡可得 ADB 线;若 A 少切,谷底 C 少填时,放坡可得 ACB 线。

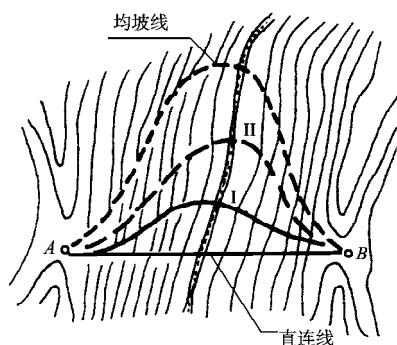


图 1-0-5-50 较小起伏地带路线方案

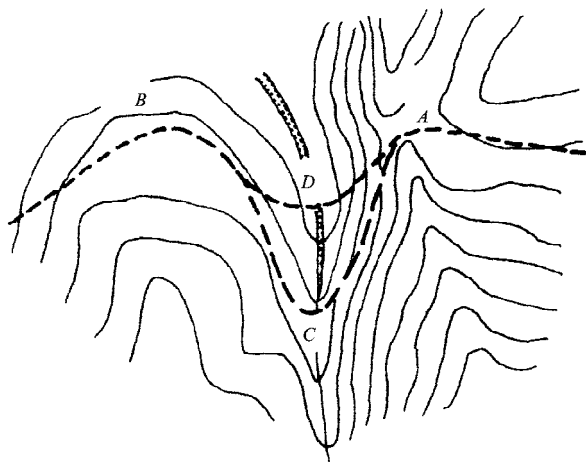


图 1-0-5-51 较大起伏地带路线方案

两个已定控制点,有时因地形、地质或地上的障碍,路线会突破直线与均坡线的范围,这种为避让障碍所定的中间控制点,应视为又增加一个已定控制点。这一控制点把原来的两点间线路分割成两段,在这两段内分别按直连线与均坡线之间的原则通过。

总之,在丘陵地区选线,由于可通之路线方案较多,各路线方案之间的优缺点不很突出。因此,因特别强调多跑、多看、多问,经过详细分析比较,然后决定一条最适合的路线。对于地方性路线,特别要征求当地政府及群众的意见,以使公路在公路运输网中发挥应有的地位和作用。

• 第五节 路线方案比选及示例 •

公路选线是一个涉及面广、影响因素多、政策性和技术性都很强的工作,必须经历一个调查研究范围由大到小,工作深度由粗到细的过程。也就是选线要先通过总体布局解决基本走向,然后解决局部路线方案,直到具体定线。路线总体布局是通过视察和初步测量来完成的。

一、影响路线方案选择的主要因素

路线方案是路线设计中最根本的问题。方案是否合理,不但直接关系到公路本身的工程投资和运输效率,更重要的是影响到路线在路网是否起到应有作用,是否满足国家的政治、经

济、国防的要求和长远利益。

一条路线的起终点及中间必须经过的重要城镇或地点,通常是由公路网规划所规定或政府根据国家建设需要指定的。这些指定的点称为“据点”,把据点连接成线,就是路线的总方向或称大走向。两个据点之间有许多不同的走法,有的可能沿某河、越某岭,也可能沿某几条河、越某几个岭,可能走某河的这一岸,靠近某城镇,也可能走对岸,避开某城镇等。这些每一种可能的走法就是一个大的路线方案。作为选线工作的第一步就是要在各种可能的方案中,在深入调查的基础上,综合考虑路线方案选择的主要因素,通过方案的比选,提出合理的路线方案。选择路线方案应综合考虑以下因素:

(1)路线在政治、经济、文化和国防上的意义,国家或地方建设单位对路线使用任务和性质的要求,战备、支农、综合利用等重要方针的体现。

(2)路线在铁路、公路、航道、空运等交通网系中的作用,与沿线工矿、城镇等规划的关系,以及与沿线农田水利建设的配合和用地情况。

(3)沿线地形、地质、水文、气象、地震等自然条件的影响,要求路线技术等级与实际可能达到的技术标准及其对路线使用任务、性质的影响,路线长度、筑路材料来源、施工条件,以及工程量、三材(钢筋、木材、水泥)用量、造价、工期、劳动力等情况及其对营运、施工、养护等方面的影响。

(4)其他如沿线革命史迹、历史文物、风景区的联系等。

影响路线方案选择的因素是多方面的,各种因素又多是互相联系和互相影响的。路线应在满足使用任务和性质要求的前提下,综合考虑自然条件、技术标准和技术指标、工程投资、施工期限和施工设备等因素,精心比较和选择,提出合理的推荐方案。

二、路线方案选择的方法和步骤

路线方案是经过许多方案的比较淘汰而确定的。指定的两个据点之间的自然情况越复杂、距离越长,可能的比较方案就越多,要淘汰的方案也就越多。淘汰的方法,不可能每条路线都通过实地勘察进行,因而要尽可能收集已有资料,先在室内进行研究筛选,然后就最佳的、而且优劣难辨的有限方案进行调查或踏勘。

路线方案选择的做法通常是:

(1)搜集与路线方案有关的规划、计划、统计资料及各种比例尺的地形图、航测图、水文、地质、气象等资料。

(2)根据确定了路线方向和公路等级,先在小比例尺(1:50000或1:100000)的地形图上,结合搜集的资料,初步研究各种可能的路线走向。研究重点应放在地形、地质、地物复杂、外界干扰多、牵扯面大的段落。比如可能沿哪些溪沟,越哪些垭口,提出哪些方案应进行实地踏勘。

(3)按室内初步研究提出的方案进行实地调查,连同野外调查中发现的新方案,都必须坚持跑到、看到、调查到,不遗漏一个可能的方案。野外调查要求做到以下几点:

①初步确定路线起、终点和中间主要控制点的具体位置,核查有无干扰或技术上的困难,如有变动意见,提出理由申报上级审批。

②对路线走向及桥、隧设施提出推荐方案。对于确因限于调查条件不能肯定取舍的比较

方案,应提出进一步勘测比较的范围和方法。

③分段提出采用的技术标准和主要技术指标的意见。

④在深入调查的基础上,通过比较,选定路线必经的控制点,如越岭的垭口、跨较大河流的桥位、与铁路或其他公路的交叉点,以及应绕避的城镇及大型的不良地质地段等。对于地形、地质、地物情况复杂的地区,应提出路线具体布局的意见。视察沿溪线时,要同时调查河的两岸,以便选择是走一岸还是往返跨河,调查时注意了解洪水位。视察越岭线时,应选定展线的起点,用 GPS 或气压计量测起点高程和各个垭口的高程,选用平均纵坡估算展线长度。对所有展线示意图,应在地形图上标出。必要时,可考虑采用隧道的方案。

⑤认真调查地质情况,判断病害程度,并提出绕线或采取措施通过的意见。

⑥对大中桥位均应调查,提出推荐方案。对于小桥涵,可现场目估孔径、长度等。

⑦调查沿线筑路材料。

⑧分段估算各种工程量。如包括路基土石方数量、挡土墙、路面、桥涵、隧道等的长度、类型、式样和工程数量等。

⑨经济方面应调查,路线联系地区的资源情况及工矿、农、林、牧、副、渔业以及其他大宗物资的年产量、年输出量、年输入量、货物流向以及运输季节和运输工具,路线联系地区的交通网系规划、预计对路线运量发展的影响,沿线人口、劳力、运输力、工资标准等资料,供预测交通量、论证路线走向及控制点的合理性和拟定施工安排的原则意见的参考。

⑩其他。如沿线民族习惯、居住、生活供应、水源、运输条件、气候特征、沿线林木覆盖、地形险阻、有无地方病和毒虫害兽等情况也应进行调查,为下一步勘测提供资料。

(4)分项整理汇总调查成果,编写工程可行性研究报告。(内容参见交通部 1998 年制定的《水运、公路建设项目可行性研究报告编制办法》),为上级编制或补充修改设计任务书提供依据。

三、路线方案选择示例

【例 1】图 1-0-5-52 为某公路干线,根据公路网规划要求按二、三级路标准进行视查,共视查了 4 个方案,各方案的主要技术经济指标汇总如表 1-0-5-1 所示。

比选结果,第三、四方案路线过于偏离总方向,较第一、二方案长 100~150km,虽能多联系两三个县、市,但对发展地区经济所起的作用不大。而且第三方案线形指标较低,将来改建难以提高,第四方案又与现有高压电缆线连续干扰,不易解决。因而第三、四方案不宜采用。第二方案虽路线最短,但与铁路严重干扰,且用地较多,最后推荐路线较短,线形标准较高,用地最省,造价也较低的第一方案。

某公路各方案主要指标比较表

表 1-0-5-1

指 标	单 位	第一方案	第二方案	第三方案	第四方案
通过县(市)	个	29	29	32	31
路线长度	km	1360	1347	1510	1476
其中 新建	km	133	200	187	193
改建	km	1227	1147	1323	1283
地形:平原、微丘	km	567	677	512	615

续上表

指 标		单 位	第一方案	第二方案	第三方案	第四方案
山岭、重丘		km	793	670	998	861
用地		km ²	1525	1913	2092	1928
工 程 数 量	土方	10 ⁴ m ³	382	492	528	547
	石方	10 ⁴ m ³	123	75	82	121
	次高级路面	km ²	5303	5582	4440	5645
	大、中桥	m/座	1542/16	1802/20	1057/13	1207/15
	小桥	m/座	1084/57	846/54	980/52	1566/82
	涵洞	道	977	959	1091	1278
	挡墙	m ³	73530	53330	99770	111960
	隧道	m/处	300/1	—	290/1	—
材 料	钢材	t	1539	1963	1341	1469
	木材	m ³	18237	19052	18226	19710
	水泥	t	30609	39159	31288	33638
劳动力		万工日	1617	1773	1750	1920
总造价		万元	5401	5674	5189	5966
比较结果			推荐			

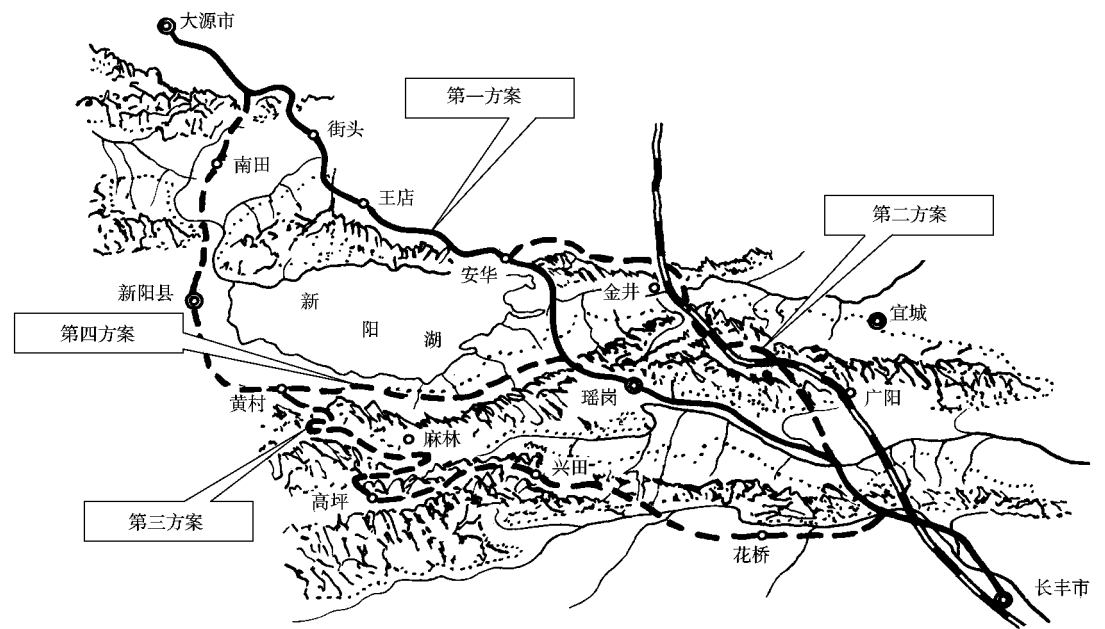


图 1-0-5-52 路线方案比选示例 1

【例 2】 又如某公路(图 1-0-5-53)作巴、安渡两点间 ,有南、北线两个方案。经视查 ,两方案的主要技术经济指标汇总如表 1-0-5-2 所示。

某公路南、北线方案主要指标比较表

表 1-0-5-2

指 标	单 位	南线方案	北线方案
路线长度	km	118	141
其中 新建	km	112	—
改建	km	6	141
工 程 数 量	土方	10^4m^3	83
	石方	10^4m^3	15
	路面	km^2	708
	桥梁	m/座	110/8
	涵洞	道	236
	防护	m^3	6300
比较结果			推荐方案

单从例表 1-0-5-2 所列主要技术经济指标,难于分出优劣。

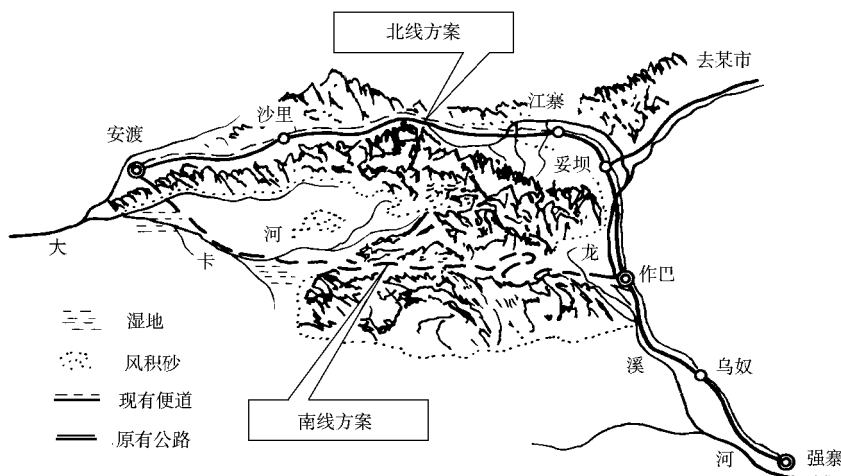


图 1-0-5-53 路线方案比选示例 2

如路线仅系连接强寨、安渡两地,则南线要近 23km,虽然直捷得多。但从公路网规划需要考虑从安渡通往某市,则经南线通往某市反而绕远 11km,远不如北线直捷。

两方案都有积雪问题。南线垭口海拔为 3000m,北线垭口海拔为 3300m。南线积雪虽较北线薄,且距离短,但越岭地形较陡,需要展线 6.5km,积雪难以处理。同时南线越岭段东侧有一段线形指标低,工程集中,且有岩堆、崩塌、风积砂等病害需要处理。而北线沿线地形平坦,越岭不需展线,线形指标较高。北线另一有利因素,是全线均有旧路或便道可以利用,其中作巴至江寨的旧路略加改善即可达到新建标准,比南线(几乎都是新建)工程要省些,施工也较方便。

综合上述分析,推荐北线方案。

本章小结

(1)选线工作是一项综合性的工作,因此选线工作必须纵观全局,决不当单纯着眼于定

线而忽略与线形相关的其他一系列因素。选线工作的好坏,直接影响公路的使用质量和工程技术经济的合理,因此选线工作通常是由经验丰富的技术人员承担并指导全面工作。

(2)学生在校学习时应重点掌握选线的原则、方法、步骤,并熟知不同地形条件下的选线要点及应解决的主要问题。选线工作有着综合性和定线性强的特点,故在学习中尽量多地学习涉及的相关学科内容,如路基路面、桥涵、防护、排水、隧道工程等内容,有条件地综合生产参加实践活动。

思考题与习题

1. 简述选线的原则。
2. 简述平原区选线应解决的主要问题。
3. 简述沿溪线选线应解决的主要问题。
4. 简述越岭线选线应解决的主要问题。
5. 什么叫展线?展线有哪几种方式?
6. 影响路线方案选择的主要因素是什么?
7. 简述路线方案选择的方法、步骤。

第六章

定 线

教学要求

1. 描述纸上定线和实地定线的方法与步骤,并通过纸上定线提供正确的设计成果;
2. 描述纸上移线的方法与步骤,根据具体情况和有关因素,实施实地定线和纸上移线;
3. 描述山区越岭线放坡布线的方法与步骤,在不同地形、地物和地质条件下,合理选定弯道平曲线半径和曲线长度。

• 第一节 纸上定线 •

纸上定线是指在大比例尺(一般以 1:1000 和 1:2000)地形图上确定公路中线的位置。

公路定线按不同的地形条件,所要解决的重点不同。如平原微丘区的地形比较平缓,路线的纵坡一般不受高程限制,定线的重点是如何正确地绕越平面上的障碍,使控制点间的路线顺直短捷;山岭重丘地形复杂、高差大、横坡陡,定线的重点是如何利用有利地形,安排好纵坡,避免工程艰巨和不良地质地段。现以路线平、纵、横面受限制越岭线为例,对纸上定线的方法与步骤阐述如下:

1. 拟定线路走向

在大比例尺地形图上,根据路线的起、终点和中间控制点,仔细分析控制点间的地形、地质及地物情况,选择地势平缓、山坡顺直、河谷开阔及有利于回头展线的地点等,拟定路线各种可能的走向,完成路线的总体布局。

2. 放坡试线

设等高线间距为 h ,选用的平均坡度为 $i_{\text{均}} = 5.0\% \sim 5.5\%$ (视相对高差而定),则等高线平距 $a = \frac{h}{i_{\text{均}}}$ 。如图 1-0-6-1 所示,从垭口 A 点开始,使两脚规的开度等于 a (比例与地形图相同),自上而下依次在等高线上截取 $a, b, c, \dots$ 等点,直至 D 点附近。如果放到 D 点时其位置和标高均接近 D 点,说明放坡试线方案成立,否则应调整或修改走向重新放坡试线,直至方案成立。将已定 A, $a, b, c, \dots, D$ 各点连成折线,称为均坡线。

3. 定导向线

根据已得到的均坡线,分析所行经地带的地形、地物及工程艰巨情况,选择出避让或绕越

的中间控制点。如图 1-0-6-1 中均坡线在 B 处陡崖中间穿过,而且有利于设置回头曲线的 C 点也没有利用,为此必须将 B 和 C 两处定为中间控制点,调整 B、C 两处前后路线的纵坡,仿照上法在等高线上截取 a' b' c' ...各点,将 A a' b' c' ...D 各点连成折线,称为导向线。

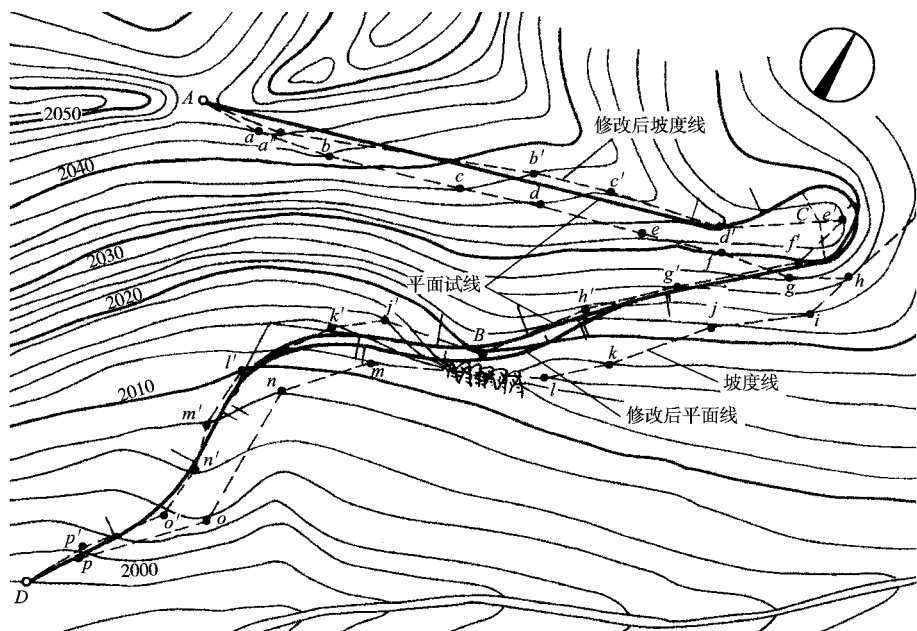


图 1-0-6-1

4. 修正导向线

(1) 根据导向线初步拟定出平面试线,注明平曲线半径,量出地形变化特征点桩号及地面标高,绘制概略纵断面图,设计纵坡,计算出各桩号概略设计标高。

(2) 在平面试线各桩号的横断面方向上,根据各桩号的概略设计标高,绘制横断面地面线,用路基模板在横断面图上绘出路基中线不填不挖、工程最经济或起控制作用的最佳位置,以及路基中线可以活动的范围,如图 1-0-6-2 所示。将用上述方法取得的最佳位置点,用不同的符号标在横断面图上,这些点的连线称为修正导向线,可作为最后定线的依据。

5. 定线

纸上定线是在已定修正导向线的基础上,按规定的技术标准进行最后定线,具体操作有两种做法:

1) 直线型法

在修正导向线上,按照弃少就多,保证重点的原则,先用直线尺绘出与较多地形相适应的各个直线段,然后用半径适当的圆曲线把相邻直线连接起来。当地形复杂、转折较多或弯道处控制较严时,也可先确定圆曲线,然后用直线把圆曲线连接起来。

2) 曲线型法

此法适应于以曲线为主的连续线形。具体定线时仍以修正导向线为基础,但定线的过程与直线型法相反,即根据导向线受地形、地物控制的宽严程度,先用不同的圆弧分别去拟合曲线地段,定出圆曲线部分,然后在相邻曲线之间用合适的缓和曲线顺滑连接。若相邻圆曲线之间相距较远,可根据需要插入直线段,形成一条以曲线为主的连续平面线形。

6. 纵断面设计

路线确定以后,量出路中心线穿过每一等高线的桩号及高程,绘制纵断面图,点绘地面线,进行纵坡设计。

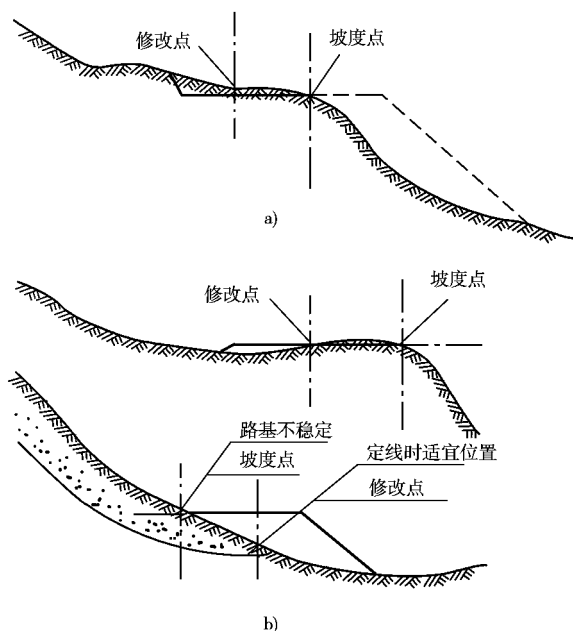


图 1-0-6-2

纸上定线是一个反复试定线路的过程,平面试线的修改次数越多,最后所定路线的设计质量越高,直到认为再修改已得不到显著效果时,纸上定线工作才算完成。

• 第二节 实地定线 •

实地定线是指设计人员在现场直接完成定线,定线的原则与纸上定线相同,但定线条件改变。实地定线时,由于定线人员直接面对实际地形、地物、地质及水文等具体情况,因此要求定线人员有一定的选线经验,要不怕辛苦,不怕麻烦,要多跑、多看、多问,摸清路线所经地带的地形、地质等变化情况,反复试定线路,才能定出好的路线。现仍以山区越岭线为例,阐述实地定线的方法和步骤。

1. 分段安排路线

在路线全面布局中所拟定的主要控制点之间,根据地形、地质、水文等情况,自上而下用粗略试坡的方法确定中间控制点,确定路线轮廓方案。

2. 放坡

放坡是解决越岭线中的纵坡合理分配问题,实质上就是对路线设计的限制因素,如最大纵坡、最大与最小坡长及平均纵坡等进行合理的处理。放坡是越岭线定线的一个重要的环节,它对争取高程,处理好平、纵、横之间的关系起着重要作用。

目前越岭放坡一般常采用带角手水准,如图 1-0-6-3 所示。使用时用手水准横丝瞄准前方相等视线高的目标,旋转刻度盘,使气泡居中,此时刻度盘上指针所指的度数,即为视线高至目标间的倾斜角度。将此读数乘以 1.75 即为纵坡度。

放坡时可采用平均坡度和设计坡度两种放坡方式。

(1)按平均坡度放坡:根据《标准》规定的平均坡度值 5.0%~5.5% (按相对高差而定),视具体地形确定适当的纵坡度,然后实地放坡。按平均坡度放坡只起到在一定长度范围内控制高差和水平距离的作用,优点是放坡速度快,但没有反映公路等级对平均纵坡的不同要求以及地形、地质变化的情况。

(2)按设计坡度放坡:根据《标准》规定的平均坡度值 5.0%~5.5%,结合地形、地质、水文等具体情况分段、合理地拟定纵坡,使放出的坡度基本上就是以后纵断面的设计纵坡。此法放坡时工作量大,但能使实地定线的准确性提高,一般的越岭线常用此法放坡。

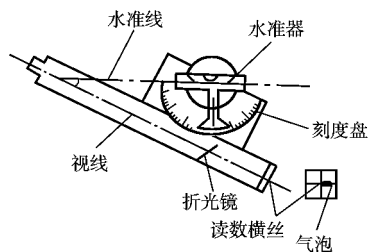


图 1-0-6-3

放坡一般从最高控制点(如垭口)开始,一人用带角手水准,对好选用纵坡的相应倾斜角度,立于控制点处,指挥前点人员手持花杆在山嘴、山坳等地形变化处、计划变坡处及顺直山坡上每隔一定距离定点,插上坡度旗,并在旗上注明选用的纵坡值。照上述方法定出的这些坡度点的连线,与纸上定线的导向线作用相同,也称导向线。放坡传递坡度时,要估计平曲线的大概位置及半径,以便考虑纵坡折减。对拟定要跨的山沟和要穿的山嘴或山脊放坡时要“跳”过去,否则会使放出的坡度与设计纵坡误差太大,若准备对山沟或山嘴进行绕越,则坡度要放缓,距离要打一定的折扣。

3. 与横断面进行核对

放坡定出的坡度线(即导向线)主要是从纵坡安排方面考虑的,对路基稳定特别是横断面上的填挖方数量考虑较少,因此,还应根据路基设计的要求,在坡度线上,选择横坡较陡或高填、深挖的特征点位置,定出横断面方向上相应特征点(如经济点、控制点和路中线最合适的位置点)等,并插上标志。

4. 穿线定交点

根据放坡所定的导向线和插上标志的特征点进行实地穿线。穿线时应在满足平面线形要求的前提下,尽可能多地靠近或穿过导向线及各特征点,特别要注意穿过控制性严的点,裁弯取直,使路线平、纵、横 3 个面配合协调,穿出与地形相适应的若干直线,延伸相邻两条直线定出交点,即为路线的导线。穿线交点这一步工作很重要,定线人员必须反复试插,多次修改,才能定出理想的路线。

5. 设置平曲线

路线导线确定以后,即可根据交点偏角及附近地形、地质等情况,确定合适的圆曲线半径并敷设平曲线。

6. 纵断面设计

根据有关外业资料,绘制纵断面图,进行纵坡设计,详见第三章第五节。

实地定线的纵坡设计,一般都是在平面已经确定的基础上进行的。虽然实在定线时,已充分考虑了纵面及横面的具体要求,但限于定线的经验、视野以及对所经地形、地质的了解程度,

定出的路线难免会顾此失彼,存在着一定的局限性。因此,实地实线的室内纵坡设计,不仅要解决工程经济和技术标准问题,还要实现平、纵面线形的配合和协调,这就要求设计人员不断调整纵坡,通过反复试坡修改,才能取得满意的结果。

在纵断面设计中,如果靠调整纵坡无法满足要求时,则应考虑调整平面线形。若平面线形改动不大,可根据已有路线导线和横断面资料,绘制带状平面图,通过纸上移线的办法解决;若因工程经济与平、纵面线形配合矛盾很大时,平面线形必须作重大的改动,此时应按定线的具体要求,通过现场改线,重新定出路线。

• 第三节 纸上移线 •

一、纸上移线的条件

在公路定线过程中,往往由于定线时考虑不周、地形条件限制或其他原因,难免产生因平面中线位置不当致使工程过大、标准或线形不够理想等缺点。此时可在分析研究已定路线平、纵、横图纸资料的基础上,考虑移动路线,使设计达到经济合理的要求,它对提高设计质量,降低工程费用起着一定的作用。当路线设计出现以下情况时,应考虑纸上移线。

(1)当平曲线半径选择过小,以致影响纵坡折减或平面线形前后不协调,或平、纵线形配合矛盾突出时,应采取调整交点位置,加大半径或减少弯道的方法进行移线。

(2)因路线中线位置不当而使工程量过大、边坡过高,或需设置高挡墙和砌石工程时,仅靠调整纵坡无法达到目的,应考虑纸上移线,如图 1-0-6-4 所示。

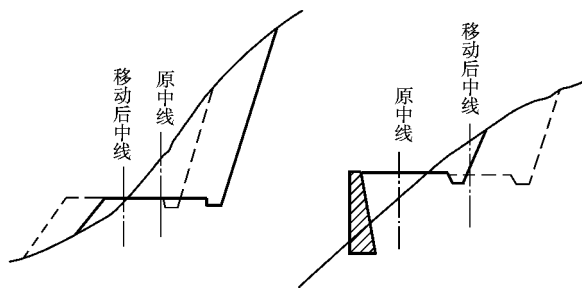


图 1-0-6-4

纸上移线应在实测横断面的范围内进行。对纸上移线原因与情况,应在纸上移线平面图上作扼要说明。

二、纸上移线的方法和步骤

(1)绘制移线路段大比例尺(一般采用 1:200 ~ 1:500)路线平面图,注出交点编号、曲线起、终点以及各桩位置,如图 1-0-6-5 所示。

(2)根据移线目的,在纵断面图上试定纵坡,算出各桩的填挖值。

(3)根据纵断面图上各桩填挖值,在横断面图上找出各桩最经济或控制性的路基中心线位置。量出偏移原中心线的距离(即移距),分别用不同的符号标记在平面图上。

(4)在保证重点照顾一般的原则下,参照平面图上标记,经反复试定修改,定出改移后的导线,即图 1-0-6-5 中虚线。用正切法算出各交点偏角,并使移线与原线角度闭合。拟定平曲线半径,计算平曲线要素,画出平曲线。

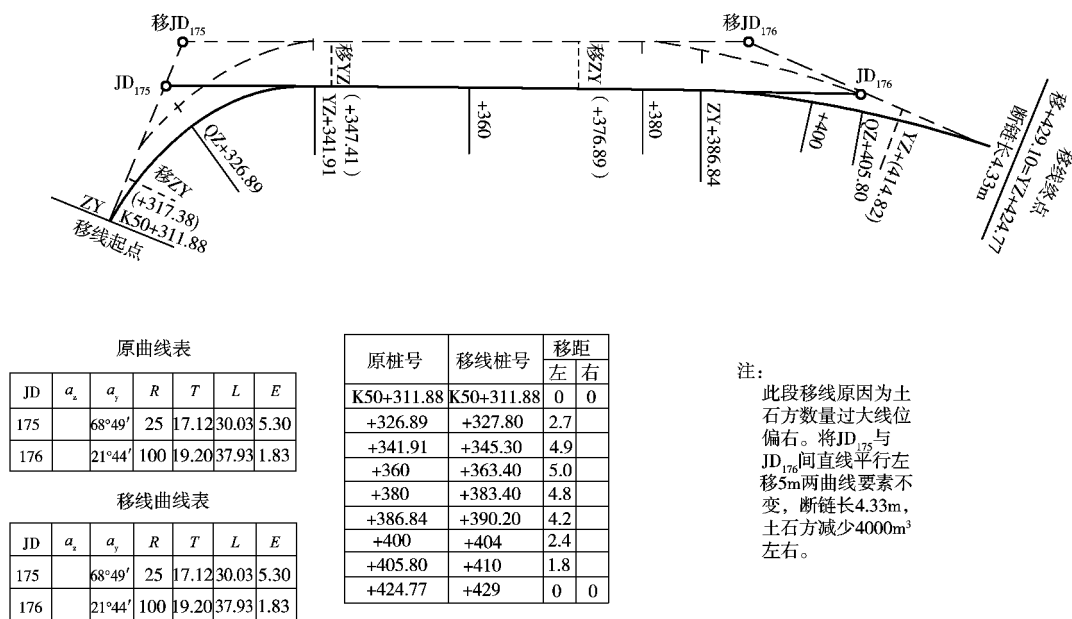


图 1-0-6-5

(5)根据移线起点与原线桩号里程的对应关系,推算移线后各新桩的桩号里程,算出长短链值,注在移线终点。

(6)按各桩在平面图上的移距,在相应各横断面图上绘出移线后的中桩位置,并注明新桩号。

(7)根据横断面图上移线前后中桩处的相对高差,在原纵断面图上点绘移线后地面线(用

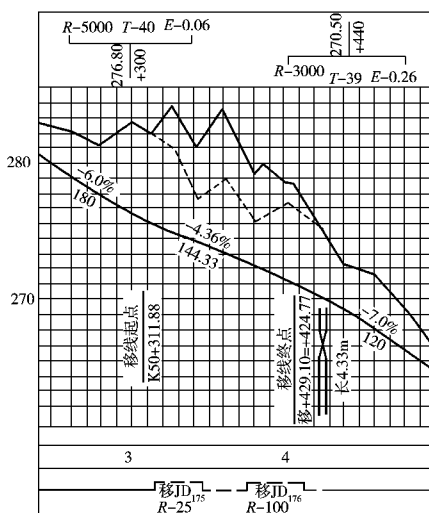


图 1-0-6-6

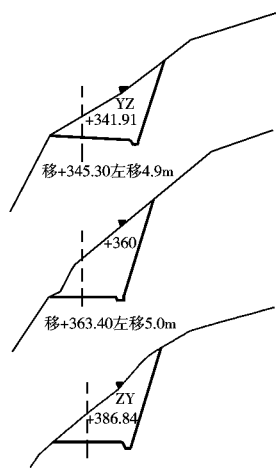


图 1-0-6-7

虚线表示)重新设计纵坡及竖曲线,如图1-0-6-6所示。

(8)设计路基横断面,并计算土石方数量,如图1-0-6-7所示。

• 第四节 弯道平曲线半径及长度的选定 •

无论是纸上定线还是实地定线,在路线定线后,定线人员还要根据路线交点实际情况,酌情选定圆曲线半径。《标准》规定:各级公路不论转角大小均应设置圆曲线。在选用圆曲线半径时应与计算行车速度相适应,并应尽可能选用较大的圆曲线半径,一般情况下,宜选用大于技术标准所规定的不设标高的平曲线半径,只有当受地形地物或其他条件限制时,方可采用小于一般最小半径,不要轻易采用极限最小半径。

圆曲线半径的选定,除要与弯道本身所在位置的地形、地物条件相适应,使曲线沿理想的位置通过外,还要考虑与弯道前后的线形标准相协调,如在长而陡的坡道下端和长直线中间不宜插设小半径圆曲线,以及在陡坡上设小半径圆曲线要考虑纵坡折减的影响等。对平曲线交点的选定,在“定线”一章中已有阐述,现将圆曲线半径选定的方法归纳如下。

一、根据外距控制半径

1. 曲线半径的确定

在交点附近有地物,平曲线线位受地形、地物制约时,其半径的选定通常可以采用单交点法或双交点法,平曲线预期通过的理想线位,一般是结合现场实际予以首先确定,然后按圆曲线要素几何关系来推算适应上述线位要求的相应半径值。对于转角不大,线位受限制不严的平曲线弯道,通常多采用单交点法,控制点位取曲线中点(QZ),根据预期中线位至交点的实测距离 $E_{\text{控}}$ 按下式计算:

$$R = \frac{E_{\text{控}}}{\sec \frac{\alpha}{2} - 1} \quad (1-0-6-1)$$

式中 $E_{\text{控}}$ ——实测控制外距的外距, m。

式(1-0-6-1)求得的 R 值,一般应取5m或10m倍数的整数值。

【例1】如图1-0-6-8为山岭区某三级公路,路线交点受一建筑物限制,已知交点偏角 $\alpha = 46^\circ 38'$ 。试求在不拆建筑物的条件下能够设多大的平曲线半径。

根据以上要求,首先应测出交点(JD)到建筑物间的距离(JD)B,实测结果为14.62m,已知该弯道路基横断面如图1-0-6-8所示,若弯道加宽暂定1m,则控制平曲线最大外距应不大于下列数值:

$$E_{\text{控}} = 14.62 - (7.5/2 + 1.0 + 1.2 + 2) = 6.92\text{m}$$

$$R = \frac{E_{\text{控}}}{\sec \frac{\alpha}{2} - 1} = \frac{6.92}{1.089 - 1} = 77.8\text{m}$$

取整 $R = 80\text{m}$

当 $R = 80\text{m}$, $\alpha = 46^\circ 38'$ 时,外距 $E = 7.11\text{m}$,路面加

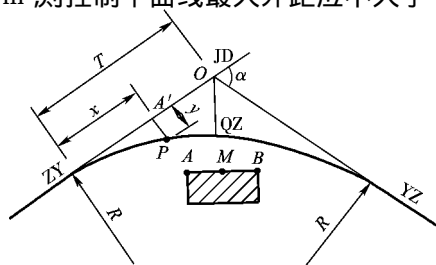


图 1-0-6-8

宽值查《标准》为 1m,能满足要求。

如果单凭曲线中点(QZ)难以判断整个曲线是否与地形、地物全部吻合时,应补点进行复核。如上例应验核建筑物左上角是否阻碍路线,此时可自 A 点作切线的垂线交于 A' 点,量得 A' 至曲线起点(ZY)的距离 x,然后按已定的圆曲线半径 R 值,按切线支距近似公式 $y = \frac{x^2}{2R}$ 求得相应 y 值,从而绘出曲线上对应点位 P 点,再根据 PA 间实有距离,即可判断路线能否通过,如有妨碍,则应重新调整半径,使之满足要求。

2. 用外距控制线位高低或工程数量

当路线相邻直线的等高线线位高程基本相同时,平曲线部分的线位能与相邻直线大致在同一高程上最为合适,若按此求得的圆曲线半径值符合《标准》规定,则即为所求。此外,当路线绕越山嘴时,可按外距值的大小选择平曲线半径。其中 E 值越大,工程数量越大,具体选定半径可根据公路等级高低合理确定。

二、用切线长控制半径

圆曲线半径的选定,除受地形、地物制约外,有时还应考虑如何适应前后线形的要求。如当同向或反向曲线间直线长度较短时,为解决曲线敷设与衔接,通常采用限制切线长度的方法来推求圆曲线半径,如图 1-0-6-9a)所示。当桥梁或隧道两端的曲线起、终点到桥头或隧道口应留有一定长度的直线段,如图 1-0-6-9b)所示,此时圆曲线半径也应根据切线来选定。

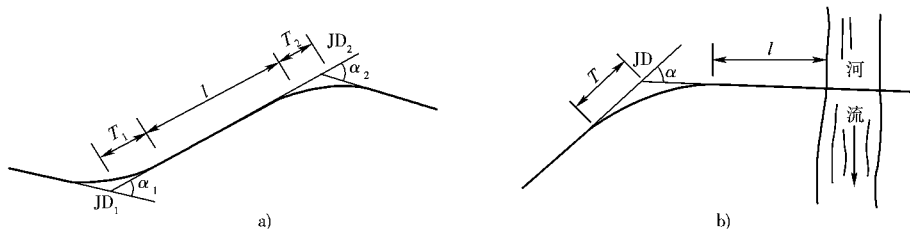


图 1-0-6-9

对采用单交点法选定圆曲线半径,一般应首先留出《标准》规定的直线长度(当反向或同向曲线径向连接时,直线长度 $D=0$),然后选定出地形、地物控制较严的一侧曲线半径,再根据切线差反算相邻曲线半径,计算公式为:

$$R = \frac{T}{\tan \frac{\alpha}{2}} \quad (1-0-6-2)$$

对采用双交点法选定曲线半径,一般应先选择曲线适宜通过的点位 C 点(图 1-0-6-10),然后通过 C 点作 AB 线交前后导线于 JD_A 与 JD_B ,测量 α_A 、 α_B 及 AB 长度,最后按双交点等半径共切于 C 点关系用下式计算曲线半径值:

$$R = \frac{AB}{\tan \frac{\alpha_A}{2} + \tan \frac{\alpha_B}{2}} \quad (1-0-6-3)$$

当按式(1-0-6-3)计算出曲线半径后,应在现场定出圆曲线

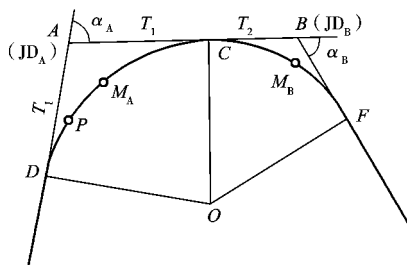


图 1-0-6-10

$$P = \frac{l_h^2}{24R} = \frac{40^2}{24 \times 79.97} = 0.83\text{m}$$

$$g = \frac{l_h}{2} - \frac{l_h^3}{240R^2} = 20 - 0.04 = 19.96\text{m}$$

$$T_1 = (R + P) \tan \frac{\alpha_A}{2} = 80.80 \times 0.4716 = 38.11\text{m}$$

$$T_2 = (R + P) \tan \frac{\alpha_B}{2} = 80.80 \times 0.3842 = 31.04\text{m}$$

$$AB = T_1 + T_2 = 38.11 + 31.04 = 69.15\text{m}$$

最后取圆曲线半径 $R = 79.97\text{m}$ $l_h = 40\text{m}$ 。

三、用曲线长控制半径

当已知交点偏角,其他条件不受限制时,如果圆曲线半径选的过小,则曲线长度太短显然对行车不利。此时应用圆曲线的最短允许长度来控制半径,其计算公式为

$$R = \frac{180l}{2\pi} \quad (1-0-6-4)$$

式中 l ——要求的圆曲线长度 m 。

【例3】 已知某交点偏角 $\alpha = 15^\circ$,若要使圆曲线长度满足 $l = 40\text{m}$,求圆曲线半径。

【解】

$$R = \frac{180l}{\alpha\pi} = \frac{180 \times 40}{15\pi} = 152.79\text{m}$$

取整 $R = 155\text{m}$ 。

本章小结

(1)公路定线是指在选线布局中确定的“路线带”范围内,根据技术标准结合地形、地质等条件,综合考虑平、纵、横3方面的合理安排,最终确定公路中线的确切位置。

公路定线是公路测设中的关键,它不仅要解决工程技术、经济方面的问题,还要解决公路与周围环境的协调,以及工程技术标准、国家政策等因素的影响。因此,定线人员要在把握定线技巧的基础上,充分了解公路的使用任务、功能和要求,熟悉路线所经地区的地形、地质等情况,通过几个设计方案的比选、反复试线才能在众多相互制约的因素中,定出一条最佳的路线设计方案。

(2)公路定线根据公路等级、要求和条件,一般有纸上定线、实地定线和航测定线3种方法。对技术等级高的、地形、地物复杂的路线,必须先纸上定线,然后把纸上所定的路线敷设到实地上,实地定线就是省略了纸上定线的这一步,直接在现场实地定线,一般适用于公路等级较低和地形等条件简单的路线,航测定线是利用航拍片、影像地图等航测资料,借助于航测仪器建立与实地完全相似的立体光学模型,在模型上直接定线。

(3)纸上移线是指在公路实地定线过程中,由于考虑不周或受其他条件限制的原因,导致工程量过大、标准或线形不够理想时采取的一种补救措施,它对提高设计质量,降低工程费用

起着一定的作用。纸上移线是在实测横断面的范围内进行的,同时应对移线的原因与情况移线平面图上作扼要说明。

(4)在选用圆曲线半径及长度时,一是要考虑《标准》最小半径和长度的要求;二是要考虑与弯道本身所在位置的地形、地物条件相适应;三是要考虑与弯道前后的线形标准相协调;四是要考虑工程量尽可能小,最后并尽可能地选用较大的圆曲线半径。

圆曲线半径及长度的现场选定,一般有根据外距控制半径、用切线长控制半径和用曲线长控制半径等3种。但在具体运用时,影响因素很多。有时一个因素起主要作用,有时需要两个以上的因素同时考虑,并且相互制约,此时就需要通过分析比较后满足主要因素的要求,选定适宜的圆曲线半径。

思考题与习题

1. 简述纸上定线、实地定线的方法与步骤,并比较纸上定线与实地定线各有哪些优缺点。
2. 为什么要进行纸上移线?纸上移线的具体做法有哪些?
3. 越岭线放坡时,应考虑哪些问题?
4. 简述平曲线半径选定的一般规定、要求以及选定的具体方法。
5. 平曲线要绕过一建筑物,选定路线导线如图 1-0-6-13 所示,已知偏角 $\alpha = 17^\circ 17' 13''$,缓和曲线长度 $l_h = 70\text{m}$,控制外距 E 不得大于 7.0m ,试求平曲线最大半径值应为多少(取 10m 的整倍数)?

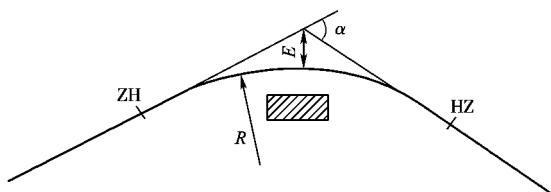


图 1-0-6-13

6. 某公路平曲线的偏角 $\alpha = 6^\circ 15' 32''$,为了使曲线长度超过 300m ,平曲线半径最小选多少(取 100m 的整倍数)?

第七章

公路交叉设计

教学要求

1. 定义并用示例说明交叉口中危险点的概念,描述消除冲突点的一般方法;
2. 说明交叉口设计的一般原则与要求,描述交叉口设计的主要任务;
3. 描述平面交叉口类型及其选择,进行平面交叉的平面设计与立面设计;
4. 描述立体交叉的类型及其适用场合;
5. 描述立体交叉中匝道的形式,应用匝道的平面、纵断面、横断面设计的主要参数。

• 第一节 公路平面交叉 •

公路与公路、公路铁路及公路其他道路或管线相交的形式称为交叉,相交的地方称为交叉口。相交公路在同一平面位置时,称为平面交叉;相交公路在不同平面位置时,称为立体交叉。

一、交叉口设计概述

公路交叉口是道路系统的重要组成部分,是道路交通的咽喉。相交道路的各种车辆和行人都要在交叉口汇集、通过或转换方向。由于它们之间的相互干扰,会使行车速度降低,阻滞交通,耽误通行时间,也易发生交通事故。因此,如何设计交叉口,合理组织交通,提高交叉口的通行能力,避免交通阻塞及减少交通事故,都有十分重要的意义。

交叉口设计的基本要求:一是保证车辆和行人在交叉口能以最短的时间安全地通过,使交叉口的通行能力能适应各条道路的行车要求;二是正确设计交叉口的立面,即通过合理设计,以保证转弯车辆的行车稳定,同时符合排水要求。

交叉口设计的主要内容有:

- (1) 正确选择交叉口形式,确定各组成部分的几何尺寸;
- (2) 进行合理的交通组织,合理布置各种交通设施;
- (3) 验算交叉口的行车视距,保证安全通行条件;
- (4) 合理进行交叉口的立面设计,布置各种排水设施。

二、交叉口的交通分析

进出交叉口的车辆,由于行驶方向不同,车辆与车辆之间的交错方式也不相同。当同一行



驶方向的车辆进入交叉口后,以不同的方向分离行驶的地点称之分流点;来自不同方向的车辆,以较小的角度,向同一方向汇合行驶的地点称为交织点;来自不同方向的车辆以较大的角度相互交叉的地点称为冲突点。此三类交错点存在相互尾撞、挤撞或碰撞的可能性,是影响交叉口行车速度、通行能力和发生交通事故的主要原因。其中,以直行与直行、左转与左转及直行与左转车辆之间所产生的冲突点对行车干扰及安全影响最大,其次是交织点,再次是分流点。因此,在交叉口设计时,应尽量采取措施减少或消除冲突点。

对无交通管制时,三、四路和五路相交的平面交叉的冲突点、交织点及分流点分布情况如图 1-0-7-1 所示。平面交叉的危险点数量如表 1-0-7-1 所列。

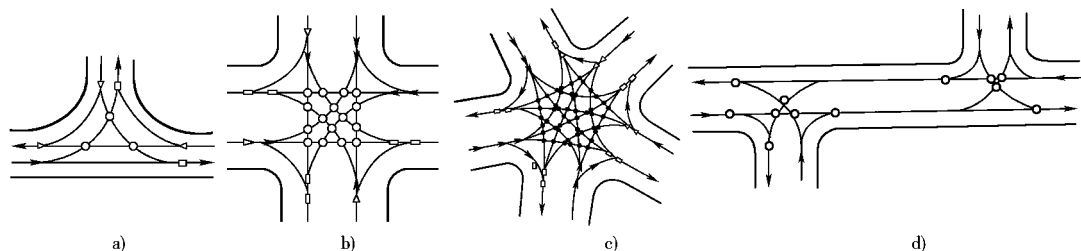


图 1-0-7-1 平面交叉危险点
平面交叉口危险点数量表

表 1-0-7-1

交叉口类型	危险点数量(个)			
	冲突点	交织点	分流点	合计
三路交叉	3	3	3	9
四路交叉	16	8	8	32
五路交叉	50	15	15	80

通过以上分析可以得出以下两点结论:

(1)在无交通管制的交叉口,都存在各类危险点,其数量随交叉道路条数的增加而急剧增大,特别是冲突点,其数量随交叉条数的增加呈级数增大,其数量可按下式计算:

$$\left. \begin{aligned} \text{交织点} &= \text{分流点} = n(n-2) \\ \text{冲突点} &= \frac{n^2(n-1)(n-2)}{6} \end{aligned} \right\} \quad (1-0-7-1)$$

式中 n ——交叉口相交道路的条数。

因此,在交叉口设计中,应力求减少交叉道路的条数,尽量避免 5 条或以上的道路相交。

(2)产生冲突点最多的是左转弯车辆,由图 1-1-7-1a)可知,若无左转弯车辆,则冲突点的个数由原来的 16 个减少至 4 个。若为五路交叉,则可以从 50 个减少至 5 个。因此,在交叉口设计中如何正确处理和组织左转弯车辆,是保证交叉口交通通畅和行车安全的关键。

减少或消除冲突点的措施有:

(1)建立交通管制:在交叉口处设置信号灯或由交警指挥,使直行车和左转弯车在通行时间上错开。如图 1-0-7-1 中的四路交叉的冲突点个数由 16 个减少 2 个;

(2)采用渠化交通:在交叉口处合理布置交通岛、交通标志和标线,或增设车道等,引导各方向车流沿一定的方向行进,减少车辆之间的相互干扰。使车流像水流一样被渠化。

(3)采用立体交叉 将相互冲突的车流从空间上分开 ,使其互不干扰。这是解决交叉交通问题最彻底、最有效的方法。

三、公路与公路平面交叉的一般规定

1. 平面交叉设计原则

(1)平面交叉位置选择应综合考虑公路网现状和规划、地形和地物等因素。

(2)平面交叉的形式应根据相交公路的功能、交通量、交通管理方式、地形、用地条件和工程造价等因素确定。

(3)设计中应保证主要公路或主要交通流的畅通 ,尽量减少冲突点 ,缩小冲突区 ,并分散和分隔冲突区。

(4)平面交叉的几何设计应结合交通管理方式及其有关设施一并考虑。

(5)平面交叉引道上 ,应保证安全所需的各种视距。

(6)相交公路在平面交叉范围内的路段宜采用直线。当采用曲线时 ,宜采用不设超高的平曲线半径。纵面应力就平缓 ,并设置符合交叉处立面所需的纵坡。

(7)平面交叉应以预测的交通量为基本依据。

2. 平面交叉的设计速度

平面交叉范围内的设计速度 ,原则上与路段设计速度相同 ,当相交公路的公路等级相同或交通量相近时 ,平交范围内的直行车道的设计速度可适当降低 ,但不得低于路段的 70% ,次要公路一方由于保证交叉正交等原因而需要在交叉范围内改线或不得已而采用较低的线形指标时 ,可适当降低速度。而转弯车道的设计速度应根据该公路的设计速度、交通量、交叉类型、交通管理方式和用地情况等因素合理确定。

3. 平面交叉的间距

(1)平面交叉应满足交织长度、视距、转弯车道长度等的最小长度。这一最小长度应不小于 150m。

为保证公路的通行能力 ,减少交通延误和增进安全 ,平面交叉的间距应尽可能地大。各级公路平面交叉(出、入口在内)的间距应不小于表 1-0-7-2 的规定。

平面交叉的最小间距

表 1-0-7-2

公路等级	一 级 公 路			二 级 公 路	
公路功能	干线公路		集散公路	干线公路	集散公路
	一般值	最小值			
间距(m)	2000	1000	500	500	300

(2)为使平面交叉有足够的间距 ,规划和设计时应根据公路的等级和使用功能 ,限制平面交叉和出、入口的数量 ,必须设置互通立交、分离立交、通道和天桥。

(3)平面交叉不得多于 5 条。平面交叉的交角宜为直角。斜交时 ,其锐角应不小于 70m。当受地形条件及其他特殊情况限制时 ,应不小于 600m。

四、平面交叉口的类型及适用场合

平面交叉口的类型取决于道路网规划和与周围的地形和地物情况 ,以及交通量、交通性质

和交通组织。常用的平面交叉口形式有“十字形”、“T”字形,及其演变而来的“X”形、“Y”形、环形交叉、错位多路交叉等。这些交叉口在平面上的几何图形,取决于规划道路网和临街建筑的形状。平面交叉按其构造组成为渠化交叉和非渠化交叉。

1. 非渠化交叉

在平面交叉口转弯处,以圆曲线构成加宽来连接交叉公路的路基和路面或仅在交叉口处增设转弯车道的形式称为非渠化交叉,如图 1-0-7-2 所示。非渠化交叉又可分为非加宽式与加宽式两类。此类交叉形式简单,占地少,造价低,设计方便,但行车速度低,通行能力小。当主要公路的设计速度 $\leq 60\text{km/h}$,或设计速度为 80km/h ,但转弯交通量较小时可采用非渠化交叉(图 1-0-7-2)。对于非加宽式非渠化交叉,设计时主要解决合适的转角曲线半径和足够的视距问题。而对于加宽式非渠化交叉,设计时主要解决扩宽的车道数,同时也要满足视距和转弯半径的要求。

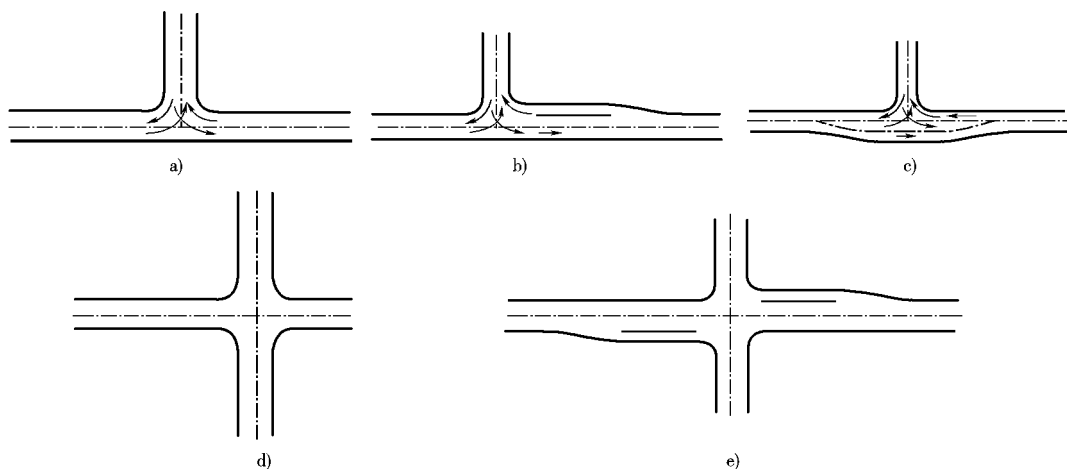


图 1-0-7-2 非渠化交叉

a) 非加宽式 T 形交叉 b) 加宽式 T 形交叉(增辟减速车道) c) 加宽式 T 形交叉(增辟左转弯减速车道) d) 非加宽式十字交叉 e) 加宽式十字交叉

2. 渠化平面交叉

通过在路面上设置导流岛,划分车道,设分隔器、分隔带或交通岛等措施来限制车流的行车路线,使不同车型、车速和行驶方向的车辆,沿着指定方向通过交叉口的形式称为渠化平面交叉,如图 1-0-7-3 所示。渠化平面交叉适用于交通量大、车速较高,转弯车辆较多的三、四级公路。设计时主要解决分道转弯半径、保证足够的视距和满足导流岛端部半径的要求。

3. 环形交叉

在交叉口中央设置中心岛,用环道组织渠化交通,使所有车辆进入环道后均按逆时针方向绕岛单向行驶,直至所要去的路口离岛驶出的平面交叉,称为环式交叉,如图 1-0-7-4 所示。环形交叉的优点是各种车辆可以连续不断地单向运行,没有停滞,减少了车辆在交叉口的延误时间,环道上的行车只有交织的分流,消除了冲突点,提高了行车安全性;交通组织简便,不需信号管制,对多路交叉和畸形交叉,用环式交叉更为有效。

环式交叉的缺点是占地面积大,增加了车辆的绕行距离,特别对左转弯车辆。造价相对其

他形式的交叉口为高。

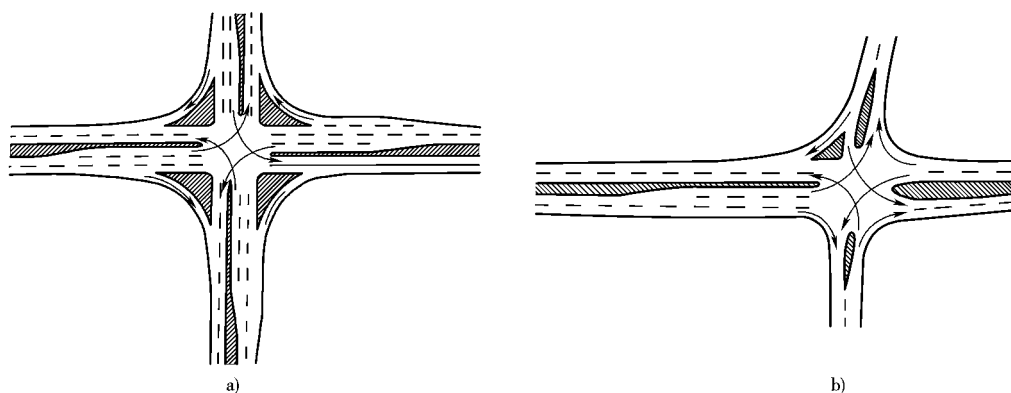


图 1-0-7-3 渠化交叉

因此,这种交叉适用于交通量适中,经过验算后出、入口间的距离能满足交织长度的要求,或按“入口让路”规则(非交织原理)设计能满足交通量需要的3~5岔的交叉。“入口让路”环形交叉适用于一条四车道公路和一条双车道公路相交的交叉,以及两条高峰小时交通量不明显的四车道公路相交的交叉。

五、平面交叉的测设要点

1. 勘测要点

- (1)搜集原有公路的等级、交通量、交通性质、交通组成、交通流向等资料和远景规划;
- (2)根据地形和其他自然条件以及掌握的资料,按照有关规定,拟定交叉口类型;
- (3)选定交叉口位置和确定交叉点,使各相交路线在平、纵、横3方面都有良好的衔接,通常交叉点设在原有公路的中心线上或中心线的延长线上;
- (4)测量交叉角、中线、纵断面和横断面;
- (5)若地形复杂时,为合理选择交叉口的位置和类型,应详测交叉口处的地形图。测图比例可采用1:200~1:500,当范围较大时,也可采用1:1000。

2. 设计要点

- (1)平面交叉范围内相交公路应正交或接近正交,且平面线形宜为直线或大半径曲线,尽量避免采用需设超高的曲线半径。对于新建公路与较低的既有公路斜交时,应对次要公路在交叉前后一定范围内作局部改线,使交叉的交角不小于 70° 。

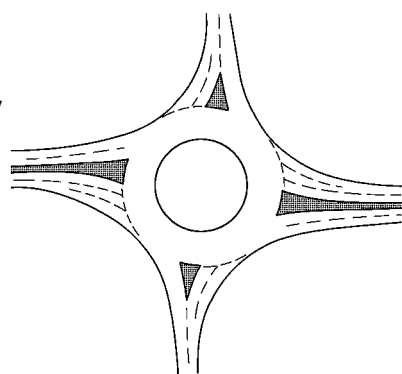


图 1-0-7-4 “入口让路”环形交叉

- (2)平面交叉范围内,相交公路的纵面应尽量平缓。纵面线形应大于最小停车视距要求。主要公路在交叉范围内的纵坡应在0.15%~3%的范围内,次要公路上紧接交叉的部分引道应以0.5%~2.0%的上坡通往交叉,而且此坡段至主要公路的路缘至少25m(图1-0-7-5)。

- (3)主要公路在交叉范围内是超高曲线的情况下,次要公路的纵坡应服从主要公路的横坡。若次要公路在交叉前后相当长的范围内纵坡的趋势与主要公路的横坡相反,则次要公路

在引道的一定范围内应设置 S 形竖曲线,如图 1-0-7-6 所示。

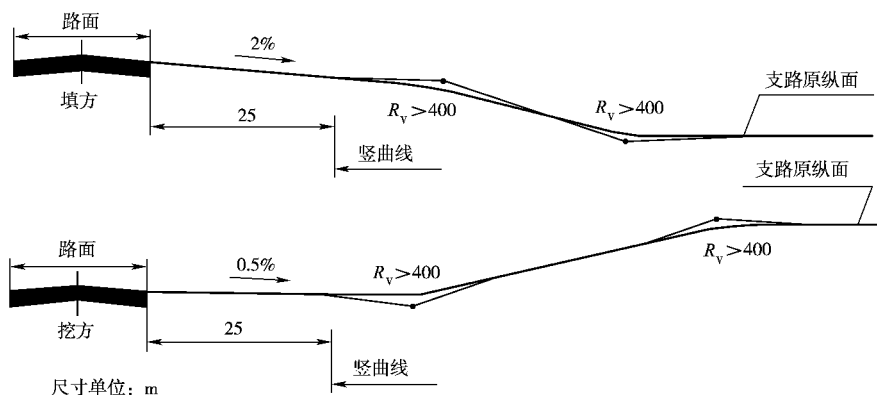


图 1-0-7-5 次要公路引道纵坡

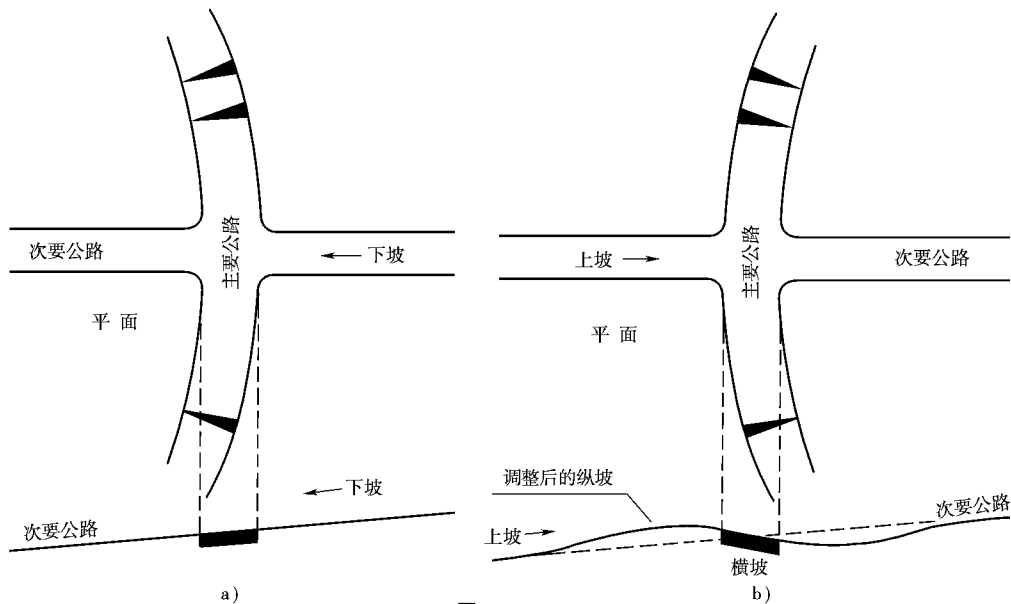


图 1-0-7-6

a)不需调整次要公路纵面 b)调整次要公路纵面

(4) 每条岔路和转弯车道上都应提供与行驶速度相适应的引道视距。在两相邻岔路间,由各自停车视距所组成的三角区内不得存在任何有碍通视的物体,如图1-0-7-7所示。

(5) 平面交叉转弯曲线的线形及路幅宽度应以转弯时的行迹作为设计控制。转弯曲线设计中所采用的设计车型均应以 16m 总长的鞍式列车的行迹进行设计,如图 1-0-7-8 所示。有特长车辆通行的交叉需要修正或进行必要检验。左转弯的曲线采用 5 ~ 15km/h 的行驶速度,大型车很少的公路可采用 5km/h 的鞍式列车控制设计,条件受限时,可采用载货汽车低速行驶的行迹为控

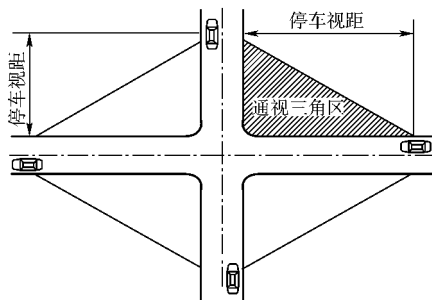


图 1-0-7-7 平面交叉视距三角形

制。当交通量不大且公路等级低时可不设专门的右转弯车道。设分隔带的右转弯专用车道，其转弯速度不宜大于 40km/h；当主要公路设计速度较低（小于等于 60km/h）时，右转弯速度不宜低于设计速度的 50%。

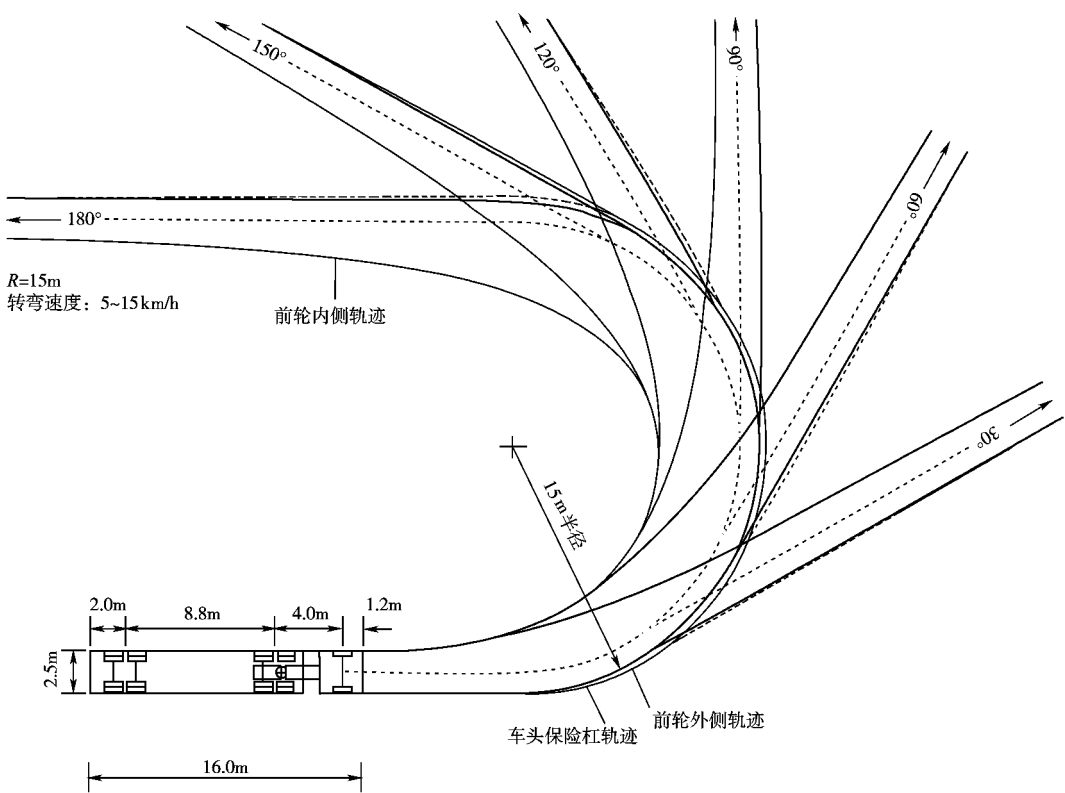


图 1-0-7-8 鞍式列车行迹

- 注意 ①路缘石与车轮轨迹线间至少有 0.6m 的净距。
②保险杠轨迹线外留 0.6m 净距，该区域内不得设置道路设施。

(6) 转弯路面内缘的最小曲线半径可按表 1-0-7-3 取用。

路面内缘的最小半径

表 1-0-7-3

转弯速度 (km/h)	≤15	20	25	30	40	50	60	70
最小半径 (m)	15	15 ~ 20	20 ~ 30	30	45	60	75	90
最小超高 (%)	2	2	2	2	3	4	5	6
最大超高 (%)	一般值 6 绝对值 8							

(7) 转弯路面的边缘，其线形应符合转弯时的行驶轨迹。简单的非渠化交叉中，在半挂车比例很小（小于等于 10%）的情况下，可在相交路面边缘设一半径为 15m 的圆曲线或在圆弧两端设缓和曲线。以鞍式列车控制设计时，相交路面的边缘应采用图 1-0-7-9 所示的复曲线。

(8) 平面交叉中转弯车道的加宽值可采用单车道加宽值，转弯车道或加铺转角部分的超高因车速低可采用较小的超高横坡度。形式简单或规模较小的平面交叉在特殊困难情况下若能保

证排水良好可不超高。加宽与超高的过渡方式应与公路平曲线加宽与超高的过渡方式一致。

$\Delta(^{\circ})$	$R_1(\text{m})$	$R_2(\text{m})$	Δ_1
70 ~ 74	18	80	53°30' ~ 58°50'
75 ~ 84	17	80	58°55' ~ 68°00'
85 ~ 91	16	80	69°00' ~ 75°00'
92 ~ 99	15	80	76°00' ~ 83°00'
100 ~ 110	14	90	84°00' ~ 95°00'

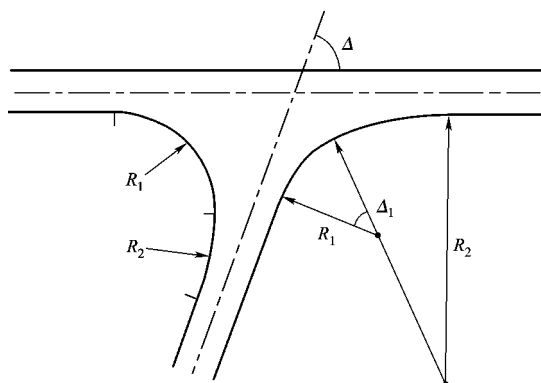


图 1-0-7-9 转弯边缘路面的复曲线

(9)平面交叉处的排水设计是一项重要内容。设计时应绘制排水系统图,并注明流向和坡度等。在公路用地范围内所降的雨水等由排水系统统一考虑排除;公路用地范围外的地面水可采用边沟或截水沟方式排除,不允许流入交叉处的范围。当平面交叉的立面设计比较复杂时,宜绘制等高距为 0.05 ~ 0.10m 的路面等高线图,以检查其排水效果。

(10)平面交叉处的交通量较大时,应作渠化设计,即采用交通岛、路面标线等设施疏导车流。渠化的行驶路线应简单明了,应避免交通流的分流、合流集中于一点。导流的宽度应适当,过宽会引起车辆并行行驶而导致交通事故。驾驶员驶进导流设施前能醒目地觉察到导流设施的存在。交通岛的端部应视情况设置标志、标线和照明等设施。

六、平面交叉口立面设计

1. 交叉口立面设计的一般要求

公路平面交叉的立面设计,是确立相交道路之间相互协调的共同立面,以保证汽车安全行驶、路面正常排水以及线形美观上的要求。立面设计主要取决于相交道路的等级、交通量、横断面形状、纵坡的大小和方向以及当地的地形条件。立面处理时首先满足主要公路的行车线形,在不影响主要公路安全行车的条件下,有时也可适当改变主要公路的纵、横坡,以照顾次要道路的行车线形。平面交叉口立面设计的一般要求如下:

(1)平面交叉的立面设计应根据两相交公路的相对功能地位、平纵线形以及交通管理方式等因素而定。

①采用“主线优先”交通管理方式的交叉,应使主要公路的横断面贯穿交叉,而调整次要公路的纵断面以适应主要公路的横断面。当调整纵面有困难时,应同时调整两公路的横断面;

②主要公路设置超高曲线时,应根据次要公路纵断面的不同情况处理;

③两相交公路功能地位相同或相仿,或者是信号交叉时,则两公路均应作适当调整;

④相交公路一时无法确定相对主次地位时,应对未来设置信号的可能性进行研究,从而确定立面处理的方式;

⑤主要公路超高路段与次要公路坡顶相交时,除了次要公路的纵坡应服从主要公路的横坡而将竖曲线置于主要公路的横坡之外,且坡度代数差不宜大于 4%,条件受限时也不应大于 6%。

(2)分隔的右转弯车道或右转弯附加路面上,各处的标高和横坡度应满足相交公路共有

部分及其邻接的局部段落的岔路的立面、转弯曲线所需的超高、整个交叉范围内的路面排水和路容的需要。

(3) 平面交叉范围内的路面排水应流畅,并以此作为立面设计的主要考虑因素之一,包括隐形岛在内的任何部分路面上不得积水。

(4) 只改变它们的横坡度。一般是改变纵坡较小的公路横断面形状。

(5) 为保证排水,设计时尽可能有一条公路的纵坡方向背离交叉口。

2. 交叉口立面设计的基本类型

交叉口立面设计的形式,主要取决于相交道路的纵坡和横坡度、地形以及交叉口交通量和排水要求。公路交叉口立面根据其纵坡方向不同,可分为 6 种类型。

(1) 处于凸形地形上,相交道路的纵坡方向均背离交叉口。设计时使交叉口的纵坡与相交道路的纵坡一致,适当调整接近交叉口的路段横坡,使雨水向 4 个转角方向流。

(2) 处于凹形地形上,相交道路的纵坡都指向交叉口。这种形式对排水不利,应尽量避免。

(3) 处于分水线地形上,有 3 条道路纵坡方向背离交叉口。设计时应将纵坡指向交叉口的道路路脊线在交叉口处分为 3 个方向,相交道路的横断面不变,并在指向交叉口道路处设置雨水口以防止雨水进入交叉口内。

(4) 处于山谷线地形上,有 3 条道路的纵坡指向交叉口而一条背离。设计时应尽量考虑纵坡处设转坡点并使纵坡方向背离交叉口,而且使其转坡点的位置离交叉口远一些。

(5) 处于斜坡地形上,相邻两条道路的纵坡指向交叉口,而另两条则背离交叉口。设计时应保证相交道路的纵坡不变,而将两条道路的横坡在进入交叉口之前逐渐向相交道路的纵坡方向变化,使交叉口处形成一个简单的倾斜面。

(6) 处于马鞍形地形上,相对两条道路的纵坡指向交叉口而另两条则背离交叉口。设计时,相交道路纵、横坡都可按自然地形的交叉口适当调整。

(7) 除以上 6 种组合外,还有一种特殊形式,即交叉口处于水平位置上。立面设计类型不同,有不同的使用效果,主要是与相交道路的纵坡方向的组合有关。所以,如要获得理想的交叉口立面设计效果,在进行公路纵断面设计时就应为立面设计创造有利条件。

3. 立面设计的方法

平面交叉口立面设计的方法有方格网法、设计等高线法、方格网设计等高线法 3 种。其中方格网法是将交叉口范围内以相交道路的中心线为坐标基线打上方格网,方格网一般为 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 或 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 且平行于路中心线。斜交公路交叉口应选在便于施工放线的方向,测出方格网点上的地面标高并按一定要求计算出方格网点的设计标高,从而计算出施工高度以便计算其交叉口的工程数量。设计等高线法是在交叉口的设计范围内选定路脊线和划分标高计算网,算出路脊线及标高计算线上的设计标高,然后在交叉口范围内勾出等高线,并计算出施工高度。和方格网法比较,设计等高线法的主要优点是能更全面、更清晰地反映出交叉口的设计地形。其缺点是设计等高线在施工放样时其上各点标高位置不易确定,所以有时也将上面两种方法联合使用。现把方格网法设计的主要计算方法介绍如下。

(1) 在交叉口平面图上,平行于道路中心线画出 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 或 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 的方格网,如图 1-0-7-10 所示。

(2) 根据路脊线交点 P 的控制点标高 H_p 可求出 A、C 点的标高。其计算公式为：

$$H_C = H_p - \overline{CP} \times i_1 \quad (1-0-7-2)$$

$$H_A = H_C - \overline{AC} \times i_2 \quad (1-0-7-3)$$

同理,可求得 B、E 点标高。

由于 PF 延长线与缘石的相交点 G 可根据 F 点标高,按三点同坡的方法求得,其中 A 点标高可按下式计算：

$$H_F = \frac{(H_B + \overline{BF} \times i_3) + (H_A + \overline{AF} \times i_1)}{2}$$

(1-0-7-4)

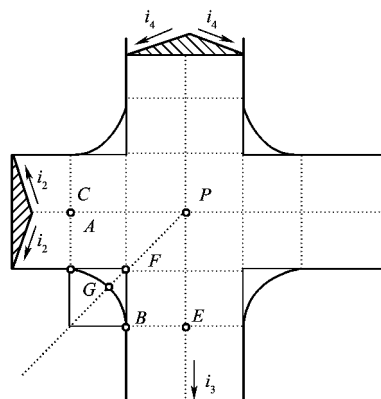


图 1-0-7-10

其他缘石上各点标高可按 A、B、G 三点标高用补插法计算求得。同理可求得其他三个角处的标高。

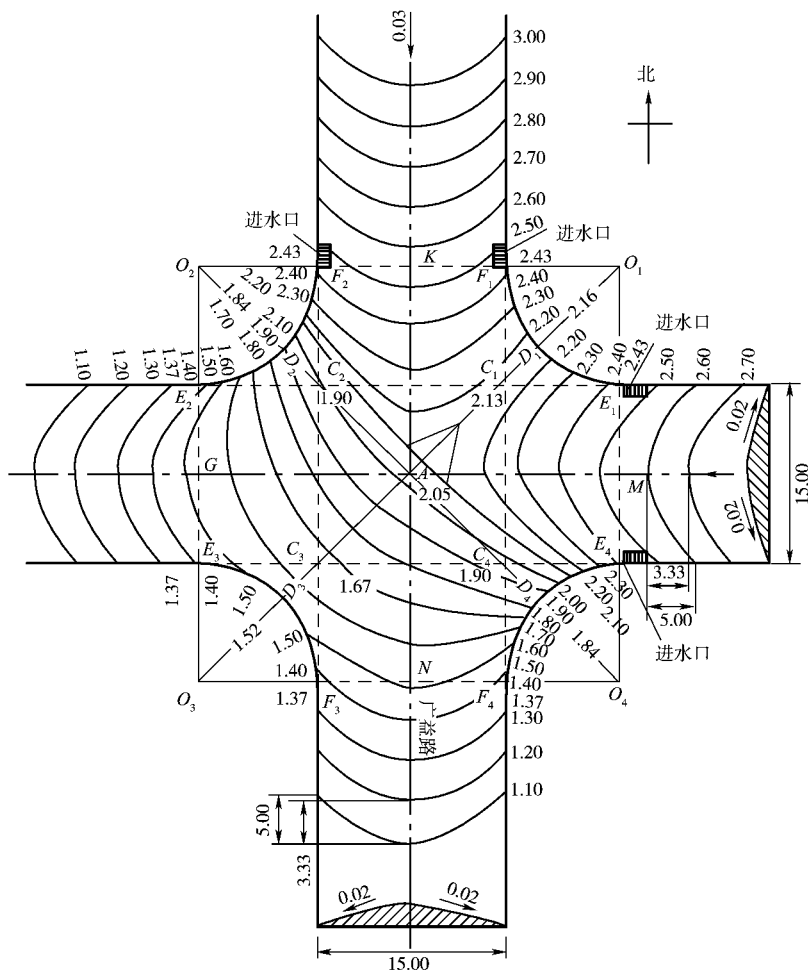


图 1-0-7-11 公路立面设计图

4. 平面交叉口立面设计成果

(1) 平面布置图 比例一般采用 1:500 ~ 1:1000, 图中标明路中心线、路面边缘线、缘石边线, 图上标明交叉点, 各交叉的起、终点、交叉加桩、控制断面的位置和桩号, 列出各交叉道的曲线要素表, 且视需要列出各交叉道路段的纵坡值表。图中还应标出各控制断面的宽度、横坡度和两侧路面边缘标高。在交叉口平面布置图上注明各坡段的纵坡等。

(2) 纵、横断面图 除横断面图可用 1:100 ~ 1:200 比例尺外, 其余要求与一般路线的路线设计相同。

(3) 交叉口地形图和立面设计图 交叉口设计资料一览表、交叉口工程数量计算表等资料。

图 1-0-7-11 为交叉口立面设计图。

• 第二节 公路立体交叉 •

在高等级公路相交或公路与相交道路之间的交通量很大的平面交叉无法满足车辆正常运行要求, 或交叉口处要求有较高的行车速度及较大的通行能力的情况下, 如果地形条件许可, 经经济和技术综合评定, 可采用立体交叉。立体交叉按有无匝道连接相交公路, 可分为互通式立体交叉和分离式立体交叉两类。

一、公路与公路立体交叉的一般规定

(1) 互通式立体交叉的位置应根据公路网规划、相交公路状况、地形和地质条件、社会与环境因素等确定。互通式立体交叉的形式应根据相交公路的功能、等级、交通量及其分析、收费制式等, 并综合考虑用地条件、经济与环境等确定;

(2) 高速公路与其他公路交叉必须采用立体交叉。交叉类型除在控制出入的地点设置互通式立体交叉外, 均采用分离式立体交叉。

(3) 互通式立体交叉的形式、设置的间距及加(减)速车道、匝道设计, 应根据《规范》的有关要求及具体情况确定。

(4) 一级公路间的交叉, 应尽量采用立体交叉。交叉的类型可根据具体情况采用互通式交叉或分离式立体交叉。其他公路交叉, 在交通条件需要及地形条件许可, 可采用立体交叉。

(5) 设置互通式立体交叉应根据交通量、远景规划及其在公路网中的作用, 并结合地形、用地条件、投资等因素确定。

(6) 互通式立体交叉间的间距为大城市、重要工矿区周围为 5 ~ 10km, 一般地区为 15 ~ 25km。最大间距不超过 30km。最小不应小于 4km, 当路网结构或其他条件受限时, 经论证相邻互通式立体交叉的间距可适当减小, 但加速车道渐变段终点至下一个立交的减速车道渐变段起点的距离不得小于 1000m。

(7) 互通式立体交叉位置的选定, 应以现有公路网或已批准的规划为依据。一般应选择地势平坦开阔、地质良好、拆迁少以及相交两公路具有较高的平、纵线形指标。

(8) 互通式立体交叉的设计应对该地区的交通条件、社会条件、自然条件等进行广泛、深入细致的调查和勘测, 经过多方案的技术经济比较, 选择合理的形式及适当的规模, 并合理确定各设计指标。

(9)互通式立体交叉范围内的主线的主要技术指标规定如表 1-0-7-4 所列。

互通式立体交叉范围内的主线技术指标

表 1-0-7-4

设计速度(km/h)		120	100	80	60	
平曲线最小半径 (m)		一般值	2000	1500	1100	500
		极限值	1500	1000	700	350
最小竖曲线半径 (m)	凸形	一般值	45000	25000	12000	6000
		极限值	23000	15000	6000	3000
	凹形	一般值	16000	12000	8000	4000
		极限值	12000	8000	4000	2000
最大纵坡 (%)		一般值	2	2	3	4.5(4)
		极限值	2	2	4(3.5)	5.5(4.5)

(10)互通式立体交叉应满足建筑限界要求。

二、立体交叉的类型及适用条件

1. 按结构物形式分类

立体交叉按相交道路结构物形式划分为上跨式和下穿式(隧道式)两类。

(1)上跨式:用跨线桥从相交道路上方跨过的交叉方式。这种立交施工方便、造价低、排水易处理,但占地大、引道较长,高架桥影响行车视线和路容,多用于市区以外或周围有高大建筑物处。

(2)下穿式:也称隧道式,即用地道(或隧道)从相交道路下方穿过的方式。这种立交占地少,立面易处理,对视线及市容影响小,但施工复杂,造价高,排水困难,多用于市处。

2. 按交通功能分类

按交通功能可划分为分离式和互通式立体交叉两类:

1)分离式立体交叉

分离式立体交叉仅设跨线构造物(跨线桥或地道)一座,使相交道路空间分离,上、下道路间无匝道连接的交叉方式,如图 1-0-7-12 所示。这种立体交叉结构简单、占地少、造价低,但相交道路的车辆不能转弯行驶,只能保证直行方向的车辆空间分离行驶。

分离式立体交叉主要适用于直行交通量大,转弯车辆少,可不设置转弯车道的交叉处及公路与铁路交叉处。高速公路与其他各级公路交叉时,除在控制出入的地点设置互通式立体交叉外,均采用分离式立体交叉。一般等级公路之间交叉时,因场地或地形条件受限制时,可采用分离式立体交叉,以减少工程数量,降低造价。

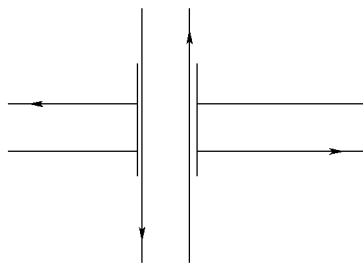


图 1-0-7-12 分离式立体交叉

2)互通式立体交叉

互通式立体交叉不仅设跨线构造物使相交道路空间分离,而且上、下道之间有匝道连接,以供转弯车辆行驶的交叉方式。这种立交车辆可以转弯行驶,全部或部分消除了冲突点,各方向行车相互干扰小,但立交结构复杂、占地多、造价高。互通式立体交叉适用于高速公路与其

他各类道路、大城市出入口道路,以及重要港口、机场或游览圣地的道路相交处。

互通式立体交叉的基本形式按交叉的岔路数目分为 T 形、Y 形和十字形 3 种。

(1) T 形交叉 :包括喇叭形、直连式 T 形 ;

(2) Y 形交叉 :包括全部直连式匝道的 Y 形和有半直连式匝道的 Y 形 ;

(3) 十字形交叉 :包括独象限式、菱形、苜蓿叶形、半苜蓿叶形、喇叭形、环形和直连式等。

3. 适用条件

(1) 喇叭形立交 按主要公路的左转弯出口在跨线桥结构之前和之后分为 A 形和 B 形两种,如图 1-0-7-13 所示。一般情况下宜采用 A 形。因地形、地物的限制或左转入主线的交通量远大于左转驶入主线的交通量时,宜采用 B 形,但双车道不宜布置为环形匝道。喇叭形立交适用于 T 形交叉或收费公路的十字交叉。双喇叭互通式立体交叉适用于设有收费站的一般互通式立体交叉。

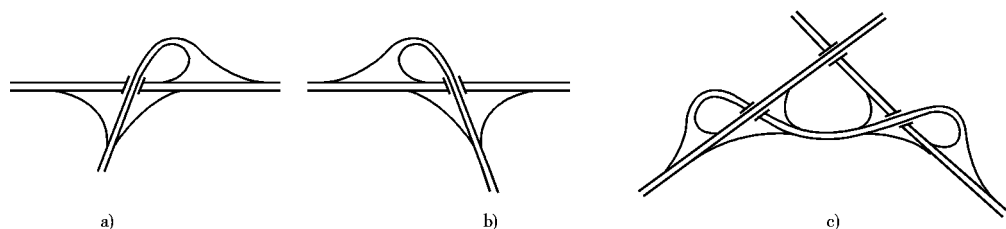


图 1-0-7-13 喇叭形立交

a) A 形 b) B 形 c) 双喇叭形

(2) 直连 T 形立交 如图 1-0-7-14 所示,它适用出入交通量相对较小或转弯速度较低的枢纽互通式立体交叉。

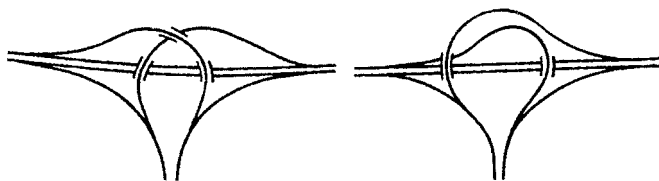


图 1-0-7-14 直连 T 形立交

(3) Y 形立体交叉 :它适用于右转弯速度高,且交通量大的枢纽互通式立体交叉。

(4) 独象限式立体交叉 如图 1-0-7-15 所示,它适用于交通量不大的一般互通式立体交叉。

(5) 菱形立交交叉 如图 1-0-7-16 所示,它适合于出入交通量小,匝道上无收费站的一般

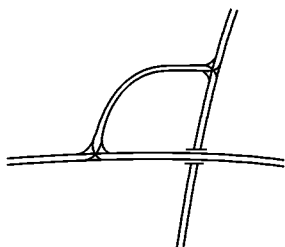


图 1-0-7-15 独象限式立体交叉

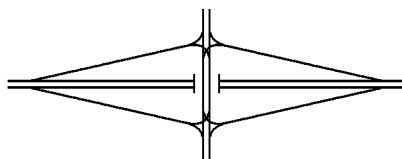


图 1-0-7-16 菱形立交

互通式立体交叉。

(6)部分苜蓿叶形立交 按匝道布置方式分为 A 形、B 形及 A-B 形 3 类,它们适用于出入交通量较小的一般互通式立体交叉。

(7)苜蓿叶形立体交叉 如图 1-0-7-17 所示,它适用于左转弯交通量小的一般互通式立体交叉。

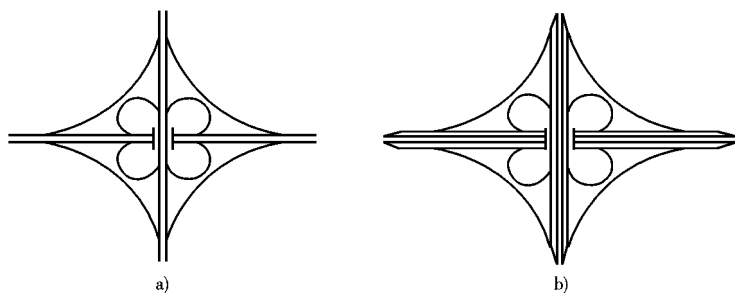


图 1-0-7-17 苜蓿叶形立体交叉

(8)环形立交:它分为两层式和三层式两种(图 1-0-7-18)。

(9)直连式立交 如图 1-0-7-19 所示,它适合于各转弯交通量大的枢纽互通立体交叉。

(10)复合式立交:如图 1-0-7-20 所示,当两处互通式立体交叉相距很近而不能保证应有的立交间距时,可将它们复合成一个立交。对于出入交通量较大的复合立交,应采用匝道间的立体分离等措施来避免所有交织或高速公路间的主流匝道上的交织。

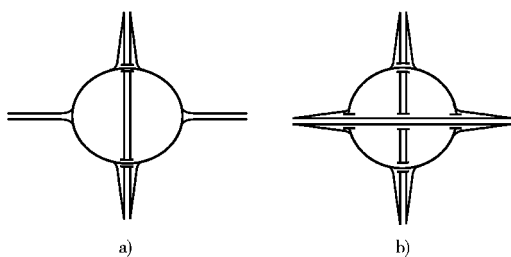


图 1-0-7-18 环形立交
a)两层 b)三层

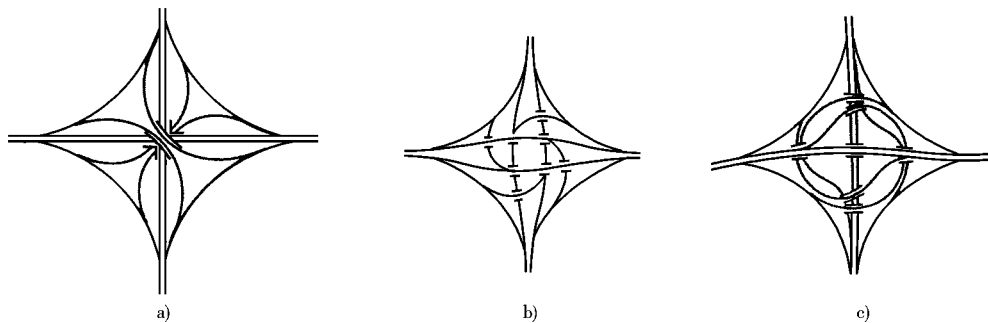


图 1-0-7-19 直连式立交

三、立体交叉的匝道

1. 匝道的形式

匝道的形式很多,按其功能及与相交道路的关系分为右转匝道和左转匝道两大类。

(1)右转匝道:即从公路右侧驶出后直接右转约 90° ,至相交道路右侧进入,一般不需跨线构造物。其特点是形式简单,车辆行驶方便,行车安全。

(2)左转弯匝道:车辆约需转 $90^{\circ}\sim 270^{\circ}$ 越过对向车道,至少要设置一座跨线构造物。按匝道与相交道路的关系,可分为直接式、半直接式及间接式3种,其中直接式又称为定向式或左侧左进式,其特点是匝道长度短,无需迂回运行。缺点是需设跨线构造物,因相交道路的双向行车需有足够间距,对重型车行驶不利。对于半直接式交叉,又称半定向式匝道,按车辆由相交道路进出方式分为左出右进式、右出左进式及右出右进式3种。间接式匝道又称环式,它为苜蓿叶式和喇叭式立交的标准组成部分。

2. 匝道的平、纵线形指标

1)互通式立体交叉匝道的设计速度

互通式立体交叉匝道的设计速度按匝道的形式及互通式立体交叉的交通功能有如表1-0-7-5所列的规定。

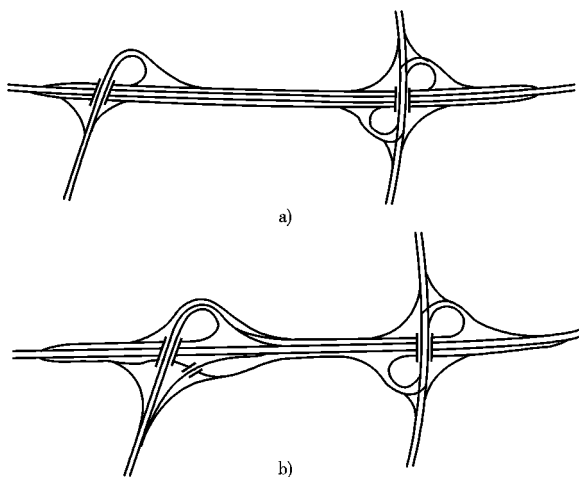


图 1-0-7-20 复合式立体交叉

匝道设计速度

表 1-0-7-5

匝道形式		直连式	半直连式	环形交叉
匝道设计速度 (km/h)	枢纽互通式立交	80、60、50	80、60、50、40	40
	一般互通式立交	60、50、40	60、50、40	40、35、30

《规范》规定,选用匝道设计速度时应遵循如下原则:

- (1)右转弯匝道应尽量采用上限或中间值;
- (2)直连式和半直连式左转弯匝道宜采用上限或中间值;

(3)匝道设计速度是指匝道中线紧迫路段所能保持的最大安全速度,其余路段上应以与匝道中必然存在的变速行驶相适应的速度作为设计的控制值。接近自由流出入口附近的匝道部分应有较高的设计速度,接近收费站或平面交叉的匝道端部,设计速度可酌情降低。

2)匝道的平面

匝道的平面线形要素,主要是指匝道平曲线半径和回旋线参数的取用,它主要与匝道的形式、用地、规模、造价以及行车安全和舒适性。

(1)平曲线半径:其计算公式可按本篇第二章有关公式计算。设计时主要考虑匝道的计算行车速度,同时考虑经济性、安全性和舒适性。表1-0-7-6为公路立交匝道的最小圆曲线半径,通常应选用大于一般最小半径值,当受地形条件限制时,方可采用极限值。

匝道圆曲线最小半径

表 1-0-7-6

匝道设计速度(km/h)		80	70	60	50	40	35	30
圆曲线最小半径 (m)	一般值	280	210	150	100	60	40	30
	极限值	280	175	120	80	60	35	25

对环式匝道的圆曲线半径除满足上述要求外,还应有足够的长度以保证曲率的缓和过渡及上下线的展线长度要求,可近似按下式计算。

$$R_{\min} \geq \frac{57.3H}{\alpha i} \quad (\text{m}) \quad (1-0-7-5)$$

式中: H ——上下线要求的最小高差 m ;

α ——匝道的转角 $(^\circ)$;

i ——匝道的的设计纵坡 $\%$ 。

(2) 匝道回旋线参数 A 按设计要求在匝道及其端部曲率变化较大处均应设置缓和曲线。缓和曲线应采用回旋线,其缓和曲线的参数以满足 $A \leq 1.5R$ 为宜,并不小于表 1-0-7-7 的要求。反向曲线两个回旋曲线的参数相同,当不相等时它们的比值应小于 1.5。

匝道回旋线参数及长度

表 1-0-7-7

匝道设计速度 (km/h)	80	70	60	50	40	35	30
回旋线参数 $A(\text{m})$	140	100	70	50	35	30	20
回旋线长度 (m)	70	60	50	40	35	30	25

3) 匝道的纵断面

(1) 匝道的最大纵坡:因匝道受上下线标高控制及用地条件,并考虑设计车速较低,故匝道的纵坡相对公路一般路段的纵坡值要大,具体可按表 1-0-7-8 取用。

匝道的最大纵坡

表 1-0-7-8

匝道设计速度 (km/h)			80、70	60、50	40、30、20
最大纵坡 (%)	出口匝道	上坡	3	4	5
		下坡	3	3	4
	入口匝道	上坡	3	3	4
		下坡	3	4	5

(2) 匝道的竖曲线半径:各计算行车速度所对应的竖曲线最小半径及长度见表 1-0-7-9。

匝道竖曲线的最小半径及长度

表 1-0-7-9

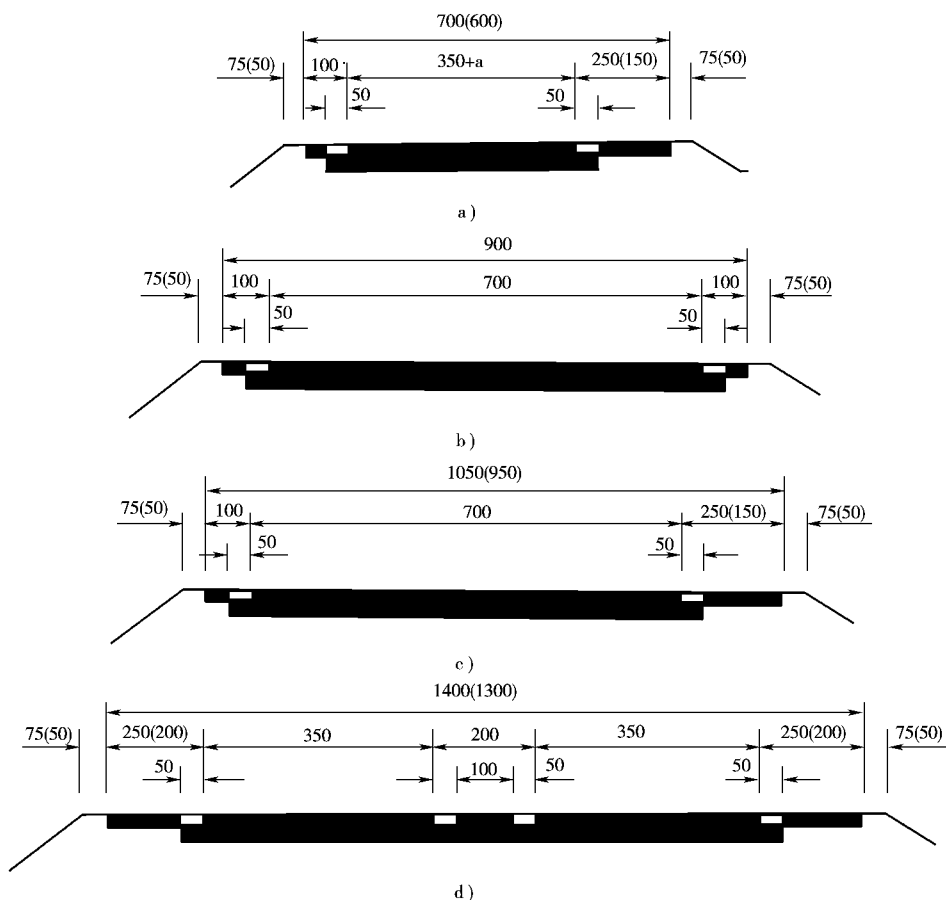
匝道设计速度(km/h)			80	70	60	50	40	35	30
竖曲线最小半径 (m)	凸形	一般值	4500	3500	2000	1600	900	700	500
		最小值	3000	2000	1400	800	450	350	250
	凹形	一般值	3000	2000	1500	1400	900	700	400
		最小值	2000	1500	1000	700	450	350	300
竖曲线最小长度 (m)		一般值	100	90	70	60	40	35	30
		最小值	75	60	50	40	35	30	25

3. 匝道的横断面

匝道的横断面由车道、路缘带、硬路肩和土路肩组成。对向分隔式双车道匝道还包括中央分隔带。匝道的横断面布置形式如图 1-0-7-21 所示。

4. 匝道进出口、变速车道

匝道两端分别与正线相连接的道口,包括进口、出口、变速车道及辅助车道等位置也称为匝道的端口。设计时为保证匝道与公路组成一个共同面,以满足汽车的正常和安全行驶,匝道设计的一般原则应是出入顺适、安全、线形与正线一致,出入口的视距应尽可能保证。正线与



注：1. 不包括曲线上的加宽值。
2. 尺寸单位：cm

图 1-0-7-21

a)单车道 b)无紧急停车带的双车道 c)设紧急停车带的双车道 d)对向分隔式双车道

比较线间能相互通视即可。

1)出口与入口

(1)主线出口、入口：一般情况下主线出入口应设在主线车道右侧，出口位置应便于车辆出入处的减速和加速。出口最好位于上坡路段，而入口则设在主线的下坡路段，以利于重型车的加速，并考虑通视。

(2)互通式立交的平面交叉口：在次线或匝道上可设置平面交叉口，而这种平交口则往往影响整个交叉的通行能力、服务水平和交通安全，设计时应充分考虑是否选用，若选用，应设置必要的标志、标线、分隔带、交通岛等。设计指标应符合公路与公路平面交叉的有关要求及规定。

2)变速车道设计

在匝道与正线连接的路段，为适应车辆变速行驶且不影响主要公路交通的需要，在匝道出入口前设置的附加车道称为变速车道。变速车道包括加速车道和减速车道。车辆由正线驶

入匝道时需减速的称为减速车道；车辆从匝道驶入正线时加速所需的附加车道称为加速车道。

(1) 变速车道的形式

变速车道的形式一般有直接式和平行式两种。如图 1-0-7-22 所示，平行式是正线外侧平行增设的一条附加车道，其特点是车道划分明确，行车容易辨认，但车辆行驶轨迹呈反向曲线对行车不利。一般加速车道采用平行式。直接式为不平行路段，由正线斜向渐变加宽，形成一条与匝道连接的附加车道，其特点是线形与行车轨迹吻合，有利于行车，但起点不易识别。一般在减速车道采用直接式。

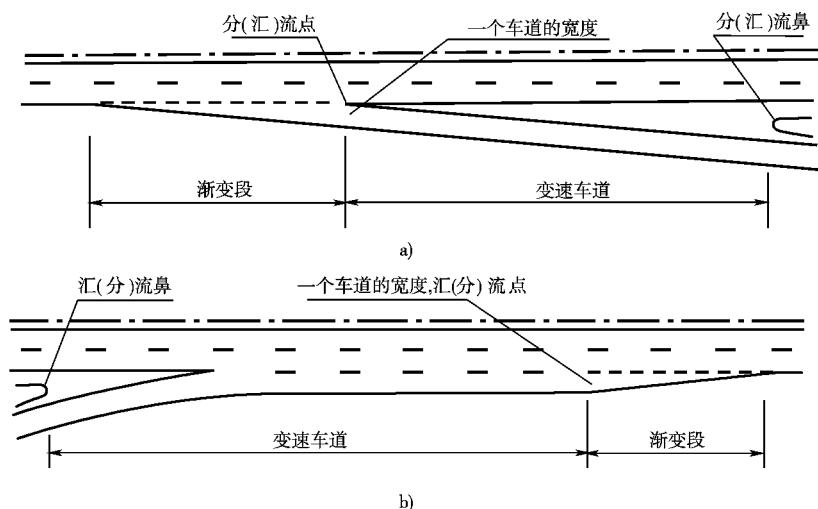


图 1-0-7-22

a) 直接式单车道 b) 平行式单车道

(2) 变速车道的横断面

变速车道的横断面组成与单车道基本相同，变速车道的长度为加速或减速车道长度与渐变段长度之和，可按下式计算取用。

$$L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{26a} \quad (\text{m}) \quad (1-0-7-6)$$

式中 v_1 ——正线平均行驶速度 km/h；

v_2 ——匝道平均行驶速度 km/h；

a ——汽车平均加(减)速度，加速时 $a = 0.8 \sim 1.2 \text{ m/s}^2$ ，减速时 $a = 3 \text{ m/s}^2$ 。

四、立体交叉的测设要点

在立体交叉设计之前，应通过实地勘测、调查搜集一系列外业资料，包括自然资料，即地形图测绘、用地规划、水文、地质、土壤、气候和国家水准点及控制点等资料；交通资料，即交通量、交通组成、交通流向及人行和非机动车等资料；道路资料，即相交道路的等级、平纵面线形、横断面尺寸和形状、交角、路面类型及厚度等资料；其他还有排水资料、文书资料等。资料搜集一般从以下几方面进行：

- (1)除搜集平面交叉所要求的资料外,还应征求当地政府及有关部门的意见。
- (2)实地初步拟定交叉口的位置,用相交公路的中线为基线布设控制网,以供测量地形用。
- (3)地形测量除分离式立体交叉外,均需测绘交叉范围内的地形图。比例尺用 1:500 ~ 1:1000。测绘的范围视实际情况而定,一般应测至交叉口范围外至少 100m。测量要求与桥位地形测量相同。
- (4)在地形图上定出不同方案的交叉位置和类型(包括匝道),并到实地进行核实,然后根据所搜集的各类资料进行综合评定、拟定采用方案。为便于方案比选,必要时应做模型或绘出透视图。
- (5)按采用方案在实地放样,并测得平、纵、横 3 方面资料,以供内业设计。
- (6)在跨线桥和其他构造物处,应进行地质钻探,其要求与桥梁同。

五、公路立体交叉设计成果

按实际需要,公路立体交叉在综合评定和精心设计的基础上,一般提供以下几方面成果:

- (1)远景交通量计算表及交通量分布图,如图 1-0-7-23 所示。

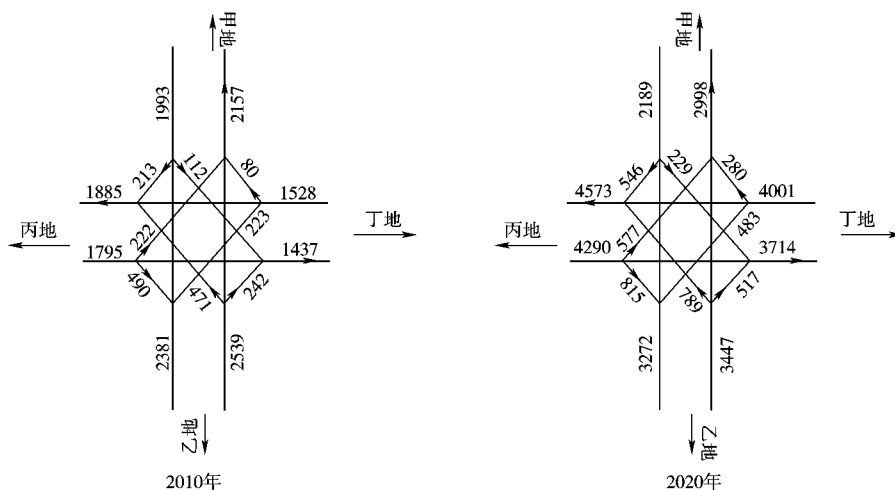


图 1-0-7-23 立体交叉交通量分布图(单位:轴次/日)

- (2)立体交叉线位图。包括立交主线及匝道分布、各线路的里程桩号及曲线要素、各匝道线位坐标表、直线、曲线及转角表(同平面设计)。
- (3)立体交叉的纵横断面图。其比例尺和要求与平面交叉相同,格式同路线设计的纵、横断面图。
- (4)跨线桥设计图。其要求与一般桥梁相同。
- (5)如遇有挡土墙、窨井、排水管、排水泵站等其他构造物,均需附设计图。
- (6)有比较方案时,应绘制图并提供经济技术比较表等资料。
- (7)交叉口的工程量等资料。
- (8)立体交叉透视图及景观设计图(参见有关参考书)。

本章小结

(1) 交叉口上的冲突点与交织点是交叉口处容易发生交通事故、影响通行能力的点,随着交叉口处岔道数的增加,这些点增加很多。消除冲突点的方法是实行交通管制、渠化交通或立体交叉;

(2) 公路与公路交叉分为平面交叉与立体交叉,平面交叉口设计应根据相交公路的交通量、交通组成、交通管制方式、地形、地质等条件合理选择交叉口的形式及尺寸。为保证交叉口的排水与路容美观,应正确选择交叉口的立面形式,合理确定交叉口中各点的设计标高;

(3) 立体交叉是交叉口的高级形式。立体交叉分为封闭式立交和互通式立交,其中互通立体交叉又可分为枢纽互通式立体交叉和一般互通式立体交叉,立体交叉的基本形式由喇叭形立交、直连式 T 形立交、Y 形立交、独象限式立交、菱形立交、苜蓿叶形立交、环形立交及复合式立交。设计时应综合考虑各种因素合理选定其形式。

(4) 互通式立体交叉的匝道设计是立体交叉设计的一个重要组成部分,设计时应综合考虑各种因素,应合理确定匝道的各参数,正确进行匝道的平面、纵断面及横断面设计。

思考题与习题

1. 平面交叉口设计的目的与主要任务是什么?
2. 什么是冲突点?如何消除冲突点?
3. 交叉口立面设计的基本类型有哪些?平面交叉口设计中立面设计的方法又有哪些?
4. 匝道的形式有哪些?
5. 确定匝道设计速度的原则是什么?

第八章

高速公路简介

教学要求

1. 描述高速公路设计的内容、特点和方法；
2. 描述高速公路安全设施与附属设施的内容和配置方法，选定高速公路交通控制的基本方式。

• 第一节 高速公路的特点和平、纵、横设计要点 •

一、高速公路的特点

高速公路的发展，是社会经济发展的必然产物，它与整个社会的政治、经济、军事的发展密切相关。当前，随着我国汽车工业和汽车运输业的迅速发展，汽车保有量大幅度增长，小型高速汽车及重型车的比例不断增大，一般公路无论从数量上或质量上都远不能适应交通量增长的需要，交通阻塞、交通事故已成为严重的社会问题。高速公路作为现代交通以适应量大、高速、安全及舒适的新型运输手段，已普遍受到人们的重视，大力发展高速公路已成为当今社会经济发展的一个重要特征。

高速公路与普通公路相比具有以下特点：

1. 行车速度高

高速公路的时速一般为 80 ~ 120km/h。由于行车速度高，使得行程时间缩短，从而带来巨大的社会效益和经济效益，对政治、经济、军事和人民生活都有十分重要的意义。

2. 通行能力大

一条四车道的高速公路通行能力为每昼夜 25000 ~ 55000 辆，六车道的可达 45000 ~ 80000 辆，八车道的可达 60000 ~ 100000 辆。由于通行能力大，运输能力大大提高，可从根本上解决交通的拥塞。

3. 设有中央分隔带

高速公路设置了中央分隔带，可有效地降低事故的发生率。

4. 立体交叉

高速公路与任何铁路、公路相交时，均应设置立体交叉。立体交叉既起到了消除侧向车辆干扰的作用，又控制了车辆的出入或流向。



5. 控制出入

为了保证汽车在公路上达到高速、安全、通行能力大的要求,高速公路沿线除通过互通式立体交叉处可以进出外,沿线是封闭的。车辆要进入或驶出高速公路,必须要经过专设的入口或出口。这些入口或出口都经过周密的选址和设计,并装备有现代化的交通管理设施。

6. 交通设施完备

高速公路沿线设有功能完善、形状和颜色显著易辨清的标志和号志,夜间能反光或发光。在人口稠密的市区、交通要道和交叉口处,设置有照明设备,并在公路沿线设有必要的护栏、防护网、防眩设备、隔音墙、可变式道路情报板、紧急电话等交通安全设施。

7. 服务设施齐全

高速公路沿线设有停车场、加油站、汽车修理站、小卖部、饭店、旅馆、公用电话等服务和休息设施(也可选择性地设置部分服务设施)。

8. 造价高

由于高速公路的标准高,通常要修建许多桥梁、隧道和高架桥等构造物,致使高速公路投资大、造价高。

9. 占用面积大

一条最简单的四车道高速公路占用土地宽度至少 30 ~ 35m,加之预留空地,占地更大。特别是全互通式立体交叉每座用地达 4 ~ 10 万 m^2 。较高的用地使工程造价增加,征地费用有时甚至达到修路费用的三分之一。

10. 其他特点

无法照顾短程运输,必须有相应的辅道配合等。

总之,高速公路除了采用高标准的几何设计外,还必须具有上述特点,才能充分发挥高速公路快速、安全、舒适的作用。

二、高速公路的平、纵、横设计要点

高速公路的线形设计标准比一般公路要高,主要体现在道路的通行能力大和行车速度高两个方面。因此,快速、安全、舒适是高速公路线形设计的基本要求。

1. 平面设计要点

(1)直线是一般公路用得最多的平面线形,它简单、距离短、方向明确,但不易与地形协调、单调、连续感差。所以高速公路直线运用有越来越少的趋势。

(2)圆曲线是容易与自然地形协调的线形,能与地形、地物、景观等较好地配合,线形美观,无呆板感。在高速公路平面线形设计时应大量采用。

(3)缓和曲线能使行车顺适,视觉舒适,有协调平面线形的功能,能使整个平面线形与地形、地物、景观更协调。所以运用好缓和曲线对平面线形大有好处。

(4)平面线形应适应地形,平面线形宜直则直,宜曲则曲。线形的曲率应灵活变化,但曲率不得突变,应保持连续均匀。

(5)平面线形的设计还应遵循《标准》、《规范》规定的其他要求。

2. 纵断面设计要点

(1)尽量采用平缓纵坡,但纵坡不得小于 0.3%,以保证排水畅通。

- (2)尽量采用大半径竖曲线。
- (3)避免在同向竖曲线间插入短的直线坡段。
- (4)纵断面设计还应遵循《标准》、《规范》的规定。

3. 横断面设计要点

- (1)高速公路的横断面必须采用中央分隔带或往返分离式路基。
- (2)路面边缘必须有硬路肩相连。
- (3)弯道上的横断面不得有任何妨碍视线的障碍物,包括不得在弯道内侧种植树木,以保证视距。

- (4)保证排水畅通,保证边坡和路基稳定。
- (5)横断面设计还应遵循《标准》、《规范》的规定。

4. 平、纵、横综合设计要点

高速公路线形的平、纵、横综合设计是在最后阶段进行的,其平、纵面线形组合除符合第一篇第三章第四节所述的要求外,更应注意视觉上的连续性、平纵面几何指标的均衡性、排水的良好性、增加景观的观赏性等。同时,在平纵面组合时,还应避免在凸曲线顶部和凹曲线底部设置小半径平曲线,以免失去诱导视线的作用而造成车祸或引起行车被迫突然减速而使车速不连续。凸曲线的顶部和凹曲线的底部设置反向平曲线对诱导视线也是极为不利的,这将会引起导向失误或导向模糊而造成车祸,对排水也不利。在平面直线路段应尽量设计成直线纵坡,避免设置凹、凸曲线后分不清纵面线形,视觉上产生折断感。长直线路段若设置竖曲线,则竖曲线半径应尽量大一些,使其线形顺适。缓和曲线与竖曲线重合的组合,是事故高发路段,故应避免这种组合的产生。

当平纵面线形组合适当后,还应考虑平、横线形的组合。由于高速公路车速快,视点集中,尤其在长直线上,会产生严重的“隧洞视”,好像在隧洞里行驶一样,所以横断面应有开阔的视野,不应种植太密的树木而增强“隧洞视”。在长路堑路段的边坡应平缓,避免压抑感。

平、纵、横线形综合设计后,应用立体空间线形要素图和透视进行质量评价。一般情况,下述的组合效果值得考虑:

(1)平曲线与竖曲线的顶点相互重合,是视觉美感最理想的组合,两顶点错位越小,视觉舒顺程度越好。曲线半径值增大,错位容许值可适当增大。曲线偏角值增大,错位容许值应适当减小。纵向变坡值增大,错位容许值就适当减小。

(2)平曲线与竖曲线组合时,若两曲线长度越接近相等,则组合的线形就越美观。平曲线和竖曲线两者半径越大,视觉越好,当平曲线半径大于450m,纵坡小于4%时组合是安全度较高、视觉较好的线形组合。

(3)平曲线偏角越大,缓和曲线长度又短,视觉就越差。其他条件相同时,缓和曲线长度增加,视觉效果会改善。平曲线全部由缓和曲线组成时,视觉效果会更好。

通过以上综合设计后,必要时还应作出道路透视图从视觉分析来检验综合设计的效果。道路透视图能较好地从业驾驶员的角度来反映路线设计的立体线形是否顺适,若发现视觉不良路段,应加以修改,使道路从视觉上感到通视、导向、舒适。现在这种透视图已采用计算机设计,甚至可以达到动景展示,使人犹如亲临其境。

• 第二节 高速公路的沿线设施 •

高速公路的沿线设施包括服务设施、环境保护设施、交通管理设施和交通安全设施等。这些设施是保证安全行车及调节恢复驾驶员和乘客疲劳,方便乘客、保护环境而设置的不可缺少的公路组成部分。

一、服务设施

高速公路是全部控制出入的公路,汽车在行驶途中不能随意出入,除紧急情况外不准停车。为了方便驾乘人员用膳休息、汽车加油和排除临时故障等,沿线必须设置必要的服务设施。服务设施按休息设施的服务内容和设备规模,一般可分成服务区和停车场两大类。

1. 服务区

服务区是设置在高速公路途中的综合服务中心。它的规模较大,设备齐全,设置有停车坪、加油站、汽车修理部、休息室、饭店、商店、公共厕所、旅馆、公用电话等。为能给驾乘人员提供良好的休息场所,服务区应选择在风景优美的合适地点,并搞好环境绿化。

2. 停车场

停车场的服务内容与规模比服务区小得多,一般仅包括停车坪及厕所,规模较大的也设小卖部和快餐厅。停车场与服务区的主要区别在于没有加油站及修车设施。

服务区和停车场的形式,根据其设置方法不同,一般可分为两侧分离式、单侧集中式及中央集中式3种类型。

两侧分离式是在高速公路的两侧各设置一个服务区,其优点是便利双向行驶车辆的停车休息。单侧集中式是将服务区集中设置在高速公路的一侧,而将另一侧的车流通过跨线桥引到服务区,占地虽然紧凑,造价不一定低。中央集中式是将服务区设置在高速公路的两条行车道的中间。采用哪种布置形式,主要是根据服务区所在的地形及风景点环境而定。停车场一般都设置在高速公路主线的两边,形成两侧分离式。

服务区和停车场的布局,要从整体考虑,应根据交通量大小、路段长度、沿线景观、地形条件,选择适当地点设置服务区,并合理确定服务区的功能和规模,务必使各种设施之间能有机且有效地相互配合,避免太多而造成浪费,太少会产生拥挤。服务区的间距一般情况下不超过50km,大型的服务区不超过100km。停车场的间距一般为15~25km。

服务区设施一般都是为高速公路自身服务的。当服务设施与其他场所合并设置时,其设置应慎重选择,以防止干扰服务设施本身功能的发挥。

二、环境保护设施

高速公路设计应重视环境保护,注意由于公路修建以及汽车运行所产生的影响与环境污染问题。这些问题主要有噪声、污水及汽车废气造成的大气污染等。

1. 防噪声设施

交通噪声是公路运输的公害之一。噪声会损害听觉、危及健康,影响正常工作和生活,并

对建筑物等产生损害。为此,不少国家都制定有噪声的限度标准,规定高速公路通过学校、医院以及住宅区和工业区时,不得超过规定的噪声强度。因此,控制和减少噪声的危害,是高速公路的设计任务之一。

为了防止噪声干扰,在高速公路选线时就应注意使路线尽量离开住宅区及居民点,不得已时尽量缩短通过长度并采取相应措施。目前,高速公路上常用的防噪声措施有以下3类:

(1)隔音墙:通常墙高3~5m,多用隔音水泥板制成,适用于路侧有建筑物的隔音。

(2)在高速公路的路两侧设置顶宽2~3m,边坡为1:2,高度以能挡住受音点为宜的土堤,并在堤上植被或绿化进行隔音。隔音堤一般适用于路侧有建筑物且用地较宽的情况。

(3)隔音林带:植树林带宽一般10~20m,隔音效果好,但占地较多,适用于路侧有建筑物且用地较宽的情况。

2. 污水处理

对带有污染的路面排水、服务区及停车场洗车等污水,要以不影响水源、农田为原则,设置必要的排水设施或沉淀池进行处理,防止产生水质污染。

3. 公路绿化

公路绿化具有减轻污染、净化空气、美化环境、诱导视线和减轻眩光的作用,并且可舒畅人们的心情,增加行车的舒适感和安全感。因此,在高速公路的用地范围内应大力进行绿化,尽量通过绿化来减轻施工痕迹和恢复其天然景观。

高速公路绿化,不应只是简单地种树植草,应以公路交通为主体,注意总体效果,防止因绿化不当而引起的不良影响。在公路路肩上不得植树,在公路弯道内侧植树时应满足视距的要求,在互通式立体交叉环道旁植树要以满足视觉效果为原则,采用不同的种植,使绿化有利于交通。在设置防眩板、隔音墙等地段以及服务区、停车场等处,必须将绿化与道路功能、景观与道路功能结合起来进行考虑,努力创造出一种赏心悦目的美好环境。

三、交通安全设施

为了保证行车与行人安全和充分发挥公路的作用,高速公路的沿线应按规定设置必要的交通安全设施。常见的安全设施有护栏、防护网、防眩设备、照明、标志及电话电信设备等。

1. 护栏

护栏设于中央分隔带及公路路基两侧。其主要作用是防止高速行驶的车辆在失去控制的情况下越出路外或冲向对向车道,使车辆回复到正常行驶方向,减轻受到冲撞的车辆驾乘人员的伤亡。同时护栏还起到诱导驾驶员视线的作用。

按使用材料及式样不同,护栏有柔性的波纹钢护栏、钢缆绳护栏、钢管护栏、箱梁护栏以及刚性的混凝土墙护栏等。其中用的最普遍的是波纹钢护栏和混凝土墙护栏。

波纹钢护栏是用钢性支柱支承连续的波纹钢横导轨组成,它具有适度的刚性和柔性,受车辆冲撞时变形较大,有较大的透光及视线诱导作用,易于修复,如图1-0-8-1所示。混凝土墙护栏刚性好,防冲撞功能较强,但对驾乘人员的安全性和瞭望性较差,有行驶压迫感,但不受腐蚀影响。混凝土墙护栏一般只适用于高架桥、桥梁以及较高的挡土墙区段。

在高速公路的中央分隔带上,全线应连续设置两排单面型护栏或一排双面型护栏。在路

四、交通管理设施

1. 交通标志

交通标志是用图形符号和文字传递特定信息,对公路上行驶车辆驾驶员给予指路、指示、警告、禁令,用以管理交通的安全设施。交通标志包括:

- (1)警告标志:是警告车辆注意危险地点的标志;
- (2)禁令标志:是禁止或限制车辆交通行为的标志;
- (3)指示标志:是指示车辆行进或停止的标志;
- (4)指路标志:是传递道路方向、地点、距离信息的标志。

交通标志的设置原则 根据实际需要、结合具体情况合理设置,要以保证交通畅通和行车安全为目的,总体考虑布局,尽量用最少的标志把必须的信息展现出来。标志的颜色、文字、形状、大小等根据标志性质应有明显的区别,使驾驶员在任何光度下清晰易辨,夜间能反光或发光。

标志牌支柱的形式,在满足荷载要求下,可结合地形和环境因素,采用双柱式、悬臂式、门式和附着式等结构。

2. 交通标线

交通标线是由各种标线、箭头、文字、立面标记以及突起路标构成的交通安全设施,其作用是管理和引导交通。

路面标线,按其功能可分为行车道中心线、车道分界线、车道边缘线、停止线、立交斑马线、导向线等,按标线的线形可分为连续的实线、间断线、箭头线等,按颜色可分为白色、黄色两种。

交通标志和路面标线的分类、功能、使用与标划方法、构造、制作和设置方法等,详见中华人民共和国国家标准《道路交通标志和标线》。

3. 公路情报板

公路情报板是根据公路交通状况来选择设置地点和表示内容的。其位置一般设置在出入口处、收费站、隧道口及必要的主线上。标示的内容分为公路、气象、交通、限制的状况及指示迂回路线等。其目的是将有关情况通告驾驶人员。

4. 交通监控设施

在高速公路可能发生事故(如火灾、交通事故、堵塞等)地段,为了及时采取措施疏导交通,应根据需要设置交通监控设施。交通监控的信息主要通过设置在高速公路上的交通流检测器和电视摄像机获得,其位置一般设置在出入口、立交、隧道口、收费处及必要的主线上。

5. 紧急电话

在高速公路上,为供驾驶人员能及时向交通管理机构报告事故、故障和救援等,应在适当的间隔内和在服务区、停车站等处设置紧急电话。设立紧急电话的地点应有标志,为便于夜间识别,还应设置照明或反光标志。紧急电话的间距一般为1~2km。

• 第三节 高速公路交通控制的基本方式 •

一、交通控制与管理概念

高速公路的交通控制与管理是保证车辆高速安全运行的必要条件。管理的措施和水平,

对运输效果影响很大,若管理跟不上,即使按高速公路的标准进行设计,也达不到预期的设计效果,甚至导致频繁的交通事故。

实践证明,在高速公路上行驶的车流应该有一个最佳的密度和车速,低于此车速由于密度增加容易形成不稳定车流,造成延误运行时间,并导致肇事。通过交通控制和有效地进行管理,可使高速公路上的车流保持车速、密度、间距的最佳组合,达到高速安全运行的目的。

高速公路的交通管理是通过监控系统和管理系统来实现的。所谓监控,就是指利用路面、路旁的数据采集、监测设备和人工观察,对道路交通状况、路面、天气状况和设备工作状况等参数进行实时观察和测量,并通过传输系统送至交通控制管理中心控制室。交通控制管理中心是进行交通控制与管理的核心,一般配有计算机、操作台、沿线地图模拟监视板、交通数据监测板、监测电视及图像显示设备等。

所谓管理就是指利用交通控制管理中心计算机或监控员实时处理系统的各种数据,按照一定的模式进行分析、判断和决策,并将最终决策结果和控制命令通过传输系统送至路上驾驶员信息系统、收费口控制设备或匝道控制设备,将路况及各种控制信息提供给驾驶员,指示车辆按规定的方向运行或对延误的事件迅速作出反应,把事件引起的延误控制到最小,从而达到调节和控制道路交通状况的目的。

二、交通控制的类型和选择

高速公路交通控制的类型,根据国情、道路所在的路段及重要程度等,主要有主线控制、区域性控制和出入口控制等几种。一般情况下,主线控制与区域性控制适用于城市及城郊高速公路,出入口控制是目前高速公路普遍采用的交通控制方法。

1. 主线控制

主线控制是对行驶在高速公路上的车辆实行分流或限制。其目的主要是在于保持行驶车流的最佳密度和车速,有效地提高道路的通行能力。

主线控制的方法除利用沿途可变式道路情报板管理和指导汽车行驶外,主要是在收费处、隧道口等处设置车道限制信号机,通过关闭一条或几条车道,或将这些关闭的车道开通变为反向行驶车道,以提高因通行能力降低时的安全性和使用效率。如澳大利亚悉尼大桥在交通高峰期间,当出现双向车流的某一侧交通量特别大时,通过车道限制信号机进行分流,就是属于主线控制的一种形式。

2. 出入口控制

入口或出口控制是高速公路控制出入的主要形式。入口控制是将可能引起主线阻塞的车流封闭在入口之前,出口控制是利用出口迅速疏导已经发生的阻塞。显然,入口控制要优于出口控制,故一般都采用入口控制的方法。

控制入口的措施主要有完全封闭入口、周期性入口控制和感应式入口控制等,它们是利用在入口处设置信号色灯或自动路障来实现的。如感应式入口控制,平时为绿色通行信号,当主线上的车流速度和密度达到最低警界线时,交通控制与管理中心的沿线地图监测板上就会显示红色路阻信号,并据此发出控制入口的指令。该控制系统能缩短车辆的停车时间,有效地调节车流的均匀性。

3. 区域性控制

区域交通控制系统,即把协调原则推广应用到相应规模地区的交通信号上。主要特点是区域控制范围的主线及其他道路的各个交叉口的交通管理均自动控制,当发现运行不畅或交通事故时,通过指令对相关区域范围内各交叉口色灯或车道进行调整等,来达到重新组织交通确保最大通行能力的目的。

三、监控系统

监控系统由交通信息收集系统和中央控制交通信息处理系统组成。各种交通信息、道路信息、气象信息等是进行交通控制与管理的根据和基础。信息的内容和数量反映了高速公路控制与管理水平。

交通信息收集系统除由沿途设置的紧急电话、交通巡逻车、气象观测站提供有关信息外,交通量、车流速度及密度等交通数据,主要是通过设置在高速公路上的车辆检测器和电视摄像机获得的。车辆检测器设在高速公路的出入口及主线上,并与中央控制室的交通数据板相连通。摄像机由中央控制室操作,可以旋转、俯仰、变焦,并将交通情况在电视屏幕上显示出来。中央控制室管理人员通过操纵监测电视与交通数据板,即可获得交通实况和数据板显示的各处交通量、速度、密度及拥挤情况。这些交通信息经信息处理系统处理后,由管理系统发出工作指令,对路上交通实施控制与管理。

四、管理系统

管理系统由交通信息提供系统和中央交通信息控制系统成。管理的措施主要是通过发布交通信息和指令,告知驾驶员有关信息,促使其选择合理的行车方式和路线,使路上交通量均匀分布,提高道路通行能力,达到高速安全行驶的目的。

高速公路的交通信息提供系统除由交通管理人员在现场管理外,主要是通过可变式道路情报板和控制出入口进行管理。

1. 可变式情报板

这种装置是高速公路专供交通管理中心提供随时变化的情报用的。交通管理中心将收集到的各种数据和信息经计算机处理后,通过管理人员发出指令,在情报板上显示出文字或图形,向驾驶员提供有关交通事故、交通阻塞、道路维修施工及气象情况等各种随机信息,并及时发出行车指示。

可变式情报板操作简单,内容可随时变化,可以远距离操纵,一次可以给多块情报板同时下指令。其位置一般设置在互通式立体交叉的出入口、收费站、隧道口以及必要的主线上。

2. 主线控制

交通管理中心的管理人员,利用设置在收费处、隧道口等处的车道限制信号机,根据情况进行车道调整等措施,指示汽车疏散路线。如我国采用的主线控制装置,平时为绿色,车道关闭时变为红色“×”符号。

3. 出入口控制

交通管理中心的管理人员在向可变式情报板发出指令的同时,可据情通过键盘操作,对整个监控系统的出入口发出色灯信号,指示车辆按规定的方向运行。

随着计算机技术、自动化控制技术和通信技术的发展,高速公路监控系统的技术结构也在随之变化。多计算机功能分散的计算机网络处理方式代替原来由单一的计算机集中处理方式,从而使系统可靠性提高,程序编制简单,易于维护和功能扩展。在通信技术方面,由于光缆的问世,基于其损耗低、频带宽、无感应、高绝缘等特点,许多监控系统已用光缆取代传统的电话线、电缆等传送电视信号和数据、语音信号,高速公路的交通控制与管理已发挥越来越大的作用。

本章小结

(1)高速公路的优越性是多方面的。除了解决量大、高速、安全问题外,经济效益和社会效益也非常显著,它不但吸引并担负起庞大的客货运交通,缩短了行程时间,降低了燃料消耗,减少了交通事故,促进了社会经济的繁荣与进步,而且用于建设的投资短期内就可从效益中得到偿还。近十几年来,我国各地在修建新线和改造原有公路的同时,也集中了大量资金进行了高速公路的建设,并取得了显著的经济效益和社会效益,有效地缓解了我国交通运输的紧张局面。

