

现代道路交通安全技术丛书

道路交通安全工程

刘志强 葛如海 龚 标 编著



化学工业出版社

安全科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

道路交通安全工程/刘志强, 葛如海, 龚标编著.
北京: 化学工业出版社, 2005. 1
(现代道路交通安全技术丛书)
ISBN 7-5025-6465-9

I. 道… II. ①刘…②葛…③龚… III. 公路
运输-交通运输安全-安全工程 IV. U492.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 131483 号

现代道路交通安全技术丛书

道路交通安全工程

刘志强 葛如海 龚 标 编著

责任编辑: 杜进祥

文字编辑: 宋 薇

责任校对: 顾淑云 战河红

封面设计: 张海峰

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行

安全科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

http: //www. cip. com. cn

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 11¼ 字数 286 千字

2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6465-9/U·10

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

世界上第一例有记录的交通事故发生在 1896 年，当时判官在报告中称此事“决不可能再发生”。然而，一个多世纪后的今天，全世界每年有 120 多万人在交通事故中丧生，数百万人受伤或致残，2002 年全球近 50% 交通事故受害者为 15~44 岁的青壮年。世界卫生组织 2004 年 4 月 7 日组办的世界卫生日首次以“道路交通安全”为主题，提出“Road safety is no accident”（安全就是无意外事故），在随后发表的公报中宣称，全球交通事故每年造成的经济损失高达 5180 亿美元，其中发展中国家占 1000 亿美元，是它们每年获得发展援助总额的一倍。如果继续无动于衷的话，在未来的 20 年内，这个数字将增加 60%。

公报呼吁限制行车速度，严禁酒后驾车，佩带安全带、头盔以及安装儿童安全设备，加强紧急救护体系，推动设计更为安全的车辆和规定交通安全的标准。

当今的中国，交通安全问题十分严重。2003 年，全国共发生道路交通事故 667507 起，造成 104372 人死亡，494174 人受伤，直接经济损失 33.7 亿元。交通事故给人民的生命财产造成巨大损失。因此研究交通事故的发生、发展、分布规律以及特征并进行有效的控制是十分必要的。

交通安全涉及人-车-路以及与其相关环境的融合，是一个三位一体的耗散系统，只有充分地了解系统内的各个组分的特性，才能构建完整的道路交通安全系统；交通安全工程是一个 3E（教育、立法、工程，Education、Enforcement、Engineering）工程，只有通过实施教育、立法和安全工程，才能建设完善安全的交通系统。

本书根据国内外的研究成果，详细地介绍了道路交通安全系统

中人-车-路以及交通环境在交通系统中的特性以及对交通安全的影响，阐述了交通事故的发生机理，开展了交通安全系统的分析和评价，分析了交通事件检测的原理方法、检测技术和事故鉴定技术，探讨了 GIS 在交通安全领域的运用技术。根据国内目前交通事故发生的特点和各国交通安全发生的规律，本书重点展开了针对当前我国交通安全形势热点问题的分析和探讨，希望借此能够对交通安全研究、管理和教育工作的开展有所裨益，并有助于我国交通安全水平的提高。

在本书的撰写过程中，得到了许多老师、同仁的关心和指点，研究生汪旻、王兆华、梅德纯、邹庆等做了大量的文字录入编排、制图和资料收集工作，公安部交管局杨继青、李勤处长，江苏省交通厅金陵、张毅处长提供了支持和帮助。

本书撰写过程中参考了国内外大量的文献资料，限于篇幅不一列出，在此对相关参考文献的作者、编译者表示衷心的感谢！

由于编著者水平有限，书中谬误在所难免，恳请读者批评指正！

刘志强

2004 年 11 月

出版者的话

道路交通安全是一个世界性的社会问题，并受到广泛的关注。据统计，20 世纪以来，因交通事故死亡的人数已达到 2235 万人，这个数字比第一次世界大战中死亡的人数还多。交通事故已成为全世界非正常伤亡的重要因素。2004 年世界卫生日的主题是“道路安全”，提出的口号是“道路安全，防患未然”。我国作为一个发展中国家，国民经济快速发展，交通运输繁忙，截止至 2003 年，机动车保有量 96499597 辆，汽车保有量 24211615 辆，驾驶员 102781396 人，汽车驾驶员 54206819 人，公路总里程已达 180.9828 万公里，其中高速公路里程已超过 2.9745 万公里，位居世界第二位。目前，交通事故多发已成为严重影响我国社会发展和人民生活的重要因素，并引起了各级政府及社会民众的极大关注。道路交通事故约占我国交通事故死亡人数的 90%，占全国事故死亡人数的 80%。因此，道路交通安全是我国安全生产管理的重中之重。

2004 年 5 月 1 日，《中华人民共和国道路交通安全法》开始施行。为了普及推广道路交通安全新技术、新方法，我社组织编写了《现代道路交通安全技术丛书》。包括：《道路交通安全工程》，《汽车安全工程》，《汽车辅助制动装置》，《汽车安全检测技术》，《交通事故自救互救》，《道路交通标志》等。

希望这套丛书的出版有利于改善全国道路交通安全形势，使交通出行更加方便、迅捷、安全、舒适。

化学工业出版社

2005 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 全球道路交通安全状况	1
一、全球、地区和国家的交通安全状况情况估计	1
二、全球、地区和国家的趋势	3
三、道路交通伤害的人群分布	4
四、社会经济状况及居住地点	6
五、其他卫生、社会和经济方面的损失	7
六、卫生和社会损失	7
七、经济损失	8
第二节 中国道路交通安全现状	10
一、交通安全形势严峻	10
二、机动化水平低，交通事故率高	10
三、高速公路事故量大	13
第三节 安全科学基本概念	16
一、安全 (Safety)	16
二、危险 (Danger)	17
三、风险 (Risk)	17
四、安全性 (Safety Property)	18
五、可靠性 (Reliability)	18
六、交通安全	18
七、事故、事件、交通事故	19
第四节 道路安全工程的目的与内容	20
一、道路安全工程的内容	20
二、道路安全工程的作用	21
三、道路交通安全系统的组成对道路安全性的影响	24
第二章 道路因素与交通安全	28

第一节 道路安全	28
一、公路构造的基本特征	29
二、公路构造特征的安全因素	30
第二节 交通事故与道路因素	32
一、交通安全的道路因素	32
二、道路主要构成要素对安全的影响	34
第三节 道路交叉口	43
一、公路平面交叉口	43
二、道路立体交叉口	46
第三章 车辆与交通安全	53
第一节 车辆使用与交通安全	53
一、混合交通	53
二、车辆超载对路面结构的影响	54
三、爆胎	55
四、雨天	57
第二节 车辆安全性能的保证	58
一、车辆设计、制造的安全标准化	58
二、汽车构造安全化	59
三、提高被动安全性	60
第三节 先进安全车辆	61
一、欧美日先进安全汽车	62
二、ASV 设计原则	63
三、ASV 的主要内容	64
四、美国智能安全车辆设计	68
第四节 改善车辆致害因素	71
一、人体的耐冲击性与伤害标准	71
二、保护乘员空间	73
三、车体前部构造与耐冲击性能	74
四、其他方面的车体构造与耐冲击性能	75
五、乘员约束装置的保护原理	77
六、安全带和安全气囊	78
七、其他构件安全设计	81

第四章 交通安全心理	83
第一节 驾驶员的个性特征	83
第二节 驾驶信息处理	88
一、信息处理过程	88
二、注意	92
三、视觉探测	95
四、知觉与知觉判断	97
五、决策与决策时间	104
六、反应能力	111
第三节 驾驶适宜性	116
一、驾驶适宜性	116
二、驾驶适宜性的评价指标	118
三、工作能力	119
四、驾驶能力	126
第五章 安全系统分析	129
第一节 交通事故宏微观分析方法	131
第二节 事故多发点鉴别分析	136
一、事故多发点	137
二、常用道路事故多发点分析方法	138
三、事故多发点分析方法的应用	140
第三节 交叉口的交通冲突	145
一、定型交叉口交通事故模型	145
二、交通冲突方法	147
第四节 交通安全分析软件简介	153
一、交通事故再现软件 Pc-Crash	153
二、安全评价软件 SafeNET 简介	156
三、微电脑事故分析软件 MAAP	159
四、步行与自行车碰撞分析软件 PBCAT	165
第六章 交通安全评价	167
第一节 道路交通安全评价	168
一、绝对数	169
二、相对数	169

三、当量事故数与当量事故率	171
四、致死率	172
五、事故强度分析法	172
六、系统分析法	173
七、交通冲突方法	174
第二节 公路交叉口交通安全的评价	174
一、平面交叉口	176
二、立体交叉口	179
第三节 道路交通安全评价	181
一、用事故率系数线性图评价交通安全性	181
二、按安全系数图评价路线	186
第七章 道路交通事故机理	192
第一节 交通事故机理	192
一、多米诺骨牌理论	193
二、轨迹交叉论	193
三、P 理论	195
四、能量意外释放论	195
五、事故因果连锁	196
六、事故致因综合分析方法	196
七、系统方法	197
第二节 事故频发倾向理论	198
一、事故倾向性	198
二、证明事故倾向性存在的方法	200
三、事故趋势理论的数学基础	205
第八章 事故鉴定分析技术	209
第一节 碰撞简述	209
一、碰撞类型	209
二、碰撞的基本原理	211
第二节 碰撞分析	217
一、偏心正碰撞	217
二、正面碰撞	219
三、追尾	225

四、台球式追尾	229
五、侧面碰撞	231
六、翻滚路面外	238
七、柱子碰撞	239
八、翻滚	240
九、车辆火灾	241
十、废气中毒死亡	244
十一、摩托车事故	248
十二、自行车事故的碰撞速度	250
十三、行人事故	251
第九章 GIS 在交通安全中的运用	256
第一节 地理信息系统	256
第二节 交通地理信息系统	263
第三节 GIS-T 在交通安全中的应用	267
一、GIS-T 在交通安全中的应用	267
二、交通安全 GIS 系统设计	272
三、GIS-T INTERFACE 简介	277
第十章 交通事件检测技术	281
第一节 交通事件检测系统	282
一、事件检测方法	282
二、AID 系统框架的构成	283
三、评价指标	284
第二节 事件的检测	286
一、检测系统的功能及结构框架	286
二、交通流预测模块	287
三、事件确定与评估模块	291
四、智能控制模块	292
第三节 交通信息采集技术	293
一、常用交通参数采集技术	293
二、固定交通检测器空间布置方法分析	297
第四节 事件的算法	300
一、概述	300

二、交通事件自动检测经典算法	301
三、交通事件检测算法比较	307
第十一章 道路交通安全管理	309
第一节 交通安全理念	309
一、交通安全管理	309
二、交通安全理念	311
第二节 国外交通安全管理	313
一、美国道路交通管理体制	313
二、英国道路交通管理体制现状	318
三、德国道路交通管理体制	319
第三节 日本道路交通现状及对策	320
一、交通安全形势	320
二、交通安全对策	321
三、实施交通安全教育	322
四、对老龄驾驶员的措施	322
五、驾校、驾照	323
六、警察的智能交通系统 (ITS)	324
七、改善交通事故多发地点的道路交通环境	326
八、考虑环境问题的交通管理方法研究	327
九、综合停车对策的推进	328
十、加强对严重交通违章行为的执法力度	328
十一、确保高速公路上交通的安全和畅通	329
十二、交通事故调查取证的高度化、合理化和推进交通事故受 害人对策	329
第四节 道路交通安全对策	330
一、开展道路交通安全宣传教育	330
二、道路安全目标 (Road-Safety Target)	332
三、安全审核 (Safety Audit)	333
四、宽恕的交通设计 (Sustainable Safe Traffic)	334
五、运输信息技术的应用 (Applied Transport Telemetric , ATT) ...	335
六、道路交通事故紧急救援系统	336
七、伤害监测系统	337
参考文献	339

自从 1885 年 1 月 29 日德国人本茨研制成功世界上第一辆汽车后，给人们带来了数不尽的生活便利、经济效益和社会繁荣。然而，它又引发出接连不断的人为灾害，使人类蒙受了难以计数的损失。

在发明汽车之前，道路交通伤害只涉及到马车、推车、动物和人。自从小客车、大客车、卡车和其他机动车开始普遍使用以后，道路交通伤害则呈指数增加。纽约市记录的第一起与机动车相关的伤害是 1896 年 5 月 30 日，伤者是一位骑自行车者；同年 8 月 17 日伦敦记录了首例行人与机动车碰撞死亡事件。至 1997 年为止，道路交通事故死亡累计总数估计已达 2500 万人。

第一节 全球道路交通安全状况

一、全球、地区和国家的交通安全状况情况估计

2002 年有 118 万人死于道路交通伤害，平均每天死亡 3242 人。道路交通伤害死亡占全球死亡的 2.1%，是全球的第 11 位死因，但目前各国政府却将更多的精力和资金放在疾病的治疗上而不是放在解决道路安全问题上（见表 1-1）。

表 1-1 全球用于重点课题的研究和开发经费（估计值）

疾病或伤害	美元/百万	1990DALYs ^① 序次	2020DALYs 序次
HIV/AIDS	919~985	2	10
疟疾	~60	8	—
腹泻病	~32	4	9
道路交通伤害	24~33	9	3
结核病	19~33	—	7

① DALYs 伤残调整寿命年。

除了死亡，估计每年因道路交通事故受伤者达 2 千万~5 千万人。道路交通伤害估计损失了 3840 万伤残调整寿命年，占有疾病和伤害 DALYs 的 2.6%。道路交通伤害成为全球疾病和伤害负担的第 9 大原因。

道路交通伤害死亡率在不同地区和同一个地区的不同国家中都不相同（见图 1-1）。总的来说，中等收入和低收入国家的道路交通事故死亡率要比高收入国家的高。2002 年中等收入和低收入国家道路交通伤害死亡占全球所有国家道路交通事故死亡的 90%。

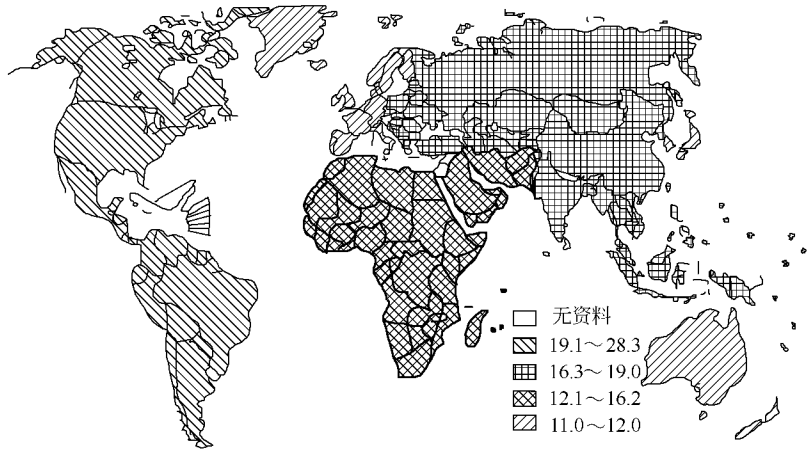


图 1-1 WHO 地区道路交通事故伤害的死亡率（每 10 万人）（2002 年）

二、全球、地区和国家的趋势

尽管各国的道路交通伤害的情况很不相同，甚至同一地区的各个国家也不相同，但从 20 世纪六七十年代开始，道路交通事故死亡率高收入国家已经开始下降。例如在北美洲，1975~1998 年期间，每 10 万人口的道路交通事故死亡率在美国下降 27%，加拿大则下降了 63%。与此同时，在中等收入和低收入国家道路交通伤害死亡率则大幅度升高。各国的情况仍然相差很大，1975~1998 年，亚洲的道路交通伤害死亡率在马来西亚上升了 44%，而在中国则上升了 243%。

研究结果预测表明，除非采取有效的干预行动，否则在中等收入和低收入国家中道路交通伤害死亡率增长的趋势仍会继续。因而在未来 20 年中全球每年的道路交通伤害死亡数将急剧上升。研究预测从 1990~2020 年将发生下列变化。

① 在全球主要死因排序中，道路交通伤害将上升为第 6 位原因。

② 在损失的伤残调整寿命年 (DALYs) 中，道路交通伤害将上升为第 3 位原因。

③ 在中等收入和低收入国家，道路交通伤害的伤残调整寿命年 (DALYs) 将上升为第 2 位原因。

④ 全球道路交通伤害死亡人数将从 99 万增加到 234 万 (占有死亡的 3.4%)。

⑤ 在中等和低收入国家，道路交通伤害死亡平均将上升 80%，而在高收入国家中则将下降约 30%。

⑥ 道路交通伤害所损失的 DALYs 将从 3430 万上升为 7120 万 (占全球疾病负担的 5.1%)。

表 1-2 显示了世界银行的有关交通死亡和经济增长的研究结果。2000~2020 年，在高收入国家预计每年道路交通伤害死亡率将下降 27%，在中等收入和低收入国家集中的 6 个地区中，预计每

表 1-2 1990~2020 年预测各地区车祸调整死亡率

地区 ^①	国家数	1990	2000	2010	2020	变化/%	死亡率	
							2000~2020 (死亡数/10 万人口)	
							2000	2020
东亚和太平洋地区	15	112	188	278	337	79	10.9	16.8
东欧和中亚	9	30	32	36	38	19	19.0	21.2
拉丁美洲和加勒 比地区	31	90	122	154	180	48	26.1	31.0
中东和北非	13	41	56	73	94	68	19.2	22.3
南亚	7	87	135	212	330	144	10.2	18.9
撒哈拉以南非洲 地区	46	59	80	109	144	80	12.3	14.9
小计	121	419	613	862	1124	83	13.3	19.0
高收入国家	35	123	110	95	80	27	11.8	7.8
合计	156	542	723	957	1204	67	13.0	17.4

① 参照世界银行区域分类。

年道路交通伤害死亡率将增加 83%。

三、道路交通伤害的人群分布

图 1-2 所示为部分国家不同道路使用者道路交通伤害死亡分布情况。行人、骑自行车者、骑助动车和摩托车者是最弱势的道路使用者。在中等收入和低收入国家，他们是主要的道路使用者，并且是道路交通伤害死亡的主要受害者。在高收入国家，汽车拥有者和驾驶员是主要的道路使用者，他们占道路交通伤害死亡的大部分。然而，即使是这样，行人、骑自行车者和驾驶助动车和摩托车者每公里旅程死亡的危险性仍高出很多。

图 1-3 所示为全球不同性别和年龄道路交通伤害死亡分布情况。在各年龄组中男性均多于女性。2002 年男性的道路交通伤害死亡率为 27.6/10 万，女性为 10.4/10 万。男性占总死亡的 73%，

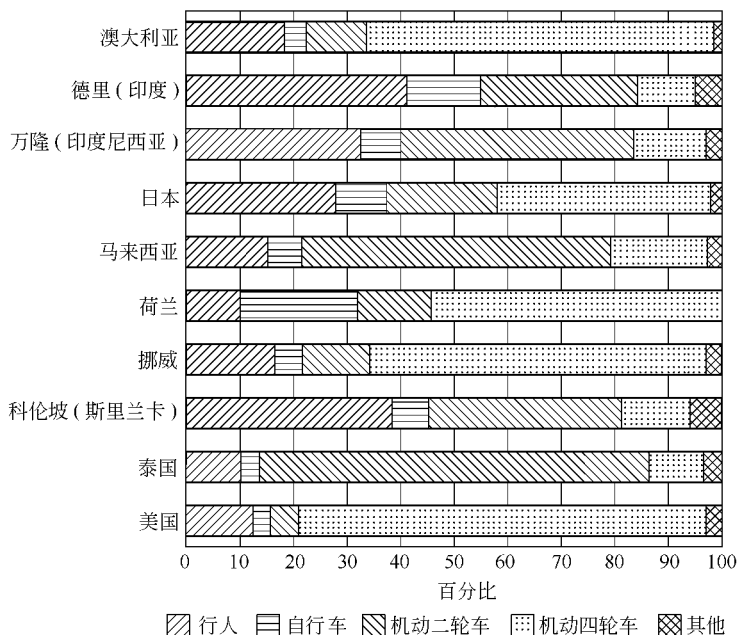


图 1-2 部分国家不同道路使用者道路交通伤害死亡分布情况

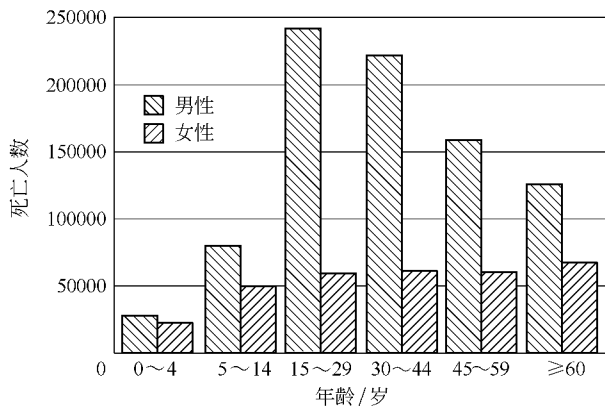


图 1-3 按性别和年龄分的全球道路交通死亡人数 (2002 年)

占道路交通伤害所损失 DALYs 的 70%。

2002 年 15~44 岁年龄组的人因道路交通事故死亡人数占全球道路交通事故死亡人数的一半以上，占道路交通伤害总损失 DALYs 的 60%。在高收入国家每 10 万人口车祸死亡率以 15~29 岁年龄组为最高，但在中等收入和低收入国家中，车祸死亡率最高的是 60 岁和 60 岁以上年龄组的人，这些国家中儿童的道路交通事故死亡率要比高收入国家高得多。

2002 年有 193000 多名 60 岁及以上的人死于道路交通伤害。在中等收入和低收入国家中每 10 万人口的年龄死亡率以 60 岁及以上人群为最高；在机动车碰撞的伤害中，年纪大的人因为不容易恢复，所以他们的要比年轻人更容易死亡或造成严重残疾。

联合国人口预测表明，在未来 30 年内，60 岁及以上年龄组所占的比例在所有国家都将大大增加。老年人是道路交通伤害死亡和重度创伤的弱势人群，这将成为全球日益关注的问题。

四、社会经济状况及居住地点

一些研究表明，社会经济地位较低的人群受到各种各样伤害的危险性更高，这也包括交通伤害。在交通伤害案例中，可能这些人更多地暴露于道路交通伤害的危险之中。例如 2002 年在肯尼亚的一个调查发现，未受过正规教育的人群中，有 27% 的人每天步行往返上班，55% 的人乘坐公共汽车或小巴，只有 8% 的人使用私人汽车。相反，受过中等教育的人群中，有 81% 的人驾驶私人汽车，19% 的人乘坐公共汽车，没有人步行。

人们的居住地同样也影响着道路交通伤害的暴露危险。一般来说，居住于城市的人更容易遭遇道路交通伤害；但居住于农村的人，如果他们遭到了道路交通伤害则更容易死亡或严重受伤，其中一个原因就是农村地区的机动车速度可能更快。在许多中等收入和低收入国家中，当新建的高速公路经过居民社区时，人们就处在暴露于道路交通伤害的新的危险之中。

五、其他卫生、社会和经济方面的损失

估计道路事故和伤害的损失可以帮助各国了解道路事故和交通伤害问题的严重性，并认识到投资于各种预防道路事故和伤害措施的好处。经济损失的估计应该考虑到直接和间接的损失。直接损失至少应包括提供卫生保健和康复费用，间接损失应包括家务损失、幸存者收入损失和提供护理损失以及亲属的收入损失等。

许多高收入国家每年都进行道路事故和伤害损失的估计，这种估计包括了收入的损失、健康护理费用和财产损失以及管理费用（如警察、法院及保险公司的花费）和旅行延误。健康护理和康复费用在重度创伤的情况下可能是非常昂贵的；此外，通常损失还应该包括幸存者及其家庭成员的心理紧张和痛苦经历所造成的精神上的无形损失。

六、卫生和社会损失

2002 年 WHO 的全球疾病负担研究显示，在那些需要就医的重度创伤中，几乎 1/4 有脑部创伤，1/10 有开放性伤口，在其他种类的创伤中骨折占大多数。研究表明，无论在高收入国家还是中等收入和低收入国家，道路交通伤害都是造成脑外伤的首要原因。

一项综合多个调查的研究发现，在中等收入和低收入国家的创伤住院病人中，道路交通伤害占 30%~86%。综合 15 个研究的报道，道路交通伤害的平均住院天数为 20 天。道路交通事故伤员占所有伤害就医者的 13%~31%，占 48% 的外科病床，而且进行手术治疗和重病房特别护理病房最多。放射线科、理疗和康复治疗增加的工作量也大多归因于道路交通伤害。许多中等收入和低收入国家无法像高收入国家那样为道路交通伤害伤员提供周到的医疗保健服务。

最近的一项研究发现，2000 年在美国发生了 527 万起非致命的道路交通伤害，其中 87% 为轻度损失，治疗这些伤害花费了 317

亿美元，给公共卫生服务和道路交通伤害伤亡者及其家属造成了极大的经济负担。每个严重创伤（包括脑和脊髓损伤）的平均花费高达 332457 美元。

除了医疗保健和康复费用，伤者还要承担其他花费。永久性残疾，例如截瘫、四肢瘫痪、失明或脑损伤会使人丧失取得任何成功，哪怕是微小成功的能力，因此他们只能依赖别人的经济支持和日常生活照顾来生活。轻度损伤则可能导致慢性疼痛，并长期妨碍伤者的身体活动。与永久性毁容相关的严重烧伤、擦伤和裂伤还会导致心理和情感上的伤害。

在欧盟国家每年有 4 万多人死于车祸，并有 15 万多人终生残疾。将近 20 万家庭因道路交通伤害而丧失亲人或留下了残疾的家庭成员。为了照顾一个残疾的家庭成员，至少要有一个不能从事其他活动（包括工作），这样，又增加了家庭收入上的损失。1993 年的一项研究发现，90% 因道路交通伤害丧生的家庭和 85% 因道路交通伤害致残的家庭表示他们生活质量明显下降。许多幸存者及其家庭成员有头痛、噩梦与睡眠障碍及一般健康问题，在发生车祸后的 3 年之中这些情况没有明显改善。另外一个随访调查发现，道路交通伤害幸存者及其家庭对刑事诉讼与民事诉讼获得的赔偿、所得到的保险以及信息和支持都不满意。

在所有国家，家庭收入方面的损失和丧葬的花费以及对残疾人的长期照顾使遭受道路交通伤害的家庭陷于贫困境地。儿童们所遭受到的打击最大，例如在墨西哥，因道路交通伤害丧失父母是孩子们成为孤儿的第二大原因。

七、经济损失

1. 各国的损失

运输研究实验室（Transportation Research Lab，即现在的 TRRLtd.）调查了 21 个低、中、高收入国家的道路交通伤害资料，并做出了道路交通伤害损失的粗略估计，低收入国家的道路交

通伤害损失平均为其 GNP 的 1%，中收入国家为 1.5%，高收入国家为 2%。

TRL Ltd. 应用这个平均比例对 GNP 进行估算，1997 年全球道路交通伤害损失为 5180 亿美元，高收入国家占 4530 亿美元，中等收入和低收入国家虽只占 650 亿美元，但这比他们所接受的开发援助资金还要多（见表 1-3）。

表 1-3 不同地区车祸的经济损失

地区 ^①	国民生产总值 (GNP)1997 /10 亿美元	每年车祸的经济损失(估算值)	
		占 GNP 的比例/%	经济损失/10 亿美元
非洲	370	1	3.7
亚洲	2454	1	24.5
拉丁美洲及加勒比地区	1890	1	18.9
中东	495	1.5	7.4
中欧和东欧	659	1.5	9.9
小计	5615		64.5
高度机动化国家 ^②	22665	2	453.3
合计			517.8

① 显示的数据是根据英国交通研究实验室的地区分类。

② 澳大利亚、日本、新西兰、北美和西欧国家。

关于特定地区或国家的其他研究做出的估计如下。

① 欧盟国家每年道路交通伤害损失为 1800 亿欧元，是这些国家每年所有活动预算的两倍。

② 美国的道路交通伤害损失约为每年 2306 亿美元，即 GNP 的 2.3%。

③ 20 世纪 90 年代的一些研究估计英国道路交通伤害损失为国内生产总值（GDP）的 0.5%，瑞典为 0.9%，意大利为 2.8%；11 个高收入国家道路交通伤害损失平均为 GDP 的 1.4%。

④ 2000 年南非因道路交通伤害损失了 20 亿美元。

⑤ 1999 年我国的道路交通伤害导致损失 1260 万潜在生产寿命

年，估计价值为 125 亿美元，几乎相当于我国每年卫生经费预算的 4 倍。

2. 家庭的损失

在道路交通事故死亡人数中，15~44 岁年龄组占一半以上，73% 死者为男性。该年龄段正是创造财富最多的时候，当他们因车祸死亡或残疾时，他们的家庭就会发生经济问题。最近在孟加拉国的一项研究发现，在道路交通伤害死亡中非贫穷家庭的户主占 21%，贫穷家庭的户主占 32%。

第二节 中国道路交通安全现状

近年来，随着机动车辆保有量的增加，交通事故有愈演愈烈的趋势。2002 年，我国公安交通管理部门共受理交通事故案件 773137 起，因道路交通事故造成 109381 人死亡，562074 人受伤，造成直接经济损失 33.2 亿元。因交通事故而死亡的人数、10 万人死亡率等指标近年来持续攀高。

一、交通安全形势严峻

中国是世界上交通事故发生最严重的国家之一。2001 年交通事故的死亡人数已经超过了 10 万人，我国交通事故情况统计见表 1-4。统计表明，在中国交通事故中受伤人数与交通死亡人数的比例为 (5 : 1) ~ (6 : 1)。

二、机动化水平低，交通事故率高

国际经济合作和发展组织 (OECD) 的研究报告表明，发达国家 (这里指 OECD 成员国) 的交通事故和机动化水平与亚洲和其他发展中国家相比较，亚洲国家的机动化水平最低，但交通事故率

表 1-4 我国交通事故情况统计

年 份	次 数	死亡人数	受伤人数	万车死亡率	10 万人口死亡率
1970	55437	9654	37128	227. 63	1. 16
1975	91606	16862	71776	183. 86	1. 82
1980	116692	21818	80824	104. 47	2. 21
1985	202394	40906	136829	62. 39	3. 89
1990	250297	49271	155072	33. 38	4. 31
1995	271843	71494	159308	22. 48	5. 9
1998	346129	78067	222721	17. 30	6. 25
1999	413000	83500	286100	15. 45	6. 68
2000	617000	93900	412900	15. 65	7. 52
2001	755000	105900	545400	15. 46	8. 48
2002	773137	109381	562074	13. 71	8. 79
2003	667507	104372	494174	10. 81	8. 08

注：1. 1994~1998 年间中国的人口虽然在继续增长，但是增长的幅度已经大大降低，而机动车数量保持强劲增长，1998 年比 1994 年增长了 67.42%。

2. 当世界各发达国家的事故数、死亡人数及受伤人数都保持下降趋势时，中国的各类数据却延续了增长的势头，且增长的幅度较大，1998 年与 1994 年相比，三者分别增长了 36.5%、17.6%与 49.7%，这样的增长率即使与同为发展中国家的印度相比也要高出许多，这说明中国的道路交通事故还处于高速增长时期。

最高（见图 1-4）。

对比中、美、日、韩、印的交通事故的走势有较现实的意义。作为发达国家的日本，已经开始实施有关项目以解决国内的交通安全问题。从 1985~1999 年中、印、日三国（见图 1-5）交通事故的对比可以看出同为人口大国、发展中国家的中、印两国交通事故呈上升趋势，随着两国机动化水平（估计中国机动化水平增长率高达 16%）的提高，如果不对道路安全项目进行改进，这种趋势将一直继续下去。美、日、欧盟等具有很大的机动车保有量、道路密度大的国家，多年来道路交通事故持续下降，车辆事故率及里程事故率均持续下降，一些主要西方国家的交通事故率也呈现持续下降的趋

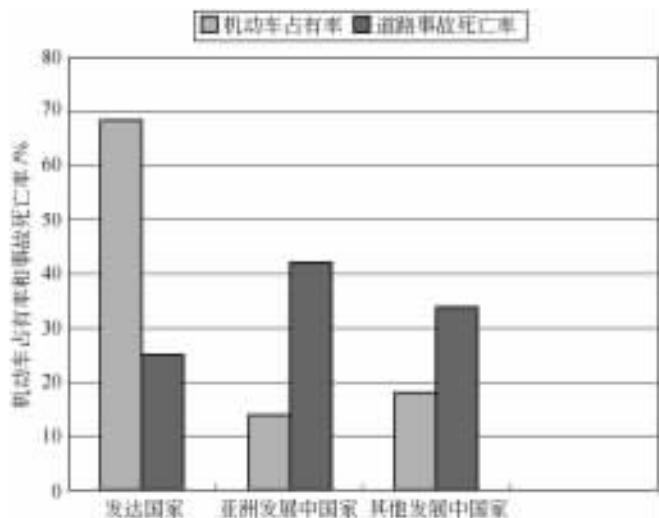


图 1-4 世界部分地区机动车占有率/事故死亡率

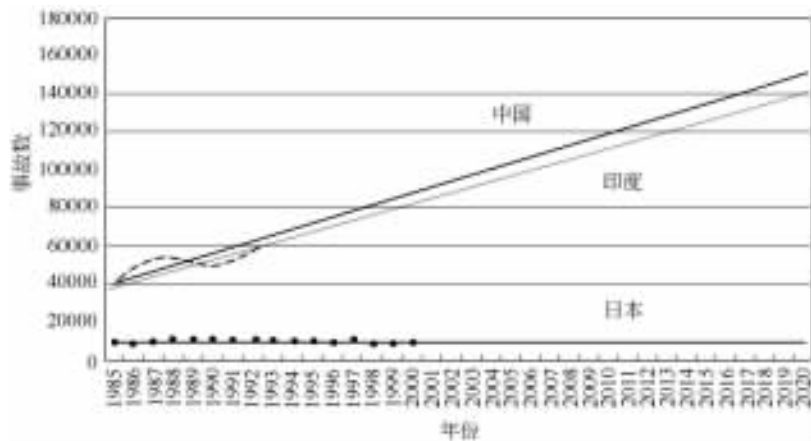


图 1-5 中、印、日交通事故死亡人数统计表

注：资料来源：OECD, ESCAP, IRF and World Bank

势。1985~1999 年同期日本则将交通事故死亡人数控制在 1 万人左右的水平上（见表 1-5）。

表 1-5 中、美、欧道路交通事故比较（2000 年）

项 目	中 国	欧 盟	美 国
面积/ 10^4km^2	960.0	237.3	936.3
人口/万人	126583	35410.5	27513.0
机动车/万辆 （汽车/万辆）	6243.6 (1763.6)	20780.4	21702.8
机动化水平/辆·千人 ⁻¹	46.6(12.8)	586.8	788.8
道路长度/ 10^4km	140.27	353.4	633.5
死亡人数	101.361	38.349	41.821
十万人口死亡率/%	8.01	10.8	15.2
万车死亡率/%	16.23(57.47)	1.84	1.93
百万公里死亡率/%	7.22	1.08	0.66
资料来源	公安部	IRIAD	IRTAD

在过去的几十年里，高度机动化国家的基本指标显示（见图 1-6），其道路安全状况不断改善。在所有的高度机动化国家，1986~1996 年期间交通死亡人数下降了 10%，尽管同期美国的机动化水平提高了近 15%，其他高度机动化国家的机动化程度也提高了近 27%。

三、高速公路事故量大

作为一个新的路面形态，高速公路发生的交通事故不容忽视。到 2003 年末，全国高速公路总里程 25000 公里，2001 年高速公路交通事故 24565 起，造成 3147 人死亡，9978 人受伤，相当于每一公里发生 1.2 起事故，约每 6 公里就有一人死亡。近几年来该状况一直没有改善，如果要以生命换取速度的话，这样的代价就太大了。

与国外相比，我国高速公路交通安全状况仍有较大差距。在道路交通安全方面，日本在发达国家中一直处于中间水平，其高速公

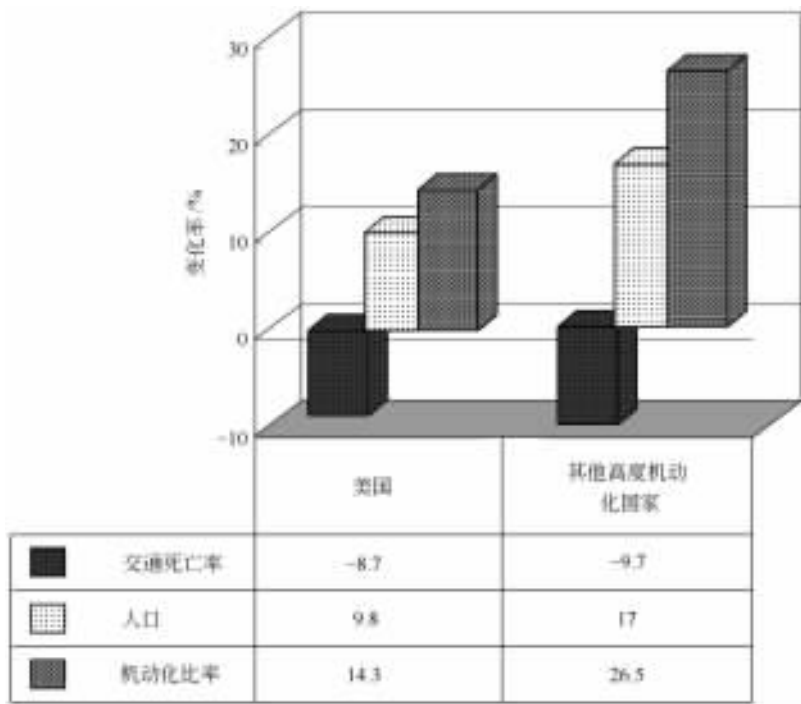


图 1-6 高度机动化国家交通趋势图 (1986~1996 年)

路亿车公里事故率 20 世纪 80 年代中后期在 50~60 件之间, 20 世纪 90 年代初略有反弹。

美国是高速公路最多、路网最发达、设备最完善的国家, 美国公路总里程 626.4 万公里, 其中高速公路发展迅速总长度达 83956 公里, 截止 1987 年占全世界高速公路的 2/3, 美国高速公路系统承担全国公路运输任务的 21% 以上, 各大城市之间都有州际高速公路相通。由于有完善的安全设施和管理措施, 州际高速公路每年可减少车祸丧命者 8000 人及受伤者 50 万人, 因此减少 20 亿美元车祸费、汽车修理费及医药费。

据统计, 各国高速公路的交通事故率和死亡率分别只有一般公

路的 1/3 和 1/2（见表 1-6）。日本高速公路交通事故死亡人数仅为普通公路的 1/40，负伤人数为 1/62。美国 1980 年在一般公路上交通事故死亡人数为 51153 人，平均每亿车公里死亡 2.1 人（该指标近几年没有变化），而高速公路的死亡人数为 4643 人，平均每亿车公里仅 1 人，减少了一半。英国 1981 年高速公路的事故率仅为一般公路的 1/10。

表 1-6 世界主要工业国的高速公路事故状况

国家	美国	德国	法国	意大利	日本
高速道路总里程/km	88500	11200	9140	8860	6879
高速公路总里程/km	52582	11190	6317	6397	5908
交通量/亿车 km	3594	1809	543	696	634
事故数/起	53081	25500	2161	10880	6761
事故死亡/人	2691	978	310	745	354
事故率/起·亿车 km ⁻¹	15.3	14.1	4.2	16.0	10.7
死亡率/人·亿车 km ⁻¹	0.75	0.54	0.57	1.07	0.56

中国高速公路亿车公里事故率指标与日本相当（见表 1-7），与美国、法国仍有差距。但从亿车公里死亡率来看，我国则明显高于日本。从 20 世纪 80 年代至 20 世纪 90 年代，日本高速公路亿车公里死亡率均在 0.5~0.8 人之间波动，而我国几乎是日本的 10 倍。我国建成较早的沈大高速公路 1993 年的交通事故的致死率为 28%，而同期 202 国道的交通事故的致死率仅为 16%。其主要原

表 1-7 1997 年中国高速公路与普通公路的事故比较

指标 路面	事故数/起	死亡/人	受伤/人	公路里程/km
高速公路	9035	1182	3190	4771
普通公路	295182	72679	186938	1221734
全部公路	304217	73861	190128	1226505

指标 路面	事故率 /起·km ⁻¹	死亡率 /起·km ⁻¹	受伤率 /起·cm ⁻¹	公路里程 /km
高速公路	1.8914	0.248	0.669	4771
普通公路	0.242	0.059	0.153	1221734
全部公路	0.248	0.060	0.155	1226505

因除常规原因以外，还包括重特大事故比例较大和事故救援体系不完备等高速公路交通安全管理上特有的原因。

第三节 安全科学基本概念

一、安全（Safety）

绝对安全观——安全指没有危险，不受威胁，不出事故，即消除能导致人员伤害，发生疾病、死亡或造成设备财产破坏、损失以及危害环境的条件。

绝对安全观在现实生产系统中是不存在的，它是安全的一种极端理想的状态。由于绝对安全观过分强调安全的绝对性，使其应用范围受到了很大地限制，因此产生了与其相对应的人们现在普遍接受的相对安全观。

相对安全观——安全是相对的，绝对安全是不存在的。“安全就是被判断为不超过允许极限的危险性，也就是指没有受到损害的危险或损害概率低的通用术语”，“所谓安全是指判明的危险性不超过允许限度”。

① 安全是指人类控制对自身利益威胁的能力，是在具有一定危险性条件下的状态，安全并非绝对无事故。

② 事故与安全是对立的，但事故并不是不安全的全部内容，

而只是在安全与不安全这一对矛盾斗争过程中某些瞬间突变结果的外在表现。

③ 安全不是瞬间的结果，而是对系统在某一时期，某一阶段过程状态的描述。

④ 这里所讨论的安全是指生产领域中的安全问题，既不涉及军事或社会意义的安全与保安，也不涉及与疾病有关的安全。

⑤ 安全是相对的，绝对安全是不存在的。

⑥ 构成安全问题的矛盾双方是安全与危险，而非安全与事故。因此，衡量一个生产系统是否安全，不应仅仅依靠事故指标。

⑦ 不同的时代，不同的生产领域，可接受的损失水平是不同的，因而衡量系统是否安全的标准也是不同的。

综上所述，安全是指在生产活动过程中，能将人或物的损失控制在可接受水平的状态，即安全意味着人或物遭受损失的可能性是可以接受的，若这种可能性超过了可接受的水平，即为不安全。

二、危险 (Danger)

作为安全的对立面，可以将危险定义为：危险是指在生产活动过程中，人或物遭受损失的可能性超出了可接受范围的一种状态。危险与安全一样，也是与生产过程共存的过程，是一种连续型的过程状态。危险包含了尚未为人所认识的以及虽为人们所认识但尚未为人所控制的各种隐患。同时，危险还包含了安全与不安全一对矛盾斗争过程中某些瞬间突变发生外在表现出来的事故结果。

三、风险 (Risk)

风险是描述系统危险程度的客观量。

① 把风险看成是一个系统内有害事件或非正常事件出现可能性的量度。

② 把风险定义为发生一次事故的后果大小与该事故发生概率的乘积。

一般意义上的风险具有概率和后果的二重性 $R=f(p, c)$ 。为简单起见,大多数文献中将风险表达为概率与后果的乘积 $R=pc$ 。

四、安全性 (Safety Property)

从系统的安全性能讲,安全性为衡量系统安全程度的客观量。

与安全性对立的概念是描述系统危险程度的指标——风险(又称危险性)。

假定系统的安全性为 S ,危险性为 R ,则 $S=1-R$ 。

五、可靠性 (Reliability)

可靠性——系统或元件在规定条件下、规定时间内,完成规定功能的能力。

六、交通安全

(一) 定义

交通参与者在交通出行中遵守交通法规,避免发生人身伤亡或财产损失的过程,其主要内容如下。

- ① 管理和检查城市交通工具的安全状况。
- ② 考核、稽查与纠正驾驶人员的技术素质和不安全因素。
- ③ 清除路障和布设城市道路安全设施。
- ④ 城市交通事故处理及交通安全的宣传教育等。

(二) 交通安全三要素

人、车辆、道路环境。防止交通事故,保障交通安全,要求人、车辆和道路环境三方面均安全可靠。

- ① 驾驶员驾驶技术熟练、经验丰富、注意力集中。
- ② 车辆的结构性能和技术状况良好。
- ③ 道路环境条件满足安全行车的要求。

(三) 3E 安全对策

为了保障城市交通安全,可以从工程措施 (Engineering)、执法

管理（Enforcement）和安全教育（Education）三方面采取措施。

1. 工程措施

① 改进汽车设计。

② 采用耐撞击的车身结构、安全玻璃、安全带、气囊、靠枕、防滑轮胎、灵敏可靠的制动器、变光灯和安全油箱等。

③ 改善道路设计，在城市道路两侧设人行道；尽量避免形成多于4路相交的复杂交叉口。

④ 必要时封闭与干线街道相交的某些横向街道，修建环岛或立交道口等。

⑤ 修建安全设施，如设人行横道、修建人行过街天桥或人行过街地道，安装信号灯和安全监测设备设立护栏、设置交通安全标志等。

2. 执法管理

① 制订和严格执行交通法规。

② 制订驾驶员甄选标准，对驾驶员实行考核，颁发驾驶执照，加强对驾驶员的管理。

③ 拟定车辆检验标准，办理车辆牌照，严格车辆管理；控制车辆进入道路的数量。

④ 限制车速，将无法达到某种车速的车辆分离出去，不允许车速超标。

⑤ 按车流分布规律组织交通；纠正违法，维护正常交通秩序。

3. 安全教育

主要采用学校教育和社会教育两种形式，学校教育是对在校学生进行交通法规、交通安全和交通知识教育，社会教育是通过报刊、广播、电视、广告等方式广泛宣传交通安全的意义和交通法规，同时对驾驶员定期进行专业技术知识、守法思想、职业道德、交通安全等方面的教育。

七、事故、事件、交通事故

事故指未曾预料而发生的，造成人员伤亡、健康损失、财产损

失、环境和商业机会损失的事件。造成重大损失的事故，也称为灾害。

事件（event）指概率意义的所有事件；事故（accident）、事变（incident）仅限于其随机事件。事件不一定“发生了”某种恶性后果，而事故指某种恶性后果已经发生，事变指某种恶性后果正在发生。

交通事故：指车辆在道路上因过错或意外造成的人身伤亡或者财产损失的事件（《中华人民共和国道路交通安全法》，2003年10月28日）。

第四节 道路安全工程的目的与内容

一、道路安全工程的内容

交通安全工程是运用系统工程的原理和方法对道路交通系统中的安全问题进行定量和定性地分析、评价和预测，并采用综合安全措施予以控制，使道路交通系统产生交通事故的可能性降低到最低限度，从而达到系统最佳安全状态的技术和方法。

① 发现交通事故隐患；预测、分析由于交通事故隐患和人的失误可能引起的危险。

② 制订和选择交通安全措施、方案，进行交通安全决策。

③ 组织并实施交通安全措施、方案。

④ 对交通安全措施的实施效果进行评价。

⑤ 改进交通安全措施，以求得最佳的效果。

交通安全系统工程的任务包括安全系统分析、安全系统评价和安全系统管理三个方面的内容。

1. 安全系统分析

安全系统分析是交通安全系统工程的核心，通过对交通事故的发生原因、概率及各种隐患表现的定性或定量分析，可以充分识别

系统的安全性和危险性。其目的在于：找出引发事故的因素及其不同的组合形式；把握道路交通系统的安全薄弱环节；寻求预防事故发生各种途径；并为安全评价和安全控制提供依据。

2. 安全系统评价

在安全系统分析的基础上，通过事故指标、隐患指标及风险指标等，对道路交通系统的整体安全性、交通安全管理的薄弱环节等进行的比较和评价。根据评价结果可选择确定保证系统安全的技术路线和投资方向，拟定安全工作对策。

3. 安全系统管理

经过系统安全分析和评价，在了解掌握系统安全薄弱环节的基础上，对系统所实施的全员、全要素、全过程的安全管理，包括安全总体管理、安全重点管理和安全事后管理。与主要凭经验的传统安全管理相比，安全系统管理在全面、动态和定量安全管理方面向前迈出了一大步，更具有预见性和科学性，其防范措施的效果更为显著。道路安全工程的具体内容包括表 1-8 中所列的各项。

二、道路安全工程的作用

国外对道路安全工程的作用给予了充分地肯定。交通事故中与道路因素有关的事故至少占事故总数的 28%~34% 以上，即使是由人的因素导致的事故，许多时候也受到道路与交通环境的影响。因此，各主要工业化国家都制订了以道路安全工程为主要内容的综合安全计划，以期减少事故灾害。

美国联邦公路局（Federal Highway Administration）建立了道路安全管理系统，包括：建立系统的、综合的安全管理方法；鉴别和研究危险或潜在危险的道路位置、特征，并提出建议采取的措施；保证在道路建设计划和项目中尽早地考虑安全；在道路规划、设计、建造和运营中确定道路特殊用户（如小学生、残疾人等）的安全要求；道路安全设施和道路要素的日常养护和改善。

表 1-8 道路安全工程的内容

分 类	内 容	分 类	内 容
事 故 研 究与预防	及时、准确地处理数据	道路设计	良好的视线诱导
	分析人、车、路的影响		均衡的几何线形
	事故前、事故中、事故后的防 治措施		安全的路面表面
整治措施	经济合理的措施		视距的保证
	减轻伤亡的措施		减少、分离或消除冲突点
	长效的措施		防止眩光和驾驶员分心
评价	全面的历史数据	交通管理	明确的意义
	合适的评价对象		良好的可视性
	合理的统计方法		有效的监控
路侧安全	视距范围的清除	交 通 控 制设施	最合适的设施
	固定物的保护		考虑所有道路用户的利益
	易折杆(柱)的采用		减少冲突和相对速度
运 输 与 交通规划	人车分离或改变道路环境	交通标线	在任何条件下都可见
	公交优先		特别要考虑不符合标准的位置
	道路功能分级与土地开 发利用相适应	施工区	保证高标准的养护
交通标志	设置必要的标志		引导道路用户安全地绕行或 通过施工区
	给所有的道路用户一个明确 的信息		提前给出警告和指示
	保证标志自身不产生安全问题		特别注意设置临时标志标线

美国联邦运输部（US Department of Transportation）1991 年提出的 11 项优先采取的措施中有 6 项属于道路安全工程范围，包括人行设施、信号灯与交通标志标线改善、施工区安全、不安全的设施杆的迁移、事故多发位置鉴别与整治和通道改善，指定由道路安全工程师负责。

英国运输部（UK Department of Transport）在 1987 年建立

了道路安全战略目标：与 1981~1985 年的平均水平相比，到 2000 年道路事故伤亡人数减少 1/3，并以立法的形式开展以下工作：建立一个推进道路安全的计划；深入研究道路事故并提出预防措施；对建设中的道路和新建项目实施安全评价以减少事故的可能性，并指出道路交通方面的事故防治研究在减少事故方面是最有效的方法。

澳大利亚新南威尔士公路局则指出：道路交通控制系统的开发应用（如信号灯、标志标线等）可以给道路用户带来安全。几乎所有的交通工程和管理措施都会影响人的行为，因此，是整个道路安全战略中的重要部分。

道路安全工程在中国的应用具有更重要的意义，其作用体现在以下几个方面。

（一）将影响安全的道路与交通环境因素作为一个系统，综合地加以研究

尽管我们一直强调交通安全的“综合治理”，但在实践中由于行政管理体系的条块分隔，始终难以实现真正的“综合治理”，交通安全基本上由交警部门负责，预防措施主要是安全法规教育和加强管理，整治措施以违章处罚为主。道路安全工程的实施将涉及道路交通中的规划、设计、施工和养护管理机构，交通执法与事故处理机构，道路与交通研究机构等。

（二）道路安全工程使道路交通事故的评价、分析更为全面客观

过去，由于事故处理的需要，事故的原因绝大多数会归结到人，除了对一些事故特别严重的地方交警会提请公路部门注意外，一般道路上的安全缺陷是很难纠正的。道路安全工程可以使道路交通部门更多地参与事故分析、研究和整治，使事故的成因分析更为客观、全面，使整治措施更加合理、有效。

（三）道路安全工程可大大强化事故的预防

以往道路设计中主要注重各单项技术指标符合设计规范，以经

济性作为最终的优化指标，对各单项指标组合后对安全的影响考虑得是不够的。

道路安全工程建立的安全评价制度将消除事故隐患的任务从“事后”提前到“事前”，规划设计中的道路安全性检查使“防患于未然”成为可能。

对已通车的道路，道路安全工程既要求消除事故多发段点（黑点）的缺陷，也要求发现虽不曾发生事故但有潜在事故危险的段点。传统的安全评价方法往往只注意到事故记录突出的位置，虽然这也是十分重要的，但这也隐含着这样一种意识：事故记录没有或不突出的地方是安全的。事实并非如此，事故的发生既有必然性也有偶然性，对道路交通特征相近的路段，有的事故明显，有的不明显，只是由于事故的偶发性的原因，当其他路段整治后，这些路段的事故就有可能突出出来。道路安全工程将事故虽然不多但道路交通特征与事故多发路段相近的路段作为工作内容。

综上所述，道路安全工程从道路与交通设施入手，整治和预防结合，打断“事故链”，以达到减少事故数或事故损失的目的，对遏止我国道路交通事故上升的势头将产生巨大影响。

三、道路交通安全系统的组成对道路安全性的影响

（一）道路交通系统与事故“因素链”

道路交通系统是一个由人、车、路构成的动态系统（见图1-7）。系统中，驾驶员从道路交通环境中获取信息，这种信息综

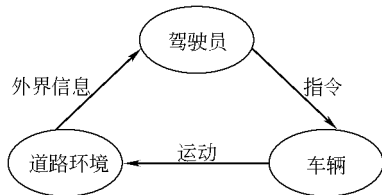


图 1-7 人、车、路组成的
道路交通系统

合到驾驶员的大脑中，经判断形成动作指令，指令通过驾驶操作行为使汽车在道路上产生相应的运动，运动后汽车的运行状态和道路环境的变化又作为新的信息

反馈给驾驶员，完成整个行驶过程。因此，人、车、路（含整个环境）被称为道路交通系统的三要素。

道路交通安全系统就是对“人、车、路”系统在运行中的安全性、可靠性做出系统地分析评价和提出保证措施的系统工程。对于三者事故中的作用，学术界一直有较大的争论，美国的 Treat 和英国的 Sabey 经过对大量事故深入研究后得到表 1-9 所列出的结论。

表 1-9 各因素对事故的影响程度

原因	Sabey 的结论 /%	Treat 的结论 /%	原因	Sabey 的结论 /%	Treat 的结论 /%
单纯路	2	3	人和车	4	6
单纯人	65	57	路和车	1	1
单纯车	2	2	人、车、路	1	3
路和人	24	37			

前苏联专家的结论却相差很大，莫斯科公路学院的 O. A. 季沃奇金对取自前苏联各地区的 I ~ V 公路的约 13000 个道路交通事故进行分析，并仔细对照事故地点的道路特征后，得到的结论是不良道路条件影响是 70% 交通事故的直接或间接原因。

尽管如此，对以下几点认识还是比较一致的。

1. 驾驶员

在三要素中，驾驶员是环境的理解者和指令的发出和操作者，因此它是系统的核心。路和车的因素必须通过人才能起作用，人、车、路组成的系统时刻在变化，因此是不稳定的，三者靠人的干预达到平衡，无疑人是道路事故的关键因素。

2. 人

人的因素在三个要素中是最难改变的，人对所处环境的认知和反映在很大程度上决定于人固有的生理和心理，因此车辆和道路环境会对人的行为产生很大影响。道路交通环境和车辆对交通安全的

影响，除了力学上的作用外，更重要的是依靠它们对人的行为的影响。

3. 事故原因

事故的原因并不一定能直接引导我们提出整治措施，英国运输部在它的《事故调查手册》（1986 年）中指出，当我们考虑整治措施以减少事故时，我们必须认识到，最有效的措施也许在另外的因素中，特别是那些被认为因措施不当和缺乏技术引起的事故，对设施的改进比训练驾驶员达到较高的水平也许更经济。

（二）各种措施的影响

研究表明，以下几方面的措施对道路安全有较大影响。

1. 道路交通设施方面

道路交通设施使道路满足车辆行驶的物理、力学要求，不至于使汽车发生滑移、倾覆等事故。同时，道路交通设施的另一个重要要求是使道路用户能做出正确地决策，例如道路的线形和交通标志标线应当保证驾驶员能迅速、正确地对前方的道路情况做出判断；另一方面也要保证一次给驾驶员的信息不能太多、太快，否则会超出驾驶员的接受能力。

2. 车辆方面的措施

车辆方面的措施也是交通事故防治的一个重要内容。车辆的安全措施主要与车辆的设计制造有关。

通常道路基础设施和车辆方面的防治措施效果比较明显，但投资大、周期长。

3. 道路用户行为规范

道路用户包括：驾驶员、骑车人和行人，作为交通的参加者，其行为会对交通安全产生明显的影响。

4. 伤亡控制

伤亡控制的研究历史相对较短，它是基于这样一种认识：虽然事故无法完全消除，事故减少也需要长期的努力，但事故发生时，采取一定的保护措施，事故的严重性是可以降低的。

5. 紧急救援

实际上紧急救援也是减少伤亡的一个重要措施。根据澳大利亚的研究,交通事故的人员死亡主要发生在如下3个时间。

- ① 碰撞发生后的几分钟内, 约占死亡人数的50%。
- ② 事故后的1~2h之内, 约占死亡人数的35%。
- ③ 事故后30天内, 约占死亡人数的15%。

紧急救援主要针对第二部分进行, 只要抢救及时, 这部分死亡人数可以大大减少。

综上所述, 道路安全系统是一个复杂的系统, 涉及的因素很多。根据英国、美国、澳大利亚等国的实践经验, 实施道路安全工程是一个行之有效的方法。

道路因素与交通安全

第一节 道路安全

道路因素使交通安全状态更趋复杂。由于道路形态的复杂性、道路状态的动态性使道路因素对交通安全的影响呈多样化趋势。目前,道路对交通安全的影响机理渐趋明朗,但是交通事故发生的复杂性表现在它是若干因素综合作用的结果,并且发生事故的主要因素往往不表现为道路原因,因此在事故处理中经常难以确认。但是,道路因素在事故的发生过程中起着不可忽视的作用,许多事故本可以不发生,但由于道路因素的作用使事故发生了,交通事故的“事故多发地段的非移动”特性反映了道路对事故的影响。国外许多国家(如美国、英国、澳大利亚等)针对道路因素开展道路安全检核和事故多发点的鉴别,减少道路对交通安全的负面影响程度,提高道路的安全性,建设对驾驶员友好的宽恕型道路。国内正开展该领域的有益尝试。

安全和有效地行车,驾驶员所依据的信息主要来自道路和交通环境。通过觉察、判断而抉择驾驶行为,其中任何一点失误都容易

造成事故。事故次数随需要抉择次数的增加而增加。公路设计若能做到使驾驶员一次只做出一种抉择，或者当遇到既无足够时间而又必须做出抉择的意外情况时，也不惊慌失措，就能为安全行车和有效驾驶创造可靠的条件。

适应这种驾驶要求的公路设计是提供一条清晰醒目的行车方向、足够的视距和符合驾驶员普遍期望的设计成果。

一、公路构造的基本特征

1. 提供一条清晰醒目的行车方向最直接的途径是道路本身

因为它展示出路线和道路外部轮廓及其交通状态，是最直观、最具感觉特性的信息。当驾驶员前方道路和两旁各种附属设施（路肩、护栏、桥墩、桥台、路缘石、中央分隔带隔栏等）都清晰醒目，并有足够远的距离时，他就能有效地控制车速、选择车道和保持安全间距。因此，公路设计要充分利用道路几何组成部分的合理尺寸和线形组合，创造连续的、清晰顺畅的行车方向。加上路面标线、防护栅栏以及路旁行道树的合理布置，即可形成一条人为的识别方向的导向线。

平、纵线形的组合对视觉诱导起重要作用，在视觉上违背自然诱导的线形组合是导致事故多发的主要原因。如竖曲线与回旋线重合，事故发生的可能性最大，特别是凹形竖曲线与平面上两反向回旋线的拐点重合，不但失去视觉诱导，排水也困难；凸形竖曲线顶部开始有急弯时，驾驶员靠近顶部才知道有平曲线，速度过高不能立刻反应，行车容易失误；在长路段平而直的线形上，信息处理的要求低，导致驾驶员疲劳和反应迟钝，随着旅行时间的增长，事故发生的可能性增大。

2. 足够的视距对保障安全起重要作用

信息需要足够时间来加工处理，抉择需要足够的行驶距离来完成。当抉择的困难程度增加时，反应时间也随之增加。反应时间越长，失误的可能性越大。

实验研究表明, 驾驶员的平均反应时间为 0.64s , 在警觉情况下只需 $0.2\sim 0.3\text{s}$, 正常情况下需要 1.5s 。在确定设计视距时, 反应时间值应大于所有驾驶员的正常平均值。现行设计规范采用 2.5s 时间计算视距, 从反应时间看是足够的。但在复杂情况下, 诸如多叉平交口、立交匝道端部、行车道横断面变更处、交通标志和广告竞相出现时, 反应时间 2.5s 就不够了。因此, 在复杂条件下应考虑采用增加判断时间后的判断视距才比较合理。故应尽可能避免做出抉择困难的、具有复杂条件的设计。

3. 驾驶员行车中的期望是由其经验和训练所构成的

通常以同样方式发生的一些情况和对这些情况做出的成功反应, 都被积存到驾驶员的经验知识库中, 当下一次情况发生时, 驾驶员就按期望预测对它做出反应。与驾驶员行车期望相适应的设计成果有助于增进驾驶效能和行车安全。因此, 应避免做出例外的或不符合标准的设计, 各项设计要素应始终一致地用于整个公路路段, 注意保持一致性。应从驾驶员对公路不熟悉、难以预测该路段如何展现因而需要加强行车诱导的观点来考虑设计。公路设计特性和交通管制设施二者的标准化, 有利于驾驶员适应不同类型公路上的行车期望。

二、公路构造特征的安全因素

公路各种构造物(路基、路面、桥梁、隧道以及各种道路设施)是供汽车安全行驶的基础设施, 它们的构造特征直接影响车辆的行驶安全。

高速公路采用全部控制出入、全线立体交叉和分道单向行驶, 具有完善的交通管理设施; 而一般公路为非控制出入, 有平面交叉, 双向行驶, 并可在一定条件下实现超车, 交通管理设施相对来说也不够完善。显然, 采用全部控制出入, 对提高通行能力和降低事故率来看, 其作用是无可估量的。但“全部控制出入”的原则不可能普遍推行, 因为从交通需求和投资效益上看, 非控制出入的道

路仍然占有很大的比例。

道路路幅的布置方式，车行道、路缘带、路肩以及中央分隔带的形式和尺寸，都应根据使用功能、交通量、交通组成以及安全行车要求进行合理设计，并做到连续性和一致性。交通事故数的相对值随着车行道宽度的变窄而增加，而车行道宽度的有效利用在很大程度上取决于路缘带和路肩的状况。高等级公路设置规定宽度的路缘带能起到分隔车行道和路肩、车行道和分隔带以及诱导驾驶的作用，有利于行车安全。当桥面宽度与路基宽度不一致时，或者桥上的人行道与护栏引起路面、路肩宽度发生变化时，或者跨线桥下车行道侧面的桥墩、桥台过近，侧向余宽不够时，都会引起驾驶员心理作用发生变化，导致不应有的事故发生。

滑溜事故是路面设计中需考虑的重要因素。路面应具有高强的初期抗滑力、随时间和交通增长而保持抗滑力的耐久性，抗滑力随行车速度增加而减小应达到最小限度。路面排水不良，出现水膜和溅水现象也是一种不安全因素，对路拱、超高以及相应的排水措施，要考虑安全因素进行合理设计。

平面交叉由于存在有车流交叉和交织运行、方向和速度改变等影响驾驶信息和操作反应的多种因素，对交叉处采取增大视距、减缓纵坡、渠化转弯行驶、进行交通管制等措施，有利于改善行车安全条件。对交通量大、车速要求高的相交道路，设计立体交叉被认为是安全畅通的。如设计不当，如匝道进出口的变速车道长度不够，交织段长度过短，出口形式和方向不符合普遍驾驶期望，也可能成为交通安全的隐患。

桥下净空一般应根据计算水位或最高流水位加安全高度确定。当在河流中有形成流冰阻塞的危险或有漂浮物通过时，应按当地具体情况确定桥下净空。在通航的河流上，桥下净空应符合通航标准。跨线桥下应满足通行车辆的净空要求。否则，设计不仅不能满足使用功能，也不符合安全要求。

总之，对公路的构造特征，除满足技术经济条件外，应有预防

事故的安全设计思路，分析可能存在的不安全因素，消除其潜在危险或尽量降低潜在危险因素作用的能力。

第二节 交通事故与道路因素

一、交通安全的道路因素

从交通工程的角度来看，交通事故的影响因素包括人-车-路以及环境等多个方面。对交通事故成因分析表明，驾驶员的责任是主要的影响因素，其次是车辆、道路责任（见表 2-1）。

表 2-1 国内外交通事故成因比较

成因 区域	驾驶员	车 辆	道路相关责任	行 人
国外	80%~90%	<0.5%	10%~20%	—
国内	70%~80%	<5%	<1%	15%

由表 2-1 可以看出，国内与道路因素有关的事故仅占很少的一部分，但并不表明道路交通事故与道路的关联度小，主要是由于在交通事故处理的具体操作中存在以下原因。

- ① 道路交通事故的直接主导原因表现为驾车人的违章或其他过失或车辆故障类直观因素。
- ② 道路交通事故的原因往往是多因素综合作用的结果。国外的相关研究表明，一起交通事故的诱发因素平均约 1.5~1.6 个。
- ③ 道路交通环境（道路特性、交通特性、交通管理等）往往通过对人或车的作用或影响引发交通事故。
- ④ 国内目前很少针对性地开展交通安全环境对交通事故影响的相关研究，同时更由于交通事故的作用主体是人或车辆，交通执

法时为了更好更快地实施事故的处理和理赔，确定责任人（肇事者），最方便的就是从人和车这两个因素入手，而不会从交通环境、交通服务水平的角度来看待问题，因此统计数字中很少提及道路交通环境的影响因素。

⑤ 从目前对道路交通事故的统计规律中可以看出道路环境（包括道路线型、气候条件、路面状态等）对交通安全的影响。统计研究表明，道路上交通事故的发生具有地段上的集聚特点，即存在事故的多发地段。

图 2-1 所示为某高速公路路段在某个时间段内发生的交通事故量，该图清晰地反映了交通事故在道路上的集聚性，显性地表明道路交通环境对交通事故产生的影响。加强对事故显性路段的针对性研究，将有助于改善道路交通安全性能。

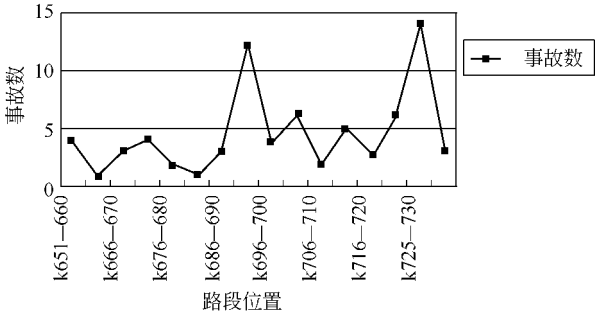


图 2-1 某路段交通事故发生量统计图

交通事故的发生经常是多种因素作用的结果。对道路交通安全构成威慑的诸因素，如气候条件、交通和路政管理、道路配套设施等的影响不是通过直接产生作用表露出来，而是通过与其他因素的结合，导致交通参与者产生错误的判断和行为，使车辆的运行脱离驾驶员的控制，继而导致交通事故的发生。

国外公司曾就道路交通事故的直接伴随因素进行分析，得出这样的结论：通常被视为驾驶员的错误和失误的事故中隐含相当比例

的道路因素（见表 2-2）。

表 2-2 事故中的道路因素

事故的主要原因	不利道路因素促成事故发生的比例
驾驶员的不良生理状况	40%
驾驶员的操作失误	41%
驾驶员的判断失误	34%

二、道路主要构成要素对安全的影响

道路交通事故的发生往往与多种因素有关，其中道路方面的因素涉及到交通量、路宽、竖曲线半径、纵坡、分隔带宽度、视距、交叉口、路面摩阻系数、路旁建筑等。

1. 交通流量

交通量与交通事故率的关系受到道路车道宽、路肩宽、视距及路侧状况等因素的影响。通常，在交通流量小时，车辆行驶主要取决于道路条件和车辆本身的性能，交通事故的发生与这两者有关系；随着交通流量增大，交通条件占主流地位，由于车辆相互影响导致交通事故。图 2-2 所示为道路等级、交通流量与公路事故率的关系。

交通事故的多少与道路上各种车辆行驶速度的离散程度成正比，即速度太快或太慢均易肇事，而顺应交通流的一般速度则是安全的。

宏观分析可以确定路段上交通量（ N ）与年间交通事故件数（ U ）之间的相互关系。

对单车道：

$$U=aN^p$$

对复合车道：

$$U=aN_1^{p_1}N_2^{p_2}$$

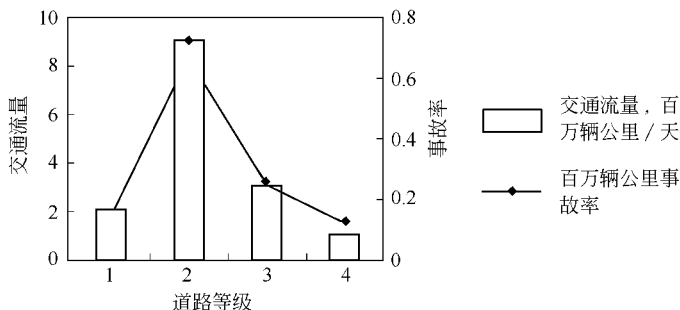


图 2-2 道路等级、交通流量与公路事故率的关系

式中 a, p_1, p_2 ——回归系数；

N, N_1, N_2 ——交通量。

2. 车道·路面

国外研究表明，车道宽度变宽，交通事故增加，随着道路宽度的增加，每公里事故发生的件数也增加，尤其在相当于干线道路的 13.0m 以上的道路上，事故发生的可能性更高；交通事故发生状况也因道路的种类、规格而变化，在同样的日交通量（ADT）下，交通条件越差，交通事故量越大。同时，研究还表明，交通事故的件数与车道数也有关系，6 车道道路发生的交通事故比 4 车道道路增加比例小。

路面状态、照明等同样也造成了道路交通事故的发生。如路面打滑问题，主要是由于路面的冻结、湿润等原因造成的，但在干燥路面上，同样存在着打滑肇事的情况。路面状态与交通事故的关系见表 2-3，路面状态与照明对交通事故的影响见表 2-4。

道路湿润和黑暗程度与重大事故增加有密切关系，因降雪和冻结造成的事故在总事故件数中占的比例不太大。

3. 路面平整度

路面不但应具有一定的强度、刚度、耐久性，而且还必须具有

表 2-3 路面状态与交通事故的关系

车 种	路 面 状 态							
	干 燥		湿 润		降雪 冻结		合 计	
	打滑	全体	打滑	全体	打滑	全体	打滑	全体
小客车	17987	171297	17315	102153	3656	6499	38958	279949
1.5 以下货车	1191	12900	1253	7471	270	540	2714	20911
1.5 以上货车	1111	8072	1217	5694	163	431	2491	14197

表 2-4 路面状态与照明对交通事故的影响

事故情况	照 明 状 态							
	明(日光)				暗(夜间)			
	干燥	湿润	降雪冻结	雾	干燥	湿润	降雪冻结	雾
死亡	1385	162	1	9	955	261	9	9
重伤	24891	3285	89	104	11692	3393	91	123
轻伤	92869	13998	342	429	29871	9697	312	403

一定的平整度和抗滑性。从宏观上看，路面应是平整的，从微观上看，应是凸凹不平的。为了保证一定的附着力和制动时的安全性，路面必须满足一定的摩阻值，这可通过路面质量检测（弯沉测量仪）结果进行衡量。

路面平整度对交通安全的影响，研究得还不多。看起来，好像路面的不平整性会迫使驾驶员减低行车速度，应当减少事故的数量。但是，分析道路交通事故路线图表明，事故往往集中在平面与纵断面几何特征良好，想不到会提高事故数量的路段上。通常，这些事故地点的路面具有坑槽或波浪不平整的特征，并处于平整路面路段之后。相关资料表明，由于不良的道路条件引起的交通事故中，13%~18%是由于路面不平整引起的（见图 2-3）。

可以设想，不平整路段开始处的事故是由于前面行驶的汽车速度突然降低，跟在其后间距很小的汽车与其相撞所致。这样的事故特征同安全系数的思路密切相关，特别是从远处不能看清路面不平

整的条件下。不平整路段中间部分事故的发生是由于行车绕避本身车道上的坑槽而驶入对面车道，引起撞车；此外，事故还与振幅增加而影响汽车列车的拖挂有关。同样，汽车沿不平整的路面上行驶时，振动也起一定的作用，

这时车轮荷载对路面的作用就会发生变化。当汽车沿曲线行驶时，由于存在横向力，汽车对路面附着重量就要减小，因而可能引起滑溜。在不平整的道路上使驾驶员的工作复杂化也具有一定作用。这时，超载会影响驾驶员的身心，使之引起不愉快，甚至身体不适的感觉。

建议采用汽车在试验路段上的垂直加速度 a 与同一汽车在平整路段上的垂直加速度比值作为标准，来评价路面的平整性。平整路面的垂直加速度约为自由落体加速度的 0.3 倍。

平整度好的路面，比值 K 等于 1，尚满意的路面 K 为 1~2，不满意的路面 K 大于 2（见图 2-4）。

通常认为， K 值超过 5 的路段应属于危险路段。

4. 道路线形

（1）综合线形

根据美国两个州的研究结果，左向急转弯和下陡坡容易出现交通事故。竖曲线形和平面曲线的组合称为综合线形，综合线形路面排水不良者容易发生交通事故，影响较大的是路面宽度和横坡。在大半径弯道上，水膜厚度比相同横坡路顶区大两倍，应更加重视路面的排水。要从线形上解决路面的排水问题，大半径弯道因横向排水长度大，要专门研究。下坡弯道及需要足够摩擦力的道路，摩擦阻力应比一般线段规定值大一些。

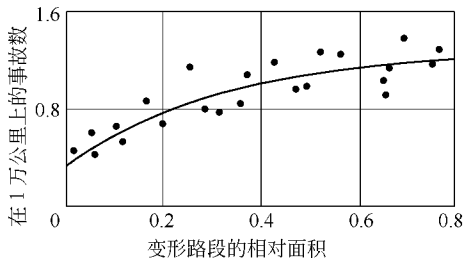


图 2-3 道路交通事故数量与坑槽、不平整路面面积的关系

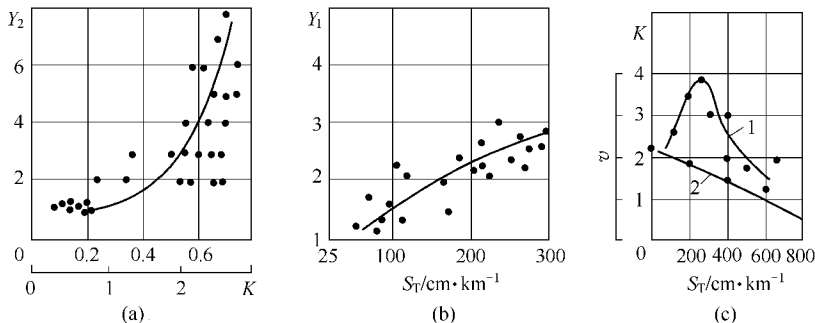


图 2-4 道路交通事故数量与路面平整性的关系

1—路面的平整度；2—汽车的行驶速度

(2) 平面曲线

据统计，有 10% 以上的交通事故发生在平曲线上，平曲线半径越小，发生事故概率越高。当平曲线半径 $R=2000\text{m}$ 时，设平曲线影响系数 $K_2=1$ ， K_2 的回归方程为

$$K_2 = 0.86 + \frac{265}{R} - \frac{2736}{R^2}$$

此式适用于 R 为 $20\sim 2000\text{m}$ 的情况，当 $R\geq 2000\text{m}$ 时， $K_2=1$ 。

K_2 随 R 增加而显著降低。因此在道路设计时，为最大限度地保证行车安全，应慎重选择平曲线半径。一般情况下，尽可能选择不设超高的平曲线半径，只有当地形条件非常困难时，不得以才选

