

# 城市轨道交通信号设备

林瑜筠 主编

朱宏 王伟 堵建中 赵炜 丘庆球 副主编

李克 主审

中国铁道出版社

2006年·北京

## 内 容 简 介

本书较全面地叙述了城市轨道交通信号设备的基本组成和基本原理,分为城市轨道交通信号设备概述、基础设备(信号机、转辙机、轨道电路)、联锁设备、ATC(列车自动控制,包括最新的CBTC)五章。除对所采用的铁路信号设备做一般性介绍外,重点对目前我国城市轨道交通采用的各种轨道电路、计算机联锁和ATC设备进行了详细介绍。

本书可作为高等学校城市轨道交通信号专业教学用书,也可作为中等职业教育相关专业的教学参考用书,还可作为城市轨道交通信号专业的工程技术人员、技术工人的技术培训用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通信号设备/林瑜筠主编. —北京:中国铁道出版社,2006.5  
ISBN 7-113-05419-6

I. 城… II. 林… III. 城市铁路-铁路信号-信号设备 IV. U284.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第051292号

书 名:城市轨道交通信号设备

作 者:林瑜筠 主编

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑:魏京燕

责任编辑:魏京燕

封面设计:薛小卉

印 刷:河北省遵化市胶印厂

开 本:787×960 1/16 印张:23.5 字数:592千

版 本:2006年6月第1版 2006年6月第1次印刷

印 数:1~4000册

书 号:ISBN 7-113-05419-6/TP·1002

定 价:39.80元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话(021)51873115 发行部电话(021)73169

(010)63549465 (010)63545969

# 前 言

城市轨道交通(包括地下铁道和轻轨铁路)具有运量大、速度快、安全可靠、污染轻、受其他交通方式干扰小等特点,对改变城市交通拥挤、乘车困难、行车速度下降、空气污染是行之有效的。因此,城市轨道交通是现代化都市所必需的。20世纪90年代以来,我国城市轨道交通加快了建设步伐,尤其是进入21世纪,迎来了城市轨道交通建设的高潮。除北京、天津、上海、广州已建成规模和档次不同的地铁和轻轨并进行扩展和延伸外,深圳、南京、大连、长春、武汉、重庆也已开通运营地铁或轻轨,还有青岛、沈阳、西安、杭州、哈尔滨等已批准建设或正在筹建。我国城市轨道交通呈现着十分广阔的发展前景。

在城市轨道交通的各项设备中,信号设备是非常重要和关键的设备,具有不可替代的作用。城市轨道交通的安全、速度、输送能力和效率与信号系统采用的设备密切相关。信号系统不仅是城市轨道交通安全运行的保证,而且实际上已成为城市轨道交通调度指挥和运营管理的中枢神经。选择合适的信号系统可以带来较好的经济效益和社会效益。因此,采用ATC(列车运行自动控制系统)已成为城市轨道交通的共同选择。

城市轨道交通信号系统的技术含量高,具有网络化、综合化、数字化、智能化的现代化系统的技术特征。要使更多的信号工作人员掌握现代化信号系统的基本知识和基本技能,提高广大信号工作人员的技术水准,以充分发挥现代化信号系统的作用,是城市轨道交通信号发展中亟须解决的问题。为满足城市轨道交通发展对技术培训的需要,满足从事城市轨道交通信号工作的人员和相关院校城市轨道交通信号专业的学生学习的需要,我们编写了本书。

城市轨道交通因其运营条件相对较好,以及具有运行密度高、站间距离短、列车运行速度相对不太高等特点,其信号系统与铁路相比,有相当的区别。本书密切结合城市轨道交通的实际情况,介绍各项信号设备。为节省篇幅,与铁路信号设备相同的,本书未作详细介绍,如需要可参阅有关书籍。

全书分城市轨道交通信号设备概述、信号基础设备(信号机、转辙机、轨道电路)、联锁设备、ATC四部分(共五章)进行介绍。

第一部分是概述部分,较全面地介绍了城市轨道交通信号设备的概况及发展方向,帮助读者建立对于城市轨道交通信号系统的清晰概念。

第二部分是信号基础设备部分,简要介绍了信号机和转辙机的基本概况,着重介绍

了各种轨道电路的结构和工作原理,这是城市轨道交通信号系统的特色。继电器、电源屏、WG-21A 轨道电路因采用铁路所用,未予以介绍,可分别参阅《铁路信号基础》(中国铁道出版社,2003 年版)、《铁路信号电源》(中国铁道出版社,2006 年版)、《铁路信号智能电源屏》(中国铁道出版社,2006 年版)、《新型移频自动闭塞(修订版)》(中国铁道出版社,2003 年版)。欲了解信号机和转辙机的详细情况,可参阅《铁路信号基础》(中国铁道出版社,2003 年版)。

第三部分是联锁设备部分,将正线所用的和车辆段所用的合在一起介绍,讲述了联锁设备特点,以及我国城市轨道交通所用的各种计算机联锁,包括国产的和引进的。至于 6502 继电集中联锁,虽然还有使用,但未详细介绍,可参阅《6502 电气集中学习指导(修订版)》(中国铁道出版社,2006 年版)和《6502 电气集中图册》(中国铁道出版社,1999 年版)。国产计算机联锁也未作详尽介绍,需进一步了解,可参阅《计算机联锁原理与维护》(中国铁道出版社,2006 年版)。

第四部分是 ATC 系统,它是城市轨道交通信号系统的核心和关键,也是本书的重点。先介绍了 ATP(列车自动防护)、ATO(列车自动运行)、ATS(列车自动监控)的基本原理,再介绍我国城市轨道交通所用的各种 ATC 系统,包括最新的 CBTC 系统。

由于城市轨道交通信号系统制式纷杂,且各具特色,尤其是 ATC,尽管我们尽量涵盖,但不可能面面俱到。各地各校在组织学习时,可根据实际需要予以选用和适当补充。

本书最后附有名词术语英中对照表,在阅读正文遇到英文缩写不理解时,可用此表查阅。

本书由南京铁道职业技术学院林瑜筠主编,北京全路通信信号研究设计院李克主审,上海地铁运营公司朱宏、王伟,南京地铁公司堵建中,北京地铁公司赵炜,广州地铁公司丘庆球副主编。林瑜筠、李克编写第一章,赵炜、林瑜筠编写第二章,朱宏、林瑜筠编写第三章,堵建中、林瑜筠编写第四章,王伟、丘庆球、林瑜筠编写第五章,北京全路通信信号研究设计院孙吉良参加了第三、五章的编写,南京铁道职业技术学院冯洪高编写附录。南京铁道职业技术学院徐彩霞、张国侯、薄宜勇、钱爱民也参加了编写。

由于我国城市轨道交通信号系统,尤其是 ATC,引入多国技术,制式众多,资料难以搜集齐全,再加上编者水平所限,时间仓促,书中不免有错误、疏漏、不妥之处,恳望读者批评指正,以不断提高本书水平,为我国城市轨道交通信号事业的发展尽绵薄之力。

编 者

2006 年 3 月

# 目 录

第一章 城市轨道交通信号设备概述 .....	1
第一节 城市轨道交通信号设备的特点 .....	1
第二节 城市轨道交通信号系统组成 .....	5
第三节 城市轨道交通信号系统的地域分布 .....	9
第四节 城市轨道交通信号系统的功能及其实现 .....	14
第五节 我国城市轨道交通信号技术的发展 .....	17
第六节 城市轨道交通信号系统的发展趋势 .....	23
第二章 信号基础设备——信号机和转辙机 .....	29
第一节 信号机 .....	29
第二节 转辙机 .....	37
第三章 信号基础设备——轨道电路 .....	45
第一节 轨道电路概述 .....	45
第二节 50 Hz 相敏轨道电路 .....	54
第三节 50 Hz 微电子相敏轨道电路 .....	63
第四节 PF 型轨道电路 .....	68
第五节 GRS 公司的音频无绝缘轨道电路 .....	69
第六节 FS-2500 型无绝缘轨道电路 .....	70
第七节 FTGS 型音频无绝缘轨道电路 .....	75
第八节 AF-904 型数字轨道电路 .....	88
第九节 DTC921 型数字轨道电路 .....	95
第十节 国产化试验型数字轨道电路 .....	100
第四章 联锁设备 .....	107
第一节 联锁设备概述 .....	107
第二节 TYJL-Ⅱ 型计算机联锁 .....	122

● 第三节	VPI 型计算机联锁	129
第四节	DS6-11 型计算机联锁	133
第五节	SICAS 型计算机联锁	139
第六节	MicroLok II 型计算机联锁	158
第五章	列车自动控制(ATC)系统	165
第一节	ATC 系统综述	165
第二节	ATP 子系统基本原理	192
第三节	ATO 子系统基本原理	213
第四节	ATS 子系统基本原理	221
第五节	西屋 ATC	243
第六节	西门子 ATC	269
第七节	西门子的 CBTC 系统	285
第八节	US&S ATC	292
第九节	ALSTOM ATC	313
第十节	SelTrac S40 型 CBTC 系统	331
第十一节	调度集中(CTC)	345
第十二节	国产试验型准移动闭塞 ATP 系统	350
第十三节	单轨交通 ATC 系统	360
附录	名词术语英(缩略语)中对照	367

# 第一章

## 城市轨道交通信号设备概述

城市轨道交通信号设备是城市轨道交通的主要技术装备,它担负着指挥列车运行、保证行车安全、提高运输效率的重要任务。现代化的城市轨道交通要求城市轨道交通信号设备的现代化。

### 第一节 城市轨道交通信号设备的特点

城市轨道交通(包括地下铁道和轻轨铁路)是现代化都市的重要基础设施,它安全、迅速、舒适、便利地在城市范围内运送乘客,最大限度地满足市民出行的需要。在城市各种公共交通工具中,具有运量大、速度快、安全可靠、污染低、受其他交通方式干扰小等特点,对改变城市交通拥挤、乘车困难、行车速度下降是行之有效的。城市轨道交通是现代化都市所必需的交通工具。我国北京、天津、上海、广州、深圳、南京已建成档次和规模不同的地铁并进行扩展和延伸,武汉高架快速轨道线、重庆单轨运输线、大连轻轨线、长春轻轨线已建成通车,成都、昆明、沈阳、青岛、西安、哈尔滨、杭州等城市轨道交通也已报经批准建设。我国城市轨道交通已出现建设高潮,前景十分广阔。

城市轨道交通系统的安全、速度、输送能力和效率与信号系统密切相关,以速度控制为基础的列车自动控制系统已成为城市轨道交通信号系统的共同选择。信号系统实际上已成为城市轨道交通调度指挥和运营管理的中枢神经,选择合适的信号系统,可以带来较好的经济效益和社会效益。

#### 一、城市轨道交通的特点

##### 1. 城市轨道交通有别于城市道路交通的特点

城市轨道交通具有城市道路交通无可比拟的优势:

##### (1) 容量大

地下铁道单向每小时运送能力可达 30 000~70 000 人次,轻轨交通在 10 000~30 000 人次之间,而公共汽车、电车为 8 000 人,在客流密集的城市建设城市轨道交通可疏散公交客流。

##### (2) 运行准时、速达

城市轨道交通有自己的专用线路,与道路交通相隔离,不受其他交通工具的干扰,

不会出现交通阻塞而延误运行时间,可保证乘客准时、迅速地到达目的地。

### (3) 安全

城市轨道交通或于地下或高架,即使在地面也与道路交通相隔离,与其他交通工具无相互干扰,如果不遇到自然灾害或发生意外,运行安全有充分的保障。

### (4) 利于环境保护

城市轨道交通噪声小,污染轻,对城市环境不造成破坏。

### (5) 节省土地资源

城市轨道交通(多建于地下或高架)即使在地面其占地也有限,充分利用了城市空间,节省了日益宝贵的土地资源。

但是城市轨道交通也存在一定的局限性,如建设费用高,建设周期长,技术含量高,建设难度大,一旦遇有自然灾害尤其是火灾,乘客疏散困难,容易造成人员伤亡。

城市轨道交通系统建成后就难以迁移和变动,不像地面公共交通可以机动地调整路线和设置站点,以满足乘客流量和流向变化的需要,其运输组织工作远比地面公共交通复杂。

## 2. 城市轨道交通有别于铁路的特点

城市轨道交通虽然和铁路同为轨道交通,但和铁路有不少不同之处。

### (1) 运营范围

城市轨道交通运行范围是城市市区及郊区,往往只有几十千米,不像铁路那样纵横数千千米,而且连接城乡。

### (2) 运行速度

城市轨道交通因在城市范围内运行,站间距离短,且站站须停车,列车运行速度通常不超过 80 km/h。而铁路的运行速度比较高,许多线路在 120 km/h 以上,高速铁路在 300 km/h 以上。

### (3) 服务对象

城市轨道交通的服务对象单一,只有市内客运服务,不像铁路那样客、货混运。

### (4) 线路与轨道

城市轨道交通大部分线路在地下或高架通行,均为双线,各线路之间一般不过线运营。正线一般采用 9 号道岔,车辆段采用 7 号道岔,这些都与铁路有异。另外城市轨道交通还有铁路没有的跨座式和悬挂式。

### (5) 车站

城市轨道交通一般车站多为正线,多数车站也没有道岔,换乘站多为立体方式,不像铁路那样车站有数量不等的道岔及股道,有较复杂的咽喉区,换乘也为平面方式。

### (6) 车辆段

城市轨道交通的车辆段不同于铁路的车辆段,只有车辆检修的功能,而是类似于铁路的区段站,要进行车辆检修、停放以及大量的列车编解、接发车和调车作业。

### (7) 车辆

城市轨道交通采用电动车组,没有铁路那样的机车和车辆的概念,也没有铁路那样众多类型的车辆。

### (8) 供电

城市轨道交通的供电包括牵引供电和动力照明供电。城市轨道交通均为电力牵引,没有非电气化铁路的说法。城市轨道交通的动力、照明供电尤为重要,一旦供电中断,将陷入整体瘫痪状况。

### (9) 通信信号

城市轨道交通列车密度高,行车间隔短,普遍采用列车自动监控和列车自动运行的方式。城市轨道交通为了迅速、准确、可靠地传递信息,建有自成体系的独立完整的内部通信网,还包括广播和闭路电视。

### (10) 运营管理

城市轨道交通运营条件十分单纯,除了进、出段和折返外,没有越行,没有交会,正线上一般没有调车作业,易于实现自动监控。

## 二、城市轨道交通对信号系统的要求

城市轨道交通,尤其是地下铁道因其固有的特点,对其信号系统提出如下要求:

### (1) 安全性要求高

因城市轨道交通尤其是地下部分隧道空间小,行车密度大,故障排除难度大,若发生事故难以救援,损失将非常严重,所以对行车安全的保证,即对信号系统提出了更高的安全要求。

### (2) 通过能力大

城市轨道交通一般不设站线,进站列车均停在正线上,先列车停站时间直接影响后续列车接近车站,所以要求信号设备必须满足通过能力的要求。另一方面,不设站线使列车正常运行的顺序是固定的,有利于实现行车调度自动化。

### (3) 保证信号显示

城市轨道交通虽然地面信号机少,地下部分背景暗,且不受天气影响,直线地段瞭望条件好,但曲线地段受隧道壁的遮挡,信号显示距离受到限制,所以保证信号显示也是一个重要的问题。

### (4) 抗干扰能力强

城市轨道交通均为电力牵引,是直流电气化铁路,要求信号设备对其有较强的抗电气化干扰能力。

### (5) 可靠性高

由于城市轨道交通隧道净空小,且装有带电的牵引接触轨或接触网,行车时不便下洞维修和排除设备故障,所以要求信号设备具有高可靠性,应尽量做到平时不维修或少

维修。

#### (6) 自动化程度高

城市轨道交通站间距短,列车密度大,行车工作十分频繁,而且地下部分环境潮湿,空气不佳,没有阳光,工作条件差,所以要求尽量采用自动化程度高的先进技术设备,以减少工作人员,并减轻他们的劳动强度。

#### (7) 限界条件苛刻

城市轨道交通的室外设备及车载设备,受土建限界的制约,要求设备体积小,同时必须兼顾施工和维护作业空间。

### 三、城市轨道交通信号系统的特点

城市轨道交通的信号系统沿袭铁路的制式,但由于其自身的特点,与铁路的信号系统有一定的区别。城市轨道交通信号系统的特点是:

#### (1) 具有完善的列车速度监控功能

城市轨道交通所承担的客运量巨大,对行车间隔的要求远高于铁路,最小行车间隔达到 90 s 甚至更小,因此对列车运行速度监控的要求极高。

#### (2) 数据传输速率较低

城市轨道交通的列车运行速度远低于铁路干线的列车运行速度,最高运行速度通常为 80 km/h,所以信号系统可以采用速率较低的数据传输系统。但是,随着城市轨道交通信号自动化技术的不断发展,对信息需求越来越多,信号系统也逐步采用速率较高且独立的数据传输系统。

#### (3) 联锁关系较简单但技术要求高

城市轨道交通的大多数车站没有配线,不设道岔,甚至也不设地面信号机,仅在少数有岔联锁站及车辆段才设置道岔和地面信号机,故联锁设备的监控对象远少于铁路车站的监控对象,联锁关系远没有铁路复杂。除折返站外全部作业仅为旅客乘降,非常简单。通常一个控制中心即可实现全线的联锁功能。

城市轨道交通信号自动控制最大的特点是把联锁关系和 ATP 编/发码功能结合在一起,且包含一些特殊的功能,如自动折返、自动进路、紧急关闭、扣车等,增加了技术难度。

#### (4) 车辆段独立采用联锁设备

城市轨道交通的车辆段类似于铁路区段站的功能,包括列车编解、接发列车和频繁的调车作业,线路较多,道岔较多,信号设备较多,一般独立采用一套联锁设备。

#### (5) 自动化水平高

由于城市轨道交通的线路长度短,站间距离短,列车种类较少,行车规律性很强,因此它的信号系统中通常包含自动排列进路和运行自动调整的功能,自动化强度高,人工介入极少。

## 第二节 城市轨道交通信号系统组成

自城市轨道交通问世以来,其安全程度和载客能力不断得到提高,信号系统也不断完善和得到发展。随着经济的发展,世界各国城市人口急剧膨胀,对城市轨道交通的载客能力提出了越来越高的要求,最重要而有效的措施就是缩短列车运行间隔。在这种情况下,随着计算机技术的飞速发展,城市轨道交通信号技术日趋成熟,成为城市轨道交通不可缺少的组成部分。

城市轨道交通的信号系统通常由列车运行自动控制系统(ATC)和车辆段(基地)信号控制系统两大部分组成,用于列车进路控制、列车间隔控制、调度指挥、信息管理、设备工况监测及维护管理,由此构成了一个高效的综合自动化系统,如图 1-1 所示。

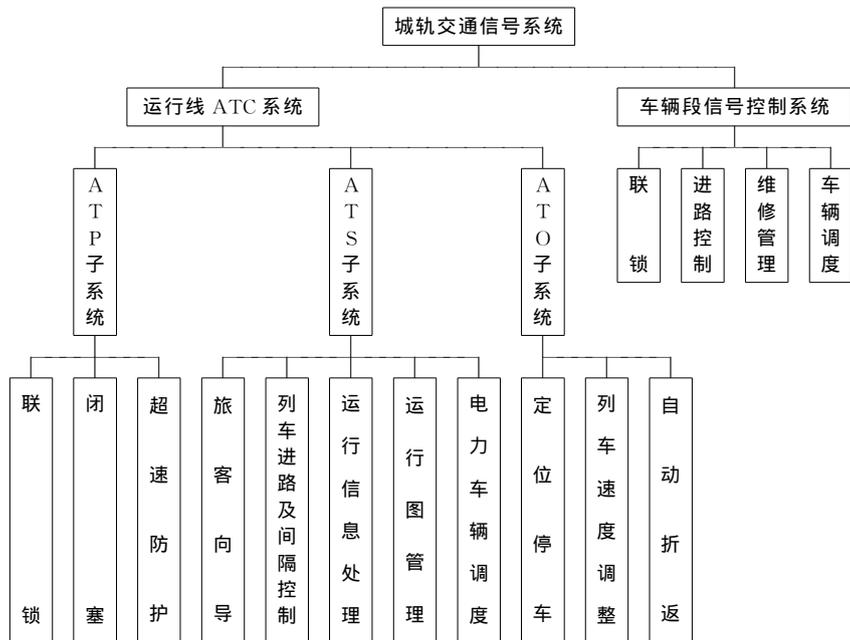


图 1-1 城市轨道交通信号系统框图

### 一、列车运行自动控制系统

列车运行自动控制系统(ATC)包括列车自动防护(ATP)、列车自动运行(ATO)及列车自动监控(ATS)三个系统,简称“3A”。系统需设置行车控制中心,沿线各车站设计为区域性联锁,其设备放在控制站(一般为有岔站),列车上安装有车载控制设备。控制中心与控制站通过有线数据通信网连接,控制中心与列车之间可采用无线通信进行信息交换。ATC 系统直接与列车运行有关,因此 ATC 系统中的数据传输要求比一般

主要名称代号对照表

代号	名称	代号	名称
ADM	系统管理器	LCP	局部控制盘
ATC	列车自动控制	LOW	现场操作工作站
ATO	列车自动运行	MMI	人机接口
ATP	列车自动防护	MUX	多路转换器
ATS	列车自动监控	PIIS	旅客向导信息系统
BAS	环境与设备监控系统	PTI	实时列车确认
COM	通信服务器	RTU	远程终端单元
DSTT	接口控制模块	SCADA	电力监控系统
DTI	发车时刻显示器	SIC	车站接口盒
ESB	紧急关闭按钮	SICAS	西门子计算机辅助信号系统
FAS	火灾自动报警系统	SIC	同步环线盒
FTGS	轨道空闲检测系统	STEKOP	现场接口计算机

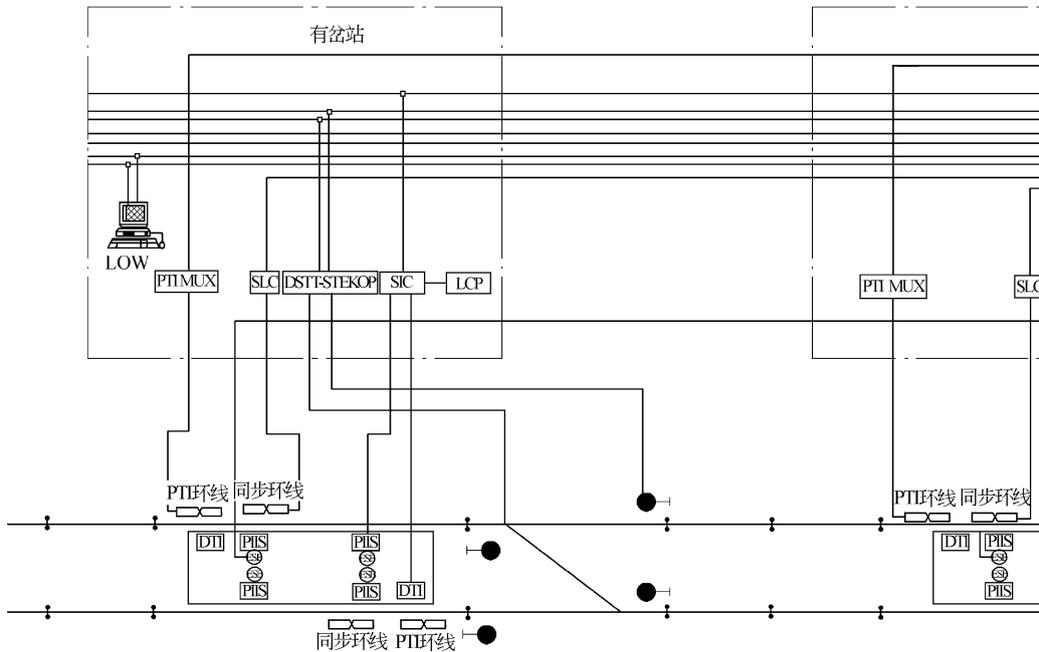
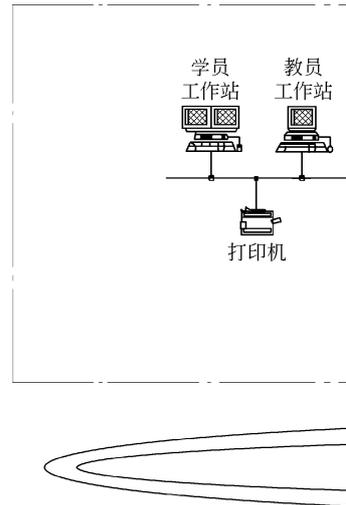
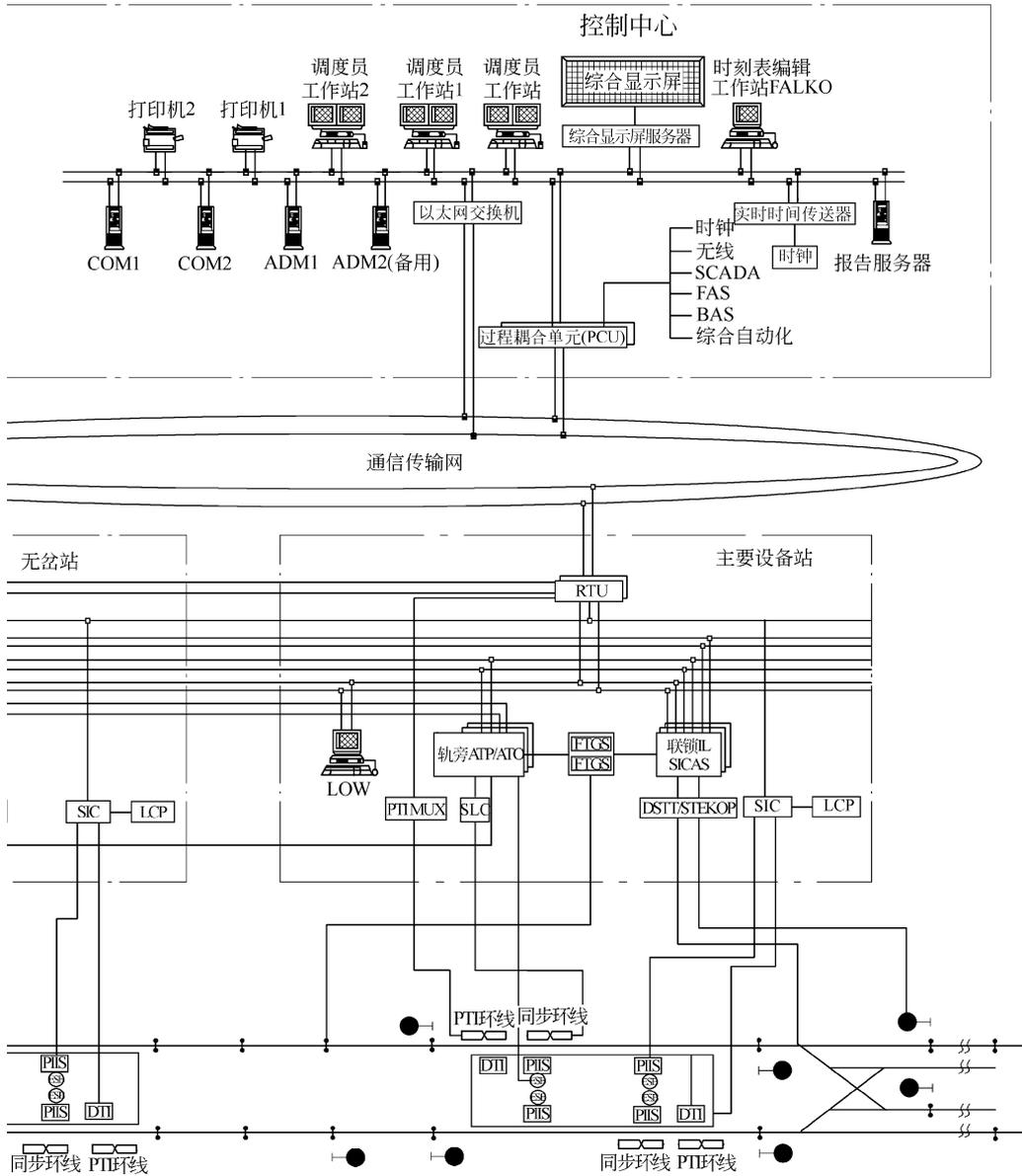


图 1-2 城市轨道交通



ATC 地面设备分布

通信系统的安全性、可靠性、实时性更高。ATC 地面设备分布如图 1-2 所示(不同制式的 ATC 设备组成可能不同,本图以西子公司的 ATC 为例)。

### 1. ATP 子系统

ATP 子系统的功能是对列车运行进行超速防护,对与安全有关的设备实行监控,实现列车位置检测,保证列车的安全间隔,保证列车在安全速度下运行,完成信号显示、故障报警、降级提示、列车参数和线路参数的输入,与 ATS、ATO 及车辆系统接口并进行信息交换。

ATP 子系统不断将从地面获得的前行列车位置信息、线路信息、前方目标点的距离和允许速度信息等通过轨道电路等传至车上,由车载设备计算得到当前所允许的速度,或由行车指挥中心计算出目标速度传至车上,由车载设备测得实际运行速度,依此来对列车速度实行监督,使之始终在安全速度下运行,以缩短列车运行间隔,保证行车安全。

采用轨道电路传送 ATP 信息时,ATP 子系统由设于控制站的轨旁单元、设于线路上各轨道电路分界点的调谐单元和车载 ATP 设备组成,并包括与 ATS、ATO、联锁设备的接口设备。

### 2. ATO 子系统

ATO 子系统主要用实现“地对车控制”,即用地面信息实现对列车驱动、制动的控制,包括列车自动折返,根据控制中心的指令使列车按最佳工况正点、安全、平稳地运行,自动完成对列车的启动、牵引、惰行和制动,传送车门和屏蔽门同步开关信号。

使用 ATO 后,可使列车经常处于最佳运行状态,避免了不必要的、过于剧烈的加速和减速,因此明显提高了乘客的舒适度,提高了列车正点率并减少了能量消耗和轮轨磨损。

ATO 子系统包括车载 ATO 单元和地面设备两部分。地面设备有站台电缆环路、车-地通信设备(TWC)以及与 ATP、联锁系统的接口设备。

### 3. ATS 子系统

ATS 子系统主要实现对列车运行的监督和控制,辅助调度人员对全线列车进行管理,其功能包括:调度区段内列车运行情况的集中监视与控制,监测进路控制、列车间隔控制设备的工作,按行车计划自动控制道旁信号设备以接发列车,列车运行实绩的自动记录,时刻表自动生成、显示、修改和优化,运行数据统计及报表自动生成,设备运行状态监测,设备状态及调度员操作记录,运输计划管理等,还具有列车车次号自动传递等功能。

ATS 子系统包括控制中心设备和 ATS 车站、车辆段分机。控制中心 ATS 设备有中心计算机系统、工作站、显示屏、绘图仪、打印机、UPS 等。每个控制站设一台 ATS 分机,用于采集车站设备的信息和传送控制命令,并实现车站进路自动控制功能。车辆段 ATS 分机用于采集车辆段内库线的列车占用情况及进/出车辆段的列车信号机的

状态。

此外,在 ATC 范围内的各正线控制站各设一套联锁设备,用以实现车站进路控制。联锁设备接收车站值班员和 ATS 控制。考虑到运用的灵活性,正线有岔站原则上独立设置联锁设备,当然也可以采用区域控制方法。

## 二、车辆段联锁设备

车辆段设一套联锁设备,用以实现车辆段的进路控制,并通过 ATS 车辆段分机与行车指挥中心交换信息。

车辆段联锁设备前期采用 6502 电气集中联锁,近来均采用计算机联锁。

先进的车辆段信号控制系统的特点是信号一体化,包括联锁系统、进路控制设备、接近通知、终端过走防护和车次号传输设备等。这些设备由局域网连接并经过光缆与调度中心相通。列车的整备、维修与运行相互衔接成一个整体,保证了城市轨道交通的高效率和低成本。

车辆段内试车线设若干段与正线相同的 ATP 轨道电路和 ATO 地面设备,用于对车载 ATC 设备进行静、动态试验。

在车辆段停车库,一般还设有日检/月检设备,用来对列车进行上线前的常规检测。

## 第三节 城市轨道交通信号系统的地域分布

按地域城市轨道交通信号设备划分为五部分:控制中心设备、车站及轨旁设备、车辆段设备、试车线设备、车载 ATC 设备。

### 一、控制中心设备

控制中心设备属于 ATS 子系统,是 ATC 的核心。其设备组成如图 1-3 所示。

控制中心设备主要包括中心计算机系统、综合显示屏、调度员及调度长工作站、运行图工作站、培训/模拟工作站、绘图仪和打印机、维修工作站、UPS 及蓄电池。其中综合显示屏、调度员及调度长工作站设于主控制室。控制主机、通信处理器、数据库服务器、维修工作站设于设备室。运行图工作站设于运行图室。绘图仪和打印机设于打印室。培训/模拟工作站设于培训室。UPS 设于电源室,蓄电池设于蓄电池室。

#### 1. 中心计算机系统

中心计算机系统包括控制主机、通信处理器、数据库服务器、局域网及各自的外部设备。为保证系统的可靠性,主要硬件设备均为主/备双套热备方式,可自动或人工切换。系统能满足自动控制、调度员人工控制及车站控制的要求。

#### 2. 综合显示屏

综合显示屏设于控制中心的控制室,用来监视正线列车运行情况及系统设备状态,

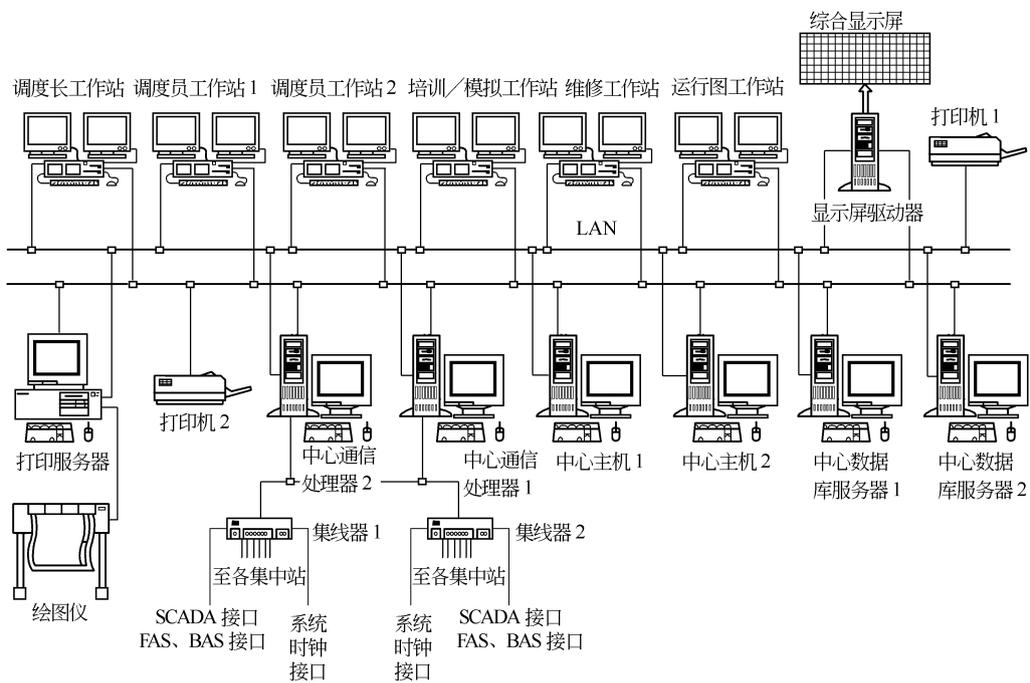


图 1-3 控制中心设备

由显示设备和相应的驱动设备组成。

### 3. 调度员及调度长工作站

调度员及调度长工作站用于行车调度指挥。

### 4. 运行图工作站

运行图工作站用于运行计划的编制和修改,通过人机对话可以实现对运行时刻表的编辑、修改及管理。

### 5. 培训/模拟工作站

培训/模拟工作站配有各种系统的编辑、装配、连接和系统构成工具以及列车运行仿真的软件。它可与调度员工作站显示相同的内容,有相同的控制功能,能仿真列车在线运行及各种异常情况,而不参与实际的列车控制。实习操作员可通过它模拟实际操作,培养系统控制和各种情况下的处理能力。

### 6. 绘图仪和打印机

彩色绘图仪和彩色激光打印机,用于输出运行图及各种报表。

### 7. 维修工作站

主要用于 ATS 系统的维护、ATC 系统故障报警处理和车站信号设备的监测。

### 8. UPS 及蓄电池组

控制中心配备在线式 UPS 及可提供 30 min 后备电源的蓄电池组。

## 二、车站及轨旁设备

车站分集中联锁站和非集中联锁站。集中联锁站一般为有道岔车站,也可能是无道岔的车站。非集中联锁站一般为无道岔的车站。有道岔车站根据需求和可能也可以由邻近车站控制,而成为非集中联锁站。车站信号设备组成如图 1-4 所示。图中 TWC 即车-地通信。

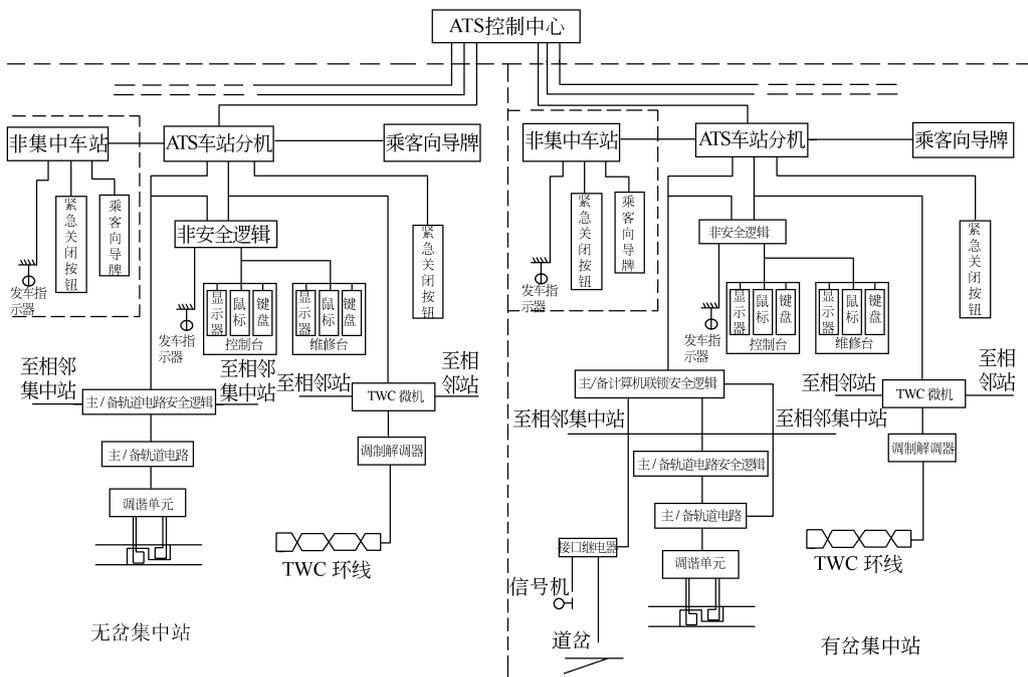


图 1-4 车站信号设备组成示意图

### 1. 集中联锁站及轨旁设备

集中联锁站设有 ATIS 车站分机、车站联锁设备、ATP/ATO 系统地面设备、电源设备、维修终端、乘客向导显示屏、紧急关闭按钮以及信号机及发车指示器、转辙机。

#### (1) ATIS 车站分机

集中联锁站设一台 ATIS 分机,用于采集车站设备的信息,接收控制命令,实现车站进路的自动控制。

#### (2) 车站联锁设备

车站设继电器集中联锁或计算机联锁,能接收车站值班员和 ATIS 系统的控制,用以实现车站进路的自动控制。

#### (3) ATP/ATO 系统地面设备

ATP 地面设备包括:轨道电路,ATP 地面编码发码设备,与 ATS、ATO、联锁设备的接口,用于实现列车占用的检测和发送 ATP 信息,实现列车运行超速防护。

ATO 地面设备包括:站台电缆环路,TWC 设备,以及与 ATP、联锁设备的接口设备,用于发送 ATO 命令,实现列车最佳控制或列车自动驾驶。

#### (4) 电源设备

集中联锁车站配备一套适用于联锁设备、ATS、ATP、ATO 设备的在线式 UPS 及可提供 15 min 后备电源的蓄电池组。

#### (5) 维修终端

维修终端设维修用彩色显示器、键盘及鼠标,显示与控制用显示器相同的内容及必要的维修信息,并能对信号设备进行自动、手动测试,但不能进行控制。

#### (6) 乘客向导显示牌

在站台适当位置设乘客向导显示牌,用于显示接近列车的到站时间等。

#### (7) 紧急关闭按钮

紧急关闭按钮用于在遇到紧急情况危及行车安全时,关闭信号,使列车停车。

#### (8) 信号机及发车指示器

正线上防护信号机设于道岔区段,线路尽头设阻挡信号机,用于指示列车运行,防护列车进路。

在正向出站方向的站台侧列车停车位置前方设置发车指示器,指示列车出站。

#### (9) 转辙机

转辙机用于转换道岔。对于直尖轨道岔,采用单机牵引;对于 AT 道岔,采用双机牵引。可采用外锁闭装置,也可采用内锁闭方式。当前采用的转辙机均为电动的,有直流、交流两种类型。

### 2. 非集中联锁站及轨旁设备

非集中联锁站的设备只有发车指示器、紧急关闭按钮和乘客向导显示牌。无道岔的非集中联锁站轨旁仅有轨道电路的耦合单元等。有道岔的非集中联锁站除了轨旁的耦合单元外,还有防护信号机和转辙机。

## 三、车辆段设备

车辆段信号设备包括 ATS 分机、车辆段终端、联锁设备、维修终端、信号机、转辙机、轨道电路、电源设备,其构成如图 1-5 所示。

### 1. ATS 分机

车辆段设一台 ATS 分机,用于采集车辆段内存车库线的列车占用及进/出车辆段的列车信号机的状态,以在控制中心显示屏上给出以上信息的显示。

### 2. 车辆段终端

车辆段派班室和信号楼控制台室各设一台终端,与车辆段 ATS 分机相连。

### 3. 联锁设备

车辆段设一套联锁设备,实现车辆段的进路控制,并通过 ATS 分机与控制中心交换信息。联锁设备只受车辆段值班员人工控制。

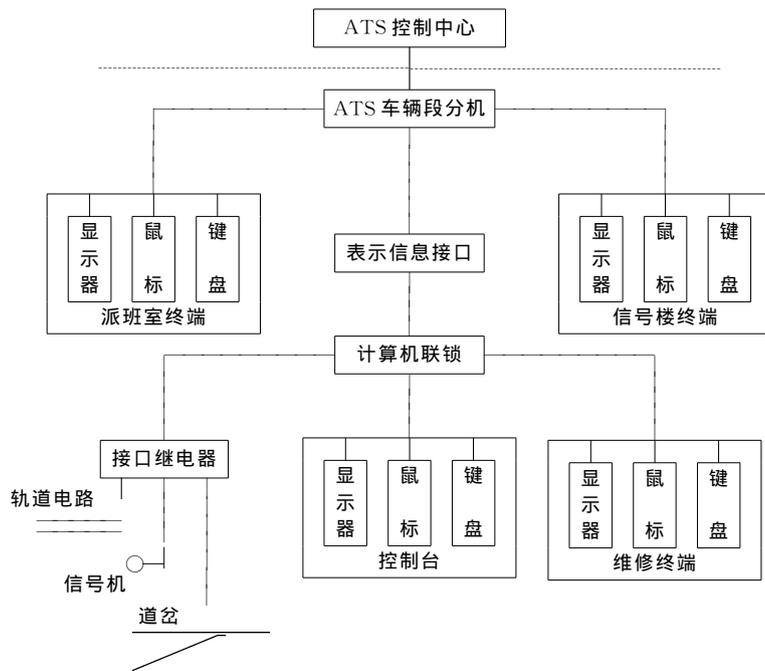


图 1-5 车辆段设备示意图

### 4. 维修终端

设备室内设维修用彩色显示器、键盘及鼠标,显示与控制室相同的内容及维修、监测有关信息,并能对信号设备进行自动或手动测试,但不能控制进路。

### 5. 信号机

车辆段入口处设进段信号机,出口处设出段信号机,存车库线中间进段方向设列车阻挡信号机,段内其他地点根据需要设调车信号机。

### 6. 转辙机

车辆段内每组道岔设一台电动转辙机。

### 7. 轨道电路

车辆段内轨道电路多采用 50 Hz 相敏轨道电路,检查列车的占用和空闲。

### 8. 电源设备

车辆段信号楼内设置适合于联锁设备、ATS 设备的 UPS 及蓄电池。

## 四、试车线设备

试车线上设若干段与正线相同的 ATP/ATO 地面设备,用于对车载 ATC 设备的

● 试验。试车线设备室内设置用于改变试车线运行方向和速度的控制台。试车线设备室配备一套适合于 ATP/ATO 设备的 UPS,不设蓄电池、电源屏。

### 五、车载 ATC 设备

车载设备包括 ATP 和 ATO 两部分,用来接收轨旁设备传送的 ATP/ATO 信息,计算列车运行曲线,测量列车运行速度和走行距离,实行列车运行超速防护以及列车自动运行,来保证行车安全和为列车提供最佳运行方式。

## 第四节 城市轨道交通信号系统的功能及其实现

城市轨道交通信号系统的功能与铁路一样,主要包括联锁、闭塞、列车控制和调度指挥四个方面,由 ATC 系统和车辆段联锁设备完成。

### 一、联锁及其实现

联锁是车站范围内进路、信号、道岔之间互相制约的关系,它们之间必须建立严密的联锁关系,才能确保行车安全。

联锁的基本内容是:

(1)进路上各道岔位置必须正确且被锁闭,进路空闲,敌对进路未建立且被锁闭在未建立状态,防护该进路的信号机才能开放。

(2)信号机开放后,它们防护的进路上的各道岔不能转换,与该进路敌对的所有进路不能建立。

联锁由联锁设备完成,目前均采用电气的方法实现集中联锁,对信号机和转辙机进行自动控制和远距离控制。联锁设备现主要采用继电逻辑电路或计算机逻辑判断的方法完成,前者称为继电集中联锁,后者称为计算机联锁。建设较早的城市轨道交通,采用 6502 继电集中联锁,近年均采用计算机联锁。

正线上的集中控制站包括本站及其所控制的非集中站的道岔和信号机由设于该站的联锁设备控制,其除了实现联锁关系外,还将其联锁的有关信息传送至 ATP/ATO 系统,并接收 ATS 系统的命令。

车辆段的信号机和道岔由车辆段的联锁设备控制。

### 二、闭塞及其实现

两站之间的线路称为区间,通常区间分为若干个闭塞分区。列车在区间运行,必须在运行前方闭塞分区空闲的情况下,而且必须杜绝其对向和同向同时有列车运行的可能,即必须从列车的头部和尾部进行防护。这种为确保列车在区间运行安全而采取一定措施的方法称为行车闭塞法,简称闭塞。用以实现闭塞作用的设备称为闭塞设备。

在双线单方向运行时,闭塞作用主要是保证列车之间的安全间隔。

在城市轨道交通中,闭塞作用均由列车运行自动完成,故称为自动闭塞,由于采用了ATC系统,各个轨道电路区段,即闭塞分区均不设通过信号机,而由车载ATP系统予以显示。闭塞作用由ATP系统完成,没有铁路那样专门的闭塞设备。

按照闭塞实现的方式,城市轨道交通ATP设备的闭塞制式可分为固定闭塞、移动闭塞和介于两者之间的准移动闭塞。

### 1. 固定闭塞

固定闭塞将线路划分为固定的区段,前、后列车的位置间距都是用固定的地面设备(如轨道电路等)来检测的。

由于列车定位是以固定区段为单位的,所以固定闭塞的速度控制模式必然是阶梯式的。在这种制式中,需要向被控列车传送的只是速度码。

固定闭塞,通过轨道电路判别闭塞分区占用情况,并传输信息码,需要大量的轨旁设备,维护工作量较大。此外,固定闭塞还存在以下缺点:①轨道电路工作稳定性易受环境影响。②轨道电路传输信息量小。③利用轨道电路难以实现车对地的信息传输。④闭塞分区长度较长,且一个分区只能被一列车占用,不利于缩短列车运行间隔。

因此,固定闭塞方式无法满足提高系统能力、安全性和互用性的要求。

### 2. 准移动闭塞

准移动闭塞可解释为“预先设定列车的安全追踪间隔距离,根据前方目标状态设定列车的可行车距离和运行速度、介于固定闭塞和移动闭塞之间的一种闭塞方式”。通常,准移动闭塞系统国外也纳入固定闭塞式ATC系统的范畴,并注明其属于“可走行距离模式”。但由于固定闭塞式ATC系统与具有“可走行距离模式”固定闭塞式ATC系统无论在系统构成模式、控制方式以及发展前景方面都有很大差异,故称后者为准移动闭塞式。

准移动闭塞(也可称为半固定闭塞)对前行列车的定位仍沿用固定闭塞的方式,而后续列车的定位则采用连续的或称为移动的方式。

由于准移动闭塞同时采用移动和固定两种定位方式,所以它的速度控制模式,必然采用曲线型的分级控制模式,既是连续的,又是分级的。

为了使后续列车能够根据自身实时测定的位置,计算其最大允许速度,必须用报文向其提供前方线路的各种参数以及前行列车处在哪个区段上的信息。所以从信息传输的角度来说,设有地对车单向安全数据通信是准移动闭塞的基本技术特征。

### 3. 移动闭塞

移动闭塞可解释为“列车安全追踪间隔距离不预先设定,而随列车的移动不断移动并变化的闭塞方式”。移动闭塞是一种新型的闭塞制式。

移动闭塞的特点是前、后两列车都采用移动式的定位方式。在准移动闭塞中,前行列车本身也具有移动定位的能力,只是因为没有将列车本身定位的结果传给地面,所以

不能供后续列车使用。也就是说在准移动闭塞的基础上,只要增设车对地的安全数据通信,将前行列车的移动定位信息,安全地经由地面传给后续列车,便能构成移动闭塞。

移动闭塞可借助感应环线或无线通信的方式实现。

而基于通信的列车控制(Communications Based Train Control,简称 CBTC)则是实现这种闭塞制式的最佳技术手段。采用这种方法以后,当列车和车站一开始通信,车站就能得知所有列车的位置;而且,车载设备和轨旁设备的安装也相对较容易;另外,这种系统可以大大减小列车运行间隔。因此,移动闭塞的使用可以使线路的运输能力大大提高。

CBTC克服了固定闭塞的缺点,它实现了车地间双向、大容量的信息传输,在真正意义上实现了列车运行的闭环控制。CBTC可以根据列车的实际速度和相对速度来调整闭塞分区的长度,尽可能缩小列车运行间隔,提高行车密度。

根据需要,城市轨道交通也可实现自动站间闭塞行车方式。通过地面设备自动检查站间空闲,人工办理站间闭塞手续。在规定的人工驾驶模式下,列车根据信号指示离站后,若站间闭塞手续不取消,即可自动构成站间闭塞的行车方式为自动站间闭塞,其闭塞范围可为站间区间或包括运行前方车站的站台。

### 三、列车控制及其实现

列车控制包括列车进路控制和列车速度控制,列车进路控制由联锁设备实现,列车速度控制由 ATC 系统实现。ATC 系统分为 ATP 和 ATO 两个技术层次。

ATP,即列车运行超速防护或列车速度监督系统,其主要功能是对列车运行进行超速防护,保证列车间的安全间隔,保证列车在安全速度下运行。ATP 子系统不断将来自联锁设备和操作层面上的信息、线路信息、前方目标点的距离和允许速度信息等从地面通过轨道电路,或感应环线,或无线等传至车上,由车载设备计算得到当前所允许的速度,或由行车指挥中心计算出目标速度传至车上,由车载设备测得实际运行速度。当列车速度超过 ATP 装置所指示的速度时,ATP 的车上设备就发出制动命令,使列车自动地制动。

ATO,即列车自动运行,它不仅对列车进行制动的控制,而且对列车进行驱动控制,使列车经常处于最佳运行状态。

此外,检测列车位置、停车点防护、临时限速、自动折返、车门控制、记录司机操作等也由 ATP/ATO 系统实现。

### 四、行车调度指挥及其实现

行车调度指挥主要包括列车跟踪、列车运行实绩的自动记录、时刻表管理、自动排列进路、列车运行自动调整,这些都由 ATS 系统实现。

ATS 系统在 ATP 和 ATO 系统的支持下,根据运行时刻表完成对列车运行的自

动监控,可自动或由人工监督和控制正线(车辆段、试车线除外),及向调度员和外部系统提供信息。

此外还有列车运行和设备状态自动监视、调度员操作与设备状态记录、运行数据统计及报表自动生成、运输计划管理、输出及统计处理、实现沿线设备及列车与控制中心之间的通信、列车车次号自动传递、车辆修程及乘务员管理、系统故障复原处理、列车运行模拟及培训、乘客向导信息显示等,也由ATS系统实现。

## 第五节 我国城市轨道交通信号技术的发展

我国城市轨道交通信号,其发展大致经历了三个阶段:初创阶段、过渡阶段和发展阶段。

### 一、初创阶段

我国的地铁信号系统是随北京地铁兴建而起步的。1965年7月1日,我国第一条地下铁道——北京地铁一期工程动工兴建,1971年通车。根据当时的国情,决定全部设备由国内自己研制,同时要求设备必须具有较高的技术水平。信号项目主要为复线自动闭塞(包括机车信号和自动停车)、调度集中、列车自动驾驶和继电联锁。通过这几项技术实现行车集中调度、集中监控和列车运行自动化。

信号基础设备包括电气集中、移频自动闭塞、机车信号和自动停车、单轨条轨道电路,以及与此配套的信号电源屏、扼流变压器、信号机、转辙机等。同时还研制了配套的调度集中成套设备,以及ATP、ATO设备等。整个系统的研制在起步阶段接近国际先进水平。但调度集中、自动驾驶等,由于工艺及质量问题,很难正常使用,旅客向导系统只有有线广播,没有与列车到发时刻连接,性能较差。

#### (1)自动闭塞

轨道电路采用的是我国自行开发并首次应用的由电子元器件制成的移频轨道电路。采用的是“红、红、黄、绿”的双红灯带保护区段的三显示方式,按照90s行车间隔设计。

移频轨道电路采用了7种信号频率,能够向列车传送7种信息,是当时同类信号设备所无法比拟的。

#### (2)调度集中(CTC)

1971年在北京地铁一期工程全线及古城车辆段开通使用我国自行开发的直流脉冲制调度集中系统。1984年进行了大修,并继续使用到1996年。

#### (3)列车自动驾驶(ATO)

列车自动驾驶从1969年10月起在北京地铁一期线路上试运行达4年之久。

主要设备包括:地面信息接收子系统、双通道测速子系统、控制逻辑和比较子系统、

轮径补偿子系统、定点停车控制曲线发生子系统、地面传感器子系统、与车辆的接口系统,设备主要采用磁放大器、晶体管、小规模集成电路和函数发生器等。

由于国内各种器件供应比较困难,且当时车辆的性能也不够完全和稳定,导致该列车自动驾驶系统没有得到全面采用和推广。

#### (4) 继电联锁

鉴于北京地铁车站线路简单,为简化设备配置,各车站采用了非定型继电联锁,车辆段则采用 6502 继电联锁。

就当时而言,技术起点还是比较高的,完全独立自主地为中国第一条地铁提供了一整套装备,并确保了随后 20 多年的安全运营。当然,由于历史条件所限,某些规章制度难以落实,非定型产品又多,的确给日后的运营和维修带来了困难和麻烦。

## 二、过渡阶段

### 1. 早期自主开发的行车指挥与列车运行自动化系统

1971 年,北京地铁二期工程即环线开始进行建设,要求在环线采用“行车指挥与列车运行自动化”系统,即 ATC 系统。该系统由两部分组成,一部分是行车指挥自动化系统,也就是 ATS 系统,由控制计算机子系统和调度集中子系统组成,继电联锁为其终端执行设备;另一部分是列车运行自动化系统。

ATS 控制计算机软、硬件的设计,进行了为期三年左右的技术攻关,终因当时我国电子元器件的问题无功而返。

列车运行自动化系统以 IC 组件为主体,ATP 与 ATO 一体化,取得了较好的现场试验效果。

调度集中子系统采用调相制传输,由半导体分立元件组成。从 1974 年开始,经一个总机三个分机的功能样机试验,并经铁道部鉴定,于 1984 年 9 月开通使用直至 1990 年。

1986 年,北京地铁通过引进消化,研制出一套机车信号系统,并用这套系统替换了环线全部机车信号,从而提高了车载设备的可靠性。

北京地铁环线建于 1984 年,其信号控制系统大多采用国产设备。最终应用的是由 SSC<sub>1</sub> 型电子调度集中、国产移频自动闭塞(包括机车信号与自动停车)和国产继电联锁构成的当时中国最为先进的信号系统。

### 2. 北京地铁环线调度集中技术改造

1990 年北京地铁对环线调度集中进行了技术改造,研制“微机调度集中系统”,并于 1993 年开通使用。

微机调度集中的控制中心计算机系统由一主多从的分布式微机网络构成,主机为双机待机方式。除主机外,按功能划分为 6 个工作站。车站计算机系统采取主、从热备方式工作。通道构成方式为二主机各自享有 4 线式独立通道并共用接口。

主要功能有:辅助行车调度员调整运行计划;计划运行图和实绩运行图的显示及打

印;显示全线线路和设备状况;车次追踪与显示;故障报警和检测;调度操作自动记录;系统自检;在线机故障自动复零启动。

进路控制分二级,调度员集中控制各站进路,也可下放各站自控。

该调度集中的功能和技术指标已经超出传统 CTC 系统很多,距现在普遍采用的 ATS 的性能只有一步之遥。

该系统从 1993 年至今正常运行了 10 多年,已成为调度员工作的得力工具。

### 3. 新型 ATP 车载子系统的研制与生产

1998 年对北京地铁环线车载设备进行改造,自主开发 LCF-100DT 型 ATP 车载项目。1999 年通过了北京市科委主持的技术鉴定。并于 2000 年在北京地铁环线进行批量运用。该设备的最大特点是通用性高、兼容性强,可以接收北京地铁环线的移频轨道电路信息和 1 号线 FS-2500 轨道电路信息。2001 年,对 LCF-100DT 型 ATP 车载设备进行软件的修改和与车辆接口的重新设计,目前已有 3 组车 6 套设备在 1 号线应用。2001 年底,LCF-100DT 型 ATP 车载设备与 WG-21A 无绝缘轨道电路在大连快轨 3 号线的投标中中标,共 10 组车 20 套设备。

LCF-100DT 型 ATP 车载设备其主要功能是:

①防止列车超速运行。列车一旦超速立即报警 3 s,如司机没有确认及采取制动操作,则系统将控制列车以全常用制动使车速降至允许范围以内再缓解;如果司机及时按压确认按钮并采取制动措施使车速降至允许速度以下,系统将维持正常状态;若司机已进行超速制动操作,但因制动力不足导致车速未降或降速不够,则 ATP 将自动实施紧急制动使列车停车。

②若机车信号出现“黄+红”显示(前方信号机为第 1 红灯),ATP 车载子系统将报警 3 s,同时以全常用制动使列车停于第 1 红灯区段前方,等待机车信号显示允许信号后,列车才能缓解启动。此种情况下,司机也可以在第 1 红灯前停车后再按压确认按钮,等列车缓解后以不大于 20 km/h 的防护速度并注意瞭望,将列车运行到第 2 红灯区内。

③当机车信号显示红灯时,ATP 车载子系统立即实施紧急制动使列车停车。

④当机车信号显示白灯时,表示地面信息中断或 ATP 车载设备故障,表明 ATP 车载设备应当停止监控。此时将报警 5 s,若司机没有及时按压确认按钮,ATP 设备将采取全常用制动停车;如司机及时进行了确认,则 ATP 车载子系统将停止工作,由司机小心驾驶列车回车辆段。

⑤ATP 车载子系统将记录各次紧急制动及发生时间。

其主要技术特点有:

①车载计算机采用微机系统,按双机双工冗余方式工作;

②控制方式为阶梯式;

③信息接收装置采用数字化通用型设备,可适用于接收各种轨道电路信息,采用

DSP 数字信号处理技术；

④测速采用独立双通道,2套速度传感器安装在不同转向架的2个轴上,按高速值优先选取；

⑤防止列车非正常后退,退行距离大于3 m或退行时间大于5 s时采取紧急制动。

#### 4. 国际先进信号系统的引进

由于我国地铁建设速度较慢,使得国产信号设备技术水平较低,只能提供配套设备,系统的研制条块分割,不能提供一体化的完整系统。因此,当进入20世纪90年代,随着我国改革开放的深入,经济的较快发展,城市人口的膨胀,开始了建设城市轨道交通的高潮,而在这种情况下,没有合适的国产地铁信号系统可用。再加上建设地铁向外国贷款,利用外资的附加条件是必须购买贷款国设备,因此纷纷引进国外先进的地铁信号设备。

随着地铁客流量的增长,北京地铁1号线将5 min间隔缩短到2 min,传统的信号系统已不能满足高密度行车的要求,存在诸多问题,亟须改造。于是1989年从英国西屋公司引进ATC系统(包括ATP、ATO、ATS),FS-2500无绝缘轨道电路,联锁采用国产6502电气集中,实现了自动排列进路、列车超速防护等功能,运行间隔2 min,将4辆编组扩大到6辆编组。信号机、转辙机及车辆段轨道电路为国产设备。

鉴于北京复八线与1号线既有线路贯通运营,复八线信号系统必须与1号线既有信号系统兼容,复八线仍采用英国西屋公司的列车自动控制系统(ATC),其中包括列车自动监控子系统(ATS)、列车自动防护子系统(ATP)和列车自动运行子系统(ATO)。另外,配套了国产的继电联锁设备、车站计算机联锁设备和信号微机监测设备等。

上海地铁1号线1989年引进美国GRS公司的ATC系统,包括ATP、ATO、ATS三个子系统,无绝缘轨道电路,数字调幅方式,有8种不同调制码率,采用阶梯式速度控制方式,追踪间隔2 min。ATS中心由以太网构成双局域网结构,热备方式,中心与车站通信采用DTS数据传输系统。为节省投资,在正线道岔联锁区域和车辆段采用国产6502电气集中。

ATC系统的引进拉近了我国地铁信号装配水平与国际上的差距,取得了较好的效果:

①首次采用无绝缘轨道电路,既省去了大量切割钢轨和装设绝缘节的麻烦,避免了许多由绝缘不良带来的故障,提高了轨道电路的可靠性,又可向车载设备提供更多信息,提高了行车的安全性和可靠性。其中西屋公司的FS-2500型无绝缘轨道电路是当时同类轨道电路中的最佳品牌之一。

②首次采用双套智能型ATP车载装置,大大增强了车载设备的功能和可靠性,在我国首次实现了司机按机车信号而不是按地面信号行车,有效地保障了列车运行的安全。

③首次实现了由小型计算机系统自动调度列车运行及自动排定列车进路,大幅度

提高了调度工作的效率和列车运行的效率。

④首次实现了列车自动驾驶,为进一步完善相关软件以实现最佳化列车运行铺平了道路。

由于 ATC 系统的采用,中国地铁的整个技术水平上了一个台阶,列车运行呈现出全新的面貌,实现了 2 min 的运行间隔,大大提高了地铁列车的运行效率和运输能力。此后不久,对部分设备实施国产化,取得了较好的效果。

### 三、发展阶段

从 1994 年至今,我国城市轨道交通建设进入了快速发展期,伴之而来的是信号设备的大规模引进。广州、上海、深圳、重庆和南京等轨道交通项目的信号系统先后采用了德国西门子公司、美国 US&S 公司、法国阿尔斯通公司和日本信号公司等各具特色的 ATC 系统。这些 ATC 系统具有以下特点:

(1)首次采用报文式数字轨道电路,可向车载设备传送更多信息。

(2)数字轨道电路可以不断传送大量信息,因而运行中的车载设备能够根据这些不断更新的信息随时计算与前行列车的距离,从而确定本身的追踪速度。与传统方法即根据前行列车轨道电路数量来确定本车追踪速度相比,有了很大的区别和改进,构成准移动闭塞。

(3)ATC 系统的子系统 ATS 采用微机及其网络,任务按工作站分配,其局部网络均为高速以太网,中心与车站之间则采用由通信专业提供的高速传输网,信息出入均经多位 CRC 校核,因而进一步确保了整个系统的可靠性和安全性。

上海地铁 2 号线引进美国 US&S 公司的 ATC 系统,包括 ATP、ATO、ATS、AF-904 数字轨道电路。列车检测和 ATP 信息主要靠 AF-904 实现。追踪间隔 100 s,按 8 节编组设计,初期采用 6 节编组。信号机、转辙机以及车辆段的计算机联锁和电缆为国产设备,其余全部采用进口设备。

天津滨海轻轨也采用这一 ATC 系统。

上海轨道交通 3 号线采用了法国阿尔斯通公司的 ATC 技术。轨道电路采用 DTC921-1 型无绝缘数字轨道电路,DTC921-1 可分别采用 8 个不同的载频进行信息传输,用 MSK 方式进行调制,支持双向传输,仅用了地到车通信。联锁采用 ASCV (VP12)计算机联锁系统,为双机热备系统。ATC 采用 SACEM 系统,地面设备为 3 取 2 系统,车载设备头、尾主/备双重配置,基于目标距离方式。

上海轨道交通 5 号线(莘闵轻轨线)采用了德国西门子的设备。轨道电路采用 FTGS 音频无绝缘轨道电路,用 S-bond(S 棒)电气隔离接头进行分割,轨道电路具有 4 个频率。系统经数据传输点(轨道耦合线圈)点式向车载设备传输信号和线路信息,也可用环线进行连续传输。联锁采用 SIMIS 计算机联锁系统,3 取 2 工作方式,并采用了分散式设备接口模块。ATC 采用点式发码非连续式地对车通信,车载设备为 2 取 2 方

式,系统基于目标距离控制方式。

广州地铁1号线引进德国西门子公司公司的ATC系统,包括ATP、ATO、ATS及正线SICAS计算机联锁,FTGS数字轨道电路。ATP采用连续追踪控制单元,电码有效长度136位,速度控制为速度距离模式曲线控制方式。追踪间隔90s。ATO系统由车地通信系统、精确停车同步环线和车载设备组成。ATS中心由以太网构成分布式计算机系统,采用双机热备方式,中心与车站通信采用OTN开放传输网。车辆段电气集中、信号机、转辙机、控制中心模拟屏、直流电源及电缆为国产设备。广州地铁2号线、深圳地铁1号线、南京地铁1号线也采用这一ATC系统,只是车辆段不再采用6502电气集中,而采用国产计算机联锁。

重庆单轨较新线采用跨座式单轨交通方式。其信号系统由列车自动防护(ATP)及列车位置检测(TD)子系统、计算机联锁(CI)子系统和列车自动监控子系统三部分构成。ATP/TD系统引进具有实际运营经验和成熟技术的日本单轨交通ATP/TD系统。它采用基于轨道环线的感应技术,实现列车运行超速防护和列车在线位置检测。CI系统采用国产TYJL-II型计算机联锁系统。

2002年和2003年,武汉轻轨与广州地铁3号线相继从加拿大阿尔卡特公司引进采用移动闭塞方式的ATC系统(SelTrac MB),是基于感应环线通信的移动闭塞系统。车辆控制中心(VCC)通过敷设于轨道上的交叉感应环线电缆与车载控制设备(VOBC)进行数据通信,某列车与前一列车之间的安全间隔是根据列车当前运行速度、制动曲线以及列车在线路上的位置而动态计算得出的。武汉轻轨1号线一期工程信号系统在车场采用国产计算机联锁,正线采用SelTrac MB,完成列车自动防护、列车自动运行和列车自动监控功能。

采用引进设备后,大大缩短了运行间隔,提高了安全程度和通过能力,但引进的ATC系统在我国的应用效果不像在国外那么好,原因是多方面的,如国内电源的质量、道岔的结构、轨道的施工工艺等。而且,国外引进的设备带来诸多问题:①造价昂贵,耗资巨大,同时要花费大量资金用于设备维修和更新,很难产生良好的经济效益和社会效益,也难免受制于人。②返修渠道不畅,维修成本太大,备品备件得不到保证,维修十分困难。③制式混杂,给路网的扩展、管理带来极大的困难。

照此发展下去,必将严重阻碍我国城市轨道交通的发展,同时不符合国家的产业政策,必须走国产化的道路,对引进的先进技术消化吸收,移植铁路成熟的信号技术,结合我国城市轨道交通的特点和需要自主开发研究,尽快提供国产化的成套ATC技术。这是我国城市轨道交通信号技术发展的必由之路,也必将降低造价,促进城市轨道交通发展。

我国从1999年初开始推行城市轨道交通设备的国产化政策。其主要目的在于降低建设投资,使国家及地方在财力上能够承受。另一个目的是充分吸收借鉴国外的先进技术,同时研制开发具有自主知识产权的城市轨道交通相关技术并进行本土化生产制造,大大提升中国城市轨道交通行业的技术水平并逐步减少对国外产品的依赖。

国产化政策实施以来,不少国外供货商审时度势,纷纷与中国本地厂家进行携手,出现了中外厂商合资或合作生产的局面。但这种合资或合作生产的产品多属于低端产品,并未涉及较为核心的技术,特别是软件。但随着中国经济的持续快速增长及中国城市轨道交通市场的成熟和不断扩大,这种局面一定会有所改变。

应该看到,我国已经引进了不同制式、不同水平的多种 ATC 系统,但要在短期内全面掌握并生产这些设备还有一定困难。因此,信号系统的引进仍会继续。

大连快速轨道 3 号线信号系统则为全国国产化信号系统,包括调度集中系统、列车自动防护及计算机联锁系统、试车线信号系统、道口信号系统、车辆段计算机联锁系统。调度集中 CTC 系统,包括控制中心设备和车站 RTU(CTC 分机)设备。列车自动防护采用 LCF-100DT 型 ATP 车载设备。正线采用 WG-21A 无绝缘轨道电路,信息码为:0/0、28/0B、28/0A、28/0、93/0、28/26、58/0、79/0、58/26、58/56AT、58/56LC、79/56、79/77AT、79/77LC、93/56、93/77、93/91AT、93/91LC。道岔区段采用 50Hz 电子相敏轨道电路,用 ATP 速度码发送环线连续向车载 ATP 发送速度信息。采用点式应答器,作为车载电子地图校核设备,以提高司机驾驶精度和全线旅行速度。正线车站采用 DS6-11 型计算机联锁,车辆段采用 TYJL-II 型计算机联锁系统。

## 第六节 城市轨道交通信号系统的发展趋势

近 20 多年来,在城市轨道交通市场激烈竞争的压力下,各国系统供货商,特别是发达国家的系统供货商为实现超前领先技术,争夺有限市场份额,积极采用新技术,大量投入以研发新型系统设备,大幅度提高了城市轨道交通信号设备的装备水平,新型技术系统不断涌现。

### 一、城市轨道交通信号技术发展趋势

#### 1. 故障—安全技术的发展

随着计算机技术、微电子技术和新材料的发展,“故障—安全”技术得到了飞速发展。高可靠性、高安全性的“故障—安全”核心设备出现了“2 取 2”、“2 乘 2 取 2”和“3 取 2”等不同结构形式,其同步方式有软同步和硬同步。西门子公司、阿尔斯通公司、日本京山公司、日本日信公司等都推出了不同类型的采用硬件同步方式的安全型计算机。

“故障—安全”技术的提高为高可靠和高安全的城市轨道交通信号系统的发展打下坚实的基础。

#### 2. 高水平的实时操作系统开发平台的应用

实时操作系统 RTOS(Real Time Operation System)是当今流行的嵌入式系统的软件开发平台。RTOS 最关键的部分是实时多任务内核,它的基本功能包括任务管理、

定时器管理、存储器管理、资源管理、事件管理、系统管理、消息管理、队列管理、旗语管理等,这些管理功能是通过内核服务函数形式交给用户调用的,也就是 RTOS 的应用程序接口 API(Application Programming Interface)。在轨道交通、航空航天以及核反应堆等安全性要求很高的系统中引入 RTOS,可以有效地解决系统的安全性和嵌入式软件开发标准化的难题。随着嵌入式系统中软件应用程序越来越大,对开发人员、应用程序接口、程序档案的组织管理成为一个大的课题。在这种情况下,如何保证系统的容错性和故障—安全性成为一个亟待解决的难题。基于 RTOS 开发出的程序,具有较高的可移植性,可实现 90% 以上设备独立,从而有利于系统故障—安全性的实现。另外一些成熟的通用程序可以作为专家库函数产品推向市场,嵌入式软件的函数化、产品化能够促进行业交流以及社会分工专业化,减少重复劳动,提高知识创新的效率。

在城市轨道交通这种复杂工作环境下的计算机控制系统,对系统安全性、可靠性、可用性的要求更高,必须使用安全计算机,以保证系统能安全、可靠、不间断地工作。而安全计算机系统的软件核心就是 RTOS。目前,英国的西屋公司已经在列车运行控制系统中采用了 RTOS,瑞典也有很多铁路通信和控制系统采用 OSE 实时操作系统。

采用实时操作系统可以满足:

#### ① 提高系统的安全性

实时操作系统可以成为整个软件系统的中间件,即实时操作系统通过驱动程序与底层硬件相结合,而上层应用程序通过 API 和库函数与实时操作系统相结合。实时操作系统完成系统多任务的调度和中断的执行,这样系统的安全模块和非安全模块将会得到有效的隔离,RTOS 可以很好地解决硬件冗余模块的同步问题。

#### ② 满足系统实时性的要求

列车运行控制系统要求的是硬实时响应,实时性要求非常高,如果在系统中选用实时操作系统开发该系统的软件,会对该系统的实时性指标的提高有很大帮助。

#### ③ 缩短了新产品的开发周期

由于 RTOS 提供了系统中的多任务调度、管理等功能,在此基础上用户只需开发与应用对象相关的应用程序,所以缩短了新产品的开发周期,降低了设备的成本。RTOS 还具有开发手段可靠、检测手段完善等特点。

充分发挥实时操作系统可移植性、可维护性强等优势。采用 RTOS 后,一旦系统需要升级,只需改动少量程序,而不像以前系统需要重新进行设计,体现出 RTOS 再开发周期短,升级能力强的优点。

### 3. 数字信号处理新技术的应用

随着轨道交通的发展,基于分立元器件和模拟信号处理技术的传统信号设备越来越满足不了工程实用性、运输安全性和实时性的要求。因此,在信号系统设备中全面引进计算机技术,利用计算机的高速分析计算功能,来提高信号设备的技术水平已非常紧迫。数字信号处理技术 DSP(Digital Signal Processing)的出现为信号信息处理提供了

很好的解决方法。

与模拟信号处理技术相比较,数字信号处理技术具有更高的可靠性和实时性。数字信号处理的频域分析和时域分析的两种传统分析方法,有着各自的优缺点。频域分析的优点是运算精度高和抗干扰性能好,而缺点是在强干扰中提取信号时容易造成解码倍频现象,例如将移频的低频 11 Hz 误解成 22 Hz;时域分析的优点是定型准确,而缺点是定量精确地剔除带内干扰难度大。

随着数字信号处理技术的新发展,在信号处理中引入了新的实用技术,如 ZFFT (ZOOM-FFT)、小波信号处理技术、现代谱分析技术等。

#### 4. 计算机网络技术的发展

随着计算机网络技术的飞速发展,实施城市轨道交通信号系统网络化是城轨运输综合调度指挥的基础。在网络化的基础上实现信息化,从而实现集中、智能管理。

##### (1) 网络化

现代轨道交通信号系统不是各种信号设备的简单组合,而是功能完善、层次分明的控制系统。系统内部各功能单元之间独立工作,同时又互相联系,交换信息,构成复杂的网络化结构,使指挥者能够全面了解辖区内的各种情况,灵活配置系统资源,保证轨道交通的安全、高效运行。

##### (2) 信息化

以信息化带动城市轨道交通产业现代化,是城市轨道交通发展的必然趋势。全面、准确获得线路上的信息是列车安全运行的保证。因而现代轨道交通信号系统采用了许多先进的通信技术,如光纤通信、无线通信、卫星通信与定位技术等。

##### (3) 智能化

智能化包括系统的智能化与控制设备的智能化。系统智能化是指上层管理部门根据轨道交通的实际情况,借助先进的计算机技术来合理规划列车的运行,使整个轨道交通运输达到最优化;控制设备的智能化则是指采用智能化的执行机构,来准确、快速地获得指挥者所需的信息,并根据指令来指挥、控制列车的运行。

#### 5. 通信技术与控制技术相结合

随着计算机技术(Computer)、通信技术(Communication)和控制技术(Control)的飞跃发展,向传统的以轨道电路作为信息传输载体的列车运行控制系统提出了新的挑战。综合利用 3C 技术代替轨道电路技术,构成新型列车控制系统已成必然。

用 3C 技术代替轨道电路的核心是通信技术的应用,目前计算机和控制技术已经渗透到列控系统中,称为“基于通信的列车运行控制系统”CBTC (Communication Based Train Control)。

CBTC 系统具有两个基本特点:

①列车与地面之间有各种类型的无线双向通信。可分为连续式和点式的。其中又可分为短距离传输(指 1 m 以内)和较长距离传输(远至几公里至几十公里)的移动无

线通信。

②仍然保留闭塞分区概念,其中最简易方式 CBTC 仍采用固定的闭塞分区,但是闭塞分区的分隔点不是用轨道电路的机械绝缘节或电气绝缘节,而是用应答器、计轴器或其他形式能传送无线信号的装置构成分隔点,这种简易形式仍然保留固定长度的闭塞分区 FAS(Fixed Autoblock System),简称 CBTC-FAS。

进一步发展的 CBTC 不是固定闭塞分区的,而是移动闭塞的分区 MAS(Moving Autoblock System),简称 CBTC-MAS。

通信技术与控制技术的结合重新规划了城市轨道交通信号系统的结构与组成,为列车运行控制的未来发展开辟了新的空间。

#### 6. 通信信号一体化

随着当代城市轨道交通的发展,通信信号系统发生了重大变化,车站、区间、列车控制以及行车调度指挥自动化的一体化,通信信号系统的相互融合,冲破了功能单一、控制分散、通信信号相对独立的传统技术理念,推动了通信信号技术向数字化、智能化、网络化和一体化的方向发展。