(2)公路线形为了研究方便而分解成平面、纵面和横面3部分,实际上线形是不可分割的整体。线形设计仅满足《标准》、《规范》的要求是不够的,优秀的设计必须考虑各方面相互影响的因素,进行综合设计,才能使公路的立体线形获得良好的视觉效果。

公路线形的综合设计是在最后阶段进行的,主要考虑驾驶员的心理、生理因素及在高速行驶时的视觉问题和对乘客的安全感、舒适感、美感等问题。这些问题在选线时已有所考虑,平、纵、横3方面已作了协调处理。在线形平、纵、横综合设计时主要是进行检查、修正和深化。在选线时往往遇到困难地段会采用技术指标的最小值或较小值,这从力学角度来说能满足安全要求的,但就视觉要求而言是危险的,所以就需要对平、纵、横进行合理的组合设计、视觉分析、景观设计等。

(3)为保证公路安全、迅速、经济、舒适的营运和正常使用,除应有必须的路基、路面、桥涵、隧道等主体工程结构物外,还应有必要的沿线设施。公路沿线设施包括服务设施、环境保护设施、交通管理设施和交通安全设施、附属设施和绿化等。由于公路的技术等级和具体情况不同,对沿线设施的要求也不同,如高速公路的交通量大、车速高,要求沿线设施齐全、坚固、醒目、美观、经济。本章仅就公路沿线设施的种类、修建原则和有关规定等作一般介绍。具体设置时,应按有关标准、规范等的规定,并参照各地经验确定。

(4)高速公路的交通控制与管理是保证车辆高速安全运行的必要条件。目前交通控制与管理的方法,主要是预先在高速公路的主线上、出入口及互通式立交等处设置车辆检测器和电视摄像等监控系统,将监视路段内的交通运行情况,传送到交通控制管理中心,由计算机处理后对整个监视路段发出交通信号,指示车辆按规定的方向运行。交通控制管理中心是进行交通控制与管理的核心,一般配有计算机、操作台、沿线地图模拟监视板、交通数据监测板、监测电视及图像显示设备等。目前,美国、欧洲一些国家及日本等一般均采用这种交通控制与管理系统。

思考题与习题

1. 何谓高速公路？
2. 高速公路有哪些特征？
3. 高速公路的平、纵、横设计要点与其他各级公路的设计要点有哪些异同点？
4. 高速公路的沿线设施有哪些？简述具体内容和配置方法。
5. 高速公路的交通控制主要有哪几种类型？各适用于什么条件？



第一章

绪论

教学要求

1. 解释影响公路路基路面稳定性的因素,分析路基路面应具有的基本性能;
2. 描述路基土的分类,土的工程性质;
3. 描述新建公路和老路拓宽改造时路基干湿类型的判断方法。

• 第一节 概 述 •

路基和路面是公路的主要工程结构物。路基是在天然地表面按路线位置和设计断面的要求填筑或开挖形成的岩土结构物。路面是在路基顶面的行车部分用各种筑路材料铺筑而成的层状结构物。路基是路面的基础,坚固而又稳定的路基为路面结构长期承受汽车荷载作用提供了重要的保证,路面结构层对路基起保护作用,使路基不会直接承受车轮和大气的破坏作用,而长期处于稳定状态。路基和路面实际上是不可分离的整体,应综合考虑它们的工程特点,综合解决两者的强度、稳定性等工程技术问题。

路基和路面工程是一种线形工程,有的公路延续数十公里至数百公里。由于公路沿线地形起伏、地质、地貌、气象特征多变,再加上沿线城镇经济发达程度与交通繁忙程度不一,因此决定了路基和路面工程具有复杂多变的特点。路基与路面工程是公路工程的主要组成部分,工程数量巨大,投资费用可观,路基工程造价约占公路工程总造价的20%~50%,路面工程造价一般占总造价的30%左右。

现代化的公路运输,既要求公路能全天候通行车辆,车辆能以一定的速度安全、舒适、经济地运行,又要求能降低运输成本和延长公路的使用年限,因此需要了解影响路基路面稳定性的因素,同时了解路基路面应具有的一些基本性能,做到有针对性地精心设计、精心施工,以保证路基路面在使用中的良好质量。

一、影响路基路面稳定性的因素

路基路面是一种常年暴露于大自然中的线形构造物,其稳定性在很大程度上受当地自然条件的影响。因此,深入调查公路沿线的自然条件,从整体(地区)和局部(具体路段)去分析研究,掌握各有关自然因素的变化规律及其对路基路面稳定性的影响,从而因地制宜地采取有效的工程技术措施,这是正确进行路基路面设计、施工、养护的重要前提。

影响公路路基路面稳定性的自然因素一般有:

1. 地形

平原地区地势平坦,一般来说地面水容易积聚,地下水水位较高,因此,路基需要保持一定的最小填土高度,并且要加强地面排水,特殊路段采用必要的地下排水措施,路面结构层应选择水稳定性良好的材料。山岭重丘地区地势陡峻,路基的强度与稳定性,尤其是稳定性不易保证,需要采取某些防护与加固措施,同时路基路面的排水系统必须设置完备。

2. 地质

沿线岩土的种类、成因、岩层的走向、倾向和倾角、风化程度等,都影响路基的强度与稳定性。

3. 气候

公路沿线的气温、降雨量、冰冻深度、日照、年蒸发量、风力、风向等均影响路基路面的水温状况。

4. 水文与水力地质

水文是指地面径流、河道的洪水位、河岸的冲刷与淤积情况等,水文地质则是指地下水位、地下水移动的规律,有无泉水及层间水等。所有这些都会影响路基路面的稳定性,如处理不当,往往会导致路基路面产生各种病害。

影响路基路面稳定性的人为因素一般有:行车荷载的作用、路基路面的设计、施工养护是否正确等。

路基设计时,应根据各路段的具体情况,采用合理的路基断面形式,做好地面和地下排水设施,对不良地质路段,还应采取必要或特别的措施,防止路基病害的发生。路面设计时,应根据各地的气候特点,采用合理的结构组合,并采用适当的路面结构及排水设施。

二、路基路面应具有的基本性能

1. 承载能力

行驶在公路上的车辆,通过车轮荷载作用在路面上,由路面传给路基,在路基路面结构内部产生应力和应变,外部表现为位移和变形。如果路基路面结构整体或某一组成部分的强度或抗变形能力不足,则路面就会出现开裂,路基路面结构会出现沉陷,路面表面会出现波浪或车辙等,影响路基路面的正常使用。因此要求路基路面结构整体及其各组成部分都必须具有与行车荷载相适应的承载能力。

结构承载能力包括强度和刚度两方面。路面结构应具有足够的强度以抵抗车轮荷载引起的各个部位的各种应力,如压应力、拉应力、剪应力等,保证不发生压碎、拉断、剪切等各种破坏。路基路面整体结构或各个结构层应具有足够的刚度,使得在车轮荷载作用下不发生过量的变形。

2. 稳定性

所谓路基路面结构的稳定性是指结构处于外在因素的影响下,能较好地保持其工程设计要求的几何形态及物理力学的性能。路基路面结构的稳定性应具有整体稳定性、水稳定性、温度(高温或低温)稳定性、时间稳定性(亦称耐久性)等。

在地表上开挖或填筑路基,必然会改变原地面地层结构的受力状态。原来处于稳定状态的地层结构,有可能由于填挖筑路引起不平衡,导致路基的部分或全部失去整体稳定性。如在

软土地基上修筑高路堤,在软弱岩质或土质山坡上开挖深路堑,由于承载能力不足或者坡体失去支承,而出现路堤沉陷或坡体滑坍破坏。因此在选线、勘测、设计、施工中应密切注意,并采取必要的工程措施,以确保路基有足够的整体稳定性。

大气降水使得路基路面结构内部的湿度状态发生变化,低洼地带路基排水不良,长期地表积水或较高的地下水位会使矮路堤土体软化,失去承载能力。山区路基,因排水不良,会引发路基边坡滑塌或整体滑移。水泥混凝土路面,如果不能及时将水分排出结构层,会发生唧泥现象。水泥混凝土路面接缝渗入的水,在车轮荷载反复作用下,会冲刷基层,导致结构层提前破坏。沥青混凝土路面,由于水分的侵蚀,会引起沥青结构层剥落或松散。砂石路面,在雨季会因雨水冲刷和渗入结构层,而导致强度下降,产生沉陷、松散等病害。因此加强防水、排水是确保路基路面水稳定性的重要措施。

气温周期性的变化对路面结构的稳定性有重要影响。高温季节沥青路面软化,在车轮荷载作用下会产生较大的变形。水泥混凝土路面面板在高温季节会翘曲变形,在车轮荷载的反复作用下,则容易产生裂缝或造成断板。北方在低温冰冻季节,沥青路面、水泥混凝土路面、半刚性基层由于低温会产生大量收缩裂缝,最终失去承载能力。在严重冰冻地区,地下水水位较高的路段,低温会引起路基冻胀,其上的路面结构也会随之产生断裂裂缝。春天融冻季节,在交通繁重的路段,有时会引发路基翻浆,使路基路面发生严重的破坏。

路基路面工程投资大,对于这样的大型工程应有较长的使用年限,并能保持长时间完好的使用状态,因此路基路面工程应具有时间的稳定性(即耐久性)。在车轮荷载的反复作用与大气水温周期性重复作用下,路面使用性能将逐年下降,强度与刚度将逐年衰变,路面材料的各项性能也可能由于老化衰变,而引起结构的损坏。路基在长期经受自然因素的侵袭后稳定性将逐年削弱。所以,提高路基路面的时间稳定性,保持其强度、刚度和几何形态经久不衰,除了精心设计、精心施工、精选材料之外,要把常年的养护、维修、恢复路用性能的工作放在重要的位置。

3. 表面平整度

路面表面平整度是影响行车安全、行车舒适性以及运输效益的重要使用性能。表面平整度是以不平整度值作为指标来衡量,相对来说,是一项宏观控制指标。不平整的路表面会增大行车阻力,并使车辆产生附加的振动作用。这种振动会造成行车颠簸,影响行车的速度和安全、驾驶的平稳和乘客的舒适感。同时,振动作用还会对路面施加冲击力,从而加剧路面和汽车机件的损坏和轮胎的磨损,并增大油料的消耗。而且,不平整的路面还会积滞雨水,加速路面的破坏。

优良的路面平整度,要依靠优良的施工装备、精细的施工工艺、严格的施工质量控制以及经常和及时的养护来保证。同时,路面的平整度与整个路面结构和路基顶面的强度、抗变形能力有关,与结构层所用材料的强度、抗变形能力以及材料的均匀性有很大关系。

4. 表面抗滑性能

表面抗滑性能亦称粗糙度,是指路面能够提供汽车车轮在其上安全行驶所需足够附着力(或称摩擦力)的性能。通常用摩擦系数或构造深度来表示,相对来说,是一项微观控制指标。路面表面要求平整,但不宜光滑。汽车在光滑的路面上行驶,车轮与路面之间缺乏足够的附着力,雨天高速行驶,紧急制动或突然起动,爬坡或转弯时,车轮易产生空转或打滑,致使行车速

度降低,油耗增多,甚至引起严重的交通事故。

路面表面的抗滑能力可以通过采用坚硬、耐磨、表面粗糙的粒料组成路面表面材料来实现,有时也可以采用一些工艺措施来实现,如水泥混凝土路面的拉毛或刻槽等。此外,路表面的积雪、浮水或污泥等,也会降低路面的抗滑性能,必须及时予以清除。

• 第二节 路基土的工程性质 •

按照现行的《公路土工试验规程》中土的工程分类方法,将土分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土 4 大类,分类总体系如图 2-1-1-1 所示。各类土的主要工程性质如下:

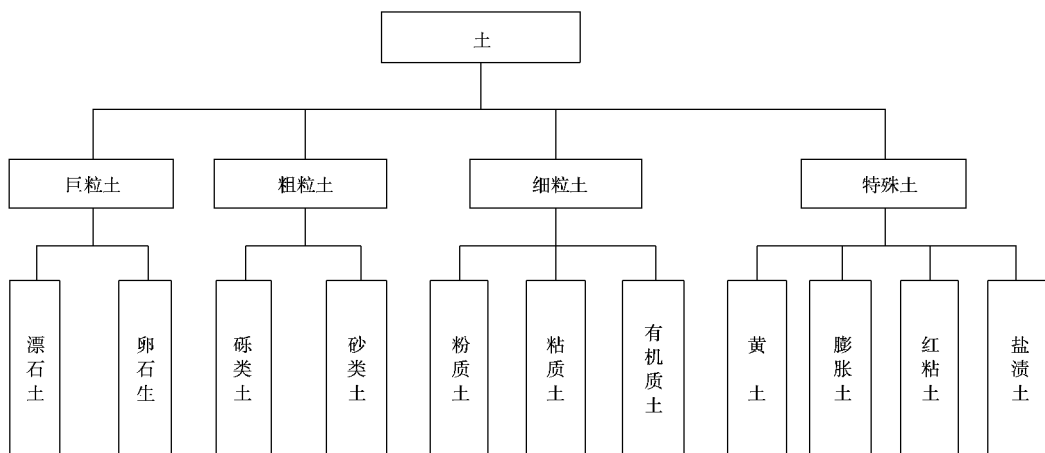


图 2-1-1-1 土的分类总体系

1. 巨粒土

巨粒土有很高的强度及稳定性,是填筑路基的很好材料。对于漂石土,在码砌边坡时,应正确选用边坡值,以保证路基稳定。对于卵石土,填筑时应保证有足够的密实度。

2. 粗粒土

砾类土由于粒径较大,内摩擦力较大,因此强度和稳定性均能满足要求。级配良好的砾类土混合料,密实程度好。对于级配不良的砾类土混合料,填筑时应保证密实程度,防止由于空隙大而造成路基积水、不均匀沉降或表面松散等病害。

砂类土又可分为砂、含细粒土砂(或称砂土)和细粒土质砂(或称砂性土)3种。

砂和含细粒土砂无塑性,透水性强,毛细水上升高度很小,具有较大的摩擦系数,强度和水稳定性较好。但由于粘性小,易于松散,压实困难,需用振动法或灌水法才能压实。为了克服这一缺点,可添加一些粘质土,以改善其使用质量。

细粒土质砂既含有一定数量的粗颗粒,使路基具有足够的强度和水稳定性,又含有一定数量的细颗粒,使其具有一定的粘性,不致过分松散。一般遇水干得快,不膨胀,干时有足够的粘结性,容易被压实。因此,细粒土质砂是填筑路基的良好材料。

3. 细粒土

粉质土为最差的筑路材料。它含有较多的粉土粒,干时稍有粘性,但易被压碎,扬尘性大,

浸水时很快被湿透,易成稀泥。粉质土的毛细作用强烈,上升速度快,毛细水上升高度一般可达0.9~1.5m,季节性冰冻地区,水分在路基上方大量积聚,造成严重的冬季冻胀,春融期间出现路基翻浆。如遇粉质土,特别是在水文条件不良时,应采取一定的措施,改善其工程性质。

粘质土透水性很差,粘聚力大,因而干时较硬,不易挖掘。它具有较大的可塑性、粘聚性和膨胀性,毛细现象也很显著,用来填筑路基比粉质土好,但不如细粒土质砂。浸水后粘质土能较长时间滞留水分,造成承载能力降低。对于粘质土,如在适当的含水量时加以充分压实,并有良好的排水设施,筑成的路基也能获得稳定。

有机质土(如泥炭、腐殖土等)不宜作路基填料,如遇有机质土均应在设计和施工上采取适当措施。

4. 特殊土

黄土属大孔和多孔结构,具有湿陷性特点,膨胀土受水浸湿发生膨胀,失水则收缩,红粘土失水后体积收缩量较大,盐渍土潮湿时承载力很低。因此,特殊土也不宜作路基填料。当出现在地基中时,应进行地基处理改善。

• 第三节 路基干湿类型判定 •

一、路基干湿类型及湿度来源

土质路基(包括地基)干湿类型可分为干燥、中湿、潮湿和过湿4种。这4种类型表示路基工作区内,即从路基表面向下一定范围里,路基(包括地基)土所处的含水状态。

路基的干湿类型,影响其强度与稳定性。正确区分路基的干湿类型,是进行路基设计的前提。路基土所处的状态是由土体的含水量或用稠度指标反映的。含水量取决于湿度的来源及作用的持续时间。导致路基湿度变化的水源可分为以下几种:

- (1)大气降水:大气降水直接通过路面、路肩和边坡渗入路基;
- (2)地面水:路基旁边较高水位的地表积水、排水不良的边沟积水,以毛细水的形式渗入;
- (3)地下水:靠近地面的地下水,借助毛细作用或温差作用上升到路基内部;
- (4)凝聚水:在土颗粒空隙中流动的水蒸气,遇冷凝结为水。

二、路基干湿类型判定方法

1. 根据平均稠度判定法

此方法适用于对原有公路拓宽改造时某断面的路基干湿类型判定。

(1)路基土在横断面上某点的稠度 w_c 是指土的液限含水量 w_l 与土的含水量 w 之差和土的液限含水量 w_l 与塑限含水量之差 w_p 的比值,即:

$$w_c = \frac{w_l - w}{w_l - w_p} \quad (2-1-1-1)$$

土的稠度较准确地表示了土的各种形态与湿度的关系,稠度指标综合了土的塑性特性,包含了液限与塑限,全面直观地反映了土的软硬程度。

① $w_c = 1.0$,即 $w = w_p$,为半固体与硬塑状的分界值;

② $w_c = 0$,即 $w = w_l$,为流塑与流动状的分界值 ;

③ $1.0 > w_c > 0$,即 $w_l > w > w_p$,土处于可塑状态。

(2)我国现行的《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—1997)中规定 路基的干湿类型可以实测不利季节路床表面以下 80cm 深度内土的平均稠度 $\bar{w}_c$,再按表 2-1-1-1 中土基干湿状态的稠度建议值比较确定。我国现行的《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012—1994)中 土基的干湿类型亦根据不利季节路床表面以下 80cm 深度内土的平均稠度 $\bar{w}_c$ 按表 2-1-1-2 划分确定。

沥青路面土基干湿类型的稠度建议值

表 2-1-1-1

干湿类型 土 组	干燥状态 $\bar{w}_c \geq w_{c1}$	中湿状态 $w_{c1} > \bar{w}_c \geq w_{c2}$	潮湿状态 $w_{c2} > \bar{w}_c \geq w_{c3}$	过湿状态 $\bar{w}_c < w_{c3}$
土质砂	$\bar{w}_c \geq 1.20$	$1.20 > \bar{w}_c \geq 1.00$	$1.00 > \bar{w}_c \geq 0.85$	$\bar{w}_c < 0.85$
粘质土	$\bar{w}_c \geq 1.10$	$1.10 > \bar{w}_c \geq 0.95$	$0.95 > \bar{w}_c \geq 0.80$	$\bar{w}_c < 0.80$
粉质土	$\bar{w}_c \geq 1.05$	$1.05 > \bar{w}_c \geq 0.90$	$0.90 > \bar{w}_c \geq 0.75$	$\bar{w}_c < 0.75$

注 w_{c1} 、 w_{c2} 、 w_{c3} 分别为干燥和中湿、中湿和潮湿、潮湿和过湿状态路基土的分界稠度 , w_c (应是 $\bar{w}_c$) 为路床表面以下 80cm 深度内的平均稠度。

水泥混凝土路面土基干湿类型划分方法

表 2-1-1-2

干湿类型	干燥状态	中湿状态	潮湿状态	过湿状态
平均稠度 $\bar{w}_c$	$\bar{w}_c > 1.0$	$\bar{w}_c = 0.75 \sim 1.0$	$\bar{w}_c = 0.5 \sim 0.75$	$\bar{w}_c < 0.5$

(3)不利季节路床表面以下 80cm 深度内土的平均稠度确定方法是 :在路床表面以下 80cm 深度内 ,用麻花钻每 10cm 取土样 ,测定其天然含水量、塑限含水量和液限含水量 ,按式 (2-1-1-2) 和式(2-1-1-3)计算。

$$w_{ci} = \frac{w_{li} - w_i}{w_{li} - w_{pi}} \quad (2-1-1-2)$$

$$\bar{w}_c = \frac{\sum_{i=1}^8 w_{ci}}{8} \quad (2-1-1-3)$$

式中 w_i ——路床表面以下 80cm 深度内 ,每 10cm 为一层 ,第 I 层土的天然含水量 % ;

w_{li} ——同一层土的液限含水量(液塑限联合测定仪测定) % ;

w_{pi} ——同一层土的塑限含水量(液塑限联合测定仪测定) % ;

w_{ci} ——第 I 层土的稠度 ;

$\bar{w}_c$ ——路床表面以下 80cm 深度内土的算术平均稠度。

2. 根据临界高度判定法

对于新建公路 路基尚未建成 ,无法按上述方法现场勘查路基的湿度状况 ,可以用临界高度作为路基干湿类型的判定标准。当路基的地下水位或地表长期积水水位一定的情况下 ,路基的湿度由下而上逐渐减小 ,如图 2-1-1-2 所示。

图中 H_1 对应于 w_{c1} ,为干燥和中湿状态的临界高度 ;

H_2 对应于 w_{c2} ,为中湿和潮湿状态的临

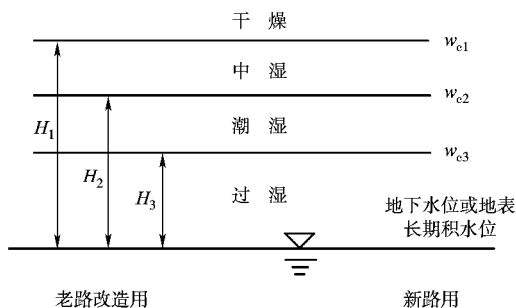


图 2-1-1-2 路基分界稠度与临界高度

路基临界高度参考表

表 2-1-1-3

土组 路槽底至 水位(m) 临界 高度 (m) 自然区划	砂 性 土									粘 性 土									粉 性 土								
	地下水			地表长 期积水			地表临 时积水			地下水			地表长 期积水			地表临 时积水			地下水			地表长 期积水			地表临 时积水		
	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃
Ⅱ ₁										2.9	2.2								3.8	3.0	2.2						
Ⅱ ₂										2.7	2.0								3.4	2.6	1.9						
Ⅱ ₃	1.9~ 2.2	1.3~ 1.6								2.5	1.8								3.0	2.2	1.6						
Ⅱ ₄										2.4~ 2.6	1.9~ 2.1	1.2~ 1.4							2.6~ 2.8	2.1~ 2.3	1.4~ 1.6						
Ⅱ ₅	1.1~ 1.5	0.7~ 1.1								2.1~ 2.5	1.6~ 2.0								2.4~ 2.9	1.8~ 2.3							
Ⅲ ₁																			2.4~ 3.0	1.7~ 2.4							
Ⅲ ₂	1.3~ 1.6	1.1~ 1.3	0.9~ 1.1	1.1~ 1.3	0.9~ 1.1	0.6~ 0.9	0.9~ 1.1	0.6~ 0.9	0.4~ 0.6	2.2~ 2.75	1.7~ 2.2	1.3~ 1.7	1.75~ 2.2	1.3~ 1.7	0.9~ 1.3	1.3~ 1.75	0.9~ 1.3	0.45~ 0.9	2.4~ 2.85	1.9~ 2.4	1.4~ 1.9	1.9~ 2.4	1.0~ 1.9	1.0~ 1.4	1.4~ 1.9	1.0~ 1.4	0.5~ 1.0
Ⅲ ₃	1.3~ 1.6	1.1~ 1.3	0.9~ 1.1	1.1~ 1.3	0.9~ 1.1	0.6~ 0.9	0.9~ 1.1	0.6~ 0.9	0.4~ 0.6	2.1~ 2.5	1.6~ 2.1	1.2~ 1.6	1.6~ 2.1	1.2~ 1.6	0.9~ 1.2	1.2~ 1.6	0.9~ 1.2	0.55~ 0.9	2.3~ 2.75	1.8~ 2.3	1.4~ 1.8	1.8~ 2.3	1.4~ 1.8	1.0~ 1.4	1.4~ 1.8	1.0~ 1.4	0.55~ 1.0
Ⅲ ₄																			2.4~ 3.0	1.7~ 2.4							
Ⅲ _{1a}																			2.4~ 3.0	1.7~ 2.4							
Ⅲ _{2a}	1.4~ 1.7	1.0~ 1.3																	2.4~ 3.0	1.7~ 2.4							

续上表

自然区划	土组 路槽底至 水位(m) 临界 高度 (m)	砂 性 土									粘 性 土									粉 性 土								
		地下水			地表长 期积水			地表临 时积水			地下水			地表长 期积水			地表临 时积水			地下水			地表长 期积水			地表临 时积水		
		H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃
IV ₁ 、IV _{1a}										1.7~ 1.9	1.2~ 1.3	0.8~ 0.9							1.9~ 2.1	1.3~ 1.4	0.9~ 1.0							
IV ₂										1.6~ 1.7	1.1~ 1.2	0.8~ 0.9							1.7~ 1.9	1.2~ 1.3	0.8~ 0.9							
IV ₃										1.5~ 1.7	1.1~ 1.2	0.8~ 0.9	0.8~ 0.9	0.5~ 0.6	0.3~ 0.4				1.7~ 1.9	1.2~ 1.3	0.8~ 0.9	0.9~ 1.0	0.6~ 0.7	0.3~ 0.4				
IV ₄	1.0~ 1.4	0.7~ 0.8								1.7~ 1.8	1.0~ 1.2	0.8~ 1.0																
IV ₅										1.7~ 1.9	1.3~ 1.4	0.9~ 1.0	1.0~ 1.1	0.6~ 0.7	0.3~ 0.4				1.7~ ~2.1	1.3~ 1.5	0.9~ 1.1							
IV ₆	1.0~ 1.1	0.7~ 0.8								1.8~ 2.0	1.3~ 1.5	1.0~ 1.2	0.9~ 1.0	0.5~ 0.6	0.3~ 0.4				2.0~ 2.2	1.5~ 1.6	1.0~ 1.1							
IV _{6a}										1.6~ 1.7	1.1~ 1.2	0.7~ 0.8							1.8~ 2.0	1.3~ 1.4	0.9~ 1.0							
IV ₇				0.9~ 1.0	0.7~ 0.8	0.6~ 0.7				1.7~ 1.8	1.4~ 1.5	1.1~ 1.2	1.0~ 1.0	0.7~ 0.8	0.4~ 0.5													
V ₁	1.3~ 1.6	1.1~ 1.3	0.9~ 1.1	1.1~ 1.3	0.9~ 1.1	0.6~ 0.9	0.9~ 1.1	0.6~ 0.9	0.4~ 0.6	2.0~ 2.4	1.6~ 2.0	1.2~ 1.6	1.6~ 2.0	1.2~ 1.6	0.8~ 1.2	1.2~ 1.6	0.45~ 0.8	2.2~ 2.65	1.7~ 2.2	1.3~ 1.7	1.3~ 1.7	1.7~ 2.2	1.3~ 1.7	0.9~ 1.3	1.3~ 1.7	0.9~ 1.3	0.55 ~0.9	
V ₂ 、V _{2a} (紫色土)										2.0~ 2.2	0.9~ 1.1	0.4~ 0.6						2.3~ 2.5	1.4~ 1.6	0.5~ 0.7								
V ₃										1.7~ 1.9	0.8~ 1.0	0.4~ 0.6						1.9~ 2.1	1.3~ 1.5	0.5~ 0.7								

续上表

土组 路槽底至 水位(m) 临界 高度 (m) 自然区划	砂性土									粘性土									粉性土								
	地下水			地表长 期积水			地表临 时积水			地下水			地表长 期积水			地表临 时积水			地下水			地表长 期积水			地表临 时积水		
	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃
V ₂ 、V _{2a} (黄壤土、 现代冲积土)										1.7~ 1.9	0.7~ 0.9	0.3~ 0.5							2.3~ 2.5	1.4~ 1.6	0.5~ 0.7						
V ₄ 、V ₅ 、V _{5a}										1.7~ 1.9	0.9~ 1.1	0.4~ 0.6							2.2~ 2.5	1.4~ 1.6	0.5~ 0.7						
VI ₁	(2.1)	(1.7)	(1.3)	(1.8)	(1.4)	(1.0)	0.7	0.3		(2.3)	(1.9)	(1.6)	(2.1)	(1.7)	(1.3)	0.9	0.5		(2.5)	(2.0)	(1.6)	(2.3)	(1.8)	(1.3)	(1.2)	0.7	0.4
VI _{1a}	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(1.7)	(1.3)	(1.0)	(1.0)	(0.5)		(2.2)	(1.9)	(1.5)	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)		(2.5)	(2.0)	(1.5)	(2.2)	(1.7)	(1.2)	0.6		
VI ₂	1.4~ 1.7	1.1~ 1.4	0.9~ 1.1	1.1~ 1.4	0.9~ 1.1	0.6~ 0.9	0.9~ 1.1	0.7~ 0.9	0.4~ 0.6	2.2~ 2.75	1.65~ 2.2	1.2~ 1.65	1.65~ 2.2	1.2~ 1.65	0.75~ 1.2	1.2~ 1.65	0.75~ 1.2	0.45~ 0.75	2.3~ 2.15	1.85~ 2.3	1.40~ 1.85	1.85~ 2.3	1.40~ 1.85	0.9~ 1.4	1.4~ 1.85	0.9~ 1.4	0.5~ 0.9
VI ₃	(2.1)	(1.7)	(1.3)	(1.9)	(1.5)	(1.1)				(2.4)	(2.0)	(1.6)	(2.1)	(1.7)	(1.4)	(0.8)	(0.6)		(2.6)	(2.1)	(1.6)	(2.4)	(1.8)	(1.4)	(1.3)	(0.7)	
VI ₄	(2.2)	(1.8)	(1.4)	(1.9)	(1.5)	(1.2)	0.8			2.4	2.0	1.6	(2.2)	(1.7)	(1.3)	1.0	0.6		(2.6)	(2.2)	1.7	2.4	1.9	1.4	1.3	0.8	
VI _{4a}	(1.9)	(1.5)	(1.1)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)			(2.2)	(1.7)	(1.4)	(1.9)	(1.4)	(1.1)	0.7			(2.4)	(1.9)	1.4	2.1	1.6	1.1	1.0	0.5	
VI _{4b}	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(1.7)	(1.3)	(1.0)				(2.3)	(1.8)	(1.4)	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(0.8)			(2.5)	1.9	1.4	(2.2)	(1.7)	(1.2)	1.0	0.5	
VII ₁	(2.2)	(1.9)	(1.6)	(2.1)	(1.6)	(1.3)	(0.8)	(0.4)		2.2	(1.9)	(1.5)	(2.1)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)		(2.5)	2.0	1.5	(2.4)	1.8	1.3	1.1	0.6	
VII ₂										(2.3)	(1.9)	(1.6)	1.8	1.4	1.1	0.8	0.4		(2.5)	(2.1)	(1.6)	(2.2)	(1.6)	(1.1)	0.9	0.4	
VII ₃	1.5~ 1.8	1.2~ 1.5	0.9~ 1.1	1.2~ 1.5	0.9~ 1.2	0.6~ 0.9	0.9~ 1.2	0.7~ 0.9	0.4~ 0.6	2.3~ 2.85	1.75~ 2.3	1.3~ 1.75	1.75~ 2.3	1.3~ 1.75	0.75~ 1.3	1.3~ 1.75	0.75~ 1.3	0.45~ 0.75	2.4~ 3.1	2.0~ 2.4	1.6~ 2.0	(2.0~ 2.4)	(1.6~ 2.0)	(1.0~ 1.6)	(1.6~ 2.0)	1.0~ 1.6	0.55 ~1.0
VII ₄	(2.1)	(1.6)	1.3	(1.8)	(1.4)	1.0	(0.9)			(2.1)	(1.6)	(1.3)	(1.8)	(1.4)	(1.1)	(0.7)			(2.3)	(1.8)	(1.3)	(2.1)	(1.6)	(1.1)			
VII ₅	(3.0)	(2.4)	1.9	(2.4)	(2.0)	1.6	(1.5)	(1.1)	(0.5)	(3.3)	(2.6)	(2.1)	(2.4)	(2.0)	(1.6)	(1.5)	(1.1)	(0.5)	(3.8)	(2.2)	(1.6)	(2.9)	(2.2)	(1.5)		(1.3)	(0.5)
VII _{6a}										(2.8)	2.4	1.9	2.5	2.0	1.6	1.4	(0.8)		(2.9)	(2.5)	1.8	(2.7)	2.1	1.5	1.6	1.1	

注 ①表中 H₁ 为路基干燥和中湿状态的临界高度 H₂ 为路基中湿和潮湿状态的临界高度 H₃ 为路基潮湿和过湿状态的临界高度；

②缺少资料的二级区可暂先论证地参考相邻二级区数值 并积极调研积累本地区的资料。

界高度；

H_3 对应于 w_{G3} 为潮湿和过湿状态的临界高度。

路床表面距地下水位或地表长期积水水位的最小高度称为路基临界高度。

地下水位或地表长期积水水位,可通过公路勘察设计野外调查获得。路基高度可从路线纵断面图或路基设计表中查得,扣除预估的路面厚度,即可得路床表面距地下水位或地表长期积水水位的高度 H 。以此时实际的 H 与区别各种状态的临界高度 H_1 、 H_2 、 H_3 比较,便可得这个横断面路基干湿类型的判定。

路基临界高度可根据土质、气候因素按当地经验确定。不同自然区划及土质时的临界高度参考值见表 2-1-1-3。

本章小结

(1)影响路基路面稳定性的因素主要有地理条件、地质条件、气候条件和水文水力条件,此外还有一些人为的因素。

(2)路基路面应具有的基本性能有承载能力、稳定性、表面平整度和表面抗滑性能。

(3)路基土可分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土 4 大类,共 11 种。

(4)路(土)基干湿类型可分为干燥、中湿、潮湿和过湿 4 种。要求路基工作在干燥和中湿状态。路基干湿类型判断有根据平均稠度和路基临界高度划分两种方法,其分别适用于老路拓宽改造和新建公路时。

思考题与习题

1. 影响路基路面稳定性的因素有哪些？
2. 路基路面应具有哪些基本性能？稳定性中又包含哪些方面？
3. 从工程性质上来说,路基用土哪种土最好？哪类土最差？为什么？
4. 路基干湿类型有哪几类？要求路基工作在什么状态？
5. 何谓稠度？何谓路基临界高度？它们各自对路基设计起什么作用？

第二章

一般路基设计

教学要求

1. 解释一般路基与特殊路基的区别；
2. 描述路基 3 种典型横断面形式 路堤、路堑各自常用的横断面形式 进行填挖结合的综合运用；
3. 描述路基常用的各种附属设施 运用一般路基几何尺寸（包括路基宽度、路基高度、边坡坡度）；
4. 描述土质、石质路堤、路堑边坡值采用的区别。

• 第一节 路基典型横断面形式及其特点 •

一般路基是指在良好的地质与水文等条件下,未超过设计规范中规定的数值,填方高度和挖方深度不大的路基。通常一般路基可以结合当地的地形、地质情况,直接选用典型横断面作各横断面设计图,不必进行个别验算。对于超过规范规定的高填、深挖路基,以及地质和水文等条件不良的路基称为特殊路基。为了确保路基具有足够的强度与稳定性,特殊路基需要进行个别设计和验算。

通常,根据公路路线设计确定的路基标高与天然地面标高是不同的,路基设计标高低于天然地面标高时,需进行挖掘;路基设计标高高于天然地面标高时,需进行填筑。由于填挖情况的不同,路基横断面的典型形式可归纳为路堤、路堑和填挖结合(又称为半填半挖)等 3 种类型。路堤是指在原地面上全部用土、石填筑而成的路基;路堑是指在原地面上开挖而成的路基;当天然地面横坡较大、且路基较宽,需要一侧开挖而另一侧填筑时,为填挖结合路基。在丘陵或山区公路上,填挖结合是路基横断面的主要形式。

一、路 堤

图 2-1-2-1 所示为路堤的几种常见横断面形式。按路堤的填土高度不同,可划分为矮路堤、高路堤和一般路堤。当填土高度小于 1.0~1.5m 时,属于矮路堤;填土高度大于 18m(土质)或 20m(石质)时,属于高路堤;填土高度在 1.5~18m 范围内的路堤属于一般路堤。此外,随其所处的条件和加固类型的不同,还有浸水路堤、护脚路堤及挖沟填筑路堤等形式。

矮路堤通常在平坦地区取土困难时选用。平坦地区地势低,水文条件较差,易受地面水和地下水的影响,设计时应注意路基标高力求不低于规定的临界高度,使路基处于干燥或中湿状

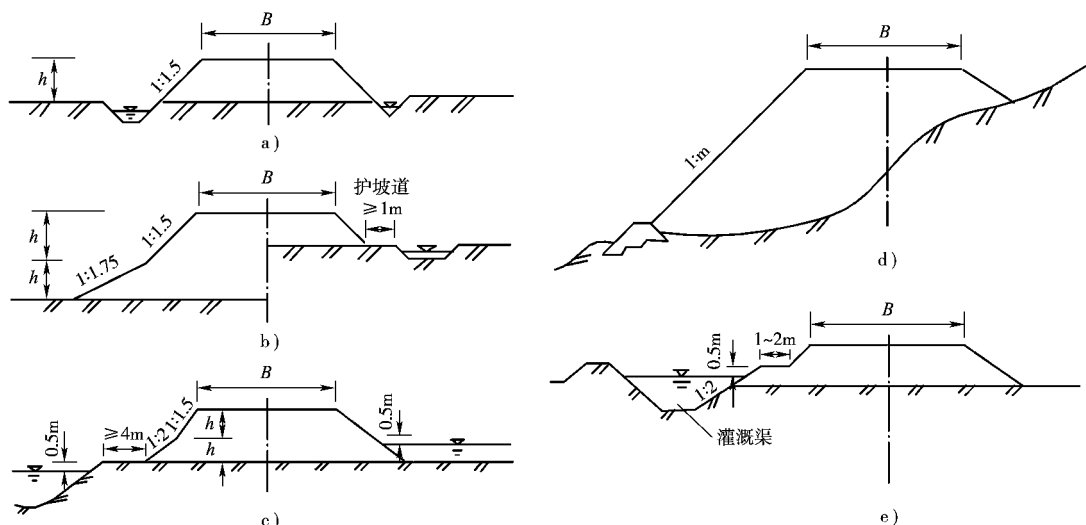


图 2-1-2-1 路堤的几种常用横断面形式

a)矮路堤 b)一般路堤 c)浸水路堤 d)护脚路堤 e)挖沟填筑路堤

态。路基两侧均应设边沟。矮路堤的高度接近或小于路基工作区的深度时,除填方路堤本身需要满足规定的施工要求外,天然地面也应按规定进行压实,达到规定的压实度,必要时进行换土或加固处理,以保证路基路面的强度和稳定性。

填方高度不大 $h=2\sim 3\text{m}$ 时,填方数量较少,全部或部分填土可以在路基两侧设置取土坑取土,有条件时使其与排水沟渠相结合。为保护填方坡脚不受临近流水侵害,保证边坡稳定,可在坡脚与沟渠之间预留 $1\sim 2\text{m}$ 甚至 4m 宽的护坡道。地面横坡较陡时,为防止填方路基沿山坡向下滑动,应将路基下的天然地面挖成台阶,或在路基边坡坡脚设置砌石护脚。

高路堤的填方数量大、占地多,为了使路基稳定同时横断面经济合理,需进行单独设计。高路堤和浸水路堤的边坡,可采用上陡下缓的折线形,或台阶形(即在边坡中部设置护坡道)。

二、路 堑

图 2-1-2-2 所示是路堑的几种常见横断面形式,有全挖路基、台口式路基及半山洞路基。挖方边坡可视高度和岩土层情况设置成直线或折线。挖方边坡的坡脚处可设置边沟,路堑的上方可设置截水沟用来排水。挖方弃土可堆放在路堑的下方,但不能造成对坡下的环境影响。边坡坡面易风化时,可采用防护措施,必要时可在坡角处设置 $0.5\sim 1.0\text{m}$ 的碎落台。

陡坡上的半路堑,路中线宜向内侧移动,尽量采用台口式路基,避免路基外侧难以稳定的少量填方。遇有整体性的坚硬岩层,为减少开挖石方量,可采用半山洞路基。

对于路堑开挖后形成的路基及地基,要求人工压实至规定的压实程度,必要时还应翻开,重新分层填筑分层碾压。当路堑挖方处土质或水文状况不良时,应进行地基加固和设置必要的排水设施。

三、填 挖 结 合

为了减少土石方数量,保持土石方数量横向平衡,位于山坡上的路基,通常取路中心的标

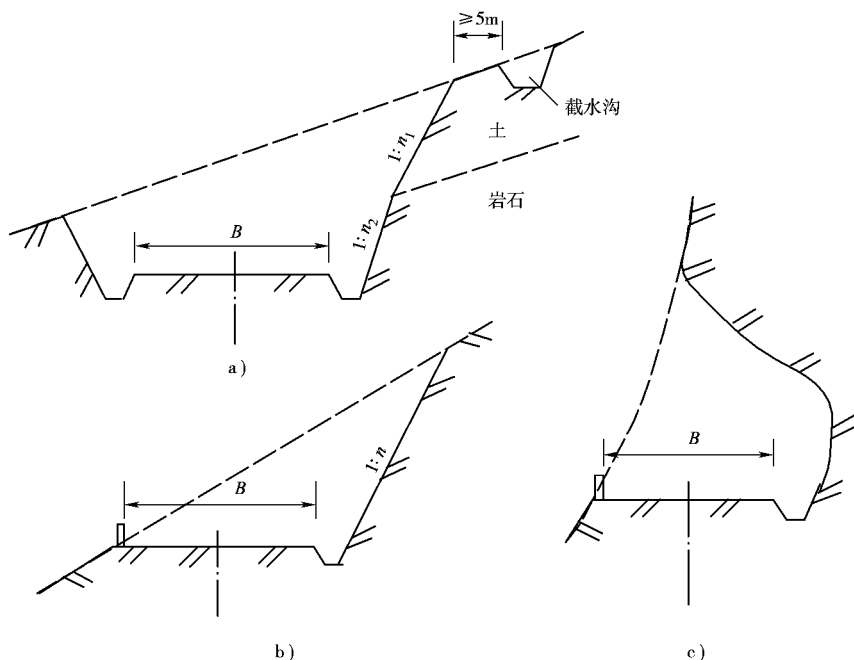


图 2-1-2-2 路堑的几种常用横断面形式

a)全挖路基 b)台口式路基 c)半山洞路基

高接近原地面的标高,形成填挖结合(半填半挖)路基。若处理得当,路基稳定可靠,是比较经济的断面形式。

填挖结合路基兼有路堤和路堑两者的特点,上述对路堤和路堑的分别要求均应满足。

上述 3 类路基横断面形式,各具特点,分别在一定条件下使用。由于地形、地质、水文等自然条件差异性很大,且路基位置、横断面尺寸及要求等,亦应服从于路线、路面及沿线结构物的要求。所以路基横断面类型的选择,必须因地制宜,综合设计。

• 第二节 路基附属设施及功能 •

与一般路基工程有关的附属设施有取土坑、弃土堆、护坡道、碎落台、堆料坪及错车道等,这些设施是路基设计的组成部分。为了确保路基的强度、稳定性和行车安全,正确合理地设置是十分重要的。

一、取土坑与弃土堆

路基土石方的挖填平衡,是公路路线设计的基本原则,但往往难以做到完全平衡。土石方数量经过合理调配后,仍然会有部分借方和弃方(又称废方)。路基土石方的借弃,首先要合理选择地点,即确定取土坑或弃土堆的位置。选点时要兼顾土质、数量、用地范围及运输条件等因素,结合沿线区域规划,因地制宜、综合考虑。并且注意自然环境保护,防止水土流失。

平坦地区,如果用土量较少,可以沿路两侧设置取土坑,与路基排水和农田灌溉相结合。路旁取土坑如图 2-1-2-3 所示,深度约 1.0m 或稍更深一些,宽度依用土数量和用地容许情况而定。当堤顶与坑底高差不足 2.0m 时,为防止坑内长期高水位积水危害路基,坑底应设纵横排水坡及相应设施。

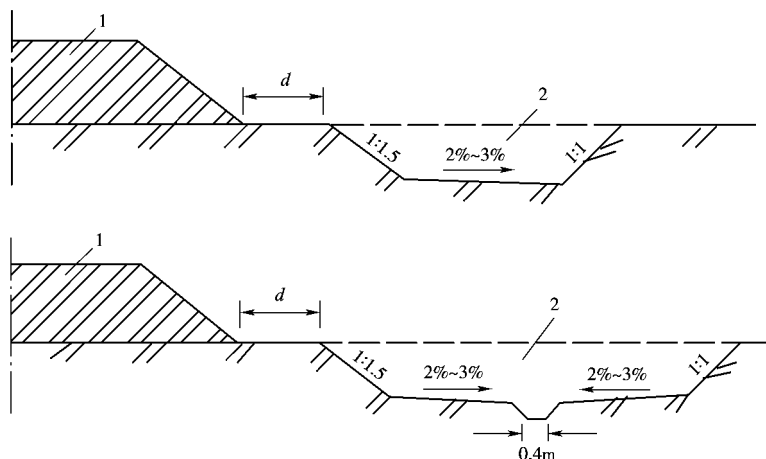


图 2-1-2-3 路旁取土坑

1-路堤 2-取土坑

河水淹没地段的桥头引道近旁,一般不设取土坑。如设取土坑,要距桥头引道与河流的水位边界 10m 以外。此类取土坑要求排水畅通,不得长期积水危及路基或构造物的稳定。路基开挖的废方,应尽量加以利用。如用以加宽路基或加固路堤,填补坑洞、路旁洼地等,亦可兼顾农田水利或工民建等所需,做到变废为用,弃而不乱。

废方一般选择路旁低洼地就近堆弃。原地面倾斜横坡度小于 1:5 时,路旁两侧均可设置弃土堆,坡面较陡时,宜设在路基下方。沿河路基爆破后的废石方,往往难以远运,条件许可时可以部分占用河道,但要注意河道压缩后,水流流速增大,不致冲刷引起路基滑塌,不致壅水引起危及上游路基及附近农田等。

图 2-1-2-4 所示为路旁弃土堆一例。要求堆弃整平,顶面具有适当横坡,并设平台、三角土块及排水沟。宽度 d 与地面土质有关,最少 3.0m,最大可按路堑深度加 5.0m,即 $d \geq H + 5.0\text{m}$ 。积砂或积雪地段的弃土堆,宜有利于防砂防雪,可设在迎面一侧,并具有足够的距离。

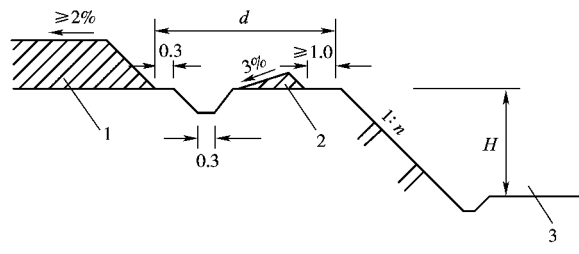


图 2-1-2-4 路旁弃土堆

1-弃土堆 2-平台与三角土块 3-路堑

二、护坡道与碎落台

护坡道是保护路基边坡稳定性的措施之一。设置的目的是加宽边坡横向距离,减少边坡平均坡度。护坡愈宽,愈有利于边坡稳定,但是工程数量亦随之增大,因此要从边坡稳定性和经济合理性两方面加以兼顾。通常护坡道宽度 d ,视边坡高度 h 而定: $h \geq 3.0\text{m}$ 时, $d = 1.0\text{m}$; $h = 3 \sim 6\text{m}$ 时, $d = 2\text{m}$; $h = 6 \sim 12\text{m}$ 时, $d = 2 \sim 4\text{m}$ 。

护坡道一般设在挖方坡脚处,边坡较高时亦可在边坡上方及挖方边坡的变坡处。浸水路基的护坡道,可设在浸水线上的边坡上。

碎落台设于土质或石质土的挖方边坡坡脚处。主要供零星土石碎块下落时临时堆积,以保护边沟不致阻塞,亦有护坡道的作用;山区公路弯道内侧设碎落台时,还可增大行车通视范围。碎落台宽度一般为 $1.0 \sim 1.5\text{m}$,如兼有护坡作用,可适当放宽。碎落台上的堆积物应定期清理。

三、堆料坪与错车道

路面养护所用砂石材料,可就近选择路旁合适地点堆置备用。也可在路肩外缘设置堆料坪,其面积可结合地形与材料数量而定,例如每隔 $50 \sim 100\text{m}$ 设一个堆料坪,长约 $5 \sim 8\text{m}$,宽 2m 。高等级公路采用机械化养护路面的路段,往往集中设置备用料场,此时可以不设堆料坪。低等级公路设置单车道时,考虑双向会车相互避让的需要,通常应每隔 $200 \sim 500\text{m}$ 设置一处错车道。按规定错车道的长度不得短于 30m ,两端各有长度为 10m 的出入过渡段,中间 10m 供停车用。单车道的路基宽度为 4.5m ,而错车道段的路基宽度为 6.5m 。错车道是单车道路基的一个组成部分,应与路基同时设计与施工。

• 第三节 一般路基几何尺寸设计 •

在工程地质和水文条件良好的地段修筑一般路基的设计包括以下内容:

- (1)选择路基横断面形式,确定路基宽度与路基高度;
- (2)选择路堤填料与压实标准;
- (3)确定边坡形状与坡度;
- (4)路基排水系统布置和排水结构设计;
- (5)坡面防护与加固设计;
- (6)附属设施设计。

本节仅介绍(1)、(3)两点,即有关一般路基几何尺寸设计的内容。

一、路基宽度

路基宽度为行车道路面及其两侧路肩宽度之和。高等级的公路,设有中间带、路缘石、变速车道、爬坡车道、紧急停车带等,均应包括在路基宽度范围内。路面宽度根据设计能力及交通量大小而定,一般每个车道为 $3.50 \sim 3.75\text{m}$,技术等级高的公路及城镇近郊的一般公路,路肩宽度尽可能增大,一般取 $1 \sim 3\text{m}$,并铺筑硬质路肩,以保证路面行车不受干扰。各级公路路

基宽度按《标准》的规定进行设计,如图 2-1-2-5 和表 2-1-2-1 所示。

路基需要占用土地,尤其是占用耕地,这对于我国许多人多地少地区是个突出问题。公路建设应尽量利用非农业用地,少占农田。建路占地必须综合规划,统筹兼顾,讲究经济效益,农业和交通相互促进。山坡路基应尽量填挖平衡,减少高填深挖,防止水土流失,维护生态平衡。

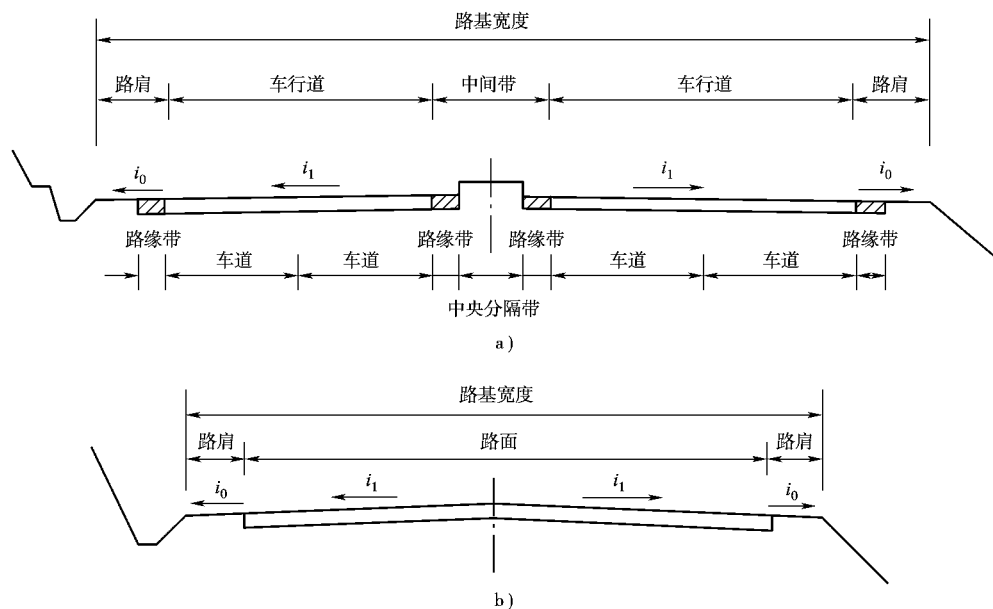


图 2-1-2-5 公路路基宽度图

a)高速公路和一级公路 b)二、三、四级公路

公路路基宽度

表 2-1-2-1

公路等级		高速公路、一级公路								
设计速度 (km/h)		120			100			80		60
车道数		8	6	4	8	6	4	6	4	4
路基宽度 (m)	一般值	45.00	34.50	28.00	44.00	33.50	26.00	32.00	24.50	23.00
	最小值	42.00	—	26.00	41.00	—	24.50	—	21.50	20.00
公路等级		二级公路、三级公路、四级公路								
设计速度(km/h)		80	60	40	30	20				
车道数		2	2	2	2	2 或 1				
路基宽度 (m)	一般值	12.00	10.00	8.50	7.50	6.50(双车道)		4.50(单车道)		
	最小值	10.00	8.50	—	—	—				

二、路基高度

路基高度表示的是路堤的填筑高度或路堑的开挖深度。路基高度是指路基中心线处设计

标高与原地面标高之差。由于原地面沿横断面方向往往是倾斜的,因此在路基宽度范围内,两侧的高差常有差别。路基两侧的边坡高度是指填方坡脚或挖方坡顶与路肩边缘的相对高差。所以路基高度(亦称中心高度)与边坡高度是有区别的。

路基的填挖高度是在路线纵断面设计时,综合考虑路线纵坡要求、路基稳定性和工程经济等因素确定的。从路基的强度和稳定性要求出发,路基上部土层应处于干燥或中湿状态,路基高度应根据临界高度,并结合公路沿线具体条件和排水及防护措施,确定路堤的最小填土高度。

路堤填土的高矮和路堑挖方的深浅,可按《公路路基设计规范》(JTJ 013—1995)的规定范围,使用常规的边坡高度值。

通常将大于18m的土质路堤和大于20m的石质路堤视为高路堤,将大于20m的路堑视为深路堑。高路堤和深路堑的土石方数量大、占地多、施工困难、边坡稳定性差,应尽量避免使用。不得已而一定要用时,应进行单独设计。

当路基高度低于按地下水水位或地表长期积水水位计算的临界高度时,可视为矮路堤。矮路堤的行车荷载应力作用区范围内,往往同时经受着地面或地下水的不良影响。为了增强路基路面的综合强度与稳定性,需要另行采用加强路面结构或增设地下排水设施。究竟如何合理确定路基的高度,需要进行综合比较后方可择优取用。

沿河及受水浸淹的路基,其高度应根据技术标准所规定的设计洪水频率,求得设计水位,再加0.5m的余量。如果河道因设置路堤而压缩过水面积,致使上游有壅水,或河面宽阔而有风浪,就应增加壅水高度和波浪侵袭高度。所以沿河浸水路堤的高度,应高出上述各值之和,以保证路基不致被淹没,并据此进行路基的防护与加固。

三、路基边坡坡度

路基边坡坡度的正确确定对路基稳定是十分重要的。路基的边坡坡度,可用边坡高度 H 与边坡宽度 b 之比值表示,并取 $H=1$,如图2-1-2-6所示, $H:b=1:0.5$ (路堑边坡)或 $1:1.5$ (路堤边坡),通常用 $1:n$ (路堑)或 $1:m$ (路堤)表示其边坡率。

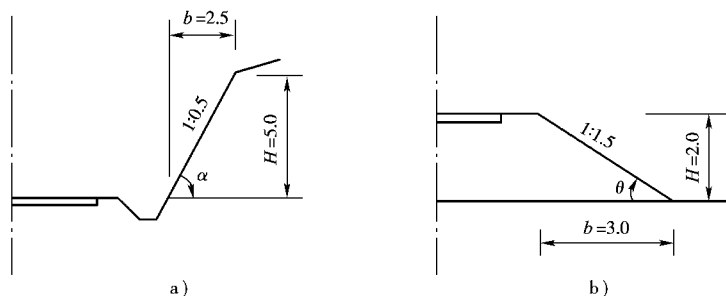


图 2-1-2-6 路基边坡坡度

a)路堑 b)路堤

路基边坡坡度的大小,取决于边坡的土质、岩石的性质及水文地质条件等自然因素和边坡的高度。在陡坡或填挖较大的路段,边坡稳定不仅影响到土石方工程量和施工的难易,而且是路基整体稳定性的关键。因此,确定边坡坡度对于路基的稳定性和工程的经济合理性至关重要。一般路基的边坡坡度可根据多年实践经验和设计规范推荐的数值采用。

1. 路堤边坡

一般路堤边坡坡度可根据填料种类和边坡高度按表 2-1-2-2 所列的坡度选用。

路堤边坡坡度表

表 2-1-2-2

填 料 种 类	边坡的最大高度(m)		边 坡 坡 度			
	全部高度	上部高度	下部高度	全部高度	上部高度	下部高度
粘性土、粉性土、砂性土	20	8	12	—	1:1.5	1:1.75
砂、砾	12	—	—	1:1.5	—	—
漂(块)石土、卵石土、砾(角砾)类土、碎石土	20	12	8	—	1:1.5	1:1.75
不易风化的石块	20	8	12	—	1:1.3	1:1.5

路堤边坡高度超过表列数值时,属高路堤,应进行单独设计。

沿河浸水路堤的边坡坡度,在设计水位以下视填料情况可采用 1:1.75 ~ 1:2.0,在长水位以下部分可采用 1:2.0 ~ 1:3.0。

当公路沿线有大量天然石料或路堑开挖的废石方时,可用以填筑路堤。填石路堤应由不易风化的较大(大于 25cm)石块砌筑,边坡坡度一般可用 1:1。

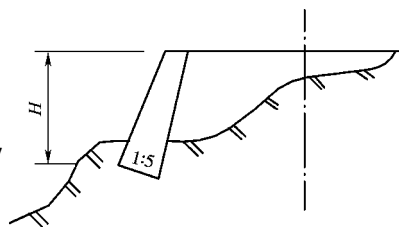


图 2-1-2-7 砌石

陡坡上的路基填方可采用砌石,如图 2-1-2-7 所示,砌石顶宽一律采用 0.8m,基底面以 1:5 的坡率向路基内侧倾斜,砌石高度 H 一般为 2 ~ 15m,墙的内外坡依砌石高度,按表 2-1-2-3 选用。

砌石边坡坡度表

表 2-1-2-3

序 号	高 度(m)	内 坡 坡 度	外 坡 坡 度
1	≤5	1:0.3	1:0.5
2	≤10	1:0.5	1:0.67
3	≤15	1:0.6	1:0.75

在地震地区应参照《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—89)执行。规范规定,高速公路和一级公路的路堤,边坡高度大于表 2-1-2-4 的规定时,应放缓边坡坡度。

路堤边坡高度限值

表 2-1-2-4

填 料	基 本 烈 度	
	8	9
岩块和细粒土(粉性土和有机质土除外)(m)	15	10
粗粒土(细砂、极细砂除外)(m)	6	3

2. 路堑边坡

设计路堑边坡坡度时,应从地貌、地质构造上,尤其是路堑开挖后的实际情况,判断其整体稳定性。在遇到工程地质或水文地质条件不良的地段时,应尽量使路线避让它,而对于原稳定的地层,则应考虑开挖后,是否会由于减少支承,坡面加剧风化而引起失稳。

影响路堑边坡稳定的因素较为复杂,除了路堑深度和坡体土石的性质之外,地质构造特

征、岩石的风化和破碎程度、土层的成因类型、地面水和地下水的影响、坡面的朝向以及当地的气候条件等,这些在边坡设计时必须综合考虑。

土质路堑边坡,应根据边坡高度、土的密实程度、土的成因及生成年代、地下水和地面水的情况等因素,参照表 2-1-2-5、表 2-1-2-6 规定选定。

土质挖方边坡坡度表

表 2-1-2-5

密实程度	边坡高度(m)	
	<20	20~30
胶结	1:0.3~1:0.5	1:0.5~1:0.75
密实	1:0.5~1:0.75	1:0.75~1:1.0
中密	1:0.75~1:1.25	1:1.0~1:1.5
较松	1:1.0~1:1.5	1:1.5~1:1.75

注:①边坡较矮或土质比较干燥的路段,可采用较陡的边坡坡度;边坡较高或土质比较潮湿的路段,可采用较缓的边坡坡度。

②开挖后,密实程度很容易变松的砂类土及砾类土等路段,应采用较缓的边坡坡度。

③土的密实程度划分见表 2-1-2-6。

土的密实程度划分表

表 2-1-2-6

分级	试坑开挖情况
胶结	细粒土密实度很高,粗颗粒之间呈弱胶结,试坑用镐开挖很困难,天然坡面可以陡立
密实	试坑坑壁稳定,开挖困难,土块用手用力才能破碎,从坑壁取出大颗粒处能保持凹面形状
中密	天然坡面不易陡立,试坑坑壁有掉块现象,部分需用镐开挖
较松	铁锹很容易铲入土中,试坑坑壁容易坍塌

岩石路堑边坡,一般是根据地质构造、岩石的种类、特性、风化程度及边坡的高度等主要因素来决定坡率的。设计时往往对照相似工程的成功经验选定边坡坡率,表 2-1-2-7 和表 2-1-2-8 供参考。

岩石挖方边坡坡度表

表 2-1-2-7

岩石种类	风化破碎程度	边坡坡度(m)	
		<20	20~30
1. 各种岩浆岩	轻度	1:0.1~1:0.2	1:0.1~1:0.2
2. 厚层灰岩或硅、钙质砂砾岩	中等	1:0.1~1:0.3	1:0.2~1:0.4
3. 片麻、石英、大理岩	严重	1:0.2~1:0.4	1:0.3~1:0.5
	极重	1:0.3~1:0.75	1:0.5~1:1.0
1. 中薄层砂、砾岩	轻度	1:0.1~1:0.3	1:0.2~1:0.4
2. 中薄层灰岩	中等	1:0.2~1:0.4	1:0.3~1:0.5
3. 较硬的板岩、千枚岩	严重	1:0.3~1:0.5	1:0.5~1:0.75
	极重	1:0.5~1:1.0	1:0.75~1:1.25
1. 薄层砂、页岩	轻度	1:0.2~1:0.4	1:0.3~1:0.5
2. 千枚岩、云母、绿页泥、滑石	中等	1:0.3~1:0.5	1:0.5~1:0.75
片岩及岩质页岩	严重	1:0.5~1:1.0	1:0.75~1:1.25
	极重	1:0.75~1:1.25	1:1.0~1:1.5

岩石风化破碎程度分级表

表 2-1-2-8

分级	外观特征				
	颜色	矿物成分	结构构造	破碎程度	强度
轻度	较新鲜	无变化	无变化	节理不多,基本上是整体,节理基本不张开	基本上不降低,锤敲很容易回弹
中等	造岩矿物失去光泽、色变暗	基本不变	无显著变化	开裂成 20 ~ 50cm 的大块状,大多数节理张开较小	有减低,用锤敲声音仍较清脆
严重	显著改变	有效生矿物产生	不清晰	开裂成 5 ~ 20cm 的碎石状,有时节理张开较多	有显著降低,用锤敲声音低沉
极重	变化极重	大部成分已改变	只具外形,矿物间已失去结晶联系	节理极多,爆破以后多呈碎石土状,有时细粒部分已具塑性	极低,用锤敲时,不易回弹

在地震地区的岩石路堑边坡坡率应参考《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—89)规定。当岩石路堑边坡高度超过 10m 时,边坡坡度应按表 2-1-2-9 采用。

高度超过 10m 的岩石挖方边坡的坡度

表 2-1-2-9

岩石种类	基本烈度	
	8	9
风化岩石	1:0.6 ~ 1:1.5	1:0.75 ~ 1:1.5
一般岩石	1:0.1 ~ 1:0.5	1:0.2 ~ 1:0.6
坚石	1:0.1 ~ 直立	1:0.1 ~ 直立

本章小结

(1)一般路基是指在良好的地质与水文等条件下,未超过设计规范所列表格中规定的数值,填方高度和挖方深度不大的路基。一般路基可直接选用典型横断面作各横断面设计图,不必进行个别验算。超过规范规定的高填、深挖路基,以及地质和水文等条件不良的路基称为特殊路基。特殊路基需要进行个别设计和验算。

(2)横断面的典型形式可分为路堤、路堑和填挖结合(又称为半填半挖)等 3 种类型。路堤、路堑分别有各种常用的横断面形式,填挖结合则是两者的综合运用。

(3)与一般路基工程有关的附属设施有取土坑、弃土堆、护坡道、碎落台、堆料坪及错车道等。

(4)一般路基的几何尺寸包括路基宽度、路基高度和边坡坡度。

路基宽度为行车道路面及其两侧路肩宽度之和。高等级的公路,设有中间带、路缘石、变速车道、爬坡车道、紧急停车带等,均应包括在路基宽度范围内。

路基高度表示的是路堤的填筑高度或路堑的开挖深度。路基高度是指路基中心线处设计

标高与原地面标高之差。

路基的边坡坡度,可用边坡高度 H 与边坡宽度 b 之比值表示。

思考题与习题

1. 何谓一般路基?何谓特殊路基?两者在设计方法上有什么区别?
2. 路基典型横断面有哪 3 种形式?
3. 常用路堤横断面有哪些形式?常用路堑横断面又有哪些形式?
4. 同一种土的路堤边坡坡度与路堑边坡坡度哪个陡?为什么?
5. 路基高度与路基边坡高度有什么区别?
6. 路基边坡坡度的大小取决于哪些因素?
7. 护坡道与碎落台的作用有何异同?



第三章

路基路面排水

教学要求

1. 根据影响路基两类水源,分析危害路基的地面水和地下水各自包括的范畴;
2. 描述路基和路面各自的排水目的,以及路基路面排水设计的一般原则;
3. 描述路基常用的各种地面排水设施及其各自的作用;
4. 描述各种地下排水设施及其各自的作用;
5. 描述路面表面排水设计应遵循的原则,描述路面3类排水设施的内容及各自的作用。

• 第一节 概 述 •

路基路面的强度与稳定性同水的关系十分密切。路基路面的病害有多种,形成病害的因素亦很多,但水的作用是主要因素之一。因此在路基路面设计、施工和养护中,必须十分重视路基路面的排水设施。

根据水源的不同,影响路基的水源可分为地面水和地下水两大类,与此相适应的路基排水工程,则分为地面排水设施和地下排水设施。目前路幅较宽的高等级公路,还加强了路面排水设施。

危害路基的地面水,包括大气降水(雨和雪),坡面向着路基一侧流向路基基身的水,大小河流流经路基近旁的水,以及湖、海、水库、水渠造成的路基旁长期积水等。

危害路基的地下水,包括影响路基上部较高的地下水位、毛细水、地下泉水及暗流水等。

水对路面的危害主要表现为:渗入路面结构层,降低路面材料的强度,引起路面基层、底基层承载能力下降;在水泥混凝土路面的接缝、沥青类路面的裂缝及路肩处造成唧泥;在冻胀地区,融冻季节路面下结构层的存水会引起路基翻浆。

一、排水的目的与要求

路基排水的目的,就是将路基范围内的土基湿度降低到一定的限度以内,保持路基常年处于干燥与中湿状态。目前路面排水的目的,就是设法将水在路面以外尽快排除,防止渗入下面的结构层和路基。这样确保路基及路面具有足够的强度与稳定性。

路基设计时,必须考虑将影响路基稳定性的地面水,排除和拦截于路基用地范围之外,并防止地面水漫流、滞积或下渗。对于影响路基稳定性的地下水,则应予以隔断、疏干或降低,并引导至路基范围以外的适当地点去。

路基施工中,首先应校核全线路基排水系统的设计是否完备和妥善,必要时应予以补充或修改,并重视排水工程的质量和使用效果。此外,应根据实际情况与需要,设置施工现场的临时性排水措施,以保证路基土石方及附属结构物在正常条件下进行施工作业,消除路基基底和土体内与水有关的隐患,保证路基工程的质量。

路基养护中,对排水设施应定期检查与维修,以保证排水设施的正常使用,水流畅通,并根据实际情况不断改善路基排水条件。

路面排水系统通常有3方面的要求:一是各项设施应具有足够的泄水能力,满足排除渗入路面结构内的自由水的需要;二是自由水在路面结构内的渗流时间不能太长,渗流路径不能太长;三是排水设施要有较好的耐久性。

二、路基路面排水设计的一般原则

路基路面排水设计应遵循的一般原则可以归纳为:

(1)摸清水源,全面规划,因势利导,综合治理。设计前必须进行充分的调查研究,充分利用有利地形和自然水系,以使排水系统的规划和设计做到正确合理。

(2)保护生态环境,与农田水利相配合。路基边沟一般不应用作农田灌溉渠道,两者必须合并使用时,边沟的断面应加大,并予以加固,以防水流危害路基。

(3)排水设计应经济适用。一般情况下地面和地下设置的沟渠,宜短不宜长,起到及时疏散、就近分流的作用。尽量选择有利地形地质条件布设排水沟渠,以减少沟渠的防护与加固工程量。

(4)防重于治,防治结合。路线设计时应考虑路基排水,排水沟渠的出水口应就近引至天然沟、桥涵处;为了减少水对路面结构层及路基的破坏作用,首先应尽量阻止水进入路面结构,然后应对进入路面结构层的水,提供良好的排水设施,以便迅速排除。对于各种排水设施要定期检查、维修、清理,并根据实际情况,不断完善路基路面排水设施。

• 第二节 路基常用的地面排水设施 •

路基地面排水设施分别有边沟、截水沟、排水沟、跌水与急流槽、渡槽与倒虹吸等。常用的有边沟、截水沟和排水沟。这些地面排水设施的作用和要求均有所不同。

一、边 沟

边沟设置在挖方路基的路肩外侧或矮路堤的坡脚外侧,多与路中心线平行,用于汇集和排除路面、边坡范围内以及流向路基的少量地面水。常用的边沟断面形式有梯形、矩形、三角形或蝶形等,如图2-1-3-1所示。

高速公路、一级公路宜采用三角形或蝶形边沟,条件受限时而需采用矩形边沟时,应在顶面加带槽孔的混凝土盖板。二级及二级以下公路的土质边沟用梯形,石质边沟用矩形。易于积雪或积砂的路段,边沟宜用蝶形。某些较矮的路堤,如果用地许可,采用机械化施工时,边沟可用三角形。公路两侧为农田时,为了少占良田及防止农业用水时对路基的破坏,可采用石砌矩形边沟。

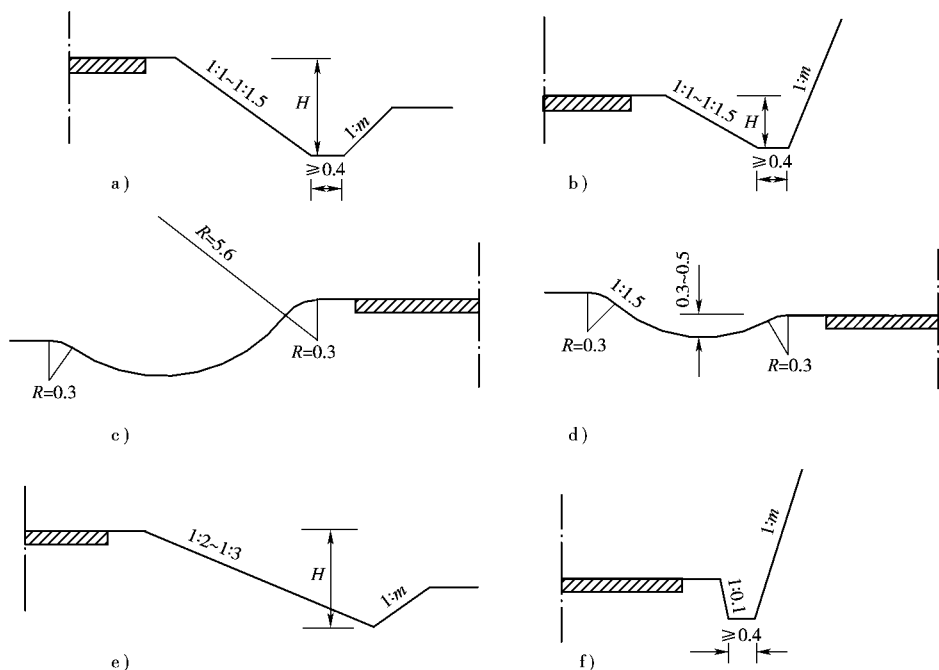


图 2-1-3-1 边沟横断面示意图(尺寸单位 m)

a)、b)梯形 c)、d)蝶形 e)三角形 f)矩形

梯形土质边沟的边坡,靠近路基的一侧常用 $1:1 \sim 1:1.5$,另一侧与挖方边坡坡度一致。土质或经铺砌加固的矩形边沟的边坡,可以直立或稍有倾斜。三角形边沟的边坡采用 $1:2 \sim 1:3$ 。蝶形边沟的边坡需修整圆滑,可防止积雪积砂。梯形及矩形边沟的深度和宽度,一般约 $0.4 \sim 0.6\text{m}$,多雨和潮湿地段不宜小于 0.5m ,干旱地区或少水路段尺寸可小些,但也不宜小于 0.3m 。边沟的排水量不大,一般不需进行水力水文计算,依沿线具体情况选用标准横断面。边沟紧靠路基,通常不容许其他排水沟渠的水引入,也不能与其他人工沟渠合并使用。

边沟的纵坡不宜过陡,以免水流冲刷造成损害,亦不宜过缓,造成水流不畅,形成阻滞和淤积。尽可能与路线纵坡保持一致。一般情况下,边沟纵坡以 $1\% \sim 2\%$ 为宜;任何情况下,沟底纵坡均不应小于 $0.3\% \sim 0.5\%$ 。当路线纵坡小于沟底最小纵坡时,边沟应采用沟底最小纵坡,并缩短边沟边沟出水口的间距。

边沟出水口的间距,一般地区不超过 500m ,多雨地区不超过 300m ,三角形和蝶形边沟不超过 200m 。边沟出水的排放应就近排至路旁自然水沟或低洼地带,必要时添设涵洞,将边沟水引至路基另一侧排出,如图 2-1-3-2 所示。边沟的进出水口是水流汇集和改向的部位,冲刷较严重,必须因地制宜妥善处理。

平曲线路段的边沟,水流方向改变,尤其是小半径平曲线,因设置超高,内侧边沟标高降低,可能形成低洼积水;山谷展线,路基排水条件较差;平坡路堑地段,难以保证边沟的最小纵坡;陡坡地段,路线常采用较陡纵坡,导致边沟纵坡较大。这些排水不利条件,宜结合路线设计及路基排水系统综合考虑,统筹安排。

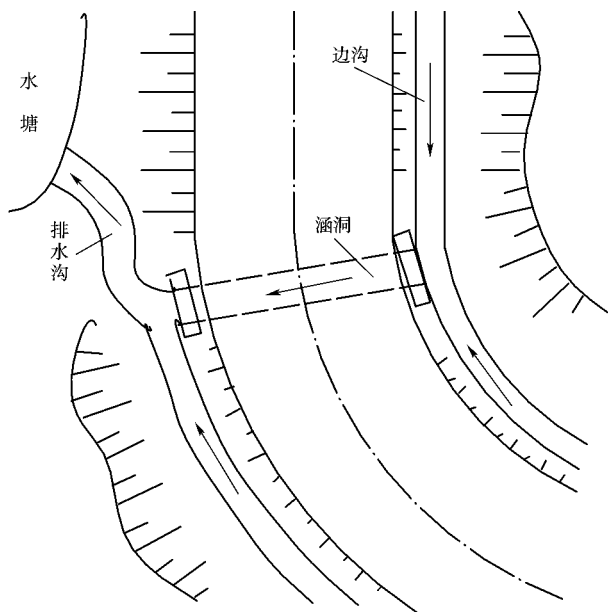


图 2-1-3-2 边沟水流通过涵洞排向路基另一侧

二、截水沟

截水沟设置在距路堑坡顶外缘或路堤坡脚外缘的一定距离(规范规定距路堑坡顶外缘不小于 5m,距路堤坡脚外缘不小于 2m)。设置截水沟的作用是:当路基一侧或两侧受较大坡面面积汇水影响时,单边拦截汇集水流并予以排除。因此路基两侧受水影响时,则应两侧分别设置。截水沟是多雨地区、山岭和丘陵地区路基排水的重要设施之一。通常梯形断面的截水沟,其深度与底宽不小于 0.5m,具有 1%~3% 的纵坡,靠近路基一侧设有挡水的土台,沟内必须防止渗水,出口应引伸到路基范围以外。常见的截水沟断面形式如图 2-1-3-3 所示。

三、排水沟

排水沟主要用于把来自边沟、截水沟或其他水源的水流引至桥涵或路基范围以外的指定地点。排水沟一般采用梯形断面,其断面尺寸通常需经过水力水文计算选定。

排水沟的布置离路基应尽可能远些,距路基坡脚不宜小于 3~4m,并且结合地形因势利导,平面上力求短捷平顺,以直线为宜;必须转弯时,尽量采用较大半径(10~20m 以上),圆缓顺畅。纵面上控制最大和最

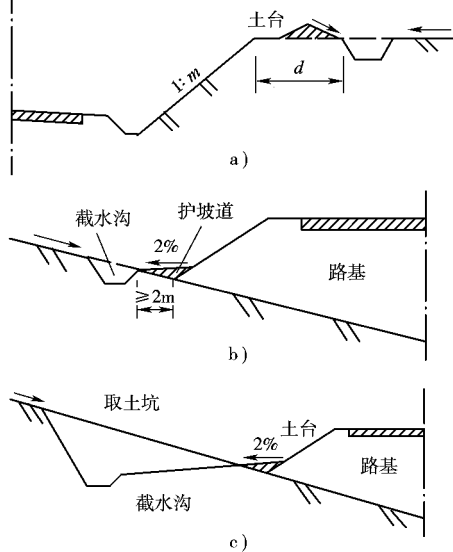


图 2-1-3-3 截水沟断面图

小纵坡,以1%~3%为宜。纵坡大于3%时,需要加固;大于7%时,则应改用跌水或急流槽。为避免水流过分集中,排水沟的全长一般不超过300m。排水沟与其他沟渠相接时,应使原水道不产生冲刷或淤积。一般应使排水沟与原水道成锐角相交,交角不大于45°,有条件时可采用半径 $R=10b$ (b 为沟底宽)的圆曲线,朝下游与原水道相连接。

四、跌水与急流槽

跌水与急流槽是路基地面排水沟渠的特殊形式,用于陡坡地段,沟槽的纵坡可达7%以上(跌水)或更陡(急流槽),是山区公路路基排水常见的结构物。

跌水是一种将沟底做成台阶状的人工沟渠。当高边坡水位落差较大,为了消能减速,便于水流安全进入涵洞而不至于冲刷时,可设置跌水。跌水有单级和多级之分。单级跌水用于边沟出水口标高与涵洞进水口标高水位落差较大,同时改变水流方向集中消能时,如图2-1-3-4所示。多级跌水用于水流通过较长陡坡,是为了逐步减缓水流速度,逐步消能而设,如图2-1-3-5所示。

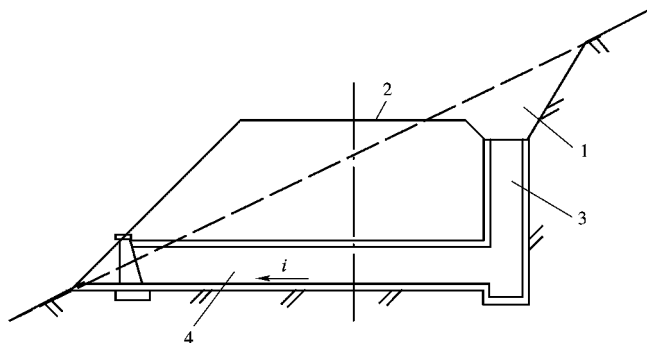


图 2-1-3-4 边沟与涵洞用单级跌水连接

1-边沟 2-路基 3-跌水 4-涵洞

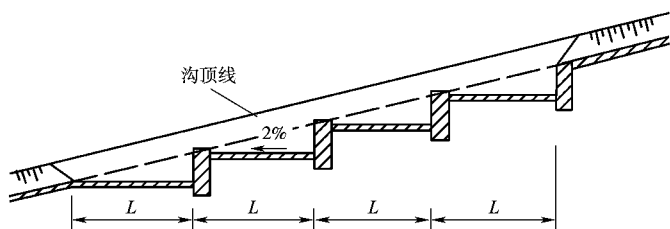


图 2-1-3-5 多级跌水纵剖面图

跌水的构造可分为进水口、消力池(槛)和出水口3个组成部分,如图2-1-3-6所示。进水口水流呈水跌现象,消力池(槛)起消能减速作用(当地基为土质或软石易开挖时,一般采用消力池;当地基为坚石不易开挖时,可采用消力槛);出水口是为了使水流镇定而设的段落。具体的尺寸可根据水力计算和结构强度计算确定。

通常在水平短距离内需要排泄急速水流,如陡坡路段涵洞的进出口附近连结处,或回头曲线上下线涵洞之间的连结处,可设置急流槽。急流槽的纵坡比跌水更陡,可达67%以上,如图2-1-3-7所示。

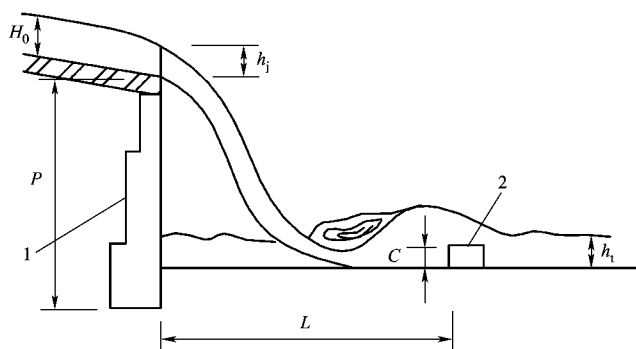


图 2-1-3-6 跌水构造示意图

1-护墙 2-消力槛

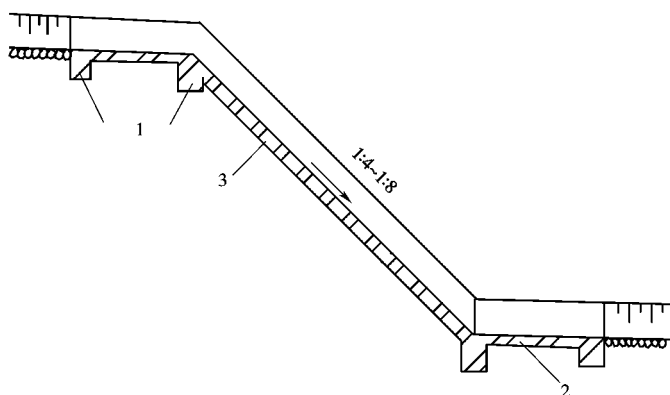


图 2-1-3-7 急流槽构造示意图

1-耳墙 2-消力池 3-槽底

急流槽的构造可分为进口、槽身和出口 3 个组成部分。根据水力计算,进出口与槽身可采用不同大小的断面尺寸,因此进出口与槽身连接处应设置过渡段。

急流槽一般就地形坡度敷设,应具有稳固的基础,端部及槽身每隔 2~5m 在槽底设耳墙嵌入地面以下。槽身较长时,宜分段砌筑,每段长约 5~10m,预留伸缩缝,并用防水材料填筑。

五、渡槽与倒虹吸

在路堑路段,当农田水利灌溉沟渠水流需要上跨路基横穿通过时,可以采用渡槽或倒虹吸。两者属于路基地面排水的特殊结构物。

当沟渠底标高与路基设计标高相差较大,能够同时满足行车净高和结构物高度的要求时,可采用渡槽排(过)水。渡槽相当于渡水桥,如图 2-1-3-8 所示。可设简易桥梁,架设水槽或管道,从路基上部跨越,以沟通路基两侧的水流。渡槽除了应满足沟渠排水通过流量的要求,还应满足自身结构强度和稳定性的要求。

渡槽由进出水口、槽身和下部支承 3 部分组成。为降低工程造价,槽身过水横断面一般比两端的沟渠横断面要小,槽中水流速度相应有所提高,因此进出口段应注意防止冲刷和渗漏。进出水口处设置过渡段,根据土质情况,分别将槽身两端伸入路基两侧地面 2~5m,而且进出

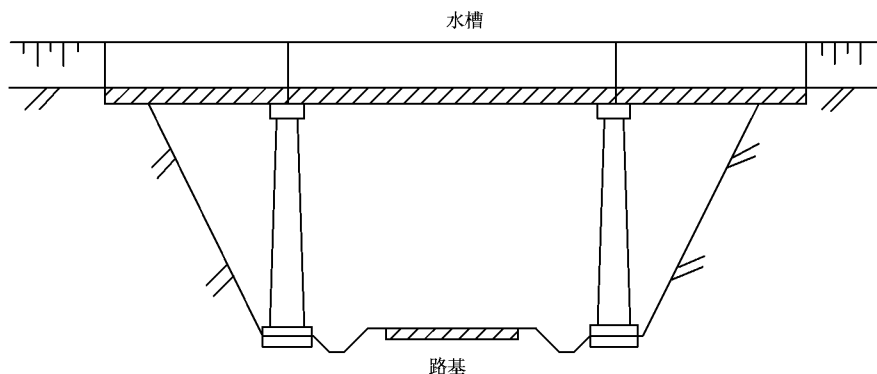


图 2-1-3-8 渡槽示意图

水口过渡段宜长一些,以防淤积。过渡段的平面收缩角约为 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。如果槽身与沟渠的横断面相同,沟槽可直接衔接而不设过渡段。与槽身连接的土质沟渠,应予以防护加固,其加固长度至少是沟渠水深的 4 倍。

当沟渠底标高高于路基设计标高,但不能够满足行车净高和结构物高度的要求时,可采用倒虹吸排(过)水,如图 2-1-3-9 所示。倒虹吸是借助上下游沟渠水位差,利用势能迫使水流降落,经路基下部洞身管道流向路基另一侧,然后再复升流入下游沟渠。由于所设管道为有压管道,竖井式倒虹吸的水流多次垂直改变方向,造成涡流局部冲刷,沿程不同位置容易漏水或淤积,因此对结构的要求较高。且由于它难以清理和修复,应尽量不用或少用。需使用时应进行水力计算合理设计,并保证施工质量,使用中要经常检查维修。

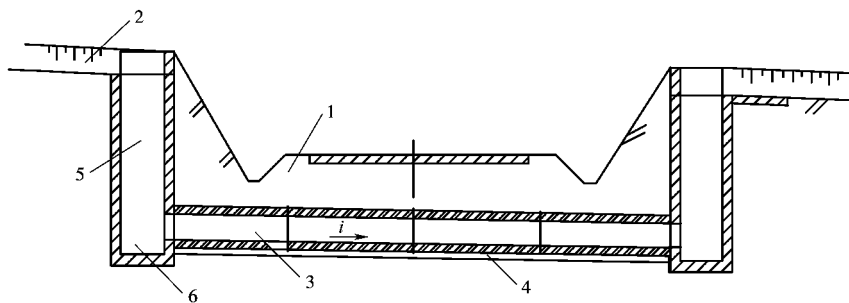


图 2-1-3-9 竖井式倒虹吸布置图

1-路基 2-原沟渠 3-洞身 4-垫层 5-竖井 6-沉砂池

洞身管道有箱形和圆形两种,以水泥混凝土和钢筋混凝土为主。管道的孔径约 $0.5 \sim 1.5\text{m}$,管道附近的路基填土厚度,一般不小于 1.0m ,以免行车荷载压力过于集中,易使管道受损或变形。为了施工和养护方便,管道亦不宜埋置过深,以填土高度不超过 3.0m 为宜。

倒虹吸管道两端设竖井,井底标高低于管道,起沉淀泥砂与杂物作用。亦可改用斜管式或缓坡式,以代替竖井式升降水流,此时水流条件有所改善,但路基用地宽度增大,管道长度增加。为了减少堵塞现象,设计时要求管道内水流的速度不小于 1.5m/s ,并在进口处设置沉沙池和拦泥栅。

• 第三节 路基常用的地下排水设施 •

由于开挖路堑,边坡或堑底出现流向路基工作区的层间水、集中的泉眼、大面积的渗水,由于填筑的路堤高度不高,堤旁地表长期积水、堤下地基原地下水位及毛细水上升等各种地下水造成对路基的影响时,应设相应的地下排水设施,起到拦截、汇集、排除地下水或局部范围降低地下水位的作用。

常用的路基地下排水设施有暗沟、渗沟和渗井等。由于地下排水设施埋置在地面以下,不易维修,在路建成后又难以查明损坏失效情况,因此要求地下排水设施牢固及耐久。

一、暗 沟

暗沟的主要作用是把路基工作区范围内和以下较浅的集中泉眼或渗沟所拦截、汇集的水流,排到路基范围之外去。另外暗沟用于如城市道路的污水管或雨水管,高速公路、一级公路中央分隔带有雨水浸入时,通过雨水口将水流引入地下暗沟,然后排到路基范围之外等。

暗沟应在路基填土前或开挖后,按泉眼范围及流量大小或渗沟汇集的水流情况,确定断面的尺寸。图 2-1-3-10 是用于排除路基泉眼的暗沟示意图。首先在泉眼处用浆砌块石或水泥混凝土圈井,上面加以盖板,然后在井壁上连接暗沟。暗沟敷设施工完毕后,恢复正常的路基填筑。当暗沟沟底标高处于路基工作区内或以下不深时,暗沟沿程必须防渗封闭,否则不能保证路基工作在干燥、中湿状态。暗沟沟底纵坡应不小于 1%,出水口沟底标高应高出沟外最高水位 20cm,以防水流倒灌。寒冷地区的暗沟,应采取防冻保温处理措施或将暗沟设在冰冻深度以下。

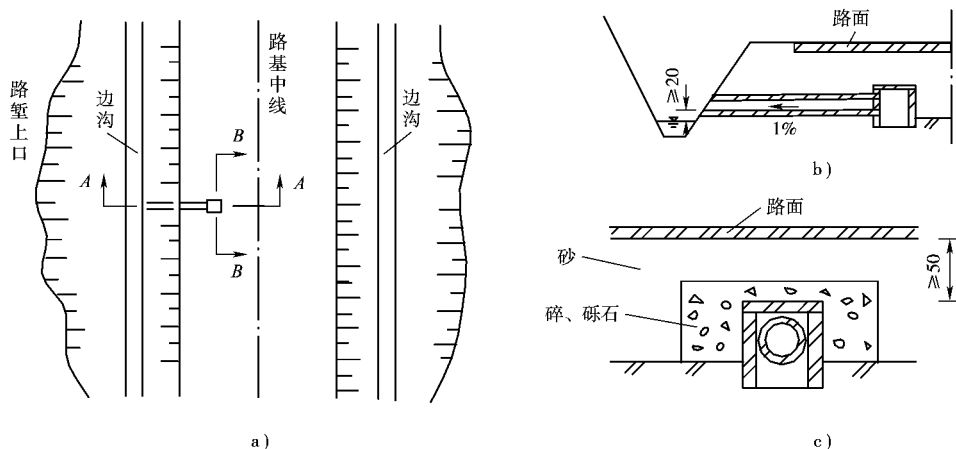


图 2-1-3-10 排除路基泉眼的暗沟

二、渗 沟

渗沟采用渗透方式将路基工作区或以下较浅的大面积地下水汇集于沟内,并沿沟把水排到指定地点,此种地下排水设施统称为渗沟。由于渗沟具有汇集水流的功能,渗沟沿程必须是

“开放”的(这在设施构造内容中具体介绍)。根据地下水分布及影响路基情况的不同,渗沟设置的位置及作用也有所不同。

当用于拦截、汇集和排除流向路基的地下水时,渗沟可设在边沟以下或路基上侧山坡地面以下的适当位置,如图 2-1-3-11 所示。此时渗沟的平面布置应尽可能与地下水流向相互垂直,使之拦截效果良好。

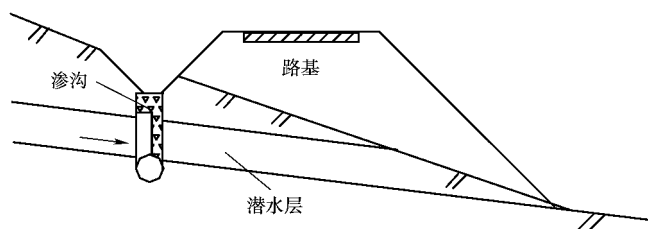


图 2-1-3-11 用于拦截流向路基地下水的渗沟

当用于汇集路基范围内大面积的渗水,并引至指定地点时,首先应根据每条渗沟的流量,平面规划设计好渗沟网,然后在指定地点圈井以利汇集,其后再以暗沟连接,排水于路基之外。图 2-1-3-12 为渗沟与暗沟结合使用的示例。

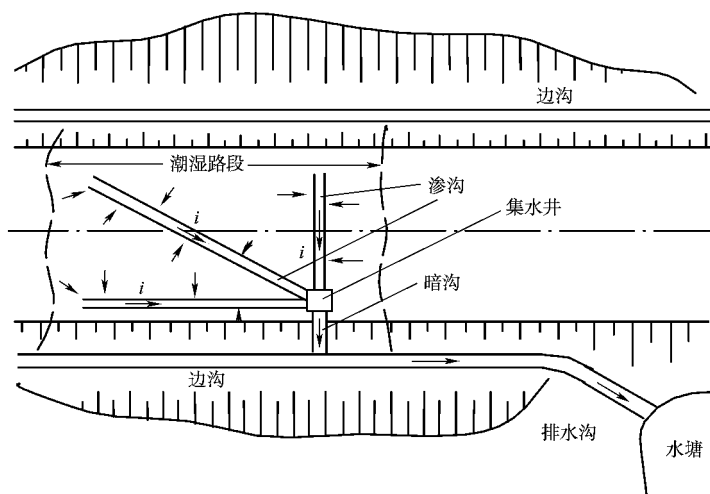


图 2-1-3-12 用于汇集排除大面积渗水的渗沟网(示例)

按照需要排水流量的不同,渗沟大致有 3 种形式:填石渗沟(亦称盲沟)、管式渗沟和洞式渗沟,如图 2-1-3-13 所示。3 种形式均由排水层(碎砾石缝或管、洞)和反滤层所组成。有无浆砌块石或水泥混凝土托底,应根据沟底排水水面的标高而定。当沟底排水水流已经进入路基工作区或接近该区时,必须设置托底。否则在渗沟内已经汇集应该排除的水,就会沿程又渗回到路基工作区去。当沟底排水水面在路基工作区以下较远时,则可不设托底。

填石渗沟(盲沟)一般用于流量不大、渗沟长度不长的地段,是目前公路上常用的一种渗沟形式。盲沟的排水层,可采用石质坚硬的较大颗粒填充,以保证具有足够的孔隙率排除设计流量。由于排水属渗流紊流状态,碎砾石构成的排水层阻力较大,为防止淤积,其纵坡应不小于 1%,一般可采用 5%。

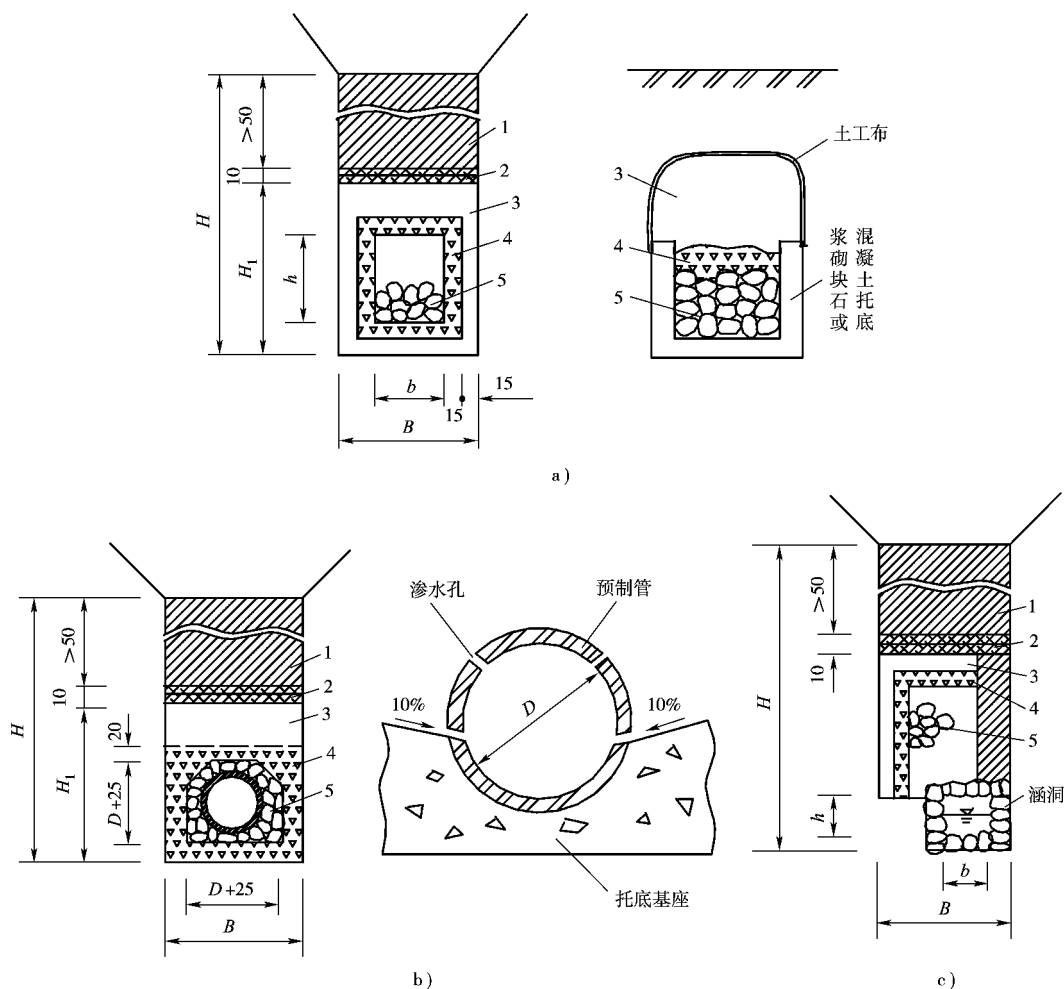


图 2-1-3-13 渗沟构造图

1-夯实粘土 2-双层铺草皮 3-粗砂 4-细砾石 5-碎石(砾石)

管式渗沟适用于有一定流量、渗沟长度较长的地段。但渗沟纵向长度应不大于 250 ~ 350m 若渗沟过长时,应加设横向泄水管,将渗沟内的水流迅速分段排除。其最小纵坡为 0.5% ,沟底纵坡取决于设计流速,最大流速应考虑到水管及托底的耐冲能力而确定。

洞式渗沟适用于地下水流量较大或缺少圆管时,可采用石砌涵洞形式。洞身断面大小依设计流量而定。涵洞可用浆砌片石筑成,上加带泄水小孔的混凝土盖板或条石复盖。沟底纵坡最小为 0.5% ,有条件时适当采用较大纵坡,以利排水。渗沟施工时的人工开挖槽宽视沟深而定,一般深度在 2m 时,宽度为 0.6 ~ 0.8m 深度在 3 ~ 4m 时,宽度不小于 1.0m。

渗沟内用做渗水或排水的砂石填料,应经过筛选和清洗。反滤层是为了汇集水流,并用于防止含水层中土粒堵塞排水层而设置的。反滤层应尽可能选用颗粒大小均匀的砂石材料,分层填埋,相邻两层颗粒直径之比不小于 1:4,每层厚度不小于 15cm。有条件时可在反滤层外加铺土工布进行包裹,更能加强过滤作用,同时使得路基土颗粒不因随水流被带走而形成空洞。各种渗沟出水口沟底标高应高于沟外最高水位标高 20cm。

管式渗沟的泄水管,可用陶土、混凝土、石棉或带孔塑料管等材料制成。管壁上半部可交错排列留有渗水孔,外铺土工布过滤。管径视设计流量而定,一般为15~30cm。在冬季管内水流易结冰的地段,为防止堵塞可采用较大直径的泄水管,并加设保温层。

三、渗井

在平原地区,当路基设计标高不高,但是地下水位较高而影响路基工作区时,可设置竖直方向排水设施,把附近周围上部的地下水,渗流引排到深部的潜水位或透水层中去。这种起到局部降低路基范围内地下水位的竖向排水设施称为渗井,如图2-1-3-14所示。前述暗沟、渗沟均属于平面方向的排水设施,而渗井则属于竖直方向的排水设施。

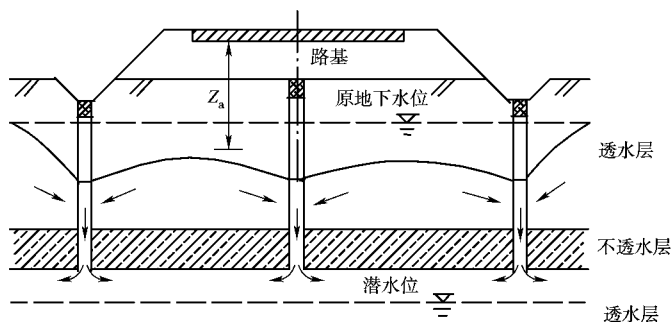


图 2-1-3-14 渗井布置示意图

渗井的下部必须穿过不透水层而深达透水层(透水层中有潜水时,要注意潜水压力不至于造成渗井内潜水倒灌,具体的分析判断可根据地质钻探资料进行)。透水层离地面较深时,可用钻机机钻孔。钻孔的直径50~60cm,最小直径不应小于15cm。井(孔)内由中心向四周按层次分别填入由粗至细的砂石材料。中心粗料渗水,四周细料反滤。填充料要求筛分冲洗。施工时需用铁皮套筒分隔,以便分别填入不同粒径的材料。不得粗细混杂,以保证渗井达到预期排水效果。

渗井的行、列间距布置,以满足路基范围内原地下水位降低并脱离路基工作区,使该区内能保持工作在干燥、中湿状态为准则,应需根据渗流流量计算而确定。

• 第四节 路面排水设施 •

一、路面表面排水

路面表面排水设计应遵循下列原则:

(1)目前国内公路要求降落在路面上的雨水,应通过路面横向坡度向两侧排流,避免行车道的路面范围内出现积水。

(2)在路线纵坡平缓、汇水量不大、路堤较低且边坡坡面不会受到冲刷的情况下,在路堤边坡上用横向漫流的方式排除路面表面水。

(3)在路堤较高、边坡坡面未做防护而易遭受路面表面水流冲刷,或者坡面虽已采取防护措施但仍有可能受到冲刷时,应沿路肩外侧边缘设置拦水带,汇集路面表面水后改为纵向流

水,然后通过八字式泄水口(水簸箕)和急流槽横向排离路堤,如图 2-1-3-15 所示。拦水带的设置高度应满足以下条件:其过水断面内的水面在高速及一级公路上不得漫过右侧车道外边缘,在二级及以下公路上不得漫过右侧车道中心线。

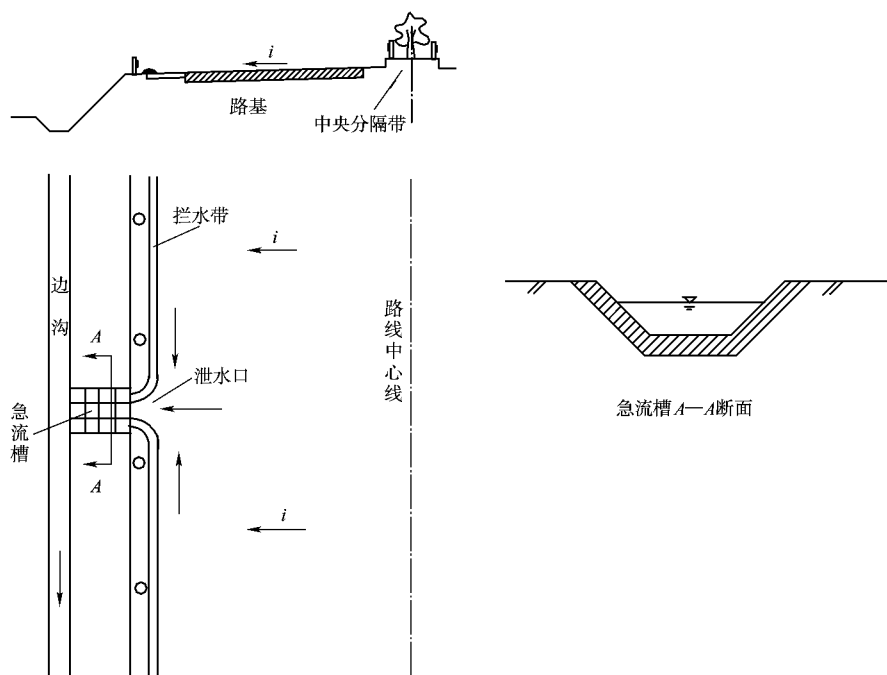


图 2-1-3-15 路面排水(设置拦水带、泄水口、急流槽)

(4)无中央分隔带的公路,在未设超高路段上,行车道的路面应沿路中心线向两侧设置倾斜的双向横坡;在设超高路段上,应设置向弯道内侧倾斜的单向横坡。设置中央分隔带的公路,各个行车方向的路面应分别设置单向横坡,但单向车道数超过 3 个时,也可分别设置双向横坡。

路面和路肩横坡的坡度,应根据路面面层类型,按《公路工程技术标准》中的规定选用。设拦水带时,右侧硬路肩的横向坡度宜采用 5%。拦水带可由沥青混凝土现场浇注,或由水泥混凝土预制块铺砌而成。

在道路交叉口、匝道口与桥梁等构造物连接处,超高路段和一般路段的横坡转换处,应设置泄水口以避免路面表面水横向流过行车道或结构物。在纵坡变换的凹形竖曲线底部,泄水口应设在最低点,并在其前后相距 3~5m 处各增设一个泄水口。泄水口的设置间距,以 20~30m 为宜。

二、中央分隔带排水

(1)分隔带宽度小于 3m 且表面采用铺面封闭时,在不设超高路段上,分隔带铺面应采用向两侧外倾的横坡,其坡度与路面的横坡度相同;在超高路段上,可在分隔带迎流上侧边缘处设置缘石和泄水口,或者在分隔带内设置缝隙式圆形集水管或蝶形混凝土浅沟和泄水口,以拦截和排泄上侧半幅路面的表面水,如图 2-1-3-16 所示。

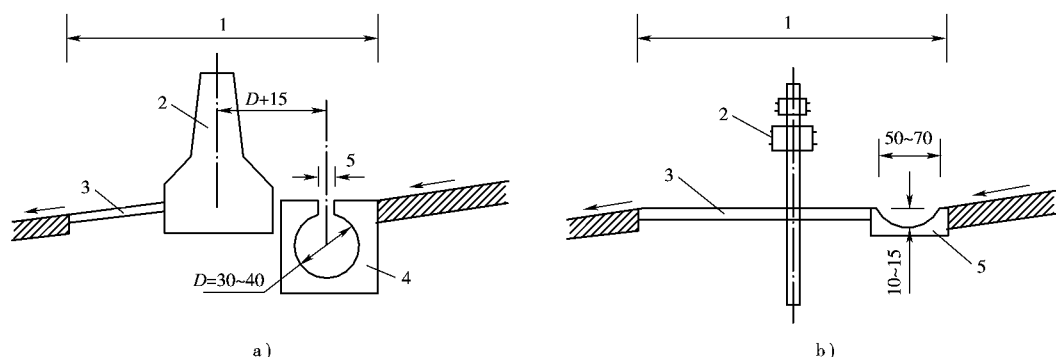


图 2-1-3-16 中央分隔带超高路段时排水

a) 缝隙式圆形集水管 b) 蝶形混凝土浅沟

1-中央分隔带 2-护栏 3-铺面 4-缝隙式圆形集水管 5-蝶形混凝土浅沟

(2) 分隔带宽度大于 3m 且未采用铺面封闭时,应在分隔带内设置两侧内倾的横向坡度,使表面水流向分隔带中央低凹处汇集,并设置纵坡排流到泄水口或横穿路线的桥涵水道中去。分隔带的横向坡度不得陡于 1:6;分隔带的纵向排水坡度,在中央分隔带无铺面时不得缓于 0.25%,有铺面时不得缓于 0.12%。当水流速度超过地面土的最大容许流速时,应在过水断面宽度范围内对地面土进行防止冲刷处理,做成三角形或 U 形断面的水沟。防冲刷层可采用石灰或水泥混凝土,或采用浆砌片石铺砌,层厚 10~15cm。

(3) 当中央分隔带内的水流流量过大或流速超过容许范围时,可在分隔带低凹处的流水汇集点设置格栅式泄水口,并通过排水管纵向引排到桥涵或横向引排到路基之外。格栅顶面可设置与周围地面齐平,也可适当降低,并在其周围一定宽度范围内做成低凹区(图 2-1-3-17),以增加泄水能力。

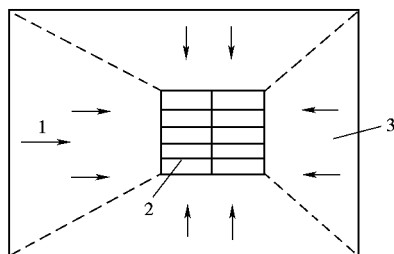


图 2-1-3-17 中央分隔带格栅式泄水口

1-上游 2-格栅 3-低凹区

(4) 多雨地区表面无铺面且未采用表面排水措施的中央分隔带,为了排除渗入分隔带内的水,可设置纵向排水渗沟,并隔一定间距通过横向排水管将渗沟内的水引排出路基之外,如图 2-1-3-18 所示。渗沟周围应包裹反滤织物(土工布),以免水渗入时携带的细粒土将渗沟堵塞。渗沟上的回填料周围与路面各结构层的交界面处,可铺设涂双层沥青的土工布隔渗层。排水管可采用直径 70~150mm 的塑料管。

三、路面内部排水

在多雨或严重冰冻地区,路基由透水性差的细粒土组成,处于潮湿路段的二级及以上公路,路基两侧有滞水,可能渗入路面结构内的公路路段,或现有路面改建工程需要排除积滞在水路面结构内的水分等情况下,宜设置路面内部排水系统。

路面内部排水系统有边缘排水系统和排水基层排水系统两种。边缘排水系统常用于旧水泥混凝土路面下基层材料结构透水性较小,需要改善排水状况时;排水基层排水系统常用于新建路面时,其排水效果比边缘排水系统好得多。

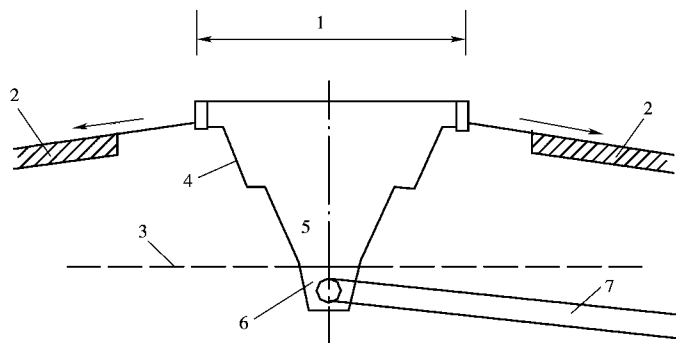


图 2-1-3-18 中央分隔带下设排水渗沟

1-中央分隔带 2-路面 3-路床顶面 4-隔渗层 5-反滤织物 6-纵向渗沟 7-横向排水管

1. 边缘排水系统

边缘排水系统是由沿路面边缘设置的透水性填料集水沟、纵向排水管、横向出水管和过滤织物(土工布)所组成,如图 2-1-3-19 所示。该系统是将渗入路面结构内的自由水,先沿路面结构层内空隙或某一透水层次横向流入纵向集水沟和排水管,再由横向出水管引排出路基。

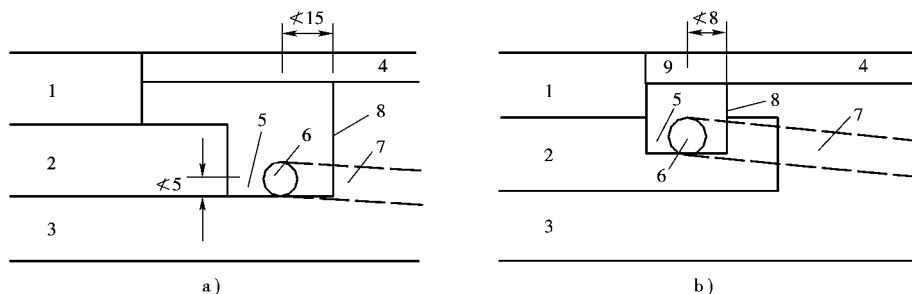


图 2-1-3-19 边缘排水系统

a) 新建路面边缘排水系统 b) 改建路面边缘排水系统

1-面层 2-基层 3-垫层 4-路肩面层 5-集水沟 6-纵向排水管 7-横向出水管 8-反滤织物 9-回填路肩面层

集水沟底面的最小宽度,对于新建路面不应小于 30cm,对于改建路面应能保证排水管两侧各有至少 5cm 宽的透水性填料。透水填料底面和外侧围以反滤织物(土工布),以防路面垫层、基层及路肩内的细料侵入而堵塞填料空隙或管孔。反滤织物可选用由聚酯类、丙烯材料制成的无机纺织物。

纵向排水管通常选用聚氯乙烯或聚乙烯塑料管。排水管左右及上部可设槽或孔眼。排水管的埋置深度,应保证不被车辆或施工机械压裂,并应低于当地的冰冻深度。在非冰冻地区,新建路面时,排水管道底通常与基层底面齐平;改建路面时,管中心应低于基层顶面。排水管的纵向坡度尽量与路线纵坡相同,不得小于 0.25%。

横向出水管选用不带槽或孔的聚氯乙烯或聚乙烯塑料管。出水管的横向坡度不宜小于 5%。出水管的外露端头用镀锌铁丝网或格栅罩住。出水口的下方应铺设水泥混凝土防冲刷垫板,或者对泄水道的坡面进行浆砌片石防护,以防止水流冲刷路基边坡和植物生长。

2. 排水基层排水系统

排水基层排水系统是直接在面层下设置透水性排水基层,在其边缘设置纵向集水沟和排水管,然后由横向出水管将水流排到路基之外,如图 2-1-3-20 所示。

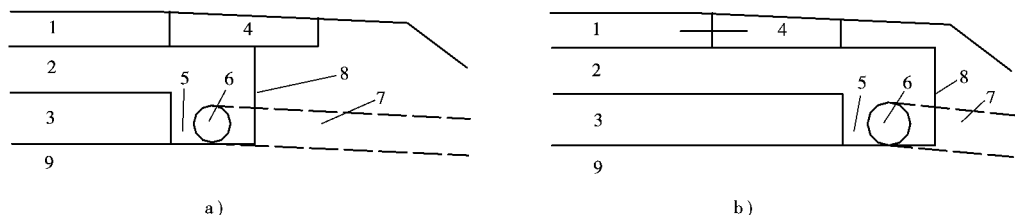


图 2-1-3-20 排水基层排水系统

1-面层 2-排水基层 3-不透水垫层 4-路肩面层或水泥混凝土路肩面层 5-集水沟 6-纵向排水管 7-横向出水管 8-反滤织物 9-路基

排水基层是由不大于 4.75mm 细颗粒的级配碎石集料,经过水泥或沥青处治,或未经处治的级配集料组成。

排水基层的厚度应按所需排放的水量和基层材料的渗透系数经过水力计算确定,通常在 8~15cm 范围内选用,但最小厚度不得小于 6cm(碎石经沥青处治)或 8cm(碎石经水泥处治)。其宽度应视面层施工的需要,可超出面层宽度 30~90cm。

纵向集水沟可设在面层边缘外侧、路肩下或路肩边缘外侧(图 2-1-2-26)。集水沟中的填料采用与排水基层相同的透水性材料。集水沟的下部设置带槽或孔眼的纵向排水管,并间隔适当距离设置不带槽或孔眼的横向出水管。

本章小结

(1)根据水源的不同,影响路基的水源可分为地面水和地下水两大类。危害路基的地面水和地下水各自包括一定的范畴。

(2)路基排水的目的是将路基范围内的土基湿度降低到一定的限度以内,保持路基常年处于干燥与中湿状态。路面排水的目的是设法将水在路面以外尽快排除,防止渗入下面的结构层和路基。这样确保路基及路面具有足够的强度与稳定性。

(3)路基地面排水设施分别有边沟、截水沟、排水沟、跌水与急流槽、渡槽与倒虹吸等。常用的有边沟、截水沟和排水沟。这些地面排水设施分别有各自的作用。

(4)常用的路基地下排水设施有暗沟、渗沟和渗井等。它们也分别有各自的作用。

(5)路面排水设施可分为路面表面排水、中央分隔带排水、路面内部排水 3 类。路面内部排水又可分为边缘排水系统和排水基层排水系统两类。

思考题与习题

1. 影响路基的水源分为哪两类?危害路基时各自包括哪些范畴?