用极限最小半径。

(3) 纵坡

纵坡对交通事故的影响系数 K_3 如图 2-5 所示。不同的纵坡对事故有不同的影响，由此得出如下回归方程。

① 当 $i=-1\%\sim 2\%$ 时，纵坡对事故率无影响，即 $K_3=1$ 。

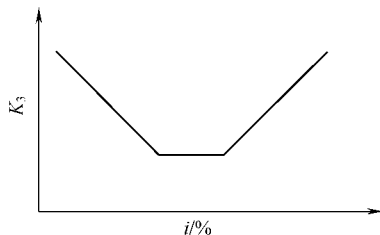


图 2-5 纵坡对交通事故的影响系数 K_3

- ② 当 $i=2\% \sim 9\%$ 时, $K_3 = -0.36 + 0.76i - 0.04i^2$ 。
- ③ 当 $i=9\% \sim 11\%$ 时, $K_3 = 1.4 + 0.2i$ 。
- ④ 当 $i=(-1)\% \sim (-11)\%$ 时, $K_3 = 0.16 - 0.88i - 0.04i^2$ 。

其中 K_3 ——纵坡影响系数;

i ——道路纵坡,上坡取“+”,下坡取“-”。

纵坡 $i>2\% \sim 9\%$, 事故率明显增加,而 $i<2\%$ 时则相对较小。因此公路设计时,从汽车的动力性能、行驶速度和营运效益等诸多方面考虑,设计时应尽可能选用偏小的纵坡。同时,在任何情况下,都不要超过下表所规定的最大纵坡值。在具体设计时,应保证纵坡坡长不宜过短,一般讲最小纵坡长度不应小于 10s 左右的汽车行程,并应考虑缓和坡度和平均纵坡的设置,注意在海拔 3000m 以上公路,最大纵坡要折减 $1\% \sim 3\%$ 。各级公路的最大纵坡见表 2-5。

表 2-5 各级公路的最大纵坡

公路等级	汽车专用路						一 般 公 路						
	高速公路			一		二		二		三		四	
地形	平原微丘	重丘	山岭	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘
最大坡度	3	4	5	4	6	5	7	5	7	6	8	6	9

在平曲线较小的地段,不宜设计偏大的纵坡,回头曲线设计通过合成坡度进行控制。各级公路最大容许合成坡度见表 2-6,严寒

表 2-6 最大容许合成坡度

公路等级	汽车专用路						一 般 公 路						
	高速公路			一		二		二		三		四	
地形	平原微丘	重丘	山岭	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘
合成坡度/%	10.0	10.0	10.5	10.0	10.5	9.0	10.0	9.0	10.0	9.0	10.0	9.5	10.0

和积雪地区各级公路的合成坡度值不应大于 8%，最小合成坡度不宜小于 0.5%。

为了保证上、下坡车辆行驶的顺畅并维持一定速度，应在变坡点设置凸形和凹形竖曲线，其半径应尽量采用大于一般最小半径的数值。凸形竖曲线的半径选择要保证行车视距要求，凹形竖曲线半径的选择则应考虑舒适而无冲击力。

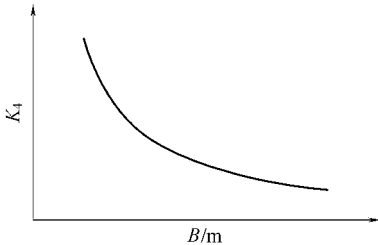


图 2-6 路面宽度影响系数图

5. 路面宽度与交通事故

设路面宽度 $B=7\text{m}$ 时的影响系数 $K_4=1$ ，根据某市郊双车道公路路面宽度与交通事故率关系的调查资料，绘出两者关系如图 2-6 所示。用二次抛物线方程拟合该曲线，得到路面宽度影响系数关系式如下。

当 $B=4.5\sim7\text{m}$ 时， $K_4=8.357-1.94B+0.127B^2$

当 $B=7\sim15\text{m}$ 时， $K_4=2.787-0.333B+0.111B^2$

道路交通事故的相对值随着路面宽度的减少而增加。路面宽度的有效利用很大程度上取决于路肩以及附近的路缘带或路缘石状况。为了确保驾驶员对路面宽度的有效利用在路面与路肩之间，沿路设置宽度为 0.2~0.75m 的过渡路缘带。由于路缘带的存在，提高了行车的舒适和安全。因此，采用现代筑路方法加宽路面，在其上施划一条连续的白色边线作为路缘带。实践证明，效果比较显著。路面宽度影响系数图如图 2-6 所示。

6. 路肩宽度与交通事故

当路肩较窄时，在路肩上停留的汽车会占去一部分路面，以较大速度行驶的汽车极易与其发生相互碰撞。设置一定宽度的路肩并进行加固，对行车安全具有良好的保障作用。

若定义未加固的 0.75m 土路肩的影响系数 $K_5=1$ ，根据统计

资料可得到路肩宽度（ b ）影响系数（ K_5 ）的计算式如下。

当 $b=4.5\sim 3\text{m}$ 的未加固路肩时， $K_5=1.357-0.541b+0.0863b^2$

当 $b=4.5\sim 3\text{m}$ 的加固路肩时， $K_5=1.073-0.411b+0.0623b^2$

为保证安全行车，各级公路必须设置路肩，各级公路路肩宽度见表 2-7。统计资料及我国特重大事故表明，路肩加固的类型及其状况对行车安全有重要意义。具有一定宽度、加固、表面密度高的路肩，可避免车辆驶出路面或压坏路肩而翻车的恶性事故发生。路肩宽度在 2.5m 以上，其对道路交通事故的影响就不明显了。

表 2-7 各级公路路肩宽度

公路等级	汽车专用路					
	高速公路				一级	
地形	平原微丘	重丘	山岭		平原微丘	山岭重丘
右侧硬路肩宽度/m	≥2.50	≥2.50 (2.25)	≥2.25 (1.75)	≥2.00 (1.50)	≥2.50 (2.25)	≥2.00 (1.50)
土路肩宽度/m	≥0.75	≥0.75	≥0.50	≥0.50	≥0.75	≥0.50

公路等级	汽车专用路		一般公路					
	二级		二级		三级		四级	
地形	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘
路肩宽度/m	1.50	0.75	1.50	0.75	0.75	0.75	0.5 或 1.5	

7. 路旁建筑与交通事故

侧向净空（即路旁建筑与路面边缘） $D=30\text{m}$ 时，对交通事故的影响已不明显。取影响系数为 $K_7=1$ 。 D 与 K_7 之间的关系如图 2-7 所示。公式为

$$K_7=8.74-0.516D+0.0086D^2 \quad (D\leq 30\text{m})$$

$$K_7 = 1 \quad (D > 30\text{m})$$

路侧建筑物距离路面越近,对行车速度影响越大,就会增加驾驶员的心理紧张程度,有时对于突然横穿的行人因来不及反应而发生事故。因此,在道路规划的红线宽度以内,应拆除违章建筑或物体,保证侧向净空符合标准要求。路旁建筑影响系数图如图 2-7 所示。

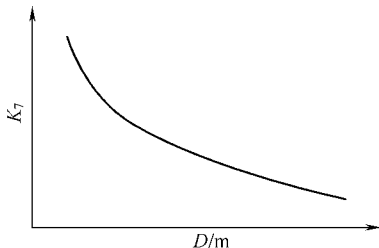


图 2-7 路旁建筑影响系数图

8. 行车视距与交通事故

视距是确定道路行车安全的最重要因素之一。在平、竖曲线上超车时发生的道路交通事故常常与视距不足有关。视距不良路段往往是事故多发路段。

根据上海市郊三级公路资料,当视距达到 50m 时,对交通事故基本没有影响。定义视距 $L=500\text{m}$ 时的影响系数 $K_8=1$, K_8 与 L 的关系如图 2-8 所示, K_8 的计算公式如下。

当 $L=30\sim 500\text{m}$ 时, $K_8=0.6+206/L-1306/L^2$

当 $L=500\text{m}$ 时, $K_8=1$

在视距受限制的地点,行车的危险性通常由提高驾驶员注意力加以补偿。在山区,道路交通事故数反而减少;在高速行驶的道路上,个别不常出现的视距不足路段常具有较大的危险。因此,现代道路设计的特点是减少视距受限制的路段长度及出现的频率。根据沿路线绘制的视距变化图,驾驶员可以预先了解沿途的视距情况,做到心中有数,在行至那些视距不足的地点时,提前采取必要防范措施,以安全车速行驶,可最

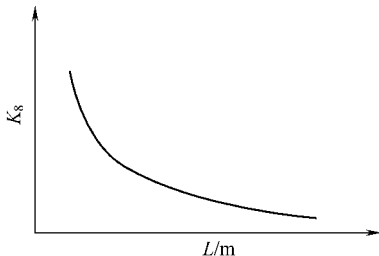


图 2-8 视距影响系数图

大限度地避免事故的发生。视距对保障行车安全具有重要意义，因此，道路设计者、施工者及养护部门应给予高度重视。视距影响系数图如图 2-8 所示。

第三节 道路交叉口

一、公路平面交叉口

在交叉口的路段，由于两个方向的交通流叠加在一起，因而交通量增高。一部分汽车要在交叉口上转弯，它会使后随的直线方向行驶的汽车发生困难。在通过交叉口时，交通流的行驶状况会发生变化，因为行驶参加者往往不清楚那些不明确或不及时完成队形改变或发出准备转弯信号要求的其他驾驶员的意图。

通常，驶近交叉口时横向越过的道路的视距要比其他基本路段的视距小很多。在纵断面中交叉口的布置同样具有重要的意义。交叉口置于两条道路的直线段，并在纵断面的凹形竖曲线处具有最好的视距条件，置于凸形竖曲线处，视距条件最差。不希望把交叉口置于路堑处，虽然在许多情况下，这里符合景观设计的原则。

上述在交叉口处的行车特点导致道路交通事故的增加，事故的数量与交通量以及交叉口路段的视距有关。

欧洲联合经济委员会 1976 年的统计资料表明，各国在平面交叉口处发生的行车事故占总事故的 10%~40%。

许多研究者建议，采用下列经验公式预测在平面交叉口处一年中可能发生的故事数量。

$$Z = Y_{\alpha} N_1^a N_2^b$$

式中 Y_{α} ——考虑平面交叉口上行车组织情况的系数；

N_1, N_2 ——交叉路段的交通量；

a, b ——按统计资料确定的参数。

对于有信号灯控制的交叉口， $Y_a=1.5$ ；而对于没有信号灯控制的具有双车道的道路交叉口， $Y_a=2.1\sim 2.7$ 。对于叉道口 Y_a 相应的值等于 1 与 1.5。按 И. 坦涅尔（英国）的资料， $a=b=0.5$ ；按利翁格（新西兰）的资料， $a=b=0.42$ ，按 ДЖ. 马克-多纳尔德（美国）的资料， $a=0.455, b=0.633$ 。

综合许多研究者的资料，可获得下列的交叉口相交道路交通量对交通安全影响的相对系数平均值。

相交道路的交通量占总交通量的百分比/%	0	10	10~20	20
交通量影响系数	1	1.5	3	3.6

平面交叉口的行车安全很大程度上取决于行近汽车对另一相交道路的视距的保证程度。

根据在里约热内卢召开的第十一届国际道路会议上挪威的报告资料，确定了交叉口视距影响的相对系数值如下。

视距/m	>60	60~40	40~30	30~20	<20
视距影响系数	1	1.1	1.65	2.5	10

建议为次要道路上等待合适的时机驶入主要道路上去的汽车，保证视距不小于下列数值（见表 2-8）。

表 2-8 交通量与视距要求

交叉口上总的交通量/辆·昼夜 ⁻¹		1000	3000	5000
最小视距/m	主要道路	140	150	175
	次要道路	75	75	100

详细研究各种不同布置的平面交叉口的行车特点后发现，交通流的交角对于行车安全有很大影响。按照英国运输与道路研究实验室以及 E. M. 洛巴诺夫（前苏联）的资料，从行车安全角度出发，交角为 $50^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 的叉道口可以认为是最佳的，因为这时从汽车上没

有看不到的区域，而驾驶员具有评价行车状况的最佳条件（见图 2-9）。较大锐角下的叉道口是最危险的，这时汽车右转弯不能在自己的车道上行驶，而被迫占用对方的行车道；在左转弯时，则沿非常大的半径的曲线行驶 [见图 2-10 (a)]。这种布置具有事故最多的特点，下列一系列情况促进了事故的发生：通过叉道口左转弯时没有预先减速（从进口处），而是高速转弯；在一条道路上行驶的驾驶员难以判断在横穿方向上沿另一条道路行驶的汽车速度，因而难以判断汽车路线相交的可能性；在右转弯时，在横穿的道路上与迎面来的车流相交，驾驶员难以确定谁有权优先通过。

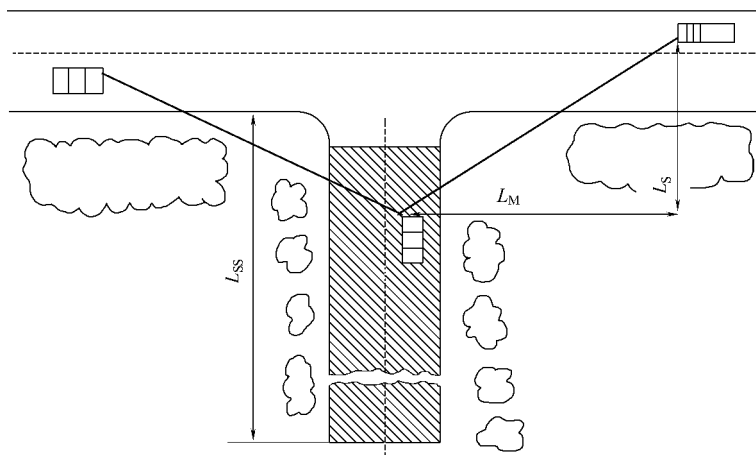


图 2-9 确定平面交叉口视距的示意

L_M —主要道路上的视距； L_S —次要道路上的视距；

L_{SS} —次要道路上行车道的加固段

垂直相交的叉道口 [见图 2-10 (b)] 具有较小的危险性，但是它的事故数量还是要比交角较小的叉道口要高，因为从汽车的驾驶室内看出来的视线的广阔性相对较差。图 2-10 (c) 所示的叉道口最安全，但是左转弯时要求显著地降低车速。

提高平面交叉口（特别在几条路交叉时）行车安全的可能方法

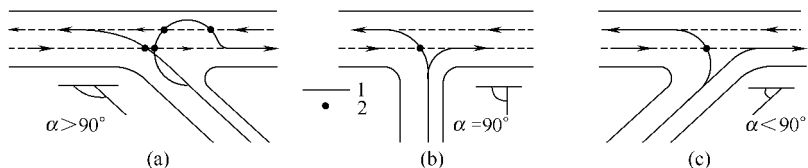


图 2-10 平面叉道口示意

1—驶向主要道路的汽车的轨迹；2—车流交叉的冲突点

之一是建筑环形交叉口。

根据英国运输与道路研究实验室的资料可知，建筑内环直径大于 30m 的环形交叉口使道路交通事故数量平均降低了 70%。

环形交叉口常建筑在城市近郊，在公路干道上行驶的汽车可以通过它驶入某些街道。在这种情况下，事故常常与城郊路段相应的过高速度有关，汽车以这种速度进入环形交叉口。这时，驶入路段的安全系数具有较小的值

$$K_{\text{安全}} = \frac{v_K}{v_M}$$

式中 v_K ——汽车在环形交叉口上的行驶速度；

v_M ——汽车在公路干道上的行驶速度。

在那样的条件下，设置限制车速的标志，常常具有好的效果。因此，为了提高环形交叉口的效果，应合理地设计环形交叉口的接口，用减小半径的曲线设计通往环形交叉口的路线是合理的，在这条曲线上行车的速度逐渐减小。

二、道路立体交叉口

立体交叉口对交通安全的影响无法做出足够准确的评价，因为这通常是与道路的总体改善相配合的。建筑立体交叉口以提高交通安全的某些观念，可以通过比较老的道路与平行于它修建的高速公路上的交通事故来获得，这时交通流已由老路上转移到新的高速公路上。在美国的道路上，1 百万车公里的死亡行车事故数量资料的

平均值：在高速公路上为 2.13，在与其平行的其他公路上为 6.07。

尽管在所进行的比较中，没有考虑新建的高速公路交通量要比以往使用的平行老路有所增长，但它还是证明了死亡的交通事故数量几乎减少 2/3。

研究不同类型交叉口的相对事故。在英国伦敦-伯明翰的第一条高速公路以及若干大城市的环道上，一年期间内在每一个不同类型的交叉口处平均发生了下列的道路交通事故数。

环形交叉口	3.2
菱形交叉口	2.0
连接到公路干线上去的叉道口	3.0
不完全的苜蓿叶交叉口	9.7

“不完全的苜蓿叶交叉口形式”事故率提高是有代表性的，这种形式的交叉口缺乏独立的出口，而这些出口对“完全型”交叉口是必须的。

不完全型交叉口通常是在单独方向行驶的交通量较少时，为了节约初期投资而修建的。但是，由于确定新建道路上的远景交通量时有着较大的误差，所以在设计立体交叉口过程中，必须预先考虑到今后有把它改建为完全型交叉口的可能性（见图 2-11）。如果不这样做，那么今后建筑与开拓路缘带不可避免地会发生困难，并不可能得到完美的解决。

为了行车安全与明确交通组织，驾驶员应当了解立体交叉口的行车方向。这就要求设置很多道路标志牌及其复制品。这里的特点是，甚至对于简单的“苜蓿叶”形立体交叉口，在图上是完全显而易见的、容易明白的，可是汽车在实地驶过时，驾驶员是不能立即弄明白的。在比较复杂的、带有从单向行驶的行车道左边分叉的左转匝道的交叉口处，驾驶员经常弄错，把左转匝道当做行驶的主要方向。

这是由于驾驶员在沿路行驶过程中看不见整个交叉口，而只能看到个别的出口和叉道口，对于它们的用处驾驶员往往是不清楚

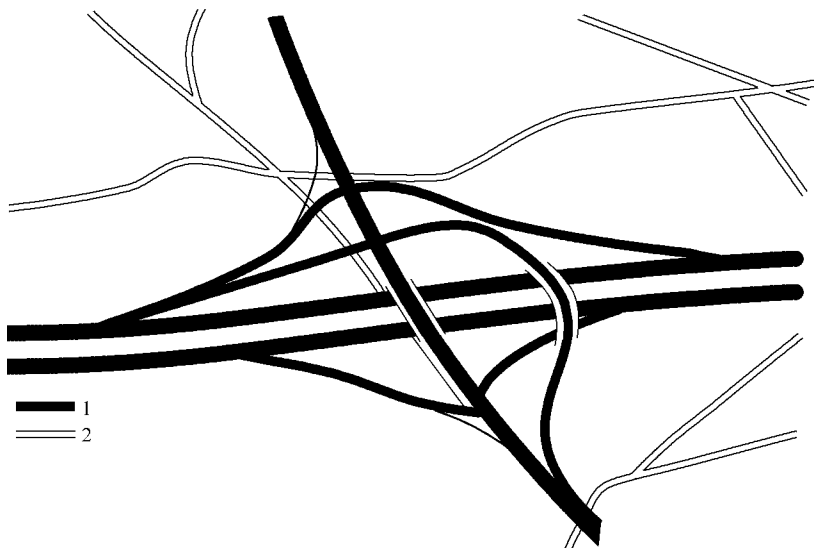


图 2-11 预先考虑到阶段性发展的立体交叉口平面设计（芬兰）

1—第一阶段的建筑；2—第二阶段的建筑

的。因此，在不完全型交叉口上，常常在那些连接的匝道上发生不正确的逆向行驶的情形（见图 2-12），由此而引起的行车事故特别严重。

在立体交叉口上的错误是由许多原因引起的：驾驶员弄不清交叉口示意图；一些不守纪律的驾驶员为了缩短行车路线或为了改正走错了的路线（例如超过了应转弯的地点）而有意识地走不应走的路线。交叉口的设计应预先定出“消极调整”走错路线的措施，预防利用不正确的行车路线，使驾驶员不正确行驶的可能性减至最小。在交叉口上，提高分隔带以阻止驶到左边的行车道上去的措施是十分有益的。

在一条路线上配置的交叉口，采用同一类型的布置方案是十分重要的。这时，驾驶员将知道，在所有的情况下，一个固定的道路车道适合于直线方向，而在所有的交叉口左转弯都开始于同一个位

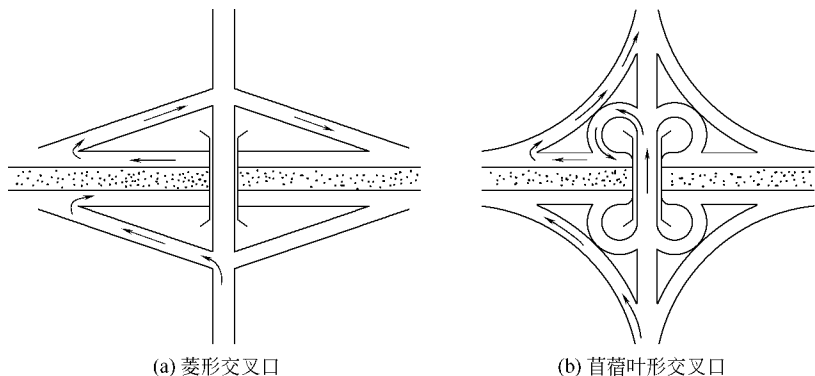


图 2-12 在立体交叉口上不正确的行车方向的例子

置上，例如在通过跨线桥后（见图 2-13）。

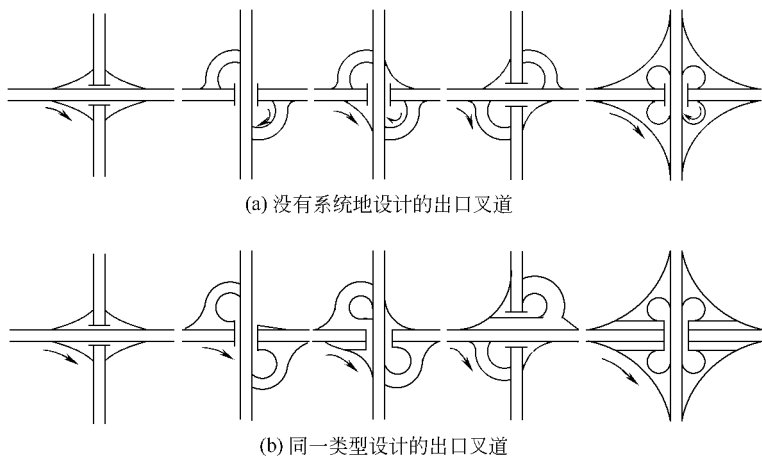


图 2-13 交叉口在路线上布置

正确布置道路标志与方向指示牌，对于防止错误利用立交的出口而引起的交通事故具有重要意义，它们的尺寸应当与交叉道上的车速相适应。提高驾驶员成为“道路的内行”，让他们学习有关道路的基本知识，其中包括有关典型立交的设计知识，对于防止这种

类型的事故可能会起着重要的作用。

在立交上，必须设置大量的路线标志与禁止驶入叉道的标志。在美国得出结论，一般的禁止驶入的标志作用较小。采用写有“危险”或“不正确的路线”的专门标志则收到较好的心理效果。

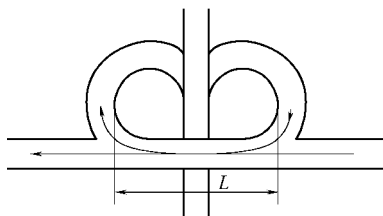


图 2-14 转向交通流的交织段

L —交织段的长度

及从这些匝道上用加速或减速出去的最佳轨迹的协调性具有重要意义。考虑到行车以匀加速或匀减速行驶的所谓“制动缓和曲线”的出口匝道外形，能最好的满足这种情况。增加左出口匝道的半径，良好地反映在改善行车条件上，但不增加交叉口的通行能力，因为这时路线长度与行车的延续时间也增加了。

“苜蓿叶”形交叉口的通行能力与保证交通安全的程度取决于转向流入与直达交通流交织段的长度（见图 2-14）。曲线图（见图 2-15）表明，对于所有的交通量，随着交织段长度 I_{int} 的增加，事故数量就迅速减少。尽管满足这个要求会与节约土地的要求发生矛盾，但在设计立体交

关于交叉口各组成部分的尺寸对于行车安全影响的资料，还没有累积到足够的数量。可以认为，引起最大影响的，不是左转匝道曲线半径的尺寸，而是要保证行车从公路干线的行车道转入匝道时车速变化的平顺性。因此，汽车进入到左转出口匝道上

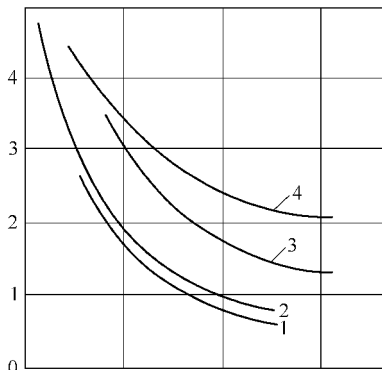


图 2-15 “苜蓿叶”交叉口上通过
1 百万辆车中发生的道路交通事故
数与转向流交织段长度的关系
1—1 万~2 万辆汽车；2—2 万~3 万辆
汽车；3—3 万~4 万辆汽车；
4—超过 4 万辆汽车

又口时还应该注意这个问题。

立体交叉口的行车安全，很大程度上取决于交叉口是否有行车道的加减速道（变速道）。有了变速道，当驾驶员发生典型的错误时，它会消除发生事故的危險。典型的错误有：较晚看到出口叉道而在转弯以前采取紧急制动、从行驶的第二行列转弯进入匝道、从出口叉道急转弯驶出到公路干道的行车道上等。

按照美国在立交上的观测资料，当变速道的长度不短于300~350m时，道路交通事故的数量下降（见图2-16）。

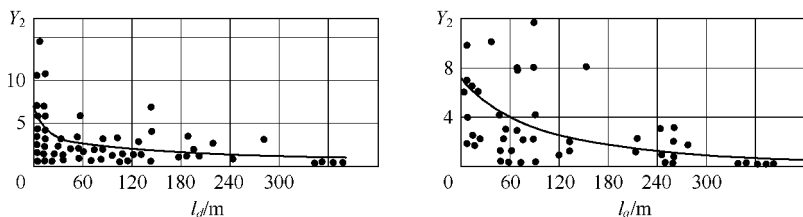


图 2-16 驶过 1 百万辆汽车发生的道路交通事故数与变速道长度的关系

L_d —减速道长度； L_a —加速道长度； Y_2 —事故数

离直接邻接加减速道不远的交叉口进出口段，其方向应当平行于公路干道，在极限的情况下，可呈一很小的角度。最佳的邻接角为 $4^\circ \sim 7^\circ$ ，在任何情况下，不应超过 10° 。

交叉口出口段的轴线与道路行车部分车道轴线的正确连接也具有重要意义。这些轴线直接连接是造成频繁的道路交通事故的原因。惟一的正确方案是出口段与平行于行车道轴线的加速段轴线平

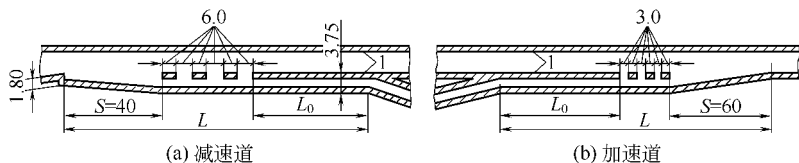


图 2-17 变速道的各组成部分

1—行车道划线； L_0 —加速或减速道的长度；

L —变速道的全长； S —变速道的偏斜段

顺连接（见图 2-17）。

这些进出路段与公路干线的路面，用逐渐变窄的分隔带合理地分开。在驶近公路干线的立交出口叉道处，必须保证足够的视距，以使驶入的汽车驾驶员有可能及时判断公路干线上的交通状况。

加减速段与公路干线的行车道，用虚线形式的地面划线，相互分开。

如果进出口行车道的颜色与主要道路的行车道的颜色显著不同，那么地面划线标记可以取消。

车辆与交通安全

车辆是道路交通系统的重要组成元素，与交通安全有着密切的关系。在交通事故影响因素中，直接因车辆原因引起的事故不超过10%，但这一统计数字仅表明由于车辆机械故障引起的事故而言。事实上，先进安全车辆的设计对减少交通事故、降低交通事故的伤害程度、保障交通畅通、提高交通通行能力起着不可替代的作用。

第一节 车辆使用与交通安全

在运行过程中，混合交通条件、超载状态、车辆机械性能情况、交通环境的优劣等因素直接影响着车辆在交通实现中的安全状态，进而影响到交通系统的安全。这里就现代交通中车辆在交通过程中常见的情况做如下分析。

一、混合交通

交通事故与载货汽车、轻型汽车、小客车的混合比例有关，并且随着载货汽车混入率的增加交通事故减少。研究表明，载货汽车混入率和交通事故率的比例关系是由交通流中车辆的行驶速度差的增大和行驶特性的显著变化产生的。事故率与载货汽车混入率见表 3-1。

表 3-1 事故率与载货汽车混入率

昼间大型车混入率/%		0~9.9	10.0~19.9	20.0~29.9	30.0~39.9	40.0 以上
事故率/人· 亿辆 ⁻¹	交叉路口	115	50	40	25	24
	路段	115	80	70	60	62
	合计	230	130	110	85	86

二、车辆超载对路面结构的影响

美国各州公路工作者协会 AASHTO 通过环道实验，研究了超载对路面结构的破坏作用，得出车辆对路面的破坏作用与轴载的 m 次方成正比的结论，即

$$\frac{N_0}{N_i} = \left(\frac{P_i}{P_0}\right)^m$$

式中 N_0 ——标准车的通行次数；

P_0 ——标准车的轴载；

N_i ——某一车的通过次数；

P_i ——某一车的轴载；

m ——实验次数，沥青路面结构 $m=4$ ，水泥路面结构 $m=16$ 。

我国路面设计规范根据等效疲劳损坏原理，采用弹性理论分析荷载应力与轴载的关系，结合公路上实测不同轴载汽车的弯沉对比，疲劳试验以及直槽测试验证，提出不同轴载车辆对路面的损坏程度不同，即

沥青路面结构

$$\frac{N_0}{N_i} = C_1 C_2 \left(\frac{P_i}{P_0}\right)^{4.33}$$

水泥路面结构

$$\frac{N_0}{N_i} = C_1 \left(\frac{P_i}{P_0}\right)^{16}$$

$$P_0 = 100\text{kN}$$

式中 C_1 ——轴数系数；

C_2 ——轮组系数。

以黄河 JN150 车为例（后轴空载载荷：101.6kN，接近 P_0 ）说明如下。

该车额定载荷 82.6kN，满载轴载荷为 150.6kN，如果超载 100%，车辆总重量达 233kN，此时后轴载荷达到 157kN。

对于沥青路面：此时其等效换算系数为 7.1，以设计日通行黄河 JN150 汽车 1100 辆为例，车辆年平均增长率为 8%，设计年限为 15 年，在其他条件不变的情况下，超载 100% 时，其使用年限仅为 3.5 年。

由图 3-1 可以看出由于超载对水泥路面造成的危害更大。

超载在破坏路面降低道路使用年限的同时，使路面质量迅速衰退，车辆运行条件恶化，易于产生交通事故。

三、爆胎

车辆在行驶中突然爆胎引发的交通事故占交通事故总数的 30%~40% 左右。轮胎是车辆和路面接触的媒体，其功能是支承汽车的自重、传递车辆和地面之间的作用力、缓冲、吸能等。轮胎的性能直接影响车辆的运行状况，而爆胎事件发生的结果却是使汽车失去安全性。

高速公路汽车行车中突然爆胎与轮胎的质量、行车速度、连续行驶里程、车辆负荷、轮胎气压、轮胎损耗程度、环境温度、路面状况等因素有关。而其直接原因则是由于轮胎的温度升高和轮胎内气压上升到一定的量值，而轮胎的温升和压升又受行车的速度和车辆负荷的影响。

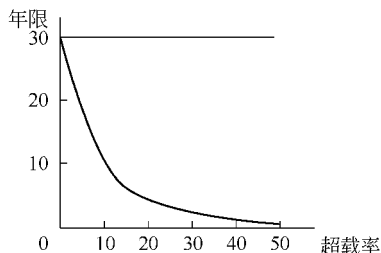


图 3-1 车辆超载对水泥混凝土路面使用年限的影响

轮胎的气压 P 和轮胎内压缩空气的温度 T 之间存在如下关系。

$$PV = mRT$$

式中 V ——轮胎内部体积；

R ——气体常数；

m ——轮胎内部压缩空气的质量。

车辆在行驶过程中，轮胎要连续不断地产生伸缩变形，轮胎中橡胶与帘线、帘线与帘线、外胎与内胎、轮胎与轮辋、胎面与路面之间均会产生摩擦，生成大量的热，而轮胎的材料主要是橡胶，它是热的不良导体，因此热量很难散发，这使得胎体内部的温度逐渐上升。胎温上升导致胎内气压升高，一旦超过轮胎的极限强度就会导致爆胎。

当车速达到 $150 \sim 200 \text{ km/h}$ ，左、右轮胎轮廓不再是圆形，而

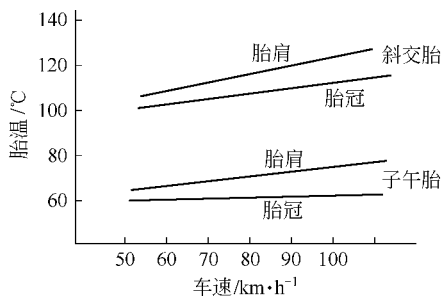


图 3-2 车速与轮胎温度的变化关系

呈波浪形，此时轮胎内摩擦释放出的热能使轮胎温度陡增，可达 120°C 以上。根据橡胶的特性，温度在 100°C 以内，橡胶相对正常， $100 \sim 120^\circ\text{C}$ 进入临界温度， 121°C 以上进入危险状态，此时，对尼龙帘线的胎体而言，强度下降 30%，人造丝

强度下降 16%，钢丝强度下降 4%。当胎温升高到 200°C 时，尼龙帘线强度下降 50%，钢丝强度下降 15%。车速与轮胎温度的变化关系如图 3-2 所示。

同时实验还表明，轮胎内的温度 T 与轮胎负荷 P 和汽车的行驶速度 v 成正比。

即有下述关系成立

$$T \propto Pv$$

通常爆胎的诱发条件包括：长时间超速行驶、轮胎磨损严重、

违章超载、轮胎气压过高或过低、环境温度过高等。

四、雨天

雨天对交通安全最大的不利是由于雨水在车轮和路面之间产生了水楔，水楔的形成将导致道路路面的附着系数降低，一旦汽车需要减速或停车，汽车的制动性能将得不到良好的发挥，如果此时遇到复杂的道路状态，或弯道、或坡道、或综合线型，由于高速公路行车惯性的作用，将会发生交通事故，或翻车、或撞击护栏、或追尾。

当汽车高速通过一定深度的积水路面时，由于轮胎的高速旋转和积水的惯性作用，不能及时排净轮胎周边的积水，形成水楔，造成轮胎和地面之间不能直接接触。水楔滑溜现象如图 3-3 所示。

滑水对车辆附着性能有显著的影响。所谓滑水，是指汽车在湿路上行驶时，水层楔入轮胎与路面的全接触面以后，迫使轮胎升离路面，浮在水膜上。滑水现象取决于路面上水的深度、车速、胎面花纹设计、轮胎的磨损程度以及轮胎对路面上的压载。

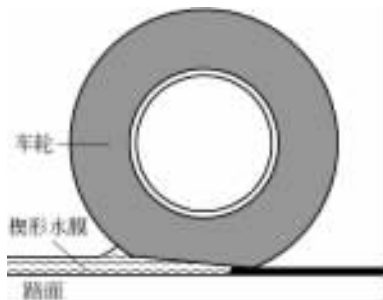


图 3-3 水楔滑溜现象

单纯因路滑（由于雨天或路面光滑等因素造成）造成的交通事故并不多见，但当与弯道、陡坡、视距不足等条件凑到一起时，发生交通事故的可能性就很大。

当路面湿滑或形成水楔时，车辆的抗滑能力减低，车轮与路面之间的附着系数降低，导致车辆的临界安全车速降低，同时，由于附着系数降低的缘故，将会导致制动性能降低，制动稳定性变差，从而引发交通事故。

1. 不同水膜厚度下的临界车速

不同水膜厚度下的临界车速见表 3-2。

表 3-2 不同水膜厚度下的临界车速

水膜厚度/mm		2	4	6	8
临界车速/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	新胎	120	110	100	90
	花纹磨秃胎	80	80	80	80

2. 不同车速不同路面条件下的制动距离
不同车速下的制动距离见表 3-3。

表 3-3 不同车速下的制动距离/m

车速/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 路面条件	50	60	70	80	90	100	110
干沥青混凝土路	12.3	17.8	24	31.5	39.9	49.2	59.5
湿沥青混凝土路	24.6	35.5	48.2	63	79.7	98.4	119.1
冰雪路	49.2	71	95.5	126	150	196.9	238.2

第二节 车辆安全性能的保证

一、车辆设计、制造的安全标准化

20 世纪五六十年代，随着汽车交通在世界范围内的迅速发展，各国要求减少交通事故、提高车辆运行安全性的呼声越来越高，机动车安全标准由此诞生。它规定了汽车安全运行的最低限度的构造、装置及性能标准。随着社会环境的变化、科学技术的进步，机动车安全标准的内容也在不断地进行修订或追加项目，使之趋于严格和完善。

汽车的设计、制造必须符合一定的标准才能保证其安全运行，世界各国都有自己的汽车安全标准。美国汽车安全标准 FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) 是世界上最完备的一个

标准。欧洲有 ECE（欧洲经济委员会）和 EEC（欧洲经济共同体）两个统一的标准体系，另外还有澳大利亚标准 ADR 和与 FMVSS 相近的加拿大标准 CMVSS 以及日本的《道路运输车辆法》。安全标准的试验方法在国际上是统一的，但标准的具体条款则因国情而异。部分国家的安全标准及其特点见表 3-4。

表 3-4 部分国家的安全标准及其特点

国 家	安 全 标 准	特 点
美国	FMVSS(美国汽车安全标准)第 100 项;预防事故第 200 项;碰撞的安全保护第 300 项;事故后的安全对策	最重视碰撞时的乘员安全,引入伤害标准的概念
ECE	ECENo. 1、No. 2 灯光类制动类防电波干扰	有统一的零部件认定标准,对乘员保护受到 FMVSS 的影响,有对欧洲做出独立规定的要求
EEC	与 ECE 基本相同	
澳大利亚	ADR(车辆的安全公害法规)	灯光、制动等按照 ECE、乘员保护按照 FMVSS,座椅安全带、安全玻璃是澳大利亚独有的法规
日本	道路运输车辆法(道路运输车辆的保安标准)、汽车的构造、装置及性能的安全标准	强化了对行人、自行车乘员的安全对策、用车检制度来确保可靠性

同样，我国的汽车工业也制定了自己的国家标准和行业标准。随着近年来汽车工业的迅猛发展，标准的制定、修订工作以及标准的贯彻实施越来越受到重视，并纳入法制轨道。在新的经济形势下，与国际经济接轨的要求越来越迫切，我国的汽车标准也在逐渐地采用国际标准，以增强竞争力。

二、汽车构造安全化

在道路交通中，如何减少对人的伤害是交通事故防治的重点。改善交通事故损失的致害因素，就是考虑在事故发生的瞬间，导致乘员、骑自行车者、行人损伤的致害物，在车辆设计、使用方面予

以改进，使得参与交通的人获得最大程度的保护。

在交通事故尤其是碰撞事故发生时，汽车对乘员应有足够的保护能力，这就要求车辆设计制造时要有安全的车体构造，针对碰撞发生部位的不同，车体不同位置的安全要求也不同。

对于正面碰撞，为了乘员的安全，车辆前部要做得坚固，并要防止车室变形以确保生存空间。汽车前部的压扁特性与车体结构的材料、动力传动系统的形状、悬架和发动机的布置等有关。一般小型轿车在 50km/h 速度下与墙壁碰撞时，变形距离为 450mm，最大反力为 40t，最大减速度为 40g，乘员可能移动的距离为 200～240mm。反力过大，车室会因强度不够而变形。变形距离随着碰撞时车辆速度提高而变大，在高速时为了保护乘员应采取较大的压扁距离来提高能量吸收效率和降低反力，另外还要防止转向柱向后突出。

在追尾碰撞发生时对车辆后部结构的考虑也是要协调好反力、变形距离及车室强度三者之间的关系，尤其要注意对燃料箱的保护。

对于侧面碰撞，也要减小碰撞时的攻击性，车体强度要求能适应翻车。同时为确保驾驶员的视野，前立柱和中立柱也要有必要的强度。

三、提高被动安全性

在车辆发生碰撞时，为达到保护乘员的目的，一是要把减速度控制在容许限度内，以保证乘员的动能得以吸收；二是要防止负荷过分集中而使乘员受伤。利用乘员保护装置可控制乘员的减速度。安全带是最便宜而且有效的乘员保护装置，一般车辆上已广泛安装。但在我国安全带的使用率较低，应加强宣传力度，使佩戴安全带成为乘员的自觉行动，以保障其人身安全。

为防止碰撞时人体受到局部过大的压力而受伤，应在防止车室变形、确保生存空间的同时，使车内突出物、仪表板具有能量吸收

性并铺上减振垫，另外还要使用强化玻璃或夹层玻璃以减轻伤害。

在保护行人、骑自行车人方面，要将车辆外部做成柔性结构并没有复杂的车外突出物，反光镜做成可折式的。还要根据碰撞时行人的反应动作研究保险杠的高度和强度。对于大型车，要注意防止碰撞以及将行人、骑自行车人卷入车下。

第三节 先进安全车辆

汽车安全性已经不仅是个技术问题，在某种程度上也是一个重要的社会问题。汽车的主/被动安全性因其定位防患于未然，所以有着广阔的发展前景，越来越受到汽车生产企业、政府管理部门和消费者的重视。应用电子技术使车辆实现的高度智能化是汽车主动安全技术能在世界范围内发生质的跃变的主要因素。美国 20 世纪 70 年代提出的试验安全车 ESV (Experiment Safety Vehicle)、日本 20 世纪 90 年代提出的先进安全车辆 ASV (Advanced Safety Vehicle) 虽然是两个不同历史时期提高汽车安全性的代表作，但它们都是未来的安全汽车的雏形。

对未来汽车工业的要求，首先是提高安全系数。在 21 世纪，最大限度地保证汽车驾驶者的安全，从而结束汽车不安全的年代，是汽车制造商努力研究、解决的关键问题。

车辆运行的先决条件是司机明确知道自己驾驶车辆的性能参数及将运行的道路状况信息，然后在此基础上做出正确判断并实施操作，ASV 可以从三个方面帮助司机安全驾驶车辆。

① ASV 上安装有预防交通事故发生的司机工作状态及性能参数检测装置和交通信息接受装置。

② ASV 上安装有多种自动操作装置，可以帮助司机避免交通事故的发生。

③ ASV 上安装有减缓交通事故危害的设施及善后处理装置。

ASV 上的技术研究集中体现在事故预防、事故避免、最小碰撞损伤和最小事故后损伤 4 个方面。目前的汽车安全技术涉及的领域如图 3-4 所示。

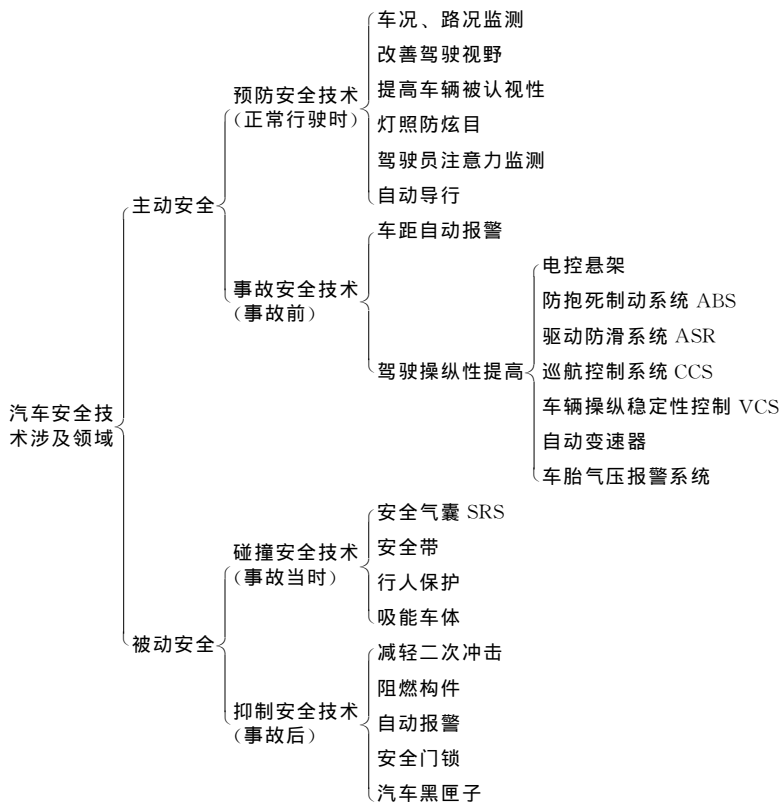


图 3-4 汽车安全技术涉及的领域

一、欧美日先进安全汽车

欧洲各国在先进安全车辆 (ASV) 方面并没有由官方所主导

的研发计划，大多是由各大车厂与民间研究单位自行或合作进行有关先进安全车或智能车开发的计划。近几年来 VOLVO、BMW、BENZE、VOLKSWAGEN、RENAULT、FIAT 等车厂相继投入有关先进安全车的研发计划，目前在欧洲由各大车厂与研究单位正在进行（或已经完成）的相关计划有 LACOS、CARSENS、AWARE与 CHAMELEON、AF、ARGO 等。

日本政府运输省从 1991 年开始推动先进安全车辆计划。第一期计划从 1991~1995 年，由政府编列预算委由各大车厂进行小客车四大类 20 项先进安全系统技术的研发，此阶段的主要考虑是在车辆上安装高科技配备的可能性，以及这些技术该如何应用，与它们能够减少交通事故的程度。第二期计划期间由 1996~2000 年，适用对象增加了大货车、大客车及机车，系统技术也增加到六大类 32 项。本期研究重点放在提供驾驶者所有信息的最适应人机接口设计的要求，以及与路外设施的一致性与兼容性。

与日本与欧洲各国相比，美国在先进安全车辆的相关发展上起步较晚。美国从 1994 年起由联邦高速公路局 FHWA（Federal Highway Administration）组成国家先进高速公路系统联盟 NAHSC（National Advanced Highway System Consortium）推动为期 8 年的先进高速公路系统（AHS）计划，但在 1997 年中止之后由 NHTSA 所主导的智能型车辆开发 IVI（Intelligent Vehicle Initiatives）计划取代，继续推动先进安全车辆的研发工作。

二、ASV 设计原则

日本政府运输省在先进安全车计划中所提出先进安全车辆的设计原则有如下三点。

1. 驾驶辅助（Driver Assistance）

由知觉（Perception）辅助、决策（Decision）辅助与控制（Control）辅助所组成。所包含的功能有：增强驾驶者的知觉能力

(Enhancement of Driver Perception)、信息呈现 (Information Presentation)、警示 (Warning)、事故预防控制 (Accident Avoidance Control)、驾驶者负担减轻控制 (Driver Load Reduction Control)。

2. 驾驶者接受 (Driver Acceptance)

驾驶辅助技术必须很容易被所有驾驶人了解与操作，人机接口 (Human-Machine Interface, HMI) 必须很友善。

3. 社会接受 (Social Acceptance)

泛指一般大众对于先进安全车辆的接受度。汽车厂必须清楚地说明系统功能与限制，使用者在使用系统时必须依照指示，小心使用。车厂也需评估先进安全车辆技术在减少交通事故上的绩效。

三、ASV 的主要内容

日本 ASV 计划所研发之系统技术可分为六大类 32 项（见表 3-5 和图 3-5）。

表 3-5 日本 ASV 计划所研发之系统技术项目

类 别	项 目
安全预防	① 驾驶者危险状态警告系统
	② 车辆危险状态警告系统
	③ 提升驾驶视野及辨认性支持系统
	④ 夜间提升驾驶视野及辨认性支持系统
	⑤ 视线死角警告系统
	⑥ 周边车辆信息取得及警告系统
	⑦ 道路环境信息取得及警告系统
	⑧ 对外传送信息及警告系统
	⑨ 行驶负载减轻系统
事故回避	⑩ 提升车辆运动及操控性能系统
	⑪ 驾驶者危险状态回避系统
	⑫ 视线死角事故回避系统
	⑬ 周边车辆等事故回避系统
	⑭ 道路环境信息事故回避系统

类 别	项 目
全自动驾驶	⑮使用现有道路基础设施的自动行驶系统 ⑯使用新规格道路基础设施的自动驾驶系统
降低伤害	⑰碰撞时冲击吸收系统 ⑱乘员保护系统 ⑲行人伤害减轻系统
防止灾害扩大	㉑紧急时车门锁解除系统 ㉒多重碰撞减缓系统 ㉓火灾灭火系统 ㉔事故时自动通报系统
车辆基础技术	㉕汽车电话安全对应系统 ㉖高精度数位式行驶纪录系统 ㉗电子式车辆识别证 ㉘车辆状态自动答复系统 ㉙高精度 GPS 定位系统 ㉚线控行驶 ㉛高龄驾驶者支持技术 ㉜生理疲劳量测及对策技术 ㉝人机接口之基础技术

1. 小汽车行前安全系统

小汽车行前安全系统主要包括智慧型导航系统，路况、气象资讯语音接收系统，旅行前车况诊断系统等。见图 3-6。

2. 小汽车运行过程中安全系统

旅行中安全系统见表 3-6。

3. 小汽车紧急状况辅助安全系统（见图 3-8）

一旦出现交通事件时，ASV 提醒驾驶员注意并采取相应的措施以避免事故发生，降低事故损失。小汽车运行过程中安全系统示意如图 3-7 所示。

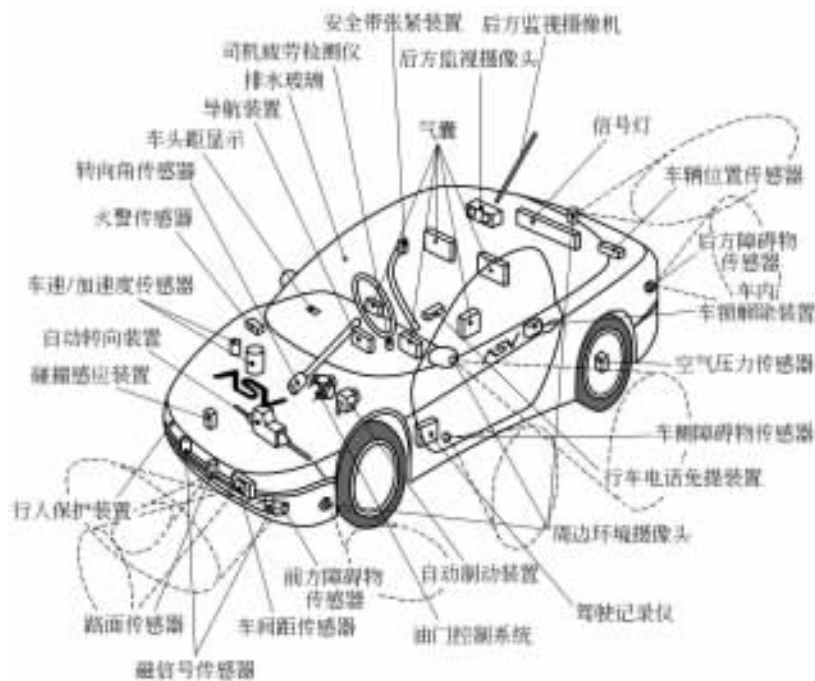


图 3-5 日本 ASV 计划所研发之系统框架



图 3-6 小汽车行前安全系统示意

表 3-6 旅行中安全系统

基本系统		子 系 统	功 能 说 明
旅 行 中 安 全 系 统	周围环境危险警告	安全车距警示与辅助系统	根据车速设定与前车的安全距离,与前车未保持安全距离时,系统即以语音方式警告驾驶者做修正;并自动协助驾驶保持安全车距
		视线死角警示系统	侦测驾驶者视线死角,当有障碍物、行人、车辆出现而有危险之可能时,给予驾驶者语音之警示
	车辆危险状态警告	旅行中车况诊断系统	车辆行驶过程中,持续监控与诊断车况,并将危险状况以语音方式警告驾驶者做修正
	驾驶者生理状况及操作不良警告	驾驶者危险状态警示系统(酒醉、疲劳、身心不适警示)	系统可侦测驾驶者之身心状况,当驾驶者有酒醉、疲劳、身心不适等危害驾驶安全之状态时,给予驾驶者语音警示
		超速行驶警示与定速辅助系统	系统依各路段速限设定车速,当驾驶者超速行驶时,系统会给予语音警示;并协助驾驶者维持定速行驶
		车道偏离警示与辅助系统	当有特殊因素(如接听电话、发呆或与他人交谈等情况)而使车子有非预期之车道偏离情形时,系统即以语音方式警告驾驶者做修正;并协助驾驶者做修正
	驾驶辅助	变换车道辅助系统	自动协助驾驶者判断后方来车及变换车道
		驾驶视野及辨认性支持系统(隧道、夜间、天气不良时之辅助)	利用红外线或热感应方式,以抬头显示器,提供驾驶夜视或视线不良时之辅助
		前灯自动配光控制系统	依车况与路况不同,自动开启灯光并调整光型与投射角度
		智能型除雾与拨水系统	拨水玻璃与自动除雾系统

基本系统		子 系 统	功 能 说 明
旅行中安全系统	驾驶辅助	智能型导航系统	以电子地图配合语音方式,指示驾驶行驶方向
		智能型刹车系统 (ABS)	紧急刹车时,可精确地控制四轮刹车油压,防止车轮锁定而打滑失控
		自动方向灯系统	自动感应车头偏向角度,自动显示转向方向灯
		智能型车门系统	开门时,自动侦测后方来车,如有来车,系统即以语音警告,并暂时锁住车门推开之角度

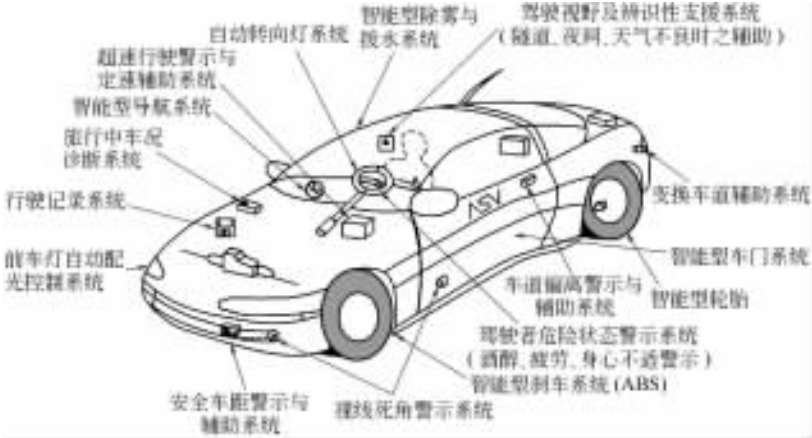


图 3-7 小汽车运行过程中安全系统示意

四、美国智能安全车辆设计

美国联邦运输部及 ITS-America 的共同策划之下完成第一份 ITS 国家发展架构共制定了 7 个群组, 30 多项使用者服务单元。先进车辆控制及安全系统 (AVCSS) 群组的内容如下。



图 3-8 小汽车紧急状况辅助安全系统示意

- ① 纵向碰撞预防 (Longitudinal Collision Avoidance)
- ② 横向碰撞预防 (Lateral Collision Avoidance)
- ③ 路口碰撞预防 (Intersection Collision Avoidance)
- ④ 预防车祸的视线提升 (Vision Enhancement for Crash Avoidance)
- ⑤ 安全准备 (Safety Readiness)
- ⑥ 车祸前安全防护措施的保护 (Pre-crash Restraint Deployment)
- ⑦ 自动公路系统 (Automated Highway System)
- ⑧ “安全驾驶的支持”领域的服务系统。

“智能型车辆初始计划” IVI (Intelligent Vehicle Initiative) 的研究，目标希望整合先进的车辆与道路相关设施，提供路人实时而有效的交通信息，以利行旅。在 IVI 计划中发展成 360° 全方位碰撞警示系统 (见图 3-10) 时，包含如下三项主要的技术与设备。

1. 基本防撞警示技术

适应性行驶控制 (Adaptive Cruise Control)，防止车辆后方追撞，侦测车辆前方障碍物与行人。

2. 先进防撞警示技术

美国智能型车辆框架如图 3-9。车道变换/汇入的撞击避免，十

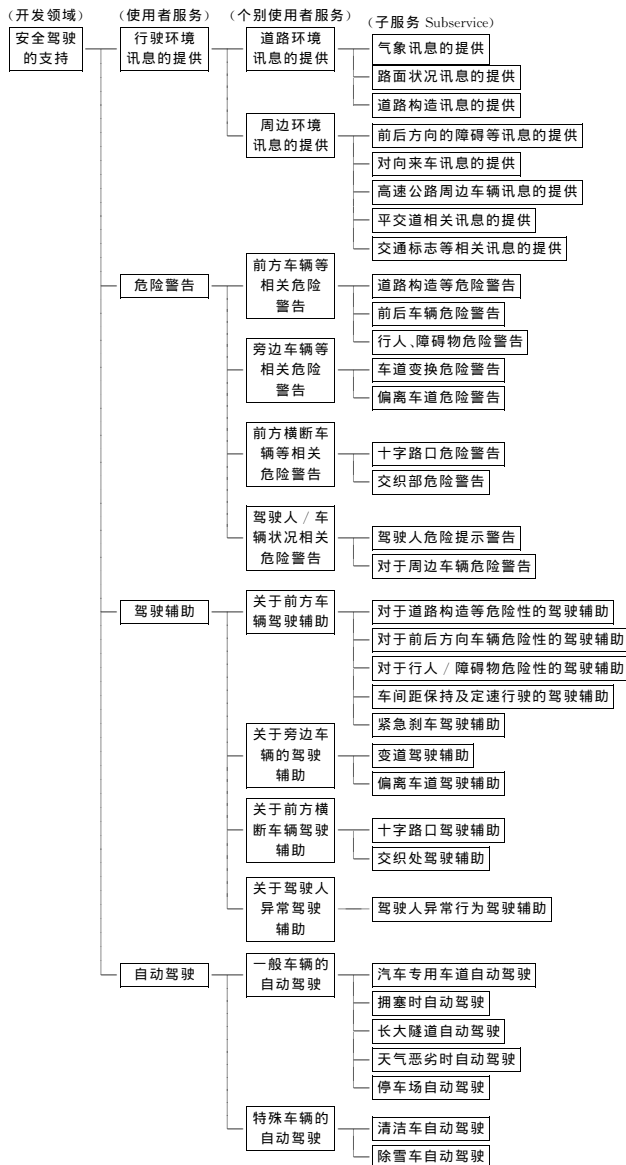


图 3-9 美国智能型车辆框架

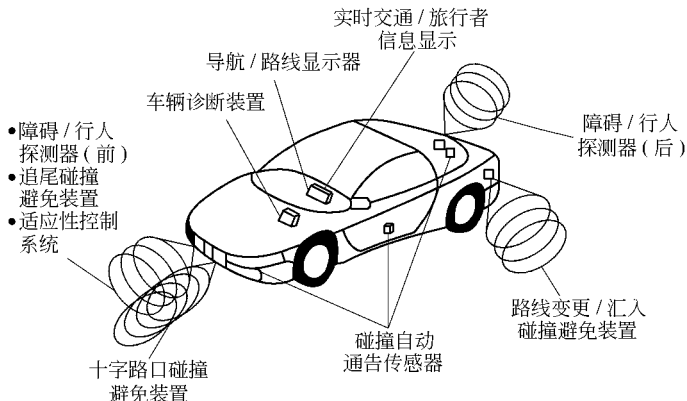


图 3-10 360°全方位碰撞警示系统示意图方位

十字路口撞击避免，车辆诊断，障碍物/行人探测（后方）。

3. 基本旅行者信息设备

指引、实时交通与旅行者信息，自动的撞击通知。

第四节 改善车辆致害因素

一、人体的耐冲击性与伤害标准

交通事故中，大部分人伤害都是因人体受到外力冲击所致。人体对外力的冲击有一定的承受能力，但当外力超过一定限度时，人体便会受到伤害。在设计汽车安全构造时，应该了解人体耐冲击性，使得车辆总体结构、乘员保护装置及车内构造物的设计安全合理，以保证人体受到的冲击力不会超过人体承受限度。

表示人体耐冲击性的物理量，一般采用加（减）速度、负荷、压力及位移（变形量）。特别是加速度，能准确地表示冲击大小的尺度，测量和数据处理也比较容易，负荷和位移往往用于表达骨折

和挫伤的耐冲击性。由于人体各部位的构造、机能不同，耐冲击性也不相同，这里主要说明实际撞车时多发性重度伤害的头部、胸部、颈部的伤害标准。

1. 人体全身的耐冲击性研究

人体耐冲击性的研究，最初是由航天技术的需要发展起来的。根据当时的研究，人体全身的耐冲击能力有无伤、中伤、重伤三个区域，无伤和中伤的界限可视为人体耐冲击界限，这一界限值随减速度作用时间的延长而降低。交通事故伤害是人体某个部位受到冲击，而不是全身受到均匀一致的冲击。因此，全身耐冲击能力对交通安全的实际意义不大，但这一成果对以后交通安全研究的发展却有很大的影响。

2. 头部的耐冲击性和伤害标准

在交通事故中，头部伤害是最重要的伤害形式。直线减速度作用下头部伤害界限按下式计算。

$$GE = \frac{1}{T} \int_0^T G(t) dt$$

式中 GE ——有效减速度；

$G(t)$ ——减速度随时间变化的函数；

T ——减速度作用时间。

显然，随着减速度作用时间的延长，安全界限降低，也就是伤害危险性增大。上述公式所示曲线是美国缅因州立大学于 1960 年提出的，所以又称 WSTC 曲线。

在 WSTC 曲线的基础上几经修改，1971 年美国运输部决定采用下述 HIC 计算公式作为头部伤害界限的基准。

$$HIC = (t_2 - t_1) \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right)^{2.5}$$

式中 a ——头部重心加速度，用重力加速度 g 的倍数表示；

t_2, t_1 ——碰撞过程中所选择的两个时刻，它们应使上式计算结果达到最小值，s。

$HIC=1000$ 作为头部冲击伤害的安全界限, 美国现行法定标准规定: 时速为 30mile (约合 48km/h) 的正面碰撞, 其 HIC 值为 1000。这一安全界限已被美国联邦机动车安全标准 (FMVSS) 采用作为评价汽车安全措施的依据。据测定当 IC 值为 1000 时, 发生恶性头骨骨折的概率相当于 33%。我国的国家标准 GB 11551—89《汽车乘员碰撞保护》也将此值作为防止乘员受伤的标准要求。

3. 颈部的耐冲击性

人体颈部的生理构造很复杂, 即使受到轻微冲击, 也可能造成伤害而产生严重后果。颈部的耐冲击性至今尚未完全明了。颈部向前及向后倾斜时的伤害界限约为 60° 左右, 这一研究成果可用来指导汽车座椅靠背及安全枕的设计。

4. 胸部的耐冲击性

在交通事故中, 驾驶员常因胸部与方向盘碰撞而受伤。为减轻事故中驾驶员的伤害, 可将汽车的转向管柱做成安全转向管柱, 这种转向柱受到大于某一界限值的压力时, 长度会缩短, 从而起到保护作用。为了确定界限压力的数值, 就需要了解人体胸部的耐冲击特性。美国 20 世纪 70 年代初期的研究表明, 胸部受到的冲击力如超过 6.4kN, 人体便会受到严重伤害, 发生胸骨、肋骨骨折和心肺损伤。因此, 可以此值作为胸部的耐冲击界限。

另外, 对于人体其他部位, 如腹部、腿部及足部、臀部等, 欧美国都有相应的伤害界限标准。

二、保护乘员空间

汽车碰撞事故一般是指汽车与汽车互撞或汽车碰撞坚固物体的事故。当碰撞事故发生时, 应确保乘员安全。乘员保护可以从两个方面考虑, 一是要有合理的车体构造, 以保证车体在事故中产生变形后仍能确保乘员的生存空间; 二是要有性能良好的乘员约束装置, 以减轻二次碰撞。

撞车现象是一种发生在极短时间（几十至几百毫秒）内的现象，要在这极短暂的时间内把乘员的减速度控制在某个范围之内，特别是随着车速的增高，仅靠乘员约束装置来确保乘员的安全是非常困难的，应考虑在车体构造方面增加强度，利用车体的变形来吸收乘员的能量。

撞车时安全的车体构造应能保证车体的前、后部能有效地吸收冲击能量，车室结构要十分坚固，以确保乘员的生存空间。从汽车的总体构造看，像发动机、变速器和差速器等部分质量较大，不易产生变形的部分也很多，因此在车辆碰撞初期的变形状态中，应当能够承受冲撞、吸收必要的能量。另外还要求对车体各部分的变形量予以控制，如前面撞车时转向器的移动量、挡风玻璃的侵入范围、安全带的固定装置、撞车时燃料系的防泄漏、侧面碰撞时侧门的强度以及门锁和车门铰链等都有要求，这在各国的法规和标准中也各有规定。

三、车体前部构造与耐冲击性能

车体前部构造的耐碰撞性能与下列内容有关。

- ① 撞车时的能量和车体的撞车特性（产生负荷的大小和车体变形量）。
- ② 车体构造和能量吸收方式（承载式车体和非承载式车体）。
- ③ 车体前部的变形形式（压溃形式、弯曲形式或变形位置）。
- ④ 车辆驱动方式和悬架形式（前置发动机后桥驱动 FR 形式和前置发动机前桥驱动 FF 形式）。
- ⑤ 与车室相关的变形量。

首先分析正面碰撞时车体前部应吸收的能量，其中车辆为对固定壁撞车情况。

设车辆质量为 M ，碰撞速度为 V ，则碰撞前的总动能为 $\frac{1}{2}MV$ 。一般认为在碰撞过程中车辆的质量是减小的（即变形的前

部质量部分)，所以其中被车体前部吸收的能量可用 $\int MVdV$ 来表示，其中积分是对整个碰撞时间积分。碰撞期间的质量变化可根据车辆的总体设计方案大致获得。经计算可知，考虑乘员下沉以及由于车室、发动机等变形吸收的能量，在以 80km/h 的速度碰撞时汽车前部如能吸收总撞车能量的 70%，车内乘员的安全即可获得保证。

为了吸收冲击能量，对于承载式车体，可在车身前部加装杆件，依靠杆件的弯曲和压溃来吸收能量；对于非承载式车体，主要是在前部车架采用特殊结构，依靠骨架的变形来吸收能量。

FF 车的车体前部构造比 FR 车还应多增加如下几项考虑。

① 由于 FF 车没有传动轴，不能向车体后部分散负荷，所以要有比 FR 车效率更高的能量吸收特性。

② 由于发动机室内布置很满，对不易破坏的零部件尽量布置在发动机室后部，以控制其顺序从前顺次向后。

③ FF 车多数是小型客车以下的车辆，需采用平均刚性较高的驾驶室构造。

总之，对于车体前部的构造，必须把车体的变形集中在车体的前部，而尽量减小驾驶室的变形量。车体前部和驾驶室的结合部也非常重要，对于车体前部产生的负荷应能高效地传送到包括驾驶室在内的车体后部，越是高速的情况结合部就越是要求坚固。

另外，转向管柱在车体上的安装部位、座椅的安装部位、座椅安全带的固定处等局部负荷较大的地方必须有足够的强度和刚度。

四、其他方面的车体构造与耐冲击性能

1. 车体后部构造

追尾撞车发生时的安全考虑有如下两点。

① 确保乘员的生存空间。

② 防止火灾的发生。

一般来说,追尾撞车时乘员的减速度是比较小的,乘员受到的冲击也比较小。车辆碰撞能量的吸收方法与正面撞车相同,但由于没有发动机、变速器等坚固的大型构件,碰撞时的能量几乎都由车体直接吸收。车身后部吸收冲击能量的结构方案与车身前部基本相同,对于承载式车身安装专门的吸能杆件,对于非承载式车身,可用车架后部的特殊结构来吸收能量。另外,在车身后部构造中,后地板、后翼子板、后柱内侧等车体板壳也应有较好的能量吸收特性。

2. 侧面碰撞

侧面碰撞是另一种最常见的道路交通事故类型,其撞击过程可划分为三个阶段。

① 加速度作用于车侧,指撞击汽车以一定速度撞上被撞汽车(0~20ms)。

② 乘员受伤(20~30ms)。

③ 车身最后变形(30~70ms)。

在一般的车体构造中,由于主要构件贯穿于车体的前后方向,所以当侧面碰撞发生时,车体承受的横向力较大,乘员室的生存空间易受严重损坏。因此对于前后车门和下纵梁要加大幅度以吸收必要的撞车能量。在一些安全试验车上,部分构件沿车辆横向贯穿,以确保乘员室的强度,还有的在车门内侧安装车门梁,以防止车门钢板进入乘员室,总之,高效的防侧撞系统应具有坚固的车侧结构、地板横向连接结构、车顶横向连接结构和座椅支架架,在一些新型车辆上还安装了防侧撞气囊。

3. 翻车

针对车辆行驶中,由于急打转向盘使车辆翻车的情况,为确保乘员的生存空间,必须增强车辆结构。主要是对构成乘员室侧向构造的车顶纵梁、前柱、中柱等进行增强,以保证翻车后车顶等部分向乘员室内的突入量较小。具体方法是增加上述构件的板厚或采用

双重结构等。此外还有采用高强度钢，把左、右中柱用强力构件结合起来的翻车保护杠等。

五、乘员约束装置的保护原理

安全是乘车人最关心的问题。一方面，生产厂家制造的汽车本身必须是安全、可靠的，即所谓主动安全，这主要从制动、操纵稳定性等汽车自身的性能上采取措施；另一方面，万一发生撞车、翻车事故时，也要能对乘员加以足够的保护，减轻二次碰撞，使伤害降低到最低限度，即所谓被动安全。这主要从车身结构（吸收撞击能量）、内饰软化、乘员保护等方面采取措施。

1. 二次碰撞

加速度（或减速度）是造成人体伤害的主要原因。当车辆发生碰撞时，车速会发生急剧变化，这称为第一次碰撞。由于车速发生急剧改变，车内乘员在惯性力作用下，将与车内结构物发生剧烈碰撞，并因此而受伤，这称为第二次碰撞。汽车在第一次碰撞中的加（减）速度越大，车内乘员第二次碰撞的加（减）速度也越大，乘员的伤害也越严重。如以 60km/h 车速进行碰撞试验，一个体重 75kg 的人可产生 3t 的冲力。

乘员的伤害值可用乘员各部分产生的减速度来表示，乘员的减速度以车辆碰撞时刻为起点，随着碰撞后时间的延长而变大，通常在二次碰撞发生时达到峰值。乘员约束装置的作用就是为防止二次碰撞的发生，同时将减速度限制在乘员所能忍受的范围之内。

2. 乘员下沉

安全带作为基本的乘员保护装置，之所以能起到保护作用，是因为在高减速过程中，由于安全带的约束作用，将产生一种“乘员下沉现象”，利用安全带吸收乘员的动能。假定乘员质量为 M ，因安全带使乘员获得的减速度为 $a_m(t)$ ，减速中车体的速度为 $V(t)$ ，则利用“乘员下沉”所吸收的能量为

$$E_k = \int_0^t M a_m(t) V(t) dt$$

设撞车前汽车的速度为 V_0 ，则乘员所具有的能量为

$$E_m = \frac{1}{2} M V_0^2$$

因此，安全带起作用时的能量吸收率为

$$K = \frac{E_x}{E_m} = 2 V_0^{-2} \int_0^t a_m(t) V(t) dt$$

由公式看出，获得一个较高而安全的减速度，是安全带起保护作用的根本原因。

六、安全带和安全气囊

1. 安全带

安全带是一种将乘员柔性地固定在汽车座椅上的安全装置。在汽车紧急制动或碰撞发生时，能防止或减轻乘员所受伤害。

公安部规定自 1993 年 7 月 1 日起，上路行驶的小型客车和前排座乘车人必须使用安全带。这是因为小型车辆的行驶速度一般较高，自身质量较小，同时汽车的刚度、强度也较低，即使未发生撞车事故但采取了紧急制动，乘员也会由于惯性而发生二次碰撞。一旦发生了撞车事故，车辆往往在极短时间内由高速运动状态变为静止状态，巨大的惯性使得乘员无法自控，导致身体受到致命撞击。有时乘员甚至还会撞碎挡风玻璃飞出车外，与前方障碍物再次相撞。如果拥有安全带的保护，乘员将得到一个比较安全的减速度值，限制其向前移动的距离，防止乘员受到二次碰撞，对保护乘员的头部、面部、胸腹部都有明显作用。在车辆发生翻滚时，还可以保护乘员不致被甩出车外。

安全带装置结构简单、成本低、减轻乘员事故伤害的效果大（见表 3-7），是现代汽车上广泛使用的安全装置。许多国家包括我国都以法律的形式规定安全带是汽车必备的安全装置，并规定车内前排乘员在行车中必须系好安全带。

表 3-7 小轿车各种碰撞类型中安全带的保护率

碰 撞 类 型	在全部车祸中所占比例/%	安全带的保护率/%
正面碰撞	59	43
侧面撞击侧	14	27
侧面非撞击侧	9	39
后部碰撞	5	49
翻滚	14	77

在我国由于规定使用安全带的时间不长，很多驾驶员不了解安全带的保护作用，没有养成自觉佩戴的习惯，再加上部分安全带不符合标准，车辆管理部门对安全带的安装使用缺乏有效地管理，造成一些不该出现的事故损失。