通信信号一体化是现代城市轨道交通信号系统的重要发展趋势,信号技术发展所依托的新技术如网络技术与通信技术的技术标准是一致的,属于技术发展前沿科学,为通信信号一体化提供了理论和技术基础。在借鉴世界各国经验的基础上,结合中国国情和地域情况,我国部分轨道交通发达的城市正着手制定中国版的 CBTC 技术标准和规范。

#### 7. 安全性与可靠性分析理论的广泛应用

保证轨道交通运输的安全,要求信号系统具有高可靠性和高安全性。安全评估理论的建立与推广为定量评估信号系统的可靠性和安全性提供了重要手段。

在“故障—安全”理论的发展上,20世纪90年代初,国际电工委员会 IEC(International Electrician Committee)将“故障—安全”的概念进行了量化,制定了安全相关系统的设计和评估标准 IEC 61508,该标准提出了安全相关系统的“安全完整度等级 SIL(Safety Integrity Level)”的概念,它是一个对系统安全的综合评估指标。

IEC 61508 对安全系统提出了如下要求:

功能性(Functionality),包括容量和响应时间;

可靠性和可维护性(Reliability and Maintainability);

安全(Safety),包括安全功能和它们相关的硬件/软件安全完整性等级(Safety Integrity Level,SIL);

效率性(Efficiency);

可用性(Usability);

轻便性(Portability)。

随后欧洲和日本相应地以 IEC 61508 标准为基础,制定了相关的信号系统的设计

评估标准以及安全认证体系。

欧洲电工标准委员会(CENELEC)基于 IEC 61508 标准为基础,附加列车安全控制系统的技术条件制定了一些安全相关系统开发和评估的参考标准。这些标准包括:

EN-50126 铁路应用:可信性、可靠性、可用性、可维护性和安全性(RAMS)规范和说明;

EN-50129 铁路应用:信号领域的安全相关电子系统;

EN-50128 铁路应用:铁路控制和防护系统的软件;

EN-50159.1 铁路应用:在封闭传输系统中的安全通信;

EN-50159.2 铁路应用:在开放传输系统中的安全通信。

1996年3月,日本铁道综合技术研究所颁布了“列车安全控制系统的安全性技术指南”,该标准也是以 IEC 61508 为基础,并吸收了日本计算机控制的铁道信号系统的经验而制订的。

#### 8. 信号系统的规范化和标准化

随着全球经济一体化的发展,城市轨道交通信号系统市场也出现了全球一体化,主要体现在技术规范和安全规范的全球化,如 CBTC。

“统一规范、统一标准”是城市轨道交通信号系统的发展方向。信号系统的规范化和标准化的制定,体现了以下的优势:

(1)新产品开发费用低。

(2)由于规范化和标准化的制定考虑了系统的连续性,所以新产品能与老系统兼容。

(3)规范明确定义所有接口(机械、电器、逻辑)标准,系统实现了模块结构,从而实现设备的互通互连。

(4)公开规范和标准、开放市场,促进竞争,降低成本,以获取最佳产品和最优价格。

#### 二、代表技术发展方向的城市轨道交通信号系统

CBTC 是基于通信的列控系统,该系统的使用代表着目前世界上列车运行控制系统的发展趋势,是近年来国际、国内城市轨道交通领域认可采用的一种移动闭塞方式。目前国外部分城市已经开始采用。我国香港机场线、武汉轻轨 1 号线(环线)已开通,广州地铁 3 号线(环线),广州地铁 4、5、6 号线(无线),上海地铁 8 号线(无线)正在建设中。

基于通信的列控(CBTC)系统是一种采用先进的通信、计算机技术,连续控制、监测列车运行的移动闭塞方式的列车控制系统。它摆脱了用轨道电路判别列车对闭塞分区占用与否,突破了固定(或准移动)闭塞的局限性。较以往系统具有更大的优越性,具体体现如下:

(1)实现列车与轨旁设备实时双向通信且信息量大。

(2)可减少轨旁设备,便于安装维修,有利于紧急状态下利用线路作为人员疏散的通道,有利于降低系统全寿命周期内的运营成本。

(3)便于缩短列车编组、高密度运行,可以缩短站台长度和端站尾轨长度,提高服务质量,降低土建工程投资;实现线路列车双向运行而不增加地面设备,有利于线路故障或特殊需要时的反向运行控制。

(4)可适应各种类型、各种车速的列车,由于移动闭塞系统基本克服了准移动闭塞和固定闭塞系统地对车信息跳变的缺点,从而提高了列车运行的平稳性,增加了乘客的舒适度。

(5)可以实现节能控制、优化列车运行统计处理、缩短运行时分等多目标控制。

(6)移动闭塞系统,尤其是采用高速数据传输方式的系统,将带来信息利用的增值和功能的扩展,有利于现代化水平的提高。

(7)确立“信号通过通信”的新理念,使列车与地面(轨旁)紧密结合、整体处理,改变以往车-地相互隔离、以车为主的状态。这意味着车-地通信采用统一标准协议后,就有可能实现不同线路间不同类型列车的联通联运。所谓联通联运对于信号系统而言,主要是指某系统的地面设备可以与另一系统的地面设备互联,系统的车载设备可以与另一系统的地面设备协同工作,同一列车首尾的不同厂家的车载设备可以在同一线路上实施列车运行控制。

(8)由于移动闭塞系统具有很高的实时性和响应性的要求,因此,其对系统的完整性要求高于其他制式的闭塞方式,系统的可靠性也应具有更高要求。

(9)系统传输的可靠性和安全性是系统关注的核心,尤其是利用自由空间波传输信息的基于无线的移动闭塞系统,其可靠性和安全性的要求更高。

## 第二章

# 信号基础设备——信号机和转辙机

城市轨道交通信号基础设备包括信号机、转辙机、轨道电路等,它们是城市轨道交通信号系统的重要基础设备,它们的运用质量和可靠性,是信号系统正常运行和充分发挥效能的保证。城市轨道交通信号基础设备沿袭铁路信号基础设备,但是有的基础设备,例如信号机的设置和显示、轨道电路的制式等,又不同于铁路。

### 第一节 信号机

城市轨道交通采用与铁路相同的色灯信号机,但设置位置和信号显示不同于铁路。除了车辆段和有岔站外,一般不设地面信号机。其信号显示有别于铁路,信号显示距离也有自己的规定。在城市轨道交通中,列车的运行速度不取决于信号的显示,即信号为非速差信号。允许信号的绿灯、黄灯并不表示列车的运行速度,而是代表列车的运行进路是走道岔直股还是弯股。

#### 一、色灯信号机

色灯信号机以其灯光的颜色、数目和亮灯状态来表示信号。现多采用透镜式色灯信号机,因其结构简单,安全方便,控制电路所需电缆芯线少,所以得到广泛采用。

##### 1. 透镜式色灯信号机的组成

透镜式色灯信号机有高柱和矮型两种类型。高柱信号机的机构安装在钢筋混凝土信号机柱上,矮型信号机的机构安装在信号机水泥基础上。

高柱透镜式色灯信号机如图 2-1 所示。它由机柱、机构、托架、梯子等部分组成。机柱用于安装机构和梯子。机构的每个灯位配备有相应的透镜组和单独点亮的灯泡,给出信号显示。托架用来将机构固定在机柱上,每一机构需上、下托架各一个。梯子用于给信号维修人员攀登及作业。

矮型透镜式色灯信号机如图 2-2 所示。它用螺栓固定在信号机基础上,没有托架,更不需要梯子。

色灯信号机可构成二显示、三单示和单显示信号机,图 2-1 所示即为单机构三显示信号机。图 2-2 所示即为二显示信号机。各种信号机根据需要还可以分别带引导信号

机构或进路表示器。

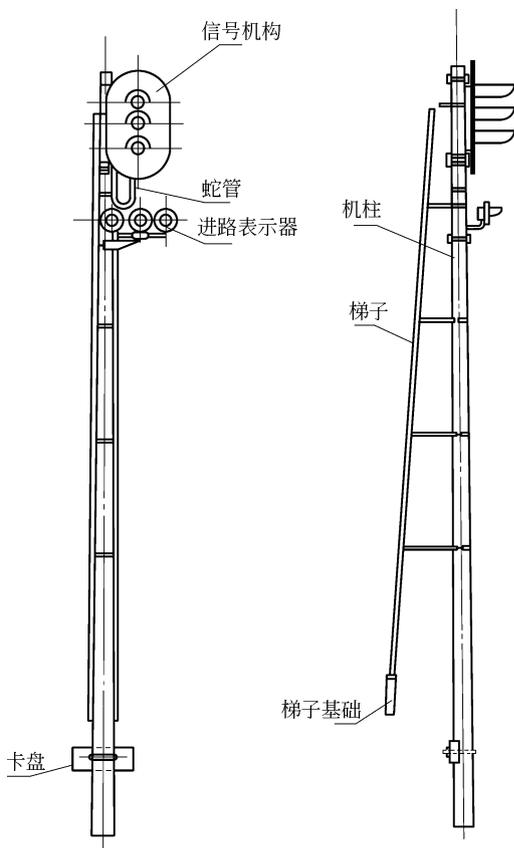


图 2-1 高柱透镜式色灯信号机

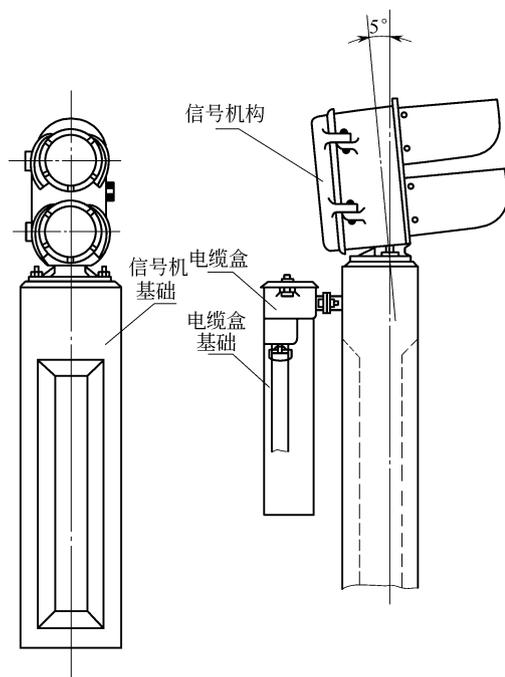


图 2-2 矮型透镜式色灯信号机

## 2. 透镜式色灯信号机的机构

透镜式色灯信号机的每个灯位由灯泡、灯座、透镜组、遮檐和背板等组成,如图 2-3 所示。

灯泡是色灯信号机的光源,采用直线双丝铁路信号灯泡。

灯座用来安放灯泡,采用定焦盘式灯座,在调整好透镜组焦点后固定灯座,更换灯泡时无需再调整。

透镜组装在镜架框上,由两块带棱的凸透镜组成,里面是有色带棱外凸透镜(可有红、黄、绿、蓝、月白、无色六种颜色),外面是无色带棱内凸透镜。之所以采用两块透镜组成光学系统,是利用光的折射和反射原理,将光源发出的光线集中射向所需要的方

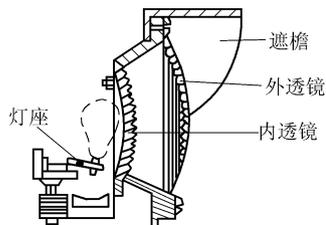


图 2-3 透镜式色灯信号机机构

向,即增强该方向的光强。这样,就能满足信号显示距离远而且具有很好的方向性的要求。信号机构的颜色取决于有色透镜,可根据需要选用。

遮檐用来防止阳光等光线直射时产生错误的幻影显示。

背板是黑色的,构成较暗的背景,可衬托信号灯光的亮度,改善瞭望条件。只有高柱信号机才有背板。一般信号机采用圆形背板。

### 3. 透镜式色灯信号机构分类

透镜式色灯信号机构分为高柱、矮型两大类。

高柱、矮型信号机构按结构又分为二显示、三显示两种。二显示机构有两个灯室。三显示机构有三个灯室。每个灯室内有一组透镜、一副灯座、一个灯泡和遮檐。灯座间用隔板分开,以防止相互串光,保证信号显示的正确。背板是一个机构共用的。各种信号机可根据信号显示的需要选用机构,再按灯光配列对信号灯位颜色的规定安装各灯位的有色内透镜。

各种透镜式色灯信号机构及主要参数如表 2-1 所列。

透镜式色灯信号机构的型号含义如下:

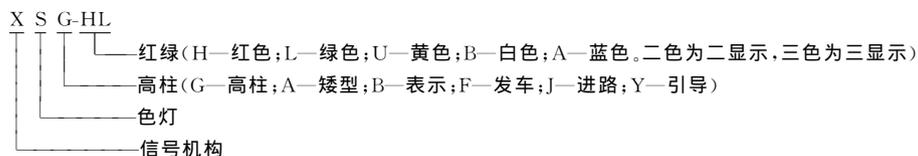


表 2-1 透镜式色灯信号机构系列

单位: mm

序号	1	2	3
型式尺寸	XSG-×× 	XSG-××× 	XSA-×× 
图号	X0121-00-00	X0122-00-00	X0123-00-00
名称	色灯信号机构	色灯信号机构	色灯信号机构
规格	高柱二显示,色别根据需要	高柱三显示,色别根据需要	矮型二显示,色别根据需要

续上表

序号	4	5	6
型式尺寸	<p>XSA-×××</p>	<p>XSY</p>	<p>XSZ-×</p>
图号	X0124-00-00	X0125-00-00	X0127-00-00
名称	色灯信号机构	引导信号机构	复示信号机构
规格	矮型三显示, 色别根据需要	月白色	绿色
序号	7	8	9
型式尺寸	<p>XSFA</p>	<p>BXF</p>	<p>BJG-3</p>
图号	X0128-00-00	X0130-00-00	X0131-00-00
名称	矮型复示信号机构	发车表示器	进路表示器
规格	绿色		高柱三灯无色
序号	10	11	12
型式尺寸	<p>BJG-2</p>	<p>BJA-3</p>	<p>BJA-2</p>
图号	X0132-00-00	X0133-00-00	X0134-00-00
名称	进路表示器	进路表示器	进路表示器
规格	高柱二灯无色	矮型三灯无色	矮型二灯无色

#### 4. 组合式色灯信号机

组合式色灯信号机是为改善曲线区段信号显示连续性而研制的新型信号机构,适用于瞭望困难的线路。其特点是增加了反光镜和偏散镜,采用非球面镜,构成合理的光系统。每个机构只有一个灯室,使用时根据信号显示分别组装成二显示、三显示。壳体采用铝合金。

#### 5. LED 组合式色灯信号机

LED 组合式色灯信号机的机构大小同透镜式色灯信号机,机构由铝合金材料构成,重量大大减少,便于进行施工安装,密封条件好,信号点灯单元由 LED 发光二极管构成,使用寿命长,可以做到免维护。

LED 小型信号机的机构比透镜式色灯信号机小了许多,适合安装于地下空间较小的洞体,满足设备限界的要求。

### 二、地面信号机

#### 1. 地面信号机的设置

##### (1) 地面信号机的设置原则

##### ① 设于列车运行方向右侧

城市轨道交通采用右侧行车制,其地面信号机设于列车运行方向的右侧,在地下部分一般安装在隧道壁上。特殊情况(如因设备限界、其他建筑物或线路条件等影响)可设于列车运行方向的左侧或其他位置。

##### ② 信号机柱的选择

高柱信号机具有显示距离远,观察位置明确等优点,因此车辆段的进段、出段信号机(以及停车场的进场、出场信号机)均采用高柱信号机。

而其他信号机由于对显示距离要求不远,以及隧道内安装空间有限,一般采用矮型信号机。

##### ③ 信号机限界

信号机不得侵入设备限界。

设备限界是用以限制设备安装的控制线。

直线地段的设备限界是在直线地段车辆限界外扩大一定安全间隙后形成的:车体肩部横向向外扩大 100 mm,边梁下端横向向外扩大 30 mm,接触轨横向向外扩大 185 mm,车体竖向加高 60 mm,受电弓竖向加高 50 mm,车下悬挂物下降 50 mm。

曲线地段设备限界应在直线地段设备限界的基础上,按平面曲线不同半径过超高或欠超高引起的横向和竖向偏移量,以及车辆、轨道参数等因素计算确定。

##### (2) 信号机的设置

城市轨道交通的信号机设置不同于铁路,规定在 ATC 控制区域的线路上道岔区设防护信号机或道岔状态表示器,其他类型的信号机可根据需要设置。

### ①正线上的信号机设置

正线上的道岔区设防护信号机或道岔状态表示器(国内尚未采用)。防护信号机设于道岔岔前和岔后的适当地点,如图 2-4 所示。具有出站性质以外的防护信号机应设引导信号。具有两个以上运行方向的信号机可设进路表示器。

采用 ATC 的城市轨道交通,自动闭塞通过信号机已失去主体信号的作用,所以区间分界点一般不设通过信号机。当 ATP 车载设备发生故障时,为便于司机掌握列车运行位置,可结合系统特点设置必要的地点标志,根据需要也可设置通过信号机(例如,行车间隔较大采用自动闭塞作为过渡方式时)。

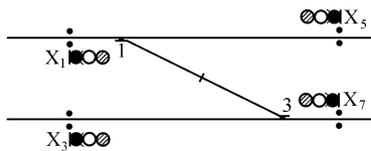


图 2-4 防护信号机

车站一般不设进、出站信号机,在正向出站方向的站台侧列车停车位置前方适当地点设置发车指示器。也可以根据需要设进站、出站信号机以及进站信号机的预告信号机,或者只设出站信号机。

线路尽头设阻挡信号机。

车站应设发车指示器或发车计时装置。

### ②车辆段(停车场)的信号机设置

在车辆段(停车场)入口处设进段(进场)信号机,在车辆段(停车场)出口处设出段(出场)信号机。

在同时能存放两列及以上列车的停车线中间进段方向设列车阻挡信号机(可兼作调车信号机)。

车辆段(停车场)内其他地点根据需要设调车信号机。

### (3)信号机命名

正线上的防护信号机、阻挡信号机冠以“X”、“S”、“F”、“Z”等,其下缀编号方法:下行方向编为单号,上行方向编为双号,从站外向站内顺序编号。

车辆段的进段信号机冠以“JD”,下缀编号方法:下行方向编为单号,上行方向编为双号,从段外向段内顺序编号。列车阻挡信号机和调车信号机冠以“D”,下缀编号方法:下行咽喉编为单号,上行咽喉编为双号,从段内向段外顺序编号。

## 2. 信号显示

### (1)信号显示颜色的选择

城市轨道交通信号颜色的选择,应能达到显示明确、辨认容易、便于记忆和具有足够的显示距离等基本要求。经过理论分析和长期实践,铁路信号的基本色为红、黄、绿三种,再辅以蓝色、月白色,构成铁路信号的基本显示系统。

城市轨道交通信号的光源为白炽灯产生的白色光。白光是一种复合光,由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种颜色的光混合而成。其中红光波长最多,紫光波长最短,一般来说,波长越长,穿透周围介质(如空气、水汽等)的能力越强,显示距离越远。

同样强度的光,红光最诱目,因为人眼对红色辨认最敏感,红色比其他颜色的光都更能引人注意,对人会产生不安全感,所以规定红色灯光为停车信号是最理想的。

黄色(实际上是橙黄色,简称黄色)玻璃透过光线的能力较强,显示距离较远,又具有较高的分辨力,辨认正确率接近100%,故采用黄色灯光作为注意和减速信号。

绿色和红色的反差最大,容易分辨,而绿色灯光显示距离亦较远,能满足信号显示的要求,故采用绿色灯光作为按规定速度运行的信号。

调车信号机的关闭不能影响列车运行,所以它一般不采用红色灯光,而选用蓝色灯光作为禁止调车信号较合适,因其具有较高的诱目性和较大的辨认率。调车信号机的允许信号采用月白色灯光,主要目的是可与一般普通照明电源相区别。蓝色、白色灯光虽显示距离较近,但因为调车速度较低,所以能满足调车作业的需要。

紫色灯光具有较高的区别性,作为道岔状态表示器表示道岔在直向开通的灯光,基本上能满足需要。

## (2) 机构选用和灯光配列

色灯信号机的机构有单显示、二显示、三显示。单显示机构仅用于阻挡信号机。二显示和三显示可以单独使用,也可以组合(以及与单显示机构组合)构成各种信号显示。

### ① 色灯信号机灯光配列和应用的规定

a. 当根据实际情况需减少灯位时,应空位停用方式处理。减少灯位的处理方式可以维持信号机应有的外形,以防误认。如防护信号机若无直向运行方向时,仍采用三显示机构,将绿灯封闭;存车线中间进段方向的列车阻挡信号机采用三显示机构,将绿灯封闭。

b. 以两个基本灯光组成一种显示时,应有一定的间隔距离,以保证显示清晰,如防护信号机的红灯和黄灯同时点亮表示引导信号,其间隔开一个绿灯灯位。

c. 双机构加引导信号是一种专门的信号机型式,需要时,进段(场)信号机可采用此型式。

### ② 各种信号机的灯光配列

#### a. 防护信号机

防护信号机采用三显示机构,自上而下灯位为黄(或月白)、绿、红。

若设正线出站信号机,其灯光配列同防护信号机。

#### b. 阻挡信号机

阻挡信号机采用单显示机构,为一个红灯。

#### c. 进段(场)信号机

进段信号机灯光配列可同防护信号机,亦可采用双机构(两个二显示)带引导机构,自上而下灯位为黄、绿、红、黄、月白。

#### d. 出段(场)信号机

出段(场)信号机采用三显示机构,红、绿,带调车白灯。

e. 调车信号机

调车信号机采用二显示机构,自上而下灯位为白、蓝(或红)。

f. 通过信号机

若采用自动闭塞,其通过信号机为三显示机构,自上而下灯位为黄、绿、红。

(3) 信号显示制度

① 信号显示基本要求

a. 信号机定位

将信号机经常保持的显示状态作为信号机的定位。信号机定位的确定,一般是考虑保证行车安全,提高运输效率及信号显示自动化等因素。

除采用自动闭塞时通过信号机显示绿灯为定位外,其他信号机一律以显示禁止信号(红灯或蓝灯)为定位。

b. 信号机关闭时机

除调车信号机外,其他信号机,当列车第一轮对越过该信号机后及时地自动关闭。

调车信号机在调车车列全部越过调车信号机后自动关闭。

c. 视作停车信号

信号机的灯光熄灭,显示不明或显示不正确时,均视为停车信号。

d. 区分运行方向

有两个以上运行方向而信号显示不能区分运行方向时,应在信号机上装进路表示器,由进路表示器指示开通的运行方向。

② 信号显示意义

《地铁设计规范》对信号显示未作统一规定。

一般,除预告信号机外,所有正线信号机的主体信号均为绿、红两显示。绿灯表示进行,红灯表示停车。进站信号机带引导月白灯。预告信号机为黄、绿、红三显示。

各地可对信号显示作出有关规定。例如,上海地铁一号线信号机的显示为:

红色——停车,ATP速度命令为零;

绿色——运行前方道岔在直股(定位),按ATP速度命令运行;

月白色——运行前方道岔在侧股(反位),按ATP速度命令运行,一般限制速度为30 km/h;

红色+月白色——引导信号,准许列车在该信号机处继续运行,但需准备随时停车,仅对防护站台的信号机设引导信号。

站台还设有发车表示器,发车前5s闪白光,发车时间到亮白色稳定光,列车出清后灭灯。

③ 信号显示距离

各种地面信号机及表示器的显示距离应符合下列规定:

行车信号和道岔防护信号应不小于400 m;

调车信号和道岔状态表示器应不小于 200 m；

引导和道岔状态表示器以外的各种表示器应不小于 100 m。

各种地面信号机和表示器显示距离为无遮挡条件下的最小显示距离。

## 第二节 转 辙 机

道岔的转换和锁闭,是直接关系行车安全的关键设备。由转辙机转换和锁闭道岔,易于集中操纵,实现自动化。转辙机是重要的信号基础设备,它对于保证行车安全,提高运输效率,改善行车人员的劳动强度,起着非常重要的作用。

### 一、转辙机概述

转辙机是转辙装置的核心和主体,除转辙机本身外,还包括外锁闭装置和各类杆件、安装装置,它们共同完成道岔的转换和锁闭。

#### 1. 转辙机的作用

- (1) 转换道岔的位置,根据需要转换至定位或反位;
- (2) 道岔转至所需位置而且密贴后,实现锁闭,防止外力转换道岔;
- (3) 正确地反映道岔的实际位置,道岔的尖轨密贴于基本轨后,给出相应的表示;
- (4) 道岔被挤或因故处于“四开”(两侧尖轨均不密贴)位置时,及时给出报警及表示。

#### 2. 对转辙机的基本要求

(1) 作为转换装置,应具有足够大的拉力,以带动尖轨作直线往返运动;当尖轨受阻不能运动到底时,应随时通过操纵使尖轨回复原位。

(2) 作为锁闭装置,当尖轨和基本轨不密贴时,不应进行锁闭;一旦锁闭,应保证不致因车通过道岔时的震动而错误解锁。

(3) 作为监督装置,应能正确地反映道岔的状态。

(4) 道岔被挤后,在未修复前不应再使道岔转换。

#### 3. 转辙机的分类

(1) 按传动方式分类,转辙机可分为电动转辙机、电动液压转辙机。

电动转辙机由电动机提供动力,采用机械传动。多数转辙机都是电动转辙机,包括 ZD6 系列转辙机和 S700K 型电动转辙机。

电动液压转辙机简称电液转辙机,由电动机提供动力,采用液力传动。

(2) 按供电电源种类,转辙机可分为直流转辙机和交流转辙机。

直流转辙机采用直流电动机,工作电源是直流电。ZD6 系列电动转辙机就是直流转辙机,由直流 220 V 供电。直流电动机的缺点是,由于存在换向器和电刷,易损坏,故障率较高。

交流转辙机采用三相交流电源或单相交流电源,由三相异步电动机或单相异步电动机(现大多采用三相异步电动机)作为动力。S700K 型电动转辙机为交流转辙机。交流转辙机采用感应式交流电动机,不存在换向器和电刷,因此故障率低,而且单芯电缆控制距离远。

(3)按锁闭道岔的方式,转辙机可分为内锁闭转辙机和外锁闭转辙机。

内锁闭转辙机依靠转辙机内部的锁闭装置锁闭道岔尖轨,是间接锁闭的方式。ZD6 系列等大多数转辙机均采用内锁闭方式。内锁闭方式,锁闭可靠程度较差,列车对转辙机的冲击大。

外锁闭转辙机虽然内部也有锁闭装置,但主要依靠转辙机外的外锁闭装置锁闭道岔,将密贴尖轨直接锁于基本轨,斥离尖轨锁于固定位置,是直接锁闭的方式。S700K 型电动转辙机采用外锁闭方式。外锁闭方式锁闭可靠,列车对转辙机几乎无冲击。

(4)按是否可挤,转辙机分为可挤型转辙机和不可挤型转辙机。

可挤型转辙机内设挤岔保护(挤切或挤脱)装置,道岔被挤时,动作杆解锁,保护了整机。不可挤型转辙机内不设挤岔保护装置,道岔被挤时,挤坏动作杆与整机连接结构,应整机更换。电动转辙机和电液转辙机都有可挤型和不可挤型。

此外,各种转辙机还有不同转换力和动程的区别。

#### 4. 转辙机的设置

城市轨道交通的正线上一一般采用 9 号道岔,车辆段(停车场)一般采用 7 号道岔,通常一组道岔由一台转辙机牵引。如果正线上采用的是 9 号 AT 道岔,其为弹性可弯道岔,需要两点牵引,即一组道岔需两台转辙机牵引。

### 二、ZD6 系列电动转辙机

ZD6 系列电动转辙机是我国铁路也是城市轨道交通使用最广泛的电动转辙机,包括 A、D、E、J 等派生型号。ZD6 型电动转辙机采用内锁闭方式。

ZD6-A 型是 ZD6 系列转辙机的基本型,系列内其他型号的 ZD6 转辙机都是以 ZD6-A 型为基础改进、完善而发展起来的。故以 ZD6-A 型转辙机为重点进行介绍。

#### 1. ZD6-A 型转辙机的结构

ZD6-A 型电动转辙机主要由电动机、减速器、摩擦联接器、主轴、动作杆、表示杆、移位接触器、外壳等组成,如图 2-5 所示。

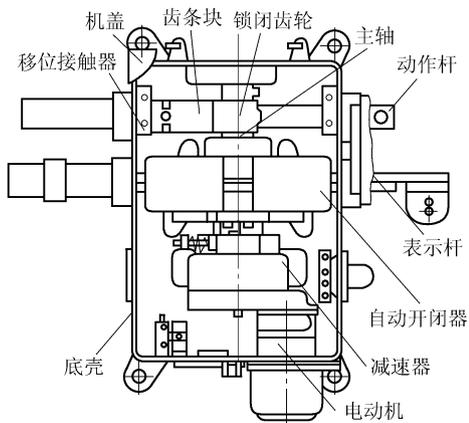


图 2-5 ZD6-A 型电动转辙机结构

电动机为电动转辙机提供动力,采用直流串激电动机。

减速器用来降低转速以获得足够的转矩,并完成传动。由第一级齿轮和第二级行星传动式减速器组成。两级间以输入轴联系,减速器由输出轴和主轴联系。

摩擦联接器构成输出轴与主轴之间的摩擦连接,防止尖轨受阻时损坏机件。

主轴由输出轴通过启动片带动旋转,主轴上安装锁闭齿轮。

锁闭齿轮和齿条块相互作用,将转动变为平动,通过动作杆带动道岔尖轨运动,并完成锁闭作用。

动作杆和齿条块用挤切销相连。正常动作时,齿条块带动动作杆。挤岔时,挤切销折断,动作杆和齿条块分离,避免机件损坏。

表示杆由前、后表示杆及两个检查块组成。表示杆随尖轨移动,只有当尖轨密贴且锁闭后,自动开闭器的检查柱才能落入表示杆缺口,接通道岔表示电路。挤岔时,表示杆被推动,顶起检查柱,从而断开道岔表示电路。

自动开闭器由静接点、动接点、速动片、速动爪、检查柱组成,用来表示道岔尖轨所在位置。

移位接触器用来监督挤切销的受损状态,道岔被挤或挤切销折断时,断开道岔表示电路。安全接点(遮断接点)用来保证维修安全。正常使用时,遮断接点接通,才能接通道岔动作电路。检修时,断开遮断接点,以防止检修过程中转辙机转动影响维修人员作业。

壳体用来固定转辙机各部件,防护内部机件免受机械损伤和雨水、尘土侵入,提供整机安装条件。它由底壳和机盖组成。底壳是壳体的基础,也是整机安装的基础。底壳上设有特定形状的窗孔,便于整机组装和分解。机盖内侧周边有盘根槽,内镶有密封用盘根(胶垫)。

以道岔由左侧密贴向右转换为例,当电动机通入规定方向的道岔控制电流,电动机按逆时针方向旋转。电动机通过齿轮带动减速器,这时输入轴按顺时针方向旋转,输出轴按逆时针方向旋转。输出轴通过启动片带动主轴,按逆时针方向旋转。锁闭齿轮随主轴逆时针方向旋转,锁闭齿轮在旋转中完成解锁、转换、锁闭三个过程,拨动齿条块,使动作杆带动道岔尖轨向右移动,密贴于右侧尖轨并锁闭。同时通过启动片、速动片、速动爪带动自动开闭器的动接点动作,与表示杆配合,断开原接通接点,接通原断开接点。完成电动转辙机转换、锁闭及给出道岔表示的任务。

手动摇动转辙机时,先用钥匙打开盖,露出摇把插孔。将摇把插入减速大齿轮轴。摇动转辙机至所需位置。此后虽抽出摇把,但安全接点被断开,必须打开机盖,合上安全接点,转辙机才能复原。

## 2. ZD6 系列电动转辙机系列

ZD6 系列电动转辙机包括满足各种需求的 ZD6 型转辙机的派生型号。它们的简况如表 2-2 所列。各型 ZD6 电动转辙机的额定工作电压均为直流 160 V。

表 2-2 ZD6 系列转辙机简况

型 号	额定负载 (N)	动作电流 (A)	转换时间 (s)	动作杆动 程(mm)	表示杆动 程(mm)	主锁闭力 (N)	副锁闭力 (N)	特点及类型	适应范围
ZD6-A	2 450	≤2.0	≤3.8	165±2	86~167	29 420± 1 961	—	单锁闭,可挤	单开道岔
ZD6-D	3 430	≤2.0	≤5.5	165±2	145~ 185	29 420± 1 961	14 700~ 17 652	双锁闭,可挤	单开道岔
ZD6-E	5 880	≤2.2	≤6.5	190±2	70~196	49 033± 3 266	14 700	双锁闭,不可挤	道岔第一 点牵引
ZD6-J	5 880	≤2.2	≤9.0	165±2	70~196	29 420± 1 961	—	单锁闭,可挤	道岔第二 点牵引
ZD6-G	5 880	≤2.0	≤9.0	165±2	70~167	49 033± 3266	14 700	双锁闭,可挤	复式交分 道岔尖轨
ZD6-H	3 430	≤2.0	≤5.5	165±2	70~167	29 420± 1 961	—	单锁闭,可挤	复式交分 道岔岔心

ZD6-A、D 型转辙机单机使用时,摩擦电流为 2.3~2.9 A,E 型和 J 型双机配套使用时,单机摩擦电流为 2.0~2.5 A。

#### (1) ZD6-D 型转辙机

ZD6-D 型转辙机是在 ZD6-A、B、C 型的基础上研制的,适用于牵引道岔尖轨。它扩大了表示杆的功能,使之对尖轨也有机械锁闭作用,构成双锁闭。在表示杆检查块处增加一个销子(称为副锁闭销),使检查块与表示杆联为一体,检查柱落入缺口,道岔便被表示杆锁住。挤岔时副锁闭销切断,表示杆照常有挤岔断表示的功能。在前表示杆上设有前、中、后三个横穿孔,使后表示杆与之配合时有更大的选择余地,这样就扩大了表示杆动程的可调范围,使之既能适应普通道岔尖轨的动程,也能适应交分道岔和可动心轨道岔的动程需要。

#### (2) ZD6-E 型转辙机

ZD6-E 型转辙机在原有电流消耗的前提下,增大了牵引力,扩大了转换动程,具有双锁闭功能,还设计了与之配套的新型电动机(与原电机通用)。适用于特种断面的道岔、大号码道岔。将单侧圆弧锁闭改进为卧式圆柱体下方两侧对称圆弧接触面,实现双圆弧组成的圆槽锁闭,提高了锁闭的可靠性。启动齿结构从原来的半齿弱力启动改进为全齿啮合抗过载强力启动,提高了耐磨性能,延长了零件的使用寿命。强化了减速器,采用轴承钢,增设了固化板,行星齿轮的滚动轴承由滚珠式改为滚柱式,增加壳体局部厚度,提高了机械强度。

#### (3) ZD6-J 型转辙机

ZD6-J 型是 ZD6-D 型的派生产品,适用于 AT 道岔的第二牵引点,用来辅助牵引尖轨。它与 ZD6-E 型转辙机配合牵引 AT 道岔,称为“双机牵引”制式。它更换了 ZD6-E 型转辙机的第一级减速齿轮,使之与 ZD6-E 型动作同步;用前表示杆的第一个横穿孔,

以适用道岔第二点动程小的需要；取消杆内副锁闭销，使之顺利地实现挤岔报警。

此外，复式交分道岔尖轨采用 ZD6-G 型电动转辙机，岔心采用 ZD6-F 型电动转辙机。

### 三、S700K 型电动转辙机

S700K 型电动转辙机是由于我国铁路提速需要，从德国西门子公司引进设备和技术，经消化吸收和改进后，迅速在主要干线推广运用的转辙机。经数年的实践表明，该型转辙机结构先进，工艺精良，不但解决了长期困扰信号维修人员的电机断线、故障电流变化、接点接触不良、移位接触器跳起和挤切销折断等惯性故障，而且可以做到“少维护，无维修”，符合中国铁路运营的特点和发展方向，也适用于城市轨道交通。

城市轨道交通运行速度不高，可采用普通的直流转辙机，但采用三相交流电动转辙机优点十分明显。由于采用三相交流电动机，线路上的电能损失大大减少；又由于采用摩擦力非常小的滚珠丝杠传动装置，因此机械效率高。这样，在同样的控制电流下，可增大控制距离，或减小电缆芯线的截面。采用三相电动转辙机后，由于没有直流电动机的整流子，维修工作量大为减少。

S700K 型电动转辙机的产品代号来自德文“Simens-700-Kugelgewinde”，其含义为“西门子—具有 6 860 N(700 kgf)保持力—带有滚珠丝杠”的电动转辙机。

#### 1. S700K 型电动转辙机结构

S700K 型电动转辙机主要由外壳、动力传动机构、检测和锁闭机构、安全装置、配线接口五大部分组成，其结构如图 2-6 所示。

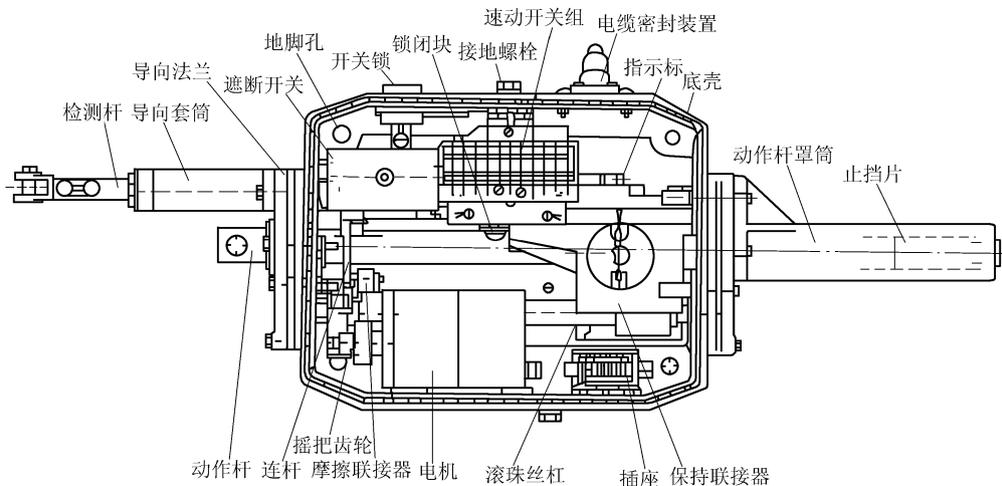


图 2-6 S700K 型电动转辙机结构图

#### (1) 外壳

主要由铸铁底壳、机盖、动作杆套筒、导向套筒、导向法兰等组成。

## (2) 动力传动机构

主要由三相交流电动机、齿轮组、摩擦联结器、滚珠丝杠、保持联结器、动作杆等组成。

三相交流电动机为转辙机提供动力。

齿轮组将电机的旋转驱动力传递到摩擦联结器上,并将电动机的高速转速降速,以增大旋转驱动力,适应道岔转换的需要。

摩擦联结器将齿轮组变速后的旋转力传递给滚珠丝杠,当作用于滚珠丝杠上的转换阻力大于摩擦结合力时,主被摩擦片之间相对打滑空转,保护了电动机。对于交流转辙机来说,其动作电流不能直观地反映转辙机的拉力,现场维修人员不能像对直流转辙机那样,通过测试动作电流来对摩擦力进行监测,必须由专业人员用专业器材才能进行这一调整。转辙机在出厂时已对摩擦力进行标准化测试调整,所以现场维修人员不得随意调整摩擦力。

滚珠丝杠相当于一个直径 32 mm 的螺栓和螺母,当滚珠丝杠正向或反向旋转一周时,螺母前进或后退一个螺距。它一方面将电动机的旋转运动变成丝杠的直线运行;另一方面起到减速作用。

保持连接器是转辙机的挤脱装置,利用弹簧的压力通过槽口式结构将滚珠丝杠与动作杆连接在一起。当道岔的挤岔力超过弹簧压力时,动作杆滑脱,起到整机不被损坏的保护作用。

## (3) 检测和锁闭机构

主要由检测杆、叉形接头、速动开关组、锁闭块和锁舌、指示标等部分组成。

检测杆随尖轨或心轨转换而移动,用来监督道岔在终端位置时的状态。

道岔在终端位置,当检测杆指示缺口与指示标对中时,锁闭铁及锁舌应能正常弹出。锁闭块的正常弹出使速动开关的有关启动接点闭合及表示接点断开。锁舌的正常弹出用于阻挡转辙机的保持联结器的移动,实现转辙机的内部锁闭。

速动开关实际上是采用了沙尔特堡接点组的自动开闭器。它随着尖轨或心轨的解锁、转换、锁闭过程中锁闭块的动作自动开闭,以自动开闭电动机动作电路和道岔表示电路。

## (4) 安全装置

主要由开关锁、遮断开关、连杆、摇把孔挡板等组成。

开关锁是操纵遮断开关闭合和断开的机构。用来在检修人员打开电动转辙机机盖进行检修作业或车务人员插入摇把转换道岔时,可靠断开电动机动作电路,防止电动机误动,保证人身安全。

遮断开关接通时,摇把挡板能有效阻挡摇把插入摇把齿轮,防止用钥匙打开电动转辙机机盖。断开遮断开关时,摇把能顺利插入摇把齿轮或用钥匙打开电动转辙机机盖,此时电动机的动作电源将被可靠地切断,不经人工操纵和确认,不能恢复接通。

### (5) 配线接口

主要由电缆密封装置、接插件插座组成。

### 2. 外锁闭装置

S700K 型电动转辙机配套外锁闭装置。当道岔由转辙机带动转换至某个特定位置后,通过外锁闭装置,直接把尖轨与基本轨密贴夹紧并固定,即道岔的锁闭主要不是依靠转辙机内部的锁闭装置,而是依靠转辙机外部的锁闭装置实现的。外锁闭装置受力合理,基本上避免了轮对对尖轨产生的侧向冲击,克服了内锁闭道岔的缺陷。

外锁闭装置先后出现了燕尾式和钩式两种。

燕尾式外锁式装置在结构受力和安装调整方面不适合我国铁路道岔的实际情况,对道岔尖轨病害的适应能力差,卡阻现象时有发生,故障率较高,产品工艺性差,质量不易控制,于是又研制成钩式外锁闭装置。

钩式外锁闭装置的锁闭方式为垂直锁闭。锁闭力通过锁闭铁、锁闭框直接传给基本轨。锁闭铁和锁闭框基本不承受弯矩,锁闭更加可靠。同时各配件全部是锻造调质处理,具有良好的综合机械性能,避免了原尖轨部分燕尾式外锁闭装置的锁闭铁因承受弯矩和铸造缺陷而出现的断裂现象。钩式外锁闭装置受力结构合理,能有效适应道岔尖轨的不良状态,锁闭可靠,安装调整方便。

钩式外锁闭装置也分动尖轨用和可动心轨用两种,城市轨道交通中只用到动尖轨用钩式外锁闭装置。动尖轨用钩式外锁闭装置由锁闭杆、锁钩、锁闭框、尖轨连接铁、锁轴、限位板、锁闭铁组成,如图 2-7 所示。

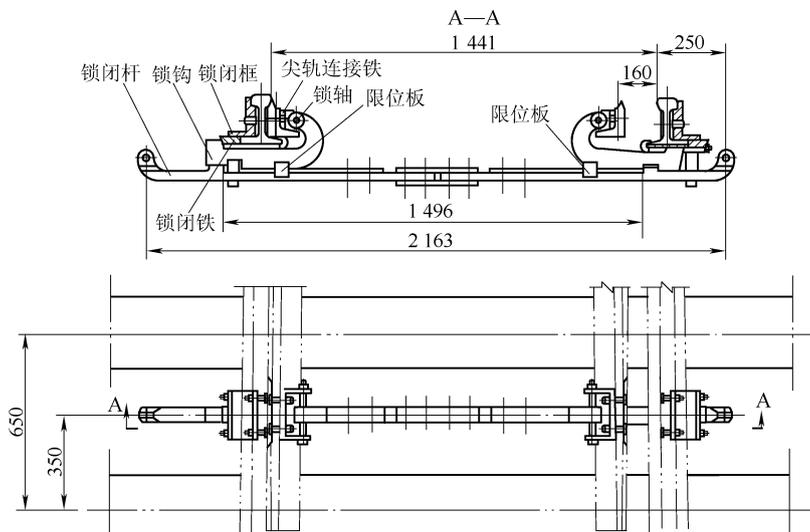


图 2-7 尖轨用钩式外锁闭装置(单位:mm)

锁闭杆的作用是通过安装装置与转辙机动作杆相连,利用其凸台和锁钩缺口带动

尖轨。第一牵引点锁闭杆与第二牵引点锁闭杆凸台尺寸不同,不能通用。锁钩头部与销轴连接,下部缺口与锁闭杆凸台作用,通过连接铁带动尖轨运动,尾部内斜面与锁闭铁作用锁闭密贴尖轨和基本轨。第一点牵引点锁钩与第二牵引点锁钩也不能通用。

锁闭框固定锁闭铁,支承锁闭杆。锁闭铁与锁钩作用锁闭尖轨和基本轨,导向槽在锁闭杆两侧槽内起导向作用。锁闭框用螺栓与基本轨连接,锁闭铁插入锁闭框方孔内,并用固定螺栓紧固。尖轨连接铁用螺栓与尖轨连接,由锁轴将其与锁钩连接。锁钩底部缺口对准锁闭杆的凸块,并与锁闭杆共同穿入锁闭框。

### 3. S700K 型电动转辙机的安装装置

S700K 型电动转辙机尖轨的安装装置包括托板、弯头动作杆、尖端铁、长表示杆、短表示杆等。转辙机安装如图 2-8 所示。

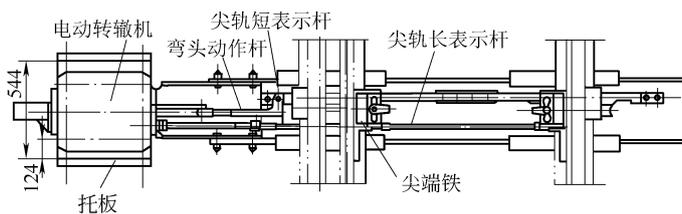


图 2-8 S700K 型电动转辙机安装图(单位:mm)

## 第三章

# 信号基础设备——轨道电路

轨道电路是利用钢轨线路和钢轨绝缘构成的电路。它用来监督线路的占用情况,以及将列车运行与信号显示等联系起来,即通过轨道电路向列车传递行车信息。轨道电路是信号的重要基础设备,它的性能直接影响行车安全和运输效率。

对于城市轨道交通,轨道电路不仅用来检测列车是否占用,更重要的是要传输 ATP 信息。所以除车辆段内可采用 50 Hz 相敏轨道电路外,正线需要采用音频轨道电路。为便于牵引电流流通,提高线路性能,方便维修,音频轨道电路是无绝缘的。音频轨道电路多采用数码调制方式,数码调制与模拟信号调制相似,也是用较高频率的正弦信号作为载波,但调制信号是数字基带信号,多采用高可靠性、多信息量的数字编码式音频轨道电路,简称数字轨道电路。

### 第一节 轨道电路概述

#### 一、轨道电路的基本原理

轨道电路是以铁路线路的两根钢轨作为导体,两端加以机械绝缘(或电气绝缘),接上送电和受电设备构成的电路。最简单的轨道电路如图 3-1 所示。

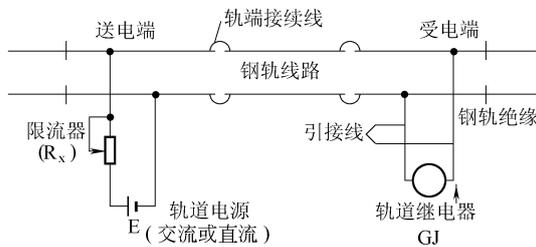


图 3-1 最简单的轨道电路

轨道电路的送电设备设在送电端,由轨道电源  $E$  和限流电阻  $R_x$  组成,限流电阻的作用是保护电源不致因过负荷而损坏,同时保证列车占用轨道电路时,轨道继电器可靠落下。接收设备设在受电端,一般采用继电器,称为轨道继电器,由它来接收轨道电路的信号电流。

送、受电设备一般放在轨道旁的变压器箱或电缆盒内,轨道继电器设在信号楼内。送、受电设备由引接线(钢丝绳)直接接向钢轨或通过电缆过轨后由引接线接向钢轨。

钢轨是轨道电路的导体,为减小钢轨接头的接触电阻,增设了轨端接续线。

钢轨绝缘是为分隔相邻轨道电路而装设的。

两绝缘节之间的钢轨线路,称为轨道电路的长度。

当轨道电路内钢轨完整,且没有列车占用时,轨道继电器吸起,表示轨道电路空闲。轨道电路被列车占用时,它被列车轮对分路,轮对电阻远小于轨道继电器线圈电阻,流经轨道继电器的电流大大减小,轨道继电器落下,表示轨道电路被占用。

## 二、轨道电路的作用

轨道电路的第一个作用是监督列车的占用。利用轨道电路监督列车在区间或列车和调车车列在站内的占用,是最常用的方法。由轨道电路反映该段线路是否空闲,为开放信号、建立进路或构成闭塞提供依据,还利用轨道电路的被占用关闭信号,把信号显示与轨道电路是否被占用结合起来。

轨道电路的第二个作用是传递行车信息。例如数字编码式音频轨道电路中传送的行车信息,为 ATC 系统直接提供控制列车运行所需要的前行列车位置、运行前方信号机状态和线路条件等有关信息,以决定列车运行的目标速度,控制列车在当前运行速度下是否减速或停车。对于 ATC 系统来说,带有编码信息的轨道电路是其车地之间传输信息的通道之一。

## 三、轨道电路的分类

轨道电路有较多种类,也有多种分类方法。

### 1. 按所传送的电流特性分类

轨道电路可分为工频连续式轨道电路和音频轨道电路,音频轨道电路又分为模拟式和数字编码式。

工频连续式轨道电路中传送连续的交流电流。这种轨道电路的唯一功能是监督轨道的占用与否,不能传送更多信息。

模拟式音频轨道电路采用调幅或调频方式,用低频调制载频,除监督轨道的占用外,可以传输较多信息,主要传输列车运行前方三个或四个闭塞分区的占用与否的信息。

数字编码式音频轨道电路采用数字调频方式,但它采用的不是单一低频调制频率,而是一个若干比特的一群调制频率,根据编码去调制载频,编码包含速度码、线路坡度码、闭塞分区长度码、纠错码等,可以传输更多的信息。

### 2. 按分割方式分类

轨道电路可分为有绝缘轨道电路和无绝缘轨道电路。

有绝缘轨道电路用钢轨绝缘将本轨道电路与相邻的轨道电路互相电气隔离。一般称轨道电路常指有绝缘轨道电路。

钢轨绝缘在车辆运行的冲击力、剪切力作用下很容易破损,使轨道电路的故障率较高。绝缘节的安装,给无缝线路带来一定的麻烦,有时需锯轨,因而降低了线路的轨道强度,增加了线路维护的复杂性。电气化铁路的牵引回流不希望有绝缘节,为使牵引回流能绕过绝缘节,必须安装扼流变压器或回流线。因此无缝线路和电气化铁路希望采用无绝缘轨道电路。

无绝缘轨道电路在其分界处不设钢轨绝缘,而采用电气隔离的方法予以隔离。电气隔离式又称谐振式,利用谐振槽路,采用不同的信号频率,谐振回路对不同频率呈现不同阻抗,来实现相邻轨道电路间的电气隔离。

无绝缘轨道电路与有绝缘轨道电路相比较,具有较明显的特点和优点。由于去掉了故障率高的轨端机械绝缘,因而大大地提高了轨道电路的可靠性。在长轨区段安装不用锯轨,在电气化区段降低了轨道电路的不平衡系数,改善了钢轨线路的运营质量。

城市轨道交通正线上采用无绝缘轨道电路,取消了机械绝缘节和钢轨接头,大大减少了车辆轮对与钢轨接缝之间的碰撞,降低了轮对和钢轨的磨损,避免了列车过接缝时乘客的不舒适感。

### 3. 按使用处所分类

轨道电路分为区间轨道电路和车辆段内轨道电路。

区间轨道电路主要用于正线,不仅要监督各闭塞分区是否空闲,而且要传输有关行车信息。一般来说,区间要求轨道电路传输距离较长,要满足闭塞分区长度的要求,轨道电路的构成也比较复杂。

车辆段内轨道电路,用于段内各区段,一般只有监督本区段是否空闲的功能,不能发送其他信息。

### 4. 按轨道电路内有无道岔分类

车辆段内轨道电路分为无岔区段轨道电路和道岔区段轨道电路。

无岔区段轨道电路内钢轨线路无分支,构成较简单,一般用于检车线、停车线等以及尽头调车信号机前方接近区段、两差置调车信号机之间。

在道岔区段,钢轨线路有分支,道岔区段的轨道电路就称为分支轨道电路或分歧轨道电路。在道岔区段,道岔处钢轨和杆件要增加绝缘,还要增加道岔连接线和跳线。当分支超过一定长度时,还必须设多个受电端。

## 四、轨道电路的基本要求

1. ATP(列车自动防护)地面设备宜采用报文式无绝缘轨道电路或适用于其他准移动闭塞、移动闭塞 ATC(列车自动)系统的地面设备,也可采用模拟式音频轨道电路。

## 2. 对轨道电路的要求

(1)ATC 控制区域宜采用无绝缘轨道电路,道岔区段、车辆段及停车场线路可采用有绝缘轨道电路。区间轨道电路应为双轨条牵引回流方式;道岔区段、车辆段及停车场轨道电路可采用单轨条牵引回流方式。

(2)相邻轨道电路应加强干扰防护。

## 3. 轨道电路参数

轨道电路的参数可采用下列数据:

(1)道床电阻:整体道床, $2 \Omega \cdot \text{km}$ ;碎石道床, $1 \Omega \cdot \text{km}$ 。

(2)分路电阻: $0.1 \Omega$ 。

4. 轨道电路利用兼作牵引回流的走行轨时,装设的横向均流线应不影响轨道电路的正常工作。

## 5. 轨道电路技术条件

轨道电路应满足以下技术条件:

(1)短轨道电路长度在 50 m 以下;

(2)长轨道电路长度在 400 m 以下;

(3)道床电阻不小于  $2 \Omega \cdot \text{km}$ ;

(4)最小分路电阻  $0.15 \Omega$ ;

(5)模糊区长度不大于 4.5 m;

(6)室内设备至室外设备的控制距离不小于 2 km。

## 五、交流工频轨道电路

用于城市轨道交通的交流工频轨道电路有 50 Hz 相敏轨道电路(包括继电器式和微电子式)、PF 轨道电路。它们只有监督列车占用的功能,不能传输其他信息。

城市轨道交通一般采用直流牵引,所以轨道电路可以采用 50 Hz 电源,这与铁路不同(铁路采用交流工频牵引,轨道电路只能采用 50 Hz 以外的电源,一般为 25 Hz)。

## 六、音频轨道电路

音频轨道电路具有检测列车占用和传递 ATP/ATO 信息两个功能。音频轨道电路皆为无绝缘轨道电路,用电气隔离的方式形成电气绝缘节,取代机械绝缘节,进行两相邻轨道电路的隔离和划分。

### 1. 音频无绝缘轨道电路的基本工作原理

音频无绝缘轨道电路有谐振式和叠加式两大类。谐振式又称电气隔离式,它是在轨道电路分界处,采用电容和钢轨构成的电感组成谐振电路;另外,相邻轨道电路采用不同频率的信号电流,使轨道电路电气隔离。谐振式轨道电路具有信号外串相对较小的特点,相邻轨道电路之间隔离性能要优越于叠加式。叠加式又称自然衰耗式,它是利

用轨道电路的自然衰耗,相邻轨道电路采用不同的信号电流,在轨道外滤波使相邻轨道电路的工作互不影响。叠加式信号外串相对较大,但绝缘节结构简单。

城市轨道交通中轨道电路区段较短,故多采用谐振式。早期的音频无绝缘轨道电路采用短路连接式,如图 3-2 所示。各相邻轨道区段采用不同的信号频率。在发送端,电容器及两段钢轨组成并联谐振电路。在接收端,也由电容器及两段钢轨组成并联谐振电路,从而使该轨道电路中只有其固定频率的信号被接收。轨道区段两侧的短路钢条用来确保相邻轨道电路区段互不干扰,并使两条钢轨中的牵引电流平衡。该轨道电路在接收端存在“死区”,具有一定的危险性。

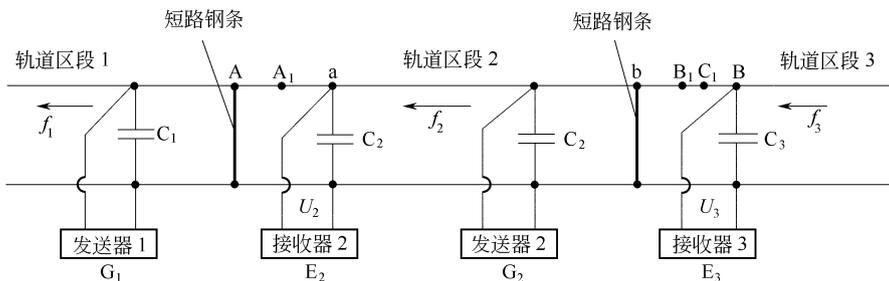


图 3-2 短路连接式音频轨道电路

为了克服上述缺陷,目前一般采用把短路钢条连成“S”形方式,称为 S 型连接式音频轨道电路,其原理如图 3-3 所示。发送器的一个输出端和接收器的一个输入端接在 S 形导线的中间。电容器  $C_1$  与钢轨  $L_1$  及“S”形电缆的一半组成谐振于轨道区段 1 音频频率  $f_1$  的并联谐振电路;电容器  $C_2$  与钢轨  $L_2$  及“S”形电缆的另一半组成谐振于轨道区段 2 音频频率  $f_2$  的并联谐振电路。两个并联谐振回路分别对  $f_1$ 、 $f_2$  信号呈现高阻抗,以使信号能够发送、接收。 $C_3$  与  $L_3$  组成谐振于轨道区段 3 音频频率  $f_3$  的并联谐振电路。

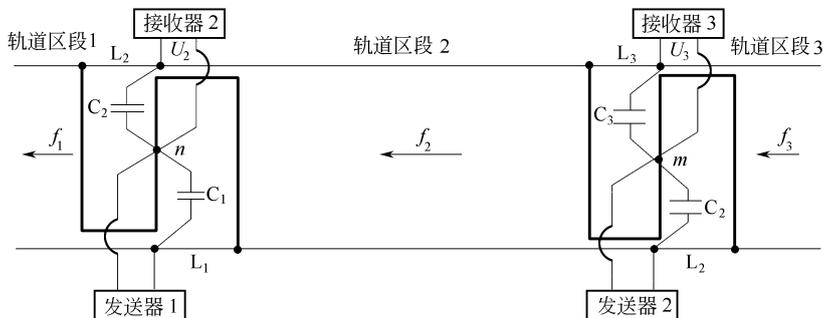


图 3-3 S 型连接式音频轨道电路

“S”形电缆将信号  $f_1$  与  $f_2$  阻隔,使它们不能向相邻区段传输。这样,就实现了  $f_1$

区段(轨道区段 1)与  $f_2$  区段(轨道区段 2)的相互隔离。

S 型连接电气绝缘节的特点为:

(1) 谐振回路的品质因数  $Q$  值不高,因而频带较宽;

(2) 相邻轨道电路区段在电气绝缘节区域存在重叠区,因此在整个轨道电路传输区域不存在“死区”。

图 3-4 所示为列车驶入及离开轨道区段 2 时,接收器 2、3 的端电压  $U_2$ 、 $U_3$  变化情况。当列车的第一轮轴驶至  $m$  点时,电压  $U_2$  才开始上升,同时电压  $U_3$  降至最小值。这样所形成的电压谷区是一个安全区。因为当该谷区内的钢轨被短路时,轨道区段 2 和 3 均将给出“区段占用”的结果。由于其符合故障—安全原则,所以被广泛采用。

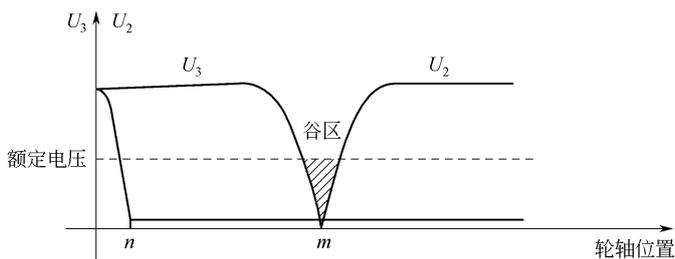


图 3-4 列车驶过时接收区端电压的变化

此种 S 型连接式音频轨道电路称为标准式音频轨道电路,其在工程图中的表示方式如图 3-5 所示。

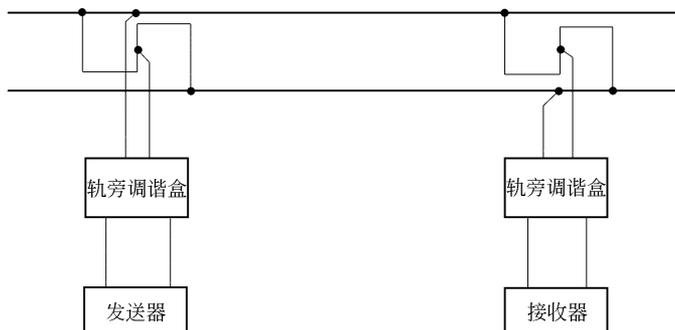


图 3-5 标准式音频轨道电路

在音频条件下,轨道电路的衰耗很大,限制了音频轨道电路的有效作用距离,频率为 10 kHz 时,轨道电路的有效作用距离为 300 m。为了增加音频轨道电路的有效作用距离,通常采用中间馈电式音频轨道电路,在轨道电路中间发送,两端接收,如图 3-6 所示。当两个接收器均接收到高电平时,说明轨道电路空闲。当两个接收器所接收到电平为一高一低或者均为低电平时,说明轨道电路空闲被占用。采用中间馈电式后,音频

轨道电路的有效作用距离可以增加一倍。

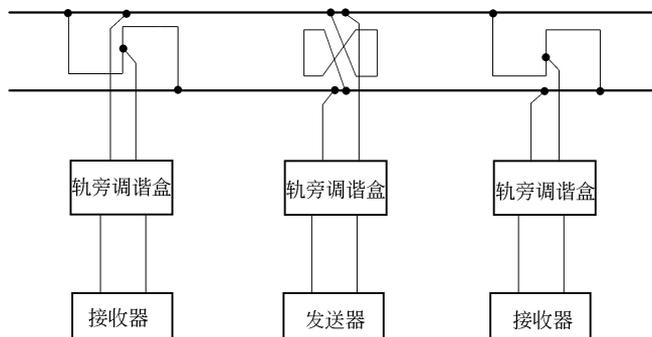


图 3-6 中间馈电式音频轨道电路

## 2. 音频无绝缘轨道电路的分类

### ①按信息处理技术分为模拟轨道电路和数字编码轨道电路

模拟轨道电路用代表不同速度信息的低频对载频进行调制,该调制信号是模拟量,以实现列车速度的控制。它只能传输速度信息,不能传输更多的 ATP 信息,因此只能实现阶梯式控制模式的固定闭塞。上海地铁 1 号线采用的原美国 GRS 公司的轨道电路和北京地铁采用的英国西屋公司的 FS-2500 型轨道电路,就属于这一类。

数字编码轨道电路则用报文形式,通过数字编码对载频进行数字调频,该调制信号是数字量,以实现列车控制用各种信息(包括目标速度、目标距离、线路坡度、区间限制、轨道电路长度等信息)的传输。通过这种轨道电路可实现曲线式控制模式的准移动闭塞。上海地铁 2 号线采用的美国 US&S 公司的 AF-904 型轨道电路,广州、南京、深圳地铁采用的德国西门子公司的 FTGS 型轨道电路,上海城市轨道交通 3 号线采用法国 ALSTOM 的 DTC921 型轨道电路,都属于这一类。

### ②按调制方式分为调幅轨道电路和调频轨道电路

调幅轨道电路采用调幅的方式将低频信号调制在载频上予以传送。上海地铁 1 号线用的 GRS 的音频无绝缘轨道电路即采用调幅方式,它用 2 Hz、3 Hz 去调制 2 625 Hz、2 925 Hz、3 375 Hz、4 275 Hz 作为检测列车占用。

调频轨道电路采用调频和数字调频的方式将低频信号或报文载在载频上,多数音频轨道电路均采用此种方式。例如,FTGS917 型轨道电路采用 9.5 Hz、10.5 Hz、11.5 Hz、12.5 Hz、13.5 Hz、14.5 Hz、15.5 Hz、16.5 kHz 作为载频,偏频为  $\pm 64$  Hz, +64 Hz 为“1”, -64 Hz 为“0”,进行数字调频。

③按功能分为检测列车占用与传输 ATP 信息分开和检测列车占用与传输 ATP 信息合一两种方式

检测列车占用与传送 ATP 信息分开的方式是检测列车占用采用一种方式,而 ATP 信息采用另一种方式。例如 GRS 的音频无绝缘轨道电路,用 2 Hz、3 Hz 调制

2 625 Hz、2925 Hz、3 375 Hz、4 275 Hz 作为检测列车占用,用 8 种低频(0~20 Hz)调制 2 250 Hz 作为传送速度控制命令。FTGS 轨道电路用位模式调制载频作为检测列车占用,用报文调制载频发送 ATP 信息。

检测列车占用与传送 ATP 信息合一的方式是检测列车占用和传送 ATP 信息由同一种方式实现。例如 FS-2500 轨道电路,用 14 种速度码传送 ATP 信息,同时作为列车占用的检测,在接收端收不到信号时,即为列车占用本区段,但发送端照样可为列车传送 ATP 命令。AF-904 型轨道电路也是这样,用报文传送 ATP 信息,同时作为列车占用的检测。

### 3. 音频无绝缘轨道电路的连接方式

谐振式无绝缘轨道电路的发送器和接收器与钢轨的连接方式有感应(互耦)方式和直接注入(自耦)方式两种。

感应方式亦有两种,一是发送器、接收器经阻抗连接器接至钢轨,如图 3-7 所示;二

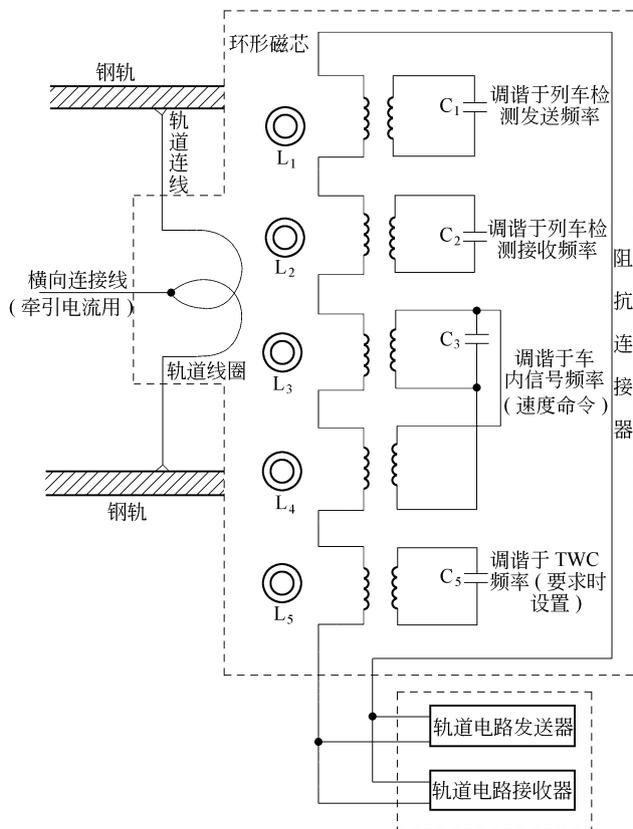


图 3-7 阻抗连接器耦合方式

TWC—车-地通信设备。

是将 S 形电缆两端焊接到钢轨上,由一匝电线构成的环线与 S 形电缆连接器耦合,如图 3-8 所示。图中  $f_x$  是左边轨道电路的载频频率,  $f_y$  是右边轨道电路的载频频率。发送的轨道信号电流在 S 形电缆中形成环流,并感应进入钢轨,接收的信号也从钢轨感应进入电缆。借助其外形尺寸,可提供很强的方向性,以设定轨道电路电流的方向。

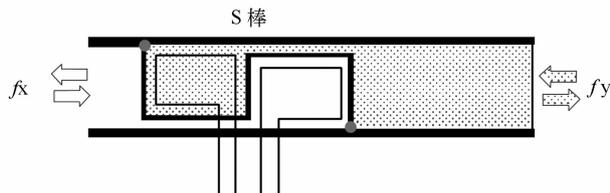


图 3-8 一匝环线耦合方式

直接注入方式是轨道电路的发送器和接收器经调谐单元直接由引接线焊接到钢轨上。

#### 4. 棒

音频轨道电路一般由电气绝缘节分隔,它由钢轨间的棒(Bond)和调谐单元组成,调谐单元位于轨旁连接箱内,其工作原理见本章第五节至第十节。

棒有 S 棒、O 棒、I 棒等种。

一般情况下(主要是正线区间的轨道电路)相邻的轨道电路通过 S 棒隔离,如图 3-9(a)所示。它是镜像对称的,以 S 棒的中心线作为轨道区段的物理划分。S 棒长 7.8 m 左右,模糊区段长小于或等于 3.9 m(指车压在 S 棒的 1/4 至 3/4 范围内,两边的区段都显示“轨道占用”)。S 棒还起平衡两个走行轨牵引电流的作用。

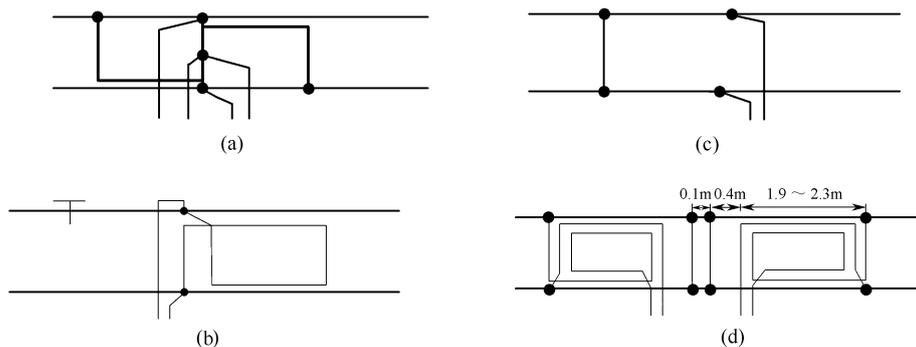


图 3-9 “棒”

在两个轨道电路区段之间需清晰分离或由于缺少空间(道岔处)无法安装 S 棒时,使用机械绝缘节。此时电气绝缘节由终端短路棒(O 棒)和一个机械绝缘节共同组成,来划分两个轨道电路,它主要应用在双轨条牵引回流区段。终端棒长约 3.5 m,距机械

绝缘节 0.3~0.6 m。如图 3-9(b) 所示。

短路棒(I 棒)用于一端为轨道电路区段,另一端为非轨道电路区段的情况。棒长约 4.2 m。如图 3-9(c) 所示。

调整短路棒是短路棒的改进型,主要应用于车站站台区段两端,如图 3-9(d) 所示。

## 第二节 50 Hz 相敏轨道电路

50 Hz 相敏轨道电路用于城市轨道交通的车辆段内(不需要发送 ATP 信息)。50 Hz 相敏轨道电路有继电器式和微电子式两种,继电器式可不注明,即 50 Hz 相敏轨道电路一般专指继电器式。

### 一、50 Hz 相敏轨道电路的组成

50 Hz 相敏轨道电路的组成如图 3-10 所示。它由送电端、受电端、钢轨绝缘、钢轨引接线、钢轨接续线、回流线以及钢轨组成。

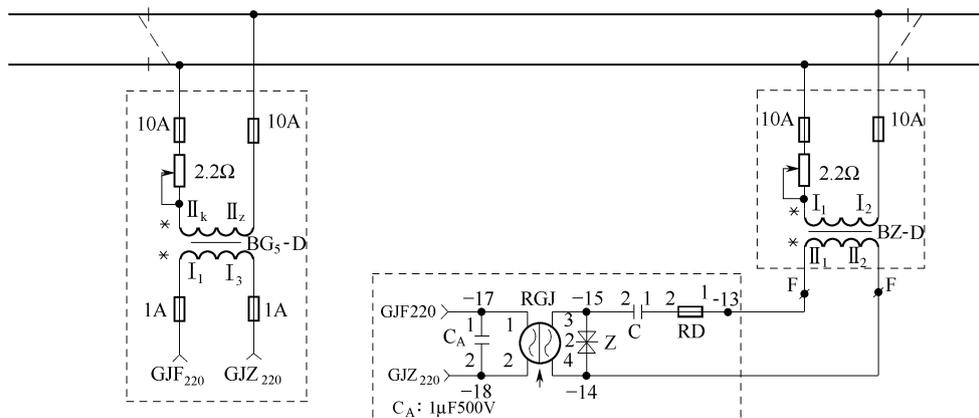


图 3-10 50 Hz 相敏轨道电路

送电端包括 BG<sub>5</sub>-D 型轨道变压器、R-2.2/220 型变阻器以及断路器(或熔断器),安装在室外的变压器箱内。轨道电源从室内通过电缆送至送电端。

受电端包括 BZ-D 型中继变压器、R-2.2/220 型变阻器、断路器(或熔断器)、轨道继电器、电容器、防雷元件等。其中中继变压器、变阻器及 10A 断路器(或熔断器)安装在室外的变压器箱或电缆盒内,其他安装在室内的组合架上。

送、受电端视相邻轨道电路的不同组合,有双送、一送一受、双受以及单送、单受等不同情况,除双受、单受可采用电缆盒外,其他情况必须采用变压器箱。

变压器箱或电缆盒用钢轨引接线接向钢轨。

钢轨接续线用来连接相邻钢轨,以减小钢轨接头处的接触电阻。

钢轨绝缘设于轨道电路分界处,用以隔离相邻的轨道电路。

回流线连接相邻的不同侧钢轨,为牵引回流提供越过钢轨绝缘节的通路。

## 二、交流二元继电器

交流二元二位继电器,二元指有两个互相独立又互相作用的交变电磁系统,有吸起和落下两种状态。根据频率不同,交流二元继电器分为 25 Hz 和 50 Hz 两种。

JRJC-45/300 型和 JRJC-40/265 型为 50 Hz 二元继电器,主要用于城市轨道交通,在直流电气化和非电气化区段的 50 Hz 相敏轨道电路中,作为轨道继电器使用。它们具有可靠的频率选择性和相位选择性,对于轨端绝缘破损和不平衡造成的干扰能可靠地防护。另外还有动作灵活的翼板转动系统、紧固的整体结构,不仅经久耐用,而且便于维修。

50 Hz 交流二元继电器的基本情况如表 3-1 所列。

表 3-1 交流二元继电器的基本情况

型 号		接点组数	线圈电阻 ( $\Omega$ )	电 气 特 性				轨道电流滞后局部 电压相位角
				额 定 值		工作电压 不大于 (V)	释放电压 不小于 (V)	
				电压(V)	电流(A)			
JRJC-45/300	局部	2Q 2H	300	220	0.08			$162^{\circ} \pm 5^{\circ}$
	轨道		45			14	7	
JRJC-40/265	局部	4 组转换	265	220	0.11			$162^{\circ} \pm 5^{\circ}$
	轨道		40			14	7.0	

### 1. 交流二元继电器的结构

JRJC-45/300 型和 JRJC-40/265 型交流二元继电器的结构相同,仅参数不同,接点组数不同。JRJC-45/400 型交流二元继电器结构如图 3-11 所示。由电磁系统、翼板、接点等主要部件组成。

电磁系统包括局部电磁系统和轨道电磁系统。局部电磁系统由局部铁心和局部线圈组成。轨道电磁系统由轨道铁心和轨道线圈组成。铁心均由硅钢片叠成。线圈是用高强度漆包线绕在线圈骨架上而构成的。

翼板是将电磁系统的能量转换为机械能的关键部件。翼板由 1.2 mm 厚的铝板冲裁而成,安装在主轴上。翼片尾端安装有重锤螺母,对翼板起平衡作用。在翼板一侧的主轴上还安装一块 2.0 mm 厚由钢板制成的止挡片,与轴成一整体,使翼板转至上、下极端位置时受到限制。

动接点固定在副轴上,主轴通过连杆带动副轴上的动杆单元使动接点动作,接点组

编号如图 3-12 所示。

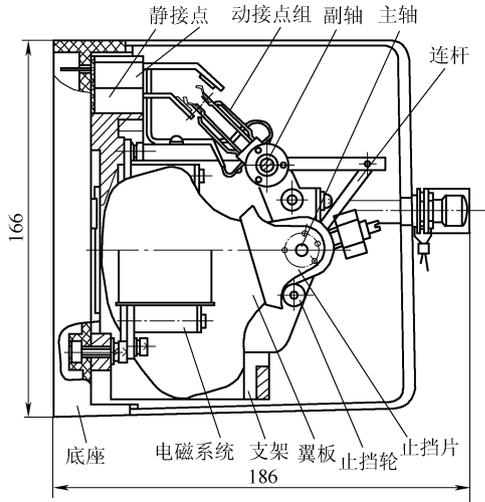


图 3-11 JRJC-45/300 型继电器结构(单位:mm)