2. 路基排水与路面排水的目的有什么不同？
3. 路基常用的地面排水有哪些设施？各自起什么作用？
4. 路基常用的地下排水有哪些设施？各自起什么作用？
5. 渗沟按流量的不同可分为哪几种？
6. 路面表面排水应遵循哪些原则？
7. 路面排水有哪 3 类设施？路面内部排水又可分为哪两种系统？各自的适用性如何？

第四章

路基稳定性验算

教学要求

1. 描述需要进行路基边坡稳定性分析和验算的情况,说明边坡稳定性分析常用的两种验算方法;
2. 正确地选用可能滑动面,计算汽车荷载当量高度;
3. 通过试验确定边坡稳定性验算中所需的土的参数资料;
4. 定义力学验算法、工程地质法的概念并说明各自的适用性;
5. 描述直线滑动面法、圆弧滑动面法的验算思路、步骤及适用性;
6. 描述圆心辅助线的两种确定方法;
7. 描述陡坡路堤稳定性验算的思路、步骤及适用性;
8. 进行改善稳定措施的选用;
9. 描述浸水路堤需要验算的两种情况及验算思路。

• 第一节 概 述 •

对于高路堤、深路堑、陡坡路堤、浸水路堤以及地质水文条件特殊地段的路基,不能以一般路基中套用典型横断面的设计方法,应进行边坡稳定性分析和验算,据此选定合理的边坡坡度及相关的工程技术措施。

边坡稳定性分析和验算方法常用的有力学验算法、工程地质法两种。在力学验算法中又可分为数解法、图解或表解法两类。数解法是最常用的方法,此法计算较精确,但计算繁琐;图解或表解法简便,它是通过查制定的图或表格进行计算获得的是近似解。一般土质路基的边坡设计常用力学验算法进行验算,岩石或碎石土类路基的边坡则常采用工程地质法进行设计。本章主要介绍土质路基边坡的稳定性验算方法。

一、边坡滑动面

路基边坡滑坍,是路基不稳定的一种表现。常发生在长期降水土基强度减弱之后,边坡滑坍严重时将中断公路交通。据观察,边坡滑坍破坏时形成一滑动曲面,如图 2-1-4-1 所示。滑动曲面的形状与土质有关。为简化计算,沿路线纵向滑动曲面最严重处取 1m,以横断面形式来表现。在平面上,边坡滑动面形状近似于直线、圆弧曲线或折线平面。对于松散的砂土及砂性土,因其内摩擦角 φ 较大而粘结力 c 较小(由土的剪切试验结果可知),滑动面类似于直线

平面,在边坡稳定性验算时可采用直线滑动面法。对于粘性土,因其内摩擦角 φ 较小而粘聚力 c 较大,滑动面类似于圆曲面,在边坡稳定性验算时可采用圆弧滑动面法。

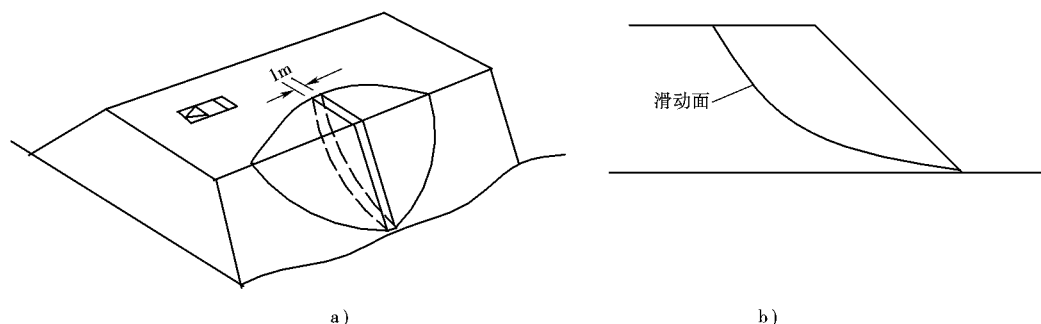


图 2-1-4-1 边坡滑动曲面及平面表示

a) 边坡滑动曲面 b) 平面表示

进行边坡稳定性验算时,首先要根据不同土质、不同情况进行可能滑动面形式的选择,如图 2-1-4-2 所示。在一般情况下,当路基填筑的是砂类土时,滑动面为通过坡脚的一直线平面,如图 2-1-4-2a) 所示;当路基填筑的是粘性土时,为通过坡脚的一圆弧滑动面,如图 2-1-4-2b) 所示。当地基为软弱土层时,滑动面为通过坡脚以下软弱土层内的一圆弧滑动面,如图 2-1-4-2c) 所示。当边坡为折线形时,除了以上一般情况下通过坡脚滑动面的考虑,同时可根据变坡点以上路基填筑的是砂类土或粘性土,分别为通过变坡点的一直线或圆弧滑动面,如图 2-1-4-2d) 所示。当横断面为陡坡时,除了以上一般情况下通过坡脚滑动面的考虑,还应作沿原地面为滑动面的路基整体滑动验算,如图 2-1-4-2e) 所示。

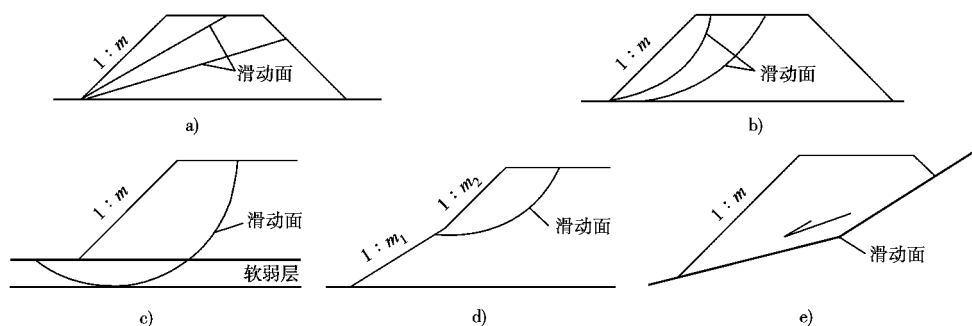


图 2-1-4-2 滑动面的各种形式

a) 填砂性土时 b) 填粘性土时 c) 地基为软弱土层时 d) 边坡为折线时 e) 横断面为陡坡时(整体滑动)

二、汽车荷载当量高度计算

路基除承受自重作用外,同时承受行车荷载的作用,在边坡稳定性验算时,需要按车辆最不利情况排列,采用与设计标准相应的加重车进行布置,将车辆的设计荷载换算成路基表层土的相当厚度 h_0 ,此厚度 h_0 称为汽车荷载的当量高度或换算高度。验算时,将当量高度的土体连同滑动土体一并进行力学计算。汽车荷载布置如图 2-1-4-3 所示。

当量高度 h_0 的计算式为：

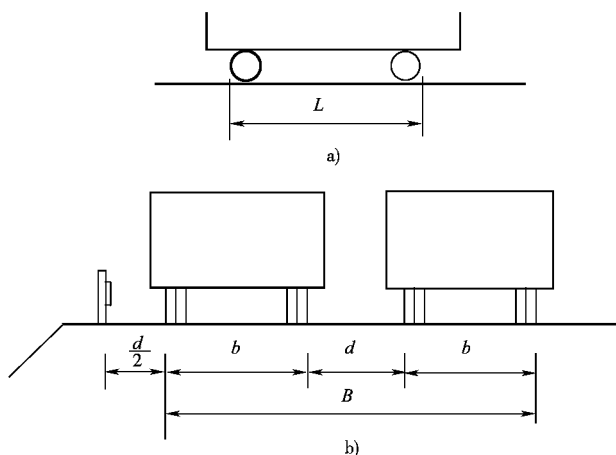


图 2-1-4-3 汽车荷载布置示意图

$$h_0 = \frac{NQ}{\gamma BL} \quad (2-1-4-1)$$

式中 h_0 ——当量高度 μ ;

N ——横向分布的车辆数,在破坏楔体上布置,单车道 $N=1$,双车道 $N=2$,……;

Q ——每一辆加重车的重量 kN ;

γ ——路基填料的容重 kN/m^3 ;

L ——汽车前后轴轮胎总距, m , 汽—10级、汽—15级, $L=4.2\text{m}$; 汽—20级重车, $L=5.6\text{m}$; 汽—超20级, $L=13\text{m}$;

B ——横向分布车辆轮胎最外缘之间总距, m , $B = Nb + (N-1)m + \Delta$;

其中 b ——每一车辆的轮胎外缘之间的距离, 取 1.8m ;

m ——相邻两车辆轮胎之间的净距, 取 1.3m ;

Δ ——轮胎的着地宽度, 汽—10级、汽—15级取 0.5m , 其余取 0.6m 。

汽车荷载当量高度 h_0 的横向分布 (1)可以分布在行车道(路面)宽度范围内; (2)考虑到实际行车可能有横向偏移或车辆停放在路肩上,也可将汽车荷载当量高度 h_0 分布在整個路基宽度上。

三、边坡稳定性验算的计算参数

路基处在复杂的自然条件下,其稳定性随环境条件(特别是土的含水量)及其作用时间的增长而变化。路堑是在天然土层中开挖而成,土石性质是自然存在的。而路堤是由人工填筑而成,填料性质可由人为方法控制。因此,在边坡稳定性验算时,对于土的物理力学数据的选用,以及可能出现的最不利情况,应力求能与路基将来实际情况相一致。

1. 边坡稳定性验算所需土的试验资料

它包括土的容重 $\gamma (\text{kN/m}^3)$ 、内摩擦角 $\varphi (^\circ)$ 及粘结力 $c (\text{kPa})$ 。

对路堑和天然边坡,试验时应取原状土。对路堤应取与现场压实情况一致的压实土进行试验获得数据。试验所得资料,应根据当地气候条件,考虑季节性变化的影响,以最不利季节和最不利水温条件的情况进行调整。

2. 图解或表解法中多层土体验算参数的确定

当路堤各层填料不同,进行边坡稳定性验算时,图解或表解法所采用的验算数据可按加权平均值法求得,如下式:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n c_i h_i}{H} \quad \tan \varphi = \frac{\sum_{i=1}^n h \tan \varphi_i}{H} \quad \gamma = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i h_i}{H} \quad (2-1-4-2)$$

式中 c_i ——各层土体的粘聚力 kPa ;

φ_i ——各层土体的内摩擦角 $(^\circ)$;

γ_i ——各层土体的容重 kN/m^3 ;

h_i ——各层土厚 m ;

H ——边坡高度 $H = \sum h_i$ m 。

用图解或表解法进行边坡稳定性验算时,对于折线形边坡(图 2-1-4-4a),一般可取各坡度的算术平均值;对于阶梯形边坡(图 2-1-4-4b),则取坡角点与坡顶点的连线。

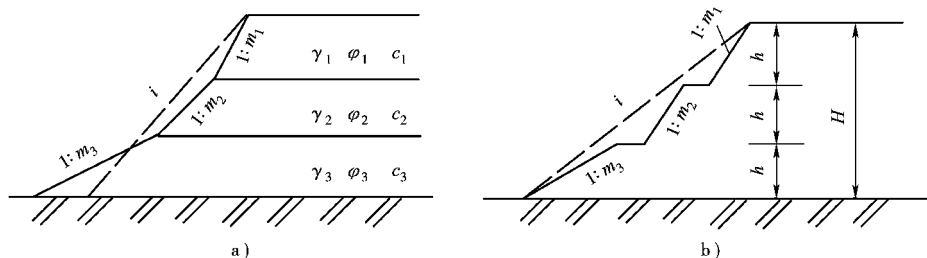


图 2-1-4-4 图解或表解法时的边坡取值

a) 折线形边坡 b) 阶梯形边坡

• 第二节 高路堤和深路堑的边坡稳定性验算 •

1. 力学验算法

1) 数解法

假定几个不同的滑动面,按力学平衡原理对每个滑动面进行验算,从中找出最危险滑动面,按此最危险滑动面的稳定程度来判断边坡的稳定性。

2) 图解或表解法

在图解和计算的基础上,经过分析研究,制定图表,供边坡稳定性验算时查用,以简化计算工作。

2. 工程地质法

根据当地稳定的自然山坡或已有的人工边坡,进行岩石和土类的状态分析研究,将拟定的路基边坡通过工程地质条件相对比,找出相类似的稳定值的参考数据,作为路基边坡值的设计依据。

3. 力学验算法的基本假定

滑动土楔体仅沿假定的滑动面上滑动,是均质各向同性,不考虑滑动土体内部的应力分布及各土条(指条分法)之间相互作用力的影响。

一、直线滑动面法

松散的砂土和砂性土(两者合称砂类土)渗水性强、粘性差,边坡稳定主要靠其内摩擦力。失稳土体的滑动面近似直线状态,故直线滑动面法适用于砂类土。

如图 2-1-4-5a)所示,验算时先通过坡脚或变坡点假设一直线滑动面 AD,下滑土楔体 ABD 沿假设的滑动面滑动,其稳定系数 K 按下式计算(按边坡纵向单位长度计):

$$K = \frac{F}{T} = \frac{G \cos \alpha \tan \varphi + cL}{G \sin \alpha} \quad (2-1-4-3)$$

式中 F——沿滑动面的抗滑力 kN;

T——沿滑动面的下滑力 kN;

G——土楔体重力和路基顶面汽车荷载(以当量高度及分布宽度计)之和 kN;

α ——滑动面对水平面的倾斜角($^{\circ}$);

φ ——路堤填料的内摩擦角($^{\circ}$);

c——路堤填料的粘结力 kPa;

L——滑动面 AD 的长度 m。

通过坡脚 A 点,继续假设几个(3~4 个)不同的滑动面(图 2-1-4-5a),按式(2-1-4-3)求出相应的稳定系数 $K_1, K_2, K_3, \dots$ 等值,并绘出 $K = f(\alpha)$ 曲线(图 2-1-4-5b),在此关系曲线上找到最小稳定系数 $K_{\min}$ 及对应最危险滑动面时的倾斜角 α_0 。

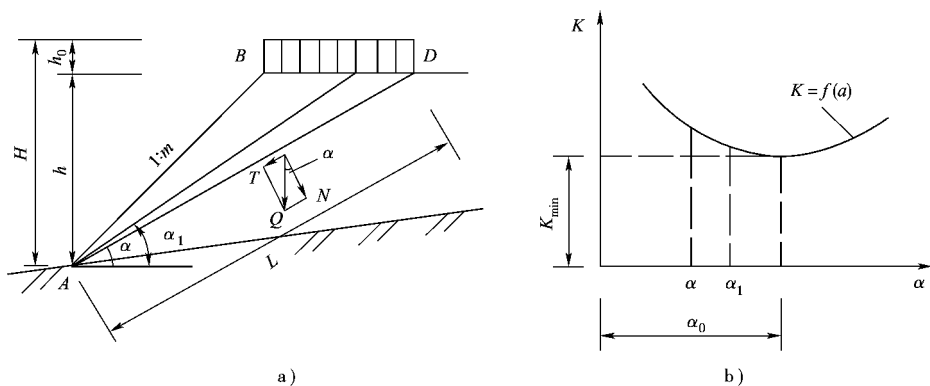


图 2-1-4-5 直线滑动面法

验算的边坡是否稳定,取决于最小稳定系数 $K_{\min}$ 的值。当 $K_{\min} = 1.0$ 时,边坡处于极限平衡状态。由于考虑到滑动面的近似假定,土工试验所得的 φ 和 c 的局限性以及气候环境条件的变化的影响,为保证边坡稳定性必须有足够的安全储备,稳定系数 $K_{\min} \geq 1.25$,但 K 值也不宜太大,以免造成工程不经济。

当路堤填料为纯净的粗砂、中砂、砾石、碎石时,其粘聚力很小,可忽略不计,则式(2-1-4-3)简化为:

$$K = \frac{F}{T} = \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha} \quad (2-1-4-4)$$

式(2-1-4-3)也适用于均质砂类土路堑边坡的稳定性验算。

二、圆弧滑动面法

用粘性土填筑的路堤,边坡滑坍时的破裂面形状为一曲面,为简化计算,通常近似地假设为一圆弧滑动面。分析边坡稳定性时,按其各种不同的假设,有多种验算方法,但工程上普遍采用条分法(又称瑞典法)以及简化计算的表解法和图解法。

1. 条分法

1) 计算公式及步骤

(1)如图 2-1-4-6 所示,通过坡脚任意选定一个可能的圆弧滑动面 AB,其半径为 R 。将滑动土体分成若干个垂直土条,其宽度一般为 $2 \sim 4\text{m}$,通常分 $8 \sim 10$ 个土条,为了计算方便,分条时,垂直分条线分别与圆心垂直轴重合,与不同土层和边坡交接点及圆弧滑动面交接点重合。

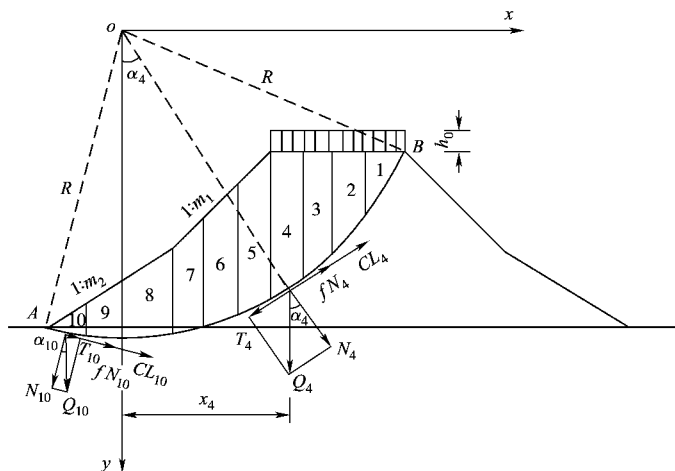


图 2-1-4-6 圆弧滑动面条分法验算示意图

(2)根据每个土条的面积,纵向以单位长度计,计算出每个土条的土体重 Q ,引至滑动圆弧面上并分解为:

$$\begin{aligned} \text{切向分力 } T_i &= Q_i \sin \alpha_i \\ \text{法向分力 } N_i &= Q_i \cos \alpha_i \end{aligned} \quad (2-1-4-5)$$

式中 α_i 为第 i 条土体弧段中心点的径向线与该点垂线之间的夹角 $\alpha_i = \arcsin \frac{x_i}{R}$ 。

(3)以圆心 O 点,半径 R ,计算滑动面上各力对 O 点的滑动力矩,但应注意在 Oy 轴右侧的 T_i 为正,是促使土楔体滑动的力,而在 Oy 轴左侧的 T_i 方向相反,其值为负,为抵抗土楔体滑动的力,其产生的力矩应在滑动力矩中扣除。因此,滑动力矩 $M_{\text{滑动}} = (\sum T_i - \sum T'_i)R$ 。计算土条重时,汽车荷载当量高度的影响应计算在相应的 Q_i 中。以 O 点为圆心,计算滑动面上各力对 O 点的抗滑力矩 $M_{\text{抗滑}} = (\sum N_i f + \sum cL_i)R$ 。

(4)求稳定系数 K :

$$\begin{aligned} K &= \frac{M_{\text{抗滑}}}{M_{\text{滑动}}} = \frac{R(\sum N_i f + \sum cL_i)}{R(\sum T_i - \sum T'_i)} \\ &= \frac{f \sum Q_i \cos \alpha_i + cL}{\sum Q_i \sin \alpha_i - \sum Q'_i \sin \alpha'_i} \end{aligned} \quad (2-1-4-6)$$

式中 L ——滑动圆弧 AB 的总长度 m ;

c ——填料的粘结力 kPa ;

f ——填料的摩擦系数 $f = \tan \varphi$, $Q_i = \gamma b_i h_i$ kN ;

其中 γ ——填料的天然容重 kN/m^3 ;

b_i ——各土条宽度 m ;

h_i ——各土条高度 m 。

当路堤由不同填料分层填筑时,式(2-1-4-5)中的各土条重应为该土条所包含的各土层和汽车荷载当量高度引起的重力之和,而各土条 c 、 φ 值,应取该土条的底部弧段所处土层的数据。

(5)再假设几个可能的滑动圆弧,按上述步骤分别计算相应的稳定系数,在圆心辅助线上绘出稳定系数对应于圆心的关系曲线 $K = f(O)$ 在该曲线上找出最小的稳定系数 $K_{\min}$ 与 $K_{\min}$ 对应的圆心及半径所决定的滑动面就是最危险滑动面。

当 $K_{\min} \geq 1.25$ 认为边坡是稳定的。对 $K_{\min}$ 的具体要求可根据土的特性、抗剪强度指标的可靠程度、公路等级与路段的重要性和地区经验综合考虑确定。当 $K_{\min} < 1.25$ 时,则应放缓边坡,再按上述方法进行稳定性验算。各圆弧的圆心位置,可采用辅助线方法确定。

2) 确定圆心辅助线

根据经验,危险滑动面的圆心在一条直线上,该直线称为圆心辅助线。确定圆心辅助线的方法有 4.5H 法和 36° 法。

(1) 4.5H 法(如图 2-1-4-7 所示)

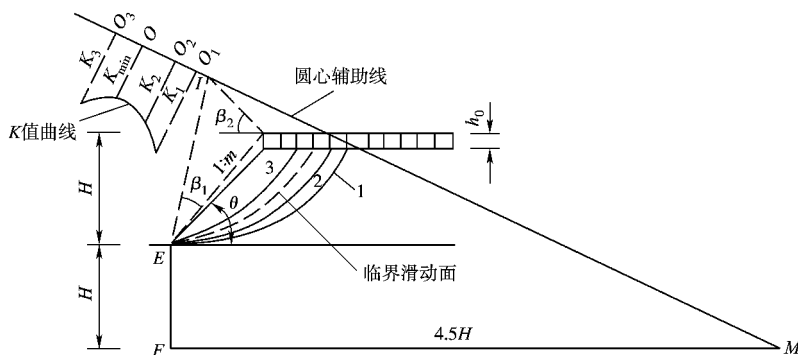


图 2-1-4-7 4.5H 法确定圆心辅助线

4.5H 法的步骤如下:

①由坡脚 E 向下引垂线并取边坡高度 H 得 F 点。

②自 F 点向右引水平线并量取 $4.5H$ 得 M 点。

③连接坡脚 E 和坡顶 S , 求 ES 的斜度 $i_0 = \frac{1}{m}$ 根据 i 由表 2-1-4-1 查得 β_1 、 β_2 的角值。

④自 E 点引与 ES 成 β_1 角的直线, 又由 S 点引与水平线成 β_2 角的直线, 两直线交于 I 点。

⑤连接 M 与 I , 并向左上方延长, 即得圆心辅助线。

⑥如土仅有粘结力, 而 $\varphi = 0$, 则最危险滑动圆弧的圆心就是 I 点, 如土除了粘结力之外还有摩擦力, 则最危险滑动面的圆心将随 φ 值的增加, 而在辅助线上向外移动。

辅助线角值表

表 2-1-4-1

边坡坡度 i_0	边坡倾斜角 θ	β_1	β_2
1:0.5	63°26'	29°	40°
1:1.0	45°	28°	37°
1:1.5	33°41'	26°	35°
1:2.0	26°34'	25°	35°
1:3.0	18°26'	25°	35°
1:3.0	14°03'	25°	36°

4.5H 法较精确,求出的稳定系数值较小,此法适用于验算重要建筑物的稳定性。

(2) 36°法

此法是一种简化的方法,如图 2-1-4-8 所示,由 E 点作与水平线成 36°角的射线 EF,即为圆心辅助线。36°法较简便,但精确度不如 4.5H 法,若不计汽车荷载当量高度,计算结果也出入不大。

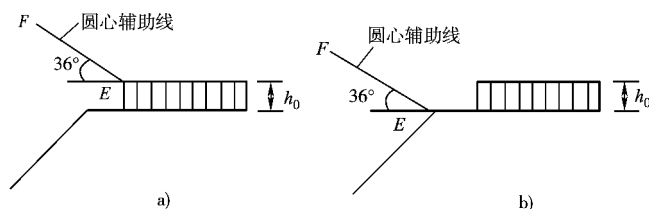


图 2-1-4-8 36°法确定圆心辅助线

a) 考虑行车荷载时 b) 不计行车荷载时

2. 表解法

按条分法进行路基边坡稳定性验算时计算工作量较大,对于均质、直线形边坡路堤,滑动面通过坡脚,坡顶为水平并延伸到无限时,可用表解法进行验算。

如图 2-1-4-9 所示,将土体划分成各条块,其宽为 b ,高为 a ,滑弧全长 L ,将此三者均用边坡高度来表达:

$$b = \beta H \quad a = \eta H \quad L = \lambda H$$

坡长每延米土条重量为:

$$Q = \gamma ab = \gamma \beta \eta H^2$$

其法向和切向分力为:

$$N = Q \cos \alpha = \gamma \beta \eta H^2 \cos \alpha$$

$$T = Q \sin \alpha = \gamma \beta \eta H^2 \sin \alpha$$

稳定系数为:

$$K = \frac{\sum fN + cL}{\sum T} = \frac{f \sum \gamma \beta \eta H^2 \cos \alpha + cL}{\sum \gamma \beta \eta H^2 \sin \alpha}$$

令:

$$A = \frac{\sum \eta \cos \alpha}{\sum \eta \sin \alpha} \quad B = \frac{\lambda}{\sum \beta \eta \sin \alpha}$$

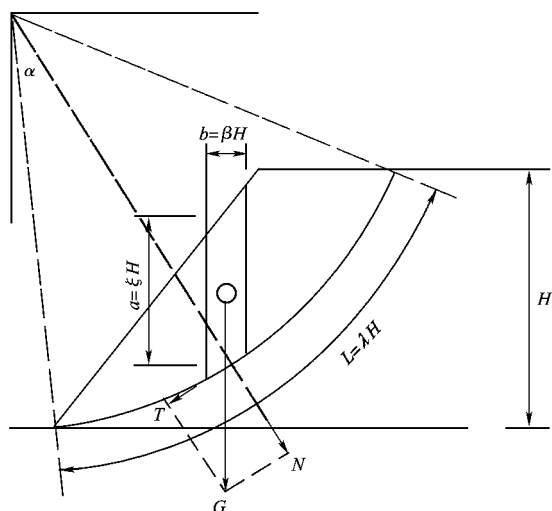


图 2-1-4-9 表解法稳定性验算示意图

则：

$$K = fA + \frac{c}{\gamma H} B \quad (2-1-4-7)$$

式中 H ——边坡高度 m ；

A 、 B ——取决于几何尺寸的系数，查表 2-1-4-3；

c ——土的粘结力 kPa ；

f ——土的内摩擦系数 $f = \tan \varphi$ 。

制表时略去行车荷载，用 36° 法确定圆心辅助线，假定滑动面通过坡脚，如图 2-1-4-10 所示。各个滑动圆弧的圆心自路基边缘 S 点开始，取 $SO_1 = (0.25 + 0.4m)H$ ，其中 m 为边坡率， H 为边坡高度。自 O_1 起，每隔 $0.3H$ 定一点，分别为 O_2 、 O_3 、 O_4 、 O_5 。此时其 A 、 B 值见表 2-1-4-2。

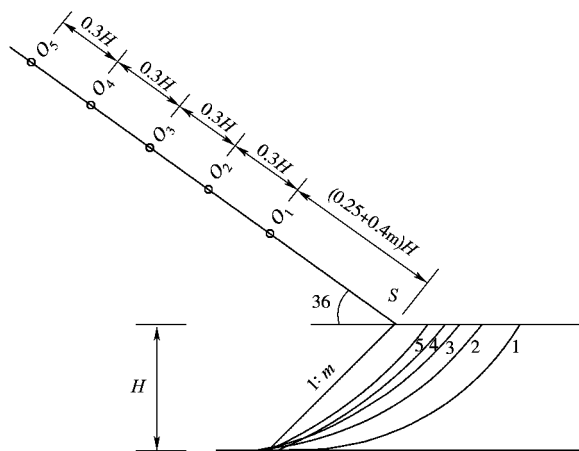


图 2-1-4-10 用 36° 法确定辅助线上的圆心

滑动面通过坡脚时表解法的 A、B 值

表 2-1-4-2

边坡斜度	滑动圆弧的圆心									
	O ₁		O ₂		O ₃		O ₄		O ₅	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1:1	2.34	5.79	1.87	6.00	1.57	6.57	1.4	7.50	1.24	8.80
1:1.25	2.64	6.05	2.16	6.35	1.82	7.03	1.66	8.02	1.48	9.65
1:1.5	3.04	6.25	2.54	6.50	2.15	7.15	1.9	8.33	1.71	10.10
1:1.75	3.44	6.35	2.87	6.58	2.50	7.22	2.18	8.50	1.96	10.41
1:2	3.84	6.50	3.23	6.70	2.80	7.26	2.45	8.45	2.21	10.10

三、工程地质法

采用工程地质法对路堑边坡比拟设计,关键是通过认真、详细的调查和勘测,如实反映路段的地层土质和水文地质状况,据以进行对比分析。按地层性质不同,一般可分为两种类型,即土质(包括粗粒土)路堑和岩石路堑。对土质路堑,应重点调查土的成分和类别、组织结构、密实程度、地下水埋藏情况,以及土的成因类型及生成时代等;对岩石路堑,应重点调查岩性、结构和构造、岩石的风化破碎程度、地下水等。选择路堑横断面的边坡形式,一般可采用图 2-1-4-11 所示的几种形式。

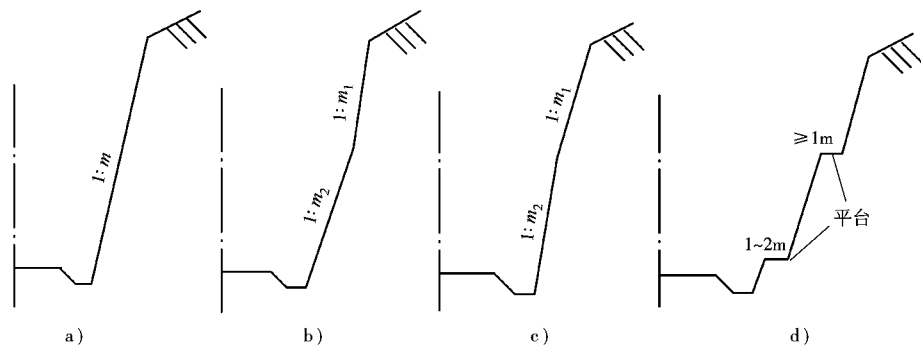


图 2-1-4-11 路堑边坡形式

a) 直线形 b) 上陡下缓折线形 c) 上缓下陡折线形 d) 台阶形

(1) 直线形:当工程地质条件和水文地质条件较好,土质均匀,且边坡高度不大时可采用,即一坡到顶的直线形。

(2) 折线形:当边坡较高或由多层土组成,而上部土层较下部土层的密实程度大时,采用上陡下缓形。若上部为稳定性较下部差时,宜采用上缓下陡形的折线形。

(3) 台阶形:当边坡由多层土组成且高度较大(超过 15~20m)可在边坡中部或土层变化分界处,设置宽度不小于 1.0m 的平台,使边坡成为台阶形。设置平台可以增加边坡的稳定性,减少坡面冲刷。

表 2-1-4-3 为砾石类土路堑边坡资料,供参考选用。

砾石类土路堑边坡表

表 2-1-4-3

土体结合密实度	边坡高度(m)		
	10 以内	10 ~ 20	20 ~ 30
胶结	1:0.3	1:0.3 ~ 1:0.5	1:0.5
密实半胶结	1:0.5	1:0.5 ~ 1:0.75	1:0.75 ~ 1:1
中等密实	1:0.75 ~ 1:1	1:1	1:1.25 ~ 1:1.5
稍密实	1:1 ~ 1:1.5	1:1.5	1:1.5 ~ 1:1.75
松散	1:1.5	1:1.5 ~ 1:1.75	

在一般情况下,岩石路堑边坡坡度可参照表 2-1-4-4 确定。当岩石路堑边坡高度超过 30m 时,应根据现场情况,调查附近工程的已有边坡或天然山坡的坡度,对比并参考表 2-1-4-4 后慎重确定其边坡坡度。

岩石路堑边坡坡度

表 2-1-4-4

岩石种类	风化破损程度	边坡高度(m)	
		20	20 ~ 30
1. 各种岩浆岩 2. 厚层灰岩、硅钙质砂砾岩 3. 片麻、石英、大理岩	轻度	1:0.1 ~ 1:0.2	1:0.1 ~ 1:0.2
	中等	1:0.1 ~ 1:0.3	1:0.2 ~ 1:0.4
	严重	1:0.2 ~ 1:0.4	1:0.3 ~ 1:0.5
	极重	1:0.3 ~ 1:0.75	1:0.5 ~ 1:1.0
1. 中薄层砂砾岩 2. 中薄层灰岩 3. 较硬的板岩、千枚岩	轻度	1:0.1 ~ 1:0.2	1:0.1 ~ 1:0.2
	中等	1:0.1 ~ 1:0.3	1:0.2 ~ 1:0.4
	严重	1:0.2 ~ 1:0.4	1:0.3 ~ 1:0.5
	极重	1:0.3 ~ 1:0.75	1:0.5 ~ 1:1.0
1. 薄层砂页岩互层 2. 千枚岩、云母、绿泥石片岩	轻度	1:0.1 ~ 1:0.2	1:0.1 ~ 1:0.2
	中等	1:0.1 ~ 1:0.3	1:0.2 ~ 1:0.4
	严重	1:0.2 ~ 1:0.4	1:0.3 ~ 1:0.5
	极重	1:0.3 ~ 1:0.75	1:0.5 ~ 1:1.0

• 第三节 陡坡路堤的稳定性验算 •

填筑在原地面横坡度陡于 1:25(土质基底)或陡于 1:2(不易风化的岩石基底)或不稳固山坡上的路堤,被称为陡坡路堤。除了考虑边坡稳定性之外,陡坡路堤还有以下几种可能的滑动形式:

(1)基底为岩层或稳定山坡,因地面横坡度大,路堤沿着与基底的接触面产生整体滑动。

(2)路堤连同基底覆盖层沿倾斜基岩滑动。

(3)路堤连同下卧软弱土层沿某一圆弧滑动面滑动。

(4)路堤连同其下的岩层沿某一最弱的层面滑动。



在陡坡路堤的稳定性验算中,应采用滑动面上下较为软弱土的 φ 、 c 等有关测试数据。如果滑动面附近有地面水或地下水作用,致使路堤下滑力增大,同时接触面或软弱面抗剪强度显著降低,验算时应采用浸(饱)水而降低的测试数据。

设计时应对各种可能的危险滑动面分别进行验算。当破裂面为圆弧状时,可参照圆弧滑动面法进行验算。

陡坡路堤的稳定性验算的思路是:不考虑土体内部所产生的局部应力,根据路堤可能滑动的方向,整块或逐块计算剩余下滑力,由最终剩余下滑力的正负来判断路堤的稳定性。正值为不稳定,负值为稳定。

一、陡坡路堤稳定性验算方法

1. 直线滑动面法

当基底为单一坡面时,路基土体可能沿直线滑动面整体下滑,可用直线滑动面法进行整体稳定性验算,如图 2-1-4-12 所示。

滑动面为单一坡面,计算公式如下:

$$E = T - \frac{1}{K} (N \tan \varphi + cL) \quad (2-1-4-8)$$

式中 E ——剩余下滑力 kN ;

T ——切向力 $T = Q \sin \alpha \text{ kN}$;

N ——法向力 $N = Q \cos \alpha \text{ kN}$, Q 为滑动面上路基土体自重(同时含汽车荷载当量高度换算的土层重) kN ;

φ ——基底滑动面处较软弱土体的内摩擦角 $(^\circ)$;

L ——基底滑动面长度 m ;

α ——基底与水平面的倾斜角 $(^\circ)$;

K ——安全系数,一般 $K=1.25$;

c ——基底滑动面处较软弱土体的粘结力 kPa 。

当计算得 $E \leq 0$ 时,则路堤稳定。

2. 折线滑动面法

当滑动面为多个坡度的折线倾斜面时(图 2-1-4-13),可将滑动面上土体按折线段划分为若干条块,依可能滑动的方向,自上而下分别计算各土体的剩余下滑力,根据最终一块的剩余下滑力的正负值确定路堤整体稳定性。

第一条块:

$$E_1 = T_1 - \frac{1}{K} (N_1 \tan \varphi_1 + c_1 L_1)$$

第二条块:

$$E_2 = [T_2 + E_1 \cos(\alpha_1 - \alpha_2)] - \frac{1}{K} \{ [N_2 + E_1 \sin(\alpha_1 - \alpha_2)] \tan \varphi_2 + c_2 L_2 \}$$

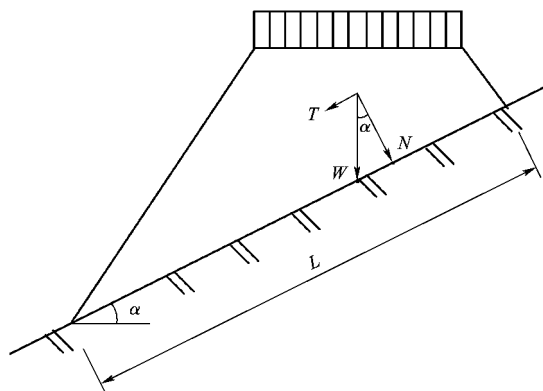


图 2-1-4-12 陡坡路堤直线滑动面法整体验算

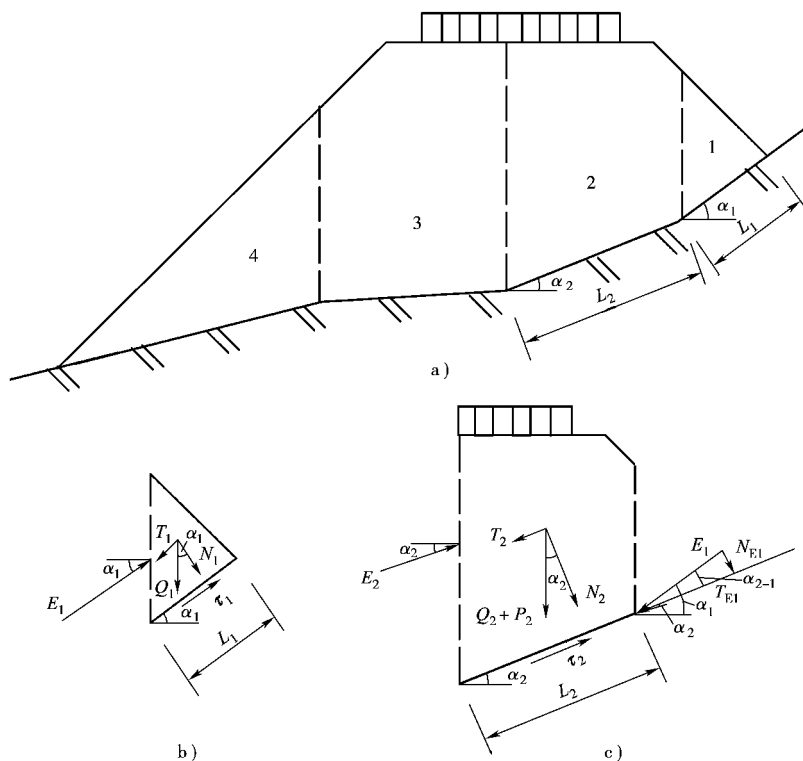


图 2-1-4-13 陡坡路堤折线滑动面稳定验算

a) 陡坡路堤按折线段分块 b) 第一条块 c) 第二条块

第 n 条块(用数学归纳法可得)：

$$E_n = [T_n + E_{n-1} \cos(\alpha_{n-1} - \alpha_n)] - \frac{1}{K} \{ [N_n + E_{n-1} \sin(\alpha_{n-1} - \alpha_n)] \tan \varphi_n + c_n L_n \}$$

(2-1-4-9)

其中 E_n ——第 n 条块的剩余下滑力 kN ；

T_n ——第 n 条块的自重 Q_n 与汽车荷载 P_n 的切线下滑力 kN ；

$$T_n = (Q_n + P_n) \sin \alpha_n$$

N_n ——第 n 条块的自重 Q_n 与汽车荷载 P_n 的法线分力 kN ；

$$N_n = (Q_n + P_n) \cos \alpha_n$$

α_n ——第 n 条块滑动面分段的倾斜角 $(^\circ)$ ；

φ_n ——第 n 条块滑动面处较软弱土层的内摩擦角 $(^\circ)$ ；

c_n ——第 n 条块滑动面处较软弱土层的单位粘聚力 kPa ；

L_n ——第 n 条块滑动线长度 m ；

E_{n-1} ——上一个第 $n-1$ 条块传递而来的剩余下滑力 kN ；

α_{n-1} ——上一个第 $n-1$ 条块滑动面分段的倾斜角 $(^\circ)$ 。

计算途中出现 $E_n \leq 0$, 则此块剩余下滑力不向下一块传递 ; 当最终的剩余下滑力 $E_z \leq 0$ 时 , 判断路堤为稳定。

二、稳定加固措施

当验算最终一块土体的剩余下滑力 $E_z \geq 0$ 时,则路堤为不稳定,必须采取以下稳定加固措施,以增加陡坡路堤的稳定性。

(1)改善基底,增加滑动面的抗滑力或减少滑动力。

常使用的方法有:开挖台阶,放缓边坡,以减少下滑力;清除坡积层,夯实基底,使路堤置于密实的稳定基础上;在路堤上侧开挖截水沟或边沟,以阻止地面水浸湿滑动面;受地下水影响时,则设置渗沟疏干基底土层。

(2)选择填料。

选择较大颗粒填料,嵌入原地面,以增加基底接触面的摩擦系数。

(3)设置支挡结构物。

必要时,可在坡脚处设置石砌护脚、干砌或浆砌挡土墙等。

• 第四节 浸水路堤边坡稳定性验算 •

一、渗透水压力对浸水路堤的影响

受到季节性或长期浸水的沿路路堤、河滩路堤、桥头引道等均称为浸水路堤。如果路堤用透水性较强的土或石填筑,此时渗透横穿路堤的水流呈渗流紊流状态,称为渗水路堤。渗水路堤两外侧水位一般相差不大,堤内的渗透水压力较小,可忽略不计。凡是用粘性土填筑的浸水路堤(不包括渗透性极小的纯粘土),都必须进行渗透水压力的计算。

当河中水位上升时,水从边坡的一侧或两侧渗入路堤内;当水位降落时,水又从堤身内向外渗出。由于在土体内渗水速度比河中水位升降速度慢,因此,当堤外水位升高时,堤内水位的比降曲线(浸润线)成凹形;当堤外水位下降时,堤内水位比降曲线成凸形,如图 2-1-4-14 所示。

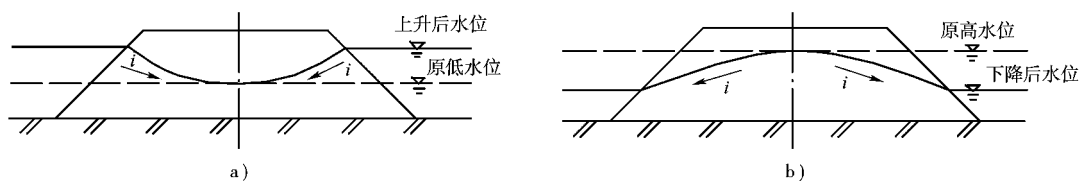


图 2-1-4-14 路堤内浸润曲线

a) 堤外水位升高时 b) 堤外水位降低时

通过分析可知,以下两种情况对浸水路堤稳定性不利,必须进行验算。

(1)当堤外水位急剧下降时,土体内部水流出边坡需要较长的时间,由于水位的差异,渗透水压力的方向指向土体外面,与路堤可能滑动的方向一致,此时属于路堤容易失稳的危险状态。

(2)当路堤上游侧水位急剧上升时,路堤外两侧的水位不一致,就会产生横穿路堤的渗透。路堤渗透水压力的方向指向路堤下游外侧,与路堤可能滑动的方向一致,此时也是路堤

失稳的危险状态。

二、渗透动水压力的计算

如图 2-1-4-15 所示,渗透动水压力可按式计算:

$$D = I \Omega_B \gamma_0 \quad (2-1-4-10)$$

式中 D ——作用于浸润线以下土体重心的渗透动水压力 kN/m ;

I ——渗透水力坡度(验算时可取路堤内浸润线上的最高水位,与堤边坡处低水位连线所表示的坡度);

Ω_B ——浸润曲线与滑动弧之间的面积 m^2 ;

γ_0 ——水的容重,取 10kN/m^3 。

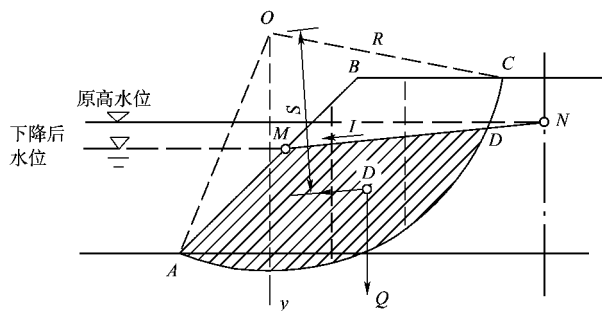


图 2-1-4-15 动水压力计算示意图

渗透动水压力的作用方向与渗透水力坡度平行,并通过 Ω_B 面积的形心。

三、浸水路堤边坡稳定性验算的方法

浸水路堤边坡稳定性验算的方法与普通路堤边坡稳定性验算的方法基本相同。例如在条分法中,只注意每个土条里浸水部分与未浸水部分各自基本参数的变化,各自分开计算。

如图 2-1-4-16 所示,当采用圆弧法进行浸水路堤边坡稳定性验算时,其稳定系数 K 根据式(2-1-4-6)演变后,可按式计算:

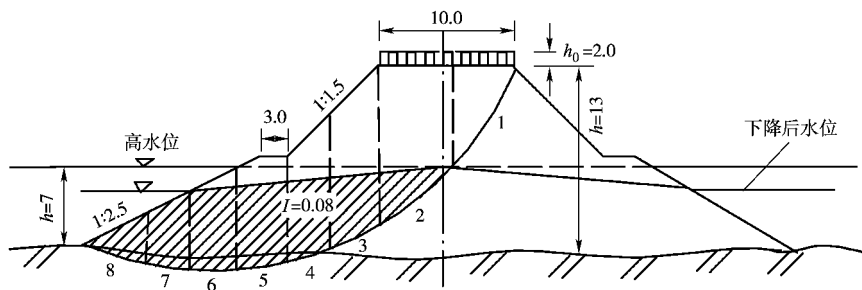


图 2-1-4-16 浸水路堤边坡稳定性验算例题图(尺寸单位: m)

$$K = \frac{M_{\text{抵抗}}}{M_{\text{滑动}}} = \frac{(f_c \sum N_c + f_b \sum N_b + C_c L_c + C_b L_b) R}{(\sum T_c + \sum T_b) R + \sum D_n S_n}$$

$$= \frac{f_C \sum N_C + f_B \sum N_B + C_C L_C + C_B L_B}{\sum T_C + \sum T_B + \sum D_n S_n / R} \quad (2-1-4-11)$$

分母第三项可用 D 代替, 上式简化为:

$$K = \frac{f_C \sum N_C + f_B \sum N_B + C_C L_C + C_B L_B}{\sum T_C + \sum T_B + D} \quad (2-1-4-12)$$

式中 K ——稳定系数, 一般取 $1.25 \sim 1.50$;

$f_C \sum N_C$ ——沿滑动面未浸水部分土条的内摩擦力 $f_C = \tan \varphi_C$, 各土条的 $N_C = (Q + P) \cos \alpha_n$;

$f_B \sum N_B$ ——沿滑动面浸水部分土条的内摩擦力 $f_B = \tan \varphi_B$, 各土条中 N_B 包括未浸水部分土体 (含汽车荷载) 和浸水部分土体两部分, 先分计后汇总;

C_C ——沿滑动面未浸水部分土条的单位粘聚力 kPa ;

C_B ——沿滑动面浸水部分土条的单位粘聚力 kPa ;

L_C ——沿滑动面未浸水部分土条的弧长 m ;

L_B ——沿滑动面浸水部分土条的弧长 m ;

$\sum T_C$ ——沿滑动面未浸水部分土条的下滑力;

$\sum T_B$ ——沿滑动面浸水部分土条的下滑力, 各土条中 T_B 包括未浸水部分土体 (含汽车荷载) 和浸水部分土体两部分, 先分计后汇总;

D ——渗透动水压力;

D_n ——分段渗透动水压力;

S_n ——分段渗透动水压力作用线距圆心的垂直距离。

在计算浸润线以下饱水土重 Q_B (分解 N_B 、 T_B) 时, 需用土的浸水容重 γ_B , 可按式 (考虑了水的浮力) 计算:

$$\gamma_B = (\Delta - \Delta_0)(1 - n)\gamma_0 = \frac{(\Delta - \Delta_0)\gamma_0}{1 + e} \quad (2-1-4-13)$$

式中 Δ ——土的相对密度, 即固体土粒容重与水容重之比 $\Delta = \frac{\gamma_s}{\gamma_0}$;

Δ_0 ——水的相对密度 $\Delta_0 = 1$;

n ——土的孔隙率 $n = \frac{e}{1 + e}$;

e ——土的孔隙比;

γ_0 ——水的容重 $\gamma_0 = 10 \text{kN/m}^3$ 。

【例】横断面见图 2-1-4-16 所示。高水位时水深为 7m 。干土内摩擦角 $\varphi_C = 25^\circ$, 粘聚力 $C_C = 10 \text{kPa}$; 饱和后 $\varphi_B = 22^\circ$, $C_B = 5 \text{kPa}$; 土的干容重 $\gamma_C = 17 \text{kN/m}^3$, 土的饱和容重 $\gamma_s = 26 \text{kN/m}^3$, 孔隙率 $n = 31\%$, 假定水力坡降 $I = 0.08$, 试进行稳定性验算。

【解】(1) 确定滑动圆弧中心所在辅助线后, 拟定若干曲线及其中心所在位置, 将每一圆弧范围内分段 (8 段), 并求出对圆弧滑动面 (通过路基右侧边缘) 各分段中点的偏角 α_0 , 见表 2-1-4-5。

(2) 确定浸润线位置。由路基中线最高水位处以坡降 $I = 0.08$ 引出 (图 2-1-4-16), 浸润线以上是干土, 容重 $\gamma_C = 17 \text{kN/m}^3$, 土的相对密度 $\Delta = \gamma_s / \gamma_0 = 26 / 10 = 2.6$, 浸润线以下是饱和

土,并受水的浮力作用,其容重为

$$\gamma_B = (\Delta - \Delta_0)(1 - n)\gamma_0 = (2.6 - 1)(1 - 0.31) \times 10 = 11 \text{ kN/m}^3$$

(3)分段求出浸润线上下干土和饱和土的面积,先分别计两部分重力,然后汇合成各分段重力,再分解成 N_i 、 T_i ,按比例求出干土和饱和土两部分滑动曲线长度,计算结果如表 2-1-4-5 所示。

浸水路堤边坡稳定性验算

表 2-1-4-5

分段	$\sin\alpha_i$	α_i	$\cos\alpha_i$	分段面积 $\Omega(\text{m}^2)$		土重力 $Q(\text{kN})$		分段重力 (kN)	$N_i = Q_i \cos\alpha_i$ (kN)	$T_i = Q_i \sin\alpha_i$ (kN)	滑动曲线长度 (m)		动水压力 D (kN)
				干的部分 Ω_C	饱和部分 Ω_B	干的部分 Q_C	饱和部分 Q_B		干的 L_C	饱和的 L_B			
1	0.85	58°00'	0.53	29.9		500.3		500.3	265.2	427.0	7.2		162.0
								Σ	265.2	427.0			
2	0.64	39°40'	0.77	41.0	16.5	696.0	181.5	877.5	675.0	561.0		38.0	
3	0.47	28°00'	0.88	24.5	33.5	416.0	368.5	784.5	690.0	368.5			
4	0.28	16°30'	0.96	9.58	41.42	163.0	455.0	618.0	594.0	173.0			
5	0.11		0.99	8.60	44.5	146.0	489.5	635.5	629.0	70.3			
6	- 0.07		0.99		38.5		423.5	423.5	429.5	- 29.6			
7	- 0.27		0.97		22.0		242.0	242.0	234.5	- 65.4			
8	- 0.37		0.93		4.8		52.8	52.8	49.2	- 19.6			
										3291.2	1058.2		

(4)按式(2-1-4-10)求出作用于饱和土体的渗透动水压力。

$$D = I\Omega_B\gamma_0 = 0.08 \times 202.52 \times 10 = 162.0 \text{ kN}$$

(5)按式(2-1-4-12)计算稳定系数。

$$\tan\varphi_C = \tan 25^\circ = 0.4663, \tan\varphi_B = \tan 22^\circ = 0.404$$

$$K = \frac{0.4663 \times 265.2 + 0.404 \times 3291.2 + 10 \times 7.2 + 5 \times 38}{427 + 1058.2 + 162} = \frac{1715}{1647.2} = 1.04$$

由此可见,此断面是不稳定的。浸水部分的边坡应再予放缓,同时假定不同的圆弧滑动面进行验算,此处从略。

本章小结

(1)对于高路堤、深路堑、陡坡路堤、浸水路堤以及地质水文条件特殊地段的路基,应进行边坡稳定性分析和验算。

(2)边坡稳定性分析和验算方法常用的有力学验算法、工程地质法两种。在力学验算法中又可分为数解法、图解或表解法两类。一般土质路基的边坡设计常用力学验算法进行验算;岩石或碎石土类路基的边坡则常采用工程地质法进行设计。

(3)在一般情况下,当路基填筑的是砂类土时,滑动面为通过坡脚的一直线平面;当路基填筑的是粘性土时,为通过坡脚的一圆弧滑动面。当地基为软弱土层时,滑动面为通过坡脚以

下软弱土层内的一圆弧滑动面。当边坡为折线形时,除了以上一般情况下的考虑,同时可根据变坡点以上路基填筑的是砂类土或粘性土,分别为通过变坡点的一直线或圆弧滑动面。当横断面为陡坡时,除了以上一般情况下通过坡脚滑动面的考虑,还应作沿原地面为滑动面的路基整体滑动验算。

(4)按车辆最不利情况排列,将车辆的设计荷载换算成路基表层土的相当厚度 h_0 ,此厚度 h_0 称为汽车荷载的当量高度。

(5)边坡稳定性验算所需土的试验资料为土的容重 γ 、内摩擦角 φ 、粘结力 c 。

(6)直线滑动面法验算的思路是:先通过坡脚或变坡点假设一直线滑动面,下滑土楔体沿假设的滑动面滑动,计算其稳定系数 K ,然后通过坡脚点,继续假设不同的滑动面,求出相应的稳定系数 K_i 值,绘出 $K=f(\alpha)$ 曲线,在此曲线上找到最小稳定系数 $K_{\min}$,并要求不小于 1.25。

(7)圆弧滑动面法验算的思路是:首先用 4.5H 法作圆心辅助线,然后通过坡脚选一个可能的圆弧滑动面,将滑动土体分成若干个垂直土条,利用条分法计算稳定系数 K ;再假设几个可能的滑动圆弧,分别计算相应的稳定系数,在圆心辅助线上绘出稳定系数关于圆心的关系曲线,找出最小的稳定系数 $K_{\min}$,并要求不小于 1.25。

(8)在原地面横坡度陡于 1:25(土质基底)或陡于 1:2(不易风化的岩石基底)或不稳固山坡上的路堤,被称为陡坡路堤。陡坡路堤的稳定性验算的思路是:根据路堤可能滑动的方向,整块或逐块计算剩余下滑力,由最终剩余下滑力的正负来判断路堤的稳定性。当基底为单一坡面时,可用直线滑动面法进行整体稳定性验算。当滑动面为多个坡度的折线倾斜面时可用折线滑动面法进行整体稳定性验算。

(9)当边坡稳定性验算不足时,可采用的改善措施有:

- ①改善基底,增加滑动面的抗滑力或减少滑动力;
- ②选择较大颗粒填料;
- ③设置支挡结构物。

(10)受到季节性或长期浸水的沿河路堤、河滩路堤、桥头引道等均称为浸水路堤。当堤外水位急剧下降及路堤上游侧水位急剧上升时,必须考虑渗透动水压力进行稳定性验算。

思考题与习题

1. 什么情况下需要进行边坡稳定性分析和验算?
2. 常用边坡稳定性验算方法有哪两种?力学验算法中又可分为哪两种?
3. 如何正确地选用可能的滑动面?
4. 何谓汽车荷载当量高度?换算时以哪层土为基准?
5. 边坡稳定性验算时所需土的试验资料有哪些?
6. 何谓工程地质法?什么情况下适用?
7. 直线滑动面法适用于什么土?其验算思路及步骤如何?
8. 圆弧滑动面法适用于什么土?其验算思路及步骤如何?
9. 何谓陡坡路堤?其稳定性验算的思路是什么?

10. 当边坡稳定性验算不足时,可采用的改善措施有哪些?

11. 何谓浸水路堤?哪两种情况需要进行考虑渗透水压力的稳定性验算?

12. 路堤断面如图 2-1-4-17 所示,路堤土为亚粘土, $\gamma = 17.64\text{kN/m}^3$, $\varphi = 27^\circ$, $c = 9.8\text{kN/m}^2$,设计荷载为汽车—15 级,试验算该路堤的稳定性。

13. 已知陡坡路堤的横断面如图 2-1-4-18 所示,路堤横断面面积 $A = 125\text{m}^2$,填土容重 $\gamma = 18\text{kN/m}^3$,粘结力 $c = 9.8\text{kN/m}^2$,基底接触面的内摩擦角 $\varphi = 20^\circ 52'$,试验算此路堤的整体稳定性,安全系数 $K = 1.25$ 。

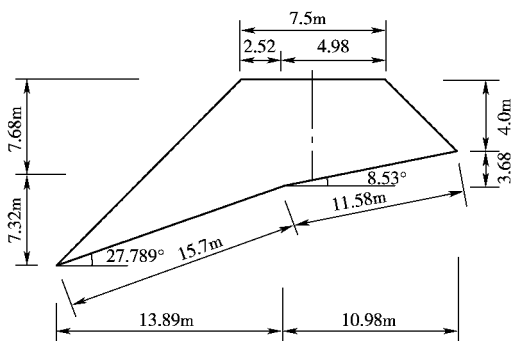


图 2-1-4-17

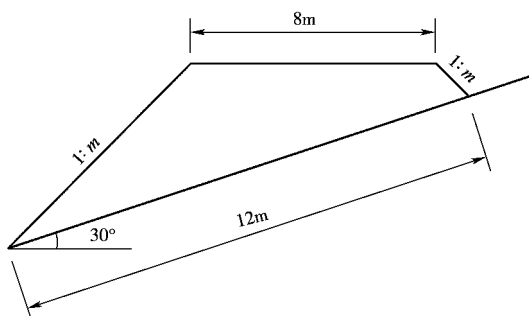


图 2-1-4-18

第五章

路基防护与加固

教学要求

1. 描述路基防护与加固的分类及各自适用的场合和作用；
2. 描述坡面防护和冲刷防护的类型与构造；
3. 进行湿软地基加固方法的选用；
4. 根据当地的自然条件和具体情况，运用各种常用路基的加固与防护设施，并能进行指导与组织施工工作。

• 第一节 防护与加固的分类 •

一、路基防护与加固的意义

由岩土所筑成的路基，大面积地暴露于空间，长期受自然因素的侵蚀。岩土在不利水温条件下，物理、力学性质将发生变化。浸水后湿度增大，土的强度降低。岩性差的岩体，在水温变化条件下，加剧风化。路基表面在温差作用下形成胀缩循环，在湿差作用下形成干湿循环，可导致强度衰减和剥蚀。地表水流冲刷，地下水源浸入，使岩土表层失稳，易造成和加剧路基的水毁病害。沿河路堤在水流冲击、淘刷和浸蚀作用下，易遭破坏。湿软地基承载力不足，易导致路基沉陷。所有这些，均取决于岩土的物理、力学性质及自然因素，且与路基承受行车荷载的情况密切相关。

合理的路基设计，应在路基位置、横断面尺寸、岩土组成等方面综合考虑。为确保路基的强度与稳定性，路基的防护与加固，是不可缺少的工程技术措施。随着公路等级的提高，为维护正常的汽车运输，减少公路灾害，确保行车安全，保持公路与自然环境协调，路基的防护与加固更具有重要意义。实践证明，在高等级公路建设中，防护工程对保证公路使用品质、提高投资效益均具有重要的意义。

二、路基防护与加固的分类

路基防护与加固设施，主要有边坡坡面防护、沿河路堤河岸冲刷防护与加固以及湿软地基的加固处治。

坡面防护，主要是保护路基边坡坡面免受雨水冲刷，减缓温差及湿度变化的影响，防止和延缓软弱岩土表面的风化、破碎、剥蚀演变进程，从而保护路基边坡的整体稳定性。在一定程度上还可以兼顾路容，美化公路。坡面防护设施，不考虑承受斜坡地层的侧压力，故要求坡面岩土整体

稳定牢固。简易防护的边坡高度与坡度不宜过大,土质边坡坡度一般不陡于 $1:1 \sim 1:1.5$ 。地面水的径流速度以不超过 2.0m/s 为宜,水亦不宜集中汇流。雨水集中或汇水面积较大时,应有排水设施相配合,如在挖方边坡顶部设截水沟,高填方的路肩边缘设拦水埂等。

常用的坡面防护设施有植物防护(种草、铺草皮、植树等)、圬工防护(抹面、捶面、喷浆、喷射混凝土、石砌护坡、护面墙等)和骨架植物防护。植物防护可视为有“生命”(成活)防护,圬工防护属无机物防护,骨架植物防护可视为是前两种防护设施的综合使用。有“生命”防护以土质边坡为主,无机物防护以石质路堑边坡为主。在一定程度上,有“生命”防护在稳定边坡和改善路容方面,优于无机物防护。

堤岸防护与加固主要对沿河滨海路堤、河滩路堤及水泽区路堤,亦包括桥头引道、路基边旁的防护堤岸等的防护与加固。此类堤岸常年或季节性浸水,在流水冲击、淘刷和侵蚀作用下,易造成路基水毁、坡脚淘空,或水位骤降时产生管涌现象,使路基内细粒填料流失,而导致路基失稳、边坡坍塌。所以堤岸防护与加固,主要是针对水流的破坏作用而设,起防水治害和加固堤岸双重功效。

堤岸防护与加固设施有直接和间接两类。直接防护是为了防止水流直接危害路基或堤岸,防护重点在边坡和坡脚。直接防护包括植物防护和石砌防护或抛石与石笼防护,常用的有植树、铺石、抛石或石笼等。间接防护则是通过改变水流方向,消除和减缓水流对路基或堤岸直接破坏,同时促使堤岸附近水流减速和泥沙淤积起安全保护作用。其主要是设置导治结构物,如丁坝、顺坝、防洪堤、拦水坝等,必要时进行疏浚河床、改变河道,但改变水流流速、流向和原来状态,可能导致上下游路基及对面堤岸损害,必须慎重对待,掌握流水运动规律,因势利导,防治结合,综合治理。

湿软地基的承载能力较差,如泥沼与软土、低洼的湖(海)相沉积土层、人为垃圾杂填土等,填筑路基前必须予以加固,以防路基沉陷、滑移或产生其他病害。湿软地基加固,规模大、造价高,应注意方案比较,研究技术和经济方面的可行性,力求从简,尽量就地取材。地基加固是路基主体工程的一部分,要结合路基设计(即确定路基标高,选择横断面,决定设施等)综合处治。

湿软地区修筑路基时,地基加固关键在于治水和固结。各种加固方法,可归纳成换填土、碾压夯实、排水固结、振动挤密和化学加固 5 类。其中加筋土为土中加入某种能承受一定拉力的筋条或化学纤维,凭借筋条与填土之间的摩擦作用,提高土的抗剪强度,改善路基抵抗变形的条件。土工布、土工格栅加筋是利用化纤材料织成布或网格,铺在软弱地基或填土层中,亦能收到良好效果。其他还有石灰桩、砂桩与砂井等,亦可采用强夯法,利用重锤的强大冲击力,以达到地基排水固结提高承载能力的目的。

• 第二节 坡面防护 •

坡面防护主要是用以防护易受自然因素影响而破坏的土质与岩质边坡。坡面防护的几种常用措施简要介绍如下:

一、植物防护

植物防护,可美化路容,协调环境,调节边坡土的湿温,起到固结和稳定边坡的作用。它对

于坡高不大,边坡比较平缓的坡面是一种简易有效的防护设施,其方法有植被防护、三维植被网防护、湿法喷播、客土喷播。

1. 植被防护

1) 种草

适用于边坡坡度不陡于 1:1,土质适宜种草,不浸水或短期浸水但地面径流速度不超过 0.6m/s 的边坡。对不利于草类生长的土质,应在坡面先铺一层厚度不小于 100mm 的种植土再栽种或播种。暴雨强度较大的地区,可在坡面上铺设植生袋,将草籽、肥料和土均匀拌和并裹于土工织物内。草种应适应当地自然条件,最好是根系发达、茎干低矮、枝叶茂盛、生长能力强的多年生草种,常用的有白茅草、毛鸭嘴、果圆、鼠尾草和小冠等,对生长在泥沼或砂砾土中的草不能选用。

2) 铺草皮

适用于坡度不陡于 1:1 的土质和强风化、全风化的岩石边坡。草皮可为天然草皮或人工培植的土工网草皮,应选用根系发达、茎矮叶茂的耐旱草种,如白茅草、假俭草等,干枯、腐朽及喜水草种不宜采用,严禁采用生长在泥沼地的草皮。当坡面冲刷比较严重,边坡较陡,径流速度大于 0.6m/s(容许最大速度为 1.8m/s)时,应根据具体条件(坡度与流速等),分别采用平铺(平行于坡面)、水平叠置、垂直坡面或与坡面成一半坡角的倾斜叠置草皮,还可采用片石铺砌成方格或拱式边框,方格或框内再铺草皮,如图 2-1-5-1 所示。经常性浸水和受流水影响的路堤边坡不宜采用铺草皮防护。

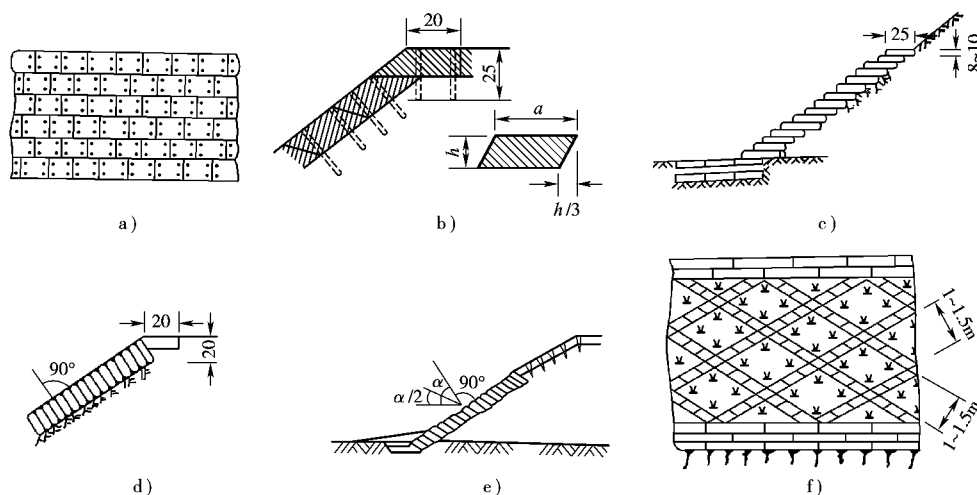


图 2-1-5-1 草皮防护示意图(除已注明尺寸外,其余尺寸单位为 cm)

a)平铺平面 b)平铺剖面 c)水平叠铺 d)垂直叠铺 e)斜交叠铺 f)网格式(图中 h 为草皮厚度,约 5~8cm; a 为草皮边长,约 20~25cm。)

铺草皮需预先备料,草皮可就近培育,切成整齐块状,然后移铺在坡面上。铺时应自下而上,并用竹木小桩将草皮钉在坡面上,使之稳固。草皮根部土应随草切割,坡面要预先整平,必要时还应加铺种植土,草皮应随挖随铺,注意相互贴紧。

3) 植树

适用于坡度不陡于 1:1.5 或更缓的土质和全风化的岩石边坡。树种应为根系发达、枝叶茂盛、适合当地迅速生长的低矮灌木。常用灌木树种有紫穗槐、夹竹桃、黄荆、野蔷薇、山楂等。在公路弯道内侧边坡严禁栽植高大树木。

2. 三维植被网防护

三维植被网以热塑树脂为原料,采用科学配方制成,其结构分为上下两层,下层为一个经双面拉伸的高模量基础层,强度足以防止植被网变形,上层由具有一定弹性的、规则的、凹凸不平的网包组成。网包能降低雨滴的冲蚀能量,并通过网包阻挡坡面雨水,同时网包能很好地固定充填物(土、营养土、草籽)使其不被雨水冲走,为植被生长创造良好条件。另外三维网固定在坡面上,直接对坡面起固筋作用。当植物生长茂盛后,根系与三维网盘错、连接、纠缠在一起,坡面和土相接,形成一个坚固的绿色复合防护整体,起到复合护坡的作用。三维植被网防护适用于砂性土、土夹石及风化岩石,且坡率缓于 1:0.75 的边坡;三维植被网中的回填土采用客土或土、肥料及含腐殖质土的混合物。

3. 湿法喷播

湿法喷播是一种以水为载体的机械化植被建植技术。它采用专门的设备(喷播机)施工。种子在较短的时间内萌芽、生长成株、覆盖坡面,达到迅速绿化、稳固边坡的目的。湿法喷播适用于土质边坡、土夹石边坡、严重风化岩石且坡率缓于 1:0.5 的路堑和路堤边坡及中央分隔带、立交区、服务区及弃土堆绿化防护。

4. 客土喷播

客土喷播是将客土(提供植物生长的基盘材料)、纤维(基盘辅助材料)、侵蚀防止剂、缓效肥料和种子按一定比例,加入专用设备中充分混合后,喷射到坡面,使植物获得必要的生长基础,达到快速绿化的目的。客土喷播适用于风化岩石、土壤较少的软质岩石、养分较少的土壤、硬质土壤、植物立地条件差的高陡坡面和受侵蚀显著的坡面。当坡率陡于 1:1 时,宜设置挂网或混凝土框架。

二、圬工防护

当不宜使用植物防护或考虑就地取材时,采用砂石、水泥、石灰等矿质材料进行坡面防护是常用的防护形式。它主要有抹面、捶面、喷护、挂网喷护、砌石护坡、浆砌片石护面墙等形式,可根据不同条件选用。

1. 抹面

抹面防护适用于坡面较干燥、未经严重风化的各种易风化的软质岩石挖方边坡。抹面材料可采用石灰炉渣灰浆、石灰炉渣打三合土或水泥石灰砂浆,为防止表面开裂,增强抗冲蚀能力,可在表层涂软化点稍高于当地气温的沥青保护层,用量为 $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 。抹面的厚度宜为 30~70mm,抹面的边坡坡度不受限制,但不能担负荷载,亦不能承受土压力,故要求边坡必须是稳定的,坡面应该平整干燥。抹面大面积布置时,应该每隔 5~10m,设伸缩缝一道,缝宽 10~20mm,用沥青麻筋或油毛毡填塞紧密。其周边必须严格封闭,坡顶设置小型截水沟,沟深及底宽约 200mm,沟底与沟坡用抹面材料封面。抹面要求经常检查维修,发现裂纹或脱落,及时浆补,抹面的正常使用年限为 8~10 年,高速公路路基边坡不宜采用。

2. 捶面

捶面防护适用于边坡坡率缓于 1:0.5、易受雨水冲刷的土质边坡或易风化剥落的岩石边坡。当地石料缺乏而炉渣来源较多时,也宜用捶面。常用的材料有水泥炉渣混合土、石灰炉渣三合土或四合土。捶面厚度宜为 100~150mm,一般采用等厚截面,当边坡较高时,可采用上薄下厚截面。捶面工程应经常检查维修,发现裂缝、开裂或脱落应及时灌浆修补。捶面的使用年限一般为 10~15 年,高速公路路基边坡不宜采用。

3. 喷护

常用的喷护方法有喷掺砂水泥土、喷浆、喷射混凝土等。对于易受冲刷的土质路堑边坡,坡度不陡于 1:0.75,宜采用喷掺砂水泥土。其材料为砂、水泥、粘性土,厚度一般为 60~100mm。喷浆适用于易风化但未遭强风化、全风化的岩石挖方边坡,坡度不陡于 1:0.5。喷浆防护厚度不宜小于 50mm,采用的砂浆强度不应低于 M10。喷射混凝土适用于易风化但未遭强风化、全风化的岩石边坡,坡度不陡于 1:0.5。喷射混凝土防护厚度不宜小于 80mm,采用的混凝土强度不应低于 C15,混凝土中集料最大粒径不宜超过 15mm。喷浆防护和喷射混凝土防护均应设置伸缩缝,伸缩缝间距宜为 15~20m,还应间隔 2~3m 交错设置孔径为 100mm 的泄水孔。

4. 挂网喷护

挂网喷护是在清挖出密实、稳定的新鲜坡面上钻孔、安装锚杆、灌浆,然后挂上钢丝网或纤维网,最后用高压泵喷射混凝土形成防护层,适用于风化破碎的岩石边坡防护。锚杆应采用精轧螺纹钢,其直径为 14~22mm,间距为 1.0~3.0m。锚杆应为全长粘结型锚杆,注浆材料根据设计确定,一般选用灰砂比为 1:1~1:2,水灰比为 0.38~0.45 的水泥砂浆,注浆压力不低于 0.2MPa。铁丝网宜采用直径为 2mm 的普通镀锌铁丝制成,网孔尺寸为 200~250mm,也可用高强度聚合物土工格栅代替铁丝网。岩石破碎较为严重时,宜采用钢筋网,钢筋直径 4~12mm,间距为 150~300mm。钢筋保护层厚度不应小于 20mm。钢筋网喷射混凝土支护厚度不应小于 100mm,亦不应大于 250mm。

5. 砌石护坡

砌石护坡分为两种:干砌片石护坡、浆砌片石护坡。

干砌片石护坡适用于易受水流侵蚀的土质边坡、严重剥落的软质岩石边坡、周期性浸水及受水流冲刷较轻(流速小于 2~4m/s)的河岸或水库岸坡的坡面防护。边坡坡度不陡于 1:1.25。干砌片石护坡一般分为单层铺砌和双层铺砌,如图 2-1-5-2 所示。铺砌层厚度:单层为 250~350mm,双层为 400~600mm。铺砌层下应设置碎石或砂砾垫层,厚度 100~150mm,当坡面土的粒径分配曲线上通过率为 85% 的颗粒粒径大于或等于 0.074mm 时,可以用反滤效果等效于砂砾垫层的土工织物代替。干砌片石护坡坡脚应修筑堰石铺砌式基础,埋置深度一般为 1.5 倍护坡厚度。用于冲刷防护时,基础应埋置在冲刷线以下 0.5~1.0m。干砌片石应逐块嵌紧且错缝,护面厚度一般不小于 200mm,干砌要勾缝,必要时改用浆砌,护面顶部封闭,以防渗水。

浆砌片石护坡适用于防护流速较大(3~6m/s)、波浪作用较强、有流冰、漂浮物等撞击的边坡。对过分潮湿或冻害严重的土质边坡应先采取排水措施再行铺筑。浆砌片石护坡采用的砂浆强度不得低于 M5,护坡厚度宜为 250~500mm,当用于冲刷防护时,应按流速及波浪大小

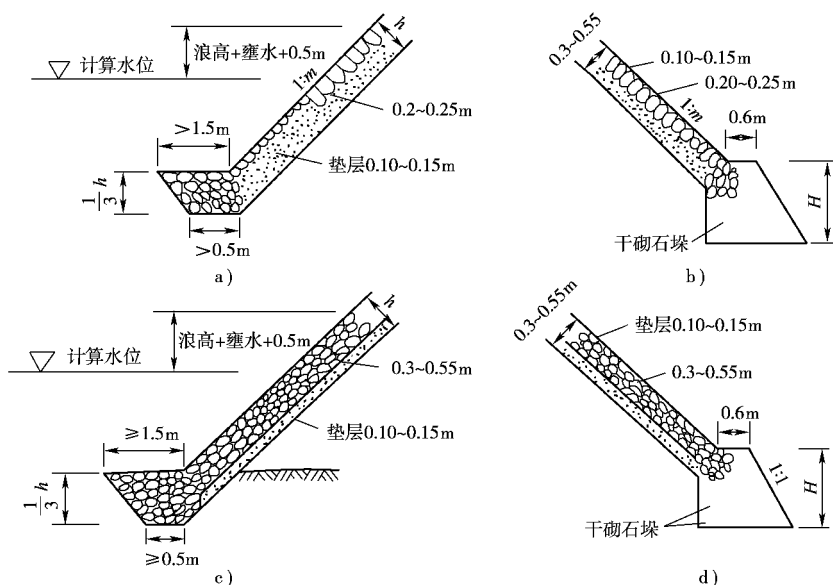


图 2-1-5-2 片石护坡示意图

a)、b)单层 c)、d)双层

(图中 H 为干砌石垛高度 约 20 ~ 30cm h 为护面厚度 大于 20cm。)

确定,不应小于 350mm。护坡底面应设厚度 100 ~ 150mm 碎石或砂砾垫层,当坡面土的粒径分配曲线上通过率为 85% 的颗粒粒径大于或等于 0.074mm 时,可以用反滤效果等效于砂砾垫层的土工织物代替。浆砌片石护坡坡脚应修筑堰石基础,埋置深度一般为 1.5 倍护坡厚度。浆砌片石护坡还应设置 20mm 宽伸缩缝,伸缩缝间距宜为 10 ~ 15m;同时,还应间隔 2 ~ 3m 交错设置泄水孔,孔径为 100mm。在地基土质变化处还应设置沉降缝。

6. 护面墙

为了覆盖各种软质岩层和较破碎岩石的挖方边坡,免受大气因素影响而修建的墙称为护面墙。护面墙多用于易风化的云母片岩、绿泥片岩、泥质面岩、千枚岩及其他风化严重的软质岩层和较破碎的岩石地段。护面墙除自重外,不承受其他荷重,亦不承受墙背土压力,故所防护的边坡应符合极限稳定边坡的要求,一般不宜陡于 1:0.5。墙面要求紧贴坡面,表面砌平,厚度可不一。护面墙石料应符合规格。每隔 10 ~ 15m 应设置 20mm 宽伸缩缝一道,并每隔 2 ~ 3m 交错设置泄水孔,孔径 100mm,其构造与布置如图 2-1-5-3 所示。墙高与厚度及路堑边坡的关系,参见表 2-1-5-1。

护面墙的厚度

表 2-1-5-1

护面墙 H (m)	路堑边坡	护面墙厚度(m)	
		顶宽 b	底宽 d
≤ 2	1:0.5	0.40	0.40
≤ 6	陡于 1:0.5	0.40	$0.40 + 0.10H$
$6 < H \leq 10$	1:0.5 ~ 1:0.75	0.40	$0.40 + 0.05H$
$10 < H < 15$	1:0.75 ~ 1:1	0.40	$0.60 + 0.05H$

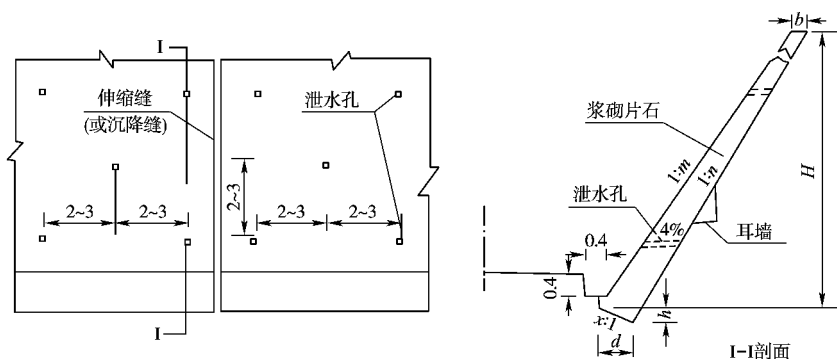


图 2-1-5-3 护面墙(尺寸单位 m)

护面墙分为实体式、窗孔式、拱式等类型,应根据边坡地质条件合理选用。实体护面墙常用于一般土质及破碎岩石边坡,有等截面和变截面两种形式,等截面护面墙高度不宜超过 6m,当坡度较缓时,不宜超过 10m。变截面护面墙,单级不宜超过 10m,超过时应设平台,分级砌筑,如图 2-1-5-4 所示。窗孔式护面墙防护的边坡不应陡于 1:0.75。窗孔内可采用干砌片石、植草等辅助防护措施,窗孔宜采用半圆拱形,高为 2.5~3.5m,宽为 2~3m,圆拱半径为 1.0~1.5m,其构造如图 2-1-5-5 所示。拱式护面墙适用于边坡下部岩层较完整而需要防护上部边坡或跨过个别软弱地段的边坡。其拱圈可采用 M10 水泥砂浆砌块石,拱跨宜为 2~3m,

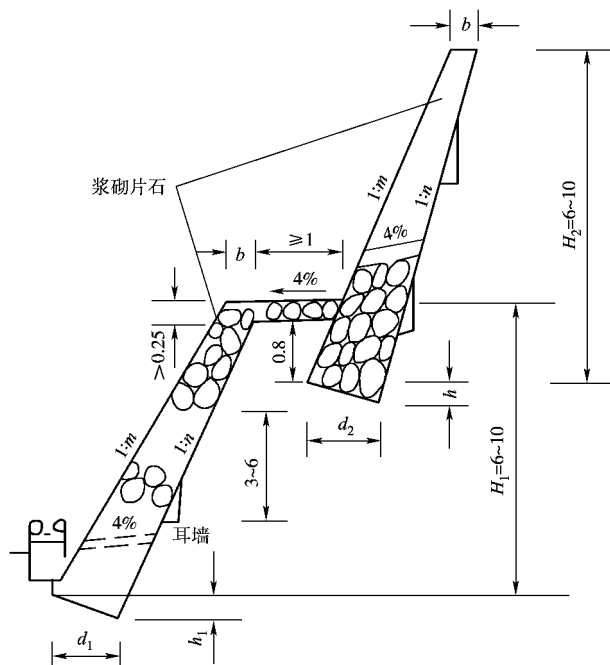


图 2-1-5-4 两级护面墙(尺寸单位 m)

拱高视边坡下面完整岩层的高度确定。拱跨大于 5m 时,拱圈应采用水泥混凝土结构,拱式护面墙如图 2-1-5-6 所示。

护面墙基础应埋置在稳定的地基上,埋置深度应根据地质条件确定,冰冻地区,应埋置在

冰冻深度以下不小于 250mm。护面墙前趾应低于边沟铺砌的底面。

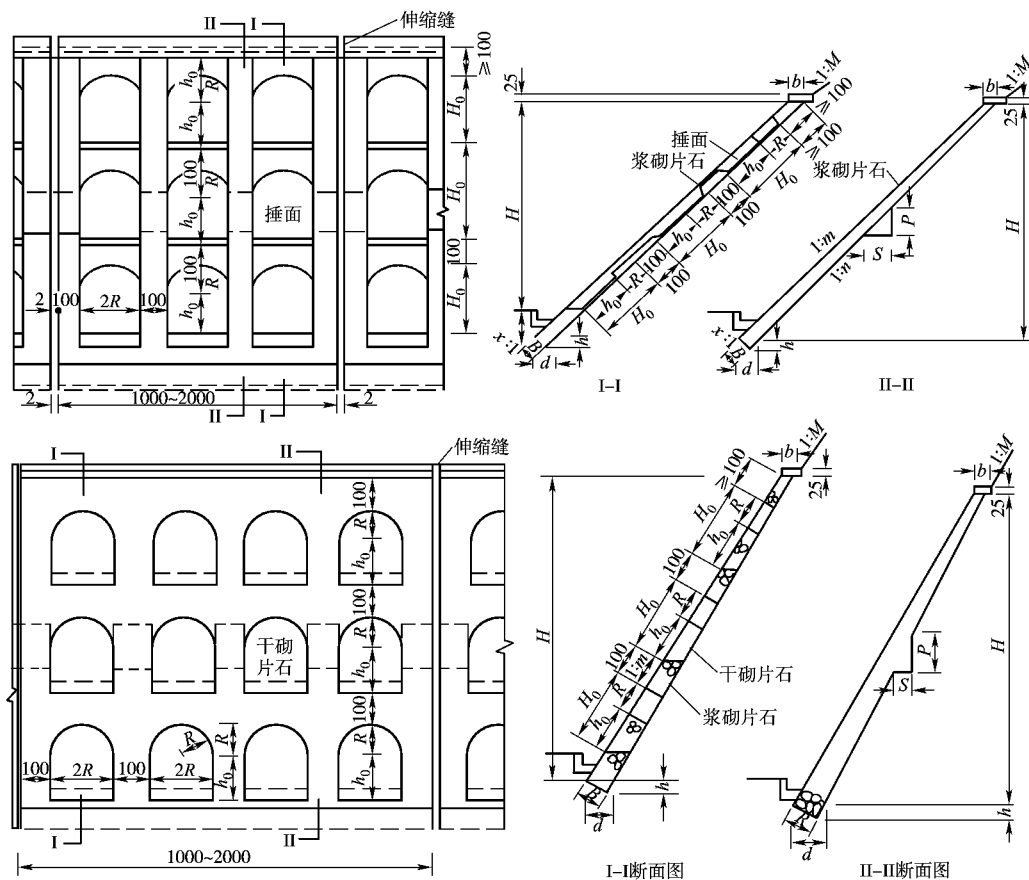


图 2-1-5-5 窗孔式护面墙 (尺寸单位: cm)

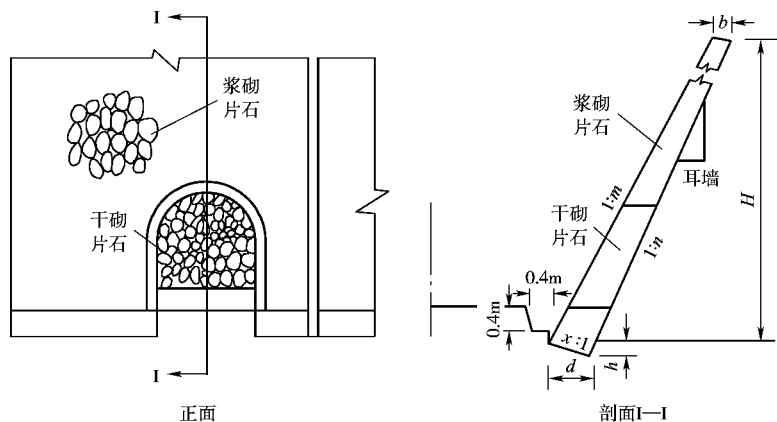


图 2-1-5-6 拱式护面墙

三、骨架植物防护

对于仅用植物防护不足以抵抗侵蚀冲刷的粘土路基或高填路段,受雨水侵蚀和风化严重易产生沟槽的路段,以及土质不适宜植物生长和周围环境需要绿化的路段,常采用骨架植物防护。骨架植物防护可分为浆砌片石或水泥混凝土骨架植草防护、多边形水泥混凝土空心块骨架植物防护和锚杆混凝土框架植物防护等形式。

浆砌片石或水泥混凝土骨架植草护坡适用于缓于 1:0.75 的土质和全风化的岩石边坡。当坡面受雨水冲刷严重或潮湿时,坡度不陡于 1:1,骨架宽度宜为 200~300mm,嵌入坡面深度应视边坡土质及当地气候条件确定,一般为 200~300mm。

框架可为方格形、拱形和人字形等,其大小应视边坡坡度、土质确定,并与周围景观相协调,主骨架间距一般为 2.0~4.0m。框架内铺种草皮或其他辅助防护措施。护坡四周需用与骨架部分相同的材料镶边加固,加固的宽度不小于 500mm,混凝土骨架视情况在节点处可加设锚杆,多雨地区骨架宜做成截水沟形式。

多边形水泥混凝土空心块植物护坡适用于坡度缓于 1:0.75 的土质边坡和全风化、强风化的岩石路堑边坡,并视需要设置浆砌片石或混凝土骨架。当有景观要求时,应采用六边形空心预制块植物护坡。预制块的混凝土强度不应低于 C20,厚度不应小于 150mm,宽度宜为 50mm,其边长宜为 150~200mm。空心预制块内应填充种植土,喷播植草。

锚杆混凝土框架植物防护适用于土质边坡和坡体中无不良结构面、风化破碎的岩石路堑边坡。锚杆采用非预应力的全长粘结型锚杆,锚杆间距、长度应根据边坡地质情况确定。锚杆保护层厚度不应小于 20mm。框架应采用钢筋混凝土,混凝土强度不低于 C20,框架几何尺寸应根据边坡高度和地层情况等确定,框架内宜种草。

上述防护方法,可以局部处治,综合使用,并与放缓边坡等方法加以比较,力求实用和经济。如果在坡面防护时着色或修饰,还有助于改善路容。

• 第三节 冲刷防护 •

沿河路基直接承受水流的冲刷,所以为了保证路基坚固、稳定,必须采取措施予以防护。冲刷防护有两种类型:一种是直接防护,以加固岸坡为主要措施;另一种为间接防护,以改变水流方向,降低流速,减少冲刷为主要措施。根据河流情况、水流性质及岸坡具体冲刷情况,可单独使用一种,也可同时使用两种,综合治理。

一、直接防护

堤岸直接防护包括植物防护、石砌防护或抛石与石笼防护,以及必要时设置的支挡(驳岸等)。其中植物防护与石砌防护,同坡面防护所述基本类同,但堤岸的防冲刷主要原因是洪水急流,水位变迁不定,水流速度较大,故相应的要求更高。在盛产石料的地区,当水流速度达到 3.0m/s 或更高,植树与石砌防护无效时,可采用抛石防护。当水流速度达到或超过 5.0m/s 时,则改用石笼防护,也可就地取材,用竹笼或梢料防护,必要时可以采用土工织物软体沉排护坡。

抛石防护适用于经常浸水且水深较大的路基边坡或坡脚以及挡土墙、护坡的基础防护,一般多用于抢修工程。抛石防护类似在坡脚处设置护脚,亦称抛石垛,如图 2-1-5-7 所示。抛石垛的边坡坡度和选用石料块径应根据水深、流速和波浪情况确定,石料粒径应大于 300mm,坡度不应陡于所抛石料浸水后的天然休止角,边坡率 m_1 一般为 1.5~2.0, m_2 为 1.25~2.0;石料粒径一般为 15~50cm。抛石防护的顶宽不应小于所用最小石料粒径的两倍。在易冲刷的砂质土和淤泥质土坡面上进行抛石防护时,如水流通过缝隙使支承面发生冲蚀,则抛石防护将可能导致失败。因此,应在抛石背后设置反滤层,一般可采用粗砂、砾碎石反滤层,当地基条件较差时,也可以先铺设一层土工织物再设反滤层。

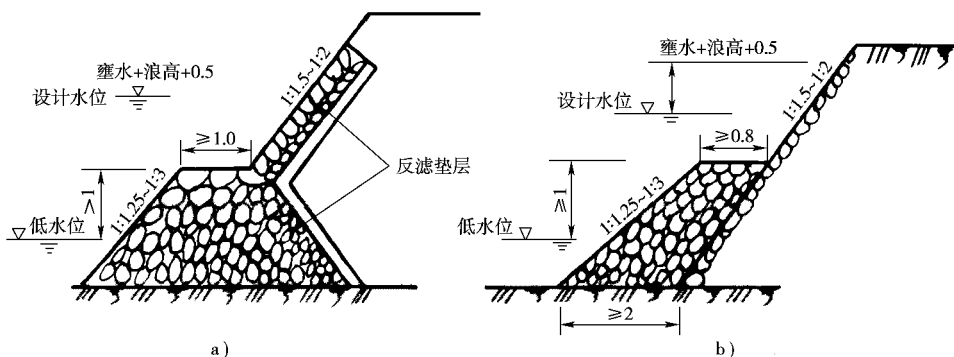


图 2-1-5-7 抛石防护(尺寸单位: m)

a)适用于新筑路堤的抛石垛 b)适用于旧路堤的抛石垛

当水流流速较大,又无较大颗粒的耐冲石块进行沿河路堤坡脚或河岸的防护时,可采用石笼防护。石笼是用铁丝编织成的框架,内填石料,设在坡脚处,以防急流和风浪破坏堤岸,也可用来加固河床,防止淘刷。铁丝框架可以是箱形或圆形,如图 2-1-5-8a)和图 2-1-5-8b)所示。笼内填石的粒径,最小不小于 4.0cm,一般为 5~20cm,外层应用大且棱角突出石料,内层可用较小石块填充。石笼在坡脚处排列,用于防止冲刷淘底时,应平铺并与坡脚线垂直,而且堤岸一端固定,另一端不必固定,淘刷后可以向下沉落贴于底面;用于防止堤岸边坡冲刷时,则垒码平铺成梯形,如图 2-1-5-8c)和图 2-1-5-8d)所示。单个石笼的大小,以不被相应速度的水流冲动为宜,铺设时须用碎(砾)石垫层铺平,底层各角可用铁棒固定于基底。

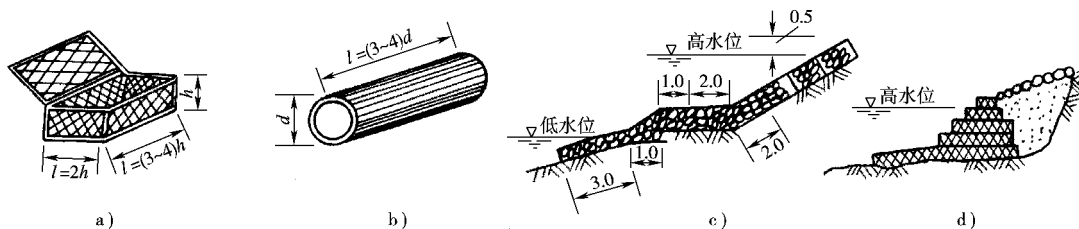


图 2-1-5-8 石笼防护示意图(尺寸单位: m)

a)箱形笼 b)圆柱形笼 c)防止淘底 d)防护岸坡

土工织物软体沉排是在土工织物上以块石或预制混凝土块体为压重的护坡结构。土工织物软体沉排一般适用于水下工程及预计可能发生冲刷的河床和岸坡土面上,主要有单片垫和双片垫两种结构形式。

单片垫是利用土工织物拼接成大面积的排体,双片垫是将两块单片垫重叠后按一定距离和形式将两片垫连接在一起而构成管状或格状空间,其中再填充透水性土石料(如砂卵石等),起到防冲与反滤的作用,双片垫的结构形式如图 2-1-5-9 所示。

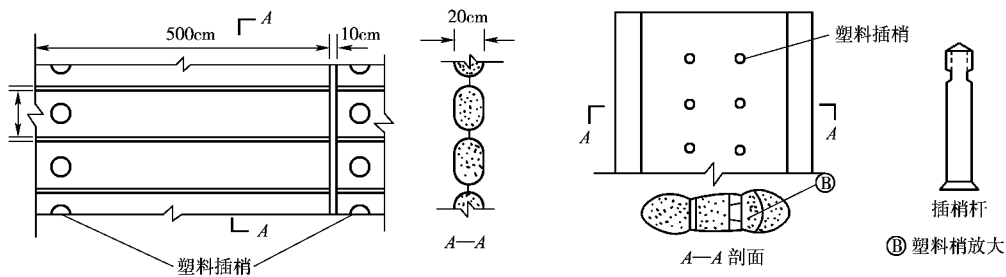


图 2-1-5-9 双片垫形式

土工模袋是一种双层织物袋,袋中充填流动性混凝土或水泥砂浆或稀石混凝土,凝固后形成高强度和高刚度的硬结板块。其主要应用场合及铺设形式如图 2-1-5-10 所示。土工模袋材料应满足表 2-1-5-2 的技术要求,袋内可充填混凝土或砂浆。充填混凝土时,粗集料最大粒径应符合表 2-1-5-3 的要求,坍落度不宜小于 20mm,其强度等级不低于 C10;充填砂浆时,其强度等级不低于 M2.5。采用土工模袋护坡的坡度不得陡于 1:1。如在水下施工,水流速度不宜大于 1.5m/s。模袋选型应根据工程要求和当地土质、地形、水文、经济与施工条件等确定。应根据水流量选定模袋滤水点分布数量,当选用无滤水点模袋时,应增设渗水滤管。模袋应用尼龙绳缝制。

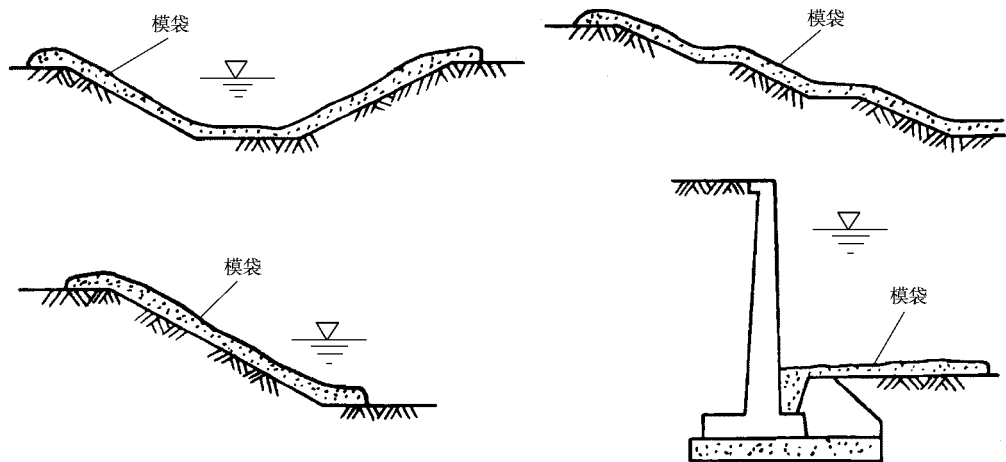


图 2-1-5-10 土工模袋的应用及铺设

土工模袋材料要求

表 2-1-5-2

指标内容	指标要求	指标内容	指标要求
顶破强度(N)	≥1500	等效孔径 O_{95} (mm)	0.07 ~ 0.15
渗透系数(10^{-3} cm/s)	0.86 ~ 10	延伸率(%)	≤15

混凝土集料的最大粒径要求

表 2-1-5-3

土工模袋厚度(mm)	集料最大粒径(mm)	土工模袋厚度(mm)	集料最大粒径(mm)
150 ~ 250	≤ 20	≥ 250	≤ 40

二、间接防护

间接防护,主要是设置各种导流及调治构造物。设置导流结构物可以改变水流方向,消除和减缓水流对堤岸直接破坏,同时可减轻堤岸近旁淤积,彻底解除水流对局部堤岸的损害作用,起安全保护作用。

导流结构物主要是指坝,按其相对于河道的相对位置,一般可分为丁坝、顺坝或格坝,如图 2-1-5-11 所示。丁坝亦称挑水坝,是一种较为剧烈地改变水流结构的河道整治构造物,多用于防护宽浅变迁、宽浅游荡等不稳定的河段。丁坝大致与堤岸垂直或斜交,将水流挑离堤岸,束河归槽,改善流态。顺坝亦称导流坝,一般用于河床断面窄小,且不允许过多侵占,或修建丁坝后河岸或边坡的防护工程量大,以及地质条件不宜于修筑丁坝等情况下的导流防护。顺坝大致与堤岸平行,主要作用为导流、束水、调整流水曲度、改善流态。格坝在平面上成网格状,设于顺坝与堤岸之间,与顺坝配合使用,可以促进泥沙淤积,防止边坡或河岸受

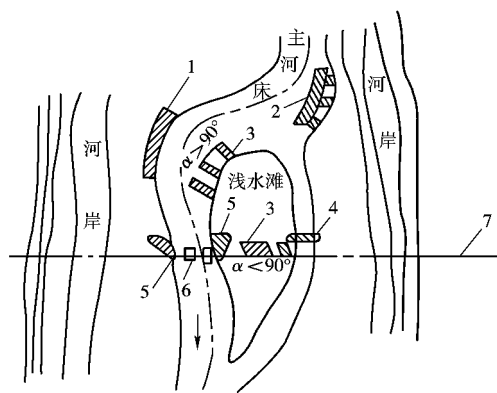


图 2-1-5-11 导流结构物综合布置图例

1-顺水坝 2-格坝 3-挑水坝(丁坝) 4-拦水坝 5-导流坝 6-桥墩 7-路中线

冲刷。导流结构物的布置,应综合考虑河道宽窄、水流方向、地质条件、防护要求、材料来源、施工条件和工程经济等,要综合考虑,全面治理,要避免更多压缩河床,或因水位提高和水流改向,而危害河对岸或附近地段的农田水利、地面建筑及堤岸等。

导流结构物的布置是工程成败的关键。布置恰当能收到预期效果;布置不当反而恶化水流,造成水毁。关键在于合理设计导流线,符合预定的河轴线和河岸线要求,亦取决于选择导流水位,不致出现不利的冲刷情况。导流线与导流水位,应依据对于水流和河岸、河床地形、地质情况、水流对上下游对岸的影响等因素,综合分析和设计计算而定。

顺坝与丁坝一般采用石砌或混凝土结构修建成梯形横断面,坝体分为坝头、坝身和坝根 3 个组成部分,横断面尺寸主要依据构造要求、施工条件和使用需要等决定,并参考公路设计手册,通过稳定性计算确定。

公路工程中改河的主要目的是,将直接冲刷路基的水流引向旁处;路基占用河槽后,需要拓宽河道,挖滩改河,清除孤石,改移河道,以保护路基,裁弯取直,有利布置路线或桥涵。这些措施,应慎重对待,如经过技术、经济论证比较,确有必要且效果较好时,方可通过设计付诸实施。

导流结构物的构造与要求,以及结构物与改河工程的具体设计计算方法,在《公路设计手册》等文献中已有详细规定,可供查用。

• 第四节 湿软地基加固 •

路基敷设于天然地基上,自身荷载较大,要求地基应具有足够的承载能力,以保持地基稳定。湿软地基主要是指天然含水量过大、胀缩性高、具有湿陷性、承载能力低,在荷载作用下容易产生滑动或固结沉降的土质地基,如软土泥沼、湿陷性黄土、人为垃圾、松散杂填土、膨胀土等。在湿软土地基上填筑路堤有可能出现失稳,或者沉降量和沉降速率不能满足要求时,需对湿软土地基进行适当的处理,以增加其稳定性,减少沉降量或沉降速率。湿软地基处理大致可分为3种类型,一是地基土本身强度足够,但所处的位置不好,长期处于潮湿或过湿状态,致使强度降低,需要采用加速排水固结措施;二是地基土本身强度不够,需要采取增加地基强度的补强措施;三是地基土本身强度不足且又处于潮湿或过湿状态,这种情况需采取先治水,后补强的加速排水固结与增加地基强度相结合的措施。湿软土地基处理的方法很多,各种方法具有不同的特点,可得到不同的效果。

一、换填土层法

换填土层法是将基底下一定深度范围的湿软土层挖去,换以强度较大的砂、碎(砾)石、灰土或素土,以及其他性能稳定、无侵蚀性的土类,并予以分层压实至设计密实度。此法主要用于路基工程中低洼区域填筑、高填方路基,以及挡土墙、涵洞地基处理等。换填材料的不同,其应力分布虽然有所差异,但其极限承载力比较接近,而且沉降特点亦基本相似,因此各种材料的垫层设计都近似地按砂垫层的计算方法进行设计,结果相差不大。

砂垫层的作用,可提高承载力,减少沉降量,加速软弱土层的排水固结,防止冻胀,消除膨胀土的胀缩作用,亦可处理暗穴。砂垫层的作用,因工程性质而有所不同,对路基而言,主要是排水固结。素土(或灰土)垫层,可以消除湿陷性黄土3.0m深度范围内的湿陷性。

砂垫层厚度,一般在0.6~1.0m之间,太厚施工困难,太薄效果差。砂料以中粗砂为宜,要求级配良好,颗粒的不匀系数不大于5,含泥量不超过3%~5%。

二、加固土桩法

加固土桩是将石灰、水泥或其他可以将土固化的材料,通过带有回转、翻松、喷粉与搅拌的专用机械在地基深部将软土和固化剂强制拌和形成的具有较高强度的竖向加固体。它对提高软土地基承载能力,减小地基的沉降量有明显效果。从工艺上分为干法(粉体)搅拌桩和湿法(浆液)搅拌桩。

由于加固土桩是用某种专用机械将软土地基的局部范围内的软土,用加固材料改良加固而成,与桩间软土形成了复合地基。因此改良后的加固土桩只考虑桩的置换作用、应力集中效应,从而减少总沉降,但应考虑加固土桩加快地基的排水固结速度和对地基的挤密作用。

加固土桩的直径及设置深度、间距,应经稳定验算确定,并应能满足工后沉降的要求。相邻桩的净距不应大于4.0倍的桩径,其桩径、桩深除受地质条件限制外,还受机械设备的制约,采用粉喷桩法加固软土地基时,深度不应超过15m。一般深层拌和法加固软土地基的十字板抗剪强度不宜小于10kPa。

加固土桩应进行配合比设计。固化材料的水泥用量与软土天然重之比宜大于 7% ~ 15%。当为拌和桩时,水灰比宜选用 0.4 ~ 0.5。加固土桩与桩间土的应力比(n)宜用当地试验工程或类似工程的试验确定。无资料时 n 可取 3 ~ 6。当桩底土质好、桩间土质差取高值;否则取低值。设有加固土桩的路段,路堤底部应设置垫层。

三、粒料桩加固法

粒料桩是指用振动、冲击或水冲等方式在软弱地基中成孔后,再将碎石、砂砾、废渣、砂等散粒材料挤压入土孔中,形成的大直径密实桩体。设置粒料桩后桩体与桩间土形成复合地基。

粒料桩是通过置换软土、加速地基排水固结作用、桩的应力集中作用共同来提高地基土的承载力,减少了不均匀沉降,加速了软土的固结。

在选用碎石桩和砂桩材料时考虑级配,散粒的桩料不应使用单一尺寸的粒料,一般其最大粒径不应超过 5cm;对十字板剪切强度低于 20kPa 的软土地基的桩料,最大粒径可放宽到 10cm,且 5 ~ 10cm 的粒料重量应占粒料总重量的 50% ~ 60%。桩料的含泥量(小于 0.074mm)不得超过 5%。

软土路堤桩位宜采用正方形或等边三角形布置,桩的间距一般为 1.5 ~ 3.0m,且相邻桩间距不应大于 4.0 倍桩径。碎石桩和砂桩的直径应根据地基土质情况和成桩设备等因素确定。采用振冲法成桩时碎石桩的桩径一般为 0.70 ~ 1.0m;采用沉管法成桩时,碎石桩和砂桩的桩径一般为 0.30 ~ 0.70m,对饱和粘性土地基宜选用较大直径。加固深度应根据软弱土层的性能、厚度或工程要求按下列原则确定:

(1)当相对硬层埋藏深度不大时,桩应打到相对硬层。

(2)当相对硬层埋藏深度较大时,应经沉降、稳定验算确定。对于沉降计算,加固深度应满足粒料桩复合地基沉降量满足工后沉降允许值;对于稳定计算,加固深度应不小于最危险滑动面深度。

(3)桩长不宜短于 4m。

振冲粒料桩适用于十字板抗剪强度大于 15kPa 的地基上;沉管粒料桩适用于十字板抗剪强度大于 10kPa 的地基上。

四、排水固结法

排水固结法是软基处理的最基本方法之一。它是利用饱和软粘土在外荷载作用下排水压实且卸载后仍基本维持密度不变的特性,对软土地基进行预压加固处理的一种物理加固方法。此法在预压荷载作用下,使得饱和软弱粘性土固结,孔隙率减小,土体强度提高,以达到增强地基承载力和减少工后沉降的目的。为加速地基固结,常在地基中打设垂直排水通道——砂井或塑料排水板。这一方法广泛用于路基填筑工程、建筑工程以及机场跑道工程中,常用于加固软弱地基,包括天然沉积层和人工充填的土层,如沼泽土、淤泥及淤泥质土、水力冲积土等。

排水固结法常用的有砂井堆载预压法和真空预压法等方法。砂井堆载预压法是在被加固的软基范围内打设砂井后,配合堆载预压,使地基在预压荷载下加速固结,从而加速地基强度的增长,减小建筑物建成后地基变形的办法。该法所用材料一般以散粒料为主,如石料、砂和砖等。砂井堆载预压,需进行地基固结计算,以确定加载以及砂井布置的有关数据。一般情况下,加载量大致与设计荷载接近,预压至 80% 固结度。砂井直径多为 8 ~ 10cm,间距大约是井

径的6~8倍。砂井长度应穿越地基可能的滑动面,井长如能穿越主要受压层,对沉降有利,如果软土层较浅,有透水性下卧层,则井长深入透水层,对排水固结更有利。为加速排水,缩短固结时间,在设置竖井的同时,可加设井顶砂垫层或纵横连通砂井的排水砂沟,砂垫层厚度约0.5~1.0m。

真空预压法是通过降低砂垫层和竖向排水体中的孔隙水压力至形成负压区,使被加固地基中的排水体和基体间形成压差,并在此压差作用下,迫使土中水排出,达到土体固结的方法。此法的工艺过程,首先是在地基中设置袋装砂井或塑料排水板,形成竖向排水通道,地表铺设砂垫层,形成地表平面的排水通道。然后在砂垫层中埋设吸水管,并与抽真空装置连接,形成抽气、抽水系统。在砂垫层上铺设不透气的封闭膜,薄膜四周埋入土中一定深度。最后通过抽气、抽水在砂垫层和竖向排水体中形成负压区。真空预压法的真空度一般可达80kPa。通过不断的抽气、抽水,使被加固地基中的孔隙水在压差的作用下,排出土体而固结,直到加固区的土体和排水体间的压差趋于零,渗流停止,固结完成。

理论研究和实践表明,真空预压和堆载预压的效果可以叠加,联合预压后,加固效果更好。

五、强 夯 法

强夯法是一种软弱地基加固技术,该方法一般采用80~300kN的重锤,以8~20m的落距自由落下,对软弱地基瞬时施加巨大的冲击能,单击能量一般为500~8000kN·m,加固影响深度可达到10~20m,甚至更深一些。落锤夯击时,冲击能产生的冲击波和动力应力,可以提高地基土的强度、降低土的压缩性、改善砂土抗液化能力以及提高湿陷性黄土的稳定性。同时强夯技术可显著减少地基土层的不均匀性,降低基础差异沉降。

强夯技术加固地基存在3种作用机理,即动力密实、动力固结和动力置换,它们的发挥取决于地基土的性质和强夯的施工工艺。强夯最初应用时,加固的机理是动力密实,即在冲击型动力荷载作用下,土颗粒相对移位,孔隙中气体被挤出,孔隙减小而致密的过程。其主要应用于多孔隙、粗颗粒、非饱和土。强夯技术应用于饱和粘性土时,加固机理则基于饱和土的“动力固结”,即经强夯后产生数十厘米的瞬间变形过程中,引起了地基土体的液化和结构的破坏,地基土的渗透性提高与固结致密,结构强度的触变恢复。动力置换是采用强夯技术将碎石等工程性能良好的透水性材料挤入饱和软粘土(特别是淤泥质土中),起到置换软弱土,形成表面硬壳层(复合地基)和加速固结的双重作用。

强夯法至今还没有一套成熟和完善的理论和设计方法,但实践证明,它具有施工简单、加固效果好、使用经济、运用面较广等优点。国外资料表明,经强夯法处理的地基,其承载力可提高2~5倍,压缩性降低2~10倍,广泛用于杂填土(各种垃圾)、碎石土、砂土、粘性土、湿陷性黄土及泥炭和沼泽土,不但陆地上使用,亦可水下夯实。缺点是需要相应的机具设备,操作时噪声和振动较大,不宜在人口密集或附近防震要求高的地点使用。我国津、沪等地,不仅成功运用,而且在加固饱和软粘土地基方面,取得新的成果与经验。

六、其他方法

1. 轻质路堤

使用容重小的轻质材料作路堤,可以减轻路堤自重,达到减少沉降、增大稳定安全系数的

目的。常用的轻质材料为粉煤灰。轻质路堤材料的应用一般不受地质条件的限制,但粉煤灰抗冲刷的能力低,设计时应注意外层要具有足够的防护厚度。用粉煤灰材料填筑路堤主要受运距的影响,应注意进行技术、经济综合比较。

作为路堤填料的粉煤灰,其粒径应控制在 $0.001 \sim 2\text{mm}$ 之间,小于 0.074mm 的颗粒含量宜大于45%。粉煤灰路堤由路堤主体部分(粉煤灰)、护坡和封顶层(粘性土或其它材料)、隔离层、排水系统等组成。图2-1-5-12为粉煤灰路堤结构示意图。粉煤灰路堤中,用于护肩、护坡、路拱等部位的土质填料,应选用具有一定塑性的粘性土,其塑性指数不应低于6。土质护坡厚度应根据使用土质和自然条件而定,水平方向厚度应保持不小于 1m ,并和粉煤

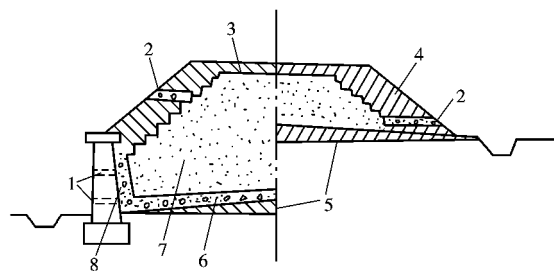


图 2-1-5-12 粉煤灰典型路堤的结构示意图

1-泄水孔 2-盲沟 3-封顶层 4-土质护坡 5-土质路拱 6-粒料隔离层 7-粉煤灰 8-反滤层

灰同时分层填筑、同时碾压以防止地表径向流水冲刷坡面。土质护坡中排水盲沟设置应根据施工季节或当地降雨量的大小而定。盲沟断面尺寸宜为 $40\text{cm} \times 50\text{cm}$,水平间距 $10 \sim 15\text{m}$,垂直间距 $1.0 \sim 1.5\text{m}$,呈梅花形交叉布置。土质封顶层厚度应有 $20 \sim 30\text{cm}$,也可以与路面结构层相结合,采用石灰土、二灰土等路面底基层材料替代,但应保证达到高速公路上路床要求的密实度。粉煤灰路堤底部距地下水位或地表积水水位应超过 50cm ,或在基底加设厚度不小于 30cm 的粒料隔层,以阻断毛细水通道。隔离层横坡不宜小于3%,以利排水。粉煤灰路堤边坡坡度视路堤高度而定,5m以下的路堤采用1:1.5,5m以上的路堤,上部5m取1:1.5坡度,而下部则取为1:1.75。

2. 反压护道

反压护道是为防止地基在路堤荷载作用下遭到破坏而采取的一项保证地基稳定性的措施,如图2-1-5-13所示。它是在路堤两侧填筑一定高度和一定宽度的填土,使路堤下的淤泥或泥炭向两侧隆起的趋势得到平衡。

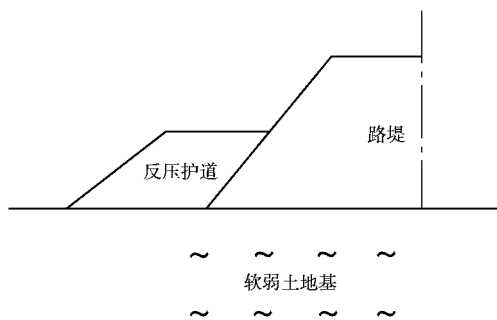


图 2-1-5-13 反压护道示意图

反压护道施工简易,不需特殊材料,适用于对变形要求不高的道路工程。但是反压护道占地面积大,用土量大,后期沉降大,养护工作量大,在高产的农作物区不宜采用。

为了利于地基受力平衡,反压护道通常在路堤两侧对称布置。当软土层较薄且下卧层有横向坡度时,可在路堤两侧采用不等宽的反压护道。

在横坡下方(软土层较厚的一方)的护道应宽于横坡上方的护道。反压护道有单级及多级形式,这与软土分布范围有关,软土分布范围较狭窄的地方可采用多级形式。

反压护道的高度一般为路堤高度的 $1/3 \sim 1/2$,且不超过地基稳定性要求的极限高度。

反压护道还可与其他处理地基的方法配合应用,从而达到增大加固效果,节约建材和少占耕地。例如,将反压护道与砂垫层并用,可节约材料和加快软土固结;也可配合齿墙(侧向约

束)防止地基侧向变形,如图 2-1-5-14 所示,这对软土层较薄的情况尤其适用。

在施工时,反压护道应与路堤同时全宽度填筑,不得先筑路堤,后筑护道,以免引起路堤塌方。

3. 加筋土法

加筋土法是在土体中埋置土工合成材料(变形小、老化慢、强度高的土工格栅、土工编织物等作加筋材料)形成加筋土垫层,增大压力扩散角,提高地基承载力,减小沉降的软地基处理方法。

土工合成材料不宜直接铺设于原地基表面上,宜在原地表设置 30~50cm 砂垫层或其他透水性好的均质土料后,再铺设土工合成材料,且尽量设置于路堤底部。

加筋材料的纵向或强度高的方向应垂直于公路的中线铺设。多层土工合成材料加筋的路堤,各层土工合成材料之间的间距不宜小于一层填土最小压实厚度,且不宜大于 60cm。加筋材料的最小铺设长度不宜小于 2.0m。在软土地基上加筋路堤的边坡坡度与一般的填土路堤边坡坡度相同,否则按加筋土挡墙设计。加筋路堤一般不受地质条件的限制,但地基土越软弱其作用越明显,它的设置主要受材料价格的影响。加筋的层数应按稳定计算确定。加筋材料无论设置在滑动体内外,均应有足够的锚固长度。在锚固长度内,其上、下面与土的摩擦力之和与织物设计拉力之比应大于 1.5。

以上简略介绍了国内公路路基工程中常用的几种地基加固方法。由于湿软土地基各种各样的分布,使用单一方法处治的作用与效果总是有局限性的,为了同时解决沉降、稳定问题或使处治作用更为有效,可以考虑同时利用两种或两种以上处治措施进行综合处治。综合处治的一般原则是:加速排水固结的措施与增加地基强度的措施相结合,地上、地面处治与地下处治相结合。在进行方案选择时,应根据当地的地质、水文、材料、施工、环境条件等,用两个或两个以上可行的方案进行经济、技术比较,选择其最优方案。可以预测,随着公路建设的高速发展,公路技术等级的提高,包括地基加固在内的路基防护与加固,在理论和实践上必将有新的发展与突破。

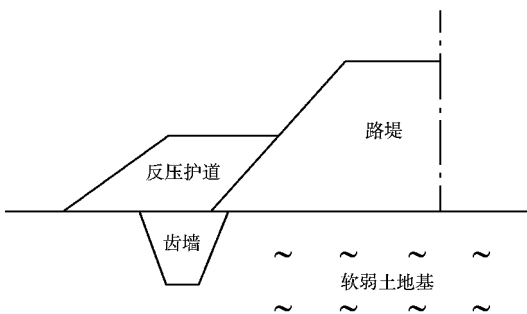


图 2-1-5-14 反压互道与齿墙联合适用

本章小结

- (1)描述了路基防护与加固的意义及类型;
- (2)对坡面防护和冲刷防护的类型与构造进行了详细的阐述,并明确了各类型的适用范围和作用;
- (3)对湿软地基的加固处理方法只作了概念性介绍。

思考题与习题

1. 路基防护与加固的意义何在?

2. 直接防护与间接防护的本质区别是什么？
3. 路基防护与加固工程,按作用不同,可分为哪几种？各类的作用是什么？
4. 路基常用的坡面防护措施有哪些？
5. 什么叫护面墙？其作用是什么？
6. 冲刷防护常用哪些措施？
7. 在公路工程中常采取哪些措施进行湿软地基处理？阐述各种措施的加固原理和适用范围。

教学要求

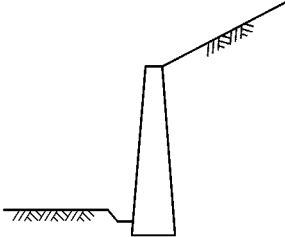
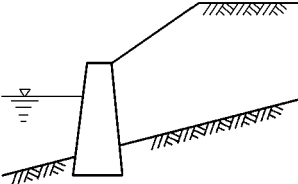
- 1. 描述各种类型挡土墙的构造、特点和使用场合；
- 2. 描述重力式挡土墙构造与布置的要求及方法；
- 3. 进行墙背主动土压力计算，进行挡土墙稳定性和强度的各项验算；
- 4. 描述其他形式挡土墙的构造特点。

• 第一节 挡土墙的分类与用途 •

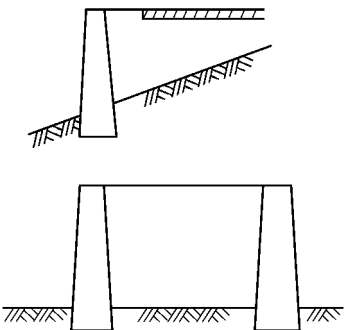
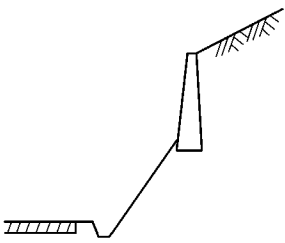
挡土墙是一种能够抵抗侧向土压力，防止墙后土体坍塌和增加其稳定性的建筑物。在公路工程中，可用以支撑路堤或路堑边坡、隧道洞口，防止水流冲刷路基，同时也常被用于处理路基边坡滑坡崩塌等路基病害。尤其在山区公路中挡土墙的运用更为广泛。

公路上常用的挡土墙按其设置位置可分为：路堑挡墙、路堤挡墙、路肩挡墙和山坡挡墙等类型，如表 2-1-6-1 所列。在路基工程中，挡土墙的建筑费用较高，故路基设计时，应与其他可能的工程方案进行经济比较，择优选定。

挡土墙的使用场合 表 2-1-6-1

名 称	示 意 图	使用 场 合
路堑挡墙		1. 在山坡陡峻处，用以减少挖方数量，降低边坡高度，避免山坡因开挖而失去稳定 2. 在地质不良地段，用以支挡可能滑坍的山坡土体
路堤挡墙		1. 在陡山坡上填筑路堤时，用以支挡路堤下滑 2. 收缩坡脚，避免与其他建筑物相互干扰，减少填方量 3. 保证沿河路堤不受水流冲刷

续上表

名 称	示 意 图	使 用 场 合
路肩挡墙		1. 支挡陡坡路堤下滑 2. 抬高公路 3. 收缩坡脚,减少占地,减少填方量
山坡挡墙		支挡山坡覆盖层或滑坡下滑

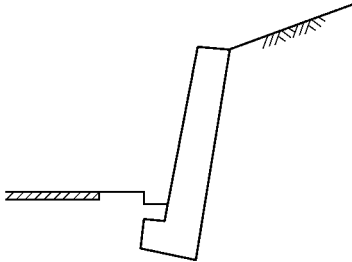
按挡土墙的墙体材料可分为:石砌挡土墙、混凝土挡土墙、钢筋混凝土挡土墙、钢板挡土墙等。

按挡土墙的结构形式可分为:重力式、半重力式、衡重式、悬臂式、扶壁式、锚杆式、锚定板式、加筋土式、桩板式和垛式等。

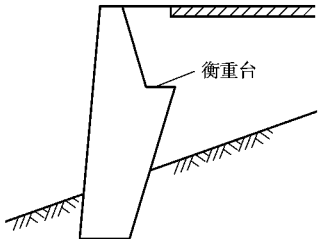
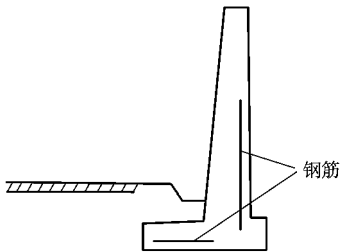
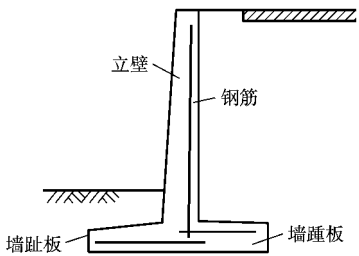
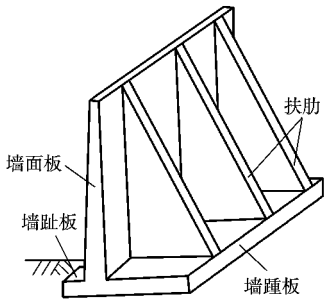
各类挡土墙的特点及其适用范围,见表 2-1-6-2。挡土墙类型的选择应根据与所支挡土体的稳定平衡条件,考虑荷载的大小和方向、地形、地质状况、冲刷深度、基础的埋置深度、基底的承载力设计值和不均匀沉降、可能的地震作用与其他构造物的衔接、墙面的外观美感、施工难易、造价高低、环境特点等因素,综合比较后确定。

挡土墙的特点及其适用范围

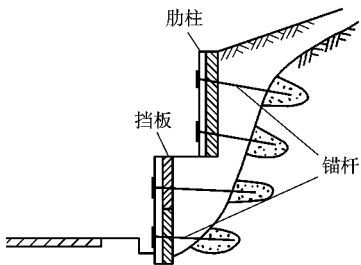
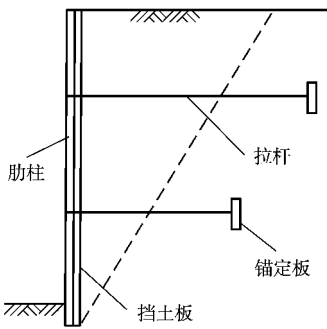
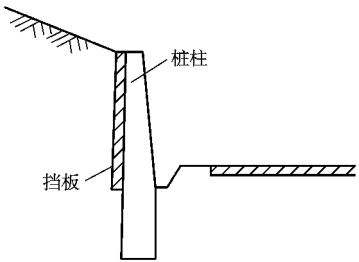
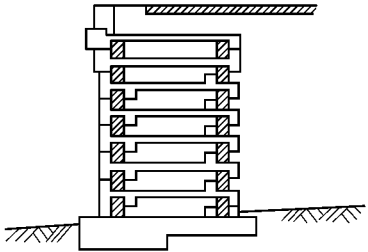
表 2-1-6-2

类 型	结构示意图	特点及适用范围
重力式		依靠墙自重承受土压力,结构简单、施工简便,由于墙身重,对地基承载力的要求也较高 墙身一般用浆砌片石或块石砌筑。在墙身不高时,也可用干砌。在缺乏石料地区或条件许可时,也可用混凝土浇筑

续上表

类 型	结构示意图	特点及适用范围
衡重式		设置衡重台使墙身重心后移,并利用衡重台上的填土,增加墙身稳定。上墙背俯斜而下墙背仰斜,可降低墙身及减少基础开挖,以及节约墙身断面尺寸 适用于陡山坡的路肩墙、路堤墙和路堑墙(兼有拦挡落石作用)
混凝土半重力式		在墙背设少量钢筋,并将墙趾展宽(保证基底必要的宽度),以减薄墙身,节省圬工 它一般适用于低墙
悬臂式		墙身及基础均采用钢筋混凝土浇筑,断面尺寸较小。由立壁、墙趾板和墙踵板3部分组成。立壁下部弯矩较大,特别在墙高时,需设置的钢筋较多 适用于缺乏石料地区及挡土墙高度不宜超过5m
扶壁式		相当于沿悬臂式墙的墙长,每隔一定距离设置一道扶壁,使墙面板(立壁)与墙踵板连接起来,以承受较大的弯矩作用 在高墙时较悬臂式墙经济

续上表

类 型	结构示意图	特点及适用范围
锚杆式		由肋柱、挡板和锚杆组成,靠锚杆锚固在山体内拉住肋柱。肋柱、挡板可预制 一般常用于墙身较高的路堑墙或路肩墙
锚定板式		类似于锚杆式,仅锚杆的固定端用锚定板固定在山体内 适用于路堤墙与路堑墙
桩板式		由桩柱和挡板组成。利用深埋的桩柱前土层的被动土压力来平衡墙后主动土压力 适宜于土压力大,要求基础埋深地段,可用于路堑墙、路肩墙
垛式		用钢筋混凝土预制杆件,纵横交错装配成框架,内填土石,以抵挡土压力 适用于缺乏石料地区的路肩墙或路堤墙

续上表

类 型	结构示意图	特点及适用范围
加筋土式		由面板、拉筋和填料 3 部分组成,依靠拉筋与填料之间的摩擦力来抵抗侧向土压力,面板可预制 适合于缺乏石料地区及在较软弱地基上修筑路肩墙与路堤墙
竖向预应力锚杆式		锚杆竖向锚固在地基中,并砌筑于墙身内,最后张拉锚杆,利用锚杆的弹性回缩对墙身施加预应力来提高挡土墙的稳定。施工中可用轻型钻机或人工冲孔,灌浆及预应力强拉较简易 适用于岩质地基,多用于抗滑挡土墙
土钉式		由土体、土钉和护面板 3 部分组成。利用土钉对天然土体就地实施加固,并与喷射混凝土护面板相结合,形成类似于重力式挡土墙的加强体,从而使开挖坡面稳定。对土体适应性强、工艺简单、材料用量与工程量较少,可自上而下分级施工 常用于稳定挖方边坡,也可作为挖方工程的临时支护

• 第二节 重力式挡土墙的构造与布置 •

一、挡土墙的构造

常用的重力式挡土墙,一般由墙身、基础、排水设施和沉降、伸缩缝等几部分组成。

1. 墙身

挡土墙各部分名称如图 2-1-6-1 所示。靠回填土或山体的一侧称为墙背, 外露的一侧称为墙面, 也称墙胸; 墙的顶部部分称为墙顶; 墙的底部部分称为基底或墙底; 墙面与墙底的交线称为墙趾; 墙背与墙底的交线称为墙踵; 墙背与铅垂线的夹角称为墙背倾角。

1) 墙背

根据墙背倾斜方向的不同, 墙身断面形式可分为仰斜、垂直、俯斜、凸形折线式和衡重式等几种, 如图 2-1-6-2 所示。

以仰斜、垂直和俯斜式 3 种不同的墙背所受的土压力分析, 在墙高和墙后填料等条件相同时, 仰斜墙背所受的土压力为最小, 垂直墙背次之, 俯斜墙背较大。因此仰斜式的墙身断面较经济。用于路堑墙时, 墙背与开挖的临时边坡较贴合, 开挖量与回填量均较小。但当墙趾处地面横坡较陡时, 采用仰斜式墙背会增加墙高, 断面增大。故仰斜墙背适用于路堑墙及墙趾处地面平坦的路肩墙或路堤墙。仰斜墙背的坡度愈缓, 所受的土压力愈小, 但施工愈困难, 故仰斜墙背的坡度不宜缓于 1:0.3。

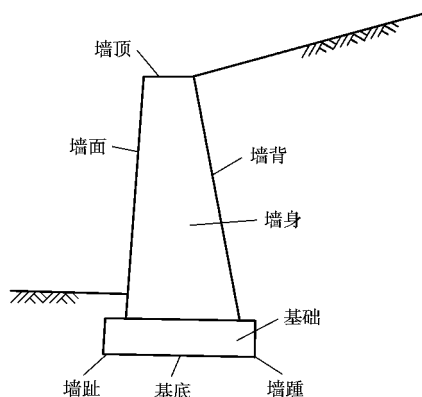


图 2-1-6-1 挡土墙的组成示意图

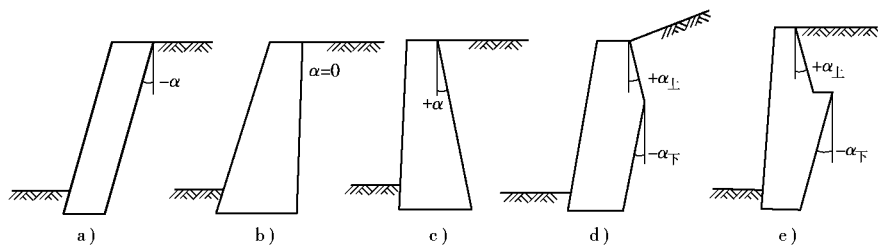


图 2-1-6-2 重力式挡土墙的断面形式

a) 仰斜 b) 垂直 c) 俯斜 d) 凸形折线式 e) 衡重式

俯斜墙背所受的土压力较大, 相对而言, 俯斜墙背的断面比仰斜式要大。但当地面横坡较陡时, 俯斜式挡土墙可采用陡直的墙面, 从而减小墙高。俯斜墙背的坡度缓些固然对施工有利, 但所受的土压力亦随之增加, 致使断面增大, 因此墙背坡度不宜过缓, 通常控制 $\alpha < 21^\circ 48'$ (即 1:0.4)。

垂直墙背的特点介于仰斜和俯斜墙背之间。

凸形折线墙背系将仰斜式挡土墙的上部墙背改为俯斜, 以减小上部断面尺寸, 故其断面较为经济, 多用于路堑墙, 也可用于路肩墙。

衡重式墙背可视为在凸形折线式的上下墙之间设一衡重台, 并采用陡直的墙面。上墙俯斜墙背的坡度通常为 1:0.25 ~ 1:0.45, 下墙仰斜墙背的坡度一般在 1:0.25 左右, 上下墙的墙高比一般为 2:3。适用于山区地形陡峻处的路肩墙和路堤墙, 也可用于路堑墙。

2) 墙面

墙面一般为平面, 墙面坡度除应与墙背的坡度相协调外, 还应考虑到墙趾处地面的横坡度 (影响挡土墙的高度)。当地面横坡度较陡时, 墙面可采用 1:0.05 ~ 1:0.20, 也可采用直立 (低

墙时) ;当地面横坡平缓时 ,墙面可缓些 ,但一般采用不缓于 1:0.3 ,以免过多增加墙高。

3) 墙顶

重力式挡土墙可采用浆砌或干砌圬工。墙顶最小宽度 ,浆砌时应不小于 50cm ;干砌时应不小于 60cm。干砌挡土墙的高度一般不宜大于 6m。浆砌挡土墙墙顶应用 5 号砂浆抹平 ,厚 2cm ,或用较大石块砌筑 ,并勾缝。浆砌路肩墙墙顶宜采用粗料石或混凝土做成顶帽 ,厚度取 40cm。干砌挡土墙顶部 50cm 厚度内 ,宜用 5 号砂浆砌筑 ,以求稳定。

4) 护栏

为增加驾驶员心理上的安全感 ,保证行车安全 ,在地形险峻地段的路肩墙 ,或墙顶高出地面 6m 以上且连续长度大于 20m 的路肩墙 ,或弯道处的路肩墙的墙顶应设置护栏等防护设施。护栏分墙式和柱式两种 ,所采用的材料 ,护栏高度、宽度 ,视实际需要而定。护栏内侧边缘距路面边缘的距离 ,一般不应小于 0.5m(四级路)或 0.75m(二、三级路) ;一级公路、高速公路防撞护栏设在土路肩宽度内。

2. 基础

挡土墙的破坏在很多情况下 ,是由于地基不良所引起的。因此 ,应对地基情况作充分的调查 ,以进行详细的基础设计。

基础设计的主要内容包括基础形式的选择及基础埋置深度的确定。

1) 基础类型

绝大多数挡土墙 ,都是直接修筑在天然地基上。

当地基承载力不足且墙趾处地形平坦 ,而墙身又超过一定高度时 ,为减少基底应力和增加抗倾覆稳定性 ,常常采用扩大基础(图 2-1-6-3a) ,墙趾处伸出不少于 20cm 宽的台阶 ,台阶的高宽比 ,可采用 3:2 或 2:1。如地基承载力不足 ,为避免台阶太大和过厚 ,可采用钢筋混凝土基座(图 2-1-6-3b)。当地基为软弱土层 ,如淤泥、软粘土等 ,可采用砂砾、碎石、矿渣或石灰土等质量较好的材料予以换填 ,以扩散基底压应力 ,使之均匀地传递到下卧软弱土层中。当挡土墙修筑在陡坡上 ,而地基又为稳定、坚硬的岩石时 ,为节省圬工和基坑开挖数量 ,可采用台阶形基础(图 2-1-6-3c)。台阶的尺寸 ,按具体的地形地质条件确定。台阶宽度不宜小于 50cm ,台阶的高宽比应不大于 2:1。如地基有短段缺口(如深沟等)或挖基困难(如需水下施工等) ,可采用拱形基础(图 2-1-6-3d) ,以石砌拱圈跨过 ,再在其上砌筑墙身。但应注意土压力不宜过大 ,以免横向推力导致拱圈开裂。设计时应应对拱圈予以验算。

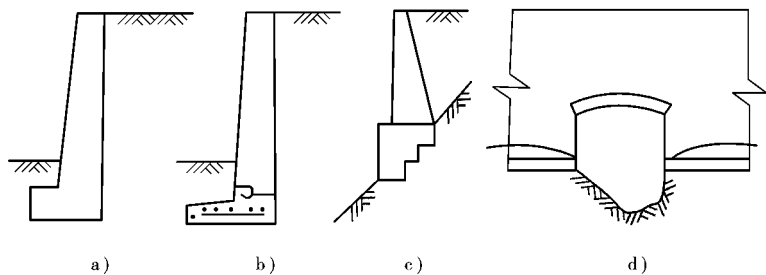


图 2-1-6-3 挡土墙基础形式

a) 扩大基础 b) 钢筋混凝土底板 c) 台阶形基础 d) 拱形基础(纵断面)

2) 基础埋置深度

挡土墙的基础埋置深度应按地基的性质、承载力的要求、冻胀的影响、地形和水文地质等条件确定。为保证挡土墙的稳定,基础埋置深度应符合下列要求:

(1) 无冲刷时,一般应在天然地面下不小于 1.0m;

(2) 有冲刷时,应在冲刷线以下不小于 1.0m;

(3) 受冻胀影响时,应在冰冻线以下不小于 0.25m;当冻结深度超过 1m 时,可在冻结线下 0.25m 内换填不冻胀材料,但埋置深度不小于 1.25m。基底应夯实一定厚度的砂砾或碎石垫层。

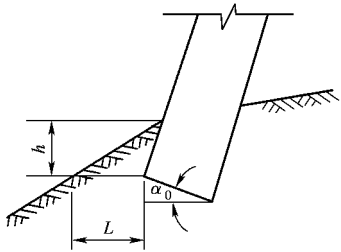
(4) 非冻胀土层中的基础,例如岩石、卵石、砾石、中砂或粗砂等,埋置深度不宜少于 0.5 (击实时)~1.0m (疏松时)。

(5) 岩石地基应清除表面松散的风化层,基础嵌入基岩深度不少于 0.15~0.60m (按岩层的坚硬程度和抗风化能力选定)。

建筑在斜坡地面上的挡土墙基础前趾埋入地面的深度和距地表的水平距离,不应小于表 2-1-6-3 的规定。当挡土墙采取倾斜基底时,其倾斜度则应符合表 2-1-6-4 的规定。

斜坡地面基础埋置条件

表 2-1-6-3

土层类别	埋入深度 h (m)	距地表水平距离 L (m)	图式
较完整的硬质岩石	0.25	0.25~0.50	
一般硬质岩石	0.60	0.60~1.50	
软质岩石	1.00	1.00~2.00	
土层	≥ 1.00	1.50~2.50	

基底倾斜度

表 2-1-6-4

地层类别		基底倾斜度
一般地基	岩石	≤ 0.3
	土质	≤ 0.2
浸水地基	$f < 0.5$	0.0
	$0.5 \leq f \leq 0.6$	≤ 0.1
	$f > 0.6$	≤ 0.2

注 α_0 ——基底倾斜度,为基底面与水平线的夹角; f ——基底与地基间的摩擦系数。

3. 排水设施

挡土墙的排水处理是否得当,直接影响到挡土墙的安全及使用效果。因此,挡土墙应设置排水设施,以疏干墙后填料中的水分,防止地表水下渗造成墙后积水,从而使墙身免受额外的静水压力,消除粘性土填料因含水量增加产生的膨胀压力,减少季节性冰冻地区填料的冻胀压力。

挡土墙的排水设施通常由地面排水和墙身排水两部分组成。

地面排水,主要是防止地表水渗入墙背填料或地基。因此,可设置地面排水沟,引排地面水;夯实回填土顶面和地面松土,防止雨水和地面水下渗;必要时可加设铺砌层,采取封闭处理;对路堑挡土墙墙趾前的边沟应予以铺砌加固,以防止边沟水渗入基础。

墙身排水主要是为了迅速排除墙后积水。浆砌挡土墙应根据渗水量在墙身的适当高度处布置一排或数排泄水孔,如图 2-1-6-4 所示。泄水孔尺寸可视泄水量大小分别采用 $5\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、 $15\text{cm} \times 20\text{cm}$ 的方孔,或直径 $5 \sim 20\text{cm}$ 的圆孔。泄水孔间距一般为 $2 \sim 3\text{m}$,上下交错设置。折线墙背可能积水处,也应设置。干砌挡土墙可不设泄水孔。为保证顺利泄水和避免墙外水流倒灌,泄水孔应向外倾斜,最下排泄水孔的出水口应高出地面或排水沟及积水地区常水位以上 0.3m 。下排泄水孔进水口的底部应设置 30cm 厚的粘土隔水层,以防水分渗入地基。进水口周围还应用具有反滤作用的粗颗粒材料覆盖,以避免堵塞孔道。当墙背填土透水性不良或有冻胀可能时,应在墙后最低一排泄水孔到墙顶 0.5m 之间设置厚度不小于 0.3m 的砂、卵石排水层或采用土工布。有关排水设施的设置如图 2-1-6-4 所示。

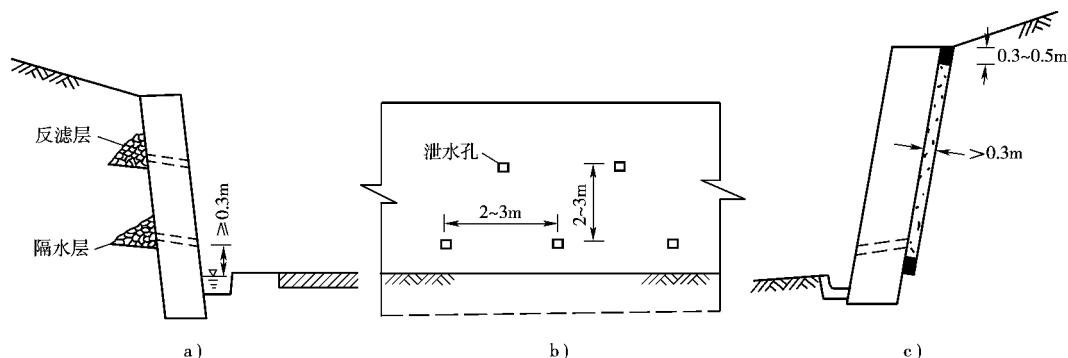


图 2-1-6-4 挡土墙排水设施示意图

4. 沉降缝和伸缩缝

为了防止因地基不均匀沉降而引起墙身开裂,应根据地基的地质条件及墙高、墙身断面的变化情况设置沉降缝;为了防止圬工砌体因砂浆硬化收缩和温度变化作用而产生裂缝,需设置伸缩缝。通常把沉降缝与伸缩缝合并在一起,统称为沉降伸缩缝或变形缝。沉降伸缩缝的间距按实际情况而定,对于非岩石地基,宜每隔 $10 \sim 15\text{m}$ 设置一道沉降伸缩缝;对于岩石地基,其沉降伸缩缝间距可适当增大,但不应大于 20m 。沉降伸缩缝的缝宽一般为 $2 \sim 3\text{cm}$ 。浆砌挡土墙的沉降伸缩缝内可用胶泥填塞,但在渗水量大、冻害严重的地区,宜用沥青麻筋或沥青木板等材料,沿墙内、外、顶三边填塞,填深不宜小于 15cm ;当墙背为填石且冻害不严重时,可仅留空隙,不嵌填料。对于干砌挡土墙,沉降伸缩缝两侧应选平整石料砌筑,使其形成垂直通缝。

二、挡土墙的布置

挡土墙的布置是挡土墙设计的一个重要内容,通常是在路基横断面图和墙趾纵断面图上进行,个别复杂的挡土墙应作平面布置。

1. 横向布置

横向布置主要是在路基横断面图上进行,其内容有:选择挡土墙的位置、确定断面形式、绘

制挡土墙横断面图等。

1) 挡土墙的位置选择

路堑挡土墙大多设置在边沟的外侧。路肩墙应保证路基宽度布设。路堤墙应与路肩墙进行技术经济比较,以确定墙的合理位置。当路堤墙与路肩墙的墙高或圬工数量相近,其基础情况亦相仿时,宜做路肩墙。采用路肩墙可减少填方和占地;但当路堤墙的墙高或圬工数量比路肩墙显著降低,且基础可靠时,则宜做路堤墙。浸水挡土墙应结合河流情况布置,以保持水流顺畅,不致挤压河道而引起局部冲刷。山坡挡土墙应考虑设在基础可靠处,墙的高度应保证墙后墙顶以上边坡的稳定性。

2) 确定断面形式 绘制挡土墙横断面图

不论是路堤墙,还是路肩墙,当地形陡峻时,可采用俯斜式或衡重式;地形平坦时,则可采用仰斜式。对路堑墙来说,宜采用仰斜式或折线式。

挡土墙横断面图的绘制,选择在起讫点、墙高最大处、墙身断面或基础形式变异处,以及其他必须桩号处的横断面图上进行。根据墙身形式、墙高和地基与填料的物理力学指标等设计资料,进行设计或套用标准图,确定墙身断面尺寸、基础形式和埋置深度,布置排水设施,指定墙背填料的类型等。

2. 纵向布置

纵向布置主要在墙趾纵断面图上进行,布置后绘成挡土墙正面图,如图 2-1-6-5 所示。布置的内容有:

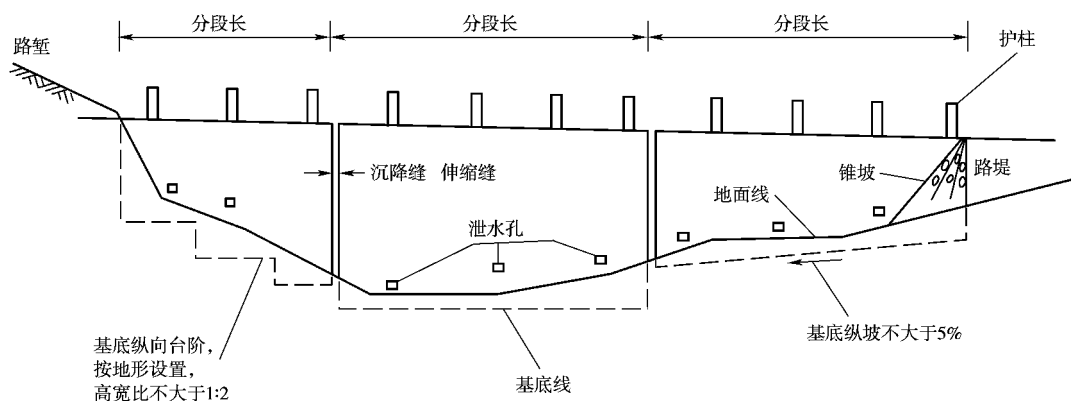


图 2-1-6-5 挡土墙正面图

(1) 确定挡土墙的起讫点和墙长,选择挡土墙与路基或其他结构物的连接方式。

路肩挡墙端部可嵌入石质路堑中,或采用锥坡与路堤衔接;与桥台连接时,为了防止墙后回填土从桥台尾端与挡土墙连接处的空隙中溜出,应在台尾与挡土墙之间设置隔墙及接头墙。

路堑挡墙在隧道洞口应结合隧道洞门、翼墙的设置情况平顺衔接;与路堑边坡衔接时,一般将墙高逐渐降低至 2m 以下,使边坡坡脚不致伸入边沟内,有时也可用横向端墙连接。

(2) 按地基、地形及墙身断面变化情况进行分段,确定沉降缝和伸缩缝的位置。

(3) 布置各段挡土墙的基础。

沿挡土墙长度方向有纵坡时,挡土墙的纵向基底宜做成不大于 5% 的纵坡。若大于 5% 时,应在纵向挖成台阶,台阶的尺寸随地形而变化,但其高宽比不宜大于 1:2。地基为岩石时,

纵坡虽不大于 5% ,为减少开挖 ,也可在纵向做成台阶。

(4)布置泄水孔和护栏的位置 ,包括数量、尺寸和间距。

(5)标注各特征断面的桩号 ,墙顶、基础顶面、基底、冲刷线、冰冻线和设计洪水位的标高
等。

3. 平面布置

对于个别复杂的挡土墙 ,如高的、长的沿河挡土墙和曲线路段的挡土墙 ,除了横、纵向布置外 ,还应作平面布置 ,并绘制平面布置图。

在平面图上 ,应标示挡土墙与路线平面位置的关系 ,与挡土墙有关的地物、地貌等情况 ,沿河挡土墙还应标示河道及水流方向 ,以及其他防护、加固工程等。

在挡土墙设计图纸上 ,应附有简要说明 ,说明选用挡土墙设计参数的依据、主要工程数量、对材料和施工的要求及注意事项等 ,以利指导施工。

• 第三节 重力式挡土墙的力学验算 •

当挡土墙的位置、墙高和断面形式确定后 ,挡土墙的断面尺寸可通过试算的方法确定 ,其程序是 :

(1)根据经验或标准图 ,初步拟定断面尺寸 ;

(2)计算侧向土压力 ;

(3)进行稳定性验算和基底应力与偏心距验算 ;