图 3-11 所示为行驶速度为 30km/h 车碰撞过程中，驾驶员分别在未佩戴安全带、佩戴腰部安全带（腰带）和三点式安全带三种

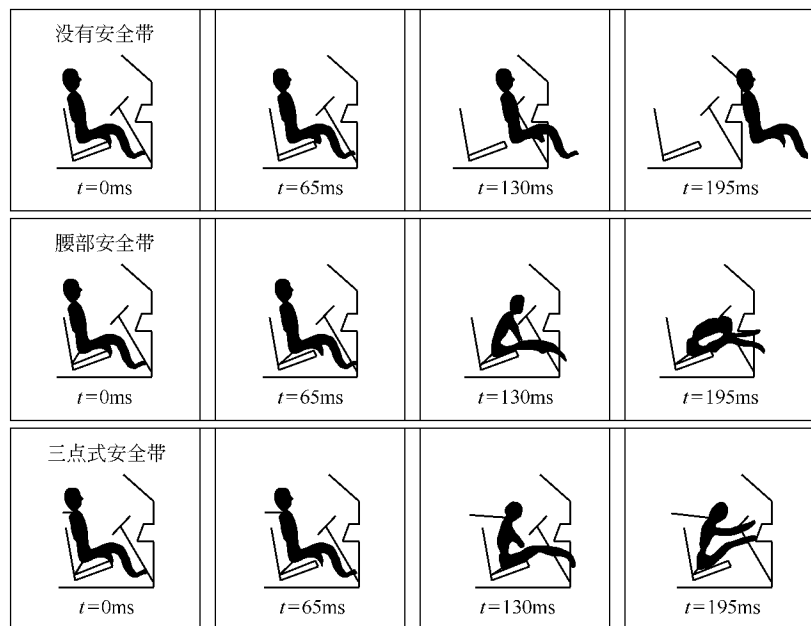


图 3-11 碰撞过程运动姿态模拟

情况下的运动姿态模拟。

2. 安全气囊

安全气囊是在汽车撞车或遇到障碍受到猛烈撞击时，装在乘员前面的一种自行充气的装置，其作用是防止乘员在碰撞中与方向盘、仪表板等车内结构物接触，从而避免因二次碰撞而受伤，它对保护前排乘员的头部和脸部是非常有效的。

对安全气囊的设计要求如下：在极短时间内使气囊膨胀展开，气囊的初期内压要超过一定数值；气囊的形状与乘员的接触面积尽可能大；设置排气机构，压入时气体从气囊逸出，以防止内压的过度上升而产生乘员回跳，减轻背部和颈部的负荷。

美国目前每年因使用汽车安全带能使 9500 人免于丧身，这仅是在 70% 的美国驾驶者使用安全带的前提下产生的，如果该比例达到 85%，则每年还将使 4200 人和 10.3 万人免于死亡和受伤。同样安全气囊的使用使轻型汽车交通死亡减少 11%（美国国家公路交通安全管理局调查结果），历年来累计效果相当明显。汽车保护系统的效果见表 3-8。

表 3-8 汽车保护系统的效果（挽救生命估计数）

时间	年 度 效 果			累 计 效 果		
	安全带	安全气囊	儿童成员 保护装置	安全带	安全气囊	儿童乘员 保护装置
1989 ^①	—	—	—	31498	15	1607
1990	6592	37	222	38090	52	1829
1991	7011	68	247	45101	120	2076
1992	7390	100	268	52491	220	2344
1993	8347	169	286	60838	389	2630
1994	9206	276	308	70044	665	2938
1995	9790	470	279	79834	1135	3217
1996	10414	686	365	90248	1821	3582
1997	10750	842	312	100998	2663	3894

① 表示 1975~1989 年的累计数据。

对事故分析研究可知, ABS 的运用将达到降低 7.1%交通事故的目的。

七、其他构件安全设计

为减轻事故中乘员因二次碰撞所受到的伤害,除上述安全带及安全气囊装置外,还有以下各种结构措施。

1. 转向机构

发生正面碰撞事故时,由于车身前部的变形,方向盘连同转向管柱一起向驾驶员方向移动。与此同时,驾驶员在惯性力作用下向前冲出。这样,驾驶员胸部会撞在方向盘与转向管柱上受到严重伤害。

为减轻转向器产生的伤害,在撞车时要防止转向管柱向后突出,并能在二次碰撞时吸收能量。可在汽车的转向管柱上设置缓冲环节,例如可使转向管柱的一部分在受到剧烈冲击时发生弯曲变形,从而吸收冲击能量,减轻对人体造成的伤害。

2. 座椅和安全头枕

座椅本身的强度及在车身上的安装强度要足够,以防发生撞车事故时因座椅损坏而对乘员造成伤害。当在座椅上的加载量为座椅总重量的 20 倍和座椅受到水平向前或向后的 20g 速度时,座椅骨架不应与座椅调节机构分离,座椅调节机构不应损坏、失灵,座椅与汽车车身不应分离。

座椅安全头枕是指用以限制乘员头部相对于躯干向后摆动的弹性装置,其作用是发生碰撞事故时减轻乘员颈椎可能受到的损伤,分为独立式和整体式两种。安全头枕的前、后面应使用能吸收冲击能量的材料,并应具有足够的抗压强度。任何使用部位不能存在可能对乘员造成伤害的突起和尖棱。

3. 安全玻璃

现代汽车的车窗玻璃常用钢化玻璃或夹层玻璃。钢化玻璃是指经热处理的玻璃板,由于玻璃表面形成压应力层,从而提高了抗外力作用及耐一定温度急变的强度,而且破碎时呈颗粒状。夹层玻璃

是指两块以上的玻璃板用塑料作为中间膜粘接的制品，当受外力的作用而破损时，因中间膜的存在而使绝大部分碎片黏附于中间膜上。

这两种玻璃被破坏后，不会产生尖锐的碎片，不致伤害乘员皮肤，因此称为安全玻璃。

最近，国外又研制出新型的车用玻璃，它具有特殊的功能，比夹层玻璃更安全，每平方毫米能承受 1200kg 的压力。汽车以 200km/h 的速度高速行驶时，这种玻璃被金属物击中后，不会被击穿。此外，这种玻璃表面镀有无色硅树脂糊剂，用透明塑料制成，因而雨、雪、雾、蒸汽均沾不到玻璃上，从而可以保持视线清晰。

4. 仪表板

仪表板表面应以弹性材料覆盖，以便受到撞击后能产生一定的变形，吸收冲击能量，减轻对人体的伤害。

5. 减少车内突起物

车内的结构物，如门把手、遮阳板、搁板等表面不允许有尖棱和粗糙面，并以弹性材料覆盖。

交通安全心理

人是交通安全的主体。在道路交通系统中，人既是交通事故的制造者，又是交通事故的受害者。人包括所有使用道路者，如驾驶员、乘客、骑自行车者、行人等，他们是交通系统中的客观对象，若不能全面、及时地感知，正确地思维、准确地判断、灵敏地操作反应，就要酿成交通事故。

驾驶汽车是由驾驶员在驾驶室（车内环境）操作驾驶机构（驾驶员-车辆系统）在道路（车外环境）上行驶的过程。这里的驾驶员操作环境与其他人-机系统有所不同，驾驶员的信息不仅来自车辆，还来自道路环境，而且信息的内容瞬息万变，驾驶员必须根据道路环境和车辆状态的变化去操作车辆。交通安全心理学的首要任务就体现在这种关系上，研究人与车辆的配合，人和环境的融合，以促进更好地设计和建造汽车与道路、减少驾驶员行为的错误。

第一节 驾驶员的个性特征

个别差异是一项不可否认的事实。不仅驾驶员年龄不等，而且能力也不相等，即每个驾驶员之间的生理与心理特征，如身高、性

别、性格、经验等都有很大差异。交通安全心理学对一些与驾驶行为有关的个别差异感兴趣。

首先,对同龄驾驶员的观察发现,他们处理信息、判断和反应能力就存在很大差异,驾驶员的年龄分布在18~60岁或更大一些,随着年龄的增长,驾驶员能力也会发生变化,老年驾驶员可通过他们的驾驶经验和细心来补偿他们生理上的弱点。其次,驾驶员个别差异不论在白天、黄昏和夜晚,好天气与恶劣气候情况下都始终存在。交通安全心理学家所关心的是个别差异的类型以及造成这些差异的原因所在,研究区别安全驾驶员和出事故驾驶员的特征。显然,保险公司对这些问题的研究不是为了满足科学上的求知欲,而是关心对保险业务的需要,依据过去发生的交通事故的统计分析差异来识别出事故驾驶员。虽然这些差异重复地在交通事故中出现,但很难看出这种差异是引起交通事故的自变量。下面是英国汽车保险公司用来计算保险费的几个要点。

1. 车辆用途

家庭私用和娱乐用车辆的保险费较低,用作上、下班的车辆保险费较高,而用于营运车辆的保险费更高。

2. 投保人职业

对发生交通事故可能性大的、某些职业的人赔偿他们的金额很高,故根据不同职业分别收取不同的保险金。

(1) 职业较好的条件

会计师	银行职员	公务员	消防局职员
律师	警察	教员	传教士

(2) 稍差的职业

新闻业职员 商品销售员 军人

(3) 最差的职业

酒店老板或税收员	赛马场赌注登记人	职业运动员	娱乐界
夜总会员工	小贩	外交人员	

3. 驾驶经验

外地和本地的驾驶经验要分别对待。

4. 驾驶记录

驾驶记录良好的具有长期不发生交通事故的可能性，所收取的保险费也低。

5. 车辆型号

运动型汽车的风险最大。

6. 车辆价格

如果汽车价格高出一定限度，收取的保险费也较高。

7. 车辆行驶地区

在城市人车混杂的地方容易发生交通事故，其保险费必然收得多些；在偏远的地方，发生事故的机会少，保险费也定得低一些。

8. 投保者年龄

图 4-1 所示为驾驶员年龄与交通事故率的关系，最易发生事故的是 20 岁左右的青年人，最安全的则是中年人。

当然，一个人的能力与年龄是密切相关的，人老了自然比较迟钝，但年龄大的人却有丰富的驾驶经验、性情又比较温和。通常，可将一般人的驾驶生命按年龄分为如下六个阶段。

1. 17 岁~21 岁

青年人虽然健壮，但没有驾驶经验，最易发生意外，因为他们过于自信，而且愚昧无知，认为自己不会出事，所以经常冒险，鲁莽从事。

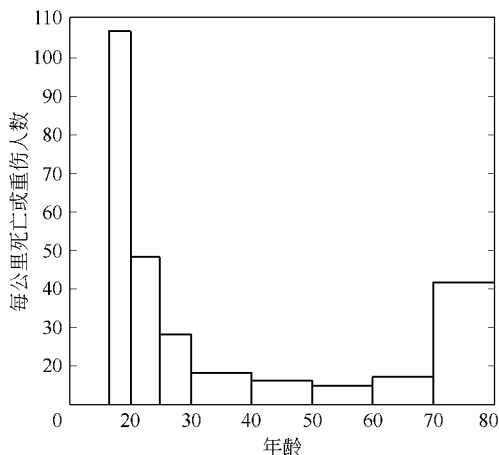


图 4-1 驾驶员年龄与交通事故率的关系

2. 21岁~25岁

这个时期的青年人责任感较重，驾驶经验较多，判断力也较佳，驾驶汽车比较安全，女性驾驶员的判断力可能受月经的影响。

3. 25岁~40岁

大多数人此时已成家立业，所以更有责任感，不轻易冒险，同时也很少患有心脏病等，在驾车中突然发病的机会也很少。

4. 40岁~55岁

这个时期的人体重增加，心脏病等发作的机会也随之提高，视力也可能减弱，但他们的驾驶经验丰富，足以弥补上述弱点。

5. 55岁~65岁

驾驶员到了60岁，大多患有视力方面的毛病，而且记忆力衰退、反应迟钝，心脏病等发作的机会更大，听觉也变差了。

6. 65岁以上

这个年龄组的人往往患有衰老疾病，而且反应迟钝，如果驾车的话，要避免在夜间、高速公路和市内行驶。

对那些可能影响驾驶行为的驾驶员特征所进行的研究可以罗列出—长串因素来，遗憾的是不能将它们单个地列出，因为这些因素常常是相互关联的，而且很难分开进行实验。例如，人们希望随着驾驶经验和驾驶技能的提高来改善驾驶行为，然而，在美国佛罗里达、纽约和得克萨斯，对注册赛车驾驶员与普通驾驶员相比较的一项综合研究表明，赛车驾驶员的交通事故和违章次数都比普通驾驶员明显得多。流行的一种神话说，赛车驾驶员就是安全驾驶员。而产生前述结果是因为技能高的驾驶员习惯于冒险而普通驾驶员不这样做而已。

综上所述，我们得出以下结论。

① 驾驶员个性是指影响驾驶员在不同情况下行为方式的一种相对稳定特征综合体。

② 许多研究表明，驾驶员个性特征与驾驶行为和交通事故有

一定的关系。驾驶员的个人适应不良和社会适应不良都可能引起交通事故，而疲劳、酒精、药物等引起的暂时损伤也可能导致交通事故的发生，此外，有关的驾驶技术和能力，如驾驶经验、视力等，都可能影响驾驶行为和交通事故。

③ 现场独立性可用来区别优秀驾驶员和出事故驾驶员，具有现场独立性特征的驾驶员在复杂环境下可以敏感地发现视觉线索，而具有现场依赖性的驾驶员发现危险情况的能力差，前者很少发生交通事故，而后者发生多次事故。

④ 暂时损伤对驾驶能力的影响很大，疲劳、酒精和药物都可能引起暂时损伤。疲劳影响驾驶员视觉探测行为、刹车行为和保持车辆正确行驶位置的能力；酒精对交通事故的影响也得到充分证明，许多国家都在法律上规定酒精中毒的驾驶员不准开车。通常，驾驶员血液中的酒精含量在 0.10% 时即为酒醉，在这种情况下发生的交通事故是未受酒精中毒时发生事故的 6~7 倍；药物，如苯基丙胺、大麻和镇静剂等，都在不同程度地影响驾驶技能，如果同时与酒精混用，其影响就大大加强。

⑤ 事故趋势理论认为，对事故多发者进行测量可以发现他们的共同特征，然后用这些特征作为预测手段将有助于减少交通事故。一些研究支持这一理论，而另一些研究却怀疑它。

⑥ 生物节律理论提出人类行为受体力、情绪和智力周期变化循环的影响。许多研究分析驾驶员生物节律状态与交通事故的关系，发现临界日的交通事故多，还有一些实验报告认为，当驾驶员处于临界日时给他们一些提示警告，有助于减少交通事故，然而，这些理论也缺乏充分的科学论据，所以引起人们的广泛争议。

⑦ 某些个别差异与驾驶行为有关，如驾驶经验（典型地体现在驾龄年限上），虽然它对掌握和提高驾驶技能是很重要的，却与交通事故无关，驾驶员缺乏经验可能发生交通事故，而有经验的驾驶员比普通驾驶员更可能发生事故，因为获得的驾驶经验增大了冒

险的可能性。

⑧ 视力好是安全驾驶的必要条件，对交通事故的研究都支持这一公理。对驾驶必需的视力研究表明，现行测量视力的方法不能作为标准，应当检查驾驶员边缘视力、动视力、夜间视力及辨色能力。

第二节 驾驶信息处理

一、信息处理过程

驾驶员只能将有限的的能力用于接受必要的信息上。在驾驶汽车的过程中，信息的主要来源是通过视觉获取的。心理学家们都趋于把刺激当做有机体内部以不同方式进行处理的信息。在信息超荷的情况下，驾驶员还要决定注意那些有用信息而忽视其他信息，这就是驾驶员信息处理过程的第一步。

如果吸引驾驶员注意的目标或事件并不处于视区的中央，驾驶员下一步就要把眼睛移向这目标或事件，使它们处于视区中央而能更好地获取信息，根据接受到的信息来决策是否改变驾驶行为（如转向或加速）。对于复杂的情况来讲，所有的信息处理过程并不是有序的，实际上，处理一些信息的过程中，同时还在处理另一些信息。

信息处理过程是安全驾驶的一个重要方面，在驾驶任务的三个方面（获取信息、制定决策和控制车辆）中，信息处理是最基础的，驾驶员只能在掌握可靠的信息基础上才能制定出正确的决策去控制车辆。驾驶员作为信息处理者，他对信息的处理是在一定的时间限制下进行的。驾驶员信息处理的限制不在于接受信息量的多少，而在于信息处理的速度上。比如，只要有足够的时间，任何驾驶员都可以读完排列在高速公路出口处的五个标志牌，并从中获取

他所需的信息，当车速为 88km/h，要完成好这一任务，驾驶员就要降低车速以便在通过标志前获取信息。

驾驶员视觉信息通道的最大接受信息速率为 $4.6 \times 10^6 \text{ bit/s}$ ，听觉为 8000 bit/s 。对各种情况（高事故或低事故、违章多或少违章）的驾驶员进行测量，用他们的决策时间来比较其信息处理能力，结果如表 4-1 所示。可以看到，高事故率驾驶员的信息处理能力很低，意外的是，无交通事故而违章次数多的驾驶员具有最高的信息处理能力，这可能是因为他们的驾驶习惯接近危险状态，但又没有超过信息处理能力，因而避免了交通事故的发生。

表 4-1 不同事故和违章率驾驶员的信息处理能力/ $\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$

事 故 \ 违 章	信息处理速率	
	无 违 章	多 违 章
无事故	26.09	38.67
多事故	21.13	15.69

有一项研究假设每公里道路含有一定比特的信息量，据此提出驾驶员信息处理模型。驾驶员车速越快，每单位时间内处理的信息必然越多。如果驾驶员以固定的时间间隔观察道路，那么，从最后观察道路开始，他就不能肯定他在道路上的位置及发生了什么事情。考虑驾驶员视线周期性被遮断的情况如图 4-2 所示。

在 $t = T_1$ 时，视线无阻碍，驾驶员获取信息，当 $t = 0$ 时，驾驶员储存的道路信息数量最大。接着至 T_d 秒时，视线受阻碍，在这段时间内，存储的信息逐渐

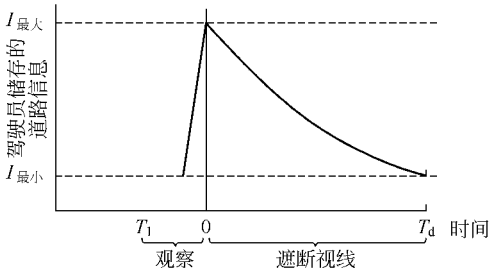


图 4-2 事件计时图

减少, 在 $t=T_d$ 时, 存储的道路信息数量最小。此时恢复视线就会如前述情况循环反复。

有关驾驶员信息处理模型的假设与推导如下。

① 驾驶环境为稳定状态, 车速恒定 $V(\text{km/h})$ 观看计时呈周期性, 在 T_1 时, 视线无阻碍, 而在 T_d 时被遮断。

② 道路含有固定的信息密度 $H(\text{bit/km})$ 。

③ 驾驶员存储的影像信息密度为

$$He^{-X/D}(\text{bit/km})$$

式中 D ——加权系数, km ;

X ——从遮断开始时的距离。

④ 观察期间对驾驶员获取所有信息来讲, 时间应是足够的, 信息存储量在 $t=0$ 时为 $HD(\text{bit})$ 。

⑤ 信息按 $I_r(t)/F$ 速率被遗忘, 而按 $I_r(t)B/D$ (bit/s) 成为过时的, 遮断开始 t 秒后的信息存储总数为

$$HDe^{-(V/D+1/F)t}(\text{bit})$$

式中 I_r ——存储的信息量, bit ;

F ——时间常数, s ;

V ——车速。

假如驾驶员调整车速或遮断时间, 在遮断结束时的不肯定性 $U(T_d)$ 小于临界值 U_c 。这里的不肯定性包括关于道路、车辆位置 and 车辆方向的不肯定性。这样, 驾驶员特性模型可写成

$$U(T_d) = HD[1 - e^{-(V/D+1/F)T_d}] + K_n V^2 (T_d)^{3/2} \leq U_c$$

根据对驾驶员的试验可得

$H = 12.0 \sim 34.0 \text{ bit/km}$; $D = 0.18 \sim 0.50 \text{ km}$; $F = 3.5 \sim 10.0 \text{ s}$; $U = 1.07 \sim 13.47 \text{ bit}$

结果表明, 观察频率越小或观察周期越短, 驾驶员所能保持的车速越低; 反之, 车速越高, 驾驶员必须更多地观察道路。

由于驾驶员信息处理受到速率的限制, 使得驾驶员的注意和视

觉探测行为显得格外重要。通常，驾驶员注意那些重要的事件或目标，而驾驶员未注意的事件也许对安全驾驶很重要。例如，未被注意的广告栏对安全驾驶并没有什么意义，而未被注意的停车标志却可能导致交通事故，所以说，驾驶员还有一个适宜的目标观察密度，只有在这个范围内驾驶员的情绪才不紧张，并对道路环境变化及时做出反应。目标观察过大，即信息超荷，就要求驾驶员高度集中注意力。驾驶员在注意驾驶操作的同时，选择性地观察目标，并根据目标的多少及与车辆的远近来估计目标的意义，忽视那些与交通无关的目标。在交通紧张的情况下，路旁的行人不会引起驾驶员的注意，而在单调的平原公路旁，一个行人却会长时间地吸引驾驶员的注意力。当信息超荷时，驾驶员会本能地减低车速，使接受信息的速率适当，因此，驾驶员在驶进道路交叉口或人行横道的时候总要降低车速。

在道路交通系统中，驾驶员是一个积极因素，而不是消极因素。因此，驾驶员既要对危险情况做出反应，又要处理好这些危险。假如驾驶员低速行驶可以减少驾驶压力，相反，驾驶员追求危险大的刺激就可能增大驾驶压力和危险。根据驾驶员的心境、需要和能力变化，驾驶操作水平随时间与环境而变化。环境需要与驾驶员操作水平之间的关系如图 4-3 所示，只要驾驶员的驾驶水平保持在环境需要之上就可以防止交通事故。在拥挤条件下高速行驶，由于环境的需要，驾驶员信息处理能力就应集中在驾驶任务上，图中 A 说明这种情况。当环境需要低速或驾驶员低速行驶时，驾驶员就可把一些信息处理能力分配

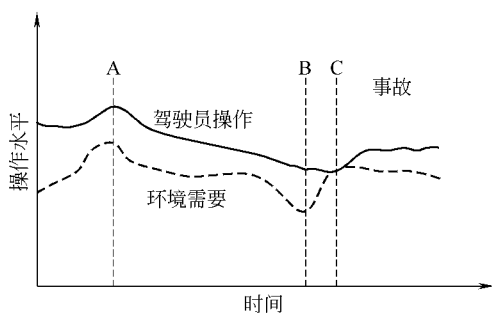


图 4-3 环境需要与驾驶员
操作水平之间的关系

到非驾驶任务上，图中 B 点说明这种情况。许多危险情况的典型特征是，当环境需要高时，驾驶员毫无准备，因而导致图中 C 点的情况。如果驾驶员操作水平与环境需要曲线交汇在一起时，便产生交通事故。

二、注意

经常观察注意道路环境发生的事件对安全驾驶是很必要的。驾驶汽车是一项不太紧张的任务，人们可以不间断地驾驶几十小时。对交通事故的统计分析表明，如果驾驶员都注意观察事故发生前的危险情况，那么，可以防止 40% 的交通事故发生。驾驶员受到车内外的干扰或专注于其他任务，都可能导致错误地观察标志和信号等。要了解注意对驾驶行为的影响，下面将详细讨论注意的两个主要特征：注意的水平和注意的分布。

注意是心理活动对那些对个人具有意义的事件或物体的指向和集中。在道路交通系统中，驾驶员面临的道路环境事件和物体都很多，但驾驶员并不需要同时感知所有的事物，而是带有选择性地感知其中与交通活动有关的事物。当驾驶员的感觉器官指向这些事物，并且集中在这些事物上，这种心理现象就是注意。而被注意的东西就成为一系列知觉和运动事件的“目标”。在道路上行驶，吸引驾驶员注意的三个方面如下。

- ① 与道路有关的因素，如道路的各组成部分（如弯道、交叉口、标志）和路边环境。
- ② 与交通有关的因素，如其他汽车、自行车以及行人的情况。
- ③ 与交通无关的因素，如引人注目的建筑物、周围的景观，甚至飞过道路上空的飞机等。

1. 注意的水平

驾驶员分配到各个目标上的注意量是不同的，它受外部的环境需要和内部的动机所影响。对比驾驶员在未画车道的长直道路和都市地区长直道路高峰小时的行驶情况可以发现，这两种情况

的主要差别就是分配到驾驶任务的注意量不同。通常，分配于驾驶任务的注意量取决于道路环境，当环境需要增加时，驾驶员分配于驾驶任务的注意量也相应增加；当环境需要减少时，分配的注意量也减少。道路设计师的主要目标之一是，通过减少环境需要来减轻驾驶员负担，以使驾驶汽车成为一件容易的事。当然，对环境需要的过分减少也是危险的，它可能引起对驾驶任务的注意水平不足。

许多时候，驾驶员都可保证分配到驾驶任务上的注意量与环境需要相适应。在英国进行的一项研究证明，在需要少量注意的环境下（如轻量交通条件），驾驶员可做一些另外的心理任务而不损害主要的驾驶任务，但是，在比较紧张的环境下，分散注意会使驾驶任务和其他心理任务同时恶化。

如果分配注意是一种需求任务，那么，驾驶员就是不断努力减少危险影响的信息处理者，只要这种危险不超过他所乐于忍耐的范围。在研究中，同样可证明驾驶员根据知觉到的危险情况去分配注意的能力也是变化的。运用标志知觉研究可以说明，在实际驾驶环境中，客观危险和标志重要性是怎样影响注意水平的。驾驶员在通过各种标志行驶 640m 之后停止下来，报告他们通过的最后一个标志是什么。结果发现，驾驶员正确报告的比例很低，而且对不同标志的正确报告比例也不相同（见表 4-2），它表明驾驶员正确回忆标志的比例与标志的客观重要性相关或与标志包含的危险相关。由此也产生一些令人费解的事实：要更正确地知觉速度限制，驾驶员首先应理解标志的含义，这又只能在以某种方式阅读了标志或根据标志的物理线索（如形状和颜色）理解标志含义后才能实现。这个结果还表明，驾驶员可以处理大量的信息，那些被知觉到的不重要标志（信息）可能很快遗忘。因此，驾驶员分配到不同目标上的信息处理注意量就是目标重要性的函数。它是一个相当宽容的系统，允许驾驶员比较自由地改变注意量而不是把全部注意集中到一个目标或分散到所有目标上。

表 4-2 通过标志后正确回忆标志的能力

标 志 内 容	正确回忆标志的比例
300m 后速限 50km/h	78
警察控制(检查)	63
1km 后刹车(由于霜)	55
一般警告	18
300m 后行人过道	17

既然驾驶任务并不需要驾驶员的全部注意,那么,驾驶员剩余的注意又用于什么地方呢?一般地,大部分剩余注意都存储起来,当需要时,驾驶员就可以将更多的注意分配到驾驶任务上,而不影响驾驶速度,例如超车,此时的驾驶操作比在无阻碍道路需要更多的注意,当完成超车之后,驾驶员都会感到如释重负。在任何时刻都需要意识到危险性,而驾驶员并不总是把全部注意力分配到驾驶任务上,这个道理很简单,因为在驾驶过程的绝大多数时候是宽容的。驾驶员注意水平的变化是各种刺激线索和需求重要性的函数,进一步说,获取的驾驶经验越多,驾驶员就会表现出更宽容的行为。

2. 注意的分布

驾驶员注意的分布类似于探照灯的光束,集中在小面积而分布在很大范围上,而且注意的分布可从一个范围转移到另一个范围,这就是注意分布的两个特点,既可把注意集中在某一区域或目标上,又可把注意分散到各个相关目标上。在视区范围内,驾驶员的注意典型地集中在前面道路区域上,同时也分散一些注意在边缘上,形成一扇形视区,视区各部分的重要性也不相同,对驾驶员来讲,利用各部分视区信息的方便性也不同。驾驶员视区内图像的准确性取决于车速、转弯半径和驾驶员期望的停车距离。驾驶中扇形视区随车辆加速度和路面条件而变化,行驶车如图 4-4 所示。

为了有效地注意有关的信息源,新驾驶员趋于把全部注意分配到驾驶任务上,而有经验的驾驶员只将少量注意分配在驾驶任务上

而把多数注意分配到非驾驶任务上。甚至在有经验的驾驶员中,有效分配注意方式的差异也是影响安全驾驶的一个重要因素。研究发现,驾驶员把眼睛注意从一个地方迅速转移到另一个地方的能力与交通事故有着明显的关系。以色列对公共汽车驾驶员进行实验,要求被试者通过耳机接受两种不同的模拟信息,每个耳机传递不同的信息,驾驶员的任务是根据收到的信息把“注

意力”前后左右移动。研究者发现,完成的注意任务与事故率之间有着明显的正相关:事故率高的驾驶员趋于错过较多的信息,而且在选择注意任务中的错误也比较多。在美国,对公用事业公司的驾驶员进行实验,发现驾驶员的事故频率与选择注意测验情况之间存在统计上的相关。应当说明的是,这两项研究都是使用的听觉信息而不是视觉信息。不过这些研究的结果都支持这样的观点:驾驶员感觉器官的信息处理能力水平是有限的,听觉和视觉输入也同样是有限的。

三、视觉探测

人们常将眼睛当做心理活动的窗户,那些可以被观察到的眼睛运动即是视觉探测。它经常被当做心理活动的指标或注意的方向指标。怎样才能通过视觉探测获取大量的信息呢?

驾驶员的视觉探测过程受到两种机制的控制,一种是外部的,

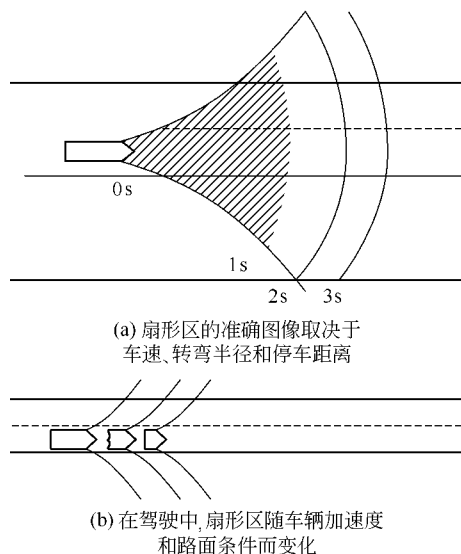


图 4-4 行驶车辆的驾驶员视觉区

另一种是内部的。外部控制是在边缘视区的模糊表象相当引人注目的时候，大脑思考认为对它注意是值得的机制；内部控制是驾驶员期望所注意的多数信息进行聚焦的机制。这两个机制通常是和谐地进行的。例如，驶进弯道时，连续的视觉探测（观察）是由道路和路缘线控制的，而驾驶员的注意趋于聚焦在视区中信息最多的地方。

驾驶员视区中哪些是信息区呢？在大多数的时间里，驾驶员的注意又集中在哪里呢？利用眼动记录装置，研究者可以直接观测驾驶员眼睛指向的视区。由于最高的视力位于眼睛的中心，可以认为，中心指向的地方即是驾驶员主要视区的指向地方。有两种方法可以描述驾驶员视区指向的地方。第一种方法是按照距离某一中心的度数来描述驾驶员前面的视景。对驾驶员眼动行为的一系列研究之后，得到关于驾驶员视觉探测行为性质的结论是：在驾驶中，驾驶员的眼动很少超过 6° ，多数情况的眼睛注视时间为 100ms，持续时间为 350ms。大约 90% 的观察处于距扩张焦点正或负 4° 的范围。

描述驾驶员视觉注视习惯的第二个方法是测量观察视区内不同目标所花费的时间量。研究发现，在无阻碍道路上驾驶，驾驶员大约花费 50% 的时间观察正前方，大约有 27% 的时间观察左右的远景，大约 6%~8% 的时间观察其他车辆情况，大约 7%~8% 的时间观察桥梁，只有 2% 的时间观察车前的路面和车道标线。

影响驾驶员视觉注视类型的因素很多，例如个性、酒精中毒、疲劳和驾驶经验等个别差异以及环境因素，如和无阻碍的道路上尾随车辆的驾驶和与驾驶任务有关的需要，如寻找特定道路标志。影响驾驶员注视类型的环境因素是道路几何形状。

总体来讲，驾驶员视觉注视类型反映信息获取过程及其损伤。有经验的驾驶员可以把注意力固定在视区中与需要有关的范围上。在无阻碍道路上，驾驶员趋于把注视集中在扩张焦点上，当道路几何形状变化时，驾驶员的视觉注视类型也相应变化。掌握驾驶员在道路环境中观察不同目标的地方及时间情况，就可以更好地了解驾

驶员利用的视觉线索，我们就可通过改进道路和标志的设计来帮助驾驶员进行驾驶。

四、知觉与知觉判断

所谓知觉，是人们对周围客观事物经由感觉器官接受的信息结合期望把个别感觉理解为事物完整映像的心理过程。当驾驶员知觉目标时，首先对通过个别注视获取的信息进行重建和说明，然后，大脑解释这些感觉输入，只有当这些输入变为有意义的时候，驾驶员才对目标有知觉，如道路、车辆、标志、行人等。大量研究表明，驾驶员的知觉能力随着对事物突出的结构特征的逐渐把握而发展起来，驾驶员的经验对触觉能力有一定的影响，经验越丰富，知觉也越丰富，从事物中看到的東西便会越多。

空间知觉是驾驶员对客观存在的空间反应，包括形状、大小知觉、目标位置、距离和方位知觉。空间知觉在驾驶员与道路环境的相互关系中起着重要作用。因为行驶中，驾驶员要随时了解道路几何形状、其他交通的大小、距离和方向等情况，以便正确处理驾驶中出现的问题。例如超车，驾驶员要了解被超车的大小、距离，以便掌握超车时机。驾驶员在运动活动过程中，既要确定目标的形状大小、位置和相对距离，同时还要分析周围物体的位置，这是一种综合与特殊的能力表现，称为空间分析。

（一）道路几何形状的知觉

形状是眼睛把握物体的基本特征之一，它涉及的是除物体在空间的位置和方向等性质之外的那种外部形象。换句话讲，形状不涉及物体处于什么地方，而主要涉及物体的边界线。三维物体的边界是由二维的面围绕而成的，而二维的面又是由一维的边线围绕而成的，对于物体的这些外部边界，人的感觉器官可以毫不费劲地把握到。通常，驾驶员可以准确而有效地知觉道路，并安全地行驶。有些资料表明，在某些情况下的视觉错误形式将迷惑驾驶员对道路的知觉。当然这种资料是不充分的，举例来讲，驾驶员驶进弯道都要

把车速调整到适当范围，这并不仅仅是在弯道前一定距离时，驾驶员认识到弯道看起来比实际情况要陡的缘故。实验室研究反复证明，弯道可见部分越小驾驶员就越会低估曲率，而在实际道路上，甚至在较远可完全看见弯道时也会产生低估现象。眼动研究表明，驾驶员利用路缘标线作为曲率线索，那么，要使那些错误理解弯道的驾驶员对曲率线索敏感起来的一个方法就是使路缘标线正确地变化。

另一些影响驾驶员知觉道路几何形状的线索是听觉和动觉线索。虽然驾驶员对道路的知觉主要依靠视觉线索，但在驶进弯道时，由于向心力引起的轮胎响声和车体的摇动也为驾驶员提供曲率判断是否正确的反馈信息，如果这种反馈不是太晚的话，那么，驾驶员就可利用它来修正驾驶行为。实际上，驾驶员对车辆侧向加速度的生理忍耐是有限的，因此，驾驶员愿意把车速降低下来。根据情况不同，当车速高达 66km/h 时才调整车速维持 $(0.25\sim 0.40)g$ ，这是驾驶员愿意忍耐的舒适水平，这也表明他们对危险的知觉。

（二）时间、距离和速度的知觉判断

1. 超车知觉判断

驾驶汽车是与时间因素密切相关的过程。准确地判断时间、距离和速度是在道路上安全操作所必需的前提。在驾驶中经常要完成超车活动，通常迎面还有车辆运行，驾驶员需要连续地判断和准确地估计车头距、净空和两车间的相对速度，被超车和迎面交通的情况。

在双车道上允许超车的地方，为了不与迎面而来的车辆相碰撞，必须具有一定的超车视距驾驶员才能安全完成超车，超车视距如图 4-5 所示，超车过程可分为如下 4 个阶段来计算超车视距。

- ① 超越车辆开始加速至行驶到对向车道的距离 d_1 。
- ② 超越车辆在对向车道上的行驶距离 d_2 。

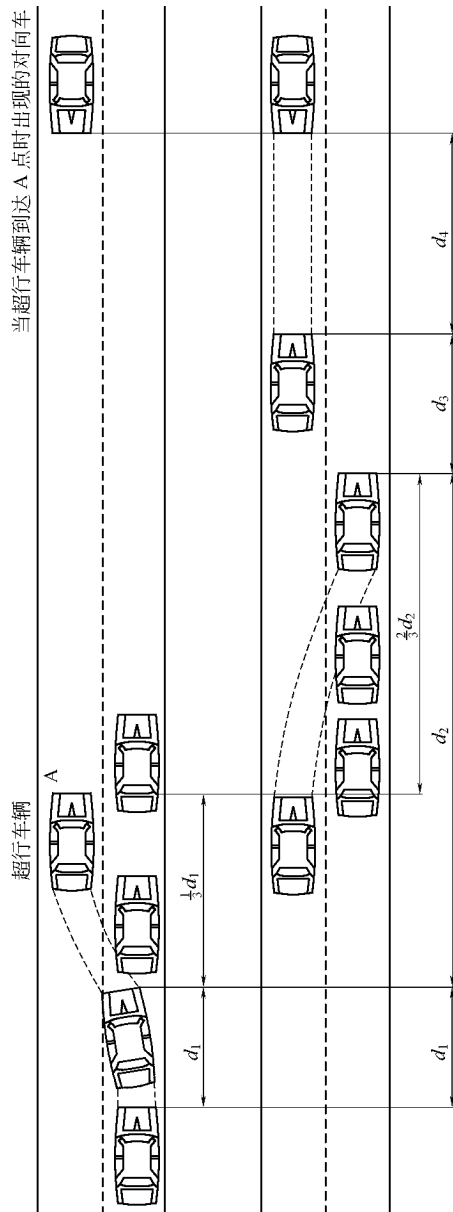


图 4-5 超车视距

③ 超越车辆完成超车后与对向车辆的距离 d_3 。

④ 超越车辆在对向车道上行驶时间内对向车辆的行驶距离 d_4 。

显然，安全超车所需的视距为上述距离之和。驾驶员在超车时的反应时间（包括看见信号和理解信号的时间）、决策时间、操作时间和平均反应时间都随车速的提高而减少。

研究表明，驾驶员超车都会低估超车的最小距离，估计误差范围是实际超车距离的 20%~50%，这个比例随车速的提高而提高。

2. 速度特性

在公路交通事故中，由于司机没有掌握好车速造成转弯冲出、撞坏护栏的事故较多，汽车司机在车流中驾驶没有掌握好前后车之间的跟随距离，引起追尾事故也时有发生，这些事故的发生虽然表现为速度过高或超速现象，但其深层原因是由于驾驶员缺乏速度感和距离感。

(1) 速度低估特性

驾驶员对车速的感知，主要通过视觉，看到路面和路两旁的景色的移动，借此判断速度，当然还可以根据发动机的声音、油门踏板、车辆的振动来综合判断车速。驾驶过程中，驾驶员通常不会完全根据速度表来获取车辆的运行速度值。

对驾驶员车速试验表明，驾驶员在驾驶过程中对车速的估计偏低，尤其表现在减速过程中，当由高速减至某一低速时，要比由某一低速增至某一高速时所产生的速度估计误差大。这一点尤其在道路拐弯处和出入口处的车辆速度低估特性对行驶安全有至关重要的影响。

(2) 速度顺应特性

人对速度有一种顺应特性，汽车在高速情况下行驶时间越长，人就越容易产生顺应性，对速度的感觉就越有下降的趋势。驾驶员长时间在高速状态下行驶，产生顺应性后再低速行驶，就有可能产生对速度估计不足的现象，从而造成高速行车。安全行车要求驾驶

员对车辆的主观估计速度 V_c 与车辆客观实际速度 V_s 一致。速度顺应性试验见表 4-3。

表 4-3 速度顺应性试验

实 验 条 件	司机实际掌握车速 /mile · h ⁻¹	标准偏差/%
车速由 0 ↗ 40mile ^① /h 后稳定行驶	41.4	3.38
用 70mile/h 行驶 5s 后 ↘ 40mile/h 后稳定行驶	44.5	10.1
用 70mile/h 行驶 20mile 后 ↘ 40mile/h 后稳定行驶	50.5	20.8
用 70mile/h 行驶 40mile 后 ↘ 40mile/h 后稳定行驶	53.4	25.1

① 1mile(英里)=1609.344m。

(3) 影响速度感的因素

试验研究表明,主观估计速度 V_c 与车辆客观实际速度 V_s 存在着如下的指数关系

$$V_c = K V_s^n$$

式中 K ——常数;

n ——幂数。

对白天和夜间驾驶行车的速度感试验并经数据处理后得到表 4-4 所示的参数值。

表 4-4 试验系数

项 目	白 天	夜 间
K	0.030	0.084
n	1.60	1.34

影响速度感的因素不仅仅是视觉情报,还与听觉有关。对被试者按下述程序开展试验。

- ① 根据汽车行驶的一般状况。
- ② 限制视觉情报 (将眼睛遮住)。
- ③ 限制听觉情报 (将耳朵遮住)。
- ④ 限制视觉和听觉情报。

在上述四项条件下，车速控制在 20~70km/h 的范围内，每相差 10km/h 车速为一点，共在 6 个速度点开展试验。在上述四种状态下，驾驶员速度偏差值见表 4-5，速度偏差试验值如图 4-6 所示。

表 4-5 驾驶员速度偏差值

速度/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	20	30	40	50	60	70
①	-4	-3.8	-4	-2	0	1
②	-3	-1.8	-1	2	2	1
③	-4.5	-5.7	-5.8	-4	-6	-4
④	-3.8	-6	-6	-4	-5	-6

注：①~④表明不同工况。

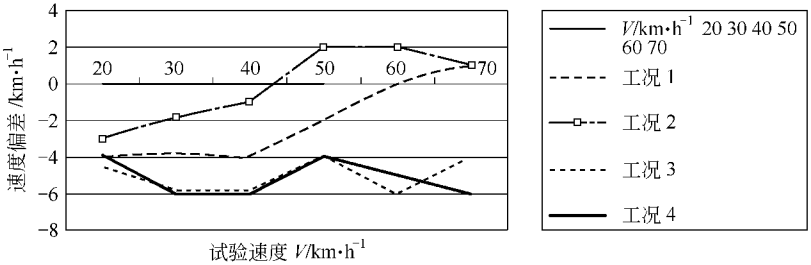


图 4-6 速度偏差试验值

由上述试验可得如下结论。

① 在低速（约 40km/h 左右）时，驾驶员估计的速度普遍偏低；

② 听觉受限制时，耳朵听不到发动机的声音和轮胎摩擦路面的声音，此时估计的车速一直较实际车速低。

③ 汽车行驶过程中放有适当音量的音乐可以减缓驾驶员的驾驶疲劳，调剂驾驶员单调的驾驶生活，但音量不能过大，否则，将会降低驾驶员的速度估计能力，从而导致车祸。

3. 影响距离感的因素

人的视觉器官不仅是单纯的“照相式”感知客观事物，而且还

能感知事物的远近。

当观察者与所视目标之间是一片平静水或平坦的雪地时，观测者容易把目标点估计得较近一点，这是因为提供距离远近参照物的水面或雪地缺乏线条密度的变化，使人产生距离较近的感觉。同样，当道路两旁没有布设合适的道路景观或栽种一定的树木时，由于驾驶员在驾驶的过程中对距离的估计没有参考对象或称为道路设计缺乏“线条密度”，会导致距离感缺乏，速度估计偏低的错觉。

在多雾地区能见度较低时，容易把距离估计得偏大；在明净、晴朗天气则容易将距离估计得偏小；雨天行驶时，由于环境的变化，同样会对驾驶员的距离判断产生影响，因此要加以注意。

影响人对距离远近估计的因素还有物体的亮度、颜色等方面。一般红色、黄色物体与蓝色、绿色物体相比，在同一距离下，觉得红色、黄色物体要近一些，通常而言，亮的物体有推近感，而暗的物体有退后感。

被视物体的背景暗淡和明亮程度，也会导致所造成的距离感产生差别，暗背景会使距离感减弱。分别在暗室和明室的环境中开展试验，对所示物体远近的估计表明，主观判断距离 L_s 和实际距离 L_f 之间存在着如下关系

$$L_s = KL_f$$

式中 K ——系数，明室为 0.99，暗室为 0.86。

在设置标志、标线时必须充分考虑到驾驶员对设立对象的生理反应和驾驶特性，使标志、标线能达到理想的使用效果。

4. 对车头间隔判断能力

在尾随车辆驾驶中，对两车间隙和相对速度的判断比对自己车速的判断更重要。在驾驶过程中的判断，是处理已观察到的情报和进行决定的过程，如在行车中要调整自己的车与前面车的车头间隔及速度，以决定超车或合流。但是，通常驾驶员对车头间隔的判断都都比实际车头间隔小。

美国人洛克威在 1972 年对 12 名驾驶员进行了两个试验，每个

试验做了 140 次观察，其观察结果见表 4-6。

表 4-6 对车头间隔的判断

项 目		速度/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$					
		80			112		
试验 1	实际的车头间隔/m	30	91	152	30	91	152
	驾驶员判断的车头间隔/m	21	55	85	15	40	64
试验 2	所指定的车头间隔/m	30	91	152	30	91	152
	驾驶员调整的车头间隔/m	27	55	73	18	40	55

在判断过程中由于驾驶员的认知能力、知识水平和经验等的不足致使自己的要求和欲望不相符合，造成错误的判断。

五、决策与决策时间

上面讨论了驾驶员怎样知觉判断距离和速度的情况，而知觉与决策的区别却是很模糊的。为了讨论方便，我们先分析根据经验、期望、人为规则和其他非感觉信息进行决策的情况。通常，驾驶员是先有知觉然后才进行决策的。举例来讲，当驾驶员期望超过前面慢速行驶的汽车时，首先要知觉判断自己车辆与对向交通的距离，然后才决策是否超车，又如驾驶员知觉到道路上的红色信号灯后，才决策停车。显然，决策中的个别差异比知觉和知觉判断中的个别差别要大得多。因为驾驶员的知识水平、经验和期望等的差别很大，而这些因素又以决策时间和决策意义两种方式影响人们的决策。

为说明知觉与决策过程，可利用知觉模型来进行分析，如图 4-7 所示。

图中 T 称为不动点，即为了避免危险可以采取行动的最后地点，超过 T 点后采取行动就不可能完全避免交通事故了； M 称为心理点，它是驾驶员知觉到不动点 T 的位置； A 称为行动点，即驾驶员决策采取行动（操作）的地点，这些行动是减速、停车、转向或加速。应当注意，在图中 A 和 M 都表示为点，实际上，驾驶

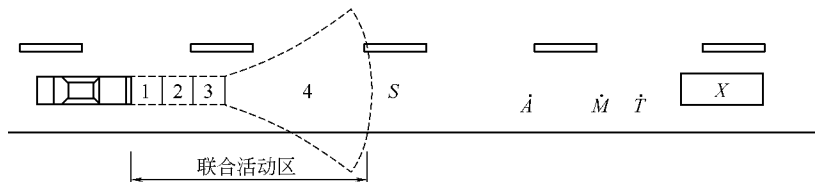


图 4-7 驾驶员知觉模型

1—在最小知觉时间内行驶的距离；2—在最小决策时间内行驶的距离；3—在最小反应时间内行驶的距离；4—在完成转弯或停车操作后车辆的最小滑行距离；

S —取决于车速、载重、刹车效率及道路摩擦因数的最小停车距离；

X —危险情况，它可以是停止的汽车、行人或潜在的
危险（如交叉口、弯道等）

员是把它们当做区段来理解的。这个模型表示的是某一时点的情况，在动态条件下，这些点都在变化。

图 4-8 所示为驾驶任务的知觉误差情况。 TM 称为知觉误差距离。驾驶员的心理点 M 既可以在不动点 T 的前面，也可在 T 的后面。若 M 点与 T 点重合则 TM 为 0。通常， TM 为正数。 AM 距离是驾驶员的误差边界，指向危险方向为正，对大多数驾驶员来说， AM 都是正值，只有企图自杀的驾驶员才会出现负值。

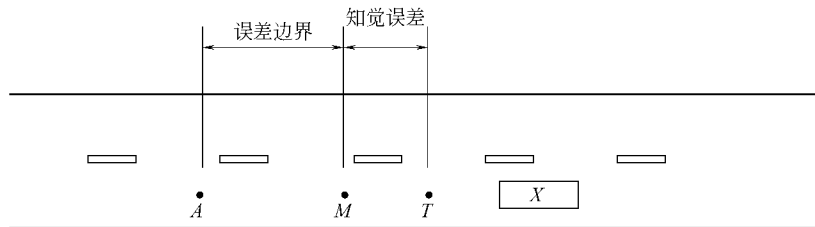


图 4-8 驾驶任务的知觉误差

在驾驶中，驾驶员进行知觉、决策和反应所花费的时间叫做反应时间。当决策的困难程度增加时，反应时间也相应增长。研究表

明，影响驾驶员反应时间的因素主要是刺激的水平、刺激与反应的和谐性和刺激的不确定性以及驾驶员期望等。

1. 刺激与反应时间

驾驶员的反应时间长短与交通事故的发生有密切关系。国外统计资料表明，反应时间长的人出事故率也高，以制动的反应时间为例，无事故的驾驶员平均为 0.377s，出事故的驾驶员平均为 0.393s，相差 0.016s。反应是否及时，主要取决于时间的长短。反应时间的长短与刺激物的种类有关。

从驾驶员受到某种刺激（如光线或声响等）开始至做出相应的反应动作为止所需要的时间即是反应时间。对单一信号刺激做出反应的时间称为简单反应时间，实验表明，驾驶员简单反应时间是由以下各部分组成的。

光线到达人眼视网膜	0.000s
视网膜细胞产生兴奋	0.020s
神经将兴奋传至视觉中枢	0.020s
从视觉中枢到运动中枢	0.095s
从运动中枢至肌肉产生动作	0.017s

总计起来，简单反应时间大约为 0.152s。表 4-7 是驾驶员对不同刺激的简单反应时间，从中可以看到，人对触觉信号的简单反应时间最短，其次是听觉信号，对视觉信号的反应时间较长。

表 4-7 驾驶员对不同刺激的简单反应时间

感觉	触觉	听觉	视觉	冷觉	温觉	嗅觉	味觉
反应时间/ms	117~182	120~182	150~225	150~230	180~240	210~390	308~1082

在实际驾驶中，作用于驾驶员感官的外界刺激很多，因此，复杂反应时间（也称选择反应时间）对驾驶员来讲更为重要。所谓复杂反应时间，就是无规律地向被试者呈现若干信息，指导被试者只在某一指定信息出现时才按下开关，与简单反应时间所不同的是，在复杂反应时间中含有判断过程。呈现的信息量越大，复杂反应时

间越长。一项对圆形仪表指针数的研究结果表明,当仪表板上只有一个仪表时,读取数字需 1.171s,而当仪表板上有 7 只同样形状的仪表时,读取数字需要 1.702s,延长了 0.531s 时间。

驾驶员的反应时间不仅依赖于受刺激的感官,还与有机体的状态有关。例如,驾驶员手与脚做出的简单反应时间就是不同的,在一项研究中,被试者坐在静止的驾驶室里,当车前的指示灯亮时,要求被试者立即旋转方向盘或脚踏制动板。试验结果表明,手的反应时间为 0.238s (均方差为 0.078s),脚的反应时间为 0.448s (均方差为 0.128s),相差约 0.21s。

此外,驾驶员的反应时间还与技术熟练程度有关。所谓熟能生巧就是说,通过练习可以改进驾驶操作(但必须有反馈)。因此,在实际驾驶中的复杂反应时间通过练习是可以缩短的,这是因为减少了决策时间的缘故。决策犹豫不定就是新驾驶员的一个特征,而有经验的驾驶员却可以很快地完成决策,不论在道路交叉口或绿灯变为黄灯时,有经验驾驶员的决策过程大多是自动化的了,所以只需少量的时间就可对刺激做出反应。

2. 刺激反应的和谐性

刺激与反应之间的关系应当是和谐共存的,两者之间的联系也是直接的。例如,在右弯道上按顺时针方向转动方向盘,在左弯道上按逆时针方向转动方向盘,对绿灯的反应是踏下加速踏板,这些都是和谐的刺激反应。如果颠倒上述刺激反应关系就会破坏刺激反应的和谐性,延长反应时间,从而导致更多的操作错误或交通事故。应当注意,上述关系似乎是很明显和直接的(如右转弯时向右转动方向盘),有些又是学习获得的(如遇上红灯表示停车)。刺激反应关系越和谐,决策越正确。这种刺激反应的和谐原理已广泛运用于汽车设计和道路环境设计,在一些关系不易显示的地方,通过设计的标准化可使刺激反应关系最终变为和谐的。然而不同的系统也可以和谐共存,例如,中国人在双车道上靠右行驶,而英国人同样是自然地在双车道上靠左行驶。这两种通行制度对中国

人和英国人来讲都是和谐的，而对整个道路交通系统的效果均没有太大的影响。从人机工程的观点来分析，实行车辆靠右行驶较为有利，世界各国的调查研究发现，大多数人的右手和右脚要比左手和左脚灵活、有力，在驾驶汽车时，右行制采用左方向盘，以便于驾驶员观察迎面驶来的车辆。变速杆、加速踏板、制动踏板和其他一些重要的开关、手柄均可用右手右脚来操作，这对大多数驾驶员来讲有助于减少操作反应时间。从另一角度来看，实行右行制驾驶员在车辆左边上下，而车辆左侧是道路中线，这在比较狭窄的道路上对驾驶室安全很不利，且容易造成行人伤亡事故。

3. 不确定性和驾驶员期望

首先简要说明一下不确定性的概念。1940年，仙农和维纳在所提出的通讯数学理论中指出：不确定性与事件的概率有关，事件的概率与事件发生的期望值相等。如一枚硬币出现正面的期望值概率大约为50%。大量研究认为，人们心理范围的期望影响反应时间。对目标的期望越高，人们就能越快地对目标做出反应，相反，对目标的期望越低，对目标的反应就要花费越长的时间。例如，驾驶员在单车道上识别驶来的车辆需要的时间就比在双车道上完成相同任务所需的时间要长。通常，一个或一组事物由一组符号信息来表示，符号与事物之间的联系通过联想来实现，不同的符号引起不同的联想，而相同的符号对于不同的人所引起的联想也是不同的。这就是符号信息的不确定性，符号的容量越大其不确定性也越大。

我们知道，决策时间对驾驶情况的主要影响是刹车。在一项经典研究中，假设反应时间是有关因素的函数，驾驶员的任务是尾随引导车行驶，并对它的信号做出刹车反应，这里的有关因素是信号和驾驶员期望。表4-8尾随驾驶情况下的刹车反应时间，当两车为静止时其反应时间最短，行驶中驾驶员由于要注意其他一些任务故反应时间较长。当脚放在加速踏板上休息，然后去踏刹车踏板所需的反应时间比脚放在加速踏板上准备去刹车所需的时间要长。因

此，驾驶中，当驾驶员期望引导车停止下来时，其对刹车灯的反应时间为 0.65s，在这个时间内，如车速为 96km/h，就能驶过 17m，然而，当驾驶员不期望引导车停止下来时，其平均反应时间增加到 0.82s。当引导车的刹车指示灯不亮时，只有车头距变化作为驾驶员视觉线索，其反应时间上升到 1.65s。在危险情况下，1.65s 的反应时间很可能引起不同程度的交通事故。

表 4-8 尾随驾驶情况下的刹车反应时间

车 辆 运 动	刺 激	脚开始的位置	反应时间/s
静止	听觉的	刹车踏板	0.24
静止	发光灯	刹车踏板	0.26
静止	停车灯	刹车踏板	0.36
静止	听觉的	加速踏板	0.42
静止	发光灯	加速踏板	0.44
行驶-正常道路条件	听觉的	加速踏板	0.46
静止	停车灯	加速踏板	0.52
行驶-试验条件	停车灯	加速踏板	0.68
行驶-正常道路条件	停车灯	加速踏板	0.82
行驶-试验条件	无	加速踏板	1.34
行驶-正常道路条件	无	加速踏板	1.65

在实际驾驶中，驾驶员经常遇到具有不确定性的事情，即在某一时刻同时发生许多情况。例如，信号灯从红色变为绿色再变为绿箭头；前面车辆在下一交叉口可能向左、右或前面行驶，如果驾驶员对这些情况能尽快地做出反应，那么就可以克服危险情况。一些研究比较了驾驶员的反应时间与因决策时间引起的交通事故和违章情况，结果未发现驾驶操作与反应时间存在相互关系。然而，使用更精确的方法来研究驾驶员信息处理速率，就可以证明反应时间与发生交通事故和违章之间的关系。

在一项有关 875 人的情况的研究中，根据其驾驶经验，然后将其区分为四个组：一组在三年中无事故和违章；一组有两次以上事故或违章；另两个组有两次以上事故或无违章。给予被试者一些简单反应时间任务（要求他们在红灯亮时按下开关）和复杂反应时间

任务（要求他们在三个灯中某个亮的时候按下它的开关），实验结果见表 4-9。试验表明，多事故和违章驾驶员的决策时间最长，他们是最慢的信息处理者。而决策时间短表明信息处理能力好。推测起来，他们可以在紧急的危险情况下做出较快的反应。在驾驶中，需要处理的信息量随时都在变化。那些决策时间长的驾驶员就可能遇上超过他们信息处理能力的情况，因而发生交通事故的概率就会增加。然而，最有趣的事实是那些多违章无事故驾驶员却表现出最高的信息处理速率。这些驾驶员都清楚自己的驾驶能力，由于驾驶习惯就可能牵连到“危险情况”，又由于他们的信息处理能力未超荷又避免了交通事故。

表 4-9 驾驶员决策时间/s

交通事故	违 章		
	无	一般	多
无	0.038(5)	0.031(8)	0.026(3)
一般	0.043(8)	0.039(15)	0.038(7)
多	0.047(3)	0.054(3)	0.064(4)

注：括号内数字是被试者人数。

不管道路设计师如何努力，驾驶员经常不利用道路设计师为他们提供的信息，例如，驾驶员趋于把弯道前的推荐速度标志当做注意前面弯道的警告标志，而不把车速调整到推荐速度。与此相类似，闪黄色的信号灯要求驾驶员进入有交通信号灯控制的交叉口之前减低速度，实际上，驾驶员并未这样做。在一项研究中，为了研究驾驶员对各种信号灯的反应，在乡村道路交叉口操作交通信号灯，使驶来汽车的驾驶员遇上无信号、绿色信号、闪黄色信号或红变绿信号。在这四种情况下驾驶员行为的惟一显著差异是，那些遇上无信号的驾驶员通过交叉口的车速比那些遇上信号驾驶员的车速高 5~8km/h。因而，使用闪黄色信号灯与绿色信号灯相比较并没有什么优越性，尽管大多数人都知道闪黄色灯的意义及应做出的反应。可以肯定地说，驾驶员对各种道路刺激的反应取决于他们的期望及对道路系统的理解（例如，驾驶员遇上闪黄灯时，交叉交通遇

上闪红灯，因此应当停车)。而不是依据道路系统设计师的意图。

六、反应能力

驾驶行为可大致分为两类：一类是通过加速、减速及刹车来控制车辆纵向运动；另一类是通过转向来控制车辆横向运动。这些驾驶行为包括用手动控制转向，脚动控制加速、刹车以及脚从加速踏板移到刹车踏板或反过来的活动，下面将讨论有关活动速度和准确性的反应限制以及有关转向和刹车行为等内容。

1. 菲特法则

在执行操作方向盘和脚踏板的活动中，活动的速度和准确性都很重要。关于人类活动能力的研究证明，只要活动范围增加而活动准确性下降，那就可以保持活动时间不变。换句话讲，活动的速度随活动的距离增加而提高，活动的准确性在短距离活动时误差率最大，随着活动距离的增加而误差率减少，这就是菲特法则：只要比率 $A/(0.5W)$ 不变，活动时间就恒定。这里的 A 是要求的活动范围或活动振幅， W 是误差允许范围。举例来讲，移动控制杆 0.25m 需花费 0.5s 时间，允许误差为 0.025m 。那么，同样花费 0.5s 时间去移动控制杆 0.50m ，允许误差则为 0.050m 。如果要求活动的准确性不变，活动范围越大所花费时间越长。活动范围与活动准确性之间的倒数关系是由人们的活动方式所决定的，在两点间运动，人们总是迅速提高运动速度，而在接近终点时采取减速和调整活动。当活动范围增加时，运动速度也相应增加，接近终点时的调整时间也要增加。为达到车辆控制的佳设计，通常要求活动的调整范围不超过误差允许范围，总的活动时间（运动时间加调整时间）为最小。调整时间与运动时间的相互关系原理已应用在汽车设计中，以方向盘活动影响车轮运动为例，驾驶员按顺时针方向连续转动方向盘的最大速度为 180r/s ，为了完成急转弯而使用动力转向系统时，驾驶员就要调整转向控制运动与车轮运动之间的比率，以保证很小的转向操作引起车轮方向的较大变化。然而，在正常驾

驶条件下,这个动力转向系统都可能产生一些新问题,因为少量偶然的方向盘运动就将引起车辆行驶方向的急剧变化。但是,在设计车辆控制器中,还没有系统地考虑人的活动能力问题,例如现在道路上行驶的汽车,其方向盘运动与车轮运动的比率就是因车而异的。只是在设计汽车加速踏板与刹车踏板间的最佳距离时才考虑到驾驶员活动能力。这里的关键活动是脚从加速踏板移至刹车踏板,刹车踏板的宽度可看做是误差的允许范围 W ,只要驾驶员的脚踏下刹车踏板的任何一部分都会产生刹车功能。研究结果表明,通常使用的汽车踏板之间的最佳距离大约为 0.18m 。若增大这个距离就可能产生较长的活动时间,若刹车踏板高于加速踏板也会增大活动时间,而在汽车驾驶中,当遇到危险时,驾驶员希望脚可迅速地由加速踏板滑到刹车踏板上,这将有助于减少活动时间。

2. 转向修正

方向盘是操纵汽车行驶方向的机构。正确的转向行为是保证车辆在道路上沿正确路线安全行驶的重要因素。操作方向盘时,驾驶员的两手分别握稳方向盘边缘的左、右两侧,转动时以左手为主,右手为辅,适当地拉转或推转方向盘。急转弯时,两手交叉操作以加速转动方向盘。除上述明显可见的大活动之外,驾驶员还重复地对方向盘稍作调整,这种调整活动称为转向修正。甚至在平直道路上行驶时,驾驶员也要进行转向修正活动。转动方向盘应避免猛转猛回,特别是在高速行驶时,由于离心力的作用,这样会造成翻车的恶果。在许多研究里,转向修正行为可作为驾驶任务要求、驾驶困难和驾驶员经验的量度。各种研究表明,不论在平直道路或是弯道上,有经验的驾驶员会比没有经验的新驾驶员少做一些转向修正行为。一般来讲,驾驶员的转向修正率受到两种困难的影响,一种是由环境引起的困难,另一种是由驾驶员暂时损伤引起的困难。因此,道路曲率的增大和可见度的下降都使转向修正活动增加。另一方面,驾驶员酒精中毒也会增加转向修正活动,当然,疲劳使驾驶员警觉下降也会导致转向修正活动的增加。

3. 车辆制动距离

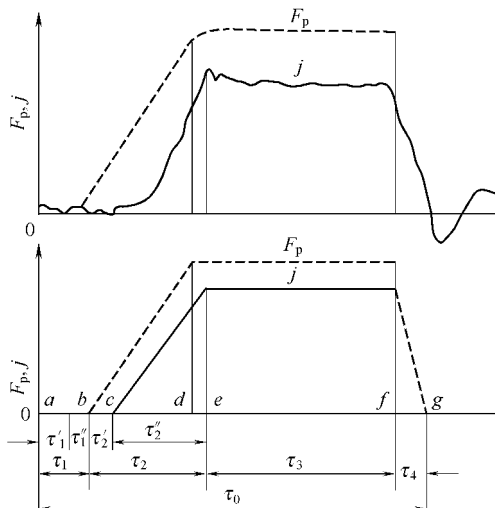


图 4-9 车辆制动时间历程

F_p —踏板制动力； j —汽车制动减速度； τ —制动时间

这里我们来计算驾驶员遇到紧急情况，从开始刹车到车辆停止的距离。通常用下列公式来计算车辆刹车距离。车辆制动时间历程如图 4-9 所示。

考虑到驾驶员的反应时间，车辆的总制动距离 s (m) 为

$$s = \frac{V\tau_1}{3.6} + \frac{1}{3.6} \left(\tau_1' + \frac{\tau_2''}{2} \right) V + \frac{V^2}{25.92j_{\max}}$$

$$\tau_1 = \tau_1' + \tau_1''$$

$$\tau_2 = \tau_2' + \tau_2''$$

$$j_{\max} = \phi_b g$$

式中 V ——刹车前的车辆初速度，km/h；

τ_1 ——驾驶员反应时间，s，通常 $\tau_1 = 0.3 \sim 1.0$ s，当人员因素和外界条件过于突出时，该值将会有较大变化（见表 4-10）；

τ_2 ——制动器响应时间，通常 $\tau_2 = 0.2 \sim 0.9\text{s}$ ， $\tau_2' + \tau_2''/2$ 值通常为 0.36s (M_1 车辆) 和 0.54s (M_2 、 M_3 、 $N_1 \sim N_3$ 级车辆) (EC 委员会准则 71/320EWG)；

τ_1' ——意识反应时间，s；

τ_1'' ——行动反应时间，s；

τ_2' ——制动器间歇消除时间，s；

τ_2'' ——制动器制动力上升到地面制动力为最大时的制动器制动力所需的时间，s；

$j_{\max}$ ——车辆能达到的减速度；

ϕ_b ——附着系数，该值随路面状态、车辆运行速度、交通条件、轮胎的使用程度等因素而变化（见表 4-11）。

表 4-10 反应时间 (τ_1) 对人员和外界因素的依赖关系

项 目		下降到 $0.3\text{s} \leftarrow$	$\rightarrow$ 延长到 1.7s
人 员 因 素		条件反射动作	选择动作
		良好的处置,最佳效率	低劣的处理,例如疲劳
		卓越的驾驶技术	低劣的驾驶技术
		年青	高龄
		预知	漫不经心,精神涣散
		体格和精神状态良好	健康功能失调
			饮酒,精神受打击
外 界 因 素	交通情况	简单、畅通、预先知道	复杂、混乱、不能预见、异常
	障碍物类型	突出、明显	不突出、不明显
	障碍物位置	在视野内	在视野边缘
	操作机构布置形式	操作方便、易见	操作机构不易见

综上所述，我们可以得到以下结论。

① 为了保证汽车在道路上安全行驶，驾驶员必须连续不断地处理有关信息，并利用它们制定适当的决策。驾驶员视区较大，而他们只能注意视区中的少部分目标，只有被驾驶员注意的目标才能被知觉。通常，驾驶员根据知觉到的信息来制定有关驾驶操作的决策，并对环境需要做出反应。驾驶员信息处理的各个过程——注

表 4-11 充气轮胎对道路表面的附着系数

车速 /km · h ⁻¹	轮胎 状态	道 路 状 况				
		干	湿,水深 0.2mm	大雨,水深 1mm	泥泞,水深 2mm	结冰
		附 着 系 数				
50	新	0.85	0.65	0.55	0.5	≤0.1
	磨旧	1	0.5	0.4	0.25	
90	新	0.8	0.6	0.3	0.05	
	磨旧	0.95	0.2	0.1	0.05	
130	新	0.75	0.55	0.2	0	
	磨旧	0.9	0.2	0.1	0	

意、知觉、决策和反应——都影响驾驶行为。

② 驾驶员分配到各个目标上的注意量是不同的。大多数时候,有经验驾驶员只分配必要的注意到驾驶任务上,而没有经验的驾驶员总是把注意都分配到驾驶任务上,有经验的驾驶员可以有较多的注意去听广播或与朋友谈话。当环境对驾驶员的注意需求较高时,驾驶员就应减低车速以增加信息处理量。

③ 驾驶员既把注意力分散到有关目标上,同时又把注意力集中在某一目标或区域上。注意力的选择就是把注意力集中在视区中信息量多的地方。通常,驾驶员把注意力集中到他认为重要的位置上。在驾驶中,随着驾驶员经验的增多,可以提高注意选择的效率,有经验的驾驶员趋于观看道路的“终点”而很少观看道路边缘。

④ 信息处理过程中,驾驶员对信息的理解过程即是知觉。知觉可以精确地反映事物的真实情况,偶尔也会有视觉缺陷等情况,使驾驶员的知觉发生错误。对驾驶员来讲,道路几何形状和车速的错误知觉都是很危险的。低估弯道曲率和车速都可能引起交通事故。驾驶中最复杂的任务是超车,要安全地完成超车,驾驶员必须正确地估计自己车辆的速度、与被超车之间的相对速度、与对向车的距离。虽然驾驶员的判断能力较差,但通过小心谨慎(不去冒

险)和减速可补偿这一不足。

⑤ 驾驶员根据知觉进行决策,在驾驶中,特别是在危险情况下,在适当的时间内制定决策是很关键的。假定在危险情况下,驾驶员的决策时间长,将影响驾驶员的操作反应时间。

⑥ 驾驶员的经验、刺激反应和谐性以及不确定性和驾驶员期望都影响决策时间。研究表明,决策时间长可能导致较高的交通事故率和违章率。

⑦ 驾驶员信息处理过程的最后程序是身体外部的反应活动。驾驶员手和脚的活动准确性是有限的,而各种活动都要花费时间,这个时间则随活动的准确性提高而增加。在驾驶中,要保持车辆安全地行驶在车道上的适当位置,驾驶员要经常进行转向修正活动,这种修正活动随驾驶任务的困难性增加而增加。脚活动的准确性对安全行驶来讲并不太重要,但驾驶员的刹车反应类型却表明一些驾驶员更易撞上其他车。

第三节 驾驶适宜性

由于个体差异的存在,对于不同性质的工作,不同的人存在一个适宜性的问题。影响驾驶员驾驶适应性的因素很多,因此不能采用单一指标对其进行评判。

一、驾驶适宜性

适宜性是指人具有可能圆满完成某一工作的素质。而素质是指有圆满完成某一工作所必需的最低限度的生理、心理特征和技能。

归纳起来,适宜性有以下几种理解。

① 指执行作业所必备的身体、心理最低特性。

② 从事故灾害角度来说，指某人在作业上所发生的错误、灾害或事故频度低于其所属集团的平均数时，所具备的特征。

③ 对于某一作业，其在一定时间内完成的作业量超过集团的平均数或作业量相等，其能在比集团平均时间更短的时间内完成时，该人可以说具有适宜性。

以上理解显然偏重于作业能力，其实与引起作业意欲的动机和情绪也有关系。所以为了提高工作效率和防止灾害发生，在重视作业能力的同时，还应将其情绪和动机也列入研究之列。

事故倾向性的存在，引出了一部分人适宜搞汽车驾驶工作，有另一部分人不适宜搞驾驶工作的所谓“驾驶适宜性”理论。

驾驶适宜性，是指人具有可能圆满完成汽车驾驶工作必备的素质。

驾驶员的驾驶适宜性，是由驾驶员的先天素质和后天学习的技能构成的，二者是相对稳定而又相互弥补的。实际上驾驶技能的差别取决于驾驶员的先天素质，即心理、生理状态。

人的行为是在动机支配下，由人的心理、生理状态决定的。以往在分析事故成因时，大多仅以驾驶员“责任心不强”、“操作失误”等为结论，很少研究和分析操作失误是怎样由驾驶员的心理、生理状态造成的。

既然驾驶员的心理、生理状态与行车安全关系密切，则了解驾驶员心理、生理规律及其对操纵车辆的影响就十分必要。心理、生理规律是指人的认识、情感、意志等心理变化过程和能力、性格以及人体机能等心理生理特征。在汽车驾驶中，驾驶员内因受其心理、生理支配，外因受车辆、道路和交通环境影响，外因只能通过内因起作用。所以，如果管理人员和培训人员能了解这些规律，在学员培训、运输调度、运行管理等各个环节，掌握每个驾驶员的心理特点，有针对性地教育和管理驾驶员，则驾驶员就能自觉地进行心理训练，克服自身心理活动上不适宜开车的各种缺陷，达到优秀驾驶员的水平。

二、驾驶适宜性的评价指标

驾驶员自身的素质将决定其驾驶适宜性，考虑到汽车驾驶过程对驾驶员的要求，可将其评价指标归纳为以下 6 种。

1. 速度估计

该指标反映了驾驶员对速度及空间的估计水平，即时-空判断水平，从而影响到驾驶员在驾驶过程中对车辆运行距离的判断。该指标可以通过速度预测检查机测试驾驶员的速度估计情况，根据测试值给出原始评判等级分。

2. 选择反应时间

可以通过选择反应检查机或红黑表进行测试，测试时一般需在有外界干扰和无外界干扰两种环境下分别进行。根据记录的反应时间及误反应次数给出原始评判等级分。该指标反应了驾驶员对外部刺激的判断及操作反应水平，这一反应水平对驾驶员的驾驶过程影响相当大，是驾驶适应性的一个重要评价指标。

3. 动作协调性

可以通过处置判断检查机进行测试，根据记录的指标值给出原始评判等级分。该指标反应了驾驶员在操作过程中各种操作动作的灵活性及协调性与驾驶员本身素质、年龄、性别、精神状态及操作熟练程度等因素有关。

4. 视野

分静视野与动视野，将影响到驾驶员在驾驶过程中对周围环境及交通状况的观察，是考核驾驶员生理特征的重要指标。

5. 动态视力

是指在一定速度下所测得的驾驶员视力，一般来说，随车速的增加，视力下降是人眼固有的生理特征，这一特征与驾驶过程的要求相抵触，不过从医学的角度，在同一车速下，不同的人眼视力下降的程度会有所差别。

6. 静态视力、辨色力、立体视觉能力

视野、动态视力、静视力三个指标可以通过医学检查获得其指标值。

三、工作能力

1. 疲劳

在驾驶中，驾驶员打瞌睡是疲劳的一种表现。驾驶员在驾驶汽车时，需要集中精力不断处理有关信息，可时间一长就会造成大脑氧气减少，从而中枢神经疲劳、感觉迟钝、知觉减弱、调节肌肉收缩机能衰退，起初这些现象并不明显，继而精神逐渐不集中。疲劳对驾驶行为的影响不是简单的两步过程：开始是完全警觉的，接着就是漠视环境。在实验中可以测量疲劳对驾驶行为的影响，驾驶员在 24h 未睡眠之后，连续驾驶 9h，研究者观察驾驶员的眼动情况，结果表明，疲劳驾驶员很少表现出响应型眼动，他们不是观看前面道路和监视其他车辆与标志，而是趋于注视道路右缘。另一研究的结果也是如此，驾驶员在 4h 未睡眠之后，很难做出满意的操作（包括保持车速恒定和车辆的正确行驶车道位置）。研究发现，驾驶员在 24h 未睡眠之后进行驾驶，不到 60min 就开始打瞌睡。

为了了解疲劳对驾驶行为的影响，经常要用类推法。在实验室研究中，把驾驶当做警戒任务，要求驾驶员连续监视偶尔出现的目标，一致的结果是，在睡眠严重不足的条件下，大多数任务的操作都只能维持几分钟，只要时间超过半小时驾驶员的注意力就不能集中了，而且这种监视任务对驾驶员来讲已是厌烦的（有时连驾驶汽车也是如此）。与此相反，在 60h 未睡眠之后，驾驶员进行复杂而有趣任务的操作并没有行为退化现象。这里的关键问题是驾驶员的注意力分配情况。在正常情况下，多数驾驶员未遇到危险，也就不必把全部注意力分配到驾驶任务上，所以，在道路实验研究中，可以观测到一定程度的操作退化，少数交通事故就起源于疲劳问题。

疲劳的表现形式很多，测量疲劳的方法主要有生物化学测量、物理机能测量、精神机能测量和疲劳感测量。对驾驶员来讲，应当清楚疲劳的如下表现形式。

- ① 对交通变化的反应时间较长，延迟或减慢反应速度。
- ② 很少驾驶转向修正。
- ③ 对紧急事件的皮电反应减少。
- ④ 身体活动多，如擦脸、闭上眼睛、伸懒腰。