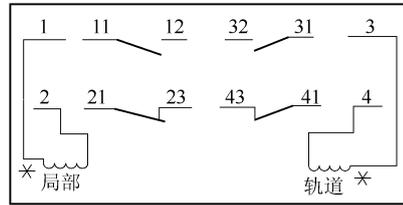


图 3-12 JRJC-45/300 型继电器接点组编号

JRJC-45/300 型继电器插座外形尺寸为 126 mm×165 mm, 要占两个安全型继电器的位置。

## 2. 交流二元继电器的工作原理

### (1) 二元二位继电器的相位选择性

二元二位继电器的磁系统如图 3-13 所示。当局部线圈和轨道线圈中分别通以一定相位差的交流电流  $i_j$  和  $i_G$  时, 形成交变磁通  $\phi_j$  和  $\phi_G$ , 磁通穿过翼板时就形成了磁极 J 和 G, 在翼板中分别产生感应电流, 可看作是许多环绕磁通的电流环所组成, 故称为涡流, 以  $i_{wJ}$  和  $i_{wG}$  表示。涡流  $i_{wG}$  和  $i_{wJ}$  分别与磁通  $\phi_j$  和  $\phi_G$  作用, 产生电磁力  $F_1$  和  $F_2$ , 即轨道线圈的磁通  $\phi_G$  在翼板中感应的电流  $i_{wG}$ , 在局部线圈磁通  $\phi_j$  作用下产生力  $F_1$ ; 局部线圈的磁通  $\phi_j$  在翼板中感应的电流  $i_{wJ}$ , 在轨道线圈磁通  $\phi_G$  作用下产生力  $F_2$ 。  $F_1$  和  $F_2$  的方向可由左手法则决定, 如图 3-14 所示。

若使  $F_1$  和  $F_2$  同方向, 必须  $\phi_j$  和  $\phi_G$  符号相反,  $i_{wG}$  和  $i_{wJ}$  方向相同, 或者  $i_{wG}$  和  $i_{wJ}$  方向相反, 而  $\phi_j$  和  $\phi_G$  符号相同。只要在  $\phi_j$  和  $\phi_G$  相差  $90^\circ$  的条件下,  $F_1$  和  $F_2$  是同方向的, 即任何瞬间翼板总是受一个方向的转动力的作用。当  $\phi_j$  超前  $\phi_G$   $90^\circ$  时, 在翼板上得到正方向转矩, 接通前接点; 而当  $\phi_j$  滞后  $\phi_G$   $90^\circ$  时, 则在翼板上得到反方向转矩, 使后接点更加闭合。如果仅在任一线圈通电, 或两线圈接入同一电源, 翼板均不能产生转矩而动作, 这就是二元继电器所具有的可靠的相位选择性, 由此可解决轨端绝缘破损的防护问题。

### (2) 二元继电器的频率选择性

如有其他频率的电压加在轨道线圈上, 这时所产生的转矩力在一个周期内平均值

为零。即轨道线圈混入干扰电流与固定的 50 Hz 局部电流相作用,翼板不产生转矩,不能使继电器误动。同时,由于翼板的惯性较大,使继电器缓动,跟不上转矩力变化的速率,使继电器保持原来的位置而不致误动。

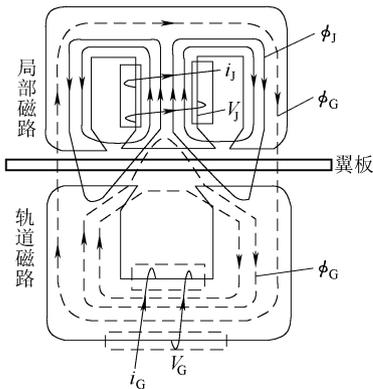


图 3-13 JRJC 型继电器的磁系统

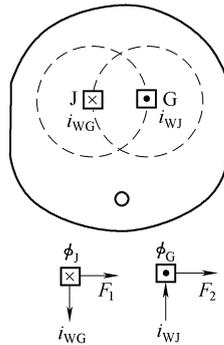


图 3-14 涡流在磁通作用下产生力

由于二元二位继电器具有频率选择性,不仅可以防止牵引电流的干扰,而且对于其他频率也有同样的作用。可以证明,当轨道线圈电流频率为局部电流频率  $n$  倍时,不论电压有多高,翼板均不能产生转矩使继电器误动。

### 三、50 Hz 继电器式相敏轨道电路的工作原理

50 Hz 相敏轨道电路为有绝缘双轨条轨道电路,牵引回流为单轨条流通。

电源屏分别供出 50 Hz 轨道电源和局部电源。在图 3-10 中,送电端轨道电源 GJZ<sub>220</sub>、GJF<sub>220</sub> 经轨道变压器降压后送至钢轨。受电端由钢轨来的电压经中继变压器升压后送至轨道继电器 RGJ 的轨道线圈 3-4。

轨道继电器 RGJ 的局部线圈 2-1 接局部电源 GJZ<sub>220</sub>、GJF<sub>220</sub>。

当轨道线圈和局部线圈电源满足规定的相位和频率要求时, RGJ 吸起,轨道电路处于调整状态,表示轨道电路空闲。列车占用时,轨道电源被分路, RGJ 落下。若频率、相位不符合要求时, RGJ 也落下。

由于 50 Hz 相敏轨道电路就具有相位鉴别能力,即相敏特性,故其抗干扰性能较高。

### 四、50 Hz 相敏轨道电路的部件

#### 1. 钢轨绝缘

钢轨绝缘安装在轨道电路分界处,以保证相邻轨道电路之间的可靠的电气绝缘,使它们互不影响。

除了钢轨绝缘外,轨道电路区段的轨距保持杆、道岔连接杆、道岔连接垫板、尖端杆、转辙机的安装装置以及其他有导电性能的连接两钢轨的配件,均应装设绝缘并应保持绝缘良好。否则,任一连接杆件绝缘不良,都会破坏轨道电路的正常工作。

钢轨绝缘的结构,应能保证在钢轨爬行的情况下和在列车运行中产生压力、冲击力及在气温变化时产生膨胀力的作用下,不致被损坏;钢轨绝缘应采用机械强度高的、具有可靠电气绝缘性能的绝缘材料,以保证绝缘性能和使用寿命。

制作钢轨绝缘的材料很多,主要有钢纸板、玻璃布板、尼龙塑料板等。

钢轨绝缘由轨端绝缘、槽形绝缘、绝缘管、绝缘垫圈等组成,槽形绝缘按分段形式,可分为一段(整体)、二段、三段三种,按轨型分为 P43、P50 和 P60 三种。

## 2. 轨道电路连接线

轨道电路连接线包括引接线、钢轨接续线和道岔跳线。

YG 型钢轨引接线(简称引接线)是连接轨道电路送受端变压器箱或电缆盒与钢轨的导线。一般用涂有防腐油的多股钢丝绳(低碳素钢镀锌绞线)制成。它的一端焊在塞钉上,固定在钢轨上的塞钉孔内;另一端焊接在螺栓上,固定在变压器箱或电缆盒上。

钢轨接续线用于轨道电路接缝处的连接,以减小接触电阻。钢轨接续线分塞钉式和焊接式两种。JS 型塞钉式钢轨接续线由两根直径 5 mm 的镀锌钢线与两端的圆锥形塞钉焊接而成,铁线两端绕成螺旋形。钢轨接续线一般装在钢轨外侧,并与钢轨连接夹板(鱼尾板)密贴,高度不得超过轨头底部。塞钉式钢轨接续线的缺点是它与钢轨间的接触电阻较大且不稳定,为了保证轨道电路的稳定工作,推出焊接式钢轨接续线。焊接式钢轨接续线采用多股镀锌钢绞线,截面积不小于  $25 \text{ mm}^2$ ,长 200 mm,接头间的距离为 110 mm,用铝热剂法或电弧焊钎焊、冷挤压焊接、爆压速焊技术等,将其焊在钢轨两端。为保证钢轨接续线的可靠性,现场使用中多采用双塞钉式钢轨接续线或一塞一焊接续线。

电气化区段的钢轨接续线,除应保证通过一定电流外,还要尽量减小钢轨接头的接触电阻,减小牵引电流对轨道电路的干扰及牵引电能的损耗,以及保证设备和人身安全。因此,要求钢轨接续线有一定的截面积(常采用多根),且必须双套。

## 3. 轨道变压器

轨道变压器用于轨道电路供电,为 BG<sub>5</sub>-D 型。I 次输入电压 220 V,频率 50 Hz,功率 5 W,II 次最大输出电压 12 V,允许电流 10 A。通过连接不同端子,可获得不同电压。

## 4. 中继变压器

中继变压器用于轨道电路受电端,I次输入电压 1~2 V,允许电流 10 A,频率 50 Hz,功率 5 W,匝比 1:70,同名端为 I<sub>1</sub>、II<sub>1</sub>。

## 5. 电容器

电容器 C 主要用于隔直流,不使牵引电流进入轨道继电器轨道线圈,并且对 50 Hz

信号电流的无功分量进行补偿,起着减少轨道电路传输衰耗和相移的作用。

电容器  $C_A$  用来起补偿作用,以提高轨道继电器局部线圈的功率因数,减少输入电流。

#### 6. 防雷元件

防雷元件  $Z$  是对接的硒片,称浪涌抑制器,用来防雷。

#### 7. 变阻器

R-2.2/220 型变阻器用于限流,其阻值  $2.2 \Omega$ ,功率  $220 \text{ W}$ ,容许电流  $10 \text{ A}$ ,容许温升  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 五、道岔区段轨道电路

道岔区段轨道电路与无岔区段轨道电路不同之处在于钢轨线路被分开产生分支,为此需增加道岔绝缘和道岔跳线,还有一送多受的问题。

#### 1. 道岔绝缘和道岔跳线

道岔区段除各种杆件、转辙机安装装置等要加装绝缘外,还要加装切割绝缘,称为道岔绝缘,以防止辙叉将轨道电路短路。道岔绝缘视需要,可设在道岔直股钢轨上,也可设在道岔侧股钢轨上。

为了保证信号电流的畅通,道岔区段除轨端接续线外,还需装设道岔跳线。道岔跳线由塞钉和镀锌低碳钢绞线组成,两端焊在圆锥形塞钉上。为了减小钢轨阻抗,道岔跳线和钢轨引接线应采用截面积不小于  $42 \text{ mm}^2$  的多股镀锌钢绞线。

道岔绝缘和道岔跳线的配置,单开道岔的如图 3-15 所示,交叉渡线的如图 3-16 所示,复式交分道岔的如图 3-17 所示。图中 I、II、III、IV 为道岔跳线的型号。

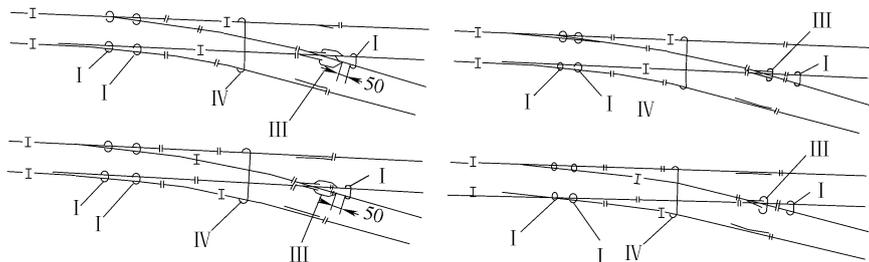


图 3-15 单开道岔的跳线、绝缘配置

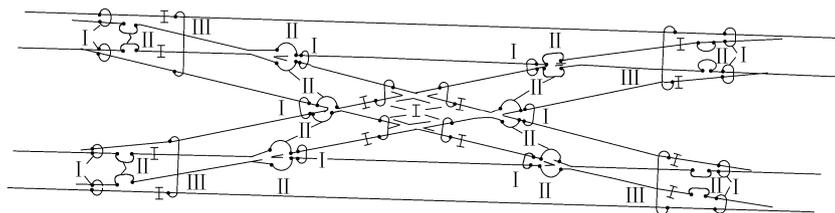


图 3-16 交叉渡线的跳线、绝缘配置

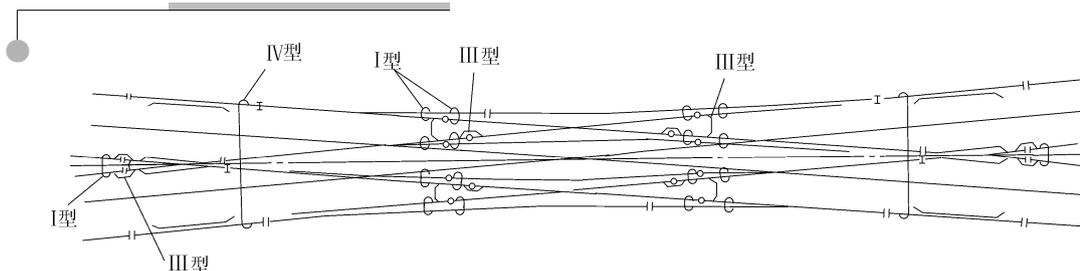


图 3-17 复式交分道岔的跳线、绝缘配置

为了确保交叉渡线上轨道电路和机车信号设备能正常工作,当交叉渡线上两根轨道都通过牵引电流时,该交叉渡线上应增加绝缘节 a、b,如图 3-18 所示。由于交叉渡线道岔型号及铺设处所线路间距的不同,在辙叉处增设绝缘节的方法也不尽相同。

### 2. 道岔区段轨道电路的连接方式

道岔区段轨道电路的连接方式有串联式和并联式两种。串联式道岔区段轨道电路可以检查所有跳线和钢轨的完整,因此比较安全。但结构较复杂,增加了一组道岔绝缘、两根用电缆构成的连接线,或用长跳线,给施工和维修带来不便,所以它在我国未被广泛采用。

并联式道岔区段轨道电路如图 3-19 所示。这种电路较简单。直股或弯股有车占用时,轨道继电器因分路均能落下。

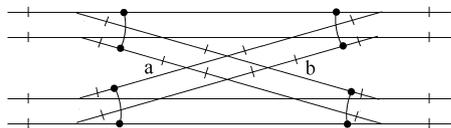


图 3-18 交叉渡线上增设绝缘节

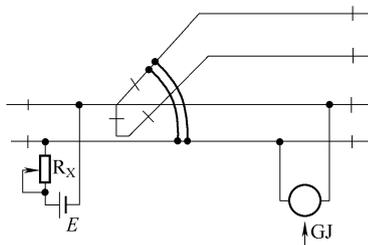


图 3-19 并联式道岔区段轨道电路

列车进入弯股时,因弯股未设受电设备,轨道继电器不会落下,这是非常危险的。解决的方法是用双跳线来防护,即增加第二跳线,以减少跳线折断的概率。(为提高可靠性,现场使用中也将所有跳线改为双跳线)。另外,当弯股钢轨折断或弯股钢轨表面不洁或分支线路过长,列车占用时,轨道继电器也不落下,所以这种轨道电路不符合故障—安全的要求。鉴于这一严重缺陷,提出了一送多受轨道电路,使各分支线路都得到检查。

### 3. 一送多受轨道电路

有些道岔区段采用一送多受轨道电路,包括一送两受或一送三受轨道电路。

一送多受轨道电路设有一个送电端,在每个分支轨道电路的另一端各设一个受电端。各分支受电端轨道继电器的前接点,串联在主轨道继电器电路中。当任一分支分路时,分支轨道继电器落下,主轨道继电器也落下,将主轨道继电器接点用在联锁电路

中。图 3-20 所示为一送两受轨道电路。有两个接收端，一个接收端继电器是 RGJ，另一个是 RGJ<sub>1</sub>。一送三受则有三个接收端，轨道继电器分别为 RGJ、RGJ<sub>1</sub>、RGJ<sub>2</sub>。一送多受轨道电路，当分支轨道电路有车占用或跳线折断时，就可监督轨道电路的状态，以实现对整个轨道电路空闲与否的检查。

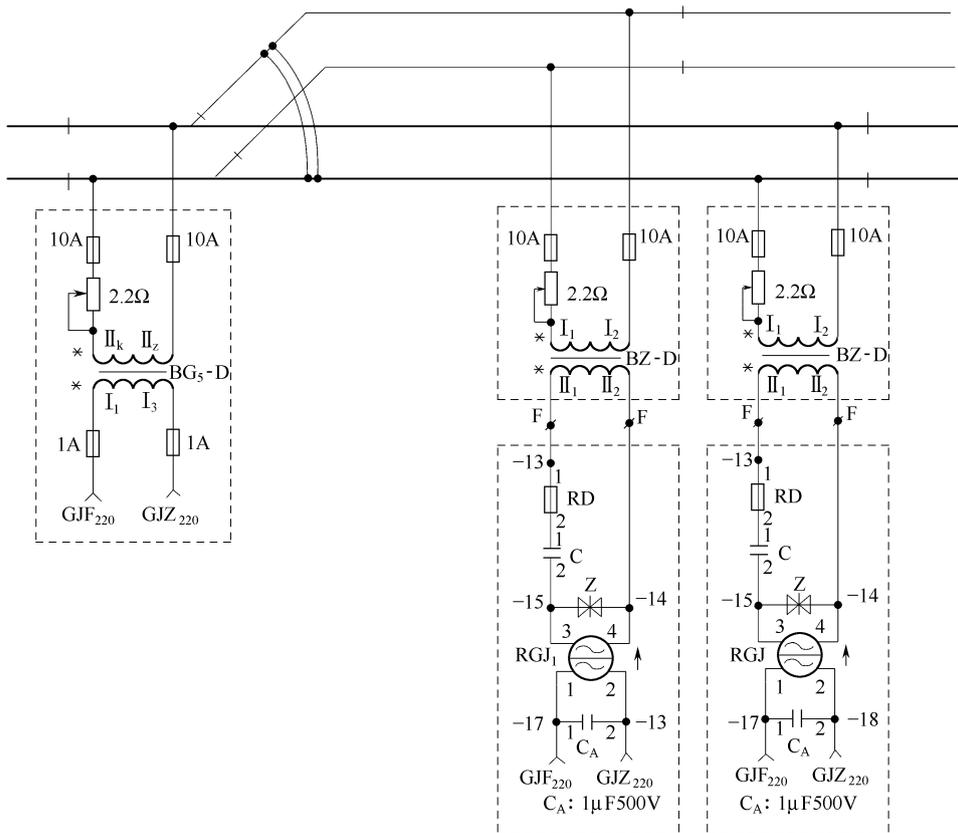


图 3-20 一送两受轨道电路

在受电端均串接可调电阻器，是为了提高轨道电路的分路灵敏度，以及使同一轨道电路内各轨道继电器的电压基本平衡，同时满足轨道电路的调整、分路和过载三种状态。

采用一送多受轨道电路时，应注意以下各点：

- ① 与停车线相衔接(无其他道岔区段隔开)的道岔轨道电路的分支末端，应设受电端。
- ② 所有列车进路上的道岔区段，其分支长度超过 65 m 时(自并联起点道岔的叉心算起)，在该分支末端应设受电端。
- ③ 个别分支长度小于 65 m 的分支线末端，当分路不良而危及行车安全时，亦应增

● 设受电端。

④一送多受轨道电路最多不应超过三个受电端。一送四受轨道电路,因维修调整困难,不再使用。遇有此种情况应分成两个轨道电路。

⑤一送多受轨道电路任一地点有车占用时,必须保证有一个受电端被分路。

### 六、ZL50 轨道电路组合

ZL50 轨道电路组合安装在继电器室组合架上,用于安装 JRJC 型继电器。ZL50 轨道电路组合布置如图 3-21 所示。组合上装有 JRJC 继电器插座 4 块,可插 4 台 JRJC 型继电器。另有元件安装板 1 块,用于安装防雷元件和补偿电容各 4 个;熔断器板 2 块,3×18 接线端子板 2 块。内部配线均单独引至侧面端子板。ZL50 轨道电路组合外形尺寸 880 mm×180 mm,安装尺寸 68 mm×850 mm,4 孔  $\phi 10$ 。

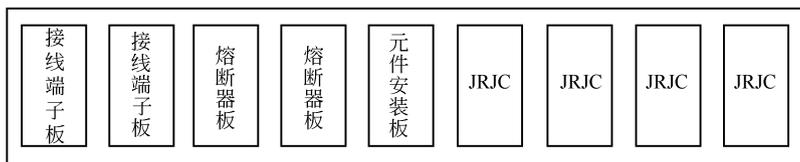


图 3-21 ZL50 轨道电路组合

### 七、50 Hz(继电式)相敏轨道电路轨道继电器的应用

在 6502 电气集中中,由 50 Hz 相敏轨道电路的轨道继电器 RDGJ 控制各组合中的 DGJ,如图 3-22 所示,一送多受轨道电路的  $DGJ_1$ 、 $DGJ_2$  不再采用。在计算机联锁中直接采集 RDGJ 的接点状态。

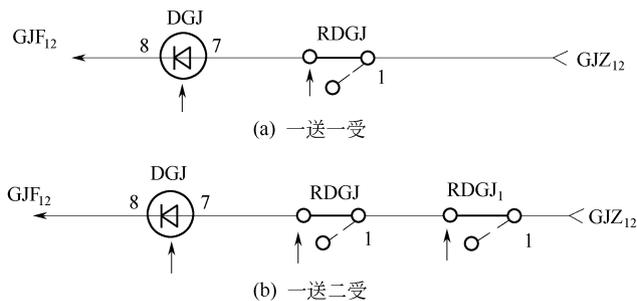


图 3-22 50 Hz 相敏轨道电路轨道继电器电路

### 八、轨道电路的极性交叉

#### 1. 极性交叉

有钢轨绝缘的轨道电路,为了实现对钢轨绝缘破损的防护,要使绝缘节两侧的轨面

电压具有不同的极性或相反的相位,这就是轨道电路的极性交叉,如图 3-23 所示。

图中,粗线表示接电源正极,细线表示接电源负极。

### 2. 极性交叉的作用

极性交叉可防止在相邻轨道电路间的绝缘节破损时引起轨道继电器的错误动作。如图 3-24 所示。1G 和 3G 是两个相邻的轨道电路,它们没有实现极性交叉。当 1G 有车占用而绝缘破损的情况下,流经轨道继电器 1GJ 的电流等于两个轨道电源所供的电流之和,1GJ 有可能保持吸起,这危及行车安全。若按极性交叉来配置,绝缘破损时,轨道继电器中的电流就是两者之差,只要调整得当,1GJ 和 3GJ 都会落下,从而满足了故障—安全要求。

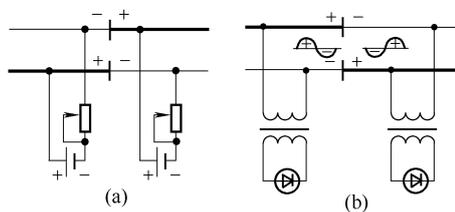


图 3-23 轨道电路的极性交叉

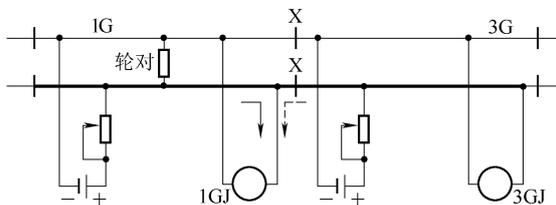


图 3-24 极性交叉的作用分析

对于交流供电来说,只要两相邻轨道电路的电流相位相反,它们的瞬间极性也相反,就得到极性交叉的效果。而对于频率电码轨道电路来说,因相邻区段的编码不同,无法实现极性交叉,必须采用频率防护的方法。

### 3. 极性交叉的配置

在无分支线路上,极性交叉配置比较容易,只要依次变换轨道电路供电电源的极性即可。而在有分支线路上,即有道岔处,极性交叉的配置就要复杂一些。因为道岔绝缘节可以设在道岔直股,也可设在弯股,不同的设置,就将影响整个车站极性交叉的配置。

## 第三节 50 Hz 微电子相敏轨道电路

50 Hz 微电子相敏轨道电路是专门为城市轨道交通研制的,用于车辆段内。

### 一、50 Hz 微电子相敏轨道电路技术参数

1. 能适应的最大直流牵引电流为 4 000 A;
2. 分路电阻为 0.15  $\Omega$ ,分路残压不大于 10 V;
3. 送、受电端防护电阻的阻值不小于 1.6  $\Omega$ ;

4. 极限长度 300 m;

5. 在钢轨阻抗为  $0.8 \angle 60^\circ \Omega/\text{km}$ , 道碴电阻为  $1.5 \Omega \cdot \text{km} \sim \infty$ , 50 Hz 电源电压范围  $220 \text{ V} \pm 6.6 \text{ V}$  时, 在轨道电路极限长度内, 轨道电路能满足调整和分路检查的要求, 并实现一次调整;

6. 微电子相敏轨道电路接收器交流工作电压为  $13.5 \sim 18 \text{ V}$ , 工作值  $12.5 \text{ V} \pm 0.5 \text{ V}$ , 理想相位角  $0^\circ$ , 失调角不大于  $30^\circ$ , 返还系数大于  $85\%$ ;

7. 电源采用  $\text{DC } 24 \text{ V} \pm 3.6 \text{ V}$ , 其中交流分量不大于  $1 \text{ V}$ 。

8. 送电端电缆允许压降不大于  $60 \text{ V}$ 。

## 二、50 Hz 微电子相敏轨道电路原理

50 Hz 继电器式相敏轨道电路, 接收设备为交流二元继电器, 存在较多问题:

(1) 返还系数较低, 约  $50\%$ , 不利于提高轨道电路的传输性能。

(2) 由于其机械结构的原因, 易发生接点卡阻, 列车进入该轨道电路区段, 轨道继电器不能可靠落下, 曾造成多起重行车事故。

(3) 抗干扰能力差。当列车升弓、降弓、加速或减速时, 在轨道电路中产生较大的脉冲干扰, 可能造成继电器错误动作, 直接危及行车安全。

50 Hz 微电子相敏轨道电路接收器保留了原继电器式相敏轨道电路的优点, 克服其缺点, 成为具有高可靠、高抗干扰能力的一种新型相敏轨道电路。

50 Hz 微电子相敏轨道电路如图 3-25 所示, 局部电源和轨道电源分别由电源屏提

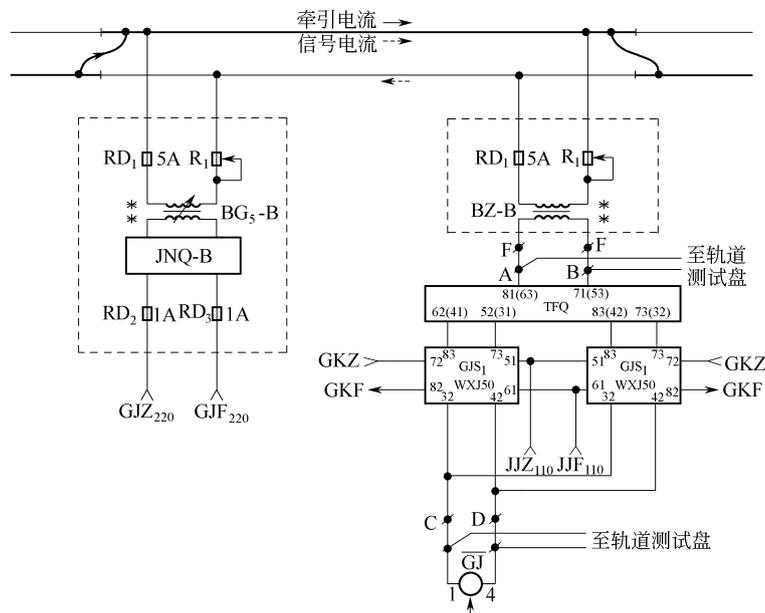


图 3-25 50 Hz 微电子相敏轨道电路

供,并且局部电源超前轨道电源  $90^\circ$ 。送电端轨道电源  $GJZ_{220}$ 、 $GJF_{220}$  经节能器、轨道变压器降压后送至钢轨。受电端经中继变压器升压后送至调相防雷器(TFQ),再送至两台  $WXJ50$  型微电子相敏接收器。两台接收器双机并用,只要有一台接收器有输出,轨道继电器  $GJ$  即吸起,以提高轨道电路的可靠性。当  $50\text{ Hz}$  微电子相敏轨道电路接收器接收到  $50\text{ Hz}$  轨道信号,且局部电压超前轨道电压一定范围的角度时,微电子接收器使轨道继电器吸起。在  $\theta=90^\circ$  时,处于最佳接收状态。当收到的信号不能完全满足以上条件时,轨道继电器落下。

其中,轨道电源、局部电源、调相防雷器、微电子相敏接收器、轨道继电器设在室内。节能器、轨道变压器、送电端防护电阻及熔断器设在室外送电端变压器箱内。中继变压器、受电端防护电阻及熔断器设在室外受电端变压器箱内。室内、外设备用电缆相连。

轨道变压器为  $BG_5-B$  型,中继变压器为  $BZ-B$  型, $JNQ-B$  为节能器。

TFQ 调相防雷器内设电容器和防雷元件,用于调整轨道电路的相位和防雷。技术参数为电压  $15\text{ V}$ ,  $50\text{ Hz}$ , 电流不大于  $10\text{ mA}$ 。

$R_1$ 、 $R_2$  为送、受电端防护电阻, $R_1$  同时是限流电阻。

在一送多受时,每个分支用一个接收器和轨道继电器,在主接收器的轨道继电器电路中串接其他分支轨道继电器的前接点。

### 三、 $50\text{ Hz}$ 微电子相敏轨道电路接收器

微电子相敏轨道电路接收器的原理框图如图 3-26 所示。其中  $X_J(t)$  是局部信号, $X_G(t)$  是轨道信号。

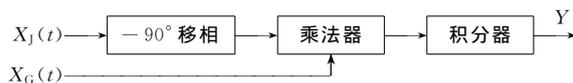


图 3-26 微电子相敏轨道电路接收器原理框图

当局部信号和轨道电路是同频率,相位差为  $\theta$  时,设  $X_J(t) = A\sin\omega t$

$$X_G(t) = B\sin(\omega t - \theta)$$

$$\begin{aligned} Y &= \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} A\sin(\omega t - 90^\circ) B\sin(\omega t - \theta) dt \\ &= AB \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \cos\omega t \sin(\theta - \omega t) dt \end{aligned}$$

其中  $T=2\pi/\omega$

根据正弦信号与余弦信号在区间  $[-T/2, T/2]$  内具有正交特性,可知

$$\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \cos n\omega t \cos m\omega t dt = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \sin n\omega t \sin m\omega t dt$$

$$\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \sin n\omega t \cos m\omega t dt = 0$$

当  $\theta$  为  $+90^\circ$  时,  $Y$  为正值  $AB\left(\frac{T}{2}\right)$ , 微电子接收器使执行继电器吸起。而当  $\theta$  为  $-90^\circ$  时,  $Y$  为  $-AB\left(\frac{T}{2}\right)$ ; 当  $\theta$  为  $0^\circ$  或  $180^\circ$  时,  $Y$  为 0, 均为非正值, 使执行继电器落下。这样, 该接收器就具有可靠的相位选择性。

由于微电子接收器具有上述频率选择性, 不仅可以防止牵引电流的干扰, 而且对于高次谐波干扰也有同样的作用。当轨道信号频率为局部信号频率的  $n$  倍时:

$$Y = AB \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \sin(\omega t - 90^\circ) \sin(n\omega t - \theta) dt = 0$$

微电子相敏轨道电路接收器电路如图 3-27 所示, 由输入部分、计算机部分、输出部分和电源等组成。

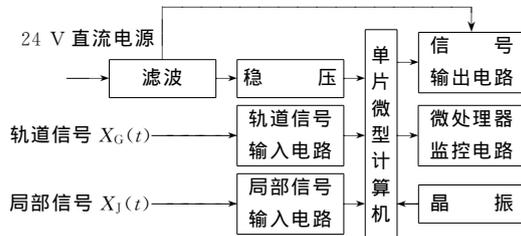


图 3-27 微电子相敏轨道电路接收器

### (1) 输入部分

输入部分由局部信号输入电路和轨道信号输入电路组成。局部信号输入电路是将局部信号经光电耦合输入给单片微机。轨道信号输入电路包括隔离变压器、轨道输入相位辨别电路和接口电路。隔离变压器对输入信号起隔离、输入阻抗匹配以及防雷电冲击保护微电子设备的作用。轨道输入信号相位辨别电路和接口电路将轨道输入的模拟信号转换为数字信号, 然后送入单片机对信号进行数字处理。

### (2) 单片机部分

由单片微机、微处理器监控电路、晶体振荡电路组成, 完成接收器的数字处理功能。单片机选用 MCS-51 系列芯片。微处理器监控电路的功能是有效检测单片机在不可预测的干扰作用下产生的程序执行紊乱和自动恢复, 以提高单片机系统的可靠性和抗干扰能力。微处理器监控电路运行后, 若单片微机在规定时间内访问它, 单片机正常工作; 若规定时间内未能访问它, 则使单片机自动复位, 使系统重新初始化。

### (3) 输出部分

输出部分由驱动电路、功放电路、隔离变压器等组成。单片机部分对输入信号处理后, 输出一高频信号至输出部分, 经驱动电路送到功放电路中, 通过放大输出给隔离变压器, 再进行整流、滤波, 控制轨道执行继电器工作。

#### (4) 电源

由滤波电路和两个三端稳压器组成。电源屏提供的 24 V 直流电,经滤波、稳压,输出 9 V 供轨道输入电路,5 V 供单片机电路,24 V 供信号输出电路。

系统软件主要由主程序和 4 个中断服务子程序组成,完成系统初始化、信号采集与处理、信号延时和继电器控制等功能。软件采用结构化设计方法,用汇编语言编写,各功能程序实现模块化。

#### 四、50 Hz 微电子相敏轨道电路组合

一个 50 Hz 微电子相敏轨道电路组合共包括 8 台 WXJ50 微电子相敏接收器、2 个 TFQ 调相防雷器、1 个 SBJQ 双套报警器。轨道电路组合内器件排列如图 3-28 所示。

WXJ50	WXJ50	TFQ	WXJ50	WXJ50	WXJ50	WXJ50	TFQ	WXJ50	WXJ50	SBJQ
-------	-------	-----	-------	-------	-------	-------	-----	-------	-------	------

图 3-28 50 Hz 微电子相敏轨道电路组合

一个 50 Hz 微电子相敏轨道电路组合可供 4 个轨道电路接收端用,其中 WXJ50 微电子相敏接收器为双机并用。

一个调相防雷器可供两个轨道电路接收端用。

一个双套报警器则对 8 台接收器的工作状态进行监测,并提供报警条件。有一个报警器有报警条件,就使报警继电器吸起。

接收器上有红灯和绿灯。红灯点亮表示电源正常。绿灯点亮表示轨道电路在调整状态,无车占用。绿灯灭灯表示轨道电路在分路状态,有车占用。

报警器上有红灯和黄灯。红灯点亮表示工作正常。黄灯平时不亮,闪光时对应接收器故障。

#### 五、50 Hz 微电子相敏轨道电路的调整和测试

1. 送、受电端防护电阻的阻值应按规定加以固定,不应作为调整轨道电路的手段。在调整前,应首先检查送、受电端防护电阻的阻值是否符合规定,然后再调整轨道变压器的 II 次电压,使之满足要求。

2. 调整轨道电路前,对标有同名端的设备,应按设计图纸中的要求,检查其间是否均已按同名端相连,和钢轨的连接是否符合相位要求。在调整轨道变压器的电压时,应注意不要接错同名端,如果个别器材的同名端不符合规定时,应予以更换,避免影响轨道电路的正常工作。

3. 用电压表对相敏接收器的轨道侧和局部侧进行测量,符合要求时轨道继电器应吸起。若不吸起,再用相位表对相敏接收器的轨道侧和局部侧进行测量,看相位是否正确。

4. 在施工及维修中对轨道电路进行调整,可按参考调整表(见表 3-2),即按轨道电

路的类型(长度和一送多受),通过调整轨道变压器的端子,获得相应的送电端电压,使轨道继电器的端电压符合要求。

表 3-2 50 Hz 微电子相敏轨道电路参考调整表

类 型	长度 (km)	送电端调整电压 (V)	轨道继电器端电压(V)	
			$U_{Jmax}$	$U_{Jmin}$
一送一受	0.05	6.3	15.8	12.5
一送一受	0.10	6.7	16.8	12.5
一送一受	0.20	7.5	18.7	12.5
一送一受	0.30	8.4	20.7	12.5
一送一受带三个无受电分支	$\leq 0.30$	8.4	20.9	12.5
一送两受带一无受电分支	$\leq 0.20$	10.7	17.4	12.5

### 第四节 PF 型轨道电路

PF 型轨道电路是上海地铁二号线引进美国 US&S 公司的轨道电路,采用 50 Hz 电源频率,用于渡线和道岔处的列车检测。PF 型轨道电路如图 3-29 所示。

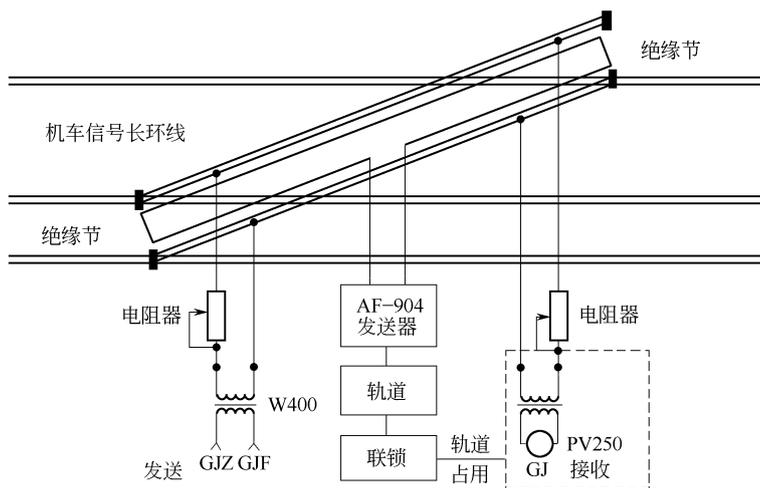


图 3-29 PF 型轨道电路

在送电端由电源变压器 (W400 型) 将 110 V、50 Hz 的交流电压降为 8~17 V。该变压器次级有抽头,可根据需要调节轨道侧电压。送电端的电阻器为 5 Ω,用来限流(当列车在电源端分路时)。

受电端有一个电阻、一个受电变压器(匝比 1 : 1)和一个 PV250 型扇形继电器(即交流二元继电器)。继电器的轨道线圈从轨道侧接收能量,局部线圈的 110 V、50 Hz 电源由室内供给,当两者的幅度和相位合适时,继电器动作。

轨道电路区段空闲时, PV250 继电器闭合其前接点。当列车进入轨道电路区段, 由于车轮分路, 轨道中电流的幅度和相位发生改变, PV250 继电器断开其前接点。

对于这种轨道电路, 根据轨道电路长度, 连接电源端变压器的次级抽头, 以获得合适的电压。

在 PF 型轨道电路区段, ATP 信息是由 AF-904 发送器通过轨旁环线发送的。

PF 型轨道电路的有效长度 30~300 m, 分路灵敏度在馈入端、中继端、中间点和受污点等处均为  $0.5 \Omega$ 。

## 第五节 GRS 公司的音频无绝缘轨道电路

上海地铁一号线采用原美国 GRS 公司的音频无绝缘轨道电路, 调幅方式(ASK), 载频为 2 625 Hz、2 925 Hz、3 375 Hz、4 275 Hz, 两种调制频率(码率)为 2 Hz 和 3 Hz, 可组成 8 种不同的组合。相邻轨道电路采用不同频率不同码率的组合, 可防止干扰, 提高安全性。轨道电路最大长度 400 m, 分路灵敏度  $0.15 \Omega$ 。该轨道电路作为列车检测设备, 并利用双轨条传输 ATP 速度命令和门控命令, 还可用作牵引电流回路。

ATP 速度命令采用低频脉冲调幅方式(ASK), 载频为 2 250 Hz, 有 8 种不同的调制频率, 6 种用于 ATP 速度命令, 2 种用于门控命令(开左门 4.5 Hz, 开右门 5.54 Hz), 频率范围 0~20 Hz。6 个 ATP 速度命令分别为 20 km/h、30 km/h、45 km/h、55 km/h、65 km/h、80 km/h。每个闭塞分区的速度命令选择要符合安全和列车间隔要求, 只有当安全制动距离所要求的运行前方轨道电路出清时, 才向该分区的列车发送适当的速度命令。图 3-30 所示为 ATP 速度命令控制线。其中粗线表示列车占用的轨道电路区段。

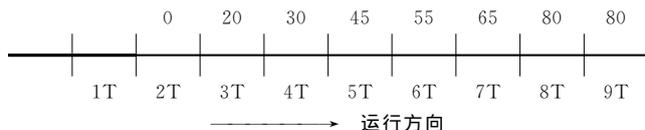


图 3-30 速度命令控制线

根据运行前方空闲情况内列车发送 ATP 速度命令:

ATP 速度命令(km/h)	频率(Hz)	条 件
0		2T 空闲, 3T 占用
20	6.83	2T、3T 空闲, 4T 占用
30	8.31	2T~4T 空闲, 5T 占用
45	10.1	2T~5T 空闲, 6T 占用
55	12.43	2T~6T 空闲, 7T 占用
65	15.3	2T~7T 空闲, 8T 占用
80	18.14	2T~8T 空闲

但调幅方式误码率较高,所以未得到广泛应用。

轨道电路设备包括室内、轨旁两部分。图 3-31 为音频无绝缘轨道电路设备典型框图。

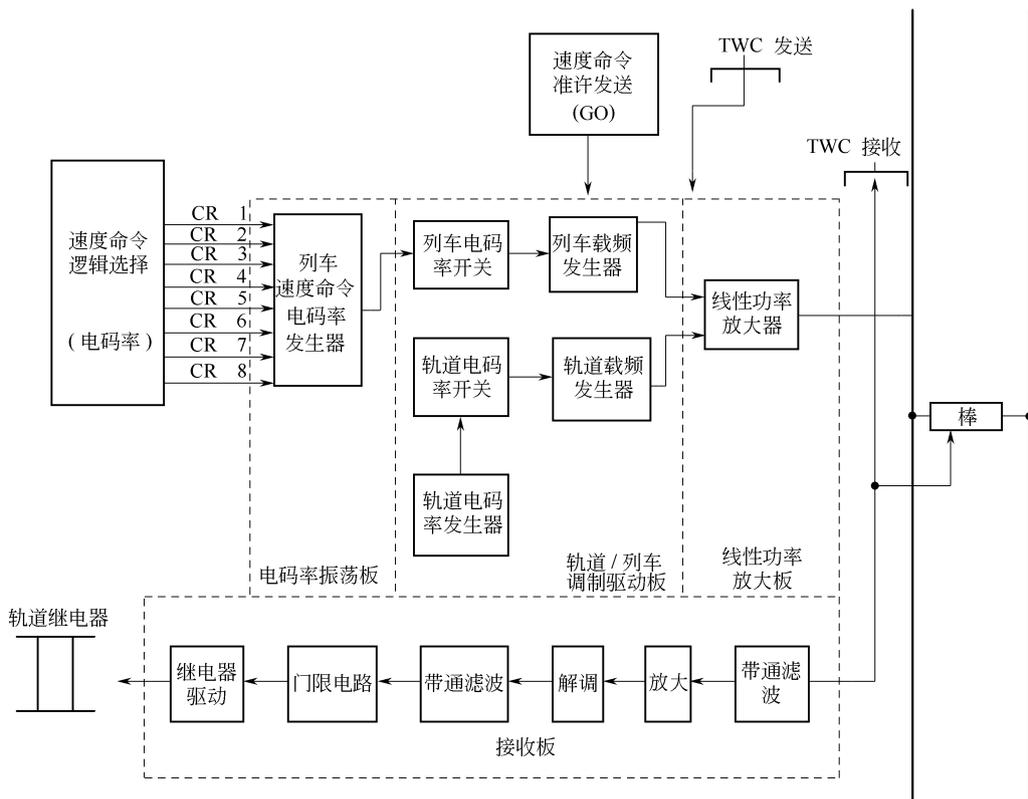


图 3-31 音频无绝缘轨道电路设备典型框图

集中站 ATC 设备室:每段轨道电路有 4 块 PC 板,其中三块用在发送端,即码率振荡板、轨道和列车调制/驱动板、线性功放板;一块用在受电端,即接收板。轨道继电器为 GRS 公司的 RNPN 型继电器。

轨旁设备:包括小型调谐阻抗连接变压器(WEE-ZBOND),其次级最多有 4 个谐振线圈,用于双发或双收,还可发送 ATP 命令和 TWC(车-地通信)信息;调谐双接收连接器,有两个谐振线圈,用在双收端;调谐环线耦合器,用在道岔区段的音频轨道电路发送端。

## 第六节 FS-2500 型无绝缘轨道电路

北京地铁 1 号线、13 号线、八通线以及天津地铁 1 号线采用英国西屋公司的 FS-2500 型无绝缘轨道电路。

### 一、FS-2500 型无绝缘轨道电路的组成

FS-2500 型无绝缘轨道电路 JTC 由发送器(TX)、接收器(RX)、电源(PSU)、编码发生器(CG)、调谐单元(TU)和终端棒组成,见图 3-32。编码发生器可产生 14 种速度码的低频调制信号,经轨道电路发送器送至钢轨,为车载设备提供限速命令,实现列车超速防护。发送器向轨道电路发送相位连续、频率准确、输出功率恒定的移频键控(FSK)信号。接收器接收轨道电路的 FSK 信号,用数字信号处理技术检查 FSK 信号的幅度、频率和调制信号的特征,根据检查结果控制轨道继电器的动作。调谐单元、终端棒及其之间的短钢轨构成轨道电路调谐区,对本区段的载频构成并联谐振,轨道电路两端的终端棒对本区段信号呈低阻抗,阻止信号进入相邻轨道区段。

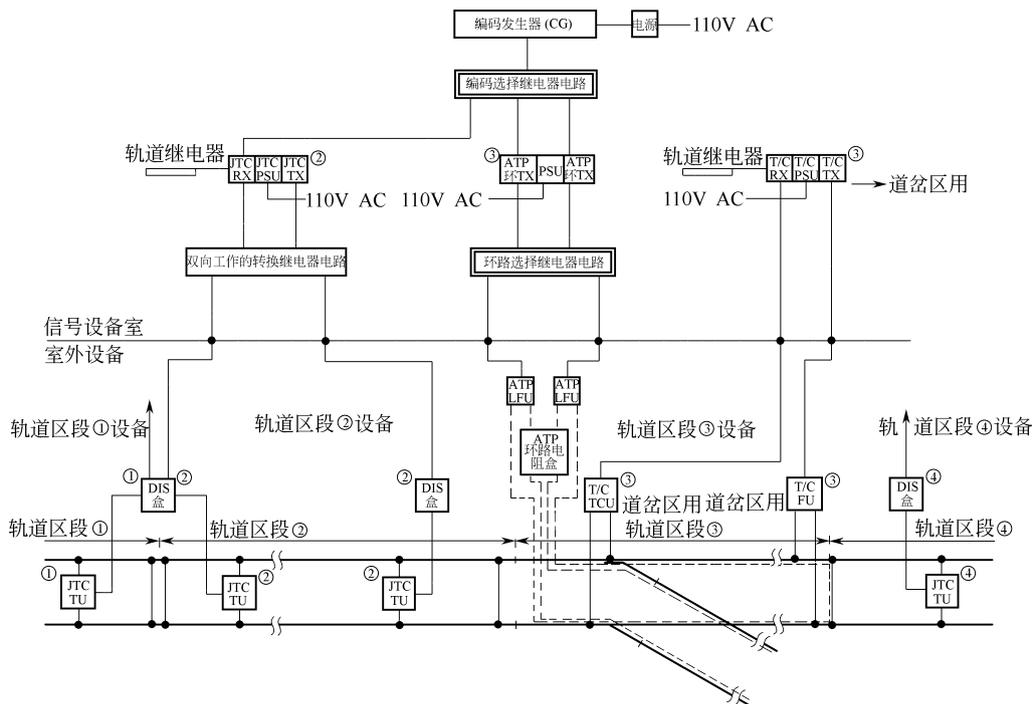


图 3-32 FS-2500 型轨道电路构成框图

ATP—列车运行自动防护;T/C—FS-2500 有绝缘轨道电路;JTC—FS-2500 无绝缘轨道电路;

TX—发送;RX—接收;PSU—电源;LFU—环路馈电单元;TU—调谐单元;DIS—分线盒;

TCU—轨道匹配单元;FU—轨道送电单元;CG—编码发生器。

①、②、③、④分别指轨道区段①、轨道区段②、轨道区段③、轨道区段④。

JTC 为调频方式,有 8 种载频,供上下行正线配置使用,低频调制信号有 14 种速度码,代表不同的速度信息,如表 3-3 所列。

表 3-3 FS-2500 型无绝缘轨道电路速度信息

频率(Hz)	28	32	36	40	44	48	56	72	76	80
速度(最大/目标)(km/h)	74/73	74/58	59/58	59/58	38/37	38/27	38/0	28/27	28/0	0/0

JTC 设备集中安装在车站机房内,通过传输电缆与调谐单元连接。

## 二、FS-2500 型无绝缘轨道电路的主要部件

### 1. 码发生器

码发生器产生一个调幅信号,通过联锁电路中的码选择电路选码后,由轨道电路发送器发送。

码发生器由 ASK 发生器、校核电路、功率输出三部分组成,见图 3-33。由于码发生器的每一个信号代表一种速度码,必须按照故障—安全原则进行设计。

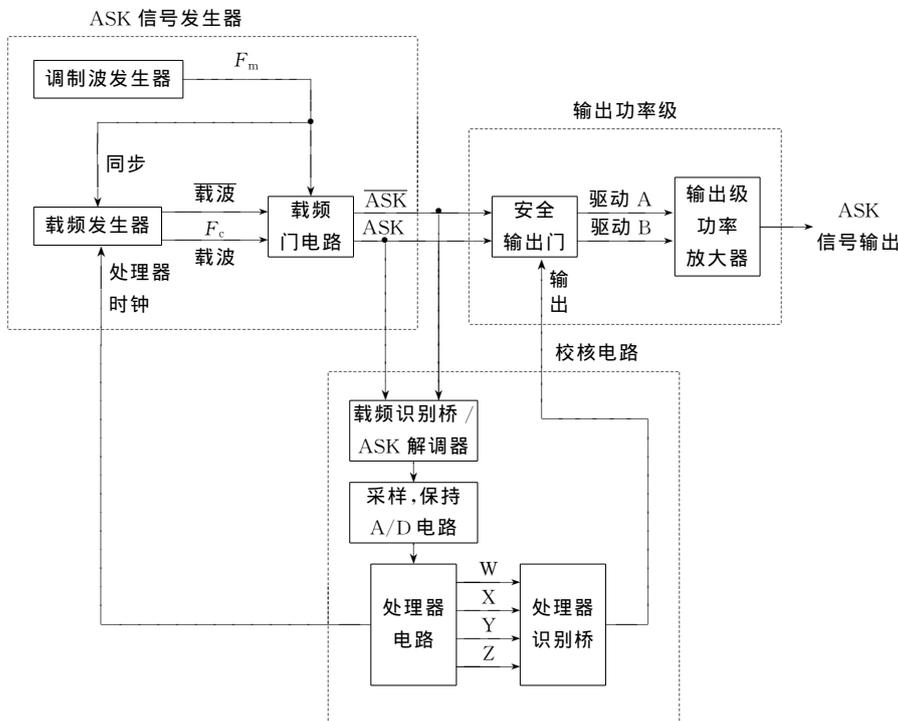


图 3-33 码发生器功能框图

#### (1) ASK 信号发生器

ASK 信号发生器的输出信号要求准确、稳定。采用两个晶振作为信号源,经不同计数器分频后产生低频调制信号  $F_m$  和载频  $F_c$ 。 $F_c$  由  $F_m$  调制而同步生成 ASK 及 ASK 反信号,ASK 和  $\overline{\text{ASK}}$  的合成即 FSK 信号。向载频识别桥及输出功率级的安全输

出门输出。

### (2) 校核电路

从故障—安全原则出发,对 ASK 信号要进行实时校验,一旦发现 ASK 信号不正确或系统故障,立即关闭安全输出门,并发出故障显示,ASK 信号的载波校核由载频识别桥完成,载频识别桥是一个桥式选频放大器,其将单极 ASK 及 ASK 反信号转换为一个双极 ASK 信号,任何载频频率的漂移都将使输出信号的幅度变小,起到载频识别作用。处理器从模/数转换器输入的信号经 FFT,将时域信号转换为频域信号,产生采样调制信号的复合频谱,通过频谱分析,对其中基波、三次谐波的幅度及其对称性等参数进行检测,如非对称性超过规定值,则此调频信号无效。因此具有很高的准确性和可靠性。为了保证系统安全可靠,每个检测周期微处理器还要对存储器进行安全检测,一旦发生故障,系统关闭,给出故障显示。经校核电路检测的 ASK 信号全部参数符合要求时处理器输出回路驱动信号送给处理器识别桥,对输入的 ASK 信号频率、幅度及相位经过处理器识别桥验证正确,才能产生控制信号,动作安全输出门。如果 ASK 信号检测结果不合格或电路故障,回路驱动信号的输出将全部为零电平。

### (3) 功率输出级

它由安全输出门和功率放大器组成。ASK 经校核正确后,安全输出门被打开,使 ASK 载频发生器产生的双路 ASK 载波经光电隔离送给功率放大器,功率放大器输出码信号经联锁电路送入 JTC 发生器,再由发生器解调器检出代表速度码的低频调制信号。

采用这种调制信号传输方式提高了码信号传输过程中的抗干扰能力。

#### 2. 发送器

发送器采用脉宽调制技术控制恒功率输出。发送器设有两个相同的功率控制器,由电平变换电路、A/D 转换器、数据查找表、可编程计数器(PROM)、分频器等组成。电平变换器将电源电压降至 22.5~29.5 V,经 A/D 转换采样后转换为随着电压波动形成不同脉冲宽度的 8 bit/字的数字信号,输入到可编程计数器,进行 PROM 查找表的寻址。查找表内有一预先按照轨道电路负载而确定的标准脉宽 8 bit/字。每一 8 bit/字代表某一电压值,经查找表对照后即可输出适合轨道电路的恒定功率。发送器原理见图 3-34。

#### 3. 接收器

作为安全设备,接收器的故障—安全保证是至关重要的。接收器原理框图见图 3-35。

接收器从钢轨上取得 FSK 波形经预处理后初步排除非带内干扰,再进行采样,通过 A/D 转换为 8 bit/字送入处理器。处理器以 FFT(快速傅立叶变换)技术对输入信号进行信号检测和安全检测。只有满足了信号检测所列内容及安全检测对硬软件检测正确后,才能认为本区段处于空闲状态。

处理器将输入的 FFT 信号用 128 时域进行采样,并在分析周期内将时域转换为频域再进行分析。

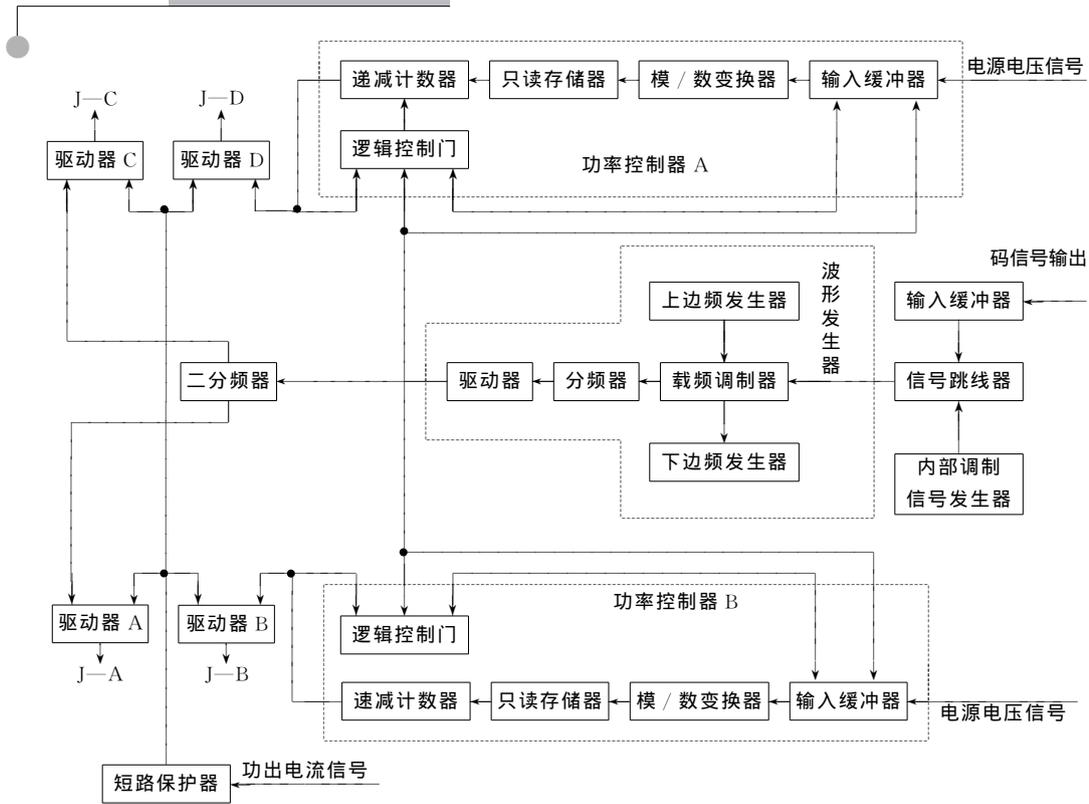


图 3-34 发送器原理框图

信号检测是对输入信号进行以下验证：正确的调制频率存在；载频功率超过门限值；上边带功率在规定限定值以内；下边带功率在规定限定值以内；叠加在 FSK 波形上的调幅波电压低于 25%；本波形为调频波不是调幅波。

安全检测是对本处理器软硬件运行是否正常，用验证音频发生器波形在校核期内进行；验证频率及幅度均在规定范围内；对“实数”与“虚数”的对称性进行确认，说明 FFT 未被破坏；以“分析”程序与“时钟”程序所处位置比较后才能确定程序周期处于正确进程中；校核分析程序测试无错时，信号检测和安全检测为正确；对存入不同存储单元内的“安全”变量进行相互比较后，此“安全”变量未被破坏；对存储器内的数据运用和来说明运转正确。

信号及安全检测通过后，用 3 种波形确定轨道电路空闲、占用及故障。空闲时为调制频率；占用时为载频；故障时无动态波形。

接收器最后一级验证级的输出驱动电路用 4 个 HEXFET 场效应管构成电桥以输入的波形动态工作，由输出变压器二次侧线圈经整流后驱动轨道继电器。该继电器为英国 QNI 型标准无极继电器。一旦输出级任何元件发生故障不能动态工作，继电器失磁落下，保证故障—安全。

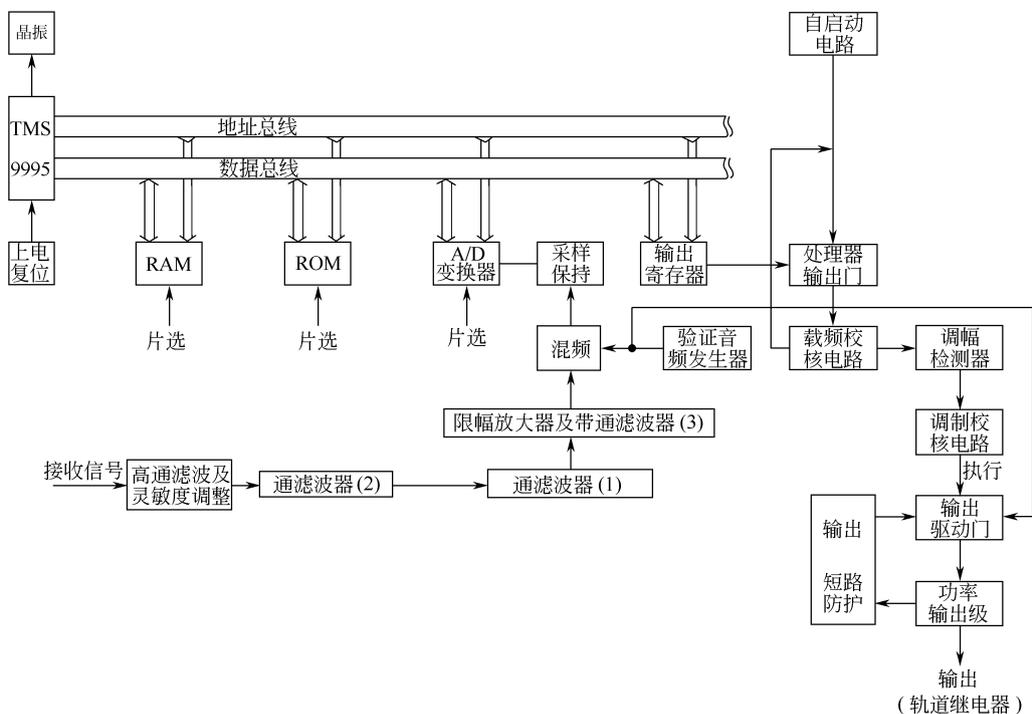


图 3-35 接收器原理框图

采用 FFT 频谱分析方法对信号幅度、频率调制、杂波干扰等参数进行检测,提高了判别信号特征与抗干扰能力。

## 第七节 FTGS 型音频无绝缘轨道电路

广州地铁 1 号线、2 号线以及深圳地铁、南京地铁采用了西门子公司 FTGS 型音频无绝缘轨道电路,它是报文式数字轨道电路。全线及车站区域应用统一型号的 FTGS 轨道电路。正线和道岔区间不需要不同的轨道电路。连续自动列车控制系统(LZB700M)使用 FTGS 的感应发送设备从钢轨向列车发送数据。

### 一、FTGS 型轨道电路概述

FTGS 是西门子公司遥供无绝缘音频轨道电路的德文缩写,意思是“西门子公司遥供无绝缘音频轨道电路”。FTGS 由调频电压远程馈电。

FTGS 型轨道电路用于检测轨道电路的占用状态,并发送 ATP 报文。当区段空闲时,由室内发送设备传来 FSK 信号,通过轨旁单元在轨道电路始端馈入轨道,并由轨道电路终端接收传至室内接收设备,经过信号鉴别判断(幅值计算、调制检验、编码检验),

完成轨道区段的空闲检测。当接收器计算出接收的轨道电压的幅值足够高,并且解调器鉴别到发送的编码调制正确时,接收器产生一个“轨道空闲”状态信息,这时轨道继电器吸起表示“轨道空闲”。列车占用时,由于列车车轮分路,降低了终端接收电压,以致接收器不再响应,轨道继电器达不到相应的响应值而落下,发出一个“轨道占用”状态信息。当轨道区段被占用时,发送器将 ATP 报文送入轨道,供车上接收。

报文式数字编码从 ATP 轨旁设备向 ATP 车载设备传输,传输速率为 200 Bd。电码有效长度 136 位,包括车站停车点、下一个轨道电路的制动曲线、运行方向、开门、入口速度、允许速度、紧急停车、限速区段速度、目标速度、目标距离、当前轨道电路识别、下一个轨道电路识别、轨道电路长度、下一个轨道电路的坡度、下一个轨道电路的频率等信息。

为提高对牵引回流的谐波干扰,FTGS 采用 FSK 方式。载频频率有 12 个,分配给两种型号的 FTGS,即 FTGS 46 和 FTGS917。

FTGS46 的载频频率为 4.75 kHz、5.25 kHz、5.75 kHz、6.25 kHz;

FTGS917 的载频频率为 9.5 kHz、10.5 kHz、11.5 kHz、12.5 kHz、13.5 kHz、14.5 kHz、15.5 kHz、16.5 kHz。

轨道电路由 15 个不同的位模式进行频率调制,偏频 $\pm 64$  Hz。位模式(bit pattern)是数码组合,以 15 ms 为一位,用 +64 Hz 为“1”,-64 Hz 为“0”,构成不同的数码组合,即带有位模式。接收器把 +64 Hz 作为一个位,而 -64 Hz 不作为一个位。

15 种位模式是:

2. 2、2. 3、2. 4、2. 5、2. 6、3. 2、3. 3、3. 4、3. 5、4. 2、4. 3、4. 4、5. 2、5. 3、6. 2。

最少的 4 bit,最多的 8 bit。

例如,2. 2 位模式即每个周期共 4 bit,连续 2 bit 为 1,另外 2 bit 为 0,频率为:+64 Hz、+64 Hz、-64 Hz、-64 Hz、+64 Hz、+64 Hz……其波形如图 3-36 所示。

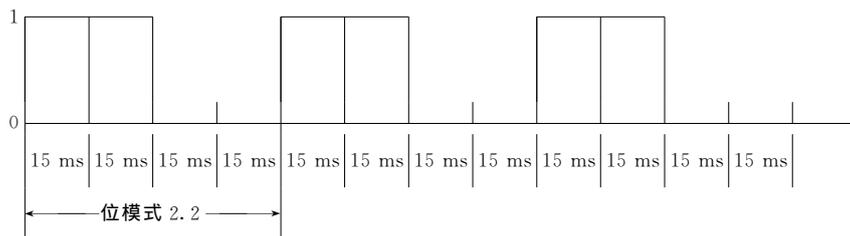


图 3-36 2.2 位模式

调制信号可以抵抗钢轨牵引回流中谐波电流的干扰。相邻的轨道区段采用不同的频率和位模式,相邻两个轨道区段之间采用电气绝缘分割。轨道区段只有收到与本区段相同的频率与位模式的信息才会响应。

FTGS 型轨道电路发送的 ATP 报文,每个电码有 127 位有用的信息被传输。

FTGS 型轨道电路为兼有选频和数字编码的混合方式,采用选频和数码双重安全

措施。发送端由位模式发送器发送调频信号,接收端接收该信号,由位模式校核器检测调频信号的幅值、预置频率和预置数码,才能给出轨道电路空闲的表示。这样,轨道电路就明显提高了安全可靠性。

## 二、FTGS 型轨道电路的组成

FTGS 型轨道电路由室内设备和室外设备两部分组成,如图 3-37 所示。

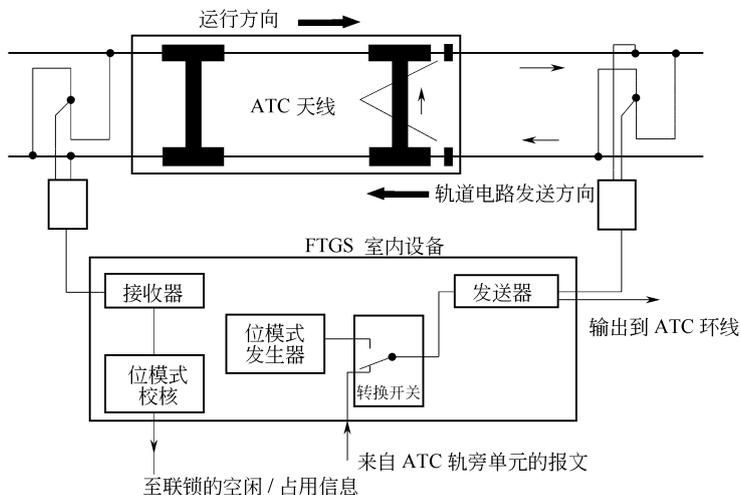


图 3-37 FTGS 型轨道电路组成

室内设备主要是发送器和接收器,室外设备为耦合单元和 S 棒。发送器和接收器集中安装在控制室内,从控制室到轨道区段的最大距离可达 6 km。室内、外设备通过电缆连接。发送电缆和接收电缆分开使用,排除了由于芯线的接触而引起的电气干扰。

### 1. 室内设备

FTGS 的所有电子组件都安装在控制站的机械室内。组匣安装在轨道电路组合架上,每个组合架分为 A、B、C、D、E、F、G、H、J、K、L、M、N 共 13 层。其中:A 层为电源层及熔断器层;B 层为电缆补偿电阻设置层;C 层为信息输入、输出及方向转换层;D~N 层为轨道电路标准层。每层为一个轨道电路组匣,一个轨道电路只需一个组匣,即 1 个轨道电路架可安装 10 套 FTGS 轨道电路。发送器、接收器和轨道继电器组件设计成即插即用单元。在轨道上不需安装任何电子组件,只在轨旁盒内安装免维修的调谐单元,以获得高可靠性、高可用性。在组匣上有大量的运行状态指示灯,能迅速定位故障并立即替换故障功能单元,易于维修。

### 2. 室外设备

室外设备有电气绝缘节和轨旁盒。

#### (1) 电气绝缘节

电气绝缘节由短路线(S棒)和轨旁盒内的调谐单元组成,是划分 FTGS 轨道区段的重要设备。FTGS 型轨道电路除了道岔绝缘为机械绝缘节外,其他都采用电气绝缘节。

(2) 轨旁盒

轨旁盒是用以连接电气绝缘节与室内设备的中间设备。每个轨旁盒内一般可分为两部分,对称布置。一部分作为一个区段的发送端时,另一部分则作为相邻区段的接收端。每部分由一个调谐单元和一个转换单元组成,调谐单元接电气绝缘节,转换单元接室内设备。每个轨旁盒用一根电缆与室内设备连接,有 4 根电缆与电气绝缘节相连,另有一根地线。

轨旁盒有两种结构,一种是 S 棒结构,另一种是双轨条牵引回流区段的终端棒结构,分别如图 3-38(a)、(b)所示。

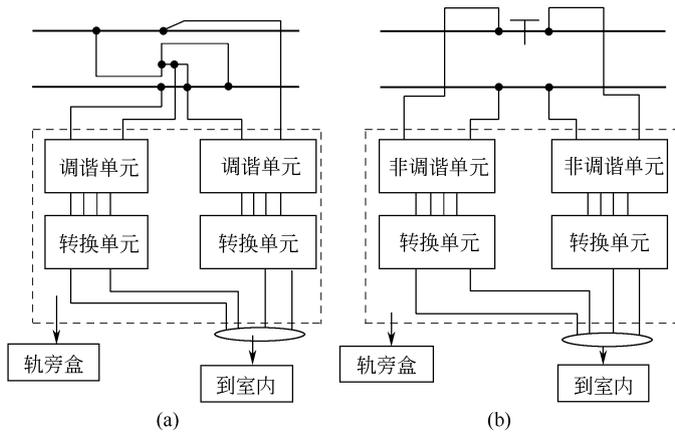
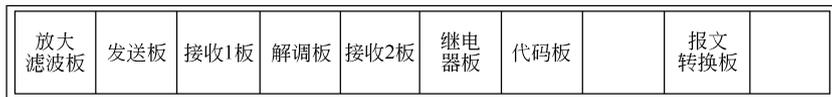


图 3-38 轨旁盒结构图

轨旁盒内一般可分为左右两部分,对称结构布置。每部分都由一个调谐单元和一个转换单元组成;一部分作为一个区段的发送端时,另一部分则作为相邻另一个区段的接收端。每一部分的调谐单元接电气节,转换单元接室内设备。

3. FTGS 型轨道电路组匣

FTGS 型轨道电路组匣有一送一受型和一送二受型(用于道岔区段)两种结构,它们的插件排列分别如图 3-39(a)、(b)所示。



(a) 一送一受型



(b) 一送二受型

图 3-39 FTGS 型轨道电路组匣插件排列

一送一受型组匣由 8 块电路板组成,自左而右是:放大滤波板、发送板、接收器 1 板、解调板、接收器 2 板、继电器板、代码板、报文转接板。

一送二受型组匣比一送一受型组匣多一块接收器 1 板。

电路板中放大滤波板、发送板构成发送器,其他构成接收器。

### 三、FTGS 型轨道电路原理

FTGS 型轨道电路系统结构如图 3-40 所示。

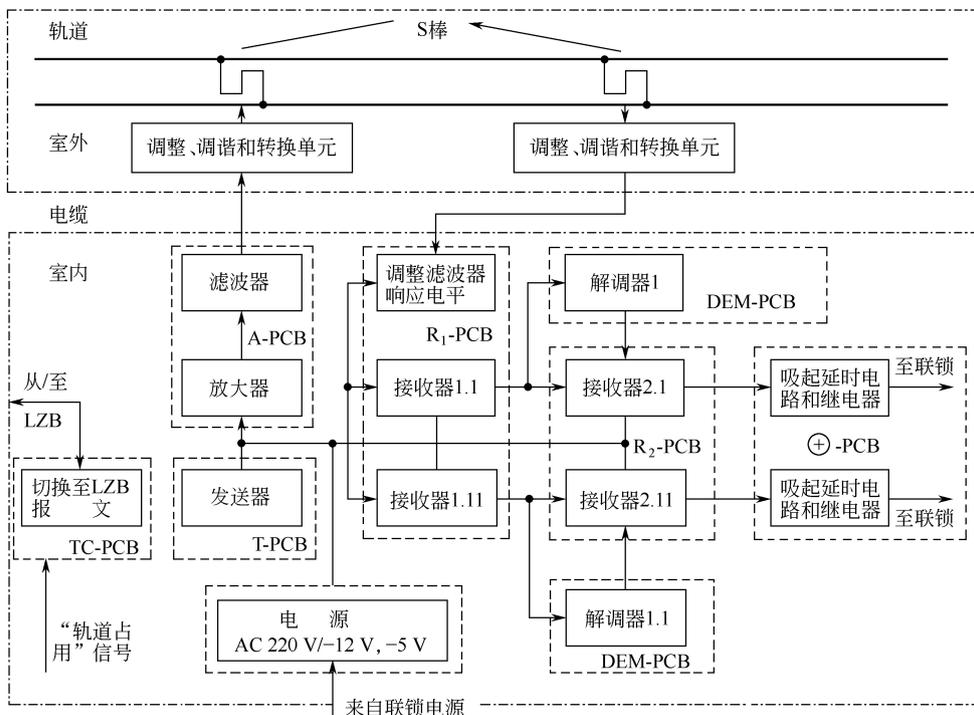


图 3-40 FTGS 型轨道电路系统结构

T-PCB—发送器印制电路板;R<sub>2</sub>-PCB—接收器 2 印制电路板;A-PCB—放大器和滤波器印制电路板;

DEM-PCB—解调器印制电路板;R<sub>1</sub>-PCB—接收器 1 印制电路板;⊕-PCB—继电器印制电路板;

TC-PCB—报文切换印制电路板;LZB—连续式列车自动控制。

#### 1. 发送器板

发送器板的功能是形成发送频率,并以频移键控(FSK)的方法进行数码调制。其电路框图如图 3-41 所示。由石英晶体振荡器和可编程计数器组成,产生 9.5~16.5 kHz 范围内的音频频率并由位模式调制。

轨道电路频率由石英晶体振荡器(16.3336 MHz)选通可编程计数器而生成,计数器的分频比由输入与编码插头相连接的 PROM 预设。8 个频率只需 1 种标准组件,轨

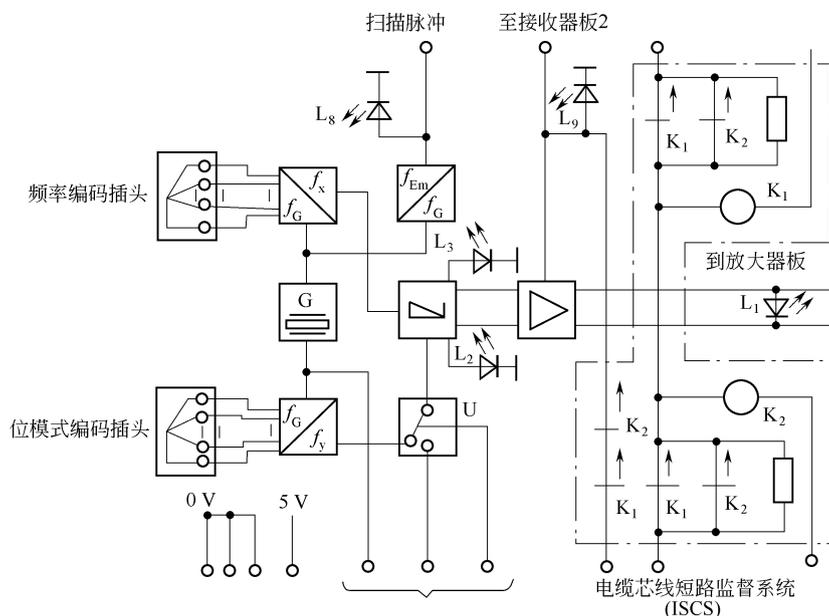


图 3-41 发送器板框图

$f_{Em}$ —用于接收器 2 的扫描脉冲中;  $f_G$ —振荡器频率;  $f_x$ —轨道电路频率;  $f_y$ —位模; G—晶振;  $K_1$ 、 $K_2$ —ISCS 的校验继电器;  $L_1 \sim L_9$ —前面板上的 LED; U—报文转换(只用于列车自动控制)。

道电路的载频由相应的编码插头(S25533-A30-A1~A8)对应 9.5~16.5 kHz 确定,另一个编码插头 S25533-A30-A22~A40 对应 2.2~6.2 位 15 种模式用来设定位模式。

位模式由并行转换为串行,轨道电路的载频由相位的位模式进行频移键控调制。时分多路输出信号通过放大和滤波器板传送至轨旁馈入点。

发光二极管  $L_2$ 、 $L_3$  指示键移频率,  $L_2$  在高频时点亮,  $L_3$  低频时点亮。

发送器上还有附加电路,用来产生评估接收器、解调器信号的扫描脉冲,  $L_8$  指示附加电路是否工作正常。

$L_1$  指示发送板放大器的输出电压。

电缆芯线短路监督系统的校验继电器也安装在发送器板上。

频率和位模式编码通过 L25080-9320 型编码插头来实现。S25533-A30-A 型插头用来在发送器板上设置载频和位模式。

频率	插头型号	频率	插头型号
9.5 kHz	S25533-A30-A1	13.5 kHz	S25533-A30-A5
10.5 kHz	S25533-A30-A2	14.5 kHz	S25533-A30-A6
11.5 kHz	S25533-A30-A3	15.5 kHz	S25533-A30-A7
12.5 kHz	S25533-A30-A4	16.5 kHz	S25533-A30-A8

位模式	插头型号	位模式	插头型号
2.2	S25533-A30-A22	3.5	S25533-A30-A30
2.3	S25533-A30-A23	4.2	S25533-A30-A31
2.4	S25533-A30-A24	4.3	S25533-A30-A32
2.5	S25533-A30-A25	4.4	S25533-A30-A33
2.6	S25533-A30-A26	5.2	S25533-A30-A34
3.2	S25533-A30-A27	5.3	S25533-A30-A35
3.3	S25533-A30-A28	6.2	S25533-A30-A36
3.4	S25533-A30-A29		

## 2. 滤波器和放大器板

滤波器和放大器板的作用是：

- ①带通滤波, 滤除高次谐波, 使功放电路输出的方波信号转换为正弦波。
- ②选频功率放大, 把发送器送来的调制音频提升到要求的电平, 放大至 30 W 左右。并通过一个选择滤波器送到轨道上的馈入接点。