(4)当验算结果满足要求时 ,初拟断面尺寸可作为设计尺寸 ;当验算结果不能满足要求时 ,采取适当的措施使其满足要求 ,或重新拟定断面尺寸 ,重新计算 ,直至满足要求为止。

本节就有关内容进行介绍。

一、土压力的基本概念

挡土墙是支挡土体的结构物 ,它的断面尺寸与稳定性主要取决于土压力。土压力是指挡土墙墙后的土体或墙后土体表面上的荷载对墙背产生的侧压力 ,是挡土墙的主要设计荷载。挡土墙的位移情况不同 ,可以形成不同性质的土压力(图 2-1-6-6)。当挡土墙受土体侧压力作用向外位移或倾覆时 ,土压力随之减小 ,直到墙后土体达到向下滑动的极限平衡状态时 ,作用

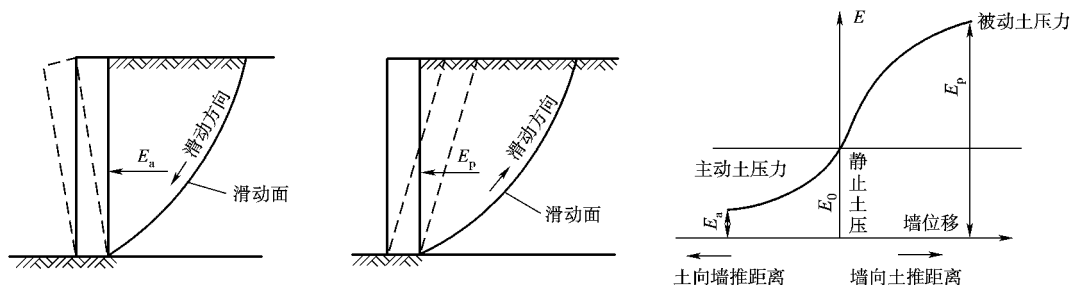


图 2-1-6-6 3 种不同性质的土压力

于墙背的土压力称为主动土压力(E_a) ;当挡土墙由于外力作用(如拱桥桥台受到拱圈的推力)向土体挤压移动时,土压力随之增大,直到墙后土体达到向上滑动的极限平衡状态时,土体对墙的抗力称为被动土压力(E_p) ;当挡土墙在原来位置而不产生位移时,作用于墙背的土压力称为静止土压力(E_0)。

通常,主动土压力 E_a 小于被动土压力 E_p ,而静止土压力 E_0 介于两者之间,如图 2-1-6-6 所示。在路基防护用的挡土墙设计中,一般认为挡土墙可能有侧向位移,因此,不必计算静止土压力,对墙趾前土体的被动土压力(即墙前的反推力),往往忽略不计,为偏于安全,主要是考虑墙背受到的主动土压力。

主动土压力计算的理论与方法,在土力学中已有专门论述,本节仅结合路基挡土墙的设计,介绍库仑主动土压力计算方法的具体应用。

二、库仑主动土压力计算

1. 库仑理论假定

(1)墙后填土是松散的、匀质的砂性土。

(2)墙体产生位移,使墙后填土达到极限平衡状态,将形成一个滑动土楔体 ABC,其滑裂面是通过墙脚的两个平面,一个是墙背 AB 面,另一个是通过墙脚的 BC 面,如图 2-1-6-7 所示。

(3)滑动土楔体是一个刚性整体,在外力作用下无压缩或伸张变形。

根据土楔体静力平衡条件,可解出在各种情况下墙背上的土压力。

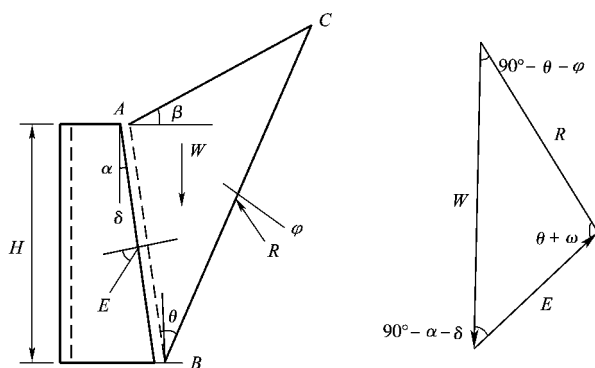


图 2-1-6-7 库仑主动土压力的计算图

2.3 种常见边界条件下主动土压力计算

1)路堑墙或路堤墙,破裂面交于边坡内

计算图式及土压力分布图形如图 2-1-6-8 所示。

破裂角：
$$\theta = 90^\circ - \varphi - \varepsilon \quad (2-1-6-1)$$

$$\tan \varepsilon = \frac{\sqrt{\tan(\varphi - \beta)[\tan(\varphi - \beta) + \cot(\varphi - \alpha)][1 + \tan(\alpha + \delta)\cot(\varphi - \alpha)] - \tan(\varphi - \beta)}}{1 + \tan(\alpha + \delta)[\tan(\varphi - \beta) + \cot(\varphi - \alpha)]} \quad (2-1-6-2)$$

主动土压力：
$$E = \frac{1}{2} \gamma H^2 K, E_x = E \cos(\alpha + \delta), E_y = E \sin(\alpha + \delta) \quad (2-1-6-3)$$

$$\text{主动土压力系数 } K = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (2-1-6-4)$$

$$\text{土压力作用点:} \quad Z_x = \frac{1}{3}H \quad Z_y = B - Z_x \tan \alpha \quad (2-1-6-5)$$

式中 γ ——墙后填料的容重 kN/m^3 ;

φ ——填料的内摩擦角 $(^\circ)$;

δ ——墙背与填料间的摩擦角 $(^\circ)$;

β ——墙后填料表面的倾斜角 $(^\circ)$;

α ——墙背倾斜角 $(^\circ)$,俯斜墙背 α 为正 ,仰斜墙背 α 为负 ;

H ——挡土墙高度 m 。

2)路肩墙 破裂面交于荷载内

计算图式及土压力分布图形如图2-1-6-9所示。

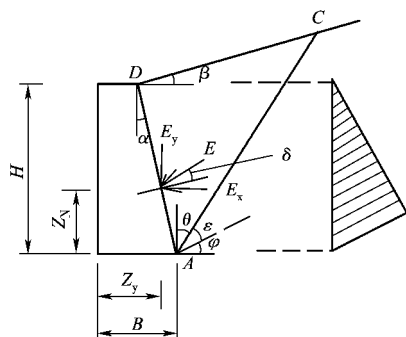


图 2-1-6-8 路堑墙或路堤墙(破裂面交于边坡内)

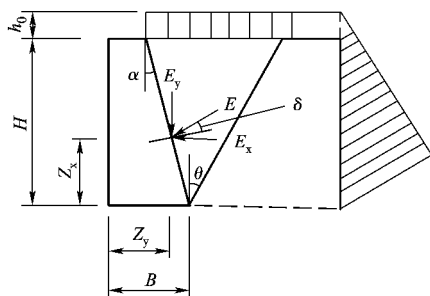


图 2-1-6-9 路肩墙(破裂面交于荷载内)

$$\tan \theta = -\tan \omega \pm \sqrt{(\cot \varphi + \tan \omega)(\tan \omega - \tan \alpha)} \quad \omega = \varphi + \alpha + \delta \quad (2-1-6-6)$$

$\omega < 90^\circ$ 时取正号 $\omega > 90^\circ$ 时取负号。

$$E = \frac{1}{2} \gamma H^2 K K_1 \quad E_x = E \cos(\alpha + \delta) \quad E_y = E \sin(\alpha + \delta) \quad (2-1-6-7)$$

$$K = \frac{\cos(\theta + \varphi)}{\sin(\theta + \omega)} (\tan \theta + \tan \alpha) \quad K_1 = 1 + \frac{2h_0}{H} \quad (2-1-6-8)$$

$$Z_x = \frac{1}{3}H + \frac{h_0}{3K_1} \quad Z_y = B - Z_x \tan \alpha \quad (2-1-6-9)$$

式中 h_0 ——等代均布土层厚度 m 。

其他符号意义同前。

3)路堤墙 破裂面交于荷载内

计算图式及土压力分布图形如图 2-1-6-10 所示。

$$\tan \theta = -\tan \omega \pm \sqrt{(\cot \varphi + \tan \omega)(\tan \omega + A)} \quad \omega = \varphi + \alpha + \delta \quad (2-1-6-10)$$

$\omega < 90^\circ$ 时取正号 $\omega > 90^\circ$ 时取负号。

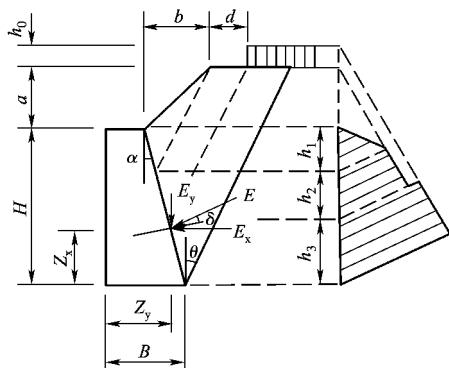


图 2-1-6-10 路堤墙(破裂面交于荷载内)

$$A = \frac{ab + 2h_0(b + d) - H(H + 2a + 2h_0)\tan\alpha}{(H + a)(H + a + 2h_0)} \quad (2-1-6-11)$$

$$E = \frac{1}{2}\gamma H^2 K K_1, E_x = E \cos(\alpha + \delta), E_y = E \sin(\alpha + \delta) \quad (2-1-6-12)$$

$$K = \frac{\cos(\theta + \varphi)}{\sin(\theta + \omega)}(\tan\theta + \tan\alpha), K_1 = 1 + \frac{2a}{H}\left(1 - \frac{h_1}{2H}\right) + \frac{2h_0h_3}{H^2} \quad (2-1-6-13)$$

$$h_1 = \frac{b - a \tan\theta}{\tan\theta + \tan\alpha}, h_2 = \frac{d}{\tan\theta + \tan\alpha}, h_3 = H - h_1 - h_2 \quad (2-1-6-14)$$

$$Z_x = \frac{H}{3} + \frac{a(H - h_1)^2 + h_0h_3(3h_3 - 2H)}{3H^2 K_1}, Z_y = B - Z_x \tan\alpha \quad (2-1-6-15)$$

其他边界条件及第二破裂面土压力计算公式可参阅《公路设计手册·路基》。

3. 粘质土土压力计算

库仑理论只考虑不具有粘结力的砂性土的土压力问题,当墙背填料为粘性土时,土的粘聚力对主动土压力的影响很大,考虑到粘聚力的影响,可按以下方法近似计算粘性土的主动土压力。

1) 等效内摩擦角法

由于目前对粘性土 c, φ 值的确定还存在一些问题,尤其是土的流变性质及其对墙的影响尚不清楚,因此在设计粘性土的挡土墙时,通常将内摩擦角 φ 与单位粘聚力 c 换算成较实有 φ 值大的“等效内摩擦角” φ_D ,按砂性土的公式来计算土压力。

可以按换算前后土的抗剪强度相等的原则或土压力相等的原则来计算等效内摩擦角 φ_D 值。通常把粘性土的内摩擦角值增大 $5^\circ \sim 10^\circ$,作为等效内摩擦角,或取等效内摩擦角值为 $30^\circ \sim 35^\circ$ 。

此法虽然简单,但由于影响土压力数值的因素是多方面的,采用上述等效内摩擦角值,只与某一特定的墙高相适应,对于墙高小于 6m 的矮墙是偏于安全的,对于墙高大于 6m 的高墙则偏于危险。因此,对于矮墙尚可采用这个数值,而对于高墙则应按墙高酌情降低等效内摩擦角,最好按实际的 c, φ 值计算粘性土的主动土压力。

2) 力多边形法(数解法)

考虑粘聚力的土压力计算方法,可仍以库仑理论为基础,假设破裂面为平面。当墙身向外有足够位移时,粘性土土层顶部会出现拉应力,产生竖向裂缝,裂缝从地面向下延伸至拉应力趋于零处。裂缝深度按下式计算:

$$h_c = \frac{2c}{\gamma} \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (2-1-6-16)$$

式中 c ——填料的单位粘聚力, kPa 或 kN/m^2 。

在垂直裂缝区 h_c 的范围内,竖直平面上的侧压力等于零,因此在此范围内不计土压力。

以库仑理论为基础,按静力平衡条件,由力多边形可求得作用于墙背的主动土压力 E_a ,如图 2-1-6-11 所示。

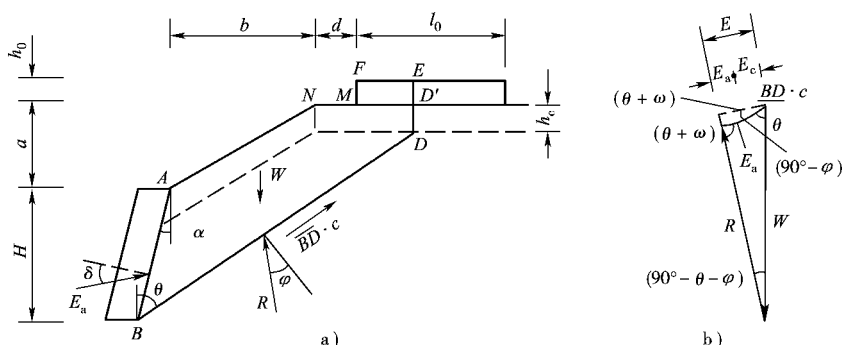


图 2-1-6-11 粘性土土压力计算图式

$$E_a = E - E_c = W \frac{\cos(\theta + \varphi)}{\sin(\theta + \omega)} - \frac{cL\cos\varphi}{\sin(\theta + \omega)} \quad (2-1-6-17)$$

式中 E_a ——不计粘结力时的主动土压力；

E_c ——因 $BD \cdot c$ 粘结力的作用而减少的土压力 kN ；

W ——土楔体重力(土楔体上有荷载时,包括荷载重力) kN 。

墙背与填料之间的粘聚力由于难以如实确定,在上述算式中均忽略不计。粘性土土压力计算公式可阅《公路设计手册——路基》。

4. 计算参数

1) 填料的计算内摩擦角和容重

设计挡土墙时最好按填料的实际工作情况进行试验,并考虑一定的安全度后来确定填料的计算内摩擦角及容重。无条件试验时,可参考表 2-1-6-5 或《路基》设计手册中“土的物理力学特征”表所列的经验数据选用。

各种填料的容重和计算内摩擦角

表 2-1-6-5

填 料 类 型		计算内摩擦角 φ	容重 (kN/m^3)
粘质土	墙高 $H \leq 6m$	$35^\circ \sim 40^\circ$	17
	墙高 $H > 6m$	$30^\circ \sim 35^\circ$	17
砂类土		35°	18
砂砾、卵石土		$35^\circ \sim 40^\circ$	18 ~ 19
碎石土或不易风化的岩石碎块		$40^\circ \sim 45^\circ$	19
碎石或不易风化的石块		$45^\circ \sim 50^\circ$	20

注 ①墙后为非回填土时,应采用天然土的容重及内摩擦角,见现行《公路桥涵地基与基础设计规范》。

②表中粘质土的计算内摩擦角为等效内摩擦角。

2) 墙背摩擦角

影响墙背摩擦角 δ 值的因素是多方面的,主要有墙背的粗糙度(墙背愈粗糙 δ 值愈大)、填料的性质(φ 值愈大 δ 值愈大)和墙后排水条件(排水条件愈好 δ 值愈大)等。表 2-1-6-6 所列为墙背摩擦角 δ 的经验参考数据。

墙背摩擦角 δ 参考值

表 2-1-6-6

挡土墙墙背性质	填料排水情况	δ 值
墙背光滑	不良	$(0 \sim 1/3)\varphi$
片、块石砌体、粗糙	良好	$(1/3 \sim 1/2)\varphi$
干砌片、块石、很粗糙	良好	$(1/2 \sim 2/3)\varphi$
第二破裂面体 无滑动	良好	φ

三、车辆荷载换算

根据墙后破裂棱体上的车辆荷载换算为容重与墙后填土相同的均布土层(如图 2-1-6-12 所示)时,其厚度 h_0 (m)为:

$$h_0 = \frac{\sum Q}{\gamma B_0 L} \quad (2-1-6-18)$$

式中 h_0 ——等代均布土层厚度 m;

γ ——墙后填土的容重 kN/m^3 ;

B_0 ——不计车辆荷载作用时破裂棱体的宽度 m;对于路堤式挡土墙,为破坏棱体范围内的路基宽度 $B_0 = (H + a)\tan\theta + H\tan\alpha - b$;对于路肩墙 $B_0 = H(\tan\theta + \tan\alpha)$;

L ——挡土墙的计算长度 m;

$\sum Q$ ——布置在“ $B_0 \times L$ ”面积内的轮载或履带荷载 kN ,如图 2-1-6-12 所示。

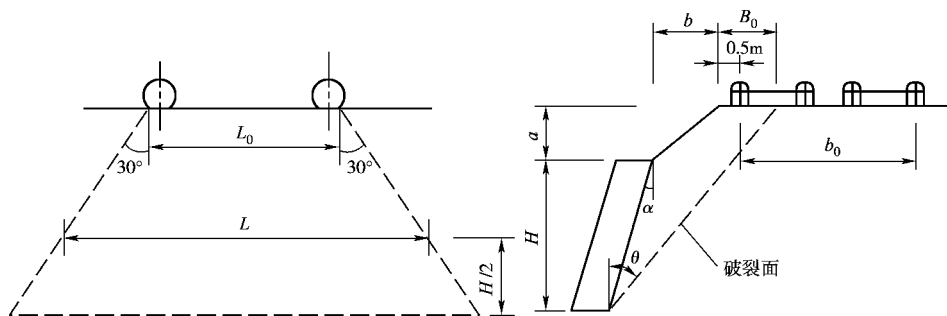


图 2-1-6-12 车辆荷载换算与布置(尺寸单位 m)

L —挡土墙计算长度 L_0 —汽车前后轴之间距离 a —墙顶面填土高度 b —边坡水平宽度;

挡土墙的计算长度,取下述两种长度的较大者:

(1)取挡土墙的分段长度(系指两沉降伸缩缝间的距离),但应不大于 15m。

(2)取一辆重车的扩散长度,扩散长度可按以下两式计算,但当扩散长度大于 15m 时,仍用 15m(汽车—超 20 级作用时,重车的扩散长度以不超过 20m)。

对于汽车—10 级或汽车—15 级:

$$L = 4.2 + (2a + H)\tan 30^\circ \quad (2-1-6-19)$$

对于汽车—20 级和汽车—超 20 级分别按下式计算:

$$L = 5.6 + (2a + H)\tan 30^\circ, L = 13.0 + (2a + H)\tan 30^\circ \quad (2-1-6-20)$$

式中 L ——一辆重车的扩散长度 m;

H ——挡土墙高度 m;

a——挡土墙顶面以上的填料高度, m。

挡土墙上汽车荷载的布置及验算等代均布土层厚度的确定,应符合下列要求:

1. 汽车荷载

纵向:当取挡土墙的分段长度时,为分段长度内可能布置的车轮;当取用一辆重车的扩散长度时,为一辆重车。

横向:上述 B_0 范围内可能布置的车轮。当为路肩墙时,车后轮外缘应靠墙顶内缘布置;若为路堤墙时,车辆外侧后轮中心至路基边缘的距离应不小于 0.5m。

2. 验算荷载

荷载应在路面宽度内居中行驶,其等代均布土层厚度规定如下:挂车—100 为 0.8m;挂车—80 为 0.64m;履带—50 为 0.4m(单车道路基为 0.67m)。

四、挡土墙稳定性验算

为保证挡土墙在土压力及外荷载作用下有足够的强度及稳定性,在设计挡土墙时应验算挡土墙沿基底的抗滑动稳定性、绕墙趾的抗倾覆稳定性、基底应力和偏心距,以及墙身强度等。一般情况下,主要由基底承载力和滑动稳定性来控制设计,墙身应力可不必验算。挡土墙的力学计算取单位长度计算。

1. 作用于挡土墙的力系

施加于挡土墙的荷载按性质划分见表 2-1-6-7。常用荷载组合见表 2-1-6-8。

荷载分类表

表 2-1-6-7

荷载分类		荷载名称
永久荷载		挡土墙结构重力
		填土(包括基础襟边以上土)重力
		填土侧压力
		墙顶上的有效永久荷载
		墙顶与第二破裂面之间的有效荷载
		计算水位的浮力及静水压力
		预加力
		混凝土收缩及徐变影响力
		基础变位影响力
可变荷载	基本可变荷载(活载)	车辆荷载引起的土侧压力
	其他可变荷载	人群荷载、人群荷载引起的土侧压力
		水位退落时的动水压力
		流水压力
		波浪压力
		冻胀压力和冰压力
		温度影响力
	施工荷载	与各类挡土墙施工有关的临时荷载
偶然荷载		地震作用力
		滑坡、泥石流作用力
		作用于墙顶护栏上的车辆碰撞力

常用作用(或荷载)组合

表 2-1-6-8

组 合	作用(或荷载)名称
I	挡土墙结构重力、墙顶上的有效永久荷载、填土重力、填土侧压力及其他永久荷载组合
II	组合 I 与基本可变荷载相组合
III	组合 II 与其他可变荷载、偶然荷载相组合

注:①洪水与地震力不同时考虑;

②冻胀力、冰压力与流水压力或波浪压力不同时考虑;

③车辆荷载与地震力不同时考虑。

一般地区的挡土墙,作用于墙上的力系有:

(1)挡土墙自重及位于墙上的恒载;

(2)作用于墙背上的主动土压力(包括墙后填料破坏棱体上的荷载);

(3)基底的法向反力及摩阻力。

各种力的取舍,应根据挡土墙所处的具体工作条件,按最不利的组合作为设计的依据。

2. 抗滑动稳定性验算

1) 抗滑动稳定系数 K_c 计算

挡土墙的抗滑稳定性是指在土压力和其他外荷载的作用下,基底摩阻力抵抗挡土墙滑移的能力,用抗滑稳定系数 K_c 表示,即作用于挡土墙的抗滑力与实际下滑力之比,如图 2-1-6-13 所示,在一般情况下:

$$K_c = \frac{(W + E_y)f}{E_x} \geq [K_c] \quad (2-1-6-21)$$

式中: W ——挡土墙自重, kN;

E_x 、 E_y ——主动土压力的水平与垂直分力, kN;

f ——基础底面(圬工)与地基土之间的摩擦系数。可通过现场试验确定,当无实测资料时,可参考表 2-1-6-9 选用;

$[K_c]$ ——容许的抗滑动稳定系数,对于荷载组合 I~III 为 1.3,施工阶段验算为 1.2。

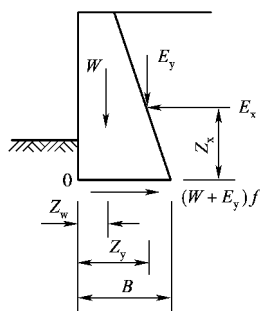


图 2-1-6-13 稳定性验算图式

基 底 摩 擦 系 数

表 2-1-6-9

地基土名称	f	地基土名称	f
粘性土	软塑状态	砂类土	0.40
	硬塑状态	碎(卵)石类土	0.50
	半干硬状态	软质岩石	0.4~0.6
轻亚粘土	0.30~0.40	硬质岩石	0.6~0.7

2) 增加抗滑稳定性的措施

当 $K_c < [K_c]$ 时,表明挡土墙的抗滑稳定性不足,可考虑采用下列措施,以增加其抗滑动稳定性。

(1) 用倾斜基底

设置向内倾斜的基底(图 2-1-6-14),可以增加抗滑力和减少滑动力,从而增加抗滑稳定性,此时抗滑稳定系数 K_c 为

$$K_c = \frac{(W_N + E_N)f}{E_T - W_T} = \frac{[W \cos \alpha_0 + E \sin(\alpha + \delta + \alpha_0)]f}{E \cos(\alpha + \delta + \alpha_0) - W \sin \alpha_0} \quad (2-1-6-22)$$

式中: W_N 、 W_T ——墙重垂直与平行基底的法向和切向分力 kN ;

E_N 、 E_T ——主动土压力垂直与平行基底的法向和切向分力 kN ;

α_0 ——基底倾斜角 $(^\circ)$ 。

倾斜基底的倾斜角 α_0 不宜过大, 以免基底下和墙趾前的土体发生剪切破坏。一般情况下, 土质地基基底倾斜角 α_0 不宜超过 $11^\circ 18' 36''$ (即基底斜坡不陡于 1:5) ; 岩石地基基底倾斜角 α_0 不宜超过 $18^\circ 26' 06''$ (即基底斜坡不陡于 1:3)。

(2) 基底设置凸榫

在挡土墙基础底面设置混凝土凸榫(图 2-1-6-15) , 与基础连成整体, 利用凸榫前土体所产生的被动土压力以增加挡土墙的抗滑稳定性。

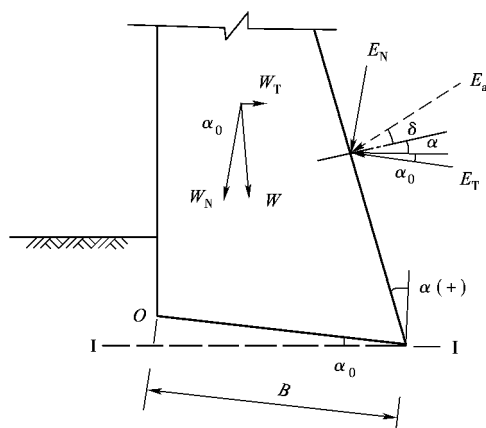


图 2-1-6-14 倾斜基底示意图

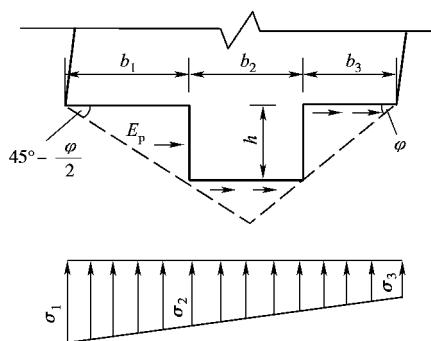


图 2-1-6-15 凸榫基底示意图

为了增加楔前被动阻力, 应使楔前被动土楔不超过墙趾。同时, 为了防止因设凸楔而增加墙背的主动土压力, 应使凸楔后缘与墙趾的连线同水平线的夹角不超过 φ 。因此应将整个凸榫置于通过墙趾并与水平线成 $45^\circ - \varphi/2$ 角线和通过墙踵并与水平线成 φ 角线所形成的三角形范围内(如图 2-1-6-15 所示)。

(3) 更换基底土层

通过更换基底土层, 以增大基础底面与地基之间的摩擦系数。

(4) 改变墙身断面形式和尺寸

通过改变墙身断面形式和尺寸, 以增大垂直力系, 但单纯扩大断面尺寸, 收效不大, 也不经济。

3. 抗倾覆稳定性验算

1) 抗倾覆稳定系数 K_0 计算

挡土墙的抗倾覆稳定性是指它抵抗墙身绕墙趾向外转动倾覆的能力, 用抗倾覆稳定系数 K_0 表示, 即对墙趾的稳定力矩之和 $\sum M_y$ 与倾覆力矩之和 $\sum M_0$ 的比值来表示, 如图 2-1-6-13 所示, 倾覆稳定系数 K_0 为:

$$K_0 = \frac{\sum M_y}{\sum M_0} = \frac{WZ_w + E_yZ_y}{E_xZ_x} \geq [K_0] \quad (2-1-6-23)$$

式中: $\sum M_y$ ——稳定力系对墙趾的稳定力矩 $kN \cdot m$;

$\sum M_x$ ——倾覆力系对墙趾的倾覆力矩 $kN \cdot m$;

Z_x 、 Z_y ——分别为 E_x 、 E_y 对墙趾的力臂, m;

Z_w ——墙重 W 对墙趾的力臂, m;

$[K_0]$ ——容许的抗倾覆稳定性系数,对于荷载组合 I ~ II 为 1.5 ;荷载组合 III 为 1.3 ;施工阶段验算为 1.2。

2) 增加抗倾覆稳定性的措施

当 $K_0 < [K_0]$ 时,表明挡土墙的抗倾覆稳定性不足,此时,可考虑采用下列措施,以增加抗倾覆稳定性。

(1) 加宽墙趾

在墙趾处展宽基础以增加稳定力臂,是增加抗倾覆稳定性的常用方法。但当墙趾前地面横坡较陡时,会因加宽墙趾而使墙高增加。

(2) 改变墙面及墙背坡度

改缓墙面坡度可增加稳定力臂(图 2-1-6-16a),改陡俯斜墙背或改缓仰斜墙背可减少土压(图 2-1-6-16b、图 2-1-6-16c)。在地面纵坡较陡处,均须注意对墙高的影响。

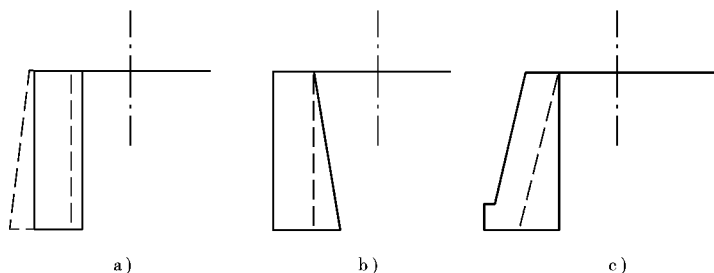


图 2-1-6-16 改变胸坡及背坡

a) 改变胸坡 b) 改陡俯斜墙背 c) 改为仰斜墙背

(3) 改变墙身断面类型

当地面横坡较陡时,应使墙胸尽量陡立。这时可改变墙身断面类型,如改用衡重式墙或者墙后加设卸荷平台、卸荷板(图 2-1-6-17),以减少土压力并增加稳定力矩。

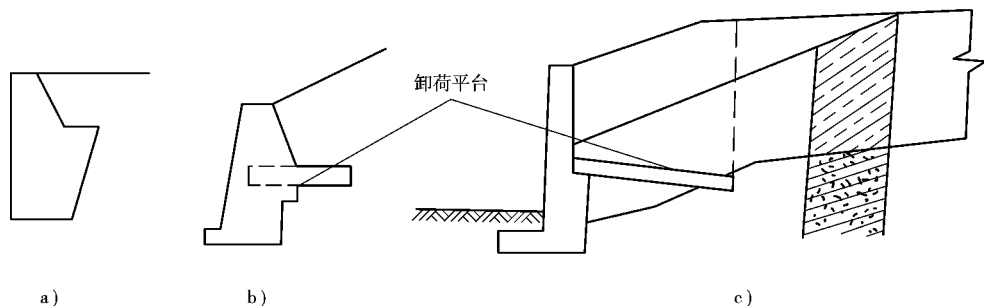


图 2-1-6-17 改变墙身类型措施

4. 基底应力及偏心距验算

1) 计算式

为了保证挡土墙基底应力不超过地基承载力,应进行基底应力验算;同时,为了避免挡土墙不均匀沉降,应控制作用于挡土墙基底的合力偏心距。由图 2-1-6-18 可知,作用于基底的垂

直力为 $N = W + E_y$, 基底合力的偏心距为 e_0 , 按力矩平衡原理可计算 N 对墙趾 O 的力臂 Z_N :

$$Z_N = \frac{WZ_W + E_yZ_y - E_xZ_x}{N} = \frac{WZ_W + E_yZ_y - E_xZ_x}{W + E_y} \quad (2-1-6-24)$$

合力的偏心距 e_0 按下式求得 :

$$e_0 = \frac{B}{2} - Z_N = \frac{B}{2} - \frac{WZ_W + E_yZ_y - E_xZ_x}{W + E_y} \quad (2-1-6-25)$$

在偏心荷载作用下 , 基底的最大应力和最小应力为 :

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} \pm \frac{\sum M}{W_0} = \frac{W + E_y}{B} \left(1 \pm \frac{6e_0}{B} \right) \leq [\sigma] \quad (2-1-6-26)$$

式中 N ——基底合力垂直于基底面的分力 ;

$\sum M$ ——作用于挡土墙上的水平力和竖向力对基底重心的弯矩 ,
kN · m ;

A ——基础底面的面积 m^2 , 对 1m 长挡土墙而言 $A = B$;

B ——基底宽度 m ;

W_0 ——基础底面的截面抵抗矩 m^3 , $W_0 = \frac{1}{6}B^2$;

e_0 ——基底合力的偏心距 m ;

$[\sigma]$ ——地基容许承载力 kPa , 按现行《公路桥涵地基与基础设计规范》的规定采用。

当 $e_0 > \frac{B}{6}$ 时 σ_2 为负值 , 即基底墙踵一侧出现拉应力 , 这是不容许的 , 可仅按受压区计算

基底最大压应力 , 不考虑基底承受拉应力 , 重新分配压应力 , 将应力图变成三角形 , 如图 2-1-6-19 所示。其最大应力 σ_{max} 按下式计算 :

$$\sigma_{max} = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{Z_N} = \frac{2}{3} \cdot \frac{W + E_y}{\frac{B}{2} - e_0} \leq [\sigma] \quad (2-1-6-27)$$

从上述分析可知 , 合力偏心距 e_0 直接影响到基底应力的大小和性质 (拉或压) , 如 e_0 过大 , 即使基底应力小于地基容许承载力 , 但由于墙趾压应力 σ_1 与墙踵压应力 σ_2 相差过大 , 亦可能引起基础产生不均匀沉陷 , 从而导致墙身过分倾斜 , 为此应控制偏心距。偏心距 e_0 应符合下列要求 :

土质地基 $e_0 \leq \frac{B}{6}$;

石质较差的岩石地基 $e_0 \leq \frac{B}{5}$;

坚硬的岩石地基 $e_0 \leq \frac{B}{4}$ 。

2) 降低基底压应力及减小偏心距的措施

基底应力及合力偏心距不满足要求时 , 采取以下措施可降低

基底压应力及减少偏心距 :

(1) 宽墙趾或扩大基础 , 可加大承压面积、调整偏心距。

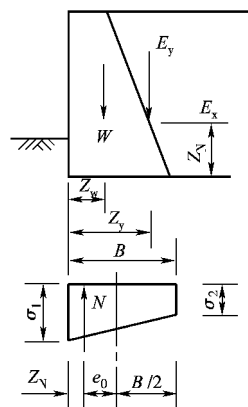


图 2-1-6-18 基底应力分布图

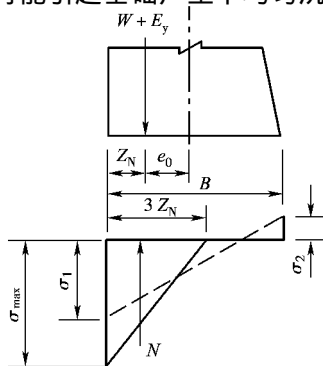


图 2-1-6-19 偏心距过大时基底应力分布图

(2)加固地基或换土,以提高地基承载力。

(3)调整墙背坡度或断面形式以减小偏心距。

采用加宽墙趾的方法时,如地面横坡较陡,则会因此增加墙身高度,所以应与采用其他方法比较后再予确定。

5. 墙身断面强度计算

重力式挡土墙一般均属于偏心受压,故截面强度应按偏心受压构件进行验算。通常选择一两个控制性断面进行墙身应力和偏心距验算,如墙身底部、二分之一墙高和断面形状突变处(图 2-1-6-20)。

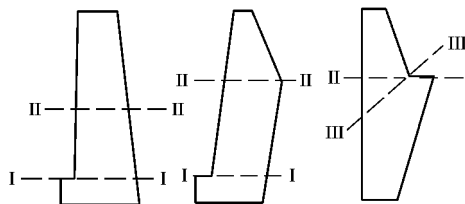


图 2-1-6-20 验算断面的选择

1) 法向应力验算

如图 2-1-6-21 所示,断面 I-I 为验算截面。若截面以上墙背受的主动土压力为 E_1 ,其水平与垂直分力分别为 E_{1x} 、 E_{1y} ,此截面以上的墙重为 W_1 ,这时作用于断面 I-I 的合力偏心距 e_1 为

$$e_1 = \frac{B_1}{2} - Z_{1N} = \frac{B_1}{2} - \frac{W_1 Z_{1w} + E_{1y} Z_{1y} - E_{1x} Z_{1x}}{W_1 + E_{1y}} \quad (2-1-6-28)$$

断面两边缘的法向应力为

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{W_1 + E_{1y}}{B_1} \left[1 + \frac{6e_1}{B_1} \right] \leq [\sigma_a] \\ \sigma_{\min} & \end{aligned} \quad (2-1-6-29)$$

式中: B_1 ——断面 I-I 处墙身宽度, m;

$\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$ ——分别为验算断面的最大与最小法向应力, kPa;

$[\sigma_a]$ ——圬工砌体的容许压应力, kPa。按现行《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》的规定采用。

2) 剪应力验算

$$\text{I-I 断面上的剪应力为: } \tau_1 = \frac{E_{1x}}{B_1} \leq [\tau] \quad (2-1-6-30)$$

式中: $[\tau]$ ——圬工砌体的容许剪应力, kPa, 按有关规范取用。

当墙身断面出现拉应力时,应考虑裂缝对受剪面积的折减。一般情况下,由于墙身截面的剪应力远小于其容许值,可不进行这方面的验算。

五、一般重力式挡土墙设计算例

1. 设计资料

1) 墙身构造

拟采用浆砌片石重力式路堤墙(图 2-1-6-22) 墙高 $H=6\text{m}$ 填土高 $a=3\text{m}$ 填土边坡 1:1.5 墙背仰斜 1:0.25 ($\alpha = -14^\circ 02'$) 墙身分段长度 10m。

2) 车辆荷载

计算荷载 汽车—20 级 验算荷载 挂车—100。

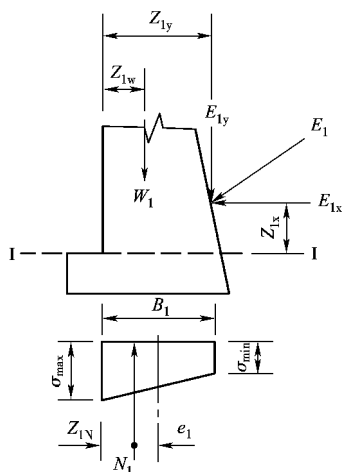


图 2-1-6-21 墙身断面强度计算

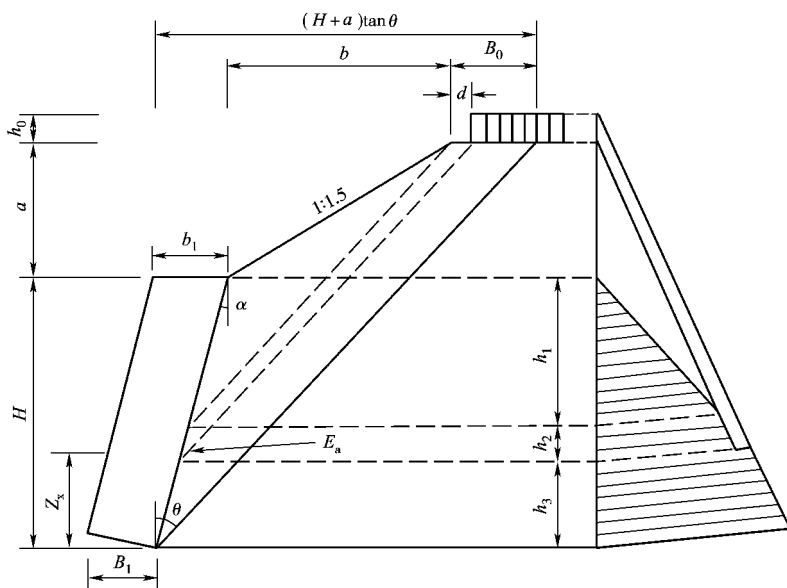


图 2-1-6-22 重力式挡土墙设计示例

3) 土壤地质情况

墙背填土容重 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, 计算内摩擦角 $\varphi = 35^\circ$, 填土与墙背间的摩擦角 $\delta = \varphi/2$, 粘性土地基 , 容许承载力 $[\sigma_0] = 250 \text{ kPa}$, 基底摩擦系数 $f = 0.30$;

4) 墙身材料

2.5 号砂浆砌 25 号片石 , 砌体容重 $\gamma_K = 22 \text{ kN/m}^3$, 砌体容许压应力 $[\sigma_a] = 600 \text{ kPa}$, 容许剪应力 $[\tau] = 100 \text{ kPa}$, 容许拉应力 $[\sigma_{WL}] = 60 \text{ kPa}$ 。

2. 车辆荷载换算

1) 计算荷载

(1) 求不计车辆荷载作用时的破裂棱体宽 B_0 ($h_0 = 0$)。

查路堤墙的公式可知

$$A = \frac{ab + 2h_0(b + d) - H(H + 2a + 2h_0)\tan\alpha}{(H + a)(H + a + 2h_0)} = \frac{3 \times 4.5 + 6(6 + 2 \times 3) \times 0.25}{(6 + 3)^2} = 0.389$$

$$\omega = \varphi + \alpha + \delta = 35^\circ - 14^\circ 02' + 17^\circ 30' = 38^\circ 28'$$

$$\tan\theta = -\tan\omega \pm \sqrt{(\cot\varphi + \tan\omega)(\tan\omega + A)}$$

$$= -\tan 38^\circ 28' + \sqrt{(\cot 35^\circ + \tan 38^\circ 28')(\tan 38^\circ 28' + 0.389)} = 0.827$$

$$\theta = \arctan 0.827 = 39^\circ 36'$$

$$B_0 = (H + a)\tan\theta + H\tan\alpha - b = (6 + 3) \times 0.827 - 6 \times 0.25 - 4.5 = 1.44 \text{ m}$$

(2) 求纵向分布长度 L (按式 2-1-6-20)。

对于汽车—20 级 , 一辆重车的扩散长度为 :

$$L = 5.6 + (2a + H)\tan 30^\circ = 5.6 + (6 + 2 \times 3) \times 0.577 = 12.52 \text{ m}$$

大于挡土墙分段长度,取计算长度 $L=12.52\text{m}$ 。布置一辆重车,总重力 300kN 。

(3)计算车辆荷载总重 ΣQ 。

车轮中心距路基边缘 0.5m , $B_0=1.44\text{m}$,重车在破裂棱体内仅能布置轴重的一半。

$$\Sigma Q = 300 \times \frac{1}{2} = 150\text{kN}$$

(4)换算土层厚度(式 2-1-6-18)。

$$h_0 = \frac{\Sigma Q}{\gamma B_0 L} = \frac{150}{18 \times 1.44 \times 12.52} = 0.46\text{m}$$

2)验算荷载

荷载为挂车—100 级 $h_0=0.8\text{m}$,布置在路基全宽。

3. 主动土压力计算

1)设计荷载

荷载为汽车—20 级。

(1)求破裂角 θ 。

假设破裂面交于荷载内,采用相应的公式计算:

$$\begin{aligned} A &= \frac{ab + 2h_0(b+d) - H(H+2a+2h_0)\tan\alpha}{(H+a)(H+a+2h_0)} \\ &= \frac{3 \times 4.5 + 2 \times 0.46(4.5 + 0.5) + 6(6 + 2 \times 3 + 2 \times 0.46) \times 0.25}{(6+3)(6+3+2 \times 0.46)} = 0.419 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tan\theta &= -\tan\omega \pm \sqrt{(\cot\varphi + \tan\omega)(\tan\omega + A)} \\ &= -\tan 38^\circ 28' + \sqrt{(\cot 35^\circ + \tan 38^\circ 28')(\tan 38^\circ 28' + 0.419)} = 0.848 \\ \theta &= \arctan 0.848 = 40^\circ 17' \end{aligned}$$

验算破裂面是否交于荷载内:

堤顶破裂面至墙踵 $(H+a)\tan\theta = (6+3) \times 0.848 = 7.63\text{m}$

荷载内缘至墙踵 $b - H\tan\alpha + d = 4.5 + 6 \times 0.25 + 0.5 = 6.5\text{m}$

荷载外缘至墙踵 $b - H\tan\alpha + d + b_0 = 6.5 + 5.5 = 12.0\text{m}$

其中 b_0 为两辆车并列布置的宽度。

因为 $6.5 < 7.63 < 13.5$,故破裂面交于荷载内,与原假定相符,所选用的计算公式正确。

(2)求主动土压力系数 K 和 K_1 。

$$K = \frac{\cos(\theta + \varphi)}{\sin(\theta + \omega)} (\tan\theta + \tan\alpha) = \frac{\cos(40^\circ 17' + 35^\circ)}{\sin(40^\circ 17' + 38^\circ 28')} (\tan 40^\circ 17' - 0.25) = 0.155$$

$$h_1 = \frac{b - a\tan\theta}{\tan\theta + \tan\alpha} = \frac{4.5 - 3 \times 0.848}{0.848 - 0.25} = 3.27\text{m}$$

$$h_2 = \frac{d}{\tan\theta + \tan\alpha} = \frac{0.50}{0.848 - 0.25} = 0.84\text{m} \quad h_3 = H - h_1 - h_2 = 6 - 3.27 - 0.84 = 1.89\text{m}$$

$$K_1 = 1 + \frac{2a}{H} \left[1 - \frac{h_1}{2H} \right] + \frac{2h_0 h_3}{H^2} = 1 + \frac{2 \times 3}{6} \left[1 - \frac{3.27}{2 \times 6} \right] + \frac{2 \times 0.46 \times 1.89}{6^2} = 1.776$$

(3)求主动土压力及作用点位置。

$$E = \frac{1}{2} \gamma H^2 K K_1 = \frac{1}{2} \times 18 \times 6^2 \times 0.155 \times 1.776 = 89.19 \text{ kN}$$

$$E_x = E \cos(\alpha + \delta) = 89.19 \cos(-14^\circ 02' + 17^\circ 30') = 89.02 \text{ kN}$$

$$E_y = E \sin(\alpha + \delta) = 89.19 \sin(-14^\circ 02' + 17^\circ 30') = 5.39 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} Z_x &= \frac{H}{3} + \frac{a(H - h_1)^2 + h_0 h_3 (3h_3 - 2H)}{3H^2 K_1} \\ &= \frac{6}{3} + \frac{3(6 - 3.27)^2 + 0.46 \times 1.89(3 \times 1.89 - 2 \times 6)}{3 \times 6^2 \times 1.776} \\ &= 2.09 \text{ m} \end{aligned}$$

因基底倾斜,土压力对墙趾的力臂改为:

$$Z_{x1} = Z_x - 0.190 b_1 = 2.09 - 0.190 \times 1.56 = 1.79 \text{ m}$$

$$Z_{y1} = b_1 - Z_{x1} \tan \alpha = 1.56 + 1.79 \times 0.25 = 2.01 \text{ m}$$

2)验算荷载

荷载为挂车—100级。

计算方法与采用公式同设计荷载,在式中取 $h_0 = 0.8 \text{ m}$, $d = 0$ 。计算结果如下:

$$\theta = 40^\circ 33' \quad K = 0.154 \quad K_1 = 1.859,$$

$$E = 92.76 \text{ kN} \quad E_x = 92.57 \text{ kN} \quad E_y = 5.60 \text{ kN},$$

$$Z_x = 2.08 \text{ m} \quad Z_{x1} = 1.78 \text{ m} \quad Z_{y1} = 2.01 \text{ m}$$

比较设计荷载与验算荷载的计算结果可知,验算荷载时的土压力大。若墙身断面尺寸系由滑动控制,则可肯定按验算荷载时的土压力计算,因对 K_c 的要求均为大于等于 1.3。本算例中,基底摩擦系数小,仅为 $f = 0.3$,估计为滑动控制,故先采用挂车—100 的土压力计算。

4. 设计挡土墙截面

选择墙面平行于墙背,基底倾斜 $1:5 (\alpha_0 = 11^\circ 18')$ 。通过试算,选定墙顶宽 $b_1 = 1.56 \text{ m}$ 。

1)计算墙身重 W 其力臂 Z_w

墙身重 W 其力臂 Z_w 计算结果列于表 2-1-6-10。

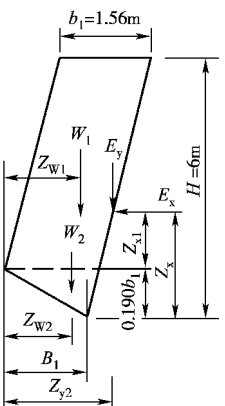
2)抗滑稳定性检算

此时抗滑稳定系数 K_c 为:

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{(W_N + E_N) f}{E_T - W_T} = \frac{[W \cos \alpha_0 + E \sin(\alpha + \delta + \alpha_0)] f}{E \cos(\alpha + \delta + \alpha_0) - W \sin \alpha_0} \\ &= \frac{[200.86 \cos 11^\circ 18' + 92.76 \sin(-14^\circ 02' + 17^\circ 30' + 11^\circ 18')] \times 0.30}{92.76 \cos(-14^\circ 02' + 17^\circ 30' + 11^\circ 18') - 200.86 \sin 11^\circ 18'} = 1.31 > [K_c] \end{aligned}$$

墙身重 W 其力臂 Z_w 计算结果

表 2-1-6-10

体积 $V(\text{m}^3)$	重力(kN) ($\gamma_k = 22\text{kN/m}^3$)	力臂 $Z_w(\text{m})$	
$V_1 = b_1 H - 0.190b_1^2$ $= 1.56 \times 6 - 0.190 \times 1.56^2$ $= 8.99$	$W_1 = 195.80$	$Z_{w1} = \frac{1}{2} [(H - 0.190b_1) \times 0.25 + b_1]$ $= \frac{1}{2} [(6 - 0.190 \times 1.56) \times 0.25 + 1.56]$ $= 1.49$	
$V_2 = 0.095b_1^2 = 0.095 \times$ $1.56^2 = 0.23$	$W_2 = 5.06$	$Z_{w2} = 0.651b_1 = 0.651 \times 1.56 = 1.02$	
$V = V_1 + V_2 = 9.13$	$W = W_1 + W_2$ $= 200.86$		

3) 抗倾覆稳定性检算

倾覆稳定系数 K_0 为：

$$K_0 = \frac{\sum M_y}{\sum M_0} = \frac{W_1 Z_{w1} + W_2 Z_{w2} + E_y Z_{y1}}{E_x Z_{x1}}$$

$$= \frac{195.80 \times 1.49 + 5.06 \times 1.02 + 5.06 \times 2.01}{92.57 \times 1.78} = 1.87 > [K_0]$$

稳定性检算的结果表明,断面尺寸由滑动控制,上述估计符合实际,故可不必采用汽车—20 级的土压力计算。(按汽车荷载计算结果 $K_0 = 1.92 > [K_0]$)

4) 基底应力检算

$$B_1 = b_1 - 0.190b_1 \times 0.25 = 0.953b_1 = 0.953 \times 1.56 = 1.487\text{m}$$

$$Z_N = \frac{W_1 Z_{w1} + W_2 Z_{w2} + E_y Z_{y1} - E_x Z_{x1}}{W_1 + W_2 + E_y}$$

$$= \frac{195.80 \times 1.49 + 5.06 \times 1.02 + 5.60 \times 2.01 - 92.57 \times 1.78}{195.80 + 5.06 + 5.60} = 0.694\text{m}$$

$$e_0 = \frac{B_1}{2} - Z_N = \frac{0.953b_1}{2} - Z_N = \frac{1.487}{2} - 0.694 = 0.050\text{m} < 0.75 \times \frac{B_1}{6} = 0.186\text{m}$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} \pm \frac{\sum M}{W_0} = \frac{W + E_y}{B_1} \left(1 \pm \frac{6e_0}{B_1} \right) = \frac{200.86 + 5.60}{1.487} \left(1 \pm \frac{6 \times 0.050}{1.487} \right)$$

$$= \frac{166.85}{110.83} \text{kPa} \leq [\sigma_0] = 250\text{kPa}$$

5) 截面应力检算

墙面、墙背互相平行,截面的最大应力出现在接近基底处。由基底应力检算可知,偏心距及基底应力均满足地基的要求。墙身截面应力也能满足墙身材料的要求,故可不作检算。

通过上述检算,所拟截面符合各项要求,决定采用此截面,顶宽为 1.56m。

• 第四节 常用的其他形式挡土墙的构造特点 •

常用的挡土墙除重力式挡墙外,还有加筋土挡墙、悬臂式挡墙、锚杆式挡墙、锚定板式挡墙等。

一、加筋土挡土墙

加筋土挡土墙是利用加筋土技术修建的一种支挡结构物,加筋土是一种在土中加入拉筋的复合土,它利用拉筋与土之间的摩擦作用,改善土体的变形条件和提高土体的工程性能,从而达到稳定土体的目的。加筋土挡土墙由填料、在填料中布置的拉筋以及墙面板3部分组成,其基本结构如图2-1-6-23所示。

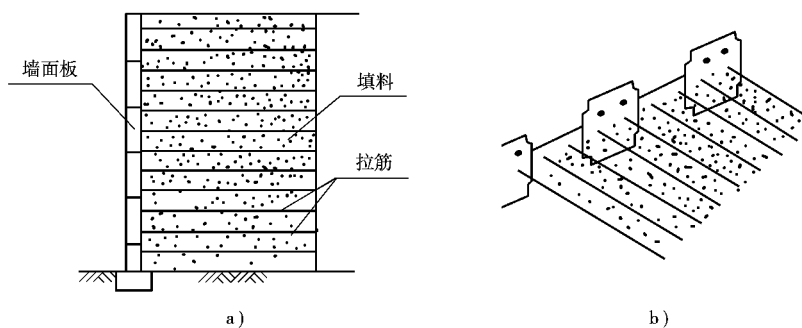


图 2-1-6-23 加筋土挡土墙基本结构

加筋土挡土墙的特点是:

- (1)组成加筋土的面板和筋带可以预先制作,在现场用机械(或人工)分层填筑。这种装配式的方法,施工简便、快速,并且节省劳力和缩短工期。
- (2)加筋土是柔性结构物,能够适应地基轻微的变形。
- (3)加筋土挡土墙具有一定的柔性,抗振性强,因此,它也是一种很好的抗振结构物。
- (4)加筋土挡土墙节约占地,造型美观。加筋土挡土墙的墙面板可以垂直砌筑,可大量减少占地。挡土墙的总体布设和面板的形式图案可根据周围环境特点和需要进行设计。
- (5)加筋土挡土墙造价比较低。加筋土挡土墙与钢筋混凝土挡土墙相比,可减少造价一半;与石砌重力式挡土墙比较,也可节约20%以上。同时,加筋土挡土墙的造价随墙高的增加而节省效果愈显著。因此它具有良好的经济效益。

加筋体由填料、拉筋及墙面板组成。

填料是加筋体的主体材料,由它与拉筋产生摩擦力。其基本要求是:易于填筑与压实,能与拉筋产生足够的摩擦力,满足化学和电化学标准,水稳定性好。为了使拉筋与填料之间能发挥较大的摩擦力,以确保结构的稳定,通常填料优先选择具有一定级配、透水性好砂类土、碎(砾)石类土。粗粒料中不得含有尖锐的棱角,以免在压实过程中压坏拉筋。当采用黄土、粘性土及工业废渣时应做好防水、排水设施和确保压实质量等。从压实密度的需求出发,粒径 $D=60\sim 200\text{mm}$ 的卵石含量不宜大于30%,最大粒径不宜超过200mm。填料的化学和电学

标准,主要为保证加筋的长期使用品质和填料本身的稳定,加筋体内严禁使用泥炭、淤泥、腐殖土、冻土、盐渍土、白垩土、硅藻土及生活垃圾等,填料中不应含有大量有机物。对于采用聚丙烯土工带的填料中不宜含有两价以上的铜、镁、铁离子及氯化钙、碳酸钠、硫化物等化学物质,因为它们会加速聚丙烯土工带的老化和溶解。

拉筋(又称筋带)的作用是承受垂直荷载和水平拉力,并与填料产生摩擦力。拉筋为带状,国内以采用聚丙烯土工带和钢筋混凝土带为主,对于高速公路和一级公路应用钢带和钢筋混凝土筋带,国外广泛使用镀锌钢带。常用的拉筋有钢带、钢筋混凝土带和聚丙烯土工带。钢带一般用软钢轧制,分光面带和有肋带两种,带上设置横肋以增加摩擦力。它的横断面为扁矩形,宽度不小于30mm,厚度不小于3mm,常镀锌防锈。钢筋混凝土带表面粗糙,一般分节预制,每节长度小于3m,做成串连状,横断面为扁矩形,带宽10~25cm,厚度6~10cm,混凝土标号不应低于15号,钢筋直径不小于8mm。聚丙烯土工带由专业工厂定型生产,表面应有均匀的粗糙压纹,宽度均匀一致,带宽18~22mm,厚度0.8~1.4mm,断裂强度(在 25 ± 2 的恒温下4h,以标距10cm,拉伸速度100mm/min测定)不小于220MPa,断裂伸长率不宜大于10%,容许应力小于断裂强度的1/5,在含有硬质尖棱的碎石土中不得使用聚丙烯土工带以免带被割断。拉筋一般应水平放置,并垂直于墙面板。拉筋的横向间距一般为0.50~1.00m,最大不超过1.50m,竖向间距为0.25~0.75m。拉筋尺寸由加筋体内部稳定和外部稳定的计算确定,但其最小长度为3m,并满足 $0.4H$ (H 为加筋体高度)的要求。墙面构件(面板)或与拉筋之间可通过连接件(如螺栓、锚头、销钉等)或以其他方式(如咬口、焊接、胶合等)连接起来。此外,还可采用化纤无纺布(土工织物)作为墙面和拉筋材料,实现柔性联结一体化。

加筋土挡墙的墙面板的作用是防止填土侧向挤出、传递土压力以及便于拉筋固定布设,并保证填料、拉筋和墙面构成具有一定形状的整体。墙面板可用金属板(如镀锌薄钢板)构件或混凝土预制板拼装而成。金属面板质轻、富有韧性、抗拉强度大,适用于运输困难或只有轻型吊装设备的场合,构件长度为3m、6m、10m多种,有效高度为333mm或250mm,厚度为3~5mm,断面大多呈半椭圆形。混凝土面板不易腐蚀,使用寿命长,一般有十字形、矩形、槽形、L形和六角形等,其尺寸主要由起吊能力和受力情况决定,通常高与宽各为0.50~1.50m,厚为8~22cm,面板混凝土不应低于C20,它能较好地适应地形变化和曲线墙面,因而获得广泛使用。

此外,加筋体的横断面形式一般宜用矩形(如图2-1-6-24a)所示,当受地形、地质条件限制时,也可采用图2-1-6-24b)或图2-1-6-24c)的形式。断面尺寸由验算确定。

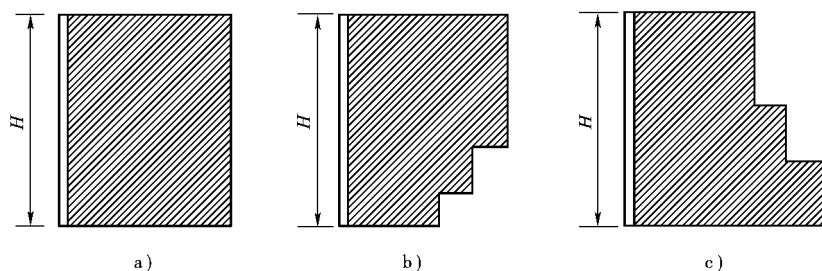


图2-1-6-24 加筋体横断面形式

加筋土挡土墙高度大于 12m 时,填料宜采用粗粒土、黄土或稳定土。墙高的中部宜设宽度不小于 1m 的错台。墙高大于 20m 时,应进行特殊设计。错台顶部设 2%~5% 的排水横坡,用混凝土板防护;当采用细粒填料时,上级墙的面板基础下宜设置宽不小于 1.0m,厚度不小于 0.5m 的砂砾或灰土垫层(图 2-1-6-25)。

二、锚杆式挡土墙

锚杆式挡土墙是利用锚杆技术形成的一种挡土结构物。锚杆是一种新型的受拉杆件,它的一端与工程结构物连接,另一端通过钻孔、插入锚杆、灌浆、养护等工序被锚固在山坡深处的稳定岩层或土层中,以承受土压力对结构物所施加的推力,从而利用锚杆与稳定岩层或土层之间的锚固力,使墙获得稳定。它的特点是:结构质量轻,使挡土墙的结构轻型化,与重力式挡土墙相比,可以节约大量的圬工和节省工程投资;利于挡土墙的机械化、装配化施工,可以减轻笨重的体力劳动,提高劳动生产率;不需要开挖大量基坑,能克服不良地基挖基的困难,并利于施工安全。但是锚杆挡土墙也有一些不足之处,使设计和施工受到一定的限制,如施工工艺要求较高,要有钻孔、灌浆等配套的专用机械设备,且要耗用一定的钢材。它一般适用于墙高较大,缺乏石料或挖基困难地区,具有锚固条件的路堑挡土墙,还可应用于陡坡路堤。

锚杆式挡土墙主要有两种结构形式:肋板式锚杆挡土墙和板壁式锚杆挡土墙。目前多用肋板式锚杆挡土墙。

板壁式挡土墙如图 2-1-6-26 所示,它由就地灌注的整体板壁和多排小锚杆组成。锚孔可采用普通风钻钻成,一般直径 35~50mm,深度 3~5m。这种结构形式施工较简单,但承担土压力的能力较小。

肋板式挡土墙如图 2-1-6-27 所示,它由挡土板、肋柱和锚杆组成。确定肋柱的间距应考虑工地的起吊能力和锚杆的抗拔能力,一般可选用 2.5~3.5m。每根肋柱视其高度可布置 2~3 根或更多的锚杆,锚杆为一根或数根钢筋组成(也可用钢丝束)。锚孔直径在 100mm 以

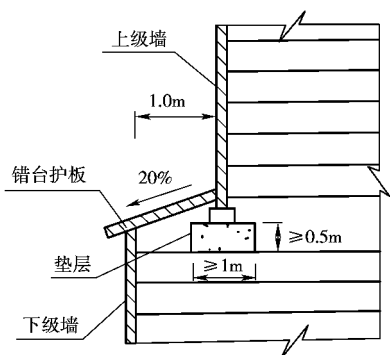


图 2-1-6-25 设错台的加筋土挡土墙

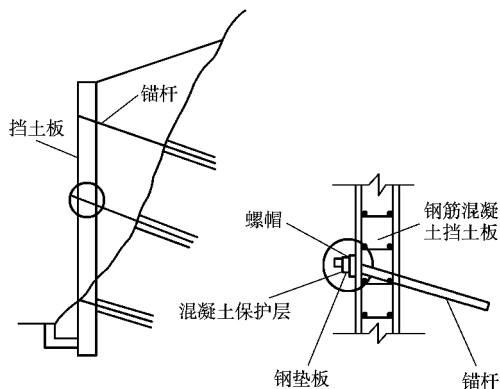


图 2-1-6-26 板壁式锚杆挡土墙

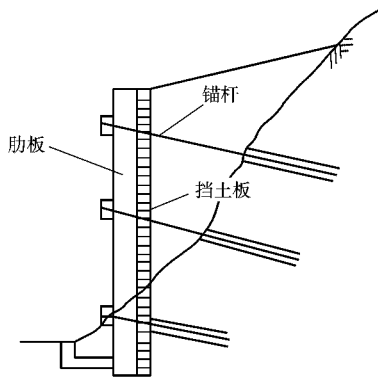


图 2-1-6-27 肋板式锚杆挡土墙

上,采用钻机钻孔,锚杆插入锚孔后再灌水泥砂浆。当用于土层时,由于土层与锚杆间的锚固能力较差,必要时可将钻孔端部扩大,以增加锚杆的抗拔力。这种挡土墙能承受较大的土压力。

锚杆挡土墙构件包括挡土板、肋柱和锚杆或墙面板和锚杆。

挡土板一般采用钢筋混凝土槽形板、矩形板和空心板,有时也采用拱形板,大多为预制构件。混凝土强度不低于 C20,挡土板厚度不得小于 0.2m,宽度视吊装设备的能力而定,但不得小于 0.3m,一般采用 0.5m。预制挡土板的长度考虑到锚杆与肋柱的连接一般较肋柱间距短 0.1~0.12m,或将锚杆处的挡土板留有缺口。挡土板与肋柱的搭接长度不小于 0.1m。墙后应回填砂卵石等透水材料,由下部泄水孔将水排入边沟内。

肋柱一般采用矩形或 T 形截面,沿墙长方向肋柱宽度不宜小于 0.3m。肋柱的间距由工点的地形、地质、墙高以及施工条件等因素确定,考虑工地的起吊能力和锚杆的抗拔力等因素,一般可采用 2.0~3.0m。肋柱可采用整体预制,亦可分段拼装或就地灌注,肋柱采用的混凝土标号不低于 C20。

锚杆一般沿水平方向向下倾斜 $10^{\circ} \sim 45^{\circ}$,倾角的大小视稳定岩层、施工机具的情况和肋柱的受力条件,并使锚杆长度尽可能最短等来保证。锚杆在岩层中的有效锚固长度,一般不小于 4m,锚入稳定土层内,锚固长度不应小于 9~10m。锚孔内灌以膨胀水泥砂浆。为保证孔内锚固周围有足够的砂浆保护层,沿锚杆长每隔 2~3m 应焊设支架(图 2-1-6-28)。锚孔口至墙面间的一段锚杆,采用沥青麻丝包扎防锈。锚杆与墙面的连接,可采用把锚杆钢筋弯入肋柱内,或采用螺丝端杆、焊头联结等方式。锚杆可采用 I 级或 II 级钢筋或钢丝绳,还可采用高强钢绞线或高强粗钢筋。钢筋锚杆宜采用螺纹钢,直径一般应为 18~

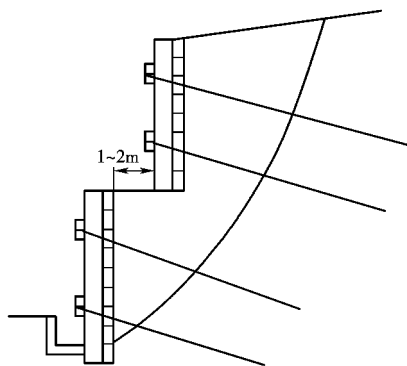


图 2-1-6-28 多级锚杆挡土墙

32mm。锚孔直径应与锚杆直径相配合,一般为锚杆直径的 3 倍。锚杆应尽量采用单根钢筋,如果单根不能满足拉力需要,也可采用两根钢筋共同组成 1 根锚杆,但每孔钢筋数不宜多于 3 根。

板壁式挡土墙的锚杆间距,按墙后填土的性质、壁面板受力合理及经济等综合确定。其水平间距一般为 1~2m,竖向以布置 2~3 排锚杆为宜。采用预应力锚杆时,其间距要适当加大。墙面板宜为整块钢筋混凝土板,采用就地浇注或预制拼装。预制墙面板必须预留锚杆的锚定孔。为便于施工,一般采用等厚截面,其厚度不宜小于 0.3m。混凝土强度等级不宜低于 C20。

当挡土墙较高(大于 6m)时,应布置两级或两级以上,如图 2-1-6-28 所示,两级之间设 1~2m 宽的平台,平台应用厚度不小于 0.15m 的 C15 混凝土封闭,并设向墙外倾斜的横坡,坡度为 2%。每级挡土墙不宜过高,一般为 5~6m。为便于肋柱及挡土板的安装,以竖直墙背为多。

三、锚定板式挡土墙

锚定板式挡土墙是由钢筋混凝土墙面、钢拉杆、锚定板以及其间的填土共同形成的一种组

合挡土结构,如图 2-1-6-29 所示。它借助于埋在填土内的锚定板的抗拔力来抵抗侧向土压力,保持墙的稳定。锚定板式挡土墙的特点在于构件断面小、结构重量轻、柔性大、工程量小,不受地基承载力的限制,构件可预制,有利于实现结构轻型化和施工机械化。它适用于承载力较低的软弱地基和缺乏石料地区的路肩墙或路堤墙。在滑坡、坍塌地段以及膨胀土地区不能使用。

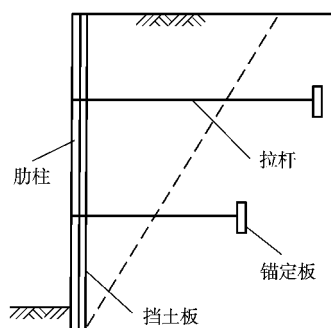


图 2-1-6-29 锚定板式挡土墙

锚定板式挡土墙的结构形式和受力状态与锚杆挡土墙基本相同,都是依靠钢拉杆的抗拔力来保持墙身的稳定。它们的主要区别是:锚杆挡土墙的锚杆系插入稳定地层的钻孔中,抗拔力来源于灌浆锚杆与孔壁地层之间的粘结强度,而锚定板挡土墙的钢拉杆及其端部的锚定板都埋设在人工填土当中,抗拔力主要来源于锚定板前的填土的被动抗力。

锚定板挡土墙可分为肋板式和板壁式两种,如图 2-1-6-30 所示。

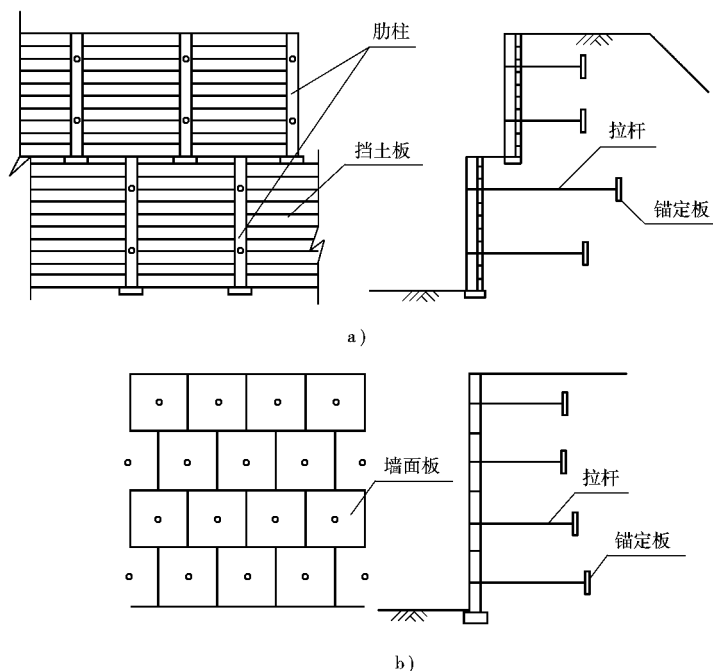


图 2-1-6-30 锚定板挡土墙类型

a)肋板式 b)壁板式

锚定板挡土墙的墙面是由挡土板和肋柱组成(肋板式)。肋柱间距视工地的起吊能力和锚定板的抗拔力而定,通常为 $1.5 \sim 2.5\text{m}$,截面多采用矩形、T 形、工字形等,截面宽度不小于 0.35m ,厚度不小于 0.3m 。每级肋柱高一般为 $3 \sim 5\text{m}$,上下两级肋柱接头常用榫接,也可以做成平台并相互错开,如图 2-1-6-30a)所示。肋柱间距多采用 $1 \sim 2\text{m}$ 。根据肋柱的长度和土压力的大小,每根肋柱上可布置单根、双根或多根拉杆。混凝土标号不应低于 C20。肋柱应设置拉杆穿过的孔道,并将孔道做成椭圆孔或圆孔,其直径大于拉杆直径,空隙用砂浆填塞。肋柱

严禁前倾,应适当后仰,其仰斜度宜为 1:0.05。

挡土板通常为钢筋混凝土矩形板或槽形板,有时也可为混凝土拱板,设置于肋柱的内侧,直接承受填土的侧压力并将侧压力传递给肋柱。其设计、构造要求与锚杆式挡土墙一样,但矩形板的最小厚度可采用 0.15m,板宽一般为 0.5m,挡土板上应留有泄水孔,板后应设置反滤层。

拉杆必须选用可焊性能较好的钢材,一般采用热轧螺纹钢筋。拉杆直径不小于 22mm,但亦不宜大于 32mm,拉杆的长度通过锚定板的稳定验算及结构的整体稳定性验算来确定。最下层拉杆的长度除满足稳定要求外,应使锚定板埋置于主动破裂面以外不小于 $3.5h$ 处(h 为矩形锚定板的高度),最上层拉杆的长度应不小于 3m。考虑到上层锚定板的埋置深度对其抗拔力的影响,要求最上层拉杆至填土顶面的距离不能小于 1m。

锚定板一般采用方形钢筋混凝土板,混凝土标号不低于 C20,竖直埋置在填土中,一般忽略不计拉杆与填土之间的摩擦阻力,则锚定板承受的拉力即为拉杆拉力。锚定板尺寸还要满足下列构造要求:柱板拼装式墙的锚定板面积不应小于 0.5m^2 ,壁板式墙的锚定板面积不应小于 0.2m^2 ,一般采用 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的锚定板。锚定板预制时中心应预留穿过拉杆的孔道,其要求同肋柱的预留孔道。

四、薄壁式挡土墙

薄壁式挡土墙是钢筋混凝土结构,属轻型挡土墙,包括悬臂式和扶壁式两种形式。

悬臂式挡土墙的一般形式如图 2-1-6-31 所示,它是由立壁(墙面板)和墙底板(包括墙趾板和墙踵板)组成,呈倒“T”字形,具有 3 个悬臂,即立壁、墙趾板和墙踵板。扶壁式挡土墙由墙面板(立壁)、墙趾板、墙踵板及扶肋(扶壁)组成,如图 2-1-6-32 所示。当墙身较高时,在悬臂式挡土墙的基础上,沿墙长方向,每隔一定距离加设扶肋。扶肋把立壁同墙踵板连接起来,扶肋起加劲的作用,以改善立壁和墙踵板的受力条件,提高结构的刚度和整体性,减小立壁的变形。扶壁式挡土墙宜整体灌注,也可采用拼装,但拼装式扶壁挡土墙不宜在地质不良地段和地震烈度大于等于 8 度的地区使用。

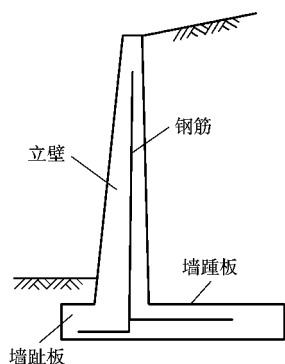


图 2-1-6-31 悬臂式挡土墙

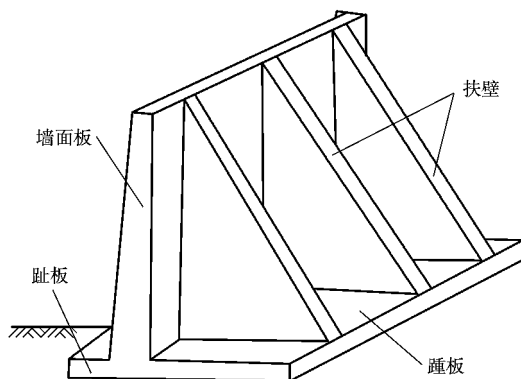


图 2-1-6-32 扶壁式挡土墙

悬臂式和扶壁式挡土墙的结构稳定性不是依靠本身的重量,而主要依靠踵板上的填土重量来保证,而且墙趾板也显著地增大了抗倾覆稳定性,并大大减小了基底应力。它们的主要特点是构造简单、施工方便,墙身断面较小,自身重量轻,可以较好地发挥材料的强度性能,能适应承载力较低的地基。但是需耗用一定数量的钢材和水泥,特别是墙高较大时,钢材用量急剧增加,影响其经济性能。一般情况下,墙高6m以内采用悬臂式,6m以上则采用扶壁式。它们适合于缺乏石料及地震地区。由于墙踵板的施工条件,一般用于填方路段作路肩墙或路堤墙使用。

1. 悬臂式挡土墙

为便于施工,悬臂式挡土墙(图2-1-6-33)的立壁内侧(即墙背)宜做成竖直面,外侧(即墙面)坡度宜陡于1:0.1,一般为1:0.02~1:0.05,具体坡度值应根据立壁的强度和刚度要求确定,当挡土墙高度不大时,立壁可做成等厚度。墙顶宽度不得小于0.2m;当墙较高时,宜在立壁下部将截面加宽。其分段长度不应大于15m,段间应设置沉降缝和伸缩缝。

墙底板一般水平设置,底面水平。墙趾板的顶面一般从与立壁连接处的向趾端倾斜。墙踵板顶面水平,但也可做成向踵端倾斜。趾板和踵板端部厚度不应小于30cm。

墙踵板宽度由全墙抗滑稳定性确定,并具有一定的刚度,其值宜为墙高的 $1/4 \sim 1/2$,且不应小于0.5m。墙趾板的宽度应根据全墙的抗倾覆稳定、基底应力(即地基承载力)和偏心距等条件来确定,一般可取墙高的 $1/20 \sim 1/5$ 。墙底板的总宽度B一般为墙高的0.5~0.7倍。当墙后地下水位较高,且地基为承载力很小的软弱地基时,B值可增大到1倍墙高或者更大。

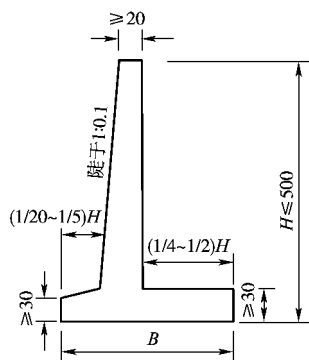


图 2-1-6-33 悬臂式挡土墙构造
(尺寸单位: cm)

悬臂式挡土墙的混凝土强度等级不得低于C20,钢筋可选用I~IV级或5号钢筋,受力钢筋的直径不应小于12mm。钢筋混凝土的保护层厚度 α ,在立壁的外侧 $\alpha > 30\text{mm}$ 、内侧 $\alpha > 50\text{mm}$,墙底板 $\alpha > 75\text{mm}$ 。

各截面所需的钢筋面积通过计算确定,钢筋的最小直径和最大间距、保护层的净距等,均按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》处理。

2. 扶壁式挡土墙

扶壁式挡土墙(图2-1-6-32)其墙身断面的比例,与悬臂式相仿。扶壁式挡土墙墙高不宜超过15m,一般在9~10m,分段长度不应大于20m。扶壁间距应根据经济性要求确定,扶壁的间距通常在墙高的 $1/3 \sim 1/2$ 范围内变动,每段中宜设置3个或3个以上的扶壁,扶壁的厚度约为扶壁间净距的 $1/8 \sim 1/6$,但不小于30cm。采用随高度逐渐向后加厚的变截面,也可采用等厚式以利于施工。

墙面板宽度和墙底板厚度与扶壁间距成正比,墙面板顶宽不得小于0.2m,可采用等厚的垂直面板。墙踵板宽一般为墙高的 $1/4 \sim 1/2$,且不小于0.5m。墙趾板宽宜为墙高的 $1/20 \sim 1/5$,墙底板板端厚度不小于0.3m。

扶壁式挡土墙有关构造要求如图2-1-6-34所示,其余要求同悬臂式挡土墙。

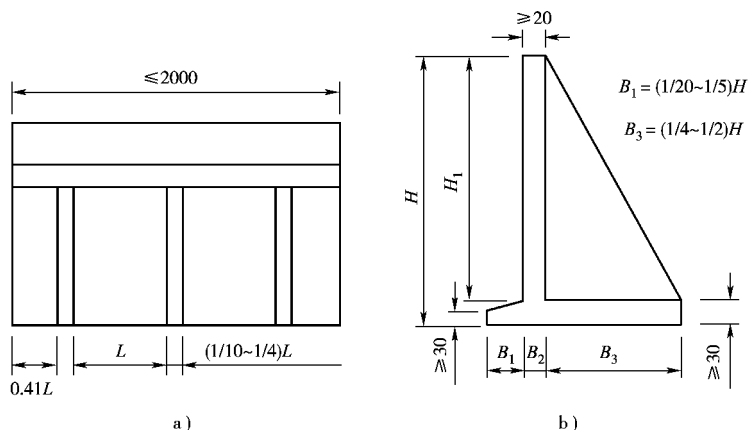


图 2-1-6-34 扶壁式挡土墙构造(尺寸单位: cm)

a)平面图 b)横断面图

本章小结

- (1)介绍了挡土墙的分类与用途；
- (2)对重力式挡土墙的构造与布置进行了详细地描述；
- (3)重点是讲解重力式挡土墙有关的力学计算及验算,如库仑主动土压力的计算、墙后车辆荷载的换算、抗滑移稳定性验算、抗倾覆稳定性验算、基底应力及偏心距验算、墙身断面强度计算等,并用实例进一步说明；
- (4)对其他常用挡土墙的构造和特点作了了解性的介绍。

思考题与习题

1. 按照挡土墙设置的位置,挡土墙分为哪几类?挡土墙有哪些用途?
2. 重力式挡土墙的基本组成部分有哪些?各有什么要求?
3. 挡土墙稳定性验算的内容有哪些?
4. 挡土墙与护面墙有何区别?
5. 用于挡土墙土压力计算的库仑理论有哪些主要假定?
6. 什么叫静止土压力、主动土压力、被动土压力?三者的大小关系是什么?
7. 挡土墙的计算长度确定方法有哪几种?选用哪个长度?
8. 挡土墙抗滑稳定性不满足要求时,应采用哪些措施?
9. 当挡土墙的抗倾覆稳定系数 $K < 1.5$ 时,可采用哪些改进措施?什么措施较为有效?
10. 简述各种常用挡土墙的构造与特点。
11. 土中加筋可起什么作用?怎样才能使拉筋发挥最大效用?
12. 如图 2-1-6-12 所示的路堤, $H = 6\text{m}$, $a = 3\text{m}$, $d = 0.5\text{m}$, $\alpha = -14^\circ 02'$, $b = 4.5\text{m}$, $\varphi = 35^\circ$,

$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\delta = \frac{1}{2}\varphi$ 分段长度为 10m 荷载为汽车—20 级。求汽车荷载的等代土层厚度 h_0 。

13. 如图 2-1-6-35 所示, 已知某路肩墙高 $H = 7.0 \text{ m}$, 顶宽 $B = 1.2 \text{ m}$, 墙面与墙背平行, 基底水平, 经计算土压力为 $E_x = 64.29 \text{ kN}$, $E_y = 6.8 \text{ kN}$, $Z_x = 2.51 \text{ m}$, $Z_y = 1.74 \text{ m}$, 基底摩擦系数 $f = 0.43$, 墙身容重 $\gamma_k = 23.5 \text{ kN}$, 墙身自重重心距离墙趾水平距离 $Z_w = 1.47 \text{ m}$, 滑动稳定系数 $[K_c] = 1.3$, 倾覆稳定系数 $[K_0] = 1.5$ 。试进行滑动稳定性验算和倾覆稳定性验算。

14. 已知重力式石砌挡土墙, 如图 2-1-6-36 所示, 砌体容重 $\gamma_k = 20 \text{ kN/m}^3$, 基底与地基摩擦系数 $f = 0.4$, 土压力 $E_y = 45 \text{ kN}$, $E_x = 5 \text{ kN}$, 容许滑动稳定系数 $[K_c] = 1.3$, 容许倾覆稳定系数 $[K_0] = 1.5$, 试验算该挡土墙的抗滑及抗倾覆稳定性。

15. 某路段在土质地基上设置仰斜式路肩挡土墙, 如图 2-1-6-37 所示, 已知 $W = 158.4 \text{ kN}$, $Z_w = 1.35 \text{ m}$, $E_x = 62.56 \text{ kN}$, $E_y = 9.34 \text{ kN}$, $Z_x = 2.17 \text{ m}$, $Z_y = 1.74 \text{ m}$, 基底容许承载力 $[\sigma] = 196 \text{ kN/m}^2$ (196kPa), 试验算基底偏心距及基底应力。

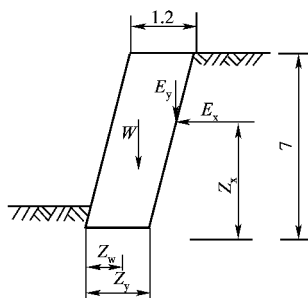


图 2-1-6-35 (尺寸单位 m)

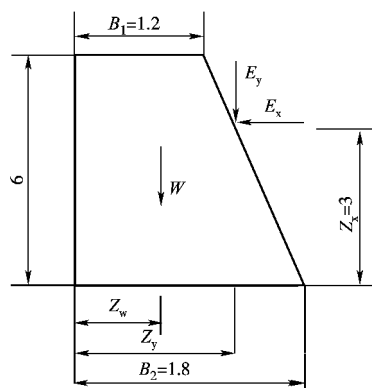


图 2-1-6-36 (尺寸单位 m)

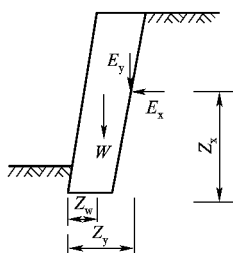


图 2-1-6-37

第一章

绪论

教学要求

1. 描述路基施工的特点与基本方法；
2. 进行路基施工的准备工作及施工放样。

• 第一节 路基施工的特点与基本方法 •

一、路基施工的特点

路基是支承路面的土工构筑物。在挖方地段,路基是开挖天然地层形成的路堑;在填方地段,则是用压实的土石填筑而成的路堤。由于路基在使用过程中要承受由路面传递而来的行车荷载作用并抵御各种环境因素的影响,因此要求路基必须具有足够的强度、良好的水温稳定性和耐久性。所谓路基施工,就是以设计文件和施工技术规范为依据,以工程质量为中心,有组织、有计划地将设计图纸转化为工程实体的建筑活动。

路基施工的特点突出表现在对工程质量的高标准要求方面。强度高、稳定性和耐久性良好的路基将成为路面结构的良好支承体系,有利于提高路面整体强度和使用性能,延长路面使用寿命,同时,还可以降低路面工程造价和公路养护维修费用。反之,若路基工程质量低劣,将给路面和路基自身留下许多隐患,路面的使用品质和使用寿命会因此而降低,严重的路基或路面破坏甚至会中断交通,造成重大经济损失。尤其严重的是:若路基自身存在问题将后患无穷,难以根治,这会大大增加公路建成后的养护维修费用。由此可见,必须重视路基施工,切实保证路基工程质量,为提高公路建设的经济效益和社会效益提供切实的保障。

路基施工还在于工程质量受到多种因素的不利影响。虽然路基施工主要是开挖、运输、填筑、压实等比较简单的工序,但由于路基施工存在着条件变化大、工程数量大、施工难度大、施工方法多样等特点,对于保证路基工程质量有相当的难度。特别是地质不良的特殊路段及隐蔽工程较多的路基,在施工时常会遇到复杂的技术问题和各种突发性事故需要处理,可以说路基施工技术是简单中蕴含着复杂。在与人工构造物的关系方面,路基自身的施工即与排水、防护及加固等工程的施工相互制约,有时又与桥梁、隧道、路面等分项工程的施工相互交叉、相互影响;在其他如气候、交通条件等方面,由于公路施工为野外作业,工程质量受气候条件影响很大,雨季时土质路基往往无法施工;交通运输不便,会使物资、

设备和施工队伍调遣困难。所有这些因素的影响都必须加以克服,才能保证路基工程的质量。

二、施工方法

路基一般为土石方工程,施工方法有人工施工、简易机械施工、机械化施工及爆破等。施工时应根据工程性质、岩土类别、工程量、施工期限、施工条件等选择一种或几种。

人工施工是传统的施工方法,施工时主要是工人用手工工具进行作业。这种方法劳动强度大、工效低、进度慢,且工程质量难以得到保证,已不适应现代公路工程施工的要求,只能作为其他施工方法的辅助和补充。

简易机械施工是在人工施工的基础上,对施工过程中劳动强度大和技术要求相对较高的工序用机具或简易机械完成,以利加快工程进度、提高施工效率和工程质量。但这种施工方法工效有限,只能用于工程量较小、工期要求不严的路基或构造物施工,特别不适宜高速公路和一级公路路基的大规模施工。

机械化施工是通过合理选用施工机械,将各种机械科学地组织,优质、高效地进行路基施工的方法。若选用专业机械按路基施工要求对施工的各工序进行既分工又联合的作业,则为综合机械化施工。实现机械化施工是我国路基施工的发展方向,特别是对于工程量大、技术要求高、工期紧的高速公路和一级公路路基工程,必须采用机械化施工。组织机械化施工时,应使机械合理配套、科学组织,最大限度地发挥各种机械的效能。

爆破法施工是利用炸药爆破的巨大能量炸松土石或将其移到预定位置。这种施工方法主要用于石质路堑的开挖,特殊情况下也用于土质路堑开挖或清除淤泥。在施工时若采用机械钻孔、机械清运,也属于机械化施工。

• 第二节 施工准备 •

路基施工需要消耗大量的人工、物资、机械和时间等资源,是一项历时时间长、技术要求高的工作。路基施工前,必须根据工程的实际情况做好组织准备、物质准备和技术准备工作,使各项施工活动能正常进行。在施工过程中,所有的施工活动都必须严格按有关施工规范进行,以确保工程质量,最后得到质量优良的路基实体。

一、组织准备

开工前的组织准备工作主要是建立健全工程管理机构 and 施工队伍,明确各自的施工任务,制定施工过程中必要的规章制度,确定工程应达到的目标等。组织准备是其他准备工作的开始。

二、物资准备

路基施工要消耗大量的人工、材料和机具,因此开工前应进行所需材料的购进、采集、加工、调运和储备等工作。同时要检修或购置施工机械,做好施工人员的生活、后勤保障准备,正

所谓“兵马未动,粮草先行”。劳动力、机械设备和材料的准备工作是路基施工组织计划的重要组成部分。

三、技术准备

路基施工前的技术准备包括制定施工组织计划、施工测量、施工前的复查与试验及清理施工现场等工作。对于高速公路和一级公路或采用新技术、新工艺及新材料的其他等级公路,除做好上述准备工作外,还应大规模施工前铺筑试验路,为正式施工提供技术指导。

1. 制定施工组织计划

制定路基施工的实施性施工组织计划,是路基施工前非常重要的技术准备工作,施工单位应根据设计文件、工程实际条件、工程量、施工难易程度以及设备、人员、材料供应情况和工期要求等认真编制。所编制的施工组织计划应针对工程实际,科学合理、易于操作,有利于保证工程质量和工程进度,使路基施工能连续、均衡地进行。在编制过程中,施工单位应对设计文件 and 设计交底全面熟悉、认真研究,组织有关人员进行现场核对和施工调查,若有必要,应按有关程序提出修改设计意见并报请变更设计。

2. 施工测量

开工前应做好施工测量工作,内容包括导线、中线、水准点复测,检查与补测横断面,校对和增加水准点等。

开工前应全面恢复路中线并固定路线的交点、平曲线主点等主要控制桩,高速公路和一级公路应采用坐标法恢复主要控制桩。若设计文件中公路路线主要由导线控制,施工测量时必须做好导线的复测工作以准确控制路线的平面位置。为满足施工要求,复测路中线时应对指标桩进行必要的加密和加固。若发现路中线与相邻施工段或结构中轴线不闭合,应及时查明原因并上报有关部门。若原设计路线长度丈量有错误或局部改线时,应作断链处理并相应调整纵坡。

路基施工时,若使用设计单位设置的水准点,应进行校核并与国家水准点闭合;产生的闭合差应按有关规定处理,闭合差超出允许误差应查明原因并报告有关部门。为方便施工可增加水准点,但应可靠固定。

施工前应对路基纵横断面进行检查核对,并适当补测。根据已经恢复的路中线,按设计文件、施工规定和技术要求等标出路基用地界桩、路堤坡脚、路堑坡顶、边沟及路基附属设施的具体位置。为方便施工,还应在距路中线一定安全距离处设置控制桩,间距不宜大于 50m,桩上标明桩号及路中心填挖高度。在路基施工过程中应采取有效措施保护所有测量标志,以免增加测量工作量,减少出现错误的可能。

3. 施工前的复查与试验

路基施工前,施工技术人员应对路基施工范围内的地质、地形、水文情况进行详细调查。根据设计文件提供的资料,对取自挖方、借土场、料场的路堤填料进行复查和取样试验外,还应进行环境保护分析并提出报告,经批准后方可使用。

4. 清理施工现场

路基施工前应先办好有关土地的征用、占用手续,依法使用土地。路基范围内的既有建筑

物、道路、沟渠、通信及电力设施等,施工单位应协同有关部门事先拆除或迁建。对路基附近的危险建筑物应进行适当加固,对文物古迹应妥善保管。

5. 铺筑试验路

高速公路和一级公路、特殊地区公路或采用新技术、新工艺、新材料的路基,在正式施工前,应采用不同的施工方案和施工方法,铺筑试验路并进行相关试验分析,从中选出最佳施工方案和施工方法以指导大面积路基施工。所铺筑的试验路应具有代表性,施工机械和工艺过程要与以后全面施工时相同。通过试验路铺筑可确定不同压实各种填料的最佳含水量、适宜的松铺厚度、相应的碾压遍数、最佳机械配置和施工组织方法等。

四、施工注意事项

(1)严格按照设计文件和施工规范进行路基施工,以试验及测试结果作为检查、评定路基施工质量是否符合要求的主要依据。

(2)加强排水,确保路基施工质量。施工排水有利于控制土的含水量,便于施工作业。路基施工前应先修筑截水沟、排水沟等排水设施。雨季施工时要加强工地临时排水,各施工作业面应及时整平、压实、封闭。填方地段路基应根据土质情况和气候条件做成 $2\% \sim 4\%$ 的排水横坡,挖方工作面应根据路堑纵横断面情况,采取有效措施把积水排除。当地下水位较高或有地下水渗流时,应根据地下水的位置和流量设置渗沟等适宜的地下排水设施。

(3)合理取土、弃土。施工时取土与弃土应从方便路基施工、节约用地、保护耕地和农田水利设施等角度考虑,并注意取土、弃土后的排水畅通,避免对路基造成不利影响。

(4)注意保护生态环境。建成后的公路应有美好的路容和景观。路基施工时应尽量减少对自然植被及地形地貌的破坏,以免造成水土流失,不能避免时应适当进行绿地恢复。施工时清除的杂物应区别情况,予以妥善处理,不得倾倒入河流及水域中。

(5)因地制宜,合理利用当地材料和工业废料修筑路基,有效降低工程造价。

(6)安全施工。必须贯彻安全生产的方针,制定施工安全措施,加强安全教育和检查,严格执行安全操作规程,避免造成人员伤亡和财产损失。

• 第三节 施工放样 •

一、放样工作内容

路基开工前,应根据路基横断面设计图或路基设计表进行放样。路基放样的目的是在原地面上标定路基的轮廓,作为施工的依据。

放样工作内容:

(1)在地面中线桩处标定填挖高度。

(2)按设计图纸定出横断面的各主要点,如路堤的边缘和坡脚、路堑的坡顶、半填半挖断面的坡脚和坡顶。

(3)边坡放样,按设计的路基边坡率放出边坡的位置桩。

(4)移桩移点,遇有在施工中难以保存的桩志,应沿横断面方向将桩点移设于施工范围以外。

二、放样需要的工具

对于低等级公路,在路基放样时,需要准备好如下工具:方向架、花杆、皮尺、红油漆、毛笔、小竹桩、铁锤、小竹竿、小麻绳等。

对于高等级公路,在路基放样时,需要准备好如下工具及仪器:全站仪(或测距仪)、棱镜及棱镜杆、钢尺、红油漆、毛笔、木桩等。

三、放样的方法

1. 低等级公路的放样方法

1) 图解法

在有路基横断面设计时,可根据设计图中所示的尺寸,直接在地面上沿横断面方向量出路肩、坡脚、排水沟等各特征点距中桩的距离,定出路肩桩、坡脚桩或坡顶桩。

2) 计算法

在现场没有横断面设计图,只有中心桩填挖高度时,就必须用计算法算出路肩、坡脚或坡顶的位置,然后再用皮尺量出。

以上两种方法在丈量距离时尺子一定要保持水平。每个横断面都必须放出路基宽度(路堑加边沟宽度)的边桩后,再分别放出两侧的路堤坡脚桩和路堑的坡顶桩,然后再将各个桩号的坡脚和坡顶用石灰线连接起来就是路基填挖边界线(或在填方坡脚桩外挖 1m 宽的水沟作田、路分界线)。

2. 高等级公路的放样方法

高等级公路,特别对于高填深挖路段,在进行坡脚桩和坡顶桩放样,在边坡的放样时应使用全站仪,采用坐标法或极坐标法放样,以保证放样的准确性。

四、边桩的放样

1. 平地上放路基边桩

路堤坡脚至中桩的距离:

$$L = \frac{b}{2} + mH \quad (2-2-1-1)$$

路堑坡顶至中桩的距离:

$$L = \frac{b_1}{2} + mH \quad (2-2-1-2)$$

式中 b ——路基设计宽度 m ;

b_1 ——路基加两侧边沟宽度之和 m ;

m ——边坡设计坡率;

H ——路基中心设计填挖高度 m 。

2. 斜坡地上放路基边桩

如图 2-2-1-1 所示,当地面横向倾斜较大时,计算时应考虑横向坡度的影响。

路堤坡脚至中桩的距离:

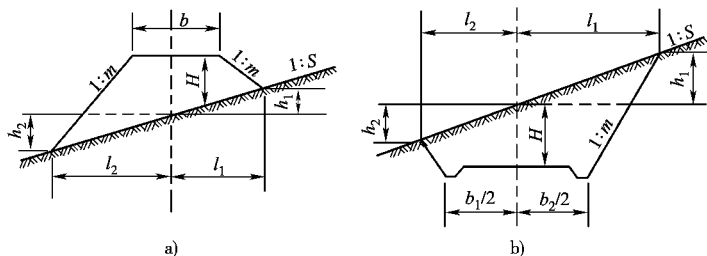


图 2-2-1-1 斜坡地上放样边桩

a)路堤 b)路堑

上侧坡脚
$$L_1 = \frac{b}{2} + m(H - h_1) \quad (2-2-1-3)$$

下侧坡脚
$$L_2 = \frac{b}{2} + m(H - h_2) \quad (2-2-1-4)$$

路堑坡顶至中桩的距离：

上侧坡顶
$$L_1 = \frac{b_1}{2} + m(H - h_1) \quad (2-2-1-5)$$

下侧坡顶
$$L_2 = \frac{b_1}{2} + m(H - h_2) \quad (2-2-1-6)$$

式中 h_1 ——上侧坡脚(坡顶)与中桩的高差 m ；

h_2 ——下侧坡脚(坡顶)与中桩的高差 m 。

应当指出,上列各式中的 h_1 及 h_2 都是未知数,因此还不能计算出路基边桩至中桩的距离,所以必须先量出路基设计宽度($b/2$ 或 $b_1/2$)再用水平尺量出 $b/2$ 或 $b_1/2$ 处至中桩的高差,就可得到 $b/2$ 或 $b_1/2$ 处的填或挖的高度(h_1 或 h_2),再乘以坡度率(m)就可得到 $b/2$ 或 $b_1/2$ 处的坡脚或坡顶的距离。若仍有高差,则用同样的方法反复进行多次,就可得到坡脚桩或坡顶桩的正确位置,如图 2-2-1-2、图 2-2-1-3 所示。

即
$$L_2 = (H + h_2)m + h_3m + h_4m + \dots$$

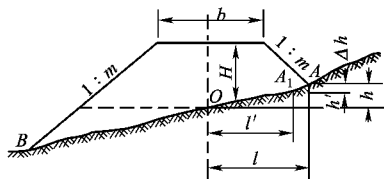


图 2-2-1-2 用渐进法放路堤坡脚

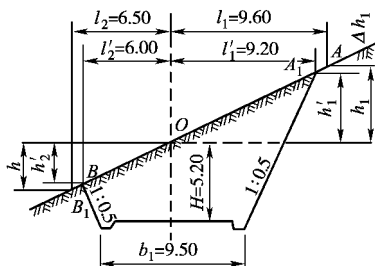


图 2-2-1-3 用渐进法放样路堑坡顶(尺寸单位 m)

3. 在弯道上的路基放样

要根据设计要求,详细了解弯道上的超高值和加宽值,确定路基边桩(左或右)的标高和至中心桩的距离,要注意弯道加宽是在弯道的内侧。加宽是从缓和曲线的起点开始的,是变

数,直到圆曲线的起点至终点才是等宽的,圆曲线的终点至缓和曲线的终点亦是变数。缓和曲线两端和距离是相等的。

五、边坡放样

1. 用小麻绳和小竹竿

当路堤高度不大时,可按图 2-2-1-4a)所示放样。当路堤填土较高时,可分层挂线,在每次挂线前,应当穿中线并用水准仪抄平,如图 2-2-1-4b)所示。

2. 用坡度样板放边坡

首先按照边坡坡度做好边坡样板。样板的式样有活动边坡样,如图 2-2-1-5a)所示,固定边坡样板用于路堑开挖,在坡顶外侧钉立固定边超级样板,施工时可瞄准样板进行开挖,如图 2-2-1-5b)所示。

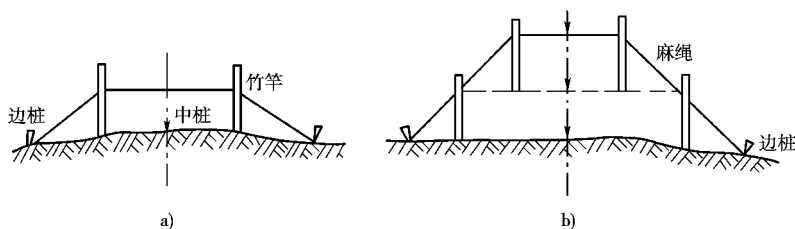


图 2-2-1-4 用挂线法放边坡

a)一次挂线 b)分层挂线

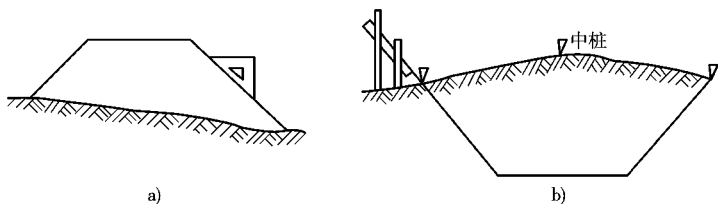


图 2-2-1-5 边坡样板放边坡

a)活动样板 b)固定样板

本章小结

(1)施工准备是工程顺利实施的基础和保证。施工准备工作的好坏,直接影响到工程的进度、质量和施工方的经济效益,因此必须高度重视,认真对待。施工准备工作的内容主要包括熟悉设计文件、制定施工组织设计、施工现场准备等。

(2)路基施工方法有人工施工、简易机械施工、机械化施工及爆破等。

(3)施工放样的内容包括:在地面中线桩处标定填挖高度、按设计图纸定出横断面的各主要点、边坡放样、移桩移点等。低等级公路放样的方法:图解法、计算法;对于高等级公路为了保证放样的准确性,特别对于高填深挖路段,在进行坡脚桩和坡顶桩放样,在边坡的放样时应使用全站仪,采用坐标法或极坐标法放样。

思考题与习题

1. 施工准备工作包括哪些内容？
2. 施工前熟悉设计文件有什么作用？
3. 制定施工组织设计包括哪些内容？
4. 施工现场有哪些准备工作？

第二章

土质路基施工

教学要求

- 1. 描述路基填筑施工的工艺流程 ,路基填筑施工的主要工序及 4 种填筑方式 ;
- 2. 描述土质路堑的 3 种开挖方法分析影响路基压实效果的因素 ;
- 3. 描述常用的各种压实机具 ,会合理压实机具 ,叙述碾压的操作要领 ;
- 4 解释压实度的概念 ,进行压实度的控制与检测。

• 第一节 路 基 填 筑 •

一、路基填筑施工的工艺流程图

路基填筑施工的工艺流程见图 2-2-2-1。

二、路基填筑施工的主要工序

路基填筑施工的主要工序有料场选择、基底处理、填筑和碾压。现分述如下：

1. 料场选择

填筑路堤的材料(以下简称填料)以采用强度高 ,水稳定性好 ,压缩变形小 ,便于施工压实以及运距短的土、石为宜。在选择填料时 ,一方面要考虑料源和经济性 ,另一方面要顾及填料的性质是否合适。

为了节约投资和少占耕地良田 ,一般应利用附近路堑或附属工程(如排水沟等)的弃方作为填料 ,或者将取土坑布置在荒地、空地或劣地上。

2. 基底处理

路堤基底的处理是保证路堤稳定与坚固极为重要的措施。在路堤填筑前进行基底处理 ,能使填土与原来的表土密切结合 ,能使初期填土作业顺利进行 ,能使地基保持稳定 ,增加承载能力 ;能防止因草皮、树根腐烂而引起的路堤沉陷。对于一般的路堤基底处理 ,应按下列规定执行：

(1)基底土密实、且地面横坡不陡于 1: 10 时 ,经碾压符

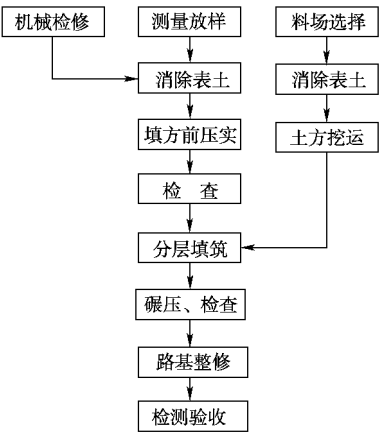


图 2-2-2-1 路基填筑施工的工艺流程图

合要求后,可直接在地面上修筑路堤(但在不填不挖或路堤高度小于1m的地段,应清除草皮、树根等杂物)。在稳定的斜坡上,横坡为1:10~1:5时,基底应清除草皮。横坡陡于1:5时,原地面应挖成台阶,台阶宽度不小于1m,高度不小于0.5m(图2-2-2-2)。若地面横坡超过1:2.5时,外坡角应进行特殊处理,如修筑护墙和护脚等。

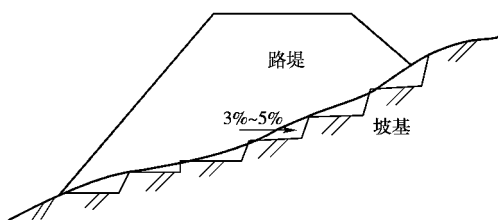


图 2-2-2-2 横坡较大时的台阶形基底

(2)当路基受到地下水影响时,应设置地下排水设施予以拦截或排除,引地下水至路堤基础之外,再进行填方压实。

(3)路堤基底为耕地土或松土时,应先清除种植有机土,平整后按规定要求压实。在深耕地段,必要时应将松土翻挖,土块打碎,然后回填、整平、压实。经过水田、池塘或洼地时,应根据具体情况采取排水疏干、挖除淤泥、打砂桩、抛填片石、砂砾石或石灰(水泥)处理土等措施,以保持基底的稳固。

(4)路堤修筑范围内,原地面的坑、洞、墓穴等应用原地的土或砂性土回填,并按规定进行压实。

3. 填筑

路堤填筑必须考虑不同的土质,从原地面逐层填起并分层压实,每层厚度随压实方法而定,一般压实厚度为20~25cm。

1) 填筑方式

(1)水平分层填筑:填筑时按照横断面全宽分成水平层次,逐层向上填筑。如原地面凹凸不平,应由最低处分层填起,每填一层,经压实合格后再填上一层。此法施工操作方便、安全、压实质量容易保证,是最常用的一种填筑方式。

(2)纵向分层填筑:依纵坡方向分层、逐层推土填筑。原地面纵坡小于 20° 的地段可用此法施工。适用于推土机或铲运机从路堑取土填筑较短的路堤,如图2-2-2-3所示。

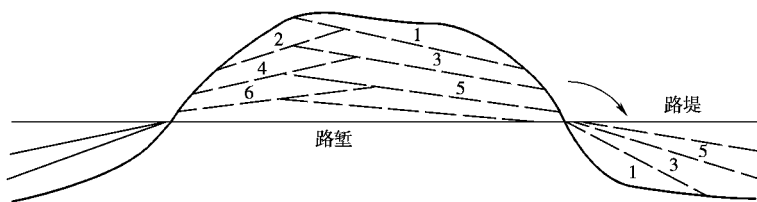


图 2-2-2-3 纵向分层填筑法

(3)横向填筑:从路基一端按各横断面的全部高度,逐步推进填筑。适用于无法自下而上,分层填土的陡坡、断岩或泥沼地区,如图2-2-2-4所示。此法不易压实,且还有沉陷不均匀的缺点。为此,应采用必要的技术措施,如选用高效能的压实机械(振动压路机)碾压;采用沉陷量较小的砂性土或废石方作填料等。

(4)混合填筑:当高等级公路路线穿过深谷陡坡,尤其是要求上部的压实度标准较高时,施工时下层采用横向填筑,上层采用水平分层填筑,此种方法称为混合填筑法,如图2-2-2-5所示。

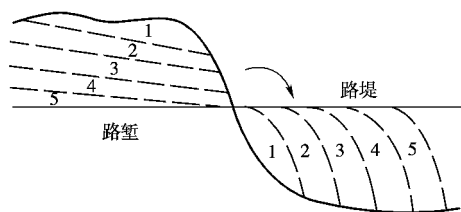


图 2-2-2-4 横向填筑法

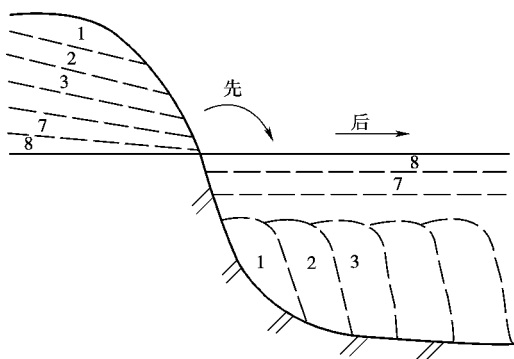


图 2-2-2-5 混合填筑法

2) 沿横断面一侧填筑的方法

旧路拓宽改造需要加宽路堤时,所用填土应与原路堤用土尽量接近或为透水性好的土,并将原边坡挖成向内倾斜的台阶,分层填筑,碾压到规定的密实度。严禁将薄层新填土贴在原边坡的表面。

高速公路和一级公路处于横坡陡峻地段的半填半挖路基,必须沿山坡填方坡脚向里连续挖成向内倾斜的台阶,台阶宽度不应小于1m。其中沿横断面挖方的一侧,在行车范围内的即将填筑宽度不足一个行车道宽度时,应挖够一个行车道宽度,其上路床深度范围内的原地面土应予以挖除换填,并按上路床填方的要求施工。

3) 不同土质混填时的方法

对于不同性质的土混合填筑时,应视土的透水能力的大小,进行分类分层填筑压实,并采取有利于排水和路基稳定的方式。填筑时一般应遵循以下原则:

(1)以透水性较小的土填筑路堤下层时,其顶面应做成4%的双向横坡。如用以填筑上层时,除干旱地区外,不应覆盖在透水性较大的土所填的下层边坡上。

(2)不同性质的土应分别填筑,不得混填。每种填料累计总厚度不宜小于0.5m。

(3)凡不因潮湿及冻融而改变其体积的优良土应填在上层,强度(或形变模量)较小的土应填在下层。

不同土质填筑路堤的正确与错误填筑方式如图 2-2-2-6 和图 2-2-2-7 所示。

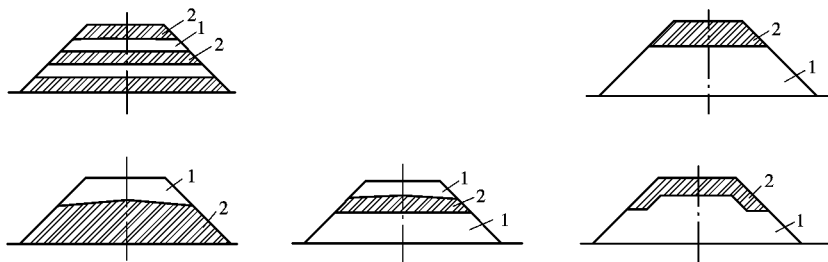


图 2-2-2-6 路堤内不同土质的填筑方式(正确方式)

1-透水性较大的土质 2-透水性较小的土质

(4)填石路堤的填筑方法 填石路堤的填筑,其基底处理同填土路堤。石料的强度应不小于15MPa(用于护坡的不小于20MPa)。石料的最大粒径不宜超过层厚的2/3。每层的松铺厚

度:高速公路不宜大于 0.5m,其他公路不宜大于 1.0m。

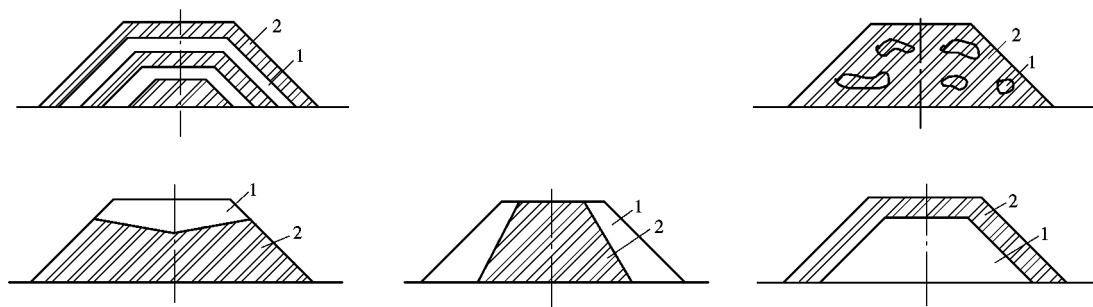


图 2-2-2-7 路堤内不同土质的填筑方式(错误方式)

1-透水性较大的土质 2-透水性较小的土质

高等级公路和铺设高级路面的其他等级公路的填石路堤均应分层填筑,分层压实。铺设低级路面的一般公路在陡峻山坡段施工特别困难或大量爆破以挖作填时,可采用倾填方式将石料填筑于路堤下部。倾填时,路堤边坡坡脚应用直径大于 30cm 的硬质石料码砌。码砌的厚度:填石路堤高度小于或等于 6m 时,应不小于 1m;大于 6m 时,应不小于 2m 或按设计规定施工。倾填只能在路基下部进行,而在路床底面下不小于 1.0m 的范围内,仍应分层填筑压实。

高等级公路填石路堤路床顶面以下 50cm 范围内应填筑符合路床要求的土并分层压实,填料最大粒径不得大于 10cm。其他公路路床顶面以下 30cm 范围内应填筑符合路床要求的土并压实,填料最大粒径不应大于 15cm。

(5)土石路堤的混填方法:土石路堤的填筑,其基底处理同填土路堤。土石混合料中石料强度大于 20MPa 时,石块最大尺寸不得超过压实层厚的 $2/3$,否则应予剔除。当石料强度小于 15MPa 时,石块最大尺寸不得超过压实层厚,超过的应打碎。

土石路堤必须分层填筑,分层压实。每层铺砌厚度应根据压实机械的类型和规格确定,但不宜超过 40cm。

混合料中石料的含量大小将影响压实效果。因此,当石料含量大于 70% 时,应先铺大块石料,且大面向下安放平稳,然后铺小块石料、石屑等嵌缝找平,再碾压密实。当石料含量小于 70% 时,土石可混合铺填,但应消除硬质石块集中的现象。

土石混合料填筑高等级公路时,其路床顶面以下 30~50cm 范围内仍应填筑符合路床要求的土并分层压实,填料最大粒径不大于 10cm;其他公路在路床顶面以下填筑 30cm 的砂类土,最大粒径不大于 15cm。

4. 碾压

碾压是路基填筑工程的一个关键工序,有效地压实路基填筑土,才能保证路基工程的施工质量。有关路基压实,将在第三节作专门叙述。

• 第二节 路堑开挖 •

土质路堑施工就是按设计要求进行挖掘,并将挖掘的土方沿路线纵向运到路堤需土地段

作为填料,或者运往弃土堆处。路堑由天然地层构成,开挖后由于受到扰动和地面水及地下水集中影响,边坡和开挖后的基底易发生变形和破坏,在路堑挖方地段常发生路基的一些病害,如滑坡、崩塌、路基翻浆等。因此,施工方法与路堑的边坡及基底的稳定有着密切关系。开挖方式应根据路堑的深度、纵向长度和地形、土质、土方调配情况以及机械设备条件等因素而确定,起到保证工程质量、加快施工进度、提高工作效率的目的。

土质路堑可根据路堑深度、纵向长度及所处的地形选择不同的开挖方式。目前常用的开挖方法可分为全断面横挖法、纵挖法及混合开挖法3种。

1. 全断面横挖法

对路堑整个横断面的宽度和深度从一端或两端逐渐向前开挖的方法称为全断面法。此方法适用于较短的路堑。如图2-2-2-8a)所示的为一层全断面横挖法,其适用于开挖深度小的路堑。图2-2-2-8b)所示的为多层全断面横挖法,适用于开挖深且土方量大的路堑。施工时各层纵向前后拉开,多层出土,可安排较多的劳动力和机械,以加快施工进度。每层挖掘台阶深度:人工施工时,一般1.5~2.0m;机械施工时,可大到3~4m。同时各层要有独立的临时排水沟。

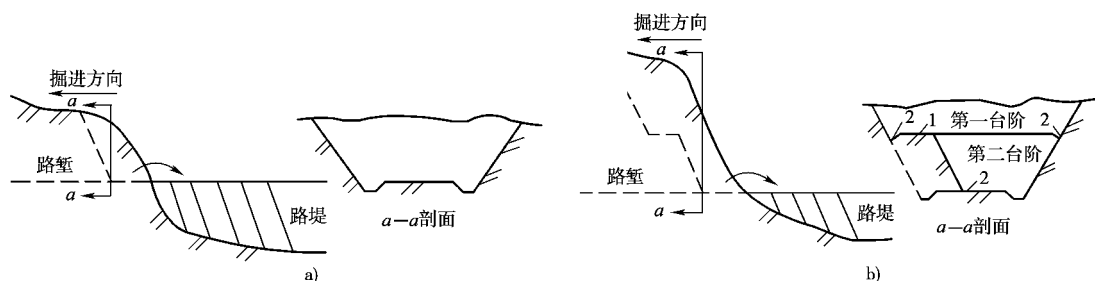


图 2-2-2-8 全断面横挖法

a)一层全断面横挖法 b)多层全断面横挖法

1-第一台阶纵向运土道 2-临时排水沟

2. 纵挖法

此方法适用于较长的路堑,如图2-2-2-9所示。纵挖法可分为分层纵挖法和分段纵挖法两种方法:前者适用于施工机械能够到达路线上方的堑顶,并在堑顶能够展开推土施工;后者适用于施工机械无法到达堑顶,但通过先修临时施工便道,能够到达与路线设计标高基本一致,并且离路线一侧不远的(即向路线打横向通道增加挖方量不大)若干处,便于水平作业施工。

1) 分层纵挖法(图2-2-2-9a)

施工机械到达路线上方的堑顶后,沿路堑全宽以深度不大的纵向分层挖掘前进的作业方法称为分层纵挖法。当路堑长度不超过100m,开挖深度不大于3m,地面横坡度较陡时,宜采用推土机作业;当地面横坡度较缓时,表面宜横向铲土,下层的土宜纵向推运。当路堑横向宽度较大时,宜采用两台或多台推土机横向向联合作业。当路堑前傍陡峻山坡时,宜采用斜铲推土。

2) 分段纵挖法(图2-2-2-9b)

沿路堑纵向选择若干处,在山体较薄一侧横向朝着路线先挖穿(俗称打“马口”),提供通道便于横向出土,这样将路堑沿纵向分成若干段,待机械到达路线位置时,各段再纵向开挖,此

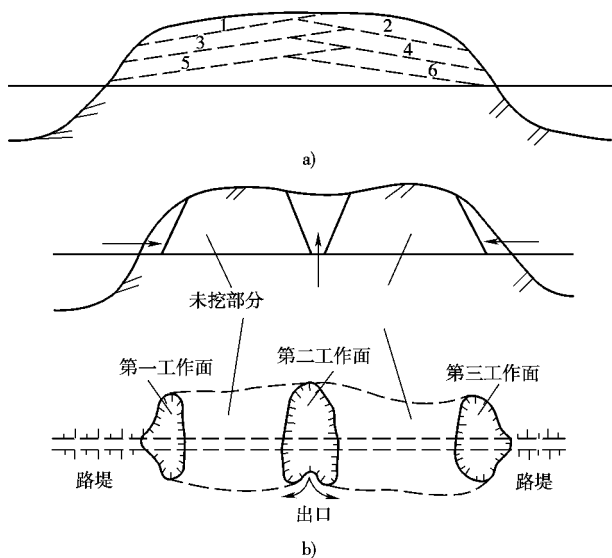


图 2-2-2-9 纵挖法

a) 分层纵挖法 b) 分段纵挖法

种作业方法称为分段纵挖法。此法适用于路堑过长、纵向弃土运距过远的傍山路堑。这种方法由于增加了许多工作面,使得施工进度大大加快。具体方案选择时,应把山体一侧堑壁不厚的横向出土通道,与附近的弃土场及有利于废弃土方调配等条件综合考虑而定。

3. 混合开挖法(亦称通道纵挖法)

先在路堑的中央沿路线纵向挖成通道,然后在堑内改为横向挖成若干个通道,使许多挖掘机械各自到达横向通道内的工作面后,再沿路线纵向进行全断面开挖,此种纵挖法与全断面横挖法结合的作业方法称为混合开挖法,如图 2-2-2-10 所示。由图中可见,当路堑较深时,还可以结合机械的功能进行分层施工作业。此法适用于工程量很大但工期又紧的重点快速工程,并以铲式挖掘机和运输自卸车配合使用为宜。混合开挖法具体实施时,对各种机械尤其是运土车辆的进出,必须统一调度、相互协调、运行流畅。

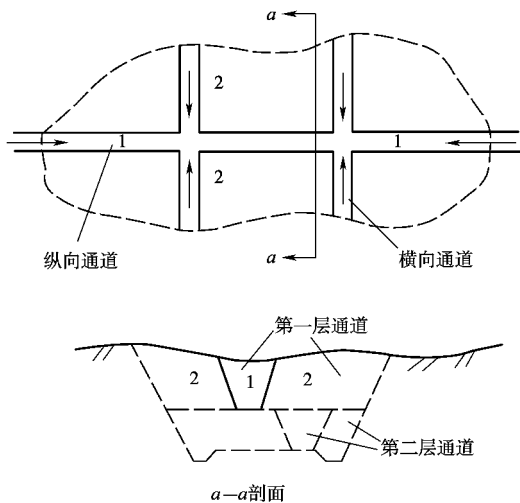


图 2-2-2-10 混合开挖法

• 第三节 路基压实 •

一、路基压实的目的

路堤填筑所用的土或者路堑开挖形成路基表面的土,由于开挖扰动破坏了土体原来紧密

的状态,致使结构松散,颗粒间需要重新密实组合。为了使路基具有足够的强度与稳定性,必须予以压实,以提高其密实程度。因此路基的压实工作,是路基施工过程中一项重要的工序。

土是三相体,土粒为骨架,颗粒之间的孔隙为水分和气体所占据。压实的目的在于使土粒重新组合,彼此挤紧,孔隙缩小,土的密度提高,形成密实整体,最终导致强度增加,稳定性提高。

大量的试验和工程实践已经证明:土基压实后,路基的塑性变形、渗透系数、毛细水上升及隔温性能等,均有明显改善。

二、影响压实效果的因素

对于细粒土的路基,影响压实效果的因素有内因和外因两个方面。内因指土质和湿度,外因指压实功能(如机械性能、压实时间与速度、土层厚度)及压实时外界自然和人为的其他因素等。下面就影响压实效果的主要因素进行讨论。

1. 含水量对压实的影响

1) 含水量 w 与密实度(以干容重 γ 度量)的关系

以同一种土在同一贯入击实标准试验下,各个土样配以不同的含水量 w ,测定各个干容重 γ ,作干容重 γ 随含水量 w 而变的规律性曲线,得图2-2-2-11中曲线1的驼峰曲线。图中表明同等条件下,在一定含水量之前, γ 随 w 增加而提高,主要原因在于水起润滑作用,土粒间阻力减小,施加外力后,孔隙减小,土粒易于被挤紧, γ 得以提高。 γ 值至最大值后, w 再继续增大,土粒孔隙被水分占据,而水一般不为外力所压缩,水分互挤转移,因而 w 增大, γ 随之降低。通常在一定压实条件下干容重的最大值,称为最大干容重 γ_0 (驼峰曲线的最高点),相应的含水量称为最佳含水量 w_0 。由此可见,压实时若能控制土的最佳含水量 w_0 ,则压实效果为最好。

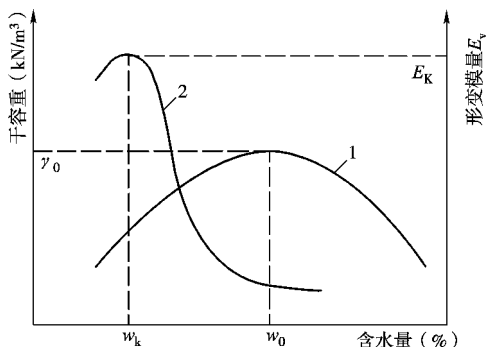


图 2-2-2-11 土基的 E 、 γ 与 w 关系示意图

1- γ 与 w 的关系 2- E 与 w 的关系

2) 含水量 w 与土的水稳定性的关系

如果以形变模量 E_y 代替 γ ,它与 w 亦有类似的驼峰型曲线关系,而且最高点的 E_K 及其相应的 w_K

值,与 γ_0 及 w_0 有区别。曲线2表明,土体含水量未达到最佳值 w_0 之前 ($w_K < w_0$),形变模量(间接反映强度)已达最高值 E_K ,而土中含水量在 w_K 值前后的增加或减少,相应的 E_y 随之有所降低。

图2-2-2-12是饱水前后土基的压实试验结果对照曲线关系图,它可反映出含水量 w 与土的水稳定性的关系。从图中曲线1和曲线2对比可见:饱水后, γ 与 E 均有所降低,但在 w_0 时,两曲线间的降低值 ($\gamma_0 - \gamma_s$ 或 $E_K - E'_s$) 均最小,这种状态称为水稳定性好。由此可见,控制最佳含水量 w_0 压实的土基,其强度和稳定性最好。如果以 w_K 为准,尽管相应的 E_K 最高,但饱水后的 E_s 却大大降低,表明水稳定性极差。通过比较可见最大干容重 γ_0 及相应的最佳含水量 w_0 作为控制土基压实指标的原因。

2. 土质对压实效果的影响

在同样压实条件下,不同的土质其压实效果是不一样的。一般规律是不同的土质,有着不同的最佳含水量 w_0 及最大干容重 γ_0 ,见图 2-2-2-13。颗粒分散性(液限、粘性)较高的土,其 w_0 值较高, γ_0 值较低。同时通过对比可见,砂性土的压实效果优于粘性土。其机理在于土粒愈细,比表面积愈大,土粒表面水膜所需的含水量就愈多,加之粘土中含有亲水性较高胶体物质所致。另外,至于砂土由于呈松散状态,水分极易散失,对其最佳含水量的概念就没有多大的实际意义。

3. 压实功能对压实的影响

压实功能(指压实工具的重量、碾压遍数、作用时间等)对压实效果的影响,是上述之外的又一重要因素。图 2-2-2-14 是同一种土的不同压实条件下,压实功能与压实效果的关系曲线。通过几条曲线的对比表明:同一种土的最佳含水量 w_0 随压实功能的增大而减小,最大干容重 γ_0 则随压实功能的增大而提高,在相同含水量条件下,压实功能愈高,土基密实度(即 γ)愈高。据此规律,工程实践中可以增加压实功能(如选用重碾,增加碾压遍数或延长作用时间等),以提高路基土的干容重或降低最佳含水量。但必须指出,用增加压实功能的办法,赖以提高土基强度的效果,有一定的限度。压实功能增加到一定限度以上,其效果的提高就会愈为缓慢,这样在经济效益和施工组织上不尽合理。当压实功能超过限度过大时,一是超过土的极限强度,造成土基结构的破坏;二是相对应压实时的含水量减少,获得的密实度经受不住水的影响,即水稳定性变差。相比之下,严格控制最佳含水量,要比增加压实功能收效大得多。当含水量不足,洒水有困难时,适当增加压实功能可以见效,但如果土的含水量过大,此时再增大压实功能,必将出现“弹簧”现象,即压实效果很差,造成返工浪费。

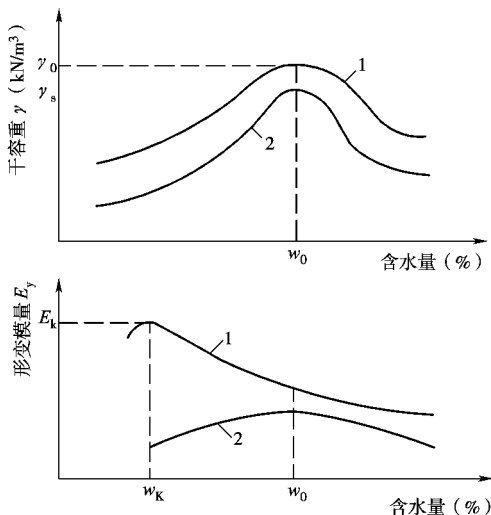


图 2-2-2-12 饱水前后土基压实指标对照

1-饱水前 2-饱水后

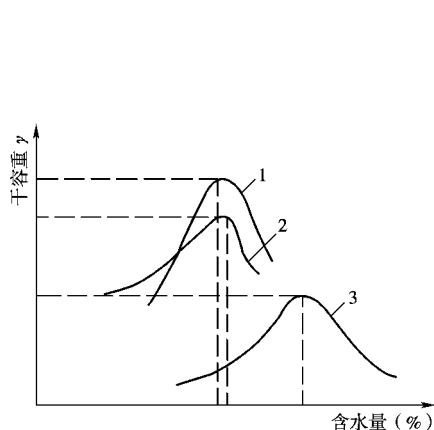


图 2-2-2-13 几种土质的压实曲线对照

1-亚砂土 2-亚粘土 3-粘土

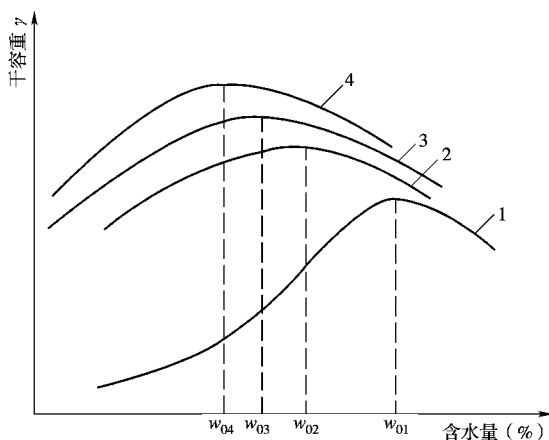


图 2-2-2-14 不同压实功能的压实曲线对照

图中 曲线 1、2、3、4 的功能分别为 600、1150、2300、3400(kN·m)

4. 压实厚度对压实效果的影响

相同压实条件下(土质、含水量与压实功能不变)根据实测土层不同深度的密实度(γ 或压实度)可得知,密实度随深度递减,表层5cm为最高。不同压实工具的有效压实深度有所差异,根据压实工具类型、土质及压实的基本要求,路基分层压实的厚度有具体的规定数值。一般情况下,夯实不宜超过20cm;12~15t光面压路机,不宜超过25cm;振动压路机或夯击机,宜以50cm为限。确定了实际施工时的压实厚度之后,还应通过现场试验确定合适的摊铺厚度。

三、压实机具的选择

土基压实机具的类型较多,大致上分为碾压式、夯击式和振动式3大类型。碾压式(又称静力碾压式),包括光面碾(普通的两轮和三轮压路机)、羊足碾和气胎碾等几种。夯击式中除了人工使用的人工夯、大夯外,机动设备中有夯锤、夯板、风动夯及蛙式夯机等。振动式中有振动器、振动压路机等。此外,运土工具中的汽车、拖拉机以及土方机械等,也可用于路基压实。

不同的压实机具,适用于不同土质及不同土层厚度等条件,这些都是压实机具的主要依据,表2-2-2-1所列的是几种常用机具的一般技术特性。正常条件下,对于砂性土的压实效果,振动式较好,夯击式次之,碾压式较差。对于粘性土,则宜选用碾压式或夯击式,振动式较差甚至无效。不同的压实机具采用通常的压实遍数,在最佳含水量条件下,适应于一定的最佳压实厚度。表2-2-2-2是各种土质适宜的碾压机械的建议。

压实机具的技术性能

表 2-2-2-1

机 具 名 称	最大有效压实厚度 (实厚)(m)	碾压行程遍数				适宜的土类
		粘性土	亚粘土	粉砂土	砂粘土	
人工夯实	0.10	3~4	3~4	2~3	2~3	粘性土与砂性土
牵引式光面碾	0.15	—	—	7	5	粘性土与砂性土
羊足碾(2个)	0.20	10	8	6	—	粘性土
自动式光面碾5t	0.15	12	10	7	—	粘性土与砂性土
自动式光面碾10t	0.25	10	8	6	—	粘性土与砂性土
气胎路碾25t	0.45	5~6	4~5	3~4	2~3	粘性土与砂性土
气胎路碾50t	0.70	5~6	4~5	3~4	2~3	粘性土与砂性土
夯击机0.5t	0.40	4	3	2	1	砂性土
夯击机1.0t	0.60	5	4	3	2	砂性土
夯板1.5t落高2m	0.65	6	5	2	1	砂性土
履带式	0.25	6~8		6~8		粘性土与砂性土
振动式	0.40	—		2~3		砂性土

各种土质适宜的碾压机械

表 2-2-2-2

土 的 分 类 机 械 名 称	细粒土	砂类土	砾类土	巨粒土	备 注
6~8t 两轮光轮压路机	A	A	A	A	用于预压整平
12~18t 两轮光轮压路机	A	A	A	B	最常使用
25~50t 两轮光轮压路机	A	A	A	A	最常使用
羊足碾	A	C 或 B	C	C	粉粘土质砂可用
振动压路机	B	A	A	A	最常使用
凸块式振动压路机	A	A	A	A	最宜使用含水量较高的细粒土
手扶式振动压路机	B	A	A	C	用于狭窄地点
振动平板夯	B	A	A	B 或 C	用于狭窄地点 机械重量 8000kN 的可用于巨粒土
夯锤(板)	A	A	A	B	用于狭窄地点
推土机 铲运机	A	A	A	A	夯击影响深度最大
	A	A	A	A	仅用于摊平土层和预压

注 ①表中符号 :A 代表适用 ,B 代表无适当机械时可用 ,C 代表不适用。

②土类别按《公路土工试验规程》的规定划分。

③对特殊土和黄土(CLY)、膨胀土(CHE)、盐渍土等的压实机械选择可按细粒土考虑。

④自行式压路机宜用于一般路堤、路堑基底的换填等的压实 宜采用直线式进退运行。

⑤羊足碾(包括凸块碾、条形碾)应有光轮压路机配合使用。

压实机具对土施加的外力 ,应有所控制 ,以防压实功能太大 ,压实过度 ,不仅失效、浪费甚至有害。一般认为 ,压实时的单位压力不应超过土的强度极限。不同土的强度极限 ,还与压实机具的质量、相互接触的面积、施荷速度及作用时间(遍数)等因素有关。表 2-2-2-3 所列的是在最佳含水量条件下 ,土质由几类压实机具作用时的强度 ,可供选择机具和压实功能时参考。

压实时土的强度极限

表 2-2-2-3

土 类	土的极限强度(MPa)		
	光面碾	气胎碾	夯板(直径 70~100cm)
低粘性土(砂土、亚砂土粉土)	0.3~0.6	0.3~0.4	0.3~0.7
中等粘性土(亚粘土)	0.6~1.0	0.4~0.6	0.7~1.2
高粘性土(重亚粘土)	1.0~1.5	0.6~0.8	1.2~2.0
极粘土(粘土)	1.5~1.8	0.8~1.0	2.0~2.3

实践经验证明 ,土基压实时 ,在机具类型、土层厚度及行程遍数已经选定的条件下 ,压实操作时宜先轻后重、先慢后快 ,先边缘后中间(匝道及弯道的超高路段需要时 ,则从内侧至外侧宜先低后高)。压实时 ,相邻两次的轮迹应重叠轮宽的 1/3 ,保持压实均匀 ,不漏压 ,对于压不到的边角 ,应辅以人力或小型机具夯实。压实全过程中 ,经常检查含水量和密实度 ,以达到符

合规定压实度的要求。

四、土基压实标准

土基野外施工,受到种种条件限制,不能达到室内标准击实试验所得的最大干容重 γ_0 ,应予以适当降低。令工地实测干容重为 γ ,它与室内标准击实试验得到的 γ_0 值之比的相对值,称为压实度 K 。

$$K = \frac{\gamma}{\gamma_0} \times 100\% \quad (2-2-2-1)$$

压实度 K 就是现行规范规定的路基压实标准。表2-2-2-4所列的压实度是以交通部颁发的《公路土工试验规程》重型击实试验法为准。对于铺筑中级或低级路面的三、四级公路路基,以及南方多雨地区天然土的含水量较大时,允许采用轻型击实试验法的路基压实标准。

土质路堤压实度标准

表 2-2-2-4

填挖类型		从路面底面计起的 深度范围(cm)	压实度(%)	
			高速公路、一级公路	其他公路
路堤	上路床	0 ~ 30	e95	e93
	下路床	30 ~ 80	e95	e93
	上路堤	80 ~ 150	e93	e90
	下路堤	> 150	e90	e90
零填及路堑路床		0 ~ 30	e95	e93

填石路堤包括分层填筑和倾填爆破石块的路堤,不能用土质路基的压实度来判定路基的密实程度。其判定方法目前国内外各国规范尚无统一规定。我国城市道路路基工程施工及验收规范规定,填石路堤需用重型压路机或振动压路机分层碾压,表面不得有波浪、松动现象,路床顶面压实度标准是12~15t压路机的碾压轮迹深度不应大于5mm。我国《公路路基施工技术规范》参考了城市道路的方法,亦将碾压后的轮迹深度作为密实状态的判定条件。国外填石路堤有采用在振动压路机驾驶台上装设的压实计反映的数值,来判定是否达到要求的紧密程度。但无定量值的规定,且只限于有此种装置的压路机。

五、碾压工序的控制

为了有效地压实路基填筑土,必须对碾压工序作以下的控制:

(1)确定工地施工要求的密实度。路基要求的压实度根据填挖类型和公路等级及路堤填筑的高度而定,见表2-2-2-4。通常根据表中的规定,用标准击实试验,得出最大干密度和相应的最佳含水量。

(2)对于各种压实机具碾压不同土类的适宜厚度,所需压实遍数与填土的实际含水量(最佳含水量 $\pm 2\%$ 以内)等,均应根据要求的压实度,通过做试验路段时加以确定。高等级公路路基填土压实宜采用振动压路机或35~50t轮胎压路机进行。采用振动压路机碾压时,第一遍应静压,第二遍开始用振动压实。

压实过程中应严格控制填土的含水量。含水量过大时,应将土翻晒至要求的含水量再碾压;含水量过小时,需均匀洒水后再进行碾压。通常天然土的含水量接近最佳含水量时,在填

土后应随即压实。

(3)填石路堤在压实前,应先用大型推土机推铺平整,个别不平处,应用人工配合,用细石屑找平。压路机宜选用 12t 以上的重型振动压路机、2.5t 以上的夯锤或 25t 以上的轮胎压路机。碾压时要求均匀压实,不得漏压。每层的填铺厚度在 0.4m 左右,当采用重型振动压路机或夯锤压实时,可加厚至 1.0m。

填石路堤所要求的密实度、所需的碾压遍数(或夯压遍数)应经过试验确定。以 12t 以上的振动压路机进行压实试验,当压实层顶面稳定,不再下沉(无轮迹)时,可判为密实状态,即压实度合格。

(4)土石混填路堤的压实要根据混合料中巨粒土含量的多少来确定。当巨粒土含量较少时,应按填土路堤的压实方法进行压实;当巨粒土含量较大时,应按填石路堤的压实方法压实。

不论何种路堤,碾压都必须确保均匀密实。

(5)压实度的检测方法有环刀法、灌砂法、灌水法(水袋法)和核子密度湿度仪法。在使用核子密度仪时,事先应与规定试验方法作对比试验而进行标定。

本章小结

(1)路基填筑施工的主要工序有:料场选择、基底处理、填筑和碾压。

(2)路基的填筑方式可分为水平分层填筑、纵向分层填筑、横向填筑、混合填筑等 4 种。各种填筑方式都有其适用性。

(3)土质路堑常用的开挖方法可分为全断面横挖法、纵挖法及混合开挖法 3 种。各种填筑方式都有其适用性。

(4)影响压实效果的因素有内因和外因两个方面。内因指土质和湿度,外因指压实功能(如机械性能、压实时间与速度、土层厚度)及压实时外界自然和人为的其他因素等。

(5)土基的压实机具可分为碾压式、夯击式和振动式 3 种类型。某一类型中有各种常用的压实机具。

(6)土基碾压的操作要领是:在机具类型、土层厚度及行程遍数已经选定的条件下,压实操作时宜先轻后重、先慢后快,先边缘后中间(匝道及弯道的超高路段需要时,则从内侧至外侧宜先低后高)。压实时,相邻两次的轮迹应重叠轮宽的 1/3,保持压实均匀,不漏压,对于压不到的边角,应辅以人力或小型机具夯实。压实全过程中,经常检查含水量和密实度,以达到符合规定压实度的要求。

(7)工地实测干容重与室内标准击实试验得到的最大干容重之比的相对值,称为压实度。

思考题与习题

1. 路基填筑施工有哪些工艺流程?
2. 路基填筑施工的主要工序有哪些?
3. 路基的填筑方式可分为哪 4 种?各自的适用性如何?