如果这些标志并没有表明注意水平急剧下降，那么，驾驶员仍可继续驾驶。引起疲劳的原因除驾驶操作方面之外，还包括驾驶员身体条件（如性别、年龄）及生活环境等。各种疲劳的原因如图 4-10 所示。

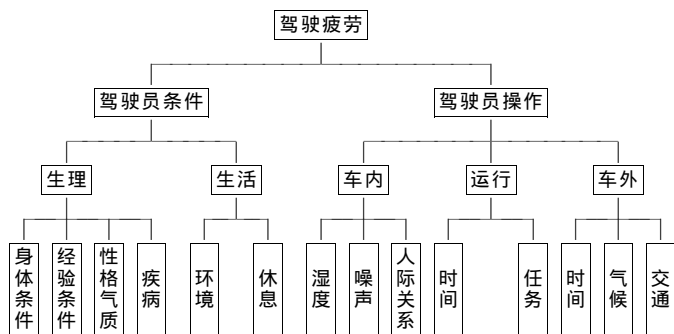


图 4-10 驾驶疲劳原因

2. 酒精

各种研究表明，酒精中毒是交通死亡事故的一个重要因素，在西方国家里，大约 50% 的交通死亡事故归因于酒精中毒。早在 1904 年就有人记录了酒精对驾驶行为的危害作用，当时分析了 25 起交通死亡事故，发现有 19 个驾驶员是在饮酒后 1h 内发生事故的，那时人们还预言：饮酒造成的交通事故将会急剧增加，应当禁止饮酒的人驾驶汽车。很遗憾，这一预言只兑现了一半，饮酒交通事故确是增加了，但许多国家仍允许适量饮酒的人驾驶

汽车。

饮酒是生活中一件很普通的事，酒精对人体的行为影响也是明确的。酒精影响中枢神经系统，这种影响与血液中的酒精含量成比例变化。酒精对行为的影响随剂量的多少而定。酒精中毒的影响见表 4-12，驾驶员饮酒数和体重与 BAL 的估量值见表 4-13。表中的数字和行为影响都是近似的，以 70kg 体重的人为标准。这一标准是许多国家在法律上作为确定酒精中毒的根据。通常，当血液中的酒精含量大约为 0.10% 时，人们就达到酒精中毒的程度。在美国，许多州法定“醉”的限度为 0.10%~0.15%，这个标准对多数人是适用的。因为酒精对人的影响太复杂，现有的知识还不能准确地揭示酒精是怎样对人影响的，因为每个人对酒精的反应有很大差异，而且同一个人不同时间也有差异。多数人在血液中酒精含量少于 0.05% 时，会产生镇定作用，超过这个水平视觉协调能力就开始下降，简单反应时间也会增加，但对那些豪饮的人来讲，这个水平却没有什么影响。在一项研究中，对 1000 人进行实验，有 105 人在血液中酒精含量为 0.05% 时即处于“中毒状态”，而这个水平是法定酒醉标准的一半，在豪饮组有 6/7 的人在血液中酒精含量为 0.40% 时还未醉，他们的中毒水平相差 8 倍多。此外，酒精对人的影响还受胃中食物或液体的影响以及身体中脂肪量的影响。

表 4-12 酒精中毒的影响

饮酒数 /oz ^①	血液中酒精含量/%	影 响
1	0.03	一般无影响
2~3	0.06	温暖、轻松、兴奋感、轻度的肌动障碍
3~4	0.09	某种不受限制的行为和夸张的情绪表现、较多的肌动障碍
5~6	0.12	反复无常的行为、摇晃、相当多的肌动障碍、言语含糊不清、显然醉了
10~12	0.25	严重的知觉和肌动障碍(看见双像、跌倒)可能完全失去知觉
25	0.50	完全昏迷、可能死亡

① 1oz=0.02835kg。

注：酒的标准浓度 90。

表 4-13 驾驶员饮酒数和体重与 BAL 的估量值

饮酒数 /oz	体重/kg							
	45	55	65	75	80	90	100	110
1	0.04	0.03	0.03	0.92	0.02	0.02	0.02	0.02
2	0.08	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
3	0.11	0.09	0.88	0.07	0.05	0.06	0.05	0.05
4	0.15	0.12	0.11	0.09	0.08	0.08	0.87	0.06
5	0.19	0.16	0.13	0.12	0.11	0.09	0.09	0.08
6	0.23	0.19	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	0.89
7	0.26	0.22	0.19	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11
8	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13
9	0.34	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14
10	0.38	0.31	0.27	0.23	0.21	0.19	0.17	0.16

注：1oz 标准浓度酒为 12oz 啤酒或 3.5oz 果酒，40min 饮完。

为满足人们的好奇心，利用表 4-13 可以估计不同体重驾驶员的饮酒量与血液中酒精含量的关系，假如你的体重为 65kg，只要饮 3oz 酒（大约 0.5kg 果酒）就达到法定醉的标准，而对一个体重 45kg 的人来讲，只要饮 2oz 酒就达到醉的标准了。

也许大家对国外法律上将血液中酒精含量为 0.10% 作为酒醉标准感到奇怪，其实它是根据许多研究的结果来确定的。在大约 80% 以上的交通死亡事故中，驾驶员血液中的酒精含量超过 0.10%，在道路上的研究中，将所测量到的 5985 起交通事故中驾驶员血液中的酒精含量水平，与 7590 个对照组驾驶员情况相比较，结果表明，发生交通事故驾驶员的酒精含量比对照组驾驶员要高 0.08%，当血液中酒精含量在 0%~0.08% 范围时，两组的各级水平频率是类似的。另一项研究比较了交通死亡与非死亡事故驾驶员血液中的酒精含量，发现血液中酒精含量少于 0.05% 与未饮酒驾驶员一样可能（或不太可能）引起交通事故，而血液中酒精含量为

0.06%的驾驶员发生的事故概率是未饮酒驾驶员的两倍，血液中酒精含量为0.10%的驾驶员发生的事故概率为未饮酒驾驶员的6~8倍。表4-14是血液中酒精含量与交通事故的关系，图4-11所示为车祸与驾驶员有关的相对危险度。

表 4-14 血液中酒精含量与交通事故的关系

血液中酒精 含量/%	交 通 事 故 / %		
	死 亡	致 伤	财产损失
0.00	1.00	1.00	1.00
0.01	1.20	1.16	1.07
0.02	1.45	1.35	1.15
0.03	1.75	1.57	1.24
0.04	2.10	1.83	1.33
0.05	2.53	2.12	1.43
0.06	3.05	2.47	1.53
0.07	3.67	2.87	1.65
0.08	4.42	3.33	1.77
0.09	5.32	3.87	1.90
0.10	6.40	4.50	2.04
0.11	7.71	5.23	2.19
0.12	9.29	6.08	2.35
0.13	11.18	7.07	2.52
0.14	13.46	8.21	2.71
0.15	16.21	9.55	2.91

随着驾驶员血液中酒精含量的增加，越来越多的驾驶能力受到损伤。在血液中酒精含量很低时，视觉和知觉判断能力就开始受其影响，当血液中酒精含量为中等程度时，决策能力也受影响，当血液中酒精含量超过0.15%时，运动协调能力受损伤。在驾驶任务中，这些能力的损伤都会影响驾驶员操作。这可以通过驾驶模拟器研究来证明，未饮酒驾驶时，无意识的车道横穿概率为0.001，当血液中酒精含量为0.11%，车道横穿概率为0.05，增加近500倍！这些结果在实际道路情况下也得到证实，饮酒引起车辆控制错误如图4-12所示。

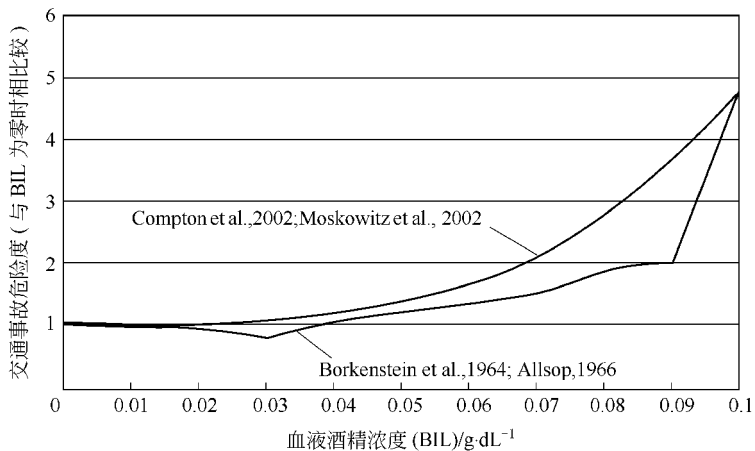
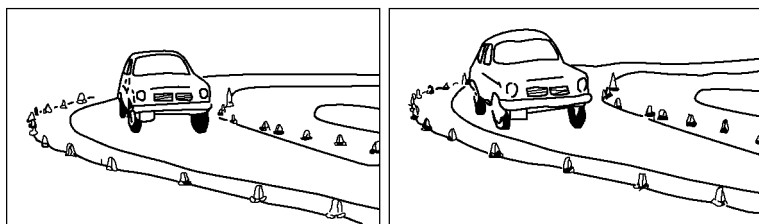
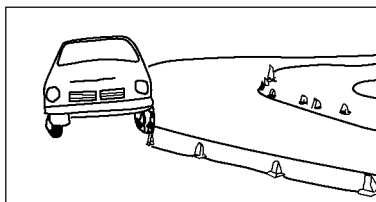


图 4-11 车祸与驾驶员有关的相对危险度



(a) 饮一两酒后

(b) 饮三两酒后



(c) 饮五两酒后

图 4-12 饮酒引起车辆控制错误

当血液中酒精含量不小于 0.10% 时，酒精对驾驶员的影响，包括发现道路标志的能力差，对速度、距离、信号灯和停车标志的

错误判断和知觉能力差。

职业驾驶员在饮 3oz 酒后他们就不能安全驾驶车辆，饮 5oz 酒后就完全失去思维能力和车辆控制能力，但仍能行走和进行交谈，标志的错误判断以及知觉能力下降。比较典型的是在夜晚（这时饮酒的人最多）的单车交通事故最多，如驾驶员把汽车开出道路、撞翻固定物等。

酒精与驾驶行为最相关的另一个影响是产生隧道视觉，驾驶员的视区收缩到前面的目标上。由于边缘视觉对驾驶很重要，所以，边缘视觉范围一旦减少，这是很危险的，此外，酒精中毒还会降低驾驶员有效分配注意力的能力。

几乎每个人都意识到酒精的各种影响，这些影响也为内科医生和交通安全研究人员提供驾驶员是怎样醉的大致概况。酒精中毒对行为损伤的临床检验证明，中等程度的酒精中毒者说话含糊、笔迹明显退化、闭上眼睛不能用手触摸鼻子，不能作直线行走，甚至闭上眼睛不能直立。但是，这些人自己感觉却是良好的，甚至喜欢冒险；如果酒精中毒已达到完全失去协调能力时，仍然去驾驶汽车显然是一种行凶行为。遗憾的是驾驶员并未认识到，他们的认识和知觉机能在下降，以致无法完成安全驾驶任务。一项研究对比了 50 名驾驶员在饮酒前后做开关键的试验情况，结果如图 4-11 所示。饮酒前，3 个小组的平均错误率大约为 12%，饮酒后错误率增加到 55%，而且开关键所花费的时间也在增加。

检验驾驶员饮酒情况可采用酒精检测仪，它根据驾驶员呼出气体中所含的酒精量与血液中的酒精含量的比例关系，利用化学药品的颜色变化来确定血液中的酒精含量水平。

3. 药物

许多国家在交通法规中，对药物都不大明确，人们很少认识到药物对交通行为的影响，但在医学界，一般都知道，所有药物对驾驶能力都有潜在的危险，常见的危险是刺激中枢神经系统和压抑中枢神经系统。不同的药物和剂量对驾驶员生理状况甚至体重等都可

能产生不同的影响。

世界卫生组织对药物的定义为：进入活着的有机体内以修正一种以上功能的物质。在我国的药物目录上，收录了一万多种药物。许多药物除可以治疗疾病之外，还可能产生一些副作用，而这些副作用也可能影响驾驶操作。表 4-15 是常用药物的功能与副作用，从中可以看到，这些药物的副作用差异很大。

表 4-15 常用药物的功能与副作用

药物分类	功 能	副 作 用
抗菌素	抗传染	视觉、听觉不安, 眼花头晕
抗糖尿病剂	治疗糖尿病	疲劳、失调、障碍
抗血压	治疗高血压	疲劳, 眼花头晕, 血压过低
晕车药	防止晕车晕船	瞌睡
镇疼药	治疗溃疡, 神经性胃病	视觉失调
防止咳	解除咳嗽	瞌睡
心脏	治疗充血性心脏病	视觉障碍, 肌肉衰弱
利尿剂	治疗水肿、肥大	疲劳, 肌肉衰弱
跟症状药	折射, 视觉检验	视觉障碍

有时候，驾驶员同时受到两种以上药物的影响。两种以上药物一起对驾驶员知觉、心理和运动功能的影响有三种情况：加成，各种药物影响的总和；对抗，一种药物的影响抵消另一种药物的影响；协和，两种以上药物的总影响大于各种药物影响的总和。任意两种药物都会产生上述情况之一，一万多种药物的各种可能结合将产生的影响真是不可思议。

四、驾驶能力

大家都以为，有技术和驾驶能力高对于驾驶汽车是有益的。言外之意是，谁的技术和能力分数高，他就是好的或安全的驾驶员，要想证明这一论点是很困难的，因为那些能力分数高的人通常具有一些抵消能力优势的特征。这里，我们讨论驾驶员的两个特征：经验和视力。

众所周知，驾驶行为可通过实践得到改进，盲人不能驾驶汽车，但是，我们很难证明有经验和视力良好可以改善交通安全。

1. 经验

驾驶员第一次开车时，总是感到驾驶操作好像是一件很复杂的任务。要保证车辆在道路上的适当位置行驶，既要控制加速和减速，又要注意其他车辆、行人、信号与标志等。研究表明，要保证车辆安全行驶，驾驶员必须掌握大约 1500 个不同的知觉-运动动作。

驾驶教育课程的基本任务是帮助驾驶员认识驾驶汽车的复杂性。现在，全国各地都开设驾驶员培训学校，大部分学习课程是为了掌握各种操作程序的自动化，如变速、刹车和转向，比较难以掌握的是信息搜集任务。驾驶员的主要任务之一是搜集信息，如自己车辆的位置，其他车辆的位置，驾驶员利用这些信息控制车辆在道路交通中的位置而安全行驶，要完成好这种知觉-运动任务，驾驶员应学习怎样进行驾驶观察。所谓观察是指应用感觉器官去感知道路交通系统中的事物，例如，用眼睛观察行人动态、用耳朵听其他车辆的喇叭声。

对驾驶员在道路上行车的观察研究发现，新驾驶员总是紧盯着前方和行驶车道的右边，而有经验驾驶员注意左右观察，而且从反光镜中获取的信息比新驾驶员多。在驾车的开始阶段，几乎所有驾驶员的注意力都集中在保持车辆位置方面，逐渐地认识到还要不断地监视道路边缘才能防止汽车驶出道路，得到一些经验之后，就学习依靠边缘视觉来保证车辆行驶的位置，进一步就把注意集中在道路上以增加有效的信息处理时间。当特别要求注意道路标志时，没有经验的驾驶员与有经验的相比较遗漏标志更多些。对交通事故的深入调查分析表明，新驾驶员关心的是能够正确地控制车辆在车道上的位置，而没有经验驾驶员比有经验驾驶员更容易因控制方式不当而造成交通事故。

然而，技术高和有经验的驾驶员情况究竟如何呢？这里的关系

很复杂。前面提到，赛车驾驶员发生的交通事故和违章都较多，这可能是因为这些驾驶员获得经验后急于改变驾驶习惯。新手感到危险后就采取许多防止危险的操作，而有经验者却经常做出一些危险的操作来。这样，技术高的好处就被抵消了。

2. 视力

在驾驶员感觉系统中，视觉是特别重要的。研究表明，驾驶员视觉所获得的信息占全部信息 80% 以上。

几乎所有国家在驾驶执照考核中都要检查视力。所谓视力是指驾驶员能在一定距离内，眼睛能辨明物体形象的能力，包括中心视力（远、近视力）、边缘视力（视野）和动态视力以及夜间视力（暗适应）。通常，运用视力表来检查驾驶员视力，视力表由字母（如“E”）或其他大小不同的图形（如“C”）所组成，由观察者在一个标准距离处阅读，根据他的正确判断来测量视力，一般是以与平均视力的相对比例来表示。这样，视力为 1.00 表明在标准距离（20ft）处看清楚字母或符号的能力，即 20/20，它也就是说，观察者在 20ft 处能辨明一般人在这里辨明的物体；视力为 0.5 或 20/40 表示观察者在 20ft 处只能辨明一般人在 40ft 处能辨明的物体。

虽然驾驶任务对驾驶员静视力有一定要求，但是，大量的研究表明，静视力与交通事故的相关程度很低。一种更符合逻辑的方法是检查驾驶员的视觉环境，然后根据驾驶员的视觉系统来确定哪些视力和局限可能影响驾驶行为。

安全系统分析

交通安全系统工程是指运用系统工程的原理和方法，对道路交通系统中的安全问题进行定量和定性的分析、评价和预测，并采用综合安全措施予以控制，使道路交通系统产生交通事故的可能性降低到最低程度，从而达到系统最佳安全状态的技术和方法。

交通安全系统工程的任务包括：安全系统分析、安全系统评价和安全系统管理等内容。

1. 安全系统分析

交通安全系统工程的核心是通过对交通事故的发生原因、概率及各种隐患表现的定性或定量分析，可以充分识别系统的安全性和危险性。其目的在于：找出引发事故的因素及其不同的组合形式；把握道路交通系统的安全薄弱环节所在；寻求预防事故发生各种途径；并为安全评价和安全控制提供依据。

2. 安全系统评价

在安全系统分析的基础上，通过事故指标、隐患指标及风险指标等，对道路交通系统的整体安全性、交通安全管理的薄弱环节等进行的比较和评价。根据评价结果可选择确定保证系统安全的技术路线和投资方向，拟定安全工作对策。

3. 安全系统管理

经过系统安全分析和评价，在了解掌握系统安全薄弱环节的基础上，对系统所实施的全员、全要素、全过程的安全管理，包括安

全总体管理、安全重点管理和安全事后管理。与主要凭经验的传统安全管理相比,安全系统管理在全面、动态和定量安全管理方面向前迈出了一大步,更具有预见性和科学性,其防范措施的效果更为显著。

通常从以下三个方面来开展关于交通安全问题的研究。

1. 事故预防方法

该研究方法主要用于避免交通事故的发生、减少交通冲突,是主要改善交通安全的措施。该研究领域主要考虑人-车-路以及三者之间的关系,包括车辆安全设计、车辆维修和保养、道路设计、道路安全设施、交通参与者的安全教育等方面的内容。

2. 减轻伤害程度的研究

主要研究如何减轻既有交通事故造成的伤害。主要涉及车辆设计和道路交通控制中的安全性措施,包括安全气囊、驾驶室设计、道路应急管理系统的的设计等。

3. 事故调查与分析

有宏观和微观两种分析方法。前者用来对一类人、一个城市或一个地区发生的交通事故进行宏观地分析,而后者则是针对特定交通设施或某一地点(城市出入口、交叉口、特殊路段)等进行事故分析。微观分析可进一步分为事故再现研究(单个事故的研究)和事故多发点的研究。

道路交通事故分析的任务在于收集资料、查找原因、明确责任、采取措施,达到下列目的。

- ① 发现和识别汽车事故多发点的区域、交叉口和路段。
- ② 验证道路几何设计和交通工程设计的合理性。
- ③ 鉴定某些交通管理方法、交通法规、交通管理机构设置的合理性和实际效果。
- ④ 检验道路线型规划和城市交通规划以及交通控制装置的合理性。
- ⑤ 检验驾驶员培训、交通安全教育的效果。
- ⑥ 探讨事故成因以及诸项因素影响的严重程度,推测交通安全

第一节 交通事故宏微观分析方法

从研究方法来看,国外对交通事故发生模型的研究多采用统计回归形式。如 Smeed 模型、Navin 模型等,这些模型缺乏对交通事故安全系统结构和事故发生机理的描述,不同自变量的回归模型掩盖了交通系统与社会经济发展等社会环境的关系。

统计回归方式用于交通安全分析存在的主要不足之处表现在如下几点。

- ① 要求大样本量。
- ② 要求样本有很好的分布规律。
- ③ 计划工作量大。
- ④ 可能出现量化结果与分析结果不符的情况。

而我国积累交通安全管理数据的时间不长,安全类数据及管理数据比较缺乏,且交通事故量是交通管理及执法部门的一个重要的考核指标,因而掺杂了一些人为的因素,故关于交通安全的统计数据不够准确,因此统计回归方法在实际工作中难以操作。

交通安全的分析方法很多(见表 5-1),在分析交通事故时,应根据具体情况,选用合适的方法,才能实现透彻、全面地分析。这里就一些典型交通安全分析模型做一简单介绍。

1. 斯密德(SMEED R. J.) 公式

英国伦敦大学斯密德教授于 1949 年根据他对欧洲 20 个国家的 10 余年交通事故调查结果,用回归分析的方法得出交通死亡人数的非线性回归公式。

$$D=0.0003(NP^2)^{1/3}$$

式中 D ——当年交通事故死亡人数;

N ——当年汽车拥有量；
 P ——当年人口数。

表 5-1 常用交通安全分析方法

序号	分析方法	特 点
1	统计分析法	能够直观、全面反映交通事故原始状态,据此做出科学推理、判断,从而揭示交通事故总体的内在规律
2	分类法	经过分类,把性质不同的数据、资料及错综复杂的交通事故原因弄清楚,理出头绪,给人一种明确直观、规律性的概念
3	统计表格法	将统计分析的结果编列成各种表格,直观性好
4	直方图法	形象直观,用直方图进行交通事故统计分析,不仅可以反映出交通事故的变化和趋势,还可以比较出各种因素对交通事故的影响程度
5	坐标图法	有很强的直观性,一般用来表示交通事故中某一特征指标的发展变化过程趋势
6	圆图法	可以直观地看出各个分析项目所占比例的大小
7	事故分析图	用来分析交通事故在道路上的分布情况和事故多发地点
8	因果分析图	对分析交通事故的原因是适用的,它直观逻辑性强,因果关系明确,因此便于采取措施,它既可以对总的方面进行分析,也可以对单项原因进行分析,还可以对具体案例进行分析
9	排列图法	是找出影响交通事故主要原因的一种有效方法
10	交通冲突技术	非事故统计方法,以大样本生成,快速、定量评价小区域地点交通安全的现状与改善措施的效果为特点

该预测模型以一个国家的汽车保有量、人口数作为影响因素。Andreassen 认为 Smeed 公式仅仅分析了 20 个国家一年的数据,不能用来对任何国家、任何年份的交通事故死亡人数进行预测。该模型现在已经为客观事实所否定,因为该模型未能预测人类对维护交

通安全、防止事故而采取的措施。

2. 伊·阿拉加尔公式

美国伊·阿拉加尔通过对美国 48 个州的道路交通死亡人数的 30 多个相关因素的分析, 选出影响较大的 6 个因素, 然后用回归方程预测“百万辆汽车的事故死亡率 Y (死亡数/百万辆汽车)”。经实践检验, 预测值与实际值基本相符。

$$Y = 0.5215X_1 + 0.8542X_2 - 0.2831X_3 - 0.2597X_4 + 0.1447X_5 - 0.1396X_6$$

式中 X_1 ——公路通车里程/总里程;

X_2 ——汽车经检验的数量;

X_3 ——道路面积/地区面积;

X_4 ——年平均温度;

X_5 ——地区内人平均收入;

X_6 ——其他因素。

3. 北京模型

20 世纪 80 年代以来, 随着交通工程学科在我国地开展, 面对我国交通安全日趋严重的现状, 我国的交通安全专家们提出了一些具有代表性的交通事故生成规律的统计模型, 其中包括北京市交通事故发生量 y 模型。

$$y = 3577.79 + 93.3028\lg X_1 + 824.921\lg X_3 + 326.777\lg X_4 + 800.454\lg X_5 - 1149.05\lg X_6 - 224.902\lg X_8 - 45.0499\lg X_9 - 152.608\lg X_{10} - 287.191\lg X_{11}$$

式中 X_1 ——临时人口数;

X_2 ——常住人口数;

X_3 ——机动车辆数;

X_4 ——自行车数;

X_5 ——道路长度;

X_6 ——道路面积;

X_7 ——灯控路口;

- X_8 ——交通标志;
- X_9 ——交通标线;
- X_{10} ——繁忙而失控的部位;
- X_{11} ——交警人数。

4. Oppe 的“学习心理学”模型

“学习心理学”模型可以表达为

$$R_t = e^{at+b}$$

式中 R_t ——第 t 年的车公里死亡率;

t ——时间;

a, b ——常数。

此模型采用了一种纵向比较法,用时间分析法得出的结果与所选取的基准年份和时间长度密切相关。随着所选取的基准年份与时间长度的不同,所得到的安全程度在纵向比较时会产生一定的歧义,因此模型中基准年份与时间长度的选择是一个很难回答的问题。

5. 丹麦模型

丹麦模型是一个微观模型,它建立了事故与交通量和路段长度的关系。

$$E(U_j) = aN_j^p L_j$$

式中 $E(U_j)$ ——路段 j 的事故预测值;

N_j ——路段 j 的交通量;

L_j ——路段 j 的长度;

a, p ——回归常数。

6. 英国微观模型

英国根据调查曾提出非线性回归模型

$$Y = \alpha X^\beta$$

式中 Y ——每公里一年间的事故次数;

X ——路段平均日交通量或车公里数;

α, β ——回归参数。

瑞典、日本等国根据上式和国内的事故资料也曾得到相应的回归预测模型。

7. 定量研究成果

美国联邦公路局经过多年研究,于1992年提出了大量关于道路几何结构与交通安全之间的定量研究成果,涉及出、入口控制,线型,横断面,互通式立交,交叉口,行人与自行车等。如在统计基础上对弯道交通事故发生量的定量描述,根据研究,可定量掌握各种曲线几何特性对交通事故地影响。为了分析弯道的交通事故,对华盛顿州10900处弯道建立了交通量、事故数量、几何构造等特性的数据库。并得出在弯道处预测事故发生的模型。

$$A = (1.552LV + 0.014DV - 0.012SV)0.978W - 30$$

式中 A ——5年间该弯道发生的事故总数;

L ——曲线长, mile;

V ——5年间弯道的交通量, 百万辆;

D ——曲率;

S ——有无缓和曲线, 无 $S=0$, 有 $S=1$;

W ——弯道处路宽, 等于车道+路肩宽, ft。

上式表明, 弯道交通事故数量与弯道曲率和曲线长有关, 还与路宽、有无回旋缓和曲线和交通量有关。在弯道处设回旋缓和曲线可以大幅度降低汽车的横向滑动。1991年联邦公路局的研究证实了在曲线上设置回旋缓和曲线的安全效果。根据回旋曲线的曲率和中心角不同, 可减少交通事故数2%~9%, 在弯道两端都设置回旋缓和曲线可减少事故5%。

Navin模型是至今为止考虑较为全面的安全模型。Navin等人首先研究了交通险阻 T 、机动化水平 M 、个人风险 P 之间的基本关系, 同时又合并了基于Koornstra提出的部分思想, 建立了关于交通险阻的扩展模型。

除上面介绍的模型以外, 还有Trinca模型、Koornstra模

型、Towill 模型等，这些模型是 Navin 的重要参考，但都是从交通安全系统的一个侧面来反映问题，不具备 Navin 模型的全面性。

第二节 事故多发点鉴别分析

道路事故多发点的鉴别是道路设计、道路安全检核、交通运营管理、道路安全分析的重要内容，也是道路安全保障体系得以建立的基本保证。通过对道路事故多发点的鉴别，确定道路交通的微观特性与事故的关系，确定道路危险路段，以便提出解决方案，减少交通事故的发生，改善道路安全运营环境，提高道路整体交通安全性能。

道路上发生的事故按其空间分布特性可分为分散型分布和密集型分布两类。据统计，分散型分布的事故，其成因多与驾驶员的不安全行为，如超速行驶、强行超车、跟车过近、酒后驾车、疲劳驾驶等有关。而密集型分布的事故则多与道路线形、交通设施和交通环境等因素，如急弯陡坡、视距不良、傍山险道、交通设施欠缺的路段和交叉口等有关。事故密集型分布的路段和交叉口，通常称为事故多发点。显然，事故多发点与公路设计有着非常密切的关系。但对于分散分布型事故，其中有许多也受到公路设计的影响。由于公路设计提供给驾驶员的信息量不足或不符合驾驶员的视觉心理反应或者违反驾驶员的期望，导致反应时间增长，来不及处理突发信息或判断失误，最终操作失误而发生事故也是常有的。

目前国内在该领域开展的研究较少。关于“事故多发点”缺乏科学的定义和判别标准，没有形成系统的分析治理方法，致使交通安全管理部门在实际工作中存在盲目性，缺乏科学性，难以取得预

期的效果。

一、事故多发点

在全长同样安全的道路上，发生交通事故是一个偶然事件。如果忽略驾驶员的疲劳程度沿着行程的增加而增长的影响并假设车辆之间的安全性是一致的，则在个别路段之间的事故分布应当符合概率论的规律，这时，在道路的不同公里内通过一百万辆汽车发生的事故数（百万车公里事故数）符合 Poisson 分布。此时，在任一路段发生 K 起事故的概率，可以用下式表示

$$P_n(K) = \frac{Y^n}{K!} e^{-Y}$$

式中 Y ——1km 路段上事故的平均数；

n ——分布的参数。

在通常的协调水平（2.5%和5%）下，如果任一路段的计算事故概率 $P(K)$ 比实际发生的小，则该路段就受降低交通安全性的其他附加因素的影响，路段相对比较危险。当条件发生变化时， $P_n(K)$ 服从负二项分布。

事实上，道路交通事故在路网上的分布是不均匀的，这种不均匀性是由于路网之间的道路状况、交通设施、交通量、交通环境、地形地貌以及交通管理水平等的差异造成的。

在这里，我们将“事故多发点（Accident-prone Locations, Hazardous Locations or Black-spot）”定义为：在较长的统计周期内（1~3年），路网或路段中某些地点发生的交通事故数量或特征与其他正常位置相比明显突出的道路位置（路段、区域或点）。

事故多发点的确定有如下两个基本的要素。

① 确定“正常值”。通常来自于研究对象事故历史资料或相似道路的历史资料。

② “突出（Overrepresentation）”特征的确定。不同的道路环

境、交通特性显现出不同的“正常值”和“突出值”，道路交通的不同时期，其值也有所不同。

在这种意义下，交通事故的多发点和数值是相对的，因此在进行分析研究时，应该根据道路交通发展的具体情况，建立开放的分析系统，全面地分析道路交通发展的情况，动态地确定道路的安全特性数值，这样才有助于有效地确定事故多发点。

美国运输工程学院的《交通运输工程手册》给出的事故多发点的定义中还作了相应的方法上可操作的说明：对应某种算法得到的事故发生水平评定指标，明显高于类似地点、类似交通状态下区域路网或路段上的平均指标。

二、常用道路事故多发点分析方法

各种多发点的鉴别方法（见图 5-1）各有其优缺点和适用条件。事故法的优点是比较简单直观，易于统计计算，但由于各类道路的交通特性、交通量差别很大，造成事故数以及其平均数相差悬殊，故其“正常值”指标的确定有一定的难度，目前国内交通管理实践中在确定“事故多发地段”时多依据该方法，以事故发生的绝

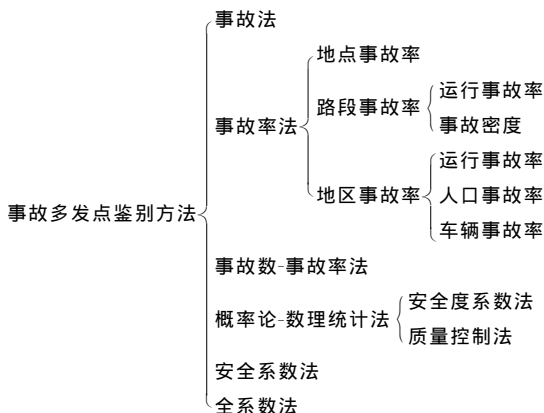


图 5-1 常用事故多发点鉴别方法

对值为判断标准，该方法带有明显的人为的和区域性的特征，无典型意义并不具有可比性，宏观操作上比较难以把握。事故率法考虑了交通资料，相对比较科学。泰国即采用此法作为上述两种分析方法的修正，事故数-事故率法综合考虑了事故法和事故率两种方法，对每一个研究的道路单元进行事故数和事故率计算，通过图示的方法确定两者的分布，可操作性强，这里，将以该方法为例演示事故多发点的鉴别流程；概率论—数理统计法、安全系数法、全系数法需要完整的道路数据库和交通数据库，使用过程比较复杂。

质量控制法 (Rate Quality Control Method) 在美国的一些州得到了运用。该法以概率论为理论基础，将特定地点的事故率与所有相似特征地点的总事故率作比较，得出事故的临界比率 R_c 。该法既考虑了事故数，同时又考虑了交通流量。

$$R_c = A \pm K \sqrt{\frac{A}{M}} \pm \frac{1}{2M}$$

式中 A ——同类型路段的平均事故率；

K ——统计常数，取 1.96 (95%置信度)；

M ——特定地点在调查期内的平均交通量 (路段以亿辆计)。

除了上述介绍的分析方法以外，国外在道路事故多发点的领域开展还出现了一些经典的分析模型，如关于易出现事故弯道的判别模型。1983 年 Glennon 按照道路几何构造、交通量、沿线条件等因素，建立了判别高事故发生率的平面曲线回归数学模型，其表述为

$$D = 0.071257DC + 2.9609LC + 0.1073RR - 0.03516PR - 0.14504SW - 1.54544$$

式中 D ——判别点；

DC ——弯道的曲率；

LC ——曲线长度，mile；

RR ——沿线障碍程度；

PR ——路面抗滑程度；

SW——路肩宽度，ft。

按此模型计算，拐弯急、曲线长、障碍物多，抗滑能力差、窄

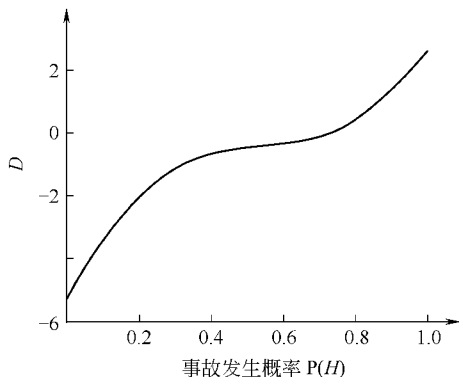


图 5-2 判别点 D 与事故发生
概率 $P(H)$ 的关系

路肩等情况下，判别的点高，判别的点高说明在该处发生交通事故的概率高。该模型的判别精度，在事故发生率高的弯道为 75.9%；在事故发生率低的弯道为 60.2%；在全部调查区域内平均为 69.1%。判别点与事故发生率的关系如图 5-2 所示。如判别点为 +2，则事故发生概率为 90%。

三、事故多发点分析方法的应用

在缺乏同类型道路交通管理数据因而无法开展事故发展水平的比较研究时，与其他方法相比，事故数-事故率法更具有技术上的可操作性和较好的工程运用背景。在具体操作时，可以根据已经掌握的道路或区域的交通管理数据，以平均事故数-事故率法为比较量，以区域内交通事故的平均值为临界点，开展事故多发点的鉴别工作。

该方法对每一个被研究的道路单元进行事故数和事故率计算，然后将事故次数作为纵坐标，车公里事故率为横坐标，确定两者的分布（见图 5-3）。整个坐标以 a 、 b 为界可分为 4 个区：1 区为高事故数、高事故率区；2 区为高事故数、低事故率区；3 区为低事故数、高事故率区；4 区为低事故数、低事故率区，如数据落入 1 区则可列为事故多发路段，落入 4 区则可列为安全路段，落在 2 区、3 区时则要对这些点进行进一步地分析和判断。

对于各个不同的研究对象，其临界点阈值 a 和 b 的确定比较困难，且随着区域、路段、交通条件等的变化而改变，“突出”点的描述需要开展相应的比较研究才能够确定。

1. 自动筛选原理

筛选的过程通过计算机来实现。由于质量控制方法、判别点

法等所需的数据结构复杂、数据量大，目前国内还不具备运用上述方法的条件，这里以事故数-事故率法为例，演示具体的筛选过程。

(1) 数据资料收集

收集 1~3 年的交通资料，包括交通流量、事故量，并确定事故与道路里程坐标的对应关系。

(2) 路段长度的确定

指确定一个事故地点的路长，目的是使道路中最危险的部分暴露出来，太长或太短都可能忽略道路中的危险点。研究资料表明，路段长度通常取 0.5~5km 比较合适。在确定路段长度范围的同时，应该将桥梁、弯道、交叉口、陡坡、隧道等特殊道路结构划分在同一路段中。

(3) 筛选步长的确定

仅仅以指标“路段长度”来划分路段并确定事故多发点有出现漏选的可能，因此在具体操作的过程中，要兼顾路段前后以及道路结构物等方面的具体情况并做适当的调整（见图 5-4）。图 5-4 中，5，10 等数字代表桩号 K 和 K_1 相对应的里程位置，用符号“○”代表在道路上发生的交通事故数 A （详见表 5-2）。

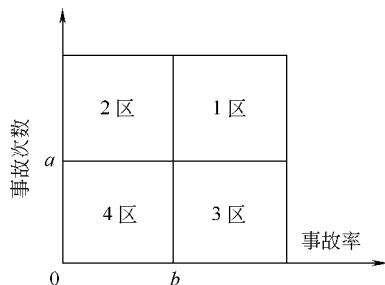


图 5-3 事故矩阵



图 5-4 事故多发点步长的确定方法

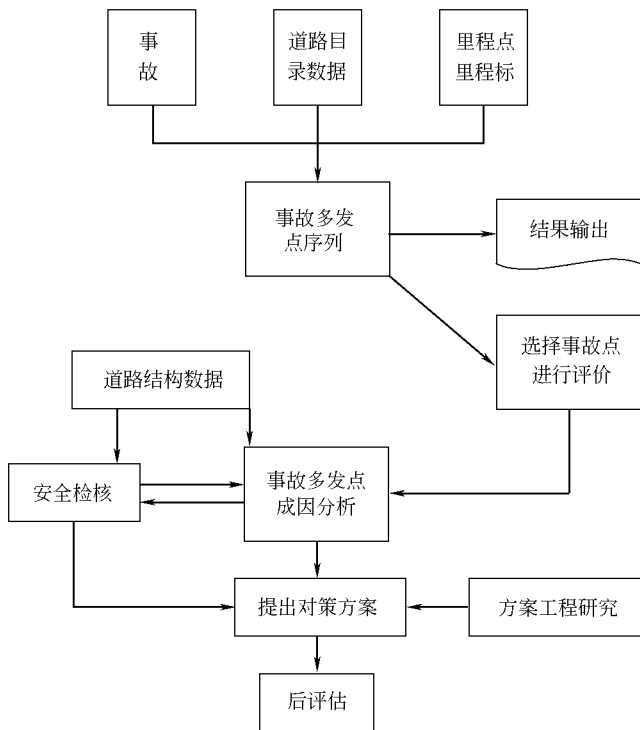


图 5-5 事故多发点分析流程

(4) 筛选阈值的确定

在具体的操作过程中，考虑到我国交通管理实施的客观情况，在事故多发地点确定程序设计过程中，通常以区域内道路交通事故的平均值为阈值，以此逐步甄别出事故低发地段，遴选出事故多发点。因此该值是相对的，并且随着时间的推移和交通状况的变化而不断变化，这样使该方法在目前的状况下具有可操作性。同时也对该设计提出了开放性特征的要求。

2. 道路事故多发点分析流程

道路事故多发点的自动筛选可以通过流程图 5-5 进行。在运用该流程编制的计算软件时，要求提供以下数据。

- ① 历年事故数据（1~3 年）。
- ② 事故选择的规模（如公路类型、特征）。
- ③ 根据事故频度或事故率排列的顺序。

通过该分析程序（见图 5-5）将达到以下的目的。

- ① 确定事故多发点。
- ② 确定事故多发诱因。
- ③ 提出解决方案（包括工程技术运用研究）。
- ④ 对治理措施的实施效果进行评价。

3. 工程运用

某国道 20km 的路段 1996 年的交通事故 A 值与桩号 K 、 K_1 对应见表 5-2，在 1999 年，该路段共发生了 241 起交通事故，从表中可以看出，位于 K264 和 K272 处形成两个事故高发点。该路段 K264 位建有立交桥，该桥形成向左倾斜的纵向“S”形弯道。该路段日均交通流量达 1.3 万~1.8 万辆，高峰流量达 1075~1078 辆/h。

表 5-2 某路段事故量与路段关系

K/km	0~4	4~8	8~12	12~16	16~20	合计:20
A	5	19	16	6	13	合计:59
K_1/km	255~259	259~263	263~267	267~271	271~275	合计:20
A	19	11	53	13	86	合计:182

对路段的交通事故发生量的计算表明，在上述路段事故数的平均值为 36.4 起（ K_1 方向）和 11.8 起（ K 方向），而相对应的

表 5-3 筛选结果报告

路段里程标 /km	事故数 /次	平均小时交通量 /辆·h ⁻¹	运行事故率 R_T /亿车公里
263~267	53	625	9.68
271~275	86	625	15.7

亿车公里平均运行事故率 R_T 分别为 6.45 和 2.52。表 5-3 为按事故数-事故率法方法得到的筛选结果报告。可以看出, 路段 263~267 和 271~275 明显落在图 5-3 所示的 1 区里, 属事故多发路段。

对事故成因的分析, 主要根据道路交通事故调查表, 将该表的主要事故表述进行代码量化, 以便于计算机处理。需要开展相关确认的参数主要包括以下各量。

- ① 事故类型 (单车、多车)。
- ② 道路线型 (一般弯、一般坡、一般弯坡、平直)。
- ③ 气候条件 (恶劣和不恶劣)。
- ④ 路面条件 (良好、较差)。
- ⑤ 车型 (小汽车、轻型汽车/面包车、卡车/大客车)。
- ⑥ 事故时间 (白天、夜间)。

同时必须提供的交通状态参数还包括交通流量以及行驶速度等交通状态资料。

对上述交通事故状态的分析得到以下结论。在 263~267 和 217~275 路段, 由于道路线形和恶劣的气候条件造成该段的多发事故状态。通过针对该事故多发地段开展的工程技术分析得知, 上述事故多发点发生事故时驾驶员、车辆状态、气候以及发生事故时交通状况等情况分析结果表明, 该路段事故多发的主要原因是由于下雨时形成严重的积水, 路段排水功能欠佳, 恰逢弯道外坡, 导致路段上车辆附着系数过低, 制动减速效果差, 同时当车辆以高速运行时, 产生的离心力过大, 易于引发交通事故。对该路段开展针对性的改造后, 取得了较好的效果。

该结果只表示了事故的诱因和在地点突出的因素组合, 程序结果不可能替代详细的实地研究和严格的工程判断, 但在此基础上建立相关的专家系统以进一步开展事故多发地点的诱因研究, 将对事故诱因的最终确认有重要的现实意义。

第三节 交叉口的交通冲突

一、定型交叉口交通事故模型

1. 洛巴诺夫模型

前苏联洛巴诺夫在分析平面交叉口处交通事故统计资料的基础上, 考虑不同方向的车流量、转弯半径以及车流之间的交角, 提出了确定交叉口交错点(分流点与合流点)处可能发生事故的计算模型。

$$g_i = 25 \times 10^{-7} K_i M_i N_i / K_r$$

式中 g_i —— i 种交错点处通过 1 万辆汽车时可能发生的交通事故数;

K_i —— i 种交错点交通事故严重性系数;

M_i —— i 种交错点外交叉的次要道路上的车流量, 辆/天;

N_i —— i 种交错点处交叉的主要道路上的车流量, 辆/天;

K_r ——年交通量月不均匀系数。

同时提出了用 1 千万辆车通过交叉口所发生的道路交通事故数量来评价交叉口的危险度模型, 交叉口危险度 K_a 可表述为

$$K_a = \frac{10^7 \times (g_1 + g_2 + \dots + g_n) K_r}{25(M_r + N_r)}$$

式中 M_r ——次要道路上的车流量, 辆/天;

N_r ——主要道路上的车流量, 辆/天。

根据 K_a 值, 将交叉口按照危险度分等级: $K_a < 3$ 为不危险; $3.1 < K_a < 8$ 为稍有危险; $8.1 < K_a < 12$ 为危险; $K_a > 12$ 为很危险。一般来说, 经验模型通常是在收集了典型交叉口大量统计数据基础上, 运用统计学理论提出的数学模型, 并提出指标的评价等级

划分。该方法的优点是简明、直观、实用；不足之处是需要收集大量的统计资料，考虑的因素往往有局限性，不全面，并受当地交通条件、地域条件等影响较大，可移植性、通用性较差。

2. 交叉口模型

在对区域和路段预测的基础上，专家们对交叉口也提出了不同的预测模型。

Tanner 1953 年提出了平方根法则，用于无信号灯十字形交叉口。

$$A = \sqrt{\frac{Q_1 + Q_2}{2} \times \frac{Q_3 + Q_4}{2}}$$

式中 A ——交叉口事故数预测值；
 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 ——交叉口四个进口道的交通流量。

对 T 形交叉口，Pickering, Hall 和 Grimmer 1986 年提出下面的模型

$$A = 0.24(QP)^{0.49}$$

式中 A ——在交叉口 22m 范围内的事故数预测值；
 Q ——主要道路进口道的流量，辆/日；
 P ——次要道路进口道的流量，辆/日。

对环形交叉口，Maycock 和 Hall 于 1984 年提出了下面的模型

$$A = kQ^a$$

式中 A ——在交叉口 22m 范围内的事故数预测值；
 Q ——进口道的流量，辆/日；
 k, a ——回归常数。

对环内事故， $a = 0.52$ ， $k = 0.090$ （英国环）， $k = 0.017$ （普通环）。

对进环事故， $a = 1.58$ ， $k = 0.0025$ （英国环）， $k = 0.0055$ （普通环）。

对单车事故， $a = 1.20$ ， $k = 0.0068$ （英国环）， $k = 0.0164$

(普通环)。

3. Mcdonald 模型

美国 Mcdonald 和 Webb 调查了加州的 150 个有分割带道路的交叉口的事故情况, 建议用下列模型计算交叉口的事故数 W 。

$$W=0.000783N_d^{0.045}N_c^{0.633}$$

式中 W ——一年内的交通事故次数;

N_d ——主线的年平均日交通量;

N_c ——交叉道路的年平均日交通量。

对不设信号灯的交叉口, 提出如下模型

对市区, 车速接近 40km/h, $W=0.030X^{0.55}Y^{0.55}$

对郊区, 车速接近 40~72km/h, $W=0.17X^{0.045}Y^{0.38}$

对乡村, 车速接近 72km/h, $W=0.28X^{0.50}Y^{0.29}$

式中 W ——年内的交通事故次数;

X ——主线的年平均日交通量的 1/100;

Y ——交叉道路的年平均日交通量 1/100。

上述非线性回归模型解决了事故数据不足的问题, 只要知道主线的年平均日交通量和交叉道路的年平均日交通量, 根据回归模型即可预测交叉口事故数, 并可对交叉口进行快速评价; 不足之处在于缺乏逻辑上的合理性, 因为事故数与年平均日交通量虽然有统计上的相关性, 但并没有逻辑上的因果关系, 只有不同类型事故与相关交通流(如追尾事故与同向交通流)才有逻辑上的因果关系, 所以该方法适用范围较小, 有较多约束条件。

二、交通冲突方法

交通冲突技术 TCT (Traffic Conflict Technique) 自 20 世纪 50 年代在美国开始应用, 1967 年 Perkins 和 Harris 最早进行了系统开发与应用, 它的最初目的是为了调查通用汽车公司的车辆在驾驶时是否与其他车辆一样。该法很快被一些交通安全组织应用于预

测评价交叉口潜在事故数和鉴别系统缺陷中。1970 年以后, 该法被加拿大和一些欧洲国家使用。1977 年在挪威的奥斯陆举行了第一届国际交通冲突技术会议, 1979 年在法国巴黎举办了第 2 届国际交通冲突技术会议, 以后陆续在瑞典、德国、比利时等国家也相继举办了多届国际会议, 并出版了国际交通冲突会议论文集。目前, 交通冲突技术在世界许多国家得到了广泛的应用, 成为国际上用于定量研究多种交通安全 (特别是地点安全) 问题及其对策的重要方法。

1. 主要研究成果及结论

① 美国 W. d. Glouz 等在 1982 年对大堪萨斯城地区 (The Greater Kansas City Area) 46 个信号与非信号交叉口的事故与冲突进行调查, 将事故和冲突分为 12 种类型, 建立了如下模型

$$A_0 = C_0 R$$

$$Var(A_0) = Var(C)Var(R) + C_0^2 Var(R) + R^2 Var(C)$$

式中 A_0 ——期望事故率;

C_0 ——期望冲突率;

R ——某类型交叉口事故/冲突率估计。

各类型冲突与同类型事故有较好的相关关系, 使用模型预测的事故值与实际事故值相差很小, 证明交通冲突技术是有效的。当事故数据不足或不尽可靠时, 可以用冲突法对交叉口的安全度进行快速评价。

② Charles V. Zegeer (美国 Kentucky 州运输署) 等在 1976 年应用冲突技术评价信号交叉口绿灯信号延时系统 (Green-phase Extension System) 的有效性, 交叉口安装了这种系统后, 冲突减少了 62%, 事故减少了 54%。

③ Brian L. Allen (Mcmaster 大学) 等通过对交通冲突和碰撞产生过程的分析, 对交通冲突技术进行修改补充, 提出后浸时间 PET (Post Encroachment Time) 的概念, 以 PET 判断交通冲突,

最后得出结论认为：交通冲突技术确实能为交通工程师提供可靠的交通事故预测和评价工具。

④ Ezra Hauer 等（1984）论述了交通冲突技术的有效性，包括有效性的定义和研究方法，结果显示，交通冲突技术是有效的；分析比较了点估计法和极大似然估计法在估计事故冲突率时的差别，认为极大似然估计法效果较好，与实际值较接近。

⑤ Perkins（1969）与 Baker（1972）指出：“交通冲突技术能够提供一种研究公路上特定地点潜在事故问题的方法。”

⑥ Amundesen 与 Christ Hyden 认为：“交通冲突技术是为研究城市交叉口问题而开发的”、“冲突法是较好的事故评价法的替代方法”。

⑦ 英国道路交通研究所提出根据广义的冲突定义不可能找出冲突与事故的关系，但严重冲突与事故密切相关，提出可用冲突法作为研究交叉口交通安全的快速方法。

⑧ 瑞典通过试验发现受伤事故与交通环境、交通量及车辆有关；可用交通冲突技术评价交通安全措施的效果及交叉口重新改造的效果。

⑨ Bindra. S. P 等通过对科威特 6 个主要环形交叉口的交通冲突研究，应用逐步回归分析方法分析各种冲突类型、各环交的几何与交通流参数之间的内在相关性，开发一系列冲突预测模型用于环行交叉口的设计与评价。Van Den Hondel 等发现，利用车辆冲突数和已有的事故数可预测出新事故数，同样，利用冲突数也能找出事故隐患点。

在第二次国际交通冲突技术会议上，与会专家们公认，交通冲突技术是深入分析事故集中地点的诊断工具，是鉴别事故多发点重要的可行手段；交通冲突技术应用于事故多发点前后比较研究有较好的效果，应用于交通安全的评价也能得到满意的结果；交通冲突技术是为特定公路使用者如行人、驾驶员、儿童提供预知危险状态的可靠方法。

2. 利用冲突技术的交叉口评价方法

交通冲突技术 TCT 是依据一定的标准,对冲突发生过程及严重性程度进行定量测量与判别,并应用于交通评价的技术方法。它是一种非事故统计评价方法。该技术以大样本生成,快速、定量评价小区域地点交通安全的现状与改善措施的效果为特点,完全不同于传统的事故统计评价方法。

交通冲突的定义有如下两种。一种以美国为代表,其定义为:交通冲突是驾驶员的躲避行动或交通违章。躲避行动是由制动灯显示表明的车辆制动和由车道改变表明的原定行驶方向的改变。另一种以欧洲国家为代表,其定义为:交通冲突是交通行为者发生相会、超越、追尾等交通遭遇时,有可能导致发生交通损害危险的交通现象。

根据不同的分类方法,交通冲突具有以下种类。

① 按测量对象的运动方向可分为:左转弯冲突、直行冲突、右转弯冲突。

② 按发生冲突的状态可分为:正向冲突、侧向冲突、超车冲突、追尾冲突、转弯冲突。

③ 按冲突的严重程度可分为:严重冲突、非严重冲突。

下面介绍两种交通冲突技术在交叉口评价中的具体应用。

(1) 危险度方法

$$\text{危险度} = \frac{\text{实际危险量}}{\text{危险量}}$$

危险量 = [冲突机会数 × (事故数/冲突机会) × 冲突动能]_{追尾} +

[冲突机会数 × (事故数/冲突机会) × 冲突动能]_{左转}

实际危险量 = (事故数 × 冲突动能)_{追尾} +

(事故数 × 冲突动能)_{左转}

这里只考虑了最常见的左转冲突和追尾冲突。根据信号灯配

时、流量和车头时距的分布规律，可以计算出各自的冲突机会数；根据车辆组成和车速可以确定各自的冲突动能。基于危险度的交叉口服务水平等级划分见表 5-4。

表 5-4 基于危险度的交叉口服务水平划分

服务水平	总危险度	服务水平	总危险度
A	<0.1	D	$0.51\sim0.70$
B	$0.11\sim0.30$	E	$0.71\sim0.90$
C	$0.30\sim0.50$	F	>0.91

当交叉口的几何尺寸、信号配时、信号相发生改变时，这种基于安全的服务水平并不会发生很大变化，与基于延误的服务水平并不一致。

(2) 概率方法

概率方法的主要步骤如下。

① 选择研究的交叉口，对交叉口交通流量、交通冲突进行观测。

② 对交叉口每天冲突观测值进行分组（根据冲突值的离散程度确定分组间距），计算每组冲突值的 Gamma 概率分布和累计概率分布值。

③ 一般来说，90% 以上的可信度足以满足精度要求，因此，根据当地政策、经济能力和工程分析需求等因素取概率分布函数的 90% 分位值 C_{90} 或 95% 分位值 C_{95} 作为冲突值异常与否的判断标准。

④ 评价同形式交叉口安全度时，如果某交叉口冲突观测值小于 C_{90} 或 C_{95} ，则认为该交叉口安全；否则，认为该交叉口交通安全状况发生了显著的变化，需要加以治理改造。根据冲突观测值大小，还可以估计出每一交叉口的安全程度。

此方法实际上是冲突技术与质量控制法的结合。

根据对交叉口交通安全评价方法的分析，可将交叉口安全评

价方法综合为两类，即以事故为基础的直接评价方法和非事故间接评价方法。当有足够的事故记录且记录比较可靠、一定时期内交通系统没有大变化时，以事故为基础的直接评价法具有明显的优点。

① 评价指标具有逻辑上的合理性。由安全定义可知，事故是显性因素，以事故为基础的安全评价指标直观，具有较强的说服力。

② 评价精度较高。利用相当长时间收集到足够的事故数据和其他影响因素的详细数据建立的模型，事故预测结果一般比较精确，用于评价时，也能得到较高的精确度。

但是，以事故统计为基础的安全评价指标在实际操作时，常常会出现不便，大量事实表明，以事故为基础的统计方法可信度小，这是由于事故所具有的不可克服的统计缺陷造成的。事故的统计缺陷主要有以下几方面。

（1）评价周期长

交叉口的总事故数很少，单个交叉口平均事故发生次数更为稀少，如果样本量达不到一定的要求，评价的可靠性就比较差。若要对交叉口或交叉口的改善措施的效果做出科学评价，必须有较长的事故统计周期才能保证其统计的可信度，一般至少要一二年时间，这会大大降低工作效率。并且即使经过很长时间收集到足够的、较精确的事故资料，交通系统可能已经发生了变化，所以也很难保证结论的可靠性。

（2）事故统计不完善

在我国仅有少数城市和地区有较完整的资料，大部分地区交叉口事故统计不完整。由于存在事故定义、事故统计规定、事故立案管理、事故统计管理等方面的限制，使得大量事故被漏掉，不能列入统计之内。据调查估计，重大以上交通事故未报案率为 5% 以下，一般事故未报案率约为 20%，轻微事故未报案与未记录率约为 70%，所以统计的事故主要是针对损伤事故类型。

(3) 事故发生的随机性致使评价结果比较不可靠

瑞典的研究证明：事故样本的随机性将导致统计抽样误差偏大，并产生统计学的回归影响，在大多数情况下将出现事故发生数大于其数学期望的现象。

第四节 交通安全分析软件简介

近年来，国外涌现出众多的交通安全软件，为交通安全分析、交通安全评价、交通安全设计、交通事故再现提供了强有力的技术支撑，这里将就几个典型软件做一简单介绍。

一、交通事故再现软件 Pc-Crash

车辆碰撞模拟软件 Pc-Crash 通过计算机调用指定车辆的性能参数来模拟两辆以上相同种类车辆或不同种类车辆之间的碰撞，自动计算并分析碰撞后的数据，从而帮助改进车辆的安全设计，预防潜在事故以及为已发生事故提供证据。目前，较为著名的 Pc-Crash 软件有：加拿大最大的事故再现公司 MEA (MacInnis Engineering Associates) 开发的 Pc-Crash Animation Software，在北美、南美以及澳大利亚应用得比较广泛。欧洲大多数国家采用的是奥地利 DSD 股份有限公司 (Dr. Steffan Datentechnik GmbH) 的 Pc-Crash 软件。另外，法国 ESI 集团公司推出的新一代计算机三维碰撞冲击仿真模拟系统 (PAM-CRASH 2G)，以其友好的用户界面、丰富的材料模型等在世界范围内得到广泛应用。Pc-Crash 软件的主要功能和特征简介如下。

① Pc-Crash 软件可以同时多达 32 辆汽车进行模拟，并且所有的输入数据都是以图形形式显示出来 (见图 5-6)。

② 此软件可以计算时间和距离的相互关系，但是不同的图表



图 5-6 软件界面（一）

对应着各自的测量方法。

③ 此软件可以通过自动计算来预防潜在事故的发生（例如限定最高车速和刹车系数等）。

④ 此软件可以自动记录固定和移动的视频信息。

⑤ 此软件可以自动计算几辆车之间的多重碰撞（见图 5-7）。

⑥ 此软件可以建立三维碰撞模型。

⑦ 可以自动计算车辆从碰撞点到停止的运动形式。

⑧ 可以指出碰撞点处的分离速度和回弹系数。

⑨ 利用默认参数可以自动计算出主要和次要的碰撞。

⑩ 可以自动计算出车辆撞击变形量。

⑪ 碰撞计算必须考虑汽车牵引车与车厢之间是如何连接的（见图 5-8）。

⑫ 改进后的路线跟随技术可以用做汽车和拖车碰撞的仿真。

⑬ 可以使用一个或者多个拖车进行卡车碰撞的仿真。

⑭ 本软件包含广泛使用的先进的 DSD2000 数据库（大约可以容纳 5000 辆汽车的资料，见图 5-9）。

⑮ 不同的汽车数据库对应不同的接口。



图 5-7 多重碰撞



图 5-8 牵引车碰撞分析



图 5-9 数据分析界面

①⑥ 数据文件的保存都是在后台进行的，因此，在保存文件时会有一点延迟。

①⑦ 碰撞后的车辆滑动与轮胎类型有关。

①⑧ 通过最终的停车位置可以最优化碰撞参数（碰撞速度和碰撞位置，见图 5-10）。

①⑨ 可以限定和计算前后轴的制动力分配。

②⑩ 在仿真时要考虑到路面的坡度及坡度的变化趋势。

②⑪ 软件定义和配置了多种人员分析系统（行人、摩托车手、驾驶员和乘客），这套系统可以灵活的方式进行修改（见图 5-11）。

②⑫ 通过 PC-Crash 乘客和座位模型，可以计算出乘客的运动和



图 5-10 优化分析界面



图 5-11 人员分析用图



图 5-12 人员仿真

载质量。

②③ 本软件主要改进了行人和摩托车手模型，计算中使用了实车外形参数。

②④ 基于 PC-Crash 仿真，车辆运动状态、乘客运动和压力水平等能够直接计算出来（见图 5-12）。

②⑤ 仿真结果是以图表形式输出的，能够灵活地改进，而且可以 DXF 和 Excel 形式输出。

②⑥ 多重位图可以在二维窗口中相互连接。

②⑦ 在二维窗口中，用汽车的照片和扫描图片表示汽车（见图 5-13）。

②⑧ 所有的碰撞参数都可以显示和打印出来。

②⑨ 此外，软件还集成了画图程序。



图 5-13 二维分析图

二、安全评价软件 SafeNET 简介

SafeNET 软件（见图 5-14）是由英国最大的交通研究实验室 TRL（Transport Research Laboratory）研制开发的，用来帮助交通工程师设计和建造更安全的乡村、城市道路网络。SafeNET 允许根据个人伤害事故频率（每年个人伤害事故数量）来评估路网的具体要素（不同类型的交叉口和路段）。

SafeNET 主要是为公路工程师设计的，他们需要更好地掌握现有路网的安全状况，或者是得到暗示路网的一些点在将来需要修改。例如，SafeNET 可以用来鉴别交叉口和路段在安全期间内超



图 5-14 软件界面 (二)

过预期地变坏。它也能在道路建设之前评估已计划好的建设发展和改进项目,改善道路施工的管理和改变路线以及利用补救工作来增加来自补救工作收益的预测。

为了预测在一段路网内个人伤害事故发生率,使用者需要输入这段路网内每个交叉口和路段的车流、人流和几何图形数据。然后 SafeNET 软件运用这些信息来预测在一年时间内可能发生多少起个人伤害事故。这些数据加起来就是整个路网的可能发生交通事故的数目。SafeNET 能够根据有限的输入数据做出不同标准的预测,输入的信息越多,预测的准确性也就越高。

SafeNET 能够模拟以下几种路网状况 (见图 5-15)。

- ① 道路交叉口环形路。
- ② 道路小交叉口环形路。
- ③ 交叉口交通信号。
- ④ 城市和乡村优先级交叉口。
- ⑤ 城市十字路口和交错的交叉口。
- ⑥ 城市单车道道路。
- ⑦ 城市小交叉口道路。



图 5-15 SafeNET 主菜单

对于路网控制时发生的潜在变化，SafeNET 能够做出快速评估。它的图形显示功能能够让工程师立即看到在交叉口结构、控制形式和交通流分配方面的变化，而这些变化将影响整个路网事故的发生频率。

SafeNET 在评价交通管理规划的安全性方面可谓是一个完美的软件，而且使用起来也非常方便容易。它也能单独作为一个快速评估交通规划安全的软件产品。另外，它可以与交通流分配模型相接合，对交通延误、旅游时段和事故频率作综合的评估。

SafeNET 程序包括 4 个主要模块：建立网络，数据输入，结果输出，数据处理。

建立网络允许建立和展示的路网连接方式的图样。

这对于建立包含有许多交叉口和路段（见图 5-16）的路网有很大帮助。你能够获得各个交叉口和路段的数据，这些数据对于数据处理是至关重要的。在建立网络这一模块中，可以增加、移动或删除交叉口和路段，连接交叉口和路段或改变交叉口和路段的类型。

数据输入模块（见图 5-17）主要用来输入路网中每个交叉口

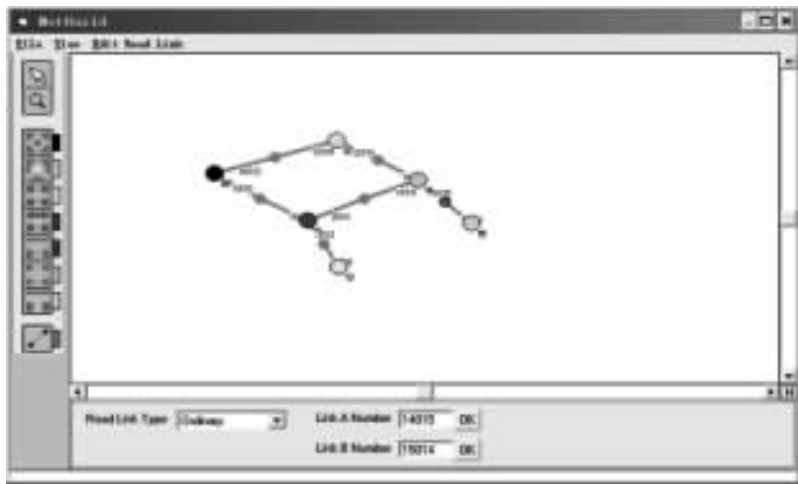


图 5-16 交叉口、路段分析

和路段的数据，从而它也可以预测出伤亡事故发生的频率。

数据输入模块常常和建立网络模块结合运用。当然，它也可以单独应用，如果没有先选择建立网络模块，那么就需要在数据输入时输入路网的特征数据（见图 5-17）。但是，只有在建立网络模块中才能增加或删除路网特征。

数据输入窗口允许选择一种特性进行编辑（见图 5-18）。

通过结果输出模块，可以预测在已设计的路网中交通事故发生的频率和伤亡人数。有两种结果显示方式：一种是以列表的形式（此表可以打印输出，见图 5-19）；另一种则是以图形的形式显示结果（见图 5-20）。

可以通过数据处理模块处理当前的交通流数据（见图 5-21）。

三、微电脑事故分析软件 MAAP

微电脑事故分析软件 MAAP（Microcomputer Accidents Analysis Processor，见图 5-22）是英国 TRL 研制的最有用的和应用最

Input Data - [c:\vbprogs2\safener\data\town.nbc]

Road Links

10 Simple Urban Roads

3 Whole Urban Roads

2 Rural Roads

Mini-Roundabouts

131 - Green Lane (Complete)

132 - Green Lane West (Complete)

133 - Fore St South (Complete)

141 - Ring Road West (Complete)

142 - Down Avenue (Complete)

143 - Low Road (Complete)

Junctions

1 Roundabouts

6 Mini-Roundabouts

1 Traffic Signals (4-arm)

2 Traffic Signals (3-arm)

3 T-junctions (Urban Priority)

2 T-junctions (Rural Priority)

1 Crossroads (Urban Priority)

New

Edit

Delete

Year of Modelling: 1998

Main Menu

图 5-17 数据输入界面

Traffic Signals Arm Data for Junction 18

Traffic Signals (3-arm) - Level 3

Features | Signal Timing | TC

Flow | Traffic Data | Geometric

Left-turn Flow: [] Vehicles / Hour

Straight-ahead Flow: 12.343 Vehicles / Hour

Right-turn Flow: 5.645 Vehicles / Hour

Pedestrian Flow: 1.232 Vehicles / Hour

Roundabout Flow: [] Vehicles / Hour

Expected range = 1.014 to 20.168

Vehicle Flow Straight Ahead
Units: 1000's of Vehicles per 24-hour period

Major Left

Previous View 1 of 3 Next View View Details

图 5-18 数据编辑界面

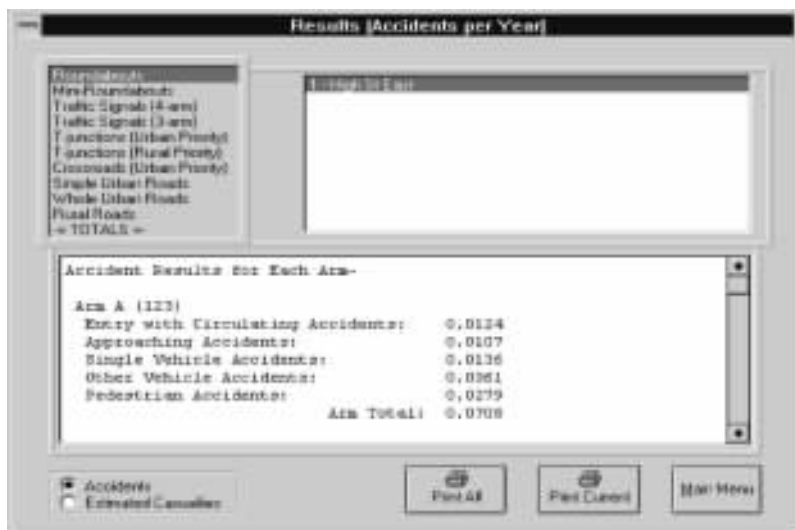


图 5-19 输出界面（一）

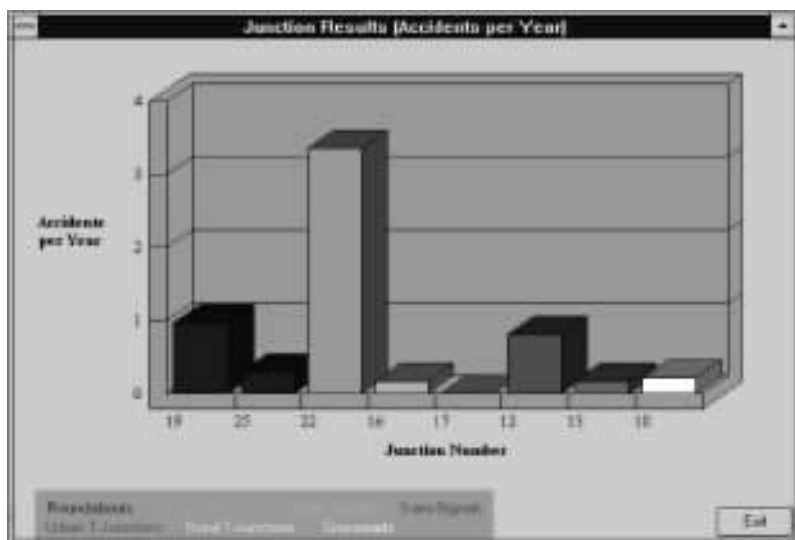


图 5-20 输出界面（二）



图 5-21 交通数据处理界面



图 5-22 软件界面（三）

广泛的软件之一，在英国受到了用户的一致好评。

MAAP 给事故调查者提供了事故数据存储和分析的最新技术。它能够隔离交通事故中的共性特征，确认、分析出交通事故中的个性问题，而且使用起来也比较简单，从而大大提高了生产

力水平。

MAAP 可以作交通事故、伤亡人数和车辆碰撞的图表分析和柱状图分析。可以通过 MAAP 地理信息系统的矢量图和擦伤仪的现场检查来展示和分析交通事故。MAAP 处理数据是基于 Access 或 SQL 数据库的,从而给用户提供了许多方便,软件功能如图 5-23 所示。

- ① 简单的用户容易掌握使用的数据登录界面。
- ② 不管是单个用户还是小型网络用户,或者是基于 SQL 数据库工业标准网络用户都可以通过个人计算机存储数据。
- ③ 内建多用户功能。
- ④ 灵活而强大的数据保护功能。



图 5-23 软件功能图

MAAP 是一个用户可配置产品,已经在警察机关、地方交通管理部门、国际政府和公路网络部门等单位得到广泛应用,并受到了一致好评。它也可以用来存储分析、公路交通事故数据。MAAP 的每个拷贝都是根据用户的个人特殊需要配置的,特别是,程序有适应用户的地图、数据库和事故报告形式。有时候软件还包含部分公路交通安全方案。

MAAP 的主要功能简介如下。

1. 查询功能

用户可以利用 MAAP 的查询功能察看和分析数据库中的数据,而且用户可以自定义并运行一个新的查询内容,已经提出的问题显示在屏幕的左下角。用户也可以调出或删除以前存储的问题或察看整个数据库。

2. 交叉表分析功能

交叉表的特点允许用户分析数据库各子域之间的关系。用户可以自定义并运行一个新的交叉表,并察看各项数据和它们的图形(见图 5-24)。

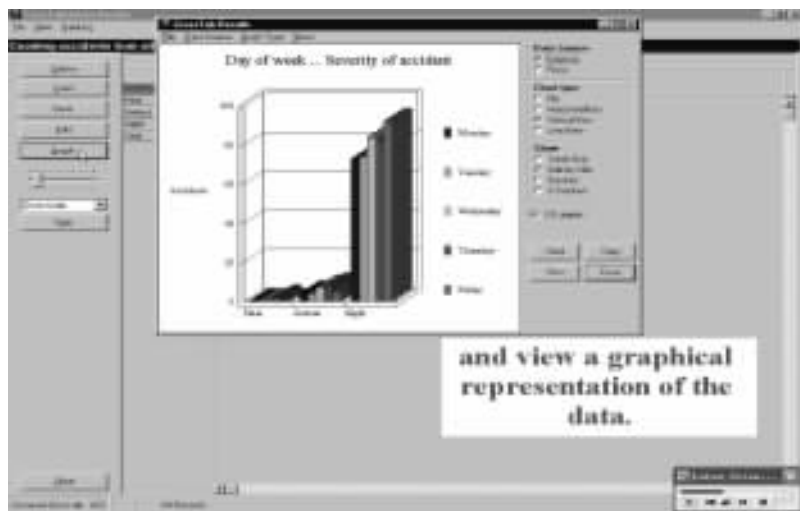


图 5-24 数据的图形表示

3. 柱状图分析功能

MAAP 的柱状图分析功能允许用户以文本、图形和图标的形式展示已选择的项目。用户可以定义新的柱状表,也可以运行以前的柱状表。用户可以把柱状表数据分门别类地存储到特定的数据库子集中。

4. 地理信息系统 (GIS)

MAAP 链接的地理信息系统功能允许用户在电子地图 (见图

5-25) 上察看交通事故。用户可以选择交通事故组进行实时分析或者自定义监视位置等。



图 5-25 GIS 功能

5. 集群和密度分析功能

使用 MAAP 的集群和密度分析功能，可以确定并分析事故集群的特征。用户可以进行集群分析、栅格密度分析以及用户（监视）点分析等。

四、步行与自行车碰撞分析软件 PBCAT

本程序主要用于诊断对步行者和自行车危险的地区，先进的分析工具有助于应用者更好地理解 and 确定问题地区寻求减少对步行者和自行车碰撞的对策。步行与自行车碰撞分析软件 PBCAT (Pedestrian and Bicycle Crash Analysis Tool) 的界面如图 5-26 所示。

根据屏幕上出现的问题，本软件能够快捷地诊断碰撞类型。



图 5-26 软件界面（四）

交通安全评价

20 世纪 60 年代初期，日本“交通安全评价委员会”开展了国内交通死亡、重伤事故调查分析，建立了国家计算机交通事故管理档案系统。20 世纪 60 年代末期，美国道路运输研究室（Transport and Road Research Laboratory）进行了大规模的交通事故调查，该研究所用了大约 4 年的时间调查了全国 3120 起典型交通事故，积累了大量的分析资料，在道路科学的科学规划、安全设计、安全管理中发挥了重要的作用。

道路安全问题既是一个技术问题也是社会问题。评价一个国家或一个地区的道路安全状态，必须从该地区的交通基础设施状况出发，综合分析经济发展及区域文化教育等各种与道路安全有关的社会因素和技术经济因素。道路安全性评价可以从宏观和微观两个层面进行。

1. 道路安全的宏观分析

主要目的在于分析随着区域的社会变革、经济和技术的发展，道路安全状况的变化，研究区域经济、车辆保有量、人口及其构成与道路安全（道路事故率）的相互关系，并在此基础上制订宏观的技术和政策方面的道路安全性改善对策。不少国家将宏观层面上的道路安全问题列入国民健康范畴进行研究。

2. 道路安全性微观分析

此分析是从不同的角度分析影响道路安全、产生道路交通事故

的各种具体因素，为改善道路安全状况制订技术与政策措施。对于道路与交通工程领域的工程技术人员，则着重研究道路、交通环境因素与道路事故的关系，以指导道路安全设计。但由于影响道路安全的因素很多，相互有交叉，因而还必须从其他角度考虑安全问题。