对应不同频率有不同的放大滤波板。滤波器和放大器板框图如图 3-42 所示。

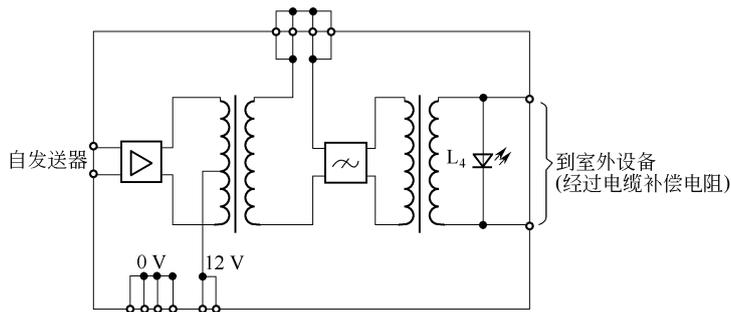


图 3-42 滤波器和放大器板框图

发送器输出的音频信号通过由 MOS 管组成的带输出变压器的功率推挽放大电路, 被放大至所需电平, 并通过带通滤波器发送至轨旁馈入点。由于带通滤波器的选择频率不同, 所以对应每个频率有一块不同类型的电路板。

频率	板型号	频率	板型号
9.5 kHz	S25533-B40-B1	13.5 kHz	S25533-B40-B5
10.5 kHz	S25533-B40-B2	14.5 kHz	S25533-B40-B6
11.5 kHz	S25533-B40-B3	15.5 kHz	S25533-B40-B7
12.5 kHz	S25533-B40-B4	16.5 kHz	S25533-B40-B8

$L_4$  指示滤波器输出的工作状态。

## 3. 接收器 1 板

接收器 1 板的作用是鉴别由轨面输入的音频信号的电压幅值,主要用于评定轨道电压的放大系数。如果轨道电路空闲,就把脉冲传递给解调器板,将音频信号传递给接收器 2 板,同时把经放大和调频的振荡信号送给解调器。接收器 1 板原理框图如图 3-43 所示。

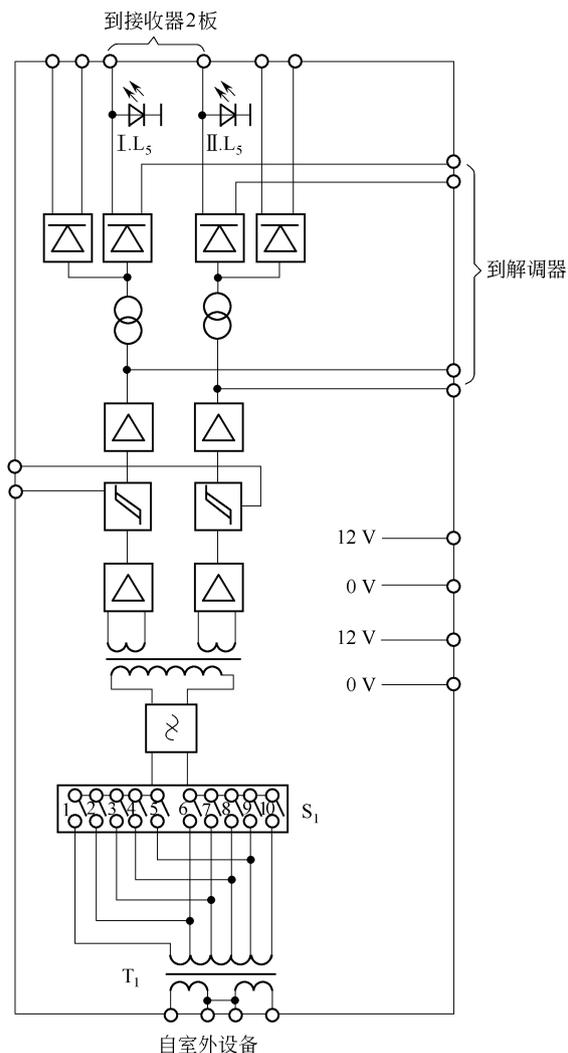


图 3-43 接收器 1 板原理框图

来自轨面的音频信号经升压变压器升压至一定幅值,再经输入滤波器滤波。输入滤波器为无源带通滤波器,具有陡峭边缘的等幅发送特征,滤波器的输入变压器和输出变压器用来进行阻抗匹配。

鉴幅器电路设置接收门限电压,当输入电压高于门限电压时,向后续电路提供区段

空闲的条件;当输入电压低于门限电压时,即向后续电路提供轨道区段被占用的条件。

鉴幅器输出的电压经放大、整流后分路送至解调器板和接收器 2 板。从故障—安全出发,输入放大器设计为双通道,两个通道结构完全一样。

它对应每个运行方向以及轨道电路的长度和电气节的类型设定了响应值,使得对应每个频率有相应的接收器 1 板。

频率	板型号	频率	板型号
9.5 kHz	S25533-B33-B1	13.5 kHz	S25533-B33-B5
10.5 kHz	S25533-B33-B2	14.5 kHz	S25533-B33-B6
11.5 kHz	S25533-B33-B3	15.5 kHz	S25533-B33-B7
12.5 kHz	S25533-B33-B4	16.5 kHz	S25533-B33-B8

#### 4. 解调器板

解调器板由接收器 1 板驱动,用来检测所接收到的音频信号的电压位模式,对音频信号进行解调。当轨道电路被占用时,解调板的驱动被切断。由于解调器不记录信号频率,它只判别信号是上边频还是下边频,所以对总共 8 个频率和 15 个位模式只需一种标准型解调器组件。其电路框图如图 3-44 所示。

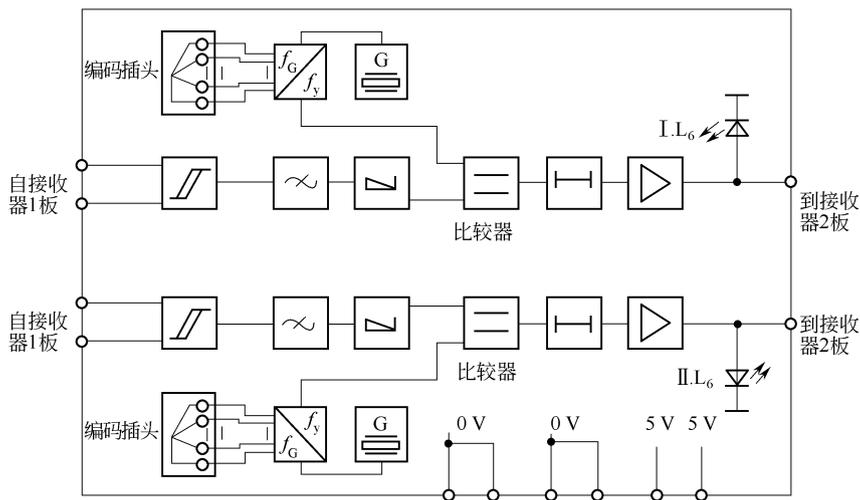


图 3-44 解调器板框图

$f_G$ —振荡频率;  $f_y$ —位模; G—晶振。

内部位模式由连接到 PROM 输入的编码插头决定,解调后的位模式与电路预置的内部位模式进行比较,若一致,表示接收到符合本区段的位模式的信号,比较器置高电平;如果不一致,置低电平。发光二极管指示比较结果。

在轨道电路中增加了位模式判别,比单一判别接收到信号的幅值,大大提高了可靠性和抗干扰能力。

解调器板全部为双通道设计,解调器的双通道工作是一致的,但结构却相反,双通道的区别为:信号逻辑相反,计数器相反,PROM 编程相反,输入信号在相反方向的条件下触发,触发电路在工作中逻辑相反。

### 5. 接收器 2 板

接收器 2 板对接收器 1 的输出信号(此信号经鉴幅)和解调器和判别结果(位模式检查)进行逻辑“与”运算,再经放大送到继电器板。其电路框图如图 3-45 所示,为了提高安全性,电路板为双通道设计,每个通道电路结构相同,包括时钟脉冲放大器、动态与操作电路、输出电路。

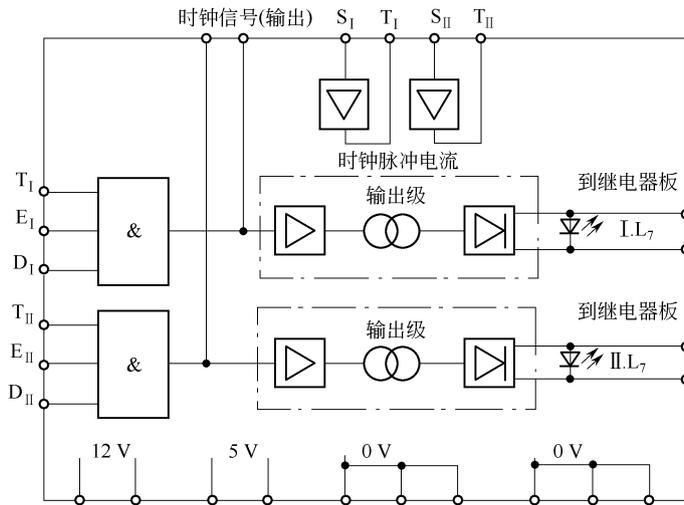


图 3-45 接收器 2 板框图

D—来自解调器的信号;E—来自接收器 1 的信号;I、II—分别为通道 I 和 II;  
I.L<sub>7</sub>, II.L<sub>7</sub>—前面板上的 LED;S—输入扫描脉冲;T—时钟信号。

“与”运算需要扫描脉冲,在发送器板上生成,时钟脉冲放大器则将该脉冲放大并形成信号,并且将 5 V 转换为 12 V。

当接收器 1 对接收信号的电压幅值判别结果为接收电压幅值高于规定值,以及解调器板对内外位模式比较结果为一小时,在时钟脉冲的查询下,“与”门电路向后续继电器电路输出脉冲。

在接收器 1 判别结果为接收电压幅值低于规定值,以及解调器对内外位模式比较结果为不一致时,“与”门电路无脉冲输出。

输出电路由脉冲扩展器、放大器、输出变压器整流器组成,向继电器板提供电压,LED I.L<sub>7</sub> 和 II.L<sub>7</sub> 提供输出电压指示。

一送二受道岔轨道电路,有两个接收器 1 板和两个解调板,每个接收器 1 与解调器“与”运算后,再进行两个受的“与”运算。

### 6. 继电器板

继电器板接收接收器 2 板的脉冲输出,用继电器状态给出轨道电路的表示,空闲还是占用,它把“轨道空闲”和“轨道占用”的信号传递给联锁设备和轨旁 ATP。轨道继电器是 FTGS 与联锁设备之间的接口。

继电器板由 2 个 K50 型缓吸(350 ms)继电器所组成。与接收器 2 板一样,继电器板也是双通道,每个通道有一个轨道继电器(GF1/K11 或 GF2/K12)。两个通道具有相同的结构并且在联锁设备中检查其同步性。

继电器板有两组继电器接点,观察继电器板上继电器接点的吸起或落下,可判断相应轨道电路处于空闲或占用状态。

### 7. 代码板

代码板只有几根跳线,代码板上的每一个位模式对应一个频率,根据不同的位模式插件制成对应不同频率的代码板。

在用于道岔轨道电路或中央馈电轨道电路时,使用第二块或第三块接收器 1 板而不使用代码板。

### 8. 报文转换板

报文转报板完成 ATP 报文的传送。当列车占用本轨道区段时,FTGS 的位模式报文无效,ATP 报文被激活,发送板执行一个报文转换信号进行开关切换,再通过光耦合器将 ATP 报文从报文转换板传送到发送板,开始发送 ATP 报文。

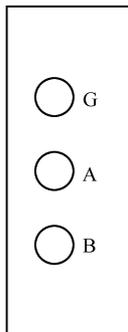


图 3-46 方向转换板面板示意图

### 9. 方向转换板

需要时设方向转换板,根据进路的方向实现发送端和接收端的转换,使轨道电路报文始终迎着列车运行方向发送。

方向转换板面板如图 3-46 所示,上有三个表示灯分别表示轨道电路的三个方向,自上而下为 G、A、B,通过板内的跳线帽可以人工改变轨道电路的方向,跳线帽示意同如图 3-47 所示。



图 3-47 跳线帽示意图

图 3-47 中  $S_7$ 、 $S_8$ 、 $S_9$ 、 $S_{10}$  分别表示 2-1 连、1-2 连、2-1 连、3-2 连。 $S_7$ 、 $S_{10}$  开关不变,只要通过变换  $S_8$ 、 $S_9$  两个开关中的一个即可改变方向,图示为 G 方向。若改为 A 方向,则将  $S_8$  改为 2-3 连;若改为 B 方向,则将  $S_9$  改为 3-2 连。

## 四、FTGS 轨道电路连接方式

FTGS 音频轨道电路的连接方式如图 3-48 所示。(a)为 S 型连接,S 型连接为

50~600 mm<sup>2</sup> 的铜线;(b)为终端连接,终端连接线为 50~480 mm<sup>2</sup> 的铜线。连接电缆长度:25 mm<sup>2</sup> 铜线 0.5~2.65 m。同轴电缆:2.65~6 m。

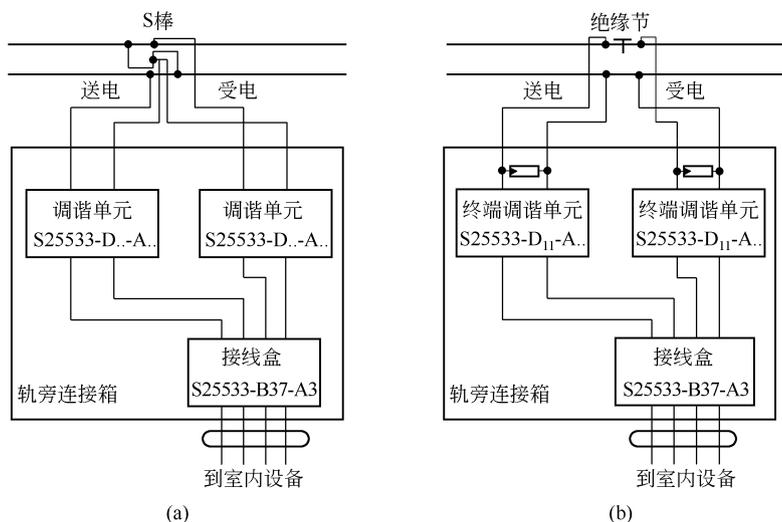


图 3-48 FTGS 型轨道电路连接方式

### 五、与其他设备的接口

FTGS 型轨道电路系统将轨道电路的占用、空闲信息传给联锁计算机,同时把轨道占用信息传给轨旁 ATC 设备。轨旁 ATC 设备收到轨道占用信息后,将 ATP 报文传给 FTGS 轨道电路,再发送至列车上。

### 六、FTGS 型轨道电路技术指标

应用范围:车站和区间,道岔和交分道岔。

牵引回流:双轨条。

抗干扰:通过频率调制传输。

电缆故障:通过编码传输和混线检测系统检测。

故障—安全措施:接收部分为双通道结构;轨道继电器的相同开关状态,通过两个继电器的不同状态检测错误。

工作/全部频率:9.5~16.5 kHz。

调制:频率调制(移频键控)。

编码位模式:15 bit 位 2.2~6.2。

传输速度:时分比特位传输  $u_b \leq 200 \text{ bit/s}$ ;

LZB 电码传输  $u_b \leq 200 \text{ bit/s}$ ;

位错率约  $10^{-4}$ 。

运营可靠性: MTBT=0.2 个故障/年(每个 FTGS 的 MTBF 计算值 4.3 万 h, 实际值 7 万 h)。

最大控制距离: 6.5 km(轨旁盒-联锁柜)。

电缆有效长度: 最大值 1.5 km(根据接线情况)。

轨道电路有效长度: 30~300 m(轨道电路见表 3-4 所列)。

环境温度:  $-30\sim+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

轨道继电器吸合、释放延迟:  $t_{\text{吸}}=0.6\text{ s}$ ,  $t_{\text{落}}=0.35\text{ s}$ 。

供电: 工作电压交流 230 V( $+10\%\sim-20\%$ ), 50 Hz+1 Hz。

功耗: 标准配置 65 V·A;

道岔配置 75 V·A;

中央馈电 75 V·A;

交分道岔 85 V·A。

轨道道碴电阻: 最小  $R_{\text{B}}=1.5\ \Omega\cdot\text{km}$ 。

额定分路灵敏度:  $R_{\text{A}}\leq 0.5\ \Omega$ 。

远控: 电缆(四芯星绞电缆), 一组芯线发送, 另一组芯线接收。

表 3-4 轨道电路极限长度

有效范围(m) 轨道电路类型	道碴电阻 $1.5\ \Omega\cdot\text{km}$				道碴电阻 $2.5\ \Omega\cdot\text{km}$	
	远程馈给(km)	允许的列车短路电阻( $\Omega$ )	标准配置	中心配置	标准配置	中心配置
FTGS 917	4.5	$\leq 10$	300	750	350	950
	4.5	$\leq 0.5$	350	850	400	1 000
	6.5	$\leq 0.5$	300	700	330	850
FTGS 46	6.5	$\leq 0.5$	600	1 200	750	1 500

### 七、FTGS 型轨道电路的特点

FTGS 型轨道电路具有以下特点:

1. 可用于无岔区段和道岔区段, 并针对轨道电路的不同位置, 分别采用不同类型的电气绝缘节。在站间、道岔区段、站台区段、轨道终端分别采用 S 棒、终端棒、改进型短路棒和短路棒。

2. 可以根据列车运行方向, 自动转换轨道电路的发送端和接收端。

3. 列车占用某区段时, 其发送设备转发用于控制列车运行的报文。

4. 有电缆混线监督功能。

5. 安全、可靠性较高, 在接收设备中采用了双通道结构, 以保护系统免遭潜在的元件故障而导致系统瘫痪。

6. 室内外设备采用电气隔离。
7. 有较多的故障表示信息,方便维修。
8. 每个区段单独供电,确保了整个系统的高可用性。
9. 标准化电路板的使用可把备件量降至最低。
10. 由于有大量的运行状态指示灯,因此能迅速定位故障并立即替换故障功能单元,易于维修。

FTGS 型轨道电路抗干扰性能高,能有效防止牵引回流的影响。它能与精确停车设备、车-地通信设备在同一个轨道区段内使用。采用较高程度的模块化设计,设备安装、维护较容易,可靠性较高。

FTGS 型轨道电路的不足是设备投资和维修成本较高,对使用环境要求较高,例如,要求轨面光洁,一般需经打磨后才能正常使用。

## 第八节 AF-904 型数字轨道电路

AF-904 型数字(音频)轨道电路是美国 US&S 公司 ATC 系统的基础设备之一。AF-904 是联锁逻辑处理单元和车载设备之间的通信接口,实现了正线区段轨道占用检测以及地对车的 ATP 数字信号传输双重功能,智能化程度高。AF-904 型轨道电路在上海地铁 2 号线和天津滨海线运用。AF-904 的分路灵敏度,在轨道电路的发射端、接收端和中间点为  $0.25 \Omega$ 。

### 一、AF-904 系统的硬件结构

AF-904 系统的主要设备包括控制机箱、轨道耦合单元和轨道连接器(S 棒),按地点可分为轨旁设备和信号室内设备两部分。

#### 1. 轨旁设备

轨旁设备由轨道耦合单元、500MCM 连接器(S 形电缆)和环线 3 部分组成,在轨道之间或沿轨旁安装。采用的是互耦方式。

轨道耦合单元将轨道信号连接到控制机箱的接收和发送电路,并调谐到轨道电路的载频频率。它安装在轨旁,包括两个独立的耦合电路。每个耦合电路都由变压器和可调电容器组成槽路,如图 3-49 所示。它们也作为轨道电路的端点,并且实现与 S 棒的阻抗匹配。

500MCM 连接器是截面  $178 \text{ mm}^2$  的电缆制成 S 形,称为“S 棒”。放在两根钢轨中间,两端点被焊接到钢轨上。一匝电线构成的环线与 500MCM 连接器空气耦合,并通过耦合单元、对绞电缆,与轨道电路室内控制柜(TM)的辅助板相连。发送的轨道信号电流在 S 形电缆中形成环流,并感应进入钢轨。接收的信号也从钢轨感应进入电缆。借助其外形尺寸,可提供很强的方向性,以设定轨道信号电流的方向。

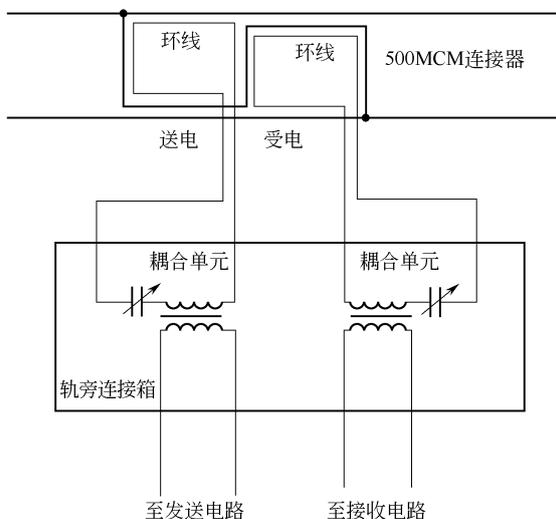


图 3-49 轨道耦合单元

## 2. 信号室内设备

控制机箱以微处理器为基础,测量轨道信号的幅度以检测列车的存在,发送和接收机车信号数据的移频信号,以及进行内部或本地系统的连续诊断等。控制机箱装在 TM 柜内,每个 TM 柜最多可安装 3 个机笼,每个机笼可配置 4 段非冗余轨道电路。由于每段轨道电路的应用程序存在一个独立的位于机笼母板上的 EPROM 中,在定期更换控制板时无需重新设置。这样,任何一段轨道电路的单盘都相同,使得轨道电路的故障诊断和维护更便捷。每段轨道电路由两套设备构成“热备用”,备用设备处于“热备用”状态,不需经过启动程序即可转至在线状态。

AF-904 的硬件结构框图如图 3-50 所示。图中“TC”指轨道电路。1、2、3、4 分别代表不同的轨道区段。“MT”指轨道联锁,是联锁单元 MI 与轨道电路之间的信息通道。

### (1) 插件柜(机箱)

AF-904 的插件柜(机箱)是由与 19 英寸(0.4826 m)WAF 架兼容的安装在底座的电子电路板组成的。它安装于设备房,需 110/240 V、50/60 Hz 电源输入。

这套电路采用了许多 US&S 的 MICROTRAX 电码轨道电路和 MICROCAB 机车信号系统的成功的设计方法。包括完整的 PCB 前端控制/显示盘、菜单驱动数字化 LED 显示和 9 脚串行插口。

每一插件柜(机箱)包括 10 个 PCB 电路板,被配成 4 套独立的轨道电路系统。每个轨道电路包括含 2.5 块 PCB 板:一块轨道电路控制板、一块辅助板、半块电源板(两段轨道电路共用一块电源板)。

机箱包含一个可以显示数字及字母的显示器和若干开关,在前面板上就可以对每

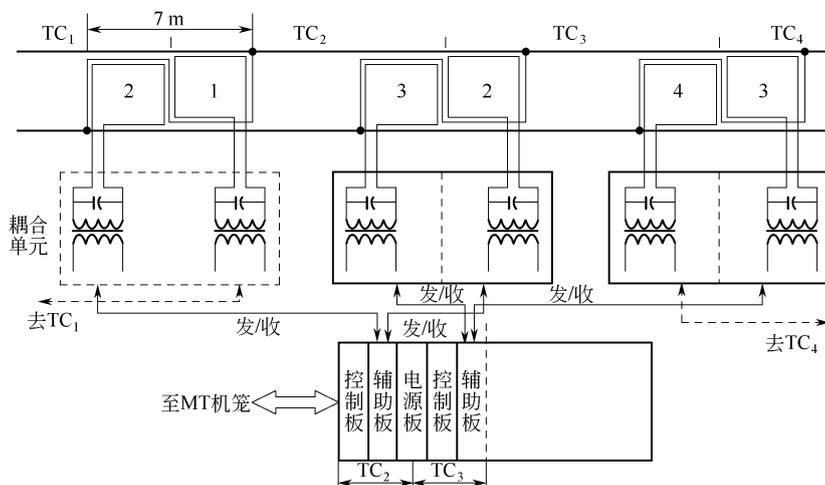


图 3-50 AF-904 轨道电路硬件结构框图

TC—轨道区段；1、2、3、4—代表 1、2、3、4 轨道区段。

段轨道电路进行调整，并访问它们的数据。前面板上还有一个串行端口，可以使用一台便携机通过这个端口来获取数据，以进行诊断。

通过机箱前面板上的发光二极管显示和开关，可以设置轨道电路速度限制，并且可以访问诊断系统信息。

### (2) 轨道电路控制板

控制板产生具有 ATP 功能的数字编码信息。

其核心是 MC68HC1621CMOS 微控制器，除系统集成模块外，还包含几个外围集成块。

两个字母数字显示器，上面是红色的，下面是绿色的，用来监视轨道电路的设置和动作。

四个瞬态接触开关 (SPDT)，用来在设置时输入数据。

五个 LED，提供有关信息。

一个计算机兼容串行口，一个连接器提供 RS232 终端口，用来详细监视和诊断 AF-904 逻辑和内存。

调试端口，用来直接控制 68HC16 微控制器，为工厂使用。

### (3) 辅助板

辅助板对控制板产生的信息放大发送至室外并接收轨道信息。辅助板包含两个轨道数据发送的放大器和轨道电路的接收器的前端部分及条件电源 (CPS) 分系统。继电器用来故障时切换系统，使它成为一个智能监视点。

8 个 LED，用来显示关键参数的状态。

11 个维修测试点，可提供对控制板和辅助板的电压和信号的测试。

#### (4) 电源板

电源板产生控制板和辅助板工作所需要的电源。电源板中有两套独立的供电系统,用于两套独立的轨道电路。

每块电源板提供两个工作电源,可调整为内部组成需要的工作电源,电源板与标准 AC 商业电源相接口。为了在从插件柜中取出电源板时的安全,防止短路,加了焊点罩。

14 个 LED,7 个用来监视主电源,7 个用来监视备用电源。

两个独立的电源开关,上面的给右边两块 PCB 供电,下面的给左边的两块 PCB 供电。开关是锁闭性开关,必须先拔出再扳。

4 个电压测试点,用来测试两个分系统供电。

### 二、AF-904 系统的工作原理

AF-904 系统不间断地向轨道发送数字编码信息,并监视其接收器感应到的信号,作为对列车占用的检测。

AF-904 系统与联锁系统之间通过 RS485 接口进行通信。AF-904 系统接收来自联锁系统的串行信息(目标速度、目标距离等),再加上本轨道区段信息(轨道电路 ID 号、线路速度等),形成复合信息;然后将复合信息用 NRZI 格式编码形成报文帧,结合机笼后面的方向继电器以 FSK 调制方式把报文送至相应的耦合电路,经单匝环线与“S”棒耦合;然后由车载 ATP 接收、解码并校验信息的正确性,验证完毕执行 ATP 功能,完成数字车载信号的传输功能。

NRZI 格式为不归零倒置格式,是适用于串行数据传输的一项常用编码技术。其逻辑“1”用信号的无变化来表示,逻辑“0”是用信号的变化来表示。它打破常“0”和常“1”的运行,使“1”和“0”的比值非常接近 1,为信号提取提供了丰富的时钟信息,防止接收时得不到时钟校正而误码。

#### 1. AF-904 对列车的检测

利用 AF-904 信息的标题位(前 8 位)作为列车检测的信号,其固定为 01111110。发送端借助轨旁耦合单元耦合到钢轨,接收端由轨道接收器检测该信号。通过机车信号方向继电器可改变发送端和接收端的位置。

当轨道电路空闲时,被检测到的信号幅度在门限值以上,该门限值由 AF-904 接收器电路设置。

列车进入轨道电路,所接收到的信号被分路,其幅度降至门限值以下,表示轨道电路被占用。

由于其他原因造成的轨道短路、断路等故障时,也会使接收到的信号低于预定的阈值或是错误的轨道 ID 号。

根据故障—安全原则,上述两种情况都会使 AF-904 控制板关掉其直流输出,向联锁单元传递“占用”信息,否则传递“空闲”信息,从而完成列车检测功能。

## 2. AF-904 的 ATP 信息

AF-904 采用 FSK 方式,使用 8 个载频:9.5 kHz、10.5 kHz、11.5 kHz、12.5 kHz、13.5 kHz、14.5 kHz、15.5 kHz、16.5 kHz。这 8 种频率依次命名为  $F_0 \sim F_7$ 。奇数载频  $F_1$ 、 $F_3$ 、 $F_5$  和偶数载频  $F_2$ 、 $F_4$ 、 $F_6$  分配给不同的运行方向,交错配置。相邻每个轨道电路采用不同载频,以提高抗干扰能力。 $F_0$ 、 $F_7$  用在特殊的区域。 $F_1$ 、 $F_3$ 、 $F_5$  配置在西向或是北向的轨道电路,而  $F_2$ 、 $F_4$ 、 $F_6$  被配置在向东或是南向的轨道电路,剩余的 2 种频率( $F_0$ 、 $F_7$ )被保留,用在特殊的工作区域。相邻轨道电路采用不同状态频率组合状态,可有效地防止相邻轨道电路的串音。频偏  $\pm 200$  Hz。

由二进制报文作为调制频率,报文长 60~70 位,每当有连续 5 个“1”时就插入一个“0”。所使用的 FSK 格式是非返回 0 的,即轨道电路的输出保持 1,除非被强制转变为 0。插入一个错误的 0 允许车上的接收器与发送的报文保持同步。译码时,接收器将插入的“0”删除。

轨道电路有它自身的特性,如:在钢轨中有牵引电流;钢轨本身的材质;钢轨铺设所在的地形特点(坡度、土质结构等)。所以在钢轨中传输的信息码不能太多。如果太多,误码率就会大大的增加,而影响行车安全;但又不能太少,这样的话不能满足列车自动控制的要求,AF-904 传输信息的报文中含有 37 位的数据位。

发送到车上的信息共 71 位,首 8 位为标题位,固定为 01111110,并用来同步译码功能,同时作为列车检测信号。接下的 37 位是数据位,用于 ATP 指令包括各种信息,具体信息设置如表 3-5 所列。最后 16 位是周期冗余检查位,用于检查错误。另有 10 位 0 插入(信息中有连续 5 个“1”时就插入一个“0”或附加填充位构成,以便固定报文的长度。译码时,删除插入的“0”。

表 3-5 AF-904 型轨道电路数据信息设置

位 定 义	位 名 称	功 能
12	轨道 ID	当前轨道电路的识别号
1	主/备	当前是主机还是备机来处理控制信息
2	方向	列车的运行方向
3	下一载频	下一轨道电路的载频
7	目标距离	列车要达到目标速度应运行多少距离
4	线路速度	该轨道电路的最大允许速度
4	目标速度	下一轨道电路的入口速度
1	制动(目标)	列车停稳后开门
2	耦合/非耦合信息	填补的耦合/非耦合信息
1	分岔	分岔信息

信息的数据位一部分由轨道 MicroLok II 编码,一部分是通过前面板的开关配置形成的。这些数据通过安全的串行通信链路传送到一个轨道电路。数据信息包括:轨道

电路编号、方向控制、下一频率、目标距离、线路速度、目标速度、停站、通过 AF-904 控制器 PCB 的前面板选择最大速度。

AF-904 返回 MicroLok II 的信息有：轨道占用、设置的闭塞分区速度、方向校核、AF-904 速度命令传送。

速度命令是通过 AF-904 型轨道电路由轨旁传送给机车的数字数据的一部分。

每个轨道电路的载频是通过耦合单元内的跳线连接来调谐。

列车总是朝着轨道电路的发送器运行的，发送器连续传送数据信息。在正常条件下，已将滤波器调谐到正确频率的车载 ATC 单元都能接收到发送的数据。

与轨道电路 ID 相对应的 12 位告知车辆正运行在哪一个轨道电路。12 位，可识别 4 096 个轨道电路。车载 ATP 系统的存储器储存各个轨道电路的信息，包括线路坡度和车站数据等。

控制列车速度的参数是：线路速度、目标速度和目标距离。线路速度是该轨道电路允许的最高运行速度。目标速度是期望列车在控制速度曲线末端的速度。目标距离是达到目标速度可用的距离。

速度指令 0~65 英里/小时，步长 5 英里/小时，附加 1 英里/小时、8 英里/小时，分段速度(英里/小时)为：0, 1, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65。1 英里约等于 1.6 km。

频率位告知车辆下一个轨道电路的载频，车载 ATP 使用两个带调谐滤波的接收器，一个调谐在本轨道电路的载频，另一个调谐在下一轨道电路的载频，做好接收准备。这样就使得列车从一个轨道电路运行到下一个轨道电路时连续地接收信息。

耦合/非耦合位用于命令车辆耦合器动作。

停站位在站台轨道电路内被发送，告诉列车处于站台的限制范围内，决定是否停车，并打开车门。

### 三、AF-904 系统的信号处理过程

#### 1. 功能模块

AF-904 系统是以微处理器为核心，与处理器相连的信号流程可分为 4 大功能模块：信息采集和输出模块、微处理器、人机接口模块、通信模块，如图 3-51 所示。

信息采集和输出模块主要是位于室外的无源器件，完成发送与接收的阻抗匹配；

微处理器完成信息的生成、编码、调制以及解调和通信功能；

人机接口模块提供一个界面，为人工操作以及监督用；

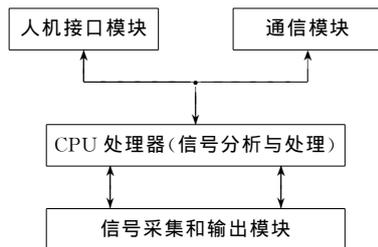


图 3-51 AF-904 轨道电路的功能模块

通信模块完成系统内部以及和其他系统的通信。

## 2. 信息处理

轨道电路系统面向的对象有列车、轨旁接口和轨旁处理器。轨道电路信息是迎着列车发送的,微处理器要能根据列车运行方向的变化自动选择发送端和接收端。

微处理器应具有以下能力:

### (1) 信息编码能力

其信息协议为 8 位报头,37 位数据信息,16 位循环校验位,0~10 位的填充位(全零),形成 61~71 位的信息。

### (2) 信息接收处理能力

AF-904 以 200 bit/s 波特率传送信息。若列车速度 100 km/h,那么 1 s 内列车运行 28 m,这样即使在最小的区段(30 m)内列车能也收到 2~3 帧信息,确保列车持续地把该轨道的状态、相关的参数读取进程序中,并能结合其他相关的信息做出正确的处理和操作。

### (3) 能够提供人机接口界面

这便于工程技术人员参与操作。

此外,处理器程序还具备升级能力,具有扩展性。把便携机与 AF-904 系统控制板上的 9 芯通信接口(RS232)相连,可进行处理器程序升级。

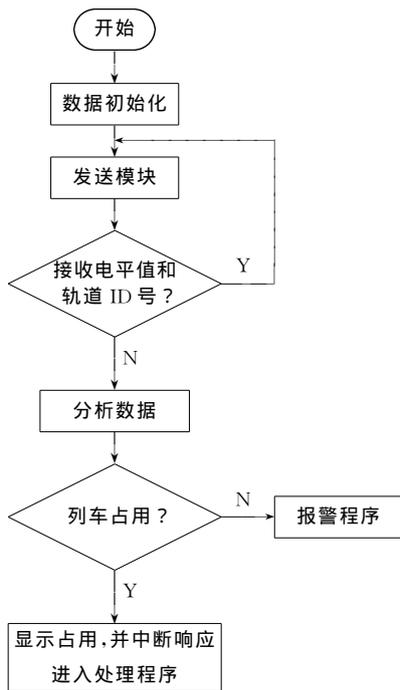


图 3-52 轨旁地-车处理程序流程

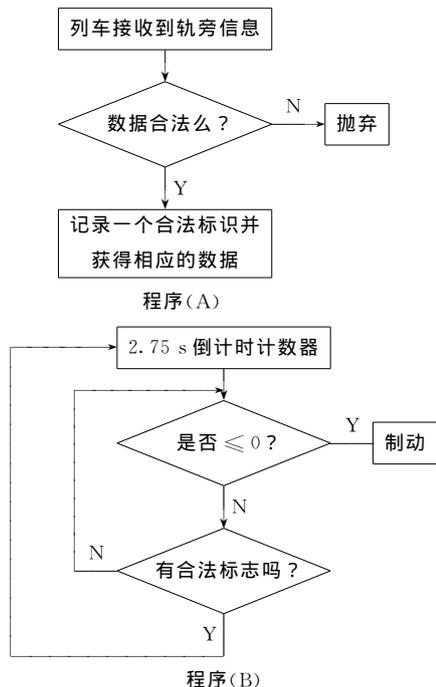


图 3-53 列车对接收到的信息的处理程序

轨旁地-车处理程序流程如图 3-52 所示。当接收不到正确的电平值和轨道 ID 号时,程序会分析数据,判断是否是由于列车占用引起的,如果是就中断响应,进入相应的处理程序进行处理。如果不是,就判断为设备故障,而启动报警程序。

列车对接收到的信息的处理程序如图 3-53 所示。当接收到轨旁传来的信息时,先进行数据校验,如不合法,抛弃该数据;如合法,则进行处理,并记录合法的标志。当接收不到合法数据时,2.75 s 倒计时计数器开始计数;若计数完毕尚未收到合法的数据,则进入紧急制动处理程序。

## 第九节 DTC921 型数字轨道电路

上海城市轨道交通 3 号线采用法国 ALSTOM 的 DTC921 数字无绝缘轨道电路,以频率划分各段轨道电路,其工作频率为:9.5 kHz,11.1 kHz,12.7 kHz,14.3 kHz,15.9 kHz,17.5 kHz,19.1 kHz,20.7 kHz。调制方式 MSK(最小移频键控),频偏±100Hz,调制速率 400 bit/s,具有调制效率高、传输信息量大等特点。轨道电路分路灵敏度  $0.5 \Omega$ ,轨道电路长度 20~400 m。ATP 信息采用与轨道电路同样的频率,调制方式 MSK,调制速率 500 bit/s。

### 一、DTC921 型轨道电路的构成

DTC921 型轨道电路由室内处理单元、室外调谐单元、S 棒、连接电缆以及钢轨构成。如图 3-54 所示。

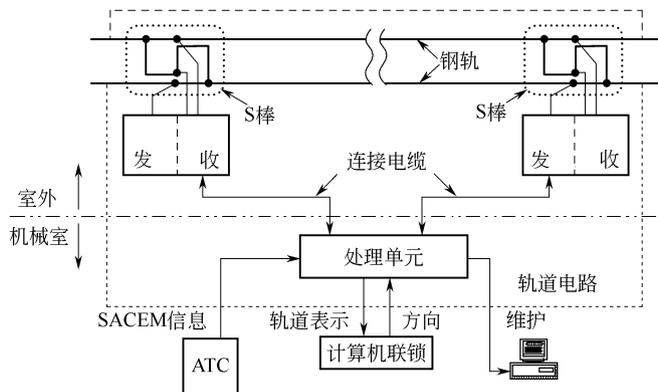


图 3-54 DTC921 型轨道电路框图

处理单元设于车站信号机械室内,用于发送、接收及处理信号;两个调谐单元谐振于本段轨道电路工作频率;S 棒和调谐单元共同把发送信号耦合到钢轨上。处理单元具有与 ATC、VPI(计算机联锁)设备的接口,ATC 设备提供轨道电路发送给列车的 SACEM 报文信息(机车信号),另外还提供维护用的接口。

## 二、处理单元工作原理

处理单元的主要功能原理如图 3-55 所示。

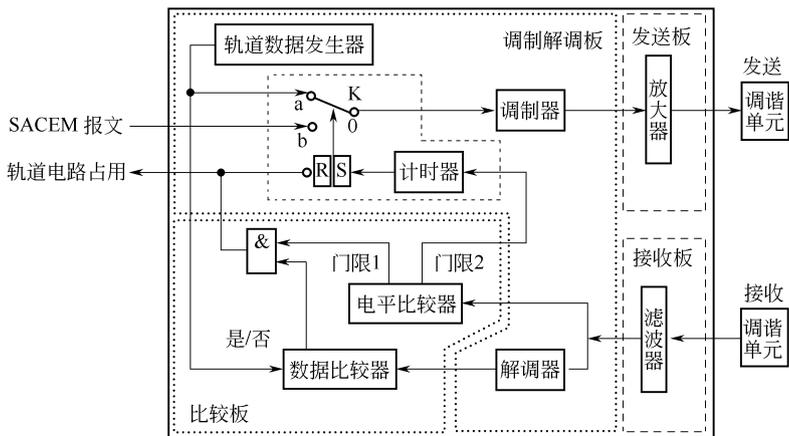


图 3-55 处理单元主要功能原理框图

处理单元由发送/接收板、比较板以及调制解调板组成。电路中的门限 2 高于门限 1,以保证开关 K 置“a”值大于置“b”值(类同轨道继电器返还系数)。

本段轨道空闲时,调制解调板产生 400 bit/s 的轨道电路调制数据(简称轨道数据),以分配给本段的载频,用 MSK 调制方式发送至钢轨。

接收部分的数据比较器将解调后得到的轨道数据与调制电路的轨道数据比较,如果一致就表示轨道数据收悉;电平比较器检测接收信号的电平,如果接收信号电平高于门限 1,而解调后的数据又与本轨道数据一致,则与门输出“1”,开关 K 置“a”,继续向轨道发送轨道数据,并向 VPI 发送轨道电路空闲信号(+24 V)。

如果轨道被列车占用,列车轮轴分路轨道信号,信号接收电平低于门限 1,则与门输出“0”,开关 K 置“b”,调制数据改为 500 bit/s 的 SACEM 报文,经由钢轨发送给列车,用于列车自动控制。

当列车出清本轨道电路时,电平比较器得到高于门限 1 的电平,但是开关 K 置“b”,所收数据与轨道数据比较不一致,不能立即发送空闲信号。当电平高于门限 2 的电平时,触发计时器,计时结束后进行接点转换,开关 K 置“a”。解调器收到轨道数据,当数据比较一致后并满足电平要求后,向 VPI 发送空闲信号。所以,列车出清轨道后要经过一定的延时才可以发送空闲信号。

## 三、S 棒及调谐单元工作原理

S 棒与调谐单元、钢轨以及连接电缆并联谐振于所处轨道的载频,用于选频及滤

波。调谐单元中含有可调电感,用以调整谐振频率在载频中心频率,见图 3-56。一个调谐单元由两个对称部分组成,分别用于前个轨道电路的接收和后一个轨道电路的发送。 $f_x$  是左边轨道电路的载频频率, $f_y$  是右边轨道电路的载频频率。采用的是注入式自耦方式。

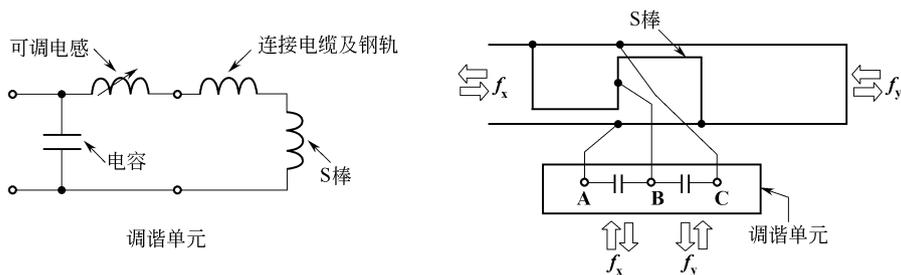


图 3-56 S 棒与调谐单元原理图

图 3-57 是 S 棒工作原理图。S 棒由两个半环构成,假设右半环用于向左方向发送信号,那么下一个 S 棒的左半环则用于接收信号,这两个半环与它们所连接的调谐单元谐振于本轨道的载频。

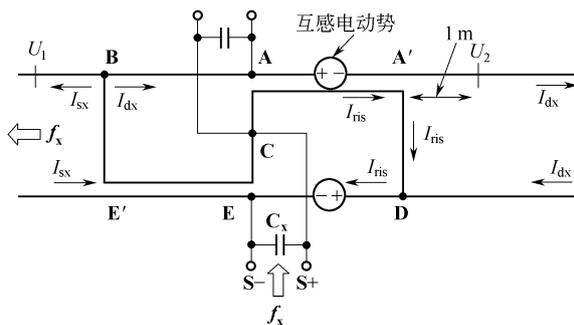


图 3-57 S 棒工作原理图

此外,S 形的设计可以使发送具有方向性。发送信号由 S+、S- 开始(这里只考虑正半周),S+ 端电流经过 C 到 B,再分成两路  $I_{sx}$ 、 $I_{dx}$ ,其中  $I_{sx}$  去向本轨道电路的接收端。经 C 到 D 方向的电流在流经 A A' 和 D E 时分别产生互感及自感电流与  $I_{dx}$  抵消,致使发送电流只向左发送。在发送方,S 棒两端外侧 1 m 处的轨面电压比值  $U_1/U_2$  应大于 2.5,在接收端的比值  $U_2/U_1$  应大于 2.2。S 形的设计可以消除轨道电路的“死区段”,即当列车轮轴在 A 点附近分路时,保证相邻两个轨道电路都处于占用状态,而不能出现都空闲的“死区段”现象。

在电气绝缘(S 棒)中有一段区域是信号电平模糊区段,由于信号电平低,而且又是两个频率的切换点,所以模糊区段中,车载设备所收到的信息是不可靠的。DTC921 型

轨道电路是采取如下措施来解决此问题的。

当列车通过此模糊区段(根据道碴及分路条件,最长 5 m)时,列车将忽略所接收到的信息,所以频率的转换不会影响车载设备的工作。这种处理方式是采用一种“传输间隙”的方式来处理的,是通过在进路地图内定义“传输间隙”奇点来实现的(奇点是位置信息,例如道岔位置,信号机位置)。当列车接近图 3-58 PK<sub>1</sub> 奇点,在时间  $t_1$  时,车载 ATP 将在当前接收报文的末端停止接收信息。然后在电气绝缘节区域内的 PK<sub>2</sub> 及时间  $t_2$  时切换接收频率,并搜寻适当区域(PK<sub>3</sub> 及  $t_3$ )内的报文,重新启动接收处理报文信息。PK<sub>1</sub> 的位置以及所要切换的频率信息在列车运行到模糊区段前已经提前存在于 SACEM 报文中的安全不变量发送给车载设备,车载设备在到达 PK<sub>1</sub> 后立即完成上述一系列动作。

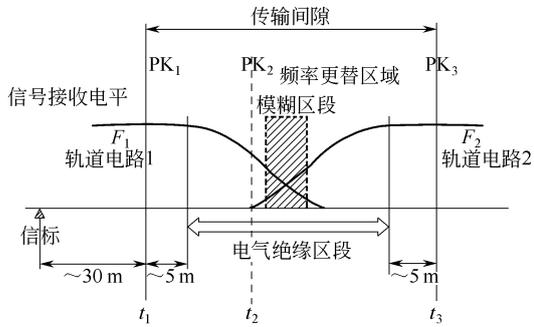


图 3-58 模糊区段

#### 四、轨道电路频率划分及方向性

由于此轨道电路没有绝缘节,为了避免干扰,频率的配置按照一定的规律安排,见图 3-59。此轨道电路提供 8 个频率,  $F_7$ 、 $F_9$  和  $F_{11}$  依次用于下行线,  $F_8$ 、 $F_{10}$  和  $F_{12}$  依次用于上行线。  $F_{13}$  和  $F_{14}$  用于特殊地区。各个频率以 400 bit/s 的速率调制不同的轨道数据(例如  $C_{19}$ 、 $C_{22}$  等)。每个频率分配 3 种轨道数据,例如  $F_7$  分配的是  $C_{19}$ 、 $C_{20}$ 、 $C_{21}$ 。轨道数据其实就是一系列 2 进制码(例如  $C_{19}$  是 7589、 $C_{20}$  是 7623、 $C_{21}$  是 8AB9)。

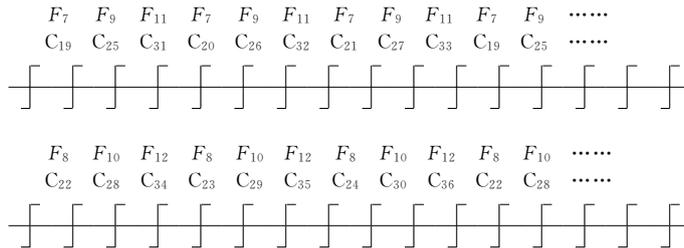


图 3-59 DTC921 型数字轨道电路频率配置

按照这种组合经过 8 个轨道电路才会出现频率相同轨道数据也相同情况,例如  $F_9/C_{25}$ 。由于信号的自然衰耗,在最不利条件下,这两段轨道电路也互不影响。

当轨道电路空闲时,各个载频调制轨道数据。一旦被占用,则轨道电路调制 500 bit/s 的 SACEM 报文。

无论轨道数据还是 SACEM 报文都迎着列车的方向发送。VPI 向轨道电路发送 DOT

命令(倒换方向命令),用于列车反向行驶。通过处理单元中的继电器可以倒换发送方向。

### 五、道岔区段的应用

由于道岔区段的存在,SACEM 信号在侧股采用环线发送的方式。环线的发送频率不同于直股(直股机车信号载频与本轨道载频相同),信号通过 LIU(环线调谐单元)发送给环线。与直股不同的是环线发送是时时发送(不间断发送),直股是轨道电路占用时才开始发送 SACEM 信号。SACEM 设备并联发送给各个道岔分支和直股,所以在整个道岔区段使用相同的 SACEM 报文。

道岔区段采用统一的轨道载频和轨道数据来实现列车占用检测和断轨检测。如图 3-60 所示,如果列车运行方向自右向左那么最左面的 S 棒为发送 S 棒,其他三个都起接收作用。图示为一送三受轨道电路。如果列车从左向右运行,VPI 发送 DOT 命令(倒换方向命令),则最右的 S 棒起发送作用。

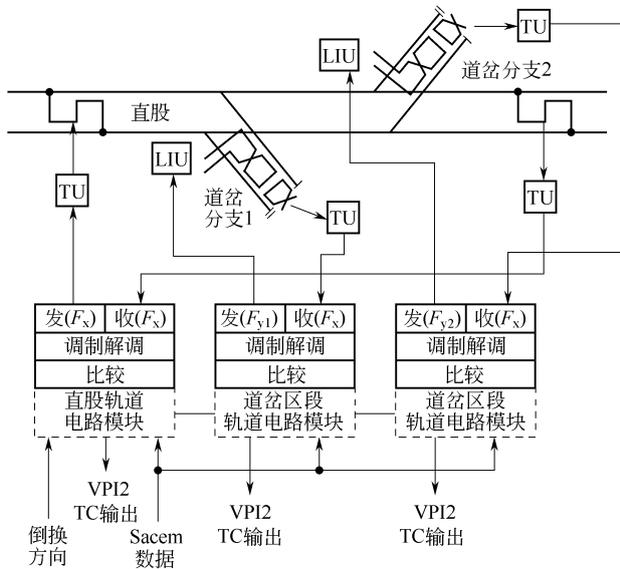


图 3-60 道岔区段轨道电路

TU—调谐单元;LIU—环线调谐单元。

### 六、报 文

#### 1. 报文的基本形式

报文由固定长度的帧组成,帧长度:80 bit+4 bit 的起始/停止符。

4 bit	64 bit	6 bit	10 bit 循环冗余校验码
起始/停止	信息	解码	第一级检测码

- “起始/停止”部分标志报文的起始与结束,4 bit;
- “信息”部分包含应用处理的有效信息,64 bit;
- “解码”部分包含用于变量以及临时限速的时间信息等,6 bit;
- “第一级检测码”用于检测和校正传输中的干扰,10 bit。

## 2. 报文的分类

报文(指 64 bit 信息位)按类型分为:安全相关不变量报文;安全相关变量报文;临时限速报文;非安全相关变量报文。

安全相关不变量报文是长报文,它包含进路地图中的一些不变量的信息数据,例如道岔、信号机、信标位置、永久限速点等。长报文长度比较长,长度小于或等于 512 bit,因为一帧只包含 64 bit 的有用信息,所以长报文要分成若干帧传送给车载 ATP,并且按次序循环发送。

安全相关变量报文属于短报文,只有一帧。它反映一些安全相关的变量,例如道岔位置、信号机状态等,一帧中变量的最大数量是 22。安全相关变量也是循环发送,但当安全性变量一旦发生变化,轨旁 ATP 设备立即通过轨道电路发送给车载 ATP 设备。例如此时正在发送长报文,当地面安全相关变量发生变化时,立即打断长报文发送,插入发送安全相关变量,等发送完成后再继续长报文的发送。

临时限速报文属于长报文,它向车载 ATP 提供线路的临时限制速命令,一个传输区有 4 帧临时限速信息,并循环发送。

非安全相关变量报文属于短报文,只有一帧。它包含一些非安全的变量以及同步时间信息,并循环发送。

所有的这些报文都有自己的二级检测码,来保证信息位的传输正确性。二级检测码包含在 64 bit 信息位中,和上文所述的第一级检测码一起来保证码位的传输正确性,来克服由轨道电路发送 500 bit/s 的 SACEM 信息所增加的误码率。

## 第十节 国产化试验型数字轨道电路

数字轨道电路(Digital Track Circuit,缩写为 DTC)的主要功能是:实现列车占用检查并将此信息传至区域控制中心;接收区域控制中心的列车运行的目标速度、空闲轨道区段、临时限速信息、运行方向及进路信息等经轨道电路传送给列车。

数字轨道电路在 ATP 系统中起着信息传递的作用,轨道电路把控制中心发出的命令传递给列车,同时将列车的位置信息(以轨道电路区段单位)返回给控制中心,控制中心据此形成后续列车的控制命令。轨道电路具备双重作用——列车占用检知和信息传递。

区域控制中心(ICU)与 DTC 之间的信息交换是通过现场总线 CAN 来实现的,DTC 与车载系统(On-board system)之间的信息传递通过钢轨线路与车载传感器的配

合来完成。

### 一、结构及工作原理

DTC 内部结构如图 3-61 所示。通信板接收 ICU 发出的列控命令,将数据解包后,分送给各个轨道电路发送、接收设备。发送板根据通信板送来的列控命令形成 DTC 信息,调制后送功放,经传输设备、钢轨回送至接收板。接收板对信号解调并判断轨道电路区段是否有列车占用,将此信息报告给通信板。通信板把轨道电路状态报告给 ICU。同时为了使 ICU 及时了解 DTC 设备的工作情况,各单元设备将自身的工作状态报告给通信板,然后由通信板将数据打包发送给 ICU。列车进入轨道区段后,通过装设在前部的传感器接收控制命令。

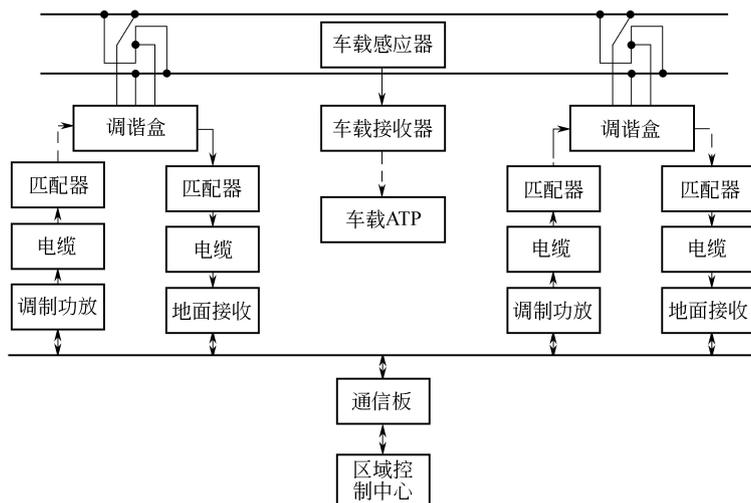


图 3-61 DTC 内部结构图

数字轨道电路采用谐振式电气隔离方式,设备集中在机械室,信号由电缆传送到钢轨。轨道电路与区域控制中心的接口采用数字方式,信息编码及轨道区段列车占用/空闲检测均为无接点方式。

### 二、技术条件

信号载频共有 8 种:9.5~16.5 kHz,频率间隔为 1 kHz。

频偏:±100 Hz。

调制方式:MSK。

传输速率:400 bit/s。

信息量:最大允许 48 bit。

系统工作时的牵引方式:直流 1 500 V/750 V,交流 50 Hz。

### 三、可靠性及安全性设计

#### 1. 可靠性设计

- (1)采用模块化设计,功能单一;
- (2)设备故障自检测,报警及时;
- (3)系统采用双系统结构,不停机更换故障设备;
- (4)采用成熟的元器件,以使元器件的缺陷影响降到最小。

#### 2. 安全性设计

- (1)设备采用 2 取 2 的结构,比较输出;
- (2)采用闭环检查方式,减少故障输出;
- (3)通信方式采用定期应答方式。

### 四、设备组成

#### 1. 通信板(TU)

通信板是区域控制中心和轨道电路通信的中继,主要功能是配合 ATP 区域控制中心更及时有效地和轨道电路通信。通信板通过 CAN 总线接收 ATP 区域控制中心发送来的数据,经数据分包后发向各轨道电路,同时接收各轨道电路的状态信息,编码后发送给区域控制中心。

一个通信机柜包括主备两个通信板和 8 个(最多)轨道电路机笼。区域控制中心最多配置 10 个通信机柜,如图 3-62 所示。通信机柜中通信单元为双机热备结构,由主备通信板构成,通信机柜和区域控制中心 ICU 通过 CAN 总线通信,CAN 总线为双冗余

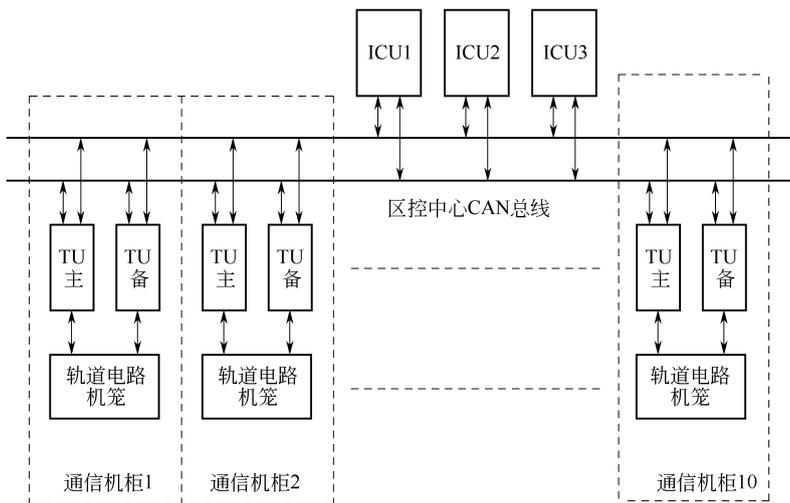


图 3-62 通信机柜示意图

结构(总线 1 和总线 2),平时主备机同步工作,主备机在每个通信周期都接收由 ICU 下发的数据,在主机有故障时,切换到备机工作。通信单元时刻监视着轨道电路设备的工作状态,及时上报 ICU。

单一通信板为双 CPU、双 CAN 总线结构,主备机的软硬件完全相同。通信板中任何输入和输出的数据都要经过双 CPU 的比较一致以后才予以处理和执行。

## 2. 发送板

发送板的主要功能是根据区域控制中心的数据产生高精度、高速率的调制信号,并通过功放发送到轨道电路。

### (1) 信号特性

MSK 是一种正交调制方式,从频带利用率和信噪比来比较,MSK 调制是一种理想的方式,其频带利用率可达  $1.8 \text{ bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ ,比特差错率为  $10^{-4}$  时需要的信噪比仅为  $9.4 \text{ dB}$ 。MSK 信号的载频、频偏以及码元宽度存在着严格的对应关系,它与普通的 2FSK 信号的差别只是选择两个传信频率  $f_1$  和  $f_2$ ,使这两个频率的信号在一个码元期间的相位积累严格地相差  $180^\circ$ ,它是 CP-FSK 的特殊情况,这种调制方式能获得与 PSK 相同的性能,而且具有 CP-FSK 所固有的良好频谱特性,信号功率谱在主瓣外衰减得较快,对信号带外辐射功率小,便于实现同步和接收。

### (2) 发送系统框图

为增加设备的可靠性,在无人值守的情况下也能安全工作,发送设备为双机热备结构,其结构框图如图 3-63 所示。

一个通信机柜由最多 8 个轨道电路机笼组成。轨道电路和通信板通过 CAN 总线通信。CAN 总线也为双冗余结构(总线 A 和总线 B),平时主备机同步工作,主备机在每个通信周期都接收由通信板下发的区控中心数据,同时也发送自身状态到通信板。所不同的是主机的调制信号可以输出,而备机不输出,在主机有故障时,切换到备机工作。通信单元时刻监视着轨道电路设备的工作状态,及时上报区域控制中心。

### (3) MSK 信号的产生

采用直接数字频率合成技术(DDS)产生 MSK 信号,频率合成是从一个或多个参考频率中产生多种频率的技术,它的原理框图如图 3-64 所示。

可编程 DDS 系统的核心是相位累加器,它由一个加法器和一个  $N$  位的相位寄存器组成, $N$  一般为  $24 \sim 32$  位。每来一个外部参考时钟,相位寄存器的值以步长  $M$  增加。相位寄存器的输出与相位控制字相加,然后输入到正弦查询表地址上。正弦查询表包含一个周期正弦波的数字幅度信息,每一个地址对应正弦波中  $0^\circ \sim 360^\circ$  范围的一个相位点。查询表把输入的地址相位信息映射成正弦波幅度信号,驱动 DAC 输出模拟信号。

### (4) CAN 通信总线

发送器的 CAN 总线结构为双冗余结构,有 A 和 B 两条总线。发送器上的 CPU<sub>1</sub>

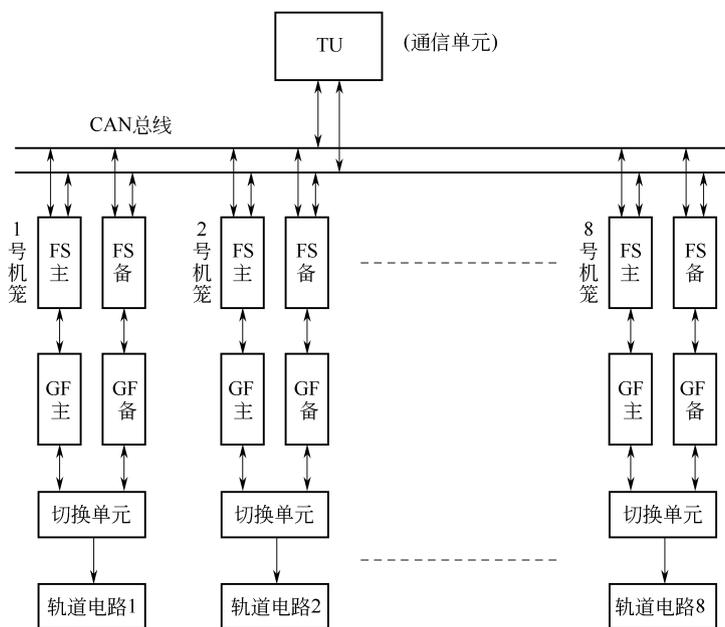


图 3-63 发送系统框图

FS—发送板；GF—功放板。

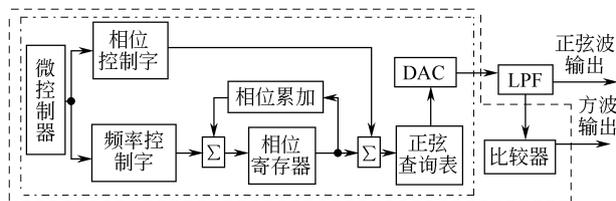


图 3-64 频率合成原理框图

和 CPU<sub>2</sub> 同时与两条总线相连,但 A、B 总线只是硬件的冗余,它们之间不比较数据,只有 CPU<sub>1</sub> 和 CPU<sub>2</sub> 之间比较数据。A、B 总线都同时接收发送数据,但只用一个总线上的接收数据,当一个总线故障时,换用另一个总线上的数据,其原理相当于双机热备。

#### (5) 双 CPU 工作原理

每个发送板都有双 CPU,发送板从 CAN 总线接收到的数据后,每个 CPU 都各自对数据进行验证(列控数据中含有轨道电路号)、编码,最终的数据进行比较,比较一致后才送到 DDS 发送,否则则认为这一帧数据有误,连续 5 次得不到有效数据则认为是故障。CPU<sub>1</sub>、CPU<sub>2</sub> 之间通过同步串口协调工作、互相检测状态。数据的安全是通过双 CPU 的比较来保证的。

#### (6) 双机切换

工作时主机输出安全与动态信号,主继电器吸起,而备机不输出安全与动态信号,备继电器落下。主、备继电器都有检测接点,每个 CPU 都能检测到两个继电器的状态。两个继电器的同时吸起和同时落下都不会有信号输出。发送器必须是在主机状态,且载频、码率和功放电压检测都正确时才使继电器吸起。主、备发送器通过异步串口协调和互相检测状态,在主机有故障时且备机没有故障时切换到备机,此时主、备机的状态互换。

#### 3. GF-D50 型功放板

数字轨道电路要求较高的发送功率(约 50 W),因此采用高效能的 D 类功率放大器。D 类放大器的输出场效应管工作在开关状态,即只工作在截止和导通两种状态,故功率晶体管的耗散功率很小,放大器效率较高,仅需要有效面积较小的散热器,改善了设备运用环境条件,适宜在 ATP 系统设备中应用。

#### 4. 接收板

接收板的主要功能是从轨道电路上接收信号,进行幅度判决、解调和识别帧,将解调后识别的帧的内容和发送板来的信号提取的帧的内容进行一致性比较,正确地判定轨道电路占用或者空闲;和 CAN 总线进行通信,正确及时地传送自己的轨道电路状态和其他状态。

##### (1) DSP 配置

CPU 采用 TI 的 DSP TMS320F206,它是一种高性能、低价格定点 DSP 芯片。它具有以下特点:指令周期 50 ns;指令向下和 TMS320C25 兼容,向上和 TMS3205X 兼容;片内拥有 32 K 字的闪烁存储器(Flash memory),利用闪烁存储器存储程序,不仅成本低,减小了体积,系统升级也比较方便;拥有 64K 的程序寻址空间,64K 的数据寻址空间,64K 的 I/O 寻址空间;单周期乘累加指令;可以软件编程的等待状态(0~7)发生器;JTAG 扫描仿真接口。

##### (2) 占用/空闲判决

轨道电路占用/空闲判决过程如图 3-65 所示。

单个 CPU 的 RAM 检测、幅度判决和帧一致性比较结果都影响到单个 CPU 的轨道电路占用/空闲判决结果。如果幅度判决高,解调的帧内容和发送器直接送来的帧的内容比较一致,RAM 检测正确,那么 CPU 判决空闲。如果幅度判决低,或者解调的帧内容和发送器直接送来的帧的内容比较不一致,或者 RAM 检测不正确,那么 CPU 判决占用。

两个 CPU 的轨道电路状态判决结果进行比较,如果两个 CPU 都判决空闲,输出空闲;如果一个 CPU 判决占用或者两个 CPU 都判决占用,输出占用。

两个 CPU 的轨道电路状态判决结果再进行延时判决,如果轨道电路状态发生变化,那么变化后的状态必须保持一定的时间,轨道电路判决状态才变化。这个时间称为

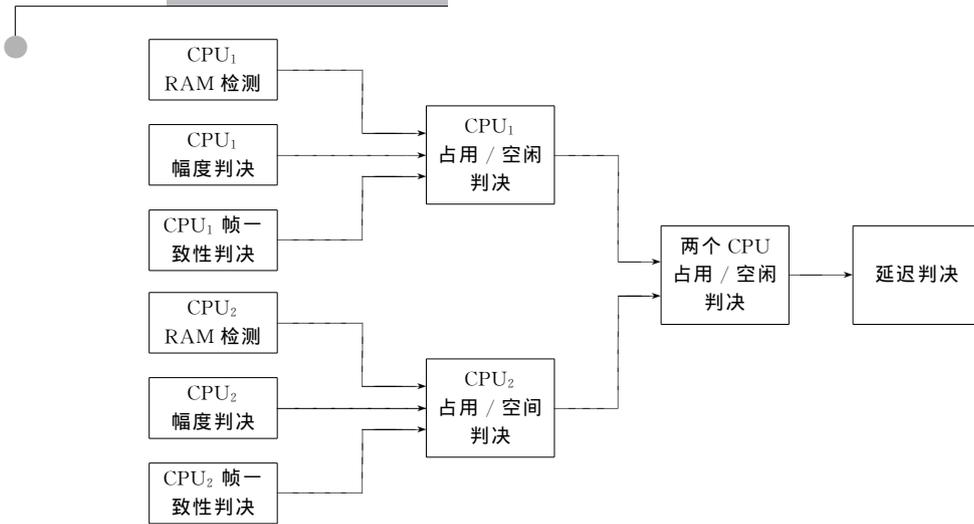


图 3-65 轨道电路状态判决过程

响应时间。

轨道电路状态从空闲到占用的响应时间为 2~2.5 s,从占用到空闲的响应时间为 1.5~2 s。

### (3) 可靠性及安全性

两个硬件滤波器,两个 A/D 转换器,两个 CPU 并行工作,以提高系统的可靠性。

动态检查外部 RAM,相当于动态检查数据线和地址线,如果长时间检查错误,会导致轨道电路状态判决占用。

将解调得到的帧内容和发送器直接送来的帧内容进行比较,必须帧比较一致,才可能判决轨道电路空闲。

如果轨道电路状态发生变化,那么新状态必须保持一定的时间,轨道电路判决状态才变化到新状态,避免了由于瞬间干扰而导致的误判。

两个 CPU 通过双口 RAM 交换数据,如果长时间没有数据更新或者数据不正确,会导致轨道电路状态判决占用。

两路 CAN 总线并行工作,保证能够及时地将轨道电路状态等信息向上汇报。

## 第四章

# 联锁设备

联锁设备是城市轨道交通的重要信号设备,用来在车站和车辆段实现联锁关系,建立进路,控制道岔的转换和信号机的开放,以及进路解锁,以保证行车安全。联锁设备分为正线车站联锁设备和车辆段联锁设备。联锁设备早期采用继电集中联锁,现在多采用计算机联锁。

### 第一节 联锁设备概述

#### 一、联锁及联锁设备

##### 1. 联锁

联锁是铁路信号保证行车安全的重要技术措施,指的是信号设备与相关因素的制约关系。广义的联锁泛指各种信号设备所存在的互相制约关系。狭义的联锁,即一般所说的联锁专指车站信号设备之间的制约关系。为保证行车安全,联锁关系必须十分严密。

车站内有许多线路,它们用道岔联结着。列车和调车车列在站内运行所经过的径路,称为进路。按各道岔的不同开通方向可以构成不同的进路。列车和调车车列必须依据信号的开放而通过进路,即每条进路必须由相应的信号机来防护。如进路上的道岔位置不正确,或已有车占用,或敌对进路已建立,有关的信号机就不能开放;信号开放后,其所防护的进路不能变动,即此时该进路上的道岔不能再转换。信号、道岔、进路之间的这种相互制约的关系,称为联锁关系,简称联锁。

##### 2. 联锁的基本内容

联锁的基本内容包括:防止建立会导致机车车辆相冲突的进路;必须使列车或调车车列经过的所有道岔均锁闭在与进路开通方向相符合的位置;必须使信号机的显示与所建立的进路相符。

进路上各区段空闲时才能开放信号,这是联锁最基本的技术条件之一。如果进路上有车占用,却能开放信号,则会引起列车、调车车列与原停留车冲突。这是绝对不容许的。

进路上有关道岔在规定位置才能开放信号,这是联锁最基本的条件之二。如果进路上有关道岔开通位置不对却能开放信号,则会引起列车、调车车列进入异线或挤坏道岔。信号开放后,其防护的进路上的有关道岔必须被锁闭在规定位置,而不能转换。

敌对信号未关闭时,防护该进路的信号机不能开放,这是联锁最基本的技术条件之

三。否则列车或调车车列可能造成正面冲突。信号开放后,与其敌对的信号也必须被锁闭在关闭状态,不能开放。

### 3. 联锁设备

控制车站的道岔、进路和信号,并实现它们之间的联锁关系的设备,称为联锁设备。联锁设备可以采用机械的、机电的或电气的方法来实现,可以分散控制也可以集中控制。

联锁设备有继电集中联锁和计算机联锁两大类设备。

用电气的方法集中控制和监督全站的道岔、进路和信号机,并实现它们之间联锁的设备称为电气集中联锁设备,简称电气集中联锁。若是用继电器组成的电路来进行控制并实现联锁的设备,称为继电式电气集中联锁,简称继电集中联锁。继电集中联锁采用色灯信号机,道岔由转辙机转换,进路上所有区段均设有轨道电路,在信号楼进行集中控制和监督。

电气集中联锁把全部道岔、进路和信号集中起来控制和监督,在一定程度上实现了站内行车指挥的自动控制,能准确及时地反映现场行车情况,不再需要分散控制时所需的联系时间,而且完全清除了因联系错误而引起的事故,因而大大提高了行车安全程度和作业效率,并且极大地改善了行车人员的劳动条件。电气集中联锁具有操作简便、办理迅速、表示完善、安全可靠等一系列优点。

计算机联锁大大提高了继电集中联锁的功能,并方便设计、施工、维修和使用。计算机联锁正在迅速发展,是车站联锁设备的发展方向。

### 4. 联锁设备的功能

联锁设备能够响应来自 ATIS 的命令,在满足安全的前提下,控制进路、道岔和信号机,并将进路、轨道电路、道岔和信号机的状态信息提供给 ATIS 和 ATP/ATO。

联锁功能包括:

(1)联锁逻辑运算:接收 ATIS 或车站值班员的进路命令,进行联锁逻辑运算,实现对道岔和信号机的控制。

(2)轨道电路信息处理:处理列车检测功能的输出信息,以提高列车检测信息的完整性。

(3)进路控制:设定、锁闭和解锁进路。

(4)道岔控制:解锁、转换和锁闭道岔。

(5)信号机控制:确定信号机的显示。

### 5. 联锁设备的基本要求

联锁设备应符合下列规定:

(1)确保进路上进路、道岔、信号机的联锁,联锁条件不符时,禁止进路开通。敌对进路必须相互照查,不得同时开通。

(2)装设引导信号的信号机因故不能开放时,应通过引导信号实现列车的引导作业。

(3) 应能办理列车和调车进路, 根据需要设置相应的防护进路。

(4) 联锁设备宜采用进路操纵方式。根据需要, 联锁设备可实现车站有关进路、端站折返进路的自动排列。

(5) 进路解锁宜采用分段解锁方式。锁闭的进路应能随列车正常运行自动解锁、人工办理取消进路和限时解锁并应防止错误解锁。限时解锁时间应确保行车安全。

(6) 联锁道岔应能单独操纵和进路选动。影响行车效率的联动道岔宜采用同时启动方式。

(7) 车站站台及车站控制室应设站台紧急关闭按钮。站台紧急关闭按钮电路应符合故障—安全原则。

(8) 联锁设备的操纵宜选用单元控制台。控制台上应设有意义明确的各种表示, 用以监督线路及道岔区段占用、进路锁闭及开通、信号开放和挤岔、遥控和站控等。

(9) 车站联锁主要控制项目包括: 列车进路、引导进路、进路的解锁和取消、信号机关闭和开放、道岔操纵及锁闭、区间临时限速、扣车和取消、遥控和站控、站台紧急关闭和取消。

## 二、继电集中联锁

继电集中联锁电路曾有过多种制式, 但经使用, 并几经改进和完善, 6502 电气集中被认为是较好的定型电路, 而在我国铁路得到广泛应用。

上海地铁 1 号线、北京地铁 1 号线车辆段、广州地铁 1 号线车辆段等均采用 6502 电气集中。

### 1. 6502 电气集中

#### (1) 6502 电气集中的主要技术特征

6502 电气集中是组合式电路。也就是按道岔、信号机和轨道电路区段为基本单元设计成定型的单元电路, 称为继电器组合, 简称组合。将各种组合按站场形状拼装起来即成为组合式电路。组合式电气集中具有简化设计、加速施工、工厂预制、便于维修等优点。6502 电气集中几乎是用定型组合拼成的, 只需设计少量零散电路。

6502 电气集中采用双按钮选路方式, 只需按压两个进路按钮, 就能转换道岔、开放信号, 而且不论进路中有多少组道岔均能一次转换, 简化了操作手续, 提高了效率。

6502 电气集中采用逐段解锁方式。它把进路分为若干段, 采用多次分段解锁的方式, 即列车或调车车列出清一段解锁一段。

6502 电气集中电路动作层次清晰, 各网路线和继电器用途明确。

#### (2) 6502 电气集中的设备组成

电气集中包括室内设备和室外设备, 其组成如图 4-1 所示。室内设备有控制台、区段人工解锁按钮盘、继电器组合及组合架、电源屏、分线盘等。室外设备有信号机、转辙机、轨道电路, 以及连接室内外设备的电缆线路。

### ① 控制台

控制台是车站值班员指挥列车运行和调车作业的控制中心,用来控制道岔的转换和信号的开放,并对进路、信号、道岔进行监督。控制台设于车站值班室内。

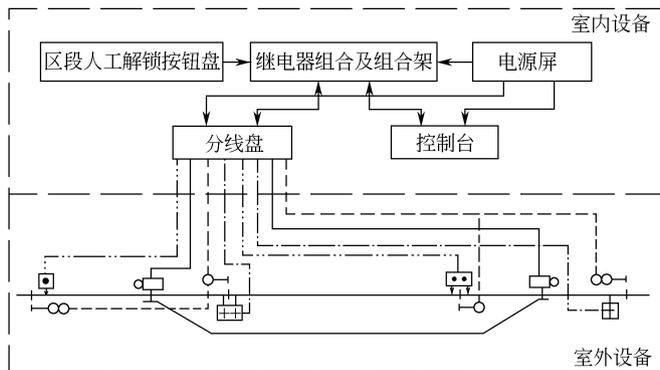


图 4-1 继电器集中联锁设备的组成

控制台采用单元拼凑式,由各种单元拼装而成,便于生产和站场变更时的改建。控制台上设有各种按钮和表示灯。表示灯现采用发光二极管。

### ② 区段人工解锁按钮盘

区段人工解锁按钮的作用是,在更换继电器、轨道电路停电恢复等情况下使设备解锁恢复电路的正常状态;在道岔区段因故不能解锁时办理故障解锁;在取消进路时若发生不能关闭信号的情况下也可用来关闭信号。