4. 土质路堑常用的开挖方法可分为哪 3 种？其中的纵挖法又可分为哪两种？各自的适用性又如何？
5. 影响压实效果的因素有哪些？
6. 土基的压实机具可分为哪 3 类？对于不同的土质应如何正确选择？
7. 土基碾压的操作要领有哪些？
8. 何谓压实度？实际工程中如何检测？

第三章

石质路基施工

教学要求

1. 描述爆破的作用原理,分析影响爆破的主要因素;
2. 叙述道路工程中常用的主要炸药、起爆器材和起爆方法。
3. 描述工程中选用各种爆破方法的基本原则,在工程中应用各种爆破技术。

山区公路路基石方工程量大,而且集中,据统计一般约占土石方总量的 45% ~ 75%。爆破是石方路基施工最有效的方法,亦可用以爆松冻土、淤泥,开采石料等。在公路工程中采用综合爆破,不但施工技术获得了重大革新,而且对公路选线、设计也有较大的影响。例如,沿溪线经常要遇到悬崖峭壁,施工十分困难,工程量也很大,过去多采用展线翻越,或跨河绕避的方案。展线方案,由于急弯陡坡较多,既降低路线的技术标准,又增加公路里程。跨河方案,增加桥梁工程,不仅增加工程费用,还可能遇到基础施工等困难。如能采用综合爆破法施工,功效较高,工期较短,占用劳动力较少,成本也可降低,且可考虑采用平缓顺直的沿溪线方案而无需展线或跨河。又如,公路通过鸡爪地形地段时,为了避免施工困难和减小工程量,往往是随地形曲折起伏,如采用综合爆破法施工,可取顺直的路线布置方案。

• 第一节 爆破作用原理及爆破器材与方法 •

一、爆破作用原理

为了爆破某一岩体,在其中或表面放置的一定数量的炸药,称为药包。按药包的形状或集结程度不同,可以分为集中药包、延长药包和分集药包 3 种。

1. 药包在无限介质内的作用

药包在无限介质内爆炸时,炸药在瞬间内通过化学反应转化为气体状态的爆炸产物。由于膨胀作用,体积增加数千倍甚至上万倍,形成高温高压,产生的冲击波以每秒上千米的速度,自药包中心按球面等量向外扩散,传递给周围介质,使介质产生各种不同程度的破坏和振动现象。这种现象随着距药包中心的距离增大而逐渐消失,并按破坏程度的不同大致可分为 4 个爆破作用区,如图 2-2-3-1 所示。

1) 压缩区

图 2-2-3-1 中 $R_{\text{压}}$ 表示压缩圈半径,在这个作用圈范围内,介质直接承受药包爆炸所产生

的极其巨大的作用力。如果介质是可塑性的土,便会遭到压缩形成空腔;如果是坚硬的脆性岩石,便会被粉碎。以 $R_{\text{压}}$ 为半径的球形区称为压缩区。

2) 抛掷区

$R_{\text{压}}$ 至 $R_{\text{抛}}$ 的区间为抛掷区。该区介质的原有结构受到破坏而分裂成碎块,而且爆炸力尚有余力,足以使这些碎块获得运动速度。如果在有限介质内,这些碎块的一部分会向临空面方向抛掷出去。

3) 松动区

$R_{\text{抛}}$ 至 $R_{\text{松}}$ 的区间为松动区。该区爆炸力大大减弱,能使介质结构受到不同程度的破坏,但没有较大的位移。

4) 振动区

$R_{\text{松}}$ 至 $R_{\text{振}}$ 的区间为振动区。微弱的爆破作用力不能使该区介质产生破坏,只能产生振动现象。振动圈以外爆破作用能量将逐渐消失。

2. 药包在有限介质内的爆破作用与爆破漏斗

药包在有限介质内爆炸时,在具有临空的表面上都会出现一个爆破坑,一部分炸碎的土石被抛至坑外,一部分仍落在坑底。由于爆破坑形状如同漏斗,称为爆破漏斗,如图 2-2-3-2 所示。爆破漏斗的形状和大小,不仅与药包量大小、炸药性能、介质的性能等有关,同时还与临空面的数量和所处的边界条件有关。爆破漏斗一般用以下几个要素表示:

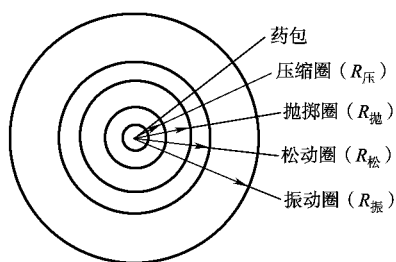


图 2-2-3-1 爆破作用圈

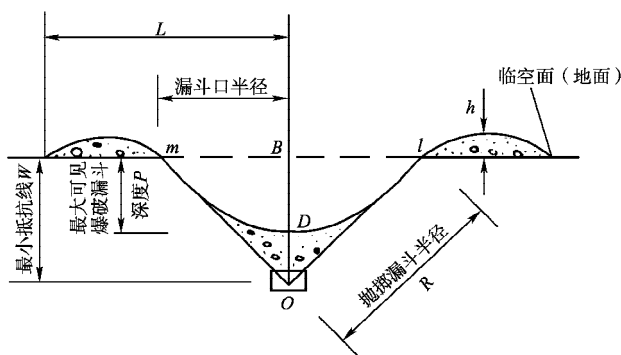


图 2-2-3-2 平坦地形爆破漏斗示意图

最小抵抗线 W : 药包中心至临空面的最短距离。

爆破漏斗口半径 r_0 : 最小抵抗线与临空面交点至漏斗口边缘的距离;

抛掷漏斗半径 R : 从药包中心沿漏斗边缘至坑口的距离。

爆破作用的性质通常用爆破作用指数 n 来表示。爆破作用指数是爆破漏斗口半径与最小

抵抗线的比值: 即 $n = \frac{r_0}{W}$ 。当 $n=1$ 时,称为标准抛掷爆破,此时漏斗顶部夹角为 90° ; $n>1$ 时,称为加强抛掷爆破。 $n<1$ 时,称为减弱抛掷爆破。当 $n<0.75$ 时,不会发生抛掷现象,岩石只能产生松动和隆起。通常将 $n=0.75$ 时的爆破称为标准松动爆破, $n<0.75$ 时的爆破称为减弱松动爆破。

二、影响爆破的主要因素

药包在介质中爆炸时,介质被抛掷和松动的体积或破碎的程度称为爆破效果。影响爆破效果的因素主要有以下几种:

(1)炸药的威力。一般在坚石中,宜用粉碎力大的炸药,如TNT、胶质炸药等,爆破后岩石破碎程度较大,但破坏范围一般较小;在次坚实、软石、裂缝大而多的岩石中,以及松动爆破中,宜用爆力大而粉碎力较小的炸药,如硝铵类炸药;开采料石,则宜用爆力和猛度都较小的炸药,如黑火药。

(2)炸药用量。药量少了,达不到预期的效果;药量多了,不但造成浪费,而且会出现飞石过远、裂缝增多、边坡坍塌等超爆现象。因此,药量应适中。

(3)地形条件。在爆破工程中,地形的陡坦程度及临空面数量,对爆破效果影响也很大。地形越陡,临空面数目越多,爆破效果越好;反之,爆破效果差。

(4)地质条件。地质条件是指岩石性质和岩层构造。岩石性质包括岩石的密度、韧性和整体性等,是确定岩石单位耗药量和能否采用大爆破的主要依据;岩石构造主要指岩石的层理产状等,往往会对爆破的范围、爆破漏斗的形状和大小产生重大影响。

(5)其他因素。装药的密实度、堵塞炮眼和导洞的质量、爆破技术的熟练与正确程度等对爆破效果均有影响。

三、炸 药

1. 炸药的性质

炸药是一种化学性质不稳定的物质,在外力的作用下(如冲击、摩擦等)易发生爆炸。爆速高达每秒几千米,爆温高达1500~4500℃,压力超过10万个大气压,因此,具有非常大的破坏力。炸药的性质用以下指标描述:

1)炸药的威力

炸药的威力一般用爆力和猛度来衡量。爆力是指炸药破坏一定量介质的能力;猛度是指炸药爆炸时,将一定量岩石粉碎成细块的能力。

2)炸药的敏感度

炸药的敏感度是指炸药在外能作用下发生爆炸的难易程度,包括爆燃点、撞击敏感度、摩擦敏感度和起爆敏感度。炸药的敏感度受其密度、湿度、粒度和杂质含量的影响。

3)炸药的安定性

炸药的安全性是指炸药在长期存储时,保持其原有物理化学性质不变的能力。

2. 炸药的分类

炸药的种类繁多,爆破工程中常用的可分为如下两类:

1)起爆炸药

起爆炸药是一种爆炸速度极高的烈性炸药,爆速可达2000~8000m/s,用以制造雷管。起爆炸药又可分为正起炸药和副起炸药。正起炸药对热能和机械冲击能均具有强烈的敏感性,如雷汞、黑索金、泰安等;副起炸药须由正起炸药起爆,其爆速甚高,可加强雷管的起爆能量,如三硝基甲硝胺、四硝化戊四醇等。

2) 主要炸药

用以对岩石或其他介质进行爆炸的炸药称为主要炸药。它的敏感性较低,要在起爆炸药强力的冲击下才能爆炸。它可分为:缓性炸药,爆速为 $1000 \sim 3500\text{m/s}$,如硝铵炸药、铵油炸药、粉碎性炸药,爆速为 $3500 \sim 7000\text{m/s}$,如 TNT、胶质炸药等。道路工程中常用的主要炸药的成分和性能如下:

(1) 黑色炸药:由硝酸钾、硫磺、木炭(配比为 75:10:15)所组成的混合物。它对火星和碰击极其敏感,易燃烧爆炸,怕潮湿,威力小,适用于开采石料。

(2) TNT 炸药:TNT 或称三硝基甲苯。淡黄色针状结晶体,熔铸块呈褐色,敏感度低,安定性好,耐水性强,爆炸威力大,适用于爆破坚硬的岩石。但本身含氧不足,爆炸时产生有毒的一氧化碳,不宜用于地下作业。

(3) 胶质炸药:由硝化甘油和硝酸铵(有时用硝酸钾或硝酸钠)的混合物,另加入一些木屑和稳定剂制成的。可分为耐冻、非耐冻两种。工业上常用的是硝化甘油及二硝化乙二醇含量各为 62% 和 35% 的耐冻胶质炸药。它对冲击、摩擦和火星都很敏感,如果湿度较高或储存时间过久,容易分解、渗油和挥发。此时对外界的作用更敏感,受冻后尤其危险,它是一种危险性较高的炸药。但胶质炸药威力大,不吸湿,有较大密度和可塑性,适合于水下和坚石使用。

(4) 硝铵炸药:它是目前石方爆破中广泛应用的一种炸药,主要品种有煤矿铵梯炸药、岩石铵梯炸药、露天铵梯炸药等。道路工程中常用的岩石销铵炸药由硝酸铵、TNT 和少量木粉组成,其配合比为 85:11:4,具有中等威力和一定的敏感性,在 8 号雷管作用下可以充分起爆,是安全的炸药。但是它有吸湿性与结块性,受潮后敏感性和威力显著降低,同时产生毒气。

(5) 铵油炸药:它是硝酸铵和柴油(或加木粉)的混合物,通常两者比例为 94.5:5.5,当加木粉时,其比例为 92:4:4。这是一种廉价、安全、制造简单、威力比硝铵炸药略低、敏感性低的炸药,具有结块性和吸湿性,使用时不能直接用 8 号雷管起爆,须同时用 10% 的硝铵炸药做起爆体,才能使其充分起爆。

(6) 浆状炸药:它是以硝酸铵、TNT(或铝、镁粉)和水为主混合而成的一种浆糊状炸药,其威力大,抗水性强,适用于深水爆破(坚硬岩石),但需烈性炸药起爆。

四、起爆器材

雷管是常用的起爆材料。按照引爆方式分为火雷管和电雷管两种。电雷管又分为即发、延期及毫秒雷管。雷管外壳有纸、铜、铁等几种。工业上依雷管内起爆药量多少,分成 10 种号码,通常使用 6 号和 8 号两种。6 号雷管相当于 1g 雷汞的装药量,8 号相当于 2g 雷汞的装药量。

1. 雷管的构造

雷管由雷管壳、正副装药、加强帽 3 部分组成,如图 2-2-3-3 所示。

火雷管与电雷管的不同之处,是在管壳开口的一端,火雷管留出 15mm 左右的空隙端,以备导火索插入之用,而电雷管则有一个电气点火装置,并以防潮涂料密封端口。延期和毫秒电雷管的特殊点是在点火装置和正装药之间加了一段缓燃剂。

电气点火装置的构造,是在脚线(纱包绝缘铜线)的端部焊接一段高电阻的金属丝(一般

为康铜丝,也有铬镍合金或铂铱合金丝),称为电桥丝。当在电桥上滴上一滴引燃剂通电时,灼热的电桥就能点燃引燃剂,使电雷管的正副起爆药发火起爆。

2. 电雷管的主要指标

为了保证电雷管的准爆和操作安全,现将使用电雷管的有关参数介绍如下:

1) 电阻

一般使用的电雷管,电阻大致为 $0.5 \sim 1.5\Omega$ (2m 长铜脚线、康铜电桥丝)。按安全规定串联在一起的电雷管,电阻差彼此不能超过 0.25Ω 。

2) 最大安全电流和准爆电流

所谓最大安全电流,是指在通电 5min 左右而不引起爆炸的最大电流。康铜电桥丝的雷管最大安全电流和准爆电流为 $0.3 \sim 0.4A$,铬镍合金电桥丝的雷管为 $0.15 \sim 0.2A$ 。用来测定电雷管的仪器输出电流,不得超过 $0.05A$ 。

所谓最小准爆电流是指在 2min 左右的时间内,通电而使雷管准爆的最小电流。康铜电桥丝的为 $0.5 \sim 0.8A$,铬镍合金电桥丝的为 $0.4 \sim 0.5A$ 。按照安全规定,成组串联电雷管的准爆电流,直流电为 $2A$,交流电为 $2.5A$ 。若能保证有 $2.0 \sim 5.0A$ 的电流通过每个电雷管,则可充分保证准爆。

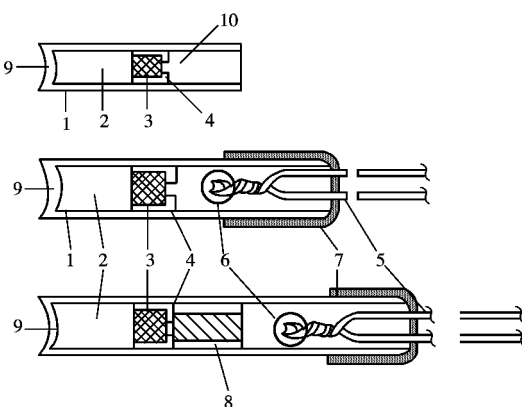


图 2-2-3-3 雷管的构造

1-雷管壳 2-副装药 3-正装药 4-加强帽 5-电器点火装置;
6-滴状引燃剂 7-密封胶和防潮涂料 8-延缓剂 9-窝槽(集能槽) 10-帽孔

五、起爆方法

1. 导火索起爆

导火索起爆是先将导火索点燃,引爆火雷管,从而使全部炸药引起爆炸。雷管内装的都是裂性炸药,遇撞击、按压、摩擦、加热、火花都会爆炸。因此在运输、保管、使用中要特别注意,要轻拿轻放,不可随便乱扔。

2. 电力起爆

电力起爆是利用电雷管中电力引火剂的通电发热燃烧使雷管爆炸,从而引起药包爆炸。电力起爆的电源有放炮器、干电池、蓄电池、移动式发电站、照明电力线路或动力电力线等。电力起爆网中,电雷管的联结方式有串联、并联和混合联 3 种。电力起爆所用电线必须采用绝缘完好的导线。

3. 导爆索起爆

导爆索(又称传爆线)起爆就是利用导爆索的爆炸直接引起药包的爆炸。导爆索其外形与导火索相似,直径 $4.8 \sim 5.8mm$,药芯系烈性炸药做成,有良好的防水性能,浸在水中 12h 仍能爆炸。导爆索爆速快($6800 \sim 7200m/s$),主要用于深孔爆破和药室爆破,使几个药室能做到几乎同时起爆,可以提高爆破效果。由于导爆索着火较困难,使用时须在药室外的导爆索上捆扎一个 8 号雷管来起爆。

4. 塑料导爆管起爆

由内涂引爆炸药的塑料导爆管组成的起爆网络与药包连接,通过雷管、导火索、引火头等能产生冲击波的器材激发导爆管,从而起爆炸药包。导爆管本身很安全,可作为非危险品运输。一个8号雷管能激发30~50根导爆管,效率高,成本低,安全可靠。

• 第二节 工程中各种爆破的应用 •

一、一般规定

开挖岩石路基所采用的爆破方法,要根据石方的集中程度、地质、地形条件及路基断面形状等具体情况而定,一般可分为中小型爆破和大型爆破两大类:

1. 爆破作业的施工程序

- (1)对爆破人员进行技术学习和安全教育;
- (2)对爆破器材进行检查和试验;
- (3)消除岩石表面的覆盖土及松散石层,确定炮型,选择炮位;
- (4)钻眼或挖坑道、药室,装药及堵塞;
- (5)敷设起爆网路;
- (6)设置警戒;
- (7)起爆;
- (8)清理爆破现场(处理瞎炮,测定爆破效果等)。

2. 炮眼位置的选择应注意的事项

- (1)选择炮眼时,必须注意石层、石质、石纹、石穴,以在无裂纹、无水湿之处设置为宜。当用铁锤敲击石面发生空响时,应避免打眼。
- (2)应避免选择在两种岩石硬度相关很大的交界处。
- (3)应尽量选择在抵抗线最小,临空面较多的地方,并应与各临空面的距离接近相等。
- (4)炮眼选择时,应尽量为下一炮创造更多的临空面。
- (5)群炮炮眼的间距,宜根据地形、岩石类别、炮型及炸药的种类计算确定。
- (6)炮眼的方向,应与岩石侧面平行,并尽量与岩石走向垂直。一般按岩石外形、纹理裂隙等实际情况,分别选择正眼、斜眼、平眼、吊眼等方位。

此外,进行爆破作业时的安全事项,须按照“公路工程暂行安全技术规程”有关规定办理。

二、综合爆破的内容及物性

综合爆破是根据石方的集中程度、地质、地形条件,公路路基断面的形状,结合各种爆破方法的最佳使用特性,因地制宜,综合配套使用的一种比较先进的爆破方法。一般包括小炮和洞室炮两大类。小炮主要包括钢钎炮、深孔爆破等钻孔爆破、药壶炮和猫洞炮;洞室炮则随药包性质、断面形状和微地形的变化而不同。用药量1t以上为大炮,1t以下为中小炮。现将各种爆破方法在综合爆破中的作用与特性分述如下:

1. 钢钎炮(眼炮)

在路基工程中,钢钎炮通常指眼炮直径和深度分别小于 7cm 和 5m 的爆破方法。一般情况下,单独使用钢钎炮爆破石方是不大经济的,其原因是:

- (1)炮眼浅,用药少,每次爆破的方数不多,并全靠人工清除,所以功效较低。
- (2)不利于爆破能量的利用。

由于眼浅,爆破时爆炸气体很容易冲出,变成不做功的声波,导致响声大而炸下的石方不多,个别石块飞得很远。因此,在公路工程中,应尽可能少用这种炮型。但是,由于它比较灵活,因而它又是一种不可缺少的炮型,在地形艰险及爆破量较小地段(如打水沟、开挖便道、基坑等)仍属必需,在综合爆破中是一种改造地形,为其他炮型服务的辅助炮型。

2. 深孔爆破

深孔爆破就是孔径大于 75mm、深度 5m 以上、采用延长药包的一种爆破方法。炮孔需用大型的潜孔凿岩机或穿孔机钻孔,如用挖运机械清方可以实现石方施工全面机械化,是大量石方(万方以上)快速施工的发展方向之一。其优点是劳动生产率高,一次爆破的方量多,施工进度快,爆破时对路基边坡的影响比大炮小。若配合预裂或光面爆破,则边坡平整稳定,爆破效果容易控制,爆破时比较安全。但由于需要用大型机械,故转移工地、开辟场地、修筑便道等准备工作都较复杂,且爆破后仍有 10%~25% 的大石块需经第二次爆破改小。

进行深孔爆破,要求先将地面修成台阶,称为梯段。梯段的倾角最好为 $60^{\circ} \sim 75^{\circ}$,高度应在 5~15m 之间。炮孔分垂直孔和斜孔两种。如图 2-2-3-4 和图 2-2-3-5 所示,炮孔直径 D 一般为 80~300mm,公路工程中以用 100~150mm 的为宜。超钻长度 h 大致是梯段高度的 10%~15%。岩石坚硬者取大值。因此,

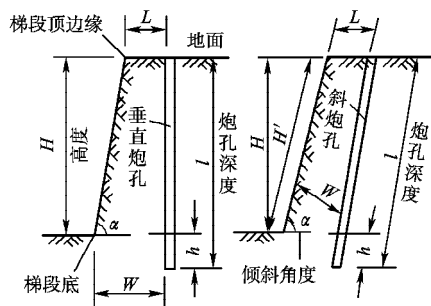


图 2-2-3-4 垂直和斜炮梯断面

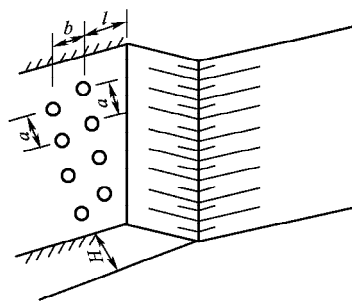


图 2-2-3-5 炮孔布置立面图

垂直孔的深度:

$$l = H + h \quad (2-2-3-1)$$

斜孔的深度:

$$l = H' + h \quad (2-2-3-2)$$

炮孔间距:

$$a = mW \quad (2-2-3-3)$$

底板抵抗线:

$$W = D \sqrt{\frac{7.85\rho\tau l}{K'mH}} \quad (2-2-3-3)$$

式中 m ——系数,约为 0.6~1.4,通常取 0.7~0.85;

D ——钻孔直径 m ;

ρ ——炸药密度 kg/m^3 ;

K' ——单位耗药量 kg/m^3 $K' = \frac{1}{3}K$;

τ ——深孔装药系数,当 $H < 10\text{m}$ $\tau = 0.6$; $H = 10 \sim 15\text{m}$ $\tau = 0.5$; $H = 15 \sim 20\text{m}$ $\tau = 0.4$ 。

W 值确定后可按下式估算 L 值:

$$L = W - H \cdot \cot \alpha$$

式中 L ——炮孔与梯段顶边缘的距离,为确保凿岩机作业的安全,此值应大于 $2 \sim 3\text{m}$,否则需调整 W 值。

多排孔时,排的间距 b 可取 $b = W$ 。

深孔爆破除需正确选用设计参数和布孔外,对装药、堵塞等操作技术要求也比较严格。随着石方施工机械化程度的提高,深孔爆破已开始集中在石方集中、地形较平缓的垭口或深路堑中使用,并获得较好的效果。单位耗药量为 $0.45 \sim 0.75\text{kg}/\text{m}^3$,平均每米钻孔爆落岩石 $11 \sim 20\text{m}^3$ 。因此,在有条件时应尽可能采用这种爆破方法。

3. 微差爆破

两相邻药包或前后排药包以毫秒的时间间隔(一般为 $15 \sim 75\text{ms}$)依次起爆,称为微差爆破,亦称毫秒爆破。多发一次爆破最好采用毫秒雷管。当装药量相等时其优点是:可减振 $1/3 \sim 2/3$;前发药包为后发药包开创了临空面,从而加强了岩石的破碎效果;降低多排孔一次爆破的堆积高度,有利于挖掘机作业;由于逐发或逐排依次爆破,减少了岩石夹制力,可节省炸药 20% ,并可增大孔距,提高每米钻孔的炸落方量。炮孔排列和起爆顺序,根据断面形状和岩性,有如下几种(图 2-2-3-6)。多排孔微差爆破是浅孔深孔爆破发展的方向。

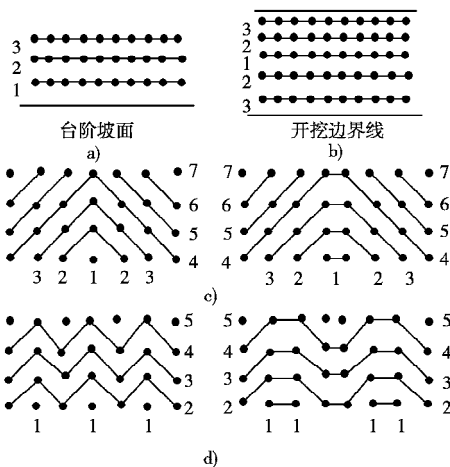


图 2-2-3-6 微差爆破各种起爆网络图(图中数字为起爆顺序)

4. 光面爆破和预裂爆破

光面爆破是在开挖限界的周边,适当排列一定间隔的炮孔,在有侧向临空面的情况下,用控制抵抗线和药量的方法进行爆破,使之形成一个光滑平整的边坡。

预裂爆破是在开挖限界处按适当间隔排列炮孔,在没有侧向临空面和最小抵抗线的情况下,用控制药量的方法,预先炸出一条裂缝,使拟爆体与山体分开,作为隔振减振带,起保护和减弱开挖限界以外山体或建筑物的地震破坏作用,光面与预裂爆破后,在边坡壁上通常均留下半个炮孔的痕迹。

进行光面或预裂爆破时,应严格保持炮孔在同一平面内,炮孔间距 a 和抵抗线 W 之比应小于 0.8 。装药量应控制适当,并采用合理的药包结构,通常使炮孔直径大于药卷直径 $1 \sim 2$ 倍,或采用间隔药包、间隔钻孔装药。预裂炮的起爆时间在主炮之前,光面炮在主炮之后,其间隔时间可取 $25 \sim 50\text{ms}$ 。同一排孔必须同时起爆,最好用传爆线起爆,否则会影响爆破质量。光面和预裂爆破的主要设计参数,归纳如下:

光面炮眼间距 $a_1 = 16d$

预裂炮眼间距 $a_2 = (8 \sim 12)d$

光面炮眼抵抗线 $W = 1.33a_1 = 21.5d$

装药密度 $q' = 9d^2$

式中 d ——钻孔直径 cm ;

q' ——每米钻孔装药量 kg/m ;

a 、 W 单位与 d 相同。

5. 药壶炮(烘膛炮)

药壶炮是指在深 $2.5 \sim 3.0\text{m}$ 以上的炮眼底部用少量炸药经一次或多次烘膛,使眼底成葫芦形,将炸药集中装入药壶中进行爆破,如图 2-2-3-7 所示。此法主要用于露天爆破,其使用条件是:岩石应在 XI 级以下,不含水分,阶梯高度(H)小于 $10 \sim 20\text{m}$,自然地面坡度在 70° 左右。如果自然地面坡度较缓,一般先用钢钎炮切脚,炸出台阶后再使用。经验证明,药壶炮最好用于 VII ~ IX 级岩石,中心挖深 $4 \sim 6\text{m}$,阶梯高度在 7m 以下。装药量可根据药壶体积而定,一般介于 $10 \sim 60\text{kg}$ 之间,最多可超过 100kg 。每次可炸岩石数十方至数百方,是最省工、省药的一种方法。

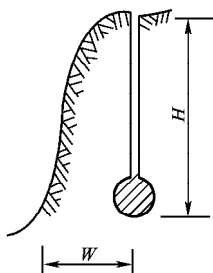


图 2-2-3-7 药壶炮

6. 猫洞炮(蛇穴炮)

猫洞炮系指炮洞直径为 $0.2 \sim 0.5\text{m}$,洞穴成水平或略有倾斜(台眼),深度小于 5m ,用集中药包在炮洞中进行爆破的一种方法,如图 2-2-3-8 所示。其特点是充分利用岩体本身的崩塌作用,能用较浅的炮眼爆破较高的岩体,一般爆破可炸松 $15 \sim 150\text{m}^3$ 。其最佳使用条件是:岩石等级一般为 IX 级以下,最好是 V ~ VII 级,阶梯高度最少应大于眼深的两倍,自然地面坡度不小于 50° ,最好在 70° 左右。由于炮眼直径较大,爆破利用率甚差,故炮眼深度应大于 $1.5 \sim 2.0\text{m}$,不能放孤炮。猫洞炮功效,一般可达 $4 \sim 10\text{m}^3$,单位耗药量在 $0.13 \sim 0.3\text{kg/m}^3$ 之间。在有裂缝的软石和坚石中,阶梯高度大于 4m ,药壶炮药壶不易形成时,采用这种爆破方法,可以获得好的爆破效果。

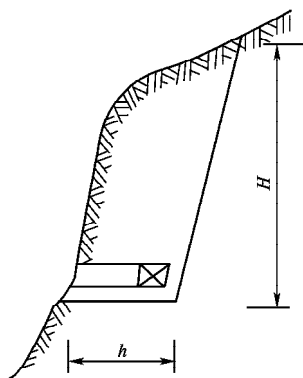


图 2-2-3-8 猫洞炮

7. 洞室炮

为使爆破设计断面内的岩体大量抛掷(抛坍)出路基,减少爆破后的清方工作量,保证路基的稳定性,可根据地形和路基断面形式,采用以下不同性质的洞室炮爆破法。

1) 抛掷爆破

(1) 平坦地形的抛掷爆破(亦称扬弃爆破):自然地形内坡角 $\alpha < 15^\circ$,路基设计断面为拉沟路堑,石质大多是软石时,为使石方大量扬弃到路基两侧,通常采用稳定的加强抛掷爆破。抛掷率为 $55\% \sim 98\%$ ($n = 1.5 \sim 2.2$),一般在 80% 左右。根据铁道兵的经验,当 $n = 2$ 时($E = 83\%$),抛掷 1m^3 岩石的耗药量为 $1.4 \sim 2.2\text{kg}$ 。炸药费用一般占总工程造价的 80% 左右,且爆后对路堑边坡的稳定性影响很大,故在公路工程中很少采用。

(2) 斜坡地形路堑的抛掷爆破:自然地面坡角 α 在 $15^\circ \sim 50^\circ$ 之间,岩石也较松软时,可采

用抛掷爆破。抛掷率一般设计在 60% 左右,根据地面坡度的不同,爆破作用指数在 1~1.5 之间单位耗药量大于 1kg,炸药费用占整个工程造价 60% 以上,对路堑边坡的稳定性有较大的影响。

2) 斜坡地形半路堑的抛坍爆破

自然地面坡度大于 30°,地形地质条件均较复杂,临空面大时,宜采用这种爆破方法。在陡坡地段,岩石只要充分被破碎,就可以利用岩石本身的自重坍滑出路基,提高爆破效果。

抛坍爆破的抛坍率一般为 45%~85%,单位耗药量为 0.1~0.42kg/m³。炸药费用不到总造价的 40%,而功效可达 6~15m³/工日,比小炮功效高 2~4 倍,总的路基工程造价可降低 16% 以上,爆后路堑边坡稳定。

3) 多面临空地形爆破

路线通过波浪起伏的峡谷或鸡爪地形地段,横切山包或山嘴时,临空面较多,有利于爆破。由于山包或山嘴的石质,一般较完整,岩体坚固完整,因此爆破后可获得较陡的稳定边坡。多面临空地形的爆破抛掷率(抛坍率)约为 60%~80%,单位耗药量为 0.2~0.8kg/m³,工效为 10~20m³/工日,最高可达 70m³/工日,比小炮高 6~15 倍或更多,但工程造价只比小炮减少约 5%。

4) 定向爆破

这是利用爆能将大量土石方按照指定的方向,搬移到一定的位置并堆积成路堤的一种爆破施工方法。它减少了挖、装、运、夯等工序,生产率极高。在公路工程中用于以借为填或移挖作填地段,特别是在深挖高填相间、工程量大的鸡爪形地区,采用定向爆破,一次可形成百米以至数百米路基。

5) 松动爆破

大型松动爆破主要用于不宜采用抛掷爆破的次坚石、软石路基,或配合机械化清方的地段。在坚石中,宜采用深孔炮。

大型洞室爆破威力大、效率高,可以缩短工期,节约劳力,技术安全可靠,但使用不当,则可能破坏山体平衡,造成路基后遗病害。使用时必须进行现场调查,摸清当地的工程地质条件及周围环境,通过技术经济比较来确定。

不宜进行大爆破的工程地质条件是:

- (1) 岩堆、滑坡体,坡顶上部堆积的覆盖层较厚而倾向路基的不良地区。
- (2) 断层破碎带侵入体与围岩的接触带、节理破碎带,以及具有引起坍方的地质软弱面的地段。
- (3) 当软弱面通过路基的后方或下方时,爆破不易形成路基的地段。
- (4) 层理面、错动面以及其他构造软弱面,倾向路基,而其倾角大于临界倾角(B_0),并小于 50°,层面胶结不良的地段。
- (5) 山脊较薄,山后有良好临空面,不逸出半径可使整个山头破坏,引起坍方的地段。
- (6) 多组软弱面形成坍方体的地段。

此外,对周围环境亦需考虑,如有良田、果树、重要建筑物等,在无法确保其安全时,不宜采用大爆破。

三、选用各种爆破方法的基本原则

为了充分发挥各种爆破方法的特点,利用微地形和地质的客观条件,在路基石方工程中采

用综合爆破,选用各种爆破方法,组织炮群,有计划有步骤地爆破拟开挖的石方是十分重要的。为此,石方工程的施工方案应按以下原则与步骤进行。

(1)全面规划,重点设计。对拟爆破的路基工程,应根据石方集中的程度、微地形的变化、路基设计断面的形状,以及地质条件所能允许的爆破规模,结合各种爆破方法的特点,进行全面规划,确定哪些地段采用洞室炮、深孔炮,哪些地段采用小炮群(一般,中心挖深大于6m时,可采用洞室炮,小于6m可采用小炮群),以及各段的开挖顺序。然后对石方集中的点进行重点设计。在生产中,一般可按照爆破方案选择表进行(表2-2-3-1)。

爆破方案选择表

表 2-2-3-1

编号	起讫桩号	中心挖深(m)	爆破地段长度(m)	自然坡度(°)	断面石方量(m ³)	爆破类型	备注
1	K1+500~K1+600	3~5	100	39~45	3000	小炮群	软石
2	K3+700~K3+900	6~9	200	50~70	7000	抛坍爆破炮群	坚石
3	K4+100~K4+140	12	40	40	4000	多面临空面地形爆破	次坚石节理不发达

(2)由路基面开挖,形成高阶梯。为了充分利用岩石的崩塌作用,开挖应从路基面开始,逐渐形成高阶梯,为深孔炮、药壶炮或猫洞炮创造有利条件。

(3)综合利用小炮群,分段分批爆破。一般有以下几种方法:

①在半挖半填的斜坡地形,采用一字排炮,对自然坡度较缓的地形,应先用钢钎炮切脚,改造地形后,再采用一字排炮。

②路线横切小山包时,采用钢钎炮三面切脚,改造地形后,再在中间用药壶爆破。

③遇路基加宽,阶梯较高的地形,采用上下互相配合的小炮群,如图2-2-3-9所示。

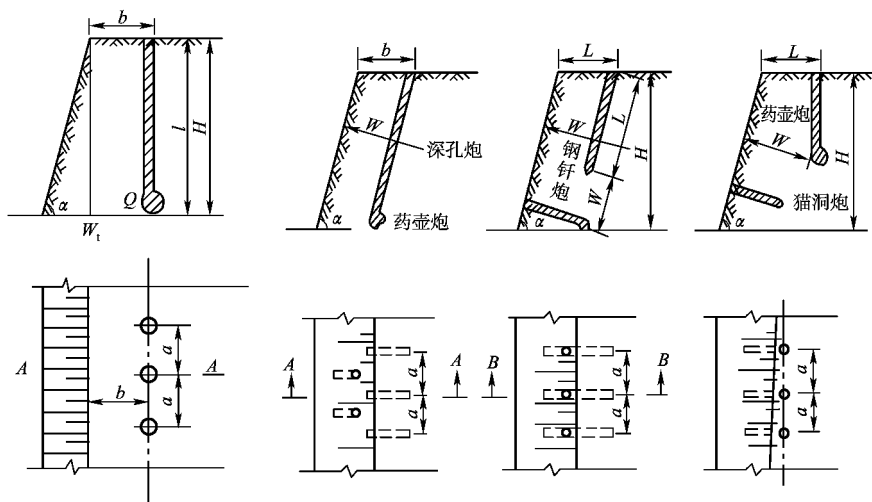


图 2-2-3-9 上下互相配合的小炮群

④对拉沟地堑,采用两头开挖时,可以用竖眼揭盖,平眼搜底的梅花炮,如图2-2-3-10所示。

⑤机械化清方时,如遇坚石,可采用眼深2m以上的钢钎炮,组合成30~40个的多层炮群,或采用深孔炮。在坚硬岩石中,为使岩石破碎的程度满足清方的要求,除调整炮群设计参

数外,还可以采用微差爆破和间隔药包。遇软石或节理发育的次坚石,可用松动爆破开挖。

由上面的介绍可知,根据不同的客观条件,采用不同的爆破方法,可以使工效提高2~10倍,劳动强度也可大大减轻。但由于单位耗药量都比小炮定额高2~4倍以上,因此工程造价的降低并不显著。为了降低工程造价,有条件时可在综合爆破中采用铵油炸药。

虽然综合爆破具有不少优点,但是在快速施工方面仍很不够。目前,特别严重的是导洞掘进和清方这两道工序很慢,一般人工开挖导洞就需要15~30天,爆破后虽有65%左右的岩体被抛掷(抛坍)出路基,但剩下岩体若用人工清方,仍需较长时间。这种两头慢中间快的不协调现象,只有采用机械化打眼和机械化、半机械化清方的办法才能改变。

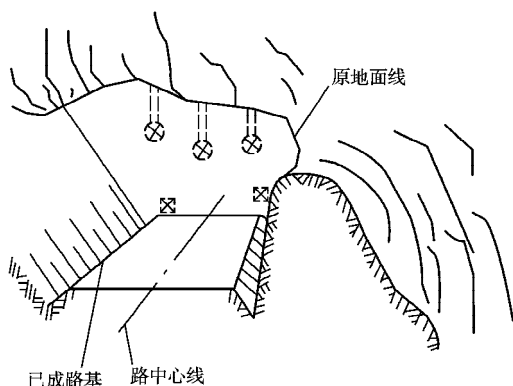


图 2-2-3-10 拉沟路堑使用的梅花形立眼和平眼的混合炮群(炮数可酌情增减)

四、大爆破施工

1. 爆破网路

爆破网路的形式一般有以下几种:一条电爆网路;两条独立电爆网路并联,每条网路具有同样的电阻;一条电爆网路、一条传爆线网路同时使用等。

电爆网路的连接方式,可分为串联、并联和混和联3种。

串联的设计和敷设比较简单,所需总电流少,电线消耗量少。但在网路中有一个电雷管失效,就会使整个网路中断,产生拒爆。为克服这一缺点,在生产中往往采用成对串联的串联线路,如图2-2-3-11a)所示。

并联线路(图2-2-3-11b),每个电雷管有两根端线,并分别集中连在两根主导线上,此时各个雷管的作用互不相干,即使有个别雷管失效,亦不影响其他雷管的正常起爆。但所需总电流大,丢掉一个电雷管不易发现。

混和联是串联和并联的混合使用,它可以是成组的电雷管之间的并联,而组与组之间采用串联,或者与此相反。混和联可以采用较小的电源,有一定的可靠性。在生产中常采用成对的并串联线路,如图2-2-3-11c)所示。该线路接线简单,计算和检查容易,导线消耗较少,电源较少时亦适于采用,因此一般认为是一种比较合理的形式。但也应注意并联的两个电雷管中若

有一个失效,则通过另一个雷管的电流要比正常电流大一倍,该雷管点燃时间就会减少而提前起爆,这就容易使其他药包发生拒爆。为确保炮群各药包准爆,最好采用两条独立的成对串联的线路并联,或采用电爆网路传爆线网络混合使用。

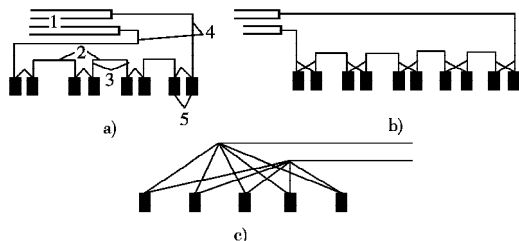


图 2-2-3-11 纵向分集药包 W 折线图及纵向布置图

a)成对的单一串联 b)并联 c)并串联

1-主导线 2-区域线 3-脚线 4-连接线 5-雷管

2. 导洞药室的测量定位

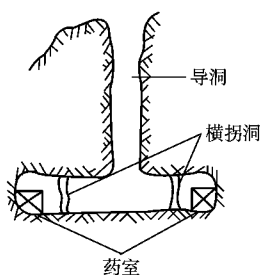
按照设计图纸的要求,准确地将导洞进口位置具体确定在工地的桩位上,对于爆破效果的影

响很大,如果偏差大,将达不到预期目的。

在公路爆破中,导洞药室一般成“L”或“T”形,由导洞、横拐洞和药室3部分组成。导洞有竖直导洞(竖井)和水平导洞(平洞)两种,药室设在横拐洞的端部,如图2-2-3-12所示。

在进行导洞药室定位时,应以路基设计中心线为基准线,以地面现有中心桩为基准桩。

首先确定导洞进口桩位,并打中心桩。对于水平导洞,除确定进洞桩位外,还必须依设计要求找出导洞方向和基准线的夹角,并在适当的地方打下方向桩。为避免方向桩、中心桩等丢失,应相应地打上护桩。图2-2-3-12 药设在横拐洞的端部
进行定位测量后,应在洞口钉立指示牌,用示意图标明导洞断面、长度、横拐洞长度、药室尺寸及水平标准等。在开挖过程中应及时检查校正,以保证导洞药室的开挖符合设计要求。



3. 导洞药室开挖

1) 炮眼的布置

导洞药室的开挖,一般是用炮眼法掘进。

导洞的断面尺寸,视地质情况和导洞深度而变化,一般为 $1.0 \times 1.2 \sim 1.5 \times 1.8 \text{m}^2$ 。对于风化严重、岩石较破碎的洞口地段,尺寸还要大些。

导洞开挖时,炮眼的布置数量视石质情况而有增减,坚石一般布置7~9个,次坚石一般布置5~6个,松石一般布置3~4个。炮眼深度0.6~0.8m,断面大的可以深到1~1.2m,或者更深,炮眼依其作用和位置分为掏槽眼、边眼。

掏槽眼布置在导洞断面的中央部分,眼口距离一般为40cm,炮眼与开挖面倾斜角为 $70^\circ \sim 80^\circ$,使炮眼向断面中心会聚。一般炮眼相距10cm左右,掏槽眼的作用是为边眼爆破创造临空面。

边眼布置在导洞断面四周,深度一致,爆破顺序是掏槽眼在先,边眼在后,见图2-2-3-13。

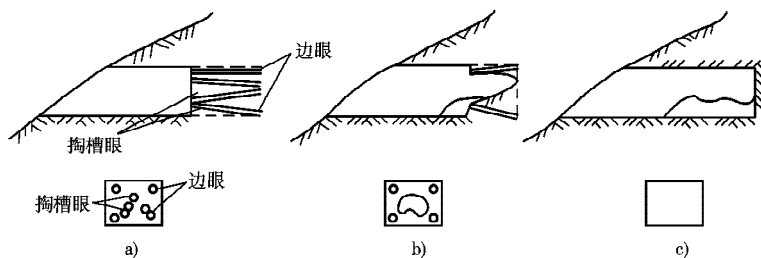


图 2-2-3-13

a)在纵剖面和开挖面上的炮眼布置 b)掏槽眼先爆后的临空面示意 c)边角爆破后导洞全断面挖成

2) 炮眼装药与堵塞

炮眼内的装药量,应视炮眼深度和石质情况及炮眼的作用而定。施工中一般是根据炮眼深度确定装药量,当深度为0.8~1.0m时,装药长度约为眼深的 $2/5 \sim 1/2$,当眼深为0.6~0.7m时,装药长度约为眼深的 $1/2 \sim 2/3$ 。由于掏槽眼的作用是创造临空面,故药量应多一些,但装药长度不得过长,而应当留出不少于眼深 $1/2$ 的堵塞长度,否则容易发生冲天炮。

装药前应清除炮眼内的石粉和泥浆等物,对于积水,亦应掏干。为防止炸药受潮,还应垫上油纸,药卷放入后应用炮棍轻轻挤压,起爆药卷应最后放入,并要特别小心,不能撞击,也不能挤压。

起爆方式,如导洞不深于3m,可用火花起爆;再深时,宜用电力起爆,或用飞火点火法。

炮眼的堵塞材料,一般为干细砂土、砂、粘土等,最好以一份粘土、三份砂(粗砂)在最佳含水量下混合而成的堵塞料。堵塞时对紧贴起爆药卷的堵塞物不要捣压,以防振动雷管引起爆炸,其余的堵塞物要轻轻捣实,但要注意防止捣坏导火线或雷管脚线。

在导洞掘进过程中,每次爆破后,首先应检查有无瞎眼炮,并作相应处理。在导洞较深的情况下,应进行人工通风,以迅速排除烟尘和有毒气体,然后处理洞壁危石,出渣后就可继续掘进,直到达到设计要求。

对于有经验的炮工,在IX级以下的岩石掘挖导洞,也成功地采用了“单炮”掘进的方法(采用猫洞炮药壶炮),工效较高。

4. 装药、堵塞和爆破

1) 起爆体的制作

为了保证洞室炮中全部炸药能迅速准确地完成爆炸反应,应当用烈性炸药制作起爆体(起炮药包)。起炮体的药量多少,视洞室中总药量多少而不同,一般为3~20kg。根据经验,若以铵洞炸药为基本炸药,则每500kg须配置1~2个3kg2号硝铵炸药的起爆体。在生产中,每个洞室中配制的起爆体,一般不得超过4个。

对于药量不大的药室,起爆体可用纸包装制作,而药量较大的洞室炮,则应当用木盒制作起爆体。其制作过程是在盒内装入松散的起爆药,并在其中央放入经测试符合要求的雷管束。为了防止可能拉动雷管脚线而带动雷管,或损坏雷管脚线,应把脚线绕在一根固定在起爆体外壳上的小木棍上,如图2-2-3-14所示。

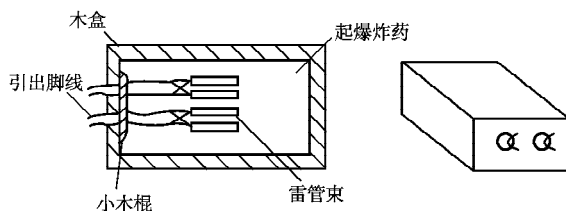


图 2-2-3-14

2) 装药

装药前应最后一次检查导洞药室内有无残留瞎炮和丢失的雷管,并予以清除,确保装药过程的安全。以铵油炸药为基本炸药的装药过程为:

- (1)在药室内垫上一层水泥纸袋。
- (2)装入铵油炸药 $2/3 \sim 1/2$ (堆成马蹄形)。
- (3)然后装入 $1/3 \sim 1/2$ 的起爆药(2号硝铵炸药)。
- (4)再在上面放入起爆体。
- (5)在起爆体上再盖起爆炸药。
- (6)最后把余下的铵油炸药全部放入。

装药的基本要求是:药室四周都是基本炸药,内层为起爆炸药,核心为起爆体,而不能把起爆炸药和基本炸药混起来堆放。炸药的密度应各处相同。装药形状应尽可能集中,避免平铺分散。当药室不规则时,可用石块码放规则后再装药。起爆体多时,应将药按圆形布置在药室

中心。

雷管脚线引出后,和外面电路接线要准确,并用竹片或其他材料予以包裹,以免损坏。

3)堵塞、接线和爆破

堵塞时,应先在离炸药堆外沿 10~20cm 外垒一堵石墙,封闭药堆构成药室;然后用土堵塞填拐洞(此时不能用力夯实,直到离洞室 2m 才正式进行夯实);以后可一层石块一层土分层回填。在回填土和夯实过程中应注意保护电爆线路。应设专人检查电路及量测电阻值,做到随堵塞、随量测、随保护。当堵塞完成后,应量测洞室的总电阻,然后把该洞室各导线接成加重路(短路),等待接洞室联线或主导线,以确保安全。

所有线路和主导线的连接,必须在最后进行。一切非有关人员必须撤离现场,才能接主导线。主导线连接完成后,应测定全线路的总电阻。总电阻应符合设计要求,否则就应检查原因并作相应处理。

起爆前,还应检查起爆电源的电压,如果符合要求,即可发出起爆信号,通知警戒人员开始起爆。起爆后 15min,进行全面技术检查,无问题时再发出解除警报信号。如有瞎炮,必须小心谨慎,由专人负责指挥处理。洞室炮一般只能沿着导洞小心掏取堵塞物,找出电线重新起爆,否则应取出起爆体。对于硝铵炸药的中、小炮可用灌水使炸药失效等较安全的方法处理。

• 第三节 爆破施工易出现的问题及处治 •

一、施工中应注意的问题

爆破法开挖时,应注意如下问题:

(1)爆破区管线调查。

(2)需用爆破法开挖的地段,必须查明空中缆线及地下管线的具体位置以确保其安全。石方爆破开挖必须严格按如下程序进行:施爆区管线调查→炮位设计与设计审批→配备专业施爆人员→清除施爆区覆盖层和强风化岩石→钻孔→爆破器材检查与试验→炮孔(或坑道、药室)检查与废渣清除→装药并安装引爆器材→布置安全岗和施爆区安全人员→炮孔堵塞→撤离施爆区和飞石、强地震波影响区内的人、畜→起爆→清除瞎炮→解除警戒、测定爆破效果(包括飞石、地震波对施爆区内外构造物造成的损伤及造成的损失)。

(3)施爆及排水:进行爆破作业时必须由经过专业培训并取得爆破证书的专业人员施爆。要注意开挖区的施工排水,在纵向和横向形成坡面开挖面,以确保爆破出的石料不受积水浸泡。

(4)边坡清刷:

①石质挖方边坡应顺直、圆滑、大面平整。边坡上不得有松石、危石。

②挖方边坡应从开挖面往下分级清刷边坡,下挖 2~3m 时,应对新开挖边坡刷坡,对于软质岩石边坡可用人工或机械清刷,对于坚石和次坚石,可使用炮眼法、裸露药包法爆破清刷边坡,同时清除危石、松石。清刷后的石质路堑边坡不应陡于设计规定。

③石质路堑边坡如因过量超挖而影响上部边坡岩体稳定时,应用浆砌片石补砌超挖的坑槽。

(5)路床整修:石质路堑路床底高程应符合设计要求,开挖后的路床基岩标高与设计标高之差应符合规范要求。如过高,应凿平;过低,应用开挖的石屑或灰土碎石填平并碾压密实。

二、瞎炮处理

点火后未爆炸的炮为瞎炮。瞎炮不但浪费炸药和材料,影响施工进度,而且严重地影响安全生产。因此,必须采取一切有效的措施防止产生瞎炮。一旦出现瞎炮,应停止瞎炮附近的所有其他工作,由原施工人员参加处理,采取措施安全排除,其方法为:

对大爆破,应找出线头接上电源重新起爆,或沿导洞小心掏取堵塞物取出起爆体,或用水灌浸药室使炸药失效后清除。

对中小炮,可在距瞎炮的最近距离不 0.6m 处,另行打眼爆破;当炮眼或装药不深时,也可用裸露药包爆破。

本章小结

(1)为了爆破某一岩体,在其中或表面放置的一定数量的炸药称为药包。按药包的形状或集结程度不同,可以分为集中药包、延长药包和分集药包3种。

(2)爆破按破坏程度的不同可分为压缩区、抛掷区、松动区、振动区等4个爆破作用区。

(3)影响爆破效果的因素主要有炸药的威力、炸药用量、地形条件、地质条件和其他因素等。

(4)炸药的性质用主要有炸药的威力、炸药的敏感度和炸药的安定性等指标。

(5)雷管按照引爆方式分为火雷管和电雷管两种。电雷管又分为即发、延期及毫秒雷管。雷管通常使用6号和8号两种。

(6)爆破方法可分为钢钎炮、深孔爆破、微差爆破、光面爆破和预裂爆破、药壶炮(烘膛炮)、猫洞炮(蛇穴炮)和洞室炮等。

(7)爆破法开挖时,应注意爆破区管线调查、爆破开挖必须严格按程序进行、施爆及排水、边坡清刷、路床整修等问题。

思考题与习题

1. 爆破漏斗的形状和大小与哪些因素有关?
2. 道路工程中常用的主要炸药有哪些?
3. 炸药的起爆方法有哪几种?
4. 爆破作业的施工程序有哪些?
5. 不宜进行大爆破的工程地质条件是什么?
6. 瞎炮处理的方法有哪些?
7. 工程中选用各种爆破方法的基本原则有哪些?

第一章

绪论

教学要求

- 1. 按照《公路工程技术标准》中规定 ,描述路面面层类型以及各自的适用范围。
- 2. 描述在路面设计中 ,就路面结构力学特性划分的 3 种路面面层类型 ;描述路面结构分层的顺序 ,特别是路面结构分层中各层次的功能。

• 第一节 路面面层类型的选用 •

《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)要求路面面层类型的选用应符合表 3-1-1-1 的规定。

路面面层类型及适用范围 表 3-1-1-1

面层类型	适 用 范 围
沥青混凝土	高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路
水泥混凝土	高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路
沥青贯入、沥青碎石、沥青表面处治	三级公路、四级公路
砂石路面	四级公路

在路面设计中 ,从路面结构的力学特性出发 ,将路面面层分为下述 3 种类型 :

1. 柔性路面

柔性路面的整体结构刚度较小 ,在车轮荷载作用下产生较大的弯沉变形 ,路面结构本身的抗弯拉强度较低 ,它通过各结构层将荷载传递给路基 ,使路基承受较大的单位压力。柔性路面主要靠抗压、抗剪切强度来承受车轮荷载作用。它主要包括各类沥青面层、块石面层、砂石路面中的级配碎(砾)石、水结碎石、填隙碎石及其他粒料路面面层。另外 ,各种未经处理的粒料基层(如天然砂砾)叫做柔性路面基层(简称柔性基层)。

2. 刚性路面

刚性路面目前主要指用水泥混凝土作面层的路面结构。水泥混凝土的强度高 ,与其他筑路材料相比 ,它的抗弯拉强度高 ,并且有较高的弹性模量 ,所以呈现出较大的刚性。在车轮荷载作用下 ,水泥混凝土结构层处于板体工作状态 ,竖向弯沉较小 ,主要靠水泥混凝土板的抗弯拉强度承受车轮荷载 ,通过板体的扩散分布作用 ,传递给路基的单位压力较柔性路面小得多。另外 ,用水泥混凝土作路面基层叫做刚性路面基层(简称刚性基层)。

3. 半刚性路面

用水泥、石灰等无机结合料处治的土、或处治碎(砾)石及含有水硬性结合料的工业废渣,修筑成的路面基层,在前期具有柔性路面的力学特性,后期的强度和刚度均有较大幅度的增长,但最终的强度和刚度仍远小于水泥混凝土。由于这种材料的实际刚性介于柔性及刚性之间,因此把这种基层叫做半刚性路面基层(简称半刚性基层)。而把在半刚性基层上铺筑的沥青路面面层也统称为半刚性路面。

• 第二节 路面结构分层及功能 •

行车荷载和自然因素对路面的影响,随深度的增加而逐渐减弱。因此,对路面材料的强度、抗变形能力和稳定性的要求,也随深度的增加而逐渐降低。为了适应这一特点,路面结构通常是分层铺筑的,即按照使用的要求、受力状况、土基支承条件和自然因素影响程度的不同,分成若干层次,见图 3-1-1-1。路面结构模型图中的分层排列顺序是一定的,但按照不同的公路等级及通行交通量,沿线分段典型断面上的路基(含地基)的土质、水温状况等条件,结合考虑对各个层次功能的具体要求及层次间的配合,组合而成设计施工中的路面结构。下面分别介绍各结构分层的作用、目前常用的材料及对该结构层的要求等。

1. 面层

面层是直接承受车轮荷载反复作用和自然因素影响的结构层。它承受较大的行车荷载的垂直力、水平力和冲击振动力的作用,同时还受到降水的侵蚀、气温变化及风化的影响。因此,面层应具备较高的结构强度和抗变形能力,较好的水稳定性和温度稳定性,而且应当耐磨、不透水(目前我国高等级公路所采用的结构特点),其表面还应有良好的抗滑性和平整度。

修筑面层的所用材料主要有:沥青、水泥、碎(砾)石、块石、砂、石屑、矿粉、石灰、粘土及其他粒料等。根据公路的等级和对所用的路面功能要求,经济合理地选择具体的所用材料。修筑的路面面层类型见表 3-1-1-1。其中的砂石路面是以砂、石等为骨料、以土、水、灰为结合料,通过一定的配比铺筑而成的路面通称,包括级配碎(砾)石路面、泥结碎(砾)石路面、水结碎石路面、填隙碎石路面及其他粒料路面。

用沥青混合料做路面的面层有时分两层或三层铺筑,自上而下可分别称为表面层、下面层或表面层、中面层、下面层。如高速公路沥青面层总厚度达 18~20cm,可分成上、中、下 3 层铺筑,并根据各分层的要求采用不同的级配组成。水泥混凝土路面有时也可分为上下两层铺筑,分别采用不同标号的水泥等材料。在水泥混凝土路面上加铺 5cm 厚的沥青混凝土这样的复合式面层结构也是常见的。但是,砂石路面面层上所铺的 2~3cm 厚的磨耗层和 1cm 厚的保护层,以及厚度不超过 1cm 的简易沥青表面处治层,不能作为一个独立的层次,应看作是面层的一部分。

2. 联结层

当一、二级公路有时从经济角度考虑,在满足力学指标的前提下,设法减薄沥青路面的面

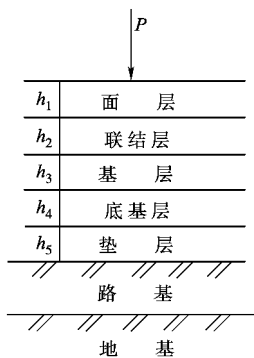


图 3-1-1-1 路面结构(分层)模型图

层厚度(因为面层的造价相对其他层次比较昂贵),尽管车轮荷载通过面层应力扩散,但传递到下面基层的垂直应力仍然很大,有时往往超过了基层的极限应力。同时由于面层较薄,行车过程中起制动引起的较大水平力直接作用在面层上,尽管通过面层的扩散传递,但此时对基层仍有影响作用。另外目前常用在沥青混凝土面层下的是无机结合料稳定材料所做的(如水泥稳定粒料等)基层,上下两层层面的接触形式对水平力的传递不是十分良好。因此,此时可以在面层与基层之间加设一个联结过渡的层次,这就称为联结层。

联结层目前常用的是沥青碎石结构形式。

3. 基层

基层主要承受由面层或联结层传来的车轮荷载的垂直力,并将其扩散到下面的垫层或路基中去。对于沥青类路面结构而言,基层是路面结构中的承重层,它应有足够的强度和刚度,并有良好的扩散应力的能力。基层遭受自然因素的影响虽然比面层小,但仍然有可能经受地下水和通过面层渗入的雨水浸湿,所以基层结构应具有足够的水稳定性。尤其是水泥混凝土面层下的基层,由于水泥混凝土面板板块缝隙中渗入的水,对其下的基层浸湿危害极大,因此,基层的水稳定性尤为重要。基层表面虽不直接与车轮接触,但为了保证面层的平整性和面层铺筑厚度的均匀性,其表面应有较好的平整度。

修筑基层的材料主要有各种无机结合料(如石灰、水泥等)稳定土(包括细粒土、中和粗粒的砂砾石等)、无机结合料稳定的各种工业废渣(如煤渣、矿渣、石灰渣及粉煤灰等)、贫水泥混凝土、天然砂砾、各种碎石或砾石等,常用的基层结构见表 3-1-1-2。

各种常用的基层、底基层类型

表 3-1-1-2

有机结合料稳定类		包括热拌沥青碎石或乳化沥青碎石混合料、沥青贯入碎石等	
无机结合料稳定类半刚性基层	水泥稳定类		包括水泥稳定砂粒、碎石、砂砾土、碎石土、未筛碎石、石屑、石渣、高炉矿渣、钢渣等
	石灰稳定类		包括石灰稳定细粒土、天然砂砾土、天然碎石土以及用石灰稳定级配砂砾、级配碎石和矿渣等
	工业废渣稳定类	石灰粉煤灰类	包括石灰粉煤灰(二灰)、石灰粉煤灰土(二灰土)、二灰砂、二灰砂砾、二灰碎石、二灰矿渣等
		石灰煤渣类	包括石灰煤渣、石灰煤渣土、石灰煤渣碎石、石灰煤渣砂砾等
		水泥煤渣类	包括水泥粉煤灰稳定砂砾、碎石及砂等
粒料类嵌锁型级配型	嵌锁型		包括泥结碎石、泥灰结碎石、填隙碎石等
	级配型		包括级配碎石、级配砾石、级配砂砾等

4. 底基层

高等级公路的基层厚度根据力学计算往往需要设计的比较厚(约大于 40cm),而目前使用的碾压机具的压实厚度以不超过 20cm 为宜,所以需要分层;同时从不同层位功能要求的差异,以及技术和经济上的结合考虑,即当基层设计和施工中需要分为两层时,其上层仍称为基层,下层称为底基层。基层与底基层可以采用不同的结构形式,如目前常用的水泥稳定粒料基层和石灰稳定土底基层等,也可以用不同质量的材料填筑,相对而言,底基层材料质量的要求比基层的要求较低。

当基层或底基层较厚,需要分两层施工时,可分别称为上基层、下基层,或上底基层、下底基层。

为了保护路面面层的边缘,铺筑时基层宽度每侧宜比面层宽出 25cm,底基层每侧宜比基层宽出 15cm。

5. 垫层

在特殊需要的路段,设置在基层或底基层与路基之间,起着稳定加强路基、改善基层或底基层工作条件作用的结构层,总称为垫层。所谓特殊需要是指垫层往往是为隔水、排水、隔热、防冻等不同目的而设置的,通常设在路基处于潮湿和过湿以及有冰冻路基翻浆的路段。在地下水位较高地段铺设的能起隔水作用的垫层称为隔离层,在冰冻较深地段铺设的能起防冻作用的垫层称为防冻层。此外,垫层还能扩散由基层传下来的应力,以减小路基的应力和变形,而且它也能阻止路基土挤入基层中,从而保证了基层的结构稳定性。

修筑垫层所用的材料,强度不一定要求很高,但水稳定性和隔热性要好。常用材料有两类:一类是用松散粒料,如砂、砾石等粗粒料组成的透水性垫层;另一类是整体性材料,如石灰和水泥稳定粒料等组成的稳定性垫层。

高等级公路的排水垫层应铺至路基同宽,以利路面结构排水。一般情况下,垫层宽度应比底基层每侧至少宽出 25cm。

应当指出,不是任何路面结构都需要上述的几个层次,应根据具体情况而设定,如地基良好路段的四级公路,可能只有面层和基层所组成的路面结构。而且,层次的划分也不是一成不变的,例如在道路改建中,旧路面的面层则可成为新路面的基层。

本章小结

(1)《标准》中规定的路面面层类型分别有:沥青混凝土、水泥混凝土、沥青贯入、沥青碎石、沥青表面处治、砂石路面等,它们都有各自的适用范围。

(2)在路面设计中,就路面结构力学特性可划分为柔性路面、刚性路面和半刚性路面 3 类。

(3)路面结构分层从上而下的顺序分别为面层、联结层、基层、底基层和垫层,设计中应根据具体情况而设定。

(4)路面结构的各结构层分别有各自的作用和功能,从满足技术和经济要求出发,同时有各自的选用材料。

思考题与习题

1. 常用的公路路面面层有哪些?它们各自的适用范围是什么?
2. 就路面结构力学特性可将公路路面划分为哪 3 类?
3. 从路基向上路面结构分层的顺序是什么?
4. 路面结构层中的基层、底基层目前常用的有哪 3 类?各自包括哪些范围?

第二章

路面设计有关资料和参数的确定

教学要求

- 1. 按照《公路工程技术标准》中的规定 ,解释标准轴载的概念 ,描述轴次换算的方法 ;
- 2. 解释应力工作区的概念 ,分析确定该区的作用 ;
- 3. 进行路面结构设计中所需路基 (含土基)回弹模量的确定 ,描述路面结构层中各层材料设计参数的规定和确定方法。

• 第一节 行 车 荷 载 •

一、标准轴载和轴次换算方法

公路上行驶的车辆种类繁多 ,不同车型和不同作用次数对路面影响不同 ,为方便路面设计 ,需将不同车型组合而成的混合交通量 ,以某种统一轴载为准 ,换算成一定的当量轴次。这种统一的轴载 ,称为标准轴载。

《标准》规定 :路面设计标准轴载为双轮组单轴 100kN ,用 BZZ—100 表示。标准轴载的计算参数按表 3-1-2-1 确定。

标准轴次计算参数 表 3-1-2-1

标准轴载	后轴载 P (kN)	轮胎接地压强 p (MPa)	单轮传压面当量圆直径 d (cm)	两轮中心距 (cm)
BZZ—100	100	0.7	21.3	1.5d

《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—1997)中规定 :凡轴载大于 25kN 的各级轴载 P_i (包括车辆的前轴和后轴)的作用次数均应换算成标准轴载 P 的当量作用次数(简称当量轴次)。

《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012—94)中规定 :对于单轴载大于 40kN ,以实际作用次数和轴重计 ,对于双轴载总重大于 80kN ,以双后轴经过的作用次数和双轴总重计。同样各级轴载 P_i 的作用次数均应换算成标准轴载 P 的当量作用次数(简称当量轴次)。

1. 换算原则

当把混合交通量中的各级轴载换算成标准轴载时 ,为了保证换算前与换算后的轴载对路面的作用效果相同 ,应该遵循规定的等效原则。

等效原则是以某一种路面结构在不同轴载作用下达到相同的损坏程度为根据的。这是一个很复杂的关系,通常是通过试验路段的观测来确定。它包括两方面的含义:第一,对于同一种路面结构,若一种车轮荷载作用了 n_1 次,使路面达到极限破损状态,而另一种车轮荷载作用了 n_2 次,使路面达到了同样的极限破损状态,则这两种车轮荷载的作用次数 n_1 和 n_2 被称做是等效的。第二,对于同一交通组合(混合交通量),通过等效换算后,则不论按哪种车轮荷载进行路面厚度计算,得到的结果均是相同的。

目前公路沥青路面规定应遵循弯沉等效或拉应力等效原则进行换算。而公路水泥混凝土路面则规定应依据等效疲劳损坏原则进行换算。

2. 换算方法

(1) 沥青路面设计中,当采用路表设计弯沉值作为指标及沥青层层底拉应力验算时,凡轴载大于 25kN 的各级轴载(包括车辆的前后轴)的作用次数均应按式换算成标准轴载 P 的当量作用次数 N 。

$$N = \sum_{i=1}^K C_1 \cdot C_2 n_i \left(\frac{P_i}{P} \right)^{4.35} \quad (3-1-2-1)$$

式中 K ——被换算车型的种数;

N ——标准轴载的当量轴次,次/日;

n_i ——被换算车型的各级轴载作用次数,次/日;

P ——标准轴载, kN;

P_i ——被换算车型的各级轴载, kN;

C_1 ——轴数系数,当轴间距大于 3m 时,应按单独的一个轴载计算,此时 $C_1 = m$,当轴间距小于 3m 时,按双轴或多轴计算,此时 $C_1 = 1 + 1.2(m - 1)$, m 为轴数;

C_2 ——轮组系数,单轮组为 6.4,双轮组为 1,四轮组为 0.38。

沥青路面设计中,当进行半刚性基层层底拉应力验算时,凡轴载大于 50kN 的各级轴载(包括车辆的前后轴) P_i 的作用次数 n_i 均应按式换算成标准轴载 P 的当量作用次数 N' 。

$$N' = \sum_{i=1}^K C'_1 \cdot C'_2 n_i \left(\frac{P_i}{P} \right)^8 \quad (3-1-2-2)$$

式中 C'_1 ——轴数系数,当轴间距小于 3m 时, $C'_1 = 1 + 2(m - 1)$;

C'_2 ——轮组系数,单轮组为 18.5,双轮组为 1,四轮组为 0.09。

上述轴载换算公式,仅适用于单轴轴载小于 130kN 的各种车型的轴载换算。

(2) 水泥混凝土路面设计中,采用疲劳断裂为标准建立的疲劳方程,可以推导出产生等效疲劳损坏时的如下轴载换算公式:

$$N_s = \sum_{i=1}^n \alpha_i N_i (P_i / 100)^{16} \quad (3-1-2-3)$$

式中 N_s ——标准轴载的当量轴次,次/日;

P_i ——各级轴载单轴重或双轴总重, kN,当单轴重小于或等于 40kN 和双轴重小于或等于 80kN 时,可略去不计;

α_i ——轴数系数,单轴时 $\alpha_i = 1$,双轴时 $\alpha_i = 1.46 \times 10^{-5} P_i^{-0.3767}$;

N_i ——各级轴载的作用次数,次/日。

在具体进行轴次换算时,各种主要汽车路面设计使用参数可参考表 3-1-2-2。

路面设计用汽车参数 表 3-1-2-2

序号	汽车型号	总重(kN)	载重(kN)	前轴重(kN)	后轴重(kN)	后轴数	轮组数	轴距(cm)	出产国
1	解放 CA10B	80.25	40.00	19.40	60.85	1	双		中国
2	解放 CA15	91.35	50.00	20.97	70.38	1	双		中国
3	解放 CA30A	103.00	46.50	29.50	2×36.75	2	双		中国
4	解放 CA50	92.90	50.00	28.70	68.20	1	双		中国
5	解放 340	78.70	36.60	22.10	56.60	1	双		中国
6	解放 390	105.15	60.15	35.00	70.15	1	双		中国
7	东风 EQ090	92.90	50.00	23.70	60.20	1	双		中国
8	黄河 JN150	150.60	82.60	49.00	101.60	1	双		中国
9	黄河 JN162	174.50	100.00	59.50	115.00	1	双		中国
10	黄河 JN162A	178.50	100.00	62.28	116.22	1	双		中国
11	黄河 JN253	187.50	100.00	55.00	2×66.00	2	双		中国
12	黄河 JN360	270.00	150.00	50.00	2×110.0	2	双		中国
13	黄河 QD351	145.65	70.00	48.50	97.15	1	双		中国
14	延安 SX161	237.10	135.00	54.64	2×91.25	2	双	135.0	中国
15	长征 XD160	213.00	120.00	42.60	2×85.20	2	双		中国
16	长征 XD250	189.00	100.00	37.80	2×72.60	2	双		中国
17	长征 XD980	182.40	100.00	37.10	2×72.65	2	双	122.0	中国
18	长征 CZ361	229.00	120.00	47.60	2×90.7	2	双	132.0	中国
19	交通 SH141	80.65	43.25	25.55	55.10	1	双		中国
20	交通 SH361	280.00	150.00	60.00	2×110.0	2	双	130.0	中国
21	南阳 351	146.00	70.00	48.70	97.30	1	双		中国
22	齐齐哈尔 QQ560	177.00	100.00	56.00	121.00	1	双		中国
23	太脱拉 111	186.70	102.40	38.70	2×74.00	2	双	120.0	捷克
24	太脱拉 111R	188.40	102.40	37.40	2×75.50	2	双	122.0	捷克
25	太脱拉 111S	194.40	102.40	38.50	2×78.20	2	双	122.0	捷克
26	太脱拉 138	211.40	120.00	51.40	2×80.00	2	双	132.0	捷克
27	太脱拉 130S	218.40	120.00	50.60	2×88.90	2	双	132.0	捷克
28	斯柯达 706R	140.00	73.00	50.00	90.00	1	双		捷克
29	日野 KB222	154.50	80.00	50.20	104.30	1	双		日本
30	日野 KF300D	198.75	106.65	40.75	2×79.00	2	双	127.0	日本
31	尼桑 CK20L	149.85	85.25	49.85	100.00	1	双		日本
32	尼桑 CW(L)40HD	237.60	141.75	50.00	2×93.80	2	双		日本
33	扶桑 FP101	154.00	94.10	54.00	100.00	1	双		日本
34	扶桑 FV102N	254.00	164.95	54.35	2×100.00	2	双		日本
35	菲亚特 682N3	140.00	75.50	10.00	100.00	1	双		意大利

续上表

序号	汽车型号	总重(kN)	载重(kN)	前轴重(kN)	后轴重(kN)	后轴数	轮组数	轴距(cm)	出产地
36	依士兹 TD50D	142.95	76.65	46.55	96.40	1	双		日本
37	依士兹 TD50	132.20	76.65	42.20	80.00	1	双		日本
38	依发 H6	132.00	65.65	45.50	86.50	1	双		德国
39	布切奇 5BR2N	92.50	50.00	24.55	67.95	1	双		德国
40	喀什布阡 131	68.25	35.00	18.00	50.25	1	双		罗马尼亚
41	切贝尔 D350	72.00	35.00	24.00	50.25	1	双		罗马尼亚
42	切贝尔 D420	83.00	45.00	28.20	54.80	1	双		匈牙利
43	切贝尔 D45.01	101.00	55.00	32.00	69.00	1	双		匈牙利
44	切贝尔 D750.0	160.00	93.60	60.00	180.00	1	双		匈牙利
45	沃尔沃 N8648	175.00	100.00	55.00	120.00	1	双		瑞典
46	斯堪尼亚 L760	180.00	100.00	70.00	120.00	1	双		瑞典
47	玛斯 200	137.00	72.00	36.00	101.00	1	双		前苏联

二、累计当量轴次计算

交通量是指一定时间间隔内各种车辆通过某一公路横断面的数量。通过现有的交通流量观测站的调查资料或临时设站观测,并将实际的混合交通量转化换算为标准轴载,可得到以当量轴次表示的该公路的初始年平均日交通量 N_1 (亦称当前日交通量):

$$N_1 = \sum_{i=1}^{365} \frac{N_i}{365} \quad (3-1-2-4)$$

式中 N_1 ——初始年平均日交通量,次/日;

N_i ——每日实际交通量,沥青路面设计中的 N 或 N' ,水泥混凝土路面设计中的 N_s ,次/日。

远景日交通量是指路面使用设计年限末的通过某一公路横断面的标准轴载当量轴次 N_t ,可用下式计算:

$$N_t = N_1 (1 + \gamma)^{t-1} \quad (3-1-2-5)$$

式中 N_t ——设计年限末的整个断面的日平均当量轴次,次/日;

γ ——设计年限内交通量的平均年增长率,%,应根据调查预测分析而确定;

t ——拟定路面面层类型的使用设计年限,查有关路面设计规范确定。

当 t 若改为道路的预期使用年限时,以式(3-1-2-5)推算出来的 N_t ,往往可以作为检验交通量是否饱和,以及车道数、路幅宽度设置是否恰当的依据。

累计远景交通量是指从(当前)路面开始使用起,一直到设计年限末通过某一繁重车道的标准轴载当量轴次的总量。由于它是建立在累积疲劳的基础上的,因此累计远景交通量被作为路面设计的一个重要依据。设计年限内一个车道上的累计当量轴次 N_e 可用下式计算:

$$N_e = \frac{[(1 + \gamma)^t - 1] \times 365}{\gamma} N_1 \eta \quad (3-1-2-6)$$

式中 N_e ——设计年限内一个车道内的累积当量轴次,次;

η ——沥青路面设计中的车道系数,可按表 3-1-2-3 确定,水泥混凝土路面设计中的车轮迹横向分布系数,可按表 3-1-2-4 确定;

其余符号意义同前。

车 道 系 数

表 3-1-2-3

车道特征系数	单 车 道	双 车 道		四车道	六车道
		有分隔	无分隔		
η	1.0	0.5	0.6~0.7	0.4~0.5	0.3~0.4

横 向 分 布 系 数

表 3-1-2-4

公 路 等 级		纵缝边缘处
高速公路、一级公路		0.17~0.22
二级、三级、四级公路	行车道宽 > 7m	0.34~0.39
	行车道宽 < 7m	0.54~0.62

【例】某一级公路,沥青路面竣工后第一年双向平均日交通量见表 3-1-2-5,交通量年平均增长率 γ 为 7.5%,路面设计年限 $t=15$ 年,求累积当量轴次 N_e 。

【解】1. 求各类车型的轴载换算系数:

$$\text{轴载换算系数} = C_1 C_2 \left(\frac{P_i}{P} \right)^{4.35}$$

查表 3-1-2-2 给出的各车型汽车设计参数填入表 3-1-2-5 内。

2. 当量轴次 = 交通量 $\times$ 轴载换算系数。

3. 日当量轴次总和为 $N_1 = 1101$ (次)。

4. 求累计当量轴次 N_e 。

因为一级公路是四车道,故取 $\eta = 0.4$,则

$$N_e = \frac{[(1+\gamma)^t - 1] \times 365}{\gamma} N_1 \eta = \frac{[(1+0.075)^{15} - 1]}{0.075} \times 365 \times 1101 \times 0.4 = 4.2 \times 10^6 \text{ 次}$$

汽车参数及交通量换算表

表 3-1-2-5

车 型	交通量 (辆/日)	后轴重 (kN)	后轴换 算系数	后轴数	前轴换 算系数	车辆(总) 换算系数	当量轴次 (次/日)
解放 CA10B	3000	60	0.18	1		0.108	324
黄河 JN—150	300	101.6	1.071	1	0.287	1.358	407
跃进 NJ—230	2000	30.4	0.005	1		0.005	10
交通 SH—140	1000	55.2	0.075	1	0.017	0.092	92
太脱拉 138	100	160	16.905	2	0.354	17.348	17.4
北京 BJ130	200	27.2	0.003	1		0.003	0.6
日野 K211	200	100	1	1	0.252	1.252	250

• 第二节 路基(含土基)的力学特性和强度指标 •

一、路基受力与应力工作区

1. 路基受力状况

路基承受着两种荷载,一种是路面和路基的自重引起的荷载,另一种是车辆轮重引起的外荷载,在两种荷载的共同作用下,使路基土处于受力状态。正确的设计应使路基受力时尽可能在路基弹性限度范围内,即当车辆驶过后,路基变形可以恢复原状,以确保路基的相对稳定,路面不致引起破坏。

路基土在车轮荷载作用下所引起的垂直应力 σ_1 是随深度增大而减小的。当假定车轮荷载为一圆形均布荷载时,圆形荷载中心下土基的垂直压应力 σ_1 可用以下近似公式计算:

$$\sigma_1 = \frac{p}{2.5(Z/D)^2} \quad (3-1-2-7)$$

式中 p ——车轮荷载的均布单位压力 kPa ;

D ——圆形均布荷载作用面积的直径 m ;

Z ——圆形均布荷载中心下应力作用点的深度 m 。

路基土本身自重在地基内深度为 Z 处所引起的垂直压应力 σ_2 ,可用下式计算:

$$\sigma_2 = \gamma Z \quad (3-1-2-8)$$

式中 γ ——土的容重 kN/m^3 。

虽然路面结构材料的容重比路基土的容重略大,路面结构区的应力分布、作用也与路基不相同,但在研究荷载作用最大深度时,为了简化计算,近似地将路面材料相当于路基土材料。这样,路基内任一点处所受的垂直应力,应是由车辆荷载引起的垂直应力 σ_1 和土基自重引起的垂直应力 σ_2 两者的叠加。土基应力分布如图 3-1-2-1 所示。

2. 应力工作区

在路基(或土基)的某一深度处,车辆荷载引起的应力与土基自重应力相比只占一小部分,约 $1/5 \sim 1/10$,在此深度以下,车辆荷载对土基的作用影响很小,可略去不计。在此深度以上的区域可看作是支承路面、受车辆荷载作用影响较大的范围,这一深度范围称为应力工作区。应力工作区的深度 Z_a 可以用以下近似公式计算:

$$Z_a = \sqrt[3]{\frac{\text{KnP}}{\gamma}} \quad (3-1-2-9)$$

式中 Z_a ——应力工作区深度 m ;

P ——车轮荷载 kN ;

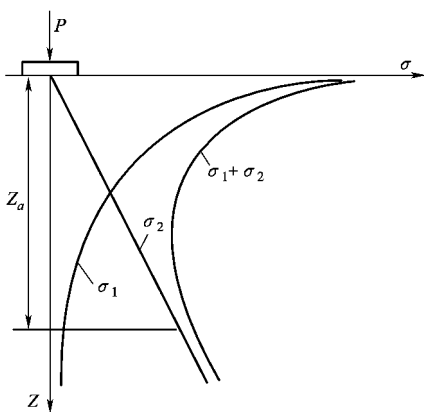


图 3-1-2-1 土基应力分布图

K——系数 取 0.5 ;

γ ——土的容重 kN/m^3 ;

n——系数 取 5 ~ 10 ,车辆荷载重或公路等级高时可取较大值 ,反之取小值。

在应力工作区内可以分成两个区 :即上面的由路面各结构层组合的路面工作区和下面的路基工作区。

路基工作区内 ,土基的强度和稳定性对保证路面的强度和稳定性极为重要 ,对工作区深度内的土质选择、含水量、路基的压实度等均应满足设计要求。当应力工作区的深度 Z_a 大于路基填土高度时(图 3-1-2-2) ,行车荷载的作用不仅影响路堤 ,而且作用于天然地基内的上部土层。因此 ,天然地基上部土层和路堤均应同时满足路基工作区的要求 ,予以充分压实。

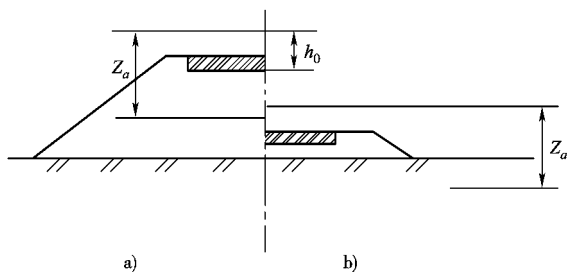


图 3-1-2-2 应力工作区深度

a)路堤高度大于 Z_a b)路堤高度小于 Z_a

二、路基(土基)回弹模量的确定方法

准确地说 ,路基(土基)是弹塑性材料做成的结构层 ,经压实后在路面结构层下 ,希望长期工作在近似弹性状态 ,回弹模量就是针对这种状态下 ,路基(土基)在荷载作用下产生的应力与其相应的回弹应变的比值。车辆荷载通过路面传至路基的垂直压力 ,使土基产生一定程度的竖向位移变形 ,假定土基为均质的弹性体 ,在圆形垂直均布荷载作用下 ,应力与应变成直线关系时 ,可用弹性理论来建立荷载与变形之间的关系 ,因此得到以下的公式 :

$$E_0 = \frac{2p\delta(1 - \mu_0^2)}{L_r} \alpha \quad (3-1-2-10)$$

式中 E_0 ——土基回弹模量 MPa ;

p ——圆形垂直均布荷载 MPa ;

δ ——圆形均布荷载面积的半径 cm ;

L_r ——路表距离荷载中心轴为 r 某点处的垂直位移 ,亦称弯沉值 cm ;

μ_0 ——土的泊松系数 取 0.35 ;

α ——竖向位移系数 ,是 r/δ 的函数 $r/\delta = 0$ 时 $\alpha = 1$ $r/\delta = 1.5$ 时 $\alpha = 0.356$ 。

由上式看出 ,在一定的车轮荷载作用下 ,土基的回弹模量值 E_0 越大 ,所产生的回弹弯沉值 L_r 就越小。这标志着土基的承载能力大 ,抵抗变形的能力强。

土基回弹模量 E_0 是路面结构设计的重要参数 ,其取值的大小对路面结构厚度有较大影响。土基回弹模量值与土的性质、密实度、含水量、路基所处的干湿状态以及测试方法有密切的关系。当前 ,确定土基回弹模量 E_0 的常用方法有以下几种 :

1. 现场实测法

现场实测法是在不利季节 ,采用圆形刚性承载板(直径 $D = 30\text{cm}$)作用于现场土基表面 ,通过承载板对土基逐级加载、卸载的方法 ,测出每级荷载下相应的土基回弹变形值 ,经过计算求出土基回弹模量值。目前采用的测试方法 ,是按照《公路路基路面现场测试规程》

(JTJ 059—1995)规定,用承载板测定土基 $0 \sim 0.5\text{mm}$ (路基软弱时测至 1mm)的各级压力和对应的回弹变形值,按下式计算土基回弹模量:

$$E_0 = 1000 \cdot \frac{\pi D}{4} \cdot \frac{\sum p_i}{\sum L_i} (1 - \mu_0^2) \quad (3-1-2-11)$$

式中 E_0 ——土基回弹模量,MPa;

μ_0 ——土的泊松比,取 0.35 ;

D ——承载板直径, 30cm ;

p_i ——每级承载板压力,MPa;

L_i ——相应于每级 p_i 时的回弹变形值, 0.01mm 。

因弯沉测定比承载板测定方法要简便快捷,可选择典型路段,用贝克曼梁(杠杆式弯沉仪)实测各点弯沉值,通过计算得代表弯沉值 L_1 ,然后以下式计算路基(土基)回弹模量:

$$E_0 = 1000 \cdot \frac{2p\delta}{L_1} (1 - \mu_0^2) \alpha_0 \quad (3-1-2-12)$$

式中 p ——测定车轮的平均垂直荷载(即轮胎接地压强),MPa;

δ ——测定用标准车双圆荷载单轮传压面当量圆的半径, cm ;

L_1 ——路段计算代表弯沉值, (0.01mm) ;

α_0 ——弯沉系数,取 0.712 ;

其它符号意义同上。

2. 查表法

查表法是指在不具备实测条件时,按下述步骤通过查表预测土基回弹模量值。

1) 确定路基土的平均稠度

在原有公路拓宽改造时,可按第二篇第一分篇第一章第三节的方法,取得各路段代表性断面的路床顶面以下 80cm 内土的稠度,推算出平均稠度 $\bar{w}_c$,所用公式(2-1-1-2)和式(2-1-1-3),对照查表2-1-1-1或表2-1-1-2判定该路段的干湿类型。

2) 根据临界高度确定路基土的稠度

新建公路时,各路段代表性断面的临界高度可通过表2-1-1-3判定干湿类型,然后根据实际代表性断面的临界高度,经过内插由表2-1-1-1选定路基土的稠度建议值。

3) 预测土基的回弹模量

根据土类和公路自然区划以及拟定的路基土的稠度,可参考表3-1-2-6预测土基的回弹模量值。当采用重型击实标准时,土基回弹模量值可较表列数值提高 $15\% \sim 30\%$ 。

二级自然区划各土组土基回弹模量值(MPa)

表 3-1-2-6

区划	稠度 w_c 土组	0.8	0.9	1	1.05	1.1	1.15	1.2	1.3	1.4	1.7	2
II ₁₁	粘质土	19	22	25	26.5	28	29.5	31				
	粉质土	18.5	22.5	27	29	31.5	33.5					
II ₂₂	粘质土	19.5	22.5	26	28	29.5	31.5	33.5				
	粉质土	20	24.5	29	31.5	34	36.5					

续上表

区划	稠度 w_c 土组	0.8	0.9	1	1.05	1.1	1.15	1.2	1.3	1.4	1.7	2
II _{2a2a}	粉质土	19	22.5	26	27.5	29.5	31					
II ₃₃	土质砂	21	23.5	26	27.5	29	30	31.5	34.5	37	45.5	
	粘质土	23.5	27.5	32	34.5	36.5	39	41.5				
	粉质土	22.5	27	32	34.5	37	40					
II ₄₄	粘质土	23.5	30	35.5	39	42	45.5	50.5	57	65		
	粉质土	24.5	31.5	39	43	47	51.5	56	66			
II ₅₅	土质砂	29	32.5	36	37.5	39	41	42.5	46	49.5	59	69
	粘质土	26.5	32	38.5	42.5	45	48.5	52				
	粉质土	27	34.5	42.5	46.5	51	56					
II _{5a5a}	粉质土	33.5	37.5	42.5	44.5	46.5	49					
I ₂₃	粉质土	27	36.5	48	54	61	68.5	76.5				
III ₂	土质砂	35	28	41.5	43	44.5	46	47.5	50.5	53.5	62	70
	粘质土	27	31.5	36.5	39	41.5	44	46.5	52	57.5		
	粉质土	27	32.5	38.5	42	45	48.5	51.5	59			
III _{2a}	土质砂	37	40	43	44.5	46	47.5	49	52	54.5	62.5	70
III ₃	土质砂	36	39	42.5	44	45.5	47	48.5	51.5	54.5	63	71
	粘质土	26	39	34.5	36.5	38.5	41	46	47.5	52		
	粉质土	26.5	32	37	40	43	46	49	55			
III ₄	粉质土	25	34	45	51.5	58.5	66	74				
IV ₁	粘质土	21.5	25.5	30	32.5	35	37.5	40.5				

注 表中查不到的区划内容请查《公路沥青路面设计规范》中附录 E 表 E2。

3. 室内试验法

取代表性土样 在室内按最佳含水量下制备 3 组土样试件 测得不同压实度与相对应的回弹模量值 绘成压实度与回弹模量曲线 查图求得标准压实度条件下的回弹模量值。

4. 换算法

在新建土基上用承载板法测定 E_0 时 同时测定同点回弹弯沉 L_0 、承载比 CBR 与土的其他指标 并在室内按相同状态的土进行测试 建立现场测定与室内试验的关系 得到 $E_0 \sim L_0$ 、 $E_0 \sim \text{CBR}$ 的相关换算关系式 以此为基础 就可以单独采用室内试验方法相关确定 E_0 值。

• 第三节 路面材料的力学特性和强度指标 •

(1)高速公路、一级公路在初步设计阶段应选用沿线筑路材料 and 外购材料 进行混合料配合比设计。在选定配合比的基础上 按有关规程的规定实测材料设计参数 并确定各层材料回弹模量和抗拉强度的设计值。

(2)《公路沥青路面设计规范》中规定,以设计弯沉值计算路面厚度,并对高速公路、一级公路、二级公路沥青类面层和半刚性材料的基层、底基层,应验算层底拉应力。此时各层材料的计算模量均采用抗压回弹模量。由于弯沉值是以 20 为标准温度,因此,以路面设计弯沉值计算路面结构厚度时,采用的是 20 抗压回弹模量,验算层底拉应力是以 15 为标准温度,故用 15 的抗压模量。沥青类面层和半刚性材料的抗拉强度采用劈裂试验测得的劈裂强度。基层、底基层材料的参数见表 3-1-2-7,沥青类面层材料的参数见表 3-1-2-8 所示。

基层、底基层材料设计参数

表 3-1-2-7

材料名称	配合比或规格要求	抗压模量 E (MPa)	劈裂强度 σ (MPa)	备 注
二灰砂砾	7:13:80	1300~1700	0.6~0.8	
二灰碎石	8:17:75	1300~1700	0.5~0.8	
水泥砂砾	5%~6%	1300~1700	0.4~0.6	
水泥碎石	5%~6%	1300~1700	0.4~0.6	
石灰水泥粉煤灰砂砾	6:3:16:75	1200~1600	0.4~0.6	
石灰水泥碎石	5:3:92	1000~1400	0.35~0.5	
石灰土碎石	粒料占 60% 以上	700~1100	0.3~0.4	
碎石灰土	粒料占 40%~50% 以上	600~900	0.25~0.35	
水泥石灰砂砾土	4:3:25:68	800~1200	0.3~0.4	
二灰土	10:30:60	600~900	0.2~0.3	
石灰土	8%~12%	400~700	0.2~0.25	
石灰土	4%~7%	200~350		处理路基时用
级配碎石	符合级配要求	300~350		作上基层用
		250~300		作基层用
		200~250		作底基层用
填隙碎石	填隙密实	200~280		作底基层用
未筛分碎石	具有一定级配	180~220		作底基层用
天然砂砾	符合规范要求	150~200		
中、粗砂		80~100		作垫层用

沥青类面层材料设计参数

表 3-1-2-8

材料名称	沥青针入度	抗压模量 E_1 (MPa)		劈裂强度 15 (MPa)
		20	15	
细粒式密级配沥青混凝土	d90	1200~1600	1800~2200	1.2~1.6
中粒式密级配沥青混凝土	d90	1000~1400	1600~2000	0.8~1.2
中粒式开级配沥青混凝土	d90	800~1200	1200~1600	0.6~1.0
粗粒式密级配沥青混凝土	d90	800~1200	1200~1600	0.6~1.0
沥青碎石混合料	—	600~800	—	—
沥青贯入式	—	400~600	400~600	—

注 沥青碎石混合料不验算层底拉应力,细粒式和粗粒式的开级配沥青混凝土,选用同类密级配的低值;符合重交通沥青技术要求时,可用较高值;沥青针入度大于 100 时,或符合轻交通沥青技术要求时,采用低值。

(3)水泥混凝土路面面层在行车荷载和稳定变化等因素的作用下,将产生压应力和弯拉应力。混凝土面板所受的压应力与混凝土的抗压强度相比很小,一般不用验算,而所受的弯拉应力则很大,当超过抗弯拉强度时,可能导致混凝土面板开裂破坏。因此,在设计水泥混凝土面板厚度时,应以弯拉强度为其设计控制指标。

水泥混凝土的设计强度以龄期 28d 的弯拉强度为标准。各级交通要求的混凝土设计弯拉强度不得低于表 3-1-2-9 的规定。当混凝土浇筑后 90d 内不开放交通时,可采用 90d 龄期强度。其值一般可按 28d 龄期强度的 1.1 倍计。

水泥混凝土弯拉弹性模量的测试工作,很费时而又不易准确,且其数值的变化对荷载应力计算结果的影响不大,因此,在无条件的测试时,可直接采用表 3-1-2-9 所列数值,或者对照下述经验公式推算弯拉回弹模量:

$$E_c = 1.44f_{cm}^{0.459} (\times 10^4 \text{ MPa}) \quad (3-1-2-13)$$

式中 f_{cm} ——水泥混凝土的弯拉强度,MPa。

水泥混凝土设计弯拉强度和回弹模量

表 3-1-2-9

交通等级	特重	重	中等	轻
设计弯拉强度 f_{cm} (MPa)	5.0	5.0	4.5	4.0
弯拉弹性模量 E_c ($\times 10^3$ MPa)	30	30	28	27

本章小结

(1)将公路上行驶的不同车型组合而成的混合交通量,以某种统一轴载为准,换算成一定的当量轴次。这种统一的轴载,称为标准轴载。《公路工程技术标准》中规定:路面设计标准轴载为双轮组单轴 100kN。当把混合交通量中的各级轴载换算成标准轴载时,应该遵循以某一种路面结构在不同轴载作用下达到相同的损坏程度为根据的等效原则。

(2)在路基(或土基)的某一深度处,车辆荷载引起的应力与土基自重应力相比只占一小部分,约 1/5 ~ 1/10,在此深度以上的区域可看作是支承路面、受车辆荷载作用影响较大的范围,这一深度范围称为应力工作区。

(3)应力工作区内可以分成两个区:即上面的路面工作区和下面的路基工作区。路基工作区内,土基的强度和稳定性对保证路面的强度和稳定性极为重要,对工作区深度内的土质选择、含水量、路基的压实度等均应满足设计要求。

(4)土基回弹模量 E_0 是路面结构设计的重要参数。土基回弹模量值与土的性质、密实度、含水量、路基所处的干湿状态以及测试方法有密切的关系。确定的方法有现场实测法、查表法、室内试验法和换算法等。

(5)路面结构层设计中需确定各层材料回弹模量(一般为抗压,水泥混凝土为抗弯拉)和抗拉强度。

思考题与习题

1. 何谓标准轴载?《公路工程技术标准》中规定的路面设计标准轴载是什么?

2. 什么是应力工作区？确定路基工作区在工程上有何意义？
3. 当量轴次换算的原则是什么？
4. 在一定的车轮荷载作用下，土基回弹模量 E_0 值的大小说明了什么？
5. 土基回弹模量 E_0 值的确定方法有哪几种？
6. 路面结构层材料需确定哪些主要参数？
7. 已知某二级公路上拟修筑水泥混凝土路面，BZZ—100 标准轴载日平均当量轴次 135（次/日）， $\eta = 0.36$ ， $t = 15$ 年， $\gamma = 10\%$ ， $A_s = 1.1$ ， $A_b = 1.0$ ， $A_c = 1.1$ ，试计算 N_e 。

第三章

常用的路面基层、底基层和垫层

教学要求

1. 分析碎石、砾石类路面基层、底基层和垫层结构强度形成的特点,描述其分别按嵌锁原则和级配原则施工而成结构层的种类;
2. 解释常用的泥结碎石、泥灰结碎石、水结碎石、填隙碎石、级配碎(砾)石结构的概念,描述各自的基本要求和适用性;
3. 描述无机结合料稳定类路面基层、底基层结构的种类和特点,分析石灰稳定土和水泥稳定土结构强度形成的原理;
4. 描述常用的石灰稳定土、水泥稳定土和石灰工业废渣结构层的概念、基本要求和适用性;
5. 描述常用的路面基层、底基层和垫层采用不同稳定类型的结构力学特性以及适用性。

目前常用的路面基层、底基层和垫层主要有碎、砾石类(亦称松散颗粒类)和无机结合料稳定类两大类。它们的结构力学特性以及适用性均有所不同,下面将分别予以叙述。

• 第一节 碎石、砾石类结构层 •

一、碎石、砾石类结构层的特性

碎石、砾石类结构层是用粗、细碎(砾)石、粘土(或不含粘土)按照嵌锁原则或级配原则铺筑而成的结构层。嵌锁型的碎石结构层包括泥结碎石、泥灰结碎石、水结碎石和填隙碎石等;级配型的碎(砾)石结构层包括级配碎石、级配砾石、符合级配要求的天然砂砾,部分砾石经轧制掺配而成的级配碎砾石等。

嵌锁原则是采用分层撒铺矿料(同层矿料的粒径大小基本相同),并经严格碾压而成的结构层(或采用开级配矿料进行拌和)。用这种方法修筑的路面结构,其强度构成主要依靠矿料之间相互嵌挤锁结作用而产生较大的内摩阻力。但粘结力较小,仅起着辅助作用,有时粘结力几乎为零。因此,采用嵌锁原则修筑的结构,必须使用强度比较高的石料(I - II级),摊铺时每层矿料的颗粒尺寸必须大小均匀,形状近似立方体并有棱角、表面粗糙。各层矿料的尺寸自下而上逐渐减小,上下层矿料的粒径比一般按 $1/2$ 递减。粗料做主层料,细料作为嵌缝料。为了

增加其联结强度,可在矿料中掺入不同的结合料,以使其产生一定的粘结力。

级配原则是采用颗粒大小不同的矿料按一定比例(连续或间断级配)配合,并掺入一定数量的结合料,拌和制成混合料,经过摊铺、碾压而形成的路面结构层。这种结构具有较大的密实度。按级配原则修筑的结构层,其强度来源于内摩阻力和粘结力,但由于矿料没有较强的嵌挤锁结作用,以及受结合料的影响,一般来讲内摩阻力较小。

碎、砾石路面结构强度形成的特点是:矿料颗粒之间的联结强度,一般都要比矿料本身的强度小得多。在外力作用下,材料首先将在颗粒之间产生滑动和位移,使其失去承载能力而遭到破坏。因此,对于这种松散材料组成的路面结构强度,矿料颗粒本身强度固然重要,但是起决定作用的则是颗粒之间的联结强度。总之,由材料的粘结力和内摩阻角所表征的内摩擦力所决定的颗粒之间的联结强度,即构成了松散材料组成的路面的结构强度。

碎、砾石类结构层既可做面层,也可做基层或底基层。由于碎、砾石类结构层做路面面层平整度较差,易扬尘,雨天泥泞,仅适用于四级公路的路面面层。其中级配碎石适用于各级公路的基层和底基层。级配砾石、级配碎石以及符号级配、塑性指数等技术要求的天然砂砾,可用做二级和二级以下公路的基层,也可用做各级公路的底基层。填隙碎石适用于各级公路的底基层和三、四级公路的基层。

二、泥结碎石

泥结碎石结构层是以碎石作为集料,粘土作为填充料,经压实修筑成的一种结构。泥结碎石结构层的厚度一般为8~20cm;当总厚度等于或超过15cm时,一般分两层铺筑,上层厚度6~10cm,下层9~14cm。泥结碎石结构层的力学强度和稳定性不仅取决于碎石的相互嵌锁作用,同时也有赖于土的粘结作用。泥结碎石结构虽用同一尺寸石料修筑,但在使用过程中由于行车荷载的反复作用,石料会被压碎而向密实级配转化。

泥结碎石结构层所用的石料,其强度等级不宜低于Ⅳ级,细长、扁平状颗粒不宜超过15%。不产石料地区的次要道路,交通量少时,可采用礞石和碎石等材料。泥结碎石层所用的粘土,应具有较高的粘性,塑性指数以18~26为宜。粘土内不得含有腐殖质或其他杂物。粘土用量一般不超过混合料总量的15%~18%。

泥结碎石结构层适用于四级公路的路面面层,并宜在其上设置砂土磨耗层和保护层。泥结碎石亦可做二级以下公路路面基层,但由于是粘土做结合料,其水稳性较差,如做沥青路面的基层时,只能用于干燥路段,不能用于中湿和潮湿路段。

三、泥灰结碎石

泥灰结碎石结构层是以碎石为集料,用一定数量的石灰和土做填充料和结合料修筑的结构。泥灰结碎石结构所用的碎石和粘土质量规格要求与泥结碎石相同,石灰的质量不低于Ⅲ级。石灰与土的用量不应大于混合料总重的20%,其中石灰剂量为土重的8%~12%。泥灰结碎石结构因掺入石灰,其水稳性要比泥结碎石好,故可用于潮湿与中湿路段作为二级以下公路沥青路面的基层,亦可作为四级公路路面的面层。

四、水结碎石

水结碎石结构层是用大小不同的轧制碎石从大到小分层铺筑,经洒水碾压后形成一种结

构层。此种结构层属于典型的嵌锁结构,它的强度是由碎石之间的嵌锁作用以及碾压时所产生的石粉与水形成的石粉浆的粘结作用而成的。考虑粘结力较强,所以经常用石灰岩碎石来铺筑。水结碎石结构的厚度一般为10~16cm。

水结碎石结构层材料的基本要求是:碎石应具有较高的强度(III级以上)韧性和抗磨耗能力。碎石应尺寸均匀,形状近似立方体且有棱角。此外,碎石应不含泥土杂物,最大粒径不得大于结构层压实厚度的0.8倍。

水结碎石的施工特点主要是分层撒铺、洒水碾压,碾压质量是关键。

水结碎石结构层可以做四级公路的路面面层,由于它的粘结力是由石粉浆形成的,故水稳性较好,它也适用于各级公路的底基层和二级以下公路的基层。

五、填隙碎石

用单一尺寸的粗碎石做主集料,形成嵌锁作用,用石屑填满碎石间的空隙,增加密实度和稳定性,这种结构称为填隙碎石。但是由于其抗磨耗能力较差,宜在其上设置砂土磨耗层和保护层。

我国过去曾广泛采用的嵌锁型碎石基层,是用筛分成几种不同规格的大、中、小单一尺寸碎石分层摊铺、分层碾压而成的。通常首先铺大碎石,经碾压稳定后,撒铺嵌缝碎石,继续碾压稳定,然后再撒铺小碎石,并碾压成型。某些地区使用的干压碎石或“水结”碎石也属于这种类型。

国外常使用另一种嵌锁型碎石基层,是用单一尺寸的粗碎石,例如25~50mm、30~60mm或40~70(80)mm的碎石做主集料,经初步碾压稳定后,撒铺5~10mm的石屑,并用振动压路机碾压,使石屑填满主集料的空隙。这种形式的碎石结构,国外称为干结碎石。

填隙碎石层上不能直接通车,上面必须有面层。填隙碎石基层质量好坏的两个关键:一是从上到下粗碎石间的空隙一定要填满,即达到规定的密实度;二是表面粗碎石间既要填满,但填隙料又不能覆盖粗碎石而自成一层,即表面应看得见粗碎石,其棱角可外露3~5mm。这样可保证薄沥青面层与基层粘结良好,避免沥青面层在基层顶面发生推移破坏。

由于干法施工填隙碎石不需要用水,在缺水地区,采用这种基层结构,特别显示其优越性。填隙碎石适用于各级公路的底基层和三、四级公路的基层,其施工最小厚度为10cm,结构层适宜的厚度为10~12cm。

六、级配碎(砾)石

由各种大小不同粒径集料,按密实级配要求组成混合料,经摊铺、整形、碾压而成的结构称为级配碎(砾)石。级配型集料中,没有水泥、石灰等水硬性结合料,也没有沥青,所以在国外常称为无结合料粒料。级配型集料中常含有一定数量的细土(指小于0.5mm颗粒,国外有不少国家常用0.425mm),其中的细土中有时有一定数量的粉粒(小于0.05mm的颗粒,有不少国家用0.075mm)和粘粒(小于0.002mm的颗粒),因此具有或大或小的塑性指数。级配型集料包括级配碎石、级配碎砾石(碎石和砂砾的混合料,也常将砾石中的超大尺寸颗粒砸碎后与砂砾一起组成碎砾石)和级配砾石。

级配碎石结构的混合料中,粗、细碎石集料和石屑各占一定比例,其颗粒组成符合规定的

密实级配要求。级配砾石结构中的混合料中,粗、细集料和砂各占一定的比例,其颗粒组成符合规定的密实级配要求。

就力学性质和稳定性而言,级配碎石是级配集料中最好的材料,级配砾石则是级配集料中最低的材料,而级配碎砾石则处于两者之间。

级配集料结构层力学性质主要与集料的摩擦作用、嵌锁作用和粘结作用有关。影响级配集料结构层力学性质的其他重要因素有集料的含水量、加工和摊铺集料的均匀性、碾压密实度以及下承层的承载能力等。

在实际工作中,对于级配集料,主要是控制颗粒的级配组成,特别是其中的最大粒径、4.75mm以下、0.6mm以下和0.075mm以下的颗粒含量,以及塑性指数等。同时,在施工中要严格控制级配集料的均匀性和压实度。

级配碎石可用做各级公路路面的基层和底基层,级配碎砾石、级配砾石可用做二级及以下公路路面的基层,也可用做各级公路路面的底基层。级配型集料还可做四级公路的面层,此时,级配型集料中的细土含量和塑性指数采用值都较高。因此,适宜用做面层的级配集料,就不适宜用做沥青路面和水泥混凝土路面的基层和底基层。

级配碎(砾)石结构层的厚度一般为8~16cm,当厚度大于16cm时应分两层铺筑,下层厚度为总厚度的0.6倍,上层厚度为总厚度的0.4倍。

• 第二节 无机结合料稳定类结构层 •

一、无机结合料稳定土结构层的特性

在广义的土中掺入一定量的无机结合料(包括水泥、石灰或工业废渣等)和水,经拌和得到的混合料再经压实与养生后,其抗压强度符合规定的要求时,称为无机结合料稳定土,以此修筑的路面结构层称为无机结合料稳定土结构层。

无机结合料稳定土结构层具有稳定性好、抗冻性能强、结构本身自成板体等特点,但其耐久性差,易产生干缩和冷缩裂缝,因此广泛用于修筑路面结构的基层和底基层。

稳定土中的广义土,按照土中单个颗粒(指碎石、砾石和砂颗粒)的粒径大小和组成,可将其分为下列3种:

- (1)细粒土:颗粒的最大粒径小于9.5mm,且其中小于2.36mm的颗粒含量不少于90%;
- (2)中粒土:颗粒的最大粒径小于26.5mm,且其中小于19mm的颗粒含量不少于90%;
- (3)粗粒土:颗粒的最大粒径小于37.5mm,且其中小于31.5mm的颗粒含量不少于90%。

无机结合料稳定细粒土(需粉碎或原来松散的土)中的石灰稳定细粒土可简称为石灰土;水泥稳定细粒土可简称为水泥土。无机结合料稳定中、粗粒土中的石灰稳定中、粗粒土可简称为石灰稳定粒料,水泥稳定中、粗粒土可简称为水泥稳定粒料。

无机结合料稳定土种类较多,其物理、力学性质各有特点,使用时应根据结构要求、掺加剂量和原材料的供应情况及施工条件进行综合技术、经济比较后选定。

由于无机结合料稳定土的刚度介于柔性路面材料和刚性路面材料之间,常称为半刚性材料。以此修筑的基层或底基层称为半刚性基层或半刚性底基层。

(1)无机结合料稳定土经拌和压实后,由于水分挥发和混合料内部的水化作用,混合料的水分会不断减少。由此发生的毛细作用、吸附作用、分子间力的作用、材料矿物晶体或凝胶体间层间水的作用和碳化收缩作用等,会引起无机结合料稳定土体积的收缩,严重时将产生干缩裂缝。

对于稳定细粒土,几种常用的半刚性材料的干缩特性的大小排列为:石灰土>水泥土和水泥石灰土>石灰粉煤灰土。

对于稳定粒料类,3种常用的半刚性材料的干缩特性的大小次序为:石灰稳定粒料>水泥稳定粒料>石灰粉煤灰稳定粒料。

(2)无机结合料稳定土是由固相(组成其空间骨架的原材料的颗粒和其间的胶结物)、液相(存在于固相表面与空隙中的水)和气相(存在于空隙中的气体)组成。因此,无机结合料稳定土的外观胀缩性是三相的不同温度收缩性综合效应的结果。气相一般与大气贯通,在综合效应中影响较小,可以忽略。原材料中的砂粒以上颗粒的温度收缩系数较小,而粉粒以下的颗粒温度收缩性较大。

半刚性材料温度收缩的大小与结合料类型和剂量、被稳定材料的类别、粒料含量、龄期等因素有关。

无机结合料稳定土结构层一般在高温季节修筑,成形初期的基层内部含水量大,且尚未被面层所封闭,基层内部的水分必然要蒸发,从而主要发生由表及里的干燥收缩。同时,环境温度也存在昼夜温度差,修筑初期的半刚性基层也受到温度收缩的作用,因此,必须注意养生保护。经过一定龄期的养生,特别是半刚性基层上铺筑面层之后,基层内相对湿度略有增大,使材料的含水量趋于平衡,这时半刚性基层的裂缝变形以温度收缩为主。

二、石灰稳定土

在广义的土中,掺入适量的石灰和水,拌和后得到的混合料,经摊铺、压实及养生,当结构层的抗压强度符合规定要求时,称为石灰稳定土结构层。

石灰稳定土常用的种类有:石灰土(石灰稳定细粒土的简称,下同)、石灰砂砾土(石灰稳定天然砂砾土)、石灰碎石土、石灰砂砾(石灰稳定级配砂砾)、石灰碎石(石灰稳定级配碎石)等。

1. 石灰稳定土强度形成原理

在土中掺入适量的石灰,并在最佳含水量下拌匀压实,使石灰与土发生一系列的物理、化学作用,从而使土的性质发生根本的变化。石灰稳定土的强度主要靠以下4个方面的作用形成的:

1) 离子交换作用

土的微小颗粒具有一定的胶体性质,它们一般都带有负电荷,表面吸附着一定数量的钠、氢、钾等低阶阳离子(Na^+ 、 H^+ 、 K^+)。石灰是一种强电介质,在土中加入石灰和水后,石灰在溶液中电离出来的钙离子(Ca^{++})就与土中的钠、氢、钾离子产生离子交换作用,原来的钠(钾)土变成钙土,土颗粒表面所吸附的离子由一价变成了二价,减少了土颗粒表面吸附水膜的厚度,使土粒相互之间更为接近,分子引力随着增加,许多单个土粒聚成小团粒,组成一个稳定结构。

2) 结晶作用

在石灰稳定土中只有一部分熟石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 进行离子交换作用,绝大部分饱和的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 自行结晶。熟石灰与水作用生成熟石灰结晶网格,将土粒胶结成整体。

3) 碳酸化作用

稳定土中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与空气中的二氧化碳作用,生成 CaCO_3 结晶体。 CaCO_3 是坚硬的结晶体,它和其他生成的复杂盐类把土粒胶结起来,从而大大提高了土的强度和整体性。由于空气中的二氧化碳含量很少,这种作用是比较缓慢的。

4) 火山灰作用

熟石灰与土中的活性氧化硅 SiO_2 和氧化铝 Al_2O_3 作用,生成含水的硅酸钙和铝酸钙的化学反应就是火山灰作用。含水的硅酸钙和铝酸钙结晶都是胶凝物质,具有水硬性并能在固体和水两相环境下发生硬化。这些胶凝物质在土微粒团外围形成一层稳定的保护膜,填充颗粒空隙,使颗粒间产生结合料,减少了颗粒间的空隙与透水性,同时提高了密实度,使石灰稳定土获得更高的强度和水稳定性,但这种作用比较缓慢。

由于它与土发生了一系列的相互作用,从而使土的性质发生根本性改变。在初期,主要表现为土的结团、塑性降低、最佳含水量增加和最大密度减小等,后期主要表现为结晶结构的形成,从而提高其板体性、强度和稳定性。

2. 影响石灰稳定土强度的因素

1) 土质

生产实践表明,塑性指数高的土,其稳定效果显著,强度也高。但采用塑性指数过高的土时施工不易粉碎,而且会增加干缩裂缝;采用塑性指数偏小的土时容易拌和,但难以碾压成型,稳定效果不显著。因此,选用土质既要考虑其强度,还要考虑到施工时易于粉碎便于碾压成型。一般选用塑性指数为 15~20 的土。塑性指数偏大的粘性土,要加强粉碎,粉碎后土中 15~25mm 的土块不宜超过 5%。经验证明,塑性指数小于 12 的土不宜用石灰稳定。对于硫酸盐类含量超过 0.8% 或腐殖质含量超过 10% 的土,对强度有显著不利影响,不宜直接采用。

2) 灰质

石灰的等级愈高(即 $\text{CaO} + \text{MgO}$ 的含量愈高)时,稳定效果愈好;石灰的细度愈大,其比表面积愈大,在相同剂量下与土粒的作用愈充分,因而效果愈好。

石灰应是消石灰粉或生石灰粉,对于高速公路或一级公路宜用磨细生石灰粉。石灰质量应符合 III 级以上的技术指标,并要尽量缩短石灰的存放时间,最好在生产后不迟于 3 个月内投入使用。

3) 石灰剂量

石灰剂量是指石灰质量占全部粗细土颗粒(即砾石、碎石、砂砾、粉粒和粘粒)干质量的百分率。

石灰剂量对石灰稳定土强度影响显著,石灰剂量较低(小于 3%~4%)时,石灰主要起稳定作用,土的塑性、膨胀、吸水量减小,使土的密实度、强度得到改善。随着剂量的增加,强度和稳定性均提高,但剂量超过一定范围时,强度反而降低。生产实践中常用的最佳剂量范围,对于粘性土及粉性土为 8%~14%,对于砂性土则为 9%~16%。剂量的确定应根据结构层技术要求进行混合料组成设计。

4)含水量

水既促使石灰稳定土发生物理化学变化,形成强度,同时水也是便于土的粉碎、拌和与压实的必要条件。不同土质的石灰稳定土有不同的最佳含水量,需通过标准击实试验确定,并以控制施工中的实际加水量。

5)压实度

石灰稳定土的强度随压实度的增加而增长。实践证明,石灰稳定土的压实度每增减1%,强度约增减4%左右。而且密实的石灰稳定土,其抗冻性、水稳定性好,缩裂现象也少。

6)龄期

石灰稳定土强度具有随龄期增长的特点。石灰稳定土初期强度低,随着时间的逐渐增长而趋于稳定。一般情况下石灰稳定土的强度在90d以前增长比较显著,以后就比较缓慢。石灰稳定土的这种特性对施工程序的衔接有相当的灵活性。但为了防止冰冻破坏作用,要求有一个冻前龄期。

7)养生条件

养生条件主要指温度与湿度。养生条件不同,其强度也有差异。当温度高时,物理化学反应、硬化、强度增长快,反之强度增长慢,在负温条件下甚至不增长。因此,要求施工的最低温度应在5℃以上,并在第一次重冰冻(-5~-3℃)到来之前1个月至1个半月完成。

多年的施工经验证明,夏季施工的石灰稳定土强度高,质量可以保证,一般在使用中很少损坏。

养生的湿度条件对石灰稳定土的强度也有很大影响。在一定温度、潮湿条件下养生,强度的形成比在一般空气中养生要好。

3. 石灰稳定土的应用

石灰稳定土一般可以用于二级或二级以下公路路面的基层。但石灰稳定土的收缩裂缝多、水稳定性较差,不应做高速公路或一级公路的基层,必要时可以用做底基层。在冰冻地区的潮湿路段以及其他地区的过湿路段,也不宜采用石灰稳定土作基层。石灰稳定细粒土也不得用做二级公路路面的基层。

三、水泥稳定土

在广义的土中,掺入足量的水泥和水,通过拌和得到的混合料,经摊铺、压实及养生后,当其抗压强度符合规定的要求时,称为水泥稳定土。

水泥稳定土常用的种类有:水泥土、水泥砂、水泥碎石、水泥砂砾等。

水泥稳定土能适应不同的气候与水文条件,特别是在潮湿寒冷地区的适应性较其他稳定土更强。用水泥来稳定土可显著地改善土的物理力学性质,获得良好的整体性、足够的力学强度、水稳定性和抗冻性。其初期强度较高,且随龄期增长而增长,所以使用范围很广。

1. 水泥稳定土强度形成原理

在利用水泥来稳定土的过程中,水泥、土和水之间发生了多种非常复杂的作用,从而使土的性能发生了明显的变化。水泥稳定土的强度主要靠以下4个方面的作用形成的:

1)水泥的水化作用

在水泥稳定土中,首先发生的是水泥自身的水化反应,从而产生出具有胶结能力的水化产

物,这是水泥稳定土强度的主要来源。

水泥水化生成的水化产物,在土的孔隙中相互交织搭接,将土颗粒包裹连接起来,使土逐渐丧失了原有的塑性等性质,并且随着水化产物的增加,混合料也逐渐坚固起来。由于土具有非常高的比表面积和亲水性,同时水泥稳定土中的水泥含量较少,所以水泥的水化硬化条件比混凝土中差得多。特别是粘土矿物对水化产物中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 具有极强的吸附和吸收作用,使溶液中的碱度降低,不但影响水泥水化产物的稳定性,而且影响混合料的性能。因此应优先选用硅酸盐水泥,必要时还应对水泥稳定土进行“补钙”,以提高混合料中的碱度。

2)离子交换作用

水泥水化后所生成的氢氧化钙所占的比例比较高,可达水化产物的 25%。大量的氢氧化钙溶于水以后,在土中形成了一个富含 Ca^{++} 的碱性溶液环境。 Ca^{++} 取代 K^+ 、 Na^+ ,使粘土颗粒之间的距离减小,相互靠拢,导致土的凝聚,从而改变土的塑性,使土具有一定的强度和稳定性。

3)化学激发作用

钙离子的存在不仅影响到粘土颗粒表面双电层的结构,而且在这种碱性溶液环境下,土本身的化学性质也将发生变化。

土的矿物组成基本上属于硅铝酸盐,在通常情况下,这些矿物具有比较高的稳定性,但当粘土颗粒周围介质的 pH 值增加到一定程度时,粘土矿物中的部分 SiO_2 和 Al_2O_3 的活性将被激发出来,与溶液中的 Ca^{++} 进行反应,生成主要是硅酸钙和铝酸钙系列的新的矿物。这些矿物的组成和结构与水泥的水化产物都有很多类似之处,同样具有胶凝能力。生成的这些胶结物质包裹着粘土颗粒表面,与水泥的水化产物一起,将粘土颗粒凝结成一个整体。因此,氢氧化钙对粘土矿物的激发作用,将进一步提高水泥稳定土的强度和水稳定性。

4)碳化作用

水泥水化生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 除了可与粘土矿物发生化学反应外,还可以进一步与空气中的 CO_2 发生碳化反应并生成碳酸钙晶体。碳酸钙生成过程中产生体积膨胀,也可以对土的基体起到填充和加固作用。只是这种作用相对来讲比较弱,并且反应过程缓慢。

2. 影响水泥稳定土强度的因素

1)土质

各类土均可用水泥稳定,但稳定效果不同。试验和生产实践表明,用水泥稳定级配良好的碎(砾)石和砂砾效果最好,不但强度高,而且水泥用量少;其次是细粒土质砂;再次是粉质土和粘质土。重粘土难以粉碎和拌和,不宜单独用水泥来稳定。因此,要求土的塑性指数不大于 17,实际工程中应选用塑性指数小于 12 的土。有机质含量超过 20% 和硫酸盐含量超过 0.25% 的土不宜选用。

2)水泥

各种类型的水泥都可以用于稳定土。对于同一种土,通常情况下硅酸盐水泥的稳定效果好,而铝酸盐水泥较差。

水泥剂量是指水泥重量占全部粗细颗粒(即碎石、砾石、砂砾、粉粒、粘粒)干重量的百分率。

水泥稳定土的强度随水泥剂量的增加而增长,过多的水泥用量,虽能增加强度,在经济上却不一定合理,效果上也不一定显著,且容易开裂。水泥剂量为 4% ~ 8% 较为合理。合理的

剂量应根据结构层技术要求进行混合料组成设计确定。

3)含水量

当含水量不足时,水泥不能在混合料中完全水化和水解,发挥不了水泥对土的稳定作用,影响其强度形成。含水量达不到最佳含水量时还会影响水泥稳定土的压实度。

水泥正常水化所需的水量约为水泥重的 20%,对于细粒土质砂,完全水化达到最高强度的含水量较最大密度的含水量小,对于粘质土则相反。

4)施工工艺过程

水泥、土和水拌和均匀,且在最佳含水量下充分压实,使干密度最大,其强度和稳定性就高。水泥稳定土从开始加水拌和到完成压实的延迟时间要尽可能缩短,一般要在 6h 以内,若时间过长,则水泥凝结,碾压时不但达不到压实度要求,而且还会破坏已结硬水泥的胶凝作用,反而使水泥稳定土强度下降。在水泥终凝时间达不到规定要求时,可以使用一定剂量的缓凝剂,缓凝剂的品种和具体数量应根据试验确定。

水泥稳定土需湿法养生,以满足水化形成强度的需要。养生温度愈高,强度增长得愈快,因此,应保证水泥稳定土养生的温度和湿度条件。施工最低气温及冻前龄期的要求与石灰稳定土相同。

3. 水泥稳定土的用途

水泥稳定土的水温性和抗冻性都较石灰稳定土好,暴露的水泥稳定土因干缩和冷缩也易产生裂缝。水泥土与水泥稳定砂砾、水泥稳定碎石相比有下述 3 个不利的特征:一是水泥土容易产生严重的收缩裂缝,并影响面层;二是水泥土的强度没有充分形成时其表层遇水会发生软化;三是水泥土的抗冲刷能力小,表面水由面层裂缝渗入后易产生唧泥现象。

水泥稳定粗、中粒土可用于各级公路路面结构的基层和底基层。但水泥土禁止用做沥青路面的基层,只能用做底基层。在高等级公路的水泥混凝土面板下,也不应用水泥土做基层。

水泥稳定土结构层的施工最小厚度为 15cm,结构层适宜的厚度为 16~20cm。

四、石灰工业废渣稳定土

一定数量的石灰和粉煤灰(或石灰和煤渣)与其他集料相结合,加入适量的水(通常为最佳含水量),通过拌和得到的混合料,经摊铺、压实及养生后,当其抗压强度符合规定要求时,称为石灰工业废渣稳定土,简称石灰工业废渣。

用石灰、粉煤灰稳定细粒土(含砂)简称二灰土;用石灰、粉煤灰稳定砂砾简称二灰砂砾;用石灰、粉煤灰稳定碎石简称二灰碎石;用石灰、粉煤灰稳定矿渣简称二灰矿渣等。

用石灰、煤渣稳定细粒土(含砂)简称二渣土;用石灰、煤渣稳定砂砾或稳定碎石简称三渣;用石灰、煤渣稳定碎石土(细颗粒的土)简称三渣土等。

石灰与工业废渣拌和后,石灰中的氧化钙与工业废渣中的活性物质二氧化硅和三氧化二铝相互作用生成含水的硅、铝酸钙,这些新生成的胶凝物质晶体具有较强的胶结能力和稳定性,因而其强度、刚度和水稳定性显著提高,抗冻性和稳缩性也明显改善。石灰工业废渣稳定土具有水硬性、缓凝性、抗裂性好、板体性和抗冻性好等特点。

影响石灰工业废渣稳定土强度与稳定性的主要因素有石灰质量与用量、粉煤灰或煤渣质量与用量、土质、含水量、工艺过程和养生条件等。

细粒土的塑性指数大,拌和成的二灰土的收缩性大。因此对土的要求是:易于粉碎、便于碾压成型,塑性指数为 12~20,有机质含量不超过 10%,硫酸盐含量不应超过 0.8%。

在二灰或二灰土中加入粒料可提高其早期强度,减少其收缩裂缝。试验表明,密实式二灰砂砾、二灰碎石比悬浮式的强度高、收缩变形小,因此,石灰工业废渣基层所用的碎、砾石应具有一定的级配。

石灰的质量和用量对混合料的强度均有较大的影响。石灰质量应符合Ⅲ级以上的生石灰或消石灰的技术指标。实际使用时,要尽量缩短石灰的存放时间。石灰的用量应通过试验确定。

粉煤灰的主要成分是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 。前两种成分的总含量应大于 70%。粉煤灰中的活性物质是在石灰的碱性激发及相互作用下生成含水的硅、铝酸钙。粉煤灰的烧失量应小于 20%,烧失量过大,将明显降低混合料的强度,有的甚至难以成型。粉煤灰的粒径变化范围在 0.001~0.3mm 之间,但大部分在 0.01~0.1mm 之间。湿粉煤灰含水量不宜超过 35%。粉煤灰的用量应通过试验确定。

其他影响因素与石灰稳定土和水泥稳定土基本相同。

石灰工业废渣稳定土结构层适用于各级公路的基层和底基层,但二灰土不能作为高等级公路路面的基层,只能做底基层。该结构层施工最小厚度为 15cm,适宜的厚度为 16~20cm。

本章小结

(1)常用的路面基层、底基层和垫层主要有碎、砾石类和无机结合料稳定类两大类。

(2)碎石、砾石类结构层是用粗、细碎(砾)石、粘土(或不含粘土)按照嵌锁原则或级配原则铺筑而成的结构层。

(3)无机结合料稳定土结构层是在广义的土中掺入一定量的无机结合料(包括水泥、石灰或工业废渣等)和水,经拌和得到的混合料,经压实与养生后,使其抗压强度符合规定要求的结构层。

(4)石灰稳定土强度是靠离子交换、结晶、碳酸化、火山灰等 4 种作用形成的。水泥稳定土强度是靠水泥的水化、离子交换、化学激发、碳酸化等 4 种作用形成的。

(5)路面基层、底基层和垫层中的各类结构层都有各自的基本要求和适用性。

思考题与习题

1. 用嵌锁原则或级配原则做碎、砾石路面基层、底基层结构层有什么不同?
2. 试述泥结碎石、泥灰结碎石、水结碎石、填隙碎石、级配碎(砾)石结构的基本概念?
3. 试述无机结合料稳定土结构层的优点与缺点?
4. 无机结合料稳定土结构中的用土与路基中用土的分类有什么不同?
5. 试述石灰稳定土、水泥稳定土、石灰工业废渣稳定土的基本概念?
6. 试述石灰稳定土的强度形成原理?影响石灰稳定土强度的因素是什么?
7. 试述水泥稳定土的强度形成原理?影响水泥稳定土强度的因素是什么?