道路交通安全评价的困难和障碍表现在如下几方面。

1. 影响因素多

如人口密度，人口的年龄构成，居住区的结构，车辆保有量及组成、交通流量、公共交通设施、路网长度和质量、地理及气候条件等，这些因素之间有相互关系，但是要确定其相互关系又几乎是不可能的。

2. 定义不一致

各国对于交通事故的统计方法不尽一致，并且在统计标准和事故的定义上也有较大的差别。如对于交通事故死亡人数的统计，各国对事故后的存活期限的规定有较大的差别。国际上目前推荐的是对事故后 30 天之内死亡的均作为交通事故死亡加以统计，但有的国家则规定 7 天，如中国、意大利；有的国家规定 6 天，如法国；还有的国家规定 3 天，如奥地利。

另外，各国对机动车辆的分类和统计范围不一致，对万车死亡率等指标也不具可比性。

3. 事故统计不完善

事故统计中的大量遗漏和资料的不完善使指标的可比性进一步受到影响。根据阿波尔（Apel）的调查，遗漏的数目高达 1/3 以上。

第一节 道路交通安全评价

道路安全评价指标可以反映道路安全的综合状况，也可以反映

道路安全状况的某一个或几个侧面，这取决于选用的指标；另一方面，指标的使用又受到可获得数据的约束。这也从一个侧面反映了数据在交通安全评价中的重要性。根据获得的数据，世界各国常采用以下的评价指标。

一、绝对数

绝对数指标是反映交通事故状况的基本指标，常用的有：事故次数、死亡人数、受伤人数、直接经济损失等，习惯上称为四大指标。

绝对数指标简单、清晰，是其他评价指标的计量基础，上述绝对数一般在事故记录中可直接获得。但是绝对数指标是静态的、孤立的，无法反映实际道路、交通条件的差异对事故的影响。

二、相对数

在相对数指标中，人们引入了一些相关因素作为比较的基础，这些相关因素与事故有着直接或内在的联系，从而使相对于这些相关因素的事故指标有较好的可比性。这样的相关因素很多，常用的有车辆保有量、交通量、人口和区域面积等。

1. 公里事故率 R_L

公里事故率即平均每公里的事故数，也称事故频数。由于将公路长度作为考虑因素，使事故次数更具有可比性，是仅次于事故次数的基础指标。

$$R_L = \frac{A}{L}$$

2. 车辆事故率 R_v

车辆事故率表示在一定区域内按单位机动车保有量所平均的交通事故数，最常用的是万车事故率。

$$R_v = \frac{A}{V} \times 10^4$$

式中 R_v ——每万车交通事故率，起/万车；

A ——事故数量，起；

V ——机动车保有量，辆。

将事故数量 A 换成其他绝对值指标，如死亡人数、受伤人数、直接经济损失等，则车辆事故率还可表示车辆死亡率、车辆受伤率、车辆损失率等。

当研究的区域范围变大，机动车保有量数量较大时，为方便起见，事故率也可用百万车或亿车来计量。

3. 人口事故率 R_p

人口事故率表示在一定区域内按人口所平均的交通事故数（死亡人数、受伤人数、直接经济损失）。其表达式为

$$R_p = \frac{A}{P} \times 10^4$$

式中 R_p ——每万人交通事故率，起/万人；

A ——事故数量，起；

P ——区域内人口总数，人。

4. 综合事故率 R_{pv}

综合事故率是万车事故率与万人事故率的几何平均值

$$P_{pv} = \frac{A}{\sqrt{VP}} \times 10^4$$

式中 R_{pv} ——综合事故率，当 A 采用死亡人数时 R_{pv} 也称死亡系数；

A ——事故数量，起；

V ——机动车保有量，辆；

P ——区域内人口总数，人。

5. 车公里事故率（运行事故率） R_k

车公里事故率是指在一定区域内，按所有机动车行驶一年的公里数总和所平均的交通事故数（或伤亡人数）。通常以百万车公里事故率或亿车公里事故率来表示。

$$R_k = \frac{A}{K} \times 10^8$$

式中 R_k ——1 年间每亿车公里事故数，起/亿车公里；
 A ——区域内一年总运行车公里数内发生的事故；
 K ——区域内一年内总运行车公里数。

三、当量事故数与当量事故率

相对数指标虽然考虑了相关因素，但大多是对某一因素单独考虑、计算，每一种事故率都反映了事故的一个侧面，对综合因素的反映是不够的，既然事故是多因素综合作用的结果，则应采用一些综合指标。这里介绍的是一些国家采用的事故综合指标。

1. 当量事故次数 A_{EQ}

当量事故次数，有时也称当量死亡人数。它是考虑到在交通事故中，事故次数对事故严重性的描述是不够的，同样的事故次数，严重程度不同，其损失及对社会的危害程度也不同，不能将不同严重性的事故数简单地累加，而是根据死亡、受伤及经济损失对社会危害性的大小赋予不同的权值，提出当量事故次数。常用的算法如下。

① 当量事故数 A_{EQ}

$$A_{EQ} = A + k_1 D + k_2 W (+ k_3 L)$$

式中 A_{EQ} ——当量事故数；
 A ——实际事故次数，起；
 D ——死亡人数，人；
 W ——受伤人数，人；
 L ——直接经济损失，万元；
 k_1 ——死亡的权重；
 k_2 ——受伤的权重；
 k_3 ——直接经济损失的权重。

② 当量死亡人数 D_{EQ}

$$D_{\text{EQ}} = D + k_1 W_G + k_2 W_F (+k_3 L)$$

式中 D_{EQ} ——当量死亡人数；

D ——实际死亡人数，人；

W_G ——重伤人数，人；

W_F ——轻伤人数，人；

L ——直接经济损失，万元；

k_1 ——重伤的权重；

k_2 ——轻伤的权重；

k_3 ——直接经济损失的权重。

③ 原联邦德国和原民主德国曾采用的当量次数

$$U = p_1 n_1 + p_2 n_2 + \cdots + p_m n_m$$

式中 U ——事故当量次数；

$n_1, \cdots, n_m$ ——各种类型的事故数量；

$p_1, \cdots, p_m$ ——各种事故对应的严重性系数。

2. 当量事故率 R_{kEQ}

当量事故率是以当量事故数（当量死亡数）来计算前面的各种事故率，从而更综合的反映事故水平。如当量车公里事故率为

$$R_{\text{kEQ}} = \frac{A_{\text{EQ}}}{K} \times 10^8$$

四、致死率

致死率 d 是通过死亡人数占伤亡人数的比例来表征事故的严重程度。

$$d = \frac{D}{W + D} \times 100\%$$

式中 D ——死亡人数，人；

W ——受伤人数，人。

五、事故强度分析法

① 综合事故强度分析法

$$K = \frac{10^4 \times M}{\sqrt{RCL}}$$

$M = \text{死亡人数} + 0.33 \text{ 重伤人数} + 0.10 \text{ 轻伤人数} +$

2 直接经济损失 (万元)

$C = \text{汽车} + 0.4 \text{ 摩托车和三轮车} + 0.3 \text{ 自行车} + 0.2 \text{ 畜力车}$

$$R = 0.7P$$

式中 K ——死亡强度指标, K 越小, 安全度越高;

M ——当量死亡人数;

C ——当量汽车数;

R ——人口数;

P ——人口总数;

L ——道路因素。

② 当量事故强度 K_d

$$K_d = 10^3 \times \frac{D_d}{\sqrt[3]{PN_dL}}$$

式中 K_d ——当量死亡强度;

D_d ——当量死亡人数;

N_d ——当量汽车数;

L ——辖区道路总里程;

P ——辖区人口总数。

综合以上各种指标, 它们都具有各自的特点, 从不同的侧面, 不同的深度反映了事故的水平。

六、系统分析法

如层次分析法、模糊数学法、灰色系统理论评价方法等。

对少数已知信息进行筛选、加工、延伸和累加处理, 运用灰色系统理论“非惟一性原理”, 采用定量和定性相结合的手段,

确定交通安全在某一个灰色域内，可以达到评价道路交通安全的目的。

该法在选取评价指标和确定安全评价指标的灰类白化权函数时受人为因素影响较大，而且不能进行显著性统计检验，因而该法的客观适用性受到限制。

对道路交通安全性的评价方法，通常采用一些绝对或相对的统计指标量，由于交通安全时空上的相对性以及道路各区域间的指标在时空上的不可比性，因此绝对指标和相对指标在反应道路交通安全程度方面有一定的局限性。

七、交通冲突方法

交通冲突技术（Traffic Conflict Technique）自 20 世纪 50 年代在美国开始应用，1967 年 Perkins 和 Harris 最早进行了系统开发与应用，它的最初目的是为了调查通用汽车公司的车辆在驾驶时是否与其他车辆一样。该法很快被一些交通安全组织应用于预测评价交叉口潜在事故数和鉴别系统缺陷中。目前，交通冲突技术在世界许多国家得到广泛应用，成为国际上用于定量研究多种交通安全（特别是地点安全）问题及其对策的重要方法。

该评价方法的缺陷表现在：评价周期过长，事件统计不完善，事件的发生具有随机性，不易观测。

第二节 公路交叉口交通安全的评价

交叉口是道路系统中的一个计划中的冲突核心，平面交叉路口其功能是把道路相互连接起来构成道路网络，使不同方向交通流在该区域集结、交织和分流。它与立体交叉最显著的区别在于平交路口交通流的合流、分流、交叉必须在同一平面内进行，这

就使左转车流与直行车流、机动车流与非机动车流在同一平面上产生冲突点和合流点，交通状况由此显得危险而复杂。根据统计资料，交通事故的半数发生在道路平面交叉及其周围，而在我国城市中这一比例可高达 60%~80%，这一指标在美国、日本分别达到 36%和 42.2%（1990 年）。由交叉口冲突点而引起的事在美国 2001 年造成 9000 人死亡，1500000 人受伤，占有报告事故的 44%。同时资料还表明，交叉口将降低 40%~50%的道路通行能力。

美国交通工程师协会（ITE）已将道路交叉口的安全列为今后亟待解决的重要课题。鉴于道路交叉口安全问题的严重性，ITE 和美国联邦公路局（FHWA）联合其他道路运输和安全组织机构，已经开始采取步骤，通过工程、教育和执法等综合措施，来减少与道路交叉口有关的交通事故伤亡数和财产损失。相关的行动计划已经制定，包括强化公众对此问题重要性的认识，进一步利用科技手段来提高道路交通专业技术人员的设计与管理水平等方面。

美国 TRB（Transportation Research Board）1989 年开始针对道路交叉口开展道路、经济、操作和控制、材料、可视性、交通计划、预测、法律、财政、实验和仪器、车辆隔离装置、事故伤害分析、交叉口环行路设计、交叉口信号设计等 25 项工程。联邦公路管理局（FHWA）将交通安全作为其有限的几个工作重点之一，到 2008 年，努力将交通事故产生的死亡和受伤人数降低 20%，到 2007 年，将道路交叉口交通事故的死亡人数降低 10%。

国外在研究道路交叉口交通安全方面，取得了多项应用成果。

① 联邦德国的拉波波尔特在对交叉口方案和带有方向岛方案比较时，提出交叉口危险度评价模型。

② 前苏联的洛巴诺夫在分析平面交叉口处交通事故统计资料的基础上，考虑不同方向的车流量、转弯半径以及车流之间的交角，提出了确定交叉口交错点（分流点与合流点）处可能发生事故

的计算模型。

③ 在分析交叉口安全过程中，常采用多元线性回归模型法，主要是选取一些交叉口参数，例如交通量、信号灯座数、行车道宽度等，通过对这些参数与事故间的关系分析，得出回归模型，预测交叉口事故，并做出安全评价。

美国开发信号交叉口交通事故信息与监测系统（TASAS），应用新的分类与分组技术——类别与回归树（CART），作为构造块，开发损伤事故预测模型，对交叉口事故进行预测。它的主要步骤是：用 CART 进行交叉口分组；开发基于交通密度的模型；开发基于直行与转向车流模型；开发基于事故记录模型，用以上模型对事故预测模型进行修正，以提高模型预测精度。

一、平面交叉口

道路交叉口的交通安全取决于相交横穿车流的方向、相对交通量、冲突点、分流点与合流点的交错点的数目以及这些点之间的距离（见图 6-1）。通过某个交错点的汽车越多，则事故发生的概率越高。

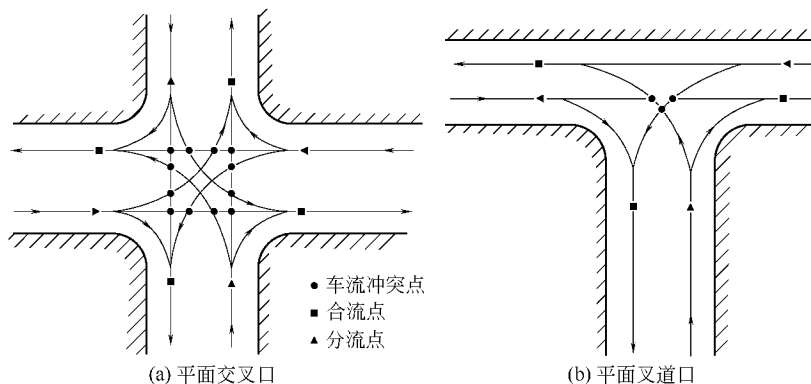


图 6-1 平面交叉口与叉道口上的交错点

汽车在交错点上的行车方向对车流相交时引起的事故的严重性

起决定作用。

评价平面交叉口道路交通事故危险性的方法，首先是由联邦德国的 Γ. 拉波波尔特于 1955 年提出的，用于平面交叉口方案和带有方向岛方案的比较。该方法基于表征两个互相横穿交通流的每个交错点危险度的系数系统。每一种交叉口方案的危险度 G ，可由每一个交错点处的总和交通量 β 乘以相应的系数 α 之积的总和来确定。

整个交叉口的危险度为

$$G=\sum\frac{\alpha\beta}{10}$$

危险度 G 越大，则交叉口的设计对于交通越不合适，其上的道路交通事故的概率也越高。对于不同的交通流相交角度及 α 系数值见表 6-1。

当交错点的位置布置要用方向岛来调节时，或者交错点相互之间的距离小于 15m 时，这些交错点的布置被认为是密集的。

表 6-1 交叉口横穿车流方向角的系数 α

交叉口的危险点	在下列两种冲突点布置时考虑 相交的横穿车流方向角的系数 α	
	分散的	密集的
分流点	2	1
合流点	4	2
在下列交角下的车流交叉点		
锐角 30°	6	3
锐角 60°	8	4
直角 90°	12	6
钝角 120°	14	7
钝角 150°	18	9
在一车道上相遇的行车	20	10

作为 Γ. 拉波波尔特方法的基础思想，在前苏联由 E. M. 洛巴

诺夫做了发展，他在分析本国平面交叉口道路交通事故统计资料的基础上，考虑到不同的车流方向、转弯半径以及车流之间的交角，提出了确定交叉口上交错点处可能发生事故数的计算公式。交错点上通过 1 千万辆汽车时可能发生的交通事故数量为 g_i

$$g_i = K_i M_i N_i \frac{25}{K_m} \times 10^{-7}$$

式中 K_i ——某交错点的相对事故率；
 M_i ——该交错点上交叉的次要道路上行驶车流的交通量，辆/昼夜；
 N_i ——该交错点上交叉的主要道路上行驶车流的交通量，辆/昼夜；
 K_m ——年交通量月不均匀系数。

上式中的系数 25 是为了考虑一个月平均的工作天数，在这些天中道路的负荷要大大超过非工作天的负荷。对于新设计的道路， $25/K_m$ 的比值可等于 365。

对于最有代表性的情况， K_i 系数值见表 6-2。
每一方案的危险度，用表征 1 千万辆汽车通过交叉口所发生的道路交通事故数量的交通安全指标 K_a 来评价。

$$K_a = \frac{\sum_1^n 10^7 g_i K_m}{25 (M_t + N_t)} = \frac{\sum_1^n K_i M_i N_i}{M_t + N_t}$$

表 6-2 年交通量月不均匀系数

交通条件	行车方向	交叉口的特点	交叉口的 K_i 值	
			无设施	有渠化交通设施
车流合流	右转弯	$R < 15\text{m}$ $R \geq 15\text{m}$	0.0250 0.0040	0.0200 0.0020
	左转弯	$R < 10\text{m}$ $10\text{m} < R < 25\text{m}$	0.0320 0.0025	0.0020 0.0017

交通条件	行车方向	交叉口的特点	交叉口的 K_i 值	
			无设施	有渠化交通设施
车流交叉	交叉	$\alpha \leq 30^\circ$	0.0080	0.0040
		$50^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$	0.0936	0.0018
		$90^\circ \leq \alpha < 120^\circ$	0.0120	0.0060
		$150^\circ < \alpha < 180^\circ$	0.0350	0.0175
车流分流	右转弯	$R < 15\text{m}$	0.0200	0.0200
		$R < 15\text{m}$	0.0069	0.0060
	左转弯	$R < 10\text{m}$	0.0300	0.0300
		$10\text{m} < R < 25\text{m}$	0.0040	0.0025
两种转弯的车流	车流向两个方向分流	—	0.0015	0.0010
	流左转弯车流的交叉	—	0.0020	0.0005
	口转弯车流的合流点	—	0.0025	0.0012

注： M_i 与 N_i 分别是次要道路与主要道路上的交通量，辆/昼夜。

根据 K_a 值，把交叉口按照危险度划分为下列的等级（见表 6-3）。

表 6-3 交叉口按照危险度划分的等级

交叉口危险度	不危险的	稍有危险的	危险的	很危险的
K_a 值	<3	$3.1 \sim 8$	$8.1 \sim 12$	>12

普遍认为在新设计的交叉口上危险度不应超过 8。

二、立体交叉口

按照交通流示意图正确完善设计的立体交叉口，不存在可能发生交通流相交的交错点，转弯的汽车在变速道的进出口处的车流分流路段与合流路段是例外。

在次要方向上允许交通流相交的不完全型的立体交叉口匝道设计时，有必要对交叉口的危险性进行评价。评价这种交叉口方案最简单方法的前提是道路交通事故的概率正比于交叉口交通流的总交

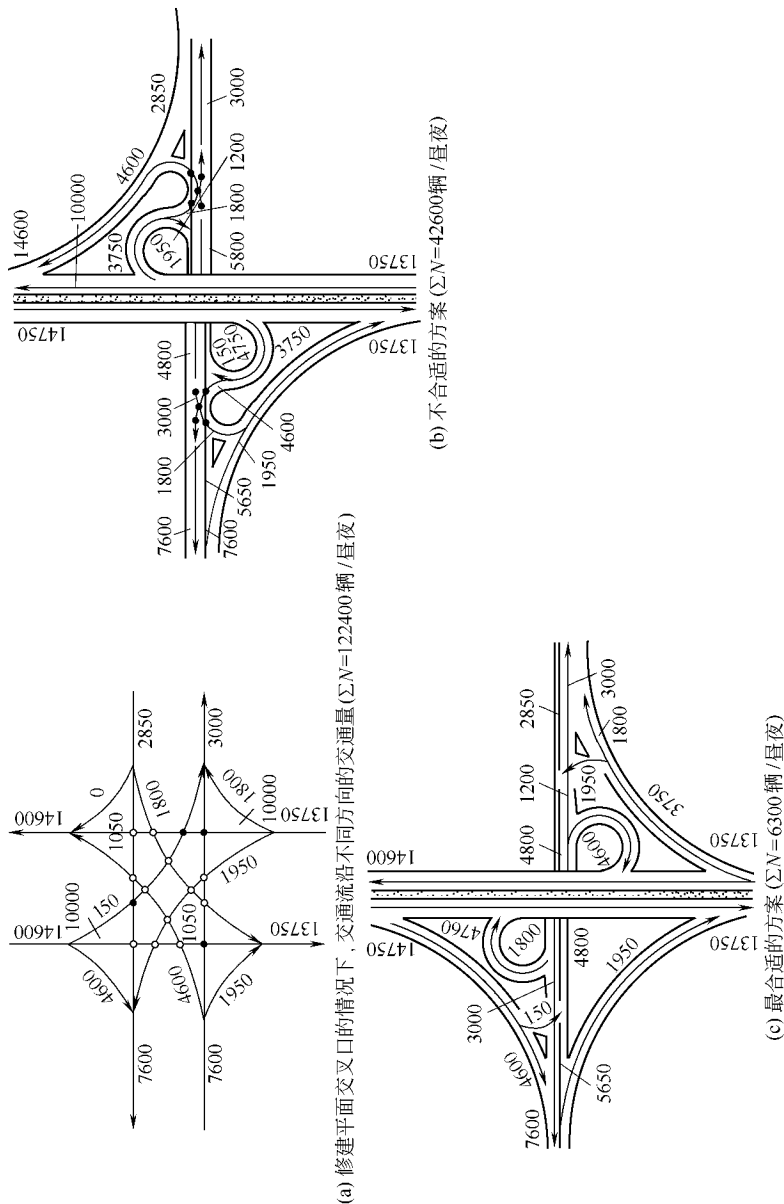


图 1-2 不完全的“苜蓿叶”形道路立体交叉口上交通安全条件的评价

通量。

对于各种不同的出口布置或用方向岛分出的转弯道，做出交通方向图，行车的方向用箭头表示，交通量用箭头的宽度与箭头旁边的数字表示。图上交通流相交点的数量，在相当程度上表征交叉口的运输使用性质与交通安全性（见图 6-2）。

每一个交叉口上，道路交通事故与车辆相互妨碍的概率，可用相交车流交通量的积或和来评价。

比较计算表明，为了使交叉口达到最佳类型，两种方法实际上导致了相同的结果。

通过计算合流、分流与交叉的交通流，便于从相近的方案中选择最佳的方案，上述的计算方法还可能得到改善。

为此，可采用下列的车流相互作用的相对系数，并用这相对系数乘以总交通量来获得。

车流的交角接近于直角	1
行车道更换时车流合流	0.3
从右边合流车流	0.2
从左边合流车流	0.15
左转弯时车流的分流	0.85
右转弯时车流的分流	0.10

第三节 道路交通安全评价

一、用事故率系数线性图评价交通安全性

可以用道路各组成部分对道路交通事故数量相对的影响系数，来解决下列若干任务。

① 在设计的或必须改建的路段上，根据平面、纵横断面的各组成部分与路旁地形的综合情况，查明产生提高道路交通事故危险

性的条件。

- ② 比较评价平行道路及其个别路段的行车安全性。
- ③ 比较评价个别路段消除提高行车危险性措施的有效性。
- ④ 确定不会引起道路交通事故危险性升高的最大允许交通量。

每一个路段的道路交通事故相对概率可用总计的事故率系数来评价，它是由在各种不同路段上的各部分相对事故数系数（影响系数或各部分的事故率系数）的乘积计算而得。这些系数表征着交通条件的恶化程度，这个程度是由道路平、纵、横断面及路旁地带的各组成部分对交通条件的影响情况，同路面宽度 7.5m、加固路肩、粗糙路面的双车道道路对交通条件的影响相对比而确定的

$$K_{T(\text{总计})} = K_1 K_2 K_3 \cdots K_n$$

这个计算总计事故率系数公式中所包含的各部分的事故率系数 $K_1 \sim K_n$ ，其值可按国内外统计资料确定，它们考虑到交通量与道路平、纵、横断面各组成部分的影响。现时，规定这些系数的清单还不全面，它们的数值也不是最终的。随着统计资料，特别是本国资料地进一步积累，影响因素的清单与各系数的数值将会精确化。这个精确化应从两方面来进行：在有特点的自然（地形）区里，补充考虑当地的道路条件，考虑道路使用过程中不良气候条件的影响（冰、雾、路面上的泥土、行车道部分出于积雪而变窄等）。

此外，不是所有确定的事故率系数影响因素对交通安全都有相同程度的影响。在需要较大工作量的进一步研究过程中，必须确定每个系数的相对权重及其相互关系。但是，在当今开始总结道路交通事故统计资料的阶段里，把评价交通安全的客观标准运用到实际中去，可以赋予所有拟定的措施以充足的理由。

这里列出在《公路交通组织与保证交通安全须知》（BCH 25—76）中所采用的这些系数的数值，用来绘制总计事故率系数图。

道路各部分的事故率见表 6-4。

表 6-4 道路各部分的事故率

交通量/辆· 昼夜 ⁻¹	500	1000	2000	3000	5000	6000	7000	9000	11000	13000	15000	20000
K ₁	0.40	0.50	0.60	0.75	1.0	1.15	1.3	1.7	1.8	1.5	1.0	0.6
行车道宽度/m			4.5	5.5		6.0		7.5		9.0		10.5
加固路肩时的 K ₂			2.2	1.5		1.35		1.0		0.8		0.7
未加固路肩时的 K ₂			4.0	2.75		2.5		1.5		1.0		0.9
路肩宽度/m			0.5	1		1.5		2		2.5		3
K ₃			3.2	1.7		1.4		1.2		1.1		1.0
纵坡/‰			20	30		50		70		80		
K ₄			1.0	1.25		2.50		2.8		3.0		
平曲线半径/m	50	100	150	200~300		400~600		600~1000		1000~2000		2000
K ₅	10	5.4	4.0	2.25		1.6		1.4		1.25		1.0
视距/m	50		100	150	200	250	350	400	500			
平面上的 K ₆	3.6		3.0	2.7	2.25	2.0	1.45	1.2	1.0			
纵断面上的 K ₆	5.0		4.0	3.4	2.5	2.4	2.0	1.4	1.0			
桥面与道路行车道 宽度的差别	窄 1m			相等			宽 1m			宽 2m		
K ₇	6.0			3.0			2.0			1.5		
直线段长度/km	3		5		10		15		20		25	
K ₈	1.0		1.1		1.4		1.6		1.9		2.0	
交叉口的类型	立体交叉	环形交叉	平面交叉、横穿道路的交通量占两条 道路总交通量的百分比									
			10 以下		10~20		20					
K ₉	0.35		0.70		1.5		3.0		4.0			
与次要道路平面交叉的主要 道路的交通量/辆·昼夜 ⁻¹			1600		1600~3500		3500~5000		5000			
K ₁₀			1.5		2		3		4			

从叉路上看平面叉路口的 视距/m		60	60~40	40~30	30~20	20 以下
K_{11}		1.0	1.1	1.65	2.5	10.0
行车部分的 车道数	2,无路面 划线	3,无路面 划线	3,有路面 划线	4,无分 隔带	4,有分 隔带	4,立交
K_{12}	1.0	1.5	0.9	0.8	0.65	0.35
路旁建筑至行车道 边缘的距离/m	15~20,有地方 行车道人行道		5~10, 有人行道	5 以下,没有 地方行车道	5 以下,没有人行 道与地方行车道	
K_{13}	2.5		5.0	7.5	10.0	
居民点的长度/km	0.5	1	2	3	5	6
K_{14}	1	1.2	1.7	2.2	2.7	3.0
临近居民点的直线路段长度/km		0.2 以下		0.2~0.6	0.6~1.0	
K_{15}		2.0		1.5	1.2	
路面的特性	光滑,被泥 土覆盖的	光滑的	干净,干燥	粗糙	很粗糙	
附着系数	0.2~0.3	0.4	0.6	0.7	0.75	
K_{16}	2.5	2.0	1.3	1.0	0.75	
分隔带宽度/m	1	2	3	5	10	15
K_{17}	2.5	2.0	1.5	1	0.5	0.4

注：对于有分隔带的道路，确定 K_1 时采用相应于一个方向的交通量。

在研究路段直线图的基础上，确定总计的事故率系数（见图 6-3）。在图上绘有缩小的道路平面图与纵断面图，并在其上标明了影响交通安全的所有组成部分（纵坡、竖曲线、平曲线、桥梁、居民点、相交的道路与人行小路等）。在专门栏内，描述或图示出实际的视距。平纵断面图的比例尺是根据地形与情况的复杂程度来选择的。

图中根据进行道路研究的道路组织或专门的勘测队提出的统计资料，记录着各个区间的平均交通量。在平纵断面图的下面，为每一个考虑的因素标出了专栏，在专栏中列出了事故率相对系数。事故率系数图的标准格式还没有制定，不同的设计部门根据路线所处条

件的复杂程度采用不同的图式。

在确定考虑平曲线半径影响的系数时，必须注意到沿曲线行车



的安全性取决于半径、路面横坡与横向附着系数总的影响。因此,应该从曲线的当量半径 R_s 出发,曲线的当量半径是允许以与所研究的曲线相同的车速通过的,但是具有超高的横坡等于直线路段上行车道的横坡的曲线半径

$$R_s = R_{KP} \frac{\varphi_{KP} \pm i_{KP}}{\varphi_{LP} + i_{LP}}$$

式中 R_{KP} ——被研究曲线的半径, m;

φ_{KP} ——被研究曲线的横向力系数,在这情况下采用等于路面横向附着系数;

i_{KP} ——被研究曲线的路面横坡,以小数表示;

φ_{LP} ——相毗连路段上路面的横向附着系数;

i_{LP} ——相毗连路段上路面横坡。

在绘制事故率系数图时,要把条件相同的路段分出来,按照每一个指标分析路线。同时,必须考虑到危险地点的影响会扩大到邻近的路段,使其行车状况发生变化。大纵坡路段,影响区域为靠近上坡坡顶 100m,下坡坡脚前 150m,对于平面交叉口与 $R=400m$ 能保证视距的平曲线,为两边各 50m,当平曲线的视距不能保证时为 100m。

每一路段的各个事故率系数相乘,计算出总计的事故率系数。

在确定不同路段的个别事故率系数值时,为了工作简化,它们的值不使用内插法,而只取上面所列的最接近的值。在编制电子计算机计算程序时,利用个别事故率系数与确定的影响因素的分析关系。这实际上不会影响路段危险性的评价结果。为了明显起见,在图的下部绘出总计的事故率系数图,图中的“顶峰”表征可能发生道路交通事故的最危险路段。

二、按安全系数图评价路线

平纵面上没有急剧转折的平顺路线以及允许汽车以相邻路段很小差别的高速行驶,这对行车是最安全的。因此,按照某一种汽车的行车速度图资料,绘制出相邻路段行车速度比值的安全系数图,

从行车舒适与安全观点出发，可能是评价路线平顺性与各种路线设计方案的方法之一。

采用一种最普及的、其行车速度可提高到接近于计算速度的小汽车作为计算的车辆。对于与路线设计有关的所有计算，都应合理地规定标准的“计算汽车”。在有专门用途的道路上，例如工业道路，应当有根据地选用计算汽车。

根据汽车理论公式建立行车速度图。同时，考虑到分析的目的与计算速度的方法，做如下的变化。

① 在每一路段上建立两个行车方向的行车速度图。只有在两个行车方向的道路行车条件明显不同的情况下，例如在山区道路长的上坡道上，允许只对可以产生最大速度的那个方向绘制速度图。

② 在斜坡上，行车速度从下坡的行驶条件出发，按工作发动机充分发挥牵引力的汽车动力特性计算而得。根据在给定面层类型的道路上，汽车的易驾驶性条件达到极限允许速度的瞬间，认为是速度下降的地点。可以有条件地认为，在这里驾驶员应把车速降低至车流在道路上的平均速度（60km/h）。

③ 在计算速度时不要考虑道路交通规章要求的局部车速限制（居民区、铁路交叉口与其他道路的交叉口、小半径曲线、道路标志影响区域等的车速限制）。这是考虑到有个别驾驶员可能不遵守纪律或经验不足之故。

④ 不考虑行车驶入小半径曲线、窄桥等处时为了平顺地改变速度所需的制动路段。在每一路段的最末端，确定可能达到的最大速度，而不考虑后面路段的行车条件。

⑤ 认为行车速度的增加，直至达到平面或纵横断面任何一个组成部分所保证的安全值为止。在下一步的计算中，可以认为汽车以被该组成部分所保证的速度驶入下一路段。

所有这些方法上的变化，是为了查明在路上对于安全最不利的行车状态。

根据两种标准来评价平曲线上行车的可能速度。

① 在光滑的路表面 ($\phi=0.3$) 情况下, 保证汽车抗滑稳定性的横向附着系数的极限值, 从而确定可能速度。

根据实际视距条件, 按道路设计理论公式计算确定平曲线上行驶的可能速度。考虑到路旁建筑房屋、树木长得茂盛起来或冬季沿路雪堆的堆积等的可能性, 可作视距矢量线到路基边缘。

② 在行车道宽度变窄的地点与窄桥处, 按计算行车道宽度的道路设计理论公式确定行车容许速度。

按照各路段的速度图, 计算出由道路各组成部分所保证的速度与汽车驶入该段时的速度的比值, 就可获得安全系数。

速度的差别越大, 安全系数越小, 则在所研究的路段上出现交通事故的可能性越大 (见图 6-4)。

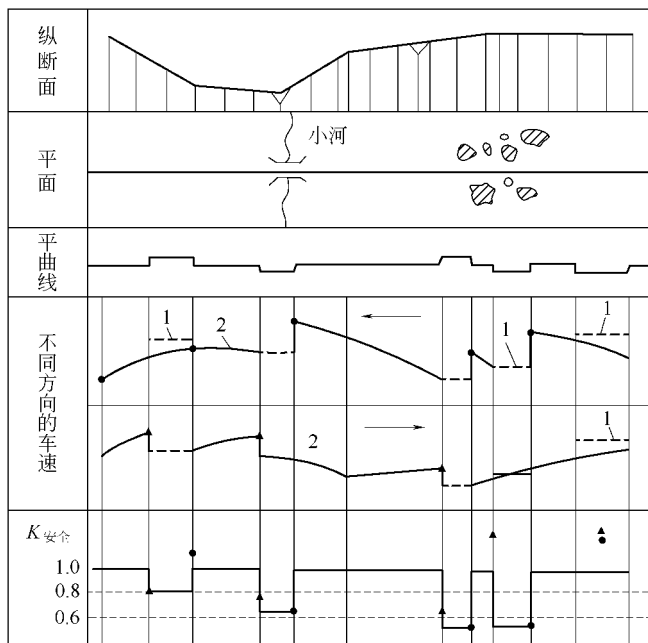


图 6-4 确定安全系数的示意

1—最危险路段的保证速度; 2—汽车在各路段上的行驶速度

在不同路段上道路交通事故的危险性，取决于按计算行车速度确定的安全系数，它可用下述的标准来评价。

安全路段	安全系数大于 0.8
稍有危险的路段	0.6~0.8
危险的路段	0.4~0.6
很危险的路段	<0.4

图 6-5 所示为根据大量行车速度的观测资料绘制而成的相邻路段行车速度关系图。

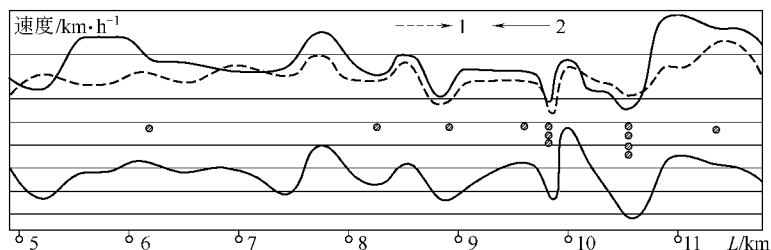


图 6-5 在相邻的路段上行车速度与安全系数变化图

1—上坡行驶；2—下坡行驶

注：○表示发生道路交通事故的地点。

道路事故集中的地点，相应于车速变化比较大的地点。可以假定，在车速没有下降的地点个别事故发生的原因与道路条件无关。

绘制行车速度、事故率系数与安全系数图所必需的资料，可按目前已有的计算机程序来计算。用事故率系数与安全系数来评价路线的方法，应当认为不是两种方法的竞争，而是两种方法互相补充。两种方法从不同的途径反映一个相同的思想——道路交通事故发生以前，常常出现驾驶员在单位时间里所获得的信息量与对他们最佳的信息数量存在偏差。

对安全系数起决定性作用的危险地点的车速降低程度，直接表征着驾驶员的神经紧张度。因此，计算公式中包含的参数越正确地反映行车条件——达到的加速度、实际的横向力系数等，则理论计

算速度就越切合实际。此外,若干汽车理论的假定,例如按照要求节气阀门全开的汽车动力特性来计算行车速度,这就是错误的根源;但是要提出考虑到这些情况的方法,目前还没有足够的实验资料作为根据。

以道路交通事故汇总资料为基础的事故率系数,考虑到指明的统计过程,并反映驾驶员在不同的道路条件中与不同的行驶情况下的过错。但是事故率系数没有考虑路段的相互位置关系以及上一路段对下一路段行车特点的影响,例如,对于小半径的平曲线没有考虑设置于其前的陡坡的影响。

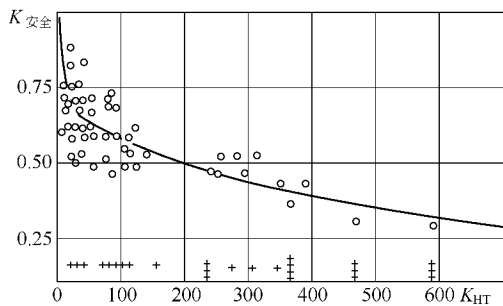
因此,今后在经验积累以前,还要平行地合理地利用这两种方法,虽然可能只有其中一种方法对这些路段的安全行车给出了不良的评价,但是设计中还是要寻找改善设计的可能性。

用这两种方法分析线形的结果,相互之间不会有很大的矛盾。在若干不同等级、不同气候区、不同地形条件的公路上,这些方法的检验表明,两种方法所查明的危险路段一般是相互符合的。道路特征、安全系数与事故率系数之间存在着相关关系(见图 6-6),在积累了确定这两个指标的经验以后,这种相关关系使可能从这两种方法中选择出最客观与最方便的一种来应用。从事事故率系数超出表征危险路段的 20 起,在这两个指标之间就有着明显的直线关系[见图 6-6(a)]。在 K_{HT} 值较小时,可以看到点子很分散,这是同按汽车动力特性计算车速时,没有充分考虑道路条件特点有关。

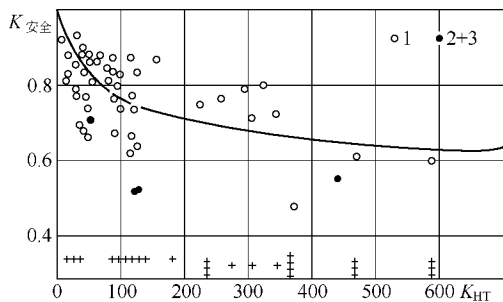
在图 6-6 的下方用假定的记号表明,在该事故率系数值情况下,在相同的年份内所相当的道路交通事故数。

图 6-6 可以提出根据安全系数来评价不同路段道路交通事故危险性的下列标准,安全系数是根据一种汽车的行车速度或者通过交通观测确定的 85% 保证率的车速决定的。

安全路段	>0.8
稍有危险的路段	$0.7 \sim 0.8$



(a) 按理论计算速度算出



(b) 按实测的速度算出

图 6-6 事故率系数与安全系数之间的关系

1—1 号公路；2—2 号公路；3—道路交通事故； $K_{\text{安全}}$ —安全系数

危险路段 $0.6 \sim 0.7$

很危险的路段 < 0.6

在按汽车行驶的计算速度确定安全系数时，应该利用这些标准，利用计算速度图与通过观测得到的速度图在评价标准值上的差异，可以这样来说明，车速大于统计众值的汽车，其安全系数相应地要比按平均速度计算的要低一些。

道路交通事故机理

事故是多层次、多方位的，众多因素在一定环境下相互依存、相互影响、相互作用，致使人、物等要素在一定时空发生冲突及抢救处置不良，导致人员的伤亡。

在交通安全系统中，开展事故机理的分析必须考虑到可能导致事故的人、车、道路、交通特性、交通环境和具体的交通管理等因素。

第一节 交通事故机理

在道路交通系统中，由于受到涉及驾驶员、汽车、道路环境因素以及三者的道路交通事件的影响，使道路交通系统行为发生变化，如果这种变化是因道路交通事变引起的，即表现为道路交通不安全状态，经特定时间-空间域内状况的转化则形成道路交通事故。

由此可知，道路交通事故致因生成模型如图 7-1 所示。从这一模型中可以识别道路交通系统安全化功能的实现途径和道路交通事故的生成过程。即道路交通系统安全化功能的实现途径为：道路交通事件引起道路交通系统发生正常变化，表现为道路交通安全状

态，这一状态一直持续在道路交通系统中即可实现道路交通系统的安全化功能；而道路交通事故的生成过程则为：道路交通事变使道路交通系统行为恶化，表现为道路不安全状态，这一状态在特定时间-空间域内持续后形成道路交通事故。

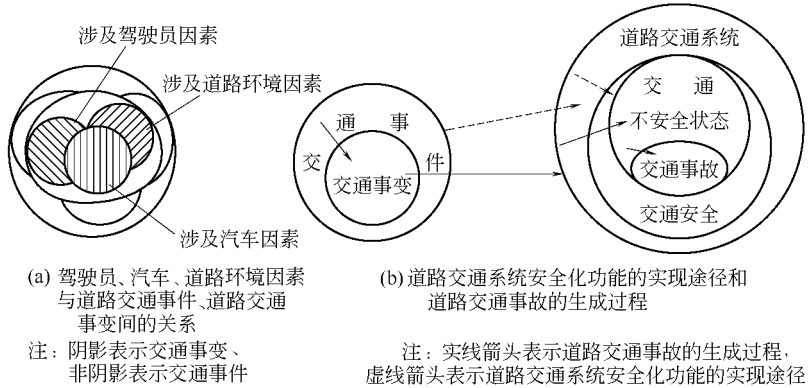


图 7-1 道路交通事故致因生成模型

事故机理指事故发生结构、形成方式和作用的逻辑关系及其规律。国外主要的关于事故机理的研究理论有流行病学理论、寿命单元改变论、人的失误论、多重事件连锁论、轨迹交叉论、能量交换理论和多米诺骨牌理论等。

一、多米诺骨牌理论

该理论认为系统中存在着社会环境和管理缺陷（ A_1 ），人的失误（ A_2 ），不安全行为或机械、物质危害（ A_3 ），意外事件（ A_4 ），伤亡（ A_5 ），5 个因素的连锁反应产生事故多米诺骨牌事故模型图如图 7-2 所示。

二、轨迹交叉论

轨迹交叉论则认为事故是由人的不安全行为与机械、物质的危害，在复杂的人机生产系统中，两系列的能量流在一定的时空发

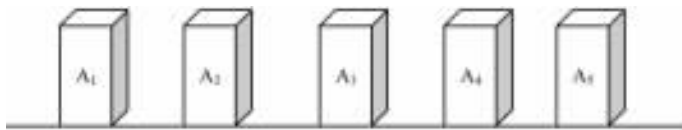


图 7-2 多米诺骨牌事故模型图

生轨迹交叉所造成的（见图 7-3）。

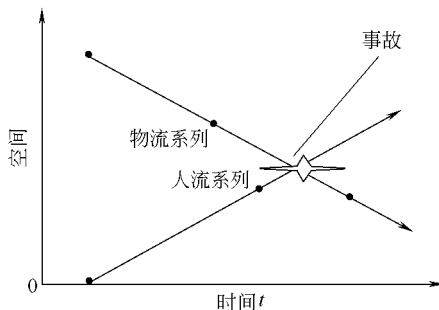


图 7-3 人机轨迹交叉事故模型图

轨迹交叉论认为，在事故发展进程中，人的因素的运动轨迹与物的因素的运动轨迹的交点就是事故发生的时间和空间。即人的不安全行为和物的不安全状态发生于同一时间、同一空间，或者说人的不安全行为与物的不安全状态相遇，则将在此时间、空间发生事故。

轨迹交叉论作为一种事故致因理论，强调人的因素、物的因素在事故致因中占有同样重要的地位。按照该理论，可以通过避免人与物两种因素运动轨迹交叉，即避免人的不安全行为和物的不安全状态同时、同地出现，来预防事故的发生。

根据轨迹交叉论的观点，消除人的不安全行为可以避免事故，消除物的不安全状态也可以避免事故。

为了有效地防止事故发生，必须同时采取措施消除人的不安全行为和物的不安全状态。

三、P 理论

本尼尔 (Benner) 认为, 事故过程包含着—组相继发生的事件。所谓事件是指生产活动中某种发生了的事物。一次瞬间的或重大情况变化, 一次已经避免了或已经导致了另一事件发生的偶然事件。因而, 可以把生产活动看做是一组自觉地或不自觉地指向某种预期的或不可预测结果的相继出现的事件, 它包含生产系统元素间的相互作用和变化着的外界的影响。这些相继事件组成的生产活动是在一种自动调节的动态平衡中进行的, 在事件的稳定运动中向预期的结果方向发展。

可以把事故看做是由相继事件过程中的扰动始, 以伤害或损坏止的过程。这种对事故的解释叫做 P 理论。

生产系统的外界影响是经常变化的, 可能偏离正常的或预期的情况。这里称外界影响的变化为扰动 (Perturbation), 扰动将作用于行为者。

四、能量意外释放论

能量意外释放论的出现是人们对伤亡事故发生的物理实质认识方面的一大飞跃。1961 年和 1966 年, 吉布森 (Gibson) 和哈登 (Hadden) 提出了一种新概念: 事故是一种不正常的或不希望的能量释放, 各种形式的能量构成伤害的直接原因。于是, 应该通过控制能量或控制作为能量达及人体媒介的能量载体来预防伤害事故。根据能量意外释放论, 可以利用各种屏蔽来防止意外的能量释放。

从能量意外释放论出发, 预防伤害事故就是防止能量或危险物质的意外释放, 防止人体与过量的能量或危险物质接触。我们把约束、限制能量, 防止人体与能量接触的措施叫做屏蔽。这是一种广义的屏蔽。

五、事故因果连锁

伤害事故的发生不是一个孤立的事件，尽管伤害可能发生在某个瞬间，却是一系列互为因果的原因事件相继发生的结果。

海因里希把工业伤害事故的发生、发展过程描述为具有一定因果关系的事件的连锁。

- ① 人员伤亡的发生是事故的结果。
- ② 事故的发生是由于人的不安全行为或物的不安全状态而造成的。
- ③ 人的不安全行为或物的不安全状态是由于人的缺点造成的。
- ④ 人的缺点是由于不良环境诱发的或者是由先天的遗传因素造成的。

按照事故因果连锁论，事故的发生、发展过程可以描述为：

基本原因→间接原因→直接原因→事故→伤害。

在事故原因的统计分析中，当前世界各国普遍采用因果连锁模型。该模型着重于伤亡事故的直接原因——人的不安全行为和物的不安全状态，以及其背后的深层原因——管理失误。

六、事故致因综合分析方法

通过对事故的产生诱因的统计分析和产生机理的研究，这里提出事故致因综合分析方法，综合事故模型图如图 7-4 所示。

上述模型揭示了事故的本质和事故的结构，说明了事故产生、发展和形成方式与形成阶段过程以及事故处置对事故后果的作用；提出了事故预防的途径，指出了如何去破坏事故结构和人物两大系列连锁反应与接触方式，来实现控制事故发生和减少事故损失的方法；明确事故调查处理程序，对指导事故分析、查找影响事故发生的直接和间接原因、判断事故主次原因、确定事故责任和责任者均将发挥其重要作用，同时该模型的提出将为事故管理、制定各种分析和统计标准打下了理论基础。

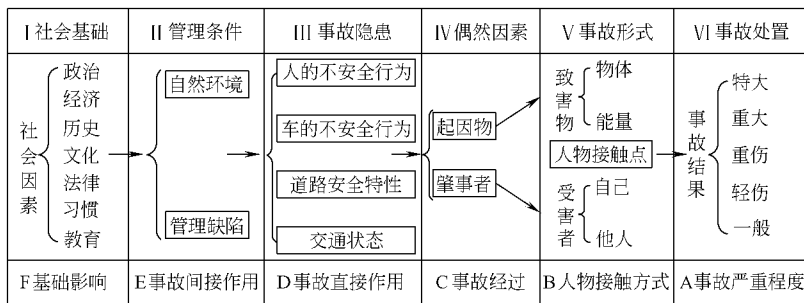


图 7-4 综合事故模型图

七、系统方法

大约在 30 年前，美国人小 William Haddon 将道路交通描述为一个设计得不好的“人造机器”系统，需要对它全面系统地进行“治疗”。他提出了著名的“哈顿矩阵模型”（Haddon 模型），阐明了在车祸发生碰撞前、碰撞时和碰撞后的三个阶段中互相作用的三个因素：人、车和环。该九格矩阵构成了系统动力学模型，矩阵中每一个格都有机会采取干预以减少道路交通伤害的发生（见图 7-5）。Haddon 模型极大地加深了人们对行为因素、道路因素和车辆因素的认识，正是这些因素影响着道路交通事故的人员伤亡数量和严重程度。

根据 Haddon 的观点，“系统”的方法就是寻找和纠正能引起致死性或严重交通伤害的主要原因或设计上的缺点，并通过下列方法来减轻伤害的严重程度和后果。

- ① 减少暴露于危险因素的机会。
- ② 预防交通事故的发生。
- ③ 减轻在事故中伤害的严重程度。
- ④ 通过改进碰撞后的救治来减轻伤害的后果。

一些高度机动化国家的经验表明，这种道路安全综合措施方法明显减少了道路交通伤害的死亡和重度损伤。然而该系统方法应用

的可操作性对道路安全的决策者和专业人员来说是一个重大的挑战。

		因素		
阶段		人员	车辆和设备	环境
碰撞前	防止碰撞	信息	车辆性能	道路设计和道路布局
		态度	照明	速度限制
		损伤	制动	行人装备
		交警执法力度	操控	
碰撞时	在碰撞时防止受伤		速度管理	
		固定装置的使用	乘员固定系统	道路两侧防碰撞物体
		损伤	其他安全装置	
			防碰撞设计	
碰撞后	生命支持	急救技术	容易进入车内	救援设施
		获得医疗救助	起火的危险	交通阻塞

图 7-5 哈顿矩阵模型

关于事故机理的理论还有人体节律论、动机论、人机工程理论等，上述研究理论从各个不同的层面研究人、物、环境、管理等是如何作用从而导致事故发生的。

第二节 事故频发倾向理论

现在，越来越多的人认识到一起工业事故之所以能够发生，除了人的不安全行为之外，一定存在着某种不安全条件。斯奇巴（Skiba）指出，生产操作人员与机械设备两种因素都对事故的发生有影响，并且机械设备的危险状态对事故的发生作用更大些。

一、事故倾向性

所谓事故倾向性（Accident Proneness），即由统计调查得知，在相同危险程度条件下连续工作的一群人中，事故总集中地发生在

少数人身上的这一现象，事故倾向者具有对事故亲和性的个人特性。

事故趋势这个术语是格林沃德和伍德在研究军需品工厂女工事故分布时，用来描述一些女工多次发生事故而另一些女工却没有发生事故现象的统计术语。例如，98 名女工的工作环境和危险都是相同的，在一定时期内，共发生 136 起事故，若按随机假设，24 名女工不发生事故，1 名女工发生 4 次以上事故。实际上，有 43 名女工未发生事故，却有 5 名女工发生 4 次以上事故。显然，少数女工具有较高的事故率，这些多次发生事故的人即是事故多发者。因此，根据这一事实提出的事故趋势理论是建立在如下假设之上：事故总是由少数人造成的，如果可以识别出这些事故多发者，那么，就可以采取一些措施以减少事故次数。在美国，一项调查结果表明，6 年中发生的 30000 起交通事故，其中 3.9% 的驾驶员是 36.4% 的事故肇事者，在日本，一家出租汽车公司中 25% 的驾驶员发生的交通事故占 50%，而未发生过事故者仅占 14%（两年时间内）。

事故趋势理论看来是很吸引人的，由于它的理论原理简单，而且对减少交通事故具有一定的潜在作用，所以流行了许多年。但在实际中，我们很难证明交通事故与事故趋势有关，因为每个驾驶员的工作环境不同，有的是大型车辆驾驶员，有的是小型汽车驾驶员；有的在市内驾驶，有的在乡村行驶；有的是长途，有的是短途，甚至几公里，驾驶员的这些差异就给事故趋势理论涂上一层阴影。而事故趋势理论在讨论交通事故时完全忽视了驾驶员变化的这一事实。虽然可以发现一定时期内少数人发生了大量交通事故，但在另一时期，这些事故多发者不一定仍然是事故多发者。在对前述 30000 起交通事故作进一步分析表明，若将 6 年分为前后 3 年时间，那么，两个时期的事故并不是由相同的事故多发者造成的，那些前 3 年的安全驾驶员（未发生交通事故）却可能是后 3 年中 96% 事故的肇事者，而按事故趋势理论，那些前 3 年的事故多发者

应当是后 3 年的事故多发者，可事实上并非如此！

在美国进行过这么一项研究，即将 3 年中经常发生交通事故的驾驶员调离，比较调离前后同期的情况，驾驶员调离后 3 年的交通事故比前 3 年的交通事故少一半以上。由此可见，事故多发者并非出于偶然。如果过去一定时期内发生的事故多，则将来重复发生事故的可能性也越大。事故趋势理论认为，只需对大量的事故多发者进行测量，就可发现他们的共同个性特征，然后把这些特征作为预测手段，有许多证据表明，驾驶员某些特征对交通事故的发生确有影响，例如，年龄特征 30 岁以下的驾驶员具有冒险趋势，而 30 岁以上驾驶员重视交通安全，在几项研究中，已确定影响交通事故的事故多发者特征是：具有攻击行为趋向、无责任感、社会适应不良等。事故多发者与无事故驾驶员的性格特征和心理状况的比较见表 7-1。

根据事故频发倾向理论，防止事故的重要措施是人员选择 (Screen)。但是许多研究表明，把事故发生次数多的工人调离后，企业的事故发生率并没有降低。例如，韦勒 (Waller) 对司机的调查，伯纳基 (Bernacki) 对铁路调车员的调查，都证实了调离或解雇发生事故多的工人，并没有减少伤亡事故发生率。

二、证明事故倾向性存在的方法

关于事故倾向性是否确实存在，这里介绍三种主要证明方法。

1. 百分比法

美国学者德希鲁巴，从康乃狄格州 29531 名驾驶员在 6 年间的事故分布情况 (见表 7-2) 得知，全部事故的 36.4% 是由 3.9% 的驾驶员发生的。之后另一学者卢赵努的调查发现 5% 的驾驶员发生的事故占到了全体事故的 47%。

日本学者对日本某出租汽车公司在同样条件下具有相同驾驶经历的 58 名驾驶员，在两年工作时间内发生事故的情况进行了统计分析，发现发生 4 次以上事故的驾驶员只占人数的 19%，而事故

表 7-1 事故多发者与无事故驾驶员的性格特征和心理状况的比较

项 目		事故多发者	无事故驾驶员
性 格 特 征	协调性、自查力	少	有
	自我中心性	强	少
	攻击性、活动性	大	小
	作业量	少	多
	动摇性	大	小
心 理 特 征	知识水平	低	高
	待人关系	很少关心他人、亲密度少	关心别人、亲密度多
	不满情绪	强(突然产生)	少
	情绪受刺激	不安定	安定
	情绪	兴奋性强	正常
	感受性	过敏	正常
	理解外界现象	主观、片面	客观、全面
	适应性	异常	正常
	安全态度	冒险	安全为主
	安全教育观	轻视	重视、积极
	交通法规观	轻视	重视
	对事故的责任性	缺乏	强

表 7-2 德希鲁巴的事故数与人数分布

事故次数/次	驾驶员构成比/%	事故构成比/%
0	80.9	0.0
1	15.2	63.6
2	3.21	26.41
3	0.5	6.8
4	0.2	3.2
全 体	100.0	100.0

数却占到总事故数的 47%（见表 7-3）。

表 7-3 日本某出租汽车公司两年内驾驶员事故情况

发生事故次数	驾驶员数		事故数		每人平均发生事故数
	人数	构成比/%	次数	构成比/%	
0	17	29.3	0	0	0
1	13	22.4	13	11.9	1.00
2~3	17	29.3	44	40.4	2.59
4~5	8	13.8	33	30.3	4.13
6~7	3	5.2	19	17.4	6.34
合计	58	100.0	109	100.0	1.88

以上事实，说明了少数特定的人反复发生事故或者说这些人容易发生事故。

但这个百分比法尚存在一些缺陷，例如没有比较事故驾驶员与无事故驾驶员的总行驶里程，这在“可比性原理”中还是欠缺的。所以仅用百分比法还不足以完全说明问题。

2. 机会分布与事故分布的比较法

格林沃德和伍兹等学者从事发生的分布、统计性、组织性方面进行了验证。

他们提出了 3 个假说，根据假说设定理论分布，然后调查实际的事故分布与哪个最为吻合，以此来验证哪个假说是正确的。

这里先介绍他们的 3 个假说。

(1) 随机分布假说（Simple Chance Distribution，略称 C. D）

该假说认为所有驾驶员什么样的事故倾向性也没有，一个群体中的事故全然是由单纯机会产生在个人身上的。

(2) 偏倚分布（Biased Distribution，略称 B. D）

该假设认为某群体的成员，最初的故事易发生度是相同的，但如果某驾驶员（或某些驾驶员）一旦发生事故后，将来容易发生事故的机会就变大了。如同得过一次结核病后，抵抗力变弱，以后就容易生病一样。

(3) 非均等分布 (Distribution of Unequal Liability 略称 U. D)

即各人不是从相同的状态出发, 某些人易发生事故的程度大, 另一些人易发生事故的程度小, 即事故倾向性因人而异。

将这 3 个假说与实际事故分布比较发现, 实际事故分布与随机分布 C. D 有很大的差别, 而与偏倚分布 B. D 和非均等分布 U. D 却很类似。

从对许多样本的调查结果得出其事故分布类似非均等分布这一事实, 证明了事故是各人从最初所具有的若干特质的不同而产生的倾向不同。

3. 连续两个时期的事故数比较法

这个方法是, 首先取得某个时期的事故记录, 然后将其分为前、后两期, 将前期的事故数与后期的事故数进行比较。结果发现, 前期发生事故较多的人后期事故也较多。所以事故并不是完全偶然发生的事件, 而是偏倚某些特定的人而发生的, 且前期与后期事故相关系数达到 $0.37 \sim 0.72$ 。

日本九州大学三隅教授从九州公交公司所得的前后两期的事故比较见表 7-4。可以看出, 前期 3 年中事故发生多的驾驶员, 平均在后期 3 年中的事故也发生的多。

与此同时, 研究者们还以某年 2 月份的事故状态为基础, 调查

表 7-4 前后两期的事故比较

1958~1960 年事故不同次数群体(人数)	1958~1960 年 3 年间 的事故总件数	1961~1963 年 3 年间 的事故总件数	后 3 年间的人均事故数
无事故群 272	0	146	0.54
1 次事故群 139	139	120	0.86
2 次事故群 54	108	53	0.98
3 次事故群 25	75	33	0.32
4 次事故群 9	39	15	1.67
合计 499	361	367	—

了 2 月份发生事故与未发生事故的人在以后各月的事故数（见表 7-5）。明显可以看出两种之差异，即 2 月份发生事故的人，之后也容易发生事故。

由以上所述可知，除百分比法之外，机会分布与事故分布比较法、两时期事故数比较法都明确指出了任何人都不是偶然遵从机会法则，可以设想有若干因素隐藏在个人的特性之中。

表 7-5 2 月份事故者和无事故者在以后各月平均发生的事故数

月份	2 月份发生事故者 62 人 发生的事故数	2 月份未发生事故者 136 人 发生的事故数	差与误差
2 月	1. 31	—	—
3 月	0. 65	0. 06	0. 59±0. 04
4 月	0. 45	0. 30	0. 15±0. 07
5 月	0. 21	0. 10	0. 11±0. 04
6 月	0. 40	0. 26	0. 14±0. 07
7 月	0. 03	0. 01	0. 02±0. 02
全体	0. 41	0. 15	0. 26±0. 06

当然也不能绝对化，事故的发生也受到年龄、家庭生活条件、在工作单位的立场、地位、岗位教育等影响，因此将个人固有的特质看成事故发生的绝对条件，也难免有些草率。

事实上，反复出现事故的人，从某个时期后不再发生事故的例子也是有的。因之将事故发生的潜在要因归之于个人特质，给某人贴上事故倾向的标签，而且认为那人一生都有事故倾向性的考虑方法，也是欠妥的。

但重要的是，明确地找出什么是那个人容易发生事故的要因，然后消除这些要因，或者通过教育与训练加以矫正，从而使其发生事故的可能性降低下来，起到事故预防作用。特别是贯穿某个时期比他人事故多发的人，因为在下一个时期有比别人容易发生更多事故的可能，所以特别对这些人要进行彻底的教育和指导，这样做可能实际效果会更好。

三、事故趋势理论的数学基础

为了定义事故趋势,需要假设:某驾驶员在一定时间内发生的实际交通事故数是由于随机原则和发生事故的固有趋向所确定的。按照随机原则,驾驶员发生交通事故的概率服从泊松分布,如果有 N 个驾驶员,各驾驶 M 公里,那么,每行驶一定公里发生一起交通事故的概率为 P ,驾驶员发生 r 起交通事故的人数为 $Ne^{-m}m^r/r!$,这里的 $m=Mp$ 。按照事故趋势理论,各起交通事故的发生不影响以后事故的发生。假定 M 很大, N 也很大,而 P 很小,我们就可以说,一个驾驶员发生 r 起交通事故的概率为 $e^{-m}m^r/r!$ 。

假定一个驾驶员在一定时期(如一年)发生的交通事故率为 λ ,就可建立一个简单的数学模型,驾驶员发生 r 起事故的概率为 $e^{-\lambda}\lambda^r/r!$ 。

交通事故率为 $(\lambda, \lambda+d\lambda)$ 范围的驾驶员比例为 $f(\lambda)d\lambda$,他们发生 r 起事故的概率为

$$\frac{1}{r!} \int_0^{\infty} e^{-\lambda} \lambda^r f(\lambda) d\lambda$$

在不同时期内,外部条件(如交通、气候等)也可能不同,假定其影响为乘上等量的期望率 a ,那么,发生 r 起事故的概率为

$$P_r = \frac{a^r}{r!} \int_0^{\infty} e^{-\lambda a} \lambda^r f(\lambda) d\lambda \quad (7-1)$$

事故平均数为

$$\bar{r} = \sum_0^{\infty} r P_r$$

由下式求出

$$\bar{r} = a \bar{\lambda} \quad (7-2)$$

这里的 $\bar{\lambda} = \int_0^{\infty} \lambda f(\lambda) d\lambda$ 是期望率 λ 的分布平均数,事故平均数的方差为

$$\delta_r^2 = a \bar{\lambda} + a^2 \delta \lambda^2 \quad (7-3)$$

这里的 δ_r^2 是比率的方差，这一方程式表达这样的事实：当期望率相等时，事故数的方差等于这个时期的事故期望数，作为式 (7-2) 和式 (7-3) 的推论，可写为

$$\delta_r^2 / \bar{r} = 1 + v^2 \bar{r} \quad (7-4)$$

式中， $v = \delta\lambda / \bar{\lambda}$ 为事故率方差的系数，表示驾驶员事故率的扩张程度。

对式 (7-4) 的一种解释认为，如果除以 $\bar{r}$ 可使 δ_r^2 增大，应当看做事故数的方差趋于事故率增加而增大。即在较长时期内可消除偶然影响。

在式 (7-4) 的基础上还可建立一些数学模型，早期的研究假定分布 $f(\lambda)$ 的形式为皮尔逊 III 型分布。

$$f(\lambda) = \frac{(k/\lambda)^k \lambda^{k-1} e^{-k\lambda/\bar{\lambda}}}{(k-1)!} \quad (7-5)$$

除平均数 $\bar{\lambda}$ 之外，这个分布受参数 k 影响，事实上，方差系数为

$$v = 1/\sqrt{k} \quad (7-6)$$

如果考虑一般情况，在一定时期的事故期望数为

$$m = a \bar{\lambda} \quad (7-7)$$

用分布式 (7-5) 替代方程式 (7-1)，这个时期发生 r 起事故的概率为

$$P_r = \frac{(k+r-1)!}{r!(k-1)!} \times \left(\frac{k}{m+k}\right)^k \times \left(\frac{m}{m+k}\right)^r \quad (7-8)$$

这是一个负二项式分布。

例 某一年有 121000 辆汽车发生交通事故，而该年注册的汽车有 4.19×10^6 辆。每年的平均交通事故率为 $0.121 \div 4.19 = 0.03$ ，假定驾驶员发生的事故率为总事故率的常量分子，从理论上讲，可采用负二项式分布（如 $k=1.2$ ），平均数 m 调整为 0.03，计算 1 年、2 年、5 年和 10 年的分布情况，分别用 $m=0.03$ 、0.06、0.15 和 0.30，不同时期驾驶员发生不同事故次数的驾驶员

期望人数见表 7-6，在 5 年中，132000 名驾驶员发生 150000 起交通事故，仍有 868000 名驾驶员未发生过交通事故。

表 7-6 不同时期驾驶员发生不同事故次数的驾驶员期望人数

时期(年) 事故期望数	事故数 5	发生 5 起事故以上的 驾驶员数×10 ⁶	事故占总数的 百分比/%
1 (0.03)	0	1000000	
	1	29200	100
	2	783	5.3
	3	20	0.21
	4	1	0.007
2 (0.06)	0	1000000	
	1	56900	100
	2	2970	10
	3	151	0.77
	4	8	0.052
	5	1	0.003
5 (0.15)	0	1000000	
	1	132000	100
	2	16000	23
	3	1900	4.0
	4	220	0.61
	5	26	0.087
	6	3	0.012
10 (0.30)	0	1000000	
	1	235000	100
	2	51300	39
	3	10900	12
	4	2280	3.2
	5	474	0.83
	6	98	0.20
	7	20	0.049
	8	4	0.011
	9	1	0.003

进一步地讲，还可以讨论连续时期的事故率之间的关系。如果第一个时期发生 s 起交通事故的驾驶员排除之后，发生交通事故的概率为

$$f(\lambda s) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^s f(\lambda)}{\int_0^{\infty} e^{-\lambda} \lambda^s f(\lambda) d\lambda}$$

第二个时期发生 r 起交通事故的概率为

$$P(rs) = \frac{a^r \int_0^{\infty} \lambda^{r+s} e^{-\lambda(1+a)} f(\lambda) d\lambda}{r! \int_0^{\infty} \lambda^s e^{-\lambda} f(\lambda) d\lambda}$$

替换Ⅲ型分布为

$$P(rs) = \frac{(r+k+s-1)!}{r!(k+s-1)!} \times \left[\frac{\bar{\lambda} + k}{\bar{\lambda}(1+a) + k} \right]^{k+s} \times \left[\frac{a\bar{\lambda}}{\bar{\lambda}(1+a) + k} \right]^r$$

这是一个与式 (7-8) 类似的负二项式分布。不过 k 被 $k+s$ 所替代， m/k 被 $a\bar{\lambda}/(\bar{\lambda} + k)$ 所替代。

期望率 r 为

$$\frac{a\bar{\lambda}(k+s)}{\bar{\lambda} + k}$$

方差为

$$\frac{(k+s)a\bar{\lambda}[\bar{\lambda}(1+a) + k]}{(\bar{\lambda} + k)^2}$$

事故鉴定分析技术

事故鉴定的目的主要是向交通管理部门、司法界的法官及律师说明进行科学解释的程序。大部分的汽车事故表现为碰撞事故，碰撞的后果几乎是人力无法左右的纯物理现象，因此，鉴定具有高度的客观性。

碰撞的后果是造成车辆损坏、乘员受伤、路面痕迹等。所谓科学鉴定，就是根据这一事故后果，对照自然规律、汽车运动特性、结构特点、人体工程学等准确地再现碰撞现象，然后追溯、推定构成碰撞“原因”的“碰撞发生前的车辆运动与乘员动作”。

第一节 碰撞简述

一、碰撞类型

汽车碰撞类型可分成：向心正碰撞、向心斜碰撞、偏心正碰撞、偏心斜碰撞等，因碰撞类型（见图 8-1）的不同，大致确定了碰撞后两车引起的运动类型。在开展事故鉴定分析时必须考虑肇事车相对于被撞车的相对碰撞速度。

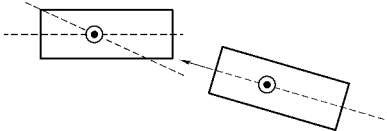
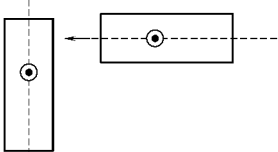
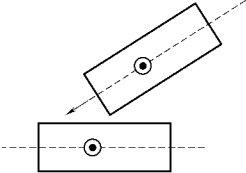
碰撞类型	模 型
向心正碰撞	
向心斜碰撞	
偏心正碰撞	
偏心斜碰撞	

图 8-1 碰撞类型

注：●为重心

1. 向心正碰撞

重心对重心的碰撞为向心碰撞，相对碰撞速度的方向与碰撞面呈直角的碰撞为正碰撞。追尾正碰撞或正面碰撞为向心正碰撞。由于碰撞面未引起侧滑，所以不产生摩擦力。

2. 向心斜碰撞

虽然是重心对重心的碰撞，但是碰撞速度未与碰撞面呈直角，而是斜向碰撞的称为向心斜碰撞。由于碰撞面引起了侧滑，所以会产生摩擦力。

3. 偏心正碰撞

重心与重心偏斜的碰撞，且由于与碰撞面呈直角，所以不产生摩擦力。

4. 偏心斜碰撞

重心与重心偏斜的碰撞，且未与碰撞面呈直角，所以会产生摩擦力。

向心斜碰撞、偏心正碰撞、偏心斜碰撞等，前后的运动难以用一条直线上的运动解释清楚。这些碰撞类型是 X 轴方向和与此呈直角的 Y 轴方向上的直线运动及右转或左转运动重合在一起的运动，即二维运动。

二、碰撞的基本原理

1. 碰撞是一种动量交换现象

如图 8-2 所示，当质量为 m_1 的 A 车以 v_{10} 速度追尾撞在质量为 m_2 、速度为 v_{20} 的 B 车上时，在碰撞前后的两车速度之间存在动量守恒定律。

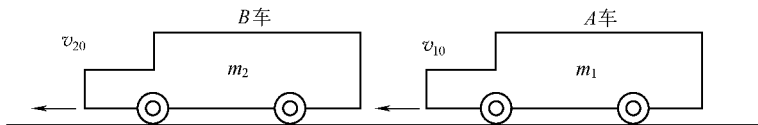


图 8-2 追尾碰撞中的能量守恒

设碰撞后 A 车的速度为 v_1 ， B 车的速度为 v_2 ，那么

$$m_1 v_{10} + m_2 v_{20} = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

在碰撞前后，动量的总量不变。

2. 碰撞是一种反弹现象

汽车作为碰撞物体是一种部分弹性碰撞物体。即使塑性变形较强，也会有反弹。

根据动量守恒定律公式 $m_1 v_{10} + m_2 v_{20} = m_1 v_1 + m_2 v_2$

反弹系数公式为

$$e = \frac{v_2 - v_1}{v_{10} - v_{20}}$$

可以导出碰撞后速度的公式为

$$v_1 = v_{10} - \frac{v_{10} - v_{20}}{1 + \frac{m_1}{m_2}}(1 + e) = v_{10} - v_{1e}(1 + e)$$

$$v_2 = v_{20} - \frac{v_{10} - v_{20}}{1 + \frac{m_2}{m_1}}(1 + e) = v_{20} + v_{2e}(1 + e)$$

式中 v_{1e} ——A 车（肇事车）的有效碰撞速度；

v_{2e} ——B 车（被撞车）的有效碰撞速度。

3. 碰撞是一种消耗部分动能的现象

碰撞前两车的动能合计 = 碰撞后两车的动能合计 + 塑性变形功
碰撞损失的动能（塑性变形功）为

$$E_c = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)}(1 - e^2)(v_{10} - v_{20})^2$$

4. 碰撞时所作用的力为挤压力或挤压力加上摩擦力

如图 8-3 所示，当 A 车以直角向心侧碰撞的方式撞在停止的 B 车上时；或与图 8-3（b）那样，撞在行驶的 B 车上时，力的作用状况有哪些不同呢？

在图 8-3（a）所处场合，由于碰撞面未引起侧滑，所以产生的力只有一个与 A 车向上挤压 B 车右侧面的挤压力 F_v 及相反的反力 F'_v 。

在图 8-3（b）所处场合，碰撞面不仅作用有挤压力 F_v ，而且还同时作用有一个对 A 车来说向右拖拉、对 B 车来说向后拖拉的摩擦力 F_R 。

根据库仑定律

$$\text{摩擦力}(F_R) = \text{摩擦系数}(\mu_R) \times \text{垂直力}(F_v)$$

式中 μ_R ——车身间的摩擦因数。

结果，两车上的 F_v 与 F_R 的合力 F_A 及 F_B 如图 8-3 所示，并

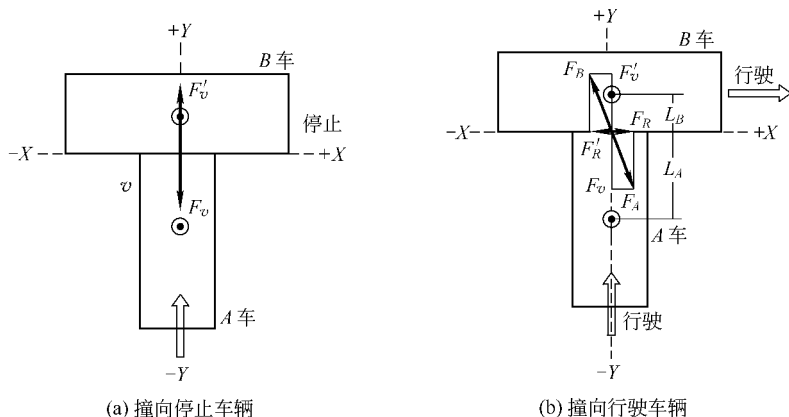


图 8-3 作用于碰撞车辆上的力

有下式成立

$$\sqrt{F_v^2 + F_R^2} = F_v \sqrt{1 + \mu_R^2}$$

则如图 8-3 所示, F_A 相对 A 车向后稍靠右作用, F_B 相对于 B 车则向左稍靠后作用。另外, 右转的扭矩 $F_R L_A$ 作用在 A 车上, 左转的扭矩 $F_R L_B$ 则作用在 B 车上。

5. 挤压力作用在相对碰撞速度的方向上

在诉讼时曾发生过如下的争论: 原告主张该碰撞是如图 8-4 (a) 所示而引起的。

原告方的说明如下。

碰撞后该出租车在未偏离方向的情况下继续行驶。但是客货两用车却引起了右旋转运动, 且向左侧斜翻车。

碰撞的冲击力 F 作用在客货两用车的行进方向上。

但是, 由于这一冲击力 F 只撞在出租车的重心 CG 上, 所以欲使其旋转的扭矩并未作用在出租车上。因此, 出租车不会偏离方向。而客货两用车在距重心 CG 为 b 的距离处承受一个冲击的反(作用)力 F' , 故 $F'b$ 的扭矩右转作用在重心上。因此, 客货两用