区段人工解锁按钮盘上设有多个二位自复式带铅封的事故按钮,对应于每个道岔区段或有列车经过的无岔区段设一个。区段人工解锁按钮盘与控制台同设于控制台室内,但须与控制台隔开一定距离。操作时须一人按控制台上的按钮,另一人按区段人工解锁按钮盘上的按钮,以免单人操作而危及安全。

### ③ 继电器、继电器组合和组合架

用继电器构成的电气集中电路,所需的继电器少则上千多则愈万。对于由这么多继电器构成的十分复杂的逻辑电路,在长期的设计、施工、维修的实践过程中,发现电路与车站站场线路的布置形状有关,即以道岔、信号机及轨道区段为控制和监督对象。这样,就可以按信号机、道岔和轨道区段作为基本单元,设计成几种定型的单元电路,这种单元电路称为继电器组合,简称组合。6502 电气集中电路是按车站信号平面图,用组合来拼接而成的。任何一个站场都可以按所布置的信号机、构成站场的道岔形状以及划分的轨道电路区段,选用相应的组合拼接起来,以组成整个站场电路。这种与站场相似的网络结构的优点有:简化电路结构,节省继电器接点,同样用途的继电器可以接在同一网路上,不用反复检查同样的条件;图形规律性强,与站场信号平面图相似,便于设计施工与维修;有利于组合单元电路的标准化和提高定型率,适于批量生产。

继电器插在继电器组合中,组合安装在组合架上。其构成的电路完成全站信号设备的联锁关系,执行对室外设备的控制和监督。组合和组合架的数量取决于车站规模。

#### ④电源屏

电源屏是电气集中的供电装置,供给稳定、可靠、符合使用条件的各种交、直流电源。要保证不间断供电,且不受电网电压波动和负荷变化的影响。可根据车站规模的大小选用容量合适的电源屏。

#### ⑤分线盘

分线盘连接室内、外设备,完成内外设备相互间的电气联系。分线盘设于继电器室。

#### ⑥电缆线路

电缆线路是连接室内、外设备的传送信息通道。

室外设备的信号机、转辙机、轨道电路详见第二章和第三章。

### (3)6502 电气集中的工作原理

6502 电气集中电路的动作层次是:先选择进路,再锁闭进路,然后开放信号,最后是解锁进路。

6502 电路是继电逻辑电路,包括网路电路和局部电路。网路电路的形状与站场形状相似。6502 电气集中的主要电路由 15 条网路线构成,其中 1~7 线为选路电路,8~15 线为执行电路。据此,可将 6502 电路分为选择组电路和执行组电路两大部分。

选择组电路由记录电路和选路网路组成,主要用来记录车站值班员按压按钮的动作,按要求自动选通所需进路,并将操作意图传给执行组电路。

在记录电路中,由按钮继电器电路记录按压进路按钮的动作,由方向继电器根据所按压进路的顺序来区分进路的性质和运行方向。

选路网路包括选岔电路和开始继电器电路。在 7 条网路线中,1~6 线是道岔操纵继电器动作网路线,组成六线制选岔电路,用来在排列进路的过程中自动选出进路上的各有关道岔所需的位置;第 7 线是开始继电器励磁网路,用以检查所选进路和所排进路的一致性。进路选定后,即将车站值班员的操作意图传达到执行组电路,构成执行组的动作条件。

执行组电路的作用是检查所有联锁关系,包括检查进路中的道岔位置、区段空闲、未建立敌对进路,实现道岔区段锁闭和开放信号,以及检查各种解锁条件完成进路的解锁。执行组电路可分为信号检查、区段检查、信号开放、锁闭及解锁等环节。

执行组电路主要由 8 条网路线组成。8 线是信号检查继电器电路,用来检查开放信号的可能性,即进路空闲、没有建立敌对进路、道岔位置正确。9 线是区段检查继电器和股道检查继电器电路,用来检查区段空闲,实现进路锁闭。10 线是区段检查继电器自闭电路,用来防止进路迎面错误解锁。11 线是信号继电器电路,检查进路上各区

段空闲并道岔位置正确,以及迎面敌对进路检查,符合条件即可开放信号。12、13 线为进路继电器网路,用来实现进路锁闭,完成进路的正常解锁、取消、人工解锁、调车中途返回解锁以及引导锁闭等。14、15 线是控制台光带表示灯电路。

除了 8 条网路线外,执行组电路还包括一些局部电路,如道岔控制电路、信号灯光控制电路、取消继电器电路、接近预告继电器电路、照查继电器电路、传递继电器电路、锁闭继电器电路,以及控制台的各种表示灯电路、报警电铃电路等。

#### (4)对 6502 电气集中的修改

如上海地铁 1 号线正线道岔联锁区段采用 6502 电气集中设备。为了适应地铁的要求,对设备做适当的修改。采用美国 GRS 公司生产的控制台。

根据地铁行车作业的需要,在原 6502 电路的基础上,设计了与 ATP 子系统的接口电路,增加了新的功能,主要有:

- ①自动信号,用于自动排列进路;
- ②自动进路,用于正向连续通过的进路;
- ③区间封锁,禁止列车进入某区间,用于区间维修作业等;
- ④区间限速,限速为 45 km/h;
- ⑤站台紧急关闭,乘客不慎坠下站台时使用,通过安装在该站台侧的紧急关闭按钮向足够数量的轨道电路发零速度命令,使列车不能进入站台;
- ⑥扣车,控制列车停站时间;
- ⑦发车表示器,发车 5 s 前闪白光,发车时间到亮白色稳定光,列车出清站台后灭灯。

#### 2. 其他继电集中联锁

北京地铁 1 号线改造信号工程的联锁正线车站采用通号总公司研究设计院研制的 9101 型整架式联锁电路。该电路可以实现中心控制及车站控制,并在其中的一方控制时,另一方不能实施进路控制。电路可以实现用于 ATC 列车的正常的自动闭塞运行方式;也可提供为非运营时间内的非 ATC 列车的运行的自动站间闭塞电路。站间闭塞时出站信号机的开放显示为绿色闪光。同时还具有在站控条件下,实现车站值班员选路、自动折返进路以及全自动折返进路控制的功能,其中全自动折返进路为先进先出方式。该电路不但实现联锁技术条件,而且完成了 ATP 编/发码功能。

北京地铁复八线正线采用非定型继电联锁设备,是由通号总公司研究设计院研发的零散组合继电联锁设备。

### 三、计算机联锁

随着微机技术的迅速发展,尤其是对于可靠性技术和容错技术的深入研究,计算机联锁正在取代继电集中联锁。根据各国对计算机联锁的研究和试用情况来看,计算机在逻辑功能和信息处理方面具有很强的功能,非常适用于车站联锁。

计算机联锁是用微型计算机的软硬件和其他一些电子、继电器件组成的具有故

障—安全性能的实时控制系统。其安全可靠,处理速度快,与继电集中联锁相比具有十分明显的技术经济优势,无论在安全性、可靠性、经济性等方面都是继电集中联锁无法比拟的,而且设计、施工、维修和使用大为方便。计算机联锁是铁路信号系统从有接点到无接点的飞跃,是信号设备采用计算机技术的重要突破口,它的研制成功和推广使用使铁路信号自动控制进入了一个新的发展阶段。

### 1. 计算机联锁的发展概况

车站联锁设备经历了从机械联锁到继电联锁的发展过程,并进行过电子联锁的试验,目前正在向计算机联锁发展。20世纪60年代中期,有些国家从设计可靠的计算机硬件入手,应用故障—安全元器件构成计算机,但因价格昂贵,没有得到推广。20世纪70年代后期,随着电子计算机尤其是微机的迅速发展和推广使用,以及可靠性技术的进步,各国相继研究计算机联锁,从软件入手,采用通用计算机,通过软件冗余来实现故障—安全。我国第一个计算机联锁于1984年在南京梅山铁矿地下运输线上正式开通,后陆续在冶金、矿山等铁路试用。1989年开始应用于国家铁路,20世纪90年代予以推广。

目前通过铁道部技术鉴定的有铁道科学研究院通号所研制的TYJL-II型、TYJL-TR9型计算机联锁,通号总公司研究设计院研制的DS6-11型、DS6-20型计算机联锁,北京交通大学研制的JD-1A型计算机联锁,卡斯柯公司研制的VPI型CIS-I型计算机联锁。为了进一步提高计算机系统的安全可靠性,又开发了2×2取2系统,有北京交通大学研制的EI32-JD型和通号总公司研究设计院研制的DS6-K5B型。

TYJL-II型计算机联锁已经运用于北京、广州、南京等地铁。VPI型计算机联锁已经运用于上海地铁。DS6-11型计算机联锁运用于大连快速轨道交通3号线。

而在上海地铁2号线正线则采用美国US&S公司的MicroLok II型计算机联锁系统。广州地铁1号和2号线正线、深圳地铁1号线正线、南京地铁1号线正线采用德国西门子公司的SICAS型计算机联锁系统。

### 2. 计算机联锁的特点

计算机联锁与传统的继电集中联锁的主要区别在于:

(1)利用计算机对车站值班员的操作命令和现场监控设备的表示信息进行逻辑运算后,完成对信号机、道岔及进路的联锁和控制。

(2)计算机发出的控制信息和现场发回的表示信息,均能由传输通道串行传送,可节省大量的干线电缆,并使采用光缆成为可能。

(3)用CRT屏幕显示代替现行的表示盘,大大缩小了体积,简化了结构,方便了使用,还可根据需要多台并机使用。

(4)采用积木式的模块化软件和硬件结构,便于站场变更,并容易实现故障控制、分析等功能。

在计算机联锁里,就不存在方向电路、方向电源的电路层次结构,对于长调车进路一次解锁、中途返回解锁等都能合理地实现。

与继电集中联锁相比,计算机联锁具有以下显著优点:

(1)进一步提高了安全性、可靠性

继电集中联锁只能在元器件的可靠性上下功夫,系统的可靠性就受到限制。例如,轨道电路不良,只能对轨道继电器提出种种要求,而系统仅能做到三点检查。计算机联锁就灵活得多,它能连续检查列车头部和尾部的位置,可以防止由于轨道电路分路不良造成的错误动作和漏解锁。计算机联锁采用二重系、3取2表决、 $2 \times 2$ 取2等冗余技术,增加了系统的可靠性。如软件冗余技术,对每台计算机设计两组程序,由于它们的数据结构不同,两组程序存入存储器的区域也不相同,两组程序以不同的步骤运算,对硬件的故障很容易发现,从而提高了系统的可靠性,同时因两组程序对外界干扰有不同的反应,通过比较电路很容易发现,即增加了抗干扰功能,外部比较器则采用故障—安全元件。

(2)增加和完善了功能

继电集中联锁虽然不断改进和完善,但受到继电电路的限制或由于费用昂贵等原因,在联锁功能方面仍存在不足。例如,由于轨道电路的误动而造成进路错误解锁的可能性仍然存在,以致妨碍进路的预排;再如,在转线调车作业过程中,如果调车车列越过折返信号机而继续前进,折返信号机前方的道岔区段有可能正常解锁,而折返信号机开放时,又不能将该解锁的道岔区段加以锁闭,可能危及行车安全。目前只能由调车员指示调车机车在车列刚刚全部越过折返信号机时立即停车以保证安全。此外,在折返调车作业过程中,机车只能在禁止调车的信号显示下运行(折返信号机前方的同向调车信号机在关闭状态),这不够严密。这些缺点,在计算机联锁系统中,可以用较少的硬件投资和发挥软件的作用加以克服。

因为计算机具有工作速度快、处理信息量大的特点,所以计算机联锁很容易实现自动控制功能,还能安全地实现自动选路和储存进路等继电集中无法完成的功能。运行图变更时,能自动选择最佳方案。计算机联锁不仅可以扩大控制范围,适用于任何规模的车站,而且还可以利用计算机进行站内行车业务管理,提高工作效率。CRT显示也较传统的表示盘灵活方便。

简化操作手续和减少人工直接干预,以减少和防止操作失误,是提高作业效率的重要途径。计算机联锁系统为提高办理列车进路的自动化程度创造了条件,较方便地与ATC系统相结合。

计算机联锁系统还能很方便地进行自身的管理,包括对操作人员的操作、设备工作情况的记录和打印,对电子器件、信号设备的检测、诊断并给出必要的表示、打印等。自监功能还能及时发现故障,确定故障位置。自动监测功能既用硬件也用软件来实现。

(3)方便设计

计算机联锁使设计工作为之一新。由于其采用模块结构,容易实现标准化,进一步提高了工厂化施工的程度。它将车站联锁的逻辑编成程序,不论站场如何变化,或遇到任何类型的站场,都不需重新改变硬件系统,只要补充和改变程序,即可满足联锁的要

求。它采用标准接口,不需增加设备就可以和其他自动化系统结合。当辅助设计系统完备后,线路图和进路表等车站固有的联锁条件以人机对话的形式输入后,即可自动做成联锁图表和数据外存。

#### (4)省工省料,降低造价

继电集中联锁全部采用继电器,组合间配线复杂,特别是信号楼和现场设备间所用电缆很多。由于计算机联锁可采用通用微机,用它取代成千上万只继电器,而且其价格日益低廉。计算机联锁的信息以可串行传输,这就可大大减少干线电缆。计算机联锁的室内设备的体积远小于继电联锁,可大大节约占地面积,这些都降低了造价。

此外,计算机联锁易于实现标准化,可缩短设计周期和施工周期,并可降低设计、施工、维护费用。由于施工、改建和故障修复时间的缩短,减少了对运输的干扰,其经济效益是显著的。据报道,目前计算机联锁设备的价格已接近继电联锁设备。计算机联锁之所以能付诸实用,经济合理也是重要原因之一。

### 3. 计算机联锁的基本原理

计算机联锁,通常采用通用的工业控制微机,由一套专用的软件来实现车站信号、进路、道岔间的联锁关系。它实质上是一个满足故障—安全原则的逻辑求值器,自动采集、处理信号机、道岔、轨道电路的信息,把车站值班员的控制命令和现场的各种表示信息输入计算机,再根据储存在计算机内的有关条件,进行联锁关系的逻辑运算和判断,然后输出信息至执行机构,实现对车站信号设备的控制和监督。它实现的是多变量输入和多变量输出的复杂的传递函数的转换。

#### (1)计算机联锁的硬件构成

##### ①室内外联系方式

计算机联锁室内设备与室外监控对象之间的联系有专线方式和总线方式两种。

专线方式像继电集中联锁一样,室外各监控对象(信号机、道岔、轨道电路)直接用专用的电缆芯线与室内设备相联系。其特点是,采用计算机联锁代替继电集中联锁的室内设备时,室外设备不需改造。专线方式可用于既有继电集中联锁的改造。

总线方式是将监控对象按位置划分为若干群,在每一群附近设一个由微机或继电器组成的集中器。集中器用来实现对象群与室内联锁机之间的控制和状态信息的交换。集中器是数传终端,没有联锁功能。各集中器可分别与室内联锁机联系,也可通过总线相联系。总线方式节省室内外联系电缆,而且使采用光缆成为可能。由于集中器紧靠对象群,这不仅节省集中器与对象群间的电缆,而且有利于克服电缆内的线间干扰。总线方式适用于新建集中联锁的车站。

##### ②按功能模块划分的多微机结构

按执行功能的微机数量划分,可分为单微机系统和多微机系统两类。在多微机系统中,将整个功能划分为若干相对独立的功能模块,分别由微机进行处理。根据功能的繁简,模块的划分不尽相同。有的仅划分为联锁模块和人机对话模块(处理与控制台、

键盘及 CRT 的信息交换)。有的划分为人机对话、联锁和维护三个模块。有的则划分为人机对话、联锁、维护、诊断与监控对象通信等模块。有的甚至将联锁模块再划分为选择和执行两个模块。

按功能划分为多个模块,分别由各自的微机进行处理,这便于设计、修改和扩展,而且多个模块具有相对独立的并行处理性能,可提高整个系统的处理速度。

### ③可靠的硬件结构

计算机联锁属于高可靠系统,提高可靠性的方法大致有避错法和容错法两类。避错法采用高可靠的部件和微机系统,提高施工质量及提供良好的工作环境,以减少系统失效的可能性。容错法则容许某种失效的存在,而使其后果不致造成系统工作失效,或能及时发现而缩短修复时间。

为了能及时发现故障,计算机联锁系统均采用故障检测硬件(需软件配合),如专用的维护处理器和诊断处理器等。为了在故障后使系统不至于停止工作,采取了二模动态技术和静态屏蔽技术。

二模动态冗余指主机故障时由备机(热备)自动代替。该冗余技术多用于人机对话模块和联锁模块中。

静态屏蔽技术是 3 取 2 表决技术,多用于联锁模块中。

### ④安全性硬件结构

晶体管是一种对称出错元件,不能仅以 1 和 0 来代表状态信息和控制信息,这些开关量必须以多元代码来代表才是故障—安全的。就是说,有关监控对象的状态和控制的所有开关量,在电子电路(包括微机本身)中的存储、传递和处理过程中必须以代码形式存在,才是故障—安全的。尽管利用编码理论可以实现电子电路内部的故障—安全要求,然而就目前的技术水平而言,对电子电路的安全性信息的输入和输出仍由继电器来完成。

状态信息的采集采用动态输入的方式。微机按规定格式周期地输出代码,该代码经继电器接点输入到微机中去。微机可检验输入的代码是否畸变来判断输入电路是否失效。

控制信息的输出采用动态驱动的方式,将控制码以串行方式输出。该动态输出经静态鉴别电路来驱动继电器工作。

## (2) 计算机联锁系统的软件概述

在多微机的计算机联锁系统中,每一微机都有相对独立的软件。为使微机之间能协调工作,还必须有类似操作系统的调度软件。这些软件应当是可靠的、高标准的和易于扩展的。不同的计算机联锁系统实现上述软件的组成和原则是不一样的。

### ①联锁的实现

联锁是一种比较复杂的功能。在实现联锁处理时,如果完全离开已由实验验证的继电集中联锁而另行研究一种新的逻辑算法,难免潜在着逻辑错误的危险。因此,以继

电集中所实现的联锁为依据编制联锁处理程序,一般认为是一种有效的途径。联锁程序原理上可由继电电路变换而成。

在设计继电电路时,由于继电器的接点数量有限,所以必须考虑接点的复用,或者说必须考虑合并电路的问题。而在程序设计中,接点相当于数据,而数据的使用是不受限制的,不需考虑电路合并所遇到的问题。

### ② 数据结构

在联锁程序中,参与逻辑运算的逻辑变量统称为数据。数据可按信号机、道岔和轨道电路等监控对象划分为相应的数据块。例如对一组道岔来说,在数据块中应包括道岔定位操纵、反位操纵、定位表示、反位表示、道岔锁闭等数据结构。数据量确定后,数据块的格式就定型化了,也就是说数据块本身与车站数据结构无关。

给定一个车站的信号平面布置图后,就可根据它选定全部数据块。进路表结构和站场形结构是两种可供选择的基本数据结构。

进路表结构中,各个数据块间没有联系,而是利用进路表指明每条进路所涉及的数据块。表中数据块是按对象类别列出的(也可按对象在进路中的顺序列出),进路表结构实际上记录了进路与对象间的关系。只要信号布置图不变,则进路表结构也不变。因此,它是静态数据结构,可固化在只读存储器中。通过进路表查询数据的过程是:根据操作信息确定进路号;根据进路号查到数据块的首址;根据数据块首址算出数据所在单元的地址,读出或写入数据。

站场形结构是指各个数据块在连接形式上和站场形状是一样的。假设以圆圈表示数据块所占用的存储区,并称之为结点。每个结点由数据场和指针场两部分组成。数据场用来存放数据块;指针场用来实现结点之间的联系,即用来指明相邻结点的存储首址,对于信号结点和轨道区段结点只能与相邻两个结点连接,所以每个结点仅需具有两个指针指明左右结点的首址。对于道岔结点来说,它有三个相邻结点,所以应有三个指针,以记录相邻结点的首址。在站场形数据结构中找出与进路有关数据块的过程是,在按压了进路始端和终端按钮后,首先确定了进路的始端数据结点和终端数据结点。由始端数据结点开始,按指针的连接方向搜索下去,总能找到一条由始端结点到终端结点的通路。如果这条通路与进路相对应,则这条通路上的结点就是与进路有关的数据块。

总的说来,进路表结构容易找到进路中的数据块,易于学习。但进路表本身占用的存储容量较大,且编制时容易出现疏漏。站场形结构占用存储容量较小,搜索过程不及进路表那样简明,但搜索程序是标准化的。站场形结构类似于 6502 电气集中的组合连接图,便于掌握,对于大型车站尤其如此。

通过数据结构找到进路上的数据块后,程序中所需数据即可从其中找到。

### ③ 程序模块化

一条进路从办理到解锁需经历一个过程。这个过程包括操作、选路、道岔动作、选排一致性检查、进路锁闭、信号开放等阶段,以及进路解锁阶段。阶段的划分与车站结

构无关,因此对应每一个阶段的程序应是模块化的。

对于每一个阶段的程序,也可按数据块的结构再划分为若干个子模块,这样可使联锁程序尽量模块化,以摆脱受车站结构的影响。

#### ④提高软件可靠性的措施

软件可靠性一般指软件本身完成指定功能的能力。对于联锁程序来说,就是指程序本身是否能正确地实现联锁要求。软件的缺陷或故障是指在开发设计阶段考虑不周造成的。在投入使用前,尽管经过检验和调试,也可能有潜在错误而未被发现。提高软件可靠性的措施,类似于提高硬件可靠性的措施,也是从避错、检测和屏蔽三方面来考虑的。在设计联锁处理程序时,参考设计继电集中联锁的经验,采用结构化设计方法,采用车站模拟系统对软件进行检验都是避免错误的重要措施。

在计算机联锁系统中,检测软件故障的技术多采用双软件技术(软件冗余),即针对同样联锁条件,由不同设计者,采用不同的数据结构、不同的程序结构甚至不同的语言设计成两套程序,将其运算的中间结果和最终结果进行比较,当比较一致时才有控制输出。在现实的计算机联锁系统中,有的将两套程序由一台微机执行,有的将两套程序分别由两台微机执行,甚至有的由两台微机各执行两套程序经过两次比较来检验运算结果的正确性。

软件故障屏蔽技术主要是采用三个功能相同的软件(三台微机分别执行或单机执行),就其运算结果进行多数表决。只要任何两个运算结果相同时,表决的输出即为可靠的。但目前的计算机联锁系统中还没有采用单机执行三个软件的系统。

应当指出,软件可靠技术虽然是针对软件故障设计的,但它对硬件故障和数据故障均有反映,所以从效果上看,它不仅提高了软件可靠性,而且提高了整个系统的可靠性。

## 四、城市轨道交通的联锁系统

城市轨道交通联锁系统存在很多与传统铁路电气集中系统不同的情况。例如,列车运行的三级控制、多列车进路、追踪进路、折返进路、联锁监控区、保护区段和侧面防护等。

### 1. 列车运行控制

列车进路由进路防护信号机防护,但列车在进路中的运行安全由 ATP 负责,这为城市轨道交通高密度行车提供了前提和安全保证。在设计中,ATP 与计算机联锁功能的结合,使计算机联锁的功能得到了加强。

列车运行进路控制采用三级控制,即控制中心控制(ATC 自动控制)、远程控制终端控制和车站工作站控制。

控制中心集中控制全线的列车运行(不包括车辆段内列车的运行控制)。系统根据列车运行时刻表及列车运行状况发出列车运行控制命令,并进行自动调整。在车站设

置必要的自动控制功能,控制中心故障时,转入站级控制。如图 4-2 所示。

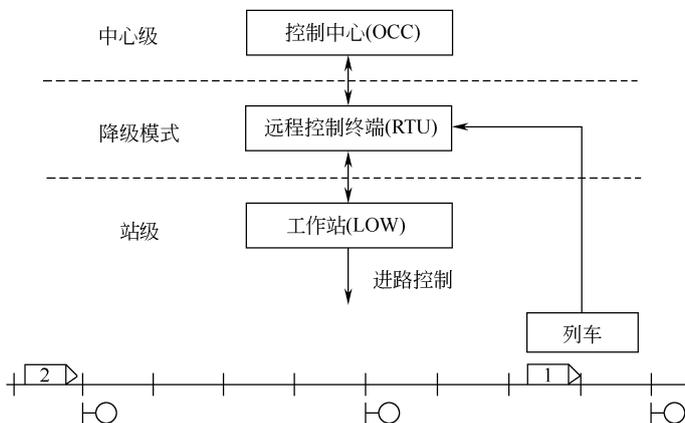


图 4-2 列车进路控制示意图

### (1) 中心级控制

中心级控制为全自动的列车监控模式,在该模式下,列车进路设置命令由自动进路设定系统发出,其信息来源于时刻表和列车运行自动调整系统。控制中心调度员也可以人工干预,对列车进行调整,操作非安全相关命令,排列和取消进路。

列车自动选路是 ATIS 系统的一部分,其任务是与联锁设备协同为列车运行自动地排列运行进路。为达此目的,进路自动排列具有这样的功能:其自动操作单元具有自动操作功能,而联锁系统根据来源于控制中心的自动进路设定系统排列进路指令,负责实际的安全排列进路。当许可校核得出否定结果时,联锁系统将向 ATIS 系统回送一个相应的信息,然后由 ATIS 系统重复传输相同的控制命令,直至达到规定的次数和时间。

### (2) 远程控制终端的控制

在控制中心设备故障或控制中心与下级设备的通信线路故障时,控制中心将无法对远程控制终端进行控制,此时系统自动地转入列车自动控制的降级模式。在降级模式下,由司机在车上输入目的地码,通过列车上的车次号发送系统发出带有列车去向的车次号信息,远程控制终端自动产生进路控制命令,联锁系统根据来自远程控制终端的进路号排列进路。在这种情况下,系统不具备列车运行自动调整功能,但对于高密度的列车运行,用此功能可以节省车站操作人员大量的精力。

### (3) 站级控制

在站级控制模式下,列车运行的进路控制在车站值班员工作站执行,但此时只要控制中心设备及通信线路功能完好,自动进路设置仍可进行。站级控制时,列车进路的设定完全取决于值班员的意图,值班员选择通过联锁区的预期进路。联锁控制逻辑检查进路没有被占用,并且没有建立敌对进路,然后自动排列通过联锁区的进路,锁闭进路,

在所有条件满足列车的安全运行后开放地面信号机,并允许 ATP 将速度命令传送给列车。信号机的开放表示通过联锁区的进路开通。

### 2. 多列车进路

进路分为单列车进路和多列车进路,这主要是因为城市轨道交通运行间隔小,车流密度大,列车的运行安全由 ATP 系统保护,所以在一条进路中可能出现多列列车在运行。如图 4-3 所示, $S_1 \rightarrow S_2$  为多列车进路,只要监控区空闲,以  $S_1$  为始端的进路便可以排出, $S_1$  信号开放。

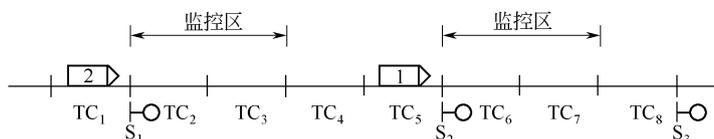


图 4-3 多列车进路示意图

对于多列车进路,当第 1 列车离开进路始端信号机后的监控区后,可以排列第 2 条相同终端的进路。第 2 条进路排出,第 1 列车通过后进路中的轨道区段直到第 2 列车通过后才解锁。

多列车进路排出后,如果是进路中有列车运行,则人工取消进路时,只能取消最后一次排列的进路至前行列车所在位置的进路,其余进路由前行列车通过以后解锁。人工取消多列车进路的前提是:进路的第 1 个轨道电路必须空闲。

如图 4-4 所示, $S_6 \rightarrow S_7$  为多列车进路,列车 1 通过  $TC_2$ 、 $TC_3$ 、 $TC_4$  以后,这 3 个轨道区段正常解锁,这时,可以排列第 2 条进路  $S_6 \rightarrow S_7$ , $S_6$  开放正常绿灯信号。如果列车 1 继续前进,则通过区段  $TC_5$ 、 $TC_6$ 、 $TC_7$  后,这 3 个区段不解锁,只有在列车 2 通过这 3 个区段后才解锁。

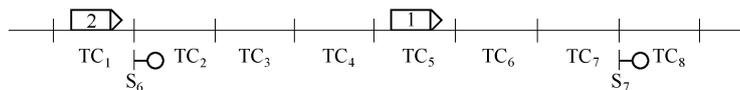


图 4-4 多列车进路排列图

若第 2 条进路排列后,又要取消,这时只能取消从始端信号机  $S_6$  到列车 1 之间的进路,其余的进路会随列车 1 通过后自动解锁。

### 3. 追踪进路

追踪进路为联锁系统本身的一种自动排列进路功能。列车接近信号机,占用触发区段(触发区段是指列车占用该区段时引起进路排列的区段,触发区段可能是信号机前方第 1 个接近区段,也可能是第 2 个接近区段,触发区段根据线路布置和通过能力而定)时,列车运行所要通过的进路自动排出。追踪进路排出的前提除了满足进路排出的条件外,进路防护信号机还必须具备进路追踪功能。

如图 4-5 所示,  $S_3$ 、 $S_4$  具有追踪功能,  $TC_1$ 、 $TC_5$  分别是以  $S_3$ 、 $S_4$  为始端的进路的触发区段, 列车占用  $TC_1$  时,  $S_3 \rightarrow S_4$  进路自动排出,  $S_3$  开放。列车占用  $TC_5$  时,  $S_4 \rightarrow S_5$  进路自动排出,  $S_4$  开放。

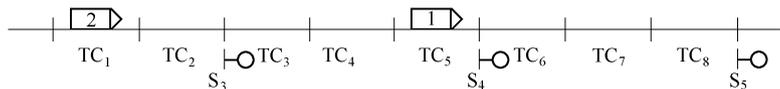


图 4-5 追踪进路示意图

当一信号机被预定具有进路追踪功能时, 则对一规定进路的进路命令便通过接近表示自动产生。调用命令被储存, 一直到信号机开放为止。接近表示将由确定的轨道电路的占用而触发。

当对一信号机接通自动追踪进路时, 也可以执行人工操作。若接收到接近表示之前已人工排列了一条进路, 则自动调用的进路被拒绝, 重复排列进路也不能被储存。

假如排列的进路被人工解锁, 则该信号机的自动追踪进路功能便被切断。

#### 4. 折返进路

列车折返进路作为一般进路纳入进路表。通常, 通过列车自动选路, 追踪进路或人工排列的折返进路从指定的折返线开始。

#### 5. 联锁监控区段

在铁路上信号机开放必须检查所防护进路的所有区段空闲, 而在装备准移动闭塞的城市轨道交通中, 开放信号机前联锁设备不需检查全部区段, 只要检查部分区段, 这些被检查的区段叫做联锁监控区段。

联锁监控区段即排列进路时信号机开放所必须空闲的区段, 一般为信号机内方两个区段, 如监控区段内有道岔, 则在最后一个道岔区段后加一区段作为监控区段。监控区段的长度, 应足够驾驶模式的转换。

进路设有监控区段时, 只要监控区段空闲, 进路防护信号机便可正常开放。

列车通过监控区段后自动将运行模式转为 ATO 自动驾驶模式或 SM 模式(ATP 监督人工驾驶模式), 列车之间的追踪保护就由 ATP 来实现了。

#### 6. 保护区段

为了保证列车的运行安全, 避免列车由于某种原因不能在信号机停住而导致事故的发生, 充分考虑了列车的制动距离及线路等因素, 在停车点后设置了保护区段, 即终端信号机后方的一至两个区段为保护区段。远类似于铁路的延续进路。

进路可以带保护区段或不带保护区段排出。如进路短, 排列进路时带保护区段; 多列车进路无保护区段时, 进路防护信号机可以正常开放。

根据设计, 保护区段可以在主体信号控制层内受到监督, 也可能不在主体信号控制层内受到监督。此外, 也有可能进路排列时直接征用保护区段, 或进路先排列, 保护

区段设置延时直至进路内的接近区段被占用。延时的保护区段设置是一种标准方式,为多列车进路内的每个列车提供保护区段条件。

当排列的运行进路无法成功地进行保护区段设置或延时保护区段设置没有成功时,保护区段可稍后设置,只要到达线和指定保护区段的轨道区段空闲,并且设置保护区段的条件得以满足。

在设定的时间(预设值为 30 s)截止之后,保护区段便解锁。延时解锁从保护区段接近区域被占用时开始。在列车反向运行情况下,保护区段的延时解锁仍将继续。

### 7. 侧面防护

城市轨道交通的道岔控制全部单动,不设双动道岔,所有的渡线道岔均按单动处理,也不设带动道岔。这些都靠采取侧面防护来防止列车的侧面冲突。侧面防护是指为了避免其他列车从侧面进入进路,与列车发生侧面冲突,这类似铁路的双动道岔和带动道岔的处理。

侧面防护可以分成两种:主进路的侧面防护和保护区段的侧面防护。防护主进路的侧面防护叫主进路的侧面防护,防护保护区段的侧面防护叫保护区段的侧面防护。

列车进路需要侧面防护是为了保证其安全的运行径路,侧面防护由防护道岔确保,或者通过显示红色信号来确保。

道岔为一级侧面防护,信号机为二级侧面防护。排列进路时先找一级侧面防护,再找二级侧面防护。无一级侧面防护时,则将信号机作为侧面防护。

侧面防护必须进行超限绝缘的检查。

侧面防护的任务是,通过操作、锁定和检测邻近分歧道岔,使通向已排运行进路的所有路径均不能建立。侧面防护也可通过具有停车显示和位于有侧面防护要求的运行进路方向的主体信号机来获得。在进路表中已为每一条运行进路设计了侧面防护区域。

如果采用了一个道岔的侧面防护,而道岔的实际位置和所要求的位置不一致时,则应发出一个转换道岔位置的命令。

当该命令不能执行(如道岔因封锁而禁止操作)时,该操作命令将被存储直至要求的终端位置达到为止。否则通过取消或解锁该运行进路来取消该操作命令。

排列进路时,除检查始端信号机外,还检查终端信号机和侧防信号机的红灯灯丝,只有这两种信号机的红灯功能完好,进路防护信号机才能开放。

当要求侧面防护的运行进路解锁时,运行进路侧面防护区域也将解锁。

## 第二节 TYJL-Ⅱ型计算机联锁

TYJL-Ⅱ型计算机联锁系统是铁道科学研究院通号所研制的,为双机热备系统。目前,已经投入运用的项目包括北京 1 号线四惠车辆段、广州地铁 2 号线车辆段、深圳

地铁车辆段、南京地铁车辆段、大连轻轨车辆段、重庆单轨交通、北京西直门至东直门快速轨道交通正线车站计算机联锁以及车辆段计算机联锁等。

## 一、系统特点

### 1. 系统具有高安全性

为提高系统的安全性,严格采用:闭环控制,对输出控制命令分层双重回读;信息采集动态检查,动态输出;多种软件冗余技术。采用专用的、无任何“黑箱”部分的软件平台和全部软件固化后“就地”运行的工作方式,提高系统软件的安全性。联锁总线采用专门研发的安全信息通道。

### 2. 系统具有高可靠性

为提高系统的安全性,采用了基于总线和网络通信的分布式计算机集中控制方式,双套联锁软件。

### 3. 系统具有很好的可用性

系统采用成熟的工业总线、双机热备结构,双机热备时,任何一套故障,不影响正常使用。故障设备在脱机状态下进行维修,系统的维修不影响使用。

软件采用模块化结构,只要改变相应的数据,而联锁软件不做任何变动,就能适应不同的站场的需要。

### 4. 具有可扩展性和远程控制能力

采用专门开发的联锁总线,可根据系统容量方便地增加执表机。

增加相应的通信模块,可以通过广域网、局域网的通信连接实现集中监视、远程诊断、场间联系功能。

### 5. 具有良好的可维修性

系统具有完善的在线、快速、完备的自检测和自诊断功能,及时发现故障,快速做出反应。故障时可有语音、文字和故障代码提示。

增加对室外信号设备的微机监测完善了车站计算机联锁系统的监测功能。

系统具有完善的记录和复现功能及远程诊断功能。

## 二、系统结构

TYJL-II型计算机联锁系统为分布式多微机系统,主要由监控机(又称上位机)、控制台、联锁机、执行表示机(简称执表机)、继电器接口电路、电务维修机、电源屏和室外设备组成。系统框图见图4-6,其中监控机、联锁机、执表机均为双套,具有热备、自动切换功能。各备用的计算机构成系统与主机同步工作,备用系统可脱机,作为试验维修用。

系统(不包括现场设备)可划分为三个层次:监控机为上层,联锁机是核心层,第三层是继电器接口电路。系统的上层使用通用的局域网实现各子系统之间的连接。监控机

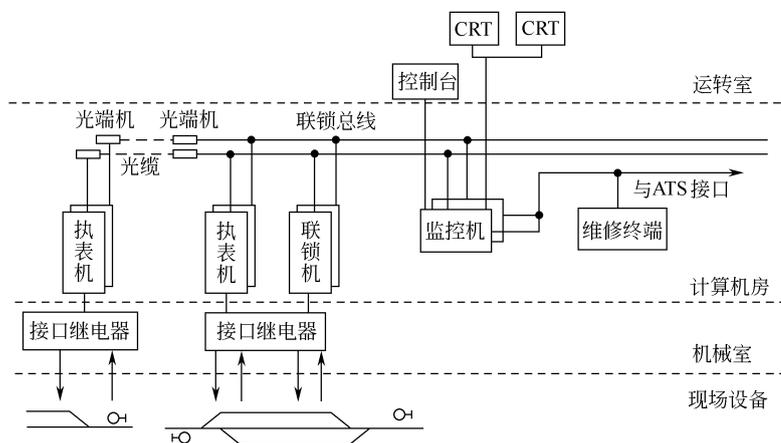


图 4-6 TYJL-II 型计算机联锁系统框图

与控制台之间通过视频线等线缆和切换装置组成的专用显示和命令通道连接。监控机与联锁机、执表机之间通过专用的联锁总线实现安全信息的通信连接,联锁总线是实时的现场控制总线,是系统的核心总线。

### 三、系统组成

#### 1. 监控机

监控机是监控系统的核心,包括工业控制计算机、控制台通信卡、联锁网卡、维修网卡等,安装在计算机机房的机柜中或微机桌上,通过引出的视频线、鼠标线、数字化仪线和语音线与车站值班员室内的控制台相连。

监控机采用标准的通用工业控制计算机。

系统的人机界面软件安装在监控机中,主要完成控制台屏幕显示、操作处理、进路预选、站场变化及设备工作状态记录、错误提示等功能。

#### 2. 控制台

控制台是系统使用的直接人机界面部分,主要用于采集控制命令信息,操纵道岔,办理进路,显示站场图像,由监控机管辖。

TYJL-II 型联锁系统的控制台可根据用户要求采用按钮盘+屏幕显示、拼装式光带显示按钮控制台、数字化仪或鼠标+屏幕显示等方式。目前推广应用最多的是鼠标控制台和数字化仪控制台。最新系统中的数字化仪能与鼠标控制兼容。

#### 3. 联锁机

联锁机的主要功能实现与上位机的通信调度,实现信号设备的联锁逻辑处理功能,采集现场信号设备状态,输出动态控制命令。

普通型的联锁机柜主要由电源模块、主机笼、接口板、总线切换控制盒、监控面板等

组成。由上到下依次大致可分为电源层、计算机层、采集层、驱动层和零层。

电源层主要由电源指示面板、采集电源、驱动电源和计算机电源组成。

计算机层采用的是 STD 总线标准的工业控制计算机。系统的通信通过两块通信板进行,由 STD-01(1)经切换控制后与监控机和执表机通信,由 STD-01(2)进行主、备联锁机之间的通信,以实现双机热备。

CPU 使用 I/O 接口板通过采集总线和驱动总线对采集板和驱动板进行控制和诊断。

CPU 板通过指示报警板,点亮计算机层面板上的运行、通信收发和中断等指示灯。

采集层主要由采集机笼、采集板以及与计算机层和电源层联系的扁平电缆、电源线及相应的接插件等所组成。

驱动层的机构与采集层的非常相似,主要由驱动机笼、驱动板以及与计算机层和电源层联系的扁平电缆、电源线及相应的接插件等所组成。

零层位于机柜最下层,主控系统最为重要的连接线缆从这里引入和引出。上面装有联锁总线切换盒、零层端子和接地端子等。

#### 4. 执表机

执表机柜结构与联锁机柜相近,只是没有计算机层。只有联锁机柜的容量不能满足车站监控对象数量的需要时,才设执表机。

#### 5. 接口系统

接口系统主要由继电器电路、配线和结合电路以及防护电路等组成。其在机械室内,对外与现场设备相连,对内与主控系统相连。TYJL-Ⅱ型计算机联锁系统基本完整地保留了 6502 电气集中对室外设备的控制和表示电路(如道岔控制电路、信号点灯电路等),以这些电路中的相关继电器(定/反位操纵继电器、定/反位表示继电器、轨道继电器、信号继电器和灯丝继电器等)为界面进行控制和信息采集。

现场表示信息的采集是由主控系统通过对相关继电器接点的数字量采集完成的。

输出驱动电路是直接参与控制室外信号机和转辙机的电路。为保证计算机联锁系统的安全输出,采用双输入动态继电器,或双输入动态驱动组合+偏极继电器。

在接口系统中增设的防护电路是为重雷区内增强系统雷电防护能力而设的,对电气化区段牵引电流的侵入亦有相当的防护能力。防护电路由强电防护插件组合、断线检查器和相应的配线构成。

#### 6. 电务维修机

为了方便电务维修人员更好地维护计算机联锁系统,系统中增加了电务维修机(简称维修机)。维修机通过与主、备监控机连接,接收计算机联锁系统中的实时信息,储存记录系统的全部运行信息。维修机是计算机联锁系统的重要辅助设备,为维修人员提供人机界面,与其他系统的连接一般也是通过维修机实现的。

维修机采用标准的工业控制计算机,配备维修网卡、远程诊断通信终端、彩色监视

器、键盘和打印机。

### 7. 电源

TYJL-II 型联锁系统计算机部分所使用的电源主要由两部分组成：机柜电源、动态电源。计算机机房内的设备采用 A、B 两路各自独立的供电方式。当设计有应急台时，该电源与应急台的工作电源互切。动态稳压电源为动态组合提供直流 30 V 局部电源，用以驱动 JPXC-1000 型继电器。

计算机系统的电源由配电柜提供。配电柜的输入来自电源屏，经 UPS 电路等的净化和稳压，再分配到计算机系统中的各种设备中。

### 8. 应急台

应急台作为计算机联锁系统的附属人机界面设备，在计算机联锁系统失效时用以控制道岔和引导信号。应急台有直观、清晰的站场图形表示，并有道岔位置及引导信号开放的表示。

## 四、系统软件

计算机系统软件按系统硬件的结构划分为三个层次：人机对话层、联锁逻辑运算层和执行层。每层又可根据功能划分为几个模块，系统软件的结构如图 4-7 所示。各种软件包之间由专用通信软件实现沟通。

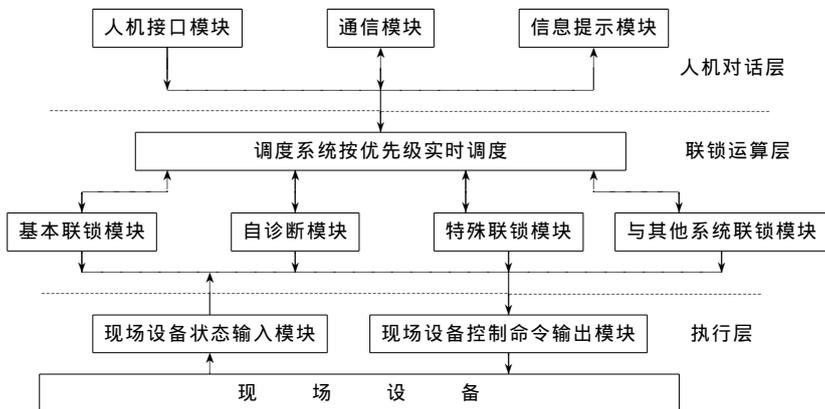


图 4-7 软件的层次结构

人机对话层主要包括按钮命令处理和进路初选软件、图像显示软件和记录、储存、打印软件。编制语言为 C 语言。

联锁逻辑运算软件分成：操作输入及控制命令形成模块、操作命令执行模块、进路处理模块、表示输出模块。联锁程序软件采用汇编语言编制。

执行层软件包括安全输入程序和安全输出程序。安全输入程序完成现场设备状态的读入。安全输出程序向现场设备输出控制命令。

## 五、接口电路

### 1. 信号点灯电路

图 4-8 为进段信号机点灯电路实例,该进段信号机为二显示加引导信号。调车信号继电器 DXJ 和引导信号继电器 YXJ 都落下,点亮红灯,禁止越过该信号机。DXJ 吸起,点亮白灯,允许越过该信号机。YXJ 吸起,点亮红灯和黄灯,为引导信号开放。

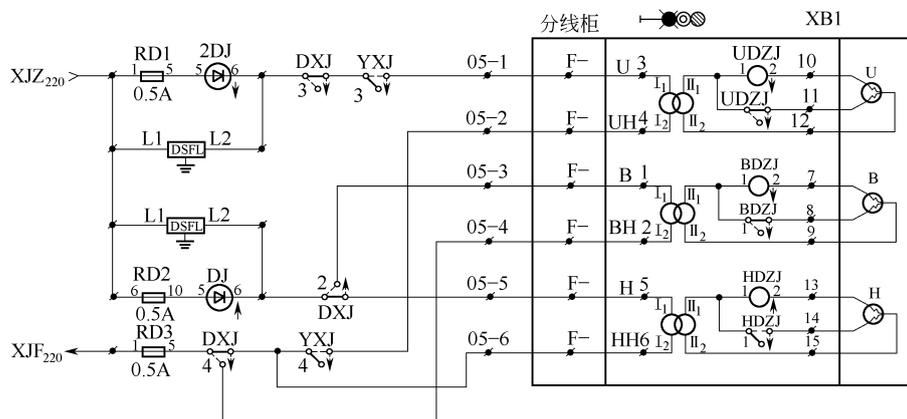


图 4-8 进段信号机点灯电路

DSFL—灯丝防雷单元。

图 4-9 为调车信号机点灯电路实例。DXJ 落下,点亮红灯,禁止调车。DXJ 吸起,点亮白灯,允许调车。

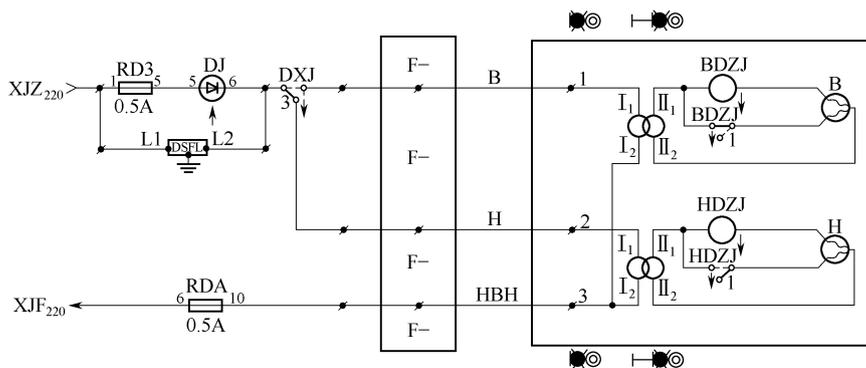


图 4-9 调车信号机点灯电路

### 2. 道岔控制电路

道岔控制电路采用四线制道岔控制电路。道岔启动电路对每组道岔设一套。

图 4-10 为单动道岔控制电路。

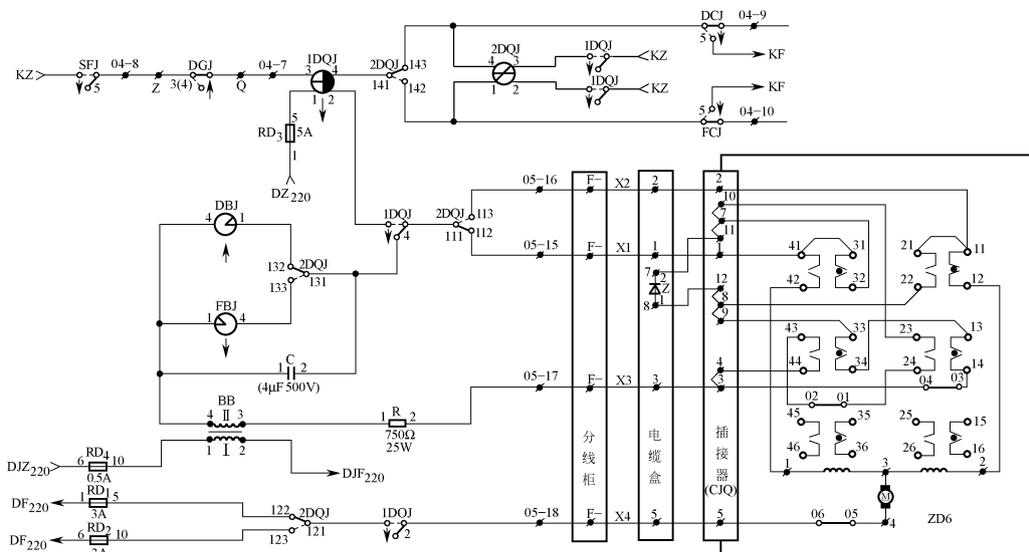


图 4-10 单动道岔控制电路

道岔控制采用进路操纵方式。计算机联锁按照选路的要求,选出进路上各组道岔应转向的位置,即某道岔是定位操纵继电器 DCJ 吸起,就接通道岔启动电路使该道岔转向定位;若是反位操纵继电器 FCJ 吸起,则接通道岔启动电路就使道岔转向反位。

为了行车安全,对道岔实行区段锁闭,道岔区段有车占用时,或道岔区段轨道电路发生故障时,轨道继电器 DGJ 落下,不准道岔转换;对道岔实行进路锁闭,进路在锁闭状态时,锁闭防护继电器 SFJ 落下,不准进路上的道岔再转换。

## 六、与其他设备的结合

### 1. 与 ATS 系统的结合

联锁系统可与 ATS 设备互联,以便于向 ATS 中央系统提供车辆段的以下信息:

- 进路状态——进路的锁闭、占用、空闲。
- 信号机状态——进段、出段、调车信号的开放、关闭状态。
- 道岔位置——道岔的定位、反位、四开、挤岔状态。
- 轨道电路状态——轨道电路的占用、锁闭、空闲状态。
- 股道状态——股道的占用、空闲状态。

计算机联锁系统与车辆段 ATS 设备间,采用可靠的隔离措施,以确保不影响联锁设备的正常工作。

### 2. 与试车线设备的结合

联锁关系可以参照铁路非进路调车方式进行处理,设置非进路锁闭继电器。试车线的联锁受车辆段计算机联锁设备统一控制,当需要对列车进行动态试验时,计算机联锁设备按非进路调车方式下放对试车线的控制权;试车完毕后,经试车线控制室交权,信号楼控制室重新收回对试车线的控制权,有关信号机关闭,道岔延时 30 s 解锁。

### 3. 与正线联锁设备的结合

联锁关系可以参照铁路场间联系进行处理,设置照查继电器、轨道检查继电器。正线车站与车辆段之间的出、入段按列车方式办理;车辆段与正线车站间的接口电路考虑出段和利用转换轨调车时的联锁敌对照查条件以及对方防护信号机的状态;进、出段作业(转换轨至段内停车库)按列车方式办理。

## 第三节 VPI 型计算机联锁

安全型计算机联锁(VPI——Vital Processor Interlocking)系统是一种“故障—安全”的、以多处理器为基础的车站联锁信号控制系统。该系统由中美合资卡斯柯信号有限公司(CASCO)研制。VPI 型计算机联锁应用于上海地铁 2 号线车辆段、上海轨道交通 3 号线车辆段、上海地铁 1 号线北延伸。上海轨道交通 3 号线正线采用 ASCV (VPI2)计算机联锁系统。ASCV 系统保持了数字集成安全保障逻辑(NISAL)等技术,并对 CPU 速度和系统容量进行了全面升级,为双机热备系统。

### 一、系统特点

#### 1. 高安全性

VPI 型计算机联锁系统采用数字集成安全保证逻辑(NISAL)、I/O 端口 50 ms 周期独立相异校核字动态测试、独立计时器、双通道相异软件、固有故障—安全、组合故障—安全、反应故障—安全等获得国际认证的可编程安全系统设计技术,保证了系统的安全性。

#### 2. 高可靠性和高可用性

与行车指挥及控制相关的人机接口设备,采用全热备(冗余)的 Server/Client(服务器/客户机)体系结构。从 MMI 网络,到联锁机等设备均按动态冗余设计,任何模块故障情况下,不需人工确认,实现自动切换,使系统具有很高的可靠性。系统采用了独创的联锁机同步跟踪技术,系统局部故障时采用无扰动切换和自动重组技术;在系统设计中,组合应用了多媒体技术、CAN 现场总线技术,系统联锁机采用军标元器件和进口接插件,并满足信号设备大修周期的要求;工作温度可达  $-40\sim+70^{\circ}\text{C}$ ,提高了系统的可靠性和可用性。

### 3. 高防雷性能和抗干扰能力

系统采用多处理器、相互独立的计算机电源、防浪涌和双重电源防雷、机箱屏蔽接地、分区滤波等技术,使设备具有较高的防雷和抗干扰能力。

### 4. 接口电路简单,系统适用面广,维护手段齐全

系统与室外设备的接口采用普通安全型继电器,全面简化电路设计,降低接口电路造价,提高了接口电路的工作稳定性。VPI 支持单点和多点的安全型串行通信,采用开放的系统结构,使系统组态灵活,方便地构成车站或区域计算机联锁,并能与其他信号系统接口。系统容易扩展,并能与其他管理信息系统交换数据。

联锁机的操作系统具有全面的自诊断程序,实现对所有子系统全面的自动测试和故障定位,配备界面友好的系统维护台,操作维护简便,易于确认故障。其远程诊断接口可接至用户主管单位和卡斯柯信号公司 VPI 专用网管中心。

## 二、系统结构

VPI 型计算机联锁系统由人机界面(MMI)模块、联锁机、网络接口、系统维护台(SM)与室外设备接口电路及电源等组成,如图 4-11 所示。

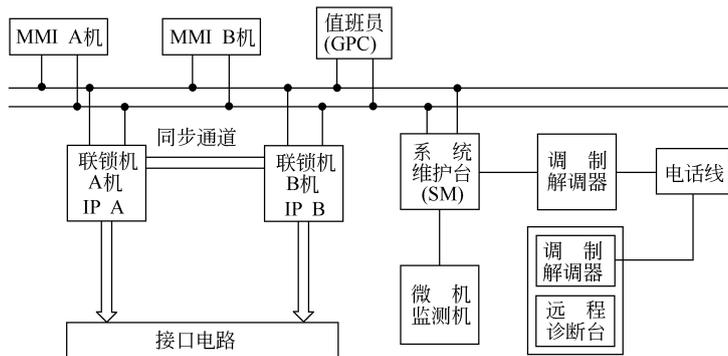


图 4-11 VPI 型计算机联锁系统

VPI 的双机热备按下列原则设计:联锁机双机热备;MMI 双机热备;UPS 双机热备,双机故障后自动旁路;双网冗余;任一 UPS、网络设备、联锁机和 MMI 正常,应保证系统自动重组时,系统仍可继续工作。这是 VPI 的一个重要特点。

### 1. 联锁机

联锁机是整个系统的核心,它包含双套联锁机和切换电路。典型的 VPI 联锁机硬件配置图如图 4-12 所示。

每个联锁机由安全型印制电路板和非安全型印制电路板组成。

安全型印制电路板包括中央处理器/多项式除法器 CPU/PD 板、安全型继电器驱动器 VRD 板、安全型串行控制器 VSC 板、安全型输入/输出总线接口 I/O BUS 板、安

全型输入 DI 板和安全型单断输出 SBO 板。非安全型印制电路板包括电码系统模拟器扩展 CSEX 板、非安全型输入 NVI 板和非安全型输出 NVO 板。

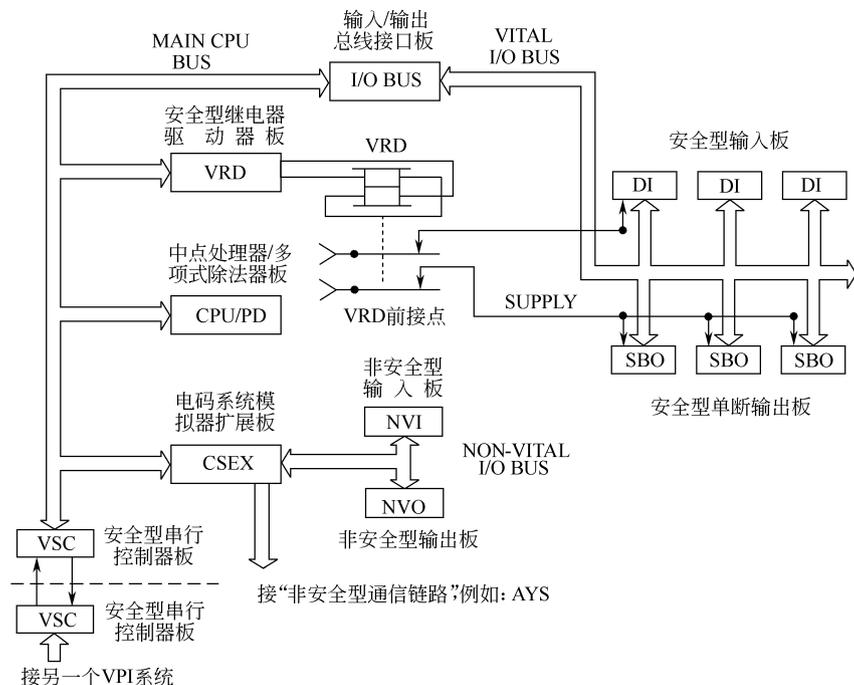


图 4-12 VPI 联锁机硬件配置图

其中,CPU/PD 板是联锁机的核心,它通过 CPU 总线(MAINCPU BUS)与 VRD 板、I/O BUS 板、VSC 板、CSEX 板(用于非安全型通信和逻辑处理)进行数据交换;DI 板、SBO 板经 VRD 板实时安全校验后,接收 CPU/PD 板的输入、输出命令;VSC 板用于与相邻的 VPI 系统进行安全型通信,而非安全型输入、输出板(NVI/NVO)则接受 CSEX 板的采集、驱动命令。

在上海地铁 1 号线,车站采用 6502 电气集中,CSEX 在车站上除了承担非安全型联锁电路外,还负责地面与列车的通信(TWC)以及车站与控制中心的通信。

VPI 联锁机包含一个以上的机箱。机箱用于放置各种安全型/非安全型印制电路板。系统的扩展是通过增设另一个或几个机箱,并将扁平电缆把它与主机箱相连接。一个机柜内可安装 3 个机箱。

## 2. 人机界面模块(MMI)

人机界面模块(MMI)是 VPI 与操作员之间的人机接口。命令由操作员给出,它可以直接与 VPI 的非安全型输入板接口,VPI 可用鼠标、数字化仪作为输入模式,它能模拟整个车站站场、轨道电路、信号、道岔等,并给出不同表示,同时用汉语语音系统给出语音提示或报警。

### 3. 冗余网络模块

VPI 计算机联锁系统采用基于集线器的星形结构和 10M 以太网技术,冗余网络结构进一步加强网络系统的可靠性。

### 4. 系统维护模块(SM)

主要为计算机联锁完成系统维护及接口设备监测的功能。本模块包括一台工业控制计算机、接口设备数据采集机、一台 15 英寸彩色显示器、一台激光打印机、鼠标、键盘。作为联锁计算机系统的模块,它实现网管、计算机联锁系统维护、运行记录、远程登录诊断、接口设备在线监视和记录。系统维护台采用 WINDOWS NT 操作系统。

## 三、VPI 软件

VPI 是计算机硬件和软件的独特结合,并在故障—安全方式下工作。VPI 系统软件有 5 个主要功能:输入、联锁运算、输出、系统校核(主校核)和输出校核。

### 1. VPI 软件的特点

- (1) VPI 系统软件的安全运行采用多重安全技术保证。
- (2) 两个不同的软件通道独立工作。
- (3) 对每个输入电路进行循环测试,以检查输入状态。
- (4) 把表达式中各种参数结合起来进行评估。
- (5) 输出状态是通过对代表输出状态的那些布尔表达式进行检测而确定的。
- (6) 进行系统验证。

### 2. VPI 软件组成

VPI 软件包括系统软件和应用软件。系统软件和应用软件各由两个 EPROM 插在 CPU/PD 板上。

VPI 系统软件包含 VPI 的安全型操作系统和 VPI“诊断软件”,不随具体的应用环境而变化。

VPI 应用软件安全型应用软件存放在 CPU/PD 板上的 EPROM 内,它是一套描述系统所应用的联锁逻辑运行过程的编码数据结构,数据由 VPI CAA 软件包生成。

## 四、接口电路

VPI 系统与室外信号设备的接口,是通过联锁机驱动安全型继电器和采集安全型继电器接点的方式实现的,并实现微机设备与控制对象隔离。由于 VPI 采用 NISAL 专利技术,微机输出控制只要采用普通的 JWXC-1700 安全型继电器,不需要价格较贵的动态继电器或动态组合电路,大大降低了室内接口电路工程造价,也简化接口电路结构,确保了输出驱动电路安全性和可靠性,使用维护方便,也降低用户的维修成本。

### 1. VPI 系统输出(控制)接口电路

VPI 输出接口电路方式有:继电器接口、直接控制室外信号设备、通过安全型串行口通信与其他安全系统互联(如 ATP 地面设备等)。

采用继电器接口方式时,进段信号机设列车信号继电器 LXJ、正线继电器 ZXJ、引导信号继电器 YXJ。出段信号机设列车信号继电器 LXJ。调车信号机设调车信号继电器 DXJ。道岔设切换继电器 QHJ(也可根据需要设 DCJ、FCJ)。

### 2. VPI 系统输入(采集)接口电路

VPI 系统输入(采集)接口电路采集道岔、信号机、轨道区段、电源、主灯丝断丝报警、熔丝断丝报警、轨道停电等状态。根据需要,采集输出继电器的反馈信息。

需要采集的内容有:道岔,定位表示继电器 DBJ、反位表示继电器 FBJ 前接点;信号机,灯丝继电器 DJ、2DJ 前接点;轨道区段,轨道继电器 GJ 前接点(一送多受时仅采集主 GJ);以及主副电源、主灯丝断丝报警、熔丝断丝报警、轨道停电有关继电器前接点。道岔动作电流根据需要。根据需要,采集输出继电器的反馈信息。

### 3. VPI 系统接口电源

UPS 至每个 VPI 机架,设一路 AC 220 V 电源。KZ(24 V)环接至每个 VPI 机架零层电源端子。

采集电源采用 DC 12 V,由 VPI 机架提供给组合架;采集电源也可采用 DC 24 V,由电源屏提供。

## 第四节 DS6-11 型计算机联锁

DS6-11 型计算机联锁系统是通信信号总公司研究设计院研制的,它采用高可靠的工业控制微机,运用网络通信技术构成多微机分布式控制系统,双机热备。DS6-11 型计算机联锁系统在我国铁路有较多运用。大连快速轨道 3 号线正线采用 DS6-11 型计算机联锁。

### 一、系统特点

1. 系统采取动态冗余的双机热备系统,设计自监测程序,实现双机自动切换,满足系统可用性要求。表示信息输入采用动态编码技术,控制输出采取动态驱动方式,满足故障—安全要求。安全信息采用 24 位冗余编码。运用软件冗余技术,单机执行双套联锁程序,运算结果软件比较,提高系统安全性。

2. 系统具有完善的诊断和测试功能。对系统的全部输入、输出、车站值班员的操作、信号设备动作和故障报警信息能够实时记录、查询、再现、打印,为查找分析故障提供帮助。

3. 硬件采用 PC 总线工业控制微机,可靠性高、兼容性好。整机结构考虑工业现场恶劣环境应用要求,防尘、防震、屏蔽、抗干扰性能好。系统具有完善的防雷设计,具有

优异的抗雷电冲击性能。

4. 软件开发贯彻运用了软件工程方法和管理措施,做到系统结构化、程序模块化、文档标准化。编程语言为 C 语言。兼容性、可维护性、可移植性好。

5. 计算机联锁系统人机界面全部为汉字显示,有多种可选的操作方法和表示方式,操作方法简便。

6. 具有远程通信接口,能够方便地与 ATS/CTC 系统连接。

7. 具有模块化和标准化的硬件和软件结构,满足开放性设计的要求,能够适合不同规模的站场要求,并且具有安装方便、便于维护维修,系统可扩展性强的特点。

8. 系统设置统一的标准时钟,可通过统一控制段的微机监测网实现时钟的统一校正。

## 二、系统结构

DS6-11 型计算机联锁硬件系统为多机分布式结构。系统由控制台子系统、联锁子系统、网络通信子系统、监测子系统、输入/输出接口和继电器接口电路组成,如图 4-13

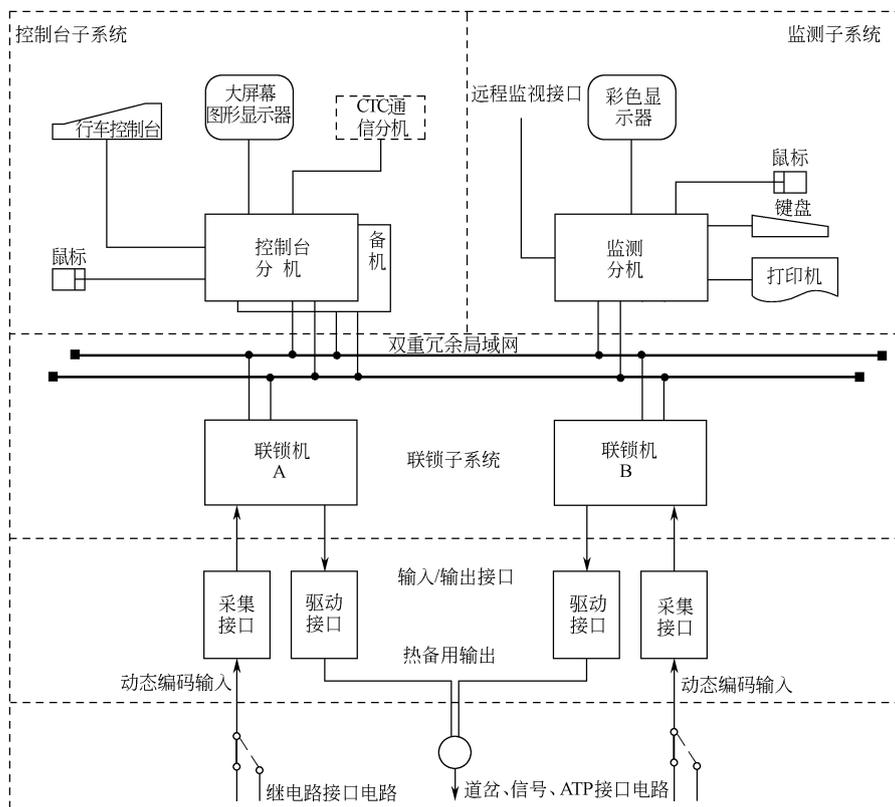


图 4-13 DS6-11 型计算机联锁系统构成图

所示。

### 1. 控制台子系统

控制台子系统是调度集中(CTC)分机接口和车站值班员的人机界面,由控制显示分机(简称控显机)、行车控制台、站场显示设备、控显机转换机箱和 CTC 通信接口设备组成。

控显机采用双机热备方式,它通过双冗余网络与联锁机和监控机进行通信,向联锁机发送控制台操作命令,从联锁机接收站场设备、进路状态、操作提示和报警等信息,并驱动图形显示器显示相关信息,同时将按钮操作信息发送给监测分机,用于监测和记录。控显机具有标准串行通信接口与车站 ATS 或 CTC 通信分机连接,向上传送车站信号设备的当前状态,并接收 ATS 或 CTC 系统下发的各种控制命令,转换为进路控制命令由联锁机进行处理和执行。

行车控制台是办理行车作业的人机界面。控制台操作方式根据用户需要选定按钮式操纵盘、数字化仪和鼠标三种中的任何一种。站场显示设备采用图形显示器。

控显机柜采用 19 英寸机柜,从上到下依次安装监测机显示器、监测机键盘、监测微机、控显 A 机、控显机转换箱、控显 B 机。

监测微机采用 IPC-610 工控机。控显微机采用 PCI-610 工控机。

控显机转换机箱是控制台操作、显示设备及通信设备与控显机接口的转换装置。控显机采用双机,互为备用,但控制台的操作显示设备只有一套。当控显机切换时,转换箱在人工操作下实现控制台显示器、数字化仪、鼠标、语音输出与控显机接口的自动转换。

ATS、CTC 通信分机实现 ATS、CTC 控制中心与车站联锁系统的远程通信功能,完成联锁系统与 ATS 或 CTC 系统之间的信息交换。

### 2. 联锁子系统

联锁子系统由联锁机双机组成。它通过开关量输入接口采集现场信号设备状态,通过网络接受控显机发来的控制台操作命令,进行联锁和 ATP 速度控制逻辑运算;产生输出命令,通过开关量输出接口驱动继电器,实现对道岔、信号机和 ATP 速度的控制。

联锁机双机为动态冗余热备系统,两台联锁机具有完全相同的配置,可以互为主备机。联锁机的双机切换有自动切换和人工切换两种方式。

联锁机柜为 19 英寸的标准机柜。机柜内由上到下依次安装指示灯面板、联锁微机、光隔输出输入板机架、电源控制箱、UPS 电源。

指示灯面板上有交流电源指示灯、“运行”指示灯、“控制”指示灯。

联锁微机采用 ICS 工控机,机箱内装有 CPU 板、电子盘、显示卡、网卡、开关量输入输出接口板,接口板的数量根据车站规模的大小进行配置。

光隔输入/输出板机架用于安装光隔输入/输出板,其个数根据站场大小而定。

电源控制箱用于 UPS 电源的切换控制。

UPS 电源向系统中的计算机设备提供稳定的电源。

### 3. 网络通信子系统

网络通信子系统使计算机联锁系统构成一个局域网,实现各子系统间的信息传输与交换。它由分别安装在联锁计算机、控制显示分机、监测分机内的双网卡和传输介质构成。为提高系统的可靠性,网络按双重冗余配置。

### 4. 监测子系统

监测子系统是为了帮助计算机联锁系统管理和维护人员分析事故原因和查找设备故障而设计的子系统,由带有显示器、鼠标/键盘、打印机的监测分机组成。

监测分机配备有通信接口,可以通过局域网、广域网或串行通信接口直接与集中监视管理系统和远程监视中心相结合,也可通过调制解调器连接到通信线路上,通过拨号连接方式将监测信息发送到集中监视管理系统和远程监视中心。

### 5. 输入输出接口

计算机系统与站场信号设备之间的联系是通过继电电路实现的。输入/输出接口是微机系统与继电器接口电路之间的界面,输出接口电路通过驱动被控继电器实现对信号机和道岔的操纵,以及 ATP 速度继电器的控制。输入接口电路从继电器的接点取得表示信号设备状态的信息。

系统采取动态输出方式,可以采用直接驱动动态继电器或经动态板驱动直流继电器两种方式。为了提高输入信息的可靠性,输入接口的设计采用闭环工作方式和动态编码信号。

继电器接口电路是微机系统与室外信号设备之间的接口。主要有信号点灯电路、道岔控制电路等。电路中采用 AX 系列继电器。

DS6-11 型计算机联锁系统硬件配置,具体由联锁机柜 A、联锁机柜 B、控显机柜、运转室内设备(操作显示设备)、打印机、系统连接线、接口继电器及继电器架(或柜)和电源屏等组成,如图 4-14 所示。

## 三、软件系统

软件系统分为两个层次,内层为系统软件,外层为应用软件。

### 1. 系统软件

系统软件是各子系统的管理和控制软件,主要提供设备驱动、多任务管理和调度、中断控制、网络通信支持、图形显示等功能。系统软件由实时多任务处理程序、设备管理程序、软件调试工具三部分组成。

### 2. 应用软件

应用软件由站场数据库和应用程序两部分组成。

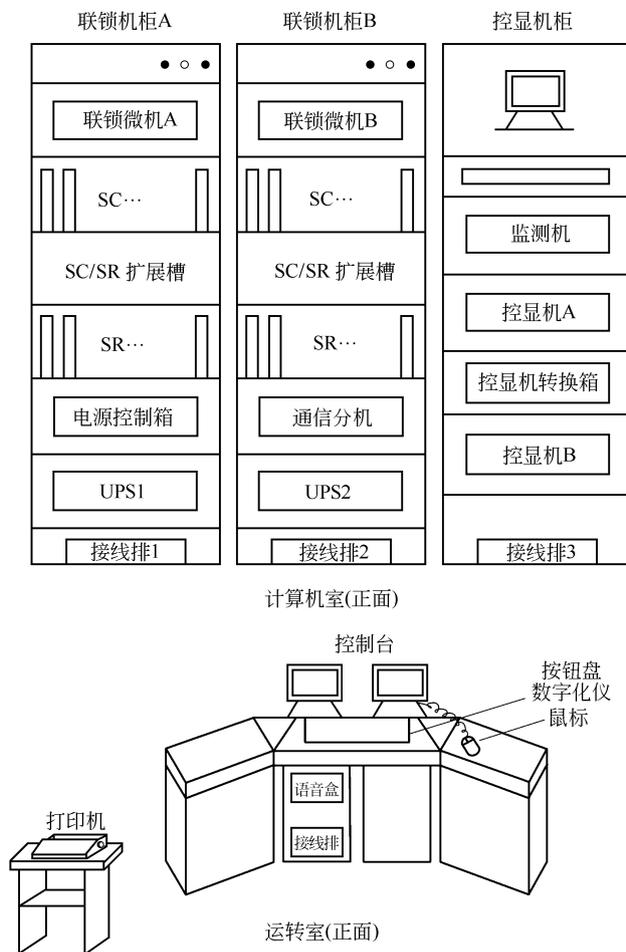


图 4-14 DS6-11 型计算机联锁系统硬件配置图

DS6-11 型计算机联锁系统应用程序全部采用 C 或 C++ 语言编写,整个应用程序划分为以下 8 个软件包:控制显示软件包、监测软件包、接口通信软件包、系统通信软件包、联锁软件包、输入/输出软件包、安全检查程序、辅助设计工具。应用软件结构如图 4-15 所示。

#### 四、与其他设备的结合

##### 1. 与 ATS、CTC 系统的结合

DS6-11 型计算机联锁系统与 ATS、CTC 系统的结合由控制显示分机实现,控制显示分机使用标准串行通信接口 RS232/RS422 与 ATS、CTC 进行结合。正线及车辆段(停车场)计算机联锁系统向 ATS、CTC 系统提供轨道占用/空闲、道岔位置、信号状

态、进路状态以及各种报警等信息,对停车场实现全场监督,车辆段计算机联锁还向ATS或CTC系统提供其他报警详细信息。

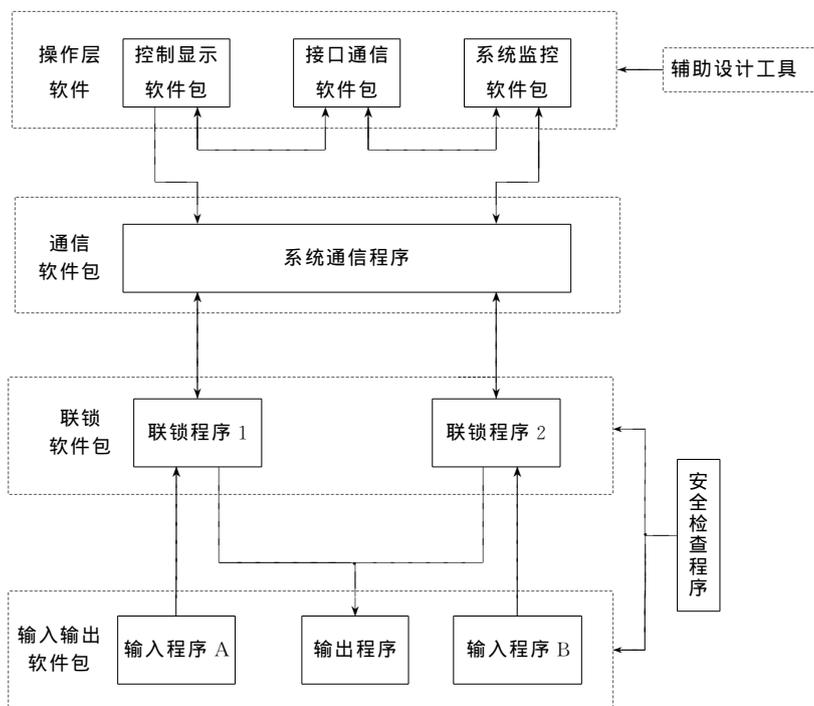


图 4-15 DS6-11 型计算机联锁应用程序结构图

## 2. 车辆段联锁与试车线设备的结合

试车线的联锁受车辆段计算机联锁设备统一控制,当需要对列车进行动态试验时,计算机联锁设备按非进路调车方式下放对试车线的控制权,即经试车线设备室按下“请求试车”按钮,信号楼在对试车线完成必要的联锁控制(试验列车停在规定的轨道区段内、试车线上的道岔锁于定位、有关信号机开放)后,将其控制权交由试车线控制室。试车完毕后,经试车线控制室交权,信号楼控制室重新收回对试车线的控制权,有关信号机关闭,道岔解锁。