第四章

沥青路面设计

教学要求

- 1. 描述沥青路面的设计理论及设计指标 ,应用沥青路面各结构层设计和结构层组合设计的原则进行沥青路面结构层设计 ;
- 2. 解释建立弹性层状体系理论的基本概念 ,进行弹性层状体系路表弯沉和各层底面拉应力的计算 ;
- 3. 通过轴载换算、累计当量轴次的计算进行交通分析 ;
- 4. 描述我国沥青路面设计规范的理论体系、设计标准 ,进行新建路面设计 ;
- 5. 进行原有路面状况调查 ,强度评定 ,并进行补强层设计。

• 第一节 沥青路面设计理论及指标 •

一、沥青路面设计理论

由不同材料的结构层及土基组成的路基路面结构 ,在荷载作用下其应力形变关系一般呈非线性特性 ,且形变随应力作用时间而变化 ,同时应力卸除后常有一部分变形不能恢复。因此 ,严格地说 ,沥青路面在力学性质上属于非线性的弹—粘—塑性体。但是考虑到行驶车轮作用的瞬时性(百分之几秒) ,在路面结构中产生的粘—塑性变形量很小 ,所以对于厚度较大、强度较高的高等级路面 ,将其视作线性弹性体 ,并应用弹性层状体系理论进行分析计算将是合适的。我国沥青路面设计规范规定采用以双圆均布荷载作用下的弹性层状体系理论为基础进行路面的结构分析和设计。

弹性层状体系是由若干个弹性层组成 ,上面各层具有一定厚度 ,最下一层为弹性半空间体 ,如图 3-1-4-1 所示 ,其中 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{n-1}$ 为各层厚度 , $E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_{n-1}$ 及 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_i, \dots, \mu_{n-1}$ 为各层弹性模量及泊松比 , E_n 和 μ_n 分别为土基的弹性模量和泊松比。我国在应用弹性力学方法求解弹性层状体系的应力、变形和位移等分量时 ,作了如下基本假定 :

(1)各层是连续的、完全弹性的、均匀的、各向同性的 ,以

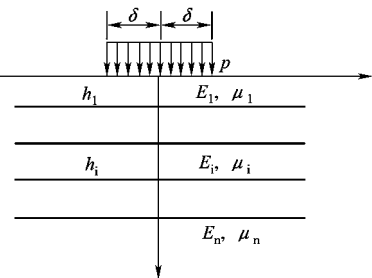


图 3-1-4-1 弹性层状体系示意图

及位移和形变是微小的；

(2)最下一层在水平方向和垂直向下方向为无限大,其上各层厚度为有限、水平方向为无限大；

(3)各层在水平方向无限远处及最下一层向下无限深处,其应力、形变和位移为零；

(4)层间接触情况,或者位移完全连续(称连续体系),或者层间仅竖向应力和位移连续而无摩阻力(称滑动体系)；

(5)不计自重。

按照上述假定条件,可以直接计算弹性层状体系内任一点的应力、应变和位移,但工作量很大。我国已通过电子计算机进行了计算,编绘成图表供路面设计时查用(不具备电算条件时),如图 3-1-4-2、图 3-1-4-3、图 3-1-4-4、图 3-1-4-5 所示。

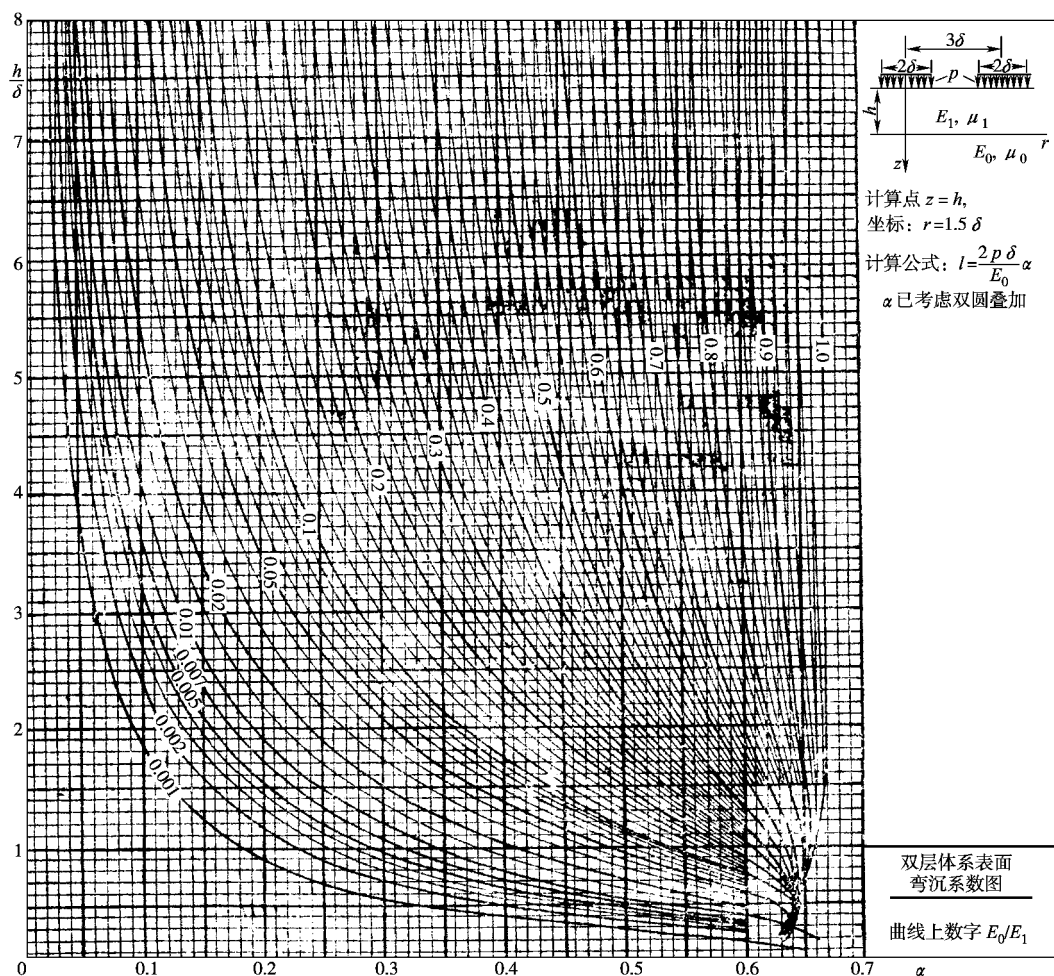


图 3-1-4-2 弹性双层体系双圆均布荷载弯沉计算诺谟图

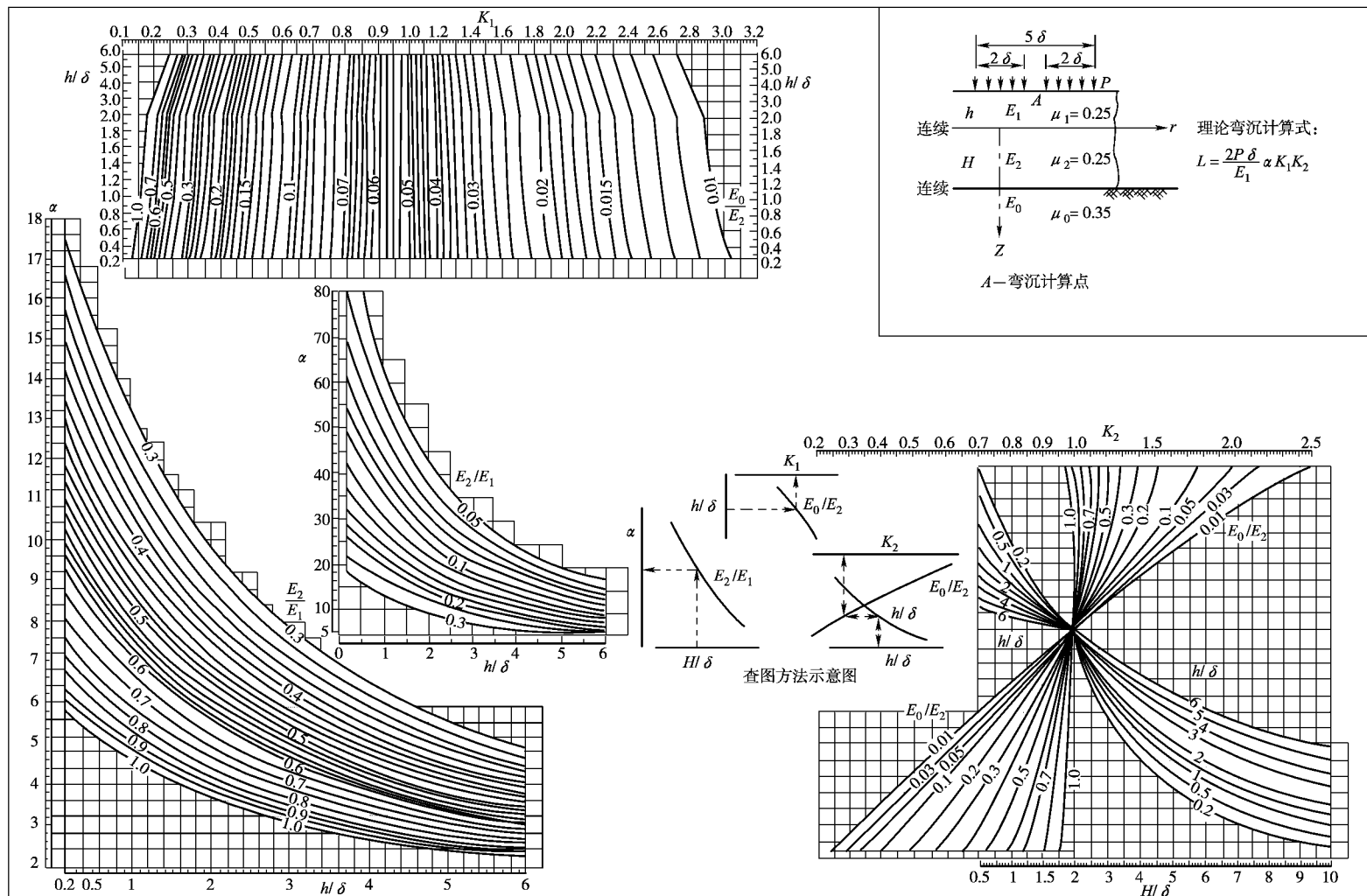


图 3-1-4-3 三层体系表面弯沉系数诺谟图

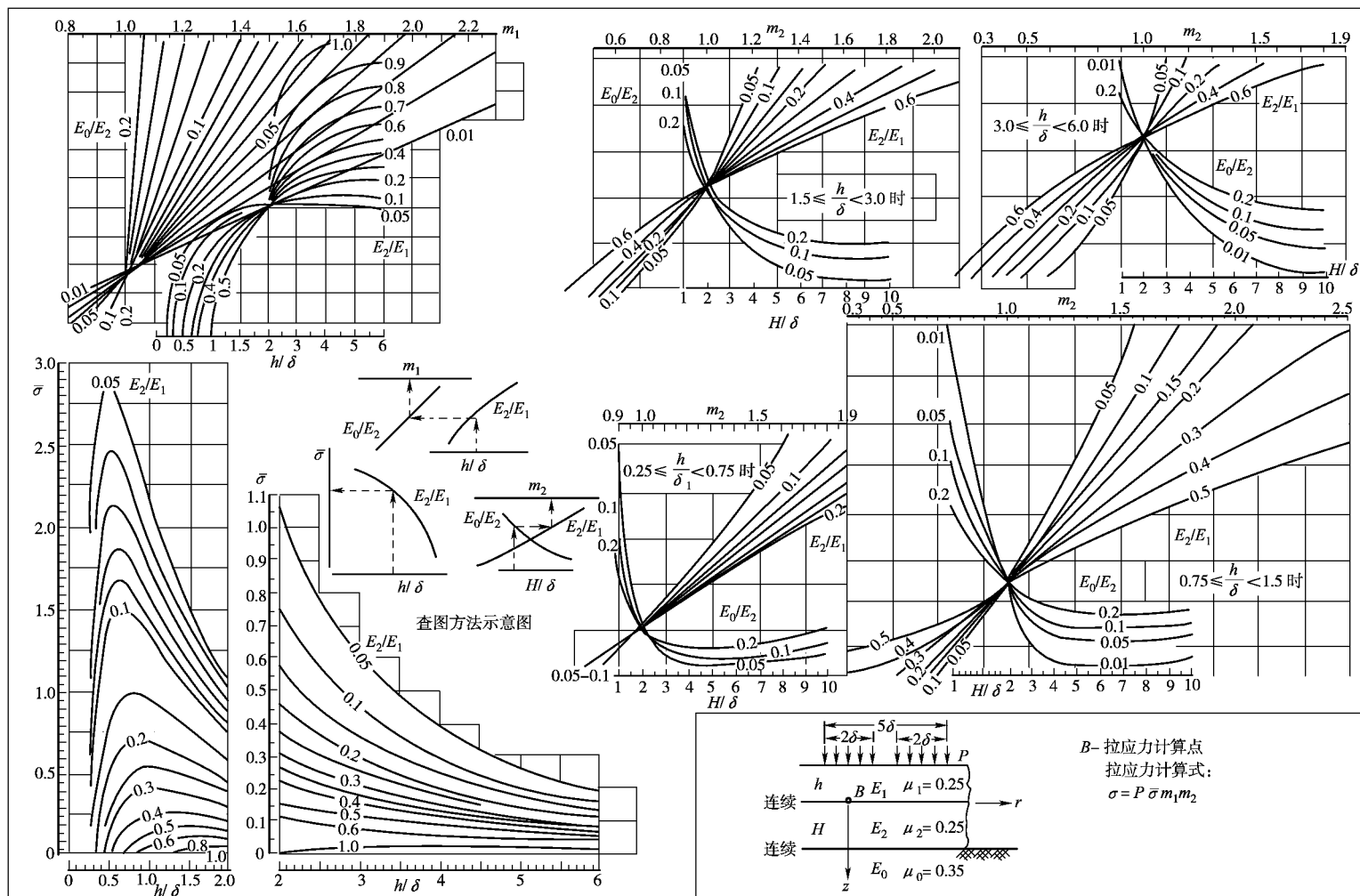


图 3-1-4-4 三层连续体系上层底面拉应力系数诺谟图(上层中层间连续)

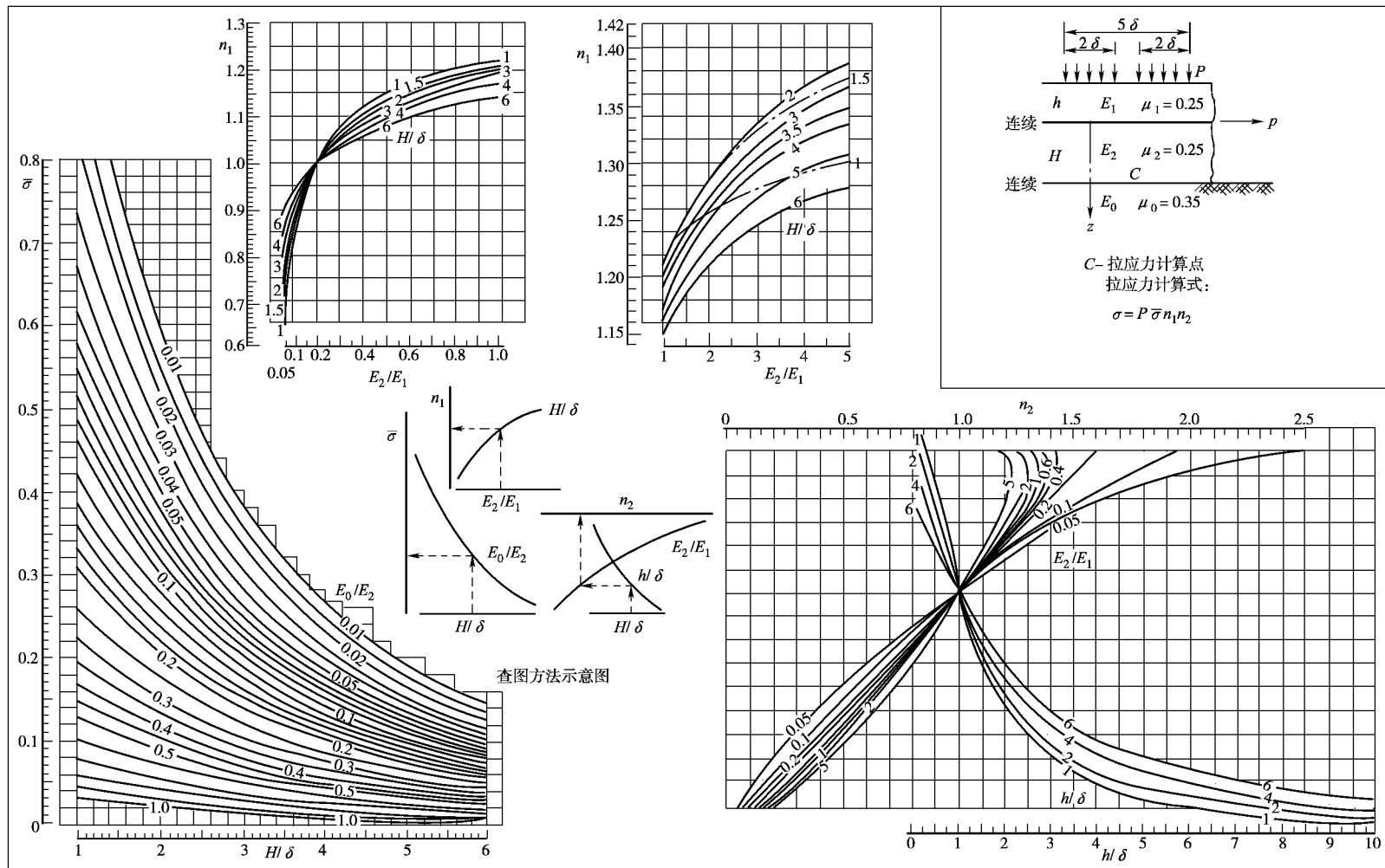


图 3-1-4-5 三层连续体系中层底面拉应力系数诺模图(上层中层间连续)

二、沥青路面的设计指标

沥青路面在行车荷载的反复作用和自然因素的不断影响下,会逐渐出现损坏。由于环境、材料组成、结构层组合、荷载、施工和养护等条件的变异,损坏的形态多种多样,常见的有:沉陷、车辙、推移、开裂、松散和坑槽、表面磨光、低温缩裂和反射裂缝等模式。鉴于破坏模式的多样化,欲控制或限制路面结构性能在预定的使用年限内不恶化到某一程度,应制定出相应的多种设计指标来控制路面设计。

1. 弯沉设计指标

为了控制路基路面的总变形,防止开裂、沉陷、车辙等整体强度不足的损坏,采用弯沉设计指标——路基路面结构表面在双圆均布垂直荷载作用下轮隙中心处的实测路表弯沉值 L_s 小于或等于设计弯沉值 L_d ,即

$$L_s \leq L_d \quad (3-1-4-1)$$

2. 拉应力指标

为了防止沥青混凝土或半刚性基层、底基层的疲劳开裂,采用拉应力指标——沥青混凝土面层或半刚性材料基层、底基层底面计算点的拉应力 σ_m 应小于或等于该层材料的容许拉应力 σ_R ,即

$$\sigma_m \leq \sigma_R \quad (3-1-4-2)$$

3. 剪应力指标

为了防止高温季节道路交叉口、停车场等车辆频繁起动、制动地段的沥青面层表面产生推移和拥起等破坏现象,采用剪应力指标——沥青路面面层在车轮的垂直力和水平力的共同作用下,可能产生的最大剪应力 $\tau_{\max}$ (由弹性层状体系理论计算的各应力分量求得),应不超过材料的容许剪应力 τ_R ,即

$$\tau_{\max} \leq \tau_R \quad (3-1-4-3)$$

上述3项设计指标的使用范围为:

(1)我国《公路沥青路面设计规范》以设计弯沉值作为路面结构整体刚度的设计指标。对高速公路、一级公路和二级公路的沥青混凝土面层和半刚性基层、底基层还应进行层底拉应力的验算。

(2)我国《城市道路设计规范》规定:

①除交通量小的支路上铺筑沥青混凝土面层时可仅用设计弯沉值指标设计外,在其他道路上铺筑沥青混凝土面层应用上述3项指标设计。

②对沥青碎石面层采用设计弯沉值和剪应力两项指标设计,对沥青贯入式、沥青表面处治和粒料路面,只用设计弯沉值指标设计。

③采用半刚性基层时,应对基层按拉应力指标设计。

三、路面设计弯沉值

路面设计弯沉值是指路面竣工后第一年不利季节,在标准轴载 100kN 作用下路面温度为 20℃ 时测得的最大回弹弯沉值。它是表征路面整体刚度大小的指标,是路面厚度计算的主要依据。路面设计弯沉值应根据公路等级、面层和基层类型、设计年限内一个车道通过的累计当

量轴次按下式计算确定：

$$L_d = \frac{600}{N_e^{0.2}} A_c A_s A_b \quad (3-1-4-4)$$

式中 L_d ——路面设计弯沉值 0.01mm ，该值是在标准温度、标准轴载作用下测定的路表回弹弯沉值，对半刚性基层用 5.4m 弯沉仪，对柔性基层为 3.6m 弯沉仪；若用自动弯沉车或落锤式弯沉仪测定时，应建立相应的换算关系进行换算；

N_e ——设计年限内一个车道上累计当量轴次；

A_c ——公路等级系数，高速公路、一级公路为 1.0 ，二级公路为 1.1 ，三、四级公路为 1.2 ；

A_s ——面层类型系数，沥青混凝土面层为 1.0 ，热拌沥青碎石、乳化沥青碎石、上拌下贯或贯入式路面为 1.1 ，沥青表面处治为 1.2 ，中低级路面为 1.3 ；

A_b ——基层类型系数，对半刚性基层、底基层总厚度等于或大于 20cm 时， $A_b = 1.0$ ，若面层与半刚性基层之间设置等于或小于 15cm 级配碎石层、沥青贯入碎石、沥青碎石的半刚性基层结构时，仍为 1.0 ；柔性基层、底基层或柔性基层厚度大于 15cm ，底基层为半刚性下卧层时为 1.6 。

【例 1】某一级公路，沥青混凝土路面，基层为厚 20cm 的水泥稳定碎石，在设计年限内一个车道的累计当量轴次为 10.9×10^6 次，求其设计弯沉值。

【解】根据题意及路面设计弯沉值计算公式可知：该公路为一级公路，公路等级系数取 1.0 ，面层是沥青混凝土，面层类型系数取 1.0 ，半刚性基层——水泥碎石厚为 20cm ，基层类型系数取 1.0 。则设计弯沉值为：

$$L_d = \frac{600}{N_e^{0.2}} A_c A_s A_b = 600 \times (10.9 \times 10^6)^{-0.2} \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 23.48(0.01\text{mm})$$

四、结构层材料的容许拉应力

结构层材料的容许拉应力是路面结构在行车荷载反复作用下达到疲劳临界破坏状态时容许的最大拉应力。容许拉应力可按下列公式计算：

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{sp}}{K_s} \quad (3-1-4-5)$$

式中 σ_r ——路面结构层材料的容许拉应力 MPa ；

σ_{sp} ——沥青混凝土或半刚性材料的劈裂强度 MPa 。对沥青混凝土系指 15°C 时的劈裂强度；对水泥稳定类材料为龄期 90d 的劈裂强度 MPa ；对二灰稳定类、石灰稳定类的材料为龄期 180d 的劈裂强度 MPa ，应由试验确定；

K_s ——抗拉强度结构系数。

对沥青混凝土面层：

$$K_s = 0.09 A_a \cdot \frac{N_e^{0.22}}{A_c} \quad (3-1-4-6)$$

式中 A_a ——沥青混凝土级配类型系数，细、中粒式沥青混凝土为 1.0 ，粗粒式沥青混凝土为 1.1 ；

A_c ——公路等级系数,见公式(3-1-4-4)。

对无机结合料稳定集料类:

$$K_s = 0.35 \frac{N_e^{0.11}}{A_c} \quad (3-1-4-7)$$

对无机结合料稳定细粒土类:

$$K_s = 0.45 \frac{N_e^{0.11}}{A_c} \quad (3-1-4-8)$$

【例2】已知某一级公路,采用细粒式密级配沥青混凝土上面层,其劈裂强度为1.4MPa,在设计年限内一个车道的累计当量轴次为 10.9×10^6 次,求其容许拉应力。

【解】根据题意可知:公路等级系数取1.0,沥青混凝土级配类型系数取1.0,则抗拉强度结构系数:

$$K_s = 0.09 A_a \cdot \frac{N_e^{0.22}}{A_c} = \frac{0.09 \times 1.0 \times (10.9 \times 10^6)^{0.22}}{1.0} = 3.18$$

细粒式密级配沥青混凝土的容许拉应力为:

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{sp}}{K_s} = \frac{1.4}{3.18} = 0.4403 \text{ MPa}$$

• 第二节 沥青路面结构设计 •

沥青路面设计应包括路面结构层原材料的选择、混合料配合比设计、设计参数的测试与确定、路面结构层组合与厚度计算、路面结构的方案比选等内容,以及路面排水系统设计和路面加固等的设计。本节主要叙述路面结构设计。路面结构设计包括各分层结构设计和结构层组合设计。

一、结构设计的一般原则

在沥青路面结构设计中,应该遵循下述的技术经济原则:

1. 因地制宜、合理选材

路面各结构层所用的材料,尤其是用量大的基层、垫层材料,应充分利用当地的天然材料、加工材料或工业副产品,以减少运输费用和降低工程造价。同时还要注意吸取和应用当地路面设计在选择材料方面的成功经验。

2. 方便施工、利于养护

选择各结构层时还应考虑机具设备和施工条件,在可能的条件下,应尽量采用机械化施工,并考虑建成通车后的养护问题。特别是对于高等级公路来说,要求平时养护工作量越少越好,以免影响大交通量的通行。

3. 分期修建、逐步提高

交通量是确定路面等级和路面类型的最主要的因素之一,而交通量是随时间而逐步增长

的。当资金不足时,一般应接近期使用要求进行路面设计(高速公路和一级公路除外),先以满足近期需要为主。以后随着交通量的增长,车型的加重和投资的增多,逐步提高路面等级,增加路面厚度。但在建造时必须注意使前期工程能为后期工程奠定基础,即能为后期工程所充分利用。

4. 整体考虑、综合设计

在路面结构设计时,对土基、垫层、底基层、基层和面层都应看做是一个有机的整体。按照土基稳定、基层坚实、面层耐久性的要求,充分发挥各结构层的作用,合理选用路面材料,确定适当的结构层厚度,使路面设计既能在整体上满足强度和稳定性的要求,又能做到经济、合理和耐久。

5. 考虑气候因素和水温状况的影响

路面结构设计要保证在自然因素和车轮荷载反复作用下,路面整体结构具有足够的水稳性、干稳定性、冰冻稳定性和高温稳定性,应预测并要重视当地气候和水温状况可能对路面造成的不利影响。

二、沥青路面各分层结构设计

1. 路面等级和面层类型的选择

路面等级、面层类型应与公路等级、交通量相适应。确定路面等级和面层类型应以政治、经济、国防、旅游以及经济发展的需要和设计交通量为主要依据。此外,还应考虑使用需要、材料供应、施工机械设备、地区特点、施工养护工作条件等因素,参考表 3-1-4-1 确定。

路面类型的选择

表 3-1-4-1

公路等级	路面等级	面层类型	设计年限 (年)	设计年限内累计 标准轴次 (万次/一车道)
高速公路、一级公路	高级路面	沥青混凝土	15	>400
二级公路	高级路面	沥青混凝土	12	>200
	次高级路面	热拌沥青碎石混合料、沥青贯入式	10	100~200
三级公路	次高级路面	乳化沥青碎石混合料、沥青表面处治	8	10~100
四级公路	中级路面	水结碎石、泥结碎石、级配碎(砾)石、半整齐石块路面	5	≤10
	低级路面	粒料改善土	5	

对有特殊使用要求的公路,其路面等级与面层类型的选择可根据实际情况选用。

路面面层因直接承受行车和自然因素的反复作用,要求强度高(抗拉和抗剪切)、耐磨耗、抗滑、热稳定性好和不透水,因而通常选用粘结力较强的结合料和强度高的集料作为面层材料。交通量越大,公路等级越高,则路面等级也应该越高,厚度也越大,相应的面层层次一般也越多。

在选择面层类型时,特别应考虑当地的气候特征。如在气候干旱地区,不宜采用砂砾路面,以免产生严重的搓板现象。在多雨地区,要特别重视路面结构层的水稳性和面层透水性问

题。对于沥青路面,还要考虑寒冷地区的低温抗裂性和高温地区的热稳性问题,同时还要考虑抗滑性能等问题。

2. 基层类型的选择

基层是主要的承重层,应具有足够的强度、刚度和水稳定性。目前常用的基层类型有沥青、水泥及工业废渣稳定类、碎(砾)石嵌挤类和土、石级配类3种。每一类型都有各自的特点,沥青、水泥和二灰稳定类适用于交通量繁重的公路,其他类型可适用于一般交通道路。在选择基层类型时,首先要考虑充分利用当地材料这一原则。即使当地某些材料不能直接使用,也要从施工工艺、材料组成等方面采用适当措施加以改进,使之得到合理应用。如果所需基层厚度较大时,为了降低造价,可增设底基层,用成本较低、来源较广、性能稍差的当地材料(如砂、砾等)铺筑底基层。

沥青类路面的基层水稳性问题应给予重视,以土作为结合料的基层,水稳定性较差,故在潮湿和中湿路段上,应选用碎石、片石、块石、工业废渣、不含土的天然砂砾、石灰土、二灰土及水泥稳定砂砾等水稳性好的基层。对于泥结碎(砾)石和级配碎(砾)石属于水稳定性差的基层,仅限用于干燥路段,不得用于中、潮湿路段,否则将会引起基层含水量增大而导致沥青路面的严重破坏。

三、结构层组合设计

沥青路面结构层的合理选择和组合,是整个路面结构是否能在设计使用年限里承受行车荷载和自然因素的共同作用,同时又能发挥各结构层的最大效能,使整个路面结构经济合理的关键。根据理论分析和多年的使用经验,在路面结构组合设计中要遵循下列原则。

1. 适应行车荷载作用的要求

作用在路面上的行车荷载,通常包括垂直力和水平力。路面在垂直力作用下,内部产生的应力和应变随深度向下而递减。水平力作用产生的应力、应变,随深度递减的速率更快。路面表面还同时承受车轮的磨损作用,因此,要求路面面层具有足够的强度和抗变形能力,其下各层的强度和抗变形能力可自上而下逐渐减小。这样,在进行路面结构组合时,各结构层应按强度和刚度自上而下递减的规律安排,以使各结构层材料的效能得到充分发挥。

按照这种原则组合路面时,结构层的层数愈多愈能体现强度和刚度沿深度递减的规律。但就施工工艺、材料规格和强度形成原理而言,层数又不宜过多,也就是不能使结构层的厚度过小。表3-1-4-2是各种结构层的适宜厚度以及考虑施工因素的最小厚度,可供设计时参考。适宜的结构层厚度需结合材料供应、施工工艺并按该表的规定确定,从强度要求和造价考虑,宜自上而下由薄到厚。

路面设计时,沥青面层厚度与公路等级、交通量及组成、沥青品种和质量有关,沥青面层推荐厚度列于表3-1-4-3,设计时应根据公路等级、交通量大小、重车所占的比例、选用沥青质量等因素,综合考虑确定沥青层厚度。基层、底基层厚度应根据交通量大小、材料力学性能和扩散应力的效果,发挥压实机具的功能以及有利于施工等因素选择各结构层的厚度。

沥青路面相邻结构层材料的模量比对路面结构的应力分布有显著影响,是合理确定结构层层数,选定适宜结构层材料的重要考虑因素。根据分析和经验,基层与面层的模量比应不小于0.3,土基与基层或底基层的模量比宜为0.08~0.40。

各类结构层的最小厚度和适宜厚度

表 3-1-4-2

结构层类型		施工最小厚度 (cm)	结构的适宜厚度 (cm)
沥青混凝土 热拌沥青碎石	粗粒式	5.0	6 ~ 8
	中粒式	4.0	4 ~ 6
	细粒式	2.5	2.5 ~ 4
沥青石屑		1.5	1.5 ~ 2.5
沥青砂		1.0	1.0 ~ 1.5
沥青贯入式		4.0	4 ~ 8
沥青上拌下贯式		6.0	6 ~ 10
沥青表面处治		1.0	层铺 1 ~ 3 拌和 2 ~ 4
水泥稳定类		15.0	16 ~ 20
石灰稳定类		15.0	16 ~ 20
石灰工业废渣类		15.0	16 ~ 20
级配碎、砾石		8	10 ~ 15
泥结碎石		8	10 ~ 15
填隙碎石		10	10 ~ 12

沥青层推荐厚度

表 3-1-4-3

公路等级	推荐厚度 (cm)	公路等级	推荐厚度 (cm)
高速公路	12 ~ 18	三级公路	2 ~ 4
一级公路	10 ~ 15	四级公路	1 ~ 2.5
二级公路	5 ~ 10		

2. 在各种自然因素作用下稳定性好

如何保证沥青路面的水稳性,是路面结构层选择与组合需要解决的重要问题。在潮湿和某些中湿路段上修筑沥青路面时,由于沥青层不透气,使路基和基层中水分蒸发的通路被隔断,因而向基层积聚。如果基层材料中含土量多(如泥结碎石、级配砾石),尤其是土的塑性指数较大时,遇水就会变软,强度和刚度会急剧下降,结果导致路面开裂破坏。所以沥青路面的基层一般应选择水稳性好的材料,在潮湿路段及中湿路段尤其如此。

在季节性冰冻地区,当冻深较大,路基土为易冻胀土时,常常产生冻胀和翻浆。在这种路段上,路面结构中应设置防止冻胀和翻浆的垫层。路面总厚度的确定除满足强度要求外,还应满足防冻厚度的要求,以避免在路基内出现较厚的聚冰带,防止产生导致路面开裂的不均匀冻胀。防冻的厚度与路基潮湿类型、路基土类、道路冻深以及路面结构层材料热物理性有关。根据经验及试验观测,表 3-1-4-4 给出路面防冻最小厚度推荐值,可供生产使用。如按强度计算的路面总厚度小于表列厚度规定时,应增设或加厚垫层使路面总厚度达到表列要求。

在冰冻地区和气候干燥地区,无机结合料稳定土或粒料的基层常常产生收缩裂缝。如果沥青面层直接铺筑其上,会导致面层出现反射裂缝,为此可在其间加设一层粒料或优质沥青材料层,或者适当加厚面层。

路面最小防冻厚度(cm)

表 3-1-4-4

路基类型	土 质	粘性土、细亚粘土			粉 性 土		
	基层、垫层类型 道路冻深(cm)	砂石类	稳定土类	工业废料类	砂石类	稳定土类	工业废料类
中 湿	50 ~ 100	40 ~ 45	35 ~ 40	30 ~ 35	45 ~ 50	40 ~ 45	30 ~ 40
	100 ~ 150	45 ~ 50	40 ~ 45	35 ~ 40	50 ~ 60	45 ~ 50	40 ~ 45
	150 ~ 200	50 ~ 60	45 ~ 55	40 ~ 50	60 ~ 70	50 ~ 60	45 ~ 50
	大于 200	60 ~ 70	55 ~ 65	50 ~ 55	70 ~ 75	60 ~ 70	50 ~ 65
	60 ~ 100	45 ~ 55	40 ~ 50	35 ~ 45	50 ~ 60	45 ~ 55	40 ~ 50
潮 湿	100 ~ 150	55 ~ 60	50 ~ 55	45 ~ 50	60 ~ 70	55 ~ 65	50 ~ 60
	150 ~ 200	60 ~ 70	55 ~ 65	50 ~ 55	70 ~ 80	65 ~ 70	60 ~ 65
	大于 200	70 ~ 80	65 ~ 75	55 ~ 70	80 ~ 100	70 ~ 90	65 ~ 80

注：①对潮湿系数小于 0.5 的地区，II、III、IV 等干旱地区防冻厚度应比表中值减少 15% ~ 20%。

②对 II 区砂性土路基防冻厚度应相应减少 5% ~ 10%。

3. 考虑结构层的特点

路面结构层通常是用密实级配、嵌锁以及形成板体等方式构成的，因而如何构成具有要求强度和刚度并且稳定的结构层是设计和施工都必须注意的问题。影响结构层构成的因素，除材料选择、施工工艺之外，路面结构组合也是十分重要的。如沥青面层不能直接铺筑在铺砌片石基层上，而应在其间加设碎石过渡层，否则铺砌片石不平稳或片石可能的松动都会反映到沥青面层上，造成面层不平整甚至沉陷开裂。这类片石也不能直接铺在软弱的路基上，而应在其间铺粒料层。如沥青混凝土或热拌沥青碎石之类的高级面层与粒料基层或稳定土基层之间应设沥青碎石，并保证有一定的厚度，以提高其抗疲劳性能。

为了保证路面结构的整体性和结构层之间应力传递的连续性，应尽量使结构层之间结合紧密稳定。

在进行路面设计时，要按照面层耐久、基层坚实、土基稳定的要求，贯彻因地制宜、合理选材、方便施工、利于养护的原则以及上述结构组合原则，结合当地经验拟定几种路面结构方案，进行分析比较，并优先选用便于机械化施工和质量管理的方案，做到技术先进，经济合理。

• 第三节 新建路面的结构层厚度计算 •

我国新建公路沥青路面设计采用双圆垂直均布荷载作用下的多层弹性层状体系理论，以设计弯沉值为路面整体刚度的设计指标，计算路面结构所需的厚度。对高速公路、一级公路和二级公路的沥青混凝土面层和半刚性基层、底基层还应进行层底拉应力的验算。城市道路路面设计尚需进行沥青混合料面层的剪应力验算。下面介绍路面结构层厚度设计的有关内容。

一、理论弯沉值与实测弯沉值

1. 理论弯沉值

在弹性层状体系前提条件下，路面结构表面在荷载作用下产生的弯沉，即理论弯沉值。应



用弹性层状体系理论计算双圆荷载轮隙理论弯沉时,由于弹性层状体系理论计算过程的复杂性,一般均需通过计算机进行求解。但在不具备电算条件时还可以通过查弯沉系数诺谟图(双层体系为图 3-1-4-2,三层体系为图 3-1-4-3)进行计算。

当计算体系为弹性双层体系时,双圆垂直荷载下的弯沉计算图式如图 3-1-4-6 所示,理论弯沉的计算公式为

$$L_1 = 1000 \times \frac{2p\delta}{E_0} \alpha_L \quad (3-1-4-9)$$

式中 L_1 ——理论弯沉值(0.01mm);

p, δ ——标准车型的轮胎接地压强,MPa 和当量圆半径,cm;

E_0 ——土基回弹模量值,MPa;

E_1 ——路面材料回弹模量值,MPa;

α_L ——理论弯沉系数,由弹性双层体系理论计算求得。可根据 $h/\delta, E_0/E_1$ 查弹性双层体系双圆均布荷载弯沉计算诺谟图(图 3-1-4-2)得知。

当计算体系为弹性三层体系时,双圆垂直荷载下的弯沉计算图式如图 3-1-4-7 所示,理论弯沉的表达式为:

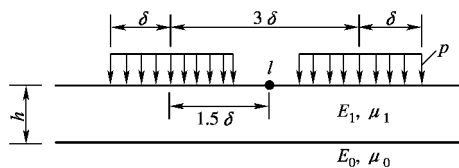


图 3-1-4-6 弹性双层体系双圆垂直荷载下的弯沉计算图式

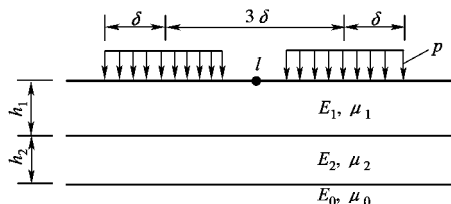


图 3-1-4-7 弹性三层体系双圆垂直荷载下的弯沉计算图式

$$L_1 = 1000 \times \frac{2p\delta}{E_1} \alpha_L \quad (3-1-4-10)$$

式中 L_1 ——理论弯沉值(0.01mm);

p, δ ——标准车型的轮胎接地压强,MPa 和当量圆半径,cm;

E_1, E_2 ——各层材料回弹模量值,MPa;

α_L ——为理论弯沉系数,由弹性三层体系理论计算求得。可根据 $h/\delta, E_0/E_2, E_2/E_1$ 查三层体系弯沉系数诺谟图(图 3-1-4-3)得知。

【例 1】 已知 $p = 0.7\text{MPa}$, $\delta = 10.65\text{cm}$, $E_1 = 1000\text{MPa}$, $E_2 = 500\text{MPa}$, $E_0 = 30\text{MPa}$, $h = 10\text{cm}$, $H = 25\text{cm}$ 求路表理论弯沉值。

【解】 根据题意可知:

$$\frac{h}{\delta} = \frac{10}{10.65} = 0.94, \quad \frac{E_0}{E_2} = \frac{30}{500} = 0.06, \quad \frac{E_2}{E_1} = \frac{500}{1000} = 0.5, \quad \text{查图 3-1-4-3 得 } \alpha = 8.6, K_1 = 0.89,$$

$K_2 = 0.92$ 则

$$\alpha_L = \alpha \cdot K_1 K_2 = 8.6 \times 0.89 \times 0.92 = 7.042$$

路表理论弯沉值为:

$$L_1 = 1000 \times \frac{2p\delta}{E_1} \alpha_L = 1000 \times \frac{2 \times 0.7 \times 10.65}{1000} \times 7.042 = 104.99(0.01\text{mm})$$

2. 实测弯沉值

应用弹性层状体系理论可求得已知路面结构表面在荷载作用下产生的理论弯沉,但大量试验验证结果表明,理论计算值与路表实测弯沉值之间存在一定偏差,故应加以修正。根据弹性多层体系理论、层间接触状态为完全连续,在双圆均布荷载作用下,轮隙中心处实测路表弯沉值(力学图式如图 3-1-4-8 所示)按下式计算:

$$L_s = 1000 \cdot \frac{2p\delta}{E_0} \alpha_c F \quad (3-1-4-11)$$

$$F = 1.63 \left(\frac{L_s}{2000\delta} \right)^{0.38} \left(\frac{E_0}{p} \right)^{0.36} \quad (3-1-4-12)$$

式中 L_s ——路面实测弯沉值 0.01mm ;

p 、 δ ——标准车型的轮胎接地压强 MPa 和当量圆半径 cm ;

F ——弯沉综合修正系数;

α_c ——理论弯沉系数 $\alpha_c = f\left(\frac{h_1}{\delta}, \frac{h_2}{\delta}, \dots, \frac{h_{n-1}}{\delta}, \frac{E_2}{E_1}, \frac{E_3}{E_2}, \dots, \frac{E_0}{E_{n-1}}\right)$, 其中 E_0 为土基回弹模量值 MPa , $E_1, E_2, \dots, E_{n-1}$ 为各层材料回弹模量值 MPa , $h_1, h_2, \dots, h_{n-1}$ 为各结构层厚度 cm 。

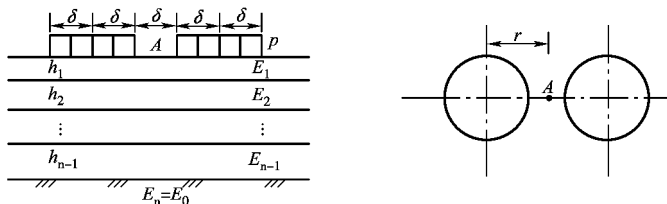


图 3-1-4-8 路表弯沉值计算图式

二、结构层层底拉应力

我国沥青路面设计除以设计弯沉作为设计控制指标外,对高速公路、一级公路、二级公路还要验算沥青混凝土面层和半刚性基层、底基层层底的拉应力。对于结构层底面的最大拉应力的确定,仍由弹性层状体系的计算机程序计算求得。在不具备电算条件时可以通过查弯拉应力的诺谟图进行结构层底部拉应力的计算。

层底拉应力的力学计算图式如图 3-1-4-9 所示。验算沥青混凝土面层及半刚性材料的基层、底基层的层底拉应力时,以单圆的中心点 B,单圆半径的二分之一点 D,单圆的内侧边缘点

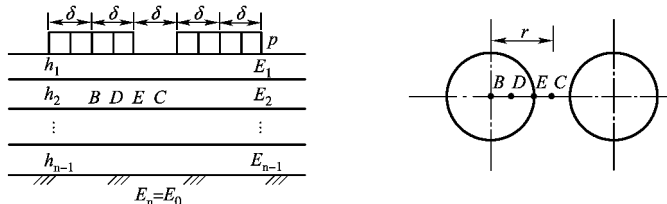


图 3-1-4-9 沥青混凝土层和半刚性材料层的层底拉应力计算图式

E 及双圆间隙中心点 C 为计算点,并取最大值作为层底最大拉应力。根据多层弹性理论,层间为完全连续体系,在双圆荷载作用下层底最大拉应力 σ_m 可按式(3-1-4-13)计算。

$$\sigma_m = p\bar{\sigma}_m \quad (3-1-4-13)$$

$$\bar{\sigma}_m = f\left(\frac{h_1}{\delta}, \frac{h_2}{\delta}, \dots, \frac{h_{n-1}}{\delta}, \frac{E_2}{E_1}, \frac{E_3}{E_2}, \dots, \frac{E_n}{E_{n-1}}\right) \quad (3-1-4-14)$$

式中 p ——标准轴载车型轮胎接地压强,MPa;

σ_m ——理论最大拉应力系数。根据不同层位查诺谟图 3-1-4-4 或图 3-1-4-5。

三、多层路面的等效换算

路面通常为多层结构,计算多层路面弯沉和弯拉应力最好的方法是用弹性层状体系的计算机程序进行计算。当不具备电算条件时,需要将多层路面结构按照弯沉或结构层底部拉应力等效的原则换算为双层或三层体系。

1. 弯沉等效换算法

将多层体系按照弯沉相等的原则换算为双层体系或三层体系的方法称作等弯沉换算法。设有下层模量相同(E_0)、上层的模量和厚度分别为 E_1, h_1 和 E'_1, h'_1 的两个双层体系(图 3-1-4-10)其弯沉分别为:

$$l_a = \frac{2p\delta}{E_0} \alpha_{1a} \text{ 及 } l_b = \frac{2p\delta}{E_0} \alpha_{1b}$$

如令 $l_a = l_b$, 则 $\alpha_{1a} = \alpha_{1b}$, 就是说在弯沉系数相等的条件下,可以把一个模量 E_1 、厚度 h_1 的面层换算为另一个模量 E'_1 、厚度 h'_1 的面层。如此进行,可将多层体系的面层以下各层逐次换算为模量与其上层相同的层次,最终得到一等效的双层体系。这就是多层路面等弯沉换算法原理。

当采用三层体系为计算体系时,需将多层体系按照弯沉等效的原则换算为三层体系。换算时将多层体系的第一层作为上层,其厚度和模量保持不变,将第 2 至 $n-1$ 层作为中层并把它们换算为第 2 层模量的等效厚度,再加上模量不变的下层半空间体,则得到一个弯沉等效的三层体系(图 3-1-4-11)。

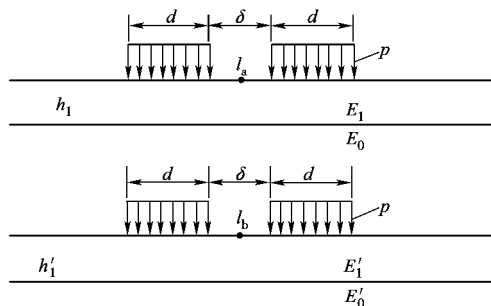


图 3-1-4-10 双层体系弯沉等效换算图示

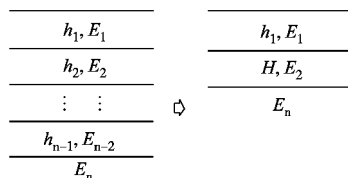


图 3-1-4-11 多层体系弯沉等效换算图示

通过对大量多层弹性体系电算结果的分析回归,得到中层厚度的换算公式为

$$H = h_2 + \sum_{k=3}^{n-1} h_k \sqrt[2.4]{\frac{E_k}{E_2}} \quad (3-1-4-15)$$

2. 弯拉应力等效换算法

当采用三层体系计算多层路面的结构层底部拉应力时,需将多层路面按照拉应力相等的原则换算为含有上层、中层和下层半空间体的弹性三层体系。换算后使用三层体系相应层的拉应力计算诺谟图求算拉应力。根据对电算结果的分析归纳得出计算上层和中层弯拉应力的多层路面换算方法:

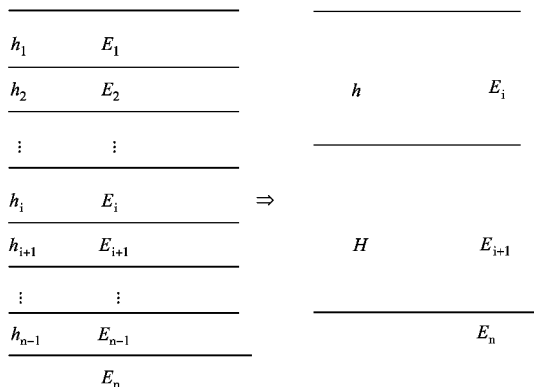
1) 计算上层底面弯拉应力的换算方法

这里说的上层是换算为三层体系之后的上层,如图 3-1-4-12 所示。当计算第 i 层底面的弯拉应力时,需将 i 层以上各层换算为模量 E_i 、厚度 h 的一层即所谓上层,换算公式为

$$h = \sum_{k=1}^i h_k \sqrt[4]{\frac{E_k}{E_i}} \quad (3-1-4-16)$$

将第 $i+1$ 层至 $n-1$ 层换算为模量 E_{i+1} 、厚度为 H 的一层即中层,换算公式为

$$H = \sum_{k=i+1}^{n-1} h_k \sqrt[4]{\frac{E_k}{E_{i+1}}} \quad (3-1-4-17)$$



若计算层为原多层体系的第一层时,换算结果如图 3-1-4-13 所示,按式(3-1-4-17)计算 H 。

2) 计算中层底面弯拉压力

此时即为计算路基之上的 $n-1$ 层的弯拉应力,就是中层为 $H = h_{n-1}$ (图 3-1-4-14),而上层则为 $n-2$ 层以上的各层换算为模量 E_{n-2} 的换算厚度,换算公式为

$$h = \sum_{k=1}^{n-2} h_k \sqrt[4]{\frac{E_k}{E_{n-2}}} \quad (3-1-4-18)$$

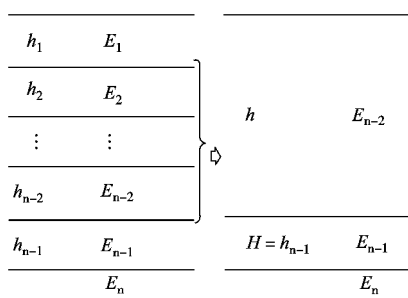
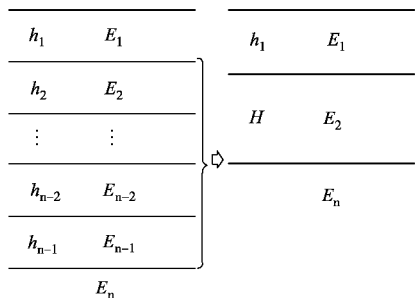


图 3-1-4-13 多层体系第一层为计算层的弯拉应力换算图示

图 3-1-4-14 多层体系计算中层弯拉应力换算示意图

四、新建路面结构设计步骤

新建沥青路面通常按以下步骤进行路面结构设计(参见图 3-1-4-15 所示的路面结构程序框图):

(1)根据设计任务书的要求,确定路面等级和面层类型,计算设计年限内一个车道的累计当量轴次和设计弯沉值。

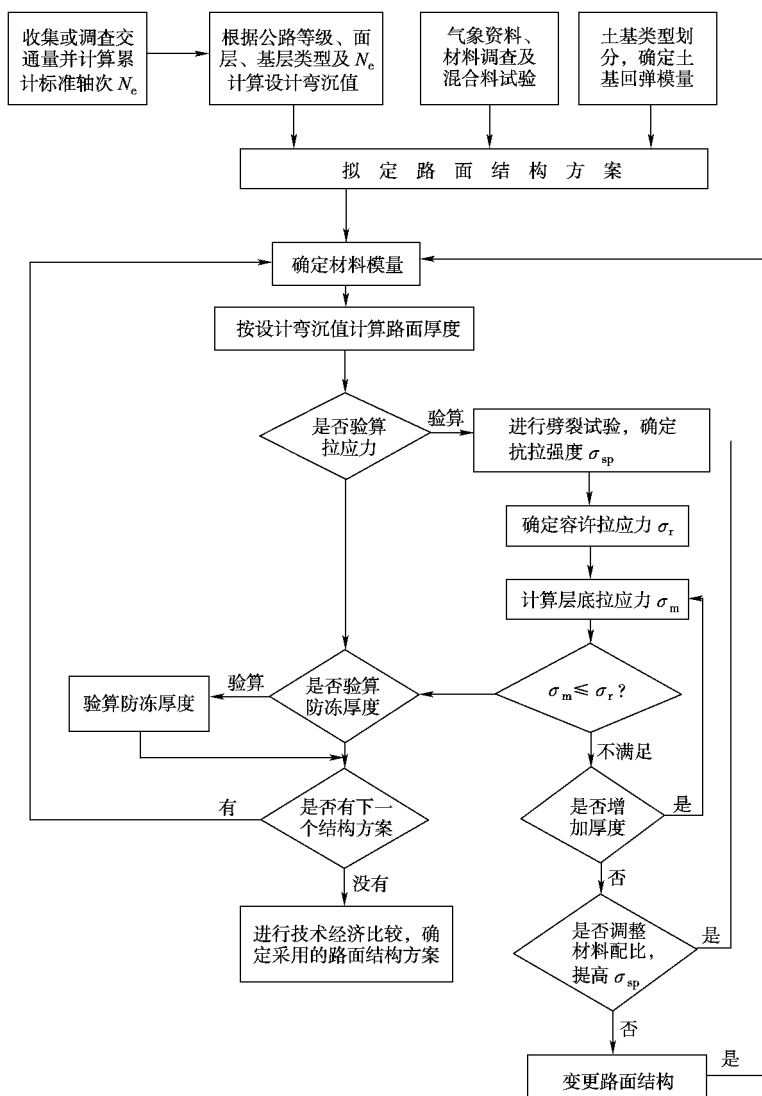


图 3-1-4-15 路面结构设计程序框图

(2)按路基土类与干湿类型,将路基划分为若干路段(在一般情况下路段长度不宜小于500m,若为大规模机械化施工,不宜小于1km),确定各路段的土基回弹模量值。

(3)根据已有经验和规范推荐的路面结构,拟定几种可能的路面结构组合与厚度方案,根据选用的材料进行配合比试验,并测定各结构层材料的抗压回弹模量、劈裂强度,确定各结构层的设计参数。

一般来说,设计时,应先拟定某一层作为设计层,拟定面层和其他各层的厚度。当采用半刚性基层和底基层结构时,可选任一层为设计层;当采用半刚性基层和粒料类材料为底基层时,应拟定面层、底基层厚度,以半刚性基层为设计层才能得到合理的结构;当采用柔性基层和底基层的沥青路面时,宜拟定面层和底基层的厚度,求算基层厚度,当求得基层厚度太厚时,可考虑选用沥青碎石或乳化沥青碎石做上基层,以减薄路面总厚度,增加结构强度和稳定性。

对于季节性冰冻地区的高级和次高级路面,所拟定的路面结构层组合和厚度方案应验算防冻厚度是否满足要求。

(4)根据设计弯沉值计算路面厚度。

路面厚度根据弹性多层体系理论、层间接触状态为完全连续,在双圆均布荷载作用下,轮隙中心处实测路表弯沉值 L_s 等于设计弯沉值 L_d 的原则进行计算,即 $L_s = L_d$ 。若已知某车道累计轴次或设计弯沉值、各结构层的回弹模量与劈裂强度、土基回弹模量以及已知结构层的厚度,利用专用设计程度即可求得某一结构层的厚度。但在不具备电算条件时可以利用 $L_s = L_d$ 的原则,按弯沉等效原理将多层转化为三层体系后(若是多层体系),通过查弯沉系数诺谟图进行路面厚度的计算。

(5)验算结构层层底拉应力。

对于高速公路、一级公路、二级公路沥青混凝土面层和半刚性基层材料的基层、底基层,应验算拉应力是否满足容许拉应力的要求,即要求结构层底面计算点的最大弯拉应力 σ_m 不大于该结构层材料的容许拉应力 σ_r ,表达式为: $\sigma_m \leq \sigma_r$ 。如不满足要求,或调整路面结构层厚度,或变更路面结构组合,或调整材料配合比,提高材料极限抗拉强度,再重新计算。该验算应采用弹性多层体系理论编制的程序进行,无电算条件,也可通过查层底拉应力系数诺谟图进行验算。

(6)进行技术经济比较,确定采用的路面结构方案。

【例2】 甲乙两地之间计划修建一条四车道的一级公路,在使用期内交通量的年平均增长率为10%。该路段处于IV₇区,为粉质土,稠度为1.00,沿途有大量碎石集料,并有石灰供给。预测该路竣工后第一年的交通组成如表3-1-4-5所示,试进行路面结构设计。

预测交通组成表

表 3-1-4-5

车 型	前轴重(kN)	后轴重(kN)	后轴数	后轴轮组数	后轴距	交通量(次/d)
三菱 T653B	29.3	48.0	1	双轮组	—	300
黄河 JN163	58.6	114.0	1	双轮组	—	400
江淮 HF150	45.1	101.5	1	双轮组	—	400
解放 SP9200	31.3	78.0	3	双轮组	>3m	300
湘江 HQP40	23.1	73.2	2	双轮组	>3m	400
东风 EQ155	26.5	56.7	2	双轮组	3m	400

【解】 1. 轴载分析

路面设计以双轮组单轴载 100kN 为标准轴载。

1)以设计弯沉值为指标及验算沥青层层底拉应力中的累计当量轴次

(1)轴载换算

轴载换算采用如下的计算公式:

$$N = \sum_{i=1}^k C_1 C_2 n_i \left(\frac{P_i}{P} \right)^{4.35}$$

计算结果如表 3-1-4-6 所示。

轴载换算结果表(弯沉)

表 3-1-4-6

车 型		P_i (kN)	C_1	C_2	n_i (次/d)	$\sum_{i=1}^k C_1 C_2 n_i \left(\frac{P_i}{P}\right)^{4.35}$ (次/d)
三菱 T653B	前轴	29.3	1	6.4	300	9.2
	后轴	48.0	1	1	300	12.3
黄河 JN163	前轴	58.6	1	6.4	400	250.4
	后轴	114.0	1	1	400	707.3
江淮 HF150	前轴	45.1	1	6.4	400	80.2
	后轴	101.5	1	1	400	426.8
解放 SP9200	前轴	31.3	1	6.4	300	12.3
	后轴	78.0	3	1	300	305.4
湘江 HQP40	后轴	73.2	2	1	400	205.9
东风 EQ155	前轴	26.5	1	6.4	400	7.9
	后轴	56.7	2.2	1	400	74.6
$N = \sum_{i=1}^k C_1 C_2 n_i \left(\frac{P_i}{P}\right)^{4.35}$						2092.3

注 轴载小于 25kN 的轴载作用不计。

(2)累计当量轴次

根据设计规范 ,一级公路沥青路面的设计年限取 15 年 ,四车道的车道系数是 0.4 ~ 0.5 ,取 0.45。

累计当量轴次 :

$$N_e = \frac{|(1+y)^t - 1| \times 365}{\gamma} N_1 \eta = \frac{|(1+0.1)^{15} - 1| \times 365 \times 2092.3 \times 0.45}{0.1} = 10918940 \text{ 次}$$

2)验算半刚性基层层底拉应力中的累计当量轴次

(1)轴载换算

验算半刚性基层层底拉应力的轴载换算公式为 $N' = \sum_{i=1}^k C'_1 C'_2 n_i \left(\frac{P_i}{P}\right)^8$

计算结果如表 3-1-4-7 所示。

轴载换算结果表(半刚性基层层底拉应力)

表 3-1-4-7

车 型		P_i (kN)	C'_1	C'_2	n_i (次/d)	$\sum_{i=1}^k C'_1 C'_2 n_i \left(\frac{P_i}{P}\right)^8$ (次/d)
黄河 JN163	前轴	58.6	1	1.85	400	10.3
	后轴	114.0	1	1	400	1141.0
江淮 HF150	后轴	101.5	1	1	400	450.6
解放 SP9200	后轴	78.0	3	1	300	123.3
湘江 HQP40	后轴	73.2	2	1	400	65.9
东风 EQ155	后轴	56.7	3	1	400	12.8
$N' = \sum_{i=1}^k C'_1 C'_2 n_i \left(\frac{P_i}{P}\right)^8$						1803.9

注 轴载小于 50kN 的轴载作用不计。

(2) 累计当量轴次

参数取值同上,设计年限是 15 年,车道系数取 0.45。

$$N'_e = \frac{[(1+\gamma)^t - 1] \times 365}{\gamma} N_1 \eta = \frac{[(1+0.1)^{15} - 1] \times 365 \times 1803.9 \times 0.45}{0.1} = 9413887 \text{ 次}$$

2. 结构组合与材料选取

由上面的计算得到设计年限内一个行车道上的累计标准轴次约为 1000 万次左右。根据规范推荐结构,并考虑到公路沿途有大量碎石且有石灰供应,路面结构面层采用沥青混凝土(15cm),基层采用水泥碎石(取 25cm),底基层采用石灰土(厚度待定)。

规范规定高速公路、一级公路的面层由二层至三层组成。查规范得知:采用三层式沥青面层,表面层采用细粒式密级配沥青混凝土(厚度 4cm),中面层采用中粒式密级配沥青混凝土(厚度 5cm),下面层采用粗粒式密级配沥青混凝土(厚度 6cm)。

3. 各层材料的抗压模量与劈裂强度

查表得到各层材料的抗压模量和劈裂强度。抗压模量取 20 的模量,各值均取规范给定范围的中值,因此得到 20 的抗压模量:细粒式密级配沥青混凝土为 1400MPa,中粒式密级配沥青混凝土为 1200MPa,粗粒式密级配沥青混凝土为 1000MPa,水泥碎石为 1500MPa,石灰土 550MPa。各层材料的劈裂强度:细粒式密级配沥青混凝土为 1.4MPa,中粒式密级配沥青混凝土为 1.0MPa,粗粒式密级配沥青混凝土为 0.8MPa,水泥碎石为 0.5MPa,石灰土 0.225MPa。

4. 土基回弹模量的确定

该路段处于 IV₇ 区,为粉质土,稠度为 1.00,查表“二级自然区划各土组土基回弹模量参考值(MPa)”,查得土基回弹模量为 40MPa。

5. 设计指标的确定

对于一级公路,规范要求以设计弯沉值作为设计指标,并进行结构层底拉应力验算。

1) 设计弯沉值

路面设计弯沉值根据公式(3-1-4-4)计算。该公路为一级公路,公路等级系数取 1.0,面层是沥青混凝土,面层类型系数取 1.0,半刚性基层,底基层总厚度大于 20 cm,基层类型系数取 1.0。

设计弯沉值为:

$$L_d = \frac{600}{N_e^{0.2}} A_c A_s A_b = 600 \times 10918940^{-0.2} \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 23.47(0.01\text{mm})$$

2) 各层材料的容许层底拉应力

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{sp}}{K_s}$$

细粒式密级配沥青混凝土:

$$K_s = 0.09 A_a \cdot \frac{N_e^{0.22}}{A_c} = \frac{0.09 \times 1.0 \times 10918940^{0.22}}{1.0} = 3.18$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{sr}}{K_s} = \frac{1.4}{3.18} = 0.4403 \text{MPa}$$

中粒式密级配沥青混凝土：

$$K_s = 0.09 A_a \cdot \frac{N_e^{0.22}}{A_c} = \frac{0.09 \times 1.0 \times 10918940^{0.22}}{1.0} = 3.18$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{sr}}{K_s} = \frac{1.0}{3.18} = 0.3145 \text{MPa}$$

粗粒式密级配沥青混凝土：

$$K_s = 0.09 A_a \cdot \frac{N_e^{0.22}}{A_c} = \frac{0.09 \times 1.1 \times 10918940^{0.22}}{1.0} = 3.50$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{sr}}{K_s} = \frac{0.8}{3.50} = 0.2286 \text{MPa}$$

水泥碎石：

$$K_s = 0.35 \frac{N_e^{0.11}}{A_c} = \frac{0.35 \times 9413887^{0.11}}{1.0} = 2.05$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{sr}}{K_s} = \frac{0.5}{2.05} = 0.2439 \text{MPa}$$

石灰土：

$$K_s = 0.45 \frac{N_e^{0.11}}{A_c} = \frac{0.45 \times 9413887^{0.11}}{1.0} = 2.63$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{sr}}{K_s} = \frac{0.225}{2.63} = 0.0856 \text{MPa}$$

6. 设计资料总结

设计弯沉值为 23.47(0.01mm) 相关设计资料汇总如表 3-1-4-8。

设计资料汇总表

表 3-1-4-8

材料名称	h(cm)	20 模量(MPa)	容许拉应力(MPa)
细粒式沥青混凝土	4	1400	0.4403
中粒式沥青混凝土	5	1200	0.3145
粗粒式沥青混凝土	6	1000	0.2286
水泥碎石	25	1500	0.2439
石灰土	—	550	0.0856
土基	—	40	—

7. 确定石灰土层厚度

通过计算机设计计算得到石灰土的厚度为 24.5 cm ,实际路面结构的路表实测弯沉值为 23.40(0.01mm)。

8. 验算结构层层底拉应力

沥青面层的层底均受压应力。水泥碎石层底的最大拉应力为 0.1223MPa ,小于容许拉应力 0.2439MPa ;石灰土层底最大拉应力为 0.075 MPa ,小于容许拉应力 0.0856MPa。

上述设计结果满足设计要求。

在不具备电算条件时 ,先分别将多层体系转化为三层体系 ,通过查弯沉和弯拉应力的诺谟图方法进行路面结构层厚度和结构层层底拉应力的计算 ,并验证结构层层底拉应力满足要求。

• 第四节 改建路面补强厚度计算 •

沥青路面随着使用时间的延续 ,其使用性能和承载能力会不断降低 ,超过设计使用年限后便不能满足正常行车交通的要求 ,而需补强或改建。当原有路面需要提高等级时 ,对不符合技术标准的路段应先进行线形改善 ,改线路段应按新建路面设计。加宽路面、提高路基、调整纵坡的路段应视具体情况按新建或改建路面设计。在原有路面上补强时 ,按改建路面设计。路面补强设计工作包括原有路面结构状况调查、弯沉评定、原有路面当量回弹模量确定以及补强层厚度计算。

一、原有路面结构状况调查与评定

对使用中的路面进行结构状况的调查与评定 ,其目的主要是了解路面现有结构状况和强度 ,据以判断是否需要加强或预估剩余使用寿命 ,分析路面损坏的原因及提出处理措施。

1. 路面结构状况调查

现有路面状况调查工作包括如下内容 :

(1)交通调查 :对于当前的交通量和车型组成进行实地观测。通过调查分析预估交通量增长趋势 ,确定年平均增长率。

(2)路基状况调查 :调查沿线路基土质、填挖高度、地面排水情况、地下水位 ,以确定路基土组和干湿类型。

(3)路面状况调查 :调查路面结构类型、组合和各层厚度 ,为此需开挖试坑进行量测和取样试验 ,量测路基和路面宽度。详细记载路表状况及路拱大小 ,对路面的病害和破坏应详细记载并分析产生原因。

(4)路面修建和养护历史调查 :将上述调查结果填入如图 3-1-4-16 所示的相应栏目中。

2. 原有路面结构强度的评定

原有路面结构强度的评定 ,通常采用测量路表轮隙回弹弯沉的方法。为了较准确地反映路基、路面的整体强度 ,在对原有路表弯沉值测定之前 ,应将路基全线按以下原则分段 :



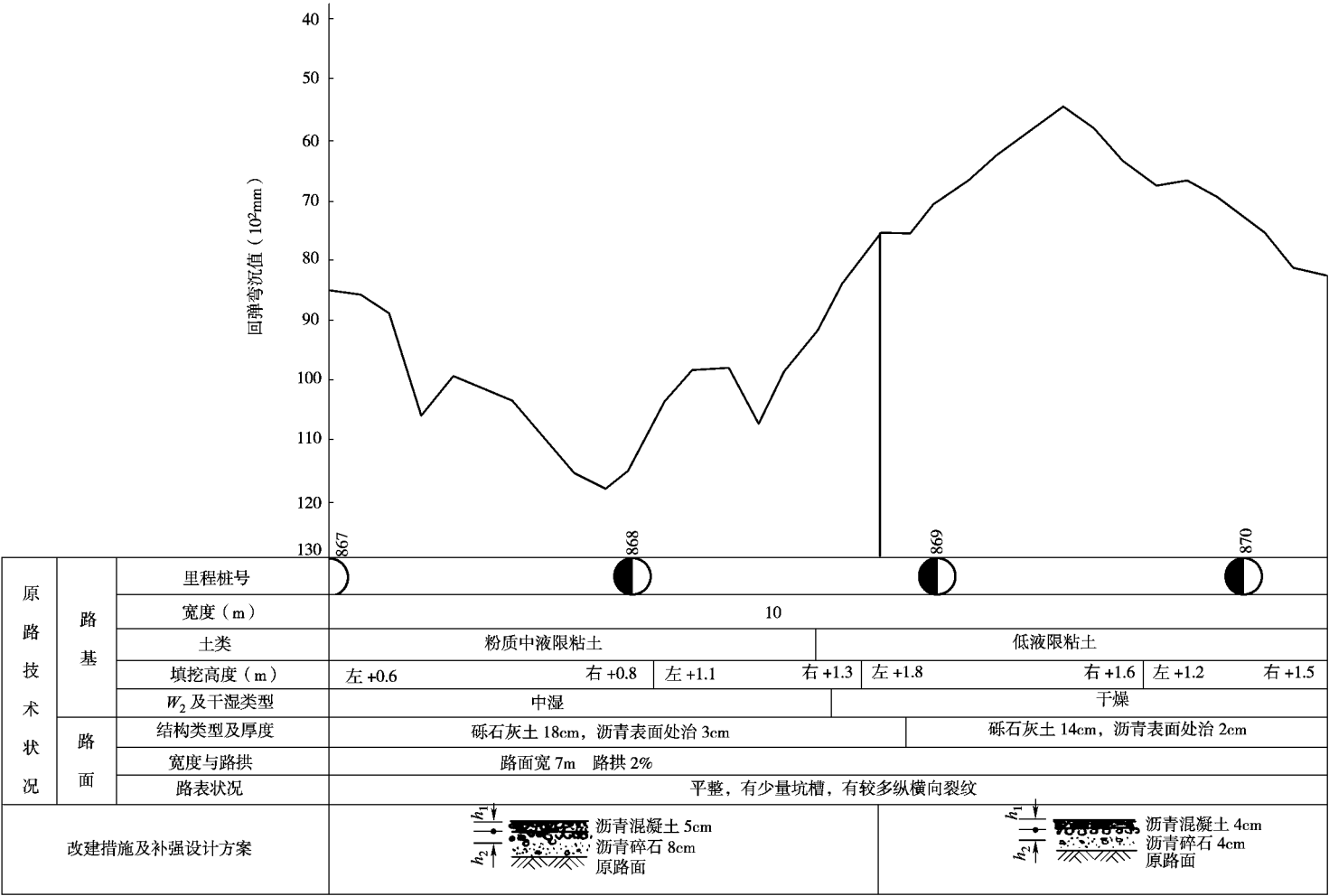


图 3-1-4-16 路面修建和养护调查图示

(1)同一路段路基的干湿与土质基本相同。

(2)同一路段内,各测点的弯沉值比较接近。若局部路段弯沉值很大,应先进行修补处理,再进行补强。

(3)各路段的最小长度应与施工方法相适应,除改建路面外,一般不应小于500m,机械化施工不应小于1km。在水文、土质复杂或需要特殊处理的路段,可视实际情况确定。

在对原有路面进行弯沉检测时,每一车道、每路段的测点数不少于20点,且应以标准轴载车辆测定为准,如用非标准轴载则按式(3-1-4-19)将非标准轴载的检测结果换算为标准轴载下的弯沉值。

$$\frac{l_{100}}{l_i} = \left(\frac{P_{100}}{P_i} \right)^{0.87} \quad (3-1-4-19)$$

式中 P_{100} 、 l_{100} ——分别为标准轴载100kN的轴重和弯沉值;

P_i 、 l_i ——分别为非标准轴载测定车的轴重和弯沉值。

原有路面强度是以路表实测弯沉值的计算弯沉值作为评定指标。因为弯沉值大小同路面面层类型、结构组合和厚度,路基土类型和状态,交通量和组成,路面使用期限以及路面温度等有关,实测弯沉值之间存在着差异,为了利用测得的众多弯沉值评定一段路面强度,需对所测弯沉值进行统计加工,寻求有代表性的弯沉值,该值计算公式为

$$l'_0 = \bar{l}_0 + Z_a S \quad (3-1-4-20)$$

式中 l'_0 ——测段内实测弯沉值的代表弯沉值 0.01mm;

S ——弯沉值的均方差 0.01mm;

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l}_0)^2}{n-1}} \quad (3-1-4-21)$$

Z_a ——保证率系数,补强二级及二级以上公路路面时, Z_a 取1.5,补强三、四级公路时取1.3;

$\bar{l}_0$ ——测段内实测弯沉值的平均值 0.01mm $\bar{l}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n}$;

l_i ——测段内的实测弯沉值,mm;

n ——测段内的测点数。

由于路面在一年内的不同时期具有不同的强度,而经补强设计的路面必须保证在最不利季节具有良好的使用状态,因此原有路面的弯沉值应在不利季节测定,若在非不利季节测定,应按各地的季节影响系数进行修正。如在原砂石路面上加铺沥青面层时,因补强后对路基的湿度有影响,路基和基层中的水分蒸发较以前困难,致使路基和基层中湿度增加,强度降低,弯沉增大,因此还应根据当地经验进行湿度影响的修正。当原路面为沥青面层时,弯沉测定值还随路面温度的变化而变化。为了使不同温度时测定的弯沉结果可以比较,以及便于进行补强设计,应进行温度影响的修正。考虑到上述因素,评定路面强度的计算弯沉值应在代表弯沉值的基础上按式(3-1-4-22)进行计算:

$$I_0 = (\bar{I}_0 + Z_a S) K_1 K_2 K_3 \quad (3-1-4-22)$$

式中 I_0 ——测段内实测弯沉值的计算弯沉值 0.01mm ;

K_1 、 K_2 ——分别为季节影响系数(查表 3-1-4-9)和湿度影响系数(查表 3-1-4-10) ;

K_3 ——温度修正系数。

季 节 影 响 系 数 K_1

表 3-1-4-9

自然 区划	省市 名称	路面 类型	路基干 湿类型	建 议 值 K_1				附 注
				春 融	干 季	雨 季	冻 前	
II_1	辽宁	砂石	干	1.0	1.2 ~ 1.4	1.1 ~ 1.2	1.05 ~ 1.15	东北片区春融一般指 4 ~ 5 月中旬 ; 干季指 5 月中旬 ~ 7 月中旬或 9 月 ~ 10 月 ; 雨季指 7 月中旬 ~ 9 月末 ; 冻前指 11 月。辽宁比黑龙江晚上冻半个月 , 早化冻半个月
			中	1.0	1.5 ~ 1.6	1.3 ~ 1.4	1.2 ~ 1.3	
			湿	1.0	1.8 ~ 1.9	1.7 ~ 1.8	1.6 ~ 1.7	
	吉林	沥青	干	1.0	1.2 ~ 1.3	1.1 ~ 1.2	1.05 ~ 1.15	
			中	1.0	1.3 ~ 1.4	1.2 ~ 1.3	1.1 ~ 1.2	
			湿	1.0	1.5 ~ 1.6	1.3 ~ 1.4	1.2 ~ 1.3	
II_{1a}	黑龙江	砂石		1.0	1.55 ~ 1.65			
		沥青		1.0	1.25			
II_2	黑龙江	砂石		1.0	1.5 ~ 1.65			
		沥青		1.0	1.4 ~ 1.5			
	吉林	砂石		1.0	1.3			
		沥青		1.0	1.54			
II_{2a}	辽宁	砂石	干	1.0	1.3 ~ 1.4	1.2 ~ 1.3	1.1 ~ 1.2	
			中	1.0	1.5 ~ 1.6	1.4 ~ 1.5	1.3 ~ 1.4	
			湿	1.0	1.9 ~ 2.0	1.8 ~ 1.9	1.6 ~ 1.7	
		沥青	干	1.0	1.2 ~ 1.3	1.1 ~ 1.2	1.05 ~ 1.15	
			中	1.0	1.4 ~ 1.5	1.3 ~ 1.4	1.2 ~ 1.3	
			湿	1.0	1.8 ~ 1.9	1.7 ~ 1.8	1.5 ~ 1.6	
II_3	辽宁	砂石	干中湿	1.0	1.3 ~ 1.4	1.2 ~ 1.3	1.1 ~ 1.2	
		沥青	干	1.0	1.2 ~ 1.3	1.1 ~ 1.2	1.05 ~ 1.15	
			中	1.0	1.3 ~ 1.4	1.2 ~ 1.3	1.15 ~ 1.2	
			湿	1.0	1.7 ~ 1.8	1.6 ~ 1.7	1.5 ~ 1.6	

注 表中查不到的区划内容请查《公路沥青路面设计规范》中表 14。

路面弯沉值是以 20 为测定沥青路面弯沉值的标准状态 , 当原沥青面层厚度大于 5cm , 或测定弯沉时的温度不是 20 ± 2 时 , 需要对所测的弯沉值进行温度修正。其换算系数或弯沉温度修正系数 K_3 为

$$\text{当 } T \geq 20 \text{ 时 ,} \quad K_3 = e^{b \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{20} \right)} \quad (3-1-4-23)$$

$$\text{当 } T < 20 \text{ 时 ,} \quad K_3 = e^{0.002h(20 - T)} \quad (3-1-4-24)$$

式中 K_3 ——温度修正系数。

湿度影响系数 K_2 建议值

表 3-1-4-10

自然区划	路基干湿类型	路面材料水稳性		附 注
		好	差	
III ₁	干	1.00	1.00 ~ 1.10	
	中	1.10 ~ 1.20	1.10 ~ 1.30	
	湿	1.20 ~ 1.40	1.35 ~ 1.50	
III ₂	干	(1.00 ~ 1.10)	1.10 ~ 1.15	
	中	1.10 ~ 1.30	1.15 ~ 1.35	
	湿	1.30 ~ 1.50	1.35 ~ 1.55	
III ₃	干	(1.00 ~ 1.15)	1.10 ~ 1.20	
	中	(1.15 ~ 1.35)	1.20 ~ 1.40	
	湿	1.35 ~ 1.55	1.40 ~ 1.60	
VI ₁ VI _{1a}	干	1.00 ~ 1.10	1.10 ~ 1.20	在内蒙古建议值和宁夏实测值基础上调整
	中	1.10 ~ 1.20	1.20 ~ 1.30	
	湿	1.20 ~ 1.40	1.30 ~ 1.50	
VI ₂	干	(1.00 ~ 1.20)	1.10 ~ 1.25	
	中	1.20 ~ 1.40	1.25 ~ 1.50	
	湿	1.40 ~ 1.60	1.50 ~ 1.70	
VII ₄	干	1.00 ~ 1.10	1.10 ~ 1.20	根据西藏实测值及青藏公路科研组建议值综合提出
	中	1.10 ~ 1.20	1.20 ~ 1.30	
	湿	1.20 ~ 1.30	1.30 ~ 1.40	

注 括号内数值为推算值。

T——测定是沥青面层平均温度，℃；

$$T = a + bT_0$$

其中 a——系数 $a = -2.65 + 0.52h$ ；

b——系数 $b = 0.62 - 0.008h$ ；

T_0 ——测定时路表温度与前 5h 平均气温之和，℃；

h——沥青面层厚度，cm。

其它符号意义同上。

二、原路面当量回弹模量的计算

用理论法进行路面的补强计算时，需要将原路面计算弯沉值换算成综合回弹模量值。进

行这种换算时,将原路基路面体系看作为计算弯沉相等的匀质体,同时考虑承载板测定回弹模量与弯沉测定回弹模量之间的差异,得到原路面当量回弹模量 E_t 的计算公式:

$$E_t = 1000 \frac{2p\delta}{l_0} m_1 m_2 \quad (3-1-4-25)$$

式中 E_t ——原路面的当量回弹模量,MPa;

l_0 ——原路面计算弯沉值,0.01mm;

δ ——标准轴载单轮传压面当量圆半径;

p ——标准轴载车型轮胎接地压强,MPa;

m_1 ——用标准轴载的汽车在原路面上测得的弯沉值与用承载板在相同压强条件下所得的回弹变形值之比,即轮板对比值,此值 m_1 应根据各地的对比试验结果论证地确定,在没有对比试验资料的情况下,可取 $m_1 = 1.1$ 进行计算;

m_2 ——原路面当量回弹模量扩大系数。计算与原有路面接触的补强层层底拉应力时, m_2 按式(3-1-4-26)计算,计算其它补强层层底拉应力及弯沉值时, $m_2 = 1.0$ 。

$$m_2 = e^{0.037 \left(\frac{E_{n-1}}{p} \right)^{0.25} \frac{h'}{\delta}} \quad (3-1-4-26)$$

式中 E_{n-1} ——与原路面接触层材料的抗压回弹模量,MPa;

h' ——各补强层等效与原路面接触层 E_{n-1} 相当的等效总厚度,cm。

$$h' = \sum_{i=1}^{n-1} h_i \left(\frac{E_i}{E_{n-1}} \right)^{0.25} \quad (3-1-4-27)$$

式中 E_i ——第 i 层补强层材料的抗压回弹模量,MPa;

h_i ——第 i 层补强厚度,cm;

$n-1$ ——补强层层数。

三、补强厚度的计算

在确定原有路面的当量回弹模量后,可用弹性层状体系理论进行补强层厚度的计算。若补强单层时,以双层弹性体系为设计计算的力学模型;补强 $n-1$ 层时,以 n 层弹性体系为力学模型计算。补强设计时,仍以设计弯沉值作为路面整体刚度的控制指标。对于二级和二级以上公路,还应进行补强层底面拉应力的验算。设计弯沉值、各补强层底面的容许拉应力的计算方法、弯沉综合修正系数及补强层材料参数的确定与新建路面设计时的各项规定相同。

本章小结

(1)介绍了以弹性层状体系理论为基础的沥青路面结构设计方法;

(2)重点是围绕设计弯沉值为路面整体刚度的设计指标进行路面结构设计和结构层厚度的计算;

(3)引入了结构设计的原则、各结构层的设计和结构层组合设计等内容;

(4)对轴载换算、累计当量轴次、设计弯沉值、理论弯沉值、实测弯沉值、材料容许拉应力、结构层层底拉应力等一系列的计算及验算进行了详细的讲解;

(5)对改建路面的补强层设计进行了详细的阐述,重点是原有路面结构状况调查、弯沉评

定、原路面当量回弹模量的计算以及补强层厚度计算。

思考题与习题

1. 沥青路面设计指标有哪些？说明各设计指标的意义？
2. 路面各结构层次的组合要遵循哪些原则？
3. 柔性路面设计中，轴次换算是按什么原则为基础进行的？具有哪两个方面的含义？
4. 当整体性材料结构层底面弯拉应力验算不满足要求时，可采取的主要措施有哪些？
5. 简述新建路面结构层设计步骤。
6. 简述原有路面补强设计程序。
7. 原有路况调查中，概况调查的基本内容是什么？
8. 试述原有路面回弹弯沉的测量步骤和方法。
9. 试归纳新建路面和改建路面设计中的异同处。
10. 一级公路，竣工后第一年双向平均日交通量见表 3-1-4-11，交通量年平均增长率为 7.5%，路面设计年限 $t = 15$ 年，为计算路表设计弯沉值，请求累计当量轴次。

竣工后第一年双向平均日交通量

表 3-1-4-11

车 型	解放 CA10B	黄河 JN—150	跃进 NJ—230	交通 SH—140	太脱拉 138	北京 BJ130	日野 K211
交通量	3000	300	2000	1000	100	200	200

11. 三级公路为双车道混合交通，面层为沥青表处，基层为厚 25cm 的石灰土，据调查该段路竣工后第一年日平均交通量换算成 BZZ—100 为 200 次/d，年平均增长率为 10%，设计年限为 5 年，试计算设计弯沉值。

12. 已知 $h = 24\text{cm}$ ， $p = 0.7\text{MPa}$ ， $d = 21.30\text{cm}$ ， $E_0 = 50\text{MPa}$ ， $E_1 = 200\text{MPa}$ ，试按弹性双层体系理论计算双圆荷载轮隙中心处的弯沉值。

13. 已知某路面结构如表 3-1-4-12 所示，设计弯沉值为 0.052cm，试计算石灰土厚度。

路 面 结 构

表 3-1-4-12

材 料 名 称	$h(\text{cm})$	20 模量 (MPa)	劈裂强度 (MPa)
沥青混凝土	6.5	1200	1.0
沥青碎石	10	800	—
石灰土	—	400	0.50
天然砂砾	25	140	—
土基	—	22	—

14. 已知某路面结构如表 3-1-4-13 所示，试绘出验算 h_3 底面拉应力的当量图，并计算出上层当量厚度 h 和中层当量厚度 H ，进行层底拉应力的计算及验算。



路 面 结 构

表 3-1-4-13

材 料 名 称	h(cm)	20 模量(MPa)	劈裂强度(MPa)
沥青混凝土	4	1000	0.8
沥青贯入	10	700	—
二灰碎石	20	500	0.65
石灰土	15	300	0.225
土基	—	30	—

15. 泥结碎石路面要按二级路补强 在不利季节用 BZZ—100 测得 20 个测点弯沉值如下 , 2.15 2.29 2.22 2.15 2.31 2.29 2.05 2.24 2.09 2.31 2.24 2.05 2.18 2.16 2.18 2.24 , 2.16 2.05 2.17 2.08。试求计算弯沉值 l_0 (取 $K_1 = 1.1$, $K_2 = 1.3$, $K_3 = 1$, $Z_a = 2$)。

第五章

水泥混凝土路面设计

教学要求

1. 描述水泥混凝土路面构造、板块划分和各种接缝的适用性；
2. 描述水泥混凝土路面力学特性及设计理论，运用水泥混凝土路面的设计条件和参数；
3. 分析并计算水泥混凝土路面的荷载应力与温度应力；
4. 描述其他类型混凝土路面的特点与适用性。

• 第一节 水泥混凝土路面构造 •

水泥混凝土路面 通常是指以水泥与水拌和成的水泥浆为结合料，以碎（砾）石、砂为集料，再添加适当的外加剂，有时掺加掺和料拌制成的混凝土铺筑面层的路面。包括普通混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土、钢纤维混凝土、水泥混凝土预制块和碾压混凝土等面层板和基（垫）层所组成的路面。目前采用最广泛的是就地浇筑的普通混凝土路面，简称混凝土路面。

所谓普通混凝土路面，是指除接缝区和局部范围（边缘和角隅）外面层内均不配置钢筋的水泥混凝土路面。与其他类型路面相比，水泥混凝土路面具有以下优点：

（1）强度高。混凝土路面具有很高的抗压强度和较高的抗弯拉强度以及抗磨损能力。

（2）稳定性好。混凝土路面的水稳性、热稳性均较好，特别是它的强度能随着时间的延长而逐渐提高，不存在沥青路面的那种“老化”现象。

（3）耐久性好。由于混凝土路面的强度和稳定性好，所以它经久耐用，一般能使用 20 ~ 40 年，而且它能通行包括履带式车辆等在内的各种运输工具。

（4）有利于夜间行车。混凝土路面色泽鲜明，能见度好，对夜间行车有利。

但是，混凝土路面也存在一些缺点，主要有以下几方面：

（1）对水泥和水的需要量大，修筑 0.2m 厚 7m 宽的混凝土路面，每 1000m 要耗费水泥约 400 ~ 500t 和水约 250t，尚不包括养生用的水在内，这对水泥供应不足和缺水地区带来较大困难。

（2）有接缝。一般混凝土路面要建造许多接缝，这些接缝不但增加施工和养护的复杂性，而且容易引起行车跳动，影响行车的舒适性，接缝又是路面的薄弱点，如处理不当，将导致路面板边和板角处破坏。

（3）开放交通较迟。一般混凝土路面完工后，要经过 28d 的湿治养生，才能开放交通，如需提早开放交通，则需采取特殊措施。

(4)修复困难。混凝土路面损坏后,开挖很困难,修补工作量也大,且影响交通。

一、路 基

水泥混凝土的弹性模量为 $(25 \sim 40) \times 10^3 \text{ MPa}$ 。所以,混凝土面层板具有很高的刚度和扩散荷载的能力,通过面层板和基层传到路基顶面的荷载应力值很小,一般不超过 0.05 MPa 。因此,对路基承载能力的要求并不高。然而,如果土基的稳定性不足,在水温变化的影响下出现较大的变形,特别是不均匀沉陷,则仍将给混凝土面板带来很不利的影响。实践证明,由于土基不均匀支承,使面板在受荷时底部产生过大的弯拉应力,会导致混凝土路面的破坏。因此,对路基的基本要求是提供均匀的支承,即路基在环境和荷载作用下产生的不均匀变形小。

二、基 层

水泥混凝土面层下设置基层的目的是:

(1)防唧泥 水泥混凝土面层如直接放在路基上,会由于路基土塑性变形量大,细料含量多和抗冲刷能力低而极易产生唧泥现象。铺设基层后,可减轻以至消除唧泥的产生。但未经处治的砂砾基层,其细料含量和塑性指数不能太高,否则仍会产生唧泥。

(2)防冰冻 在季节性冰冻地区,用对冰冻不敏感的粒状多孔材料铺筑基层,可以减少路基的冰冻深度,从而减轻冰冻的危害作用。

(3)减小路基顶面的压应力,并缓和路基不均匀变形对面层的影响。

(4)防水 在湿软土基上,铺筑开级配粒料基层,可以排除从路表面渗入面层板下的水分,以及隔断地下毛细水上升,如图 3-1-5-1 所示。

(5)为面层施工(如立侧模,运送混凝土混合料等)提供方便。

(6)提高路面结构的承载能力,延长路面的使用寿命。



图 3-1-5-1 兼起排水作用的粒料基层
1-盲沟 2-通过路肩的基层

因此,除非土基本身就是有良好级配的砂砾类土,而且是良好排水条件的轻交通道路之外,都应设置基层。同时,基层应具有足够的抗冲刷能力和一定的刚度,且断面正确,表面平整。理论计算和实践都已证明,采用整体性好,具有较高的弹性模量(如贫混凝土、沥青混凝土、水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定碎石、级配碎石等)的材料修筑基层,可以确保混凝土路面良好的使用特性和延长路面的使用寿命。

基层类型宜依照交通等级按表 3-1-5-1 选用。混凝土预制块面层应采用水泥稳定粒料基层。

适宜各交通等级的基层类型

表 3-1-5-1

交通等级	基层类型
特重交通	贫混凝土、碾压混凝土或沥青混凝土基层
重交通	水泥稳定粒料或沥青稳定碎石基层
中等或轻交通	水泥稳定粒料、石灰粉煤灰稳定粒料或级配粒料基层

研究资料表明,用厚基层来提高土基的支承力,或者说借以降低面层应力或减薄面层厚度

一般是不经济的。但是随着稳定类基层厚度的减小,基层底面的弯拉应力随之增大,因此基层厚度不宜太薄。

各类基层厚度的适宜范围见表 3-1-5-2。

各类基层厚度的适宜范围

表 3-1-5-2

基层类型	厚度适宜的范围(mm)	基层类型	厚度适宜的范围(mm)
贫混凝土或碾压混凝土基层	120 ~ 200	级配粒料基层	150 ~ 200
水泥或石灰粉煤灰稳定粒料基层	150 ~ 250	多孔水泥稳定碎石排水基层	100 ~ 140
沥青混凝土基层	40 ~ 60	沥青稳定碎石排水基层	80 ~ 100
沥青稳定碎石基层	80 ~ 100		

基层宽度应比混凝土面层每侧至少宽出 300mm(采用小型机具施工时)或 500mm(轨模式摊铺机施工时)或 650mm(滑模摊铺机施工时)。路肩采用混凝土面层,其厚度与行车道面层相同时,基层宽度宜与路基同宽。级配粒料基层的宽度也宜与路基同宽。

在冰冻深度大于 0.5m 的季节性冰冻地区,为防止路基可能产生的不均匀冻胀对混凝土面层的不利影响,路面结构应有足够的总厚度,以便将路基的冰冻深度约束在有限的范围内。路面结构的最小总厚度随冰冻线深度、路基的潮湿状况和土质而异,其数值可参照表 3-1-5-3 选定。超出面层和基层厚度的总厚度部分可用基层下的垫层(防冻层)来补足。

在季节性冰冻地区,路面的总厚度不应小于表 3-1-5-3 规定的最小防冻厚度。

水泥混凝土路面最小防冻厚度(m)

表 3-1-5-3

路基干湿类型	路基土质	当地最大冰冻深度(m)			
		0.50 ~ 1.00	1.01 ~ 1.50	1.51 ~ 2.00	> 2.00
中湿路基	低、中、高液限粘土	0.30 ~ 0.50	0.40 ~ 0.60	0.50 ~ 0.70	0.60 ~ 0.95
	粉土、粉质低、中液限粘土	0.40 ~ 0.60	0.50 ~ 0.70	0.60 ~ 0.85	0.70 ~ 1.10
潮湿路基	低、中、高液限粘土	0.40 ~ 0.60	0.50 ~ 0.70	0.60 ~ 0.90	0.75 ~ 1.20
	粉土、粉质低、中液限粘土	0.45 ~ 0.70	0.55 ~ 0.80	0.70 ~ 1.00	0.80 ~ 1.30

注 ①冻深小或填方路段,或者基、垫层为隔温性能良好的材料,可采用低值;冻深大或挖方及地下水位高的路段,或者基、垫层位隔温性能稍差的材料,应采用高值。

②冻深小于 0.50m 的地区,一般不考虑结构层防冻厚度。

三、路面排水和路肩

通过混凝土面层接缝、裂缝和外侧边缘下渗的水量(特别在降水量大而接缝填封料失效的情况下)比人们预料的要多。路面修建往往采用槽式结构,因而下渗到基层或底基层内的水常积滞在路槽内,从而侵蚀基层、底基层和路基,造成唧泥和错台的出现。

为迅速排除渗入路槽内的水分,应从路面排水和路肩制作等以下几点进行考虑:

(1)行车道路面应设置双向或单向横坡,坡度为 1% ~ 2%。路肩铺面的横向坡度值宜比行车道路面的横坡度值大 1% ~ 2%。

(2)行车道路面结构设置排水基层或垫层时,应在排水基层或垫层外侧边缘设置纵向集水沟和带孔集水管,并间隔 50 ~ 100m 设置横向排水管。



(3)排水基层的纵向边缘集水沟 路肩采用水泥混凝土面层时,可设在路肩下或路肩外侧边缘内 路肩采用沥青面层时,可设在路肩内侧边缘内。排水垫层的纵向边缘集水沟设在路床边缘。

(4)路肩铺面结构应具有一定的承载能力,其结构层组合和材料选用应与行车道路面相协调,并保证将进入路面结构中的水的排除。

(5)路肩水泥混凝土面层的厚度通常采用与行车道面层等厚,其基层宜与行车道基层相同。选用薄层时,其厚度不宜小于 150mm,基层应采用开级配粒料。

路肩沥青面层宜选用密实型沥青混和料。其基层可选用无机结合料稳定粒料或级配粒料。行车道路面结构不设内部排水设施时,沥青面层和不透水基层总厚度不宜超过行车道面层的厚度,基层下应选用透水性材料填筑。

四、水泥混凝土面板

理论分析表明,轮载作用于混凝土面板中部时,面板所产生的最大应力约为轮载作用于板边部时的 2/3。因此,为了适应荷载应力的变化,混凝土面板的横断面应采用中间薄两边厚的形式,如图 3-1-5-2 所示。一般边部厚度较中部约大 25%,是从路面最外两侧板的边部,在 0.6~1.0m 宽度范围内逐渐加厚。但是厚边式路面对土基和基层的施工带来不便,而且使用经验也表明,在厚度变化转折处,易引起板的折裂。因此,目前国内外常采用等厚式断面。

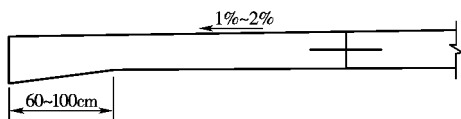


图 3-1-5-2 水泥混凝土面层变截式横断面示意图

水泥混凝土面层所需的厚度,参考范围见表 3-1-5-4。

水泥混凝土面层厚度的参考范围

表 3-1-5-4

交 通 等 级	特 重				重			
公路等级	高速	一级		二级	高速	一级		二级
变异水平等级	低	中	低	中	低	中	低	中
面层厚度(mm)	≥260	≥250	≥240		270 ~ 240	260 ~ 230	250 ~ 220	
交 通 等 级	中 等					轻		
公路等级	二级		三、四级		三、四级	三、四级		
变异水平等级	高	中	高		中	高	中	
面层厚度(mm)	240 ~ 210	230 ~ 200			220 ~ 200	≤230	≤220	

混凝土面板应具有足够的强度、耐久性,表面抗滑、耐磨、平整。混凝土面板的平整度以 3m 直尺量测为准。3m 直尺与路面表面的最大间隙高速公路和一级公路不应大于 3mm,其他各级公路不应大于 5mm。混凝土面板的抗滑标准以构造深度为指标。高速公路和一级公路不应低于 0.8mm,其他各级公路不应低于 0.6mm。

五、接缝的构造与布置

混凝土面层是由一定厚度的混凝土板所组成,它具有热胀冷缩的性质。由于一年四季气温的变化,混凝土板会产生不同程度的膨胀和收缩,从而引起混凝土板的轴向变形。而在一昼夜中,白天气温升高,混凝土板顶面温度较底面温度高,这种温度坡差会形成板的中部隆起的趋势。夜间气温降低,板顶面温度较底面温度低,会使板的周边和角隅发生翘起的趋势,发生翘曲变形,如图 3-1-5-3a)所示。这些变形会受到板与基础之间的摩阻力和粘结力,以及板的自重车轮荷载等的约束,致使板内产生过大的应力,造成板的断裂(图 3-1-5-3b)或拱胀等破坏。

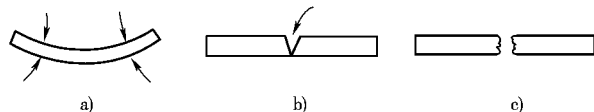


图 3-1-5-3

a)混凝土板的翘曲变形 b)、c)开裂

从图 3-1-5-3 可见,由于翘曲而引起的裂缝,则在裂缝发生后被分割的两块板体尚不致完全分离,倘若板体温度均匀下降引起收缩,则将使两块板体被拉开(图 3-1-5-3c),从而失去荷载传递作用。

为避免这些缺陷,混凝土路面不得不在纵横两个方向设置许多接缝,把整个路面分割成许多板块,如图 3-1-5-4 所示。

在任何形式的接缝处板体都不可能是连续的,其传递荷载的能力总不如非接缝处。而且任何形式的接缝都不免要漏水。因此,对各种形式的接缝,都必须为其提供相应的传荷与防水的设施。

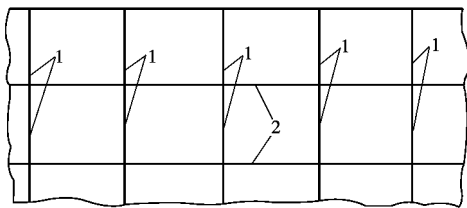


图 3-1-5-4 路面接缝设置

1-横缝 2-纵缝

水泥混凝土面层的接缝可分为:横向接缝(包括横向缩缝、胀缝、施工缝)和纵向接缝。

横向接缝是垂直于行车方向的接缝,共有 3 种:缩缝、胀缝和施工缝。缩缝保证板因温度和湿度的降低而收缩时沿该薄弱断面缩裂,从而避免产生不规则的裂缝。胀缝保证板在温度升高时能部分伸张,从而避免产生路面板在热天的拱胀和折断破坏,同时胀缝也能起到缩缝的作用。每日施工结束或因临时原因中断施工时,必须设置横向施工缝,其位置应尽可能选在缩缝或胀缝处。

1. 横缝的构造与布置

1) 胀缝的构造

在邻近桥梁或其他固定构造物或与其他道路相交处应设置横向胀缝。设置胀缝的条数,视膨胀量大小而定。低温浇筑混凝土面层或选用膨胀性高的集料时,宜根据实际情况确定是否设置胀缝。胀缝宽 20mm,缝内设置填缝板和可滑动的传力杆。胀缝的构造如图 3-1-5-5 所示。

2) 缩缝的构造

横缝可等间距或变间距布置,采用假缝形式。特重和重交通公路、收费广场以及邻近胀缝



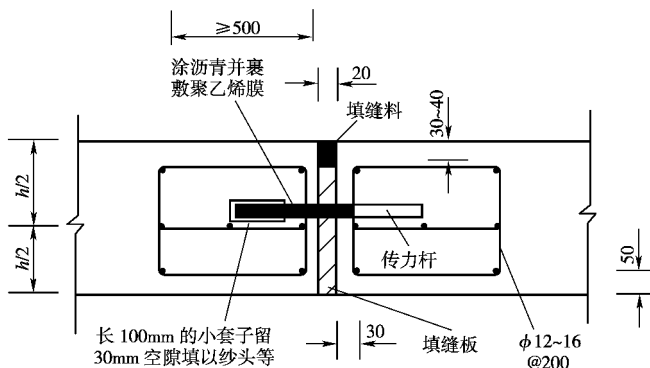


图 3-1-5-5 胀缝构造(尺寸单位 mm)

或自由端部的 3 条缩缝,应采用设传力杆假缝形式,其构造如图 3-1-5-6a)所示。其他情况可采用不设传力杆假缝形式,其构造如图 3-1-5-6b)所示。

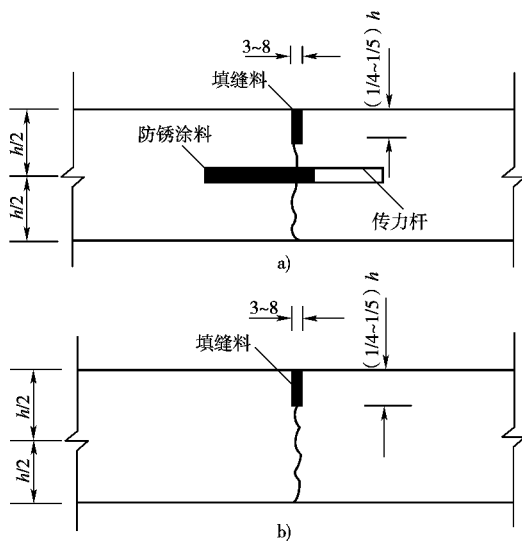


图 3-1-5-6 横向缩缝构造(尺寸单位 mm)

a)设传力杆假缝型 b)不设传力杆假缝型

横向缩缝顶部应锯切槽口,深度为面层厚度的 $1/5 \sim 1/4$,宽度为 3~8mm,槽内填塞填缝料。高速公路的横向缩缝槽口宜增设深 20mm、宽 6~10mm 的浅槽口,其构造如图 3-1-5-7 所示。

3)施工缝的构造

每日施工结束或因临时原因中断施工时,必须设置横向施工缝,其位置应尽可能选在缩缝或胀缝处。设在缩缝处的施工缝,应采用加传力杆的平缝形式,其构造如图 3-1-5-8a)所示;设在胀缝处的施工缝,其构造与胀缝相同。遇有困难需设在缩缝之间时,施工缝采用设拉杆的企口缝形式,其构造如图 3-1-5-8b)所示。

传力杆应采用光面钢筋。其尺寸和间距可按表(3-1-5-5)选用。最外侧传力杆距纵向接缝或自由边的距离为 150~250mm。

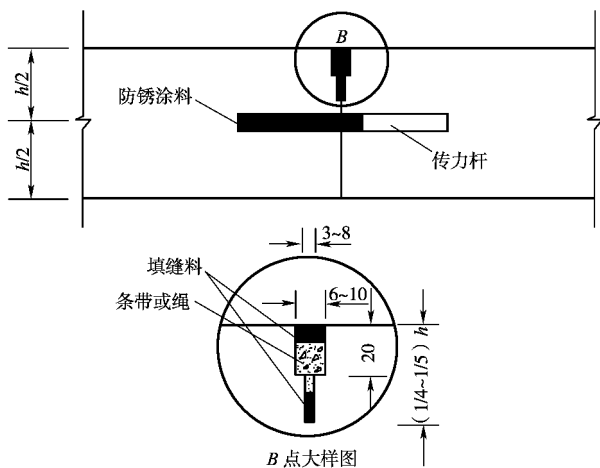


图 3-1-5-7 浅槽口构造(尺寸单位 mm)

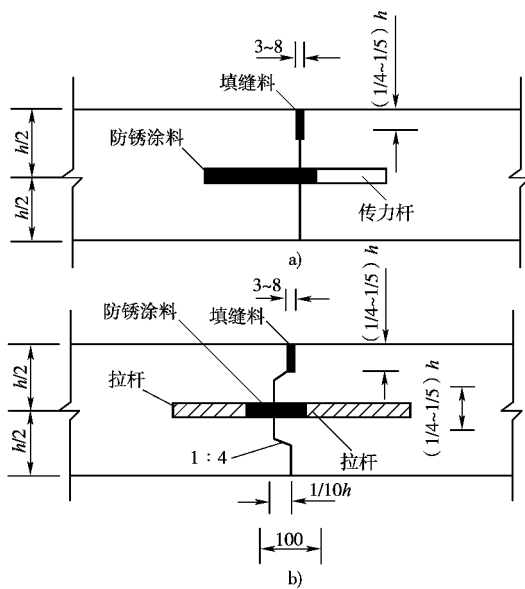


图 3-1-5-8 横向施工缝构造(尺寸单位 mm)

a)设传力杆平缝型 b)设拉杆企口缝型

传力杆尺寸和间距(mm)

表 3-1-5-5

面层厚度(mm)	传力杆直径	传力杆最小长度	传力杆最大间距
200	28	400	300
240	30	400	300
260	32	450	300
280	35	450	300
300	38	500	300

4)横缝的布置

横缝间距一般为 4 ~ 6m(即板长),在昼夜气温变化较大的地区,或地基水文情况不良路段,应取低限值,反之取高限。

2. 纵缝的构造与布置

纵缝是指平行于混凝土路面行车方向的接缝。纵缝的布设应视路面宽度和施工铺筑宽度而定:一次铺筑宽度小于路面宽度时,应设纵向施工缝。纵向施工缝采用平缝形式,上部应锯切槽口,深度为 30 ~ 40mm,宽度为 3 ~ 8mm,槽内灌塞填缝料。其构造如图 3-1-5-9a)所示。

一次铺筑宽度大于 4.5m 时,应设置纵向缩缝。纵向缩缝采用假缝形式,锯切的槽口深度应大于施工缝的槽口深度。采用粒料基层时,槽口深度应为板厚的 1/3;采用半刚性基层时,槽口深度应为板厚的 2/5。其构造如图 3-1-5-9b)所示。

纵缝应与路线中线平行。在路面等宽的路段内或路面变宽路段的等宽部分,纵缝的间距和形式应保持一致。路面变宽段的加宽部分与等宽部分之间,以纵向施工缝隔开。加宽板在变宽段起终点处的宽度不应小于 1m。

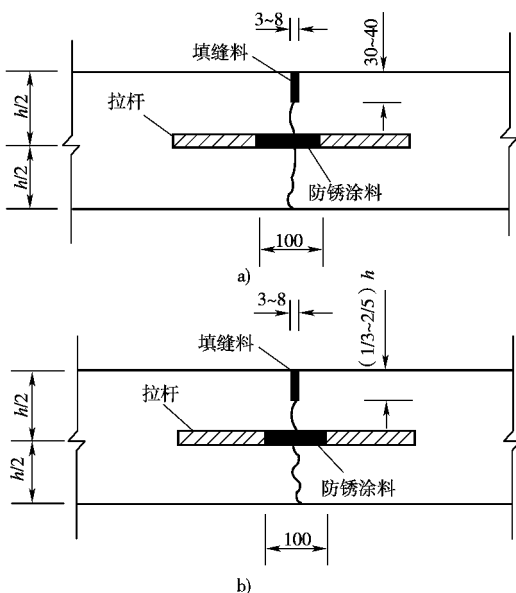


图 3-1-5-9 纵缝构造(尺寸单位 mm)

a)纵向施工缝 b)纵向缩缝

拉杆应采用螺纹钢筋,设在板厚中央,并应对拉杆中部 100mm 范围内进行防锈处理。拉杆的直径、长度和间距可参照表 3-1-5-6 选用。施工布设时,拉杆间距应按横向接缝的实际位置予以调整,最外侧的拉杆距横向接缝的距离不得小于 100mm。

拉杆直径、长度和间距(mm)

表 3-1-5-6

面层厚度 (mm)	到自由边或未设拉杆纵缝的距离(m)					
	3.00	3.50	3.75	4.50	6.00	7.50
200 ~ 250	14 × 700 × 900	14 × 700 × 800	14 × 700 × 700	14 × 700 × 600	14 × 700 × 500	14 × 700 × 400
260 ~ 300	16 × 800 × 900	16 × 800 × 800	16 × 800 × 700	16 × 800 × 600	16 × 800 × 500	16 × 800 × 400

注 拉杆直径、长度和间距的数字为直径 × 长度 × 间距。

纵缝间距一般按路面宽度在 3.0 ~ 4.5m 范围内确定,这对行车和施工都较方便。当双车道路面按全幅宽度施工时,纵缝可做成假缝形式。

3. 纵横缝的布置

纵缝与横缝一般作成垂直正交,使混凝土板具有 90°的角隅。纵缝两旁的横缝一般成一条直线。实践证明,如横缝在纵缝两旁错开,将导致板产生从横缝延伸出来的裂缝。

两条道路正交时,各条道路的直道部分均保持本身纵缝的连贯,而相交路段内各条道路的横缝位置应按相对道路的纵缝间距作相应变动,保证两条道路的纵横缝垂直相交,互不错位。两条道路斜交时,主要道路的直道部分保持纵缝的连贯,而相交路段内的横缝位置应按次要道

路的纵缝间距作相应变动,保证与次要道路的纵缝相连接。相交道路弯道加宽部分的接缝布置,应不出现或少出现错缝和锐角板。

在次要道路弯道加宽段起终点断面处的横向接缝,应采用胀缝形式。膨胀量大时,应在直线段连续布置 2~3 条胀缝。

当采用板中计算厚度的等厚式板时,或混凝土板纵、横向自由边缘下的基础有可能产生较大的塑性变形时,应在其自由边缘和角隅处设置下述两种补强钢筋。

(1)边缘钢筋:混凝土面层自由边缘下基础薄弱或接缝为未设传力杆的平缝时,可在面层边缘的下部配置钢筋。通常选用 2 根直径为 12~16mm 的螺纹钢筋,置于面层底面之上 $1/4$ 厚度处并不小于 50mm,间距为 100mm,钢筋两端向上弯起,如图 3-1-5-10 所示。纵向边缘钢筋一般只做在一块板内,不得穿过缩缝,以免妨碍板的翘曲,但有时亦可将其穿过缩缝,但不得穿过胀缝。为加强锚固能力,钢筋两端应向上弯起。在横胀缝两侧板边缘以及混凝土路面的起终端处,为加强板的横向边缘,亦可设置横向边缘钢筋。

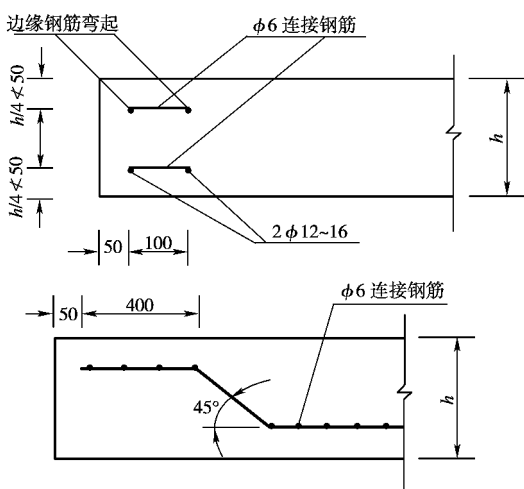


图 3-1-5-10 边缘钢筋布置(尺寸单位 mm)

(2)角隅钢筋:承受特重交通的胀缝、施工缝和自由边的面层角隅,宜配置角隅钢筋。通常选用 2 根直径为 12~16mm 的螺纹钢筋,置于面层上部,距顶面不小于 50mm,距边缘为 100mm,如图 3-1-5-11 所示。角隅钢筋应设在板的上部,距板顶面不小于 5cm,距胀缝和板边缘各为 10cm。在交叉口处,对无法避免形成的锐角,宜设置双层钢筋网补强,以避免板角断裂。钢筋布置在板的上下部,距板顶(底)5~7cm 为宜。

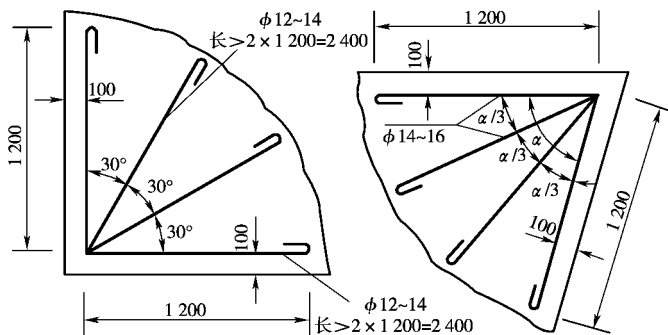


图 3-1-5-11 角隅钢筋布置(尺寸单位 mm)

六、特殊部位混凝土路面的处理

混凝土路面与固定构造物相衔接的胀缝无法设置传力杆时,可在毗邻构造物的板端部内配置双层钢筋网,或在长度约为 6~10 倍板厚的范围内逐渐将板厚增加 20%。

混凝土路面同桥梁相接处,宜设置钢筋混凝土搭板。搭板一端放在桥台上,并加设防滑锚固钢

筋和在搭板上预留灌浆孔。如为斜交桥梁,尚应设置钢筋混凝土渐变板。渐变板的块数,当桥梁斜角大于 70° 时设一块, $70^\circ \sim 45^\circ$ 时设两块,小于 45° 至少设 3 块,如图 3-1-5-12 所示。渐变板的短边最小为 5m,长边最大为 10m。搭板和渐变板的配筋量需经计算确定,角隅部分另加钢筋网补强。

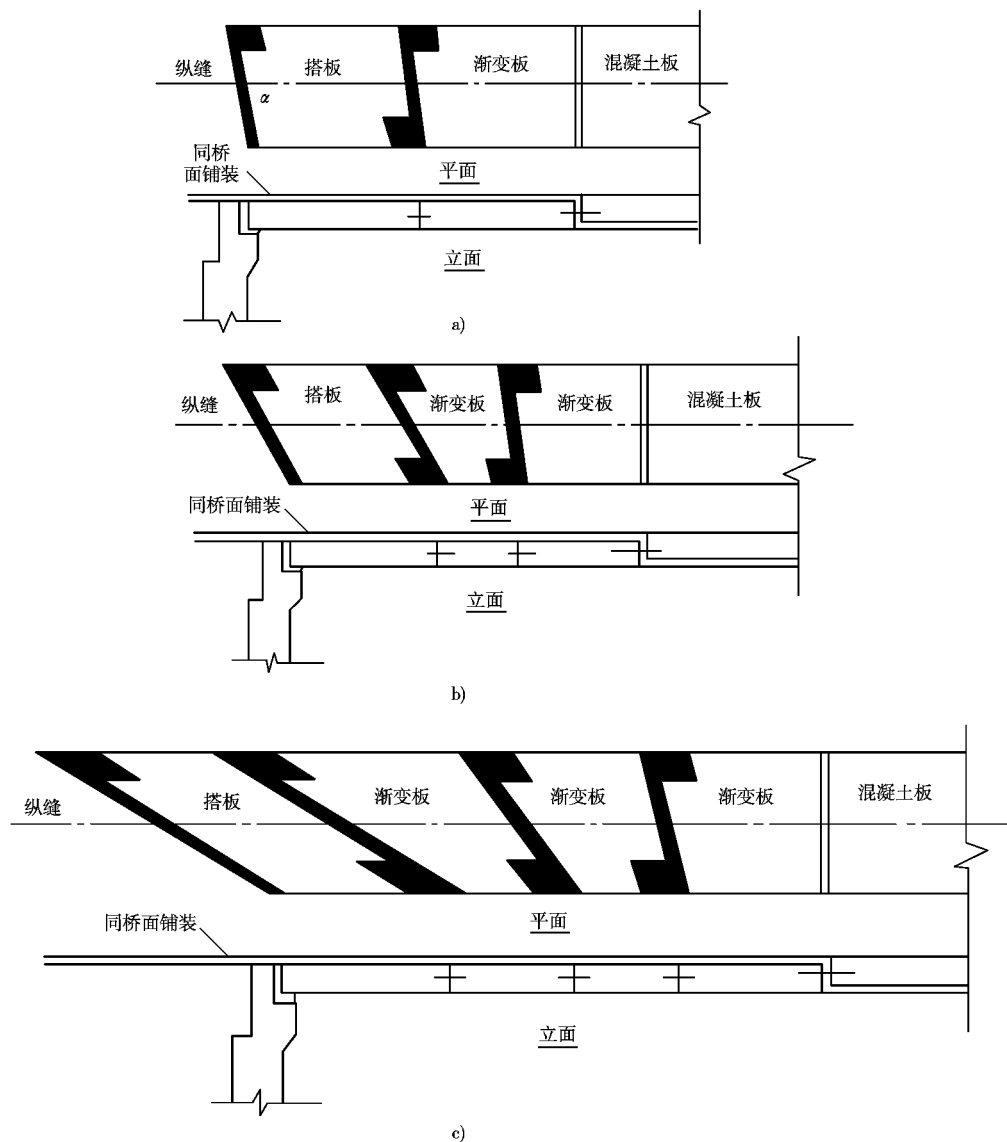


图 3-1-5-12 混凝土路面与斜交桥梁相接时的构造示意

a) $\alpha > 70^\circ$ b) $45^\circ < \alpha < 70^\circ$ c) $\alpha < 45^\circ$

混凝土路面同沥青路面相接处,由于沥青面层难以抵御混凝土面层的膨胀推力,易于出现沥青面层的推移拥起,而形成接头处的不平整,引起跳车。

混凝土路面与沥青路面相接时,其间应设置至少 3m 长的过渡段。过渡段的路面采用两种路面呈阶梯状叠合布置,其下面铺设的变厚混凝土过渡板的厚度不得小于 200mm,如图 3-1-5-13 所示。过渡板与混凝土面层相接处的接缝内设置直径 25mm、长 700mm、间距 400mm

的拉杆。混凝土面层毗邻该接缝的 1~2 条横向接缝应设置胀缝。

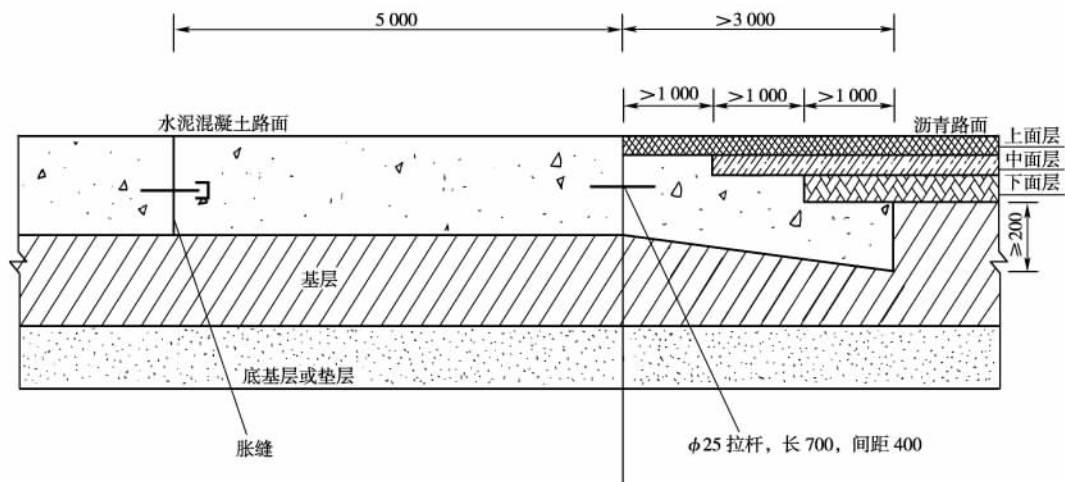


图 3-1-5-13 混凝土路面与沥青路面相接段的构造布置(尺寸单位 mm)

七、接缝材料及技术要求

接缝材料按使用性能分胀缝接缝板和接缝填缝料两类。接缝板要求能适应混凝土面板的膨胀与收缩,且施工时不变形、耐久性良好。填缝料要求能与混凝土面板缝壁粘结力强,且材料的回弹性好、能适应混凝土面板的膨胀与收缩、不溶于水、不渗水、高温时不溢出、低温时不脆裂和耐久性好。

胀缝接缝板应选用能适应混凝土板膨胀收缩、施工时不变形、复原率高合耐久性好的材料。高速公路和一级公路宜选用泡沫橡胶板、沥青纤维板,其他等级公路也可选用木材类或纤维类板。

接缝填料应选用与混凝土接缝槽壁粘结力强、回弹性好、适应混凝土板收缩、不溶于水、不渗水、高温时不流淌、低温时不脆裂、耐老化的材料。常用的填缝材料有聚氨酯焦油类、氯丁橡胶类、乳化沥青类、聚氯乙烯胶泥、沥青橡胶类、沥青玛蹄脂及橡胶嵌缝条。

• 第二节 水泥混凝土路面力学特性及设计理论 •

一、水泥混凝土路面力学特性

混凝土属脆性材料,抗弯拉强度比抗压强度低得多,混凝土面层在车轮荷载作用下当弯拉应力超过混凝土的极限弯拉强度时,混凝土板便产生断裂破坏。且在车轮荷载的重复作用下,混凝土面层会在低于其极限抗弯拉强度时出现疲劳破坏。此外,由于面层顶面和底面的温差会产生温度翘曲应力,面层的平面尺寸越大,翘曲应力也越大。为使路面能够经受车轮荷载的多次重复作用,抵抗温度翘曲反复作用,并对地基变形有较强的适应能力,混凝土面层应有足够的弯拉强度和厚度。

1. 面层混凝土的强度特性

混凝土强度是水泥混凝土硬化后的主要力学性能,按照我国国家标准《普通混凝土力学

性能试验方法》规定,混凝土强度有:立方体抗压强度、棱柱体抗压强度、劈裂抗拉强度、弯拉强度、剪切强度和粘结强度等。与一般工程结构不同,水泥混凝土路面以弯拉强度作为主要强度指标,抗压强度作为参考或辅助指标。同时,在混凝土路面评价时采用劈裂强度,混凝土的抗拉强度也有应用。

1) 抗压强度

一般工程结构中采用抗压强度作为评价混凝土力学性能的指标。由于抗压试件尺寸较小、抗压强度试验方法简单,路面工程中通常将其作为设计施工的参考指标。此外,混凝土的抗压强度是影响混凝土耐磨性的重要因素,随着抗压强度的提高,混凝土的耐磨性增强,如图 3-1-5-14 所示。试验结果表明,抗压强度 34.5MPa 的混凝土的耐磨性是强度 20.7MPa 混凝土耐磨性的 2 倍。因此,可以将抗压强度作为间接评价混凝土耐磨性的指标。

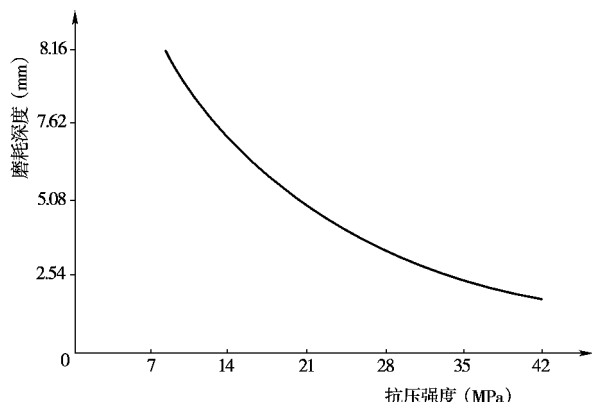


图 3-1-5-14 抗压强度与耐磨性的关系

混凝土的抗压强度试验,中国、欧洲等采用立方体,标准尺寸为 $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 15\text{cm}$;美国等采用圆柱体,标准尺寸为直径 15cm、高 30cm。立方体试件的抗压强度一般比圆柱体试件大 10% ~ 15%。立方体试件的尺寸增大时,强度值增大,反之亦然。与 $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 的抗压强度相比, $20\text{cm} \times 20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 时提高 5%, $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 时降低 5%。圆柱体试件的尺寸减小时,强度值提高。 $7.5\text{cm} \times 15\text{cm}$ 时提高 8%, $5\text{cm} \times 10\text{cm}$ 时提高 6%。圆柱体试件的形状改为直径与高度相同时,强度值可提高 15%。

2) 弯拉强度

混凝土路面设计中,由于面层板承受行车荷载和温度荷载的共同作用,面层底面所产生的弯拉应力和混凝土的弯拉强度确定了面层所需要的厚度。因此,采用弯拉试验确定的弯拉强度能更好地同路面受力状况相匹配。

弯拉试验采用梁式试件,试件的标准尺寸为 $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 。截面尺寸减小为 $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 40\text{cm}$ 时,其测定值乘以 0.85 的转化系数作为标准试件的强度。标准弯拉试验采用三分点加荷方式,以往采用的中点加荷,其测定值约比三分点加荷大 15% ~ 20%。

现行水泥混凝土路面设计规范中,水泥混凝土的设计弯拉强度标准值为 28d 龄期的弯拉强度。当混凝土浇筑 90d 内不开放交通时,可采用 90d 龄期的弯拉强度,约为 28d 强度的 1.15 倍。各交通等级要求的混凝土弯拉强度标准值不得低于表 3-1-5-7 中的规定。

混凝土弯拉强度标准值

表 3-1-5-7

交通等级	特重	重	中等	轻
水泥混凝土的弯拉强度标准值(MPa)	5.0	5.0	4.5	4.0
钢纤维混凝土的弯拉强度标准值(MPa)	6.0	6.0	5.5	5.0

3) 劈裂强度

在混凝土面层施工质量检验和现有混凝土面层评定时,直接进行弯拉强度试验有一定的困难,通常采用钻心方式取出圆柱形试件,进行劈裂试验确定其劈裂强度,根据所建立的劈裂强度与弯拉强度的经验关系式,由劈裂强度得到弯拉强度。

劈裂强度试验采用圆柱体试件。试件直径随钻心直径而定,一般为 10cm 或 15cm,试件高度为面层厚度。

4) 抗拉强度

混凝土的抗拉强度通常采用直接拉伸和间接拉伸试验测得。直接拉伸试验时,棱柱体试件在两端固定,施加拉力至试件破坏,破坏荷载除以截面积即得抗拉强度。但是混凝土的直接拉伸试验难以做得准确,因为试件很不容易夹紧,试件与作用荷载易产生偏心,且有较大的试验误差,因此抗拉试验不是一种标准试验方法,很少使用。我国国家标准和各部的技术规程均规定采用劈裂抗拉试验间接确定混凝土的抗拉强度。在试验室进行劈裂抗拉试验一般采用 $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 立方体试件,置于上下垫条之间,保持轴向受力方向,连续而均匀地加荷直至立方体试件破坏。

混凝土的抗拉强度在普通混凝土路面中未予应用,而在连续配筋混凝土路面的设计时,采用混凝土的极限抗拉强度指标确定面层内纵向钢筋的配筋率。

2. 面层混凝土的疲劳特性

水泥混凝土面层承受行车荷载及温度和湿度变化所产生的应力的反复作用。材料在承受反复应力作用时,会在低于静载极限强度值时出现破坏。材料强度随荷载反复作用而降低的现象称为疲劳。混凝土出现疲劳损坏时所能经受的反复应力重复作用次数,称为混凝土的疲劳寿命。疲劳寿命随反复应力的增大而减小,不同疲劳寿命时混凝土能承受的反复应力的,大小,称作混凝土的疲劳强度。

我国现行混凝土路面设计规范规定,水泥混凝土路面面层是以行车荷载疲劳应力和温度疲劳应力综合作用产生断裂作为设计标准,即行车荷载产生的荷载疲劳应力和温度翘曲疲劳应力之和不超过混凝土弯拉强度的设计值。因此,预估混凝土面层的疲劳寿命,得出面层混凝土的疲劳强度是水泥混凝土路面结构设计的依据。

3. 面层混凝土的应力—应变特性

混凝土是一种多相复合材料,其应力—应变特性是各组成相(集料、水泥石)应力—应变性状的组合。集料和水泥石的应力—应变关系虽然都是线性的,但其弹性模量值却相差很大,促使混凝土的应力—应变曲线呈现非线性。

在持续增加的荷载作用下,混凝土的应力(σ)—应变(ϵ)关系曲线如图 3-1-5-15 所示。当卸荷后,其变形并未能恢复到

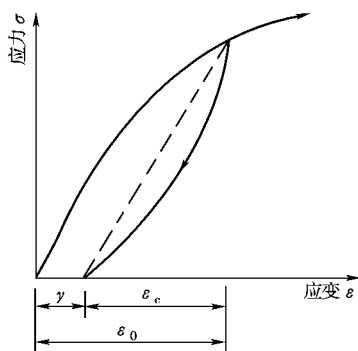


图 3-1-5-15 加荷与卸荷时混凝土应力—应变曲线

原点。其应变是由可逆的弹性应变和不可逆的残留应变组成。一般把加荷瞬间产生的变形看作弹性变形,而把持续加荷期间产生的变形看作徐变,但两者难以严格区分。工程上,采用反复加荷、卸荷的方法使徐变减小,从而测得弹性变形。经过几次反复加荷与卸荷后,其残留应变不会增加,而且加荷应力不超过混凝土抗压强度的 50% ~ 60% 时,混凝土的应力—应变关系大致呈线性关系。

基于上述几点,为使水泥混凝土路面能够经受车轮荷载的多次重复作用、抵抗温度翘曲应力,并对地基变形有较强的适应能力,混凝土面板必须具有足够的抗弯拉强度和厚度。

二、水泥混凝土路面设计理论

水泥混凝土路面是一种弹性层状结构,可应用弹性层状体系理论求解水泥混凝土路面问题。当混凝土面层下为具有基层、底基层或垫层的层状地基时,可用弹性层状体系理论求解基层顶面的当量回弹模量。水泥混凝土路面板在荷载作用下变形微小,在力学分析时常将其视为弹性板,地基视为弹性地基,因此水泥混凝土路面在力学上可视为弹性地基上的弹性板,简称弹性地基板。