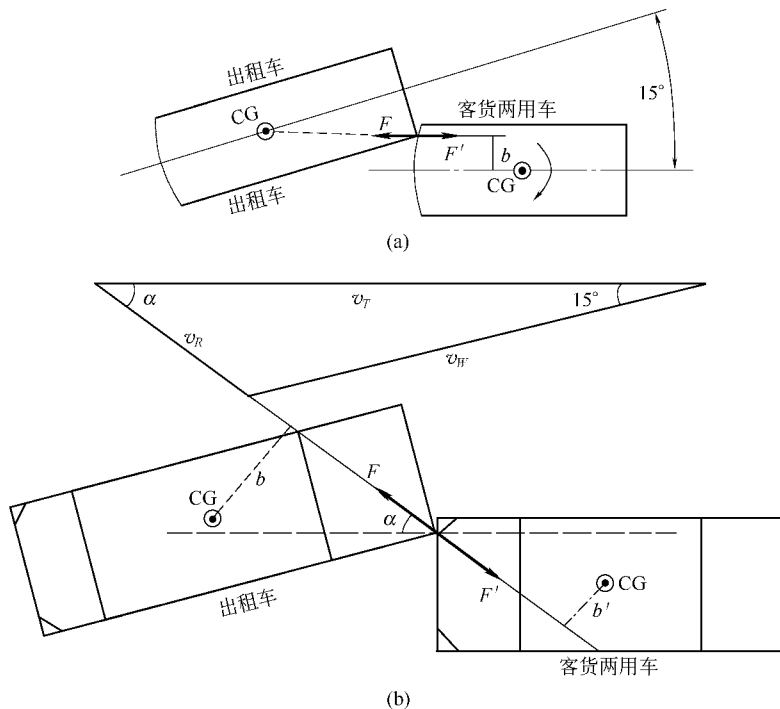


图 8-4 冲击力的方向

车才引起右旋转运动，且最终因产生的离心力向左倾斜、造成翻车。

但是，这一理由根本不成立 [见图 8-4 (b)]。

原告还说明了此次碰撞事故的碰撞角为 15° 、出租车的速度为 v_T 、客货两用车的速度为 v_W 。根据 v_T 和 v_W ，可以用几何学原理导出此次碰撞的相对碰撞速度是 v_R （向量差为几何学差）。

对客货两用车主体来说，相对地与出租车从右前方、方向角为 α 的方向逐渐接近、撞过来的情况是一样的。所以，如果该碰撞模型是真实的话，那么应有一左转的扭矩 $F'b'$ ，并作用在客货两用车的重心 CG 上，因此，既不会引起左旋转运动，也不会引起右旋转

运动。同样，出租车上作用有一个左转的扭矩 Fb ，会被迫向左转。原告主张的矛盾之处在于背离了“向量差为几何学差”和“无论向量是乘以标量还是除以标量，其结果仍是向量，其方向不会改变”这两个物理原理。

偏心碰撞不仅要进行动量交换，而且还会促使动能转换为角动能偏心碰撞的特点如下。

① 偏心量越大，传递给被撞车的动量越小。

② 偏心量越大，在传递的动量之中转换为角动量的比率也越高。

这里用图 8-5 所示的偏心正碰撞来说明。

A 车（肇事车）碰撞后的速度 v_{AY} 为

$$v_{AY} = \frac{m_A(S_B^2 + k_B^2) - eI_B}{I_B + m_A(S_B^2 + k_B^2)}v_A$$

当 $S_B = 0$ （向心碰撞）时，有

$$v_{AY} = \frac{m_A k_B^2 - eI_B}{I_B + m_A k_B^2}v_A$$

在剧烈碰撞时，有

$$e \approx 0$$

$$\text{故 } v_A = \frac{m_A}{m_B + m_A}v_A$$

当 $S_B = \infty$ （无限大）时，有

$v_{AY} = v_A$ （传递给 B 车的动量为零）

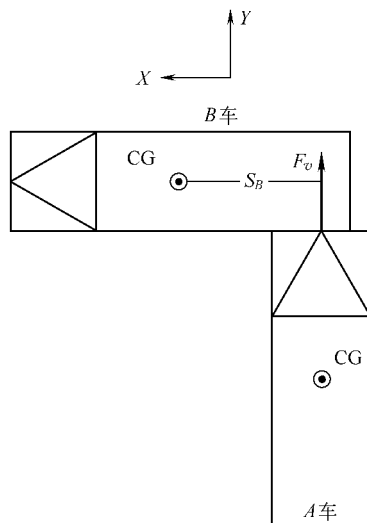


图 8-5 偏心正碰撞

注：CG 为重心

被撞车重心与载荷作用点间的距离如图 8-6 所示, $S_B=0$ 时, 碰撞后残留在 A 车上的动量最小, $S_B=\infty$ 时则最大。相反, B 车所吸纳的动量在 $S_B=0$ 时最大, 在 $S_B=\infty$ 时最小 (为零)。

那么, 在 B 车的重心位置产生的 Y 轴 (坐标) 方向的速度 v_{BY} 为

$$v_{BY} = \frac{m_A^2 k_B (1+e)}{I_B + m_A (S_B^2 + k_B^2)} v_A$$

B 车的重心旋转的角速度 α 为

$$\alpha = \frac{m_A (1+e)}{I_B + m_A (S_B^2 + k_B^2)} S_B v_A$$

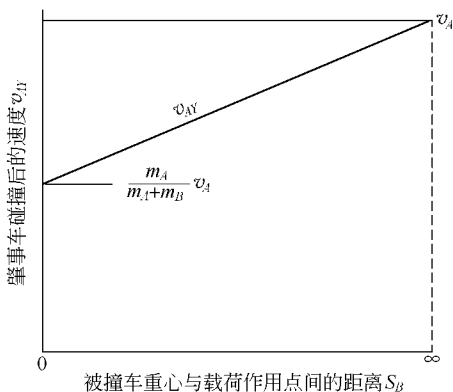


图 8-6 被撞车重心与载荷作用点间的距离

B 车的角动能 $\frac{1}{2} I_B \alpha^2$

与 B 车所收纳的总动能

$\frac{1}{2} I_B \alpha^2 + \frac{1}{2} m_B v_{BY}^2$ 之比为

$$\frac{1}{1 + \left(\frac{k_B}{S_B} \right)^2}$$

$$I_B = m_{BF} R_F^2 + m_{BR} R_R^2$$

$$k_B = \sqrt{\frac{I_B}{m_B}}$$

即 $S_B=0$ 时为零, $S_B=\infty$ 时为 1 (全部)。

式中 v_A ——A 车的碰撞速度, m/s;

m_A ——A 车的质量, kg;

m_B ——B 车的质量, kg;

I_B ——B 车的惯性矩, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$;

m_{BF} ——B 车的前轴质量, kg;

m_{BR} ——B 车的后轴质量, kg;

R_F —— B 车的重心与前轴间距离, m;
 R_R —— B 车的重心与后轴间距离, m;
 S_B —— B 车的重心与载荷作用点间距离, m;
 k_B —— B 车的惯性半径, m。

第二节 碰撞分析

一、偏心正碰撞

当 A 车如图 8-7 (a) 所示撞在静止的 B 车重心 CG 的后侧上时, B 车会被冲击力 F_v 推向 Y 轴方向, 同时还会被左转的扭矩 $F_v S_B$ 强行做左转的运动。 A 车则被 F_v 的反作用力在 Y 轴方向上减速。

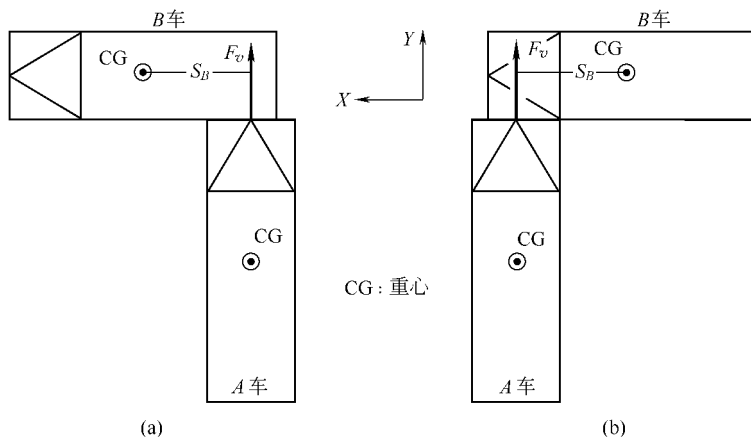


图 8-7 偏心碰撞的效果

另外, 当 A 车如图 8-7 (b) 所示撞在静止的 B 车重心 CG 的前侧上时, B 车会被冲击力 F_v 推向 Y 轴方向, 同时还会被右转的

扭矩 $F_v S_B$ 强行做右转的运动。A 车则被 F_v 的反作用力在 Y 轴方向上减速。

从重心到载荷作用点的距离 S_B 越长，分配到 B 车的动能越少，同时变成角动能的比率增加，旋转运动加剧。

偏心正碰撞的结果是，假定忽略了轮胎侧滑的摩擦阻力，那么在 B 车重心位置所产生的 Y 轴方向的速度 v_{BY} 为

$$v_{BY} = \frac{m_A k_B (1+e)}{I_B + m_A (S_B^2 + k_B^2)} v_A$$

B 车重心旋转的角速度 α 为

$$\alpha = \frac{m_A (1+e)}{I_B + m_A (S_B^2 + k_B^2)} S_B v_A$$

A 车碰撞后在 Y 轴方向的速度 v_{AY} 为

$$v_{AY} = \frac{m_A (S_B^2 + k_B^2) - e I_B}{I_B + m_A (S_B^2 + k_B^2)} v_A$$

在 B 车的重心位置产生的冲击加速度 α_{BY} 为

$$\alpha_{BY} = \frac{v_{BY}}{t}$$

车辆整备质量与惯性矩的关系如图 8-8 所示。计算用图如图 8-9 所示。

在 A 车的重心位置产生的冲击加速度（负加速度） α_{AY} 为

$$\alpha_{AY} = \frac{v_A - v_{AY}}{t}$$

$$I_B = m_{BF} R_F^2 + m_{BR} R_R^2$$

$$k_B = \sqrt{\frac{I_B}{m_B}}$$

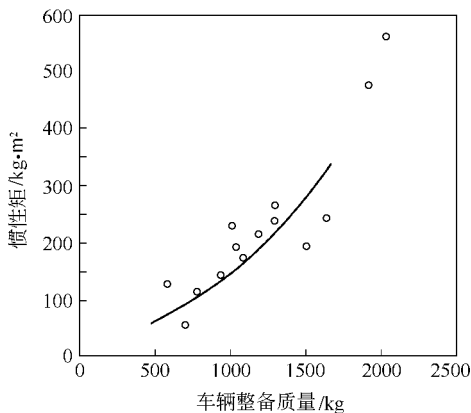


图 8-8 车辆整备质量与惯性矩（偏转轴转动惯性矩）的关系

式中 v_A ——A 车的碰撞速度, m/s;
 m_A ——A 车的质量, kg;
 m_B ——B 车的质量, kg;
 I_B ——B 车的惯性矩, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$;
 m_{BF} ——B 车的前轴质量, kg;
 m_{BR} ——B 车的后轴质量, kg;
 R_F ——B 车的重心与前轴间距离, m;
 R_R ——B 车的重心与后轴间距离, m;
 k_B ——B 车的惯性半径, m;
 t ——碰撞的时间, s。

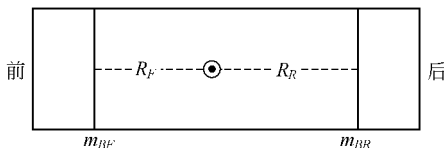


图 8-9 计算用图

二、正面碰撞

根据事故的诱因, 正面碰撞大致可分为下列 3 种类型。

- ① 超车时跨越中心线的碰撞。
- ② 弯道跨越中心线的碰撞。
- ③ 打盹时跨越中心线的碰撞。

超车时跨越中心线的碰撞是欲超过缓慢行驶的前方汽车时, 由于驶入了对向行驶汽车的行车道而与对向行驶汽车相撞的事故。未完全确认对向行驶汽车的行车道是否安全, 而跨越了中心线是引发事故的原因。

弯道跨越中心线碰撞是在未发现前方为急转弯的弯道而以较高速度通过时, 驶到对方行车道, 偶尔与对向行驶车相撞的事故。转向特性为不足转向的汽车在以较高的速度通过弯道内侧的行车道时, 最容易越过中心线而与对向车相撞。

以接近极限转弯速度快速通过弯道外侧行车线的汽车会与弯道相切，以较低的曲率向外转动，从而越过中心线。

打盹跨越中心线碰撞是由于打盹导致间歇性地丧失意识，汽车摇摇晃晃地跨过中心线与对向车剧烈相撞的事故。从打盹造成的事故来看，汽车就像喝醉酒的行人一样，形成左右摇晃的轨迹。

1. 碰撞地点

正面碰撞首要问题是弄清“哪辆车越过了中心线”，即碰撞地点在什么位置。事故责任是在跨越了中心线的一方。

判断碰撞地点的依据主要有如下几点。

- ① 轮胎痕迹的异变。
- ② 路面划痕。
- ③ 路面上的散落物。
- ④ 事故车的最终停车位置、姿势。
- ⑤ 事故车的碰撞变形状态等。

2. 轮胎痕迹的异变

大多数情况下，碰撞的车辆边减速边在碰撞前紧急制动，拖着划痕相撞在一起。此时就会像图 8-10 所示的那样，在碰撞的同时，轮胎划痕一定会出现异变。

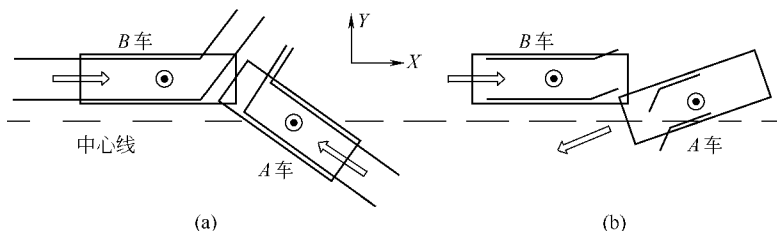


图 8-10 轮胎痕迹的异变显示出碰撞地点

由于汽车在承受冲击力的方向被迫转向，所以轮胎划痕的形状会弯曲成“<”（中括号）状。车底板高的汽车与底板低的汽车相撞时，后者一般会钻到前车的底板下面，所以后者的划痕在碰撞的同

时变浓重，前者的划痕变轻淡或消失。

3. 路面划痕

发生潜入型碰撞时，会出现潜入到车辆的车身底板部下面与路面摩擦而留下划痕的现象。

4. 路面上的散落物（特别是玻璃的散落状况）

有时也可以根据因碰撞冲击而破坏、脱离车身散落到路面上的物品来推断碰撞地点。特别是车窗玻璃的碎片，在汽车零部件中是最为脆弱的零件，所以在碰撞的初期最早破裂，此时会大致沿碰撞前的速度方向散落在路面上。

如图 8-11 所示，碰撞地点位于呈纺锤状散落的玻璃片中心线的延长线上。因此，记录玻璃碎片最关键的是仔细记录路面上玻璃片的散落区域。而实际上大多数记录都未认真记录玻璃片散落区域。

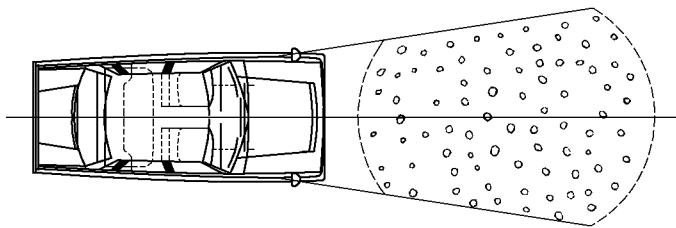


图 8-11 碰撞地点位于玻璃散落区域中心线的延长线上

5. 事故车的最终停止位置、姿势

碰撞后，事故车最终会因碰撞后的摩擦功消耗掉剩余的动能而停止，由于可根据最终停车位置分析划痕等路面上的证据和事故车的破损状态、路面上散物等之间的相关性来推断碰撞地点，所以最终停车位置与姿势将成为最为重要的证据。

因此，在发生交通事故后，在收拾、处理妨碍交通的事故车之前，必须正确记录事故车的位置和姿势，并从多角度拍下照片，作为事后的证据。

6. 事故车的碰撞变形状态

如图 8-12 (a) 所示, 汽车前面一侧有挤压凹损的车辆如图样停止, 如果周围有多种划痕并散落着玻璃碎片, 就可推断碰撞地点、姿势为图 8-12 (b) 所示。

从事故车的碰撞变形状态 (右前侧被向后挤压) 来看, 由于这辆车是向后撞在重心 CG 的右侧, 所以碰撞后必然会引起右旋转运动。

7. 推断正面碰撞的碰撞形态的实例

事故现场的状况如图 8-13 (a) 所示。

事故的引起和碰撞速度可通过下列推理来获取。

(1) 两车的前面左侧都有明显的向后挤压的凹痕, 这证明该起事故是左侧偏心的正面碰撞。

(2) 两车都是面向前方停在玻璃片散落的区域内, 路面上散落着从甲车正面落下的挡风玻璃片 (夹层玻璃), 并留有认定为是潜入型碰撞的乙车底板擦过的划痕。

(3) 在玻璃片区域中心线的南北方向上, 有两个分别从西侧行车道斜向进入东侧行车道 (距玻璃片散落地点大致距离相等) 的轮胎划痕 A、B。

(4) 根据以上的证据, 可推断该起事故的成因。

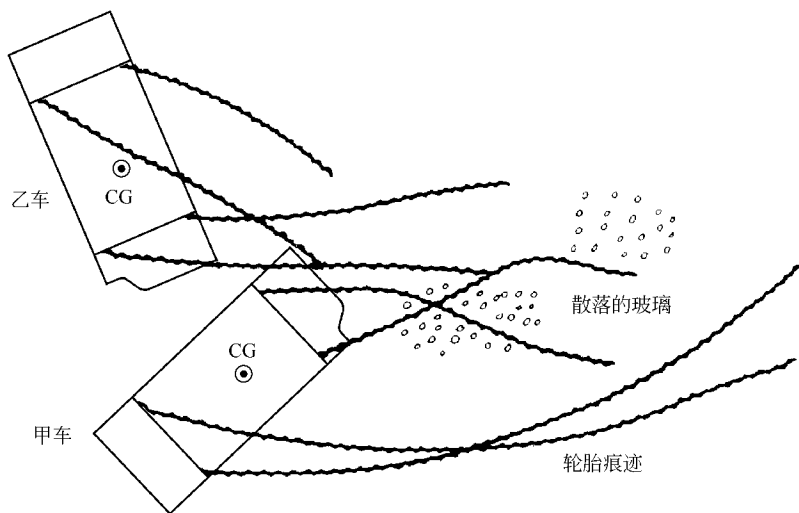
甲车大概是由于打盹等原因, 而从东侧行车道越过中心线, 驶入了西侧车道。

为此, 乙车为躲避碰撞而制动, 并紧急避难性地向右转向, 从而驶入了对向车道。轮胎痕迹 B 就是此时乙车的右轮留下的。

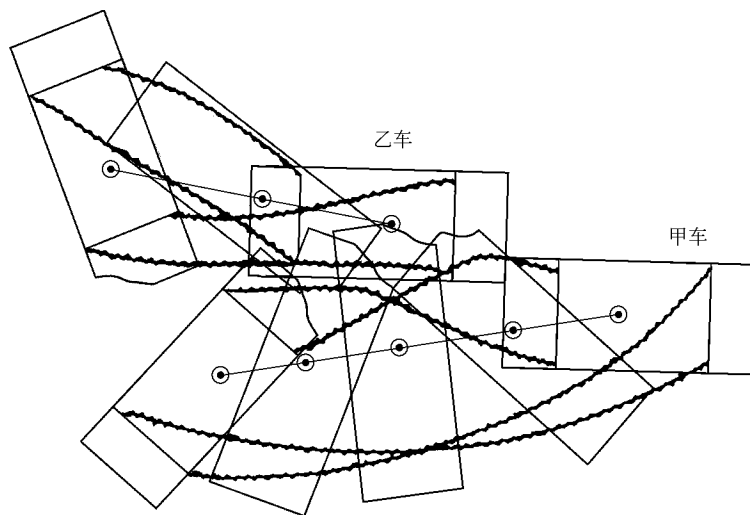
但是甲车也发现自己越过了中心线, 边制动边欲返回自己的行车道。轮胎痕迹 A 是此时甲车的左轮留下的。

于是两车如图 8-13 (b) 所示的那样, 在划痕附近发生了左偏心正面碰撞。由于两车都是向后撞在了重心左侧, 所以在碰撞后必然会引起旋转运动, 车尾都摆向右方。

划痕是钻到甲车底板下的乙车底板留下的。

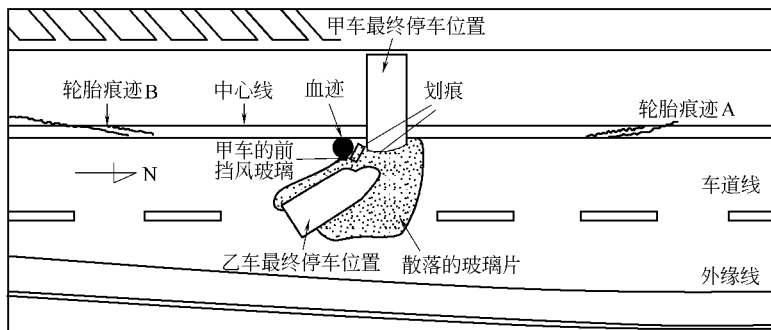


(a)

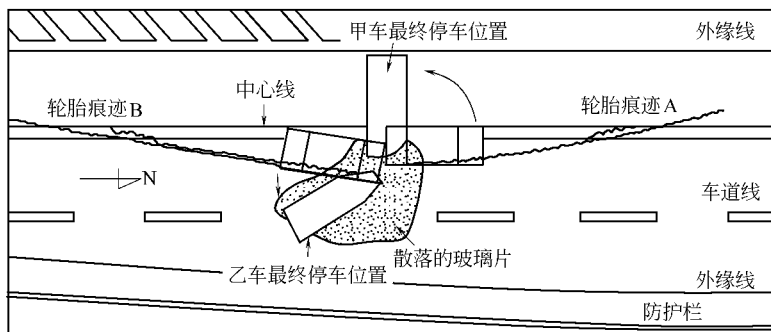


(b)

图 8-12 根据车身的变形、最终停车位置、路面上的痕迹推断碰撞形态



(a) 事故现场状况



(b) 推断的碰撞形态

图 8-13 正面碰撞的碰撞形态推断实例

玻璃片及夹层玻璃是在碰撞初期前挡风玻璃受碰撞冲击而破裂散落在地面上的。

(5) 哪辆车都未被撞回来，也未分离。

这说明碰撞前两车所携带的动能相等，以及几乎未引起反弹现象。这也可从划痕是与道路方向呈直角的弯曲状条痕（乙车旋转留下的）来推测。因此，设： W_1 为甲车质量（1000kg）， W_2 为乙车质量（1500kg）， v_1 为甲车碰撞速度， v_2 为乙车碰撞速度。

根据动量守恒定律，则

$$W_1 v_1 = W_2 v_2$$

根据乙车的损伤状态，对照障壁碰撞的实验结果，估计乙车的速度为 $v_2 = 50\text{km/h}$ ，则

$$v_1 = \frac{W_2}{W_1} v_2 = \frac{1500}{1000} \times 50 = 75 \text{ (km/h)}$$

也就是说甲车的速度为 75km/h 。

三、追尾

追尾一般分成下列 4 种类型：刹车滞后型；起步错误型；行车线变更型；错觉追尾。

追尾事故具有下列几个特点。

① 一般是在排成一列的汽车之间发生的碰撞事故，所以大多为向心正碰撞，且是在车轮自由转动方向上的碰撞或近似于此类型的碰撞。因此大多数情况下是按一维碰撞来处理的。

即使有些偏心错位、斜碰撞，只要未引起轮胎侧滑，都可作为一维碰撞来处理。

被撞车的滑行轨迹如图 8-14 所示。从图可以显示出追尾姿势与碰撞后的被追尾车运动轨迹的关系。

实验 No. 1 是以 32km/h 的速度、偏心追尾时的情况。虽然应有一部分左转扭矩在起作用，但轮胎并未引起侧滑，碰撞后被撞车仍旧直行，未引起旋转运动。

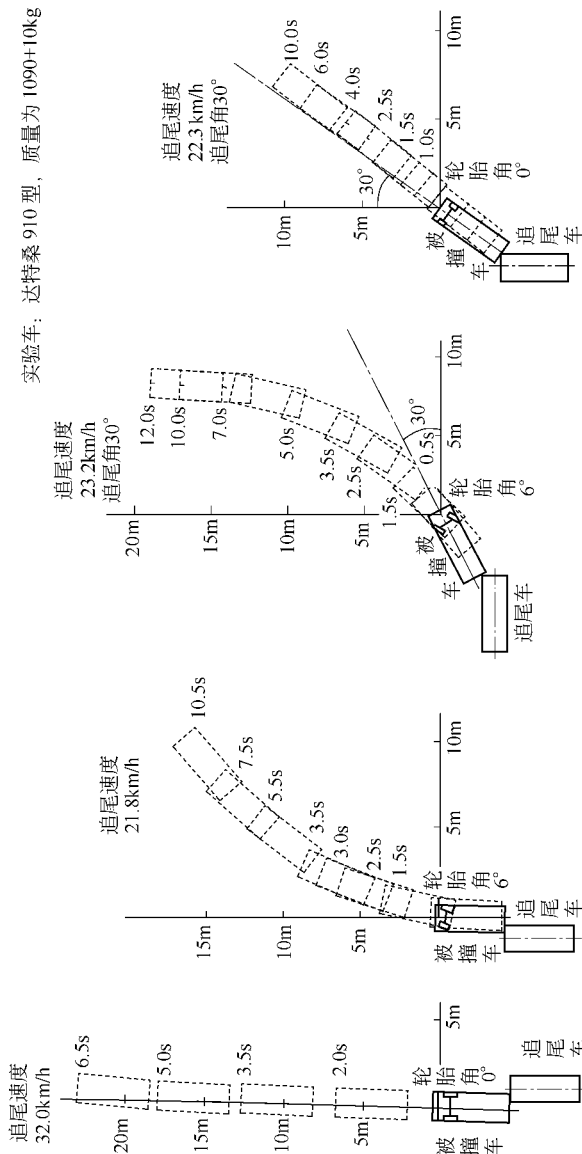
实验 No. 4 为以 22.3km/h 的速度偏心斜碰撞的情况。

追尾碰撞角为 30° ，虽然应有一部分右转的扭矩在起作用，但是，此时轮胎并未引起侧滑，被撞车仍旧直行，未引起旋转运动。

实验 No. 2 及实验 No. 3 为预先设定被撞车的前轮转向角为 6° 后，以略高于 20km/h 的速度追尾时的情况。被撞车按照轮胎的转向角进行旋转滑行。

② 大多数被追尾车的反弹系数显著低于正面碰撞时的反弹系数。

实验车: 达特桑 910 型, 质量为 1090+10kg



(a) 实验No.1

(b) 实验No.2

(c) 实验No.3

(d) 实验No.4

图 8214 被撞车的滑行轨迹

碰撞速度与反弹系数的关系如图 8-15 所示。

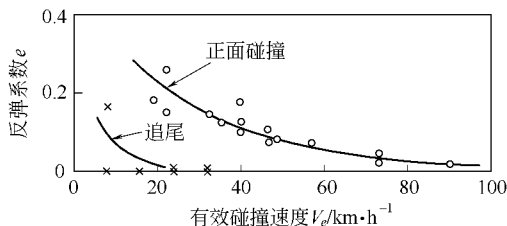


图 8-15 碰撞速度与反弹系数的关系

③ 追尾车（肇事车）大部分是边减速边紧急制动，而在中途发生追尾碰撞，所以更容易出现制动点头状的碰撞。

此时，由于追尾车的前保险杠往往会钻到被撞车的后保险杠下面，所以追尾车的车身

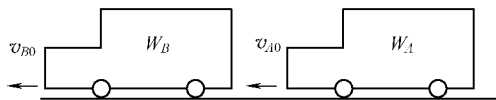


图 8-16 追尾碰撞

前部直接撞在了被撞车后保险杠的后部，追尾车更容易出现明显的损伤。另外，以这种姿势相撞的话，有时还会发生保险杠彼此拉扯在一起的现象，此时不会引起反弹。追尾碰撞如图 8-16 所示。

追尾的基本公式如下。

追尾车的有效碰撞速度

$$v_{AE} = (v_{A0} - v_{B0}) \frac{W_A}{W_A + W_B}$$

被撞车的有效碰撞速度

$$\begin{aligned} v_{BE} &= (v_{A0} - v_{B0}) \frac{W_B}{W_A + W_B} \\ &= (v_{A0} - v_{B0}) - v_{AE} \end{aligned}$$

相对碰撞速度

$$v_R = v_{A0} - v_{B0} = v_{AE} + v_{BE}$$

追尾车碰撞后的速度

$$v_A = v_{A0} - (1 + e)v_{AE}$$

$$= v_{A0} - \frac{(1+e)(v_{A0} - v_{B0})}{1 + \frac{W_A}{W_B}}$$

$$= \sqrt{2\mu_A g S_A}$$

被撞车碰撞后的速度

$$v_B = (1+e)v_{BE} + v_{B0}$$

$$= \frac{(1+e)(v_{A0} - v_{B0})}{1 + \frac{W_B}{W_A}} + v_{B0}$$

$$= \sqrt{2\mu_B g S_B}$$

追尾车产生的冲击加速度

$$\alpha_A = \frac{(1+e)v_{AE}}{t} \quad (\text{向后})$$

被撞车产生的冲击加速度

$$\alpha_B = \frac{(1+e)v_{BE}}{t} \quad (\text{向前})$$

作用在追尾车上的冲击力

$$F_A = \frac{W_A}{g} \alpha_A \quad (\text{向后})$$

作用在被撞车上的冲击力

$$F_B = \frac{W_B}{g} \alpha_B \quad (\text{向前})$$

因为

$$F_A = F_B$$

故

$$\frac{\alpha_A}{\alpha_B} = \frac{W_B}{W_A}$$

式中 v_{A0} —— 追尾车的速度；

v_{B0} —— 被撞车的速度；

v_A —— 追尾车碰撞后的速度；

v_B —— 被撞车碰撞后的速度；

t —— 碰撞时间；

W_A ——追尾车的重量；

W_B ——被撞车的重量；

e ——反弹系数；

μ_A, μ_B ——摩擦因数（因制动状态不同会有很大区别）；

g ——重力加速度， 9.8m/s^2 ；

S_B ——被撞车碰撞后的滑行距离；

α_A ——追尾车产生的冲击加速度；

α_B ——被撞车产生的冲击加速度；

F_A ——作用在追尾车上的冲击力；

F_B ——作用在被撞车上的冲击力。

四、台球式追尾

台球式追尾是指发生了下列情形的追尾事故，如图 8-17 所示。

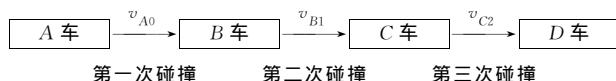


图 8-17 台球式追尾

因等待信号、前方堵塞、在收费处等待交付费用等而排成一列的 B 车、 C 车、 D 车等一串车辆的后面， A 车由于左顾右盼，未发现前方有停止成串车辆，驶过来而发生碰撞的事故。

以三次连撞的例子来说， A 车通过碰撞把动量分配给 B 车，同样 B 车又将动量分配给 C 车， C 车又分配给 D 车。

假定这 4 辆车的重量均相同，忽略反弹效果，那么动量交换的结果， B 车所产生的速度则相当于 A 车碰撞速度的 $1/2$ ， C 车所产生的速度则相当于 A 车碰撞速度的 $1/4$ ， D 车所产生的速度则相当于 A 车碰撞速度的 $1/8$ 。

这完全符合动量守恒定律与牛顿第二定律及第三定律。如果被追尾（ A 车→ B 车）的 B 车，其乘员未感受到特别大的冲击的话，那么被追尾（ B 车→ C 车）的 C 车，其乘员同样也不会感受到较大

的冲击。

1. 台球式追尾的关系式

首先, 假定 A 车以 v_{A0} 的速度追尾撞在 B 车 (第一次碰撞) 上, 那么 A 车因第一次碰撞所产生的有效碰撞速度 v_{AE} 为

$$v_{AE} = \frac{v_{A0}}{1 + \frac{W_A}{W_B}}$$

B 车因第一次碰撞所产生的有效碰撞速度 v_{BE1} 为

$$v_{BE1} = \frac{v_{A0}}{1 + \frac{W_B}{W_A}} = v_{A0} - v_{AE}$$

考虑到反弹, B 车所产生的净速度 v_{B1} 为

$$v_{B1} = (1 + e) v_{BE1}$$

B 车因第一次碰撞所产生的撞击加速度 α_{B1} 为

$$\alpha_{B1} = \frac{v_{B1}}{t}$$

这样, B 车则以 v_{B1} 的速度追尾撞在 C 车 (第二次碰撞) 上。

B 车因第二次碰撞所产生的有效碰撞速度 v_{BE2} 为

$$v_{BE2} = \frac{v_{B1}}{1 + \frac{W_B}{W_C}}$$

C 车因第二次碰撞所产生的有效碰撞速度 v_{CE2} 为

$$v_{CE2} = \frac{v_{B1}}{1 + \frac{W_C}{W_B}} = v_{B1} - v_{BE2}$$

考虑到反弹, C 车所产生的净速度 v_{C2} 为

$$v_{C2} = (1 + e) v_{CE2}$$

C 车因第二次碰撞所产生的冲击加速度 α_{C2} 为

$$\alpha_{C2} = \frac{v_{C2}}{t}$$

这样, C 车则以 v_{C2} 的速度追尾撞在 D 车 (第三次碰撞) 上。

C 车因第三次碰撞所产生的有效碰撞速度 v_{CE3} 为

$$v_{CE3} = \frac{v_{C2}}{1 + \frac{W_C}{W_D}}$$

D 车因第三次碰撞所产生的有效碰撞速度 v_{DE3} 为

$$v_{DE3} = \frac{v_{C2}}{1 + \frac{W_D}{W_C}} = v_{C2} - v_{CE3}$$

考虑到反弹, D 车所产生的净速度 v_{D3} 为

$$v_{D3} = (1 + e) v_{DE3}$$

D 车因第三次碰撞所产生的冲击加速度 α_{D3} 为

$$\alpha_{D3} = \frac{v_{D3}}{t}$$

式中 W_A, W_B, W_C, W_D ——A、B、C、D 车的重量;

e ——反弹系数;

t ——碰撞时间。

2. 非台球式多次连串追尾

有时也会发生非台球式多次连串追尾事故。

例如,前行的 D 车紧急制动,而后面尾随的 C 车来不及制动就会撞在 D 车上;同样 C 车后面的尾随车 B 车也会撞在 C 车上, B 车后面尾随着的 A 车也会撞在 B 车上。

在这种情况下,事故责任关系则完全不同。

究竟是哪种类型的事故,只要仔细分析事故车前后端的损伤状态与有效碰撞速度的关系,就会迎刃而解。

如果是台球式追尾,越是后碰撞的车辆(即前方的车辆),其损伤程度会显示出逐渐降低的趋势。

损伤程度前后颠倒的碰撞,肯定不会是台球式追尾,而是非台球式多次连串追尾。

五、侧面碰撞

侧面碰撞大部分发生在交叉路口,有迎头侧碰撞、右拐侧碰

撞、左拐侧碰撞、行车线变更侧碰撞等几种情况。

上述前三种是在交叉路口发生的事故，第四种是在行车中发生的事故。

（一）碰撞情况分析

1. 迎头侧碰撞

迎头侧碰撞主要发生在视野不清晰的交叉路口。由于不注意信号或懒于停车瞭望，预先并未确认交叉路口是否已有其他车辆进入，而漫不经心地驶入交叉路口的车辆与已进入交叉路口的车辆之间经常发生此类事故。

一般来说，在碰撞前一刹那，双方均未发现对方车的存在。

2. 右拐侧碰撞

右拐侧碰撞主要发生在交叉路口右拐的车辆与直行的车辆间。可分成已发现对方车和未发现对方车两种类型。

发现型属于“抢道事故”，事故原因是判断错误。

右拐车与直行车双方虽然已发现对方车，但都认为对方会停车给自己让道，而出现抢道行为造成碰撞事故。

未发现型属于“视线遮挡事故”。主要是由于在右拐车与直行车之间，存在一辆挡住视线的第三辆车。

在直行车辆侧面的第二条车道（右侧车道）上，停着一辆高度很高的大型货车等待右拐。这辆车会成为遮挡物。此时若有一辆高度比较低而加速性比较好的轿车或摩托车，从大型货车旁边通过，沿第一车道（左侧车道）直行的话，就会与右拐的轿车发生撞车事故。在撞车前的一刹那，双方均未发现对方车的存在。

3. 左拐侧碰撞

这主要发生在等待信号后，在对面信号变成绿灯时，欲左拐的右侧车辆和欲直行的左侧车道的车辆之间发生的碰撞。

大多数情况下，右侧的左拐车是因左侧存在一个视线死角的高度比较高的大型货车，左侧的直行车是易进入右侧车辆视线死角的高度较低的轿车、摩托车或行人等。虽然左侧的直行车已清楚地发

现右侧车的存在，但却不理解其行动的意思。结果造成双方均出现交错失误而造成左拐侧碰撞事故。

4. 行车线变更侧碰撞

这类事故主要发生在未确认相邻车道上后方情况而改变行车线的车辆与欲超过该车的直行车辆之间引发的。结果是由于行车线变更车认识错误和直行车的判断错误交错而致。

（二）碰撞速度推定

1. 直角侧碰撞

从力学角度来说，直角侧碰撞大致可分为下列几个类型。

- ① 向心直角侧碰撞（被撞车处于停车状态）。
- ② 向心直角侧碰撞（被撞车正在行驶）。
- ③ 偏心直角侧碰撞（被撞车处于停车状态）。
- ④ 偏心直角侧碰撞（被撞车正在行驶）。

在直角侧碰撞后，其运动的一般规律如下。

- ① 碰撞后两车在第一象限内移动。

向 $+X$ 轴方向驶过来的 A 车撞在向 $+Y$ 轴方向驶过来的汽车上时， A 车把 $+X$ 轴方向的一部分动量转嫁给 B 车， B 车则把 $+Y$ 轴方向上的一部分动量转嫁给 A 车，所以两车一定在 $+X$ 轴和 $+Y$ 轴包围的第一象限内移动（见图 8-18）。

② 碰撞后车辆有时会右转，有时会左转，这取决于碰撞位置和两车的速度关系。汽车的碰撞与台球一样，不会只限于 1 次碰撞。

图 8-19 所示为对停止车辆的直角侧碰撞，让 A 车侧面碰撞在停止的 B 车上，并观察碰撞后两车运动轨迹的结果。

由于碰撞面未引起侧滑，所以不会产生摩擦力。

在 B 车上只作用着一个 A 车向左挤压其右侧面的挤压力 F_v ，在 A 车上仅作用着一个 F_v 的反作用力 F'_v 。

图 8-19（a）所示为 A 车撞在 B 车前部的情形。 F_v 向左作用在 B 车重心的前部，所以 B 车引起左旋转运动。

图 8-19（c）所示为 A 车撞在 B 车后部的情形。 F_v 向左作用

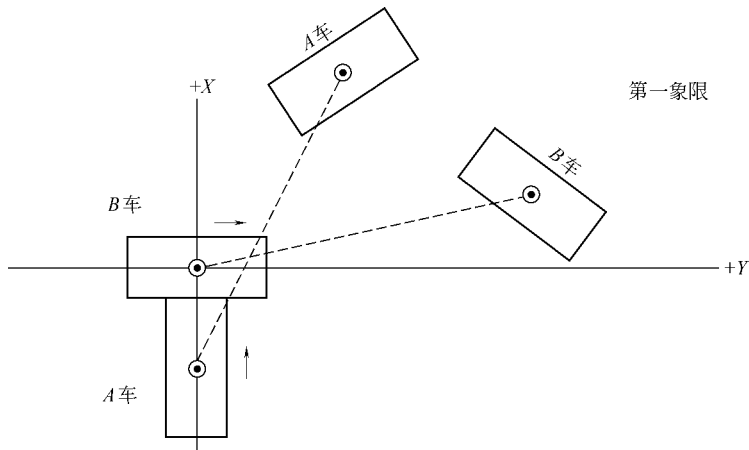


图 8-18 碰撞后在第一象限内移动

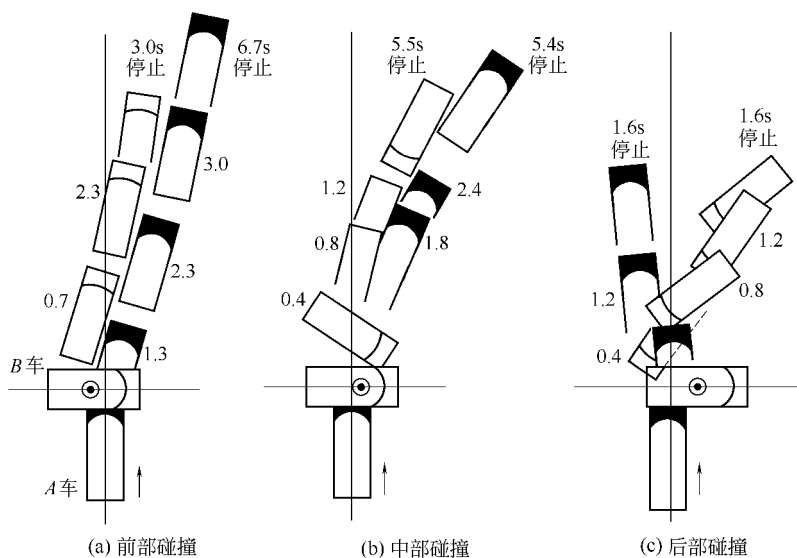


图 8-19 对停止车辆的直角侧碰撞

在 B 车重心的后部，所以 B 车引起右旋转运动。

图 8-19 (b) 所示为 A 车撞在 B 车中部的情形。在这种条件下

一般是向心碰撞。由于重心与车身中心相比要多少靠前一些，所以此时的 F_v 也是向左作用在 B 车重心的后部， B 车也会引起右旋转运动，但不像在图 8-19 (c) 所示的条件下右旋转运动那么剧烈。

A 车在上述三个碰撞规律中，则深受“碰撞后所引起的运动，特别是旋转运动有时会直接引发第二次碰撞”的影响。

由于 A 车只承受着一个正向后的 F_v 的反作用力 F'_v ，所以自身不会引起旋转运动，但是在图 8-19 (a) 所示的条件下，左旋转的 B 车右侧面后部向右碰到 A 车左侧面前部，所以多少会偏向右侧。

在图 8-19 (c) 所示的条件下，右旋转的 B 车右侧前部向左碰在 A 车的右侧面前部，所以 A 车多少会偏向左侧。

在图 8-19 (b) 所示的条件下， B 车的旋转不太剧烈，所以 A 车的前部会暂时被 B 车的右侧面所约束，被拖曳着偏向右侧。

图 8-20 所示为车辆行驶时的直角侧碰撞， A 车以 50km/h 的速度、直角侧碰撞在正以 50km/h 的速度行驶的 B 车上的实验结果。

在这种场合，由于被撞车 (B 车) 也正在行驶，所以在 B 车的右侧面会产生一个向后的摩擦力 F_R 。

摩擦力 (F_R) = 挤压力 (F_v) $\times$ 车身间的摩擦因数 (μ_R)

挤压力 F_v 与摩擦力 F_R 的合力作用在 B 车上。

在 A 车上，除了 F_v 的反作用力 F'_v 之外，还有一个 F_R 的反作用力 F'_R ，向右作用在车前面。由于 F'_R 作用在重心的前侧，并向右拉动，所以 A 车被迫做右旋转运动。

A 车 (与图 8-19 不同) 之所以向右旋转主要是由于这个摩擦力引起的。

在图 8-20 (a1) 前部碰撞时，被撞车 (B 车) 未引起旋转运动，这主要是由于向左撞在重心前侧的挤压力 F_v 所产生的左转扭矩 (转矩)，与向后拉动重心右侧的摩擦力 F_R 所产生的右转扭矩恰好抵消掉的缘故。即使在前部碰撞中，当如图 8-20 (a2) 所示的那样，偏离重心较少时，由于摩擦力所产生的右转扭矩变大，所以 B 车在碰撞后才会引起右旋转。

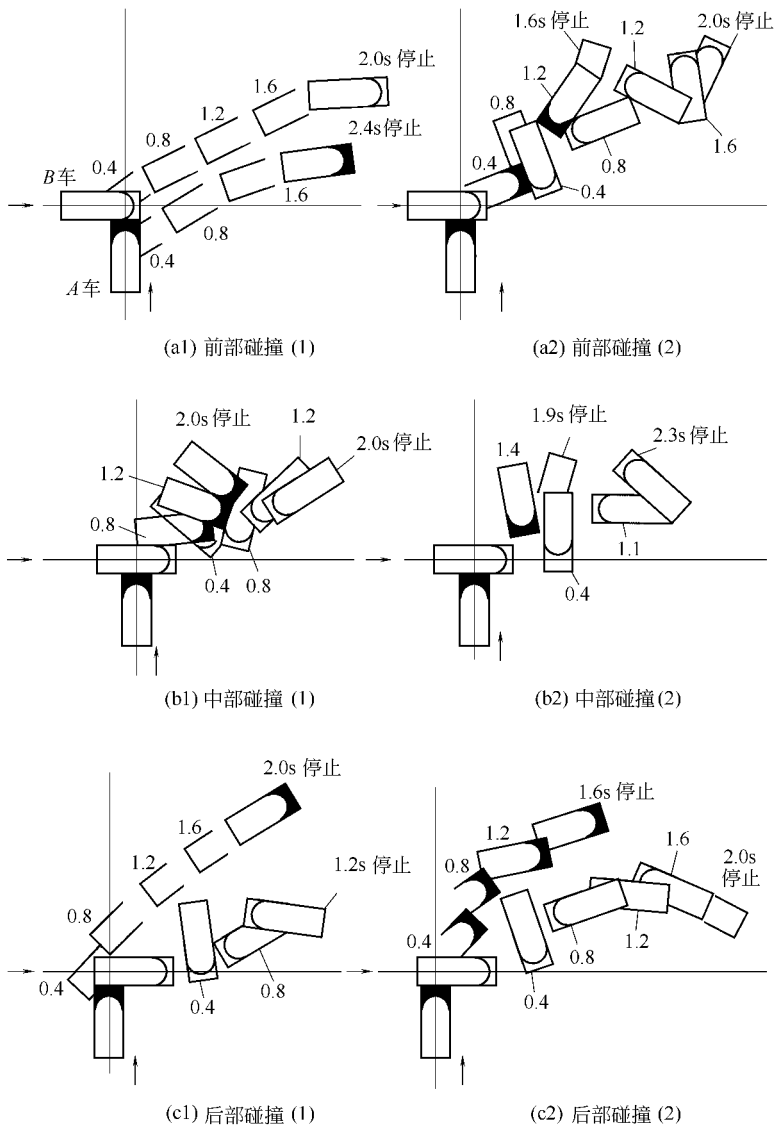


图 8-20 车辆行驶时的直角侧碰撞

在发生中部碰撞 [见图 8-20 (b1) 和 (b2)] 及后部碰撞 [见图 8-20 (c1) 及 (c2)] 时, 一定会产生一个右转的扭矩, 所以被撞车 (B 车) 会引起右旋转运动。

而肇事车 (A 车) 上作用有一个向右的摩擦力, 所以一定会向右旋转。但是, 无论在何种场合, 两车都会向被 X 轴和 Y 轴包围的第一象限内运动。

2. 碰撞速度的推算

如图 8-21 所示, A 车直角侧面碰撞在 B 车上。碰撞后, A 车相对于 +X 轴向右转偏向 α 角方向行驶 S_A 后停止, B 车相对于 +Y 轴向左转偏向 β 角方向行驶 S_B 后停止下来。问两车碰撞时的速度是多少?

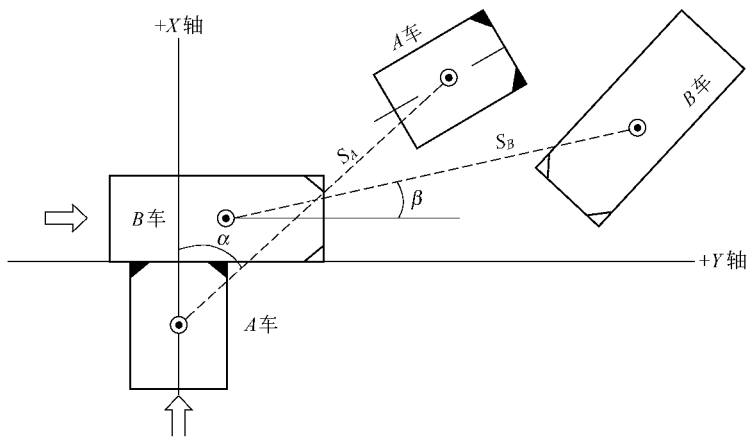


图 8-21 A 车直角侧面碰撞在 B 车上

根据能量守恒定律, 有

$$\frac{1}{2} \times \frac{W_A}{g} v_A^2 = \mu_A W_A S_A$$

故

$$v_A = \sqrt{2\mu_A g S_A}$$

同样

$$\frac{1}{2} \times \frac{W_B}{g} v_B^2 = \mu_B W_B S_B$$

故

$$v_B = \sqrt{2\mu_B g S_B}$$

再根据动量守恒定律，有

$$W_A v_{A0} = W_A v_A \cos\alpha + W_B v_B \sin\beta$$

$$W_B v_{B0} = W_A v_A \sin\alpha + W_B v_B \cos\beta$$

故

$$v_{A0} = v_A \cos\alpha + \frac{W_B}{W_A} v_B \sin\beta$$

$$v_{B0} = \frac{W_A}{W_B} v_A \sin\alpha + v_B \cos\beta$$

式中 W_A ——A 车质量，kg；

v_{A0} ——A 车的碰撞速度，m/s；

v_A ——A 车碰撞后的速度，m/s；

S_A ——A 车碰撞后的运动距离，m；

μ_A ——A 车滑行摩擦因数；

W_B ——B 车的质量，kg；

v_{B0} ——B 车的碰撞速度，m/s；

v_B ——B 车碰撞后速度，m/s；

S_B ——B 车碰撞后运动距离，m；

μ_B ——B 车滑行摩擦因数；

α ——碰撞前 A、B 两车质心连线与 X 轴的夹角；

β ——碰撞后 A、B 两车质心连线与 Y 轴的夹角；

g ——重力加速度（9.8m/s²）。

六、翻滚路面外

汽车在翻滚路面外时，也会做抛物线落下。

如图 8-22 所示，汽车从道路上滚落到悬崖下时，飞出路面外的速度，可以根据从路面到该车落地的高度差 h 及此间的水平飞越距离 S ，按下列公式求得。

$$S = vt$$

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

$$v = S \sqrt{\frac{g}{2h}} = 2.21 \frac{S}{\sqrt{h}}$$

式中 S ——水平飞越距离, m;

v ——飞出路面外速度, m/s;

h ——到落地点的落下高度, m;

t ——落下时间 (到落地间的), s。

七、柱子碰撞

当汽车飞出路面外撞在电线杆等柱子上时, 最关键的是此时的碰撞速度。在这种情况下, 由于碰撞面积要大大小于撞壁碰撞时的面积, 所以其塑性变形量 (凹陷的深度) 当然要大。

轿车撞在美国作为电线杆而广泛使用的柱子 (Class4 Timber Utility Pole) 上, 调查其塑性变形量与碰撞速度的关系的结果, 得出图 8-23 所示的轿车前端撞在柱子上出现的塑性变形量与碰撞速度的关系。车辆质量越大, 碰撞的动能越大, 所以塑性变形量也越大。

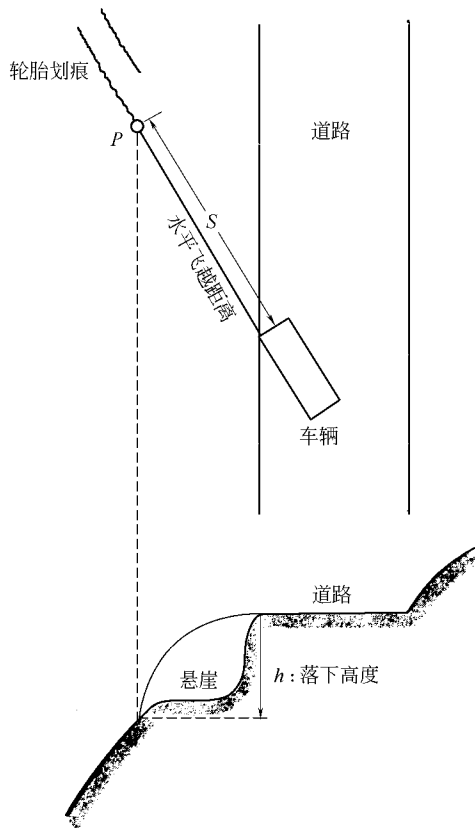


图 8-22 翻滚路面外车辆飞出速度的推算方法

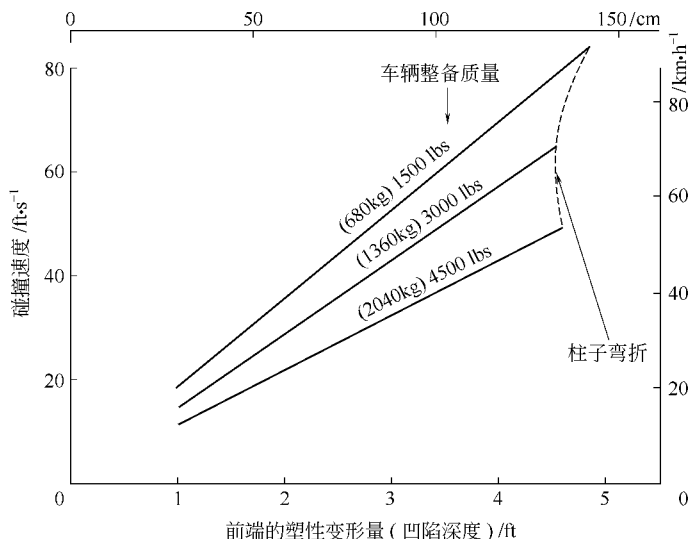


图 8-23 轿车前端撞在柱子上出现的塑性变形量与碰撞速度的关系

当碰撞速度较高、碰撞后致使发动机向后移时，由于发动机开始变形，刚性急剧增加，所以与碰撞速度的增长比率相比，塑性变形量未有较大的增加。

除了电线杆之外，还有树木、信号标志柱、防护栏支柱等其他多种柱子，因柱子的刚性、固定方法等不同，这一关系也会产生变化。

假如埋柱子的土壤比较松，碰撞后若柱子从根部倒下的话，其塑性变形量会变小。

八、翻滚

汽车打转后作侧翻滚动的运动称为翻滚。下面给出根据翻滚距离求翻滚开始速度的经验公式为

$$v_R = \sqrt{2d_R S_R}$$

式中 S_R ——翻滚距离，m；

d_R ——翻滚减速度，0.4~0.65G（Hight）；平均 0.43G（Orlowski）；0.3~0.5G（Warner）。

图 8-24 为将 Orlowski、Segal、Young 等人的实验结果，汇总在一起的翻滚开始速度与翻滚距离之间的关系图。

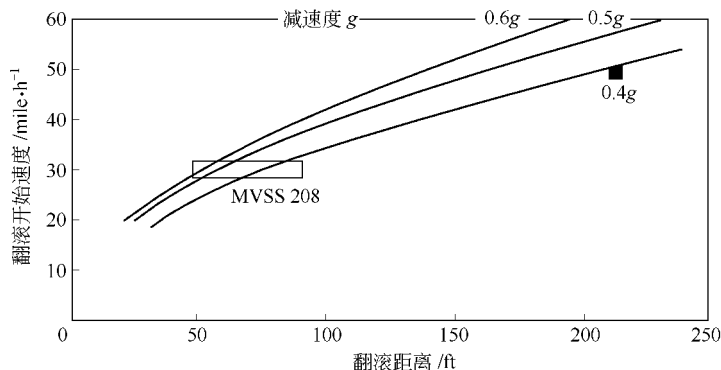


图 8-24 翻滚距离与翻滚开始速度的关系
(1m=3.281ft)

图中的“■”为翻滚开始速度 50m/h（80km/h）时的实验数据，翻滚距离为 212ft（65m），翻滚次数为 6 次，平均 d_R 为 0.39g。

以上的数据是在平坦的沥青铺装路面上测得的结果，如果在凹凸不平的自然路面上， d_R 值将会更高。

九、车辆火灾

汽车在互相碰撞或滚落路面外与地面碰撞时，有时会突然起火燃烧，这是为什么呢？什么原因会导致汽车燃烧呢？

产生车辆火灾的 3 个条件为：

起火源的产生→起火源与可燃物相结合→可燃物的供给。

车辆火灾产生的三个要素：产生起火源、提供可燃物和起火源与可燃物相结合。

但是，为了探明车辆火灾发生的原因，首先必须验证上述 3 个

条件是否成立。

例如，剧烈追尾的车辆起火时，起火源是追尾车辆破裂的前照灯，可燃物则是从被追尾车受损的油箱内泄漏出的汽油。

起火源主要有如下几种。

① 破损的配线发生短路（电弧火花）。
② 破损的蓄电池+端子接地短路（电弧火花）。
③ 前照灯破裂（电弧火花、电热），当然这种火灾都发生在夜间。

- ④ 排气歧管、排气管、催化消声器、消声器（排气热）。
- ⑤ 翻倒滑行的车身与路面或墙壁之间的摩擦（摩擦热）。
- ⑥ 车身静电放电（电弧火花）。
- ⑦ 香烟火源。
- ⑧ 排气等。

以碰撞破坏为契机，究竟上述哪一条是真正的起火源，则是我们首要的着眼点。

在发生汽车火灾时，可燃物一般是燃料，特别是汽油。柴油机的燃料为轻油。轻油与汽油相比挥发性低，所以不易起火。

燃料泄漏的主要原因如下。

- ① 油箱破坏、被挤碎。
- ② 油箱加油盖脱落。
- ③ 油箱加油管脱落。
- ④ 燃油管、软管龟裂、脱落。
- ⑤ 化油器、燃油泵、燃油滤清器等破裂。
- ⑥ LPG（液化石油气）软管的龟裂、脱落等。

除燃料之外的可燃物有如下几种。

- ⑦ 润滑油的泄漏。
- ⑧ 配线包皮。
- ⑨ 座椅的纤维材料。

上述如若采用阻燃物材料，就不会成为引起燃烧的原因。

⑩ 车外的可燃物（例如，枯草接触到储存大量热量的催化式排气消声器而燃烧）。

⑪ 车辆维修保养阶段遗忘在发动机舱内的可燃物（棉纱等）。

判断车辆火灾的重要方法是“起火部位的判定”与“蔓延（着火）路线的推断”。

起火部位主要有发动机舱、客厢、行李箱、车外 4 处。

在这里最关键的是车辆起火源与可燃物是否是同时产生的。

蔓延（着火）路线可以根据可燃物的燃烧状况、阻燃物的熏黑状况、不燃物的熔融状况（达到的温度）等来推断。同时还必须考虑燃烧必需的空气（氧气）供给条件。

〈鉴定例 1〉

一辆装有排气涡轮增压器的后置汽油车，在行驶中发生火灾，发动机舱全部烧毁。火灾原因是什么呢？

拆卸发动机的结果发现，涡轮增压器的废气控制系统（为防止增压过度上升，适度地使废气旁通过排气涡轮的装置）由于堵塞，致使增压异常上升，混合气的压缩温度大幅上升，发动机引起爆燃，自点火的点火时间逐渐提前，最终在进气门关闭之前就已点火。由此产生的变热气体逆流到进气系统内，把进气管与发动机相连的橡胶软管烧坏，火苗喷到发动机舱内，再蔓延到发动机舱内的可燃物上。引起爆燃的证据，可从发动机燃烧室内壁面上炭黑是否烧尽来判断。

〈鉴定例 2〉

一辆行驶中的汽车突然冲下路面，车身边擦着石壁边滑到最后停止。之后救援人员立即接近该车辆，往驾驶室内观看，发现驾驶员正昏迷倒在里面，驾驶员的膝盖附近有火苗。然而当救援人员打开车门时，突然开始爆燃，猛烈的燃烧约持续了 20min，汽车全部烧毁，驾驶员被烧焦成炭化状态。

后来证实该驾驶员事业失败，有一笔巨大的借款，最近又异常地加入几笔高额的生命保险。自杀嫌疑较大，但没有确凿的证据。

研究得出在车厢内“起火源的产生”、“可燃物的供给”“同时成立”的可能性无法同时成立的结论。

进一步判定该事故为人为事故的理由如下。

① 该事故车是在加满汽油后行驶到事故现场的。根据加满油行驶到事故现场的距离与该车的耗油率以及油箱内的油剩余量计算,发现有约 15L 的汽油去向不明。

② 如上所述,打开车门立即引起剧烈燃烧的事实,暗示出车厢内存有大量的汽油;由于车厢呈封闭状态造成缺氧,燃烧不会剧烈;一旦打开车门后,氧气供给迅速增加,立即引起剧烈燃烧。

③ 经化验在车厢前后席座椅下的底板上,存有大范围的汽油。通过压力试验,证实穿过车厢内的燃油管并不会漏油。这样断言,如果不是人故意将这么多的汽油带进车厢内,则别无其他理由。

④ 从被烧死的驾驶员心脏中提取血液,则化验出大量的汽油成分。

也就是说,该驾驶员在到达事故现场之前,就把约 15L 的汽油放出并抛撒在车厢内,行驶一段时间(在此期间,驾驶员吸入了充满车厢内蒸发的汽油)后,用火柴点燃,产生的热和缺氧状态导致驾驶员昏迷,所以汽车失去控制,冲下道路。

十、废气中毒死亡

废气中毒死亡事故大部分为故意自杀事故,过失事故比较少见。

在故意自杀の場合,一般是开着发动机,把排气管的废气用橡胶软管导入密闭的车厢内。但是有时也会出现后面鉴定例 1 中所述的过失事故,所以不能一概而论。鉴定例 2 为伪造过失废气中毒死亡事故。

1. 一氧化碳中毒死亡

汽油机废气中一氧化碳(CO)的浓度,基本上是由发动机的空燃比(空气与燃料的混合比)决定的。在怠速状态下,废气的厂

家调整基准在 2% 以内。怠速时通常在 1% 左右。

其次是空气中的 CO 含量。其大概数值为“在汽车的后方距离 20cm 时为 1%，距离 1m 时为 0.1%”。

“汽车后方 20cm”，应视为距离排气管出口 20cm。废气排到大气中会迅速扩散，所以 CO 浓度急剧下降。

吸入人体内的 CO 会与血液中的血红蛋白（Hb）结合，阻碍氧气的运输功能，并妨碍氧血红蛋白的分解。

CO 与血红蛋白的化合力为氧的 200~300 倍。

图 8-25 为大气中的 CO 浓度及因暴露时间造成的血液中的 COHb 及对人体损害程度之间的关系。

从图中可以看出，即使 CO 浓度为 0.14%（1400ppm^①）时，若时间足够长也能使人致死。

2. 氮氧化物中毒死亡

柴油机要特别注意氮氧化物的含量（NO_x）。柴油机是在未压缩的状态下吸入空气，将燃料（轻油）喷射在气缸内，通过压缩热点火的装置，所以怠速时的空燃比大致为 10。因此，CO 浓度与汽油机相比要低得多，一般不会造成 CO 中毒。

但是，柴油机废气中，即使在怠速状态下，氮氧化物 NO_x 的浓度也在 0.022%（220ppm）左右。氮氧化物与 Hb 的化合力约为 CO 的 1000 倍，所以这一浓度是非常危险的。

NO_x 危及生命的基准值或经验值如下。

- ① 0.01%（100ppm）在产业现场暴露 1h 有生命危险。
- ② 0.007%（70ppm）在产业现场为长期暴露的有害极限。
- ③ 0.0025%（25ppm）短期暴露的安全限值。

3. 缺氧

在汽车驾驶室中出现缺氧的状态一般是难以想像的，有时很容易被误解为缺氧，所以有必要介绍一下。

① 1ppm=1×10⁻⁶。

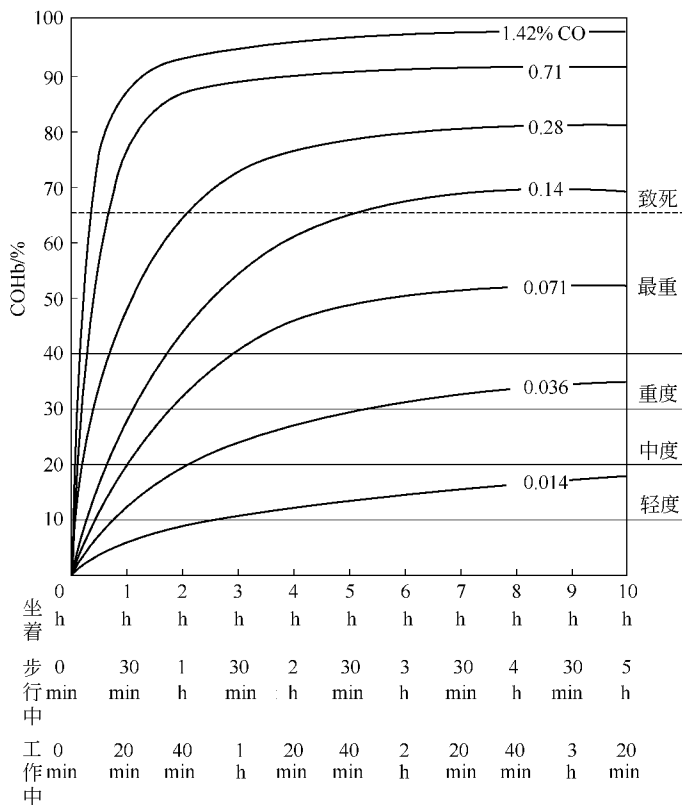


图 8-25 人体 COHb 量与症状的关系
(CO 表示的是大气中的 CO 浓度)

日本各种氧气浓度安全极限值如下：

劳动安全卫生法规	16%
防毒面具 JIS	16%
卫生试验法（日本药学会）	18%
矿山安全诸项规则	19%

氧气浓度在 15% 时，人类一般平安无事；在 14% 以下，呼吸次数会增加；在 10% 左右，会出现呼吸困难；在 10% 以下，会丧

失意识；在 7% 以下，会有生命危险。

〈鉴定例 1〉因过失造成的 CO 中毒死亡

在一个冬天的深夜，一位饮过酒的年轻人，打开暖风之后，在停车中的汽车内假寐时，因 CO 中毒而死亡。在血液中化验出含有超过 60% 的 COHb。

图 8-26 所示为驾驶室内 CO 浓度的时间变化。这是在发动机怠速状态下，连续测量事故车驾驶室内 CO 浓度的结果。A~P 等表示的是改变驾驶室通风状态、驾驶室密封状态、通风环境等条件时的多种实验编号。

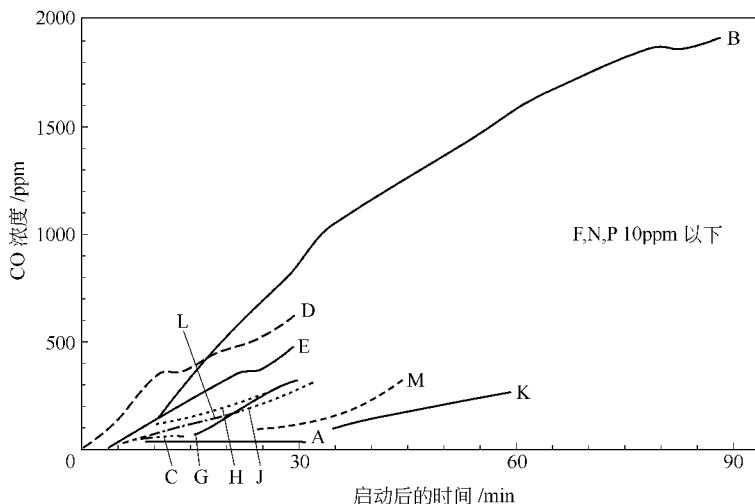


图 8-26 驾驶室内 CO 浓度的时间变化

从结果来看，在无风状态、内部循环的通风条件 B 下，驾驶室内的 CO 浓度在 35min 内达到 0.1% (1000ppm)，1h 内达到 0.15% (1500ppm)。

其死亡原因是因腐蚀而破裂的消声器泄漏出来的废气滞留在底板下，后又侵入到驾驶室内造成的。汽车车身大部分是用点焊焊接的，所以从气密性来说，空隙非常多，滞留在底板下的高浓度废气

会从焊接部的间隙慢慢侵入到驾驶室内。

〈鉴定例 2〉柴油废气造成的 NO 中毒自杀事故

中年男性 N，死在了停在海岸空地上的柴油车中。不知是什么原因，死者在未做血液化验的情况下就埋葬了。好像法医诊断为在密闭的驾驶室内死亡，只能是因缺氧死亡，不会再有其他原因，尸体立即就火化了。死者家属以此为理由，主张是过失死亡事件，而保险公司则认为有自杀嫌疑。

在事故现场的驾驶室内，留有被认为是因导入的废气所留下的（即柴油废气所特有黑烟所污染的）塑料软管、被黑烟熏脏的衬衣、被认为是粘在窗缝的胶带。

虽然事情已基本查明，但为了弄清原因重新做了实验。让一位成年男性坐在与密闭的事故车一样的汽车内，连续测定氧气浓度，发现自然空气的氧浓度仅从 21% 减到 20%，所以绝对不会是缺氧死亡。

那么，N 是怎么死的呢？

N 首先把从排气管出口引出的软管从仅打开一点的车窗玻璃上方的间隙插入到驾驶室内，导入废气。充满废气所需时间约为 10min。胶带是用来堵住车窗玻璃上方的间隙。

随后，N 拆下软管和胶带，关上车窗玻璃，脱下被废气的黑烟弄脏的衬衣，换上在超市上刚买的新衬衣，并把这些东西扔在行李箱内，又钻进充满废气的驾驶室内，放下靠背，仰卧在驾驶席上，等待中毒死亡。

十一、摩托车事故

载有假人的摩托车以 45° 的碰撞角、撞在障壁上时，假人碰撞后的运动轨迹如图 8-27 所示。由于是斜碰撞，所以假人伴有旋转运动。

摩托车翻倒前速度的推断如下。

若已知摩托车从开始翻倒到最终停止位置的距离（翻倒距离）

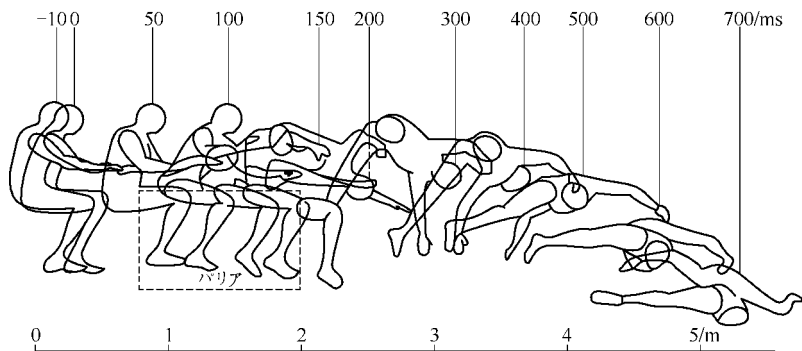


图 8-27 45°碰撞时假人的运动轨迹

(45°障壁，碰撞速度为 48.5km/h)

x ，翻倒开始时的速度即可按下列方法求得。

摩托车的车身和乘员的身体可分别计算，并可以从两方面加以验证。

$$x_1 = vt$$

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

$$x_1 = v\sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mg\mu x_2$$

$$x_2 = \frac{v^2}{2g\mu}$$

$$x = x_1 + x_2 = v\sqrt{\frac{2h}{g}} + \frac{v^2}{2g\mu}$$

故

$$v = \sqrt{2g\mu} \left(\sqrt{h + \frac{x}{\mu}} - \sqrt{h} \right)$$

式中 v ——翻倒开始速度, m/s ;
 m ——摩托车或人体的质量, kg ;
 h ——摩托车或骑手重心的离地高度, m ;
 x ——翻倒距离, m ;
 x_1 ——骑手飞出距离, m ;
 x_2 ——路面滑行距离, m ;
 t ——落下时间, s ;
 μ ——摩托车翻倒的车身或人体在路面上滑行时的摩擦因数。

十二、自行车事故的碰撞速度

轿车撞在装骑假人的自行车上, 研究碰撞速度与自行车的翻倒距离之间关系的各种实验结果如图 8-28 所示。

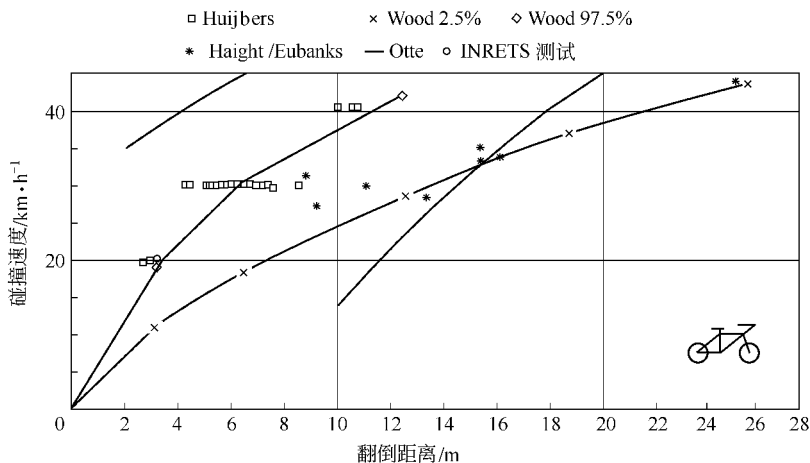


图 8-28 骑有假人的自行车翻倒距离与碰撞速度的实验关系

其中 Wood 的数据是实际发生事故的记录值。

该图显示出其范围为 $\pm 2\delta$ (标准偏差) (在所有事故中上、下 2.5% 之外都介于这两条曲线之间)。

Haight 等的实验数据 (带 * 号) 是轿车撞装骑假人的自行车上

的数值。这与 Wood 的翻倒距离上限的数据大体一致。以这种相对姿势碰撞时翻倒距离最长。

十三、行人事故

在行人事故中（汽车对行人），当然行人受伤的程度要更严重些。交通仲裁的主要问题如下。

- ① 汽车→行人的碰撞速度。
- ② 碰撞地点。
- ③ 对汽车驾驶员来说，躲避碰撞的时间等。

1. 行人碰撞的一般情况

图 8-29 及图 8-30 通过假人实验（成人假人），再现了撞在长头型轿车上的行人身体运动轨迹。

直立的成人行人，首先被前保险杠、接着被车身正面横向撞在下半身上，所以身体会倒向发动机罩；若碰撞速度很高的话，会被抛向发动机罩，把头和上半身重重地摔在发动机罩上，之后，大多数情况下，轿车会紧急制动，由此，行人的身体被抛向前方。

直立的成人身体重心高度，一般在身高的 $1/2$ 处，即 80～90cm 处，轿车保险杠的高度在 50cm 左右，发动机罩前缘的高度一般为 70～80cm。

但是，身高 1.2m 左右的儿童（小学低年级学生），不会被抬起抛向发动机罩，而是被直接撞飞向前方，身高 1m 以下的幼儿，会被撞倒，被汽车碾过的可能性较大。

2. 行人事故的碰撞速度

行人的质量一般相当于汽车质量的 5% 左右，相对很小，当被正面碰撞时，行人会立即加速，达到几乎与碰撞车碰撞速度一样的速度。被撞人因汽车制动，而从发动机罩上呈水平方向抛出，呈抛物线轨迹落在地面上。落地后在路面上滑行，因摩擦功而减速，最后停止（见图 8-31）。