## 3. 车辆段联锁与正线联锁设备的结合

正线车站与车辆段(停车场)之间的出、入段(场)线装设与正线相同的ATP地面设备。在车辆段(车场)内两处设有转换轨,入段(场)列车可分别在这两个转换轨处进行驾驶模式的转换,车辆段(车场)控制入段(场)信号机,车站控制出段(场)信号机。

## 4. 车辆段(停车场)联锁与洗车线设备的结合

在列车进入洗车库前,向洗车库设备室发出洗车请求,在得到同意后方可进入洗车库线进行洗车作业。

## 第五节 SICAS 型计算机联锁

SICAS (Siemens Computer Aided Signalling——西门子计算机辅助信号)型计算机联锁是德国西门子公司研制的。SICAS 计算机联锁可监督和控制道岔、轨道区段、信号机和包括单独操作或进路设置的其他室外设备部件,与 LZB700M 连续式列车自动控制系统相结合。

SICAS 型计算机联锁的安全性由以下措施来保证:统一采用受安全测试和认证的 SIMIS 技术;所用硬件有高度的有效性和可靠性;有彻底的电码防护措施,确保数据传输的高度安全性;通过校核和验证,确保联锁专用软件的正确功能。

### 一、SICAS 型计算机联锁系统构成

#### 1. 系统的结构

计算机联锁设备普遍分成五层,见图 4-16(a),分别为操作显示层、联锁逻辑层、执行表示层、设备驱动层以及现场设备层。西门子联锁设备对应分为:LOW(现场操作工作站)、SICAS(联锁计算机)、STEKOP(现场接口计算机)、DSTT(接口控制模块)以及现场的道岔、轨道电路和信号机,见图 4-16(b)。

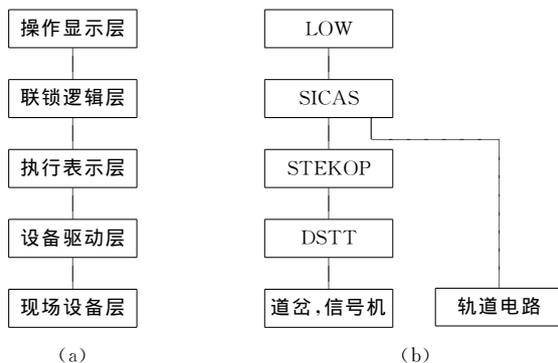


图 4-16 SICAS 型计算机联锁总体结构

(1)操作显示层。操作和显示功能是通过具有 VICDS OC 101 操作控制系统的人机接口来完成的。操作和显示的部件与联锁逻辑之间的通信经由一个统一的数据处理接口进行。这个接口允许具有安全和非安全功能的不同技术的连接,并且它能实现这些部件的独立配置。

(2)联锁逻辑层。主要功能是联锁逻辑运算,通过它完成操作员具体的命令,实现进路的排列、锁闭、监督、解锁,防止同时排列敌对进路。从执行表示层发出的命令通过数据处理接口传到联锁逻辑层,由其完成处理,所产生的结果状态和故障信息发回到操

作显示层。

(3) 执行表示层。负责控制、监视室外设备,并记录室外设备(信号机显示、道岔位置等)的状态和故障信息(信号灯位故障、电缆损坏等)。

(4) 设备驱动层。其功能是经由统一的数据处理接口连接到相应的系统中去,完成列车自动选路、列车自动跟踪、列车指示等功能,纳入列车自动控制系统。

此外还有与列车自动控制(ATC)系统和其他联锁(SICAS、继电联锁)的接口。

联锁逻辑层与执行表示层有三种可能的基本配置,如图 4-17 所示。一是带 DSTT 的系统,由 SICAS 直接经 DSTT 控制现场设备;二是带 DSTT 和 STEKOP 的系统,SICAS 经 STEKOP 和 DSTT 控制现场设备;三是带 ESTT 的系统,SICAS 直接经 ESTT 控制现场设备。

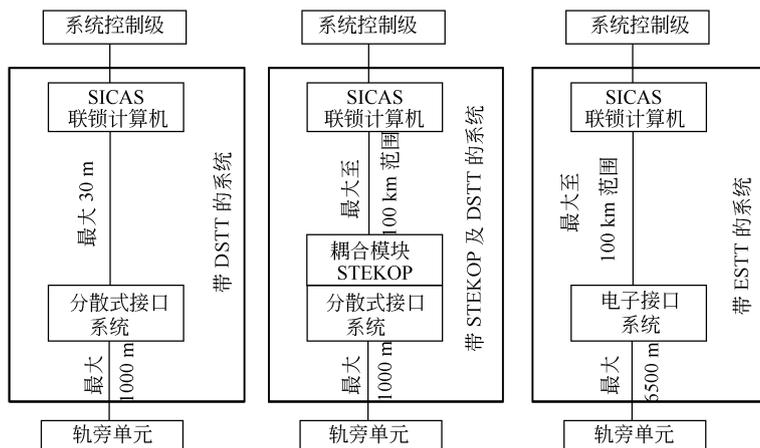


图 4-17 SICAS 型联锁系统的基本配置

DSTT—接口控制模块;STEKOP—现场接口计算机;ESTT—电子元件接口模块。

## 2. 联锁主机的结构及组成

目前主机主要采用两种冗余方式,2 取 2 热备方式或者 3 取 2 方式(多采用 3 取 2 的结构),用于保证设备安全和提高设备可用性。

### (1) 2 取 2 故障—安全系统

系统至少由两个各自独立的、相同的、对命令同步工作的计算机通道 1 和通道 2 组成,如图 4-18 所示。

过程数据由两个通道输入、比较和同时进行处理。只有当两个通道的处理结果相同时,结果才能输出。

独立于数据流的在线计算机功能检测可确保偶然故障的及时检出。这一检查在一定的周期内完成一次,一旦检出了第一个故障,此系统将停止工作,这样避免了连续出

现的故障所引起的危害。

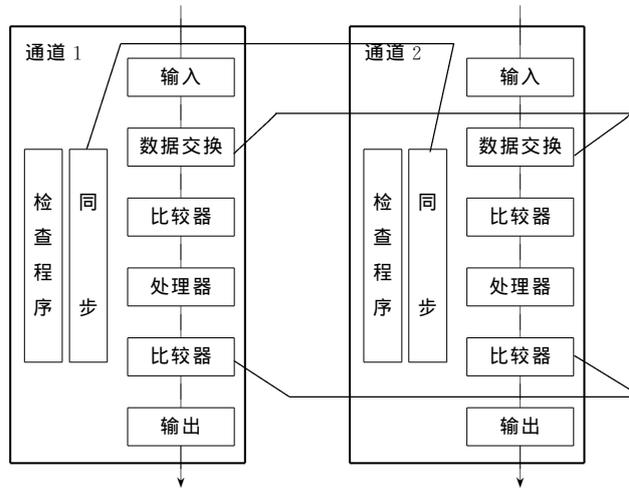


图 4-18 2 取 2 故障—安全系统

主要功能检测有：通道同步；两个通道的程序和工作现场数据的连续比较；输入和输出数据的比较；计算机硬件的周期测试。

### (2) 3 取 2 故障—安全系统

系统至少由三个各自独立的、相同的、对命令同步工作的计算机（通道 1、通道 2 和通道 3）组成，如图 4-19 所示。

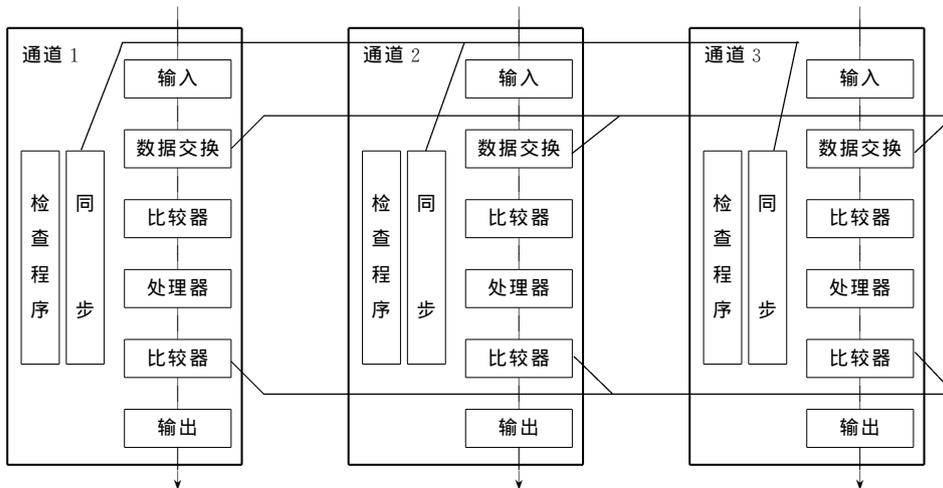


图 4-19 3 取 2 故障—安全系统

过程数据由三个通道输入、比较和同时进行处理。只有当两个或三个通道的处理

结果相同时,结果才能输出。如果其中一个通道故障,另外两个通道会继续工作。独立于数据流的在线计算机功能检测,可确保偶然故障的及时检出。这一检查在一定的周期内完成一次,一旦检出了第一个故障,相关的通道会被切除。联锁计算机将按 2 取 2 系统方式继续工作。只有当又一个通道故障时,系统才停止工作。第三套微机在通道出现故障的情况下可用作备机。

主要功能检测有:通道同步;两个通道的程序和工作现场数据的连续比较;输入和输出数据的比较;计算机硬件的周期测试。

## 二、SICAS 联锁计算机

SICAS 联锁计算机实现轨道电路信息处理,排列、监督和解锁进路,动作和监督道岔,控制和监督信号机,并向 ATC 系统发出进入进路的许可。

此外,联锁系统确保故障—安全的操作能得到维护和保证。除非是预先有准备的安全相关操作,否则无效的操作行为将被自动否决。

### 1. 联锁计算机柜

SICAS 联锁计算机安装在联锁计算机柜中,机柜如图 4-20 所示。联锁计算机是为控制联锁而设计的,它建立在西门子的故障—安全微机系统 SIMIS—3216 基础上,按照系统可用性要求和覆盖的距离选择计算机柜,所需的计算机柜的数量根据需求和连接的轨旁设备决定,可按照用户需要采用 2 取 2 结构或 3 取 2 结构。每一个计算机通道均安装在各自的一个安装机架中,2 取 2 计算机由两个安装机架组成,3 取 2 计算机则由 3 个安装机架组成,各计算机通道上下叠放。

每个计算机通道有 21 个安装位置,包括同步和比较器板、处理器板、中断板、总线控制模块。此外,提供 4 个开关量输入板、1 个开关量输出板,还有电缆夹、通风装置、通信模块 OLM、电源和滤波器。

根据应用,SICAS 联锁所用的计算机柜的数目是不同的,5 种机柜类型如下:

类型 1: 32 块接口板或电子元件接口模块;

类型 2: 64 块接口板或电子元件接口模块;

类型 3: 96 块接口板或电子元件接口模块;

类型 4: 32 块接口板或电子元件接口和连续式列车控制系统连接;

类型 5: 64 块接口板或电子元件接口和连续式列

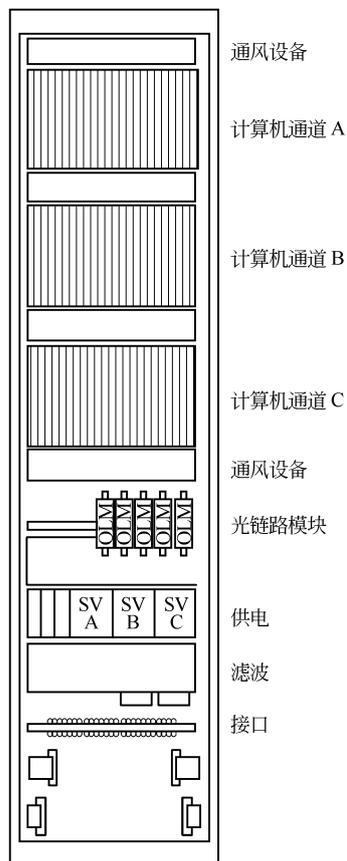


图 4-20 SICAS 联锁计算机柜

车控制系统连接。

如果整个系统配置需要的连接超过 96 块接口板或电子元件接口模块时,可使用若干个机柜。

## 2. 计算机通道部件的组成

每一个安装机架由以下板件组成:

### (1)同步比较板 VESUV3

同步比较板是 SIMIS-3216 硬件操作系统的组成部分,不同的计算机通道之间的同步由同步比较模块来实现,它使双计算机通道或三计算机通道实现同步。它能自动比较本计算机通道与相邻通道的输出数据;监督供电电压在允许误差范围内;协调中断请求的输入;使超时模块完成对计算机的同步校核;通过切断安全相关外设的电源来保证相关计算机通道的安全关闭。

通过输入分配器和中断分配器来协调输入请求和中断。

该模块包括了所有必需的监控功能。SIMIS 的关键功能器件之一——硬件比较器也位于该电路板,它自动地执行本通道的输出数据与相邻通道输出数据的比较。监测电路包括过压/欠压继电器、定时器、监督单元。由过压/欠压继电器进行电压监测,按照允许的范围监督电源电压。定时器进行时间监测。监督单元检查计算机的同步。

发现一项故障后,该模块通过切断与安全有关的外部设备的电源来安全地关闭相应的计算机通道,切断与安全有关的外部设备。

同步比较板电路单元包含三个接口:

- a. VESUV3 电路单元之间的连接接口;
- b. 接向数据处理及存储电路单元 VENUS2 的接口;
- c. 用于切断外部设备的接口。

该电路单元与用户无关,SIMIS-3216 的每一个计算机通道都必须设置。

### (2)处理器板 VENUS2

该模块包括了中央逻辑处理计算机的中心功能部分。由 CPU、EPROM 和 RAM 组成,通过外围设备读入输入,在系统中进行数据处理,通过外围设备把控制命令输出,并指示状态信息。此外在模块上还有支持过程功能的单元,如中断控制器和定时器。

### (3)中断板 VESIN

中断板用作中断控制。该板可以对最多 32 种(个)中断请求产生中断,这些中断通过 VESUV3 模块产生和重新传输一组中断给 SIMIS-3216 计算机,使其进入同步状态。同时该模块还校核用于计算机通道中模块的寻址差错,包含有用以揭示一个计算机通道所使用的所有外设的地址化错误,可以进行各板块的地址检查,发现各模块寻址错误。

该电路单元与用户无关,在 SIMIS-3216 中,每一个通道都必须设置。

#### (4) 总线控制板 BUMA

总线控制板作为一种通信模块,有一个连接联锁系统不同层次间的中央位置,每 2 个(2 取 2 计算机中)或 3 个(3 取 2 计算机中)BUMA 模块构成一个故障—安全微机系统。也就是说在计算机联锁中的 BUMA 系统本身构成一个独立的故障—安全计算机,可以是 2 取 2 计算机或 3 取 2 计算机,通过 BUMA 板前面板的两个接口与相邻的 BUMA 板连接。

该模块有一个与光缆连接的传输速度为 0.5Mbit/s 的 PROFIBUS 接口,用于与其他计算机连接。具有独立的微处理器和 PROFIBUS 专用集成电路 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)控制整个总线上联锁计算机与其他总线用户(如电子元件接口模块)之间的应用数据交换,并使用户数据在 SIMIS-3216 及其他接入设备之间传递。它还用来控制总线通信量,保护和管理总线系统,直流去耦,实现故障—安全的单通道数据传输。

STEKOP 系统的要素接口模块经由 BUMA 模块与联锁计算机相连。BUMA 模块与运营控制中心建立联系。通过总线主控模块,BUMA 可以使其他计算机与联锁计算机相连。它也可用于与连续式列车控制系统的结合。

ESTT 系统中的元件接口模块与联锁计算机之间通过 BUMA 模块连接,利用光缆作为传输媒介,能保证它们之间的电气隔离。

在城市轨道交通信号系统中用于与列车自动控制系统等设备连接的共有 5 块板(根据控制数量可以增加),从左到右为 BUMA0、BUMA1、BUMA2、BUMA3 和 BUMA4,分别连接到 ATP 轨旁计算机、诊断计算机、操作设备(ATS 的车站设备和 LOW)、用于控制道岔的 STEKOP 板和用于控制信号机的 STEKOP 板。

每个总线控制板可控制多达 16 个电子元件接口模块;每个总线控制板通过最多 16 块接口板可以控制多达 24 个元件。

#### (5) 开关量输入板 MELDE2

元件接口模块的信息和轨道空闲检查单元的状态信息通过开关量输入板传输到联锁计算机,传输的最大距离为 30 m。由 2 个前端连接器(2×16 开关量输出)连接多达 64 个开关量输入,开关量输入板实现光耦输入端和联锁计算机之间耐压 2 kV 的电气绝缘;通过联锁计算机软件的确证,检查独立的光耦输出端;通过前面板的 LED,可显示读过程的状态。

该模块通过前向插头能连接 64 个数字量输入,在模块内储存 64 位数码输入的状态。模块上的输入通过光耦隔离并由耐压 2 kV 的绝缘线和计算机分开。外部信号源通过光耦采用直流方式输入。通过联锁计算机的读入,可将 64 个输入状态存储于该模块中。

在系统中用于采集轨道电路的状态,一共有 4 块板,其中两块用于采集轨道继电器

的前接点,另外用于采集轨道继电器的后接点。只有当前接点闭合和后接点断开时系统才认为轨道区段是空闲的,其他情况则认为是占用的。

#### (6) 开关量输出板 KOMDA2

该电路单元用于输出命令,联锁计算机通过开关量输出板输出至控制元件接口模块,总共可以驱动 32 个数字输出,传输的最大距离为 30 m。由 2 个前端连接器(2×16 开关量输出)连接多达 32 个开关量输出。写 32 位输出寄存器通过光耦与计算机隔离,光耦输出端和联锁计算机之间抗 2 kV 的电气绝缘。晶体管的导通和寄存器的输出通过光耦由联锁计算机的软件来检查。通过前面板的两个 LED,可显示写和回读过程的状态。

板件之间通过主板上的 MES80-16 的并行总线连接。

### 三、电子元件接口模块系统 ESTT

ESTT 包括带安装架的机柜和各自的元件接口模块,适用于完整的元件接口模块系统和每一元件接口模块。元件接口模块安装在元件接口模块柜中。ESTT 到联锁计算机的距离可达 100 km。

每种类型的轨旁元件都有一个电子元件接口模块,除了特殊元件驱动电路外,大部分元件接口模块包含一个故障—安全微机系统现场总线接口板 FEMES,每个元件接口模块都有完整的硬件和所需控制轨旁元件的软件。

为所有轨旁元件配置的基本系统、转辙机、信号机、速度监督等轨旁元件使用相应的功能单元。

#### 1. 电子元件接口模块的特征

- (1) 联锁计算机和 PROFIBUS 相连接,减少了室内敷设电缆的费用;
- (2) 联锁计算机和元件接口模块间有一个传输安全数据的通道;
- (3) 控制的最远距离可达 6.5 km;
- (4) 智能元件接口模块作为联锁计算机的辅助部分,替代了特殊的元件接口模块。

#### 2. 元件接口模块柜的功能

- (1) 每个机柜可以容纳多达 24 个电子元件接口模块和与之相应的保安板;
- (2) 拥有电源单元;
- (3) 和联锁计算机相连;
- (4) 在带有 STEKOP 和 DSTT 的 3 取 2 系统配置情况下,通过开关量输入和开关量输出模块与 DSTT 元件接口模块柜相连;
- (5) 在带有 ESTT 的 3 取 2 系统配置情况下,通过变压器柜中的变压器和信号机元件接口模块、列车制动模块相连接。

电子元件接口模块柜和变压器柜之间距离最远可达 20 m,变压器柜允许容纳最多 40 个变压器,用于连接室外设备的列车制动接口模块 EFAST 和信号机元件接口模块

LISTE。到电子元件接口模块的连接通过屏蔽电缆。

### 3. 现场总线接口板 FEMES

FEMES 作为适配器板提供给单独的电子元件接口模块。它们保证了联锁计算机、电子元件接口模块,以及与之连接的控制和监督对象之间的故障—安全数据的传输。FEMES 独立于各自类型的元件接口模块,FEMES 模型被设计成一个 2 取 2 配置的故障—安全微机系统。数据交换软件是 FEMES 的一个完整部分。

### 4. 电子元件接口模块

#### (1) 电源模块 SV 2602

SV 2602 承担每个计算机通道建立冗余电源的任务。电源单元安装在 ESTT 机柜里,作为一种标准性能,在电子元件接口模块中,允许 60 V(DC)的电压变化到 8 V(DC)。

#### (2) 道岔接口模块 WESTE

道岔接口模块进行三相转辙机的控制和监督,控制距离可达 6.5 km,它完成如下功能:

- ① 解释和再传送给来自联锁计算机的控制命令;
- ② 监督道岔状态;
- ③ 将位置信息、测试结果和诊断信息传输给联锁计算机;
- ④ 通过连接几个电子道岔接口模块,对每个道岔的几台转辙机进行控制和监督。

#### (3) 保安板 SIWE

保安板 SIWE 通过熔丝对提供给道岔接口模块的 230 V(AC)电压进行保护,SIWE 用  $2 \times 21$  V(AC)给道岔元件接口模块供电,保护转辙机的 380 V(AC) 电源。

#### (4) 信号机元件接口模块 LISTE

信号机元件接口模块对信号机进行控制和监督。当采用低容量的 H80 电缆时,控制的距离可达 9 km。LISTE 完成如下功能:

- ① 接收来自联锁计算机的控制命令;
- ② 确定相应的控制命令;
- ③ 控制 LISTE 的信号灯的切换;
- ④ 监督信号机的点灯状态。

一个 LISTE 模块可控制每架信号机上最多 8 灯位;一个 LISTE 模块可控制两架分别带有 4 个灯位的信号机;通过连接三个信号机元件接口模块,可控制每架信号机多达 24 个灯位的显示。

仅在信号机元件接口模块仅为了辅助联锁计算机时,列车控制系统的直接控制取决于信号显示。

#### (5) 保安板 SISIG

保安板 SISIG 通过熔丝对信号机元件接口模块 LISTE 或列车制动接口模块进行保护。

#### (6)速度监督元件接口模块 GVSTE

元件接口模块用于监督速度,完成如下功能:

- ①通过列车上的感应线圈和钢轨上的感应线圈或车轮传感器在两个固定点间测量运行速度;
- ②将所测速度和由联锁计算机得到的最大允许速度进行比较;
- ③控制相应的列车制动接口模块。

在联锁计算机中,由程序可设置四个允许速度,依靠位置和操作来选择其中一个,并被传输到速度监督接口模块。

#### (7)列车制动元件接口模块 EFAST

列车制动接口模块用于带有或不带有速度监督的列车制动,就像不带速度监督的列车制动一样。用速度监督使列车制动,控制的距离可达 6.5 km。

就信号联锁的列车制动而言,当列车通过轨道区段没有授权或速度过高时,列车制动接口模块 EFAST 确保列车的制动和昼/夜电压的切换均衡。

### 四、现场接口计算机 STEKOP

此接口板保证接口模块与 SICAS 计算机联锁的连接。

接口板 STEKOP 在 ESTT 系统中占有一个专门的位置。标准元件接口模块控制轨旁元件如信号机、转辙机等,接口板使得其他系统(如 SIMIS-C、DSTT)的元件接口模块连接到 ESTT 成为一种可能。接口板具有  $2 \times 12$  输入和输出,独立地连接应用。通过接口板能读进信息,例如从轨道电路、联锁电源或开关,到显示输出命令和其他开关设备。

1 个 STEKOP 能控制 1 个道岔元件接口模块 DEWEMO,或 2 个信号机元件接口模块 DESIMO,或多达 12 位的数码安全输入和 12 位数码安全输出,或多达 24 位的数码输入和 24 位数码输出。

STEKOP 允许对所有的元件接口模块进行连接。此外,还能完成如下功能:读入轨道空闲表示;读入开关信息;控制转换设备;控制显示单元;输出联锁计算机到连接的接口模块的控制命令;将开关量信息回传给联锁计算机。

联锁计算机和接口板之间通过 PROFIBUS 可以传输的距离高达 100 km。

STEKOP 本身就是一个 2 取 2 的计算机,是个故障—安全计算机。实现联锁计算机与接口控制模块(DSTT)之间的连接,根据联锁计算机给出的命令和接口控制模块的结构,分解命令,输出并控制接口控制模块。STEKOP 有两个通道,每个通道有 12 位数字输入和输出。STEKOP 与 SICAS 通过 PROFIBUS 连接,交换信息——接收从 SICAS 来的输出命令,并分解,用数字的形式将它们输出;同时数字读入设备状态将这些状态传输给 SICAS 联锁计算机。当故障—安全计算机的一个通道在 FEMES 中检测出一个故障时,将自动关闭 STEKOP 的外设,即切断与 SICAS 和 DSTT 的连接。这一任务由板内继电器 ASS1 和 ASS2 来完成。

STEKOP 可以控制两个同类现场设备(即两个道岔转辙机或信号机)。

## 五、现场控制单元 DSTT

DSTT 为分散式元件接口模块,它们不含任何微机系统,经由并行连接线与联锁计算机相连。联锁计算机直接通过 KOMDA2 和 MELDE2 模块对 DSTT 进行控制,或由接口板通过 ESTT 系统进行控制。DSTT 根据 SICAS 的命令控制现场设备,如道岔、信号机或轨道空闲检测系统。

分散式元件接口模块系统包括元件接口模块和机柜,每个元件接口模块被安装在它的机架内,机架通过导轨安装在元件接口模块机柜内。元件接口模块还可在分散式分布下安装在受控的轨旁元件附近的控制箱中。

从联锁计算机或接口板到 DSTT 连接的最大距离是 30 m。通过接口板 STEKOP 连接,可以覆盖远至 100 km 的范围,控制距离最大可达 1 km。

### 1. 元件接口模块柜

元件接口模块柜在使用时,配有接口板和分散式元件接口模块。

一个元件接口模块机柜可安装多达 8 个接口板 STEKOP,或多达 12 个道岔接口模块 DEWEMO,或多达 32 个信号机元件接口模块 DESIMO,或多达 24 个信号机元件接口模块 DESIMO 和 16 个闪光元件接口模块 DEBLIMO,或混合装配。

### 2. 元件接口模块

DSTT 系统有如下功能单元:道岔元件接口模块 DEWEMO、信号机元件接口模块 DESIMO、闪光元件接口模块 DEBLIMO。

#### (1) 道岔元件接口模块 DEWEMO

道岔接口模块用于控制和监督单相和三相交流转辙机,通过另外的元件接口模块来控制直流转辙机,利用接通/切断控制电流的接点来连接外部电流接触器。

道岔元件接口模块可变的室外配线能够实现各种控制与监督电路,并且通过转辙机内部电机的接点连接监督电路,实现对道岔的终端位置和挤岔的连续监督,检查受控转辙机线路的内部短路和对地漏电流。

S700K 转辙机接口电路如图 4-21 所示。当道岔由定位转至反位时,道岔元件接口模块 DEWEMO 送出三相电源,电动机相序为 W—V—U,使三相电动机逆时针方向转动,带动尖轨向反位移动。当道岔由反位转至定位时,道岔元件接口模块 DEWEMO 送出三相电源,电动机相序为 W—U—V,使三相电动机顺时针方向转动,带动尖轨向定位移动。DEWEMO 通过转辙机自动开闭器接点监督道岔的位置。

#### (2) 信号机元件接口模块 DESIMO

信号机元件接口模块用于控制和监督信号机。使用两种类型:控制和监督直流或交流信号机,三种固定的额定电流;控制和监督交流信号机,可变的额定电流。

信号机元件接口模块控制稳定灯光的信号机显示(直接供电给信号机点灯,或通过

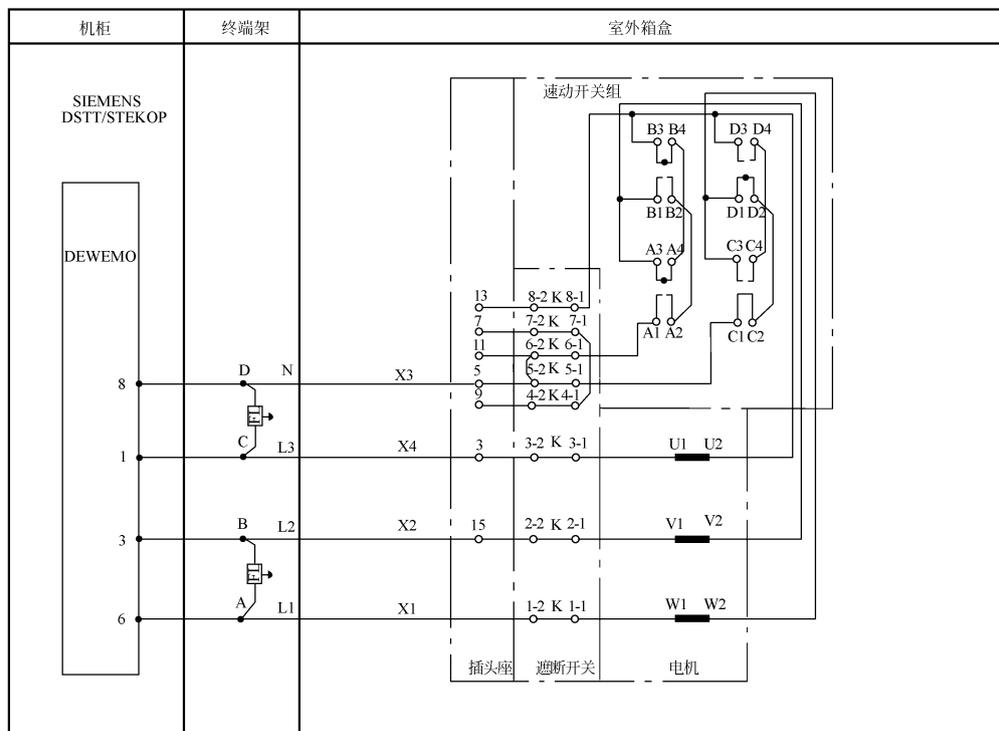


图 4-21 S700K 转辙机接口电路

变压器给信号机供电);信号灯泡的双灯丝控制;用附加的闪光模块,实现信号机闪光显示;日/夜点灯电压切换,以延长灯泡寿命。

每个信号机元件接口模块最多控制两架信号机。通过几个信号机元件接口模块互相连接,可扩展信号机到任意灯位数。

图 4-22 为防护信号机点灯电路图。由三个信号机元件接口模块 DESIMO 分别控制红、黄、绿灯的点亮。

### (3) 闪光元件接口模块 DEBLIMO

闪光元件接口模块用于产生闪光信号显示,可直接给信号机供电或通过变压器进行供电,来实现闪光和稳定灯光的交替控制;通过信号机元件接口模块监督闪光或稳定灯光的控制;由计算机通过并行控制,以同一闪光频率使几个灯闪光。

每个闪光元件接口模块控制多达两个单独的信号灯闪光。

## 六、LOW(现场操作工作站)

### 1. LOW 的功能

SICAS 系统使用操作和联锁所需的所有的功能单元都集成在操作控制台中,除了非安全功能单元(如自动列车进路和列车追踪)外,与安全有关的功能单元均集成在操作和显示系统(B&A)中。操作和显示系统包括通用的标准部件,例如 PC、显示器、打印机等,工作站也包含服务和诊断功能(S&D)。

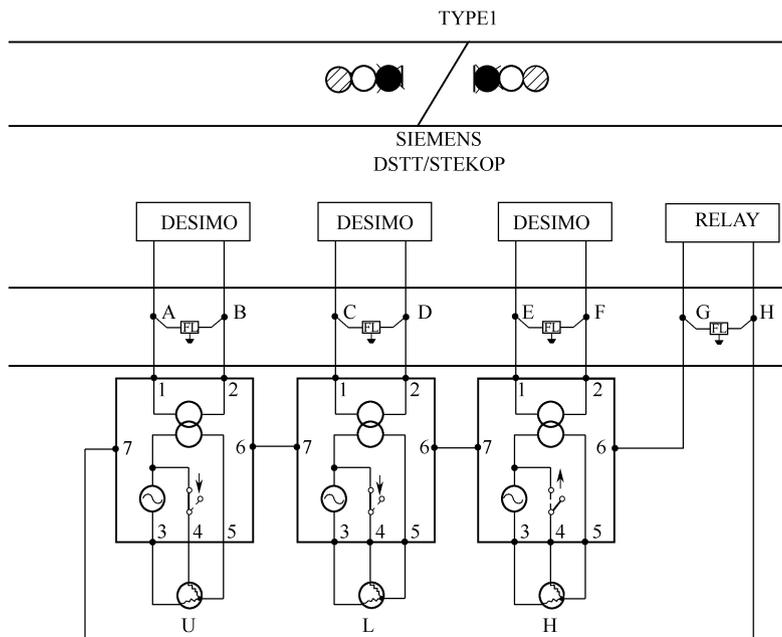


图 4-22 防护信号机点灯电路图

SICAS 联锁系统的本地操作和表示是通过 LOW(现场操作工作站)——VICOS OC 100 的人机接口系统来实现的。VICOS OC 100 的应用领域从现场联锁的简单操作和显示系统到带有自动功能的控制系统操作员控制台。根据联锁操作和形式的不同,可分为 VICOS OC 101 WS 和 VICOS OC 111 WS。除常规操作外,如果要执行辅助操作,则 VICOS OC 111 可作为一种带有程序保护的操作和显示的操作控制台。就分散式工作站而言,另外一台 PC 仅作为一种参考计算机。安全操作和显示被完全集成,操作员不必切换到一个独立的操作控制台。

操作和显示系统也包含一个完善的服务和诊断系统。所用的服务和诊断系统 VICOS OC 100 S&D 诊断联锁故障,并且给维修提供提示。安装时可采用若干个用于诊断的 PC 机。根据信息量的多少,每台诊断 PC 可最多和 4 个联锁系统相连。在适量的信息或提高有效性的情况下,每个联锁系统采用一个单独的诊断 PC 是可能的。服务设备被设置在需要这种信息的网络上。例如:它可被集成到操作控制台,直接在诊断 PC 上或在服务中心维修操作控制台上作为一个独立的计算机。SICAS 联锁计算机的连接通过总线控制模块 BUMA 来实现。对访问进行防护是通过注册或口令来实现

的。

## 2. LOW 的组成

LOW 由一台主机、一台彩色显示器(最多可连接 4 台彩色显示器)、一台记录打印机、一个键盘、一只鼠标和一对音箱组成。设备和行车状况(轨道占用道岔位置和信号显示、锁闭等)在彩色显示器上显示,通过操作鼠标和键盘,通过命令对话框可实现常规和安全相关的联锁命令操作。所有安全相关命令操作、操作员登录/退出操作、设备故障报警将被记录存档。

还有两种可能的配置:每个联锁系统拥有几个操作控制台,或几个联锁系统采用一个控制台。

## 3. LOW 工作平台的特点

(1)运用图形显示,清楚地表明了设备的当前运行情况。

(2)对每一报警信息都立即直接给出视觉和听觉的报警信号提示,该报警信号是自动发出的,并请求操作员立即采取行动确认报警。

(3)操作员的每个动作都有视觉或听觉的响应来确认,并提示是否为误操作。LOW 系统不执行任何自动操作,所有的操作均由操作员完成。

(4)对不同元件(道岔、轨道区段等)的控制、操作及显示被限制在一个明确的范围。一个操作分为几个步骤,并可以中途取消。

(5)进行分级控制,不同访问级别的操作员可以执行的操作是不一样的。

## 4. LOW 的屏幕显示

LOW 的屏幕显示可以分为三部分,自上而下为:

- ①基本窗口:包括基本菜单;
- ②主窗口:显示轨道布置图和行车情况;
- ③对话框:包括操作对话和命令提示。

### (1)基本窗口

计算机启动后第一个出现的窗口为基本窗口,包括:

- ①注册/退出——输入区域;
- ②调用整体视图以及局部视图的一组软键;
- ③用于特殊管理功能和用于调用确认报警对话的一组软键;
- ④时间/日期显示。格式:“小时,分钟”,“月.日.年”。

### (2)主窗口

启动 LOW 后显示整个联锁区轨道布置图,能选择元件并操作它。

### (3)对话框

对话框由三部分组成:

左边:命令软键;

中间:对话标题,三个控制软键,命令行,响应行;

右边:综合信息显示器。对整个联锁区都有效,其显示总是有效的。

#### 5. 联锁操作

联锁操作可以分为“常规操作”、“安全相关操作”和“维修命令”。

如果已进入联锁操作对话且没有选择任何元件,则这时为基本模式。在基本模式中可能出现所有可能的关于联锁区的操作。输入失败后或命令被成功执行之后,操作对话自动转入基本模式。

在 LOW 与联锁之间的传输正确的前提下,不能执行常规命令或得不到正确结果时采用“安全相关操作”,以提高或重建联锁设备的有效性,此时由操作员负责安全,故必须输入正确的命令。

联锁命令可以操作的元件或对象有:联锁区、车站、轨道区段、道岔及道岔区段、信号机、进路。

系统是根据所选择的元件来提供相应的控制命令的。

#### 6. 联锁命令

联锁根据对象可以分为六类命令。

(1)联锁区对话:全部信号机处于自动排列进路状态、全部信号机处于人工排列进路状态、全部信号机取消处于自动排列进路状态、全部信号机取消联锁自动排列进路状态、关闭联锁区全部信号机并封锁、向 OCC 交出控制权、从 OCC 接收控制权车站、强行从 OCC 取得控制权。

(2)轨道对话:禁止通过该区段排列进路、允许通过该区段排列进路、解锁进路中的该区段、把区段设为逻辑空闲、设置轨道区段的限速、取消轨道区段的限速指示、ATP/ATO 进行列车的牵出折返作业指示、ATP/ATO 将列车的驾驶端由上行端转为下行端指示、ATP/ATO 将列车的驾驶端由下行端转为上行端、取消运营停车点。

(3)道岔对话:锁定单个道岔以阻止转换、取消对单个道岔的锁定道岔以转换、道岔轨道区段占用时强行转换道岔、禁止通过道岔排列进路、允许通过道岔排列进路、解锁进路中的道岔、把道岔区段设置为逻辑空闲、对道岔区段设置限速、取消对道岔区段的限速、取消挤岔逻辑标记。

(4)信号机对话:开放引导信号、置信号机为关闭状态、封锁在关闭状态下的信号机、设置信号机为开放状态、取消对关闭状态下的信号机的封锁、设置单架信号机为自动排列进路状态、设置单架信号机为人工排列进路状态、单架信号机由联锁自动排列进路、单架信号机取消由联锁自动排列进路。

(5)进路对话:排列进路、取消进路。

(6)车站对话:关闭车站所有信号机并封锁。

#### 7. 报警处理

(1)操作员报警处理

根据对行车的影响程度,报警可以分成以下三类:

A类:严重影响行车。B类:即将影响行车。C类:一般信息,C类报警无须确认并无声音报警。

三类故障的优先级为:A类最高,B类其次,C类最低。输入输出的信息都属于其中一类。当出现一个报警时,将以下三种方法显示报警:

基本窗内的相应按钮“A”、“B”开始红色闪光,按钮“C”显示红色;

产生一个声音报警,声音报警对应队列中最重要的报警;

如果涉及到相关的元件,将另外通过主窗口中的元件的相应显示来显示或综合信息显示器相应的信息显示红色,告诉是哪个元件出现了故障。

当报警发生后,可以通过以下方法确认报警:

点击最高优先级的报警按钮;

选择并读短文后,点击“确认”键确认;

如果在处理过程中,来了一个更重要的报警,立即离开该对话并进入最重要的报警的对话中,处理这个最新、最严重的故障;

如果LOW为遥控(即在OCC上进行操作),所有的报警都将排队,当下一个操作员进入LOW操作时,必须先确认所有报警。

出现报警时可以按压“音响”键消除声音报警。

队列中的报警最多存储48h。

## (2) 事件的处理

### ① 事件简介

事件可以分成以下几类:来自现场元件或联锁的信息;来自元件或联锁的报警(也为操作员报警);来自或经由RTU/ATS的信息和报警(也为操作员报警);安全操作报告;LOW内部出现的错误(也为操作员报警);派生的信息,如以前信息的综合(也为操作员报警);注册/退出报告。

出现的事件都会按顺序存入48h打印存储器中,并产生一个简单的信息内容,以便查询。

事件出现后,要求操作员应尽可能按出现的顺序处理,但报警信息除外,应按“操作员报警处理”进行处理。

### ② 打印事件

操作员可以观察并打印所有的事件。打印时可以按照事件进行分类,一次打印同一类事件,也可以选择特定的故障进行打印。

但如果是写硬盘错误,则会产生一个信息表明该错误,该信息将超过48h,只有管理员才能用命令从中删除该事件记录。

## 七、软 件

### 1. 软件概述

SICAS 联锁计算机按照已被安全测试的 SIMIS®原理设计。根据 SIMIS®原理, 计算机操作包括至少两个单独的微型计算机, 相同的程序、结构在同步指令下操作。这些微型计算机带有相同的并行输入信息, 由于相同的程序总是执行相同的工作, 所需的输出信息会在两个通道中形成。只有两个微型计算机的输出数据是一致时, 两个独立的比较器才允许输出至下级电路。为了达到这个目的, 一个切断单元串接在比较器后面, 如果结果出现偏差将切断输出电路部分。

SICAS 软件原理建立在按照联锁表原理来处理铁路操作规则的基础上, 为此, 将所有现场元件的静态操作状态以表的形式进行储存, 进路处理范围内元件的连接由一个小软件核心来获得, 该软件核心能用于所有的应用程序。

作为 SIMIS 微机组成的一部分, 测试程序会及时提供故障检查。在调试和正常运营阶段, 为保证正确运行, 这些测试程序将持久地检查各通道的硬件, 假如出现同安全相关的错误, 它会将联锁转向安全状态。计算机总是导向安全侧, 甚至第二次出现错误也不会危及到运营安全。

SICAS 软件具有以及特点:

①在计算机每次开机的时候, 检查程序确保计算机在运行任何应用程序以前无故障。以最低优先权运行时, 这些检查程序检测硬件错误。

②SICAS 联锁微机的操作软件采用安全测试 COSPA 软件, 它是独立于硬件的。

③操作和显示系统采用 Windows NT。

④联锁微机操作和显示系统间通信采用现场总线。

⑤操作应用软件、显示应用软件、登入应用软件和与安全操作相关的防护程序采用西门子专用软件。

软件有基本软件和应用软件之分。

## 2. 基本软件

基本软件的功能是保持应用软件独立于硬件, 并提供高性能服务。基本软件包括: 测试程序、多通道中断和在线校核程序、计时器程序、信箱和管道程序、接口驱动器程序、安全数据传送程序等。

当系统启动时, 存储器被初始化, 测试程序被运行一遍, 过程处理以规定的顺序开始。

多通道中断和在线校核程序有助于保证一个故障—安全系统。在修理后, 通过加载, 系统便可更新, 并继续 3 取 2 的高可用性运行。

计时器可以用作特殊的应用软件, 但它由基本软件管理。

信箱和管道这两个通信服务器支持过程处理间的信息交换。

接口驱动器包括输入/输出驱动器、端口驱动器、PROFIBUS 驱动器和 PROFIBUS 适配器、信息缓冲器、FIFO 驱动器等。

输入/输出驱动器实施 MELDE2 模块与应用软件之间以及应用软件与 KOMDA2

模块之间的连接。

端口驱动器在所有的电子要素接口模块里启动,并且读写这些模块的数码输入和输出。

PROFI BUS 驱动器被包含在 BUMA 和 FEMES 模块中。PROFI BUS 适配器像一个用户过程处理一样对信息缓冲器产生影响。PROFI BUS 适配器能够与 PCS 通信,例如,操作和显示系统、列车自动选路等。

在计算机配有 COSPAS 操作系统和信息缓冲器的情况下,承担从一个计算机到另一个计算机的信息传送任务。

FIFO 驱动器控制基础联锁计算机系统和经过信息缓冲器并作为存储器操作的 BUMA 之间的数据资料交换。

安全数据传送程序鉴定确保仅有需要的参与者之间的通信。

### 3. 应用软件

应用软件由操作和显示接口、状态管理、安全测试等部分组成。

操作和显示接口构成通向联锁逻辑的故障—安全端口。也就是说,所有从操作控制系统传到联锁的信息通过语法和格式的正确性校核。数据处理接口保证建立在标准部件基础上的操作员控制台的操作和显示系统遵守了程序防护的机理。

状态管理储存了一个中央处理图像。来自操作控制系统的指令经由解释程序传到联锁逻辑。要素状态的改变(例如,轨道空闲、道岔位置等)可更新要素专用存储器。此后,操作控制系统的部件也得到更新。

把数个建立在标准 PCS 基础上的操作和显示系统(B&A)连接到一个联锁计算机上是有可能的。所有 B&A 系统中的软件都是相同的,只有项目专用数据不同。Windows NT 用作操作系统。联锁计算机与 B&A 系统之间的通信是通过经由 PROFIBUS 进行的。操作、显示、登录以及涉及安全操作的和程序防护的应用均以一个特殊方式编程。

安全测试 COSPAS 软件作为 SICAS 联锁计算机的操作系统使用。此软件包括一个核心部分和扩展模块。这些扩展模块涉及到通信软件和所用模块的当前驱动器。核心部分为与系统无关的规则解释程序。

## 八、通 信

按照接口的类型和面向应用条件(如距离),不同系统层间的通信采用不同的传输媒质。

在 SICAS 联锁系统中开关量信息的传输通过并行接口以点对点的方式来实现的,传输的距离可达 30 m。

来自通用数据处理接口的串行数据的传输作为每个 EN 50170 通过成熟的 PROFIBUS 来实现。PROFI BUS 在电磁影响和过压方面有很高的抗干扰性,所用的过程保

护保证了单通道故障—安全数据的传输,PROFI BUS 的冗余结构提高了可用性,可实现点对点连接、线连接、环连接、星型连接。

采用光连接插头(OLP)或光连接模块(OLM),能够实现从铜缆到光纤之间的简单传输,依靠光纤和采用 OLM 或 OLP,传输距离的范围为 20~15 000 m。

#### 1. 光连接模块(OLM)

OLM 用于连接电子模块和 SINECL2 总线,这样用线型、环型和星型结构就可组成网络。

OLM 在授权过程中自动检查光纤的连接;借助于信号传输时间和检查次数,通过限制级联的层次来实现信号再生;4 个通道模块组成环型冗余结构,使网络具有高的可用性;在带有 PROFIBUS 的标准和大型网络中,可选择性地切换监督时间;通过信号接点显示模块状态;集成了监督功能(或连接的回波功能、连续式信号监督、操作和错误信号);选择性的传输器以两个阶段驱动光纤;提供 24 V(DC)的冗余馈入的可能性;自动识别变换速率。

采用 OLM/P3 作为中继器时(没有电气绝缘),数据传输速率能达到 1.5 Mbit/s。

#### 2. 光连接插头(OLP)

OLP 允许通信处理器板到 SINECL2 总线的连接,为此,OLP 直接插在通信处理器板上,通过两个单一的 HP 插座连接光纤网络,OLP 完成从属连接 PROFIBUS 到单光纤环,调节传输速率。

OLP 和 OLM 间的光纤长度可达 58 m。

#### 3. 通信处理器 CP 5412(A2)

通信处理器 CP 5412(A2)位于一个 ISA 板(通信处理板)上,它能够使 PC 直接连接到 PROFIBUS(通过铜缆)或到 SINECL2 总线(通过 OLP)。该板插在 PC 上空闲的 ISA 插槽中,PROFIBUS 的协议由单独的软件支持。

### 九、与有关设备的接口

#### 1. 与车辆段联锁的接口

该接口类似铁路的场间联系,通过继电接口实现,主要实现以下联锁关系:

- ①不能同时向对方联锁区排列进路,并将本方排列进路的信息传送给对方;
- ②如果本方的轨道电路作为另一方联锁区的进路的一部分,则必须传给另一方,以进行进路检查;
- ③如果本方进路包含另一方联锁区的轨道电路,则必须将本方进路的排列信息传送给另一方,并要求另一方排列出另一部分;
- ④为了减少对咽喉区的影响,列车入段时,必须先排列车辆段接车进路,然后才能排列入段进路。

#### 2. 与洗车机的接口

与洗车机的接口关系是,只有当洗车机给出同意洗车信号时,才有可能排列进入洗车线的进路。否则,不能排列进路。

### 3. 与防淹门接口

与防淹门实现以下四种信息的传递或控制:

- ①防淹门状态信息:开门状态。
- ②防淹门状态信息:非开状态。
- ③防淹请求信号:请求关门。
- ④信号设备给出的同意信号:关门允许。

其基本联锁关系如下:

(1)进路的排列应检查防淹门的状态,只有当防淹门在开门状态并且没有请求关门的情况下才能排列进路,否则不能排列进路。

(2)根据计算的 ATP 保护区段的长度与防淹门的位置关系,如果防淹门在计算的保护区段内,则只有当防淹门在开门状态并且没有请求关门的情况下提供的保护区段才是有效的,列车才能进入站台停车。如果在计算的保护区段的外方,则保护区段无须考虑防淹门的状态。

(3)信号机开放信号后,收到了防淹门非开信号,信号机立即关闭并封锁信号。

(4)信号机开放信号后,接收到了来自防淹门的“请求关门”请求,联锁按以下步骤自动处理:

- ①首先关闭并封锁始端信号机。
- ②如果接近区段无车时,则立即取消进路;否则延时 30 s 取消进路。
- ③检查隧道区域轨道电路是否有红光带,如没有红光带则立即给出“关门允许”信号;否则,联锁不给出“关门允许”信号,需要防淹门操作人员人工确认列车运行情况并依据有关操作规定人工关门。

### 4. 与 ATC 的接口

连续式列车自动控制系统(ATC)与 SICAS 联锁的连接是通过逻辑的连接来实现的。联锁系统与 ATP/ATO 室内设备间的传输将通过一对  $2 \times 2$  光缆含后备模式实现。后备模式用光缆与主用光缆相同。故障—安全数据传输则通过一个信息缓冲器协议来保证。

### 5. 与相邻联锁系统的接口

SICAS 联锁系统的连接是经由联锁总线(故障—安全配置的标准通信总线 PROFIBUS)通过连接中央逻辑层而实现的。各联锁区是相配合的。数个区域可以由一个联锁系统操作。

SICAS 联锁经由进路间的特殊配合来实现链接。一条在不同 SICAS 联锁区域内具有始端信号和终端的运行进路,其一部分在第一个 SICAS 联锁计算机内,另一部分在第二个 SICAS 联锁计算机内。进路两部分之间的相互作用,经由对此进路两

部分的配合来实现。运行进路由始端信号机所在的联锁来设定。运行进路包括带有自身联锁内运行进路部分和相邻联锁内运行进路部分的联结点。联锁边界处的每个设备均以其进路特征反映至相邻联锁。联锁设备之间的通信通过运行进路来实现。

## 第六节 MicroLok II 型计算机联锁

MicroLok II 型计算机联锁系统为 US&S 公司所研制,系统为双机热备方式。MicroLok II 是基于安全微处理器的计算机系统和接口/通信系统。它被用作安全联锁控制器和 AF-904 型轨道电路的串行通信中介。

### 一、系统组成

US&S 的 ATC 安全轨旁逻辑使用 MicroLok II 系统,由安全微处理器来实现。MicroLok II 系统安装在轨旁和指定区域的信号设备室(SER)中。轨旁联锁系统结构如图 4-23 所示。

完成安全联锁控制逻辑和速度逻辑的 MicroLok II 型系统也用于试车线上。

#### 1. MicroLok II 系统

MicroLok II 是一个安全的基于微处理器的用轨旁联锁逻辑执行铁路运输安全功能的专用计算机系统。该系统基于专用的安全结构,该结构具有软件的差异性和可诊断性。该系统执行安全的联锁逻辑功能,驱动所有安全的 I/O 设备,采用安全的串口通信协议与相邻的 MicroLok II 系统和其他的子系统接口通信。

每个车站的 MicroLok II 系统由四个 MicroLok II 单元组成。

MicroLok 单元分为处理安全信号的“IMLK”(联锁 MicroLok )和“TMLK”(轨道 MicroLok)两种。

“联锁 MicroLok II”完成在联锁区域内对于道岔和信号机的控制,专门用来为轨旁联锁逻辑(转辙机控制和通信、信号机控制和通信等)执行安全功能,是在轨旁系统配置中主要的涉及安全的子系统。此系统由 68322 安全微处理器单板机来控制,并基于一种特定的安全结构,软件多样,且带有诊断。与联锁设备的接口通过专门的 I/O 板(继电器、信号机等)来处理。在每个集中站,完成所有速度数据逻辑并实现与 AF-904 轨道电路的数据通信。

任何必需的安全输出都通过与 MicroLok II 并口相连的安全型继电器实现。采取控制动作所需要的信息,例如来自相邻 SER 的进路信息等,都通过安全串行链路获得。

“轨道 MicroLok II”是联锁 MicroLok II 单元的从单元,实现串行通信,来与 AF-904 型轨道电路进行数据通信,完成速度数据逻辑控制。AF-904 型数字轨道电路用于

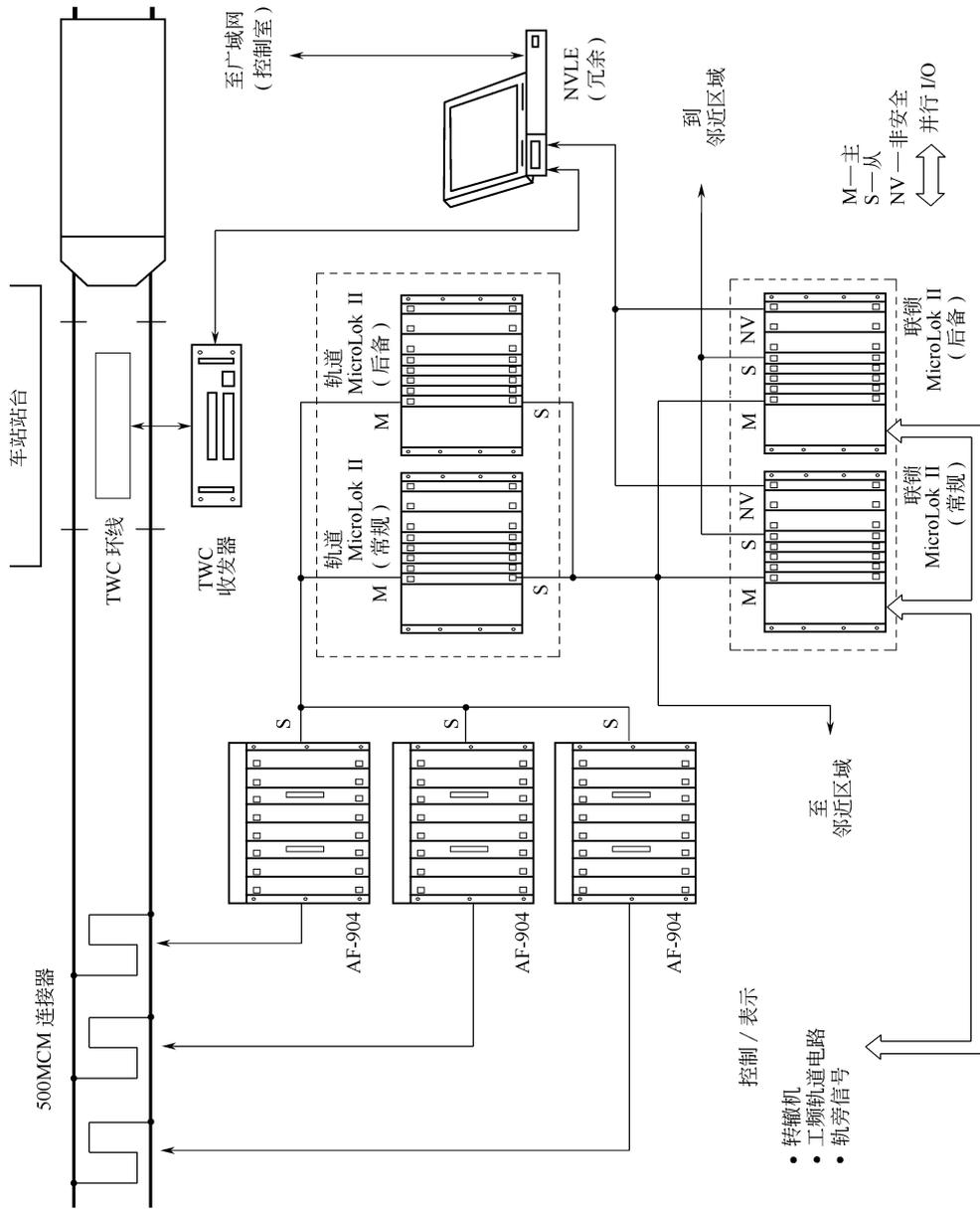


图 4-23 轨旁联锁系统结构

确定轨道占用,并将此信息传送到联锁 MicroLok II 系统,以进行到控制中心的安全处理和通信。该串行通信连接由 MicroLok II 系统来进行管理。在这些单元中,基于 68322 的 CPU 板提供了串行通信通道和相关软件,并且不使用 I/O 板。

## 2. MicroLok II 单元组成

每个 MicroLok II 单元用一个机箱来安装 CPU 印制电路板、多块安全的 I/O 电路板、电源板、串口适配器电路板、多块非安全的 I/O 电路板。

根据需要可配置总共 4 个串口作为主串口或从串口。机箱支持 12 块带地址的安全 I/O 板。串行 RS 232 口作为诊断/编程的接口。

USSI PN 系列安全型插入式继电器用于 MicroLok II 单元和轨旁设备间的接口以及地面检测电路。

## 3. MicroLok II 系统冗余

MicroLok II 系统的每个现场设备点都由一个常规单元和一个后备单元构成,其中,一个处于常规运行状态,而另一个作为冗余备用。当在线系统发生故障时,备用系统会自动变成在线系统。在线单元将监视备用单元的性能状况,如果备用单元不可用,将报警发往控制中心,本地显示器上也有显示。在线和备用单元之间的故障导向安全也可通过控制器上的硬件复位设备手动完成。复位一个特定的单元还可在应用程序中通过软件复位来实现。当在线单元上的安全串口通信失败时,利用这一设备将在线单元转为备用单元。

在不同等级上实现轨旁 ATC 系统的冗余。MicroLok II 系统的运行监督功能能在故障时导向备用单元,以保证系统的可用性。当 MicroLok II 系统发生安全失效时,AF-904 设备将切断串行通信链路,导致系统降级到最限制状态。系统失效时,所有的速度命令都强置为零。备用系统在条件允许时即可接替失效系统。错误日志特性对 MicroLok II 是有用的,系统可利用它来诊断故障。NVLE 有一个内置的数据日志功能。所有基本的数据都记录在日志中用于排除故障和维护。

轨旁 ATC 系统的设备配置具有很高的可用性。MicroLok II 和 NVLE 子系统按冗余方式配置。这些子系统采用模块化结构,能够在最短的时间内很方便地更换。MicroLok II 的电源也是冗余的。

## 4. 非安全逻辑模拟器工作站(NVLE)

每个集中站的设备室还安装有两台 NVLE 工作站,工作站含有处理系统通信用的非安全逻辑软件,提供与 MicroLok II 的通信接口以便交换非安全控制和指令。非安全逻辑模拟器直接连接到 MicroLok 子系统和 TWC 轨旁调制解调器来进行通信。

非安全逻辑模拟器提供与 MicroLok II 的通信接口以便交换非安全控制和指令。

在正常操作中,NVLE 通知 MicroLok II 由控制中心确认的进路,或直接由控制中心选择进路。NVLE 的应用程序允许在控制中心离线时,自动排列列车进路。NVLE 处于控制时,它将需要的信息传送给 MicroLok II 和控制中心。

## 二、系统软件

MicroLok II 的安全软件固化在 CPU 板上。软件分为两类:执行程序和应用程序。执行软件是固化在硬件上的标准的安全软件。每个受控制的集中站的应用软件都是特定的。应用软件在 MicroLok II 开发系统上编写、编译。应用软件的开发及文档由 USSI 软件控制程序 PR-1320 管理。

MicroLok II 编程和诊断工具由编译器、模拟器、非易失性应用程序存储器的编程软件和端口模拟器组成。编译器、模拟器和编程软件允许用户对系统的应用软件作编写、修改和校验(离线)。端口模拟程序被用来监督或模拟任何串口。这些应用软件的工具软件在一台带有兼容串口的便携式计算机上。这些工具软件是应用软件的一部分,服从于认证和确认质量及安全保障。通过轨旁软件控制程序控制使用这套工具的开发过程,轨旁软件控制程序由 USSI 程序 PR-1320 管理。通过控制 SER(信号设备室)人员的权限来保护这套软件的使用。不提供特定的密码保护方案。MicroLok II 诊断程序允许对输入和输出的每个比特功能做测试。

开发系统可用于离线时的程序修改,测试按编译器→模拟器→事件日志→EPROM 写片器→端口模拟器的顺序进行。

### (1) 编译器

编译器是一个计算机程序,将带布尔等式的 ASCII 文本文件转换成 EPROM 表文件。生成一系列文件显示错误和程序开关设置。这一系列文件是 ASCII 文件,可用任何计算机文本编辑器查看。

### (2) 模拟器

模拟器是一个用于便携式计算机上的计算机程序,在开发过程中,利用它仿效布尔等式生成相应显示来调试软件。MicroLok II 系统的所有方面都能利用这一系统进行离线仿效。

### (3) 事件日志

MicroLok II 可编程储存某些感兴趣的应用信息。错误日志可通过诊断口储存和下载到便携式计算机中。

### (4) EPROM 写片器

EPROM 写片器是一个便携式计算机上的计算机程序,利用它将 EPROM 可执行程序下载到 MicroLok II 应用的 EPROM 芯片中。

### (5) 端口模拟器

用来仿效或监督每个串口的计算机程序。这些程序和 MicroLok II 上的任何串口相连。在测试期间,利用这些程序校验每个独立的输入和输出位。

基于轨旁 MicroLok 安全微处理器的 ATC 子系统还应用了多样性和自检的安全概念,并带有分散安全电路。结构的多样性体现在“双路编程”。双路编程技术处理应

用逻辑布尔定式,并将这些方程式与第二套不同的方程式相比较,第一套方程式在这一操作过程中作为源。第二套方程式的创建对于用户是透明的,因为它是由“安全执行软件”来创建的。在执行每套方程式的过程中,双路编程比较两个结果,以确认它们产生同样的逻辑输出状态。

### 三、系统功能

#### 1. 联锁控制

每个 SER 中的联锁 MicroLok II 对联锁控制负责。

车站控制计算机 (SCC) 安装在车站控制室 (SCR) 中,本地操作员能够通过 SCC 接管控制中心对联锁的控制,由本地完成联锁操作。如果必须在某个联锁区执行控制模式的转换,现地操作员必须请求控制中心放弃对联锁的控制,从而将控制中心的联锁转向现地模式。此外,紧急转换特性能使现地操作员单方面取得控制权。

联锁 MicroLok II 中的安全逻辑运算控制下列功能:接近锁闭和时间锁闭;进路锁闭;检测器锁闭;道岔锁闭;运行方向锁闭;超速防护;进路控制;机车信号保持电路;紧急道岔手动操纵;轨道闭塞;报警;设置区域限速;取消区域限速;防洪门锁闭。

这些功能由联锁 MicroLok II 中的应用逻辑完成。任何必需的安全输出都通过与 MicroLok II 并口相连的安全型继电器实现。采取控制动作所需要的信息,例如来自相邻 SER 的进路信息等,都通过安全串行链路获得。另外,联锁区内的轨道电路以并口方式和 MicroLok II 输入相连,提供轨道占用信息。这样的配置能够提供轨道电路的快速分路检测,从而保证在联锁区内采取有效的控制动作。

MicroLok II 系统和车辆段联锁系统之间由接点进行联系。当列车执行进入/退出操作时,系统会检查转换轨,以避免建立任何敌对进路。

#### 2. 数字数据传输

信息的数据场一部分是由轨道 MicroLok II 编码,数据场信息包括:轨道电路编号,正在通过的轨道电路;方向控制,列车的运行方向;下一频率,进路内方下一个轨道电路的频率;目标距离,到达障碍地或限制区的距离;线路速度,限制区内允许的最大速度;目标速度,列车到达指定目标处的速度;停站,已停在站台,它是安全的开门命令。

AF-904 返回 MicroLok II 的信息有:轨道占用;设置的闭塞分区速度;方向校核;AF-904 速度命令。

#### 3. 区域速度限制

区域限速分为 15 km/h、30 km/h、45 km/h、60 km/h。它们可由 MicroLok II 设置,也可在需要时由控制中心或本地控制。本地设置的区域限速也必须由本地复位。如果控制中心离线或通信失败,则本地可越过控制中心直接设置区域限速。区域速度限制是针对轨道电路内的预定区域的。根据 SERS 的控制限制来确定区域。应考虑轨道 1 和轨道 2 速度区域的隔离。控制线显示速度区域,轨旁 ATP 逻辑基于控制线完

成区域速度限制。

一旦设置了限速,集中站的轨道 MicroLok II 就将产生到速度限制区的新的目标距离和实际的目标限制速度,并通过 AF-904 轨道电路传送给接近限速区域的列车。

#### 4. 终点站作业和折返作业

列车完全停站后,速度数据命令列车停车,同时启动 MicroLok II 中的一个安全定时器来延时解锁延续进路锁闭。

#### 5. 紧急停车系统

联锁 MicroLok II 检测相关设备的某个常闭接点,一旦断开即激活紧急停车系统。轨道 MicroLok II 收到紧急停车命令后,将发送给影响区域内的列车的数据信息中的“线路速度”、“目标速度”设置为零。

#### 6. 列车间隔

基于轨道电路占用和其他安全联锁条件, MicroLok II 的应用逻辑安全地产生每一列车的安全速度数据,并通过 AF-904 子系统发送到机车。

轨旁 TWC 单元通过串行链路与 NVLE 接口。NVLE 含有确省的时刻表,如果控制中心离线,则 NVLE 使用该时刻表。NVLE 处理所有来自机车的接收数据以及所有发往机车的数据。所有 TWC 数据都要送往控制中心以便记录/处理。

#### 7. TWC 排路

在有 TWC 环线的任何集中站, NVLE 都能通过轨旁 TWC 模块询问列车的目的地编号。NVLE 在时刻表中查找列车车次号,向 MicroLok II 发送进路申请,由 MicroLok II 选择需要的道岔和信号机以建立进路。

### 四、系统通信

#### 1. 联锁 MicroLok II 的通信

联锁 MicroLok II 单元和下列设备通信:轨道 MicroLok II 单元;从联锁 MicroLok II ;NVLE 单元;相邻联锁 MicroLok II 单元。

##### (1) 与轨道 MicroLok II 单元的通信

一般情况联锁 MicroLok II 发送下列数据:相邻联锁区轨道电路状态;速度限制;设置紧急停车;复位速度限制和紧急停车;运行方向状态。

从轨道 MicroLok II 可接收轨道占用状态和站台轨道停车信息。

##### (2) 与联锁相邻 MicroLok II 的通信

与相邻集中站的联锁 MicroLok II 单元通过 RS485 口通过光纤环状网络相连接。联锁 MicroLok II 发送和接收诸如轨道状态、紧急停车状态和运行方向状态等信息。

##### (3) 与 NVLE 单元的通信

NVLE 与 MicroLok II 单元通过 RS423/RS232 链路通信。

MicroLok II 单元接收下列信息:进路申请;道岔控制申请;操作模式状态;设置速

度限制;复位速度限制。

MicroLok II 发回下列信息:轨道状态;报警状态道岔表示;运行方向和锁闭;紧急停车状态。

#### (4)与相邻联锁 MicroLok II 单元的通信

与相邻集中站的 MicroLok II 单元(从和主)通过光纤环状网络进行通信。

#### 2. 轨道 MicroLok II 单元的通信

轨道 MicroLok II 单元与下列设备通信:

##### (1)与联锁 MicroLok II 的通信

轨道 MicroLok II 单元通过 RS485 链路与联锁 MicroLok II 的通信。数据交换内容同上述。

##### (2)与 AF-904 模块的通信

与 AF-904 模块的通信通过 RS485 链路,双断配置。每个 AF-904 控制器电路板被设置在开的位置,并行输出口(在联锁区表示轨道占用)与 MicroLok II 连接,完成锁闭监测功能。

轨道 MicroLok II 和 AF-904 采用安全的串行通信链路在各个单元之间传送数据。数据流包括地址位、最大到 126 位的数据和 24 位 CRC。这些 CRC 位仅用于错误检测和非向前纠错(FEC)。CRC 位是由数据流除以一个固定多项式后得到的,并将除后的剩余部分添入数据流。译码功能要求升级到更高允许状态的命令必须是两条相同的信息,而降级到更低允许状态的命令只要一条。另外,其他单元必须连续接收到信息。

## 第五章

# 列车自动控制(ATC)系统

列车自动控制(ATC)系统是城市轨道交通信号系统最重要的组成部分,它实现行车指挥和列车运行自动化,能最大程度地保证列车运行安全,提高运输效率,减轻运营人员的劳动强度,发挥城市轨道交通的通过能力。ATC系统的技术含量高,运用了许多当代重要的科技成果。

### 第一节 ATC 系统综述

#### 一、ATC 系统的组成和功能

列车自动控制(ATC——Automatic Train Control)系统包括三个子系统:列车自动防护(ATP——Automatic Train Protection)、列车自动运行(ATO——Automatic Train Operation)、列车自动监控(ATS——Automatic Train Supervision)。

ATC系统包括五个原理功能:ATS功能、联锁功能、列车检测功能、ATC功能和PTI(列车识别)功能。

(1)ATS功能:可自动或由人工控制进路,进行行车调度指挥,并向行车调度员和外部系统提供信息。ATS功能主要由位于OCC(控制中心)内的设备实现。

(2)联锁功能:响应来自ATS功能的命令,在随时满足安全准则的前提下,管理进路、道岔和信号的控制,将进路、轨道电路、道岔和信号的状态信息提供给ATS和ATC功能。联锁功能由分布在轨旁的设备来实现。

(3)列车检测功能:一般由轨道电路完成。

(4)ATC功能:在联锁功能的约束下,根据ATS的要求实现列车运行的控制。ATC功能有三个子功能:ATP/ATO轨旁功能、ATP/ATO传输功能和ATP/ATO车载功能。ATP/ATO轨旁功能负责列车间隔和报文生成;ATP/ATO传输功能负责发送感应信号,它包括报文和ATC车载设备所需的其他数据;ATP/ATO车载功能负责列车的安全运营、列车自动驾驶,且给信号系统和司机提供接口。

(5)PTI功能:是通过多种渠道传输和接收各种数据,在特定的位置传给ATS,向ATS报告列车的识别信息、目的号码和乘务组号和列车位置数据,以优化列车运行。

## 二、ATC 系统的水平等级

为确保行车安全和线路最大通过能力,根据国内外的运营经验,一般最大通过能力小于 30 对/h 的线路宜采用 ATS 和 ATP 系统,实现行车指挥自动化及列车的超速防护。在最大通过能力较低的线路,行车指挥可采用以调度员人工控制为主的 CTC(调度集中)系统。最大通过能力大于 30 对/h 的线路,应采用完整的 ATC 系统,实现行车指挥和列车运行自动化。

ATO 系统对节能、规范运行秩序、实现运行调整、提高运行效率等具有重要的作用,但不同的信号系统设或不设 ATO 会使运营费用差异较大,不过即使是通过能力为 30 对/h 的线路,有条件时也可选用 ATO 系统。

根据运营需要,信号系统还应满足最大通过能力为 40 对的总体要求。

对于城市轨道交通,通过能力的发挥往往受制于折返能力,而折返能力与线路条件、车辆状态、信号系统水平等因素有关。因此,通过能力要求较高时,折返能力需与之相适应,必须对上述因素进行综合研究、设计。

## 三、ATC 系统选用原则

ATC 系统选用按下列原则选择:

(1)ATC 系统应采用安全、可靠、成熟、先进的技术装备,具有较高的性能价格比;

(2)城市轨道交通运营线路宜采用准移动闭塞式 ATC 系统或移动闭塞式 ATC 系统,也可以采用固定闭塞式 ATC 系统。

因为城市轨道交通具有客流量大、行车密度高的特点,而准移动闭塞式和移动闭塞式 ATC 系统可以实现较大的通过能力,对于客运量变化具有较强的适应性,可以提高线路利用率,具有高效运行、节能等作用,并且控制模式与列车运行特性相近,能较好地适应不同列车的技术状态,其技术水平较高,具有较大的发展前景。虽然固定闭塞式 ATC 系统技术水平相对较低,但由于可满足 2 min 通过能力的行车要求,且价格相对较低廉,因此也宜选用。根据实际情况,因地制宜选择三种不同制式的 ATC 系统是完全必要的。

(3)ATC 系统构成水平的选择按前述原则执行。

## 四、不同闭塞制式的 ATC 系统

按闭塞制式,城市轨道交通 ATC 可分为:固定闭塞式 ATC 系统、准移动闭塞式 ATC 系统和移动闭塞式 ATC 系统。

### 1. 固定闭塞

固定闭塞将线路划分为固定的闭塞分区,不论是前、后列车的位置还是前、后列车的间距,都是用轨道电路等来检测和表示,线路条件和列车参数等均需在闭塞设计过程

中加以考虑,并体现在地面固定区段的划分中。

由于列车定位是以固定区段为单位的(系统只知道列车在哪个区段中,而不知道在区段中的具体位置),所以固定闭塞的速度控制模式必然是分级的,即阶梯式的。在这种制式中,需要向被控列车“安全”传送的只是代表少数几个速度级的速度码。

固定闭塞方式,无法满足提高系统能力、安全性和互用性的要求。

传统 ATP 的传输方式采用固定闭塞,通过轨道电路判别闭塞分区占用情况,并传输信息码,需要大量的轨旁设备,维护工作量较大。此外,传统方式还存在以下缺点:

①轨道电路工作稳定性易受环境影响,如道碴阻抗变化、牵引回流干扰等。

②轨道电路传输信息量小。要想在传统方式下增加信息量,只能通过提高信息传输的频率。但是如果传输频率过高,钢轨的集肤效应会导致信号的衰耗增大,从而导致传输距离缩短。

③利用轨道电路难以实现车对地的信息传输。

④固定闭塞的闭塞分区长度是按最长列车、满负载、最高速度、最不利制动率等不利条件设计的,分区较长,且一个分区只能被一列车占用,不利于缩短列车运行间隔。

⑤固定闭塞系统无法知道列车在分区内的具体位置,因此列车制动的起点和终点总在某一分区的边界。为充分保证安全,必须在两列车间增加一个防护区段,这使得列车间的安全间隔较大,影响了线路的使用效率。

## 2. 准移动闭塞

准移动闭塞对前、后列车的定位方式是不同的。前行列车的定位仍沿用固定闭塞的方式,而后续列车的定位则采用连续的或称为移动的方式。为了提高后续列车的定位精度,目前各系统均在地面每隔一段距离设置 1 个定位标志(可以是轨道电路的分界点或信标等),列车通过时提供绝对位置信息。在相邻定位标志之间,列车的相对位置由安装在列车上的轮轴转数累计连续测得。

由于准移动闭塞同时采用移动和固定两种定位方式,所以它的速度控制模式既具有无级(连续)的特点,又具有分级(阶梯)的性质。若前行列车不动而后续列车前进时,其最大允许速度是连续变化的;而当前行列车前进,其尾部驶过固定区段的分界点时,后续列车的最大速度将按“阶梯”跳跃上升。

由于准移动闭塞兼有移动和固定的特性,与“固定”性质相对应的设备,必须在工程设计和施工阶段完成。而被控列车的位置是由列车自行实时(移动)测定的,所以其最大允许速度的计算最终只能在车上实现。

为了使后续列车能够根据自身测定的位置,实时计算其最大允许速度,必须用数字编码轨道电路向其提供前方线路的各种参数以及前行列车处在哪个区段上的信息。

准移动闭塞在控制列车的安全间隔上比固定闭塞进了一步。它通过采用报文式轨道电路辅之环线或应答器来判断分区占用并传输信息,信息量大;可以告知后续列车继续前行的距离,后续列车可根据这一距离合理地采取减速或制动,列车制动的起点可延

伸至保证其安全制动的地点,从而可改善列车速度控制,缩小列车安全间隔,提高线路利用效率。但准移动闭塞中后续列车的最大目标制动点仍必须在先行列车占用分区的外方,因此它并没有完全突破轨道电路的限制。

### 3. 移动闭塞

#### (1) 移动闭塞的基本概念

移动闭塞的特点是前、后两列车都采用移动式的定位方式,不存在固定的闭塞分区,列车之间的安全追踪间距随着列车的运行而不断移动且变化。

移动闭塞可借助感应环线或无线通信的方式实现。早期的移动闭塞系统大部分采用基于感应环线的技术,即通过在轨间布置感应环线来定位列车和实现车载计算机(VOBC)与车辆控制中心(VCC)之间的连续通信。而今,大多数先进的移动闭塞系统已采用无线通信系统实现各子系统间的通信,构成基于无线通信技术的移动闭塞。

#### (2) 移动闭塞的特点

移动闭塞具有如下特点:

- ① 线路没有固定划分的闭塞分区,列车间隔是动态的,并随前一列车的移动而移动;
- ② 列车间隔是按后续列车在当前速度下所需的制动距离,加上安全余量计算和控制的,确保不追尾;
- ③ 制动的起点和终点是动态的,轨旁设备的数量与列车运行间隔关系不大;
- ④ 可实现较小的列车运行间隔;
- ⑤ 采用地-车双向传输,信息量大,易于实现无人驾驶。

#### (3) 移动闭塞的技术优势

① 移动闭塞是一种新型的闭塞制式,它克服了固定闭塞的缺点。基于无线通信的列车控制(Communications Based Train Control,简称 CBTC)则是实现这种闭塞制式的最主要技术手段。采用这种方法以后,实现了车地间双向、大容量的信息传输,达到连续通信的目的,在真正意义上实现了列车运行的闭环控制。当列车和车站一开始通信,车站就能得知所有列车的位置,能够提供连续的列车安全间隔保证和超速防护,在列车控制中具有更好的精确性和更大的灵活性,并能更快地检测到故障点。而且,移动闭塞可以根据列车的实际速度和相对速度来调整闭塞分区的长度,尽可能缩小列车运行间隔,提高行车密度进而提高运输能力。此外,这种系统与传统系统相比将大大减少沿线设备,车载设备和轨旁设备的安装也相对较容易,维修方便,有利于降低运营成本。