水泥混凝土面板的刚度远大于基(垫)层和路基的刚度。在荷载作用下,它具有良好的扩散荷载的能力,所产生的弯曲变形远小于其厚度,因此,一般采用小挠度薄板理论进行分析。

1. 小挠度弹性薄板的基本假设

在弹性力学里,两个平行面和垂直于这两个平行面所围成的柱面或棱柱面简称板。两个板面之间的距离 h 称厚度,平分厚度 h 的平面称为板的中面。如果板的厚度 h 远小于中面的最小边尺寸 b (例如 $b/8 \sim b/5$),这种板称薄板。当薄板弯曲时,中面所弯成的曲面称为薄板的弹性曲面,而中面内各点在竖向的(即垂直于中面方向的)位移称挠度。水泥混凝土板属于小挠度弹性薄板,也就是说虽然板很薄,但仍然具有相当的弯曲刚度,因而其挠度远小于厚度。

研究弹性小挠度薄板在垂直于中面的荷载(板顶为局部范围内的轮载,板底为地基反力)的作用下的弯曲时,通常采用下述 3 项基本假设:

(1)垂直于中面方向的应变 ε_z 极其微小,可以忽略不计;

(2)垂直于中面的法线,在弯曲变形前后均保持为直线并垂直于中面,因而无横向剪切应变,即 $\rho_{zx} = \rho_{zy} = 0$;

(3)中面上各点无平行于中面的位移,即 $(U)_{z=0} = (V)_{z=0} = 0$ 。

对于弹性地基薄板,板与地基的联系又采用了如下假设:

(1)在变形过程中,板与地基的接触面始终吻合,即板面与地基表面的竖向位移是相同的;

(2)在板与地基的两接触面之间没有摩阻力(可以自由滑动),即接触面上的剪应力视为零。

2. 板挠曲面微分方程

从板上割取长和宽各为 dx 和 dy 高为 h 的单元,作用于单元上的内力和外力如图 3-1-5-16 所示。根据单元的平衡条件($\sum z = 0$, $\sum M_y$, $\sum M_x = 0$)可导出当板表面作用竖向荷载 p ,地基对板底面作用竖向反力 q 时,板中心挠曲面的微分方程为:

$$D \nabla^2 \nabla^2 w = p - q \quad (3-1-5-1)$$

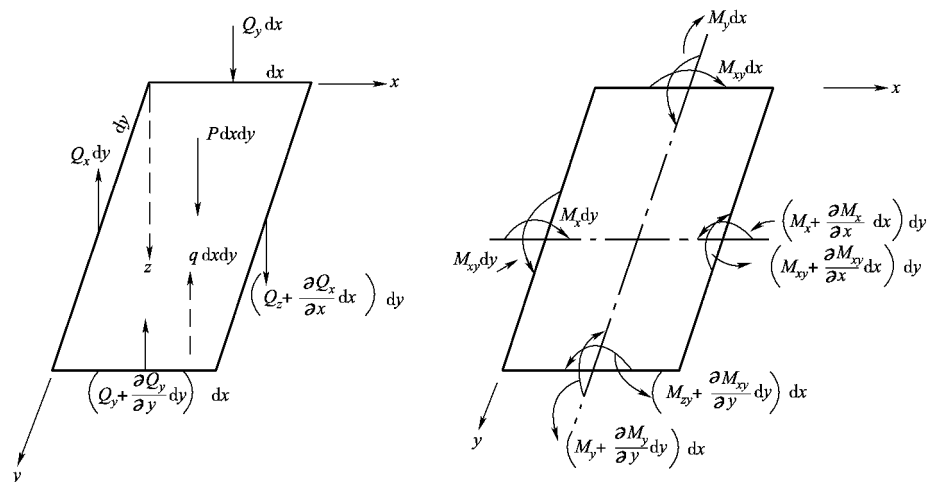


图 3-1-5-16 弹性地基板微分单元受力分析

式中: ∇^2 ——拉普拉斯算子, 即 $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$;

D ——板的弯曲刚度, 即 $D = \frac{E_c h^3}{12(1 - \mu_c^2)}$;

w ——板的竖向位移;

E_c, μ_c ——分别为板的弹性模量和泊松比;

h ——板厚。

荷载 p 及反力 q 如同竖向位移 w 一样, 均为平面坐标 (x, y) 的函数 (图 3-1-5-17)。

在求得板的竖向位移 w 解后, 即可由下式计算板的应力:

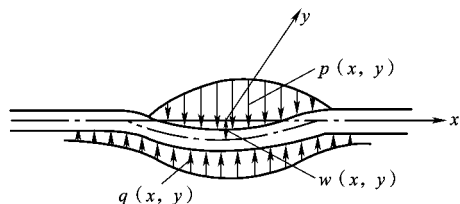


图 3-1-5-17 弹性地基板受荷时的弯曲

$$\begin{cases} \sigma_x = -\frac{E_c Z}{1 - \mu_c^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu_c \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ \sigma_y = -\frac{E_c Z}{1 - \mu_c^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu_c \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \\ \tau_{xy} = -\frac{E_c Z}{1 + \mu_c} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{cases} \quad (3-1-5-2)$$

对上式进行积分, 则可得到截面上的弯矩和扭矩:

$$\begin{cases} M_x = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu_c \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ M_y = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu_c \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \\ M_{xy} = -D(1 + \mu_c) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{cases} \quad (3-1-5-3)$$

在微分方程(3-1-5-1)中有两个未知数, 即位移 w 和地基反力 q , 因此必须建立附加方程将

w 与 q 联系起来,才能求得方程(3-1-5-1)解 w 。如果对地基的受力变形采用不同的假设,那么建立的 w 与 q 的关系方程也就不同。

3. 水泥混凝土路面荷载应力分析

对于地基变形的假设(即地基模型),目前采用的主要有两种,即文克勒地基假设与弹性半空间体地基假设,从而产生了两种求解弹性地基板应力和位移的方法。该方法本节不作介绍。

4. 水泥混凝土路面温度应力分析

水泥混凝土路面板内不同深处的温度,随气温的变化而变化。这种变化使混凝土板出现膨胀和收缩变形的趋势。当变形受阻时,板内便产生胀缩应力或翘曲应力。板划分为有限尺寸板块后,因收缩而产生的应力很小,可不予考虑。由于混凝土板、基层和土基的导热性能较差,当气温变化较快时,使板顶面与底面产生温度差,因而板顶与板底的胀缩变形大小也就不同。当气温升高时,板顶面温度较其底面高,板顶膨胀变形较板底的大,则板中部隆起;相反,当气温下降时,板顶面温度较其底面板低,板顶收缩变形较板底大,因而板的边缘和角隅翘起,如图 3-1-5-18 所示。由于板的自重、地基反力和相邻板的钳制作用,使部分翘曲变形受阻,从而使板内产生翘曲应力。由气温升高引起的板中部隆起受到限制时,板底面出现拉应力;而当气温降低引起的板四周翘起受阻时,板顶面出现拉应力。

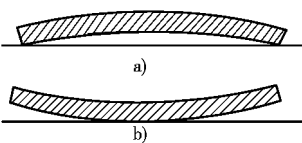


图 3-1-5-18 混凝土路面板的翘曲变形
a)气温升高时 b)气温降低时

为了分析翘曲应力,威斯特卡德作了如下假设:温度沿板断面呈直线变化、板和地基始终保持接触,不计板自重,从而导出了板仅受地基约束时的翘曲应力计算公式。

对有限尺寸板,沿板长 L 和板宽 B 方向的翘曲应力分别为:

$$\sigma_x = \frac{E_c \alpha \Delta t}{2} \cdot \frac{C_x + \mu_c C_y}{1 - \mu_c^2}$$

$$\sigma_y = \frac{E_c \alpha \Delta t}{2} \cdot \frac{C_y + \mu_c C_x}{1 - \mu_c^2} \quad (3-1-5-4)$$

在板边缘中点:

$$\sigma_x = \frac{E_c \alpha \Delta t}{2} \cdot C_x \quad (3-1-5-5)$$

式中: Δt ——板顶面与板底面的温度差, ;

C_x, C_y ——与 L/l 或 B/l 有关的系数;

I ——刚性半径;

E_c, μ_c, α ——意义同前。

• 第三节 普通水泥混凝土路面板厚计算 •

一、设计内容

水泥混凝土路面设计,应根据道路的使用任务、性质和要求,结合当地气候、水文、土质、材料、施工技术、实践经验以及环境保护要求等,通过技术经济分析,以最低的寿命周期费用提供一种合适的路面结构。该结构在设计使用期内,按规定满足预期的使用性能要求,并同所处的

自然环境相适应。

水泥混凝土路面是一种复合结构,其设计内容包括结构组合、材料组成、接缝构造、钢筋配置及排水设计等。

1. 路面结构组合设计

根据道路的交通繁重程度,结合当地环境条件和材料供应情况,选择安排混凝土路面的结构层次,包括路基、垫层、基层和面层的结构组合设计,及各层结构类型、弹性模量和厚度确定。从而组合成能够提供均匀、稳定支撑,防止或减轻唧泥、错台病害,承受预期车辆荷载作用,满足使用性能要求的路面结构。

其中混凝土面层,应按设计标准的要求,确定满足设计基准期内使用要求所需的厚度,某些特定条件下还应在混凝土面层内设置配置钢筋。此外,面层还需提供抗滑、耐磨、平整及减轻车辆轮胎噪声等表面特性。本节主要介绍水泥混凝土路面板厚的确定。

2. 各结构层材料组成设计

针对各结构层在路面结构中所起的作用,依据当地材料供应情况,选择满足结构层性能要求的混合料,进行配合比设计。混合料的各项性质参数,应按有关试验规程规定的试验方法经过试验确定。

通过材料组成设计,使面层混凝土具有足够的弯拉强度及抗疲劳性能,基层具有良好的抗冲刷性能和一定的刚度,垫层达到要求的稳定性及一定的刚度。

3. 面层接缝设计

根据混凝土面层内产生的荷载应力和温度应力进行面层的平面尺寸设计。依据接缝的作用,选择缩缝、胀缝或施工缝等类型,确定接缝的间距,布设接缝的位置,设计接缝的构造,包括传力杆、拉杆的布置及确定填缝的材料。

4. 路面排水设计

根据路面排水要求及表面排水或内部排水设施的作用与设置条件,选择路面结构排水系统的布设方案,确定排水设施的构造尺寸和材料要求。

5. 路肩设计

确定路肩铺面的结构层次、各结构层的类型和厚度。

二、设计依据

1. 混凝土路面结构可靠度

在现行的交通部《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002)中,对混凝土设计引入了目标可靠度、材料性能和结构尺寸参数的变异水平等级等指标。

路面结构可靠度可定义为:在规定的时间内,在规定的条件下,路面使用性能满足预定水平要求的概率。规范选定的水泥混凝土结构设计方法,仅考虑满足路面的结构性能要求,并以行车荷载和温度梯度综合作用产生的疲劳断裂作为设计标准。因而混凝土路面结构可靠度也可定义为:在规定的基准期内,在规定的交通和环境条件下,行车荷载疲劳应力和温度梯度应力的总和不超过混凝土弯拉强度的概率。

在此可靠度概念中,应明确两方面的含义:

(1)设计基准期 指路面设计取用的使用时间。需要指出的是,设计基准期不是路面结构

的使用寿命,而是指计算路面结构可靠度时,考虑各项基本度量与时间关系所取用的基准时间。在这个时间段内关于路面结构可靠性的分析是有效的。虽然它与路面的寿命有一定的联系,但并不是一旦路面的使用年限超过路面的设计基准期路面就全部报废,而是路面结构的可靠度下降。

(2)功能:对于路面,即为使用性能,包括功能性和结构性两个方面,预定使用性能是用规定温湿状态下特定的临界状态表示的。

在可靠度设计方法中,各项设计参数都可用均值作为标准值。考虑到混凝土强度值在工程中的应用习惯,设计时的强度标准值按随机变量正态分布的 15% 分位值取值。这一取值标准所产生的影响,已考虑到可靠度系数中。

表 3-1-5-8 列出各级公路水泥混凝土路面结构的设计安全等级及相应的设计基准期、目标可靠指标和目标可靠度。

可靠度设计标准

表 3-1-5-8

公路技术等级	高速公路	一级公路	二级公路	三、四级公路
安全等级	一级	二级	三级	四级
设计基准期 a	30	30	20	20
目标可靠度(%)	95	90	85	80
目标可靠指标	1.64	1.28	1.04	0.84
变异水平等级	低	低~中	中	中~高

材料性能和结构尺寸参数的变异水平分为低、中和高三级。各变异水平等级主要设计参数的变异系数变化范围,应符合表 3-1-5-9 的规定。

变异系数 c_v 的变化范围

表 3-1-5-9

变异水平等级	低	中	高
水泥混凝土弯拉强度、弯拉弹性模量	$c_v \leq 0.10$	$0.10 < c_v \leq 0.15$	$0.15 < c_v \leq 0.20$
基层顶面当量回弹模量	$c_v \leq 0.25$	$0.25 < c_v \leq 0.35$	$0.35 < c_v \leq 0.55$
水泥混凝土面层厚度	$c_v \leq 0.04$	$0.04 < c_v \leq 0.06$	$0.06 < c_v \leq 0.08$

上表为建议采用的数值,也可按施工技术、施工质量和管理要求达到和可能达到的具体水平,选用其他等级。降低选用的变异水平系数等级,须增加混凝土面层的设计厚度要求,而提高选用的变异水平等级,则可降低混凝土面层的设计厚度或混凝土的设计强度要求。可通过技术经济分析和比较予以确定。但对于高速公路的路面,为保证优良的行驶质量,不宜降低变异水平等级。

材料性能和结构尺寸参数的变异水平等级,按施工技术、施工质量控制和管理水平分为低、中、高三级。由滑模或轨道施工机械施工,并进行认真、严格的施工质量控制和管理的工程,可选用低变异水平等级。由滑模或轨道施工机械施工,但施工质量控制和管理水平较弱的工程,或者采用小型机具施工,而施工质量控制和管理得到认真、严格的执行的工程,可选用中低变异水平等级。采用小型机具施工,施工质量控制和管理水平较弱的工程,可选用高变异水平等级。选定了变异等级,施工时就应采取相应的技术和管理措施,以保证主要设计参数的变异系数控制在上表相应等级的规定范围内。

可靠度系数是目标可靠度及设计参数变异水平等级和相应的变异系数的函数。设计时, 可依据各设计参数变异系数值在各变异水平等级变化范围内的情况选择可靠度系数, 见表 3-1-5-10。

可靠度系数

表 3-1-5-10

变异水平等级	目标可靠度(%)			
	95	90	85	80
低	1.20 ~ 1.33	1.09 ~ 1.16	1.04 ~ 1.08	—
中	1.33 ~ 1.50	1.16 ~ 1.23	1.08 ~ 1.13	1.04 ~ 1.07
高	—	1.23 ~ 1.33	1.13 ~ 1.18	1.07 ~ 1.11

注: 变异系数在其变换范围的下限时, 可靠度系数取低值; 上限时, 取高值。

综上所述, 水泥混凝土路面结构设计以行车荷载和温度梯度综合作用产生的疲劳断裂作为设计的极限状态, 其表达式为:

$$\gamma_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r \quad (3-1-5-6)$$

式中: γ_r ——可靠度系数, 依据所选目标可靠度及变异水平等级按表 3-1-5-9 确定;

σ_{pr} ——行车荷载疲劳应力, MPa;

σ_{tr} ——温度梯度疲劳应力, MPa;

f_r ——水泥混凝土弯拉强度标准值, MPa。

2. 标准轴载与轴载换算

1) 标准轴载

水泥混凝土路面结构设计以 100kN 的单轴—双轮组荷载作为标准轴载, 并选取混凝土板的纵向边缘中部作为产生最大荷载和温度梯度综合疲劳损坏的临界载位置, 见图 3-1-5-19。

2) 轴载换算

不同轴—轮型和轴载的作用次数, 按式(3-1-5-7)换算为标准轴载的作用次数。

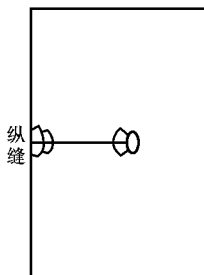


图 3-1-5-19 临界荷位

$$N_s = \sum_{i=1}^n \delta_i N_i \left(\frac{P_i}{100} \right)^{16} \quad (3-1-5-7)$$

$$\delta_i = 2.22 \times 10^3 P_i^{-0.43} \quad (3-1-5-8)$$

$$\text{或} \quad \delta_i = 1.07 \times 10^{-5} P_i^{-0.22} \quad (3-1-5-9)$$

$$\text{或} \quad \delta_i = 2.24 \times 10^{-8} P_i^{-0.22} \quad (3-1-5-10)$$

式中: N_s ——100kN 的单轴—双轮组标准轴载的作用次数;

P_i ——单轴—单轮、单轴—双轮组、双轴—双轮组或三轴—双轮组轴型 i 级轴载的总重, kN;

n ——轴型和轴载级位数;

N_i ——各类轴型 i 级轴载的作用次数;

δ_i ——轴—轮型系数, 单轴—双轮组时, $\delta_i = 1$; 单轴—单轮时, 按式(3-1-5-8)计算; 双轴—双轮组时, 按式(3-1-5-9)计算; 三轴—双轮组时, 按式(3-1-5-10)计算。

3. 水泥混凝土路面的交通等级

水泥混凝土路面所承受的轴载作用,按设计基准期内设计车道所承受的标准轴载累计作用次数分为 4 级,分级范围见表 3-1-5-11。

交 通 分 级

表 3-1-5-11

交 通 等 级	特 重	重	中 等	轻
设计车道标准轴载累计作用次数 N_s	>2000	100~2000	3~100	<3

4. 设计车道标准轴载累计作用次数

1) 设计车道使用初期的标准轴载日作用次数

设计车道使用初期的年平均日货车交通量(ADTT),可由使用初期年平均日交通量(双向)乘以方向分配系数和车道分配系数来确定。

调查分析双向交通的分布情况,选取交通量方向分配系数,一般情况可采用 0.5。依据设计公路的车道数,参照表 3-1-5-12 确定交通量车道分配系数。

交通量车道分配系数

表 3-1-5-12

单向车道数	1	2	3	≥4
车道分配系数	1.0	0.8~1.0	0.6~0.8	0.5~0.75

注:交通量大时,取低值;交通量小时,取高值。

设计车道使用初期的标准轴载日作用次数可利用当地称重站的测定和统计资料,或者通过设立站点进行轴载调查和测定,获取所设计公路的车型、轴型和轴载组成数据,可用轴载当量换算系数法或车辆当量轴载系数法,分析计算得到。下面仅介绍轴载当量换算系数法。

统计 1000 辆 2 轴 6 轮以上客、货车辆单轴、双联轴和三联轴 3 种轴型分别出现的次数,并分别称取其轴重。称重测定资料分别按轴型和轴重级位整理,得到各种轴型的轴载谱。单轴轴载按 10kN 分级,双联轴和三联轴轴载按 20kN 分级。各种轴型不同轴载级位的标准轴载当量换算系数按式(3-1-5-11)计算确定。

$$k_{p_{ij}} = \delta_{ij} \left(\frac{P_{ij}}{100} \right)^{16} \quad (3-1-5-11)$$

式中 $k_{p_{ij}}$ ——各种轴型不同轴载级位的标准轴载当量换算系数;

i ——轴型;

j ——轴载级位;

P_{ij} —— i 种轴型 j 级轴载的轴重, kN;

δ_{ij} —— i 种轴型 j 级轴载的轴—轮型系数,按公式(3-1-5-7)确定。

由轴载谱和轴载当量换算系数可按式(3-1-5-12)计算得到设计车道使用初期的标准轴载日作用次数。

$$N_s = \frac{ADTT}{1000} \sum_i n_i \sum_j (k_{p_{ij}} \times p_{ij}) \quad (3-1-5-12)$$

式中 N_s ——设计车道使用初期的标准轴载日作用次数;

n_i ——每 1000 辆 2 轴 6 轮以上客、货车辆中 i 种轴型出现的次数;

p_{ij} —— i 种轴型 j 级轴载的频率(以分数计)。

2)设计车道标准轴载累计作用次数 N_e 。

设计基准期内水泥混凝土面层临界荷位处所承受的标准轴载累计作用次数,可按式(3-1-5-13)计算确定。

$$N_e = \frac{N_s \times [(1 + g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \eta \quad (3-1-5-13)$$

式中 N_e ——标准轴载累计作用次数；

N_s ——设计车道使用初期标准轴载日作用次数；

t ——设计基准期；

g_r ——交通量年平均增长率,可按公路等级和功能以及所在地区的经济和交通发展情况,通过调查分析,预估设计基准期内的交通量增长量来确定 g_r ；

η ——临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数,按表 3-1-5-13 选用。

车辆轮迹横向分布系数

表 3-1-5-13

公路等级		纵缝边缘处
高速公路、一级公路、收费站		0.17 ~ 0.22
二级及二级以下公路	行车道宽大于 7m	0.34 ~ 0.39
	行车道宽不小于 7m	0.54 ~ 0.62

注:车道或行车道宽或者交通量较大时,取高值,反之,取低值。

三、荷载应力分析

选取混凝土板的纵向边缘中部作为产生最大荷载和温度梯度综合疲劳损坏的临界荷位。标准轴载 P_s 在临界荷位处产生的荷载疲劳应力按式(3-1-5-14)确定。

$$\sigma_{pr} = k_r k_f k_c \sigma_{ps} \quad (3-1-5-14)$$

式中 σ_{pr} ——标准轴载 P_s 在临界荷位处产生的荷载疲劳应力,MPa；

σ_{ps} ——标准轴载 P_s 在四边自由板的临界荷位处产生的荷载应力,MPa,按式(3-1-5-15)计算确定；

k_r ——考虑接缝传荷能力的应力折减系数,纵缝为设拉杆的平缝时 $k_r = 0.87 \sim 0.92$ (刚性和半刚性基层取低值,柔性基层取高值),纵缝为不设拉杆的平缝或自由边时, $k_r = 1.0$,纵缝为设拉杆的企口缝时 $k_r = 0.76 \sim 0.84$ ；

k_f ——考虑设计基准期内荷载应力累计疲劳作用的疲劳应力系数,按式(3-1-5-19)计算确定；

k_c ——考虑偏载和动载等因素对路面疲劳损坏影响的综合系数,按公路等级查表 3-1-5-14 确定。

综合系数 K_c

表 3-1-5-14

公路等级	高速公路	一级公路	二级公路	三、四级公路
k_c	1.30	1.25	1.20	1.10

标准轴载 P_s 在四边自由板临界荷位处产生的荷载应力为

$$\sigma_{ps} = 0.077r^{0.60}h^{-2} \quad (3-1-5-15)$$

$$r = 0.537h \left(\frac{E_c}{E_t} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3-1-5-16)$$

式中 σ_{ps} ——标准轴载 P_s 在四边自由板临界荷位处产生的荷载应力, MPa;

r ——混凝土板的相对刚度半径, m, 按照式(3-1-5-16)计算确定;

h ——混凝土板的厚度, m;

E_c ——水泥混凝土的弯拉弹性模量, MPa, 可按表 3-1-5-15 选用;

E_t ——基层顶面当量回弹模量, MPa。

水泥混凝土弯拉弹性模量经验参考值范围

表 3-1-5-15

弯拉强度(MPa)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
抗压强度(MPa)	5.0	7.7	11.0	14.9	19.3
弯拉弹性模量(GPa)	10	15	18	21	23
弯拉强度(MPa)	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
抗压强度(MPa)	24.2	29.7	35.8	41.8	48.4
弯拉弹性模量(GPa)	25	27	29	31	33

(1)新建公路的基层顶面当量回弹模量 E_t 可按式(3-1-5-17)计算确定:

$$E_t = ah_x^b E_0 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3-1-5-17)$$

$$E_x = \frac{h_1^2 E_1 + h_2^2 E_2}{h_1^2 + h_2^2} \quad (3-1-5-17a)$$

$$h_x = \left(\frac{12D_x}{E_x} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3-1-5-17b)$$

$$D_x = \frac{E_1 h_1^3 + E_2 h_2^3}{12} + \frac{(h_1 + h_2)^2}{4} \left(\frac{1}{E_1 h_1} + \frac{1}{E_2 h_2} \right)^{-1} \quad (3-1-5-17c)$$

$$a = 6.22 \left[1 - 1.51 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.45} \right] \quad (3-1-5-17d)$$

$$b = 1 - 1.44 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.55} \quad (3-1-5-17e)$$

式中 E_t ——基层顶面的当量回弹模量, MPa;

E_0 ——路床顶面的回弹模量, MPa, 可按表 3-1-5-16 选用;

E_x ——基层和底基层或垫层的当量回弹模量, MPa, 可按表 3-1-5-17 选用;

中湿路基层床顶面回弹模量经验参考值范围(MPa)

表 3-1-5-16

土 组	公路自然区划				
	II	III	IV	V	VI
土质砂	26 ~ 42	40 ~ 50	39 ~ 50	35 ~ 60	50 ~ 60
粘质土	25 ~ 45	30 ~ 40	25 ~ 45	30 ~ 45	30 ~ 45
粉质土	22 ~ 46	32 ~ 54	30 ~ 50	27 ~ 43	30 ~ 45

垫层和基层回弹模量经验参考值范围

表 3-1-5-17

材 料 类 型	回弹模量(MPa)	材 料 类 型	回弹模量(MPa)
中、粗砂	80 ~ 100	石灰粉煤灰稳定粒料	1300 ~ 1700
天然砂砾	150 ~ 200	水泥稳定粒料	1300 ~ 1700
未筛分碎石	180 ~ 220	沥青碎石(粗粒式 20)	600 ~ 800
级配碎石(垫层)	200 ~ 250	沥青混凝土(粗粒式 20)	800 ~ 1200
级配碎石(基层)	250 ~ 350	沥青混凝土(中粒式 20)	1000 ~ 1400
石灰土	200 ~ 700	多孔隙水泥碎石(水泥剂量 9.5% ~ 11%)	1300 ~ 1700
石灰粉煤灰土	600 ~ 900	多孔隙沥青碎石(20 , 沥青含量 2.5% ~ 3.5%)	600 ~ 800

E_1 、 E_2 ——基层和底基层或垫层的回弹模量,MPa;

h_x ——基层和底基层和垫层的当量厚度,μm;

D_x ——基层和底基层和垫层的当量弯曲刚度,MN·m;

h_1 、 h_2 ——基层和底基层或垫层的厚度,μm;

a 、 b ——与 $\frac{E_x}{E_0}$ 有关的回归系数。

底基层和垫层同时存在时,可先按式(3-1-5-17a)至式(3-1-5-17e)将底基层和垫层换算成具有当量回弹模量和当量厚度的单层,然后再与基层一起按上述各式计算基层顶面当量回弹模量。无底基层和垫层式相应层的厚度和回弹模量分别以零值代入上述各式进行计算。

(2)在旧柔性路面上铺筑水泥混凝土面层时,原柔性路面顶面的当量回弹模量可按式(3-1-5-18)计算确定:

$$E_t = 1.3739w_0^{-1.04} \quad (3-1-5-18)$$

式中 w_0 ——以后轴重 100kN 的车辆进行弯沉测定,经统计整理后得到的原路面计算回弹弯沉值(0.01mm)。

设计基准期内的荷载疲劳应力系数 k_f 计算公式如下:

$$k_f = N_e^v \quad (3-1-5-19)$$

式中 k_f ——设计基准期内的荷载疲劳应力系数;

N_e ——设计基准期内标准轴载累计作用次数;

v ——与混合料性质有关的指数,普通混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土, $v=0.057$;



碾压混凝土和贫混凝土 $\nu=0.065$;钢纤维混凝土 ν 按照下式(3-1-5-19a)计算确定。

$$\nu = 0.053 - 0.017\rho_f \frac{l_f}{d_f} \quad (3-1-5-19a)$$

式中 ρ_f ——钢纤维的体积率, % ;

l_f ——钢纤维的长度, mm ;

d_f ——钢纤维的直径, mm。

四、温度应力分析

(1)在临界荷位处的温度疲劳应力计算公式为：

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{tm} \quad (3-1-5-20)$$

式中 σ_{tr} ——临界荷位处的温度疲劳应力, MPa ;

σ_{tm} ——最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力, MPa ;

k_t ——考虑温度应力累计疲劳作用的疲劳应力系数。

其中 温度疲劳应力系数 k_t 计算公式为：

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{tm}} \left[a \left(\frac{\sigma_{tm}}{f_r} \right)^c - b \right] \quad (3-1-5-20a)$$

式中 a 、 b 和 c 为回归系数 根据所在地区的公路自然区划查下表 3-1-5-18 确定。

回归系数 a 、 b 和 c

表 3-1-5-18

系 数	公路自然区划					
	II	III	IV	V	VI	VII
a	0.828	0.855	0.841	0.871	0.837	0.834
b	0.041	0.041	0.058	0.071	0.038	0.052
c	1.323	1.355	1.323	1.287	1.382	1.270

(2)最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力按照下式计算确定：

$$\sigma_{tm} = \frac{a_c E_c h T_g}{2} B_x \quad (3-1-5-21)$$

式中 σ_{tm} ——最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力, MPa ;

a_c ——混凝土的线膨胀系数(1/) 通常可取为 $1 \times 10^{-5} /$;

T_g ——最大温度梯度,可按照公路所在地的公路自然区划按表 3-1-5-19 选用 ;

B_x ——综合温度翘曲应力和内应力作用的温度应力系数,可以按照 l/r 和 h 查图 3-1-5-20确定 ;

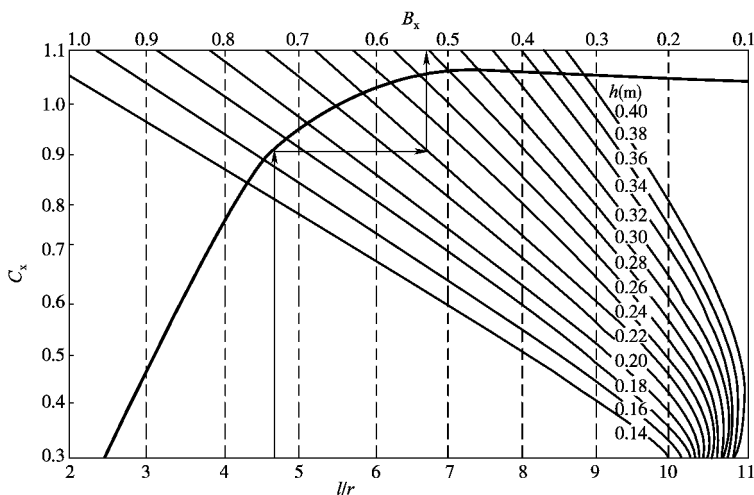
l ——板长,即横缝间距, m。

最大温度梯度标准值 T_g

表 3-1-5-19

公路自然区划	II、V	III	IV、VI	VII
最大温度梯度(/m)	83 ~ 88	90 ~ 95	86 ~ 92	93 ~ 98

注 海拔高时 取高值 湿度大时 取低值。

图 3-1-5-20 温度应力系数 B_x 诺模图

五、混凝土板厚计算流程

首先 根据相关的设计依据 进行行车道路面结构的组合设计(初拟路面结构,包括路床、垫层、基层和面层的材料类型和厚度),并按水泥混凝土面层厚度建议范围,依据交通等级、公路等级和所选变异水平等级初选混凝土板厚度。然后,分别计算荷载疲劳应力和温度疲劳应力。当荷载疲劳应力同温度疲劳应力之和与可靠度系数的乘积小于且接近于混凝土弯拉强度标准值,则初选厚度可作为混凝土板的计算厚度。否则,应改选混凝土板厚度,重新计算,直到满足为止。设计厚度依据计算厚度按 10mm 向上取整,见图 3-1-5-21。

六、混凝土面板厚度计算示例

【例】公路自然区划 III 区拟新建一条二级公路,路基为粉质土,采用普通混凝土路面,路面宽 9m。经交通调查得知,设计车道使用初期标准轴载日作用次数为 2000。试设计该路面厚度。

【解】 1. 交通分析

根据表 3-1-5-8,二级公路的设计基准期为 20 年,安全等级为三级,根据表 3-1-5-13,临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数取 0.39。取交通量年平均增长率为 5%。按式(3-1-5-13)计算得到设计基准期内设计车道标准荷载累计作用次数为:

$$N_e = \frac{N_s \times [(1 + g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \eta = \frac{2000 \times [(1 + 0.05)^{20} - 1] \times 365}{0.05} \times 0.39 = 9.414 \times 10^6 \text{ 次}$$

属重交通等级。

2. 初拟路面结构

根据表 3-1-5-8 相应于安全等级的变异水平等级为中级。根据二级公路、重交通等级和中级变异水平等级,查表 3-1-5-4,初拟普通混凝土面层厚度为 0.22m。基层选用水泥稳定粒料(水泥用量 5%),厚 0.20m。垫层为 0.15m 低剂量无机结合稳定土。普通混凝土板的平面尺寸为宽 4.5m,长 5.0m。纵缝为设拉杆平缝,横缝为设传力杆的假缝。

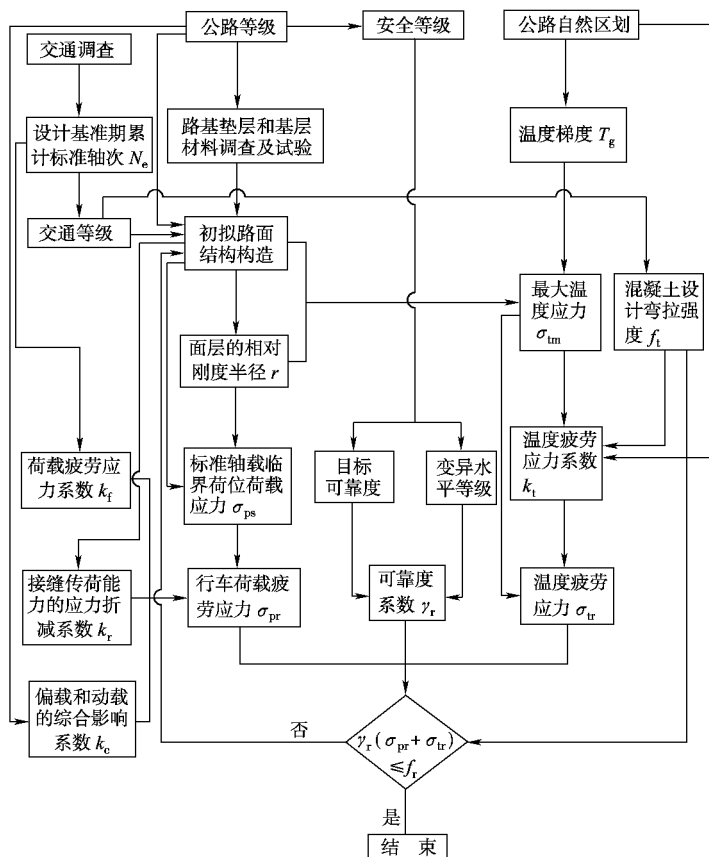


图 3-1-5-21 混凝土板厚度计算流程图

3. 路面材料参数确定

按表 3-1-5-7 取普通混凝土面层的弯拉强度标准值为 5.0MPa,查表 3-1-5-15 知 相应弯拉弹性模量标准值为 31GPa。

查表 3-1-5-16 路基回弹模量取 35MPa。查表 3-1-5-17 低剂量无机结合料稳定土垫层回弹模量取 600MPa 水泥稳定粒料基层回弹模量取 1300MPa。

按式(3-1-5-17)计算基层顶面当量回弹模量如下：

$$E_x = \frac{h_1^2 E_1 + h_2^2 E_2}{h_1^2 + h_2^2} = \frac{1300 \times 0.20^2 + 600 \times 0.15^2}{0.20^2 + 0.15^2} = 1048 (\text{MPa})$$

$$D_x = \frac{E_1 h_1^3 + E_2 h_2^3}{12} + \frac{(h_1 + h_2)^2}{4} \left(\frac{1}{E_1 h_1} + \frac{1}{E_2 h_2} \right)^{-1}$$

$$= \frac{1300 \times 0.18^3 + 600 \times 0.15^3}{12} + \frac{(0.18 + 0.15)^2}{4} \left(\frac{1}{1300 \times 0.20} + \frac{1}{600 \times 0.15} \right)^{-1}$$

$$= 3.08 (\text{MN} \cdot \text{m})$$

$$h_x = \sqrt[3]{12 D_x / E_x} = \sqrt[3]{12 \times 3.08 / 1048} = 0.328 (\text{m})$$

$$a = 6.22 \left[1 - 1.51 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.45} \right] = 6.22 \times \left[1 - 1.51 \times \left(\frac{1048}{35} \right)^{-0.45} \right] = 4.186$$

$$b = 1 - 1.44 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.55} = 1 - 1.44 \times \left(\frac{1048}{35} \right)^{-0.55} = 0.778$$

$$E_t = ah_x^b E_0 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{\frac{1}{3}} = 4.186 \times 0.328^{0.778} \times 35 \times \left(\frac{1048}{35} \right)^{\frac{1}{3}} = 191 (\text{MPa})$$

普通混凝土面层的相对刚度半径按式(3-1-5-16)计算为

$$r = 0.537h \left(\frac{E_c}{E_t} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.537 \times 0.22 \times \left(\frac{31000}{191} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.636 (\text{m})$$

4. 荷载疲劳应力

按式(3-1-5-15) 标准轴载在临界荷位处产生的荷载应力计算为

$$\sigma_{ps} = 0.077r^{0.60}h^{-2} = 0.077 \times 0.636^{0.6} \times 0.22^{-2} = 1.213 (\text{MPa})$$

因纵缝为设拉杆平缝 接缝传荷能力的应力折减系数 $k_t = 0.87$ 。考虑设计基准期内荷载应力累计疲劳作用的疲劳应力系数 $k_f = N_e^n = (9.414 \times 10^6)^{0.057} = 2.497$ 。根据公路等级 由表 3-1-5-14 考虑偏载和动载等因素对路面疲劳损坏影响的综合系数 $k_c = 1.20$ 。

按式(3-1-5-14) 荷载疲劳应力计算为

$$\sigma_{pr} = k_t k_f k_c \sigma_{ps} = 0.87 \times 2.497 \times 1.20 \times 1.213 = 3.16 (\text{MPa})$$

5. 温度疲劳应力

根据表 3-1-5-19 III 区最大温度梯度取 95(/m)。板长 5m $l/r = 5/0.636 = 7.86$ 由图 3-1-5-20 可查普通混凝土板厚 $h = 0.22\text{m}$ $B_x = 0.71$ 。按式(3-1-5-21) 最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力计算为

$$\sigma_{tm} = \frac{\alpha_c E_c h T_g}{2} B_x = \frac{1 \times 10^{-5} \times 31000 \times 0.22 \times 95}{2} \times 0.71 = 2.23 (\text{MPa})$$

温度疲劳应力系数 k_t 按式(3-1-5-20a)计算为

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{tm}} \left[a \left(\frac{\sigma_{tm}}{f_r} \right)^c - b \right] = \frac{5.0}{2.23} \left[0.855 \times \left(\frac{2.23}{5.0} \right)^{1.355} - 0.041 \right] = 0.550$$

再由式(3-1-5-20)计算温度疲劳应力为

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{tm} = 0.550 \times 2.23 = 1.23 (\text{MPa})$$

查表 3-1-5-8 二级公路的安全等级为三级 相应于三级安全等级的变异水平等级为中级, 目标可靠度为 85%。再据查得的目标可靠度和变异水平等级 查表 3-1-5-10 确定可靠度系数 $\gamma_r = 1.13$ 。

按式(3-1-5-6)

$$\gamma_r (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) = 1.13 \times (3.16 + 1.23) = 4.96 \text{MPa} \leq f_r = 5.0 \text{MPa}$$

因而 所选普通混凝土面层厚度(0.22m)可以承受设计基准期内荷载应力和温度应力的综合疲劳作用。

• 第四节 其他类型的水泥混凝土路面简介 •

一、钢筋混凝土路面

当混凝土板的平面尺寸较大,或者预计路基或基层有可能产生不均匀沉降,或者板下埋设有地下设施等情况时,宜采用钢筋混凝土路面。

钢筋混凝土路面是指板内配置有纵横向钢筋(或钢丝)网的混凝土路面。设置钢筋网的主要目的,是控制裂缝缝隙的张开量,把开裂的板拉在一起,使板依靠断裂面上的集料嵌锁作用而保证结构强度,并非增加板的抗弯强度。因而,钢筋混凝土面层所需的厚度与素(无筋)混凝土面层厚度相同。配筋是按混凝土收缩时将板块拉在一起所需的拉力确定。最大的拉应力出现在板中央开裂时,它等于由该处到最近的板边缘范围内面层和基层之间的摩阻力。即每延米板所需的配筋量(m^2)为

$$F_a = \frac{\bar{V}_c \cdot L \cdot h \cdot f}{2 \times 10^3 \sigma_a} \quad (3-1-5-22)$$

式中 $\bar{V}_c$ ——混凝土的容重 kN/m^3 ;

h ——板厚 m ;

f ——面层与基层间的摩擦系数,通常取 1.5;

σ_a ——钢筋的容许拉应力 MPa ;

L ——计算纵向钢筋间距时,为横缝间距;计算横向钢筋间距时,为不设拉杆的纵缝或自由边缘间的间距 m 。

为使板内应力尽可能分散,宜采用小直径钢筋。纵横向钢筋宜采用相同直径。网筋的最小间距应为集料最大粒径的 2 倍,有关规定见表 3-1-5-20。钢筋的搭接长度,根据经验,宜为直径的 24 倍以上。由于钢筋的主要作用是使裂缝密闭,它在板内的竖向位置并不太重要,只要有足够的保护层以防锈蚀即可。通常设在顶面下 $1/3 \sim 1/2$ 板厚范围内。外侧钢筋中心到接缝或自由边的距离为 0.1 m 。

钢筋最小直径和最大间距

表 3-1-5-20

钢筋类型	普通钢筋	螺纹钢筋	钢筋类型	普通钢筋	螺纹钢筋
最小直径(mm)	7	10	横向最大间距(m)	0.30	0.75
纵向最大间距(m)	0.15	0.35			

钢筋混凝土板的缩缝间距(即板长)一般为 13 ~ 22 m ,最大不宜超过 30 m 。缩缝内必须设置传力杆。其它接缝构造与素混凝土路面相同。

二、连续配筋混凝土路面

连续配筋混凝土路面的特点是一般不设横缝(施工缝和特定情况下必设的胀缝除外)且

配筋量很大的混凝土面层。这种面层会在温度和湿度变化引起的内应力作用下产生许多横向裂缝,裂缝的间距为 $1.0 \sim 3.0\text{m}$,缝隙的平均宽度为 $0.2 \sim 0.5\text{mm}$ 。但是,由于配置了许多纵向连续钢筋,这些横向裂缝不至于张开而使杂物侵入或使混凝土剥落,因而不会影响行车的使用品质。

确定纵向钢筋用量的控制因素是裂缝缝隙的宽度。缝隙过宽易使杂物和水侵入,配筋量多,可使缝隙宽度和间距减小。由于缝隙间距同缝隙宽度有直接关联,钢筋用量可按规定的裂缝间距来确定。虽然有多种理论公式可用于计算钢筋用量,但通常都是根据经验确定,一般认为保持裂缝完整无损所需配筋量为混凝土板断面积的 $0.6\% \sim 0.8\%$ 。在美国,一般气候区最小钢筋用量取 0.6% ,在寒冷地区取 0.7% 。钢筋间距最小 0.1m ,最大 0.23m 。钢筋直径应按规定选用。钢筋得埋置深度,在顶面下 $1/3 \sim 1/2$ 板厚范围内。搭接长度至少 0.5m 或钢筋直径的30倍,所有搭接均须错开。

横向钢筋的用量很小,其配筋率约为纵向钢筋的 $1/5 \sim 1/10$,主要目的是保持纵向钢筋的间距。纵横向钢筋均需采用螺纹钢筋,以保证混凝土和钢筋之间具有足够的握裹力。

连续配筋混凝土板内的钢筋并非按承受荷载应力进行设计的。因此,它的厚度仍可采用无筋混凝土路面板的计算方法确定。由于不考虑温度应力的组合,可适当降低厚度,例如,按无筋混凝土面板计算厚度的 $85\% \sim 90\%$ 取用。

连续配筋混凝土面层在浇筑中断时需设置施工缝。施工缝采取平缝形式,并用长度为 1m 的拉杆增强。拉杆的直径与间距同纵向钢筋,以使施工缝两侧的混凝土板块加固成连续的整体。

由于连续配筋的混凝土路面没有接缝(施工缝除外),所以,在长板的端部、桥头连接处,或者与其他路面纵向接头处都要设置胀缝,以便为混凝土的膨胀留有余地。

三、组合式(双层式)混凝土路面

新建道路的混凝土面板一般按单层式建造,只有当缺乏品质良好的材料时,才考虑采用双层式混凝土路面板,即利用当地品质较差的材料修筑板的下层,而用品质较好的材料铺筑板的上层,以降低造价。在改建旧混凝土路面时,有时在其上加铺一层新混凝土面层,这样也形成双层式混凝土路面结构。根据双层混凝土路面上下层板之间结合程度的不同,有结合式、分离式和部分结合式3种形式。

1. 结合式

上下层混凝土板牢固结合成为一整体,新建路面时,上下层混凝土连续施工,即可做成结合式。改建路面时,将下层板表面凿毛、洗净晾干,并喷刷高标号水泥浆(水灰比 $0.4 \sim 0.5$)或环氧树脂等粘结剂,随即浇筑新混凝土面层。对于这种结合形式,下层板的裂缝接缝将会反射到上层板内,因此要求上下层板的接缝必须对齐,并采用同样的接缝形式和缝隙宽度,这种结合形式适用于下层板完整无裂缝或虽有一些裂缝但不再发展的情况。支立模板时,可采用混凝土块顶撑或利用旧路面板的接缝钻孔插入钢钎固定的方法。

2. 分离式

上下层混凝土板之间铺以厚 $1 \sim 2\text{cm}$ 以上的沥青砂或双层油毡作为隔离材料,以达到分离的目的。这种分离措施,可防止下层板的裂缝和接缝反射到上层板内。因此分离式双层混

凝土路面板不要求上下层板的接缝对齐。当下层板严重破碎时,也可采用这种形式。新铺混凝土面层的厚度不宜小于 12cm。施工立模时可采用穿孔插钎固定模板,也可采用预制混凝土块顶撑模板的方法固定模板。

3. 部分结合式

改建路面时,先对原有混凝土板表面进行清理后再浇筑上层板。由于上下层板之间存在部分结合,下层板上的裂缝与接缝通常仍会反射到上层板内,所以上下层板的接缝位置应相同,但其形式和宽度不要求完全相同。旧面层的结构损坏不太严重并已经修复时,可采用这种结合形式。

四、钢纤维混凝土路面

钢纤维混凝土路面是在混凝土中掺入一些低碳钢、不锈钢或玻璃钢的纤维,使其成为一种均匀而多向配筋的混凝土。试验表明,钢纤维与混凝土的握裹力高达 4MPa。施工时一般在混凝土中掺入 1.5%~2.0% (体积比) 的钢纤维,过多则混凝土和易性不好。钢纤维长度宜为 25~60mm,直径 0.25~1.25mm,过长则与混凝土拌和时易成团,过短则混凝土强度增高不多,长度与直径的最佳比值为 50~70。

钢纤维混凝土路面的抗疲劳强度、抗冲击能力和防止裂缝的能力比普通混凝土路面要好得多。同时钢纤维混凝土路面厚度可以减薄 30%~50%,而缩缝间距可以增至 15~30m,胀缝和纵缝可以不设。

作为一种新型的路面材料,钢纤维混凝土路面具有广泛的发展前途,它具有薄板、少缝、使用寿命长、养护费用少等特点,特别是作为旧混凝土路面的罩面尤为适宜。

五、水泥混凝土预制块铺砌路面

块料由高强的水泥混凝土材料预制而成。抗压强度约为 60MPa,水泥含量 350~380kg/m³,水灰比 0.35,最大集料尺寸为 8~16mm,块料承受磨耗的面积一般小于 0.03m²,厚度至少 6cm,形状有矩形、嵌锁形(不规则形状)两类。这种路面结构由面层、砂整平层和基层组成,基层类型同普通混凝土路面。

混凝土预制块铺砌的路面具有结构简单、价格低廉、能承受较大的单位压力,出现较大变形也不会破坏块料,便于修复等优点,因此,比较广泛地用于铺筑人行道、停车场、堆场(特别是集装箱码头堆场)、街区道路、次要道路、一般公路的路面等。

六、碾压混凝土路面

碾压混凝土是一种含水率低,通过振动碾压施工工艺达到高密度、高强度的水泥混凝土。碾压混凝土路面与普通水泥混凝土路面相比能节省大量的水泥,且施工速度快,养生时间短,强度高,具有很好的社会效益。

根据我国碾压混凝土路面的施工水平,全厚式碾压混凝土路面的平整度难以达到规定的要求。国外也没有直接用做车辆高速行驶的路面面层。因此,碾压混凝土路面一般适用于二级及其以下等级的公路。

碾压混凝土的集料最大粒径以 20mm 为宜。当碾压混凝土分两层摊铺时,其下层集料最

大粒径可采用 40mm。

本章小结

(1) 水泥混凝土路面的构造分别为路基、基层、路面排水、路肩、水泥混凝土面板。

(2) 水泥混凝土面层的接缝可分为: 横向接缝(包括横向缩缝、胀缝、施工缝)和纵向接缝。

横缝是垂直于行车方向的接缝, 共有 3 种: 缩缝、胀缝和施工缝。

纵缝是指平行于混凝土路面行车方向的接缝。纵缝的布设应视路面宽度和施工铺筑宽度而定。

(3) 水泥混凝土路面力学特性分别为强度特性、疲劳特性、应力—应变特性。

(4) 混凝土路面结构可靠度是指在规定的基准期内, 在规定的交通和环境条件下, 行车荷载疲劳应力和温度梯度应力的总和不超过混凝土弯拉强度的概率。

设计基准期是指路面设计取用的使用时间。需要指出的是, 设计基准期不是路面结构的使用寿命, 而是指计算路面结构可靠度时, 考虑各项基本度量与时间关系所取用的基准时间。

可靠度系数是目标可靠度及设计参数变异水平等级和相应的变异系数的函数。设计时, 可依据各设计参数变异系数值在各变异水平等级变化范围内的情况选择可靠度系数。

水泥混凝土路面结构设计以行车荷载和温度梯度综合作用产生的疲劳断裂作为设计的极限状态, 其表达式为: $\gamma_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_t$

水泥混凝土路面结构设计以 100kN 的单轴—双轮组荷载作为标准轴载。

不同轴—轮型和轴载的作用次数, 按下式换算为标准轴载的作用次数。

$$N_s = \sum_{i=1}^n \delta_i N_i \left(\frac{P_i}{100} \right)^{16}$$

水泥混凝土路面所承受的轴载作用, 按设计基准期内设计车道所承受的标准轴载累计作用次数分为 4 级: 特重、重、中等、轻。

设计基准期内水泥混凝土面层临界荷位处所承受的标准轴载累计作用次数, 可按下式计算确定。

$$N_e = \frac{N_s \times [(1 + g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \eta$$

(5) 水泥混凝土路面的荷载应力与温度应力

1) 荷载应力

选取混凝土板的纵向边缘中部作为产生最大荷载和温度梯度综合疲劳损坏的临界荷位。标准轴载 P_s 在临界荷位处产生的荷载疲劳应力按下式确定。

$$\sigma_{pr} = k_r k_f k_c \sigma_{ps}$$

2) 温度应力

在临界荷位处的温度疲劳应力计算公式为: $\sigma_{tr} = k_t \sigma_{tm}$

思考题与习题

1. 何谓水泥混凝土路面？具有哪些优缺点？
2. 水泥混凝土路面为何在纵横两个方向设置许多接缝？如何设置？
3. 水泥混凝土路面具备哪些力学特性？
4. 水泥混凝土路面设计包括哪些内容？
5. 拉杆和传力杆有何不同？
6. 简述水泥混凝土板厚计算流程。
7. 公路自然区划 III 区拟新修建一条二级公路，路基为粘质土，采用普通混凝土路面，路面宽 9m。经交通调查得知，设计车道使用初期标准轴载日作用次数为 2200。试设计该路面厚度。

第一章

绪论

教学要求

1. 描述路面工程的特点及基本要求；
2. 描述路面工程的特点及路面施工的重要性；
3. 进行路面施工的准备工作的。

• 第一节 路面工程的特点及基本要求 •

路面作为公路的重要组成部分，除了直接承受车行荷载外，还应受到温度、水、阳光和空气等自然因素的影响。路面工程的施工工艺和施工质量，直接影响到公路的车行速度、行车安全和营运效益，是关系到公路整体服务水平的关键。

路面必须具备下列基本要求：

为了保证公路与城市道路全年通车，提高行车速度，增强安全性和舒适性，降低运输成本和延长道路使用年限，要求具有下述一系列的性能：

1. 强度和刚度

路面强度是指结构整体及其各组成结构层抵抗行车荷载作用产生各种应力、避免破坏的能力。刚度是指路面抵抗变形的能力。

汽车在路面上行驶，除了克服各种阻力外，还会通过车轮把垂直和水平力传给路面，而水平力又分为纵向和横向两种。此外，由于汽车发动机的机械振动和悬挂系统与车身的相对运动，路面还会受到车辆的振动力和冲击力作用，在车身后部还会产生真空吸力作用。

在上述各种外力的综合作用下，路面结构内还会产生不同大小的压应力、拉应力和剪应力。如果这些应力超过路面结构或某一组成部分的强度，则路面会出现断裂、沉陷、波浪和磨损等破坏。这就影响公路或城市道路的使用质量，严重时还可能中断交通。路面结构整体或某一组成部分刚度不足，即使强度足够，在车轮荷载作用下也会产生过量的变形，造成车辙、沉陷或波浪等破坏。因此，除了研究路面结构的应力和强度之间的关系外，还要研究其荷载和变形或应力和应变之间的关系，使整个路面结构及其各组成部分的变形量控制在容许范围内。

2. 稳定性

路面结构暴露于大气之中，无时不受到温度和水分变化的影响，其力学性能也就随着不断发生变化，强度和刚度不稳定，路况时好时坏。例如，沥青路面在夏季高温时会变软而产生车辙和推挤，冬季低温时又可能因收缩或变脆而开裂；水泥混凝土路面在高温时会发生拱胀破

坏,温度急骤变化时会因翘曲面产生破坏;砂石路面在雨季时,会因雨水渗入路面结构,使其含水量增多而导致强度下降,产生沉陷、轮辙或波浪。因此,要研究路面结构的温度和湿度状况及其对路面结构性能的影响,以便在此基础上,修筑能在当地气候条件下具有足够稳定性的路面结构。

3. 耐久性

路面结构要承受车辆荷载和冷热、干湿等自然因素的多次重复作用,由此而逐渐产生疲劳破坏和塑性变形的累积。另外,路面各结构组成材料还可能由于老化而导致破坏,这些都将缩短路面的使用年限和寿命,增加养护工作量和难度。因此,路面结构必须具有足够的抗疲劳强度以及抗老化和抗变形累积的能力。

4. 表面平整度

不平整的路表面会增大行车阻力,并使车辆产生附加的振动作用。这种振动作用会造成行车颠簸,影响行车的速度和安全、驾驶的平稳和乘客的舒适。同时,振动作用还会对路面施加冲击力,从而加剧路面和汽车机件的损坏和轮胎的磨损,并增大油料的消耗。而且,不平整的路面还会积滞雨水,加速路面的破坏。

平整的路面表面,要依靠优良的施工机具、精细的施工工艺、严格的施工质量控制以及经常和及时的养护来保证。同时,路面的平整度还同整个路面结构和面层材料的强度和抗变形能力有关。强度和抗变形能力差的路面结构和面层混合料,经不起车轮荷载的反复作用,极易出现沉陷、车辙和推挤等破坏,从而形成不平整的路表面。

5. 表面抗滑性能

汽车在光滑的路面上行驶时,车轮与路面之间缺乏足够的附着力或摩擦阻力。在雨天高速行驶、或紧急制动或突然起动、或爬坡、转弯时,车轮易产生空转或打滑,致使车速降低,油料消耗增多,甚至引起严重的交通事故。

路表面的抗滑能力可以通过采用坚硬、耐磨、表面粗糙的骨料组成路面表层材料来实现,有时也可采用一些工艺性措施来实现,如水泥混凝土路面的刷毛或刻槽等。此外,路面上的积雪、浮冰或污泥等,也会降低路面的抗滑性,必须时予以清除。

6. 少尘性及低噪声

汽车在砂石路面上行驶时,车身后部所产生的真空吸引力会将表层较细材料吸出而飞扬尘土,甚至于导致路面松散、脱落和坑洞等破坏。扬尘还会加速汽车机件的损坏,缩短行车视距,降低行车速度,而且对旅客和沿路居民的环境卫生,以及货物和路旁农作物均带来不良影响。因此,要求路面在行车过程中尽量减少扬尘。

汽车在路面上行驶时,除发动机等噪声外,路面不平整引起车身的振动是噪声的又一来源。为降低噪声,应提高路面施工的平整度工艺。

• 第二节 路面施工的前期工作 •

一、组织准备

组织准备包括路面工程项目的施工组织机构和施工劳动组织两方面。

1. 建立施工组织机构

根据路面工程及项目的特点,组建技术配备精良、设备先进齐全、生产快速高效的施工组织机构,建立工程项目分工责任制,完善工程质量分级管理体系。

2. 建立劳动组织体系

根据确定的工程施工进度、工期计划安排及劳动力的调配,合理地组织安排施工环节和施工过程,严格劳动纪律,严把工程质量关,实施奖惩制度,最大限度地创造最佳效益。

二、技术准备

1. 熟悉设计文件

组织技术人员领会设计文件的意图,熟悉设计文件中的各项技术指标,仔细考虑其技术经济的合理性和施工的可行性。对设计文件中有疑问、错误或设计不妥之处,应及时与建设业主、设计单位和工程监理联系,到实地现场调查了解,选择合理的解决方案。对于一些不确定因素如阴雨、交通干扰等,技术人员应心中有数,以便对相应的施工环节,作充分的考虑。

2. 编制施工方案

根据设计文件中的施工组织设计和建设业主在承包合同中的具体要求,结合工程项目特点、具体施工条件及工程承包单位的情况,编制具体、可行的实施性组织计划,并报工程监理和建设业主批准。

3. 技术咨询

施工前,应对技术人员统一施工技术规范 and 操作规程的认识,对于采用的新技术、新工艺应组织专家(包括工程监理和建设业主)进行充分论证,以免施工时出现工程事故。

4. 施工放样

路面施工前,应根据路线导线点或控制点,恢复路中线,钉设中心桩和边线桩。一般直线段桩距为 20~25m,曲线段为 10~15m,并在两侧路肩边缘外 0.3~0.5m 处设置指示桩。此外,还应测量原有路基顶面的断面高程,在两侧的指示桩上标记路面基层(底基层)的顶面标高位置线。

三、现场准备

施工现场的准备,直接影响到工程质量和工程进度,应做好以下工作:

1. “三通一平”

根据施工方向、运输路线、生活场所、料场及水电供应等临时设施,做好相应区域的通电、通水、通路及场地平整的工作。

2. 原有路基的检查

路面施工前,应根据《公路路面基层施工技术规范》对原有路基进行严格的检查,测定其顶面的强度。若不合格,则必须采取措施进行处理,并应及时向工程监理和建设业主作书面汇报。

3. 交通管理

对施工范围内的公路交叉口、部分设施设置施工标志,进行交通管制,对于附近人群应进行施工安全宣传。

四、物资准备

1. 机械设备准备

根据实施性施工组织计划,一次或分批配齐足够的施工机械和工具。机械设备的放置,应考虑到施工的要求。

2. 材料准备

路面用自采材料和外运材料,经检验和选择,按需要的规格和数量运到现场,堆放位置应根据实施性组织计划合理的设计。

3. 生活设施准备

工地人员的食宿位置、办公地点、房舍区域和生活必需设备,安全及劳动防护用品等的准备。

本章小结

(1)路面作为公路的重要组成部分,直接承受车辆荷载,路面施工质量的好坏直接影响行车的安全性、舒适性及经济性,作为公路建设者必须给予足够的重视。

(2)在公路建设过程中应根据路面工程的特点及基本要求,认真作好组织准备、技术准备、现场准备、物资准备等前期准备工作。

思考题与习题

1. 路面施工应具备哪些基本要求?
2. 路面施工的前期工作包括哪些内容?

第二章

路面基层(底基层)施工

教学要求

1. 描述路面基层、底基层、垫层常用材料的要求；
2. 描述常用路面基层(底基层)的施工方法、程序和施工要点,进行路面基层、底基层施工质量控制和检查验收；
3. 描述粒料类基层、半刚性(底基层)基层施工方法及程序。

• 第一节 路面基层、底基层、垫层常用材料的要求 •

一、半刚性材料质量要求

路面基层施工所用材料要求的目的,就是要保证路面在交付使用后不致因基层质量不符合要求而提早破坏。科学研究和工程实践证明:要铺筑满足质量要求的路面基层,必须使用质量符合要求的原材料,采用性能优良的施工机械和先进的施工工艺,在施工过程中实行科学的施工组织管理。使用质量符合要求的原材料及合理、正确的混合料组成设计是铺筑高质量路面基层的重要物质保证。因此,施工前应对组成半刚性基层的所有原材料进行质量检验,通过试验选择符合要求的原材料,然后进行配合比设计,在证明混合料强度和稳定性均符合要求后才能用于铺筑基层。

1. 原材料试验项目

进行混合料配比设计前,抽取有代表性的原材料样品进行试验,以试验结果作为判定是否选用该种材料的主要技术依据。主要的试验项目有:

- (1)含水量测定:确定土及砂砾、碎石等集料的原始含水量;
- (2)颗粒筛析:用筛分法分析砂砾、碎石等集料的颗粒组成情况,检验所用材料的级配是否符合要求,为集料配合比设计提供依据;
- (3)液限和塑限试验:计算土的塑性指数并判定该种土是否适用;
- (4)相对密度、吸水率试验:测定砂砾、碎石等粒料的相对密度与吸水率,评定其质量,计算固体体积率;
- (5)压碎值试验:评定碎石、砂砾等的抗压碎能力是否符合要求;
- (6)有机质和硫酸盐含量试验:对土有怀疑时做该项试验,判断土是否适宜用石灰和水泥稳定;

(7)石灰有效氧化钙和氧化镁含量测定:确定石灰有效成分含量,评定石灰的质量,以便确定结合料剂量;

(8)水泥强度等级和终凝时间测定:确定水泥质量是否满足设计强度和施工时间要求;

(9)烧失量测定:确定粉煤灰、煤渣等是否适用;

(10)粉煤灰化学成分及细度测定:评定粉煤灰的质量。

2. 原材料质量要求

1)集料和土

对集料和土的一般要求是能被经济地粉碎,满足一定级配要求,便于碾压成型,并应满足以下指标要求:

(1)液限和塑限

结合料为水泥时,土的液限和塑性指数应符合表 3-2-2-1 的要求。结合料为石灰时,应选用塑性指数为 15~20 的粘质土或含有一定量粘质土的中、粗粒土。塑性指数小于 10 的土宜用水泥稳定,塑性指数大于 15 的土宜用石灰和水泥综合稳定。用工业废渣稳定土时,细粒土的塑性指数宜为 12~20,中、粗粒土应少含或不含高塑性的土。

(2)颗粒组成

集料粒径对半刚性基层(底基层)的路用性能影响很大。如果集料粒径过大,则在拌和、摊铺混合料时难以达到均匀,容易出现集料离析现象,密实度、平整度不易达到要求。如果集料粒径过小,则基层(底基层)刚度不足,而且集料比表面积的增加后会使结合料用量增加,使工程投资增大。用半刚性材料做底基层时,集料最大粒径不应超过 50mm(圆孔筛,下同),做基层时,最大粒径不应超过 40mm。用水泥稳定类混合料做基层时,土的均匀系数(集料通过率为 60% 的筛孔与通过率为 10% 的筛孔尺寸的比值)应大于 5,一般选用均匀系数大于 10 的土。水泥稳定类混合料的集料颗粒组成应符合表 3-2-2-1 的要求,工业废渣稳定类混合料的集料颗粒组成应符合表 3-2-2-2 的要求。

适宜用水泥稳定的集料颗粒组成范围

表 3-2-2-1

公路等级		高速公路及一级公路		二级及二级以下公路	
层位		基层	底基层	基层	底基层
通过下列筛孔 (mm)的重量百分率 (%)	50				100
	40		100	100	
	30	100	90~100		
	20	90~100	75~90	55~100	
	10	60~80	50~70	40~100	
	5	30~50	30~55	30~55	50~100
	2	15~30	15~35	18~68	
	1			10~55	
	0.5	10~20	10~20	6~45	15~100
	0.075	0~7	0~7	0~30	0~50
液限(%)		<25		<40	
塑性指数		<6		<17	

适宜用水泥稳定的集料颗粒组成范围

表 3-2-2-2

公路等级		高速公路及一级公路		二级及二级以下公路
层位		基层	底基层	基层
最大粒径(mm)		≤30	≤40	≤40
通过下列筛孔 (mm)的重量百分率 (%)	40		100	100
	30	100	90 ~ 100	90 ~ 100
	20	90 ~ 100	60 ~ 85	60 ~ 85
	10	40 ~ 65	50 ~ 70	50 ~ 70
	5	55 ~ 80	40 ~ 60	40 ~ 60
	2	28 ~ 50	27 ~ 47	27 ~ 47
	1	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 40
	0.5	10 ~ 20	10 ~ 30	10 ~ 30
	0.07	0 ~ 15	0 ~ 15	0 ~ 15

(3)压碎值

用于半刚性基层的碎石、砾石应具有足够的抗压碎能力。用做高速公路和一级公路的半刚性基层集料压碎值不应大于 30% ,用做其他公路半刚性基层集料压碎值不应大于 35% (底基层可放宽到 40%)。

(4)硫酸盐及腐殖质

用水泥稳定作结合料时 ,土中硫酸盐含量不应超过 0.25% ,有机质含量不应超过 2% ;超过上述规定时 ,不应单纯用水泥稳定 ,可先用石灰与土混合均匀 ,闷料一昼夜后再用水泥稳定。用工业废渣稳定土时 ,土中硫酸盐含量不应超过 0.8% ,有机质含量不应超过 10% 。

2)无机结合料

常用的无机结合料为水泥、石灰、粉煤灰及煤渣等。

(1)水泥

普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥均可用于稳定集料和土。为了有充裕的时间组织施工 ,不应使用快硬水泥、早强水泥或受潮变质的水泥 ,应选用终凝时间较长(6h 以上)的水泥 ,如 32.5 级水泥或 42.5 级水泥。

(2)石灰

石灰质量应符合三级以上消石灰或生石灰的质量要求。准备使用的石灰应尽量缩短存放时间 ,以免有效成分损失过多 ,若存放时间过长则应采取措施妥善保管。

(3)粉煤灰

粉煤灰的主要成分是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 ,三者总含量应超过 70% ,烧失量不应超过 20% ,若烧失量过大 ,则混合料强度将明显降低 ,甚至难以成型。粉煤灰比表面积宜大于 $2500\text{cm}^2/\text{g}$,粒径变化范围为 0.001 ~ 0.3mm。干湿粉煤灰均可使用 ,但湿粉煤灰含水量不宜超过 35% ;干粉煤灰露天堆放时应洒水湿润 ,防止随风飞扬造成污染。使用时结团的灰块应打碎或过筛 ,并清除有害杂质。

(4)煤渣

煤渣是煤燃烧后的残留物,主要成分是 SiO_2 和 Al_2O_3 ,松干密度为 $700 \sim 100\text{kg/m}^3$,最大粒径不应大于 30mm ,颗粒组成以有一定级配为佳。

3)水

一般人、畜饮用水均可使用。

二、粒料类基层及其材料质量要求

1. 级配碎石基层

级配碎石基层由粗、细碎石和石屑各占一定比例、级配符合要求的碎石的混合料铺筑而成。级配碎石基层适用于各级公路的基层和底基层,还用做较薄沥青面层与半刚性基层之间的中间层,以减轻和消除半刚性基层开裂对沥青面层的影响,避免出现反射裂缝。符合级配要求的碎石可用几组颗粒组成不同的碎石或未筛分碎石与石屑掺配而成,用于基层时,碎石的最大粒径及颗粒组成等应符合表 3-2-2-3 的要求,级配曲线应连续圆滑。

级配碎石混合料颗粒级配范围

表 3-2-2-3

公路等级		各级公路			
		基层	中间层	底基层	底基层
通过下列筛孔 (mm)的重量百分率 (%)	50			100	
	40	100		85 ~ 100	100
	30	90 ~ 100	100	65 ~ 85	80 ~ 100
	20	75 ~ 90	85 ~ 100	42 ~ 67	56 ~ 87
	10	50 ~ 70	60 ~ 80	20 ~ 40	30 ~ 60
	5	30 ~ 55	30 ~ 50	10 ~ 27	18 ~ 46
	2	15 ~ 35	15 ~ 30	8 ~ 20	10 ~ 33
	0.5	10 ~ 20	10 ~ 20	5 ~ 18	5 ~ 20
	0.075	4 ~ 10 ^②	2 ~ 8 ^②	0 ~ 15	0 ~ 15
液限(%)		< 28			
塑性指数		< 6 或 < 9 ^①			
最大粒径(%)		≤ 30	≤ 30	≤ 40	≤ 40
扁平状颗粒总含量(%)		≤ 20			

注 ①潮湿多雨地区不大于 6,其他地区不大于 9。

②对无塑性的混合料,小于 0.075mm 的颗粒含量接近高限使压实后的基层透水性小。

级配碎石基层的强度主要由碎石颗粒间的密实、填充作用形成,对碎石颗粒的强度要求很高。碎石的压碎值应符合以下要求:高速公路和一级公路基层不大于 26%;高速公路和一级公路底基层、二级公路基层不大于 30%;二级公路底基层及二级以下公路基层不大于 35%;二级以下公路底基层不大于 40%。石屑和其他细集料可以用碎石场的筛余细料、专门轧制的细碎石集料、天然砂砾等。若级配碎石中所含细料的塑性指数偏大,则塑性指数与 0.5mm 以下细料含量的乘积应符合以下要求:年降雨量小于 600mm 的中干和干旱地区,地下水对土基无影响时,该乘积不大于 120;在潮湿多雨地区,该乘积不大于 100。

2. 级配砾石基层

级配砾石基层是用粗、细砾石和砂按一定比例配制的混合料铺筑的具有规定强度的路面结构层,适用于二级及二级以下公路的基层及各级公路底基层。级配砾石基层的颗粒组成应符合表 3-2-2-4 规定的级配要求,级配不符合要求的可用其他粒料掺配,达到规定的级配后同样可作为级配砾石基层。塑性指数在 6(潮湿多雨地区)或 9(其他地区)以下的天然砂砾可直接用作基层。对于细料含量较多的砾石,可先筛除部分细料后再使用。塑性指数偏大的可掺加少量石灰或无塑性砂土。

级配砾石混合料颗粒级配范围

表 3-2-2-4

公路等级及层位		各级公路	二级及二级以下公路		
		底基层	基层	基层	基层
通过下列筛孔(mm) 的质量百分率(%)	50	100	100		
	40	80 ~ 100	90 ~ 100	100	
	30			90 ~ 100	100
	20		65 ~ 85	75 ~ 90	85 ~ 100
	10	40 ~ 100	45 ~ 70	50 ~ 70	60 ~ 80
	5	25 ~ 85	30 ~ 55	30 ~ 55	30 ~ 55
	2		15 ~ 35	15 ~ 35	15 ~ 30
	0.5	8 ~ 45	10 ~ 20	10 ~ 20	10 ~ 20
	0.075	0 ~ 15	4 ~ 10	4 ~ 10	2 ~ 8
液限(%)		<28			
液限指数		<6 或 <9 ^①			
最大粒径(mm)		<50	<40		
扁平状颗粒总含量(%)		<20			

注 ①液限指数潮湿多雨地区不大于 6,其他地区不大于 9。

级配砾石颗粒的级配曲线应连续圆滑。当塑性指数偏大时,塑性指数与 5mm 以下细土含量的乘积应符合与级配碎石相同的规定。级配砾石的压碎值应符合下列要求:高速公路及一级公路底基层或二级公路基层不大于 30%;二级公路底基层或二级以下公路基层不大于 35%;二级以下公路底基层不大于 40%。

3. 填隙碎石基层

填隙碎石基层是用单一尺寸的粗碎石作主骨料,用石屑作填隙料铺筑而成的结构层。填隙碎石适用于各级公路的底基层和二级以下公路的基层,颗粒组成等技术指标应符合表 3-2-2-5 的要求。填隙碎石基层以粗碎石作嵌锁骨架,石屑填充粗碎石间的空隙,使密实度增加,从而提高强度和稳定性。当缺乏石屑时,可用细砂砾或粗砂替代。粗碎石应用坚硬的各类岩石或漂石轧制而成,压碎值应符合下列规定:用做基层,不大于 26%,用作底基层,不大于 30%。若抗压碎能力不能满足上述要求,则填隙碎石基层的整体强度将难以得到保证。

填隙碎石集料质量要求

表 3-2-2-5

集料类型		粗 碎 石			填 隙 料
标称尺寸		40 ~ 80	30 ~ 60	25 ~ 50	10
通过下列筛孔 (mm) 的重量百分率 (%)	80	100			
	60	25 ~ 60	100		
	50			100	
	40	0 ~ 15	25 ~ 50	35 ~ 70	
	30		0 ~ 15		
	25	0 ~ 5		0 ~ 15	
	20		0 ~ 5		
	10			0 ~ 5	100
	5				85 ~ 100
	2				60 ~ 80
	0.5				30 ~ 50
	0.075				0 ~ 10
塑性指数		< 6			
不合格颗粒总含量 (%)		< 15			

• 第二节 常用路面基层(底基层)的施工程序和施工要点 •

一、半刚性基层施工

半刚性基层的混合料可在拌和厂(场)集中拌和,也可沿路拌和,故施工方法有厂拌法和路拌法之分。高速公路和一级公路的半刚性基层对强度、平整度等技术性能有很高的要求,应采用施工质量好、进度快的厂拌法施工,其他公路的半刚性基层可用路拌法施工。

1. 铺筑试验路

高速公路及一级公路或使用新技术、新材料及新工艺的半刚性基层,在大面积施工前,应先铺筑一定长度的试验路。通过试验路的铺筑,施工单位可进行施工工艺的优化,找出施工过程中存在的主要问题,取得实现成功施工的经验,为大面积基层的铺筑确定合适的施工方法。同时还可检验拌和、运输、碾压、养生等施工设备的可靠性。根据试验路铺筑的具体情况,制定合理可行的施工组织计划,检验铺筑的半刚性基层质量是否符合设计和规范要求,并提出质量控制措施。此外,设计和建设单位也可对试验路的实际使用效果进行分析,对所设计的路面结构形式、混合料组成设计、基层的路用性能等一系列指标进行再次论证,从而优选出经济、适用的路面结构方案,并确定最终采用的基层类型及混合料配合比。

2. 厂拌法施工

厂拌法施工是在中心拌和厂(场)用强制式拌和机、双转轴浆叶式拌和机等拌和设备将原

材料拌和成混合料,然后运至施工现场进行摊铺、碾压、养生等工序作业的施工方法。无拌和设备时,也可用路拌机械或人工在现场分批集中拌和,之后,再进行其他工序的作业。厂拌法施工前,应先调试用于拌和、摊铺、碾压等工序的设备,使之处于良好的工作状态。拌和前应进行适当的试拌,使大批量拌和的混合料组成符合设计要求。厂拌法施工的工艺流程如图3-2-2-1所示,其中与施工质量有关的重要工序是混合料拌和、摊铺及碾压。

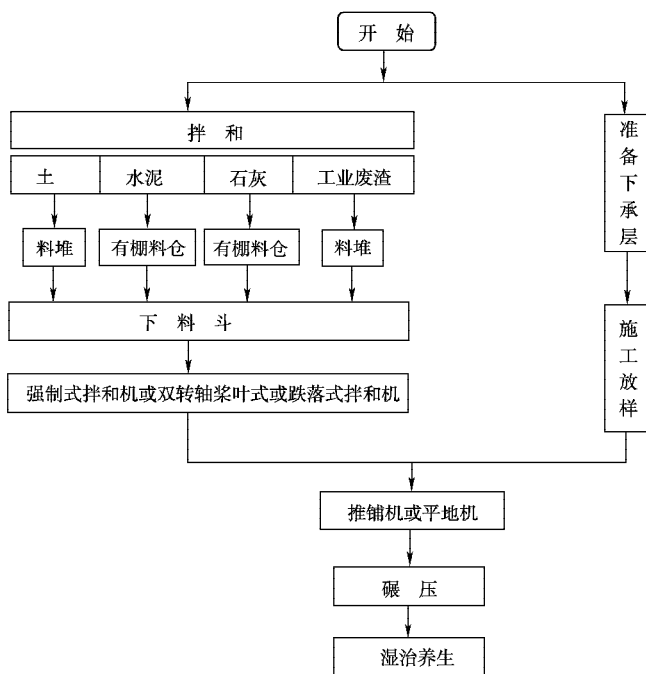


图 3-2-2-1 半刚性基层厂拌法施工流程

1) 下承层准备与施工放样

半刚性基层施工前应对下承层(底基层或土基)按施工质量验收标准进行检查验收,验收合格后方可进行基层施工。下承层应平整、密实,无松散、“弹簧”等不良现象,并符合设计标高、横断面宽度等几何尺寸。注意采取措施搞好基层施工的临时排水工作。

施工放样主要是恢复路中线,在直线段每隔 20m,曲线段每隔 10~15m 设一中桩,并在两侧路肩边缘设置指示桩,在指示桩上明显标出基层的边缘设计标高及松铺厚度的位置。

2) 备料

半刚性基层的原材料应符合质量要求。料场中的各种原材料应分别堆放,不得混杂。运到料场的水泥应防雨防潮,准备使用的石灰应提前洒水,使石灰充分消解。石灰和粉煤灰过干会随风飞扬而造成污染,过湿又会成团而不便于施工,因此,应适时洒水或设遮雨棚,使之含有适宜的水分。在潮湿多雨地区施工时,应采取有效措施使细粒土、结合料免受雨淋。

3) 拌和与摊铺

拌和时应按混合料配合比要求准确配料,使集料级配、结合料剂量等符合配合比设计要求,并根据原材料实际含水量及时调整向拌和机内的加水量。水泥稳定类和工业废渣稳定类混合料的含水量可比最佳含水量大 1~2 个百分点,而石灰稳定类混合料的含水量可比最佳含

水量小 1~2 个百分点,这样可获得较好的压实效果。

拌和好的水泥稳定类混合料和石灰稳定类混合料应尽快运到施工现场摊铺并碾压成型,以免因时间过长而使混合料强度损失过大。工业废渣稳定类混合料在 24h 内进行摊铺碾压即可。运输混合料的距离较长时,应用篷布等覆盖混合料以免水分损失过大。

高速公路及一级公路的半刚性基层应用沥青混合料摊铺机、水泥混凝土摊铺机或专用稳定土摊铺机摊铺,这样可保证基层的强度及平整度、路拱横坡、标高、几何外形等质量指标符合设计和施工规范要求。摊铺过程中应设专人跟随摊铺机行进,以便随时消除粗、细集料严重离析的现象。应严格控制基层的厚度和高程,禁止用薄层贴补的办法找平,确保基层的整体承载能力。拌和机与摊铺机的生产能力应相互协调,避免出现机械停工待料和生产能力不足的问题。

4) 碾压

碾压是使半刚性基层获得强度和稳定性的关键工序。摊铺整平的混合料应立即用 12t 以上的振动压路机、三轮压路机或轮胎压路机碾压。混合料压实厚度与压路机吨位的关系应符合表 3-2-2-6 的要求。必须分层碾压时,最小分层厚度不应小于 10cm。碾压时应遵循先轻后重的次序安排各型压路机,以先慢后快的方法逐步碾压密实。在直线段由两侧向路中心碾压,在平曲线范围内由弯道内侧逐步向外侧碾压。碾压过程中若局部出现“弹簧”、松散、起皮等不良现象时,应将这些部位的混合料翻松,重新拌和均匀后再碾压密实。半刚性基层的压实质量应符合表 3-2-2-7 规定的压实度要求。

半刚性基层压实厚度与压路机吨位的关系

表 3-2-2-6

压路机类型与吨位(t)	适宜的压实厚度(cm)	最小分层厚度(cm)
三轮压路机 12~15	15	10
三轮压路机 18~20	20	
质量更大的振动压路机、三轮压路机	根据试验确定	

半刚性基层压实度要求(%)

表 3-2-2-7

公路等级			高级公路和一级公路		二级及二级以下公路	
层位			基层	底基层	基层	底基层
材料类型	水泥稳定	细粒土		95	95	93
		中、粗粒土	98	96	97	95
	石灰稳定	细粒土		95	95	93
		中、粗粒土		96	97	97
	工业废渣稳定	细粒土		95	97	93
		中、粗粒土	98	96	97	95

水泥稳定类混合料从加水拌和开始到碾压完毕的时间称为延迟时间。混合料从开始拌和到碾压完毕的所有作业必须在允许延迟时间内完成,以免混合料的强度达不到设计要求。厂拌法施工的允许延迟时间为 2~3h。

5) 养生与交通管制

半刚性基层碾压完毕,应进行保湿养生,养生期不少于 7d。水泥稳定类混合料在碾压完成后立即开始养生,石灰或工业废渣稳定类混合料可在碾压完成后 3d 内开始养生,养生期内

应使基层表面保持湿润或潮湿,一般可洒水或用湿砂、湿麻布、湿草帘、低粘质土覆盖,基层表面还可采用沥青乳液做下封层进行养生。水泥稳定类混合料需分层铺筑时,下层碾压完毕,待养生1d后即可铺筑上层;石灰或工业废渣稳定类混合料需分层铺筑时,下层碾压完即可进行铺筑,下层无需经过7d养生。养生期间应尽量封闭交通,若必须开放交通时,应限制重型车辆通行并控制行车速度,以减少行车对基层的扰动。

3. 路拌法施工

路拌法施工是将集料或土、结合料按一定顺序均匀平铺在施工作业面上,用路拌机械拌和均匀并使混合料含水量接近最佳含水量,随后进行碾压等工序的作业。路拌法施工的流程为:下承层准备→施工测量→备料→摊铺→拌和→整形→碾压→养生。其中,下承层准备、施工测量、碾压及养生的施工方法和要求与厂拌法施工相同。

路拌法施工时,备料在准备完毕的下承层上进行。首先根据铺筑层的宽度、厚度及预定达到的干密度计算各施工段所需干集料的数量。其次是根据混合料的配合比、原材料含水量及运输车辆的吨位计算各种原材料每车的堆放距离,对于水泥、石灰等结合料,当以袋(或小翻斗车)为计量单位时,应计算每计量单位结合料的堆放距离。这样分层堆放的原材料经摊平、拌和后得到的混合料更容易符合规定的配合比要求。

通常先堆放集料或土,用自动平地机等适合的机械或人工按铺筑试验路确定的松铺系数摊铺均匀,然后按上述计算结果堆放结合料并摊平,摊铺应使混合料层厚度均匀。摊铺完毕,用稳定土拌和机、农用旋耕机或多铧犁进行拌和,拌和深度应达到稳定层底部,略扰动下承层,使基层与下承层结合良好。在拌和过程中,应设专人跟随拌和机行进,以便随时调整拌和深度并检查拌和质量。混合料应充分拌和均匀,严禁在拌和层底留有“素土”或夹层,否则会严重影响稳定层的强度和稳定性。拌和时应适时检查混合料的含水量,若含水量不符合设计要求,应通过自然蒸发或补充洒水使之处于最佳值,并再次拌和均匀。

混合料拌和均匀后,立即用平地机初平、整形。在直线段,平地机由两侧向路中心刮平,在曲线段,平地机由内侧向外侧刮平。初平后,用拖拉机、平地机或轮胎式压路机快速碾压1~2遍,使可能的不平整部位暴露出来,再用平地机整形,如此反复1~2遍。整形过程中要及时消除集料离析现象,特别是粗集料集中的部位。低洼处应用齿耙将距表面5cm深度范围内的混合料耙松,再用新拌和的混合料找平。初步整形后,应检查混合料松铺厚度,并进行必要的补料和减料。碾压作业与厂拌法施工相同。碾压结束前,用平地机再终平一次,使基层纵向顺适,路拱、超高、高程等符合设计要求,特别要将高出部分刮除并扫出路外,以保证上层路面结构的有效厚度。

4. 施工应注意的问题

1) 施工季节

半刚性基层宜在春末或夏季组织施工。施工期间的最低气温应在5℃以上,在冰冻地区,应保证在结冻前有一定成型时间,即在第一次重冰冻(-3~-5℃)到来之前的半个月到一个月(水泥稳定类)或一个月到一个半月(石灰、工业废渣稳定类)完成。若不能达到上述要求,则碾压成型的半刚性基层应采取覆盖措施以防冻融破坏。多雨地区应避免在雨季施工石灰土结构层。雨季施工水泥稳定土或石灰稳定中、粗粒土时,应特别注意气候变化,采取措施避免结合料或混合料遭雨淋。降雨时应停止施工,及时排除地表水,使运到路上的材料不过分潮湿。已经摊铺的混合料应尽快碾压密实。

2) 接缝及“掉头”处的处理

无论用厂拌法还是路拌法施工,均应尽量减少横向接缝和纵向接缝,必须设置接缝时,应妥善处理。对于水泥稳定类基层,同一天施工的两个作业段衔接处应搭接拌和,即前一段拌和后留下5~8m长的混合料不碾压,待后一段施工时,在前一段未碾压的混合料中加入水泥,并拌和均匀。每一工作日的最后一段水泥稳定类基层完工后,应将末端设置成垂直端面,以保证接缝处有良好的传荷能力。对于石灰稳定类和工业废渣稳定类基层,同一天施工的两作业段衔接处可按前述方法处理,但不再添加结合料。施工过程中出现的纵向接缝应设置垂直接缝,接缝区的混合料应充分碾压密实。

拌和机等施工机械不应在已碾压成型的稳定类基层上“掉头”、制动或突然启动,若必须进行这些操作时,应采取有效的措施保护基层。

3) 水泥稳定类混合料基层施工作业段长度的确定

确定水泥稳定类混合料基层的施工作业段长度应考虑水泥的终凝时间、延迟时间、工程质量要求、施工机械效率及气候条件等因素。延迟时间宜控制在3~4h内,不得超过水泥的终凝时间。在保证混合料强度符合要求的前提下,尽可能增长施工作业段长度。为此,水泥稳定类基层应采用流水作业法组织施工,使各工序紧密衔接,尽可能缩短延迟时间以增加施工流水段长度。一般条件下,每作业段长度以200m为宜。

二、粒料类基层施工

粒料类基层是由有一定级配的矿质集料经拌和、摊铺、碾压,当强度符合规定时得到的基层。按强度形成原理的不同,矿质集料分为嵌锁型和密实型两种类型。嵌挤型粒料包括泥结碎石、泥灰结碎石、填隙碎石等,强度靠颗粒之间的摩擦和嵌挤锁结作用形成。密实型粒料具有连续级配,故也称级配型基层,材料包括级配碎(砾)石、符合级配要求的天然砂砾等。本节主要介绍级配碎石、级配砾石和填隙碎石基层的施工技术。

1. 级配碎(砾)石基层施工

级配碎(砾)石基层大都采用路拌法施工,施工次序为:准备下承层→施工放样→运输和摊铺主集料→运输和摊铺掺配集料→洒水拌和→整形→碾压→做封层。采用集中厂拌法施工,施工次序为:准备下承层→施工放样→混合料拌和与摊铺→整形→碾压→做封层。

下承层准备与施工放样按半刚性基层施工的方法和要求进行,运输和摊铺集料是确保级配碎(砾)石基层施工质量的关键工序之一,通过准确配料、均匀摊铺可使碎(砾)石混合料具有规定的级配,从而达到规定的强度等技术要求。施工时根据拟定的混合料配合比、基层宽度与厚度及预定达到的干密度等计算确定各规格集料的用量,以先粗后细的顺序将集料分层平铺在下承层上,然后用人工或平地机进行摊平,级配碎(砾)石混合料可用稳定土拌和机、自动平地机、多铧犁与缺口圆盘耙相配合拌和,拌和应均匀,避免出现集料离析现象,确保级配碎(砾)石基层具有良好的整体强度。应边拌和边洒水,使混合料达到最佳含水量。混合料拌和均匀即可按松铺厚度摊平,级配碎石的松铺系数为1.4~1.5,级配砾石的松铺系数为1.25~1.35。表面整理成规定的路拱横坡,随后用拖拉机、平地机或轮胎压路机在初平的混合料上快速碾压1~2遍,使潜在的不平整部位暴露出来,再用平地机整平。混合料整形完毕,含水量等于或略大于最佳含水量时,用12t以上三轮压路机或振动压路机碾压。在直线段,由路肩开始

向路中心碾压,在平曲线段,由弯道内侧向外侧碾压,碾压轮重叠 $1/2$ 轮宽,后轮超过施工段接缝。后轮压完路面全宽即为一遍,一般应碾压 $6\sim 8$ 遍,直到符合规定的密实度,表面无轮迹为止。压路机碾压头两遍的速度为 $1.5\sim 1.7\text{km/h}$,然后为 $2.0\sim 2.5\text{km/h}$ 。路面外侧应多压 $2\sim 3$ 遍。对于含细土的级配碎(砾)石,应进行滚浆碾压,一直到碎(砾)石基层中无多余细土泛到表面为止,泛到表面的泥浆应清除干净。用级配碎石做基层时,压实度不应小于 98% ;做底基层时,压实度不应小于 96% 。用级配砾石做基层时,压实度不应小于 98% ,CBR值不应小于 60% ;做底基层时,压实度不应小于 96% ,中等交通条件下CBR值不应小于 60% ,轻交通条件下CBR值不应小于 40% 。

级配碎石用做薄沥青面层与半刚性基层间的中间层时,主要起防治反射裂缝的作用。碎石混合料应采用强制式拌和机、卧式双转轴桨叶式拌和机或普通水泥混凝土拌和机等集中拌和,用沥青混凝土摊铺机、水泥混凝土摊铺机或稳定土摊铺机摊铺,这样可使其具有良好的强度和稳定性,表面平整,质量明显高于路拌法施工的基层。

2. 填隙碎石基层施工

填隙碎石基层施工的顺序为:准备下承层→施工放样→运输和摊铺粗集料→稳压→撒布石屑→振动压实→第二次撒布石屑→振动压实→局部补撒石屑并扫匀→振动压实,填满空隙→洒水饱和(湿法)或洒少量水(干法)→碾压。其中,运输和摊铺粗集料及振动压实是确保施工质量的关键。

填隙碎石施工时,细集料应干燥,采用振动压路机充分碾压,尽量使粗碎石集料的空隙被细集料填充密实,而填隙料又不覆盖粗碎石表面自成一层,粗碎石应“露子”。填隙碎石的压实度用固体体积率来表示,用做基层时,不应小于 83% ;用做底基层时,不应小于 85% 。填隙碎石基层碾压完毕,铺封层前禁止开放交通。

• 第三节 路面基层、底基层施工的质量控制及检查验收 •

一、基层(底基层)施工质量控制与检查验收

1. 施工质量控制

确保基层(底基层)的施工质量符合设计文件和技术规范要求是基层(底基层)施工的首要任务,施工过程中应采取有效措施控制施工质量,如建立健全工地现场试验、质量检查与工序间的交接验收制度。各工序完成后应进行相应指标的检查验收,上一道工序完成且质量符合要求方可进入下一道工序的施工。施工质量控制的内容包括原材料与混合料技术指标的检验、试验路铺筑及施工过程中的质量控制与外形管理三大部分。

1) 原材料与混合料质量技术指标试验

基层(底基层)施工前及施工过程中原材料出现变化时,应对所采用的原材料进行规定项目的质量技术指标试验,以试验结果作为判定材料是否适用于基层(底基层)的主要依据。原材料技术指标试验项目及试验方法参见前述有关的内容。

2) 铺筑试验路

为了有一个标准的施工方法作指导,在正式施工前应铺筑一定长度的试验路,以便考查混

混合料的配合比是否适宜,确定混合料的松铺系数、标准施工方法及作业段的长度等,并根据铺筑试验路的实际过程优化基层的施工组织设计。

3) 质量控制与外形管理

基层(底基层)施工质量控制是在施工过程中对混合料的含水量、集料级配、结合料剂量、混合料抗压强度、拌和均匀性、压实度、表面回弹弯沉值等项目进行检查,表 3-2-2-8 列出了其中一些主要项目的检测频率及质量标准。外形管理包括基层的宽度、厚度、路拱横坡、平整度等,施工时应按规定的频率和质量标准进行检查。

施工质量控制主要项目的检查频率和标准

表 3-2-2-8

工程类别	项 目		频 率	质量标准	达不到要求时的参考处理措施	备 注
水 泥 石 灰 综 合 稳 定 类 及 水 泥 石 灰 综 合 稳 定 类 混 合 料	级配		每 2000m ² 一次	在规定范围内	调整材料 ,修整配合比	摊铺现场取样
	集料压碎值		根据观察 ,异常时随时取样	不超过规定	换合格的材料	现场取样
	水泥、石灰剂量		每 2000m ² 一次 至少 6 个样品。用滴定法或测钙仪试验	-1.00%	检查原因 ,进行调整	摊铺时取样
	拌和均匀性		随时观察	无灰条、灰团 ,色泽均匀 ,无离析	补充拌和 ,处理粗集料窝和粗集料带	
	压实度	稳定细粒土	开始阶段 ,每一作业段检查 6 次以上 ,然后用碾压遍数与检查相结合检查 (1 次 /2000m ²)	93% 以上 (高速公路及 一 级 公 路 95% 以上)	继续碾压 ,局部含水量过大或材料不良地点 ,挖除并换填混合料	以灌砂法为准 ,每个点受压路机碾压次数相同
		稳定中、粗粒土		底基层 95%、基层 97% ,高速公路及一级公路 98% 以上		
	抗压强度		每种土质相同剂量结合料不少于 6 个试件	符合规定要求	调查原材料 ,按需要增加结合料剂量 ,改善集料级配	试件密度与现场密度一致
	延迟时间		每作业段一次	不超过规定要求	适当处理 ,改进施工方法	仅指水泥稳定类
石 灰 粉 煤 灰 稳 定 类	配合比		每 2000m ² 一次	石灰 - 1% 以内		按用量控制
	级配		每 2000m ² 一次	符合规定要求		全过程取样
	拌和均匀性		随时观察	无灰条、灰团 ,色泽均匀 ,无离析	补充拌和 ,处理粗集料窝和粗集料带	
	抗压强度		稳定细粒土每天两组 ,每组 6 个试件 稳定中粒土每天分别为 9 个和 13 个试件	符合规定要求	调查原材料 ,按需要增加结合料剂量 ,调整配合比 ,提高压实度等	试件密度与现场密度一致
	压实度	二灰及二灰稳定类	开始阶段 ,每一作业段检查 6 次以上 ,然后用碾压遍数与检查相结合检查 (1 次 /2000m ²)	93% 以上 (高速公路及 一 级 公 路 95% 以上)	继续碾压 ,局部含水量过大或材料不良地点 ,挖除并换填混合料	以灌砂法为准 ,每个点受压路机碾压次数相同
		二灰稳定粒料类		底基层 95%、基层 97% (高速公路及一级公路 98% 以上)		

续上表

工程类别	项 目	频 率	质量标准	达不到要求时的参考处理措施	备 注
粒料类 基层	级配	根据观察,异常时 随时试验	在规定范围内	调查原材料,按需要修正现 场配合比	现场取样湿筛 法进行
	均匀性	随时观察	无粗细集料离析	局部添加所需材料,补充拌 和或换料	全过程取样
	压实度	每一作业段或不 大于 2000m ² 检查 6 次以上	基层 98% 以上, 底基层 96% 以上	继续碾压,局部含水量过大 或材料不良地点,挖除并换填 混合料	以灌砂法为准, 每个点受压路机 碾压次数相同
回弹弯沉值		每一评定段(不 超过 1km)每车道 40~50 个测点	95% 或 97.7% 概 率的上波动界限不 大于计算弯沉值	继续碾压,局部处理	碾压完后检查

2. 检查验收

基层施工完毕应进行竣工检查验收,内容包括竣工基层的外形、施工质量和材料质量 3 个方面。检查验收过程中的试验、检验应做到原始记录齐全、数据真实可靠,为质量评定提供客观、准确的依据。检查验收应随机抽样进行,不能带有任何倾向性,通常以 1km 长的路段为一个评定单位。表 3-2-2-9 列出了竣工外形检查的内容和合格标准。竣工质量检查的内容和合格标准列于表 3-2-2-10 中。

竣工外形检查的数量和合格标准

表 3-2-2-9

工程 类别	项 目	检 测 频 率	质 量 标 准	
			高速公路和一级公路	二级和二级以下公路
基层	高程(mm)	每 200m 测 4 点	+5, - 10	+5, - 15
	宽度(mm)	每 200m 测 4 点	+0 以上	+0 以上
	横坡度(%)	每 200m 测 4 个断面	±0.3	±0.5
	厚度(mm)	每车道 200m 测 1 点	- 8(均值) - 15(单个车道)	- 10(均值) - 20(单个车道)
	平整度(mm)	每 200m 测 2 处,每处连续量 10 尺	10	15
底基层	高程(mm)	每 200m 测 4 点	+5, - 15	+5, - 20
	宽度(mm)	每 400m 测 4 点	+0 以上	+0 以上
	横坡度(%)	每 200m 测 4 个断面	±0.3	±0.5
	厚度(mm)	每车道 200m 测 1 点	- 10(均值) - 25(单个车道)	- 12(均值) - 30(单个车道)
	平整度(mm)	每 200m 测 2 处,每处连续量 10 尺	15	20

施工质量合格标准值

表 3-2-2-10

工程种类	项 目	检查数量	标准值	极限低值
水泥稳定粒料(土) 石灰稳定粒料(土) 工业废渣稳定粒料	压实度	每 200m ² ~ 10 处	基层 98% (97%) 底基层 96% (95%)	94% (93%) 92% (91%)
	颗粒组成	2 ~ 3	规定级配范围	
	水泥、石灰剂量	3 ~ 6		- 1.0%
水泥土、石灰土、 二灰、二灰土	压实度	每 200m ² ~ 10 处	93% (95%)	89% (90%)
	剂量(%)	3 ~ 6	设计值	水泥 - 1.0% 石灰 - 2.0%
级配碎石(砾石)	压实度	每 200m ² ~ 10 处	基层 98% 底基层 83%	93% 91%
	颗粒组成	2 ~ 3	规定级配范围	
	弯沉值	每车道 40 ~ 50 测点		设计计算值
填隙碎石	压实度	每 200m ² ~ 10 处	基层 85% 底基层 83%	82% 80%
	弯沉值	每车道 40 ~ 50 测点		设计计算值
集料底基层	压实度	每 200m ~ 10 处	96%	91%
	弯沉值	每车道 40 ~ 50 测点		设计计算值

检查验收的另一项重要工作是对有关测试数据进行处理。检查基层外形后,应分别计算宽度、厚度等项目测试数据的平均值 $\bar{K}$ 和标准差 s ,再计算平均值的下信界限 $\bar{K}_1$:

$$\bar{K}_1 = \bar{K} - t_a \frac{s}{1 - n^{0.5}} \quad (3-2-2-1)$$

式中 t_a —— t 分布表中随自由度和保证率(或置信度)而变的系数,高速公路及一级公路取 95%,其他公路取 90%;

n ——检查样本数;

$\bar{K}_1$ ——不应小于基层的设计厚度或宽度。

在检查施工质量时,测量弯沉值后,考虑一定保证率的测量值上波动界限不应大于计算得到的弯沉值。弯沉测量值的上波动界限用下式计算:

$$l_u = l + z_a s \quad (3-2-2-2)$$

式中 l_u ——测量值的上波动界限(即代表弯沉值);

l ——测量弯沉值的平均值;

s ——测得弯沉值的标准差;

z_a ——与要求保证率有关的系数,高速公路和一级公路,取 $z_a = 2.0$,二级公路,取 $z_a = 1.645$ 。

在计算观测值的平均值和标准差时,可将超出 $[1 \pm (2 \sim 3)s]$ 的弯沉特异值舍弃,这样计算得到的代表弯沉值不应大于要求的弯沉值。因弯沉值过大而舍弃的点,应找出其周围界限,并进行局部处理。压实度检查后,其下置信限 $\bar{K}_1$ 不应小于标准值 $\bar{K}_d$ [参看式(3-2-2-1)]。水

泥和石灰的测定剂量,其下置信限不应小于设计剂量。在检查施工质量过程中,个别测定指标超出极限值的点,特别是弯沉值大而压实度过小的点,应找出其范围并进行局部处理。

本章小结

(1)以水硬性材料作为结合料在压实后形成强度,从而抵抗车辆荷载的材料称为半刚性材料。半刚性基层(底基层)材料的显著特点是:整体性强、承载力高、刚度大、水稳性好,而且较为经济。因此,半刚性材料已广泛用于修建高等级公路路面基层或底基层。

(2)粒料类基层(底基层)分为:嵌锁型与级配型。嵌锁型包括泥结碎石、泥灰结碎石、填隙碎石等。级配型包括级配碎石、级配砾石、符合级配的天然砂砾、部分砾石经轧制掺配而形成的级配砾、碎石等,这些基层(底基层)常用于低等级公路。

(3)随着我国筑路施工技术的提高,施工机械化水平的不断提高,对路面基层(底基层)施工质量的要求越来越高,在同等条件下,应优先考虑厂拌机铺的施工方法。

思考题与习题

1. 简述二灰土作为底基层对原材料的要求。
2. 简述二灰碎石采用厂拌机铺的施工工艺及工艺流程。
3. 简述对路面基层质量评定的要求。
4. 简述水泥稳定砂砾基层施工的方法及工艺流程。

第三章

沥青路面施工

教学要求

1. 描述沥青路面的分类,进行路面类型的选择;
2. 描述沥青类路面对常用材料的要求;
3. 描述各种沥青路面的施工方法,进行沥青路面施工质量控制及检查验收;
4. 描述沥青路面各种病害,进行常见路面病害的防治及处治等。

• 第一节 沥青路面的分类 •

一、沥青路面的基本特性

沥青路面是用沥青材料作结合料粘结矿料修筑面层与基层的路面结构。

沥青路面由于使用了沥青结合料,因而增强了集料间的粘结力,提高了混合料的强度和稳定性,使路面的使用质量和耐久性都得到提高。与水泥混凝土路面相比,沥青路面具有表面平整、无接缝、行车舒适、耐磨、振动小、噪声低、施工期短、养护维修简便等优点,因而获得越来越广泛的应用。20 世纪 50 年代以来,各国修建沥青路面的数量迅猛增长,所占比例很大。近几十年来,我国公路和城市道路修筑了相当数量的沥青路面,沥青路面也是我国高速公路的主要路面形式。随着国民经济和现代化道路交通的需要,沥青路面预计会有更大的发展。

沥青路面的强度和稳定性在很大程度上取决于土基和基层的特性。在柔性基层上铺筑的沥青面层称柔性基层沥青路面,在半刚性基层上铺筑的沥青混合料面层称为半刚性基层沥青路面。总的来说,沥青路面的抗弯拉强度较低,因而要求基层和土基应具有足够的强度和稳定性。因此,施工时必须掌握路基土的特性进行充分的压实。对软弱土基或翻浆路段必须预先加以处理。低温时,沥青路面的抗变形能力很低。在寒冷地区为了防止土基不均匀冻胀而使沥青路面开裂,需设置防冻层。沥青路面修筑后,由于透水性小,使土基和基层内的水分难以排出,在潮湿路段易使土基和基层湿度过大而变软,导致路面破坏。因此,宜尽量采用水稳定性较好的半刚性基层。对于交通量较大的路段,为使沥青路面具有一定的抗弯拉和抗疲劳开裂的能力,宜在沥青面层下设置沥青混合料的上基层。采用较薄的沥青面层时,特别是在旧路面上加铺面层补强时,要采取必要的措施加强面层与基层之间的粘结,以防止水平力作用而引起沥青面层的剥落、推挤、拥包等破坏。

二、沥青路面的分类

1. 按强度构成原理分类

按强度构成原理可将沥青路面分为密实和嵌挤两大类。密实类沥青路面的集料级配按最大密实原则设计,颗粒尺寸多样,其强度和稳定性主要取决于混合料的粘聚力和内摩阻力。密实类沥青路面按其空隙率的大小可分为开式和闭式两种:闭式混合料中含有较多的小于0.5mm和0.074mm的矿料颗粒,空隙率小于6%,混合料致密而耐久,但热稳定性较差。开式混合料中小于0.5mm的矿料颗粒含量较少,空隙率大于6%,热稳定性好于闭式混合料。

嵌挤类沥青路面采用的是颗粒尺寸较为均一的集料,路面的强度和稳定性主要依靠骨颗粒之间相互嵌挤所产生的内摩阻力,粘聚力较小,只起次要的作用。嵌挤类沥青路面比密实类路面的热稳定性要好,但因空隙率大,易渗水,因而耐久性较差。

2. 按施工工艺分类

按施工工艺,沥青路面可分为层铺法、路拌法和厂拌法。

层铺法即将沥青和集料分层撒铺,并碾压成型路面的施工方法。其主要优点是工艺和设备简便、功效较高、施工进度快、造价较低;缺点是路面成型期较长,需要经过炎热季节行车碾压之后路面方能成型。用这种方法所修筑的沥青路面有沥青表面处治和沥青贯入式两种。

路拌法是指在路上用人工或机械将矿料和沥青材料就地拌和摊铺、碾压密实而成的沥青面层。路拌沥青面层通过就地拌和,沥青材料在矿料中分布比层铺法均匀,可以缩短路面的成型期。但因所用矿料为冷料,需使用粘稠度较低的沥青材料,故混合料的强度较低。

厂拌法是将规定级配的矿料和沥青材料用工厂的专用设备加热拌和,并在一定的时间内运到工地用摊铺机摊铺,然后碾压而成的沥青路面。若混合料是拌和后立即趁热运到路上摊铺,称为热拌热铺;混合料加热拌和后储存一段时间后再在常温下运到路上摊铺压实,则称为热拌冷铺。厂拌法所用集料清洁、级配准确,且为热料拌和,沥青粘稠度高,用量准确,因而混合料质量高、寿命长,但修建费用也较高。若所用矿料为开级配,拌和后混合料空隙率大于10%,混合料被称为厂拌沥青碎石;若矿料是按最佳密实级配原则配制,空隙率小于10%,则称为沥青混凝土。

3. 按沥青路面的技术特性分类

根据沥青路面的技术特性,沥青面层可分为沥青混凝土、热拌沥青碎石、乳化沥青碎石混合料、沥青贯入式、沥青表面处治5种类型。此外,沥青玛蹄脂碎石近年在许多国家也得到广泛应用。

沥青表面处治路面是指用沥青和集料按层铺法或拌和法铺筑而成的厚度不超过3cm的沥青路面。沥青表面处治的厚度一般为1.5~3.0cm。层铺法可分为单层、双层、三层。单层表处厚度为1.0~1.5cm,双层表处厚度为1.5~2.5cm,三层表处厚度为2.5~3.0cm。沥青表面处治适用于三级、四级公路的面层、旧沥青面层上加铺罩面或抗滑层、磨耗层等。

沥青贯入式路面是指用沥青贯入碎(砾)石做面层的路面。沥青贯入式路面的厚度一般为4~8cm。当沥青贯入式的上部加铺拌和的沥青混合料时,也称为上拌下贯,此时拌和层的厚度宜为3~4cm,其总厚度为7~10cm。沥青贯入式碎石路面用做二级及二级以下公路的沥

青面层。

沥青碎石路面是指用沥青碎石做面层的路面,沥青碎石的配合比设计应根据实践经验和马歇尔实验的结果,并通过施工前的试拌和试铺确定。沥青碎石有时也用做联结层。

沥青混凝土路面是指用沥青混凝土作面层的路面,其面层可由单层或双层或三层沥青混合料组成,各层混合料的组成设计应根据其层厚和层位、气温和降雨量等气候条件、交通量和交通组成等因素确定,以满足对沥青面层使用功能的要求。沥青混凝土常用做高等级公路的面层。

乳化沥青碎石混合料适用于做三级、四级公路的沥青面层、二级公路养护罩面以及各级公路的调平层。国外也用做柔性基层。

沥青玛蹄脂碎石路面是指用沥青玛蹄脂碎石混合料做面层或抗滑层的路面。沥青玛蹄脂碎石混合料(简称 SMA)是以间断级配为骨架,用改性沥青、矿粉及木质纤维素组成的沥青玛蹄脂为结合料,经拌和、摊铺、压实而形成的一种构造深度较大的抗滑面层。它具有抗滑耐磨、孔隙率小、抗疲劳、高温抗车辙、低温抗开裂的优点,是一种全面提高密级配沥青混凝土使用质量的新材料,适用于高速公路、一级公路和其他重要公路的表面层。

三、沥青路面类型的选择

采用不同的施工工艺和材料可以修筑成不同类型的沥青路面。因此,必须根据路面的使用要求和施工的具体条件,按照技术经济原则来综合考虑,选定最适当的路面类型。

选择沥青路面的类型,一方面要根据任务要求(道路的等级、交通量、使用年限、修建费用等)和工程特点(施工季节、施工期限、基层状况等),另一方面还应考虑材料供应情况、施工机具、劳力和施工技术条件等因素,见表 3-2-3-1 所列。

路面类型的选择

表 3-2-3-1

公路等级	面 层 类 型	设计年限/年	设计年限内累计标准轴次/(万次/一车道)
高速、一级	沥青混凝土沥青玛蹄脂碎石	15	>400
二级	沥青混凝土	12	<200
	热拌沥青碎石混合料、沥青贯入式	10	100~200
三级	乳化沥青碎石混合料、沥青表面处理	8	10~100
四级	水结碎石、泥结碎石、级配碎(砾)石、半整齐石块路面	5	≤10
	粒料改善土	5	

从施工季节来讲,沥青类路面一般都要求在温暖干燥的气候条件下施工,所用沥青材料在施工时具有较大的流动性,便于路面摊铺和压实成型。热拌热铺类的沥青碎石或沥青混凝土面层,气候对其影响较小,仅要求在晴朗天气和气温不低于 5℃ 时施工。若施工气温较低,则应选用热拌冷铺法施工较为适宜。

沥青类路面一般不宜铺筑在纵坡大于 6% 的路段上。纵坡大于 3% 的路段,考虑抗滑的要求,宜采用粗粒式的沥青碎石或粗粒式的沥青表面处理。

● 第二节 沥青类路面对常用材料的要求 ●

一、沥青材料

沥青路面所用的沥青材料有石油沥青、煤沥青、液体石油沥青和沥青乳液等。各类沥青路面所用沥青材料的标号,应根据路面的类型、施工条件、地区气候条件、施工季节和矿料性质与尺寸等因素而定。煤沥青不宜作沥青面层用,一般仅作为透层沥青使用。选用乳化沥青时,对于酸性石料、潮湿的石料,以及低温季节施工宜选用阳离子乳化沥青;对于碱性石料或与掺入的水泥、石灰、粉煤灰共同使用时,宜选用阴离子乳化沥青。

对于热拌热铺沥青路面,由于沥青材料和矿料均须加热拌和,并在热态下铺压,故可采用稠度较高的沥青材料。而热拌冷铺沥青路面,所用沥青材料的稠度可较低。对浇贯类沥青路面,若采用的沥青材料过稠,难以贯入碎石中,过稀又易流入路面底部。因此,这类路面宜采用中等稠度的沥青材料。当地气候寒冷、施工气温较低、矿料粒径偏细时,宜采用稠度较低的沥青材料。但炎热季节施工时,由于沥青材料的温度散失较慢,则可用稠度较高的沥青材料。对于路拌类沥青路面,一般仅采用稠度较低的沥青材料。适用于各类沥青路面的沥青材料标号见表 3-2-3-2。

各类沥青路面选用的沥青标号
 表 3-2-3-2

气候分区	沥青种类	沥青路面类型			
		沥青表面处治	沥青贯入式及上拌下贯式	沥青碎石	沥青混凝土
寒区	石油沥青	A—140 A—180	A—140 A—180	AH—90 AH—110 AH—130 A—100	AH—90 AH—110 A—100
温区	石油沥青	A—100 A—140 A—180	A—140 A—180	AH—90 AH—110 A—100	AH—70 AH—90 A—60 A—100
热区	石油沥青	A—60 A—100 A—140	A—60 A—100 A—140	AH—50 AH—70 AH—90 A—100 A—60	AH—50 AH—70 A—60 A—100

注 :①寒冷地区 :年度内最低月平均气温低于 - 10 ℃,年内月平衡气温 25 ℃ 的日数少于 215d。
 ②温和地区 :年度内最低月平衡气温 0 ~ 10 ℃,年内月平均气温 25 ℃ 的日数 215 ~ 270d。
 ③较热地区 :年度内最低月平衡气温高于 0 ℃,年内月平均气温 25 ℃ 的日数多于 270d。
 ④A——普通道路石油沥青 ;AH——重交通道路用石油沥青。

二、粗集料

沥青路面所用的粗集料有碎石、筛选砾石、破碎砾石、矿渣等。

碎石系由各种坚硬岩石轧制而成。沥青路面所用的碎石应具有足够的强度和耐磨性能,根据路面的类型和使用条件选定石料的等级。

碎石应是均质、洁净、坚硬、无风化的,并应不含过量小于 0.075mm 的颗粒(小于 2%),吸水率小于 $2\% \sim 3\%$ 。颗粒形状接近立方体并有多棱角,细长或扁平的颗粒(长边与短边或长边与厚度比大于 3)含量应小于 15% ,压碎值应不大于 $20\% \sim 30\%$ 。

碎石与沥青材料的粘附性大小,对沥青混合料的强度和耐久性有极大影响,应优先选用与沥青材料有良好粘附性的碱性碎石。碎石与沥青材料的粘附性用水煮法测定时,一般公路不小于 3 级,高等级公路应不小于 4 级。

筛选砾石由天然砾石筛选而得。由于天然砾石是各种岩石经自然风化而成不同尺寸的粒料,强度极不均匀,而且多是圆滑形状,因此,筛选砾石仅适用于交通量较小的路面面层下层、基层或联结层的沥青混合料中使用,不宜用于防滑面层。在交通量大的沥青路面面层,若使用砾石拌制沥青混合料,则在砾石中至少应掺有 50% (按重量计算)大于 5mm 的碎石或经轧制的砾石。沥青贯入式路面用砾石时,主层矿料中亦应掺有 $30\% \sim 40\%$ 以上的碎石或轧制砾石。

轧制砾石系由天然砾石轧制并经筛选而得,要求大于 5mm 颗粒中 40% (按重量计)以上至少有一个破碎面。用于沥青贯入式面层时,主层矿料中要有 $30\% \sim 40\%$ (按重量计)以上颗粒至少有两个破碎面。

路面抗滑表层粗集料应选用坚硬、耐磨、抗冲击性好的碎石,不得使用筛选砾石、矿渣及软质集料。用于高速公路、一级公路沥青路面表面层及各类抗滑表层的粗集料应符合规定的石料磨光值要求。为了保证石料与沥青之间有较好的粘结性能,经检验属于酸性岩石的石料,用于高速公路、一级公路和城市快速路、主干路时,宜使用针入度较小的沥青,必要时可在沥青中掺加抗剥离剂,或用干燥的磨细消石灰或生石灰粉、水泥作为填料的一部分,其用量宜为矿料总量的 $1\% \sim 2\%$ 。将粗集料用石灰浆处理后使用也可以有效地提高石料与沥青之间的粘结力。

各种沥青路面对石料等级的要求列于表 3-2-3-3。

沥青面层粗集料质量技术要求

表 3-2-3-3

指 标		高速公路、一级公路	其他等级公路
石料压碎值	不大于($\%$)	28	30
洛杉矶磨耗损失	不大于($\%$)	30	40
视密度	不大于($\%$)	2.50	2.45
吸水率	不大于($\%$)	2.0	3.0
对沥青的粘附性	不大于	4 级	3 级
坚固性	不大于($\%$)	12	—
细长扁平颗粒含量	不大于($\%$)	15	20
水洗法小于 0.075mm 颗粒含量	不大于($\%$)	1	1
软石含量	不大于($\%$)	5	5
石料磨光值	不大于(BPN)	42	实测
石料冲击值	不大于($\%$)	28	实测
破碎砾石的破碎面积	不大于($\%$)		
拌和的沥青混合料路面表面层拌和的沥青混合料路面中下面层贯入式路面		90	40
		50	40
		—	40

三、细 集 料

粗细集料通常以 2.36mm 作为分界,沥青面层的细集料可采用天然砂、机制砂及石屑。表 3-2-3-4 是沥青面层用天然砂规格。细集料应洁净、干燥、无风化、无杂质,并有适当的颗粒组成。热拌沥青混合料的细集料宜采用优质的天然砂或机制砂,在缺砂地区也可以用石屑。但由于一般情况下石屑的含泥量高,强度不高,因此用于高速公路、一级公路沥青混凝土面层及抗滑表层的石屑用量不宜超过天然砂及机制砂的用量。细集料应与沥青有良好的粘结能力,与沥青粘结性能很差的天然砂及用花岗岩、石英岩等酸性石料破碎的机制砂或石屑不宜用于高速公路、一级公路沥青面层。必须使用时,应有抗剥落措施。

沥青面层用天然砂规格 表 3-2-3-4

方孔筛(mm)	圆孔筛(mm)	通过各筛孔的重量		
		粗 砂	中 砂	细 砂
9.5	10	100	100	100
4.75	5	90 ~ 100	90 ~ 100	90 ~ 100
2.36	2.5	65 ~ 95	75 ~ 100	85 ~ 100
1.18	1.2	35 ~ 65	50 ~ 90	75 ~ 100
0.6	0.6	15 ~ 29	30 ~ 59	60 ~ 84
0.3	0.3	5 ~ 20	8 ~ 30	15 ~ 45
0.15	0.15	0 ~ 10	0 ~ 10	0 ~ 10
0.075	0.075	0 ~ 5	0 ~ 5	0 ~ 5
细度模数 M_x		3.7 ~ 3.1	3.0 ~ 2.3	2.2 ~ 1.6

四、填 料

沥青混合料的填料宜采用石灰岩或岩浆岩中的强基性岩石等憎水性石料经磨细得到的矿粉,原石料中的泥土杂质应除净。矿粉要求干燥、洁净,其质量应符合表 3-2-3-5 的技术要求。当采用水泥、石灰、粉煤灰作填料时,其用量不宜超过矿料总量的 2%。

沥青面层用矿粉质量技术要求 表 3-2-3-5

指 标	高速公路、一级公路	其他等级公路
视密度 不小于(t/m^3)	2.50	2.45
含水量 不大于(%)	1	1
粒度范围 小于 0.6mm(%)	100	100
小于 0.15mm(%)	90 ~ 100	90 ~ 100
小于 0.075mm(%)	75 ~ 100	70 ~ 100
外观	无团粒结块	
亲水系数	<1	

• 第三节 沥青路面各种施工方法、程序和要点 •

一、沥青表面处治

沥青表面处治是用沥青裹覆矿料、铺筑厚度小于 3cm 的一种薄层路面面层。其主要作用是防水、抗磨损、防滑和改善碎(砾)石路面的使用品质,改善行车条件。在计算路面厚度时,不作为单独受力结构层。沥青表面处治层在施工完毕后,须经过一段时间的行车碾压,特别是高温下的行车碾压,使其矿料取得最稳定的嵌紧位置,并同沥青粘结牢固,这一过程就称为“成型”阶段。因此,沥青表面处治宜选择在干燥和较热的季节施工,并在雨季及日最高温度低于 15℃ 到来以前半个月结束,使表面处治层通过开放交通压实,成型稳定。

沥青表面处治可采用拌和法或层铺法施工,采用层铺法施工时按照洒布沥青及铺撒矿料的层次多少。单层式为洒布一次沥青,铺撒一次矿料,厚度为 1.0 ~ 1.5cm;双层式为洒布二次沥青,铺撒二次矿料,厚度为 2.0 ~ 2.5cm;三层式为洒布三次沥青,铺撒三次矿料,厚度为 2.5 ~ 3.0cm。

沥青表面处治所用的矿料,其最大粒径应与所处治的层次厚度相当。矿料的最大与最小粒径比例应不大于 2,介于两个筛孔之间颗粒的含量应不小于 70% ~ 80%。沥青表面处治材料用量要求如表 3-2-3-6 所示。

当采用乳化沥青时,应减少乳液流失,可在主层集料中掺加 20% 以上较小粒径的集料。沥青表面处治施工后,应在路侧另备碎石或石屑、粗砂或小砾石作为初期养护用料,其中,碎石的规格为 S12(5 ~ 10mm),粗砂或小砾石的规格为 S14(3 ~ 5mm),其用量为 $2 \sim 3 \text{ m}^3 / 1000 \text{ m}^2$ 。城市道路的初期养护料,在施工时应与最后一遍料一起撒布。

沥青表面处治可采用道路石油沥青、煤沥青或乳化沥青铺筑,沥青用量按表 3-2-3-6 选用,沥青标号应按表 3-2-3-2 选用。当采用煤沥青时,应将表 3-2-3-6 中的沥青用量相应增加 15% ~ 20%,沥青标号符合表 3-2-3-2 的要求。当采用乳化沥青时,乳液用量根据表 3-2-3-6 所列的乳液用量并按其中的沥青含量进行折算。乳化沥青的类型及标号应按表 3-2-3-7 选用。

层铺法沥青表面处治施工,一般称所谓“先油后料”法,即先洒布一层沥青,后铺撒一层矿料。以双层式沥青表面处治为例,其施工程序如下:

- (1)备料;
- (2)清理基层及放样;
- (3)浇洒透层沥青;
- (4)洒布第一次沥青;
- (5)铺撒第一层矿料;
- (6)碾压;
- (7)洒布第二次沥青;
- (8)铺撒第二层矿料;
- (9)碾压;
- (10)初期养护。

沥青表面处治面层材料规格用量(方孔筛)

表 3-2-3-6

沥青种类	类型	厚度 (cm)	集料(m ³ /1000m ²)						沥青或乳液用量(kg/m ²)			
			第一层		第二层		第三层		第一次	第二次	第三次	合计用量
			粒径规格	用量	粒径规格	用量	粒径规格	用量				
石油沥青	单层	1.0	S12	7~9					1.0~1.2			1.0~1.2
		1.5	S10	12~14					1.4~1.6			1.4~1.6
	双层	1.0	S12	10~12	S14	5~7			1.2~1.4	0.8~1.0		2.0~2.4
		1.5	S10	12~14	S12	7~8			1.4~1.6	1.0~1.2		2.4~2.8
		2.0	S9	16~18	S12	7~8			1.6~1.8	1.0~1.2		2.6~3.0
		2.5	S8	18~20	S12	7~8			1.8~2.0	1.0~1.2		2.8~3.2
	三层	2.5	S9	18~20	S11	9~11	S14	5~7	1.6~1.8	1.1~1.3	0.8~1.0	3.5~4.1
		2.5	S8	18~20	S10	12~14	S12	7~8	1.6~1.8	1.2~1.4	1.0~1.2	3.8~4.4
		3.0	S6	20~22	S10	12~14	S12	7~8	1.8~2.0	1.2~1.4	1.0~1.2	4.0~4.6
乳化沥青	单层	0.5	S14	7~9					0.9~1.0			0.9~1.0
	双层	1.0	S12	9~11	S14	4~6			1.8~2.0	1.0~1.2		2.8~3.2
	三层	3.0	S6	20~22	S10	9~11	S12 S14	4~6 3.5~4.5	2.0~2.2	1.8~2.0	1.0~1.2	4.8~5.4

- 注 ①煤沥青表面处治的沥青用量可较石油沥青用量增加 5%~20%。
- ②表中乳化沥青的乳液用量适用于乳液中沥青用量约为 60%的情况。
- ③在严寒地区及干旱、风沙大的地区,可超出高限 5%~10%。

道路用乳化石油沥青质量要求

表 3-2-3-7

项 目		种 类	PC—1 PA—1	PC—2 PA—2	PC—3 PA—3	BC—1 BA—1	BC—2 BA—2	BC—3 BA—3
筛上剩余量 不大于(%)			0.3					
电荷			阳离子带正电(+)、阴离子带负电(-)					
破乳速度试验			快裂	慢裂	快裂	中或慢裂		慢裂
粘 度	沥青标准粘度计 C _{25.3} (s)		12 ~ 25	8 ~ 20		12 ~ 100		40 ~ 100
	恩格拉度 E ₂₅		3 ~ 15	1 ~ 6		3 ~ 40		15 ~ 40
蒸发残留物含量 不小于(%)			60	50		55		60

续上表

项目 \ 种类		PC—1	PC—2	PC—3	BC—1	BC—2	BC—3
		PA—1	PA—2	PA—3	BA—1	BA—2	BA—3
蒸发 残留 物性质	针入度(100g 25 ℃)(0.1mm)	80 ~ 200	80 ~ 300	60 ~ 160	60 ~ 200	60 ~ 300	80 ~ 200
	残留延度比(25 ℃) 不小于(%)	80					
	溶解度(三氯乙烯) 不小于(%)	97.5					
贮存稳定性	5d 不大于(%)	5					
	1d 不大于(%)	1					
与矿料的粘附性 裹覆面积 不小于		2/3					
粗粒式集料拌和试验		—			均匀	—	
细料式集料拌和试验		—				均匀	
水泥拌和试验 1.18mm 筛上剩余量 不大于(%)		—				5	
低温贮存稳定度(- 5 ℃)		无粗颗粒或结块					
用 途		表面处 治及贯入 式洒布用	透层油 用	粘层油 用	拌制粗 粒式沥青 混合料	拌制中 粒式及细 粒式沥青 混合料	拌制砂 粒式沥青 混合料及 稀浆封层

注 ①乳液粘度可选沥青标准粘度或恩格拉粘度计测定, $C_{25,3}$ 表示测试温度 25 ℃、粘度计孔径 3mm, E_{25} 表示在 25 ℃ 时测定。

②贮存稳定性一般用 5d 的,如时间紧迫也可用 1d 的稳定性。

③PC、PA、BC、BA 分别表示洒布型阳离子、洒布型阴离子、拌合型阳离子、拌和型阴离子乳化沥青。

④用于稀浆封层的阴离子乳化沥青 BA—3 型的蒸发残留含量可放宽至 55%。

单层式和三层式沥青表面处治的施工程序与双层式相同,仅需相应地减少或增加一次洒布沥青、铺撒矿料和碾压工序。

层铺法施工各工序的要求分述如下:

(1)清理基层:在表面处治施工前,应将路面基层清扫干净,使基层的矿料大部分外露,并保持干燥。对有坑槽、不平整的路段应选修补和整平,若基层整体强度不足,则应先予补强。

(2)洒布沥青 沥青要洒布均匀,不应有空白或积聚现象,以免日后产生松散或拥包和推挤等病害。采用汽车洒布机洒布沥青时,应根据单位面积的沥青用量选定洒布机排档和油泵机档。洒布汽车行驶的速度要均匀。若采用手摇洒布机洒布沥青,应根据施工气温和风向调节喷头离地面的高度和移动的速度,以保证沥青洒布均匀,并应按洒布面积来控制单位沥青用量。沥青的浇洒温度应根据施工气温及沥青标号选择,石油沥青的洒布温度宜为 130 ~ 170 ℃,煤沥青的洒布温度宜为 80 ~ 120 ℃,乳化沥青可在常温下洒布。当气温偏低、破乳及成型过慢时,可将乳液加温后洒布,但乳液温度不得超过 60 ℃。沥青浇洒的长度应与集料撒布机的能力相配合,应避免沥青浇洒后等待较长时间才撒布集料。

(3)铺撒矿料 洒布沥青后应趁热迅速铺撒矿料,按规定用量一次撒足。矿料要铺撒均匀,局部有缺料或过多处,应适当找补或扫除。矿料不应有重叠或漏空现象。当使用乳化沥青时,集料撒布应在乳液破乳之前完成。

(4)碾压 铺撒矿料后随即用 6~8t 双轮压路机或轮胎压路机及时碾压。碾压应从一侧路缘压向路中心。碾压时,每次轮迹重叠约 30cm,碾压 3~4 遍。压路机行驶速度开始为 2km/h,以后可适当提高。

(5)初期养护 碾压结束后即可开放交通,但应禁止车辆快速行驶(不超过 20km/h),要控制车辆行使的路线,使路面全幅宽度获得均匀碾压,加速处治层反油稳定成型。对局部泛油、松散、麻面等现象,应及时修整处理。

二、沥青贯入式路面

沥青贯入式路面具有较高的强度和稳定性,其强度的构成,主要依靠矿料的嵌挤作用和沥青材料的粘结力。沥青贯入式路面适用于二级及二级以下的公路、城市道路的次干道及支路。沥青贯入式层也可作为沥青混凝土路面的联结层。由于沥青贯入式路面是一种多孔隙结构,为了防止水的侵入和增强路面的水稳定性,其面层的最上层必须加铺封层。沥青贯入式路面宜在干燥和较热的季节施工,并宜在雨季及日最高温度低于 15℃ 到来以前半个月结束,使贯入式结构层通过开放交通碾压成型。

沥青贯入式路面是在初步碾压的矿料层上洒布沥青,再分层铺撒嵌缝料、洒布沥青和碾压,并借行车压实而成的。其厚度一般为 4~8cm。乳化沥青贯入式路面的厚度不宜超过 5cm。当贯入式层上部加铺拌和的沥青混合料面层时,路面总厚度为 7~10cm,其中拌和层的厚度宜为 3~4cm。

沥青贯入式路面所用的集料应选择有棱角、嵌挤性好的坚硬石料,其规格和用量要求如表 3-2-3-8 所示。

沥青贯入式面层的施工程序如下:

- (1)整修和清扫基层;
- (2)浇洒透层或粘层沥青;
- (3)铺撒主层矿料;
- (4)第一次碾压;
- (5)洒布第一次沥青;
- (6)铺撒第一次嵌缝料;
- (7)第二次碾压;
- (8)洒布第二次沥青;
- (9)铺撒第二次嵌缝料;
- (10)第三次碾压;
- (11)洒布第三次沥青;
- (12)铺撒封面矿料;
- (13)最后碾压;
- (14)初期养护。

表面加铺拌和层时贯入层部分的材料规格和用量(方孔筛)
(用量单位 集料 $\text{m}^3/1000\text{m}^2$ 沥青及沥青乳液 kg/m^2)

表 3-2-3-8

沥 青 品 种	石 油 沥 青					
贯入层厚度(cm)	4		5		6	
规格和用量	规格	用量	规格	用量	规格	用量
第二遍嵌缝料	S12	5 ~ 6	S12(S11)	7 ~ 9	S12(S11)	7 ~ 9
第二遍沥青		1.4 ~ 1.6		1.6 ~ 1.8		1.6 ~ 1.8
第一遍嵌缝料	S10(S9)	12 ~ 14	S8	16 ~ 18	S8(S7)	16 ~ 18
第一遍沥青		2.0 ~ 2.3		2.6 ~ 2.8		3.2 ~ 3.4
主层石料	S5	45 ~ 50	S4	55 ~ 60	S5	66 ~ 76
总沥青用量	3.4 ~ 3.9		4.2 ~ 4.6		4.8 ~ 5.2	
沥青品种	石 油 沥 青		乳 化 沥 青			
厚度 (cm)	7		4		5	
规格和用量	规格	用量	规格	用量	规格	用量
第四遍嵌缝料					S14	4 ~ 6
第四遍沥青						1.3 ~ 1.5
第三遍嵌缝料			S14	4 ~ 6	S12	8 ~ 10
第三遍沥青				1.4 ~ 1.6		1.4 ~ 1.6
第二遍嵌缝料	S10(S11)	8 ~ 10	S12	9 ~ 10	S9	8 ~ 12
第二遍沥青		1.7 ~ 1.9		1.8 ~ 2.0		1.5 ~ 1.7
第一遍嵌缝料	S6(S8)	18 ~ 20	S8	15 ~ 17	S6	24 ~ 26
第一遍沥青		4.0 ~ 4.2		2.5 ~ 2.7		2.4 ~ 2.6
主层石料	S2(S3)	80 ~ 90	S4	50 ~ 55	S4	50 ~ 55
总沥青用量	5.7 ~ 6.1		5.9 ~ 6.2		6.7 ~ 7.2	

注 ①煤沥青贯入的沥青用量可比石油沥青用量增加 15% ~ 20%。

②表中乳化沥青用量是指乳液的用量,并适用于乳液浓度约为 60% 的情况。

③在严寒地区及干旱风沙大的地区,可超出高限,再增加 5% ~ 10%。

④表面加铺拌和层部分的材料规格及沥青(或乳化沥青)用量按热拌沥青混合料(或常温沥青碎石混合料路面)的有关规定执行。

对沥青贯入式路面施工要求与沥青表面处治基本相同,除注意施工各工序紧密衔接不要脱节之外,还应根据碾压机具、洒布沥青设备和数量来安排每一作业段的长度,力求当天施工的路段当天完成,以免因沥青冷却而不能裹覆矿料和产生尘土污染矿料等不良后果。