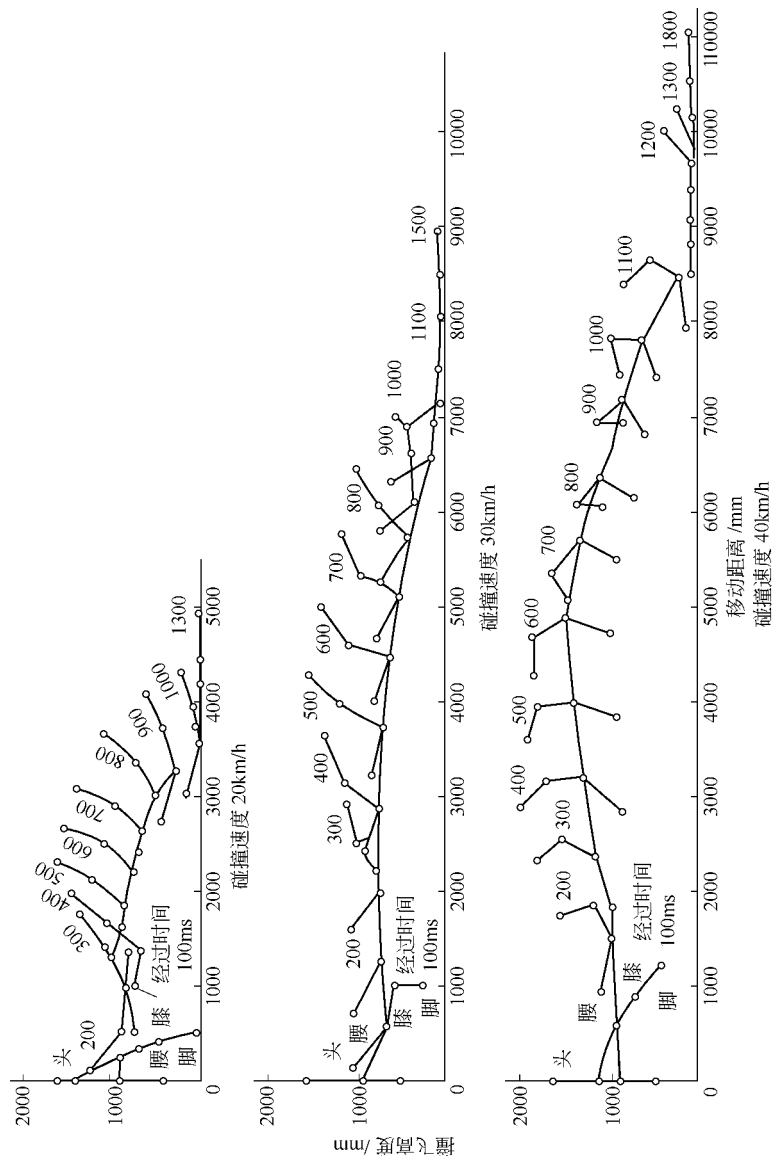


图 8229 撞在轿车上的假人碰撞后的运动轨迹

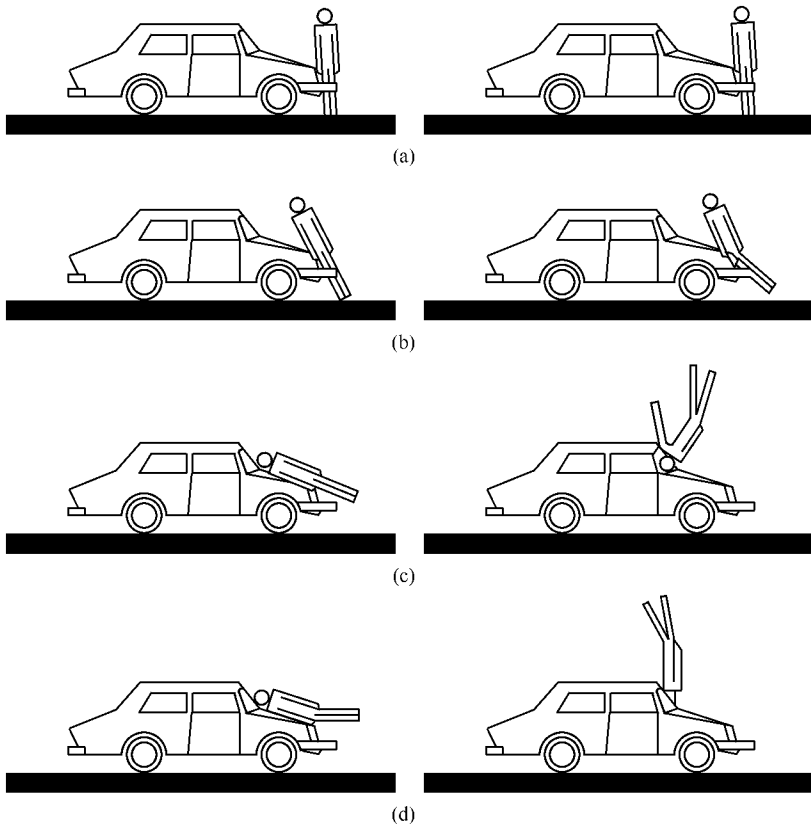


图 8-30 碰撞后行人的运动轨迹

注：1. 左侧的图均为以 42km/h 碰撞——头部只是撞在刚性比较低的发动机罩上，所以头部受伤不太严重。

2. 右侧的图均为以 56km/h 碰撞——头部撞在刚性较高的车架上，所以头部受伤严重。

因此，根据这一关系，有时可以通过行人的翻倒距离推算肇事车辆的碰撞速度。在此设定：

$$x_1 = vt$$

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

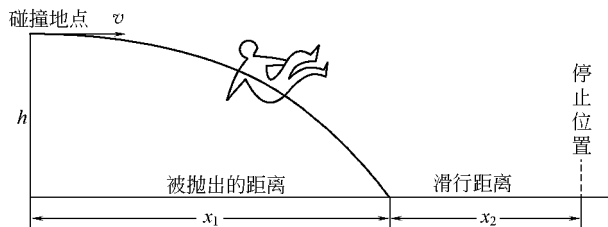


图 8-31 碰撞后行人运动的轨迹

消去 t ，则

$$x_1 = v \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mg\mu x_2$$

$$x_2 = \frac{v^2}{2g\mu}$$

$$x = x_1 + x_2 = v \sqrt{\frac{2h}{g}} + \frac{v^2}{2g\mu}$$

故

$$v = \sqrt{2g\mu} \left(\sqrt{h + \frac{x}{\mu}} - \sqrt{h} \right)$$

式中 v ——汽车的碰撞速度，m/s；

m ——行人的质量，kg；

h ——行人撞飞高度（一般为发动机罩高度 + 躯体半径），m；

x ——翻倒距离，m；

x_1 ——被抛出的距离，m；

x_2 ——路面滑行距离，m；

t ——下落时间，s；

μ ——人体在路面上滑行的摩擦因数。

3. 行人事故碰撞速度的经验公式

通过实验数据可以标绘出轿车碰撞速度与行人（假人）翻倒距

离之间的关系的集约曲线（见图 8-32）。

进一步把 A、B、C、D 4 条曲线集约成曲线（集约曲线）Z，
Z 的经验公式为

$$x = 0.079v + 0.0049v^2 \quad (v \text{ 以 km/h 计的场所})$$

$$x = 0.285v + 0.0636v^2 \quad (v \text{ 以 m/s 计的场所})$$

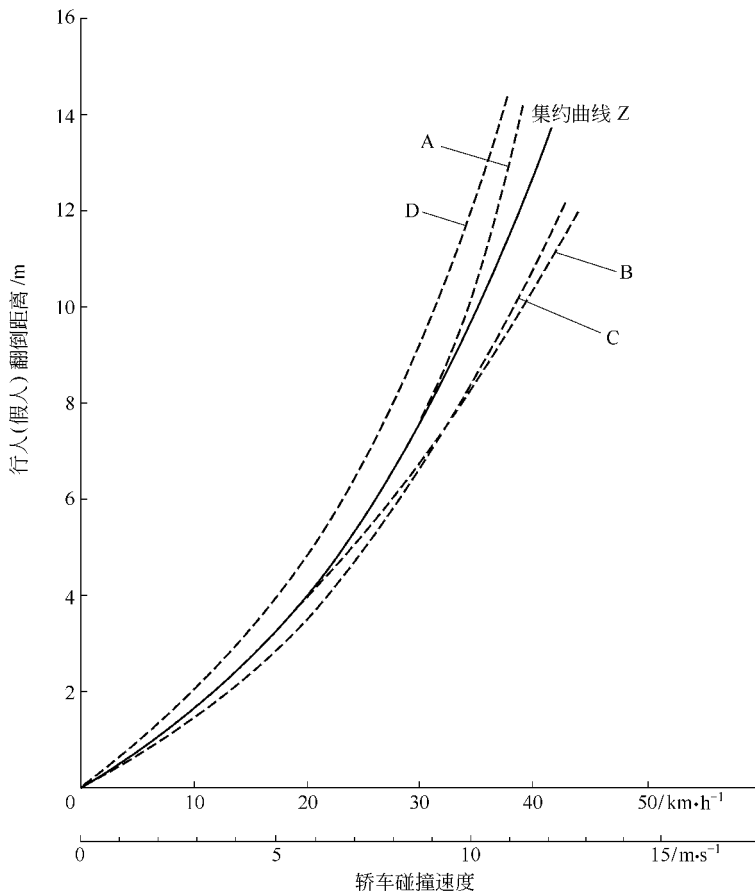


图 8-32 轿车碰撞速度与行人（假人）翻倒距离之间的关系

GIS 在交通安全中的运用

第一节 地理信息系统

1. 地理信息系统定义

地理信息系统 GIS (Geographic Information Systems) 是一种采集、存储、管理、分析、显示与应用地理信息的计算机系统,是分析和处理海量地理数据的通用技术。它在最近的 30 多年内取得了惊人地发展,并广泛地应用于资源调查、环境评估、区域发展规划、公共设施管理、交通安全等领域,成为一个跨学科、多方向的研究领域。

作为一种通用技术,地理信息系统按一种新的方式去组织和使用地理信息,以便更有效地分析和生成新的地理信息;同时,地理信息系统的应用也改变了地理信息分发和交换的方式。因此,地理信息系统提供了一种认识和理解地理信息的新方式,从而使地理信息系统进一步发展成为一门处理空间数据的学科。

2. 地理信息系统的分类和特征

地理信息系统是有关空间数据管理和空间信息分析的计算机系

统。依照其应用领域，地理信息系统可分为土地信息系统、资源管理信息系统、地学信息系统等；根据其使用的数据模型，可分为矢量、栅格和混合型信息系统；根据其服务对象，可分为专题信息系统和区域信息系统。

与一般的管理信息系统相比，GIS 具有以下特征。

(1) GIS 在分析处理问题中使用了空间数据与属性数据，并通过数据库管理系统将两者联系在一起共同管理、分析和应用，从而提供了认识地理现象的一种新的思维方法；而管理信息系统则只有属性数据库的管理，即使存储了图形，也往往以文件形式等机械形式存储，不能进行有关空间数据的操作，如空间查询、检索、相邻分析等，更无法进行复杂的空间分析。

(2) GIS 强调空间分析，通过利用空间解析式模型来分析空间数据，地理信息系统的成功应用依赖于空间分析模型的研究与设计。

(3) GIS 的成功应用不仅取决于技术体系，而且依靠一定的组织体系（包括实施组成，系统管理员、技术操作员、系统开发设计者等）。

(4) 虽然信息技术对 GIS 的发展起着重要的作用。但是，实践证明，人的因素在 GIS 的发展过程中越来越具有重要的影响作用，GIS 许多的应用问题已经超出技术领域的范畴。

3. 地理信息系统的组成

一个典型的地理信息系统应包括三个基本部分：计算机系统（硬件、软件）、地理数据库系统、应用人员与组织机构（见图 9-1）。

(1) 计算机系统

计算机系统又可分为硬件系统和软件系统。地理信息系统的硬件部分包括执行程序中央处理器，保存数据和程序的存储设备，用于数据输入、显示和输出的外围设备等。其中大多数硬件是计算机技术的通用设备，而有些设备则在地理信息系统中得到了广泛应

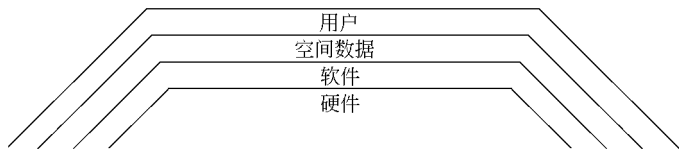


图 9-1 地理信息系统的组成

用，如数字化仪、扫描仪等。地理信息系统的硬件系统正朝着低价位且快速的方向发展。计算机外设和 GIS 外设如图 9-2 所示。

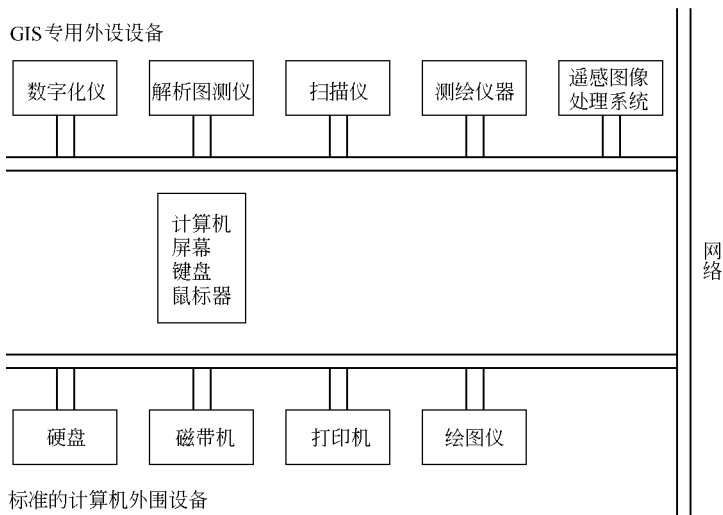


图 9-2 计算机外设和 GIS 外设

GIS 的软件系统由核心软件和应用软件组成。其中核心软件包括数据处理、管理、地图显示和空间分析等部分，而特殊的应用软件包则紧紧地与核心模块相连，并面向一些特殊的应用问题，如网络分析、数字地形模型分析等。一般说来，按照 GIS 对数据进行采集、加工、管理、分析和表达，可将 GIS 基础软件分为五大子系统，即数据输入与转换、图形与文本编辑、数据存储与管理、空间查询与空间分析以及空间数据可视化与输出。GIS 软件包功能结

构如图 9-3 所示。

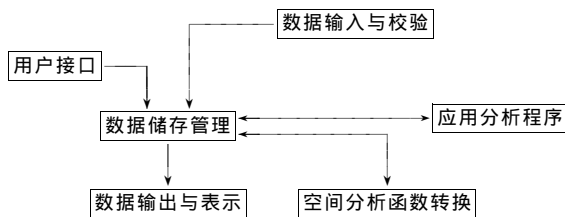


图 9-3 GIS 软件包功能结构

(2) 地理数据库系统

GIS 的地理数据分为几何数据和属性数据。它们的数据表达可以采用栅格和矢量两种形式，几何数据表现了地理空间实体的位置、大小、形状、方向以及拓扑几何关系。

地理数据库系统由数据库实体和地理数据库管理系统组成。地理数据库管理系统主要用于数据维护、操作和查询检索。地理数据库是地理信息系统应用项目重要的资源与基础，它的建立和维护是一项非常复杂的工作，涉及到许多步骤，需要技术和经验，需要投入高强度的人力与开发资金，是地理信息系统应用项目开展的瓶颈技术之一。

从系统中数据处理看，GIS 是由数据输入子系统、数据存储与检索子系统、数据处理与分析子系统和输出子系统组成。

- ① 数据输入子系统，负责数据的采集、预处理和数据转换等。
- ② 数据存储与检索子系统，负责组织和管理数据库中的数据，以便于数据查询与编辑处理。
- ③ 数据处理与分析子系统，负责对系统中所存储的数据进行各种分析计算，如数据的集成与分析、参数估计、空间拓扑叠加、网络分析等。
- ④ 输出子系统，以表格、图形或地图的形式将数据库的内容或系统分析的结果以屏幕显示或硬件拷贝方式输出。

(3) 地理信息系统的应用人员和组织机构

人是 GIS 中的重要构成因素。GIS 不同于一幅地图，而是一个动态的地理模型。仅有系统软硬件和数据还不能构成完整的地理信息系统，需要人进行系统组织、管理、维护和数据更新、系统扩充完善、应用程序开发，并灵活采用地理分析模型提取多种信息，为研究和决策服务。对于合格的系统设计、运行和使用来说，地理信息系统专业人员是地理信息系统应用的关键，而强有力的组织是系统运行的保障。一个周密规划的地理信息系统项目应包括负责系统设计和执行的项目经理、信息管理的技术人员、系统用户化的应用工程师以及最终运行系统的用户。

4. 地理系统的功能

作为地理信息自动处理与分析系统，地理系统的功能遍历数据采集、分析、决策、应用的全部过程，并能回答和解决以下五类问题。

(1) 位置

即在某个地方有什么的问题。位置可表示为地方名、邮政编码、地理坐标等。

(2) 条件

即符合某些条件的实体在哪里的的问题。例如在某个地区寻找面积不小于 1000m^2 的不被植被覆盖的，且地下条件适合于大型建筑的区域。

(3) 趋势

即某个地方发生的某个事件及其随时间的变化过程。

(4) 模式

即某个地方存在的空间实体的分布模式的问题。模式分析揭示了地理实体之间的空间关系。

(5) 模拟

即某个地方如果具备某种条件会发生什么问题。地理信息系统的模拟是基于模型的分析。

由于地理信息系统发展的多源性，其功能具有可扩充性以及应用的广泛性。Mauguire 等按照地理信息系统中数据流程，将地理信息系统的功能分为以下 5 类 10 种：

- ① 采集、检验与编辑。
- ② 格式化、转换、概化。
- ③ 存储与组织。
- ④ 分析。
- ⑤ 显示。

在分析功能中，把空间分析与模型分析功能称为地理信息系统高级功能。

地理信息系统的基本功能如下。

（1）数据采集、检验与编辑

主要用于获取数据，保证地理信息系统数据库中的数据在内容与空间上的完整性（即所谓的无缝数据库，Seamless Database）、数据值逻辑一致、无错等。一般而论，地理信息系统数据库的建设占整个系统建设投资的 70% 或更多，并且这种比例在最近不会有明显的改变。为此，信息共享与自动化数据输入成为地理信息系统研究的重要内容。目前可用于地理信息系统数据采集的方法与技术很多，有些仅用于地理信息系统，如手扶跟踪数字化仪，而自动化扫描输入与遥感数据的集成最为人们所关注。扫描技术的应用与改进是一个富有挑战性的问题，扫描数据的自动化编辑与处理仍是地理信息系统主要研究的技术关键。

（2）数据格式化、转换、概化

通常称为数据操作。数据的格式化是指不同数据结构的数据间变换，是种耗时、易错、需要计算量的工作，应尽可能避免。

数据转换包括数据格式转化、数据比例尺的变换。在数据格式的转换方式上，矢量到栅格的转换要比其逆运算快速、简单。数据比例尺的变换涉及到数据比例尺缩放、平移、旋转等方面。其中最为重要的是投影变换。许多软件系统都对常见的投影进行定义、如

ARC/INFO 定义了几十种投影方式。由于我国多采用高斯-克吕格投影,而这种投影在一般的地理信息系统软件中未给予定义,因此在使用一些软件时,需要重新定义高斯-克吕格投影及与其他投影的变换关系。

数据概化包括数据平滑、特征集结等。目前地理信息系统所提供的数据库功能极弱,与地图综合的要求还有很大差距,需要进一步发展。

(3) 数据的存储与组织

这是一个数据集成的过程,也是建立地理信息系统数据库的关键步骤,涉及到空间数据和属性数据的组织。栅格模型、矢量模型或栅格/矢量混合模型是常用的空间数据组织方法。空间数据结构的选择在一定程度上决定了系统所能执行的数据与分析的功能。混合型数据结构利用了矢量与栅格数据结构的优点,为许多成功的地理信息系统软件所采用。目前,属性数据的组织方式有层次结构、网络结构与关系数据库管理系统等,其中关系型数据库系统是目前应用最为广泛的数据库系统。

(4) 查询、检索、统计、计算功能

查询、统计、计算是地理信息系统以及许多其他自动化地理数据处理系统应具备的最基本的分析功能。

(5) 空间分析

空间分析是地理信息系统的核心功能,也是地理信息系统与其他计算机系统的根本区别。模型分析指在地理信息系统支持下,分析和解决问题的方法体现,它是地理信息系统应用深化的重要标志。

(6) 显示

地理信息系统为用户提供了许多用于显示地理数据的工具,其表达形式既可以是计算机屏幕显示,也可以是诸如报告、表格、地图等硬拷贝图件,尤其要强调的是地理信息系统的地图输出功能。一个好的地理信息系统应能提供一种良好的、交互式的

制图环境。以供地理信息系统的用户能够设计和制作出具有高品质的地图。

第二节 交通地理信息系统

交通地理信息系统 (Geographic Information System for Transportation, 简称 GIS-T) 是收集、存储、管理、综合分析和处理空间信息和交通信息的计算机软硬件系统, 是 GIS 技术在交通领域的延伸, 是 GIS 与多种交通信息分析和处理技术的集成。

1. 国内外发展现状

GIS-T 技术在国外发展得很快。在欧美等发达国家, 各地方交通部门纷纷采用 GIS-T 技术建立了交通管理系统、出行信息系统、商业车辆运行系统、车辆自动定位系统及车辆自动识别系统等, 并尝试通过 Internet 实时发布交通信息。在日本, 以丰田公司为首的各大汽车公司与交通部门通力合作, 已制定了完善的数字交通信息通讯协议, 在全球率先建立了全数字化交通信息台, 通过广播电台实时发布城市交通信息, 且与之配套的车载交通信息系统可实时接收发布的数字交通信息, 并将其反映在计算机屏幕上, 可自动完成涉及实时交通流的车辆自动导航。

GIS 技术在我国已有 10 年的发展历史, 在资源、环境、测绘、城建等领域取得了很大的进展。但 GIS 在交通领域的应用, 还只限于公路数据库的建立与管理, 在城市交通领域, 也只限于其静态的路段查询及检索。近几年, 随着 GPS 技术的广泛推广与应用, GIS/GPS 集成技术支持下的车辆导航与监控应用已经在我国得到了一定地发展, 但其中存在一个很大的问题, 就是静态的 GIS 数据库不能反映实时变化的交通网络的动态特征。

2. 交通地理信息系统的主要功能

(1) 基本功能

基本功能用于编辑、显示和测量图层，主要包括对空间和属性数据的输入、存储、编辑以及制图和空间分析等功能。编辑功能允许用户添加和删除点、线、面或改变它们的属性，综合制图功能可以灵活多样的制作和显示地图，分层输出专题地图，如交通规划图、国道图等，显示地理要素、技术数据，并可放大缩小以显示不同的细节层次。测量功能用于测定地图上线段的长度或指定区域的面积。

(2) 叠加功能

叠加功能允许两幅或更多图层在空间上比较地图要素和属性，分为合成叠加和统计叠加。合成叠加得到一个新图层，它将显示原图层的全部特征，交叉的特征区域仅显示共同特征；统计叠加的目的是统计一种要素在另一种要素中的分布特征。

(3) 动态分段

动态分段功能将地图网络中的连线根据其属性将特征相近的连线分段。分段是动态进行的，因为它与当前连线的属性相对应，如果属性改变了，动态分段将创建一组新的分段。动态分段引入 GIS-T 的软件是为了分析以线为基础的运输系统的属性，如路面管理中，路网图将以路面铺装采用沥青或混凝土来“自动分段”，以便每种类型的路面含在同一个组中，如果因为需要采用路面类型和车道数这两种属性进行分段，那么每类路面中车道数相同的又自动形成一组。

(4) 地形分析

地形分析功能主要通过数字地形模型（DTM），以离散分布的平面点来模拟连续分布的地形，为道路设计创建一个三维地表模型，这在道路设计中是十分需要的。实际的道路设计采用另一软件在导入 GIS 的三维地模后进行，然后将设计的结果再导入 GIS 中，以便将来分析。

(5) 栅格显示功能

栅格显示功能允许 GIS 包含图片和其他影像,并可对这些图片对应的属性数据进行叠加分析,从而对图层进行更新。如可以通过添加新特征建筑像桥梁和交叉口以及更正线型等,对原有的道路图层进行更新。对带状(或多边)图层进行叠加,可以标出土地的用途和其他属性。

(6) 路径优化功能

最短时间路径分析模型在运输需求模型中已经使用了很多年。集成化的 GIS-T 将具有这一功能,而无须与其他软件创建链接。当然随着 GIS-T 功能的完善,将来与其他软件如运输需求规划模型和道路设计软件的链接是必须的。

综上所述,空间分析是地理信息系统软件的核心,叠加分析、地形分析和最短时间途径优化功能为交通地理信息系统软件空间分析提供了强大的工具和广阔的应用空间。随着这些功能和其他功能的完善和发展,交通地理信息系统为交通各部门提供了一个功能强大的空间信息服务和管理工具。

3. GIS-T 的主要应用

GIS-T 可以存储、管理和更新城市交通网络的空间数据库,辅助城市交通线路规划,为交通管理、车辆的人工及智能导航、客货运输调度及居民出行等提供有效的技术支持。在智能运输系统(ITS)所包含的 6 个高级交通系统中,有 4 个与 GIS-T 支持下的交通网络分析直接相关。由此可见,GIS-T 在 ITS 中占有举足轻重的地位,其应用主要有以下几个方面。

(1) 交通信息管理与发布

交通信息的特点是具有极高的时效性和具有空间位置。当前,交通信息在获取、管理、分析、发布上均不能满足用户的需求,具体表现在数据获取不及时,数据管理不系统,数据分析不深入,信息发布不及时以及不具有可视效果等。而采用 GIS 技术可通过先进的数据采集手段和数据库与网络技术、空间分析技术,对相关信

息进行分析和辅助决策,就能很好地解决上述问题,从而可指导交通有序进行。在交通信息的发布上,GIS-T可及时将交通拥挤情况、交通量、交通事故、交通环境、交通管制等信息传送到该区域内行驶车辆的接受终端上,并显示在显示屏上,同时计算出最佳行车路线。

(2) 交通在线多媒体黄页

在线多媒体黄页指的是在网络上为公众提供多种信息服务的商业网页。可以将交通信息放到WWW服务器上,远程用户可以通过因特网利用WWW浏览器查询道路基本信息(如道路名称、技术等级分布、交通流量等),还可获取道路网上不同地点之间的最佳路径和里程等。网络GIS技术作为网站后台管理平台和远程用户与交通服务网页交互的界面,是通过以“数字地球”框架体系建立起来的多分辨率地球信息模型作为在线多媒体黄页的后台支持;再按照不同分辨率的要求,把道路信息叠加到基本地球信息模型上;最后通过多维显式方式在在线多媒体黄页上显示出叠加有道路信息的“虚拟地球体”,并把它作为远程用户与“数字地球”信息系统的公用交互界面。

(3) 地面交通管理

GIS-T技术可以将有关公路的状况、交通流量、沿线环境等空间和属性信息以图文并茂的形式显示出来,使管理者对公路信息一目了然。GIS-T应用于地面交通管理,具体有以下作用。

① 查询空间信息,如某个立交桥、检查站、加油站的坐标位置。

② 查询时间信息,如某辆车某一时刻处于什么位置及某时某地的车流量等。

③ 查询沿线环境、居民分布情况、路面技术等级属性等信息。

④ 根据系统所具有的空间关系进行几何空间上的拓扑查询。

除了提供有用的交通信息外,GIS-T技术还有助于实施交通组织运营,具体实例如下。

① 车载电子导航系统将小型显示器装到驾驶室内，随着车辆的行驶，在电子交通图上可实时地显示车辆的当前位置、运动轨迹、目的地方向和距离等，为司机提供交通网络全局或局部的信息。

② 对于发生的交通阻塞和其他交通事故，一方面可通过监控系统对现场扫描和记录，通知管理部门及时赶到现场，另一方面可通过通讯系统通知司机绕行出事地点。

③ 在 GIS-T 系统内，只要输入起点和终点，系统就会自动找出两点之间的最佳运输路线并提供沿路几天内的天气变化情况和日常车流量大小，直接帮助运输部门做出决策，既优化了路径选择又合理安排了时间，并将经费和成本降到了最低点。

④ 结合车辆监测、环境监控等资料实施交通管理，制定长远规划。

第三节 GIS-T 在交通安全中的应用

GIS-T 在交通安全方面的应用还是一个新的领域，多功能完全自动化的系统尚未建成，这里仅从面上对 GIS-T 在交通安全方面的应用做如下介绍。交通安全 GIS 的框架结构如图 9-4 所示。

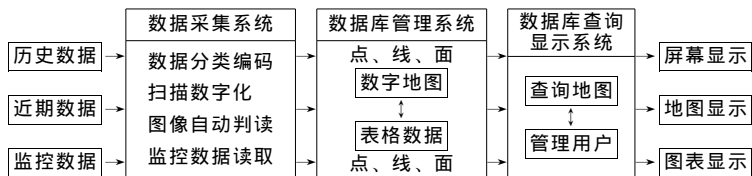


图 9-4 交通安全 GIS 的框架结构

一、GIS-T 在交通安全中的应用

1. 交通事故的全面分析

随着车辆越来越多、车速又高，交通事故时有发生。交通事故的发生是否具有某些规律，能否科学预防是交通管理部门最关心的问题。利用 GIS-T 对交通事故进行分析，就是将过去已发生事故的时间、地点、方式等进行分类和比较，找出事故发生较为频繁的时间、地点及主要原因等，从而采取相应的措施以减少类似事故的发生。当然，这一切是要有一个完善的数据库作为前提，数据库中应存储每一起交通事故的详细资料，包括事故发生的地点、时间、原因、双方司机及乘客的年龄、性别，双方的车辆牌照、型号、车辆行驶速度、道路状况、天气情况、车辆碰撞的方式、程度、有无人员伤亡、司机是否酒后驾车等，通过数据库中这些资料对事故进行全面的分析。有了完善的数据库，可利用 GIS-T 的查询功能对交通事故进行分类查询，从而发现问题所在。

若按事故发生地点进行查询时，根据事故点的密集程度判断某一地区为事故多发区，就应重点考察这一地区所有交通事故的原因，看是否能从中找出共同点。如果发现多数事故都是由于行人横穿公路而造成的，那就应该采取措施，例如限制车辆行驶速度或增加标志牌，以提醒司机这一地区经常有行人过往等，以避免类似事故的再次发生。如果在对几个相邻十字路口的事故率进行查询时，其中一个的事故率明显高于其他，就应统计这个十字路口各方向交通量以确定是否调整信号灯和车道设置，或者考虑增设人行天桥等。在查询雨天的事故情况时，某一路段的数据明显高于其他路段，就可能是该路面的抗滑性能已经不能满足要求，需要尽快予以修复。

由此可见，通过对交通事故从不同角度的综合分析可以帮助人们发现问题，从而对症下药。为了能更全面地进行分析，不仅需要每一起交通事故本身的数据，还需要许多相关的信息，如当地的气象资料、地质资料、人口密度及分布情况、道路的设计资料、河流分布等。而这些资料可能存储在不同部门不同类型的数据库中，GIS 的软件如 Geomedia 可同时访问 Access、MGE、Oracle 等几种

不同类型的数据库，并将信息显示在同一张数字地图上。

2. 选择最佳行车路线

出行时人们习惯于挑选路程最短的路线，这往往不是最佳选择，因为交通堵塞或事故往往会影影响旅行。如果有一个交通安全的 GIS，它就可帮助人们选择最佳行车路线，避免交通堵塞和交通事故。另外，GIS-T 可以根据用户指定的起讫地提供几种可选方案，并根据数据库中的信息动态计算路程及所需时间，在地图上显示出每一路线的行车环境、事故多发区等，这样人们就能够更科学地安排自己的行程，提高行车舒适性和安全性，从宏观角度来看，对整个交通流的控制也达到了优化的目的。

GIS-T 还能够为公共交通选择线路。目前，造成交通阻塞及交通事故的主要原因是交通量越来越大，公共交通工具如公共汽车及地铁等的使用是解决办法之一。但由于个人拥有汽车数量日益增加，如美国总人口 2 亿 6 千多万，而各种机动车辆就高达 2 亿 1 千多万辆，几乎每人一辆车，在这种情况下推行公共交通是不太容易的，只有通过增加其便利性来吸引乘客，合理安排公共汽车的线路及停靠站点。通过对 GIS-T 数据库中人口分布信息地查询，在 GIS-T 数字地图上标注不同人口密度的办公区、商业区、旅游区及住宅区的分布情况，以此来设置公共汽车的行使路线及停靠站点，尽量搭载更多的乘客，从而缓解交通压力，减少不安全因素。

3. 合理安排路网的管养计划

GIS-T 可以帮助安排路网的管养计划，从而保证道路的安全畅通。道路的状况被动态地存储在 GIS-T 的数据库中，当其不能满足行车要求时，应该及时采取措施以保证行车的安全和舒适。但问题是往往在资金有限的情况下，几条道路都需要维修，应先维修哪一条？这时，应该从道路的损坏程度、交通量、事故率、维修费用、时间等几个方面来考虑，应首先选择交通量大、事故率高、损坏程度严重而又需要较少的资金、较短工期的路段。那么，这么多

的因素如何同时兼顾，GIS-T 可将所有因素划分为不同的等级，并以颜色的深浅程度予以区分，最后将结果叠加在 GIS-T 数字地图上，颜色最深的路段就是应该首先修复的路段。而一旦确定了维修道路的计划，又可将信息输入 GIS-T 数据库，通过互联网等途径告诉人们哪条道路在什么时间要进行怎样的修复工程，道路会不会封闭，如果要封闭，怎样绕行等。另外，GIS-T 可以实现道路管理者和使用者之间的沟通，使两者共同对道路的安全监督和负责。例如，交通部门可以对过往的司机和乘客进行调查，以便掌握他们对行车安全感、行车舒适性等的满意程度。这些信息被存储在 GIS-T 的数据库中。管理人员通过对这些数据的查询，及时发现不安全因素，如车道太窄、夜间照明不好、交通标志不明确等，从而予以改善。

4. 结合实时监控确保交通安全

GIS-T 还可与全球定位系统（GPS）相结合应用于交通安全领域，如弗吉尼亚州的交通部门，在冬天大雪封路时利用安装在铲雪车上的 GPS 装置来指挥，及时铲除积雪和向地面上撒盐。这样的小型无线装置每隔 20s 向指挥中心发送它的经度和纬度以确定它的位置，而指挥中心则根据 GIS-T 监控系统提供的动态信息，来指示铲雪车的行进路线及撒盐的数量，确保路面积雪被及时清除。GPS 还可以被安装在其他的车辆如救护车上，GIS-T 监控中心根据其所在的位置，迅速找出通往医院的最佳路线。GIS-T 还有一套完善的数据采集系统，它同时也是安全监测设备，如安装在十字路口的数字摄像机，用它来自动采集交通量，同时记录交通违章情况。它们与计算机相连可自动将数据输入 GIS-T 数据库，并同时显示在监控中心的大屏幕监视器上。任何违章行为都会被记录在案，对交通安全起到了积极的监督作用。

5. 事故现场的定位

一旦发生了一起严重的交通事故，我们都希望安全系统能尽可

能快地做出反应。如果有人拨通事故电话，此系统即开始运行。近年来，随着无线通讯事业的发展，手机已越来越普遍地用于报告交通事故。这固然是社会的一大进步，但同时也带来了许多问题。目前，大约 1/3 的报警电话来自于手机。它的好处是显而易见的。当急救人员还未能到达现场时，即可方便地指导周围的旁观者正确地照顾伤员。但手机报警的最大缺陷就是难以确定事故发生的确切位置。而“定位”是急救行动的最为关键的因素之一。

因此国家无线通讯系统在考虑保护个人隐私的同时，也应考虑在必要的情况下提供手机用户的地理位置。

手机报警的另一个问题是重复报警率极高。随着手机拥有量的增加，大约 25% 的报警电话所报的是同一事故。如何鉴别重复报警电话是另一个急需解决的技术问题。然而在大多数情况下，恶性交通事故的现场通常并没有其他的旁观者。这种情况下，交通事故自动定位系统（见图 9-5）依然是 ITS 公共安全计划的优先考虑事项。

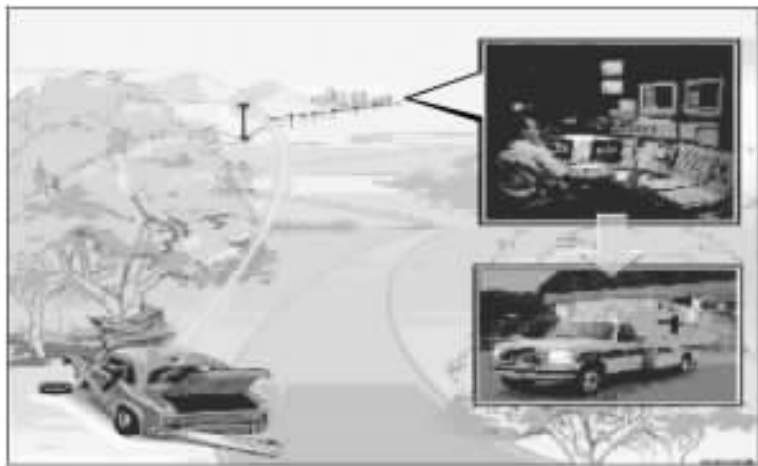


图 9-5 先进的信息技术在事故定位技术上的运用

目前,国外已经出现了一些系统化报警设施。例如将装有报警系统的车辆与私营应急电话中心连接起来。在必要的情况下,接线员就将电话接往急救中心。这种报警系统通常由车内的气囊或应急按钮来激活。国外许多大汽车公司现在可以提供这种报警系统。如通用汽车公司最先于1988年安装了Onstar报警系统,目前订户已超过300000户。通用汽车公司预计,在今后的3~4年内,Onstar的订户将会达到几个亿。ATX Technologies也向各大汽车公司如尼桑、马自达等提供此类报警系统。

事故自动定位系统(ACN)能够提供更进一步的信息。一旦了解了事故严重程度,急救人员就能初步判定伤亡情况。如受伤的严重程度及受伤的性质,并能估计到急救过程中将会遇到的问题及障碍。

建立国家急救反应中心(NMRT)是ITS公共安全系统的一个重要组成部分。它将把报警系统、当前与未来的事故报警系统以及急救系统三部分整合起来。

二、交通安全 GIS 系统设计

交通安全 GIS 系统主要涉及到如下两个部分。

1. 开发和运行的平台

开发和运行的平台即GIS地图部分,该部分的主要功能是为交通安全分析、决策和预测提供城市空间地理信息:基于车道的交通基础设施信息,包括路面质量、路面宽度、车道数、人行道宽度、自行车道宽度、交通标志、标线,护栏等与交通事故产生有关的因素;交叉口信息主要包括交叉口类型、交叉道路数目、交通控制信息等。这些信息被存储于与之相关联的表中,以便查询,并可进行实时动态更新。

2. 交通安全本身所涉及的内容

如何通过GIS的强大功能(如图形叠置、缓冲分析等),将这两部分内容整合在一起,得到基于城市综合地理信息的交通安

全分析、决策和预测系统则是本系统开发的主要目的。根据这一目的和功能要求，这里设计了城市交通安全的 GIS，内容如图 9-6 所示，在该系统中，主要包括 3 个部分：城市地理信息 GIS 地图、交通事故数据库和管理、交通事故影响因素数据库及其管理。

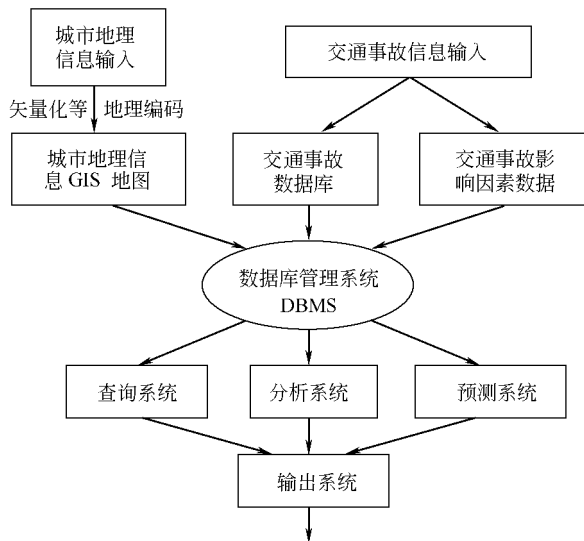


图 9-6 交通安全 GIS 图

（一）交通事故数据库

GIS-T 的核心是存储在数据库中被用来分析的信息。交通事故信息主要可从交通管理部门获得。在获得交通事故发生数量的同时，也需对每次发生事故的属性进行记录，这些属性主要有：碰撞地点、时间、类型、方向和严重程度等。

交通事故档案全部、客观地记载着交通事故的全过程，是分析交通事故的原始素材。交通事故档案主要有：交通事故登记表、交通事故统计表、交通事故月报表、交通死亡事故情况分析表和城市纠正交通违章统计月报表等。这些表格预先都由专门部门（国家交

通部、公安部)精心设计成固定格式。在获得这些原始数据后,根据统一的标准进行转换,输入 GIS-T 交通事故数据库。由于一般的层次或关系数据库模型在表达空间数据方面有一定的缺陷,这里采用面向对象的数据模型(OODB),它将位置坐标、图形数据和属性数据统一在同一个独立的对象中(每一次交通事故为一个对象),其组成结构如图 9-7 所示。

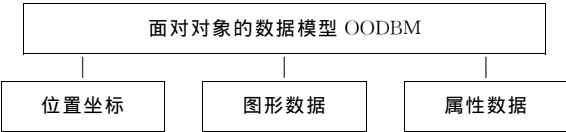


图 9-7 面向对象的数据模型组成结构

交通事故数据库字段属性见表 9-1。以下对与交通事故数据库中内容对象有关的几个重要属性进行说明。

1. 发生地点

这一属性建立了交通事故与地图的联系,以相邻结点间路段为参照系,通过地图上找到所在地坐标而实现。将某一段时间内发生的交通事故次数存放于一专题地图(Thematic Map)中,这样通过颜色的深浅或点数的疏密就可以直观形象地考察道路网各个路段和交叉口的交通事故统计情况,为分析决策提供支持。

表 9-1 交通事故数据库字段属性

字 段 名	字段属性	说 明
事故记录 ID	数字型	自动编号,无重复索引
地点	坐标 <i>x</i> 坐标 <i>y</i>	数字型 数字型 以路段为参考系
时间	时间型	精确到某一时刻
类型	字符型	分 5 种类型
方向	字符型	分 8 种类型
严重程度	字符型	分轻、中、重 3 种程度

2. 类型

交通事故主要形式为刮擦和碰撞，其中碰撞产生后果更为严重，碰撞包括车辆碰撞和车人碰撞，考虑到城市交通事故的特点，可将这两类碰撞细分为图 9-8 所示的几种。

3. 方向

主要考虑机动车间的碰撞和刮擦，方向包括：正面碰撞、迎头相撞、侧面相撞、追尾相撞、左转弯相撞和右转弯相撞以及会车刮擦和超车刮擦。

4. 事故严重程度

可根据伤亡人员数目和经济损失分等级。同样可将这一属性设为专题变量制成一专题地图，反映交通网各路段不同的事故严重程度，用于交通安全分析和决策。

(二) 交通事故影响因素数据库

影响交通事故的因素众多，涉及包括经济、政治、教育、工程在内的许多宏观方面，考虑到这些数据获取工作量和难度，这里对数据收集和分析不作展开，只考虑交通工程本身的一些因素。交通事故影响因素数据库的内容主要有如下几种。

- ① 人的状态。如视力状态、心理状态等。
- ② 车辆状况。如车辆行驶特性，车辆故障等。
- ③ 路况。如线形，路面平整度，抗滑性能等。
- ④ 环境条件。如气候、温度、湿度等。
- ⑤ 交通状态。如交通流等。

其中①和②与事故所涉及的车辆（包括驾驶员在内）有关，其余 3 项则是一些客观的因素，比较容易进行数据采集、输入、查询和定量定性评价。表 9-2 给出了交通事故影响因素字段属性。

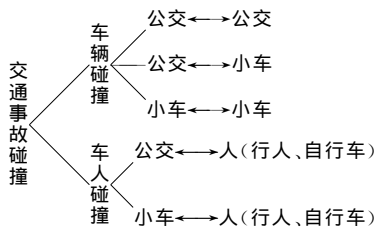


图 9-8 城市主要交通事故的碰撞分类

表 9-2 交通事故影响因素字段属性

字 段 名	字段属性	说 明
人的状态	字符型	主要涉及驾驶员
车辆状况	字符型	肇事车辆性能检测
路况	字符型	道路属性
环境条件	字符型	
交通流	数字型	主要由机动车构成

（三）交通事故评价分析

交通事故分析的目的主要有如下几点。

- ① 为了确保交通安全、减少交通事故而取得技术基础资料。
- ② 根据分析结论，改善交通环境。
- ③ 有针对性地对交通元素中的人进行教育。
- ④ 为采取行政、技术、教育方面的措施提供依据。

利用 GIS 软件强大的处理空间数据的功能，通过两个层次对交通事故进行评价分析。一是对交通事故影响因素数据进行评价时使用 GIS 软件的统计功能，可非常方便地得到交通事故与每个影响因素间的统计关系，主要包括事故与上述几种因素的关系，虽然西方有些国家（如德国、法国、美国）在这方面的研究中给出了典型的事故与相应因素的关系图，但这仅仅是他们各自国家的一个统计结果，对于不同时间，特别是在不同国家、不同城市的交通水平下，交通事故与因素之间的关系是不确定的，所以，对某一特定城市有必要提出符合其自身特点的事故与因素之间的关系，从而为事故现状的分析和改进对策提供及时有力地支持。具体操作时，只需对被打开表的一个数值列（该存放的是某一因素的空间数据）进行统计分析，根据需要可得到形象直观的统计图。第二层次是考察交通事故影响因素与事故类型、严重程度的关系。这一分析功能的实现主要应用了 GIS 软件的图层叠置原理。例如在考察事故影响因素与严重程度的关系时，可将某一影响因素图层（如交通流）与某一严重程度图层（如追尾）进行叠加，从而可以在 GIS 地图上形

象地看出原因（交通流）与结果（追尾事故）的关系。

（四）交通事故预测

交通事故预测是对未来有可能发生的事故做出估计，分析未来事故的危险程度和发展趋势，以便能及早采取措施进行防治，本系统利用 GIS 的可二次开发性，建立预测模型，直接调用交通事故空间数据，根据不同的需要对其进行预测。预测数学模型可选择传统的线性回归预测法或非线性的神经网络预测技术。

三、GIS-T INTERFACE 简介

GIS-T INTERFACE 是一套基于 Microsoft 公司 VisualBasic 6.0 开发语言、MapInfo 公司 MapX 控件和 GIS 开发的交通网络处理软件。它提供了在 emme/2、Trips 等专业软件与 MapInfo 表之间转换数据格式的功能，从而可以充分利用 MapX 在矢量地图编辑、数据管理等方面的强大功能，弥补传统专业软件的相应不足。软件界面图如图 9-9 所示。



图 9-9 软件界面图

GIS-T INTERFACE 的主要功能是用可视化的方式建立完整的交通网络结构和其他辅助信息，将包含地理信息的 MapInfo 表转换为传统专业软件特定格式的文件，将 MapInfo 表自由导出为

普通文本文件。具体功能如下。

1. 项目建立功能

在项目建立中提供两个选项：“新建路网”选项可以根据你的需要创建一个全新的道路网络图；“导入路网”选项可以让你导入已有的道路网络图（如可以导入由 emme/2、Trips 等软件创建的交通网络数据）。

值得注意的是，在建立路网前，需要添加配准好坐标的栅格图层作为底图绘制道路网络图（见图 9-10）。

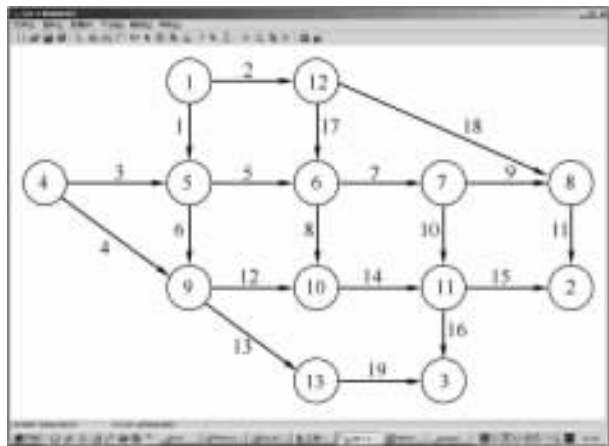


图 9-10 栅格图层

在建立路网过程中，需要新建节点和新建路段。新建节点时可以选择小区形心点和非小区形心点两种节点类型，并且要考虑交叉口类型；新建路段时可以选择路段类型、车道数及路段模式等。

2. 数据导入功能

GIS-T INTERFACE 可以导入已有道路网络图的节点数据、路段数据（见图 9-11）。在导入节点数据时，要求确保源数据文件中

将此三个数据对应的字段分别为 NodeId（节点编号）、NodeX（节点 X 坐标）、NodeY（节点 Y 坐标）。



图 9-11 节点和路段数据导入

在路段数据导入过程中，要求确保源数据文件中含有路段编号、起点及终点三个必须数据，在字段属性中确保将此三个数据对应的字段分别 LinkId（路段编号）、NodeI（起点编号）、NodeJ（终点编号）。

3. 路网编辑功能

本软件具有强大的路网编辑功能，可以编辑或修改任意一个节点和路段的信息。在对象选择状态下，可以选择任意一个节点或路段图元，在弹出的属性窗口中可以查看所选择对象的相关数据属性，选择想要重新编辑数据，重新输入或导入即可。

在对象选择状态下，可以选择任意一个节点，选中所选择对象，即可删除选中节点，同时删除与之相关联的路段。

4. 图层管理与数据管理功能

在图层管理中，可以实现图层控制、图元搜索以及图元属性编辑等功能。在图层控制窗口中，可以选择任意一个图层，更改它的

属性，也可以增加或删除图层。在图元对象搜索窗口中，可以设置搜索范围，并可以定位图元。在节点和路段图元属性窗口中，可以分别编辑它们的属性。

在数据管理中，通过数据库字段管理窗口，可以管理路网数据库，可以增加字段、删除字段以及查看所有数据。

交通事件检测技术

交通事件定义为经常发生的非重复性事件。它在短期内引起道路有效通行能力的下降或交通需求的增加。事件一般可以分为可预测和不可预测两类。可预测类是指由大型活动（体育比赛等）、道路修筑和路面养护等引起的事件；不可预测类是指交通事故、车辆抛锚、货物散落、不正当驾驶和突发的自然灾害等。

交通事件对高速公路的影响不仅表现为事件本身的人员伤亡、货物损失和设备损坏，高速公路事件还导致局部车道阻塞，造成瓶颈，使局部或整个路段的通行能力下降，从而引起行车延误和二次事故的发生，严重影响高速公路的整体通行能力和运营效率。有关资料介绍，近年来我国每年交通事件所造成的间接经济损失是直接损失的 10~15 倍，交通事件的现场堵塞造成的经济损失，按最保守的方法计算，每年要达到 300 亿元。

为了减少由交通事件带来的负效应，许多国家的运输部门建立了高速公路交通事件管理系统。该系统通过计划和协调手段对高速公路交通状况进行自动地、适时地、合理地监测和控制，及时、准确地检测交通事件并采取有效的管理手段，在全局上最大限度地减少各种交通事件对路网运行产生的不良影响，减少后继交通事故的发生，避免事态的扩大，保障车辆在高速公路上安全、畅通无阻的行驶。交通事件管理系统一般包括事件检测、事件性质鉴

别、救援调度、为路上的出行者提供事件信息和替代路线、采取控制策略减少事件所在地上游的交通需求（如匝道控制）等内容。

交通事件检测系统是根据实时采集的数据信息，由一组复杂的算法与设定的事件门限值进行比较，自动判断交通事件是否发生，提高运输效率，交通事件检测系统是高速公路交通管理与控制系统的重要功能之一。美国加利福尼亚运输局曾经报告，即使在非高峰的自由流条件下，能够提前 1min 发现并清理交通事件，至少可以减少 4~5min 的延误。目前有多种事件检测技术，从单个司机的电话系统到电子监视系统，每种方法都有其优缺点。驾驶员使用电话亭或蜂窝电话、公路巡逻队和其他“手工”检测手段在日常生活中用来向交通管理中心报告事件信息。然而，从性质上看它们都是“不规则”的，而且要求在当时当地有目击者才行。交通事件自动检测技术的主要优点（至少是潜在的优点）是可以克服“手工”检测的不足，因可以全天候、实时、全程地发挥作用，而受到各国交通工程专家的重视。

交通事件检测的关键部分是事件判断算法，关于算法的研究在 20 世纪 60 年代早期就开始了，它是伴随着美国州际高速公路的实施而出现的，经过 40 多年的发展，特别是随着交通量的增长和 ITS 的兴起，高速公路交通事件的自动检测系统越来越受到关注而且发挥的作用也越来越大。

第一节 交通事件检测系统

一、事件检测方法

30 多年来，在研究开发和改进自动事件检测（AID）技术方

面做了大量工作。可以从多个角度对 AID 技术进行分类,“间接检测方法”和“直接检测方法”是一种分类法。

绝大多数的 AID 方法都属于前一种,通过交通流的变化来间接地判断交通事件的存在。它们通过识别由检测器得到的交通流参数的非正常变化实现这一目的。

实时交通流参数可用多种手段获得,最普通最常用的是感应线圈检测器。基于这种检测器的 AID 系统往往成本最低但反应速度较慢。反应速度慢是因为不论使用何种算法,在事件对交通所产生的影响到达最近检测器之前总要损失一部分时间。这类方法的另一个缺点是不适合在交通量较低的情况下使用,因为这时事件对交通参数几乎没有影响,除非事件发生在检测器附近。

“直接检测方法”是指使用图像处理技术来发现停驶车辆的一类方法。这类方法实际上是“看到”发生了交通事件而不是通过交通事件的影响来检测到它的存在。从潜在的意义上看,在检测速度方面远远胜于“非直接检测方法”,在交通量较低的情况下也能有良好的检测效果,但需要更密集地设置检测站(摄像机),需要较高的资金投入才能保证合理的检测可靠性,而且气象条件对其影响也较大。

目前基于交通流参数变化来检测交通事件的方法,因其经济方便而成为发展中国家和大多数发达国家 AID 研究的主要方向。

常用的间接检测方法包括模式识别方法和统计方法。在模式识别方法中又以加利福尼亚算法系列和麦克马斯特算法应用最广。近年以人工神经网络为手段的检测方法也很多见。统计方法中主要有指数平滑法、标准正态分布法、贝叶斯算法和自回归移动平均方法。

二、AID 系统框架的构成

AID 系统一般有两个组成部分:实时交通信息采集和交通事

件算法。检测算法所用的交通流参数决定了交通信息采集的手段和方式,如使用流量、车道占有率和车头时距等指标,环形线圈检测方式即可满足要求;而使用速度和密度的算法则要求至少使用双线圈的检测方式。不同的检测方式成本也不同。

以往的 AID 系统一般首先对实时交通流数据进行预处理,此后通过事件检测算法判断事件是否发生。一旦计算结果为事件状态(或经过指定次数的持续计算后)即触发事件警报,由交通事件的管理者进行相应的处理。这种工作程序不足以充分发挥 AID 算法的检测作用。因为一方面如果发出的警报是可靠的,则因为较长的检测时间而可能导致更多的车辆进入甚至卷入交通事件中,削弱了 AID 系统的预警作用。而如果是一个误警的话,则会浪费救援资源,影响同时发生的其他事件的处理和降低有关人员对 AID 系统的信任。因此从宏观角度看,AID 系统的警报应该有 3 个层次。第一是要求平均检测时间(MTTD)尽可能短的一级警报,可用于出行者信息系统,提醒上游的驾驶员注意可能发生的拥挤(减速、改道)。第二是各种指标都居中的二级警报,供交通事件管理者准备救援手段(如通知有关交警、医院、消防、道路部门等)。第三是误警率(FAR)较低的三级警报,供交通事件救援单位采取救援行动。

三、评价指标

评价高速公路交通事件检测算法的性能指标是检测率 DR(Detection Rate)、误报率 FAR(False Alarm Rate)和平均检测时间 MTTD(Mean Time To Detect)。

1. 检测率

指在某特定时段内,由算法检测到的事件数占实际发生事故数的百分比。可以表达为

$$DR = \frac{\text{算法检测的实际事件总数}}{\text{所有实际发生的事件总数}} \times 100\%$$

交通事件检测算法并不能全部检测出所有的交通事件，尤其是对车流影响并不明显的轻微交通事件。提高交通事件的检测率，常常会伴随更多的误报次数。

2. 误报率

指在某特定时段内，误报的事故次数与该时段内总的测试次数之比，即

$$FAR = \frac{\text{误报的交通事件数}}{\text{给定时段内总的测试次数}} \times 100\%$$

交通事件误报率是因需求的变动而产生的，为了降低误报率，目前采用的方法是持续性测试（Persistence Test），即在呈报交通事件之前，须对此交通事件信号持续某一个时间段。在算法中加以持续性测试，可以有效地降低误报率。

3. 平均检测时间

指交通事件实际发生时间与被检测到的时间之间的平均延误

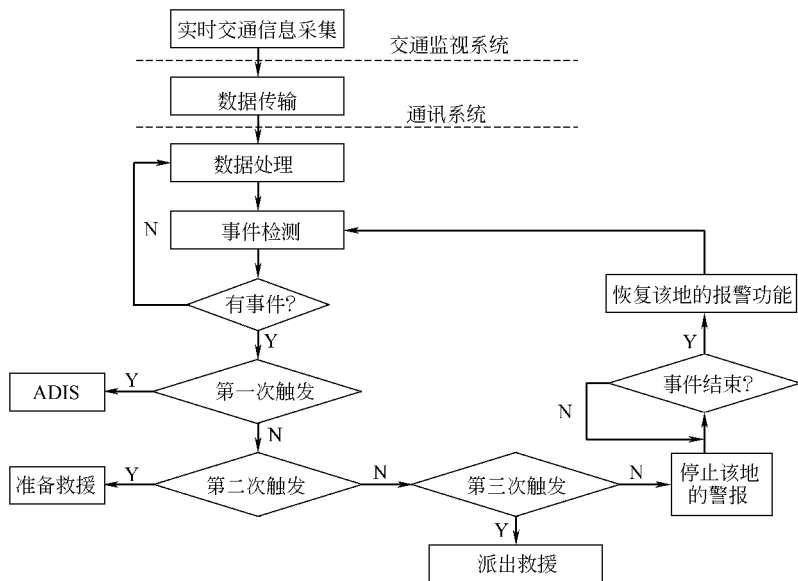


图 10-1 AID 系统结构框架

时间。平均检测时间在比较交通事件检测算法时处于次要地位, 由于平均检测时间的长短与算法参数的选择及门限值的高低密切相关。当算法在线运行时, 其检测时间与网络传输资料的速度以及计算机运行的速度有关, 而离线测试时仅与计算机的运行速度有关, 通常计算机的运行时间相当短, 对检测时间几乎没有影响。

交通事件检测的任何一种算法均无法避免产生误报, 而检测率、误报率与平均检测时间之间有不可避免的取舍问题, 即对同一算法而言, 若要求检测率高, 必然带来误报率的升高和检测时间的加长; 而要求误报率低, 也会带来检测率低和检测时间增长的问题。通常, 在选择算法时, 其误报率不能大于预先设置的允许值。AID 系统结构框架如图 10-1 所示。

第二节 事件的检测

一、检测系统的功能及结构框架

一个交通事件检测系统不仅能检测事件, 还应为自动交通管理系统(ATMS)中心提供实时的交通事件信息, 使之采取必要的措施, 如随时间变化的适应性信号控制和车辆线路引导等, 以缓解交通拥挤。在图 10-2 所示的一体化交通管理系统框架下, 研究交通事件检测系统的功能要求。

根据交通流的复杂特性和 ATMS 的环境要求, 确定交通事件检测系统的主要功能如下。

- ① 对“时间-空间”上交流通特性动态演变的捕捉能力。
- ② 具有响应于交通模式实时变化的自学习机制。
- ③ 考虑交通事件及其他干扰因素的影响。
- ④ 同自适应交通信号控制系统和其他 ATMS 模块有效结合。

⑤ 有效检测事件发生及其严重性程度,并提供实时的事件信息。

⑥ 实时环境中的高效运行。

⑦ 不同监测环境中的灵活应用。

动态实时交通事件检测系统包括 3 个组成部分。

① 实时交通流预测模块。

② 事件确定和评估模块。

③ 智能控制模块。

系统的结构如图 10-3 所示。

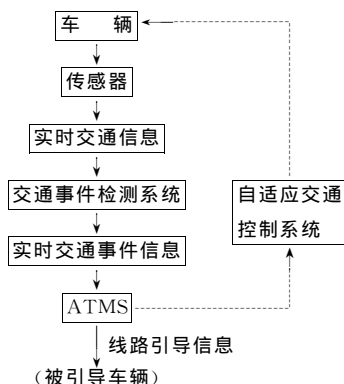


图 10-2 交通事件检测系统在 ATMS 中的作用

系统运行时根据日常交通条件选择一个合适的预置模型。执行事件驱动交通流仿真模型,对交通条件进行预测,同时执行事件预测和监控功能。通过事件检测方案和事件确定模型,一旦检测到事件,系统即执行结构变化的自适应过程,以降低模型的自学习时间和事件的平均检测时间,提高检测率。若未检测到交通事件,则继续预测、监控的过程。

二、交通流预测模块

由于快车道的拥挤主要由交通事件引起,其交通流特性也就更加复杂,更具不确定性。因此,在建立行之有效的交通事件检测系统之前,必须深入研究在交通事件干扰下的交通流关键变量。

(一) 交通流的干扰因素及关键变量

1. 车辆变换车道

由于车道变换可用的时间、空间有限,持续时间短,它对交通流的干扰经常很大。影响车辆改道行为的因素一般包括车道之间的车辆速度、密度差或司机自身的心理因素,对于多车道路段,车

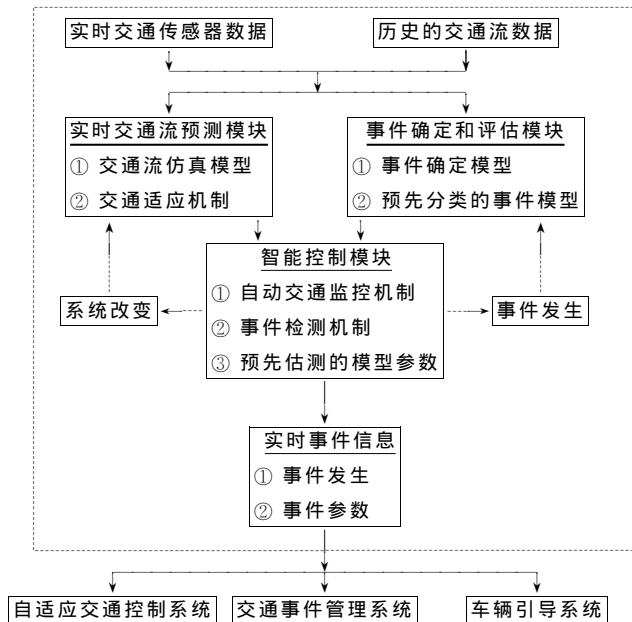


图 10-3 动态实时交通事件检测系统的框架结构

道密度倾向于演变成一个均衡状态。因此，对交通条件和这些因素内部关系的深入研究，有助于建立一个行之有效的交通流预测模型。

2. 回流队列

当下游十字路口的车辆消散流率小于其到达流率时，发生队列回流现象。回流队列的长度超出上游十字路口，其影响就变得十分严重，如果道路路段长度小，则问题更大。由于这种作用正比于十字路口的车辆排队队长，在预测交通流时，必须考虑以队长为变量。

3. 公共汽车运行

公共汽车对主要交通流的干扰可由随其后的车辆排队量确定，排队量的大小随已知参数变化，这些参数包括如下几项。

- ① 公共汽车的驻留时间。
- ② 公共汽车停车为旅客服务的延误时间。
- ③ 检测周期内的公共汽车频率。
- ④ 现场的交通条件。

实际使用时采用排队车辆数为变量。

4. 停车车辆

路边的停车车辆对交通流的影响类似于公共汽车的运行,两者都导致车辆排队,这种作用同车道阻塞相似,只是持续时间相对较短,其影响程度也依赖于停车时间及频率。因此,使用一个检测周期内被延误的车辆总数为变量描述它对交通流的作用。

5. 信号配时

队列回流、公共汽车及停靠车辆引起的延误流量由信号控制作出调整,主干道的车流分流率由绿灯时间决定,因此绿信比也是必须考虑的关键变量之一。

除了上述干扰因素外,来自无灯控支路口车辆对主干道交通流的干扰很大,它的影响依赖于支路口和主干道的通行能力,因此描述干扰作用时必须考虑支路口流量在全部相关道路流量中的比例。当然,还有一些因素会在特定的场合对交通流造成重大的影响,如与车辆质量有关的突发事件(突发损坏),司机对道路交通条件的反映特性和司机的突发行为等,预测交通流的困难之一是人的行为的可变性。

(二) 交通流预测模型

所设计的交通流预测模块包括一个事件驱动的交通流仿真模型和一个交通适应机制,执行交通条件的实时仿真和预测。预测模型以历史的数据和实时的传感器数据为基础,根据预测的和检测到的交通条件之间的差别,由事件确定模型来确证事件的发生。在模拟一个道路区段的交通流动态特性时,模型考虑了上、下游传感器的有关信息。

考虑到交通流变量及干扰因素的可测量性, 预测模型采用以下形式。

$$U_{ds}(t+\Delta t)=f[U_{us}(t),Q_{us}(t),O_{us}(t),U_{ds}(t), \\ E_{LC},E_{SBQ},E_B,E_{PV},E_{GT}]+\xi_1 \quad (10-1)$$

$$Q_{ds}(t+\Delta t)=f[U_{us}(t),Q_{us}(t),O_{us}(t),Q_{ds}(t), \\ E_{LC},E_{SBQ},E_B,E_{PV},E_{GT}]+\xi_2 \quad (10-2)$$

$$O_{ds}(t+\Delta t)=f[U_{us}(t),Q_{us}(t),O_{us}(t),Q_{ds}(t), \\ E_{LC},E_{SBQ},E_B,E_{PV},E_{GT}]+\xi_3 \quad (10-3)$$

式中 U ——速度;

Q ——流量;

O ——占有率;

us ——上游;

ds ——下游;

ξ_1, ξ_2, ξ_3 ——干扰项;

Δt —— t 时刻确定的, 随交通条件动态变化的检测时距;

E_{LC} ——车道变换的影响;

E_{SBQ} ——回流队列的影响;

E_B ——公共汽车的影响;

E_{PV} ——车辆停车的影响;

E_{GT} ——绿灯时间的影响。

这里建立的交通流模型不是从经典流体力学的角度解决复杂的交通干道流动特性, 而是作为一个随机的时间序列流量观察其演变过程。为此建立一个多变量的动态统计模型, 以描述各种干扰期间干道交通流的“时间-空间”关系。开发此模型的目的是在 ATMS 中将信号控制和交通管理相结合, 通过这种实时信息的作用, 可以提高适应性信号控制系统的性能, 使之在拥挤形成之前采取必要措施, 避免拥挤的出现。

为了使模型具有响应交通流动态变化的能力, 引入了自学习的

反馈机制, 动态调整模型参数, 使之有效地响应由交通事件引起的交通流拥挤和消散, 进一步提高预测能力。这里采用 Kalman 滤波技术, 它根据预测变量和检测器实际检测到的数值之间的误差调整模型参数, 并产生循环的自学习模式。

将模型组成标准的状态观测方程, 如式 (10-4) 和式 (10-5), 它可用循环滤波技术更新。

$$\text{观测方程} \quad Y_t^I = B_t^I X_t^I + W_t^I \quad (10-4)$$

$$\text{状态方程} \quad B_t^I = F_t^I B_{t-\Delta t}^I + V_t^I \quad (10-5)$$

$$Y_t^I = (y_1^i, y_2^i, y_3^i)^T \quad y_1^i = U_{ds,i}(t_{n-1} + \Delta t_n)$$

$$y_2^i = Q_{ds,i}(t_{n-1} + \Delta t_n) \quad y_3^i = O_{ds,i}(t_{n-1} + \Delta t_n)$$

式中 B_t^I ——模型参数;

X_t^I ——独立变量;

W_t^I, V_t^I ——误差项;

F —— B_t^I 的函数;

I, i ——车道数。

值得注意的是, 状态方程中的 F 是模型参数 B_t^I 的函数, 在模型运行前由用户确定, 一般来讲, 这一函数可以通过对每一检测器的历史数据分析研究而得, 使现场的特性在 F 函数中得到反映。可以选择一个合适的时间序列模型, 如自回归模型, 以表示与时间相关的本质; 如果获得的数据量大, 还可以选择更复杂的模型。对交通流的监控实际是一种模式识别问题, 它将检测到的交通模式与预先分类的交通事件模式进行比较, 当差别超过一阈值时, 即认为出现了交通事件。仿真模型根据事件的严重性程度, 及时调整行驶时间预测模型的结构和参数。

三、事件确定与评估模块

包括一个事件确定模型和预先分类的事件严重性模型, 它向智能控制模块提供补充信息, 并评估检测到的交通事件的严重性程

度。交通管理中心根据交通事件及交通流的其他信息，采取合适的控制策略，这样不仅能缓解拥挤，还将随后可能发生的第二个交通事件的可能性降至最小。如上所述，事件确定模型的实质是模式识别。由于计算效率高和实用性强的特点，这里采用“多变量判别分析”的方法，为此根据事件严重性模式的划分，针对每一类别建立与之相对应的判别函数。

1. 事件严重性模式的划分

交通事件发生后，事件所处链路下游站的车辆占有率减小，上游则上升。由于事件引起拥挤的行为取决于许多因素，如事件持续时间、阻塞车道数量和当时的交通量，因此仅由一个检测器直接推断事件的严重性，这是需要深入研究的课题。由于交通事件的复杂本质，这里并不直接从可测量的信息确定事件模式，而是依据事件引起的车道关闭数量划分严重性程度，事件严重性模式的划分见表10-1。

表 10-1 事件严重性模式的划分

道路类型	事件严重性模式
2 车道道路	单车道阻塞
3 车道道路	单车道阻塞、双车道阻塞
4 车道道路	单车道道路、双车道道路、三车道道路

2. 建立每一事件严重性模式的判别函数

根据预先分类的事件模式，选择实时检测器信息（上、下游站车辆的速度、流量、占有率及其差别）、道路区段的物理信息（链路长度、检测器间隔）为背景变量，建立一系列多变量判别函数，以构造交通事件的“严重性估测模型”。

四、智能控制模块

智能控制模块是整个系统的核心，它与所有相关的模块相连，并执行必要的监控功能，根据它在整个系统所起的作用，设计了以

下功能。

① 考虑控制系统的常规变化，如高峰期和非高峰期之间的交通变化。

② 考虑系统的结构变化。

③ 自学习和自动监控功能。

④ 考虑交通传感器和信号系统的可能故障。

为此，智能控制模块设计了两个机制：一个自动的交通监控机制，以跟踪、控制模型的运行；另一个事件检测机制，即通过预先设置的决策规则检测非常规的交通事件。

第三节 交通信息采集技术

一、常用交通参数采集技术

近几年来，随着传感器技术、微电子技术和信息处理技术的发展，交通检测器也有较大发展。按其基本工作原理可分为电磁感应式、电接触式、光电式、超声波式、红外线式等多种类型。这些检测器的基本功能可概括为两大类：一类为检测车辆存在的存在型检测器；另一类为检测车辆通过的通过型检测器。任何交通检测器至少应具有上述两个基本功能之一。在交通检测器中，可分为固定检测器和移动检测器，由于移动检测器的应用受到许多外部因素的影响，在一定时期内难以大范围使用，这里介绍固定检测器。

目前固定检测器具有代表性的分类方法是按检测器的工作方式及工作时的电磁波波长范围，将检测器划分为三大类：磁频车辆检测器、波频车辆检测器和视频车辆检测器。

过去的 AID 采用环行线圈作为前端数据采集工具，出现了各种各样的问题，如安装位置和数据不精确等，现在由于计算机硬件

和通讯技术的发展，出现了各种各样的车辆检测设备。有些虽然不够成熟或者比较昂贵，但是将来的公路管理系统将能够集成各种检测器的技术，产生更加稳健的监控和 AID 系统。以下是各种检测器的介绍。

1. 磁频车辆检测器

磁频车辆检测器是基于电磁感应原理设计的车辆检测器。

这类检测器包括环形线圈检测器、地磁检测器、磁成像检测器和摩擦电检测器。这里介绍感应式环型线圈检测器（ILD）。

作为成熟技术，ILD 具有低廉的价格，已成为交通运营和监控系统必不可少的工具。线圈检测的数据通过通讯线路传到交通管理中心，使用配置 AID 算法的计算机进行分析，虽然线圈可以在每秒钟读数据多次，但是由于距离和传输的问题，只能每隔 20s 或 30s 传输一次数据。线圈可以测量交通流量、占有率和车辆速度。测量的精度取决于 ILD 合适地安装选位，精确地操作和维护，这在实际操作过程中是比较难以掌握的，须由有经验的交通工程师来完成。

2. 视频车辆检测器

基于视频图像处理的交通检测技术是近年来逐步发展起来的一种新型的检测技术。它具有可一次检测多个参数和检测范围较大，信息量较大，功能较多的特点。

视频检测处理系统（VIP）是通过闭路电视系统或数字照相、摄像机来进行现场数据采集，采用视频识别技术和数字化技术分析交通数据。VIP 能够采集的数据很广，一个摄像机能够采集几个车道的数据，使得检测交通动态行为（如振动波）和各种空间交通参数（如密度、速度、排队长度）成为可能，这是环型线圈所不能轻易做到的。除此以外，检测能提供辅助信息，如路肩交通、停车交通、车道变化、速度差异和其他方向的交通拥挤。因此，随着高性能计算机和图像处理硬件价格的下降，VIP 将得到不断地提高和更加广泛的应用。

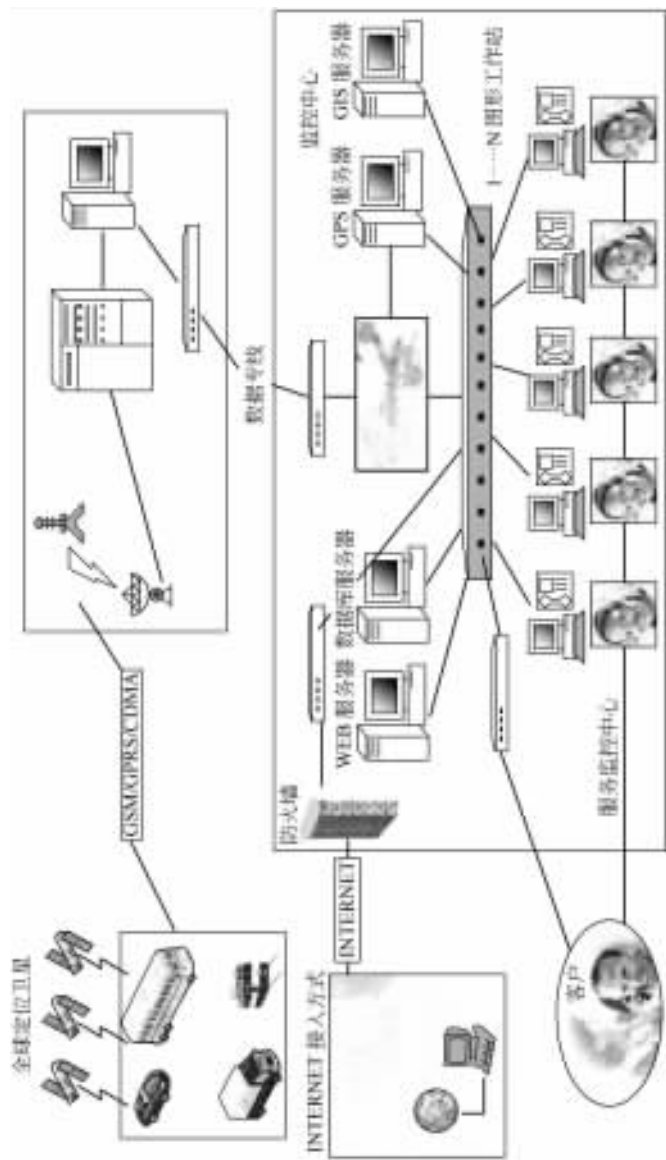


图 12-4 以视频采集技术为主体的交通动态信息采集系统

以视频采集技术为主体的交通动态信息采集技术系统结构如图10-4所示,其中也包含了一部分的环形线圈和超声波监测器,从而成为相互补充的综合性交通信息采集系统。

3. 波频车辆检测器

波频车辆检测器是以微波、超声波和红外线等对车辆发射电磁波而产生感应的检测器。

(1) 微波雷达检测器

微波雷达车辆检测器按照多普勒效应原理工作,它由发射天线和发射接收器组成。架在门架上或路边立柱上的发射天线向路面检测区域发射微波波束,当车辆通过时,反射波束以不同的频率返回天线,检测器的发射接收器测出这种变化,从而测定车辆的存在。微波雷达对天气不敏感,可以适应于白天和晚上的运行,尤其是在长距离开放的公路上更能发挥它的作用。高级的微波雷达检测器组件可以测量目标之间的距离,每个组件可以检测多个区域。