② 移动闭塞系统通过列车与地面间连续的双向通信,提供连续测量本车与前车距离的方法,实时提供列车的位置及速度等信息,动态地控制列车运行速度。移动闭塞制式下后续列车的最大制动目标点可比准移动闭塞和固定闭塞更靠近先行列车,因此可以缩小列车运行间隔,有条件实现“小编组,高密度”,从而使系统可以在满足同等客运需求条件下减少旅客候车时间,缩小站台宽度和空间,降低基建投资。

③ 由于系统采用模块化设计,核心部分均通过软件实现,因此使系统硬件数量大大

减少,可节省维护费用。

④移动闭塞系统的安全关联计算机一般采取3取2或2取2的冗余配置,系统通过故障—安全原则对软、硬件及系统进行量化和认证,可保证系统的可靠性、安全性和可用度。

⑤移动闭塞还常常和无人驾驶联系在一起。两者的结合能够避免司机的误操作或延误,获得更高的效率。

⑥无线移动闭塞的数据通信系统对所有的子系统透明,对通信数据的安全加密和接入防护等措施可保证数据通信的安全。由于采取了开放的国际标准,可实现子系统间逻辑接口的标准化,从而有可能实现路网的互联互通。采取开放式的国际标准也使国内厂商可从部分部件的国产化着手,逐步实现整个系统的国产化。

#### (4)移动闭塞的工作原理

移动闭塞与固定闭塞的根本区别在于闭塞分区的形成方法不同,如图5-1所示,移动闭塞系统是一种区间不分割、根据连续检测先行列车位置和速度进行列车运行间隔控制的列车安全系统。这里的连续检测并不意味着一定没有间隔点。实际上该系统把先行列车的后部看作是假想的闭塞区间。由于这个假想的闭塞区间随着列车的移动而移动,所以叫做移动闭塞。在移动闭塞系统中,后续列车的速度曲线随着目标点的移动而实时计算,后续列车到先行列车的保护段后部之间的距离等于列车制动距离加上列车制动反应时间内驶过的距离。

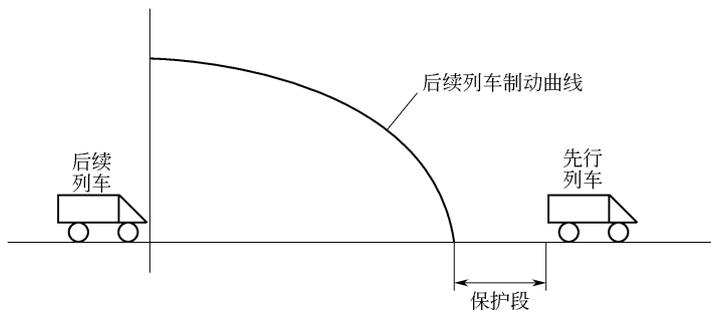


图 5-1 移动闭塞原理示意图

移动闭塞技术在对列车的安全间隔控制上更进了一步。通过车载设备和轨旁设备连续地双向通信,控制中心可以根据列车实时的速度和位置动态地计算列车的最大制动距离。列车的长度加上这一最大制动距离并在列车后方加上一定的防护距离,便组成了一个与列车同步移动的虚拟闭塞分区(见图5-2)。由于保证了列车前后的安全距离,两个相邻的移动闭塞分区就能以很小的间隔同时前进,这使列车能以较高的速度和较小的间隔运行,从而提高运营效率。

无线移动闭塞系统的组成主要包括无线数据通信网、车载设备、区域控制器和控制

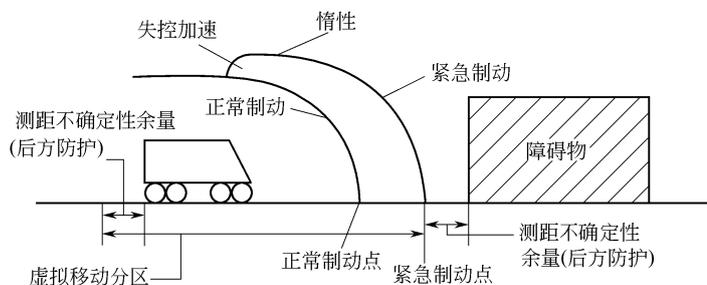


图 5-2 移动闭塞系统的安全行车间隔

中心等。其中,无线数据通信是移动闭塞实现的基础。通过可靠的无线数据通信网,列车不间断地将其标识、位置、车次、列车长度、实际速度、制动潜能和运行状况等信息以无线的方式发送给区域控制器。区域控制器追踪列车并通过无线传输方式向列车发送移动授权,根据来自列车的信息计算、确定列车的安全行车间隔,并将相关信息(如先行列车位置、移动授权等)传递给列车,控制列车运行。车载设备包括无线电台、车载计算机和其他设备(如传感器、查询器等)。列车将采集到的数据(如机车信息、车辆信息、现场状况和位置信息等)通过无线数据通信网发送给区域控制器,以协助完成运行决策;同时对接收到的命令进行确认并执行。

移动闭塞的线路取消了物理层次上的闭塞分区划分,而是将线路分成了若干个通过数据库预先定义的线路单元,每个单元长度为几米到十几米之间,移动闭塞分区即由一定数量的单元组成,单元的数目可随着列车的速度和位置而变化,分区的长度也是动态变化的。线路单元以数字地图的矢量来表示。如图 5-3 所示,线路拓扑结构的示意图由一系列的节点和边线表示。任何轨道的分叉、汇合、走行方向的变更以及线路的尽头等位置均由节点(Node)表示,任何连接两个节点的线路称为边线。每一条边线有一个从起始节点至终止节点的默认运行方向。一条边线上的任何一点均由它与起点的距离表示,称为偏移。因此所有线路上的位置均可由矢量[边线,偏移]来定义,且标识是唯一的。

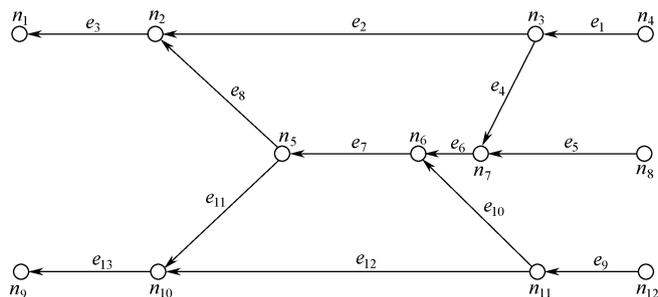


图 5-3 线路拓扑图示例

### (5) 移动闭塞 ATC 系统分类

移动闭塞 ATC 系统就车-地双向信息传输速率而言,可分为:基于电缆环线传输方式和基于无线通信和数据传输媒介的传输方式。

按无线扩频通信方式可分为:直接序列扩频和跳频扩频方式。

按数据传输媒介传输方式可分为:点式应答器、自由空间波、裂缝波导管和漏泄电缆等传输方式。

## 五、不同结构的 ATC 系统

### 1. 点式 ATC 系统

点式 ATC 系统因其主要功能是实现列车超速防护,所以又称为点式 ATP 系统。它用点式传递信息,用车载计算机进行信息处理。

点式 ATC 系统在城市轨道交通中应用比较广泛。其主要优点是采用无源、高信息容量的地面应答器,结构简单,安装灵活,可靠性高,价格明显低于连续式 ATC 系统。上海轨道交通 5 号线采用的即是德国西门子公司的点式 ATC 系统。

点式 ATP 难以胜任列车密度大的情况,如后续列车驶过地面应答器时,因前方区段有车,它算出的速度曲线是一条制动曲线。后续列车驶过后,尽管前行列车已驶离,但后续列车已驶过地面应答器,得不到新的信息只能减速运行,直到抵达运行前方的地面应答器,才能加速。

#### (1) 点式 ATC 系统的基本结构

图 5-4 表示点式 ATP 系统的基本结构,由车载设备和地面设备组成,主要是地面应答器、轨旁电子单元(LEU,又称为信号接口)以及车载设备。

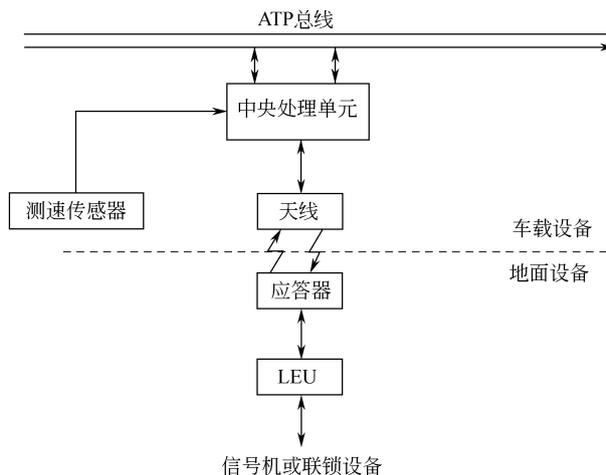


图 5-4 点式 ATP 系统的基本结构

#### ① 地面应答器

地面应答器通常设置在信号机旁或者设置在一段需要降速的缓行区间的始、终端。它接收车载设备发射的能量,供内部电路与回答发送用。其内部寄存器按协议以数码形式存放实现列车速度监控及其他行车功能所必须的数据。置于信号机旁的地面应答器,用以向列车传递信号显示信息,因此需要通过接口电路与信号机相连。地面应答器内所存储的部分数据受信号显示的控制。此接口电路即轨旁电子单元 LEU。置于线路上的地面应答器通常不需与任何设备相连,所存放的数据往往是固定的。

当列车驶过地面应答器,且车载应答器与地面应答器对准时,车载应答器首先以一定的频率,通过电磁感应方式将能量传递给地面应答器,地面应答器的内部电路在接收到来自车上的能量后即开始工作,将所存储的数据以某种调制方式(通常用 FSK 方式)仍通过电磁感应传送至车上。图 5-5 表示点式列车速度控制系统及车载应答器与地面应答器之间的耦合关系。其中 100 kHz 为能量通道,850 kHz 为信息数据通道,50 kHz 是为增大可靠性而设置的监视通道。

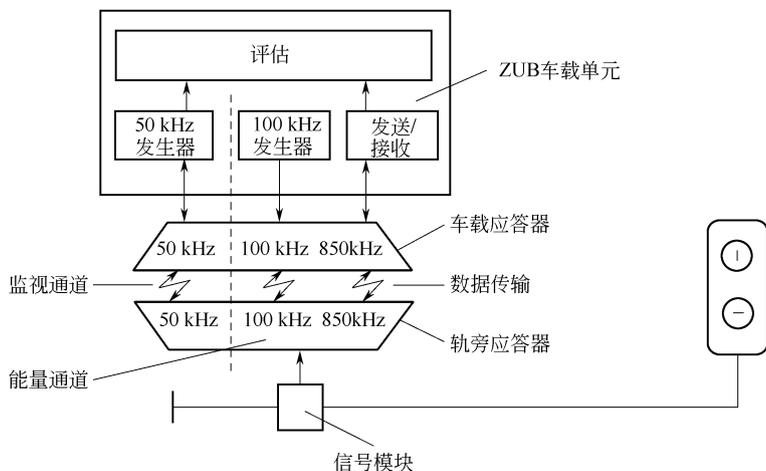


图 5-5 车载应答器与地面应答器之间的能量与数据传输

## ② 轨旁电子单元 LEU

轨旁电子单元是地面应答器与信号机之间的电子接口设备,其任务是将不同的信号显示转换为约定的数码形式。LEU 是一块电子印制板,可根据不同类型的输入电流输出不同的数码。

## ③ 车载设备

车载设备由车载应答器、测速传感器、中央处理单元、驾驶台上的显示、操作与记录装置等部分组成,如图 5-6 所示。

a. 车载应答器:完成车-地的耦合联系,将能量送至地面应答器,接收地面应答器所储存的数据并传送至中央处理单元。

b. 测速传感器:通常装在轮轴上,根据每分钟车轮的转数与车轮直径在中央处理单元内换算成列车目前的速度。

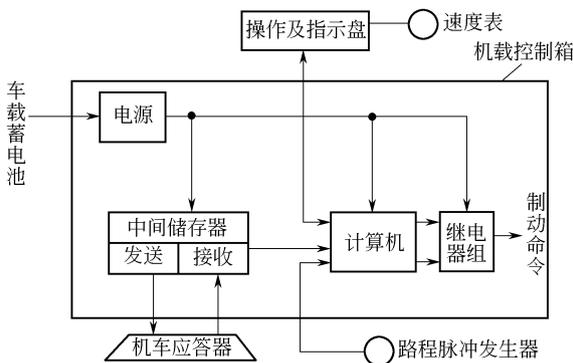


图 5-6 点式 ATC 系统车载设备组成

c. 中央处理单元:核心是安全型计算机,负责对所接收到的数据进行加工处理,形成列车当前允许的最大速度,将此最大允许速度值与列车的现有速度值进行比较,以决定是否给出启动常用制动乃至紧急制动的信息。从车载应答器传向地面应答器的高频电磁能量也是由它产生的。

d. 驾驶台上的显示、操作与记录装置

经过一个接口,即可将中央处理单元内的列车现有速度及列车最大允许速度显示出来,这种显示可以是指针式或液晶显示屏方式,按照需要,还可显示出其他有助于司机驾驶的信息,如距目标点的距离、目标点的允许速度等。对于出现非正常的情况,如出现超速报警、启用常用或紧急制动,都可以由记录仪进行记录。

(2)点式 ATC 系统的基本原理

点式 ATC 系统的车载设备接收信号点或标志点的应答器信息,还接收列车速度和制动压力信息,输出控制命令和向司机显示。地面应答器向列车传送每一信号点的允许速度、目标速度、目标距离、线路坡度、信号机号码等信息。图 5-7 表示车载中央控制单元根据地面应答器传至车上的信息以及列车自身的制动率(负加速度),计算得出的两个信号机之间的速度监控曲线。

$v_0$ ——所允许的最高列车速度。

$v_1$ ——当列车车速达到此值时,车载中央控制单元给出音响报警,如果此时司机警惕降速,使车速低于  $v_0$ ,则一切趋于正常。

$v_2$ ——当列车车速达到此值时,车载中央控制单元给出启动常用制动(通常为启动最大常用制动)的信息,列车自动降速至  $v_0$  以下。若列车制动装置具有自动缓解功能,则在列车速度降至  $v_0$  以下时,制动装置即可自动缓解,列车行驶趋于正常;若列车制动装置不具备自动缓解功能,则常用制动使列车行驶一段路程后停下,列车由驾驶员经过

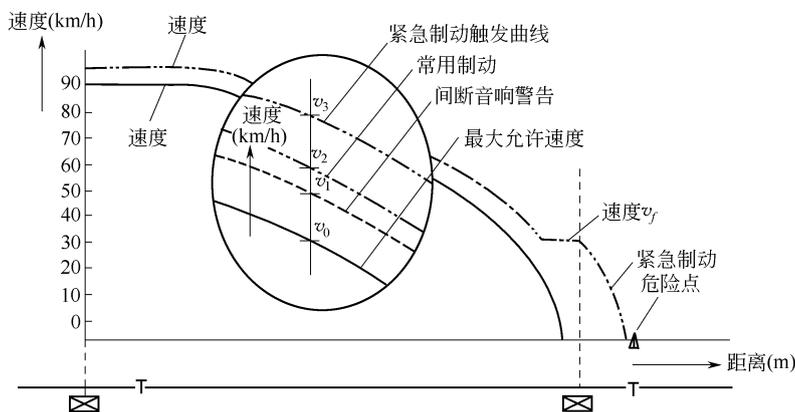


图 5-7 点式列车超速防护系统的速度监控曲线

一定的手续后重新人工启动。

$v_3$ ——当列车车速达到此值时。车载中央控制单元给出启动紧急制动的信息,确保列车在危险点的前方停住。

### (3) 地车之间的数据传递

地面-车上应答器之间的数据传递是一种按协议的串行数码传输方式,电码以频移键控方式传送,为了防止干扰,载频通常在 800 kHz~1 MHz 之间,数码速率一般为 50 kbit/s。

如德国西门子公司的 ZUB200 系统中所采用的电码结构,如图 5-8 所示。

000000001	80~100 bit 有用位	32 bit 安全校验
-----------	----------------	-------------

图 5-8 ZUB200 系统所采用的电码结构

ZUB200 的电码分为四大部分:起始同步码、信息码、安全监视码、终止码。

起始同步码用来识别一组电码的开始,车上、地下实现同步。首先约定在信息码中不允许出现连续 8 个“0”位及连续 8 个“1”位;然后以“000000001”作为起始同步码,以“11111110”作为终止同步码。

信息码一般包括是以电码组合的方式来传递有关信息。由于用户要求及实际情况千差万别,因此无一定的定格可言。按目前的技术水平,信息码已可达上千比特。

点式 ATC 系统的主要缺点是信息传递的不连续性,有时会对列车运行造成不利影响。

## 2. 连续式 ATC 系统

按地-车信息传输所用的媒体分类,连续式 ATC 系统可分为有线与无线两大类,前者又可分为利用轨间电缆与利用数字编码音频轨道电路两类。按自动闭塞的性质,连续式 ATC 系统可以分为移动闭塞、准移动闭塞和固定闭塞。按地车之间所传输信息

的内容,ATC 系统可分为速度码系统与距离码系统。

### (1)采用轨道电路的连续式 ATC 系统

ATC 系统有速度码系统和距离码系统两种。不论是速度码系统还是距离码系统,其轨道电路都被用作双重通道;当轨道电路区段上无车时,轨道电路发送的是轨道电路检测信号或检测码;当列车驶入轨道电路区段,立即转发速度信号或者有关数据电码。

#### ①速度码系统(Speed Code System)

速度码系统通常使用频分制方法,采用的是移频轨道电路,即用不同的频率来代表不同的允许速度。由控制中心通过信息传输媒体将列车最大允许速度直接传至车上,这类制式在信息传递与车上信息处理方面比较简单,速度分级是阶梯式的。

上海地铁 1 号线采用的是从美国 GRS 公司引进的 ATC 系统,是一种典型的频分制速度码系统。图 5-9 表示这种速度码系统的示意图。在无列车经过时,轨道电路用于检测列车占用。与每一个阻抗线圈相对应的发送与接收电路都与固定的频率相对应。4 个载频分别为: $f_1=2625\text{ Hz}$ , $f_2=2925\text{ Hz}$ , $f_3=3\ 375\text{ Hz}$ , $f_4=4\ 275\text{ Hz}$ ,在轨道电路中所传送的信号是调幅信号,所采用的调制频率有  $f_{s1}=2\text{ Hz}$ , $f_{s2}=3\text{ Hz}$ 。

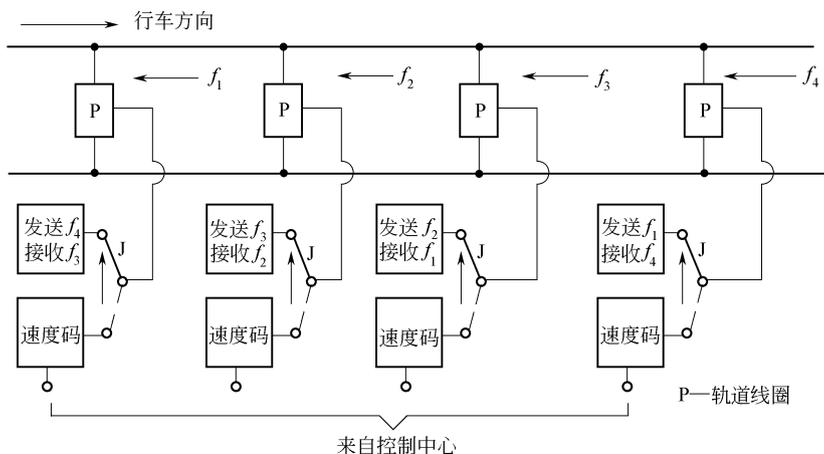


图 5-9 速度码系统示意图

从图 5-9 可见,当列车进入某一轨道电路区段后,检测继电器失磁落下,向轨道电路改发来自控制中心的速度信息。载频为  $2\ 250\text{ Hz}$ ,调制频率  $f_1 \sim f_6$  分别  $6.83\text{ Hz}$ 、 $8.31\text{ Hz}$ 、 $10.10\text{ Hz}$ 、 $12.43\text{ Hz}$ 、 $15.30\text{ Hz}$  和  $18.14\text{ Hz}$ ,6 个调制频率各代表不同的允许速度。显然,这种速度分级是比较粗略的。另外设置了两个调制频率为  $4.5\text{ Hz}$  及  $5.54\text{ Hz}$ ,用以分别给出左、右车门的门控信号。

速度码系统从地面传递给列车的允许速度(限速值)是阶梯分级的,在轨道电路区段分界处的限速值是跳跃式的(见图 5-10),这对于平稳驾驶、节能运行及提高行车效率都是非常不利的。因此,速度码系统已逐渐被能实时计算限速值的距离码系统所取代。

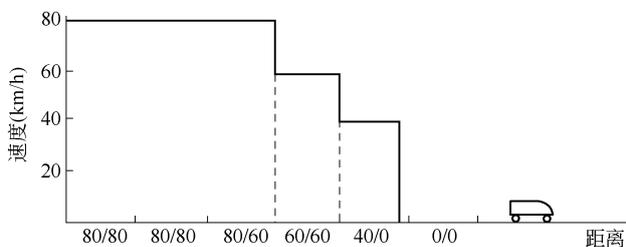


图 5-10 阶梯式限速曲线

注：图中“80/80”是区段“入口/出口”限制速度，其他类同。

### ② 距离码系统(Distance Code System)

距离码系统由于信息电码的多样性和复杂性,所以必须使用时分制数字电码方式,按协议来组成各种信息。距离码系统采用数字编码音频轨道电路,是目前使用最广泛的 ATC,我国大多数城市轨道交通的 ATC 就是采用这种系统。

距离码系统从地面传至车上的是前方目标点的距离等一系列基本数据,车载计算机根据地面传至车上的各种信息(包括区间的最大限速、目标点的距离、目标点的允许速度、区间线路的坡度等)以及储存在车载单元内的列车自身的固有数据(如:列车长度、常用制动及紧急制动的制动率、测速及测距信息等),实时计算出允许速度曲线,并按此曲线对列车的实际运行速度进行监控。

由于数据传输、实时计算以及列车车速监控都是连续的,所以速度监控是实时、无级的,可以有效地实现平稳驾驶与节能运行。但这种制式的信息传输比较复杂。

#### a. 系统概况

图 5-11 表示用数字编码轨道电路实现连续式列车速度监控的系统概况。当列车

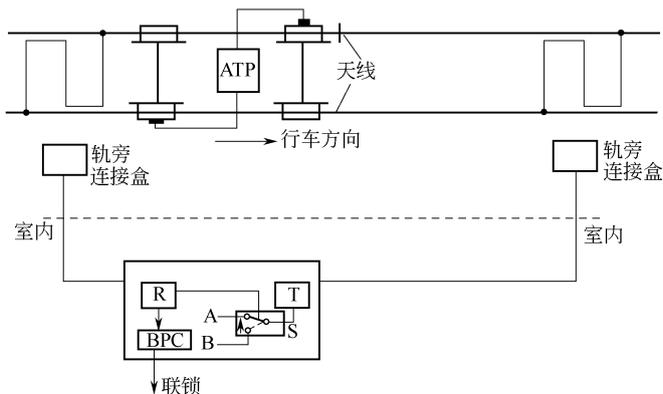


图 5-11 用数字编码轨道电路实现列车速度监控的系统

R—接收;T—发送;BPC—比特一致校核;A—轨道电路发码;  
B—ATP 信息发码;S—转换继电器。

进入该轨道区段时,转换继电器落下,一方面向联锁装置给出有车占用的表示,另一方面由转换继电器接通列车速度控制系统的发码装置,通过轨道电路的发送电路将有关列车控制的地面信息送上轨面,这些信息将由位于列车最前部的车载天线接收。当列车驶离该轨道区段时,转换继电器吸起,导致轨道电路发送轨道检测码,使轨道继电器吸起。

必须指出,这类系统依赖列车进入轨道区段实现轨道电路表示码与信息码之间的转换,在“有车占用表示”延时给出情况下(当轮轨分路条件不理想时,列车第一轮对驶入轨道电路区段将并不马上给出“有车占用表示”,而在第二轮对,甚至更后的轮对相继驶入轨道电路区段后,才能给出“有车占用表示”),如不采取特殊的保护措施,有可能使列车闯入危险区,将会对安全造成极大威胁。为此,有的系统规定了轨道电路表示码与信息码之间的最大转换时间,若当列车驶入轨道电路区段,在最大转换时间之内车载设备尚未接收到信息码,则直接启用紧急制动,保证列车不闯入危险区。

#### b. 从地面向车上所传输的信息

当列车进入轨道区段时,轨道电路以频移键控方式向车载设备传送信息。该信息是以按协议约定的报文电码形式传送的。目前可在每 1 s 内传送一组报文电码,对于以 80 km/h 速度运行的列车而言,每秒驶过的距离为 22 m,即使在最短的轨道区段,车载设备也可收到一组完整的报文电码,每一组报文电码的有用信息电码最多为 128 bit。

数据报文电码是串行传输的,其头、尾码及同步方式与前述 ZUB200 的相同。

处于头、尾码之间的是信息码,信息码的内容与报文结构应按照协议构成。通常,信息码包括以下内容:

车站停车点(用以构成列车停站后开启车门的一个条件);

列车运行方向;

开启哪一侧的车门(即车站站台的位置,左侧或右侧);

下一段轨道电路的入口允许速度;

区间最大速度(取决于线路状态);

下一段轨道电路区段的坡度;

至限速区间起始点的距离(指列车所在轨道电路区段的起始点至限速区间起始点的距离);

限速区间的允许速度;

目标距离(指列车所在轨道电路区段的起始点至目标点的距离);

目标速度(目标点的允许速度,如目标点为停车点,则目标速度为零);

ATP 系统的开始与结束;

列车所在轨道电路的编号确认;

列车所在轨道电路的长度;

下一段轨道电路的编号；

下一段轨道电路的载频频率(用于车载设备预调谐)。

c. 车载设备的自动调谐

各轨道电路区间采用不同的频率,车载设备的自动调谐(频率跟踪)能使机车接收装置自动适应所在轨道电路的传输频率。

图 5-12 表示一段线路上轨道电路频率的配置及其有关的信息码。当列车位于 0010 段轨道电路时,车载设备可接收到本段轨道电路的载频  $f_1$ , 下一段轨道电路的载频  $f_3$ 、本段轨道电路编号、下一段轨道电路的编号等有关信息。在车载设备中,装有两套接收调谐电路,当列车位于 0010 段轨道电路时,接收调谐电路 A 调谐于  $f_1$ ,接收调谐电路 B 调谐于  $f_3$ (频率预置);当列车位于 0100 段轨道电路时,接收调谐电路 B 调谐于  $f_3$ ,接收调谐电路 A 调谐于  $f_5$ (频率预置),如此反复进行。

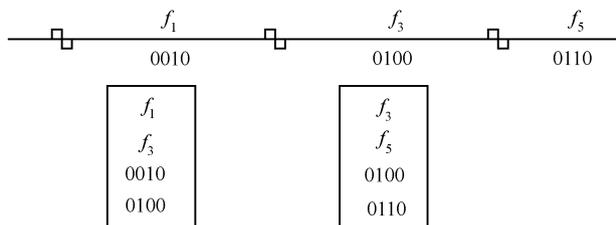


图 5-12 轨道电路频率的配置及其有关的信息码图

图 5-13 表示自动频率跟踪的原理框图。接收调谐电路由两级滤波器组成;第一级为模拟带通滤波器,用以抑制牵引电流的干扰,第二级为数字窄带通滤波器,其通频带受一个逻辑单元控制,而逻辑单元则根据来自地面的信息码调整数字滤波器的有关系数,从而使接收调谐电路的通频带随地面信息码而变化,进而实现自动频率跟踪。

但是,钢轨不是一种理想的信息传输通道,铁质材料对音频信号的衰耗很大,集肤效应非常明显,限制了轨道电路的有效长度;此外,钢轨之间的漏泄、轮轨之间的接触电阻等因素均会影响轨道电路的性能。通过轨道电路传输难以实现机车与地面间的大容量信息交换。然而,权衡性能、价格、安全可靠与可用性等诸多方面的因素,用音频数字轨道电路构成的连续式 ATC 系统在城市轨道交通中仍得到广泛的应用。

(3) 采用轨间电缆的 ATC 系统

利用轨间铺设的电缆传输信息。控制中心储存线路的固定数据:区间线路坡度、弯道、缓行区段的位置及长度等。经联锁设备,将沿线的信号显示、道岔位置等信息传送至控制中心。列车将其数据:如载重量、列车长度、制动率、所在位置、实际速度经电缆

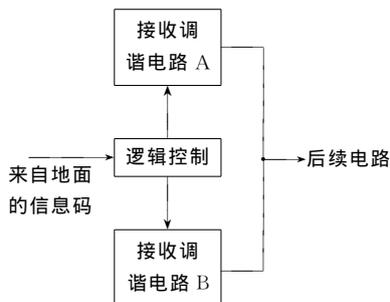


图 5-13 自动频率跟踪原理框图

传给控制中心。控制中心的计算机根据这些数据计算出该时刻的列车允许速度。此速度值经电缆传送给运行在线路上的相应列车。列车获得此速度值对列车速度进行监控。这种方式统一指挥全部列车运行,遇有发生行车晚点或其他障碍,可极迅速地将行车命令传给列车。但控制中心故障则全线瘫痪。因此采用另一种控制方式,控制中心将有关信息(线路坡度、缓行区段位置、目标距离或目标速度等)通过电缆送至机车,由车载计算机计算其允许速度。

武汉轻轨 1 号线和广州地铁 3 号线采用的就是用轨间电缆构成的 ATC 系统,是由加拿大的阿尔卡特交通自动化部开发的 SelTrac S40 移动闭塞 ATC 系统。

### ①系统结构

这类 ATC 系统主要由控制中心设备、轨间传输电缆及车载设备组成,如图 5-14 所示。

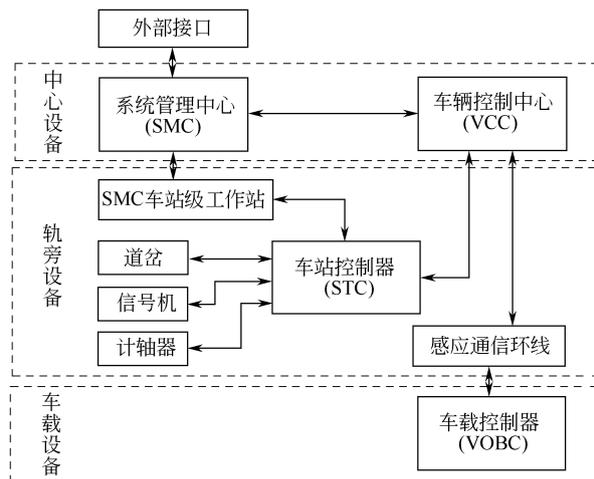


图 5-14 采用轨间电缆的 ATC 系统

采用轨间电缆超速防护系统的室内室外设备联系用两级控制方式来实现,即控制中心与若干个沿线设置的中继器相连,一个中继器最多可连接 128 个轨间电缆环路,在控制中心与敷设在轨间的电缆之间的信息交换将在中继器内进行中间变换(频率变换、电平变换、功率放大等),如图 5-15 所示。

#### a. 轨间电缆

在这类连续式超速防护系统中,轨间电缆是车-地之间的唯一信息通道。为了抗牵引电流的干扰以及实现列车定位,轨间电缆每隔一定距离(例如每隔 25 m)做一交叉,如图 5-16 所示。

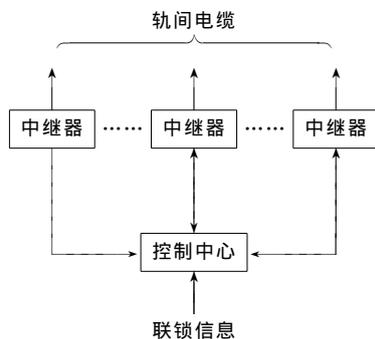


图 5-15 系统的两级控制

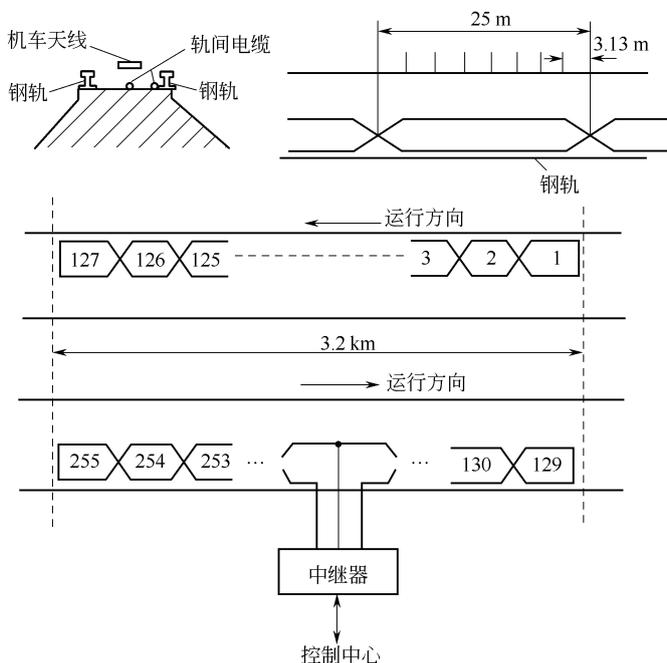


图 5-16 轨间电缆的交叉配置

一个中继器最多可控制 128 个电缆环路,所以一个中继器的最大控制距离为 3 200 m。

利用轨间电缆的交叉配置即可实现列车定位。例如在图 5-16 所示情况下,可用 14 位电码的约定结构来表示列车的地址信息,如图 5-17 所示。

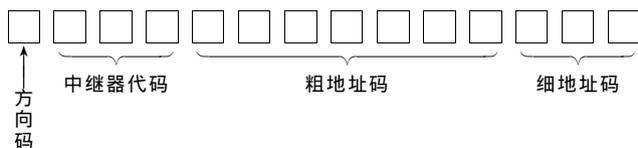


图 5-17 用于列车定位的地址码

其中最高位为列车运行方向码,第 11~13 位为相应中继器的代码,第 4~10 位为粗地址码,表明列车处于哪一个电缆交叉点。每当列车驶过一个电缆交叉点,利用信号极性的变化引发粗地址码的末位码加 1。第 1~3 位表示细地址码,列车每驶过  $25 \times (1/8) = 3.15$  m,细地址的末位码加 1。

通过这种事先约定的电码结构。列车定位地址码解码后即可知道列车所在的确切位置。

#### b. 中继器

中继器的框图结构如图 5-18 所示。中继器是控制中心与轨间电缆之间的中间环节,它的功能是把控制中心的命令通过轨间电缆传给机车,将机车信息传到控制中心。

来自控制中心的信息是数字频率调制信号,传输速率是 1 200 bit/s。在中继器内进行频率变换、功率放大(20 W 以上),然后接向轨间电缆。信息的传输通常采用脉码调制方式,有的采用脉幅调制方式,更多的是采用频移键控方式。图 5-18 所示为中继器的结构框图。

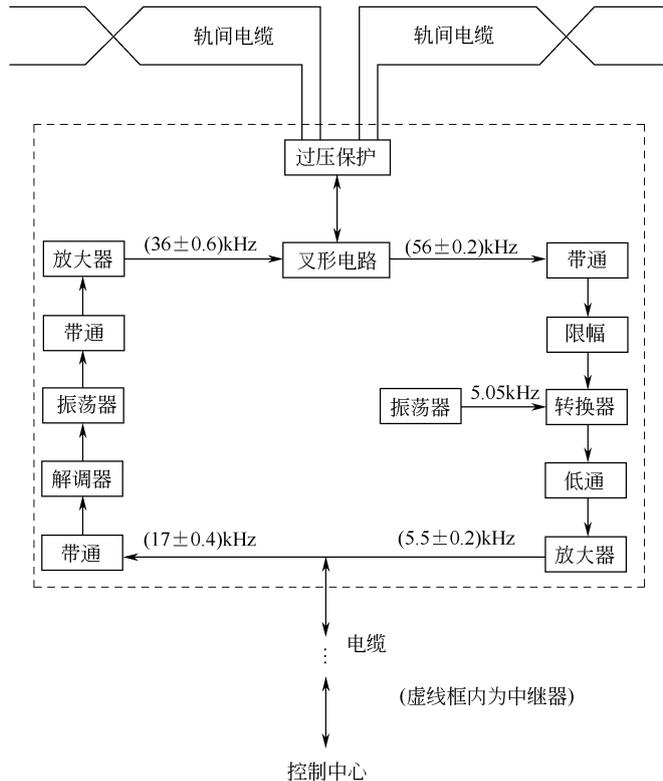


图 5-18 中继器结构框图

图 5-18 采用 FSK 数据传输方式,从控制中心向机车采用频率  $36 \pm 0.2$  kHz;从地面向控制中心则以频率  $56 \pm 0.2$  kHz 在同一电缆中传输。

### c. 车载设备

车载设备包括接收天线、车载计算机、发送及接收电路、操作及指示盘、与制动机的接口、路程脉冲发生器等。

#### ②基本原理

在控制中心内按地理坐标储存了各种地面信息(如线路坡度、曲线半径、道岔位置、缓行区段的位置与长度等等)。此外,经过联锁装置,将沿线的信号显示、道岔位置、列车的有关信息(车长、制动率、所在位置、实时速度等)不断地经由轨间电缆传至控制中心。控制中心内的计算机计算出在它管辖的区段上每一列车当前的最大允许速度,再

经由轨间电缆传至相应列车,实现速度控制。

图 5-19 中,在某一时刻,列车 B 获得实时最大允许速度为  $v_{\text{允许}}$ ;随着列车 A 的运动,目标点的距离一直在改变,列车 B 的实时最大允许速度随列车 A、B 间的距离而变化。与点式速度控制系统比较,显然连续式的行车效率更高。列车从控制中心获得最大允许速度值之后,一方面在双针速度表上显示出来。另一方面依据此值对列车速度进行监控。若列车实际速度高于此最大允许速度,则先报警后制动。如果制动设备条件许可,则可在列车实际速度低于最大允许速度时缓解制动机,从而避免了列车停车及重新启动。

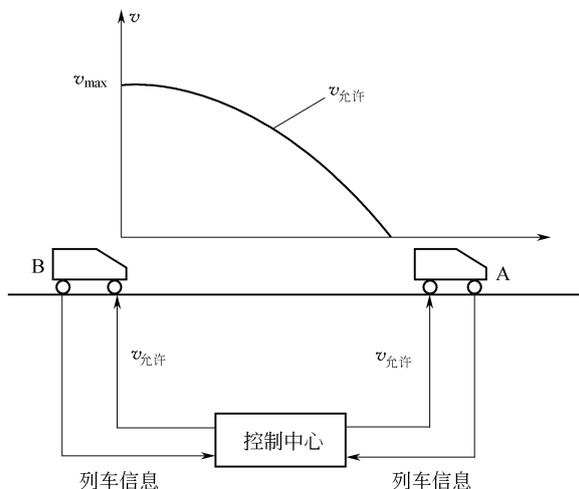


图 5-19 采用轨间电缆的列车速度自动控制原理图

### ③ 系统软件

系统软件结构如图 5-20 所示。

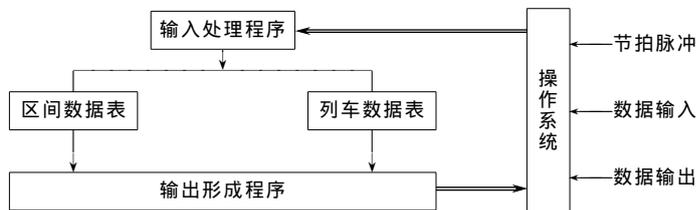


图 5-20 系统软件结构框图

由于要求数据处理的速度很高,不宜采用大容量外存储器,以避免需要较多的存取数据时间,于是将与列车运行有关的区间数据表、列车数据表分别存储在计算机的内存中,由操作系统控制数据的存入和取出。

对于每一个具体区间,在设计完成后就能提供一份完整的区间数据文件,借助于翻译

程序就可自动生成区间数据表。区间数据表中的数据分成静态数据和动态数据两大类。

静态数据包括区间设备的地点、区间坡度、缓行段的位置和长度、列车接发地点、区间分界点、每一段轨间电缆的地理位置等。

动态数据包括区间设备状态的变化、缓行段的增减、紧急停车操作等。

列车数据表中储存全部与列车有关的信息,由于控制中心整个管辖区内的列车是运动的,所以列车数据表中的数据都是动态数据(包括列车的制动率、即时速度、所处的位置等)。它的接收、监视、删除都用程序来完成。列车数据表以级联的方式构成,从而可使每列车知道它的前行车和后续车的位置。

采用轨间电缆的 ATC 系统的信息传递的连续性是以昂贵的轨间电缆为代价的,维修费用也高,而且轨间电缆的存在给线路养护工作带来了不便。

### (3)无线 ATC 系统

无线 ATC 系统利用无线通信的方式传输信息。地面编码器生成编码信息,通过天线向车上发送。信号显示控制接口负责检测要发送的信号显示,并从已编程的数据中选出有用数据送编码器,同时选出与限制速度、坡度、距离等有关的轨道数据。编码器用高安全度的代码将这些数据编码,经过载波调制,馈送至无线通道向机车发送。车上接收设备接收限制速度、坡度、距离后,由车载计算机计算出目标速度,对机车进行监控。

用无线通道实现地-车数据传输的 ATC 才是真正意义上的移动闭塞。目前,阿尔卡特、阿尔斯通、西门子、庞巴迪和西屋公司等,均开发出了各自的移动闭塞技术并已广泛应用。

典型的移动闭塞线路中,线路被划分为若干个区域,每一个区域由一定数量的线路单元组成。区域的组成和划分预先定义,每一个区域均由本地控制器和通信系统控制。本地控制器和区域内的列车及联锁等子系统保持连续的双向通信,控制本区域内的列车运行。列车从一个控制区域进入下一个区域的移交是通过相邻区域控制器之间的无线通信实现的。当列车到达区域边界,后方控制器将列车到达信息传递给前方控制器,同时命令列车调整其通话频率;前方控制器在接收并确认列车身份后发出公告,移交便告完成。两个相邻的控制区域有一定的重叠,保证了列车移交时无线通信不中断(见图 5-21)。

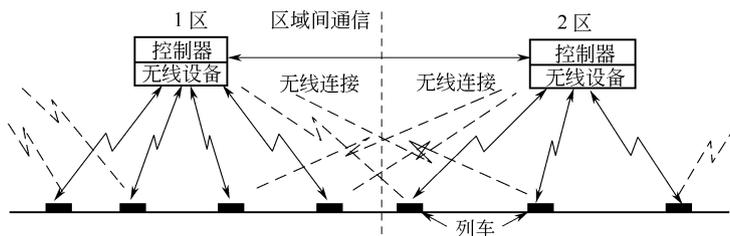


图 5-21 分布式移动闭塞技术的无线传输示意图

图中虚线表示了无线蜂窝信号的重叠,车载无线电根据信号强度决定与哪一个轨旁基站进行通信。

在采用轨旁基站的无线通信系统中,一般考虑 100% 的无线信号冗余率进行基站布置,以消除在某个基站故障时可能出现的信号盲区。

典型无线移动闭塞系统的系统结构如图 5-22 所示。该系统以列车为中心,其主要子系统包括:区域控制器、车载控制器、列车自动监控(中央控制)、数据通信系统和司机显示等。

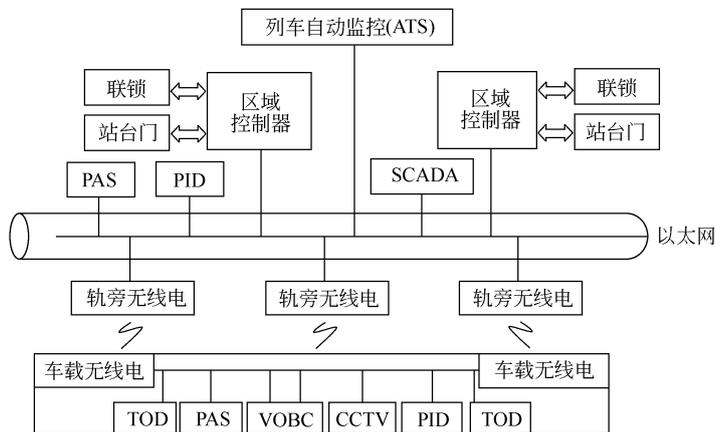


图 5-22 典型无线移动闭塞系统的系统结构

CCTV—闭路电视;PAS—乘客广播系统;PID—乘客导向系统;  
SCADA—电力监控系统;TOD—司机显示;VOBC—车载控制器。

区域控制器(ZC)即区域的本地计算机,与联锁区一一对应,通过数据通信系统保持与控制区域内所有列车的安全信息通信。ZC 根据来自列车的位置报告跟踪列车并对区域内列车发布移动授权,实施联锁。区域控制器采取 3 取 2 的检验冗余配置。

冗余结构的 ATS 可实现与所有列车运行控制子系统的通信,用于传输命令及监督子系统状况。

车载控制器(VOBC)与列车一一对应,实现列车自动保护(ATP)和列车自动运行(ATO)的功能。车载控制器也采取 3 取 2 的冗余配置。车载应答器查询器和天线与地面的应答器(信标)进行列车定位,测速发电机用于测速和对列车定位进行校正。

司机显示提供司机与车载控制器及 ATS 的接口,显示的信息包括最大允许速度、当前速度、到站距离、列车运行模式及系统出错信息等。

数据通信系统实现所有列车运行控制子系统间的通信。系统采用开放的国际标准:以 802.3(以太网)作为列车控制子系统间的接口标准,以 802.11 作为无线通信接口标准。这两个标准均支持互联网协议 IP。

## 六、ATC 系统控制模式

ATC 系统应包括下列控制等级:控制中心自动控制模式;控制中心自动控制时的人工介入控制或利用 CTC 系统的人工控制模式;车站自动控制模式;车站人工控制模式。

每种模式说明了操作对给定车站和归属控制地段中的列车运行所采取的控制等级,然而一个系统在同一时间只能处于一种模式。

以上控制等级应遵循的原则是:车站人工控制优先于控制中心人工控制、控制中心人工控制优先于控制中心的自动控制或车站自动控制。

### 1. 控制中心自动控制模式(CA)

在控制中心自动控制模式下,列车进路命令由 ATS 进路自动设定系统发出,其信息来源是时刻表及列车运行自动调整系统。控制中心调度员可以对列车运行自动调整系统进行人工干预,使列车运行按调度员意图进行。

### 2. 控制中心自动控制时的人工介入控制或利用 CTC 系统的人工控制模式(CM)

在控制中心自动控制时,控制中心调度员也可关闭某个联锁区或某个联锁区内部分信号机或某一指定列车的自动进路设定,直接在控制中心的工作站上对列车进路进行控制,在关闭联锁区自动进路设定时,控制中心调度员可发出命令,利用联锁设备自动进路控制功能,随着前行列车的运行,自动排列一条后续列车的固定进路。在自动进路功能出现故障的情况下,调度员可以人工设置进路。

在 CM 模式中,车站的人工控制转到 ATS 系统。一旦车站工作于该模式,则由 ATS 系统启动控制而不由车站控制计算机启动控制。然而,车站控制计算机继续接收表示,更新显示和采集数据。

### 3. 车站自动控制模式

在控制中心设备故障或通信线路故障时,控制中心将无法对联锁车站的远程控制终端进行控制,此时将自动进入列车自动监控后备模式,由列车上的车次号发送系统发出的带列车去向的车次信息,通过远程控制终端自动产生进路命令,由联锁设备的自动功能来自动设定进路,即随着列车运行,自动排列一条固定进路。

### 4. 车站人工控制模式

当 ATS 因故不能设置进路(不论人工方式还是自动进路方式),或由于某种运营上的需要而不能由中心控制时,可改为现地操纵模式。在现地操纵台上人工排列进路。

车站自动控制和车站人工控制也可合称车站控制(LC)。当车站工作于 LC 模式时,不能由 ATS 系统启动控制。然而,ATS 系统将收到表示,更新显示和采集数据。对车站控制计算机而言,这是唯一可用的控制模式。

### 5. 控制模式间的转换

#### (1) 转换至车站操作

只有当控制中心 ATS 已经发出相应的命令,才能转换到车站操作模式。因此,所有转换操作只能由车站操作员才能有效实施。

当转换模式时,不用考虑特别检查联锁条件,自动运行功能不受影响。

即使转换至车站操作,联锁显示还应该传输至控制中心 ATS,仅由车站操作站的打印机执行对显示和命令的记录。

### (2) 强制转换至车站操作

在没有收到控制中心 ATS 发出的命令时,也可以转换本至车站操作。通过一个已经登记的转换操作可以转换至车站操作,并且联锁系统的所有转换操作仅能由车站操作员来执行。

### (3) 转换至控制中心 ATS 操作

只有当车站操作已经发出释放的命令,才能转换到控制中心 ATS 操作,然后控制中心 ATS 确认它。因此,所有转换操作只有由控制中心操作员才能有效实施。在这种情况下,只有正常的转换操作才能被接受。随着转换至控制中心 ATS 操作,控制中心 ATS 可以执行所有允许的操作。但是只有车站操作才能有效实施以下转换操作:当车站操作故障,在没有车站操作的释放命令的情况下,也可以转换至控制中心 ATS 操作。

## 七、驾驶模式及模式转换

### 1. 驾驶模式

城市轨道交通列车的主要驾驶模式应包括:列车自动运行驾驶模式;列车自动防护驾驶模式;限制人工驾驶模式;非限制人工驾驶模式。此外,还有自动折返驾驶模式。

自动驾驶模式和无人驾驶模式可以提高列车行车效率,实现列车运行自动调整、维护列车运行秩序、减少司机劳动强度和人员配备的数量。然而,由于无人驾驶涉及车辆、行车组织、车辆段配置等多种因素,系统造价高,我国又无运用经验,故无人驾驶系统宜在探索经验后,根据需要逐渐采用。

#### (1) 列车自动运行驾驶模式(ATO 模式或 AM 模式)

ATO 模式即 ATO 自动运行模式,此模式是正线上列车运行的正常模式,即用于正线上列车的正常运行。在这种模式下,列车在车站之间的运行是自动的,不需司机驾驶,司机只负责监视 ATO 显示,监督车站发车和车门关闭,以及列车运行所要通过的轨道、道岔和信号的状态,并在必要时人工介入。

司机给出列车关门指令关闭车门后,通过按压启动按钮给出出发指令。车载 ATP 确认车门已关闭后,列车便可启动。如果车门还开着,ATP 会不允许列车出发。列车出发后站间运行的速度调整、至下站的目标制动以及开车门都由 ATO 自动操作。ATP 确保列车各阶段自动运行的安全,在车站之间的运行将根据控制中心 ATS 的优

化时刻表指令执行,确定其走行时间。

在 ATO 模式下,ATO 根据 ATP 编码和列车位置生成运行列车的行驶曲线,完全自动地驾驶列车;ATO 还能根据到停车点的距离计算出列车的到站停车曲线;ATO 速度曲线可以由 ATS 的调整命令修改;ATP 系统控制列车的紧急制动。

#### (2) 列车自动防护驾驶模式(SM 模式或 CM 模式)

SM 模式即 ATP 监督人工驾驶模式,是一种受保护的人工驾驶模式。在这种模式下,司机根据驾驶室中的指示手动驾驶列车,并监督 ATP 显示,以及列车运行所要通过的轨道、道岔和信号的状态,可以在任何时候操作紧急制动。ATP 连续监督人工驾驶的列车运行,如果列车超过允许速度将产生紧急制动。ATO 故障时列车可用 SM 模式在 ATP 的保护下降级运行。

在 SM 模式下,列车由司机人工驾驶,列车的运行速度受 ATP 监控;ATO 此时对列车不进行控制,但会根据地图数据随时监督列车的位置;如果 ATO 能与 PAC 通信,它可控制车门开启;ATP 向司机提示安全速度和距离信息;在列车实际行驶速度到达最大安全速度之前,ATP 可实施常用制动,防止列车超速;由 ATP 系统来控制列车的紧急制动。

#### (3) 限制人工驾驶模式(RM 模式)

RM 模式即 ATP 限制允许速度的人工驾驶模式,这是一种受约束的人工操作,必须“谨慎运行”。在这种模式下,列车由司机根据轨旁信号驾驶,ATP 仅监督允许的最大限速值。

该运行模式在下列情况下使用:

- ① 列车在车辆段范围内(非 ATC 控制区域)运行时;
- ② 正线运行中联锁设备或轨道电路或 ATP 轨旁设备或 ATP 列车天线或地对车通信发生故障时;
- ③ 列车紧急制动以后;
- ④ 启动 ATP/ATO 以后。

此时,车载 ATP 将给出一个 25 km/h 的限制速度。

在 RM 模式下,列车由司机人工驾驶,没有轨道编码的参与,不要求强制使用地面编码。此时 ATO 退出控制;由司机负责列车运行的安全,并监督列车所要通过的轨道、道岔和信号的状态,如有必要,对列车进行制动;列车行驶速度很低,例如不得超过 25 km/h;一旦超出,ATP 系统就会实施紧急制动。

#### (4) 非限制人工驾驶模式(关断模式、URM 模式)

关断模式是不受限制的人工驾驶(无 ATP 监督)模式,用于车载 ATP 设备故障以及车载设备测试情况下完全关断时的列车驾驶,列车是由司机根据轨旁信号和调度员的口头指令驾驶的,没有速度监督。ATP 的紧急制动输出被车辆控制系统切断,司机必须保证列车运行不超过限制速度(最大 25 km/h),并监督列车所要通过的轨道、道岔

和信号的状态,必要时采取措施,对列车进行制动。

在关断模式下,列车由司机人工驾驶,没有 ATP 保护措施;使用这种模式必须进行登记,此时列车运行安全完全由司机负责;ATO 退出控制。

#### (5) 自动折返驾驶模式(AR 模式)

列车在站端(没有折返轨道的终端)调转行车方向或使用折返轨道进行折返操作,就要求能进入自动折返驾驶模式。

为使自动折返操作具有高度的灵活性,自动折返模式有下列几种:ATO 自动运行折返模式;ATO 无人自动折返模式;ATP 监督人工驾驶折返模式。

折返命令是由 ATS 中心根据需要生成并传输至列车,或由设计固定的 ATP 区域(如终端站)的轨旁单元发出。ATP 车载设备通过接收轨旁报文而自动启动 AR 模式,并通过驾驶室显示设备指示给司机,司机必须按压“AR”按钮确认折返作业。是否折返,使用折返轨道折返,由无人驾驶执行,还是由司机执行,这些完全由司机决定。

采用无人折返或有司机折返取决于司机采取的不同折返模式。

若采用 ATO 自动运行折返模式,在司机按压 ATO 启动按钮后,列车自动驶入折返轨,并改变车头和轨道电路发送方向;在折返轨至发车站台的进路排列完成后,再次按压 ATO 启动按钮,列车自动驶入发车站台,并精确地停在发车站台。

若采用 ATO 无人自动折返模式,在司机下车后按压站台上的无人折返按钮,列车在无司机的情况下,自动完成启动列车驶入折返轨,改变车头和轨道电路发送方向,并在折返轨至发车站台的进路排列完成后,再自动启动列车驶入发车站台,并精确地停在发车站台。

若采用 ATP 监督人工驾驶折返模式,在人工驾驶过程中 ATP 将对列车速度、停车位置进行监督,并在列车驶入折返轨后自动改变车头和轨道电路发送方向。

除 URM 模式外,其他所有的模式都有一个 5 m 的退车限制,如果超过这个限制,ATP 将实施紧急制动。

### 2. 列车驾驶模式转换

以上五种基本运行模式,在满足一定条件后可以相互转换。

#### (1) 列车驾驶模式转换的规定

① ATC 系统控制区域与非 ATC 系统控制区域的分界处,应设驾驶模式转换区(或称转换轨),转换区的信号设备应与正线信号设备一致。

② 驾驶模式转换可采用人工方式或自动方式,并应予以记录。当采用人工方式时,其转换区域的长度宜大于一列车的长度。当采用自动方式时,应根据 ATC 系统的性能特点确定转换区域的设置方式。

③ ATC 系统应具有防止列车在驾驶模式转换区域未将驾驶模式转换至列车自动运行驾驶模式或列车自动防护驾驶模式,而错误进入 ATC 系统控制区域的能力。

④为保证行车安全,在 ATC 控制区域内使用限制模式或非限制模式时应有破铅封、记录或特殊控制指令授权等技术措施。

#### (2) 各种驾驶模式间的切换

##### ①RM 模式切换到 SM 模式

列车从非 ATC 系统控制区域进入 ATC 系统控制区域,就从 RM 改变为 SM 模式。只要满足如下条件:

列车经过了至少两个轨道电路的分界;

报文传输无误;

未设置 PERM 码位;

ATP 轨旁设备没有发出紧急制动信号;

ATP 车载设备的限速监控不会在 SM 模式启动紧急制动。

##### ②SM 模式切换到 ATO 模式

满足以下条件,ATO 开始指示灯就会亮,说明此时可以从 SM 切换到 ATO 模式:

当前轨道区段上没有停车点(安全/非安全);

所有车门都已关闭;

驾驶/制动拉杆处于零位置;

主钥匙开关处于向前位置。

当司机按了 ATO 开始按钮后,ATP 车载设备就从 SM 改变为 ATO 模式。

##### ③ATO 模式切换到 SM 模式

在下列情况下 ATP 车载设备就从 ATO 模式切换到 SM 模式:

如果司机把驾驶/制动拉杆拉离零位置,或把主钥匙开关调到非向前状态;

ATO 控制列车停靠车站的停车点,当列车在车站停稳后;

如果列车停在区间,司机用车门许可控制按钮打开车门。

##### ④SM/ATO 模式切换到 RM 模式

如果 ATP 车载设备启动了紧急制动,无须操作就自动地从 SM/ATO 模式改变为 RM 模式。如果司机还想继续前行,那么他就必须在列车停稳之后按 RM 按钮。

如果列车已经停稳,而司机按了 RM 按钮,就从 SM/ATO 模式切换到 RM 模式。如果切换到 SM 模式的所有先决条件都已满足,那么就马上转回 SM 模式。

在车辆段入口处,司机或 ATO 控制列车停靠在停车点上。如果满足以下条件:列车已停稳、已设置了结束点(END 码位),驾驶室的显示屏上就会显示指示,司机就可以按 RM 按钮。按了 RM 按钮之后,就从 SM/ATO 模式切换到 RM 模式。

##### ⑤SM 模式切换到 AR 模式

满足以下条件,就从 SM 模式切换到 AR 模式:

ATP 车载设备从 ATP 轨旁设备接收 DTRO 状态的信息;

ATP 车载设备间的通信良好。

#### ⑥AR 模式切换到 SM 模式

满足以下条件,ATP 车载设备就从 AR 模式切换到 SM 模式:

ATP 车载设备间的列车监控的改变是成功的;

司机打开驾驶室。

#### ⑦AR 模式切换到 RM 模式

如果 ATP 车载设备启动了紧急制动,无须司机的另外操作,就会自动从 AR 模式切换到 RM 模式。如果司机想继续前行,那么他必须在列车停稳后按 RM 按钮。

如果列车停稳之后,司机按了 RM 按钮,就会从 AR 模式切换到 RM 模式。如果切换到 SM 模式的前提条件都满足了,就马上切换到 SM 模式。

#### ⑧RM 模式切换到关断模式

只有当 ATP 故障,才会降级至关断模式,列车会自动停车。司机操作密封安全开关至关断模式。这种模式的转换将被车载计数器记录。这个转换程序同样适用于 ATO 模式、SM 模式至关断模式。此时列车的运行安全由司机承担全部责任。

### 八、试车线

试车线一般设于车辆段内,其主要功能是在列车安装及检修完了 ATP 及 ATO 车载设备后,在试车线上进行 ATP/ATO 的静、动态试验。通过试验控制台,试验人员对轨道区段设置各种不同的速度信息,检验车载设备动态 ATP 及 ATO 性能;通过两个模拟的站台环路检验列车的车站定位位置停车、站台停车后的信息交换等功能。

#### 1. 设备配置

试车线将安装与正线上一样的 ATP/ATO 轨旁设备。试车线没有使用联锁。为替代联锁,将使用一台非安全 PC(仅用于试车线)模拟必要的联锁功能。

用于试车线的室内和室外设备由以下主要设备组成:

轨道电路的室内和室外设备;ATP/ATO 轨旁单元、试车线的试验计算机、与用于紧急停车车辆段联锁系统的接口、精确停车的现场设备(环线)、PTI 环线、室内电缆、供电系统。

车辆段计算机联锁系统负责对试车线的进路设定。试验计算机模拟 ATP 的轨旁单元联锁接口,使 ATP 能够完成各项试验。

为了测试车辆,一典型的速度曲线将永久存储在 ATP 轨旁单元。在试车线的两端,在行驶的每一方向制定了运营停车点。ATP 的定位环线将安装在两端。

为试车线提供以下特殊测试设备有:带特殊测试应用程序的试验计算机(标准 PC)、用于 ATP/ATO 车载设备单元的车辆运行模拟器、用于 ATP 轨旁单元诊断的笔记本计算机。

#### 2. 试车线功能

### (1) 驾驶模式测试

进行 RM 模式、SM 模式、ATO 模式(包括能源优化功能)、AR 模式下的测试。

驾驶模式可以由试验计算机菜单控制的软件进行切换。以上四种驾驶模式均可发送给列车。ATP/ATO 的车载设备单元将分别按指令进行驾驶。

### (2) 性能测试

可进行超速测试、保护区段测试、列车保护距离测试、紧急停车测试、后退监督测试、车站定位停车和车门控制测试、轨道报文故障测试等,还可进行硬件性能测试、车载显示测试、报警、登录和诊断测试、与其他系统的接口测试。

### (3) 驾驶室转换

进行两端驾驶室的转换。

由于测试人员在试车线试验 PC 机上通过指令输入可以给出出发命令。这样,运营停车点就被移走,列车接收到 ATP 轨旁设备生成出发命令。

完成测试以后,车辆段联锁将取消测试进路,以便 ATP 停止向列车发送相关报文。

司机在试车线以外的线路必须以 RM 模式驾驶列车。

试车线的另一个功能是为维修人员提供一个 ATP/ATO 地面设备实际维修培训的场所。

## 九、ATC 系统的可用性

ATC 系统应满足本系统设备和通信、供电等相关系统设备故障的特殊条件下安全行车的需要。ATC 系统应能降级运用,实现故障弱化处理,满足故障复原的需要。

信号系统降级运用是指系统由自动控制降级为人工控制,由遥控变为局控,由实现全部功能至仅完成部分功能等;对于某些 ATC 系统,可能存在系统设备故障失去列车位置检测并可能波及较大运营范围。若系统无后备的列车位置检测及后备模式,将不利于系统故障时的安全行车和故障后运营的恢复,因此类似的系统可考虑深层次的系统后退运行方式,包括投入后备系统的运用模式。后备模式及其具体要求应根据用户需要及系统设备的可靠性、可用性和安全性等因素确定。

车载 ATC 系统的设计指标具有非常高的可靠性和实用性。如果 ATO 自动驾驶发生故障,ATP 系统仍能对列车进行保护。此时列车应在“受保护的人工驾驶模式”下行驶,即由司机来执行 ATO 功能,ATP 能进行全面保护。如果所有的子系统都发生故障,虽然这种概率极小,如 ATP 信息丢失、轨道电路故障或其他模式都失灵,还有一种模式,即“受限人工驾驶模式”。此时,由司机在没有信号提示的情况下进行驾驶,但受到速度的限制,一般是在 15~20 km/h。一旦超过这一限制,就会自动实施紧急制动,导致列车停车。在某些特定的情况下,有可能完全绕过 ATP 系统,以“不受限人工驾驶模式”进行驾驶,不过此时司机对行车完全负责。

ATP 和 ATO 的主控器中有结构配置数据,能确定驾驶模式转换的条件。例如,

在遵循一定速限的条件下,列车行驶时可以由“受保护的人工驾驶模式”切换到“受限制人工驾驶模式”,但是不可以从“自动驾驶模式”转换到“受限人工驾驶模式”。

当列车处在自动驾驶模式下,车载ATO运用牵引和制动控制将列车从一个车站驶向另一个车站。

ATO地面设备与ATS系统通信,ATS系统更新与每个站间运行有关的信息,以便满足时刻表的要求。

#### 十、ATC系统的设计能力

ATC系统的设计能力应符合下列规定:

1. ATC系统对车站、车辆段、停车场等的监控范围应按线路和站场所确定的建设规模设计。系统监控能力应与线路远期条件相适应。

2. ATC系统监控和管理的最少列车数量按远期配属列车数量计。新线设计时,车载信号设备实际配备数量,按初期或近期配属列车数量计。

3. 列车通过能力宜按远期设计,折返能力必须适应远期运营要求。

ATC系统应能与通信、电力监控、防灾报警和环境监控等其他专业系统接口。当配置综合自动化系统时,ATC系统应能与其接口或纳入综合自动化系统。

信号系统的寿命周期为15~20年,列车通过能力按远期设计有利于列车运行调整。信号系统采用基于轨道电路的ATC时,其闭塞分区的划分按近期设计可以节省部分初期建设费用。

## 第二节 ATP子系统基本原理

ATP子系统(以下称为ATP系统)是保证行车安全、防止列车进入前方列车占用区段和防止超速运行的设备。ATP负责全部的列车运行保护,是列车安全运行的保障。ATP系统执行以下安全功能:速度限制的接收和解码、超速防护、车门管理、自动和手动模式的运行、司机控制台接口、车辆方向保证、永久车辆标识。

#### 一、ATP的基本概念

ATP即列车运行超速防护或列车运行速度监督。ATP系统的功能是对列车运行进行超速防护,对与安全有关的设备实行监控,实现列车位置检测,保证列车间的安全间隔,保证列车在安全速度下运行,完成信号显示,故障报警,降级提示,列车参数和线路参数的输入,与ATS、ATO及车辆系统接口并进行信息交换。

ATP系统不断将来自联锁设备和操作层面上的信息、线路信息、前方目标点的距离和允许速度信息等从地面通过轨道电路等传至车上,从而由车载设备计算得到当前所允许的速度,或由行车指挥中心计算出目标速度传至车上,由车载设备

测得实际运行速度,依此来对列车速度实行监督,使之始终在安全速度下运行。当列车速度超过 ATP 装置所指示的速度时,ATP 的车上设备就发出制动命令,使列车自动地制动;当列车速度降至 ATP 所指示的速度以下时,可自动缓解。而运行操作仍由司机完成。这样,可缩短列车运行间隔,可靠地保证列车不超速、不冒进。

ATP 是 ATC 的基本环节,是安全系统,必须符合故障—安全的原则。

## 二、ATP 设备的组成

采用轨道电路传送 ATP 信息时,ATP 系统由设于控制站的轨旁单元、设于线路上各轨道电路分界点的调谐单元和车载 ATP 设备组成,并包括与 ATS、ATO、联锁设备的接口设备。

连续式 ATP 系统利用数字音频轨道电路,向列车连续地发送数据,允许连续监督和控制列车运行。对于 ATP,由轨道电路反映轨道状态,传输 ATP 信息,在轨旁无需其他传输设备。当轨道电路区段空闲时,发送轨道电路检测电码。当列车占用时,向轨道电路发送 ATP 信息。轨道旁的轨道电路连接箱内(发送、接收端各一个)仅有电路调谐用的无源元件,包括轨道耦合单元及长环线。

车载 ATP 设备完成命令解码、速度探测、超速下的强制执行、特征显示、车门操作等任务。车载 ATP 设备包括:两套 ATP 模块(信号处理器和速度处理器)、两个速度传感器和两个接收天线、车辆接口、驾驶室内的操作和控制单元(MMI)等。车载 ATP 设备根据地面传来的数据(由 ATP 天线接收)与预先储存的列车数据计算出列车实时最大允许速度。将此速度与来自速度传感器测得的列车实际运行速度相比较,超过允许速度时,报警后启动制动器。

借助于 MMI,司机可以按照 ATP 系统的指示运行。MMI 包括司机显示功能、司机外部接口两个子功能。司机显示功能向司机显示实际速度、最大允许速度、目标距离、目标速度,ATP 设备的运行状态,以及列车运行时产生的重要故障信息,在某些情况伴有音响警报。司机外部接口包括释放驾驶室的设备、允许按钮、车门释放按钮以及确认按钮。

## 三、ATP 系统的主要功能

ATP 系统应具有下列主要功能:检测列车位置、停车点防护、超速防护、列车间隔控制(移动闭塞时)、临时限速、测速测距、车门控制、记录司机操作。

以数字音频轨道电路方式的 ATP 系统为例,ATP 系统功能可分为 ATP 轨旁功能、列车检测功能(负责根据各轨道区段的“空闲”或“占用”情况,检测列车的位置)、ATP 传输功能和 ATP 车载功能。

### 1. ATP 轨旁功能

ATP 轨旁功能负责列车安全间隔和生成报文,完成对列车安全运行授权许可的发布和报文的准备,这些报文包括安全、非安全和信号信息等。ATP 轨旁功能又分为列车安全间隔功能和报文生成功能。

#### (1) 列车安全间隔功能

列车安全间隔功能负责保持列车之间的最小安全距离,还负责发出运行授权。只有在进路已经排列,联锁功能中才发出列车运行授权,准许列车进入进路。当前方列车仍在进路中时,可为后续列车再次排列进路。

由 ATP 轨旁功能发出的运行授权根据相应的安全停车点的选择和激活而定。这些安全停车点的选定依赖于进路内轨道区段的状态。安全停车点的位置在信号系统的设计中确定,这方面的信息保存在 ATP 轨旁设备中。位置的选定是为了在各安全停车点以外提供一安全的距离。在列车控制中,安全距离提供了差错的限度。这样,在 ATP 监督下,列车绝对不可能发生通过危险点的情况。

#### (2) 报文生成功能

从各种 ATP 轨旁功能里接收请求,完成整理数据、准备和格式化要传送到 ATP 车载设备的报文,并决定传输方向。这样,生成经由每个轨道区段传输的报文,然后向车载设备发出报文。传输的报文总是与受 ATP 控制的接近列车运行相反的方向馈入轨道电路。

报文由变量和包含在各变量中的数据结合而成,每个变量由下列三个来源编辑而成:编入 ATP 轨旁单元的固定数据,包括速度限制;可依据进路排列和轨道区段占用状态等,从有限的预设选项中选择的可转换数据;ATS 功能的可变数据,若没有该可变数据,可使用编入到 ATP 轨旁单元的缺省值。报文的长度和内容会随环境状态的不同而变化。

列车进入一段轨道区段后,立刻会生成一连串专门报文。除其他信息以外,报文还提供列车进入该区段的时间。这个信息必须对距离同步。这些报文由轨道区段的状态变化而引发,并持续数秒时间。

整理完所需数据,准备完报文之后,就会将报文转换为 ATP 车载设备要求的一种格式。报文转换采用了必要的编码保护协议,它确保 ATP 车载设备能检测到报文的错误。报文一旦完成格式化,就被传送到 ATP 传输功能。

### 2. ATP 传输功能

ATP 传输功能负责发出报文信号,包括报文和 ATP 车载设备所需要的其他数据。

音频轨道电路电流以二进制编码顺序调制。当音频轨道电路显示轨道区段空闲,二进制编码顺序为音频轨道电路设备内预设的顺序。当音频轨道电路显示轨道区段占用,二进制编码顺序为 ATP 报文产生功能生成相应的报文。对于每个占用的音频轨道电路产生单独的报文。

就地对车传输而言,音频轨道电路电流必须由轨道区段末端,迎着列车运行的方向

注入。对双向运行的线路,送电点及传输方向必须根据列车的运行方向转换。转换传输方向所需的信号由 ATP 轨旁功能中的报文发生功能发出。

在每个要求本地再同步化的地点,提供同步定位环线。由未调制载波连续向环线供电,载频是由单独的传送器发出。同步定位环线发出感应信号在列车经过环线时可由 ATP 天线接收到。环线在预定的间隔距离后交叉,感应信号以预定的模式发生相位变化,这种变化能被车载 ATP 车载设备识别。这种模式用于 ATP 车载设备识别时间,即为车载接收天线经过已知环线点的时间。以这种方式就能够达到满意的再同步。

ATP 传输功能的输入是来自 ATP 轨旁功能要传输的报文和相应选择传输方向的控制信号。

ATP 传输功能的输出:感应信号沿着整个轨道区段连续地传输信息;信号利用钢轨作为传输天线,以合适的传输方向发出,且只包括报文数据;感应信号利用同步定位环线作为传输天线传输间歇的信号,这个信号提供本地再同步的精确位置信息。这些感应信号共享一个共同的传输媒体(即轨道同列车之间的空隙),因此它形成了一个在 ATP 车载设备内接收的单一信号组合。

### 3. ATP 车载功能

ATP 车载功能负责列车安全运行,并提供信号系统和司机间的接口。车载功能由下列子功能组成:ATP 命令解码、ATP 监督功能、ATP 服务/自诊断功能、ATP 状态功能、速度/距离功能,以及司机人机接口(MMI)功能。

#### (1) ATP 命令解码

轨旁音频轨道电路将格式化的数据传送到车上,车载 ATP 设备要将报文解码,以实现各种 ATP 功能。

#### (2) ATP 监督功能

ATP 监督负责保证列车运行的安全。各监督功能管理列车安全的一个方面,并在它自己的权限内产生紧急制动;所有的监督功能,在信号系统范围内提供了最大可能的列车防护。各种监督功能之间的操作是独立的,且同时进行。

ATP 监督包括:速度监督、方向监督、车门监督、紧急制动监督、后退监督、报文监督、设备监督等。

##### ① 速度监督功能

速度监督功能是超速防护的基础,是最重要的功能。它由 7 个速度监督子功能组成,每个子功能选定一个专用的以速度为基准的安全标准。各标准即为一个速度限制,这个限制速度可以是固定的,也可以根据列车的位置连续改变或阶梯式改变。如果实际列车速度超过允许速度加上一个速度偏差值时,列车实施紧急制动。该偏差值可以根据安全标准进行修改,并在系统设计时确定。各种速度偏差值在选定后在 ATP 车载单元中编程。

a. RM 速度监督

RM 速度监督以限制列车速度达到低速值为目的,这个低速值(例如 25 km/h)适用于 RM 模式。RM 速度监督在 RM 模式中有效,它不用于任何其他模式。

限制速度是固定的(例如不考虑列车的位置),并在系统设计时确定。这个确定值编程在 ATP 车载单元中。

b. 最大列车允许速度的监督

最大列车允许速度的监督以限制列车运行速度到最大允许值(就车辆允许而言)为目的。它在 SM、ATO 和 AR 模式中有效。

速度限制是固定的,它定义在 ATP 车载单元中。

c. 停车点的监督

停车点的监督以保证列车停在停车点(不超过停车点)为目的。在 SM、ATO 和 AR 模式中,每当前方列车占用的轨道区段内有安全或危险停车点,该监督都有效。在 RM 模式中,该监督无效。

按照列车至停车点的距离,列车的速度限制连续地改变,并通过一条最终为零的制动曲线实施。ATP 车载单元计算一个零目标速度的制动曲线的基础为:列车制动性能数据以及已经接收到报文数据中明确定义的线路坡度。

d. 限制速度起始点的监督

限制速度起始点的监督保证列车在起始点就按照速度限制运行。在 SM、ATO 和 AR 模式中,当前行列车占用区段内的速度限制起始点存在时有效,在 RM 模式中无效。

从限速始点开始,限制速度随着距列车的距离而不断地变化,并通过一个最终为非零的制动曲线实施。制动曲线由 ATP 车载单元计算。

e. 进入速度监督

进入速度为列车进入前方下一轨道区段的最大允许速度,它考虑到:下一轨道区段可能存在的任何停车点、可能存在的线路速度限制起始点、下个进入速度。因而,进入速度是一种假设,用于避免定义精确的速度和目标的位置,它位于列车占用轨道区段前方以外,这样可以减少地对车传输数据的数量。

进入速度监督是保证列车速度同下一轨道区段的最大允许速度及以后的目标一致。这个速度监督在 SM、ATO 和 AR 模式中有效,在 RM 模式中无效。

f. 线路允许速度的监督

线路允许速度由列车头部占用轨道区段的线路允许速度和列车其他部分仍占用的其他轨道区段的线路允许速度决定。线路允许速度是根据列车的运行位置改变的。ATP 车载单元通过使用报文里的线路速度数据,测量运行距离以及列车的长度来确定线路允许速度。

线路允许速度监督保证列车运行速度同其所在位置的线路允许速度监督一致,在 SM、ATO 和 AR 模式中有效,在 RM 模式中无效。

g. 没有距离同步的监督

没有距离同步的监督是提供安全速度监督,这种监督是特殊情况下不能得到距离同步,而 ATP 车载设备准许在 SM 模式或 ATO 模式而不是 RM 模式中进行操作。这种监督方式的情况很少出现。

距离同步的丢失是由于触发紧急制动时列车不处于稳定状态时,或者列车已经在线上运行时才打开 ATP 车载设备电源引起的。

只有当 ATP 车载单元接收到授权其使用的报文时,可以使用该功能。

此项授权限制在下列情况下使用:

列车运行不存在从相邻轨道电路产生邻线干扰的危险;

列车运行前方当前占用轨道区段无停车点;

使用在当前轨道区段的固定速度限制不小于以前轨道区段的任何速度限制。

如果没有发生上述情况中任何一种,则不允许 ATP 轨旁设备发出授权使用这项功能的报文,且列车必须在无信号移动许可的 RM 模式下运行。

速度监督功能的输入包括车载速度/距离功能中的列车现行速度和位置信息,以及服务/自诊断功能中的列车数据(例如列车最大允许速度)。

速度监督功能的输出:向司机人机接口功能提供(通过列车总线)最大允许速度和列车速度警告;向列车制动系统提供紧急制动命令;向服务/自诊断功能提供列车数据、状态信息、处理和记录数据(包括紧急制动的使用),以及出错的信息。