适度的碾压在贯入式路面施工中极为重要。碾压不足会影响矿料嵌挤稳定,且易使沥青流失,形成层次上、下部沥青分布不均。但过度的碾压,矿料易于压碎、破坏嵌锁原则,造成空隙减少,沥青难以下渗,形成泛油。因此,应根据矿料的等级、沥青材料的标号、施工气温等因素来确定各次碾压所使用的压路机重量和碾压遍数。

三、路拌沥青碎石路面

路拌沥青碎石路面是在路上用机械将热的或冷的沥青材料与冷的矿料拌和,并摊铺、压实

而成。

路拌沥青碎石路面的施工程序为：

- (1) 清扫基层；
- (2) 铺撒矿料；
- (3) 洒布沥青材料；
- (4) 拌和；
- (5) 整形；
- (6) 碾压；
- (7) 初期养护；
- (8) 封层。

在清扫干净的基层上铺撒矿料，矿料可在整个路面的宽度范围内均匀铺撒，随后用沥青洒布车按沥青材料的用量标准分数次洒布。每次洒布沥青材料后，随即用齿耙机或圆盘耙把矿料与沥青材料初步拌和，然后改用自动平地机做主要的拌和工作。拌和时，平地机行程的次数视施工气温、路面的层厚、矿料粒径的大小和沥青材料的粘稠度而定，一般需往返行程 20 ~ 30 次方可拌和均匀。沥青与矿料翻拌后随即摊铺成规定的路拱横截面，并用路刮板刮平。由于路拌沥青混合料的塑性较高，故在碾压时，应先用轻型压路机碾压 3 ~ 4 遍后，再用重型压路机碾压 3 ~ 6 遍。路面压实后即可开放交通。通车后的一个月内应控制行车路线和车速，以便路面进一步压实成形。

四、热拌沥青混合料路面

热拌沥青混合料适用于各种等级道路的沥青面层。高速公路、一级公路和城市快速路、主干路的沥青面层的上面层、中面层及下面层应用沥青混凝土混合料铺筑，沥青碎石混合料仅适用于过渡层及整平层。其他等级道路的沥青面层的上面层宜采用沥青混凝土混合料铺筑。热拌沥青混合料材料种类应根据具体条件和技术规范合理选用。应满足耐久性、抗车辙、抗裂、抗水损害能力、抗滑性能等多方面要求，同时还需考虑施工机械、工程造价等实际情况。沥青混凝土混合料面层宜采用双层或三层式结构，其中应有一层及一层以上是 I 型密级配沥青混凝土混合料。当各层均采用开级配沥青混合料时，沥青面层下必须做下封层。

厂拌法沥青路面包括沥青混凝土、沥青碎（砾）石等，施工过程可分为沥青混合料的拌制与运输及现场铺筑两个阶段。

1. 沥青混合料的拌制与运输

在工厂拌制混合料所用的固定式拌和设备有间歇式（图 3-2-3-1）和连续式（图 3-2-3-2）两种。前者系在每盘拌和时计量混合料各种材料的重量，而后者则在计量各种材料之后连续不断地送进拌和器中拌和。

为保证沥青混合料的质量更稳定，沥青用量更准确，高速公路和一级公路的沥青混凝土宜采用间歇式拌和机拌和。

用固定式拌和机拌制沥青混合料的工艺流程如图 3-2-3-3 所示。

在拌制沥青混合料之前，应根据确定的配合比进行试拌。试拌时对所用的各种矿料及沥青应严格计量。通过试拌和抽样检验确定每盘热拌的配合比及其总重量（对间歇式拌和机）、

或各种矿料进料口开启的大小及沥青和矿料进料的速度(对连续式拌和机)、适宜的沥青用量、拌和时间、矿料和沥青加热温度以及沥青混合料出厂的温度。对试拌的沥青混合料进行试验之后,即可选定施工的配合比。

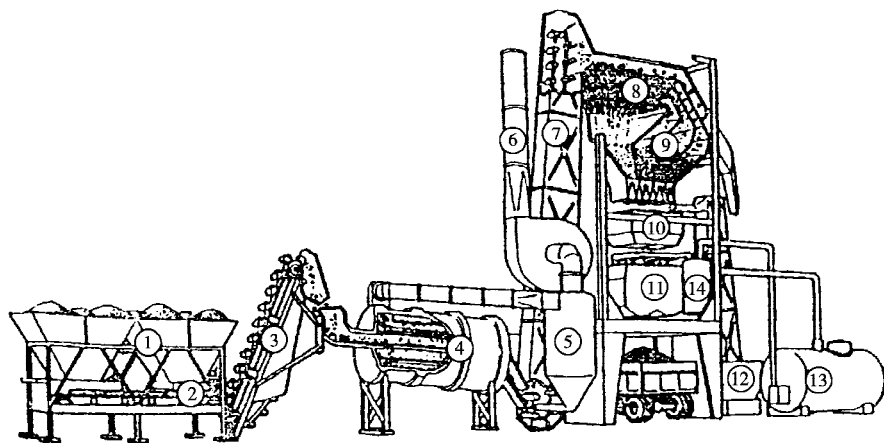


图 3-2-3-1 间歇式拌和机

为使沥青混合料拌和均匀,在拌和时需要控制矿料和沥青的加热温度与拌和温度。经过拌和后的混合料应均匀一致,无细料和粗料分离及花白、结成团块的现象。

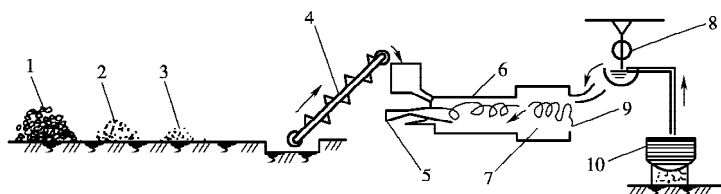


图 3-2-3-2 连续式拌和机

1-粗粒矿料 2-细粒矿料 3-砂 4-冷料提升机 5-燃料喷雾器 6-干燥器 7-拌和器 8-沥青秤 9-活门 10-沥青罐

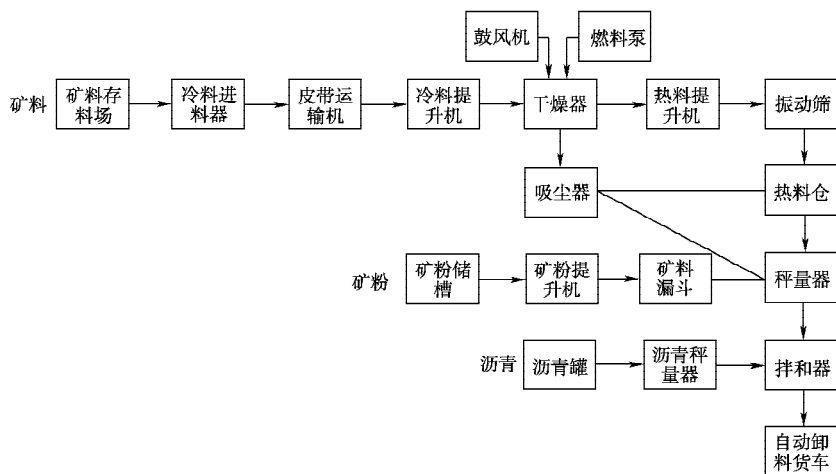


图 3-2-3-3 拌制沥青混合料的工艺流程

厂拌沥青混合料通常用自动倾卸汽车运往铺筑现场,必须根据运送的距离和道路交通状况来组织运输。混合料运输所需的车辆数可按下式计算:

$$\text{需要车辆数} = 1 + \frac{t_1 + t_2 + t_3}{T} + \alpha$$

式中: T ——一车沥青混合料所需的拌和与装车时间, min;

t_1 ——运到铺筑现场所需的时间, min;

t_2 ——由铺筑现场返回拌和厂所需的时间, min;

t_3 ——在现场卸料和其他等待时间, min;

α ——备用的车辆数(运输车辆发生故障及其他用途时使用)。

2. 铺筑

热拌法沥青混合料路面的铺筑工序如下:

1) 基层准备和放样

面层铺筑前,应对基层或旧路面的厚度、密实度、平整度、路拱等进行检查。基层或旧路面若有坎坷不平、松散、坑槽等,必须在面层铺筑之前整修完毕,并应清扫干净。为使面层与基层粘结好,在面层铺筑前 4~8h,在粒料类的基层洒布透层沥青。透层沥青用油 AL(M)-1、2 或油 AL(S)-1、2 标号的液体石油沥青,或用 T-1 标号的煤沥青。透层沥青的洒布量:液体石油沥青为 $0.8 \sim 1.0 \text{ kg/m}^2$,煤沥青为 $1.0 \sim 1.2 \text{ kg/m}^2$ 。若基层为旧沥青路面或水泥混凝土路面,则在面层铺筑之前,在旧路面上洒布一层粘层沥青。粘层沥青用油 AL(M)-3、4、5 标号的液体石油沥青,或用 T-4、5 标号的软煤沥青。粘层沥青的洒布量:液体石油沥青为 $0.4 \sim 0.6 \text{ kg/m}^2$,煤沥青为 $0.5 \sim 0.8 \text{ kg/m}^2$ 。即在灰土基层上洒布 $0.7 \sim 0.9 \text{ kg/m}^2$ 的液体石油沥青或 $0.8 \sim 1.0 \text{ kg/m}^2$ 的煤沥青后,随即撒铺 3~8mm 颗粒的石屑,用量为 $5 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^2$,并用轻型压路机压实。

2) 摊铺

沥青混合料可用人工或机械摊铺。高等级公路沥青路面应采用机械摊铺。

(1) 人工摊铺

将汽车运来的沥青混合料先卸在铁板上,随即用人工铲运,以扣铲方式均匀摊铺在路上。摊铺时不得扬铲远甩,以免造成粗细粒料分离,一边摊铺一边用刮板刮平。刮平时做到轻重一致,往返刮 2~3 次达到平整即可,防止反复多刮使粗粒料刮出表面。摊铺过程中要随时检查摊铺厚度、平整度和路拱,如发现有不妥之处应及时修整。

沥青混合料摊铺厚度为沥青路面设计厚度乘以压实系数。压实系数随混合料的种类和施工方法而异,用工人摊铺时,沥青混凝土混合料为 1.25~1.50,沥青碎石为 1.20~1.45。

沥青混合料的摊铺顺序,应从进料方向由远而近逐步后退进行。应尽可能在全幅路面上摊铺,以避免产生纵向接缝。如路面较宽不能全幅摊铺,可按车道宽度分成两幅或数幅分别摊铺,但接缝必须平行路中心线,纵缝塔接要密切,以免产生凹槽。操作过程应满足施工规范的要求。

沥青混合料的摊铺温度应符合表 3-2-3-9 的规定。

热拌沥青混合料的施工温度()

表 3-2-3-9

沥青种类		石油沥青			煤沥青	
沥青标号		AH—50 AH—70 AH—90 A—60	AH—110 A—100 A—180	AH—130 A—140 A—200	T—8 T—9	T—5 T—6 T—7
沥青加热温度()		150 ~ 170	140 ~ 160	130 ~ 150	100 ~ 130	80 ~ 120
矿料温度()	间歇式拌和机	比沥青加热温度高 0 ~ 20(填料不加热)			比沥青加热温度高 15 (填料不加热)	
	连续式拌和机	比沥青加热温度高 5 ~ 10(填料不加热)			比沥青加热温度高 8 (填料不加热)	
沥青混合料出厂 正常温度()		140 ~ 165	125 ~ 160	120 ~ 150	90 ~ 120	80 ~ 110
混合料贮料仓 贮存温度()		贮料过程中温度降低不超过 10			贮料过程中温度 降低不超过 10	
运输到现场温度()		不低于 120 ~ 150			不低于 90	
摊铺 温度()	正常施工	不低于 110 ~ 130 且不超过 165			不低于 80 不超过 120	
	低温施工	不低于 120 ~ 140 且不超过 175			不低于 100 不超过 140	
碾压 温度()	正常施工	110 ~ 140 且不低于 110			80 ~ 110 不低于 75	
	低温施工	120 ~ 150 且不低于 110			90 ~ 120 不低于 85	
碾压 终了 温度()	钢轮压路机	不低于 70			不低于 50	
	轮胎压路机	不低于 80			不低于 60	
	振动压路机	不低于 65			不低于 50	
开放交通温度		路面冷却后			路面冷却后	

注:①施工温度与沥青品种及标号有关,较稠沥青的施工温度宜靠近高限,较稀沥青的施工温度可靠近低限。

②本表不适用于改性沥青混合料施工。

③对高速公路、一级公路和城市快速路、主干路,沥青混合料出厂温度超过正常温度高限 30 时,混合料应予废弃。

(2)机械摊铺

沥青混合料摊铺机有履带式和轮胎式两种。二者的构造和技术性能大致相同。沥青摊铺机的主要组成部分为料斗、链式传送器、螺旋摊铺器、振捣板、摊平板、行驶部分和发动机等(图 3-2-3-4)。

沥青混合料摊铺机摊铺的过程中,自动倾卸汽车将沥青混合料卸到摊铺机料斗后,经链式传送器将混合料往后传到螺旋摊铺器,随着摊铺机向前行驶,螺旋摊铺器即在摊铺带宽度上均匀地摊铺混合料,随后由振捣板捣实,并由摊平板整平。摊铺机的摊铺工艺过程如图 3-2-3-5 所示。

3)碾压

沥青混合料摊铺平整之后,应趁热及时进行碾压。碾压的温度应符合表 3-2-3-9 的规定。压实后的沥青混合料应符合压实度及平整度的要求,沥青混合料的分层压实厚度不得大于 10cm。

沥青混合料碾压过程分为初压、复压和终压 3 个阶段。初压用 6 ~ 8t 双轮压路机以 1.5 ~

2.0km/h 的速度先碾压 2 遍,使混合料得以初步稳定。随即用 10 ~ 12t 三轮压路机或轮胎式压路机复压 4 ~ 6 遍。碾压速度:三轮压路机为 3km/h,轮胎式压路机为 5km/h。复压阶段碾压至稳定无显著轮迹为止。复压是碾压过程最重要的阶段,混合料能否达到规定的密实度,关键全在于这阶段的碾压。终压是在复压之后用 6 ~ 8t 双轮压路机以 3km/h 的碾压速度碾压 2 ~ 4 遍,以消除碾压过程中产生的轮迹,并确保路面表面的平整。

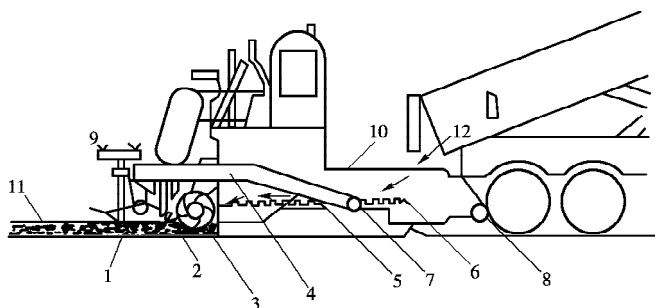


图 3-2-3-4 沥青混合料摊铺机

1-摊平机 2-振捣板 3-螺旋摊铺器 4-水平臂 5-链式传送器 6-履带 7-枢轴 8-顶推辊 9-厚度控制器 10-料斗 11-摊铺面 12-自卸汽车

碾压时压路机行进的方向应平行于路中心线,并由一侧路边缘压向路中。用三轮压路机碾压时,每次应重叠后轮宽的 1/2;双轮压路机则每次重叠 30cm;轮胎式压路机亦应重叠碾压。由于轮胎式压路机能调整轮胎的内压,可以得到所需的接触地面压力,使骨料相互嵌挤咬合,易于获得均一密实度,而且密实度可以提高 2% ~ 3%。所以轮胎式压路机最适宜用于复压阶段的碾压。

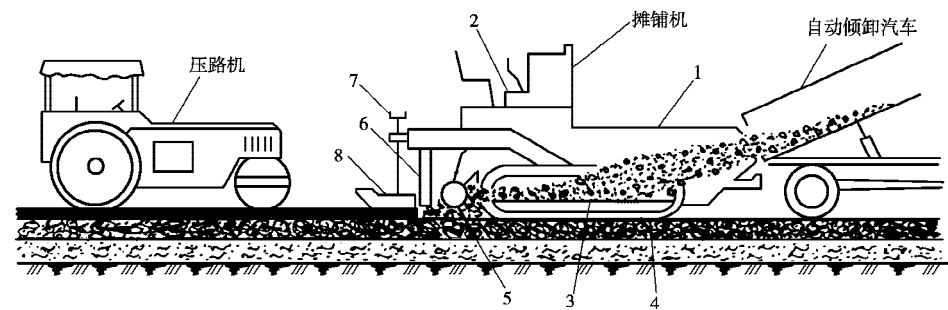


图 3-2-3-5 沥青混合料摊铺机操作示意图

1-料斗 2-驾驶台 3-送料器 4-履带 5-螺旋摊铺器 6-振捣器 7-厚度调节螺杆 8-摊平板

热拌沥青混合料的压实机械应符合下列规定:

- (1) 双轮钢筒式压路机为 6 ~ 8t;
- (2) 三轮钢筒式压路机为 8 ~ 12t 或 12 ~ 15t;
- (3) 轮胎压路机为 12 ~ 20t 或 20 ~ 25t。

4) 接缝施工

沥青路面的各种施工缝(包括纵缝、横缝、新旧路面的接缝等)处,往往由于压实不足,容易产生台阶、裂缝、松散等病害,影响路面的平整度和耐久性,施工时必须十分注意。

(1) 纵缝施工

对当日先后修筑的两个车道,摊铺宽度应与已铺车道重叠 3~5cm,所摊铺的混合料应高出相邻已压实的路面,以便压实到相同的厚度。对于不在一天铺筑的相邻车道,或与旧沥青路面连接的纵缝,在摊铺新料之前,应对原路面边缘加以修理,要求边缘凿齐,塌落松动部分应刨除,露出坚硬的边缘。缝边应保持垂直,并需在涂刷一薄层粘层沥青之后方可摊铺新料。

纵缝应在摊铺之后立即碾压,压路机应大部分在已铺好的路面上,仅有 10~15cm 的宽度压在新铺的车道上,然后逐渐移动跨过纵缝。

(2) 横缝施工

横缝应与路中线垂直。接缝时先沿已刨齐的缝边用热沥青混合料覆盖,以便预热,覆盖厚度约 15cm。在接缝处沥青混合料变软之后,将所覆盖的混合料清除,换用新的热混合料摊铺。随即用热夯沿接缝边缘夯捣,并将接缝的热料铲平,然后趁热用压路机沿接缝边缘碾压密实。

双层式沥青路面上下层的接缝应相互错开 20~30cm,做成台阶式衔接。

第四节 沥青类路面施工质量控制及检查验收

沥青路面的施工质量必须达到设计和规范的要求。施工过程中应进行全面质量管理,建立健全行之有效的质量保证体系。实行严格的目标管理、工序管理及岗位质量责任制度,对各施工阶段的工程质量进行检查、控制、评定,从制度上确保沥青路面的施工质量。沥青路面施工质量控制的内容包括各类材料的质量检验、铺筑试验路、施工过程的质量控制及工序间的检查验收。

1. 材料质量检验

沥青路面施工前应按规定对原材料的质量进行检验。在施工过程中逐班抽样检查时,对于沥青材料可根据实际情况只做针入度、软点、延度的试验,检测粗集料的抗压强度、磨耗率、磨光值、压碎值、级配等指标和细集料的级配组成、含水量、含土量等指标。对于矿粉,应检验其相对密度和含水量并进行筛分。材料的质量以同一料源、同一次购入并运至生产现场为一批进行检验。材料质量检查的内容和标准应符合上述有关的技术要求。

2. 施工过程中的质量管理与控制

在沥青路面施工过程中,施工单位应随时对施工质量进行抽检,工序间实行交接验收,前一工序质量符合要求方可进入下一工序的施工。施工过程中工程质量检查的内容、频度及质量标准应符合表 3-2-3-10 及表 3-2-3-11 的要求。

3. 竣工验收阶段的工程质量检查

沥青路面施工完毕,施工单位应将全线以 1~3km 为一个评定单位,以表 3-2-3-12 中规定的检查内容、频度及标准选点进行检测。根据检测得到的数据,计算平均值、标准差及偏差系数,向主管部门提供全线检测结果及施工报告,申请交工验收。施工质量监督单位在检查工程质量时,应随机抽取检查段,总长度不少于施工里程的 30%,且不少于 3 个检查段。路面弯沉测定应在基层的设计龄期或第二年的不利季节进行。

竣工检查的检验数据应真实、准确,能客观地反映沥青路面的施工质量,为准确评价路面施工质量提供可靠的依据。

4. 施工总结

根据现行规范规定,路面工程完工之后,施工单位应及时写出施工经验总结,以便提高工程施工质量。

5. 沥青路面压实度和强度的检测

沥青路面施工过程中工程质量控制标准

表 3-2-3-10

路面类型	项 目		检 查 频 率	质量要求或允许偏差		试 验 方 法
				高速公路及一级公路	其他等级公路	
沥青表面处治及贯入式	外 观			符合本章第三节“二”的规定		目 测
	集料撒布量		不少于 1~2 次/d			按相应施工长度的实际用量计算
	沥青洒布量		不少于 1~2 次/d			按相应施工长度的实际用量计算
	沥青洒布温度		每车 1 次			温度计测量
热拌沥青混合料路面	外观		随时	表面平整密实,不得有轮迹、裂缝、拥挤、油丁、油包、离析及花白料等		目 测
	接缝		随时	紧密、平整、顺直、无跳车		目测,用 3m 直尺测
	施工温度	出厂温度	不少于 1 次/车	符合沥青路面施工规范中的规定		温度计测量
		摊铺温度	不少于 1 次/车			
		碾压温度	随时			
	矿料级配与标准级配的差(方孔筛) ≤0.075mm ≤2.36mm ≥4.75mm		每台拌和机 1 次 或 2 次/d	±2% ±6% ±7%	±2% ±7% ±8%	拌和厂取样,用抽提后的矿料筛分,应检查 0.075mm、2.36mm、4.75mm、最大粒径、中间粒径等 5 个筛孔,中间粒径;细、中粒式 9.6mm,粗粒式 13.2mm
	沥青用量(油石比)		每台拌和机 1 次 或 2 次/d	±0.3%	±0.5%	拌和厂取样,离心法抽提
	马歇尔试验:稳定度、流值、密度、空隙率		每台拌和 1 次 或 2 次/d	符合规范的规定		拌和厂取样成型试验
	浸水马歇尔试验		必要时	符合规范的规定		拌和厂取样成型试验
	压实度		每 2000m 检查 1 次,1 次不少于 1 个钻孔	马歇尔试验密度的 96%,试验段钻孔密度的 99%	马歇尔试验密度的 96%,试验段钻孔密度的 99%	现场钻孔或挖坑
	抗滑表层构造深度		不少于 1 次/d	符合设计要求		砂铺法

施工过程中沥青路面外形尺寸的质量控制标准

表 3-2-3-11

路面类型	检查项目	检查频度	质量要求或允许偏差		试验方法
			高速路和一级路	其他等级公路	
沥青表面处治	厚度	不少于 2000m ² 1 点		- 5mm	挖坑
	平整度	随时		10mm	用 3m 直尺检测
	宽度	设计断面逐个检查		± 30mm	用直尺
	横坡度	设计断面逐个检查		± 0.5%	横断面仪或水准仪
沥青贯入式路面	厚度	不少于 2000m ² 1 点		- 8% 或 - 5mm	挖坑
	平整度	随时		8mm	用 3m 直尺检测
	宽度	设计断面逐个检查		± 30mm	用直尺
	横坡度	设计断面逐个检查		± 0.5%	横断面仪或水准仪
热拌沥青混凝土路面	厚度： 总厚度 上面层	不少于 2000m ² 1 点 不少于 2000m ² 1 点	- 8mm - 4mm	- 8% 或 - 5mm - 4mm	铺筑时随时插入量取，每日用混合料数量及实铺面积校核，成型后钻孔或挖坑检验
	平整度： 上面层 中下面层	随时 随时	3mm 5mm	5mm 7mm	3m 直尺在纵横各方向检测
	宽度： 有侧石 无侧石 纵断面高程 横坡度	设计断面逐个检查 设计断面逐个检查 设计断面逐个检查 设计断面逐个检查	± 2cm 不小于设计宽度 ± 15mm ± 0.3%	± 2cm 不小于设计宽度 ± 20mm ± 0.5%	用尺量 用尺量 用水准仪检测 用横断面仪或水准仪检测

热拌沥青混凝土路面竣工检查与验收质量标准

表 3-2-3-12

检查项目		检查频度 (每一幅车行道)	质量要求或允许偏差		试验方法
			高速公路及一级公路	其他等级公路	
面层总厚度	代表值	每 1km ⁵ 点	- 8mm	- 5mm 或 - 8%	钻孔
	极限值	每 1km ⁵ 点	- 15mm	- 10mm 或 - 15%	钻孔
上面层厚度	代表值	每 1km ⁵ 点	- 4mm 或 - 10%		钻孔
	极限值	每 1km ⁵ 点	- 10%		钻孔
平整度	(标准差)	全线连续	1.8mm	2.5mm	3m 尺平整度仪
	(最大间隙)	每 1km ¹⁰ 处，各连续 10 尺		5mm	3m 直尺
宽度	有侧石	每 1km ²⁰ 个断面	2cm	± 3mm	用尺量
	无侧石	每 1km ²⁰ 个断面		不小于设计宽度	用尺量
纵断面高程		每 1km ²⁰ 个断面	± 15mm	± 20mm	水准仪

续上表

检 查 项 目	检查频度 (每一幅车行道)	质量要求或允许偏差		试 验 方 法
		高速公路及一级公路	其他等级公路	
横坡度	每 1km20 个断面	$\pm 0.3\%$	$\pm 0.5\%$	水准仪
沥青用量	每 1km1 点	$\pm 0.3\%$	$\pm 0.5\%$	钻孔后抽提
矿料级配	每 1km1 点	符合设计级配	符合设计级配	钻孔后抽提筛分
压实度(代表值)	每 1km5 点	95%(98%)	94%(98%)	钻孔取样法
弯沉值	全线每 20m5 点	符合设计要求	符合设计要求	贝克曼梁
	全线每 5m1 点	符合设计要求	符合设计要求	自动弯沉仪
构造深度	每 1km5 点	符合设计要求	符合设计要求	砂铺法
摩擦系数摆值	每 1km5 点	符合设计要求	符合设计要求	摆式仪
横向力系数 μ	全线连续	符合设计要求	符合设计要求	横向摩擦系数测定车

• 第五节 沥青类路面常见的病害及防治 •

一、沥青路面的破坏

路面的破坏大体上可分为两类：一类是结构性破坏，它是路面结构的整体或其某一个或几个组成部分的破坏，严重时已不能承受车辆的荷载；另一类是功能性破坏，如由于路面的不平整，使其不再具有预期的功能。这两类破坏不一定同时发生，但都是逐渐积累起来的。对于功能性破坏，可以通过修整、养护来恢复路面的平整性，以满足行车使用要求。但对结构性破坏，一般均需进行彻底的翻修。

如果沥青路面所用的矿料质软或粒径规格不符合要求，就会由于强度不足和劈裂作用使矿料压碎，导致路面破坏。夏季高温时，沥青材料粘滞度降低，在荷载作用下，就可能使路面表面造成泛油，沥青材料与矿料也可能一起被挤动而引起面层车辙、推挤、波浪等变形破坏。在冬季低温下，沥青材料会由于收缩作用而产生脆裂破坏。在水分和温度作用下，沥青材料与矿料间的粘结力降低，沥青面层就会出现松散、剥落等破坏。

二、沥青路面的病害与防治

沥青路面各种病害的成因比较复杂，由于环境、地点、气候条件的不同，病害的情况不一。现将沥青路面的几种主要病害与防治方法介绍如下：

1. 泛油

泛油大多是由于混合料中沥青用量偏多，沥青稠度太低等原因引起的，但有时也可能由于低温季节施工，表面嵌缝料散失过多，待气温变暖之后，在行车作用下矿料下挤，沥青上泛，表面形成油层而引起泛油。沥青表面处治和沥青贯入式路面最容易产生此类病害。可以根据泛油的轻重程序，采取铺撒较粗粒径的矿料予以处治。

2. 波浪

它是指路面上形成有规则的低洼和凸起变形。波浪的产生，主要是由于沥青洒布不均形

成油垄,沥青多处矿料厚、沥青少处矿料薄,再经过行车不断撞击而造成高低不平。交叉口、停车场、陡坡路段行车水平力作用较大的地方,最易产生波浪变形。波浪变形处治较为困难,轻微的波浪可在热季采用强行压平的方法处治,严重的波浪则需用热拌沥青混合料填平。

3. 拥包

在行车水平力作用下,沥青面层材料的抗剪强度不足则易产生推挤拥包。这类病害大都是由于所用的沥青稠度偏低,用量偏多,或因混合料中矿料级配不好,细料偏多所造成的。此外,面层较薄,以及面层与基层的粘结较差,也容易产生推挤、拥包。这种病害一般只能采取铲平的办法来处治。

4. 滑溜

沥青路面滑溜主要是由于行车作用造成的,矿料磨光,沥青面层中多余的沥青在行车荷载重复作用下泛油,也易形成表面滑溜。这类病害通常多采用加铺防滑封面来处治。

5. 裂缝

沥青路面裂缝的形式有纵向裂缝、横向裂缝、龟裂与网裂几种。

沥青路面沿路线纵向产生开裂的原因,一种是因填土未压实,路基产生不均匀沉陷或冻胀作用所造成;另一种是沥青混合料摊铺时间过长,或接缝处理不当,接缝处压实未达到要求,在行车作用下形成纵向裂缝。

冬季气温下降,沥青路面或基层收缩而形成的裂缝,一般为与道路中线垂直的横缝。土基干缩或浆缩产生的裂缝,亦以横缝居多。

路面整体强度不足,沥青面层老化,往往形成闭合图形的龟裂、网裂。

对较小的纵缝和横缝,一般用灌入热沥青材料加以封闭处理。对较大的裂缝,则用填塞沥青石屑混合料的方法处理。对于大面积的龟裂、网裂,通常采用加铺封层或沥青表面处治。网裂、龟裂严重的路段,则应进行补强或彻底翻修。

6. 坑槽

沥青路面坑槽是面层的网裂、龟裂未及时养护而逐渐形成的。基层局部强度不足,在行车作用下也易产生坑槽。坑槽处治的方法是将坑槽范围挖成矩形,槽壁应垂直,在四周涂刷热沥青后,从基层到面层用与原结构相同的材料填补,并予夯实。

7. 松散

松散大多发生在沥青路面使用的初期。松散的原因是采用的沥青稠度偏低、粘结力差、用量偏少,或所用的矿料过湿、铺撒不匀,或所有嵌缝料不合规格而未能被沥青粘牢。基层湿软,则应清除松散的沥青面层后,重新压实,待基层干燥后再铺面层。

8. 啃边

在行车作用和自然因素影响下,沥青路面边缘不断缺损,参差不齐,路面宽度减小,这种现象称为啃边。产生的原因是路面边窄,行车压到路面边缘而造成缺损。边缘强度不足,路肩太高或太低,雨水冲刷路面边缘都会造成啃边。对啃边病害的处治方法是设置路缘石、加宽路面、加固路肩。有条件时设法加宽路面基层到面层宽度外 20~30cm。

三、旧沥青路面再生利用

为了节约能源、减少环境污染、少占堆放废旧料用地和降低路面造价,近年来,许多国家都

非常重视旧沥青路面的再生利用。旧沥青路面再生利用就是将旧沥青路面材料经过回收、破碎、加热、掺配新料和再生剂、拌和等处理后,恢复原有沥青路面材料的性能,然后在路面中再次使用。旧沥青路面再生利用方法,按再生材料制备场所的不同分为厂拌法和路拌法两种,按再生材料的用途可分为铺筑面层或底层,按再生材料加热情况又分为冷拌和热拌两类。

旧沥青路面再生利用的方法如图 3-2-3-6 所示。

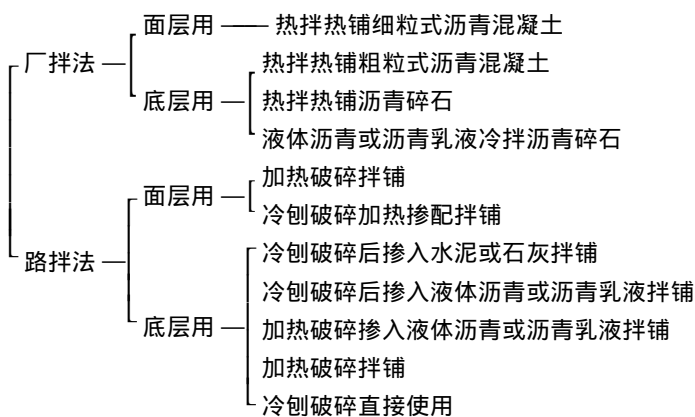


图 3-2-3-6 旧沥青路面再生方法

本章小结

(1)路面是道路的重要组成部分,它直接承受荷载和自然因素的作用。为了保证道路全天候通畅,使车辆安全、迅速、舒适地运行,必须对路面提出强度、稳定性、耐久性、平整性、抗滑性等质量方面的要求。

(2)路面设计是施工的依据,通过施工过程来完成设计的目的,并在施工中发现设计的不足,及时反馈到设计人员。在施工中,应按正确的工艺、方法,科学地组织施工,确保工程质量与进度。

思考题与习题

1. 沥青路面的基本特性和分类是什么?
2. 如何选择沥青路面的类型?
3. 沥青路面对常用材料的要求是什么?
4. 各种沥青路面的施工程序是什么?
5. 对于沥青路面的各种施工缝,在施工时要注意哪些方面?
6. 沥青路面施工过程中工程质量控制标准是什么?

第四章

水泥混凝土路面施工

教学要求

- 1. 描述水泥混凝土路面所用材料及要求；
- 2. 描述水泥混凝土路面常用的施工方法及施工要点，叙述水泥混凝土路面质量检查评定方法及内容；
- 3. 分析水泥混凝土路面各种常见病害并进行病害处治。

第一节 水泥混凝土路面所用材料要求

水泥混凝土的基本组成材料有水泥、水、粗集料、细集料、外加剂和矿物掺和料等 6 种。水泥混凝土质量的好坏，除了配合比和搅拌质量外，与原材料的质量和技术指标有很大关系，因此施工前和施工中，严格科学地选择或生产高质量的原材料，是铺筑优质水泥混凝土路面的前提。

一、水 泥

水泥是混凝土的胶结材料，水泥的好坏直接影响混凝土路面抗折强度、疲劳强度、体积稳定性和耐久性等关键物理力学性质。并非任何水泥都可用于铺筑水泥混凝土路面，选用水泥时，要根据不同的路面等级和交通量要求，选择不同的水泥。一般情况下，特重和重交通路面应选择抗折强度高、收缩小、耐磨性、强抗冻性好的旋窑道路硅酸盐水泥，也可采用旋窑硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；中、轻交通路面可采用矿渣硅酸盐水泥，此外，从低温施工的蓄热和早强出发，低温天气施工或有快通要求的路段可采用 R 型水泥。一般情况下，为防止温度裂缝，应选用普通水泥。各级交通路面在选用水泥时，无论强度等级高低，均应以其实测抗折强度为标准来选择和使用。水泥实测抗折强度越高，对保障混凝土路面抗折强度越有利。具体选用时，水泥的抗压强度和抗折强度不得低于表 3-2-4-1 规定。

各交通等级路面水泥各龄期的抗折强度、抗压强度 表 3-2-4-1

交 通 等 级	特 重 交 通		重 交 通		中、轻交通	
龄期(d)	3	28	3	28	3	28
抗压强度(MPa) 不小于	25.5	57.5	22.0	52.5	16.0	42.5
抗折强度(MPa) 不小于	4.5	7.5	4.0	7.0	3.5	6.5

水泥的组成矿物主要有硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙和铁铝酸钙以及其他成分，不同的

水泥所含这些化学成分的含量各不相同,并且其物理性能也不同。在选择水泥时,还应根据公路等级的不同,选择化学成分含量、物理性能不同的水泥,若选择不当就会造成严重后果。如承受动载结构的水泥与静载结构水泥相比,其高耐疲劳极限对水泥中游离氧化钙含量要求很严格。例如在某路加铺水泥混凝土改建工程中,使用游离氧化钙含量高达9.7%的42.5级普通硅酸盐矿渣水泥,游离氧化钙含量高出规范9倍多,结果仅通车半年,就全线崩溃。因此在选择水泥时,必须符合表3-2-4-2要求。

各交通等级路面用水泥的化学成分和物理指标 表 3-2-4-2

水泥性能	特重、重交路面	中、轻交通路面
铝酸三钙	不宜大于7.0%	不宜大于9.0%
铁铝酸四钙	不宜小于15.0%	不宜小于12%
游离氧化钙	不得大于1.0%	不得大于1.5%
氧化镁	不得大于5.0%	不得大于6.0%
三氧化硫	不得大于3.5%	不得大于4.0%
碱含量	$\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ 不大于0.6%	怀疑有碱性集料时,不大于0.6%;无碱性集料时,不大于1.0%
混合材种类	不得掺窑灰、煤矸石、火山灰和粘土;有抗冻要求时,不得掺石灰、石粉	不得掺窑灰、煤矸石、山灰和火粘土;有抗冻要求时,不得掺石灰、石粉
初磨时安定性	雷氏夹或蒸煮法必须合格	蒸煮法检验必须合格
标准稠度需水量	不宜大于28%	不宜大于30%
烧失量	不得大于3.0%	不得大于5.0%
比表面积	宜在300~450m ² /kg	宜在300~450m ² /kg
水泥性能	特重、重交路面	中、轻交通路面
细度(80μm)	筛余量不得大于10%	筛余量不得大于10%
初凝时间	不早于1.5h	不早于1.5h
终凝时间	不迟于10h	不迟于10h
28d干缩率	不得大于0.09%	不得大于0.1%
耐磨性	不得大于3.6kg/m ²	不得大于3.6kg/m ²

注 28d干缩率和耐磨性试验方法采用《道路硅酸盐水泥》(GB 13693)标准。

在选择水泥时,除满足上述要求外,还应通过配合比试验,根据其弯拉强度耐久性和工作性,选择适宜的水泥品种和强度等级,并且水泥一旦选定,不得随意更改。不同品种、牌号、生产厂家、强度等级的水泥,严禁混装和掺和。

采用机械化施工时,应优先选用散装水泥,散装水泥供应不上时,可选用吨包装袋装和大袋水泥。工程规模小时,采用小型机具施工,可用袋装水泥。为降低水化反应速度防止温差开裂,散装水泥的夏季出厂温度,南方不宜高于65℃,北方不宜高于55℃。拌和时水泥温度,南方不高于60℃,北方不高于50℃。同时为保证水泥尽快达到抗冻临界强度和便于抗滑构造制作和养生等工序的进行,水泥的温度不宜低于10℃。

二、粉煤灰和其他掺和料

水泥混凝土中使用的掺和料主要有粉煤灰、硅灰和磨细矿渣。

1. 粉煤灰

粉煤灰是煤粉燃烧后收集到的灰粒,其主要成分是活性氧化硅和氧化铝。研究表明,粉煤灰渗入混凝土后,不仅可节约水泥,而且能与水泥长短互补,充当混凝土的减水剂、释水剂、增塑剂等一系列复合功能,具有明显的技术经济效益。

公路混凝土工程中,根据不同使用条件,可掺用 CaO 含量小于 8%,游离氧化钙含量小于等于 1%,以氧化钙和氧化铅为主要成分的低钙粉煤灰或与其他掺和料和外加剂复合成的复合粉煤灰矿粉,不能使用高钙粉煤灰。

配制混凝土时,粉煤灰分为三级,具体见表 3-2-4-3。混凝土路面掺用粉煤灰应选用电收尘 I、II 级干排或磨细低钙粉煤灰。不得使用 III 级粉煤灰。贫混凝土基层、碾压混凝土基层或复合式路面下面层掺用粉煤灰必须采用 III 级或 III 级以上粉煤灰。粉煤灰宜采用散装灰,进货时应有等级检验报告,使用时应确切了解所用水泥中已经加入的掺和料种类和数量。

粉煤灰分级和质量指标

表 3-2-4-3

粉煤灰等级	细度 ^① (45 μm 气流筛,筛余量)(%)	烧失量(%)	需水量(%)	含水量(%)	CL(%)	SO_3 (%)	混合砂浆活性指数 ^②	
							7d	28d
I	≤ 12	≤ 5	≤ 95	≤ 1.0	< 0.02	≤ 3	≥ 75	$\geq 85(75)$
II	≤ 20	≤ 8	≤ 105	≤ 1.0	< 0.02	≤ 3	≥ 70	$\geq 80(62)$
III	≤ 45	≤ 15	≤ 115	≤ 1.5	—	≤ 3	—	—

注 ①45 μm 气流筛的筛余量换算成 80 μm 水泥筛的筛余量时换算系数为 2.4。

②混合砂浆的活性指数为掺粉煤灰的砂浆与水泥砂浆的抗压强度比的百分数,适用于所配制混凝土强度等级大于等于 C40 的混凝土。混凝土等级小于 C40 时,混合砂浆的活性指数应满足 28d 括号内的数值。

2. 硅灰

硅灰是从冶煤金属硅或硅铁合金的烟道中收集到的极细高水硬活性硅质灰粉,其细度比水泥高 1~2 个数量级,密度很小,单位质量体积很大。

硅灰在公路路面使用时,主要用于高强与超高强混凝土。使用时,由于需水量很大,必须与高效减少剂或超塑化剂共同掺用,在一般施工条件下要求缓凝,使用高效缓凝剂。

3. 矿渣

矿渣是从冶铁高炉排出,经高温水淬处理后的炉渣,与水泥相同工序磨细后得到的超细矿渣。由于其本身具有自硬化能力,水化反应速度快,因此,一般用于制高强混凝土。

硅灰和矿渣在使用前应经过试配检验,确保路面和桥面混凝土弯拉强度、工作性、抗磨性、抗冻性等技术指标合格。

三、粗 集 料

粗集料是混凝土中大于 5mm 的碎石、砾石和碎砾石。

1. 级配要求

为了保证混凝土高强度和密度,节约水泥,要求集料组成的矿物质具有良好的级配。级配分为连续级配和间断级配,连续级配的优点是配制的混凝土较密实,具有良好工作性,不易离析;间断级配的优点是同强度混凝土水泥用量小,但易产生离析,需强力振捣。

混凝土的粗集料不得使用不分级配的流料,应按最大粒径分级进行掺配。其级配范围见表 3-2-4-4。碎石最大粒径不应大于 31.5mm,砾石不大于 19mm,碎砾石不大于 26.5mm,小于 75 μ m 的矿粉不大于 1%。

粗集料级配范围

表 3-2-4-4

类型	径粒 配级	方筛孔尺寸 (mm)							
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5
		累计筛余 (以质量计) (%)							
合成级配	4.75 ~ 16	95 ~ 100	85 ~ 100	40 ~ 60	0 ~ 10				
	4.75 ~ 19	95 ~ 100	85 ~ 95	60 ~ 75	30 ~ 45	0 ~ 5	0		
	4.75 ~ 26.5	95 ~ 100	90 ~ 100	70 ~ 90	50 ~ 70	25 ~ 40	0 ~ 5	0	
	4.75 ~ 31.5	95 ~ 100	90 ~ 100	75 ~ 90	60 ~ 75	40 ~ 60	20 ~ 35	0 ~ 5	0
粒 级	4.75 ~ 9.5	95 ~ 100	80 ~ 100	0 ~ 15	0				
	9.5 ~ 16		95 ~ 100	80 ~ 100	0 ~ 15	0			
	9.5 ~ 19		95 ~ 100	85 ~ 100	40 ~ 60	0 ~ 15	0		
	16 ~ 26.5			95 ~ 100	55 ~ 70	25 ~ 40	0 ~ 10	0	
	16 ~ 31.5			95 ~ 100	85 ~ 100	55 ~ 70	25 ~ 40	0 ~ 10	0

2. 粗集料技术要求

用做混凝土的粗集料要有足够的坚固性,以抵抗冻融和风化作用,使用前可通过在硫酸钠溶液中浸湿和烘干 5 次循环后检测其重量损失量,小于规定值方可使用。

混凝土应选用表面粗糙、多棱角、粒状接近正方体,针片状颗粒含量较少的粗集料,否则将显著降低水泥混凝土抗折强度,同时影响其和易性。

为保证混凝土的强度及耐久性,要严格限制粗集料的含泥量、泥块含量及有害杂质含量。此外还应注意“碱集料反应”,防止在集料表面形成碱硅酸凝胶体,因其吸水膨胀,易造成混凝土结构破坏。

粗集料按技术指标分为 I、II、III 级,具体分级见表 3-2-4-5。二级以上公路及有抗(盐)冻要求的其它公路混凝土路面粗集料应不低于 II 级,无抗(盐)冻要求的其它公路混凝土路面、碾压混凝土及贫混凝土基层可用 III 级粗集料,有抗冻(盐)要求时,吸水率 I 级不应大于 1%,II 级不大于 2.0%,对于要求抗压的混凝土结构 I 级一般用于强度大于 C60 的混凝土,II 级用于介于 C30 与 C60 及有抗冻、抗渗或其他要求的混凝土,III 级用于小于 C30 的混凝土。

四、细 集 料

混凝土的细集料是指粒径小于 5mm 的天然砂、机制砂或混合砂。

1. 级配

优质的混凝土用砂要具有高的密度和小的比面积,从而达到混凝土即有较好的和易性及硬化后有一定的强度和耐久性,又达到节约水泥的目的。

砂的级配,应与粗集料级配组成的矿质混合料一同考虑,砂按细度模数分为 1 区粗砂($M_x=3.1 \sim 3.7$)、2 区中砂($M_x=2.3 \sim 3.0$)和 3 区细砂($M_x=1.6 \sim 2.2$)。为了提高路表面的抗

碎石、碎卵石和卵石技术指标

表 3-2-4-5

项 目	技 术 要 求		
	I	II	III
碎石压碎指标(%)	<10	<15	<20 ^①
卵石压碎指标(%)	<12	<14	<16
坚固性(按质量损失计,%)	<5	<8	<12
针片状颗粒含量(按质量计,%)	<5	<15	<20 ^②
含泥量(按质量计,%)	<0.5	<1.0	<1.5
泥块含量(按质量计,%)	<0	<0.2	<0.5
有机物含量(比色法)	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐(按 SO ₃ 质量计,%)	<0.5	<1.0	<1.0
岩石抗压强度	火成岩不应小于 100MPa ;变质岩不应小于 80 MPa ;水成岩不应小于 60 MPa		
表观密度	>2500kg/m ³		
松散堆积密度	>1350kg/m ³		
空隙率	<47%		
碱集料反应	经碱集料反应试验后 ,试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象 ,在规定试验龄期的膨胀率应小于 0.10%		

注 ①III 级碎石的压碎指标 ,用做路面时 ,应小于 20% ;用做下面层或基层时 ,可小于 25%。

②III 级粗集料的针片状颗粒含量 ,用做路面时 ,应小于 20% ;用做下面层或基层时 ,可小于 25%。

滑、抗磨性能 ,路用混凝土一般应选用中砂 ,也可使用细度模数在 2.0 ~ 3.5 之间的砂。施工中 ,混凝土同一配合比用砂的细度模数变化范围不应超过 0.3 ,否则应调整配合比中的砂率。

2. 技术要求

为了防止杂质阻碍水泥水化以及杂质和水泥发生不良化学反应 ,细集料应选择质地坚硬、耐久、洁净的砂 ,细集料中有害杂质含量应有一定限制 ,具体见表 3-2-4-6。

细集料技术指标

表 3-2-4-6

项 目	技 术 要 求		
	I	II	III
机制砂单粒级最大压碎指标(%)	<20	<25	<30
氯化物(以氯离子质量计,%)	<0.01	<0.02	<0.06
坚固性(以质量损失计,%)	<6	<8	<10
云母(以质量计,%)	<1.0	<2.0	<2.0
天然砂、机制砂含泥量(以质量计,%)	<1.0	<2.0	<3.0
天然砂、机制砂含泥块量(以质量计,%)	0	<1.0	<2.0
机制砂 MB 值 <1.4 或合格石粉含量(以质量计,%)	<3.0	<5.0	<7.0
机制砂 MB 值 ≥1.4 或不合格石粉含量(以质量计,%)	<1.0	<3.0	<5.0

续上表

项 目	技 术 要 求		
	I	II	III
有机物含量(比色法)	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐(按 SO_3 质量计)	<0.5	<0.5	<0.5
轻物质(以重量计%)	<1.0	<1.0	<1.0
机制砂母岩抗压强度	火成岩不应小于 100MPa ;变质岩不应小于 80 MPa ;水成岩不应小于 60MPa		
表观密度	>2500kg/m ³		
松散堆积密度	>1350 kg/m ³		
空隙率	<47%		
碱集料反应	经碱集料反应试验后 ,由砂配制的试件无裂缝、酥裂、胶体外溢 ,在规定试验龄期的膨胀率小于 0.10%		

细集料按其技术指标分为三级 ,二级以上公路及有抗冻(盐)要求的三、四级路面应使用不低于 II 级的砂 ,无抗(盐)冻要求的三、四级公路路面及贫混凝土基层可用 III 级砂。

使用机制砂时 ,为提高抗滑性能 ,保证运营安全 ,应检验砂浆磨光值 ,其值应大于 35。机制砂不应采用抗磨性较差的泥岩、页岩、板岩等水成岩类生产 ,在用机制砂配制混凝土时 ,应同时掺入引气高效减水剂。

一般情况 ,路用混凝土不宜选用海砂 ,若必须选用时 ,淡化海砂带入每立方米混凝土中含盐量不大于 0.1kg/m³ ,淡化海砂中甲壳类动物残留物不大于 1.0% ,钢筋混凝土和钢纤维混凝土严禁使用海砂。

五、水

饮用水可直接使用 ,对水质有疑问时 ,检验其硫酸盐含量(SO_4^{2-} <0.0027mg/mm³) ,含盐量($\leq 0.005 \text{ mg/mm}^3$) ,pH 值(≥ 4)及是否含油污、泥和其他有害杂质 ,检验合格方可使用。

六、外 加 剂

混凝土外加剂是在拌和混凝土时掺入 ,用以改善混凝土性质的物质。在混凝土路面修筑中 ,常用的外加剂主要有 :

- (1)减水剂或塑化剂 ;
- (2)缓凝剂、速凝剂和早强剂 ;
- (3)引气剂等。

减水剂主要是在混凝土坍落度不变时 ,能减少拌和用水 ,缓凝剂、速凝剂是在不影响混凝土的物理力学性质条件下 ,调结混凝土凝结时间的外加剂。引气剂是改善混凝土和易性 ,减少泌水和离析 ,提高混凝土抗冻、抗渗和抗蚀等性能的外加剂。

在路面和桥面混凝土选用减水剂时 ,应选择减水率大、坍落度损失小 ,可调控凝结时间的复合型减水剂。高温施工时 ,应选用引气缓凝减水剂 ,低温施工时使用引气早强减水剂。

引气剂应选用表面张力降低值大、水泥稀浆中起泡容易多而细密、泡沫稳定时间长不溶残渣少的产品,在有抗冻(盐)要求的地段,必须使用引气剂。

无论使用何种外加剂,首先必须检验其与水泥的适应性,使用与水泥相适应的外加剂品种,各种外加剂的产品质量应符合《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30—2003)有关规定。

使用外加剂时,应注意掺入外加剂会改变混凝土制备工艺,使用时要特别小心。

• 第二节 水泥混凝土路面的各种施工方法、程序和要点 •

施工技术直接影响水泥混凝土路面质量。路面机械化施工,不仅可提高施工速度和施工质量,而且还可降低工程造价。目前,常见的大型摊铺设备有滑模摊铺机和轨道摊铺机。由于我国各地经济发展水平各不相同,大型摊铺设备前期投资较大,因此在混凝土施工中还大量存在小型机具施工和三辊轴机组施工。滑模摊铺机施工将在下一章作详细介绍,本节主要介绍小型机具、三辊轴、轨道摊铺、碾压混凝土施工技术4种施工方法。

无论采用何种施工方式,施工前都要做好准备工作。准备工作是保证施工顺利进行和施工质量的前提,主要包括以下几个方面。

- (1)编制好施工组织设计,建立健全全面质量管理体系。
- (2)现场清理水电供应、施工道路、拌和站建设、办公生活用房等辅助设施建设。
- (3)原材料的准备和性能检验以及混凝土配合比检验调整。
- (4)对基层的平整度、压实度、高程、横坡等指标进行检查和处理修整,并洒水湿润。
- (5)严格按照要求安装模板。

一、小型机具施工

虽然小型机具施工速度慢,人为影响质量较大,但由于我国经济水平限制和施工需要,目前仍然得到广泛应用,尤其在二级以下公路建设中,仍占很大比例。

水泥混凝土小型机具施工主要有以下工序:测量放样→安装模板→架设传力杆和拉杆、拌和物搅拌和运输→摊铺成型→表面修整→抗滑构造制作→接缝施工→养生。小型机具施工主要机械设备有:配备自动重量计量设备的强制式搅拌机、插入式振捣棒、平板振动器和振动梁等振捣工具,提浆滚杆、叶片式或圆盘式抹面机、3m刮尺和抹刀等整平抹面工具,拉毛机、工作桥、硬刻槽机等抗滑构造设备以及运输车辆。小型机具选型和配套时应根据工程规模、质量要求和工期等要求进行合理配置。

使用小型机具铺筑水泥混凝土路面,在摊铺前一定做好检查准备工作。施工现场应有专人指挥卸料,拌和物应分成均匀的小堆,以方便摊铺。若拌和物有离析,应用铁锹翻拌均匀,严禁加水。用铁锹送料,应反扣,严禁抛掷和搂耙。面板厚度在22cm以下,可一次摊铺,若超过22cm,应分层摊铺。人工摊铺拌和物的坍落度应控制在5~20mm之间,拌和物松铺系数应通过现场试验确定,一般控制在1.10~1.25。料偏干时取较高值,反之取较小值。

拌和物摊铺均匀后,应采用插入式振捣棒、平板振动器和振动梁配合进行振捣成型。这是保证混凝土路面质量的关键。在每个车道上,每2m应配备两根振捣棒。振捣时,先用振捣棒

按梅花桩位置交错振捣,每次振捣不应少于 30s,以拌和物不再冒气泡和泛出水泥浆,并停止下沉为止。振动棒移动间距应不大于 50cm,离板边缘应不大于 20cm,并避免和模板、钢筋、传力杆、拉杆碰撞,对边角位置应特别注意,应仔细加以振捣。

插入振捣棒振捣后,用振动板全面振实,每车道配 1 块振动板,纵横交错振捣两遍。振动板移位时,应重叠 10~20cm,在每一位置振动时间应以振动板底部和边缘泛浆厚度为 $3\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 为限,时间不少于 15s,注意不能过振。

然后,用振动梁进一步振实整平提浆,振动梁应垂直路面中线沿纵向拖行,往返 2~3 遍,使表面泛浆均匀平整。振动梁应具有足够的刚度和重量,底部应焊接或安装深度 4mm 左右的粗集料压实齿,每个车道上应配备一根具有两个振动器的振动梁。

在振捣过程中,应随时进行人工找平,找平中所用拌和物应用同一批次的拌和物,严禁使用砂浆。还应随时检查模板、拉杆、传力杆、钢筋网位置,出现问题及时调整。

采用两次摊铺时,两层摊铺间隔时间应尽量短,上层振捣必须在下层初凝前完成。

振实作业完成后,可通过滚杆、抹面机或大木抹进行整平,整平时先用滚杆提浆整平,每车道配备一根滚杆,整平时第一遍应短距离缓慢一进一退拖滚式推滚,以后要长距离匀速拖滚 2 遍,并将水泥砂浆始终保持在滚杆前方。

拖滚后,用 3m 刮尺纵横各一遍整平饰面或采用抹面机往返 2~3 遍压浆并整平抹面。使用抹面机时,每车道应配备至少一台。

抹面机完成作业后,应进行清边整缝,清除粘浆,修补缺边、掉角,清除抹面留下的痕迹,并用 3m 刮尺,纵横各一遍精平饰面。精平饰面后,平整度要达到规定要求。

二、三辊轴机组摊铺技术

三辊轴机组是介于小型机具施工和摊铺机施工之间的一种中型施工设备。它比摊铺机成本低、适应性强,操作简单方便,能达到较高的平整度,自 20 世纪 90 年代以来,在我国得到广泛应用。

三辊轴机组施工工艺流程以及机械布置顺序为:测量放样→安装模板→拌和物拌和与运输→布料机具布料→排式振捣机振捣→拉杆安装机安装拉杆→人工找补→三辊轴整平→(真空脱水)→精平饰面→抗滑构造制作→接缝施工→养生→(硬刻槽)→填缝。

三辊轴机组施工的摊铺能力不是很强,因此要特别注意布料的均匀性、准确控制布料高度,要有专人指挥车辆均匀卸料。布料可用人工也可用装载机或挖掘机布料。人工布料时,应使用排式振捣机前方的螺旋布料器辅助控制松铺厚度。坍落度为 10~40mm 的拌和物松铺系数应取 1.12~1.25,坍落度大时取低值、小时取高值。超高路段和有横坡路段,摊铺应考虑横坡影响,松铺系数横坡高侧取高值,低侧取低值。

当混凝土摊铺长度超过 10m 时,应立即进行振捣密实。振捣时,每次移动距离不宜超过振捣棒有效半径的 1.5 倍,且不得大于 50cm。振捣时间一般为 15~30s,以拌和物中粗集料停止下沉表面不再冒泡,并泛出水泥浆为准,注意不能过振。振捣中,排式振捣机应均匀缓慢不间断前进。

面板振实后,应立即安装拉杆。单车道施工时,应在侧模预留孔中按设计要求在板厚度中间插入钢筋拉杆;双车道摊铺施工时,除在侧模插入拉杆外,还要使用拉杆插入机在中间纵缝

部位按设计要求插入钢筋拉杆。插入拉杆后立即振捣拌和物,以使拌和物充分包裹拉杆。

混凝土拌和物振捣后,工作性损失较快。若布料长度较短就开始振动。三辊轴整平机不能立刻跟上施工,两道工序间隔时间较长,会使拌和物工作性损失较高,造成以后施工较困难,因此应在布料达到一个作业单位长度才开始振实,并紧跟三辊轴整平机进行整平,两道工序间隔时间不宜大于10min。

三辊轴整平机作业长度一般在20~30m之间,在一个作业长度内,三辊轴机应采用前进振动、后退静滚的方式作业,其作业遍数一般为2~3遍,不得超过3遍。振动时,调整好振动轴的高度,与模板顶面留2mm间隙,振动轴只能打击刮平拌和物表面。由于三辊轴机自重较大,施工中要随时注意观察模板情况,出现问题立即纠正。

振动滚压完成后,将振动辊轴抬高离模板,用整平轴前后静滚整平。静滚遍数要足够多,一般为4~8遍,直到平整度符合要求,表面砂浆厚度和水灰比均匀为止。最终表面砂浆厚度应控制在 $4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。三辊轴整平机前方表面过厚过稀的砂浆必须刮除丢弃,以改善表面的抗滑性及耐磨性。

三辊轴整平机作业期间,恰好处于混凝土向上泌水过程中,表面砂浆水灰比及流动性增大,容易影响路面质量。为了增强表面耐磨性,改善平整度,也可采用两台三辊轴整平机联合作业,中间增加真空脱水作业。

三辊轴整平机基本整平路面后,应立即采用3~5m刮尺进行饰面。刮尺应纵向摆放,横向推拉,速度要均匀,每次推拉要一次完成,不停顿,并调整好刮刀与路面的接触角度。

待表面泌水蒸发消失后,再使用刮板或抹刀进行1~2遍收浆饰面抹光。经过抹光处理后,再进行抗滑构造施工,可明显提高表面耐磨性,收浆饰面应在泌水蒸发消失。混凝土表面还能够压实但不留下明显浆印时进行。饰面的最迟时间不得迟于表3-2-4-7规定的拌和物铺筑完毕允许的最长时间。

混凝土拌和物出料到运输、铺筑完毕允许最长时间

表 3-2-4-7

施工气温()	到运输完毕允许最长时间(h)		到铺筑完毕允许最长时间(h)	
	滑模、轨道	三轴、小机具	滑模、轨道	三轴、小机具
5~9	2.0	1.5	2.5	2.0
10~19	1.5	1.0	2.0	1.5
20~29	1.0	0.75	1.5	1.25
30~35	0.75	0.5	1.25	1.0

注:施工气温指施工期间的日间平均气温,使用缓凝剂延长凝结时间后,本表数值可增加0.25~0.5h。

三、轨道摊铺机技术

轨道式施工是指在基层上铺设两条轨道板,作为路面侧向支撑和路型定位模板,顶部作为路面表面基准,施工机械行驶在轨道上进行布料、振动密实、成型、修整和拉毛,养生的混凝土路面施工法。

轨道摊铺施工的工艺流程为:混凝土搅拌→人工支模板→架设拉杆→布料→振捣→表面修整→接缝施工→抗滑构造制作→养护→锯缝填缝→路面性能检测→竣工验收→开放交通等。

轨道摊铺机施工是在使用轨道和模板合一的专用机模上行进摊铺。其模板要求较高,一般单根长度 3m,底面宽度为高度的 80%,轨道顶面应高于模板 2~4cm,轨道中心至模板内侧边缘距离一般为 12.5cm。

轨道用螺栓和垫层固定在模板支座上,模板用钢钎固定在基层上。安装后应对照摊铺厚度进行调整检测,并在模板内涂刷脱模剂和隔离剂,接头应粘胶带或塑料薄膜密封。

轨道准备的数量应根据施工进度和施工气温,并满足拆模周期需要而定,一般不少于 3~5d 的需要。

平缝要设置拉杆时,应根据设计要求,预先在轨模上制作拉杆孔,以便施工时插入。它也可和传力杆一样,采用门形式固定在基层上。

轨道摊铺机是通过卸料机将混凝土倾卸在基层上或料箱内,然后按摊铺厚度均匀分布在模板内,其布料方式有螺旋布料器布料、刮板布料和料箱布料几种。布料松铺系数应根据拌和物实测坍落度在 1.15~1.30 之间控制,具体见表 3-2-4-8。

松铺系数与坍落度的关系

表 3-2-4-8

坍落度(mm)	5	10	20	30	40	50	60
松铺系数	1.30	1.25	1.22	1.19	1.17	1.15	1.12

使用螺旋布料器和刮板布料时,卸在铺筑宽度中间的拌和物不得过高过大,也不得缺料,螺旋布料器前拌和物应保持在面板以上 10cm 左右。

箱式布料一般应用在摊铺钢筋混凝土路面和有裸露粗集料抗滑表层路面,其装料时应关闭料斗出料口,运到布料位置时,轻轻打开出料口,待拌和物堆成“堤状”,再左右移动料斗布料。

轨道施工振捣一般采用振捣棒组和振动板或振动梁振捣修整,振捣棒组振捣方式有斜插连续拖行和间歇式垂直插入两种。当面板厚度超过 150mm,坍落度小于 30mm 时,必须采用插入振捣,连续拖行振捣时,其作业速度应控制在 0.5~1.0m/min 之间,间歇式振捣时,其移动距离一般不大于 50cm。振捣棒组振捣后,应及时采用振动板或振动梁对混凝土表面进行振捣整平。使用振动梁时,其频率应控制在 50~100Hz,偏心轴转速调至 2500~3000r/min。一般情况下,经振捣棒组振实的混凝土,应使用振动板提浆,并密实饰面,其提浆厚度控制在 4mm $\pm$ 1mm。

振捣后应及时采用抹平板或往复式滚筒整平。使用往复式滚筒整平时,其前面混凝土堆积物应涌向横坡高的一侧,保证路面横坡高的一端有足够料。在整平过程中要及时清理路面边缘余料,以保证整平精度和机械顺利作业。

整平后要及时精平饰面,其施工要求同三辊轴施工方式。

路面摊铺后,拆卸轨模应根据不同气温条件、混凝土抗压强度达到 8.0MPa 以上方可进行。缺乏强度实测数据时,边侧模板允许最早拆模时间应符合《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30—2003)的规定,拆除的模板应及时清理。

四、碾压混凝土路面施工

碾压混凝土施工技术是利用沥青混凝土摊铺机铺筑碾压混凝土的施工方法,一般施工流程为:碾压混凝土拌和→运输→卸入沥青摊铺机→沥青摊铺机摊铺→打入拉杆→钢轮压路机初

压→振动压路机复压→轮胎压路机终压→抗滑构造处理→养生→灌切缝→灌缝。配置的主要机械设备有沥青摊铺机、钢轮压路机、振动压路机、轮胎压路机和其他一些辅助设备。

基准线是碾压混凝土施工的生命线,在施工前要完成基准线的设置,单根基准线一般不超过450m,基准线设置宽度除应保证摊铺外,还应满足两侧650~1000mm横向支距的要求,基准线桩在直线段一般间距为10m,曲线段要加密设置,但间距不能小于2.5m。固定线桩时,应保证夹线臂到基层距离为450~750mm,设置好后应以不小于1000N的拉力对基准线进行张拉。

碾压混凝土摊铺前应先洒水湿润基层,摊铺速度要均匀、连续,不要随意变换速度或停顿,速度可按下式计算确定,一般控制在0.6~1.0m/min范围内。

$$v = \frac{MK}{60bh}$$

式中 v ——摊铺机速度 m/min;

M ——搅拌机产量 m^3/h ;

b ——摊铺宽度 m;

h ——摊铺厚度 m;

K ——效率系数,一般为0.85~0.95,使用一台搅拌机时选低值,多台时选高值。

碾压混凝土路面摊铺时的松铺系数应根据混凝土配合比,施工机械由试铺决定。摊铺布料时应使螺旋布料器转速和摊铺速度相适应,防止两边缘料不足。在摊铺到弯道时,应及时调整左右两侧分料器的转速,防止两侧供料不均衡。在摊铺中,应同时设置拉杆。设置拉杆时应通过设置醒目的定位标记保证拉杆准确打入。

摊铺完成后,应立即对混凝土表面进行检查,修补缺陷,局部缺料应及时补上。粗集料集中部位采用湿筛砂浆进行弥补。

当摊铺长度超过30m即可进行碾压,一般碾压作业段长度在30~40m。碾压按初压、复压、终压3个阶段进行。碾压时,在直线段应按从外侧向路中心碾压;在平曲线有超高路段,由低侧向高侧,由内向外碾压。

初压一般要用钢轮压路机或振动压路机静压,相邻碾压带应重叠 $1/3 \sim 1/2$ 碾压宽度。在复压过程中应禁止振动压路机中途急停、急拐、紧急起步和快速倒车,要缓慢柔顺。复压要使混凝土达到规定压实度为止,一般要压2~6遍。

终压采用轮胎压路机静压,终压遍数应以弥合表面微裂纹和消除轮迹为标准。初压、复压、终压作业要紧密相连,环环相扣,一气呵成,中间不停顿,相互间也不得干扰。

碾压混凝土横向施工缝和其他方法相比较为特殊,呈“台阶状”。目的是便于插入传力杆和接头处碾压密实,其制作方式是在施工终点处设纵向斜坡,碾压结束后将不合格部位切除,第二天摊铺开始时,后退15~20cm,切割施工缝,深度为8~10cm,并将切缝外混凝土刨除形成台阶,然后涂刷水泥浆,继续连接摊铺新路面,硬化后切施工缝。

• 第三节 水泥混凝土路面施工质量控制与监督验收 •

水泥混凝土路面施工,应根据质量管理要求,建立健全有效的质量保证体系,实行严格的

质量、投资、工期控制、工序管理和岗位责任制度,对各施工阶段进行全面控制检查,以确保施工质量。水泥混凝土路面施工主要从以下几个方面进行质量控制。

一、施工前材料的控制

原材料精良是修筑高质量路面的前提条件,进场前控制好原材料的质量非常重要,无论工期怎样紧张,都要把好原材料进场关。

做好原材料抽检工作,要配备充足的质量检验设备和人员。施工前,试验室应对混凝土路面工程计划使用的原材料进行质量检验和混凝土配制试验,以便进一步优选原材料和优化配合比,出具原材料检验和配合比报告,并应通过监理对原材料抽检和配合比试验验证,报业主审批。如水泥外加剂、养生剂等,重要的原材料供应,和供应商签合同时,不仅要确定供应量、方式,还要明确各项技术指标等要求。

原材料抽检要根据原材料检验项目以一定频率分批量进行检验,检验项目和检验频率必须符合《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F 30—2003)的规定。由不同厂家供应的水泥或粉煤灰,即使品种标号完全相同,也必须分别存放,不得混装。水泥罐换装水泥时,必须清罐。

二、铺筑试验路段

由于每个工程项目的情况各不同,所用原材料和配合比也不尽相同,摊铺机各项参数也需调整,因此,在正式摊铺前,必须进行不少于 200m 的试验摊铺。试验段路面厚度、摊铺宽度、基准线设置、接缝设置、钢筋设置等均应和实际工程相同。通过试验段施工应达到以下目的:

(1)检验拌和楼性能,并确定合理搅拌制度,全面检验摊铺机性能和生产能力,以及机械配套是否合理并提出改进措施。

(2)通过试拌确定检验拌和物各种技术指标,如坍落度、振动粘度系数、工作性、含气量、泌水量、是否离析等,以优化调整配合比。

(3)通过试铺确定模板架设或基准线设置方式,调整设置摊铺机工作参数。

(4)检验确定辅助人工、机具、工具、模具种类和数量,确定合理的施工组织形式和人员编制。

(5)通过试铺,建立原材料和新拌混凝土的各项技术指标,如坍落度、含气量和路面弯拉强度、平整度、构造深度等检验手段,并熟悉检验方法。

(6)通过试铺,掌握各种接缝设置和施工方法抗滑构造施工工艺、养生方式,检验全套施工工艺流程。

在试铺过程中,施工单位应做好记录,监理应检查施工质量,及时和施工方商定有关结果,以便在试铺结束后,业主、监理、施工单位会商试验结果,提出改进意见和注意事项,在正式施工中加以改进。

三、施工过程中的质量控制与检查

在施工过程中应按照《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F 30—2003)中规定的项目和频率对原材料、混凝土拌和混合料进行检验,混凝土路面应检查平整度、弯拉强度和板厚三大指标和其他指标。

1. 平整度

3m 直尺检测平整度只能反映小波长的不平整度,不能反映大波长的不平整度,在施工过程中,因每天摊铺长度并不太长,因此从施工成本考虑,可采用 3m 直尺量验作为施工过程中平整度控制的检测工具。在验收时必须采用精度较高,能客观反映路面行车过程中的平整度实际情况的平整度仪检测动态平整度,作为验收时工程质量评定依据。

施工时,一级以上公路 3m 直尺量验结果 90% 以上不大于 3mm,二级以下公路量验 90% 以上不大于 5mm。3m 直尺量验频率应为单车道每 100m 两处 10 尺,在检测时若发现平整度不符合要求,应在 10d 内使用最粗磨头的水磨机磨平,并应做出微观抗滑构造和宏观抗滑槽,此种处理方法只能用于小面积少量处理。

2. 弯拉强度

抗折强度是混凝土路面的第一强度指标,混凝土路面板的开裂破坏多是因弯拉应力超过弯拉强度极限而形成的,因此抗折强度达到设计 requirements 是混凝土路面长寿命的重要保证。在施工过程必须严格控制,对其评价应以搅拌楼生产中随机取得混合料在振动台上制作的小梁弯拉强度为准。在过去的试验中发现,振动棒插入振动孔严重降低混凝土的嵌锁能力,简易自制振动板的振动能量无法控制,因此,试件不能反映实际路面弯拉强度,故不能采用自制振动板。弯拉强度检测频率应按 200m^3 混凝土制作一组试件,每组 3 块小梁,每天施工开始,中间和结束各一组,按照标准方法养生 28d,先测弯拉强度,再测抗压强度。

3. 板厚

混凝土路面在施工中应严格控制板厚,测量人员将两侧基准线定好以后,用直尺检查基准线到基层的距离,即为板厚。每 100m 测 2 个断面,若符合要求,经监理确认后即可摊铺。若板厚不足,面积不大时,可采用铣刨机铣刨基层。若大面积基层偏高,允许在 50m 以外通过调整路面、标高控制板厚。使用模板施工时,应在两模板槽间设一厚刮板,通过纵向走一遍进行板厚控制。上述做法在于杜绝摊铺后,因平均板厚误差超过 1cm 而返工,将问题消灭在摊铺之前。

除上述三大指标外,还应通过检查控制接缝、切缝、灌缝、抗滑构造,摊铺中线高程和横坡,其控制和检查方法及频率应遵照《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F 30—2003)规定的方法进行。

四、工程质量检查验收

工程施工完之后,施工单位应将全线按每公里一个评价段,按规定的检验项目和 1/3 频率进行自检,准备好总结报告、自检结果、原始记录等完整资料,申请验收。

业主、监理和质监站收到施工单位验收申请,确认资料完整后,应首先对照施工中的抽检数据,检查交工报告中数据是否与其吻合,然后再按《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1—2004)规定的检查项目和验收频率进行检查和验收。

在检查中若发现异常情况应按以下方式进行处理。

(1) 当出现试件弯拉强度偏小的情况,判定弯拉强度是否合格,应以路面钻芯取样圆柱体劈裂强度折算的弯拉强度值,作为评价合格与否的标准,钻心与小梁弯拉强度 R_b (MPa) 的换算关系,应通过积累试验资料确定。若没合适的经验公式,可参考下列应用公式进行换算。

石灰岩、花岗岩碎石混凝土:

$$f_c = 1.868 f_{sp}^{0.871}$$

式中 f_c ——混凝土标准小梁弯拉强度, MPa;

f_{sp} ——混凝土直径 150mm 圆柱体的劈裂强度, MPa。

玄武岩碎石混凝土:

$$f_c = 3.035 f_{sp}^{0.423}$$

(2)发现板厚不足时,或上基层和桥梁上横坡不足,要求返工的标准为平均板厚小于设计厚度 10mm。当出现争议并要求返工时,应以钻心取得 3 个圆柱体的平均高度作为评判标准。

• 第四节 水泥混凝土路面的病害及处治 •

水泥混凝土路面在行车荷载和自然因素作用下,可因混凝土面板、接缝和基层、土基的缺陷产生各种类型的破坏。这里既有设计原因、也有施工原因以及人为外界因素。水泥混凝土面板在良好养护条件下,其使用年限比其他路面长,但一旦开始损坏,则会迅速发展。因此,必须经常养护,尽早发现病害,及时处理,使路面经常保持完好状态。

一、常见病害

水泥混凝土路面病害按损坏的特征和范围分为以下 4 类:

1. 水泥混凝土路面断裂类病害

按裂缝出现的方位和板断裂的块数可分为平行中心线的纵向裂缝、斜向或垂直中心线的斜向或横向裂缝、从板角到斜裂缝两段距离小于 1.8m 的角隅断裂以及断裂板等 4 种病害。

2. 水泥混凝土路面接缝类病害

水泥混凝土路面接缝处损坏,按损坏的形态和影响范围分为:填缝料损坏、纵向接缝张开、唧泥和底板脱空、错台、接缝破损和拱起等 6 种病害。

3. 水泥混凝土路面竖向位移类病害

水泥混凝土路面竖向位移类病害按产生的原因不同分为胀起和沉陷两种。

4. 水泥混凝土路面表层类病害

水泥混凝土路面表层类病害可分为磨损和露骨、纹裂和网裂起皮、活性集料反应引起的网裂、粗集料冻融裂纹和坑洞。

二、病害处治

1. 裂缝处治

(1)对于缝宽小于 3mm 的轻度裂缝,可采用直接扩缝灌缝进行处理。

(2)对于中、重度横向裂缝,可采用沿裂缝两侧各 15cm 锯 7cm 的锯口,凿除两锯缝内混凝土,沿裂缝上设置钎钉,然后再重新浇筑混凝土,振捣整平、养生锯缝后灌注填缝料。

(3)对于断板修理应按长方形放样,凿除损坏部分,重新填补混凝土修补,新旧混凝土之间应设置钢筋连接,所用混凝土应具有快硬高强,具有较好的粘结抗剪强度。

(4)板角断裂处治应先按破裂面的大小和深度确定修补范围并规则放样,然后凿除破损混凝土,凿除时应避免切断钢筋,然后填补混凝土,填补时应避免新旧混凝土在接缝处粘结。

2. 接缝破损处治

接缝破损处治应首先清除接缝内旧填充物和其他杂物,并用吹尘器具清净接缝内尘土,然后灌注填缝料。若是胀缝,应在其下部重新安装接缝板,然后再灌注填缝料。填缝料应与缝壁粘附,并应填灌饱满。

3. 错台处治

错台处治时应按其程度和位置分别采用以下方法处理:

(1)轻微错台,可采用机械磨平进行处理。

(2)在接缝处或混凝土面板与沥青路面、路肩处产生的错台,应采用沥青砂或水泥混凝土处理。

(3)由于基础过软造成的错台,可采用板底灌浆进行处理。

4. 拱起处治

当板完好时,可在拱起板块两侧的1~2道横缝加宽或加深释放应力或切开拱起端,使板恢复原位,然后填缝。

5. 坑洞处治

坑洞可凿成规则形状,清理干净,填水泥砂浆进行处治。

6. 沉陷处治

沉陷处治可采用顶升施工法和灌浆施工法。

顶升施工法是指在面板上钻孔,用压缩空气或千斤顶将面板升至预定高度,然后压注灌砂,直至密实。

灌浆法即在面板钻孔,然后以一定压力灌注水泥浆,使板恢复至预定高度并封死孔口。

7. 路面表面局部龟裂、剥落等病害处治

当路面出现龟裂、剥落、磨光等病害时,可在表面做稀浆封层,面积较大时还可用沥青混凝土罩面。

本章小结

(1)本章从原材料、施工工艺和施工质量控制等几方面对水泥混凝土路面施工作了简要描述,并对目前我国在水泥混凝土路面施工中经常使用的几种施工技术作了简要介绍。

(2)在实际施工中,一定要坚持质量第一的思想,按照选料精良的原则选取原材料,根据工程实际情况,选择合理的施工方法,要尽可能选用机械化施工,严格控制工程施工质量。

思考题与习题

1. 水泥混凝土路面对所用材料有哪些要求?
2. 试述水泥混凝土路面常用的施工方法及施工程序。
3. 水泥混凝土路面施工主要从哪几个方面进行质量控制?
4. 试述水泥混凝土路面的常见病害及处治方法。

滑模施工技术

教学要求

1. 描述滑模施工准备工作的内容,说明滑模摊铺工艺流程及应配备的机械设备;
2. 描述滑模施工放线、混凝土搅拌及运输要点,滑模摊铺水泥混凝土路面施工要点,进行滑模摊铺水泥混凝土路面施工质量管理与检查验收工作。

• 第一节 概 述 •

施工技术直接影响水泥混凝土路面的使用性能,而其关键点是水泥混凝土路面摊铺机械和技术。目前我国水泥混凝土路面发展迅速,每年铺筑 1.5 万 km² 以上,且交通运输向大型重载高速发展,这些都要求加快施工速度,提高施工质量降低工程造价。因此客观上要求在水泥混凝土路面施工中采用滑模施工等机械化施工。

滑模施工是一种采用滑模摊铺机摊铺水泥混凝土路面的机械化施工工艺方式,其特征是不架设边缘固定模板,将布料、松方控制、高频振捣棒组、挤压成形滑动模板、拉杆插入、抹面等机构安装在一台可自行的机械上,通过基准线控制,能够一遍摊铺出密实度高、动态平整度优良、外观几何形状准确的水泥混凝土路面。滑模摊铺机 1963 年诞生于比利时,我国在 1986 年首次引用,到现在,其机械设计、施工技术和管理日益成熟。滑模摊铺机自动化程度高,不但提高摊铺质量和施工效率,节省工程投资,还提升了公路行业技术水平。

滑模施工与其他施工技术相比具有以下特点:

(1)滑模摊铺机有密集排列均匀配制的振捣棒,振动强度高、振动速度大。对水泥的活性有很大激发作用,使水泥的水化反应程度加深。实验表明,滑模施工的水泥混凝土路面比人工施工的抗折强度高 10% ~ 15%。

(2)滑模摊铺机吨位大,有自重 50% ~ 70% 的挤压力作用于振捣过的混凝土路面,由于具备强大的挤压成形和进一步密实作用,因而滑模摊铺施工的水泥混凝土路面,外观规矩、密实度高、抗折强度的保证率高得多。

(3)节约材料和人工费用。由于滑模摊铺不需架设模板,无模板及其损耗,且因自动化程度高,需辅助生产的劳动力比其他施工方式少得多,其生产率是人工施工的 5 ~ 10 倍。

(4)生产效率高,摊铺速度快。目前国内日施工最快可达 15300m² (8.5m 宽,26cm 厚路

面),正常情况下,可施工 8500 m^2 。

(5)水泥混凝土配料精度和均匀稳定性极高,由于滑模摊铺混凝土速度快,必须使用数台大型混凝土搅拌楼生产混凝土配合,大型搅拌楼计量精度和自动化程度较高,可极大提高水泥混凝土拌和物的精度。

(6)自动化程度高。滑模摊铺机具有自动防差错系统、自动故障报警系统、自动学习系统、自动设置路线弯道参数等高新技术计算机操作系统,是目前筑路机械设备中高新技术应用最充分的先进路面施工装备之一,人称自动机器人或机械“Robot Machine”。

随着滑模摊铺施工的逐步推广,必能极大提高我国水泥混凝土摊铺效率,提高水泥混凝土路面质量,充分发挥水泥混凝土路面的优势。

• 第二节 滑模摊铺工艺流程及机械设备配置 •

滑模摊铺的特点是不需轨模,由4个液压缸支承腿控制的履带行走机构行走。它可以通过控制机构上下移动,调整摊铺层厚度。在摊铺机两侧安装固定的滑模板。因此不需另设轨模,这种摊铺机一次通过就可以完成摊铺、捣实、整平等多道工序。

一、滑模摊铺水泥混凝土机械施工工艺流程

滑模摊铺机械化程度较高,其施工工艺较为复杂,每一个流程都要求做到充分、精确,整个施工工艺大致可分为:施工前准备、混凝土拌和、混凝土运输、滑模摊铺、整修养护、灌填缝料、验收及开放交通。具体施工工艺流程见图3-2-5-1。

二、滑模施工机械设备配置

水泥混凝土路面滑模施工机械由各施工单位根据路面结构设计、工期要求、公路等级等条件,按照“性能先进适用、生产能力匹配、施工稳定高效”的原则选择配置。选配的机械性能,必须符合有关规程各项施工技术指标的要求。表3-2-5-1列出了水泥混凝土路面滑模摊铺施工的主要机械设备及辅助器具配套表。

1. 滑模摊铺机的配置

高速公路、一级公路主车道施工,一般应选配能同时摊铺2~3个车道,使用宽度在7.5~12.5m的大型或12.5~16m特大型摊铺机。选择特大型摊铺机施工时,其外侧路肩的宽度要大于履带宽度加上基准线间距,二级以下路面的最小摊铺宽度不得小于3.75m。

滑模摊铺机可按表3-2-5-2所列基本技术参数选择。其应配备螺旋式刮板布料器、松方高度控制板、振动排气仓,足够的振动棒、夯实杆或振动搓平梁、自动抹平板,可提升模板、侧向及中部打拉杆装置,需要时可配备自动传力杆插入装置DBI。需夜间施工时,应配备照明设备。施工单位根据自身条件和工期要求,可选择配备布料机、滑模摊铺机和拉毛养生机3台设备联合施工,也可只配备一台滑模摊铺机,其他由人工辅助施工。滑模连续摊铺规模较大的钢筋混凝土路面、桥面,桥头搭板时,一般应配备侧面上料的布料机或自带侧向上料机构的滑模摊铺机。

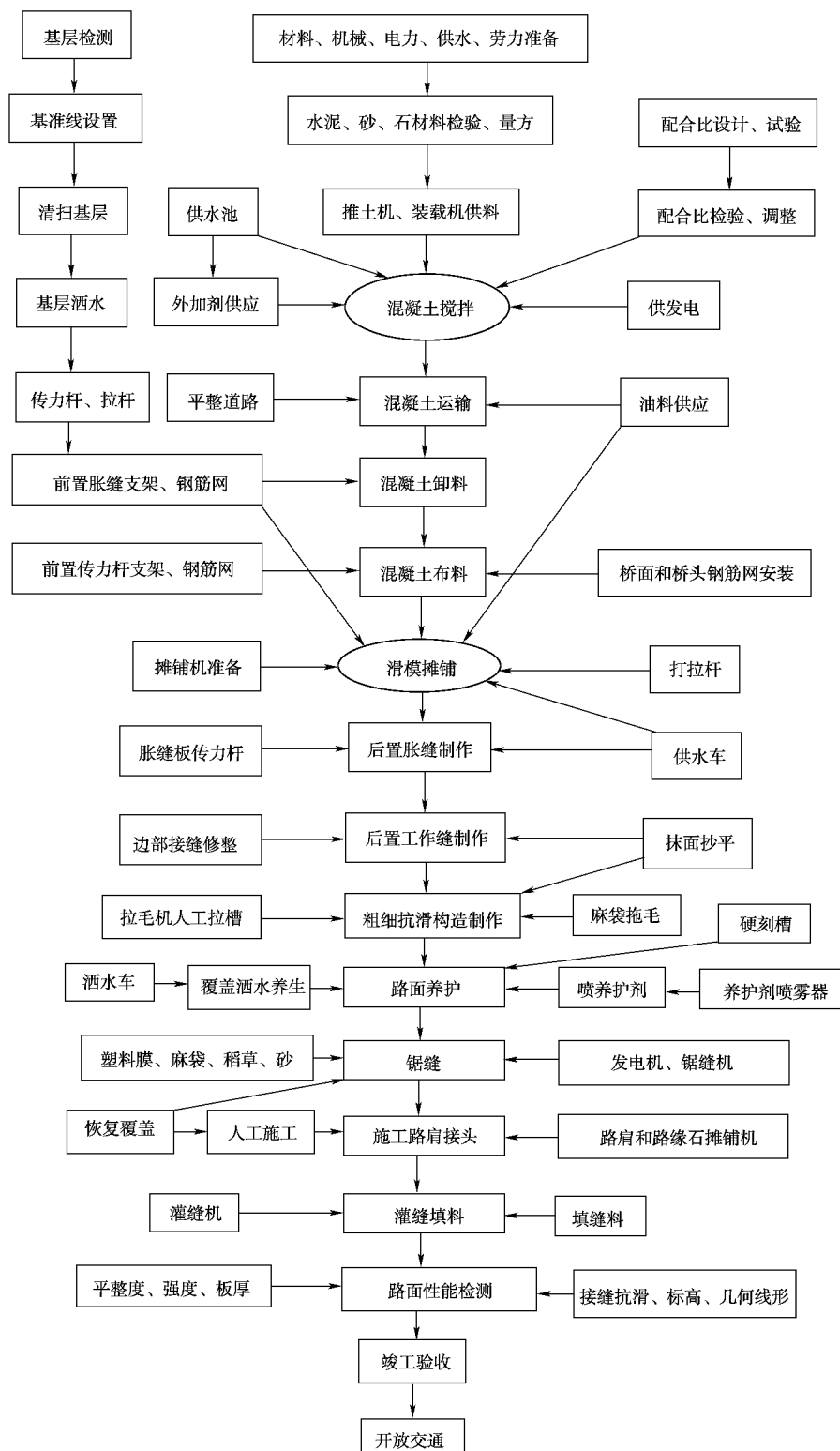


图 3-2-5-1 滑模摊铺水泥混凝土施工工艺流程图

滑模摊铺机施工主要机械和机具配置表

表 3-2-5-1

工作内容	主要施工机械设备	
	名称	机型及规格
钢筋加工	钢筋切断机、折弯机、电焊机	根据需要定规格和数量
测量基准线	水准仪、经纬仪、全站仪	根据需要定规格和数量
	基准线、线桩及紧线器	300 个桩、5 个紧线器、300m 基准线
搅拌	强制式搅拌楼	不小于 50m ³ /h 数量由计算确定
	装载机	2 ~ 3 m ³
	发电机	不小于 120kW
	供水泵和蓄水池	不小于 250 m ³
运输	运罐车	4 ~ 6 m ³ 数量由匹配计算确定
	自卸车	4 ~ 24 m ³ 数量由匹配计算确定
摊铺	布料机、挖掘机、吊车等布料设备	根据需要定规格和数量
	滑模摊铺机 1 台	技术参数见表 3-2-5-2
	手持振捣棒、整平梁、模板	根据人工施工接头需要定
抗滑	拉毛养生机 1 台	与滑模摊铺机同宽
	人工拉毛齿耙、工作桥	根据需要定规格和数量
	硬刻槽机 刻槽宽度 ≥ 50cm, 功率 ≥ 7.5kW	数量与摊铺进度匹配
切缝	软锯缝机	根据需要定规格和数量
	常规锯缝机或支架锯缝机	根据需要定规格和数量
	移动发电机	12 ~ 60kW, 数量由施工需要定
磨平	水磨石磨机	需要处理欠平整部位
灌缝	灌缝机或插胶条机	根据需要定规格和数量
养生	压力喷洒机或喷雾器	根据需要定规格和数量
	工地运输车	4 ~ 6t, 按需要定数量
	洒水车	4.5 ~ 8t, 按需要定数量

滑模摊铺机的基本技术参数表

表 3-2-5-2

项目	发动机功率 (kW)	摊铺宽度 (m)	摊铺厚度 (cm)	摊铺速度 (m/min)	行走速度 (m/min)	履带数 (个)	整机质量 (t)
三车道滑模摊铺机	200 ~ 300	12.5 ~ 16	0 ~ 50	0 ~ 3 (0 ~ 5)	0 ~ 15	4	57 ~ 135
双车道滑模摊铺机	150 ~ 200	3.6 ~ 9.7	0 ~ 50	0 ~ 3 (0 ~ 5)	0 ~ 18	2 ~ 4	22 ~ 50
多功能单车道滑模摊铺机	70 ~ 150	2.5 ~ 6	0 ~ 40 护栏高度 80 ~ 190	0 ~ 3 (0 ~ 9)	0 ~ 15	2, 3, 4	12 ~ 27
路缘石滑模摊铺机	≤ 80	< 2.5	< 45	0 ~ 5 (0 ~ 9)	0 ~ 10	2, 3	≤ 10

注 括号内数据为滑模摊铺机空载行驶速度。

2. 搅拌站的配置

滑模摊铺机配套的混凝土搅拌站的生产能力可按式(3-2-5-1)估算：

$$M = 60\mu b h v \quad (3-2-5-1)$$

式中 M ——搅拌楼总拌和能力 m^3/h ；

μ ——搅拌楼可靠性系数，一般取 1.2 ~ 1.5；

b ——摊铺宽度 m ；

h ——水泥混凝土板厚度 m ；

v ——摊铺速度 m/min ($\geq 1\text{m}/\text{min}$)。

按照 M 确定搅拌站的搅拌楼数量型号。确定搅拌楼型号时，其最小生产能力不应小于 $50\text{m}^3/\text{h}$ 。搅拌楼数量，由于滑模施工需供应混凝土量较大，且需连续供应，考虑搅拌楼工作可靠性，一般不应少于 1 台，不宜超过 4 台，并要做到规格、品牌尽可能统一，搅拌站的生产能力应满足滑模摊铺机最低施工速度 $1\text{m}/\text{min}$ 的要求，最低拌和能力和运输能力为：一次摊铺一车道，稳定可靠供应混凝土 150m^3 以上，摊铺两个车道时，应可靠地供应 $250\text{m}^3/\text{h}$ 混凝土。

混凝土搅拌楼的选择应以强制双卧轴式或强制行星立轴式为主要机型。应优先选择间歇式搅拌楼，并且搅拌楼应配备自动供料装置、计量设备、砂石料含水率反馈控制装置、外加剂加入装置、计算机控制自动配料操作系统和数据打印设备，每台拌和楼应配备 3 ~ 4 个砂石料仓，1 ~ 2 个外加剂池，3 ~ 4 个粉煤灰及水泥罐仓。

3. 运输车辆配置

为了保证滑模摊铺速度，及时供应水泥混凝土，要充分做好混凝土的运输工作。运输新拌混凝土的车辆应选配搅拌运输车或载重能力较大的自卸车，自卸车挡板应关闭紧密，运输时不漏浆撒料，卸料时抬升角度应大于 45° 。配备运输车辆的数量应根据搅拌楼生产能力，施工车辆速度，运量运距，按式(3-2-5-2)估算汽车数目。

$$N = 2n[1 + s\gamma_c m / (v_q g_q)] \quad (3-2-5-2)$$

式中 N ——汽车数目 辆；

s ——单程运输距离 km ；

n ——相同产量搅拌楼台数；

m ——台搅拌楼生产能力 m^3/h ；

γ_c ——混凝土容重；

v_q ——车辆平均速度 km/h ；

g_q ——汽车载重能力 $\text{t}/\text{辆}$ 。

此公式是使用闭合链运输数学模型推导的一个相当简化的计算公式，若车辆载重量不同，先按小吨位计算，再折合为大吨位车辆数目。

运输车辆的计算也可按概率论中排队论模型推导计算运输公式，不过其计算较为复杂，普通技术人员难以掌握。

由公式(3-2-5-2)计算，滑模摊铺最少运输车辆为 4 台，随着运距加长，所需运输车辆相应增加，滑模摊铺运输半径一般为 20km 。

国内外滑模摊铺所配运输车辆不尽相同，但所选基本车型大致如表 3-2-5-3 所列。其中侧翻多斗车、半圆螺旋车或皮带卸料车，均为超大型专用滑模混凝土特种运输车辆。在我国尚未

使用。

国内外运输新拌滑模混凝土的车型

表 3-2-5-3

车 种	翻 斗 车	改进运罐车	侧翻多斗车	半圆螺旋车	半圆皮带车
卸料方式	后翻固定卸	后面均匀移动卸	侧翻固定卸	后面均匀移动卸	后面均匀移动卸
方量($\text{m}^3/\text{辆}$)	4~8	6~8	24	10~20	10~20
车型	通用车	混凝土专用车	特大型车	特种车	特种车

水泥混凝土路面摊铺施工系统的其他机械设备和工具可参照表 3-2-5-1 的要求选取。

目前我国采用滑模摊铺机械主要有以下两种配置方式：

一种是投资较小的轻型机械配置方式，将主要工作由机械完成，辅助工作由人和小型机具来完成，只配置大型滑模摊铺机和大型混凝土搅拌楼和运输车辆，其他由人工完成。我国大部分都采用此种配置，实践证明，这种机械配置能修建出高质量的水泥混凝土路面，其施工速度平均达到日施工 8m 宽路面 1000m 左右，最快可达 1800m。

另外一种重型链式机械配置方式，在大型滑模摊铺机前后配置布料机和拉毛养生机，并配置大型支架式多锯缝机，同时配备 20~60t 大型和超大型混凝土运输车辆，实现施工的全部机械化和快速化。

在决定滑模摊铺装备时，要根据工程实际情况进行配置，实践证明，滑模摊铺混凝土路面最小经济合理的规模是 10km 以上路面，否则是不经济的。

• 第三节 基准线设置与混凝土搅拌及运输 •

一、基准线设置

设置基准线的目的是为滑模摊铺建立一个标高、纵横坡、板厚、板宽、摊铺中线、弯道及连续平整度等基本几何位置的基准参考系。滑模摊铺的基准线设置方式有：基准线、方铅管和多轮支架等。除基准线外，其他方式要求基层必须经过精整机铣刨达 3m 直尺平整度不大于 3mm，而我国施工中一直要求平整度为 8mm，在这种条件下，为保证滑模施工的高平整度，不宜采用其他简易基准设置方式。

1. 基准线形式

基准线形式按照所摊铺路面横坡方向和基准线位置可分为单向坡双线式、单向坡单线式和双向坡双线式 3 种形式。

(1) 单向坡双线式：所铺路面横向坡度为单向坡，基准线位于摊铺机两侧。

(2) 单向坡单线式：只在摊铺机一侧设基准线，适用于在已摊铺好的水泥混凝土面板边缘摊铺另一幅水泥混凝土面板。

(3) 双向坡双线式：所摊铺面板横向坡为双向坡，基准线位于摊铺机两侧，基准线上没有横坡。

2. 设置基准线的技术要求

基准线横向支距：设置基准线时，基准线桩固定位置到摊铺面板边缘的横向支距应根据滑模摊铺机侧模到传感器的位置而定，两侧路面边缘宜不小于 1m 宽度，最小不得小于 0.65m。

基准线桩应牢固打入基层 15 ~ 25cm ,当打入困难时 ,应采用电钻钻孔后再钉牢固。基层顶面到夹线臂的高度宜为 45 ~ 75cm ,基准线桩夹线臂夹口到桩的水平距离宜为 30cm。

基准线桩纵向间距 :平面直线段不大于 10m ;圆曲线段应加密 ,在小半径弯道或山区极大半径回头弯道上 ,内侧宜加密到为 2.5 ~ 5m ,外侧宜为 3.5 ~ 7m ;平面缓和曲线段或纵断面竖曲线段宜为 5 ~ 10m。

基准线张紧 :基准线两端应设固定紧线器 ,并应偏置在基准线桩外侧 30 ~ 50cm 处。基准线必须张紧 ,每侧基准线应施加大于等于 1000N 的拉力 ,张紧后基准线上的垂度应不大于 1.0mm。张拉线时 ,基准线应先张紧 ,再扣进夹线臂槽口。每段基准线的长度不大于 400m ,否则全线张紧会较为困难。

3. 基准线的精度要求

基准线是为滑模摊铺机上的 4 个水平传感器和 2 个方向传感器提供一个精确与路面平行的水平(横坡)和直线(转弯)方向平面基准参考体系 ,其精度高低决定着路面摊铺的几何精度和平整度。因此基准线是滑模摊铺施工的“生命线” ,是保证摊铺出的面板的标高、横坡、板厚、板宽等技术指标符合规范要求的必要条件 ,基准线的放置精度要符合《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规程》(JTJ/T 037.1—2000)要求 ,具体见表 3-2-5-4。

滑模摊铺水泥混凝土路面基准线设置精度要求

表 3-2-5-4

项 目		规 定 值	最大允许偏差
中线平面偏位(mm)		10	20
路面宽度偏差(mm)		+ 15	+ 20
面板厚度(mm)	代表值	- 3	- 5
	极值	- 8	- 10
纵断高程偏差(mm)		± 5	± 10
横坡偏差(%)		± 0.10	± 0.15
左右幅连接纵缝高差(mm)		± 1.5	± 2

4. 基准线放线时应注意事项

(1)为保证拉线的准确性 ,设置平面基准线时 ,必须边测设、边用眼睛贴近拉线观测。在有中央路拱的平面圆曲线及缓和曲线段拉线时 ,除拉线准确外 ,应在每个放线桩外标出摊铺拱中垂直高度 ,以便于机手调整和渐变路拱的路面横坡。曲线及过渡段基准线设置好以后 ,在摊铺前必须由另一测工进行校核 ,防止出现差错。

(2)在地形复杂的山区公路施工 ,测量人员设置拉线时 ,应确切了解最小可摊铺的弯道半径。一般滑模摊铺机可施工的最小弯道半径不小于 50m ;带加长侧模板的滑模摊铺机最小弯道半径不小于 75m。小转角弯道最小半径为 50 ~ 75m ;大转角回头曲线最小半径 75 ~ 100m ,如不注意 ,将损坏所铺弯道路面或滑模摊铺机侧面板。

(3)基准线设置好以后 ,禁止扰动。摊铺时 ,严禁碰撞和振动基准线 ,接头不得大于 1cm。风力大于 5 ~ 6 级时 ,基准线不稳定 ,振动过大 ,影响摊铺平整度 ,应停止施工。

基准线设置宜在施工前一天完成。摊铺前应对基准线进行复测或抽查。

二、搅拌楼生产混凝土的控制技术要求

搅拌楼生产混凝土的控制技术要求如下：

(1) 搅拌楼在使用前和每使用 3 个月 after 必须经过国家或省级法定计量单位的标定, 使用 1 个月时, 应由施工单位进行计量精度自检。

(2) 路面用混凝土搅拌不允许手动操作, 必须使用自动称量自动计量的计算机配料操作控制系统搅拌生产混凝土, 原因是手动操作称量的原材料无法精确控制, 误差大大高于配合比精度的要求。当计算机系统发生故障时, 应该停机排除故障, 再用自动化控制系统生产。

(3) 投料顺序宜先投所有固体料: 砂、石、水泥、外加剂, 后投水, 目的是造壳, 拌和成水泥裹砂石料混凝土, 强化界面, 提高抗折强度。

(4) 混凝土的搅拌时间, 应根据混凝土搅拌均匀时最小搅拌圈数来控制。一般情况下, 立轴式搅拌机从进料到搅拌好的时间为 90 ~ 180s; 双卧轴式的搅拌机总拌和时间为 60 ~ 90s。上述两种搅拌机原材料加齐后的搅拌时间分别不得少于 40s 和 25s。最长搅拌时间不得超过高限值 2 倍。

(5) 稀释外加剂的溶液浓度, 根据配合比试验确定的外加剂掺量、间歇搅拌楼上配备的外加剂溶液筒的体积计算得出。连续式搅拌楼按流量比例控制加入外加剂。搅拌加水量应扣除外加剂的稀释水量和沙石料含水量, 并增加相应的沙石料计重重量。加入搅拌锅的外加剂应充分溶解, 防止复合的不同外加剂溶液因比重不同分层富积在某一层中。外加剂溶液宜在施工前一天配制好, 施工过程中应连续不断地搅拌均匀。外加剂池有沉淀时, 每隔 1 ~ 3d 应清除。

(6) 要求新拌混凝土均匀、一致、无未搅拌的干料和离析现象。一台搅拌楼的每盘之间和其他搅拌楼之间, 新拌混凝土坍落度差别应小于 $\pm 0.5\text{cm}$ 。多台搅拌楼生产时, 因测塌落度比较费时, 可以使用凯利球来控制拌和物的匀质性, 凯利球的沉入深度差别应小于 5mm。应特别注意雨天或阵雨后, 按砂石料在搅拌时的实际含水率及时微调加水量和砂石料重量。

(7) 施工过程中, 应加强对混凝土混合料的质量监控。施工开始及每 200m^3 混凝土都应抽测坍落度、含气量、温度、砂石料含水量及混凝土密度。按规定标准方法预留抗折强度试件。在炎热或寒冷气候条件下施工, 应加测混凝土的温度、塌落度损失率和凝结时间。

三、新拌混凝土运输

应根据试验提供的新拌混凝土的初凝时间和施工时的气温来控制混凝土运输允许的最长时间。混凝土从搅拌机出料到摊铺完毕时间应符合表 3-2-5-5 规定。

混凝土拌和物运输、摊铺完毕允许最长时间

表 3-2-5-5

施工气温()	运输允许最长时间(h)	摊铺完毕允许最长时间(h)	备注
5 ~ 19	2.0	2.5	气温为日 平均气温
10 ~ 29	1.5	2.0	
20 ~ 39	1.0	1.5	
30 ~ 35	0.75	1.25	

运送新拌混凝土的车辆在装料时, 应防止混凝土离析, 每卸一斗应挪动一下车位。驾驶员

必须了解新拌混凝土的初凝时间,超过初凝时间的混凝土不得用于面板摊铺,应移作它用或废弃。新拌混凝土一旦在车内停留超过了初凝时间,应采取紧急措施进行处置,防止混凝土硬化在车厢内或车罐内。

新拌混凝土运输过程中要防止漏浆、漏料和污染路面。夏天、雨天和冬季施工,应遮盖自卸车上的混凝土。

为防止新拌混凝土在运输过程中离析和分层,最大运输距离不应超过 20km,超过此运距,应采用搅拌罐车运输混凝土。实测表明,运距大于 20km,所发生的离析现象会使平整度变差。新拌混凝土应在 1h 内运到摊铺现场,滑模混凝土在热天施工条件下,应在 45min 内运到现场。

• 第四节 滑模摊铺水泥混凝土路面施工要点 •

1. 施工前准备

应对施工前准备工作进行全面细致检查,检查基准线是否符合板厚要求,设备和机具是否全部到位,运转是否正常,基层是否合格,是否清扫和洒水湿润,在横向连接摊铺时,传力杆是否矫正补齐,纵缝是否顺直,沥青是否涂抹等。这一切都是通过大量实践经验得来的。如板厚必须在摊铺前基准线上控制就是通过多条高速公路施工中摸索得来的。

2. 正确设置滑模摊铺机各项工作初步参数

摊铺前,应对滑模摊铺机进行全面性能检查和各施工部件位置参数设定。参数的正确设定是滑模摊铺操作技术中最关键的技术环节之一,也是摊铺机调试中最重要的内容。这些参数通过试铺固定下来,在正式施工时根据现场情况适当微调。设置时注意振捣棒下缘位置应在挤压板最低点以上,间距不宜大于 45cm,并均匀排列;最边缘振捣棒与摊铺边沿不大于 25cm;调整挤压板前倾角为 3° 左右,提浆夯板的位置为挤压板前缘以下 5 ~ 10mm 之间,设超铺角的滑模摊铺机两边缘超铺高程应根据料的稠度在 3 ~ 8mm 间调整;带振动搓平梁的滑模摊铺机应将搓平梁前沿调整到与挤压板后缘同一高程,搓平梁的后沿比挤压板后缘低 1 ~ 2mm,并与路面高程相同。

3. 摊铺机首次摊铺位置矫正

首次摊铺时,在无纵坡和弯道的摊铺起点位置钉 4 个矩形分布的木桩,其顶面高程分别为挤压底板的 4 角点高程,后两桩为路面高程,前两桩在路面高程上应加挤压底板前倾角高程。有路拱时应增设拱中两个桩,准确测量摊铺机底板高程、横坡度和路拱,将传感器挂到基准线上,调整水平传感器立柱高度,使摊铺机挤压底板正好落在精确测量设置好的木桩上,同时调整摊铺机机架前后左右水平度。让摊铺机挂线自动行走,再返回校正一遍,正确无误后,即可摊铺。

4. 初始摊铺校正

在开始摊铺的前 5m 内,必须对所摊出的路面标高、厚度、宽度、中线、横坡度等技术参数进行复核测量,机手应根据测量结果及时在摊铺中微调传感器、挤压底板、拉杆打入深度及压力、抹平板的压力及边缘位置。严禁停机剧烈调整高程、中线、横坡等,以免影响平整度。调整应在 10m 内完成。摊铺效果达到要求的参数要固定保护起来,严禁非机手更改或撞动。第二天连接摊铺时,应将摊铺机后退至前一天做的侧向收口工作缝(收口每侧 5m,长度与侧模等

长或略长)路面内,到挤压底板前缘对齐工作缝端部,开始摊铺。

5. 卸料、布料要求

(1)滑模摊铺混凝土路面时,必须有专人指挥车辆卸料。自卸车卸料时,卸料应分布均匀,以减少摊铺机的摊铺负荷。最高料位高度不得高于松方控制板上缘,正常料位高度应在螺旋布料器叶片上缘以下。机前缺料时,可用装载机或挖掘机补充送料,并要求供料和摊铺速度协调。

(2)布料要求:采用布料机施工,松铺系数应视坍落度大小由试铺确定,当坍落度在 $1\sim 5\text{cm}$ 时,松铺系数宜在 $1.08\sim 1.15$ 之间,坍落度为 3cm 时,松铺系数应控制在 1.1 左右。布料机与滑模摊铺机之间的距离应控制在 $5\sim 10\text{m}$,热天日照强、风大时,取小值;阴天、湿度大、无风时,取大值。

6. 摊铺操作要领

(1)机载布料器控制:滑模摊铺机的布料器有螺旋布料器和刮板布料器两种形式。刮板布料器的优点是布料效率高、摊铺阻力小、刮板磨损少、便于更换,缺点是对混合料不能进行二次机前搅拌,容易造成混合料离析和两侧混凝土不均匀。螺旋布料器则相反,具有优良的机前二次搅拌效果、离析小、混凝土分布均匀、布料效率高、效果好。但摊铺阻力大、螺旋棱磨损快、堆焊加强和更换比较麻烦,一般施工情况下,摊铺 $30\sim 50\text{km}$ 就不得不更换螺旋布料器。

螺旋布料器在机上的固定形式有两种:连续单根和中间分开独立控制的两根。在摊铺宽度较窄的单车道路面时,适合单根形式,可将卸偏的混凝土从一侧分布到另一侧,但两根螺旋布料器的形式因中间支撑的阻隔,就较难做到。在摊铺双车道大宽度路面时,在摊铺宽度内可同时卸两车料,使用独立控制的两根螺旋布料器较适宜。注意布料要均匀,特别注意两侧边角的料要充足。螺旋布料器有很强的机前二次搅拌的功能,如机前料充足,但不均匀时,应连续不断地左右旋转,以达到充分混合搅拌均匀之目的。

(2)松方高度控制板控制:松方高度控制板是滑模摊铺施工第一关,控制得好,施工顺畅,控制不好,不仅平整度差,而且会损坏滑模摊铺机。摊铺过程中,机手应随时调整松方高度控制板进料位置。开始时应略设高些,以高于振捣棒 15cm 左右为宜,以保证进料,正常料位以保持振捣仓内砂浆料位高于振捣棒 10cm 左右较为适宜,以利于振动仓内混凝土中的气泡受振动彻底排放掉。进料门应尽量控制在振捣仓内的混凝土基本维持在一个适宜的恒定高度上,根据我国的施工经验,这个高度一般为振捣棒中心线以上 10cm 左右较适宜。仓内的正常料位应保持在螺旋杆中轴位置。

(3)摊铺行进速度控制:滑模摊铺机应缓慢、匀速、连续不间断地摊铺。摊铺速度应根据拌和物稠度和设备性能进行控制,一般为 $1\text{m}/\text{min}$ 左右。当稠度发生变化时,应先调整振捣频率,再调整速度,一般拌和物偏稀时,应适当降低振捣频率,加快摊铺速度,最快控制在 $1.5\sim 2\text{m}/\text{min}$ 之间,最低振捣频率不得低于 $6000\text{r}/\text{min}$;拌和物偏稠时,应适当提高振捣频率,降低摊铺速度,最慢控制在 $0.5\sim 1\text{m}/\text{min}$ 之间,最高振捣频率不得高于 $11000\text{r}/\text{min}$ 。

(4)监控振捣棒的位置和工作情况:摊铺中要随时检查振捣棒情况,以防止麻面和纵向塑性收缩裂缝,振捣棒的位置应该是其底缘在挤压底板的后缘高度以上。但在不出现塑性收缩裂缝的前提下,允许使用板中位以上的振捣位置。在摊铺通过胀缝和钢筋网时,必须提高振捣棒,使其最低点位置在挤压底板的后缘高度以上,以便于在不推移胀缝板和钢筋网的前提下,

顺畅摊铺。

(5) 摊铺密实度控制 :在滑模摊铺推进过程中 ,要视混凝土混合料的稠度随时对行进速度和振捣频率进行调整 ,以控制摊铺密实度。只有这样才能控制混凝土路面始终达到所要求的高密实度 ,并防止发生塌边、麻面、拉裂和砂浆层过厚等病害。

操作手应随时观察振捣仓内混凝土的排气情况 ,特别要求在振捣仓后部挤压底板前沿基本没有气泡排出的情况下 ,才能向前推进。在给定速度和振捣频率的工作状态下 ,在振捣仓充分排除掉混凝土中的气泡 ,是当时混凝土稠度下 ,推进速度和振捣频率的合适与否的基本判断依据之一。同时 ,观察所摊铺出路面的平整度 ,如果在摊铺后的路面上发现有气泡、拱包 ,说明排气很不充分 ,必须降低速度 ,提高振捣频率 ,同时降低进料门控制高度 ,减小混凝土路面板承受的压力 ,以保证密实度和平整度。如果采取了上述措施仍调整不了 ,或出挤压底板的混凝土表面有拉裂现象 ,就证明挤压底板前仰角过大 ,需要调小。在混凝土所有原材料中 ,只有气泡在挤压力下具有较大的可压缩性 ,待摊铺过后 ,压力释放 ,接近表面的大气泡才会将路面砂浆顶起来 ,影响平整度。

(6) 挤压底板前仰角的调整 :滑模摊铺机型号不同 ,其设定的挤压底板前仰角也各不相同。对于给定的混凝土稠度 ,每台滑模摊铺机都有一个最佳前仰角设定角度 ,最佳前仰角需要通过施工实践摸索积累。滑模摊铺机的前仰角设定必须在每天开工之前设定 ,施工进行中不能调整。因此必须在前几次施工中摸索并确定最佳前仰角 ,固定下来 ,不可经常调整。

(7) 超铺角控制 :滑模摊铺机上设置超铺角是因为混凝土振实脱模后 ,由于失去支撑 ,路面一方面会自动胀宽 ,另一方面两侧边沿即使不塌边也会溜肩 ,高程自动塌落 ,必须设法多铺料补偿 ,才能做出断面几何形状规矩的面板。超铺角设置从进料门开始 ,增大两边角的进料高度和数量 ,并令挤压底板两侧模板视稳定的坍落度大小 ,翘起合适的高度 ,同时 ,将两侧边模板向内倾斜一定角度 ,构成混凝土路面两侧边角适宜的超铺量 ,待混凝土路面脱模后 ,自动塌落成 90° 边沿 ,保证路面两边横向平整度。

(8) 纵坡施工 :摊铺较大纵坡时 ,注意调整挤压底板前仰角 ,上坡时应适当调小 ,同时调小抹平板压力 ;下坡时应适当调大 ,同时调大抹平板压力。

(9) 弯道施工 :弯道、渐变段摊铺时 ,若单向横坡 ,应随时观察和调整抹平板内外侧的抹面距离 ,防止压垮边缘。中央路拱 ,若靠手工控制 ,操作手应根据路拱消失和生成的位置 ,在一定路段内分级逐渐消除或生成设计路拱。

7. 摊铺中高程控制和校准

滑模摊铺的路面高程控制主要靠 4 个水平传感器沿基准线控制 ,为防止因底板没有顶拖力或调整不到位形成高程误差 ,影响路面厚度和平整度 ,在开始摊铺路面 $3 \sim 5\text{m}$ 长度时 ,应用水准仪进行校核。发现误差超过规定范围时 ,应在滑模摊铺机行进中对水平传感器垂直伸缩臂缓慢调整到位 ,调整后作上标记 ,固定该位置。通过连续几次调整 ,确定滑模摊铺底板、传感器等与基准线之间的相对位置并固定下来。除非以后有人动过 ,否则不再调整 ,但仍需每天调整。

8. 滑模摊铺中出现问题的处理

滑模摊铺的表面应平滑 ,几何形状规矩 ,不应出现麻面、拉裂、塌边、溜肩等病害现象 ,出现问题应立即查找原因 ,采取措施。

(1)摊铺中应经常检查振捣棒工作情况。发现路面上在横断面某处多次出现麻面或拉裂现象,表示该处振捣棒出现问题,必须停机检查或更换该处振捣棒。摊铺后发现路面上留有发亮的振捣棒拖出的砂浆条带,表明振捣棒位置过深,必须调整正确位置至振捣棒底缘在挤压底板的后缘高度以上。

(2)在摊铺宽度大于等于8m的双(多)车道路面时,若左右卸了两车稠度不一致的混凝土时,摊铺速度应按偏干一侧设置,并应将偏稀一侧振捣棒频率迅速调小,保证施工路面密实,不塌边溜肩,保持基本相同的表面砂浆厚度。

(3)滑模摊铺出现横向拉裂现象,应从以下几个方面进行检查:

①拌和物局部或整体过干硬、离析、骨料粒径过大,不适宜滑模摊铺。而对于摊铺速度过快,振捣频率不够,混凝土未振动液化产生的拉裂,应降低摊铺速度,提高振捣频率。

②挤压底板的位置和前仰角的设置是否变化。前倒角时必定拉裂,前仰角过大,也可能拉裂,应在行进中调整两个水平传感器,即改变挤压底板为适宜的前仰角,以消除拉裂现象。

③拌和物较干硬或等料停机时间较长,摊铺起步速度过快,也可能拉裂路面。等料停机时间较长时,应间隔15min开启振捣棒振动2~3min;摊铺起步时应先振捣2~3min,再缓慢推进。

(4)当混凝土供应不上时,或搅拌楼出现机械故障等情况时,停机等待时间不得超过当时气温下混凝土初凝时间的2/3,超过此时间,应将滑模摊铺机开出摊铺工作面,并做施工缝。当滑模摊铺机出现机械故障时,应紧急通知后方搅拌楼停止生产,在故障停机时间内,滑模摊铺机内混凝土尚未初凝,能够排除故障,允许继续摊铺,否则,应尽快将滑模摊铺机拖出摊铺工作面。故障排除后,重新起步摊铺。

9. 纵缝拉杆安置

摊铺单车道时,必须根据路面设计配置单侧或双侧打拉杆机械装置,打拉杆装置的正确插入位置应在挤压底板下的中部或偏后部,无论采用何种方式打入拉杆,其压力应满足一次打到位。同时摊铺2个以上车道时,除侧向打拉杆装置,还应在假纵缝位置中间配置一个以上中间拉杆自动插入装置,该装置根据摊铺机的类型有前插和后插两种配置。打入拉杆位置必须在板厚中间,中间和侧向拉杆的高低和左右误差不得大于 $\pm 2\text{mm}$ 。

10. 平交口变宽段和匝道路面滑模施工

平交口变宽段和匝道路面滑模施工时,只要摊铺宽度小于滑模摊铺机固定宽度,可采用滑模摊铺机跨一侧或两侧模板施工方式。模板应粘贴橡胶垫,模板顶面高程应低于路面高程3mm,振捣仓在模板上部应加隔离板,并关闭隔板外侧振捣棒。

11. 连接摊铺

连接摊铺时,若摊铺机上前次施工路面,其履带底部必须铺垫橡胶垫或使用挂胶履带。并且前次摊铺路面应养护7d,最低不得少于5d。

施工结束后应及时做好下面两项工作:

(1)及时将滑模摊铺机驶离工作面,先将传感器脱离基准线,解除自动跟踪控制,然后及时对滑模摊铺机进行清理保养。

(2)做横向施工缝。施工时应丢弃从摊铺机振动仓内脱出的厚砂浆。设置施工缝模板,并用水准仪测量和抄平板高程和横坡。为使下次摊铺能紧接施工缝,侧模需向内收进2~4cm,

长度视摊铺机侧模而定。施工缝也可在第二天硬切除全部端部制作。连接施工时,由于混和料相对不饱满,在此位置应用人工辅助振捣,并做好平整度,以防止工作缝接合部低洼跳车。

12. 胀、缩缝和工作缝施工

胀缝应采用前置法施工,以保证施工质量和摊铺连续性。要预先加工好钢筋支架,将传力杆无沥青涂层一端焊接在支架上,使接缝板夹在两支架间。无布料机(件)时,当摊铺至胀缝位置前1~2m处,将支架准确定位,用钢钎固定在基层上,然后摊铺;有布料机(件)时,应提前安装好胀缝支架,采用侧向上料方式施工。在混凝土硬化前剔除胀缝板上部,嵌入 $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 木条,修整好表面。填缝时应先凿去木条,涂上粘结剂后,再嵌入多孔橡胶条。

缩缝和施工缝上部槽口应采用切缝法施工,切缝包括硬切缝和软切缝。切缝时采用何种切缝方式应根据施工期间路面摊铺完毕到切缝时的昼夜温差确定。滑模施工宜采用硬切缝。硬切缝应当在混凝土达到设计强度25%~30%时进行,缩缝宽度控制在4~6mm。横向缩缝硬切缝时间,任何情况下不得小于24h。

软切缝应在摊铺后,混凝土强度为1~1.5MPa时进行。为防止断板,在昼夜温差较小时,横向缩缝宜每隔1~2块板先切一道缝,然后逐条补切。温差较大时,应全部软切缝。

对一次摊铺两个车道以上的纵缝,切缝深度应控制到 $1/3$ 板厚。

分幅施工时,应在先摊铺好的混凝土板横缩缝不断开的部位做好标记。在后摊铺的路面上对齐已断开横缩缝位置提前软切缝。

摊铺完毕或整平表面后,应使用钢支架拖挂1~3层叠合麻布、帆布、棉布,洒水湿润后,软拖制作微观抗滑结构,布片接触路面长度以0.7~1.5m为宜。细度模数偏大的粗砂,长度取小值,偏小的中砂取大值。

当施工进度超过500m时,抗滑构造制作应选用拉毛机进行,制作时应在混凝土表面泌水完毕20~30min内及时进行。拉槽深度为2~3mm,宽度为3~5mm,槽间距15~25mm。当采用硬刻槽方式制作抗滑构造时,硬刻槽机宜重不宜轻,刻槽应在摊铺后3d开始,两周内完成。

混凝土板抗滑构造软拉制作完毕后,应及时养生,养生一般采用喷洒养生剂并保湿覆盖的方式进行。在水资源充足的情况下,也可采用覆盖洒水湿养生方式养生,一般情况不宜使用围水养生方式。

使用喷洒养生剂养生时,应在混凝土表面泌水完毕后进行,用量为 $0.35\text{kg}/\text{m}^2$,喷洒高度控制在0.5~1m。加盖塑料薄膜养生时,加盖时间应以不压坏微观抗滑构造为准。

当采用覆盖物洒水湿养生时,要始终保证覆盖物处于潮湿状态。

养生期满后要及时灌缝,灌缝前清除缝内杂物,清洗并保证缝内清洁干燥,并防止砂石等杂物掉入缝内。灌缝时,灌注深度宜为2~3cm,最浅不得小于1.5cm。填缝料的灌注顶面,夏天宜与板平,冬季宜低于板面1~2mm。

灌缝后,要封闭交通进行养生,填缝料为常温料时,低温天气养生期为24h,热天养生期12h,填缝料为热料时,低温养生期为2h、高温天气养生期为6h。

• 第五节 滑模摊铺水泥混凝土路面施工质量控制与检查验收 •

滑模摊铺水泥混凝土和其他施工一样,都应根据质量管理要求,建立健全有效的质量保证

体系,实行严格的质量、投资、工期控制、工序管理和岗位责任制度,对各施工阶段进行全面控制检查,以确保施工质量。由于滑模摊铺在我国尚处于推广试行阶段,使用该技术时,应深入进行全员技术培训,提高施工水平,严格质量检查验收等关键控制环节。施工中,滑模摊铺主要从以下几个方面进行质量控制。

一、施工前材料的控制

原材料精良是修筑高质量路面的前提条件,进场前控制好原材料的质量非常重要,无论工期怎样紧张,都要把好原材料进场关。

在施工前认真做好材料供应的调研工作。在施工准备阶段,应认真做好附近潜在原材料供应品种的调查工作。原材料质量品种和规格是否符合滑模摊铺要求,对原材料的供应量、供应方式、供应强度、运距、沿线何地适合建立大型混凝土搅拌站等要做到心中有数。通过调研比较选择可靠的原材料供应商,并要确定替补供应商。材料供应时应附合格证和出厂证。

为了做好原材料抽检工作,要配备充足的质量检验设备和人员。施工前,试验室应对混凝土路面工程计划使用的原材料进行质量检验和混凝土配制试验,以便进一步优选原材料和优化配合比,出具原材料检验和配合比报告,并应通过监理对原材料抽检和配合比试验验证,报业主审批重要的原材料供应,如水泥外加剂、养生剂等。和供应商签合同时,不仅要确定供应量、方式还要明确各项技术指标等要求。

原材料抽检要根据原材料检验项目以一定频率分批量进行检验,检验项目和检验频率必须符合《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规程》(JTJ/T 037.1—2000)的规定。从不同厂家供应的水泥或粉煤灰,即使品种标号完全相同,也必须分别存放,不得混装。水泥罐换装水泥时,必须清罐。

二、铺筑试验路段

由于每个工程项目的情况各不相同,所用原材料和配合比也不尽相同,滑模摊铺机各项参数也需调整,因此,无论是否有滑模摊铺经验,在正式摊铺前,必须进行不少于200m的试验摊铺。试验段路面厚度、摊铺宽度、基准线设置、接缝设置、钢筋设置等均应与实际工程相同,通过试验段施工应达到以下目的。

(1)检验拌和楼性能和确定合理搅拌制度,全面检验摊铺机性能和生产能力,以及机械配套是否合理并提出改进措施。

(2)通过试拌确定检验拌和物各种技术指标,如坍落度、振动粘度系数、工作性、含气量、泌水量、是否离析等,以优化调整配合比。

(3)通过试铺确定基准线设置方式,调整设置摊铺机工作参数。

(4)检验确定辅助人工、机具、工具、模具种类和数量,确定合理的施工组织形式和人员编制。

(5)通过试铺,建立原材料和新拌混凝土的各项技术指标,如坍落度、含气量和路面弯拉强度、平整度、构造深度等检验手段,并熟悉检验方法。

(6)通过试铺,掌握各种接缝设置和施工方法、抗滑构造施工工艺、养生方式,检验全套施工作业流程。

在试铺过程中,施工单位应做好记录、监理应检查施工质量,及时和施工方商定有关结果,以试铺结束后,业主、监理、施工单位会商试验结果,提出改进意见和注意事项,以便在正式施工中加以改进。

三、施工过程中的质量控制与检查

在施工过程应按照《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规范》(JTJ/T 037.1—2000)中规定的项目和频率对原材料、混凝土拌和混合料进行检验,混凝土路面应检查平整度、弯拉强度和板厚三大指标和其他指标。

1. 平整度

3m 直尺检测平整度只能反映小波长的不平整度,不能反映大波长的不平整度,在施工过程中,因每天摊铺长度并不太长,因此从施工成本考虑,可采用 3m 直尺量验作为施工过程中平整度控制的检测工具。在验收时必须采用精度较高,能客观反映路面行车过程中的平整度实际情况的平整度仪检测动态平整度,作为验收时工程质量评定的依据。

施工时,一级以上公路 3m 直尺量验结果 90% 以上不大于 3mm,二级以下公路量验 90% 以上不大于 5mm。3m 直尺量验频率应为单车道每 200m 两处 10 尺,在检测时若发现平整度不符合要求,应在 10d 内使用最粗磨头的水磨机磨平,并应做出微观抗滑构造和宏观抗滑槽,此种处理方法只能用于小面积少量处理。

2. 弯拉强度

抗折强度是混凝土路面的第一强度指标,混凝土路面板的开裂破坏多是因弯拉应力超过弯拉强度极限而形成的,因此抗折强度达到设计要求的混凝土路面长寿命的重要保证。在施工过程必须严格控制,对其评价应以搅拌楼生产中随机取得混凝土在振动台上制作的小梁弯拉强度为准。在过去试验中发现,振动棒插入振动孔严重降低混凝土的嵌锁能力,简易自制振动板的振动能量无法控制,因此在制作试件时推测结果,不能反映实际路面弯拉强度,不得采用,弯拉强度检测频率应按 200m^3 混凝土制作一组试件,每组 3 块小梁,每天施工开始,中间和结束各一组,按照标准方法养生 28d,先测弯拉强度,再测抗压强度。

3. 板厚

混凝土路面在施工中应严格控制板厚,测量人员将两侧基准线定好以后,用直尺检查基准线到基层的距离,即为板厚。每 200m 测 4 个断面,若符合要求,经监理确认后即可摊铺。若板厚不足,面积不大时,可采用铣刨机铣刨偏高部分。若大面积基层偏高,允许在 50m 以外通过调整路面标高控制板厚。这种作法可杜绝摊铺后因平均板厚误差超过 1cm 而返工,将问题消灭在摊铺之前。

除上述三大指标外,还应通过检查控制接缝、切缝、灌缝、抗滑构造。摊铺中线高程和横坡,其控制和检查方法和频率应遵照《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规范》(JTJ/T 037.1—2000)规定的方法进行。

四、工程质量检查验收

工程施工完之后,施工单位应将全线按每公里一个评价段,按规定的检验项目和 1/3 频率进行自检,准备好总结报告,自检结果,原始记录等完整资料,申请验收。

业主、监理和质监站收到施工单位验收申请,确认资料完整后,应首先对照施工中的抽检数据,检查交工报告中数据是否与其吻合,然后再按《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071—1998)规定的检查项目和验收频率进行检查和验收。

在检查中若发现异常情况应按以下方式进行处理。

(1)当出现弯拉强度偏小的情况,判定弯拉强度是否合格,应以路面钻心取样圆柱体劈裂强度折算的弯拉强度值,作为评价合格与否的标准。钻心心与小梁弯拉强度 R_b (MPa)的换算关系,应通过累积试验资料确定。若没合适的经验公式,可参考下列应用公式进行换算。

钻心频率:有争议的路段,每公里3处。

石灰岩、花岗岩碎石混凝土: $f_c = 1.868 f_{sp}^{0.871}$

玄武岩碎石混凝土: $f_c = 3.035 f_{sp}^{0.423}$

(2)交工验收时,所有行车道均应连续检测动态平整度。标准为每个路段、每条车道的总体平均值:

一级以上公路 $\sigma \leq 1.5\text{mm}$, $\text{IRI} \leq 2.5\text{m/km}$, 最大间隙 $\leq 3\text{mm}$ ($\geq 90\%$);

二级以上路面 $\sigma \leq 2.5\text{mm}$, $\text{IRI} \leq 4.2\text{m/km}$, 最大间隙 $\leq 5\text{mm}$ ($\geq 90\%$)。

对局部路段施工接头,桥面行车明显感到跳车部位必须磨平处理,然后再恢复抗滑构造。

(3)发现板厚不足时,或上基层和桥梁上横坡不足,要求返工的标准为平均板厚小于设计厚度10mm。当出现争议并要求返工时,应以钻心取得3个圆柱体的平均高度作为评判标准。

本章小结

(1)本章对水泥混凝土路面滑模摊铺施工工艺流程、机械配备和放线、混凝土搅拌、运输以及滑模摊铺和质量控制做了较为详细的描述,这些都是国内外滑模摊铺施工实践总结出来的经验。

(2)由于水泥混凝土路面滑模摊铺施工在我国应用时间较短,还有许多问题需要解决。因此在施工中除严格按照国家有关规程进行作业外,还应结合工程具体情况,进行施工组织和作业,并不断总结经验,吸收国外最新设备、技术、工艺、成果和经验。

思考题与习题

1. 试述滑模施工技术有哪些特点?
2. 简述滑模摊铺工艺流程。
3. 滑模摊铺的基准线设置有何技术要求?
4. 简述滑模摊铺水泥混凝土路面施工要点。
5. 滑模摊铺水泥混凝土路面施工主要从哪几个方面进行质量控制?

参考文献

- 1 邓学钧主编. 路基路面工程. 北京 : 人民交通出版社 2000
- 2 张雨化主编. 道路勘测设计. 北京 : 人民交通出版社 1997
- 3 金仲秋主编. 公路设计. 北京 : 人民交通出版社 2002
- 4 俞高明主编. 公路施工技术. 北京 : 人民交通出版社 2002
- 5 方守恩主编. 高速公路. 北京 : 人民交通出版社 2002
- 6 黄晓民, 张晓冰, 高英主编. 公路工程检测手册. 北京 : 人民交通出版社 2004
- 7 邓学钧, 黄卫, 黄晓明主编. 路面结构计算和设计电算方法. 南京 : 东南大学出版社, 1997
- 8 中华人民共和国行业标准. 公路工程技术标准(JTG B01—2003). 北京 : 人民交通出版社 2004
- 9 中华人民共和国行业标准. 公路工程质量检验评定标准(JTG F80/1—2004). 北京 : 人民交通出版社 2004
- 10 中华人民共和国行业标准. 公路路线设计规范(JTJ 011—94). 北京 : 人民交通出版社 1994
- 11 中华人民共和国行业标准. 公路路基设计规范(JTG D30—2004). 北京 : 人民交通出版社 2004
- 12 中华人民共和国行业标准. 公路沥青路面设计规范(JTJ 014—1997). 北京 : 人民交通出版社 1997
- 13 中华人民共和国行业标准. 公路水泥混凝土路面设计规范(JTG D40—2002). 北京 : 人民交通出版社 2002
- 14 中华人民共和国行业标准. 公路路基施工技术规范(JTJ 033—1995). 北京 : 人民交通出版社 1993
- 15 中华人民共和国行业标准. 公路路面基层施工技术规范(JTJ 034—2000). 北京 : 人民交通出版社 2000
- 16 中华人民共和国行业标准. 公路沥青路面施工技术规范(JTJ 032—94). 北京 : 人民交通出版社 1994
- 17 中华人民共和国行业标准. 公路土工试验规程(JTJ 051—93). 北京 : 人民交通出版社 1993
- 18 中华人民共和国行业标准. 公路水泥混凝土路面滑模施工技术规范(JTJ /T 037. 1—2000). 北京 : 人民交通出版社 2000
- 19 中华人民共和国行业标准. 公路排水设计规范(JTJ 018—1997). 北京 : 人民交通出版社 1998

- 20 中华人民共和国行业标准. 公路路基路面现场测试规程(JTJ 059—1995). 北京 :人民交通出版社 ,1995
- 21 中华人民共和国行业标准. 公路沥青路面养护技术规范(JTJ 073. 2—2001). 北京 :人民交通出版社 2001
- 22 中华人民共和国行业标准. 公路工程无机结合料稳定材料试验规程(JTJ 057—1994). 北京 :人民交通出版社 ,1994