(2) 超声波检测器

超声波检测器是一种在高速公路上应用较多的检测器,它是利用反射原理制成的,超声波检测器由探头和控制机构成,其探头具有发射和接受双重功能,被置于道路的正上方或斜上方。

超声波检测器的工作原理是:由超声波发生器(探头)发射一束超声波,再接收从车辆或地面的反射波,根据反射波返回时间的差别,来判断有无车辆通过,由于探头与地面的距离是一定的,所以探头发出超声波并接收发射波的时间也是固定的。当有车辆通过时,由于车辆本身的高度,使探头接收到反射波的时间缩短,就表明有车辆通过或存在。

由于超声波检测器采用悬挂式安装,与路面埋设式检测器(环形线圈)相比有许多优点。首先是不需破坏路面,也不受路面变形的影响;其次是使用寿命长,可移动、架设方便。不足之处是其检

测范围呈锥形，受车型、车高变化的影响，尤其受大风、暴雨等的影响；探头下方通过的人或物也会发生反射波，造成误检。从架设、维护方便和使用寿命等方面来说，路面埋设式检测器都不如超声波检测器，所以超声波检测器成为目前使用量仅次于环形线圈的一种检测器。超声波车辆检测原理如图 10-5 所示。

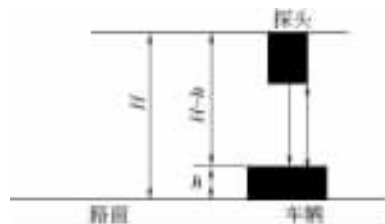


图 10-5 超声波车辆检测原理

（3）红外检测器

红外检测器是具有良好的应用前景的悬挂式或路测式交通检测器，该检测器一般采用反射式检测技术。反射式检测器探头由一个红外发光管和一个红外接收管组成，其工作原理是由调制脉冲发生器产生调制脉冲，经红外探头向道路上辐射，当有车辆通过时，红外线脉冲从车体反射回来，被探头的接收管接收，经红外解调器解调，再经过选通、放大、整流和滤波后触发驱动器输出一个检测信号，红外线接收器原理如图 10-6 示。这种检测器具有快速准确、轮廓清晰的检测能力。

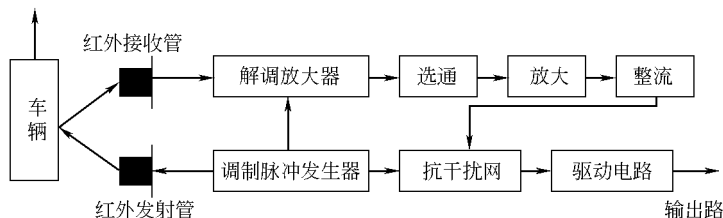


图 10-6 红外线接收器原理

二、固定交通检测器空间布置方法分析

1. 固定交通检测器空间布置定性分析

交通事件自动检测需要在高速公路上安装固定检测器，可以从

以下几个方面来考虑检测器的空间布置问题。

① 高速公路中的车道数。一般来说应在检测站的每一个车道上都装上检测器。

② 检测算法所要求的检测参数也会影响检测器的布置。如果仅仅要检测到交通量、占有率这两个交通参数，每条车道安装单环型线圈检测器即可，如果要求速度这个参数，就要每条车道安装双环形线圈检测器。

③ 检测器的布置与交通事件发生的频率有关。如果某一段经常发生交通事件，安装的检测器密度就应该大一些，甚至要安装视频检测器。在正常平直的高速公路上，一般每隔 500~1000m 安装一个检测器就可以了。

④ 环形线圈检测器经常和视频检测器相互配合使用。在交通事件多发地点，需要用摄像机进行监视，作为交通事件的验证手段。

2. 固定交通检测器空间布置的定量分析

图 10-7 所示为交通事件对交通流的影响。当发生交通事件时，事件下游将形成扩展波，上游将形成冲击波。冲击波将向交通事件发生点的上游传播，其强度取决于交通事件的严重性、横向位置、当时的交通状态以及道路的几何条件等。

在这里假设交通量为 q 辆/h，车流的平均车速为 V km/h。以下标 1 代表交通事件发生前，下标 2 代表交通事件发生后，相邻检测站间距为 L_d m，交通事件发生时，离上游检测站距离为 X m，交通事件发生后 T_d s 冲击波和扩展波传播到上游和下游检测站（这里以到达上游或下游检测站时间稍长的值为计算参数），根据交通流理论，冲击波波速 V_w 为

$$V_w = \frac{q_1 - q_2}{\frac{q_1}{v_1} - \frac{q_2}{v_2}} \quad (10-6)$$

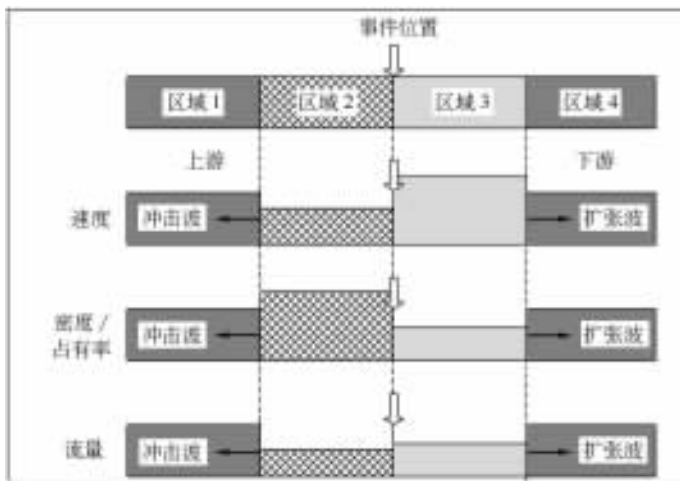


图 10-7 交通事件对交通流的影响

对单车情况，若车辆抛锚，则车道将完全阻塞，设阻塞密度为 K_j ，则式 (10-6) 可写为

$$V_w = \frac{q_1}{\frac{q_1}{v_1} - K_j} \quad (10-7)$$

发生交通事件的车辆的前导车在 T_d 内的行程为： $X_1 = V_1 T_d / 3.6$ ，当 $V_w < 0$ 时，将形成阻塞，冲击波以 V_w 的速度相对于车行道方向向上游传播，在 T_d 内的行程为 $X_2 = V_w T_d / 3.6$ ，当 $V_w \geq 0$ 时，将不形成阻塞。无论加利福尼亚算法所采用单环形线圈数据还是 McMaster 算法采用双环形线圈数据，只要上游或下游检测站检测到交通流参数的变化，这两种算法都将对交通事件做出反应。最不利的情况是发生的交通事件位于两个检测站中间位置，因此检测站间隔的最大值为

$$L_d = 2 \max\{X_1, X_2\} \quad (10-8)$$

在确定检测器间隔时，还应该根据高速公路线形的具体情况，

比如上下匝道的位置事件多发区等作适当的调整。

第四节 事件的算法

一、概述

早期的算法对以微观参数为基础的不同的事件检测方法进行了研究，研究中事件检测所用的预先设定阈值与误警率有关，这些算法都能检测出一些事件，但误警率太高。1968年，加利福尼亚运输局开发的事件检测算法得到最广泛地应用，被称为“加利福尼亚算法”，它采用车道占用率作为交通检测参数。

20世纪70年代，美国联邦公路局开始组织进行先进的事件检测算法的研究。此项研究以洛杉矶和明尼阿波利斯两个城市高速公路监测系统所得的数据为基础，对10种高速公路事件自动检测算法进行研究比较，并开发了参数标定软件，研究表明加利福尼亚算法和指数平滑算法都能较好的进行事件检测。

许多20世纪80年代提出的算法运用了概率模型。在事件检测时并不只简单地判断是否报警，而且给出事件发生的概率。另外，在算法研究中，常将算法作为整个高速公路管理控制系统的一部分来考虑。例如，将事件检测算法与进出口匝道控制、可变限速控制和民用广播电台信息提供系统相联系。

20世纪90年代，随着各种数学方法和计算机的进一步发展和成熟，高速公路事件自动检测算法开始运用各种比较成熟的新方法，例如将神经网络理论用于事件自动检测。随着智能运输系统(ITS)研究的兴起，由于采集的动态交通信息量的增加，提高了事件检测效果，有关各方对交通事件检测系统的功能更加关注，高速公路的事件检测算法研究又再一次成为热点。

二、交通事件自动检测经典算法

1. 模式识别方法

模式识别方法的检测原理是通过一个或多个交通参数来判别事件模式和非事件模式，其难点在于阈值的确定。经典算法有 McMaster 算法和 California 算法以及以此为基础形成的多种改进方法。

(1) McMaster 算法

McMaster 算法不仅能识别拥挤，而且能确定拥挤原因（常发性拥挤或偶发性拥挤）。由于该算法是由加拿大 McMaster 大学土木工程系开发出来的，因而称为 McMaster 算法。

McMaster 算法基于下述假设：当交通从拥挤变为非拥挤状态时，其速度急剧变化，而流量和占有率缓慢变化，使用从拥挤到非拥挤交通变化的流量-占有率关系，该算法开发了流量-占有率模型。算法在模型和实际检测器数据之间进行比较。该算法把一个检测站采集到的交通流量和占有率作为这种算法的输入值。这种算法在运行过程中要把实测数据和流量-占有率模型相对照，这种算法应用了两个不同的流量-占有率模型，一个是用于正常流的检测站点，另一个用于常发性拥挤或偶发性拥挤的检测站点。如果发现一个事件连续三个时间段属于常发性拥挤或偶发性的流量-占有率模型，就会报警。

在 McMaster 算法中，下游检测器出现故障不会影响事件的检测。这种算法在确认可能的事件时采用流量作为一项输入量，其数据采样时间间隔为 30s，McMaster 算法在确认事件时也把常发性拥挤或偶发性拥挤也考虑了进去，这样就会使误警率更低。

McMaster 算法主要的不足是数据都是在同一条道路截面的快车道上采集的，当交通事件发生在路肩或者是靠右的车道上时，这种算法会需要一个更长的检测时间，直到交通事件影响到快车道上

的交通流时，它才会检测到事件的发生。

(2) California 算法

California 算法于 20 世纪 60 年代晚期研制，用于洛杉矶高速公路和监视控制中心，该算法属于双截面算法。所谓双截面算法是指根据两个相邻的监视信息进行事件检测。加利福尼亚算法基于事件发生处上游截面占有率将增加，下游检测面占有率减少这一事实。它用 1min 平均占有率 $OCC(i, t)$ ，即在时刻 t 从检测站 $i = 1, 2, \dots, n$ 得到的平均占用率，按下面三个条件，来判断事件是否发生

$$OCCDF = OCC(i, t) - OCC(i+1, t) \geq K_1 \quad (10-9)$$

$$OCCRDF = \frac{OCC(i, t) - OCC(i+1, t)}{OCC(i, t)} \geq K_2 \quad (10-10)$$

$$DOCTD = \frac{OCC(i+1, t+2) - OCC(i+1, t)}{OCC(i+1, t-2)} \geq K_3 \quad (10-11)$$

式中 $OCCDF$ ——上、下游占用率差值；

$OCCRDF$ ——上、下游占用率的相对差值；

$DOCTD$ ——下游检测站前后 2min 占用率相对差值；

i ——上游检测站；

$i+1$ ——下游检测站 K_1 、 K_2 和 K_3 分别表示相应的
阈值。

如果上面三个条件都满足，则事件发生。

1973 年 FHWA 项目组出资对加利福尼亚算法进行改进，检测并确定了 10 种改进的加利福尼亚算法。在这 10 种算法中，加州 #7 和加州 #8 提供了最好的较为全面的效果。

在加州 #7 中第三个参数 [见式 (10-11)] 被当前的下游占有率测量序列取代，因此压缩波，即误警率重复发生的原因能容易地识别出来，而且该算法要求事件状态的持续检测必须至少重复 2 次。加州 #8 使用压制特性，在压缩波被检测出来后，推迟 5min 再发出事件警报。

加利福尼亚算法主要的不足是只考虑了与占有率有关的参数作为输入，而没有考虑与流量有关的参数。加州 #8 算法主要的优点是这种算法具有低的误警率。

(3) 多目标事件检测算法 (APID)

APID 的开发主要用于多伦多 COMPASS 高级交通管理系统。它吸收和推广了 California 算法的精华，集成为一个独立系统。APID 系统还包括了大流量算法、小流量算法、中等流量算法、事件终止算法、压缩波检测和连续检测算法。在线测试表明 APID 系统在大交通流条件下性能优越，在小交通流条件下性能差。

(4) 莫尼卡 (Monia) 算法

莫尼卡 Monia 算法开发于 1991 年，属于欧盟 DRIVE1 项目中的一部分，莫尼卡算法在 HERMES 项目的前两年被测试。它建立在连续车辆之间车头视距的测量值和方差以及连续车辆之间的速度差的基础之上，当这些参数经历大规模扰动超过预设阈值时，事件报警系统启动。Monica 算法与车道数和其他路段的交通行为无关，但要求检测器间距较短，通常为 500~600m。

2. 统计预测算法

这类算法是基于这样一种假设：交通流模型和交通特征满足统计学原理。这类算法是根据历史时间序列数据做出预测模型，并利用该预测值与实际观测值进行比较，两者之间的差异程度即作为事件发生与否的判定标准。根据模型的不同可以分为以下几种算法：标准偏差算法、贝叶斯算法、时间序列算法。时间序列算法包括移动平均、双指数平滑、高占有率、滤波算法、动态模型法等。

(1) 标准偏差算法 (SND)

标准偏差算法是由得克萨斯州交通协会 (TTI) 早在 1970~1975 年期间开发的，用于休斯敦海湾公路的交通监视和控制中心。该算法基于这样的判断，即如果交通变量测量值突然变化，那么公

路上存在交通事件。算法用超过 1min 时间的占有率平均值、标准差和历史数据进行连续比较。通常情况下,计算 3min 或者 5min 的均值和标准差,连续迭代一次或两次,当存在显著差异时,触发事件报警系统。

(2) 贝叶斯 Bayesian 算法 (BA)

贝叶斯 Bayesian 算法是采用当路段通行能力下降时事件发生的频率和历史数据,使用贝叶斯统计技术计算由下游车道阻塞引起的交通事件的概率。虽然该算法和 California 算法一样,使用相邻两个检测器之间的相对占有率之差作为基础,但是不同之处在于它是计算由事件引起的相对占有率之差的条件概率。完成该算法需要三个历史数据库,即事件发生条件下的流量和占有率、无事件发生条件下的流量和占有率及发生事件的类型、位置和影响。

(3) 时间序列 (ARIMA) 算法

通过对各个交通控制中心的数据库分析,美国研究人员发现公路上的交通流可以通过求和自回归滑动平均时间序列模型 (ARIMA) 描述。该模型能够通过平均前三个时间段的观测值和预测值之间的误差,来预测当前时间段 (t) 和前一时间段 ($t-1$) 交通变量的差值。该模型通常用作短期交通流预测和置信区间预测。预测数据与观测数据存在很大的偏差时,启动事件报警系统。

(4) 滤波算法

滤波算法 (Stephandes and Chassiakos, 1991 & 1993) 首先对原始交通数据进行处理,消除短期的交通扰动,在此基础上判断是否存在拥挤以及是否属于由交通事件引起的拥挤。

设 t 时刻从某路段上游、下游两个检测站测得的占有率分别为 $OCC_w(t)$ 和 $OCC_d(t)$, 则该路段内事件检测所采用的信号比定义为两占有率之差

$$x(t) = OCC_w(t) - OCC_d(t) \quad (10-12)$$

为减少原始数据 $x(t)$ 所含随机误差的影响, 采用均值滤波的方法对实测数据进行处理, 假设 t 时刻发生事件, 则计算出 t 之后 M 分钟内 $x(t)$ 的均值 $y_a(t)$ 和 t 之前 N 分钟之内 $x(t)$ 的平均值 $y_b(t)$

$$y_a(t) = \frac{1}{M+1} [x_1(t) + x_2(t+1) + \cdots + x_m(t+m)] \quad (10-13)$$

$$y_b(t) = \frac{1}{M+1} [x(t-n) + \cdots + x(t-1) + x(t)] \quad (10-14)$$

一般取 $M=3$, $N=5$ 。式 (10-13) 和式 (10-14) 具有低通滤波性质, 限制了不希望的高频成分, 所以 $y_a(t)$ 和 $y_b(t)$ 所含的随机成分大大减少。交通流变化过程具有很大的惯性, 其演变总是较多的受前状态的影响, 不应该出现严重的不均匀和急剧的不连续, 除非有严重的交通事件发生。

为了在不同占有率情况下使用相同门限值, 需要对 $y_a(t)$ 、 $y_b(t)$ 作归一化处理, 引入变量 M_t , 它表示 t 之前 N 分钟内上游和下游检测站平均占有率之最大者。

$$M_t = \frac{1}{N+1} \max \left\{ \sum_{i=0}^N OCC_w(t), \sum_{j=0}^N OCC_d(t) \right\} \quad (10-15)$$

若 $\frac{y_a(t)}{M_t}$ 大于门限值 K_1 , 则存在拥挤; 若 $\frac{y_a(t) - y_b(t)}{M_t}$ 大于门限值 K_2 , 则有事件发生。

式 (10-13) ~ 式 (10-15) 均假定 $OCC_d(t)$ 的检测周期为 1min, 若检测周期为 30s, 则取 $M=6$, $N=10$ 。

(5) 高占有率算法 (HIOCC)

高占有率算法 (HIOCC) 是由英国人开发检查平稳和缓慢行驶的车辆的的存在性, 通过环行线圈检测这些车辆的占有率数据。使用一台计算机每秒扫描检测器占有率数据 10 次, 检查连续几个瞬时值是否超过阈值, 并启动事件报警系统。

(6) 单、双指数平滑算法

单、双指数平滑算法就是通过过去和现在的占有率观测值的权值,预测将来的交通事件。大多数此类算法在数学上表示为单指数、双指数函数,用一个平滑常数表示过去观测的权重。在有些模型中,可以通过跟踪信号,即所有以前预测值和观测值之差的总和来识别事件发生。在无事件发生条件下,跟踪信号稳定在 0 左右。事件发生时,预测参数值和实际参数值显著不同,跟踪信号显著地偏离零值。

(7) 荷兰算法

荷兰算法 (Dutch) 和 Monica 算法相似,单独分析某公路路段的数据,和上、下游情况互不影响。它通过指数平滑滤波方法检测车道滤波后的平均速度。如果测量的参数超过预设的阈值,启动事件报警系统。

3. 高级事件检测技术

(1) 模糊几何算法

模糊几何算法把不确切的推论引入事件检测逻辑中。该算法通过开发模糊边界对不精确数据和资料不全的数据进行近似推理。反之确定性算法(如加利福尼亚算法和 McMaster 算法)基本属于二进制决策过程,模糊算法可以得到事件发生任何可能的概率。一些模糊算法使用占有率趋势和相邻检测器之间速度密度数据比较方法。

(2) Logit 基础算法

Logit 基础算法试图用事件的数据来认可事件模型。事件指标表现为事件事故率,被多项的 Logit 模型评价。当交通变量(速度)的两条分布曲线通过常态和事件条件交叠,它就在区域内变成了一个更大的变量。根据该算法,当路段上的事故率大于普通情况时,触发报警系统。

4. 基于神经网络技术的交通事件检测算法概述

随着神经网络在交通运输系统中广泛地应用,我国也有很多专家对基于神经网络的交通事件检测算法进行了研究,主要有:基于

多层感知器（MLP）神经网络经典算法与基于 MLP 神经网络改进算法。这些算法是根据不同采样间隔的交通参数来进行事件检测的，需要的环形线圈检测器多，所以增加了检测成本，且必须不是不同的采样间隔时间，使得神经网络对于交通事件的反映不敏感。

三、交通事件检测算法比较

根据检测率、误报率与平均检测时间性能指标，对交通事件检测算法进行比较，检测算法评估结果见表 10-2。

表 10-2 检测算法评估结果

检 测 算 法		检测率 DR /%	误报率 FAR /%	平均检测时间 MTTD/min
加利福尼亚算法	基本算法	82	1.73	0.85
	CA#7	67	0.134	2.91
	CA#8	68	0.177	3.04
	综合算法	86	0.65	2.5
标准差算法		92	1.3	1.1
贝叶斯算法		100	0	3.9
时间序列 ARIMA		100	1.5	0.4
指数平滑		92	1.87	0.7
低频传递滤波算法(LFP)		80	0.3	4.0
改进的 McMaster 算法		68	0.0018	2.2
神经网络	MLP	89	0.01	0.96
	PNN	89	0.012	0.9
模糊几何算法		Good	Good	最多比常规 算法快 3min

续表

检 测 算 法	检测率 DR /%	误报率 FAR /%	平均检测时间 MTTD/min
波动分析算法	Good	Good	Good
荷兰算法(Dutch)	Good	Poor	Good
莫尼卡算法(Monica)	Poor	Good	Good
低流量算法	49~78	当流量小于 400vph 时： 每 7hrs 误报 1 次； 当 流 量 在 900 ~ 1000vph 时：每 2hrs 误报 1 次	N/A
Logit 算法	96.3	6.3	Good

道路交通安全管理

汽车交通受人、车、路、环境等复杂因素的影响，只要一个环节出现差错就有可能引发交通事故。交通事故已成为一个社会问题，世界各国都投入大量的人力、物力和财力来研究减少和避免交通事故的政策与具体的安全管理措施。那么作为拥有大量汽车的欧美、日本等发达国家在交通安全方面产生的问题、解决的方法，其交通安全的特征以及对于不同的国情，其对策的差异性等的具体表现，在这里做如下介绍。

第一节 交通安全理念

一、交通安全管理

所谓交通安全管理就是通过对道路交通事故的研究，发现其规律，通过交通立法，制定交通安全管理规章制度。实施交通过程控制，以防止事故，减少死伤人数和财产损失，使人人都感到安全的目标管理。

英国在 20 世纪 80 年代提出了新的城市交通安全管理方法，即

地区的交通安全管理（LASS）。它的作用就是帮助地方政府在城市区域的总体规划中，实施道路安全规划。

交通安全管理必须考虑以下 3 个方面的问题。

① 城市区域的交通安全管理对策，必须合作。包括减少地方、地区、国家交通事故的目标水平。

② 交通安全对策必须顾及区域内的各项政策的统一，保证安全性、衔接性、环境和土地政策的平衡。

③ 交通安全管理对策应和区域内各地方政府的交通安全管理目标统一、不矛盾。

1. 交通安全管理的 10 个原则

为实现交通安全管理，达到管理的目标，可应用下述 10 个原则。

① 必须考虑利用道路的所有人员，特别是交通弱者（步行者、骑自行车的人以及骑摩托车的人）。

② 必须考虑各种道路的功能和利用方法。

③ 全面系统地确定都市内各区域的交通安全战略。

④ 在交通安全战略上有针对性地组合现有的各种减少事故的措施。

⑤ 考虑制定和都市其他规划目标相关的交通安全目标。

⑥ 奖励对交通安全目标有贡献的专家与组织。

⑦ 城市的其他规划应不能影响交通安全。

⑧ 有效地利用交通安全专家的重要意见。

⑨ 交通安全战略和目标应反映在各地域的具体对策中。

⑩ 经常监督交通安全目标达到的程度。

2. 交通安全管理过程

在整个城市地区实施交通安全对策时，必须对道路的功能进行再评价，把与安全相关的期望目标分配到道路网上。

由下述的四个程序确定总体目标以及局部区域目标。

① 明确现有道路功能的层次性（在交通方面的重要性）。

② 在线路网涉及的地区评价事故的特性和人们的安全知识水平。

③ 联系道路的等级和期望的功能，调查各条线路的交通流和特性。

④ 设定道路网中各个地点的安全期望目标。

新的交通安全管理程序的制作过程如图 11-1 所示。

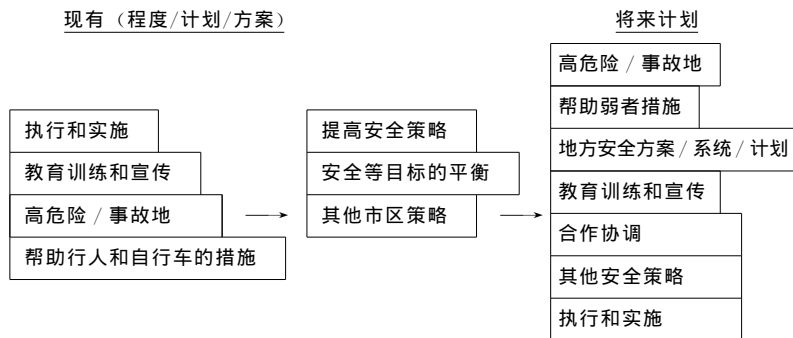


图 11-1 新的交通安全管理程序的制作过程

二、交通安全理念

英国、丹麦的学者发现沿用的交通事故概率统计法用于评价交通事故对策会产生较大的误差，导致盲目乐观，交通事故“移动性”和“危险路段的非移动性”概念的提出，使得过去事故对策效益评价过大的问题显露出来。因此，必须研究适用于交通事故的统计分析方法，并认为交通事故的增加与交通量成比例。事故的主要因素已经从强调遵守交通规则，提高驾驶技术转变为加强安全意识和价值观方面（我国目前正处于以提高高速公路的驾驶技术、保持良好车况以及宣传交通法规的阶段）。在交通事故的研究方法上应利用计算机进行规模车群运行的交通安全模拟分析，如车速、饮酒等的影响。

荷兰学者则认为，发达国家与第三世界的交通安全应区别

对待。因为交通安全因素中的人、车、路、环境的水平与国家经济发达的程度相关，并认为发展中国家的汽车具有下述特征。

- ① 耐用好修。
- ② 适应炎热、严寒的气候。
- ③ 无装饰。
- ④ 车辆只具备基本性能。

当发展中国家的汽车逐渐增多，人与汽车的关系更密切的时候，老人、孩子的危险性也逐步增加。

在欧洲，酒后驾车和违章超速行驶（暴走）是事故的主要原因。在日本有摩托车的暴走族，它不仅影响交通安全，其巨大的噪声也影响周围居民的生活、工作。另外，交通安全问题在世界各地都是相似的东西，但是交通安全意识因国家不同而有很大的差异。这与经济收入、生活环境、社会环境有关。一个国家对交通安全的认识又称为交通安全的理念，它决定了一个国家交通安全管理的决策方向、重点。欧洲战后可以分为如下 5 个不同理念的阶段。

① 1950～1960 年，再建设时代。只重视建材运输，不重视道路交通。

② 1960～1970 年，发展时代。重视巨大物流的输送，交通事故激增，意识到交通安全是一大问题。

③ 1970～1980 年，停滞时代。事故率没有增加，认为交通安全问题还不严重。

④ 1980～1990 年，经济再发展时代。认为国家必须考虑事故、环境的影响。

⑤ 1990 年至今。认为欧洲统一后，交通安全问题将对经济、就业、交通等产生很大的负面影响。

欧洲统一后，跨国交通运输、旅行行为将大大增加，因此交通规则、交通安全管理必须各国共同努力，并制定全欧洲的交通

安全计划。

在西欧多数国家存在相同的交通安全问题。如交通拥挤，它不仅诱发交通事故，也使人紧张、焦躁，同时还会引发超速行车。另外，多数国家雨、雾、雪、冰冻气候多，由此诱发的交通事故也多。因此多数国家采用如下的交通安全对策。

- ① 限制车速。
- ② 改善道路交通环境。
- ③ 保护交通弱者，特别是老人和孩子。
- ④ 禁止酒后驾车。

第二节 国外交通安全管理

一、美国道路交通管理体制

交通运输部门是道路交通管理的主管部门，警察部门是道路交通管理的参与协作部门，美国的道路交通安全管理体制特点表现在，虽然针对客观需求，围绕交通安全而构建的组织机构多，但职责不乱，协调不乱，执行不乱。

美国在国家一级设有交通部，各州有交通厅（以及车辆管理局），各市县设有交通局。交通部门的主要职责是：运输基础设施规划、产业政策、市场准入、运输行业管理、公路设施管理、交通安全、车辆管理（包括新车认证、车辆注册、发牌发证、车辆检测）、驾驶员管理（包括驾驶员考试、驾驶标准、驾照发放）、驾培行业管理、交通监控、交通信号、道路标志标线管理等。

警察部门参与协作主要体现在如下三个方面。

- ① 美国警察的部门不制定道路交通管理法规，是纯粹的现场执法部门。
- ② 交通运输部门与车辆管理部门的车辆管理、驾驶员管理以

及相关的行政执法，离不开警察部门的协助。

③ 交通管理部门负责建设、管理信息系统，并有接口提供给警察部门使用，这是警察参与道路交通管理的重要条件。

1. 城市道路交通的主要问题

美国是世界上公路交通最发达的国家，同时又是一个高度城市化的国家，公路运输系统在为国家的经济增长与社会发展提供高效率服务的同时，也产生了一系列重大问题。而这些问题集中体现在城市的道路交通或城市之间的干线公路上，尤其像在纽约、洛杉矶、芝加哥这样的中心城市或特大城市里，情况更为突出。

(1) 道路拥塞

美国城市道路（包括市内主街道，下同）在全国公路网络中占有重要地位。自 1991 年以来，70% 的城市道路或城市间干线公路都出现了高峰期拥塞，每年要造成 400 多亿美元的直接经济损失。据美国运输部 1996 年底发布的统计报告，在被调查的 50 个大城市中，已有 27 个城市的拥塞状况“使人难以承受”。

(2) 污染严重

公路交通运输造成能源消耗失衡并带来严重的大气及噪声污染等公害。美国平均每个家庭已接近拥有两辆汽车，每年车行里程的增长已远远超过人口增长的速度。1980~1990 年期间全国登记的汽车总量从 1.61 亿辆增至 1.93 亿辆，净增 3200 万辆，增长率高于 20%；燃油消耗净增了 730 亿升，增长 14%，交通量增加近 1 万亿车公里，增长 40%，而同期全国人口只增加了 2200 万，增长率为 9.8%。现美国每日石油消耗量高达 1770 万桶（一半以上需要进口），占全世界石油消耗的 1/4。美国石油消费的 2/3 是通过各种运输方式用掉的。如此巨大的能源消耗，是美国难以克服的污染源。1995 年，各类汽车排放了约 5300 万吨 CO（占全国排放总量的 64%），690 万吨 NO₂（占全国排放总量的 35%）。

(3) 城市后续不良影响

上述问题还给城市发展和居民生活质量带来了不良影响。例如 20 世纪 80 年代以前城市道路的快速扩展,使得城市的空间布局呈现出一种“多中心、低密度”的态势:居民住宅、商业与工业用地逐渐向郊区辐射,政府不得不新修道路以满足交通需求;新增道路又使汽车数量增长,居民用地扩大,城市再度向低密度扩展,一些旧城中心区的衰败,宝贵的城市用地大量被道路挤占,用地紧张,新建道路费用昂贵。目前在城市中修建高速公路的造价是每公里 6200 万美元。1993 年 10 月通车的洛杉矶“世纪高速公路”,全长 27.8km,造价竟高达 31 亿美元。在城市新建高速公路还会带来一系列社会问题,诸如政区分割、人际交往与信息传递受到阻隔,人文与生态环境的破坏等。

2. 城市道路管理的特点与主要措施

(1) 法制管理

政府行为(尤其是联邦政府通过发布战略发展要点、立法和政策导向)在城市道路交通管理中发挥着主导作用。20 世纪 90 年代以来,主要有如下几项。

① 空气清洁法案修正案(1990 年)。

② 综合地面运输及效率法案(ISTEA,又称“冰茶法案”,1991 年)。这是一个代表联邦政府及运输部的指导性政策的、内容广泛的法案。

③ 全国信息基础设施计划(1993 年)即“信息高速公路”(NII)。

④ 智能车路系统(IVHS),即智能运输系统(ITS)。

⑤ 1994 年 8 月美国政府发布自 20 世纪 70 年代以来的首次科技政策声明,表明美科技发展战略向“军转民”转移。这一转变为公路产业的研究与开发注入了活力,并使公路交通成为重要的受益者。

⑥ 国家公路系统(NHS,1995 年 11 月克林顿总统批准实施)。列入 NHS 网络的干线道路共 256000km,仅占全国公路里程

的 4%，却将承担 40% 的运输量。智能化将是 NHS 的重要特征。

(2) 提高通行能力为主城市道路交通管理的核心是对拥塞的疏导

这方面，国家政策已有所调整。20 世纪 80 年代以前主要体现为增加道路供给。整个 20 世纪 80 年代以抑制公路交通需求为主，如将公路税收用于调控公路需求，并将汽车及汽油消耗税收政策与国家环境政策直接联系起来，达到既降低污染又缓解拥塞的目的。20 世纪 90 年代以来，实行一种“既增加公路供给，又控制需求”的综合性管理政策。在供给方面，把过去以新建道路为主改为以鼓励公众充分利用现有公路系统的通行能力为主；在出行需求的控制方面，在继续实行经济调控手段的同时，运用行政干预，采用高新技术，实施公交振兴、通讯替代、交通信息服务等诸多综合措施。

(3) 智能运输系统

ITS（智能运输系统）计划经过数年推动，已从规划设计走向实际推广应用。据 ITS-America（美国智能运输协会）公布的材料，1996 年，ITS 所能提供的实际服务项目已达 30 个左右。大都市道路交通管理和城市群之间的“繁忙路廊”成为 ITS 开发、试验的热点，如芝加哥地区的 Advance 计划，奥兰多的 TravTek，加州的 Path-Finder，明尼阿波利斯的 Guide Star 等，都是近年来美国的首批示范工程。从 ITS 的推广进程中还可以看到如下特点。

① ITS 不但需要各级交通部门之间的合作，还体现了治安、环保、公安、教育以及社区组织等多部门间协同一致的合作。东部数州的综合交通管制系统、加州洛杉矶的“聪明路廊”（the Smart Corridor），得州圣安东尼奥市的 Trans-Guide 等，都是体现这种合作的有说服力的范例。

② 私营企业对耗资巨大的 ITS 计划表现出极大的热忱。据美运输部估算，在未来 5 年间 ITS 的研究与开发投入不会少于 2150

亿美元，其中来自民间的资金投入将高达 1700 亿美元，占 80% 以上。

（4）重视交通发展规划

由于 ISTE A 法案的积极推动，各州县市对城市交通规划日益重视。特别是人口在 20 万人以上的城市大都有了中长期交通发展规划。从其中较为成功的范例中不难看出：高效、安全、保护资源和生态环境以及各种运输方式之间的有机结合，已成为未来都市道路交通发展的目标。这是一种体现了可持续发展战略的现代大交通系统的新观念。

值得提及的是，在制定交通规范方案（包括开发未来公路交通需求模型）的过程中，新一代的地理信息系统（GIS）和全球定位系统（GPS）成为重要的技术支撑手段。早在 1988 年，FHWA 就成功地应用 GIS 完成了全国公路数据库。如今全国的有关信息资料装在一块光盘中，免费送给有关部门使用。正在开发的 GIS 项目包括编制有关“国家公路系统”（NHS）的最新网络地图，为 FHWA 和各州有关部门的大规模自动化管理奠定了基础。

（5）信息高速公路将减少交通流量

美国大城市的空间布局将由“低密度型”向“紧凑型”转化，使得公共交通的复苏再度成为可能，轨道交通等大容量、便捷的运输方式也重新受到重视，许多城市业已制定了混合交通方案（包括步行和自行车等交通方式）。另外，随着“信息高速公路”的建设，信息交通流将强烈冲击传统的人流、物流交通，成为 21 世纪现代化大交通系统的支柱。据预测，信息高速公路的全面应用将有效地遏制公路交通需求，使 15～20 年后的道路交通流量减少 30%～40%。

（6）执法与教育相结合

严厉的执法与广泛的宣传、教育、劝导等活动相结合，在推行“系好安全带”、“禁止酒后驾车”、“鼓励多人合乘一部车”等管理

措施时取得了明显的效果。

3. 美国道路交通与交通安全管理体制的特点

美国道路交通与交通安全管理体制的特点主要表现在如下几方面。

(1) 依法行政与科学行政高度统一，行政管理既需要法律管理又需要科学管理

美国的道路交通管理一是管理模式比较科学，二是职责划分比较科学，三是专家行政，四是管理主体与管理对象之间没有利益冲突关系。

(2) 对道路交通安全管理内在属性的认识与管理方式已发生根本转变

交通安全管理在本质上是一项综合管理，这种本质要求国家把涉及交通安全的各个环节所应负的职责给予总体的划定，并从国家立法的角度对各部门应承担的责任进行总体的协调，然后根据各部门的组织特点与管理优势，确定所承担的具体职责。在这种统一规划下，美国总统的执行机构国家交通安全委员会、运输部的三个内设机构、警察部门、非政府部门机动车管理协会，具体承担道路交通安全的相关职责。其职责分工特点是：国会制定道路交通安全法，道路交通管理部门负责经济技术领域的管理，警察部门负责现场执法。

二、英国道路交通管理体制现状

英国现行的交通管理的主要职责主要由运输部负责。在近年来的政府行政改革中，英国普遍实行了“大部制”机构模式，将业务相近或相关性强的部门尽可能进行合并，以利于部门之间的沟通协调和政府资源的有效利用。运输部即是由以前的环境保护、交通运输管理以及地方事务三个部合并组成的。

“大部制”改革以后，政府行政管理体制的架构有了较大改变，主要体现在实行“决策——执行”相分离的行政管理体制。

英国运输部门和警察部门的职责分工如下。英国主管警察事务的最高行政当局是英国内务部，内务部下设警察总局，但国家总局并不负责交通管理。交通的主管部门是“警官协会”，该协会是全国性的警察组织，成员包括全国各地的警察机构。协会下设交通委员会，专门负责交通执法工作。

总体来讲，在道路管理方面，运输部门和警察部门职责分工明确，彼此相互配合。

① 以《道路交通安全法》为龙头法的道路交通法律法规主要是由运输部负责起草，再征求“警官协会”、内务部等部门的意见，最后提交议会通过，有关道路交通法的实施细则以及相关政策也是由运输部发布的。警察部门只是负责执行法规并制定执法手册，并没有这方面的立法权。警察部门的意见可以通过两个部门的联席会或其上级主管反映到运输部门。

② 车辆管理、驾驶员管理由运输部门负责。各部门只负责道路交通安全方面的执法。也就是说，公路上的执法人员只有交通警察，其主要行使“现场”执法权。

随着计算机自动控制系统不断发展和完善，公路管理部门对道路交通安全的参与程度越来越广泛和深入。公路管理部门依靠高科技优势承担了大量交通技术设施提供、交通流量控制、交通状况预测、交通数据采集等战略性任务，而交警主要执行纠正违章、限速、恶劣环境下的交通管制以及少量的公路巡逻等战术性任务。公路管理部门与交警共同承担了道路交通安全管理任务，交警只是其中的一部分而不是全部。

三、德国道路交通管理体制

与英国的“大部制”改革类似，德国将原来的联邦运输部与联邦土地规划和建设部等部门合并为运输部，主要职责是管理全国整个运输行业，包括铁路、公路、水路和航空。

运输部主要负责运输、交通方面的法律政策制定和监督执行。

联邦运输部门一般只负责有关政策和技术标准的制定以及监督这些标准的执行，具体的行政管理、行政机构的设置和职责配置，一般也由各地方政府自己决定。

警察在公路上的职责主要是作为“现场客观情况的记录者”来执行这些规定。警察执法内容不仅仅包括交通违章处理、限速等，还包括保险、路产损坏、救护的登记，一般性的交通事故都由当事人和保险公司自行处理，有人员伤亡的事故，交警除记录事故现场外，也并不对事故责任和赔偿做出决定，只有在交通设施出现故障影响交通正常通行时，交警才上路指挥交通。

第三节 日本道路交通现状及对策

一、交通安全形势

日本的交通需求人口、驾驶员人数、机动车保有量及机动车行驶公里数等全部呈继续增长趋势，道路通过密化程度越来越严重，在交通事故方面也出现增加的趋势。

日本近年交通死亡事故的特点表现在如下几方面。

1. 交通死亡事故的减少

(1) 横穿道路行人的减少

这是造成车辆对人的死亡事故率高的重要因素之一。这类事故，由于在人行横道及其附近横穿道路的行人减少而呈下降的趋势。

(2) 安全速度的下降

所谓安全速度，即安全推荐速度，日语为危险认知速度，即驾驶员在行驶中对对向车辆、行人及静止车辆或物体的判断，并确保能安全行驶的最高速度。

整个安全速度的降低，尤其是速度在 81km/h 以上事故明显

减少。

(3) 安全带使用人数的上升

从汽车乘员中的死伤人数看, 1993 年以来, 使用安全带的人数比例在上升。从交通事故的死亡比例来看, 使用安全带的人仅为没有使用安全带人数的 $1/8$ 。1993 年以来, 随着使用安全带人数的增加, 乘车人员中的死亡人数呈现减少的趋势。

2. 老龄死亡人数的增加

从整体上来看, 65 岁以上的老龄死亡人数有增长的趋势, 其中, 尤其是在乘员中的老龄死亡人数显著增长。此外, 作为交通中的弱者 (主要是行人、骑自行车人) 的死亡人数依然较多。

二、交通安全对策

1. 使用幼童安全座椅

1998 年, 日本交通事故中汽车乘坐幼童的死伤人数与 1994 年相比增加了 62%, 没有使用幼童安全座椅的死亡率是使用幼童安全座椅的 4 倍。因此, 汽车驾驶员, 除有规定外, 乘载幼童必须使用幼童安全座椅, 否则不准行驶。

2. 禁止在汽车行驶时使用移动电话

在过去的 20 年间手持移动电话已经成为一个道路安全问题。以美国为例, 此类电话的数量从 1985 年的 50 万台上升至 2002 年的 1.2 亿台。研究表明, 当驾驶员使用手持电话时, 其反应时间从 0.5s 上升至 1.5s, 驾驶员也难于使车辆在行车道上保持正确的位置、保持适宜的速度以及在行驶时对安全距离做出判断和操作。有证据表明驾驶员在使用手持电话时发生碰撞的危险比其他驾驶员要高 4 倍, 这对驾驶员和其他道路使用者构成了威胁。

免提式电话也会使驾驶员分散注意力, 现有的证据提示手持电话的危害性更大。将近一半的驾驶员在紧急情况下都用移动电话呼救, 因此禁止他们在车内使用移动电话不太可能, 但在全球各地大

约有 35 个国家已禁止驾驶员在驾驶时使用手持移动电话。日本规定在汽车行驶时，禁止使用手机、车载移动电话以及看汽车导航系统的显示器画面。

3. 增加驾驶员教育的认证制度

日本的驾校等单位对驾驶员进行的交通安全教育、设置的项目及内容，应接受都道府县公安委员会的认证。

三、实施交通安全教育

1. 交通安全教育

交通安全教育是确保道路交通安全而采取的主要措施之一。在日本，主要以都道府县警察为首，有相关部门和团体参加，共同实施交通安全教育。警察有义务为交通安全有关团体等组织开展道路交通安全和畅通的活动，采用提供信息、建议、指导等措施。

2. 编制《交通安全教育指南》

《交通安全教育指南》是一本指导者用于有效进行交通安全教育的指导手册。根据指南的要求，系统地实施从幼童到老龄人等各年龄层次的交通安全教育，减少因忽视交通法规、疏忽大意等人为因素引发的交通事故，不断提高交通安全意识。

3. 日本交通安全教育体系

日本交通安全教育体系如图 11-2 所示。其中：国家公安委员会主要是依据《道路交通法》关于“防止道路上的危险、安全与畅通、防止故障”的规定和《警察厅组织令》关于“交通安全教育”的规定。

四、对老龄驾驶员的措施

随着老龄化社会的到来，65 岁以上的老龄驾驶员人数近年来显著增加。因此，采取必要的措施以保持老龄人的灵活性，同时防止老龄人因身体机能的衰退而引发交通事故。

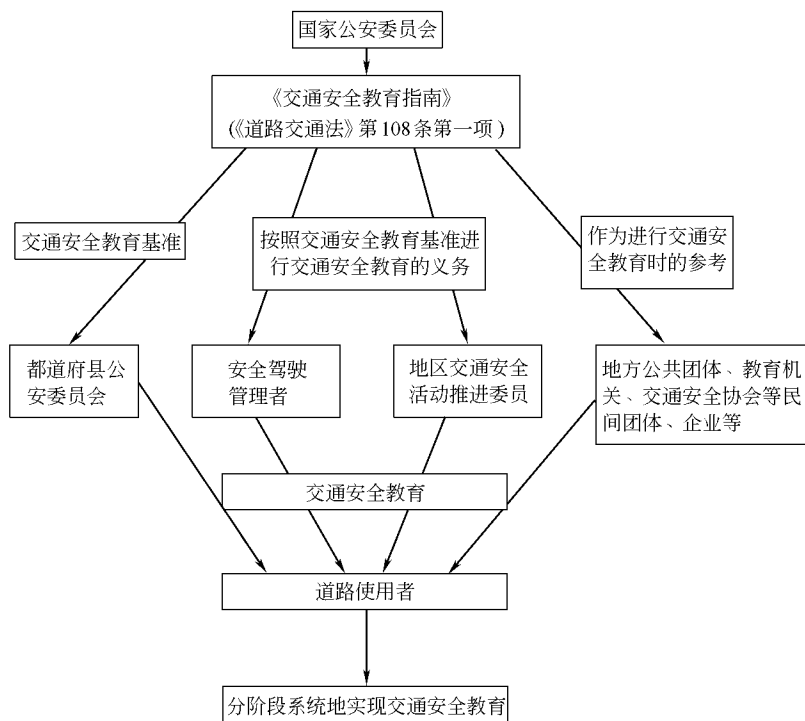


图 11-2 日本交通安全教育体系

目前实施的老龄驾驶员教育的主要措施是，对驾驶执照有效期已满，且年过 75 岁的老龄驾驶员开办老龄驾驶员讲习班。

- ① 有关老龄驾驶员的驾驶特性、交通事故特征的讲习。
- ② 对实际驾驶技能的个别指导及驾驶适应性检测设备的使用指导。

此外，在更换驾驶执照时，对 65～75 岁的老龄驾驶员开办老龄班，提高讲习的效果。

五、驾校、驾照

1. 更新驾驶执照的制度

驾驶执照的更新制度主要是指在驾驶执照有效期满，对驾驶员的驾驶适应性进行确认，对驾驶员进行交通安全教育，从而起到保障交通安全的重要作用。

从 1993 年起，在驾驶执照的有效期内，日本又引入了违章记点制度，对优秀驾驶员（除驾驶执照有效期满时年龄已超过 71 岁的老龄驾驶员外）更新后的驾驶执照有效期为 6 年。

该项更新制度的效果主要体现于如下几点。

- ① 驾驶执照上的照片必须是最近的，以保证可确认本人。
- ② 对驾驶员安全驾驶所必需的视力、听力适应性的确认。
- ③ 更新执照时，进行必要的安全驾驶知识教育，以提高驾驶员的素质。

- ④ 确保行政处罚的实施。
- ⑤ 保障“违章记点”制度对安全驾驶的作用。

2. 驾驶执照管理的国际化

对持有外国驾驶执照的驾驶员需申领日本驾驶执照的，只需满足一定的条件，并经公安委员会确认，即可免除驾驶执照考试。

3. 驾校的教育

驾校的教育，要对申领驾驶执照的人进行有关机动车驾驶技能和知识的培训，同时，还要对已取得驾驶执照的驾驶员，如老龄驾驶员等，根据其驾驶的次数、职业、年龄等的不同，实施终生教育。

此外，在本地区广泛开展居民的交通安全教育，以及作为地区交通安全教育中心的驾校发挥着重要作用。

六、警察的智能交通系统（ITS）

1. ITS（智能交通系统）

ITS 是采用最先进的信息通信技术，实现安全、舒适、快捷、环境优美的一种智能交通系统。

有关 ITS 的研究、开发正在世界范围内进行着。在日本，警察厅的 ITS 的核心主要是围绕 UTMS(Universal Traffic Management System, 新一代交通管理系统)的研究、开发及推广应用而进行的。

2. UTMS21 的主要构成

UTIMS21 主要包括以下子系统。

(1) ITCS (交通控制中心)

该中心是新一代交通管理系统 UTMS21 的心脏, 根据与车载装置的双向通信而获得的信息, 该中心对交通信息进行收集, 对交通信号进行控制。

(2) 光信标

光信标是 UTMS21 系统的关键性基础设施, 它可保持系统与车载装置的双向通信, 从而实现了各副系统的功能。

(3) MOCS (车辆运营管理系统)

本系统通过向运营管理人员提供公共汽车、出租车、卡车的行车位置等情况, 能帮助车辆有效行驶, 促进交通畅通无阻。

(4) DRGS (动态引路系统)

该系统能向司机推荐用最短时间到达目的地的路线, 这样既能提高行车的方便性, 又能分散汽车的行驶路线, 消除交通堵塞。

(5) HELP (紧急通报系统)

在发生交通事故及车内发生紧急情况时, 能用自动或手动方式, 通过车载(移动式)电话等通信网, 将情况通报给专门的办事中心, 从而可安排警车和救援车辆等。

(6) EPMS (环境保护系统)

该系统可根据大气污染和气象等情况, 来提高交通信息、控制交通信号, 从而可减少排气、交通噪声等由交通引起的公害, 促进环境保护。

(7) FAST (紧急车辆优先系统)

该系统通过对警车等紧急车辆传送指令、引导道路等, 可减少

紧急行驶造成的交通事故，同时利用本系统还可缩短紧急车辆的反应时间，为事件的尽早解决和迅速采取求援活动提供帮助，从而实现安全富裕的社会。

(8) PIGS (行人信息、通行系统)

为了帮助行人（特别是老人、视觉残疾人和使用轮椅的人等）的安全行走，本系统采用用声音向行人通报红绿灯情况及延长绿灯时间等办法，来减少交通事故。

(9) DSSS (安全驾车辅助系统)

该系统利用交通控制系统中的基础设施和 IC 卡，帮助汽车安全驾驶、保证行人（特别是老人和交通弱者）的安全，以减少交通事故。

(10) IITS (综合智能信息图像系统)

该系统利用收集交通信息的摄像机拍摄的图像，展开抑制违章停车、控制交通信号等工作。同时从光信标和因特网向司机提供交通情况等图像，从而实现安全、顺畅、有利环境的交通社会。

(11) AMIS (交通信息提供系统)

该系统通过向司机提供适当的交通信息，如交通堵塞、交通事故、所需时间、交通图像等，能够分散交通流量，促进交通顺畅。

(12) PIPS (公共车辆优先通行系统)

该系统通过控制优先信号和设置优先路线，可让公共车辆优先通行，同时也为公共汽车乘客提供方便。

七、改善交通事故多发地点的道路交通环境

针对日常生活场所可能发生交通事故的多发地点，为防患于未然，交通事故综合分析中心从中抽取 3200 个易发生交通事故的地点，并与道路管理者联合对这些地点进行现场调查及事故原因的详细分析。据此，重点提出有关交通安全设施配备和交通安全计划的对策。改善交通事故多发地点的道路交通环境的具体步骤及对策如

图 11-3 所示。

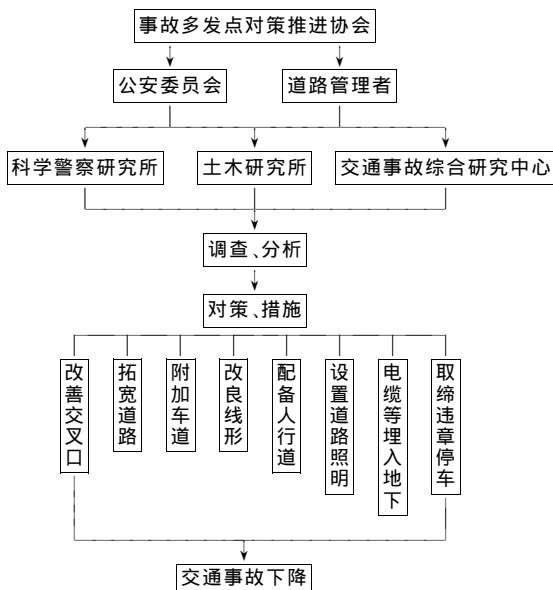


图 11-3 改善交通事故多发地点的道路交通环境的具体步骤及对策

八、考虑环境问题的交通管理方法研究

依据汽车废气排放的有关规定，减少由汽车排放的氮氧化物等造成的交通污染，但由于汽车总量的增加，相应的行驶里程的增大，包括噪声、振动等的交通公害没有得到明显改善。

因此，建立 UTMS 的子系统 EPMS（减少交通公害系统），它可以根据收集的环境污染情况、气象情况等交通信息，实施交通信号控制，以达到减少交通公害和防止由于汽车二氧化碳排放增多而使地球变暖的现象。

通过 EPMS 的实验证明，车辆速度与二氧化碳及氮氧化物的排放浓度之间有一定的关系。配备该系统后，使汽车二氧化碳的排

放量减少了 14%。

九、综合停车对策的推进

违章停车使得干线道路的阻塞情况更加恶化，同时，也是引发交通事故的重要原因之一。此外，在住宅区违章停车，破坏了住宅区的生活环境，影响到行人的通行安全和紧急车辆的通行等，给人民生活带来很大的影响。

具体对策措施如下。

- ① 允许适当停车的规定。检查并重新评估停车规定。
- ② 配备停车诱导系统和违章停车监控系统。配备停车诱导系统以提高停车场的利用率，在交叉口附近配备违章停车监控系统以控制违章停车。
- ③ 有效取缔违章停车。重点取缔在干线道路交叉口、人行横道、公交车站点等性质恶劣、危险性大、且迷惑性高的地点的违章停车。
- ④ 加强“购车自备停车位”政策的实施。为防止把道路作为汽车的保管场所，实施“购车自备停车位”政策和微型车停车场所申报制度，取缔所谓露天停车或用不正当手段获得停车位证明书的行径。
- ⑤ 与有关机关、团体联合开展停车对策研究。

十、加强对严重交通违章行为的执法力度

无证驾驶、饮酒驾驶、超速行驶、闯红灯、对行人过街不停车让行等性质恶劣、危险性大的严重交通违章，是引发交通事故的重要原因。因此，相应地采取下列各项措施。

- ① 配备违章超速自动监控系统等装置。
- ② 加强对性质恶劣、危险性大的严重交通违章取缔以及事后责任追究。
- ③ 开展对驾驶员交通安全教育和指导。

十一、确保高速公路上交通的安全和畅通

（一）高速公路交通事故发生的情况

高速公路网的不断完善，提高了通行的便利性，但高速公路上的交通事故也有增加的趋势。高速公路上交通事故的主要原因是：在高速行驶中，驾驶时稍有不慎，即可能引发重大交通事故，造成群死群伤的情况。

（二）保障高速公路上的交通安全与畅通

高速公路警察队是高速公路上交通安全与畅通的保障。进行道路交通事故分析的重点是重大交通事故的预防。主要对策如下。

1. 交通安全活动

- ① 采用高性能巡逻车加强巡逻——重点取缔违章超速。
- ② 与有关机关、团体联合开展宣传报道活动。

2. 交通法规

- ① 大型货车应在外侧车道通行的规定。
- ② 配备和道路管理者一体化的现场诊断和安全设施。
- ③ 恶劣天气时的临时交通管制的规定。

十二、交通事故调查取证的高度化、合理化和推进交通事故受害人对策

1. 交通事故调查取证的高度化、合理化

交通事故发生起数依然呈增加趋势，为彻底查明事故原因、减轻事故当事人负担、加快事故的处理以恢复交通的畅通等，主要采取以下措施。

- ① 针对死亡、重伤等的事故，重点组织开展集中调查。
- ② 配备交通事故处理的现场勘查设备。
- ③ 积极运用“交通物损事故处理的简易程序”制度。
- ④ 采用计算机对交通事故进行科学研究、分析原因。
- ⑤ 使交通事故及有关业务的处理系统化、合理化。

2. 推进交通事故受害人对策

为使交通事故的受害人及其亲属得到迅速和及时的救助（济），主要采取以下措施。

① 受害人联系制度。关于与在车辆逃逸事件和交通死亡事故中的受害人或者亲属，就肇事嫌疑人的检举、押送情况、处理结果等进行联系的规定。

② 向受害人提供事故概要的说明。当受害人要求就有关事故概要做出说明时，应在不妨碍调查和保护个人隐私的范围内给予说明。

③ 编发《交通事故受害者手册》。主要是将有关涉及刑事程序、申请事故损害赔偿的方法、交通事故调解部门、各种社会医疗机构以及受害者支援组织等的内容，编印成《交通事故受害者手册》，向交通事故受害者发放。

第四节 道路交通安全对策

对于每个人来说，任何道路交通系统都是极其复杂的，而且交通事故是人类健康的一大公害。道路交通系统的要素包括机动车、道路和道路使用者及其自然、社会和经济环境。降低道路系统的危害性，需要采取“综合措施”，即把该系统作为一个整体来认识，了解各要素的相互作用，确定需要干预的隐患。特别必须要认识到人体在伤害面前是十分脆弱的，对道路交通伤害的忽视正是人类的可悲之处。一个安全的道路交通系统必须能适应和弥补人类的易受伤害和难免犯错误的弱点。

一、开展道路交通安全宣传教育

1. 美国道路交通安全宣传教育状况

美国从 1928 年开始在小学设立交通安全教育课程，开展日常性交通安全教育工作；1930 年成立了以改善道路交通状况为研究主题的“美国交通工程师学会”和全国性的交通安全领导机构，负责编制交通安全教育的教材、宣传画和小册子。同时十分重视对学生的交通安全宣传教育，针对学龄前儿童的特点，在保育院、幼儿园开设交通安全教育课，对儿童进行系统的交通安全教育。采取以上措施，对全民交通安全知识水平的提高和交通环境的改善起到了积极的促进作用。

2. 日本道路交通安全宣传教育状况

日本众议院 1958 年通过了《防止交通事故的决议》，日本警察厅 1961 年成立了以普及全民交通安全教育、防止交通事故为宗旨的财团法人“全日交通安全协会”，并召开了第一次交通安全国民总动员大会。此后，日本大力加强对全民的交通安全教育，尤其是对中小学生的教育；设立了交通安全巡视制度，负责保护行人和儿童交通安全，监督交通安全教育的开展情况。每天晚上的黄金时刻，电台、电视台都播发当天的交通要闻和安全信息；出租车一般都装有小屏幕电视机，可随时接受交通指导和管理部门的指导、教育；同时逐步增加交通基础设施建设资金的投入量，完善各类交通设施；1970 年召开了由内阁总理大臣为主席的“全国交通安全对策会议”。这些措施，对改善交通安全状况起到了积极的促进作用。

3. 法国的道路交通安全宣传教育状况

法国在 20 世纪 50 年代即以法律的形式规定学校有义务对学生进行交通安全宣传教育，每月要有半小时的交通知识教育和一个半小时的技术训练。近年来，更加重视交通安全知识教育，指定由交通安全协会分发教材，在全国建立了 400 多座交通公园，指导孩子们如何驾驶自行车、摩托车等，让他们在实践中掌握交通安全知识。

我国的交通安全宣传教育工作水平比较落后，基本处于“起步

阶段”。当前道路交通安全宣传教育几乎是公安交通管理部门一家独立支撑，未充分发动全社会力量积极参与。由于警力不足，教育对象十分狭窄，基本上局限于驾驶员和部分行人。安全教育缺乏系统性和相关性，宣传教育形式单一，教育方法公式化。虽然我国已有《道路交通安全宣传教育三年纲要》和中央综合治理委员会《关于加强道路交通安全管理法制宣传教育工作的通知》的总体部署，一些城市已把交通安全教育纳入幼儿园、中小学校的教学内容，但普及不够，还没有形成一个长期稳定有效的社会化道路交通安全教育体系。

二、道路安全目标 (Road-Safety Target)

道路安全目标是决定道路安全项目好坏的根本。为达到研究的目标，国际流行的解决措施是采用以下研究方法和内容。

1. 分析事故趋势和现有道路安全问题

分析事故趋势和现有道路安全问题对现有道路安全状态和趋势进行描述，找出优先处理的事发多发位置 (Accident-prone Location, Black Spots, Black Routes and Black Areas)，以了解道路安全过去的情况和未来可能的发展趋势。系统描述和分析道路安全问题有助于确定道路系统中的弱者——道路用户或高危人群，以便在道路安全项目中给予关注。

2. 评价各种可能的道路安全措施

评价各种可能的道路安全措施要从达到的目标和有效性两方面进行。目前这两个方面的资料及经验都不足，但在实施后往往能有很好的效果。安全措施的理论研究成果由于种种原因往往在实现过程中有一定的难度，如资金、政府、实施者等问题，因此道路安全项目应该考虑这些影响因素。

3. 对影响安全的外在因素的评价

在评价时总是存在影响安全的外在因素，如驾驶人员和行人的素质、对交通法规的遵守等。在制定道路安全策略时也应该考虑包

含这些外在的影响因素。

4. 制定目标

明确系统的道路安全目标有助于指导和制定相关政策。

5. 系统地选择、制定行动计划

为了找到最经济的比选方案，应系统审查可选的行动计划。审查过程应包括对各种措施不同的选择、费用-效果或费用-效益率估计并构成一个费用-效果项目。

6. 监控与反馈

必须仔细监控道路安全项目目标以了解安全对策的执行情况，如果有必要可修改目标或计划项目。

监控在目标项目中是很重要的，它会导致对道路安全资料的质量和数量地改善，缺乏相关的、精确的、可取得的、实时的、标准的、综合的资料将会影响道路安全措施地发展、执行和评价。

三、安全审核 (Safety Audit)

道路安全问题是道路的交通系统的质量问题，当它最终能决定基础设施的投资时，它与其他问题如服务水平、出行目的地、环境影响、费用等是同样重要的。

在公路项目的前期阶段确定一个基础设施的项目时，应尽可能多地考虑道路安全问题。

目前这种新的防止事故发生的方法正在英国、美国、澳大利亚和新西兰等国得到运用，法国于 1995 年对其收费的两条高速公路进行了安全审核实验。

无论是对新建还是改建道路，在各个阶段中用道路安全影响评价（包括审计技术）来评价相关道路的安全问题是很有用的。为了更好地应用道路安全审计，应注意以下几个问题。

- ① 使用相对独立的审查人员。
- ② 公布审查报告。
- ③ 依据审查清单进行安全审查。

④ 在公路建设项目的各阶段设计完成后和施工前公布审查报告。

⑤ 用审查报告向每条道路项目的管理者提出建议（因为管理者对项目完全负有责任）。

⑥ 完善和使用“最符合实际”的审查清单。

当然，要进行道路安全审计必须要有一支经过精心培训的专家队伍。

道路安全审计具有预防性和条理清晰的特点。审计在其他领域已经得到了成功运用，从概念上看道路安全审计也是非常有效的，但迄今为止对道路安全审计研究有效性的效果还没有得到来自事故数减少方面的印证。

四、宽恕的交通设计（Sustainable Safe Traffic）

通过处理导致事故最根本的原因、移去冲突区域或对道路使用者人为进行调控，就能得到一个长期的基本安全的道路交通系统。在这些地方事故仍然会出现，但不会出现严重伤害的危险。

一个能容忍的安全交通系统包括以下几部分内容。

① 安全的道路设计应符合人的驾驶特性。

② 车辆设计应尽可能简化驾驶员的工作，车辆结构应尽可能有效地保护司乘人员。

③ 驾驶员应是受过充分的安全教育，并能根据道路提供的信息行驶并受到道路所提供信息的调控。

对道路基础设施而言，要达到能容忍的安全交通，可以采用以下三个安全理论。

① 道路网功能使用（The functional use of the road network）理论：通过阻止盲目地使用每一条道路来充分发挥道路网的使用功能。

② 同质使用（The homogeneous use）理论：通过减小道路上的车速差别、车流不均匀分布和行驶方向的不同来达到车辆在同类

道路上的同质使用。

③ 可预知使用 (The predictable use) 理论: 通过加强行驶过程和同类道路用户行为的可预知性以阻止道路用户行为的不确定性。

这些理论和方法在当今道路安全策略研究中具有代表性。

五、运输信息技术的应用 (Applied Transport Telemetric, ATT)

为改善交通、运输管理和道路安全, 人们引用了运输信息技术 (ATT) 这个新理念。人们对运输信息技术的运用寄予了较高的期望, 希望它能在道路安全方面有积极的作用, 但目前这方面还未得到完全实现。这一领域的发展极少与社会发展和政策制定相联系, 而主要是通过“技术推进”来实现。从道路交通安全的观点来看, 下列问题已作为信息技术运用重要性的评价。

- ① 控制交通增长 (即用 GPS 进行路线规划和群体管理)。
- ② 交通在时间和空间上的理想分布 (无线交通信息)。
- ③ 交通流管理 (即驾驶速度的一致性)。
- ④ 减少危险 (即是对特殊道路和特殊天气条件的警告、可视性和智能性速度限制设施的改善)。
- ⑤ 对交通事故负面效果的限制 (事故警报系统和救援系统)。

正在研究中的某些方面的发展可能对驾驶行为和驾驶行动有负面影响 (如将轿车当做办公室, 车内配备有电话和传真等), 这些发展很有必要进行安全评定, 评定后可能会导致某些方面发展的调整。安全评定应该有一定规则, 如英国已有安全审查清单, 审查有可能造成的负面结果。另外, 从用户的观点看 (特别是在目前的西方社会), 他们认为接受这些发展是很重要的也是可理解的, 因为这是人、机相互作用的结果。

目前西方社会的政府和道路用户的代表正紧盯信息技术的发展和运用, 并在从管理的角度进行运输信息技术的运用评价。一旦发

现问题，即在国际标准或准则的基础上进行改进。

六、道路交通事故紧急救援系统

现场紧急救援的目的是为了降低人体损伤程度，避免一些有致命伤的伤员因抢救迟缓而丧失生命。据我国卫生部的资料表明，在 1000 例交通事故伤者中，只有 14.3% 的乘救护车到达医院。道路交通事故实验表明，如果在事故发生后 5min 内采用紧急救援措施，30min 内采用急诊，至少可以有 18%~25% 的重伤者免于死亡。因此，实施道路交通事故现场紧急救援是降低事故死亡率的重要措施，是预防道路交通事故的有效手段。

1. 欧美、日本等发达国家交通事故紧急救援体系的构成

欧美、日本等发达国家交通事故紧急救援体系由下列子系统构成。路边电话系统、信息接报中心、紧急医疗系统、紧急出警系统、路面清障系统和消防系统等。发达国家经济力量雄厚，基本上建立起了完善的交通事故紧急救援体系。以德国的紧急救援系统为例，被德国人尊称为“黄色飞鹰”的全德汽车俱乐部 ADAC 是当今世界紧急救援体系最好的佐证。ADAC 拥有 1600 多辆标有“黄色飞鹰”的公路维护救援车辆，在德国境内的高速公路、大中型城市以及人口稠密地区执勤，随时准备对出现故障或抛锚的车辆及受伤人员实施现场救援。另外他还拥有 1100 多个遍布于德国境内的合作伙伴，不分昼夜地准备提供类似的现场救援服务。从 1970 年起，ADAC 同时提供由直升机实施的快速空中救援。根据 ADAC 的统计数据，在 8min 内，ADAC 的空中救援直升机可使大部分交通事故受害者获得医生的专业急救处理。由于他们的救援直升机的及时快速行动，已经抢救了大约 10 万人的生命。在 2001 年，德国共执行了超过 6.3 万次的直升机空中救援飞行行动，平均每天约 470 次。目前，ADAC 已将救援服务扩展到了国外。

除了对故障车辆和受伤人员提供现场救援和运送服务以外，ADAC 还提供广泛的交通信息，例如交通高峰期的车辆堵塞状况，

旅行目的地所在国的一些特殊交通规则等。针对在驾车新手和老年驾驶员人群中常出现的行车安全隐患，ADAC 定期举办安全驾驶培训班，让有经验的教员讲解并现场演示如何及时发现危险，如何正确排除紧急状况。至 2000 年 5 月，ADAC 共有 1450 万个会员。另外，德国将其全境划分为 330 个紧急医疗服务区，每个紧急医疗服务区覆盖 1000km^2 的面积，约有 25 万居民。紧急医疗服务区下设分控中心，每个分控中心覆盖 170km^2 ，约有 4 万居民，分控中心下设紧急医疗服务站。

2. 欧美、日本等发达国家减少道路交通死亡人数的成功经验

发达国家的经验表明，紧急救援系统的建立是减少交通事故死亡人数的重要手段。为保证以最快的速度、最短的时间到达第一现场，警察、消防、医院救护、边防警卫、海军救援、独立救援单位都参与其中。几乎所有发达国家的消防人员都参与了交通事故紧急救援，并且已经培养出了应付各类事故的医疗紧急救援，包括具有交通事故快速反应能力的专门人才。

德国和日本是道路交通事故紧急救援系统建立比较完善的国家。在紧急救援的作用下，日本道路交通事故的致死率由 1950 年的 14.2% 下降到 1995 年的 1.1%。德国的交通事故致死率也由 1970 年的 3.61% 下降到 1997 年的 1.696%。

七、伤害监测系统

这一监测系统能够提供可靠的道路交通碰撞事故和伤害方面的资料，有关资料（尤其是有关非死亡的转归）由于没有标准化，使国家之间很难进行比较。在资料上常有不一致，例如，警方和卫生机构提供的数据就不一样。此外，故意少报告道路交通死亡人数是非常普遍的现象（无论是卫生机构还是警方数据都是如此），使现有的资料用处不大。可靠的资料是进行道路安全规划和决策的坚实基础。建立简易的、成本效益比较高的伤害监测系统是改善道路安全的重要步骤。然而，由于缺乏可靠的资料，很难一蹴而就。较易

见效的做法是借鉴和应用在其他国家已被证实的行之有效的经验。

1. 必须考虑到在道路系统中有许多因素可能对交通伤害产生影响

与道路安全伤害相关的各类危险以及可影响这些危险的因素包括如下几方面。

① 危险暴露。决定因素包括：经济和人口学因素、机动化水平、旅行的方式、非必须的旅行数量以及土地使用规划方式等。

② 发生碰撞。危险因素包括：超速、酒后驾驶、不安全的车辆、道路设计不安全、缺乏有效的执法和安全法规。

③ 伤害严重程度。危险因素包括：不使用安全带、儿童固定座椅和防撞安全头盔；缺乏“与人为善的”车辆前端，不能在发生碰撞时保护行人；在发生碰撞时路旁的基础设施是非保护性的。

2. 个体对碰撞的耐受性

碰撞后伤害转归。危险因素包括：未能及时发现车祸和提供拯救生命的措施与心理援助；在出事地点没有或延误提供紧急现场救护，没有或延误运送到医疗机构以及不能提供合理而且有效的创伤治疗和康复。

参 考 文 献

- 1 [苏] B·Φ·巴布可夫教授著. 道路条件和交通安全. 景天然译. 上海: 同济大学出版社, 1990
- 2 李百川编著. 汽车驾驶员适宜性检测及评价. 北京: 人民交通出版社, 2003
- 3 Peden M et al. The world report on road traffic injury prevention. Geneva: World Health Organization, 2004
- 4 郭忠印, 方守恩等编著. 道路安全工程. 北京: 人民交通出版社, 2003
- 5 王武宏等著. 道路交通系统中的驾驶行为理论与方法. 北京: 科学出版社, 2001
- 6 公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计资料汇编 (1999~2004)
- 7 美国 AASHTO 协会. 公路与城市道路几何设计. 西安: 西北工业大学出版社, 1988
- 8 钟志华等著. 汽车碰撞安全技术. 北京: 机械工业出版社, 2003
- 9 Richard Bossom, Innovative ITS Solutions Urban Traffic Control, 2000 Shanghai International ITS Conference
- 10 郑柯, 冯桂炎. 道路交通事故多发点道路状态的技术分析. 长沙交通学院学报. 2000. 63~66
- 11 王炜等编著. 交通工程学. 南京: 东南大学出版社, 2000
- 12 赵恩棠. 道路交通安全. 北京: 人民交通出版社, 1990
- 13 公安部交通管理局, 公安部交通管理科学研究所. 亚洲开发银行技术援助项目 (ADB-TA 3341-PRC——交通安全、规划与管理, 培训教材). 2001
- 14 刘志强. 中国道路交通安全现状分析. 公路交通科技, 2001, No. 2: 70~74
- 15 王建编著. 交通安全心理学. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1988
- 16 余志生. 汽车理论. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 17 赵恩棠, 刘稀柏. 道路交通安全. 北京: 人民交通出版社, 1990
- 18 中国公路学会《交通工程手册》编委会. 交通工程手册. 北京: 人民交通出版社, 1998
- 19 [日] 林洋著. 实用汽车事故鉴定学. 黄永和译. 北京: 人民交通出版社, 2001
- 20 刘志强. 交通安全分析比较研究. 交通与计算机, 2001, No. 4: 7~10
- 21 [瑞典] 克列斯特·海顿 著. 交通冲突技术. 成都: 西南交通大学出版社, 1994
- 22 杜尔特. W (德). 联邦德国道路设计. 景天然译. 北京: 人民交通出版社, 1987
- 23 张美曾等译. BOSCH 汽车工程手册. 北京: 学术书刊出版社, 1990
- 24 市原薰 (日). 道路设施工程学. 王惠普译. 北京: 人民交通出版社, 1983
- 25 饭田恭敬编著. 佐佐木纲主审. 交通工程学. 北京: 人民交通出版社, 1999
- 26 徐吉谦主编. 交通工程总论. 北京: 人民交通出版社, 1991
- 27 Persaud B, Dzbik L. Accident predication models freeways, TRR 1401. Washington D. C., USA: Transpotation Research Board, 1993
- 28 Dr. Kenichi Yoshimoto, Progress of Traffic Safety in Japan (R). 4th ASIA-PACIFIC

ITS SEMINAR, July 4~7, 2000, Beijing, China

- 29 Brian L. Allen, B. Tom Shin, Peter J. Cooper. A analysis of Traffic Conflict and Collisions. TRR n667, National Research Council, washington D. C. , USA, 1978
- 30 Oppe S. Development of Traffic Safety Global Trends and Incidental Fluctuations. Accident Analysis and Prevention, 1991
- 31 Oppe S. Macroscopic models for traffic and traffic safety, Accident Analysis and Prevention v21n3Jun 1989, 225~232

内 容 提 要

本书是《现代道路交通安全技术丛书》的一个分册。本书吸收了国内外交通安全研究方面的最新研究成果，系统地介绍了人、车、路、道路交通环境与交通安全的关系，交通事故的发生机理，交通安全系统的分析和评价，交通事件检测的原理方法、检测技术和事故鉴定技术，GIS在交通安全领域的运用技术的基本方法和理论。

本书可供交通、公安、城市建设部门的技术人员参考使用，也可以作为交通工程、交通运输、交通管理等本科专业的教材。