## ② 方向监督功能

方向监督功能的作用是监督列车在“反方向”运行中的任何移动,如果此方向的移动距离超过规定值,那么就会实施紧急制动。“反方向”运行移动距离的监督是累计完成的,以便无论是单一的移动或是在几个短距离移动中交替地被“前行”的短距离移动中断。

在 SM、ATO 和 AR 模式中,必须连续具备方向监督功能;如果列车正在运行,那么 RM 模式中也可以使用方向监督功能。

方向监督功能启动时在驾驶控制中不考虑选用的方向(“前行”、“反向”或“中间位置”),不论移动是由牵引动力引起的,或是在无动力时由斜坡的滑动造成的,不论移动是故意的或是偶然的。如果列车“反方向”运行,列车的后部可能通过保护列车的危险点;那么列车运行将占用为下一列车提供安全距离的轨道区段。驾驶方向的监督是限制这种占用的扩展。在定义一个安全距离时会考虑最大占用距离,因此任何反方向驾驶中剩余的移动不会对安全造成威胁。

定义安全距离时考虑到:当列车在坡度较大的上坡道启动时,允许列车稍微向后滑动一点;如果列车超过正确的停车位置,允许司机向反方向实施短距离移动。

选定的距离值在 ATP 车载单元中编程。

方向监督功能的输入来源于车载速度/距离功能的移动距离和移动方向。

方向监督功能的输出在列车制动系统使用紧急制动实施命令,在服务/诊断功能中紧急制动实施记录数据。

### ③ 车门监督功能

如果检测到列车在移动,而车门没有锁在关闭状态,车门监督功能就会实施紧急制动。除了被抑制,车门监督功能在所有驾驶模式中都有效。

如果列车移动超过一定的距离(例如 0.3 m),或者当列车以超过特定速度的速度运行(例如“ATP 零速度”),当从车门接点没有接收到“全部车门关闭”信号时,列车实施紧急制动。作为选择,当列车速度大于某特定值时(例如 5 km/h),禁止实施车门监督,这是为了避免假紧急制动的执行,这个假紧急制动可能是由车门接点的断续操作(振动)引起的。

在紧急情况下,当列车停稳,司机按压紧急车门按钮阻止了车门监督功能。这使得在车门接点故障时,也可以移动列车。当车门监督功能以这种方式被抑制时,司机必须完全负责并保证在随后运行阶段乘客的安全。当从车门接点再次接收到“全部车门关闭”信号,车门监督功能自动恢复。

### ④ 紧急制动监督功能

紧急制动监督功能保证接收到紧急制动报文时在最短距离内停车。在 SM、ATO 和 AR 模式中,紧急制动监督功能连续有效,在 RM 模式中无效。在站台按下紧急停车按钮,紧急停车命令会立即生成。

紧急制动发生在超过最大允许速度值(加上规定的误差)时,或者按压位于车站的紧急按钮时。紧急制动保存在故障存储器中。借助服务与诊断计算机可以得到记录的数据。

出现下列情况之一时,ATP 车载单元实施紧急制动:

- 超过速度曲线的允许速度;
- 超过车辆的最高允许速度;
- 位于站台的紧急制动按钮引起的紧急停车;
- 传输故障,运行超过 10 m 和 5 s;
- 启动方向错误,车辆后退;
- 列车运行时打开车门;
- ATP 车载设备全面故障。

如果列车处于停稳的状态实施了紧急制动,此功能无效。

紧急制动是以故障—安全的方式触发的。紧急制动总是引起列车停车,然后通知司机,可以通过执行 RM 模式来取消紧急制动,列车继续在限制人工驾驶模式下运行。当列车经过两个音频轨道电路的分界时,进入 ATP 监督模式的操作。但如果由 ATP 车载单元出现全面故障引起的紧急制动,列车只能在关断模式下运行。

外部触发的紧急制动监督功能是保证在 ATP 车载设备没有使用 ATP 车载单元

的位置信息,而跟随一个外部触发的紧急制动(例如由司机发出的)的监督。在所有驾驶模式中,这个功能都有效。

实施任何紧急制动时,由 ATP 车载单元发出的位置信息可能由于车轮打滑而失效。当紧急制动由外部触发时,必需通知 ATP 车载单元,让它采取正确的措施防止使用可能出现的错误信息。

通过监督制动系统内的接点,会探测到外部触发的紧急制动,除非列车已经停稳。外部触发紧急制动会引起 ATP 车载单元自身触发紧急制动。如果 ATP 车载单元不触发本身的紧急制动,就强迫 ATO 车载设备进入 RM 模式,直到再次达到距离同步以前,SM、ATO 或 AR 模式的操作是不可能的。

外部触发紧急制动监督功能的输入来自列车制动系统发出的紧急制动实施的警报。

外部触发紧急制动监督功能的输出发给列车制动系统的紧急制动实施命令,发给服务/诊断功能的紧急制动实施记录数据。

#### ⑤ 后退监督

后退监督功能防止列车后退时超过某特定的距离。列车后退距离的累加减去几次短暂前行的距离不能超过规定的距离(3 m)。假如超过此距离列车将通过 ATP 实施紧急制动,确保列车不后退。

#### ⑥ 报文监督功能

报文监督功能是监测从 ATP 传输功能接收到的报文。如果检测出传输报文中断持续超过规定时间(如 3 s),或在这个期间列车运行超过一规定距离(一般为 10 m),报文监督功能会触发一个紧急制动。这个功能在 SM、ATO 和 AR 模式中有效,但在 RM 模式中不起作用。

报文监督功能的输入是从车载速度/距离功能中得到的列车现在的位置、从 ATP 传输功能产生的报文。

报文监督功能的输出发给列车制动系统的紧急制动实施命令,发给服务/诊断功能的紧急制动实施记录数据。

#### ⑦ 设备监督功能

设备监督功能是用来监控 ATP 车载设备的正常工作,确保当设备故障时的安全,列车不经检查是不允许运行的。一旦 ATP 车载设备被检测出故障,就会启动紧急制动直到列车停下来。此时司机使用故障开关强制关闭 ATP 功能,然后按照控制中心的指挥人工驾驶列车。

#### (3) ATP 服务/自诊断功能

负责采集、存储、记录、调用列车数据、状态信息,为 ATP 监督提供服务,完成 ATP 车载设备的自诊断。

#### (4) ATP 状态功能

ATP 状态功能负责根据主要情况选定正确的状态和模式。

在列车有电的情况下,ATP 车载单元可能处于三种状态中的一种:激活的、待用的、备用的。其中备用状态是暂时的状态。

在 ATP 车载单元负责监督列车时,使用激活状态。ATP 车载单元监督列车的责任,取决于其中一个相关驾驶控制台的状态(“关”或“开”)。如果两个驾驶控制台的一个是“开”的状态,那么 ATP 在 RM、SM 或 ATO 模式中进行的操作取决于 ATP 状态功能。

当 ATP 车载单元不负责监督列车时,使用等待状态。在列车得到电源但却没有插入钥匙的情况下,即刻出现待用状态。

备用状态只是暂时的状态,当钥匙插入任何一列列车的驾驶室时,立即执行启动自检,完成后更换为激活或待用状态。

#### (5) 车门释放功能

车门释放功能保证当显示安全时允许打开车门,在所有的信号模式中连续使用此功能。

在满足下列条件时可得到车门释放指令:

列车已停在带非安全停车点的预期停车窗内;

非安全停车点对应于列车长度;

ATP 车载单元接收到许可打开车门的报文。

根据站台的布置,车门释放可以在列车的任意一侧或两侧。

在特殊情况下(例如列车停在预期停车窗以外),列车停稳时司机可按下车门紧急按钮,不用考虑上述条件就可得到车门释放命令,允许列车车门的打开。当以这种方式得到车门释放时,司机必须完全负责车门的安全操作。

在特定条件不再适用,或在紧急开门按钮给出释放的情况下,当从车门接点接收到“全部车门关闭”信号,列车开始启动(例如:列车速度超过 ATP 零速度),车门释放终止。

车门释放功能的输入源于:车载速度/距离功能的现行速度和位置、列车长度、ATP 传输功能的许可车门打开的报文、紧急车门按钮。

车门释放功能的输出向 ATO 功能和司机人机接口功能发出车门释放指示,向车门控制发出车门释放许可。

#### (6) 速度/距离功能

速度/距离功能基于测速单元的输入,负责测定列车的运行速度、运行距离和运行方向。

对于采用数字音频轨道电路的 ATC 系统,距离是根据各轨道电路的始端来测量的,并通过使用测速单元的输入和固定数据(车轮直径)来确定。计算距离准许车轮直径、脉冲发生和车轮黏着/打滑而造成的误差。

速度/距离功能接收测速单元的输入,将当前读数的脉冲计数与先前读数和部分计算出的运行距离进行比较。这些部分距离被累加后提供一个确切的运行距离。通过对特定时间间隔距离部分的累加,测速功能可以确定列车的实际运行速度。在系统设计中根据要求可提供更高的速度灵敏度,累加距离部分的时间间隔是可设置的。

从测速单元的输入提供一个渐增或渐减的脉冲计数,这个脉冲计数是测速单元根据列车移动的方向给出的。通过对当前读数与先前读数的比较,速度/距离功能可以确定列车的运行方向。

速度/距离功能的输入:从测速单元中获得的读数,从安全数据入口功能中获得的车轮直径数据。速度/距离功能的输出通过列车总线用于其他 ATP 车载功能、ATO 功能和司机人机接口功能中。

#### (7) 距离同步功能

ATP 轨旁功能记录音频轨道电路的占用情况(这个信息由列车检测功能提供),然后 ATP 轨旁功能向列车传送有关在报文中音频轨道电路占用经过时间的信息。这个时间考虑到包括允许检测、列车检测功能相关的传输延误、地对车传输相关的处理和传输延误在内的余量。

一接收到 ATP 轨旁功能的同步化信息,距离同步化功能就通过计算在报文中消逝时间内列车运行的部分距离来计算列车前方的位置。计算包括列车前方位置相对于第一个轮轴的调整、检测报文中延误的偏离值。

距离同步功能的输入来自 ATP 轨旁功能的同步化信息。

距离同步化功能的输出通过列车总线送至其他 ATP 车载子功能和 ATO、司机人机接口功能中。

#### (8) 本地再同步化功能

对于列车位置高精度要求,提供本地再同步化(例如停车窗和车门释放监督)。这是通过使用预定的同步基准点(同步定位环线的交叉点)实现的。由列车检测的同步基准点,预计位于列车已知的距离窗内,并假定列车距离的测量误差在规定限制范围内。一旦达到第一个同步基准点,就会精确地知道列车的位置。在某种程度上,交叉模式的选定是由于停车点已足够地接近交叉点因而达到了所需的精度。

本地再同步功能的输入来自报文接收/同步定位环线检测功能的同步定位环线检测。

本地再同步功能的输出提供当前音频轨道电路内再同步当前位置,使得至其他 ATP 车载子功能和 ATO 功能成为可能。

#### (9) 报文接收/同步定位环线检测功能

报文接收/同步定位环线检测功能的一个作用是从 ATP 轨旁功能接收、解码报文信号。通过安装在前方列车驾驶室底部的接收天线接收报文。当 ATP 车载单元一打

开,此功能对各有效传输频率进行搜索,直到它识别出基于接收信号幅值的、当前列车所在的音频轨道电路使用的频率。一旦该频率形成且接收到报文,下一音频轨道电路的音频就会从报文数据中确定。

如果报文接收功能确定在传输中出现错误,会以无效而拒收报文。在特定时间/距离之内若没有接收到有效报文,就会触发紧急制动功能。

报文接收/同步定位环线检测功能的另一个作用是在轨道中检测同步定位环线。检测到同步定位环线的时间很重要,它用于列车定位本地再同步中。

报文接收功能的输入来自折返功能的当前轨道电路频率以及 ATP 轨旁功能的报文。

报文接收功能输出报文数据,同步定位环线检测功能的输出至本地再同步功能。

#### (10) 司机人机接口(MMI)功能

MMI 提供信号系统与司机的接口。借助于 MMI,司机可以按照 ATP 系统的指示运行。MMI 向司机显示实际速度、最大允许速度,以及 ATP 设备的运行状态。另外显示列车运行时产生的重要故障信息,在某些情况伴有音响警报(例如超过了最大允许速度)。显示信息的类型和范围取决于设备的操作规程和 ATP 设备的配置。

司机人机接口功能包括司机显示功能和司机外部接口。

##### ① 司机显示功能

司机显示功能向司机提供驾驶列车时所需的全部信息,包括:实际速度;允许速度(只在 SM、ATO 和 AR 信号模式中);从最大限制的 ATP 功能条件下推算出的目标距离/速度;“驾驶状态”(即在牵引、惰行和制动方式下的移动);“运行模式”(RM、SM、ATO 或 AR 模式);列车折返运行(在 AR 模式有效时显示,也在 AR 按钮按下时显示确认);列车停在预定停车窗以外;车门状态显示;向司机提供列车车门打开一侧的显示;关门指令;出站命令;车辆段显示(列车在车辆段时的车辆段识别显示);实施紧急制动;ATP/ATO 故障等。

司机显示功能的输入来自 ATP 和 ATO 功能的当前状态。

司机显示功能的输出给司机的状态显示。

##### ② 音响报警功能

当列车速度/位置超过警告速度曲线时发出音响报警。允许速度由制动曲线确定,警告速度曲线是允许速度加上一个特定速度余量来表示的。计算出警告速度曲线用于给出一个固定的司机反应时间,以触发紧急制动。

音响报警功能的输入是 ATP 速度曲线、列车实际速度和位置、ATP 功能紧急制动实施的显示。音响报警功能的输出对司机进行音响报警。

司机外部接口用于司机驾驶操作。

#### (11) 折返/改换驾驶室功能

在列车进行折返的情况下,要求司机改换驾驶室。

ATP 车载设备必须考虑到使用不同的驾驶操作台,保存有关相对轨旁位置、列车前部和后部的信息。改换驾驶室引起列车前部和后部的互换,ATP 车载设备必须相应地调整位置信息。

折返发生故障,会导致在司机改换驾驶室且打开在列车的前头的驾驶操作台时,ATP 设备不能进入 SM 模式。

列车停稳后 ATP 车载设备收到要求折返报文以后自动生成 AR 模式。此类报文可通过 ATS 功能发出的命令给出,也可当列车进入在全部列车需要折返地点的相应轨道区段时自动生成。

使用 AR 模式的方法是当列车停在站台、车站后的折返轨或可接收到相关报文的任何位置时,执行折返。

当列车停在折返轨,会自动选定 AR 模式,并接收到相应的报文。这时,安装在司机操作控制台上的 AR 按钮会亮,并显示可以执行折返处理。司机通过按压 AR 按钮表示接受,AR 按钮闪亮。司机关闭驾驶控制台,并在没有司机的情况下实施自动折返。司机离开原驾驶室,如果需要的话他走到列车另一端的驾驶室。在折返有效时,列车另一端驾驶室里的 AR 按钮闪亮,表示该驾驶室已经可以使用。同一或另外的司机打开现前驾驶室的司机操作控制台,ATP 车载单元进入 SM 模式并准备列车的返回运行。

#### 四、ATP 系统的技术要求

##### 1. ATP 系统的基本要求

(1)ATP 系统应由列车自动防护的轨旁设备、车载设备和控制区域内的联锁设备组成;联锁设备属于安全系统并纳入 ATP 系统为典型的系统分类方式。但在系统阐述时,可将联锁设备列为子系统独立论述。

(2)城市轨道交通必须配置 ATP 系统,其系统安全失效率指标应优于  $10^{-9}/\text{h}$ (信号系统安全失效率指标通常定义为  $10^{-11}/\text{h}$  或  $10^{-9}/\text{h}$ )。

ATP 系统内部设备之间的信息传输通道也必须符合故障—安全原则。

(3)闭塞分区的划分或列车运行安全间隔,应通过列车运行模拟确定,并经列车实际运行校验。为保证行车安全,在安全防护地点运行方向的后方应设安全防护距离或防护区段,安全防护距离应通过计算确定。安全防护距离涉及信号系统控制方式及其技术指标、列车速度、车辆性能和线路状态等多种因素,主要决定于一定的速度条件下,设定的紧急制动距离和有保证的紧急制动距离之差。在列车跟踪运行的情况下,安全防护距离应增加列车尾部车轴可能未被检出的附加距离。

(4)城市轨道交通的 ATP 系统应采用连续式控制方式。连续式控制方式主要是指安全输入信息连续采集,并实现连续控制。宜采用速度-距离制动模式。列车位置检查可采用轨道电路、轨道环路等方式实现。

(5)城市轨道交通宜采用计算机联锁设备,也可采用继电联锁设备。

## 2. ATP 车载设备的技术要求

ATP 车载设备在满足 ATP 系统基本要求外,还应符合下列规定:

(1)ATP 系统导致列车停车为最高的安全准则。地-车连续通信中断、列车完整性电路断路、列车超速、列车的非预期移动、车载设备重要故障等均应导致安全性制动。

(2)ATP 车载设备的车内信号应是行车的主体信号。车内信号至少包括列车实际运行速度、列车运行前方的目标速度;在两端司机室内均应装设速度显示、报警装置和必要的切换装置。

(3)ATP 执行强迫停车控制时,应切断列车牵引,列车停车过程不得中途缓解;ATP 执行的强迫停车控制,包括全常用制动或紧急制动控制等不同方式,但最终控制模式应为紧急制动控制。考虑到行车的安全,要求停车过程不得中途缓解,并应在列车停车后,司机履行一定的操作手续,列车方能缓解。

(4)车载信号设备与车辆接口电路的布线应与其主回路等环节的高压布线分开敷设并实施防护;与车辆电器的接口应有隔离措施。

## 3. ATP 地面设备的技术要求

ATP 地面设备在满足 ATP 系统基本要求外,还应符合下列规定:

(1)ATP 地面设备宜采用报文式无绝缘轨道电路或适用于其他准移动闭塞、移动闭塞 ATC 系统的地面设备,也可采用模拟式移频轨道电路。

(2)ATC 控制区域宜采用无绝缘轨道电路,道岔区段、车辆段及停车场线路可采用有绝缘轨道电路。区间轨道电路应为双轨条回流方式;道岔区段、车辆段及停车场轨道电路可采用单轨条回流方式。相邻轨道电路应加强干扰防护。轨道电路利用兼作牵引回流的走行轨时,装设的横向均流线应不影响轨道电路的正常工作。

(3)ATP 地面设备向 ATP 车载设备传送的允许速度指令或线路状态、目标速度、目标距离等信息,应满足 ATP 车载设备控制方式和控制精度的需要。

## 五、ATP 的基本工作原理

### 1. 列车检测

采用轨道电路等作为列车检测设备。当轨道电路区段空闲时,发送轨道电路检测电码,此时轨道电路的功能是检测是否空闲,检测结果送往联锁装置。

### 2. 列车自动限速

连续式 ATP 系统利用数字音频轨道电路,向列车连续地发送数据,允许连续监督和控制列车运行。对于 ATP,在轨旁无需其他传输设备。

ATP 轨旁单元从联锁和轨道空闲检测系统获得驾驶指令,形成计划数据后传输至 ATP 车载设备。驾驶指令主要包括目标坐标(目标速度和目标距离)、最大允许线路速度和线路坡度。ATP 车载设备通过此数据计算现有位置的列车允许速度。驾驶列车

所需的数据经由司机室显示器指示给司机。

实际的列车速度和驶过的距离由测速装置连续进行测量。

ATP 车载设备列车实际速度与列车允许速度进行比较。当列车速度超过列车允许速度时,ATP 的车载设备就发出制动命令,发出报警后控制列车进行常用全制动或实施紧急制动,使列车自动地制动;当列车速度降至 ATP 所指示的速度以下时,便自动缓解。而运行操作仍由司机完成。

ATP 不仅可用来保证列车之间的运行安全,还用于受曲线等线路条件、通过道岔、慢行区间等限制而需要限速的区段。因此限速等级是根据后续列车和先行列车之间的距离、线路条件等来决定的。ATP 可对列车运行速度进行分级或连续监督。

### 3. 目标速度和目标距离

ATP 轨旁设备向在其控制范围内的列车分配一个“目标距离”,再由轨道电路生成代码,通知列车前方有多少个未占用的区段,接着,车载 ATP 车载设备调用存储器里的信息,决定在列车任何时刻列车的运行速度和可以运行的最远距离,确保在抵达障碍物或限制区之前安全停车。目标距离原理如图 5-23 所示。

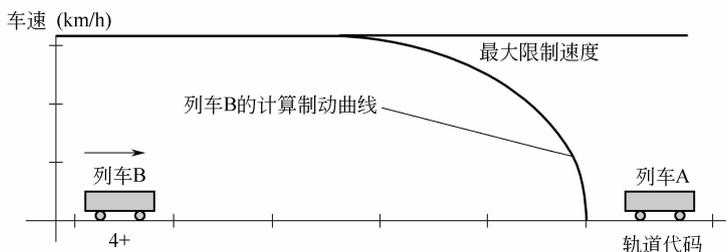


图 5-23 目标距离原理

图中编码仅表示列车 B 前方未被占用的轨道电路的数目。列车 B 所在的区段标记为 4+, 这代表在到达阻碍或限制区之前,前方有 4 个空闲的轨道区段。列车 B 可获得其精确的位置,这一信息与保存在 ATP 和 ATO 设备存储器中的线路图数据相结合,可推算出列车的最大安全距离或目标距离。这样,列车 B 就能安全地进入列车 A 所占用的轨道区段之后方的空闲轨道区段。

列车的实际行驶速度不断与计算出来的最高速度进行比较,如果实际车速超过最高速度,则自动启用紧急制动。

列车除了必须遵循通过轨道传来的指示目标距离的编码外,在线路的某些区域,由于某种特殊情况或临时性原因,如轨道临时性作业等,还有一些速度限制要求。ATP 将充分考虑到各种限速条件,选择最严格的条件来执行。

### 4. 制动模式

列车制动控制模式分为分级制动模式和一级制动模式。

#### (1) 分级制动

分级制动是以闭塞分区为单元,根据与前行列车的运行距离来调整列车速度,各闭塞分区采用不同的低频频率调制,指示不同的速度等级,在此基础上确定限速值。分级制动模式又分为阶梯型和曲线型。

阶梯式分级制动模式俗称大台阶式。它将一个列车全制动距离划分为 3~4 个闭塞分区,每一闭塞分区根据与前行列车的距离来确定限速值。当列车速度高于检查值时,列车自动制动。其为滞后监督方式,即在闭塞分区出口才监督是否超速,所以为确保安全,必须设有“保护区段”。阶梯式分级制动模式的速度曲线如图 5-10 所示。固定闭塞制式的 ATC 通常采用阶梯式分级制动模式。

阶梯式分级制动模式虽然构成较为简单,但具有较多缺点:

- ① 设有防护区段,会影响通过能力;
- ② 列车接近前方列车时遇到两次红灯,司机难以区分哪一个闭塞分区有车占用,容易造成混乱;
- ③ 由于其在闭塞分区出口处才给出下一闭塞分区的允许入口速度,司机有时会措手不及;
- ④ 列车在进站信号机前停车或进站停车时,司机怕“撞墙”引起紧急制动,往往要压低速度运行,影响运输效率。

阶梯式分级制动模式不能满足高密度行车的需要,于是改为速度-距离模式曲线制动模式。

模式曲线是根据该闭塞分区提供的允许速度值以及列车参数和线路常数由车载计算机计算出来的(或将各种制动模式曲线储存调用)。模式曲线制动模式的速度曲线如图 5-24 所示。准移动闭塞制式的 ATC 通常采用曲线式分级制动模式。

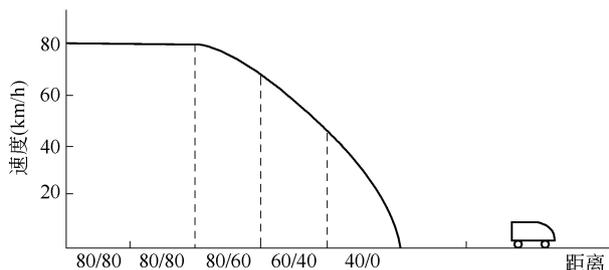


图 5-24 曲线式分级制动模式的速度曲线

注:图中“80/80”是区段“入口/出口”限制速度,其他类同。

## (2) 一级制动

一级制动是按目标距离制动的。根据距前行列车的距离或距运行前方停车站的距离,由控制中心根据目标距离、列车参数和线路参数计算出列车制动模式曲线,或由车载计算机予以计算,按制动模式曲线控制列车运行。信息传输有数字编码轨道电路传

输和无线传输两种方式。无论何种方式,传输的信息必须包括线路允许速度、目标速度、目标距离。一级制动方式能合理地控制列车运行速度,是列车自动控制技术的发展方向。一级制动速度曲线如图 5-25 所示。移动闭塞制式的 ATC 通常采用一级制动模式。

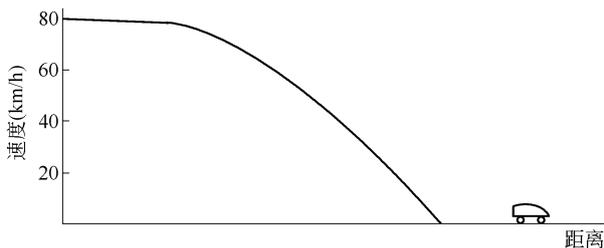


图 5-25 一级制动模式的速度曲线

## 5. 测速与测距

确定车辆速度和位置是车载设备关键、重要的功能。

### (1) 测速

列车运行速度的测量非常重要,列车实际运行速度是速度控制的依据。该速度值的准确和精度直接影响调速效果。

测速有车载设备自测和系统测量两种方法。车载设备自测有测速发电机、路程脉冲发生器、光电式传感器和霍尔式脉冲转速传感器等,它们安装在无动力车辆的轮轴上。系统测量有卫星测速和雷达测速等方法。

①测速发电机。早期采用测速发电机测速。测速发电机安装在车轮轴头上,它发出的电压与车速成正比,该电压经处理后产生模拟量和数字量两个输出,分别用来驱动速度表和进入车上主机用于速度比较。测速发电机简单,但在低速范围内精度较差,可靠性也不高。

②路程脉冲发生器。其核心部件是一个 16 极的凸轮,随着车轮的转动,发生一系列脉冲,车速越快,脉冲数越多,只要在一定时间内记录下脉冲的数目,即能换算成列车的实际速度。

③光电式传感器。光电式传感器应用光电传感技术,它有一个多列光圈盘,随着车轮的转动,光线不断地通过和被阻挡,使光电式传感器产生电脉冲,记录脉冲数目来测量车速。

④霍尔式脉冲转速传感器。车轮转动时,使霍尔式传感器产生频率正比于车轮转速的信号,来进行测速。需采用两路测速,两套传感器安装在不同的车轴和不同的侧面,以提高保证测量准确性和提高测量精度,并对车轮空转、蠕滑、死抱等引起的误差进行修正。转速传感器无法精确补偿车轮滑转和滑行,可用一台多普勒雷达装置,向 ATP/ATO 系统输入第三个车速信息。这个信息跟转速传感器输入的车速相比较,以

● 检验车速测量系统的可靠性。

### (2) 测距

在目标距离模式中,列车位置对于安全性至关重要。如果列车无法掌握它在线路中的准确位置,那么它就无法保证在抵达障碍物或限制区之前停下或减速。如何测量距停车点的精确距离是列车运行超速防护系统的重要任务。通过连续确定列车行驶距离,ATP 车载设备可以随时查找列车的精确位置。距离信息以音频轨道电路的分界来定位,当列车经过轨道电路的分界时,距离测量被同步。

测距是通过测速与轮径完成的,距离测量系统记录车轮旋转的次数,考虑运行方向和车轮直径,计算出列车走行的距离。距离测量系统利用两个传感速度器测得的数据,通过两个通道进行比较。如果结果不一致,为可靠起见,取其中的最大值。

在跨越轨道电路时,如果已经接收到带有有效时间标记的新报文,则距离测量装置复位为零。

ATP 系统允许输入正确车轮直径,由此来确保正确测量速度和距离。当维护人员键入密码后,通过面板上的开关和显示器就可设置轮径,数据进入 ATP 单元后存放于 EPROM 中。此项来自 ATP 处理器的安全输入可以以步长 1 cm 进行调整,以对磨损予以补偿。注意,这是一项在线操作,离线后无法操作。

也可采用信标来进行测速测距。信标(APR)沿线路等间距放置。这些信标由装在列车上的发射应答器读取。每个信标都有一个独一无二的识别号,存储在 ATP/ATO 系统存储器中。这个系统可以确保在指定范围内对转速传感器发出的信号进行自动重新校正,也能进一步确定列车位置。

## 6. 速度限制

速度限制分为固定限速、临时限速、在道岔或道岔前方的限速、具有短安全轨道停车点的限速。

### (1) 固定限速

固定限速是在设计阶段设置的。车载 ATP 和 ATO 设备都储存着整条线路上的固定限速区信息。速度梯降级别为 1 km/h。它决定了“目标距离”工作模式下的可能给出的最优行车间隔。

### (2) 临时限速

限制速度在某些条件下(施工现场、临时危险点)可以被降低。临时速度限制区段的范围总是限制在一个或多个轨道电路。

在紧急情况下,通过特殊速度码,可立即将任何一段轨道电路上的速度设置为 25 km/h。如果需要设置临时性限速区,可以在地面安装应答器。这些应答器允许以 5 km/h 为一个阶梯,降到 25 km/h。在带有允许临时速度限制的编码的轨道电路里,可通过设置信标来实施。

ATP 通过设置区域限速或闭塞分区限速来设置速度限制。

### ① 区域速度限制

区域速度限制是针对轨道电路内的预定区域设定的限制速度,可分为 15 km/h、30 km/h、45 km/h、60 km/h。区域限速可由 ATP 轨旁设备设置,也可在需要时由控制中心控制,但控制中心只能复位控制中心设置的区域限速。如果控制中心离线或通信失败,则本地轨旁设备可直接设置区域限速。一旦设置了限速,集中站的 ATP 轨旁设备就将产生到速度限制区的新的目标距离和实际的目标限制速度,通过轨道电路传送给接近限速区域的列车,列车在该区域中的运行速度就不允许超过限速。如果列车速度超过限速,则车载 ATP 将启动紧急制动,直到列车速度低于限速。

### ② 闭塞分区限速

闭塞分区限速是对单独的轨道电路设置最大的线路速度和目标速度。通过 ATP 轨旁设备选择最大速度,所选的速度作为轨道电路的最大允许速度。

控制中心可以确定和解除临时限速。解除时,要执行一套安全防护措施。临时速度限制区段的范围总是限制在一个或多个轨道电路中。

## 7. 常用制动和紧急制动

ATP 车载设备具有常用制动和紧急制动两级防护控制的能力。在常用制动失效后,可施行紧急制动。

常用制动是直接控制列车主管压力使机车制动与缓解,不影响原有列车制动系统的功能。它缩短了制动空走时间,大大减小了制动时的纵向冲击加速度,使列车运行更安全、舒适。

紧急制动是将压缩空气全部排入大气,使副风缸内压缩空气很快推动活塞,施行制动,使列车很快停下来。紧急制动时,列车冲击大,中途不能缓解,充风时间长,不能使列车安全平稳地运行。ATP 车载设备收到紧急停车命令后,将发送给影响区域内的列车的数据信息中的“线路速度”、“目标速度”设置为零。而且一旦发出紧急制动指令时,中途不得缓解,直到停车。

紧急制动的实施可通过下列三种基本方式的任何一种来实现:

① 在列车超速、后退、移动时车门打开等的情况下,直接由 ATP 功能提供防护;

② 在故障情况下(例如在需要报文时,不能接收到报文),直接由 ATP 功能作为安全防护;

③ 由司机或由牵引控制设备执行,不依靠 ATP 功能。

在危急情况下,控制中心按下紧急停车按钮或轨旁按下安装在站台两侧的紧急停车按钮即可启动紧急停车。

因为紧急制动可能会导致不能接受的距离误差,实施紧急制动后,ATP 车载设备不允许保持在 SM、ATO 或 AR 模式。随着紧急制动的取消,列车可以行驶,但其运行受到 RM 模式强制的限制,列车速度限制为 RM 速度。RM 模式继续到报文接收和距

离同步再次得到满足。一旦满足,即向 SM 模式转换。如果列车在车辆段运行并选择了 RM 模式,发生紧急制动时,ATP 功能不能监督运行方向。

如果有 ATP 功能直接启动但不能被缓解的紧急制动,这说明 ATP 车载设备出现了完全的故障。在这种情况下,必须通过使用故障开关来隔离故障设备。

## 8. 停站

### (1) 车站程序停车

线路上的车站都有预先确定的停站时间间隔。控制中心 ATS 监督列车时刻表,计算需要的停站时间以保证列车正点到达下一个车站。由集中站 ATS 通过环线传送给车载设备。控制中心能通过集中站 ATS 缩短或延长车站停站时间。在控制中心要求下,列车可跳过某车站。这一命令由控制中心通过集中站 ATS 传给列车。

### (2) 车站定位停车

设置站台屏蔽门时,车门的开度和屏蔽门的开度要配合良好。要求安装有屏蔽门的地下车站允许停站误差为  $\pm 0.25$  m,其他车站允许停站误差为  $\pm 0.5$  m。

车站定点停车是靠一组地面标志线圈(或者环线)提供至停车点的距离信息,标志线圈设置的多少可视定位停车精度而异,一般为 3~4 个。地面标志器设于沿线离站台的确定距离内,当列车标志天线置于地面标志器作用范围内时,使列车接收滤波—放大电路开始振荡,振荡频率通过调谐标志线圈来确定,每个标志线圈根据距站台的距离调在不同的频率上。图 5-26 为地面停车标志器布置示意图。

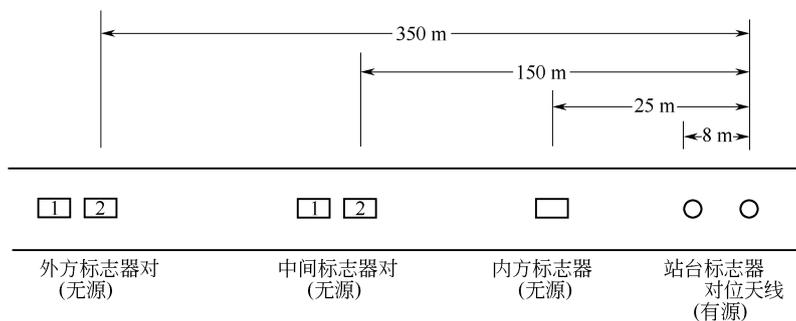


图 5-26 标志线圈布置

离定位停车点 350 m 处设置外方标志器对;离 150 m 处设中间标志器对;离 25 m 处设内方标志器;离 8 m 处设站台标志器。350 m 和 150 m 标志线圈成对布置,具有方向性。无源标志线圈具有固定的谐振频率,列车经过时与车载标志线圈产生谐振。有源标志线圈能发送特定的频率信号。

当列车正向运行经过 350 m 标志线圈时,列车接收停车标志频率信息,启动定点停车程序,产生第一制动模式曲线,按此制动曲线停车,列车离定位停车点较远;当列车

驶抵中间标志器时,产生第二制动模式曲线,并对第一阶段制动进行缓解控制,以使列车离停车点更近;当列车收到内方标志器传来的停车信息时,产生第三制动模式曲线,列车再次进行缓解控制,使列车离定位停车点的距离更近;列车收到站台标志器送来的校正信息,即转入停车模式,产生第四制动模式曲线,列车再次缓解制动控制。经多次制动、缓解控制,确保列车定位停车的精度控制在规定的范围之内,当车载定位天线与地面定位天线对齐时,又收到一个频率信号,立即实施全常用制动,将车停住。

#### 9. 车门控制

在通常的情况下,在车辆没有停稳靠在站台或是车辆段转换轨上时,ATP 不允许车门开启。当列车在车站的预定停车区域内停稳且停车点的误差在允许范围以内时,地面定位天线会收到车载定位天线发送的停稳信号,列车从 ATP 轨旁设备收到车门开启命令,ATP 才会允许车门操作,车载对位天线和地面对位天线才能很好地感应耦合并进行车门开关操作。这需要地面和车载 ATC 设备以及车辆门控电路共同配合。有了车门开启命令后,使 ATP 轨旁设备改发打开屏蔽门信号,当站台定位接收器收到此信号,便打开与列车车门相对的屏蔽门。

列车停站时间结束(或人工终止),地面停站控制单元启动 ATP 轨旁设备,停发开门信号,由司机关闭车门,同时关闭屏蔽门。

在列车停靠站台的精度已经偏离了 $\pm 0.5\text{ m}$ (对于地下车站)或 $\pm 1\text{ m}$ (对于高架车站或地面车站)的情况下,列车可以被允许以小于 $5\text{ km/h}$ 的速度移动,以满足精确停车点的要求。

左右车门选择由车门开启命令来执行,此命令通过轨旁 ATP 系统取得。

ATP 不断监视安全车门关闭列车管,以确保车门没有被异常打开。

地面 ATP 设备还将列车停准、停稳信息送至控制中心作为列车到站的依据。车门关闭后,车载 ATP 才具备安全发车条件。

车站在检查了屏蔽门已关闭好以后,才允许 ATP 子系统向列车发送运行速度命令信息,列车收到速度命令,同时检查了车门已关闭后,可按车载 ATP 收到的速度命令出发。

### 四、ATP 的运行特性

#### 1. 危险点和保护区段

危险点是不能越过的轨道区段的始端或已占用的轨道区段的始端。列车无论如何不能越过危险点,否则将导致危险情况的发生。

因此,ATP 保护区段必须在危险点处终止。ATP 保护区段的长度是以运营条件为基础的,例如轨道区段的速度限制、减速度、坡度、在距离测量中出现的误差。它确保常用制动或紧急制动的列车最迟在 ATP 保护区段末端(危险点前方)停稳。

## 2. 安全停车点和运营停车点

安全停车点是在危险点的基础上定义的。

运营停车点是对列车应停车的车站设置的。运营停车点位置的设计根据运行方向决定。运营停车点无安全显示。

安全和非安全停车点,在 ATP 轨旁单元中按互相独立处理。它们的编码数据借助于零目标速度和目标距离(是从所占用的音频轨道电路始端至停车点的距离)传到车载设备。仅非安全停车点可应 ATS 请求而取消。

## 3. 输入数据

生成报文所需的数据由联锁设备、轨道空闲检测设备、相邻轨旁 ATP 单元和紧急制动按钮提供。需要输入下列数据:

线路上轨道区段的连接和道岔布置、设计的最大安全速度(它们被固化在 ATP 轨旁单元内)、临时限速区段、设计的安全区段、道岔设定和道岔区段的侧向限速、进路的入口、轨道空闲检测、紧急停车。

## 4. 列车方向保证

列车的方向由司机控制台上方向开关的状态来控制。ATP 根据由两个速度传感器所接收到的速度脉冲,安全地确定列车的方向。ATP 执行一项交叉检查,以确认所探测到的运行方向与由方向开关所选择的方向的一致。

## 5. 出入车辆段的运行

### (1) 进入车辆段

正常情况下,列车从正线运行至车辆段内,以 ATO 模式或 SM 模式接近车辆段,且要求列车停在车辆段入口附近。然后,当列车到达合适位置,且列车速度不高于 RM 速度,系统将提示司机选定 RM 模式。

### (2) 车辆段内的正常驾驶

在车辆段内,没有提供 ATC 功能的轨旁设备,不可能采用 ATO 模式或 SM 模式,只能使用 RM 模式。列车运行速度监督在预定低速值(例如 25 km/h)时称为 RM 速度。ATP 功能不监督驾驶方向,列车可以自由地以“前行”或“反向”的方向移动。

### (3) 从车辆段发车

在有效的驾驶室用总钥匙打开 ATP 和 ATO 车载单元。ATP 执行自检测,并在成功地完成自检测之后启动 ATO 车载单元。只要没接收到报文,ATP 就认为列车在车辆段内,并保持在 RM 模式中。

当从车辆段向正线行驶时,要求使用 RM 模式,这由车辆段的出段信号机来控制。当列车一进入正线前的转换轨,就会接收到从轨道电路发来的报文,ATP 车载单元将自动转换至 SM 模式。如满足转换到 ATO 模式的全部条件,ATO 启动按钮就会亮,司机按下 ATO 启动按钮时,ATP 车载单元将会转换到 ATO 模式。

### 第三节 ATO 子系统基本原理

ATO 子系统(以下称为 ATO 系统)主要用实现“地对车控制”,即用地面信息实现对列车驱动、制动的控制,包括列车自动折返,根据控制中心指令自动完成对列车的启动、牵引、惰行和制动,送出车门和屏蔽门同步开关信号,使列车按最佳工况正点、安全、平稳地运行。

#### 一、ATO 系统基本概念

ATO 为非故障—安全系统,其控制列车自动运行,主要目的是模拟最佳司机的驾驶,实现正常情况下高质量的自动驾驶,提高列车运行效率,提高列车运行的舒适度,节省能源。

ATP 系统是城市轨道交通列车运行时必不可少的安全保障,ATO 系统则是提高城市轨道交通列车运行水平(准点、平稳、节能)的技术措施。

ATO 系统采用的基本功能模块与 ATP 系统相同。和 ATP 系统一样,ATO 也载有有关轨道布置和坡度的所有资料,以便能优化列车控制指令。ATO 还装有一个双向的通信系统,使列车能够直接与车站内的 ATS 系统接口,保证实现最佳的运行图控制。

当列车处在自动驾驶模式下,车载 ATO 运用牵引和制动控制,实现列车自动运行。

#### 二、ATO 系统的组成

虽然各公司的 ATO 系统结构不尽相同,但 ATO 系统的基本组成是共同的。ATO 系统都由轨旁设备和车载设备组成。

ATO 轨旁设备通常兼用 ATP 轨旁设备,接收与列车自动运行有关的信息。

ATO 车载设备由设在列车每一端司机室内的 ATO 控制器(包括司机控制台)及安装在列车每一端司机室车体下的两个 ATO 接收天线和两个 ATO 发送天线组成,还包括 ATO 附件,这些附件用于速度测量、定位和司机接口。ATO 车载设备通常和 ATP 车载设备安装在一个机架内。

ATO 具有一个双向通信系统,通过车载 ATO 天线和地面 ATO 环线允许列车直接与车站内的 ATS 连接,可以实现最佳的运营控制,完成下列 ATO 功能:程序停车、运行图和时刻表调整、轨旁/列车数据交换、目的地和进路控制功能。

ATO 还具有定位停车系统,为列车提供精确的位置信息。包括车底部的标志线圈和对位天线,以及每个车站 ATC 设备室内的车站停车模块和沿每个站台设置的一组地面标志线圈。

ATO 的功能不考虑故障—安全,因此,ATO 车载单元是非故障—安全的一取一配置。ATC 显示单元不要求是故障—安全的,因而 ATC 显示单元采用基于商用计算机硬件。

ATO 向列车广播设备及车厢信息显示牌提供报站信息(即目的地号、下一车站号)。

ATO 车载通信系统在所有模式中处于活动状态,向轨旁设备传输信息。

ATO 车辆报告系统在自动模式中处于活动状态,提供车站标识和车站停车状态信息。

### 三、ATO 系统的主要功能

ATO 系统的功能分为基本控制功能和服务功能。

基本控制功能是自动驾驶、自动折返、车门打开。这三个控制功能相互之间独立地运行。

服务功能包括:列车位置、允许速度、巡航/惰行、PTI 支持功能等。

#### 1. ATO 系统基本控制功能

##### (1) 自动驾驶

##### ① 自动调整列车运行速度

ATO 车载控制器通过比较实际列车运行速度及 ATP 给出的最大允许速度及目标速度,并根据线路的情况,自动控制列车的牵引及制动,使列车在区间内的每个区段始终控制速度(ATP 计算出来的限制速度减去 5 km/h)运行,并尽可能减少牵引、惰行和制动之间的转换。

##### ② 停车点的目标制动

车站停车点作为目标点,车站停车点由 ATP 轨旁单元和 ATS 系统控制。当停车特征被启动后,ATO 系统基于列车速度、预先决定的制动率和距停止点的距离计算出一个制动曲线,采用最合适的减速度(制动率)使列车准确、平稳地停在规定的停车点。与列车定位系统相配合,可使停车位置的误差达到 0.5 m 以下。

假如列车超过了停车点,ATP 准许后退一定距离。如果超过后退速度限制值,向列车司机发出声音和视觉报警。

##### ③ 从车站自动发车

当发车安全条件符合时(在 ATO 模式下,关闭了车门,这由 ATP 系统监视),ATO 系统给出启动显示,司机按下启动按钮,ATO 系统使列车从制动停车状态转为驱动状态。停车制动将被缓解,然后列车加速。ATO 通过预设的数据提供牵引控制,该牵引控制可使列车平稳加速。

停站时间由 ATS 控制,并传送给 ATP。另外,基于车站和方向的停车时间也储存在 ATP 轨旁单元中,用作 ATS 故障下的后备程序。

#### ④ 区间内临时停车

由 ATP 系统给出目标点位置(例如前方有车)及制动曲线,并将数据传送给 ATO 系统车载单元,ATO 系统得到目标速度为“0”的速度信息后自动启动列车制动器,使列车停稳在目标点前方 10 m 左右。此时车门还是由 ATP 系统锁住的。一旦前方停车目标点取消,速度信息改为进行码后,ATO 系统使列车自动启动。假如车门由紧急开门打开,或是司机手柄被移至非零位置,那么列车必须由司机重新启动 SM 模式或 ATO 模式(如果允许)。

在危险情况下,例如按下紧急停车按钮,或是因常用制动不充分而使列车超过紧急制动曲线,由 ATP 启动紧急制动,ATO 向司机发出视觉和音响警报。5 s 以后音响警报自动停止。

#### ⑤ 限速区间

临时性限速区间的数由轨道电路报文传输给 ATP 车载设备,再由 ATP 车载设备将减速命令经 ATO 系统传达给动车驱动、制动控制设备。此时 ATO 车载设备的功能犹如 ATP 系统与驱动、制动控制设备之间的一个接口。对于长期的限速区间,数据可事前输入 ATO 系统,在执行自动驾驶时,ATO 系统会自动考虑到该限速区间。

#### (2) 无人自动折返

无人自动折返是一种特殊情况下的驾驶模式,在这种驾驶模式下无需司机控制,而且列车上的全部控制台将被锁闭。

从接收到无人驾驶折返运行许可时,就自动进入 AR 模式。授权经驾驶室 MMI 显示给司机,司机必须确认这个显示,并得到授权,锁闭控制台。

只有按下站台的 AR 按钮以后,才实施无人驾驶列车折返运行。ATC 轨旁设备提供所需的数据以驾驶列车进入折返轨。列车将自动回到出发站台。列车一到出发站台,ATC 车载设备就会退出 AR 模式。

无人自动折返功能的输入是来自车载速度/距离功能的列车当前的速度和位置以及 ATP 速度曲线。

无人自动折返功能的输出至列车制动和牵引控制系统的命令。

#### (3) 自动控制车门开闭

由 ATP 系统监督开门条件,当 ATP 系统给出开门命令时,可以按事前的设定由 ATO 系统自动地打开车门,也可由司机手动打开正确一侧的车门。车门的关闭只能由司机完成。

当列车空车运行时,从 ATS 接收到的指定的目的地号阻止车门的打开。

车门打开功能的输入是来自 ATP 功能的车门释放、运行方向和打开车门的数据,以及来自 ATS 功能的确定目的地号。

车门打开功能的输出将车门打开命令发给负责控制车门的列车系统。

## 2. ATO 系统服务功能

### (1) 列车位置

列车位置功能从 ATP 功能中接收到当前列车的位置和速度等详细信息。根据上一次计算后所运行的距离来调整列车的实际位置。此调整也考虑到在 ATP 功能计算列车位置时传送和接收的延迟时间,以及打滑和滑行。

另外,ATO 功能同测速单元的接口为控制提供更高的测量精确性。列车位置功能也接收到地面同步的详细信息,由此确定列车的实际位置和计算列车位置的误差。对列车位置调整,可在由 ATO 功能规定的直至接近实际停车点 10~15 m 的任意位置开始。由于这种调整,停车精度由 ATO 控制在希望的范围内。

列车位置功能的输入来自 ATP 功能的列车当前速度和位置、轨道电路信息的变化,测速单元的读入、轨道中同步标记的检测、SYNCH 环线。

列车位置功能的输出用作校正列车位置信息。

### (2) 允许速度

允许速度功能为 ATO 速度控制器提供列车在轨道任意点的对应速度值。这个速度没有被优化,只是低于当前速度限制和制动曲线给的限制。允许列车速度调整是为了能源优化或由惰行/巡航功能完成的列车运行。

允许速度功能的输入来自 ATP 功能的轨道当前位置的速度限制,以及列车制动曲线。

允许速度功能的输出至 ATO 速度控制器。

### (3) 巡航/惰行功能

巡航/惰行功能的任务是按照时刻表自动实现列车区间运行的惰行控制,同时节省能源,保证最大能量效率。

ATO 巡航/惰行功能协同 ATS 中的 ATR 功能,并通过确定列车运行时间和能源优化轨迹功能实现巡航/惰行功能。

#### ① 确定列车运行时间的功能

由 ATO 和 ATR 功能确定的列车运行时间,通过车站轨道电路占用完成同步。当列车在 ATO 功能下,从报文给定的列车运行时间中减去通过计时器测定的已运行时间,以确定到下一站有效的可用时间。

确定列车运行时间功能的输入来自 ATC 轨旁功能的轨道电路占用报文,以及通过 ATC 轨旁和 ATP 车载功能来自 ATR 功能的运行时间命令。

确定列车运行时间功能的输出至能源优化轨迹功能的到下一站停车点的有效运行时间。

#### ② 能源优化轨迹功能

能源优化轨迹的计算要考虑加速度、坡度制动以及曲线制动。因此,整套系统的轨道曲线信息都储存在 ATO 存储器中。借助此信息,并使用最大加速度,惰行/巡航功

能计算出到下一停车点的速度距离轨迹。

能源优化轨迹功能的输入来自确定列车运行时间功能的至下站可用的列车运行时间、ATO 存储器的轨道曲线、ATP 功能的 ATP 静态速度曲线（例如速度限制）。

能源优化轨迹功能的输出至 ATO 速度控制器的速度距离轨迹。

#### (4)PTI 支持功能

PTI 支持功能是通过多种渠道传输和接收各种数据,在特定的位置(通常设在列车进入正线的入口处)传给 ATS,向 ATS 报告列车的识别信息、目的号码和乘务组号,以及列车位置数据(例如当前轨道电路的识别和速度表的读数),以优化列车运行。

PTI 功能是由车载设备和轨旁设备实现的。由 ATC 车载设备提供的数据,通过 ATO 功能,传输到 PTI 的轨旁设备,进而传给 ATS。

在将信息传输至轨旁设备之前,ATO/PTI 功能收集数据,完成合理检查。编辑信息必需的数据从 ATS、ATC 轨旁功能、司机 MMI 功能发送至 ATO。

PTI 是一个非安全功能。

### 四、ATO 系统的基本要求

1. 根据线路条件、道岔状态、前方列车位置等,实现列车速度自动控制。列车在区间停车应尽量接近前方目的地。区间停车后,在允许信号的条件下列车自动启动。车站发车时,列车启动由司机控制。

2. ATO 应能提供多种区间运行模式,满足不同行车间隔的运行要求,适应列车运行调整的需要;司机手动驾驶及由 ATO 系统驾驶之间可在任何时候转换;手动驾驶时由 ATP 系统负责安全速度监督,自动驾驶时由 ATO 系统给出对驱动、控制设备的命令,ATP 系统仍然负责速度监督。

3. ATO 定点停车精度应根据站台计算长度、列车性能和屏蔽门的设置等因素选定。站台定点停车精度宜在  $\pm 0.25 \sim \pm 0.50$  m 范围内选择。

4. ATO 控制过程应满足舒适度和快捷性的要求。舒适度的要求主要是指牵引、惰行和制动控制以及各种工况之间的转换控制过程的加、减速度的变化率。快捷性主要是指控制过程的时间宜短,以减少对站间运行时分的影响和提高运行质量。

ATO 应能控制列车实现车站通过作业。

5. 自动记录运行状态、自诊断及故障报警。

### 五、ATO 系统基本工作原理

#### 1. 列车自动驾驶

和 ATP 系统一样,ATO 也存储了轨道布局和坡度信息,能够优化列车控制命令。

ATO 中有一套最大安全速度数据,与 ATP 的最大安全速度数据互相独立。这样,为了保证乘坐的舒适性,ATO 可按照最大速度行驶,不过这一速度要小于 ATP 的最大安全速度。ATO 的最大速度可以任意设置,梯进精度为 1 km/h。

ATO 利用通过地面 ATP 设备传来的编码得知前方未被占用的轨道电路数目或者前行列车的位置,知道当前本次列车的位置,列车就可以在到达安全停车点之前,综合考虑安全因素,尽量以全速行驶。

ATO 系统的自动驾驶功能是通过 ATO 车载设备控制列车牵引和制动系统而实现的。为此,ATO 需要 ATP 的数据:从 ATP 轨旁单元接收到的全部 ATP 运行命令、测速单元提供的当前列车位置和实际速度信息、位置识别和定位系统的信息、列车长度、ATS 通过向 ATP 轨旁单元发送的出站命令和到下一站的计划时间。

如果 ATO 自检测成功完成,且 ATP 设备释放了自动驾驶,信号显示“ATO 启动”,可以实施 ATO 驾驶。

由 ATO 系统执行的自动驾驶过程是一个闭环反馈控制过程,其基本关系框图如图 5-27 所示。测速单元通过 ATP 向 ATO 发送列车的实际位置信息。反馈环路的基准输入是从 ATP 数据和运营控制数据中得出的。ATO 向牵引和制动控制设备提供数据输出。

ATO 模式在以下条件下被激活:

- ATP 在 SM 模式中;
- 已过了车站停车时间;
- 联锁系统排列了进路;
- 车门关闭;
- 驾驶手柄处于零位。

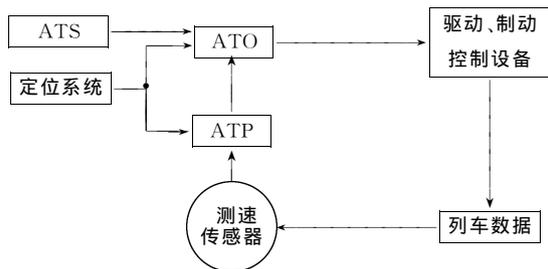


图 5-27 自动驾驶的闭环控制框图

于是,司机通过按压启动按钮开始 ATO 模式,列车加速达到计算的速度曲线。假如其中一项条件不能满足,启动无效,ATP 关闭 ATO 至牵引的控制信号。

在达到计算速度时,系统根据这个速度曲线控制列车的运行。当接近制动启动点时,ATO 设备将自动控制常用制动使列车运行跟随制动曲线。

## 2. 车站程序停车

线路上的车站都有预先确定的停站时间间隔。控制中心 ATS 监督列车时刻表,计算需要的停站时间以保证列车正点到达下一个车站。由集中站 ATS 通过 ATO 环线传送给 ATO 车载设备。

控制中心能通过集中站 ATS 缩短或延长车站停站时间。如果控制中心离线,集中站 ATS 预置一个缺省的停站时间,该时间是可编程的。

在控制中心要求下,列车可跳过某车站。这一跳停命令由控制中心通过集中站 ATS 传给列车。

### 3. 车站定位停车

车站精确停车通过在车站区域的轨道电路标识、分界过渡和 ATO 环线变换来进行。轨道电路标识被用来确定停车特征的合适起始点。轨道电路分界过渡和轨旁 ATO 环线变换提供了距离分界。该距离分界用于达到所要求的位置精度。

当停车特征启动后,ATO 基于列车速度、预先确定的制动率和距停止点的距离计算制动特征。ATO 将通过根据要求改变牵引和制动需求来遵循此特征。制动率调整值通过 ATO 环线轨旁 ATO 取得。此调整是动态的,是根据异常线路情况作出的,并且可以从 OCC 或 SCR(车站控制室)中进行选择。

一旦列车停车,ATO 会保持制动,以避免列车运动。

ATO 可以与站台屏障门(PSD)的控制系统全面接口,保证列车的精确和可靠地到站停车。

### 4. 车门控制

ATO 只有在自动模式下才执行车门开启。在手动模式,由司机进行车门操作(ATP 仍会提供一种安全的车门使能功能)。

当列车驶抵定位停车点,列车的定位天线(它接至车辆定位发送器和接收器)位于站台定位环线上方,环线置于线路中央,它连向站台定位发送器和接收器;只有当列车停于定位停车的允许精度范围内,车辆定位接收器收到站台定位发送器送来的列车停站信号,ATO 系统确认列车已到达确定的定位区域,这时 ATO 系统发出“列车停站”信号给 ATP 系统,以保证列车制动;ATP 系统检测到零速度,通过列车定位发送器发送 ATP 列车停车信号给地面站台定位接收器,站台接收器检测到此信号,将其译码,使地面“列车停站”继电器工作;此时车站轨道电路 ATP 发送器发送允许打开左车门(或右门)的调制频率信号;车辆收到允许打开车门信号,使相应的门控继电器工作,并提供相应的广播和允许开门的信号显示,这时司机按压与此信号显示相一致的门控按钮,才可以打开规定的车门。

有了车门打开信号以后,使车辆定位发送器改发打开屏蔽门信号,当站台定位接收器收到此信号,使打开屏蔽门继电器吸起,以使与列车车门相对的屏蔽门打开(包括屏蔽门的数量及位置)。

列车停站时间结束(或人工终止),地面停站控制单元启动车站 ATP 模块,轨道电路停发开门信号,车辆收不到开门信号,使门控继电器落下。司机按压关门按钮,关闭车门;与此同时,车辆停发打开屏蔽门信号,车站打开屏蔽门继电器落下;车站在检查了屏蔽门已关闭及锁闭好以后,才允许 ATP 系统向轨道电路发送运行速度命令信息,车辆收到速度命令同时,检查了车门已关闭和锁闭、ATO 发车表示灯点亮,列车可按车载 ATP 收到的速度命令进行出发控制。

如果车门控制系统遇到在发出车门关闭请求后车门关闭被阻止的妨碍时,车门将会循环关闭。如果车辆在“x”秒后还探测不到车门的关闭,告知车辆报告系统(VAS),

同时产生一条关于关闭车门被阻止的报告。然后,车门在“y”秒的延迟后被请求关闭。在“z”秒后,如果车门还是被检出没关,车门将会打开,一条关门受阻的报警就送到轨旁设备。“x”、“y”、“z”的时间从 1 s 到 15 s 可改变。

#### 5. 轨旁/列车数据交换

列车与轨旁的通信是非安全的。任何情况下控制中心需要与列车通信时,轨旁设备都作为数据交换的接口。

列车发到轨旁的数据:分配列车号;目的地;车门状态;车轮磨损表示(从 ATP 到控制中心);在接近车站时制动所产生的过量车轮滑动;紧急情况或异常情况(比如不正确的开门)。

轨旁发到列车的数据:车辆车门开启命令;列车号的确认;列车长度;性能修改数据;出发测试指令;车门循环测试;主时钟参考信号;跳停指令;搁置命令;申请车载系统和报警状态。

#### 6. 性能等级

性能等级是列车标识的一部分,可以被中央 ATC 修改。列车从轨旁接收到由中央 ATC 所确定的性能等级。性能等级由速度限制、命令的加速、预定的减速构成。为了减少数据的传输量,一张六个性能等级的表存放在列车上。为了修改当前性能等级,中央 ATC 发送单数字命令。

#### 7. 滑行模式

滑行模式是一种额外的性能等级,其要求是级别 1 到 5 处于有效状态,并且当申请滑行时,目标速度大于 40 km/h。滑行模式会使列车在上电的间隙进行滑行,并且允许列车的实际速度在重新上电之前下降 11 km/h。

### 六、ATO 与 ATP 的关系

在“距离码 ATP 系统”的基础上安装了 ATO 系统,列车就可采用手动方式或自动方式进行驾驶。在选择自动驾驶方式时,ATO 系统代替司机操纵,诸如列车启动加速、匀速惰行、制动等基本驾驶功能均能自动进行。然而,不论是由司机手动驾驶还是由 ATO 系统自动驾驶,ATP 系统始终是执行其速度监督和超速防护功能。可以这样认为:

手动驾驶 = 司机人工驾驶 + ATP 系统

自动驾驶 = ATO 系统自动驾驶 + ATP 系统

图 5-28 表示了三种制动曲线。曲线①表示列车的紧急制动曲线,由 ATP 系统计算及监督。列车速度一旦触及该制动曲线,立即启动紧急制动,以保证列车停在停车点。曲线①对应于列车的最大减速度,一旦启用紧急制动,列车务必停稳后经过若干时间才能重新启动。因此,这是一种非正常运行状态,应该尽量避免发生。曲线②表示由 ATP 系统计算的制动曲线,在驾驶室内显示出最大允许速度,它略低于紧急制动曲线

(之间的差值通常为 3~5 km/h)。当列车速度达到该曲线值时,应给出告警,但不启用紧急制动。显然,曲线②对应的列车减速度小于曲线①的减速度,一般取与最大常用制动对应的减速度。曲线③则是由 ATO 系统动态计算的制动曲线,也即正常运行情况下的停车制动曲线。通常将与此曲线对应的减速度设计为可以达到平稳地减速和停车的目的。

从这三条停车制动曲线可以明显地看出:ATP 系统主要负责“超速防护”,起保证安全的作用;ATO 系统主要负责正常情况下列车高质量地运行。

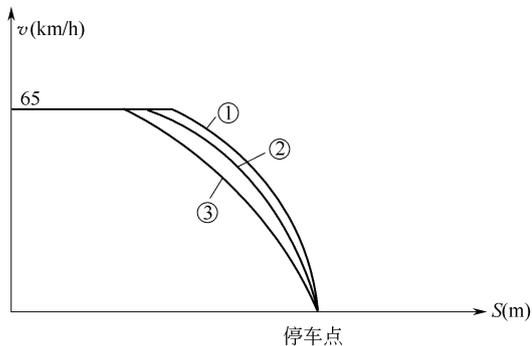


图 5-28 三种制动曲线

因此,ATP 是 ATO 的基础,ATO 不能脱离 ATP 单独工作,必须从 ATP 系统获得基础信息。而且,只有在 ATP 的基础上才能实现 ATO,列车安全运行才有保证。ATO 是 ATP 的发展和技术延伸,ATO 在 ATP 的基础上实现自动驾驶,而不仅仅停留在超速防护的水准上。

## 第四节 ATS 子系统基本原理

ATS 子系统(以下称为 ATS 系统)主要实现对列车运行的监督和控制,包括:列车运行情况的集中监视、自动排列进路、自动列车运行调整、自动生成时刻表、自动记录列车运行实绩、自动进行运行数据统计及自动生成报表、自动监测设备运行状态等,辅助调度人员对全线列车进行管理。

### 一、ATS 系统的基本概念

ATS 系统主要是实现对列车运行及所控制的道岔、信号等设备运行状态的监督和控制,给行车调度人员显示出全线列车的运行状态,监督和记录运行图的执行情况,在列车因故偏离运行图时及时做出调整,辅助行车调度人员完成对全线列车运行的管理。

ATS 在 ATP 和 ATO 系统的支持下,根据运行时刻表完成对全线列车运行的自动监控,可自动或由人工监督和控制正线(车辆段、停车场、试车线除外)列车进路,并向行车调度员和外部系统提供信息。ATS 功能由位于控制中心内的设备实现。

ATS 系统功能主要包括:时刻表编辑、列车运行监视、列车自动调整、自动排列进路等。

ATS 工作方式为集中管理,分散控制。

ATS 系统能与 ATP 系统、计算机联锁设备或继电联锁设备配套使用,并有与时钟系统、旅客向导系统和综合监控系统的接口。

ATS 系统负责监控列车的运行,是非安全系统。

## 二、ATS 系统组成

ATS 系统由控制中心设备、车站设备、车辆段设备、列车识别系统及列车发车计时器等组成。因用户要求不同,ATS 的硬件、软件配置差别很大

### 1. 控制中心设备

控制中心设备属于 ATS 系统,是 ATC 的核心。用于状态表示、运行控制、运行调整、车次追踪、时刻表编制及运行图绘制、运行报告、调度员培训、与其他系统的接口。其设备组成如图 5-29 所示。

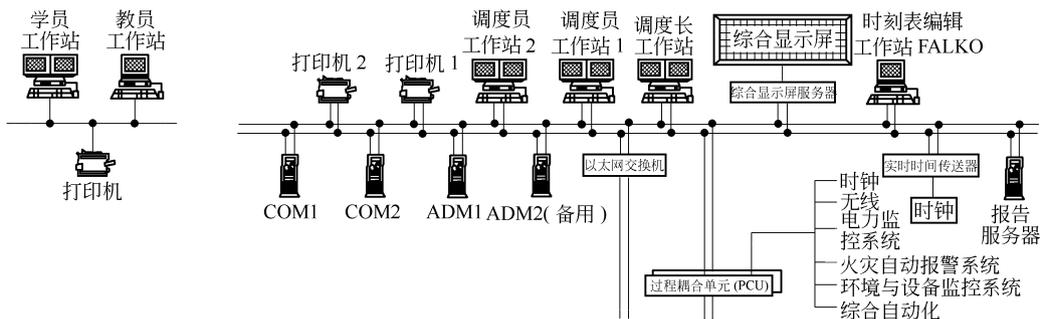


图 5-29 控制中心设备

控制中心 ATS 设备主要包括:中心计算机系统、综合显示屏、调度员及调度长工作站、运行图工作站、培训/模拟工作站、绘图仪和打印机、维修工作站、UPS 及电池。其中,综合显示屏、调度员及调度长工作站设于主控制室,控制主机、通信处理器、数据库服务器、维修工作站设于设备室,运行图工作站设于运行图室,绘图仪和打印机设于打印室,培训/模拟工作站设于培训室,UPS 设于电源室,蓄电池设于蓄电池室。

#### (1) 中心计算机系统

中心计算机系统包括:控制主机、COM 通信服务器、ADM 服务器、TTE 服务器、局域网及各自的外部设备。为保证系统的可靠性,主要硬件设备均为主/备双套热备方式,可自动或人工切换。系统能满足自动控制、调度员人工控制及车站控制的要求。

实际的进程映像都存储在 COM 服务器上。所有从联锁和外围设备发送来的数据都由 COM 服务器最先得和处理。一些应用功能也由 COM 服务器激活,并在此服务器上运行,如列车自动调整、自动列车跟踪、自动进路设置等功能。因此,COM 服务器是自动调整功能的核心部分。

ADM 服务器(系统管理器)用于系统数据存储、处理所有不受运行事件影响的数据,如系统配置、计划时刻表、计划运行图等。通常在系统启动时或收到一个询问指令时或对某一设备的参数进行设置时才需要。列车自动调整功能所需要的计划时刻表数

据,就是在系统启动时从 ADM 服务器中读得的。

TTE 服务器(时刻表编辑器)建立离线时刻表的操作者平台。时刻表的编译也是 TTE 服务器的任务。ADM 服务器存储的计划时刻表由 TTE 服务器提供。

#### (2)综合显示屏

综合显示屏用来监视正线列车运行情况及设备状态,由显示设备和相应的驱动设备组成。

#### (3)调度员工作站及调度长工作站

调度员工作站及调度长工作站,用于行车调度指挥,与 ATC 计算机系统接口,是实际操作平台,使调度员能在控制中心监视和控制联锁设备及列车的运行,如需要可显示计划运行图和实绩运行图。调度员能将系统投入列车自动调整,必要时可人工干预。典型的配置是 32 位台式机、显示器、键盘(带功能键)、鼠标。设两个调度员工作站,它们与正线运转有关。调度长工作站是备用控制台,它能替代或扩大其他两个工作站中任一个的工作。

#### (4)运行图工作站

用于运行计划的编制和修改,通过人机对话可以实现对运行时刻表的编辑、修改及管理。

#### (5)培训/模拟工作站

培训/模拟工作站配有各种系统的编辑、装配、连接和系统构成工具以及列车运行仿真的软件。它可与调度员工作站显示相同的内容,有相同的控制功能,能仿真列车在线运行及各种异常情况,而不参与实际的列车控制。实习调度员可通过它模拟实际操作,培养系统控制和各种情况下的处理能力。

#### (6)打印机服务器、绘图仪和打印机

打印服务器缓冲和协调所有操作员和实时事件激活的打印任务。彩色绘图仪和彩色激光打印机,用于输出运行图及各种报表。

#### (7)维修工作站

主要用于 ATS 系统的维护、ATC 系统故障报警处理和车站信号设备的监测。

#### (8)局域网

把本地和远程工作站、服务器的 PLC 连接在一起。以太网允许各成员间进行高速数据交换(10 Mbit/s)。

#### (9)UPS 及电池

控制中心配备在线式 UPS 及可提供 30 min 后备电源的蓄电池。

运行控制中心一般设在城市轨道交通线路的较大车站,它配套现代化、高性能、模块化的控制系统,是基于灵活的工作站结构。工作站的硬件设置相同,所不同的是扩展的内存和接口板,具有与分散的联锁设备、综合自动化系统、旅客向导系统等通信的界面。控制中心与各站联锁设备间由遥控系统联系,如过程连接单元完成所有分散接口

与联锁装置及 ATO 系统的通信控制,车辆段服务器把车辆段的两台远程 MMI 与控制中心连接起来。

## 2. 车站设备

车站分集中联锁站和非集中联锁站,设备不同。

### (1)集中联锁站设备

集中联锁站设有一台 ATS 分机,是 ATS 与 ATP 地面设备和 ATO 地面设备接口,用于连接联锁设备和其他外围系统,采集车站设备的信息,传送控制命令,使车站联锁设备能接收 ATS 系统的控制,以实现车站进路的自动控制。为从联锁设备取得所需数据,配备了采用可编程控制器的远程终端单元。采用模块化设计,扩展十分容易。它还控制站台上 PIIS 的列车目的显示器、列车到发时间显示器和发车计时器 DTI。

车站 ATS 设备的功能有:

- ①接收、存储其管辖范围内当日的列车计划时刻表;
- ②根据计划时刻表及列车运行情况,自动控制及办理管辖范围内的列车进路,包括进、出正线,终端站折返进路等;
- ③特殊情况下,可以按控制中心设定的运行间隔控制列车运行;
- ④根据计划时刻表自动控制列车到站及出发时刻;
- ⑤采集管辖范围内的所有各车站的列车运行信息、设备工作状态,并将这些信息送至控制中心 ATS;
- ⑥实现本管辖范围内的列车车次追踪;
- ⑦控制无道岔车站的 RTU 设备,并向相邻的 ATS 设备传送有关信息;
- ⑧控制 ATO 地面设备,向列车传送运行控制信息。

### (2)非集中联锁站设备

非集中联锁站不设 ATS 分机。非集中联锁站的 PTI、PIIS 和 DTI 均通过集中联锁站的 ATS 分机与 ATS 系统联系。有岔非集中联锁站的道岔和信号机由集中联锁站的计算机控制,通过集中联锁站的 ATS 分机接收 ATS 系统的控制命令。

## 3. 车辆段设备

### (1)ATS 分机

车辆段设一台 ATS 分机,用于采集车辆段内存车库线的列车占用及进/出车辆段的列车信号机的状态,在控制中心显示屏上给出以上信息的显示,以便控制中心及车辆段值班员及车辆管理人员了解段内停车库线列车的车次及车组运用情况,正确控制列车出段。

### (2)车辆段终端

车辆段派班室和信号楼控制台室各设一台终端,与车辆段 ATS 分机相连,根据来自控制中心的实际时刻表建立车辆段作业计划。

车辆段联锁设备,通过 ATS 分机与控制中心交换信息,实现段内运行列车的追踪

监视,车辆段与控制中心间提供有效的传输通道,距离较长时用 MODEM。

#### 4. 列车识别系统(PTI)

PTI 设备是 ATIS 车次识别及车辆管理的辅助设备,其由地面查询器环路和车载应答器组成。地面查询器环路设于各站。PTI 设备用于校核列车车次号。当列车经过地面查询器时,地面查询器可采集到车载应答器中设定的列车车次号,并经车站 ATIS 设备送至控制中心,校核是否与中心计算机列车计划中的车次号一致,若不相同则报警并进行修正。

#### 5. 列车发车计时器(TDT)

TDT 设备设于各站,为列车运行提供车站发车时机、列车到站晚点情况的时间指示,提示列车按计划时刻表运行。正常情况下,在列车整列进入站台后,按系统给定站停时间倒计时显示距计划时刻表的发车时间,为零时指示列车发车;若列车晚点发车,则 TDT 增加停站时间的计时。在特殊情况下,若实施了站台扣车控制,TDT 给出“H”显示;如有提前发车命令,TDT 立即显示零;列车通过车站时 TDT 显示“=”。

### 二、ATIS 系统的基本要求

1. 同一 ATIS 系统可监控一条或多条运营线路,多条运营线路共用,可实现相关线路的统一指挥,并且也有利于实现资源的共享。

监控多条运营线路时,应保证各条线路具有独立运营或混合运营的能力。

2. ATIS 的计算机及网络系统应采用冗余技术,应设调度员工作站、调度长工作站、时刻表编辑工作站、工程师工作站,以及其他必要的设备。调度员工作站的数量,根据在线列车对数、线路长度和车站数量等因素合理配置。

3. 运营线路上的车站应纳入 ATIS 系统监控范围,涉及行车安全的应急直接控制应由车站办理。车辆段、停车场可不全部列入系统监控范围。

4. ATIS 系统应满足列车运行交路的需要,凡有道岔的车站均应按具有折返作业处理。

5. 出入车辆段、停车场的列车不应影响正线列车的运行。

6. 系统故障或车站作业需要时,经控制中心调度员与车站值班员办理必要的手续后,可实现站控与遥控转换,车站值班员也可强行办理站控作业。站控与遥控转换过程中,不应影响列车运行。

7. 列车进路控制应以联锁表为依据,根据运行时刻表和列车识别号等条件实现控制。

8. ATIS 系统应具有良好的实时控制性能。系统处理能力、设备空间等应留有余量。信息采集周期宜小于 2.0 s。

9. ATIS 系统可与计算机联锁或继电联锁设备接口;ATIS 系统的进路控制方式应与联锁设备的进路控制方式相适应;ATIS 系统控制命令的输出持续时间应保证继电联锁设备的可靠动作,其与安全相关的接口应有可靠的隔离措施。

10. ATS 系统宜从时钟系统获取标准时钟信号。

#### 四、ATS 系统主要功能

ATS 系统具有下列主要功能:列车运行情况的集中监视和跟踪;列车运行实绩的自动记录;时刻表自动生成、显示、修改和优化;自动排列进路,按行车计划自动控制道旁信号设备以接发列车;列车运行自动调整;列车运行和设备状态自动监视;调度员操作与设备状态记录、运行数据统计及报表自动生成;运输计划管理、输出及统计处理;实现沿线设备及列车与控制中心之间的通信;列车车次号自动传递;车辆修程及乘务员管理;系统故障复原处理;列车运行模拟及培训;乘客向导信息显示。

##### (1) 列车监视和跟踪

进行在线列车的监视、跟踪、车次的移位及显示。

##### ① 列车监视

列车监视是用计算机来再现列车的运行。列车运行由轨道空闲和占用信号来驱动。列车由车次号来识别。ATS 给 MMI、旅客信息显示系统、模拟线路表示盘提供列车位置和车次号。

##### ② 车次号输入、追踪、记录和删除

列车车次号是 ATS 功能的先决条件,必须在固定时间内提出。当列车由车辆段或其他地点进入正线运行时,ATS 系统将根据计划时刻表自动给计划车加入车次号。列车车次号输入用于修改和确认列车车次号。输入方式有:在读站自动输入车次号、时刻表系统提出车次号、系统自动生成虚假车次号、调度员人工输入。

车次号在该列车通过读站时被记录,出错时调度员可用另一车次号予以替代。

车次号从列车在车辆段开始至全部正线连续追踪,在中心表示盘及显示器上的车次窗内随着列车运行的位置动态显示。调度员可人工修改,并能由车次查出对应车组号。

车次号删除是从 ATS 系统中清除车次号记录,在被监视到离去本区段、被覆盖时删除,也可人工删除。

##### ③ 列车运行识别

列车运行由轨道占用信号从“空闲”到“占用”的翻转来识别。列车运行被监测到,就在计算机内再现。

##### ④ 集中显示

控制中心表示分为大屏表示盘(目前用得较多的是背投式,等离子显示屏正在逐步推广)和显示器。在站场布置图上显示正线全线列车运行及信号设备的工作状况,如列车位置及车次号、信号显示、道岔位置、轨道电路状态、进路状态及开通方向、车站控制状态(站控或遥控)、行车闭塞方式(自动闭塞或站间闭塞)、站台扣车状态、信号设备报警等,以及根据调度员的需要在显示器上显示车辆段内列车运用状况及各种报告。

### (2)时刻表处理

包括安装、修改、存储时刻表,描绘、显示和打印实绩运行图。

系统提供时刻表编制用的数据库,通过调度员的人工设置如站停时间、列车间隔、轨道电路布置等数据产生计划时刻表。每天运营前将当日使用的计划时刻表从控制中心传至车站ATS分机。

系统储存适合于不同运行情况的多套时刻表;根据时刻表自动完成列车车次号的跟踪与更新;自动生成时刻表。

控制中心ATS根据列车运行的实际情况自动绘制列车实绩运行图。

系统随时对时刻表的状态进行比较。利用车次号和列车位置可以对一列车的计划位置和实际位置进行比较。在发生偏离(早点或晚点)时,系统一方面通过适当的显示通知调度员,另一方面自动产生相应的纠正措施。

### (3)自动建立进路

控制中心能对列车进路、信号机、道岔实现集中控制,可根据当日列车运行计划时刻表自动控制列车运行,包括:自动办理正线各种进路并控制办理的时机,自动控制列车驶入、离开正线的时机,自动控制车站列车停车时间及发车时机。必要时,通过办理控制权转移手续,可将控制权转移至车站。

调度员必要时可以人工控制,包括人工建立及取消正线各种进路等。调度员的人工控制命令在执行前均由中心计算机检查其合理性,并给出提示。

自动建立进路的功能是形成控制道岔位置的命令和在适当时间向信号系统发送这些命令。将列车车次号和位置信息、道岔位置和已选信号系统的信息提供给自动建立进路系统,命令的输出由接近列车的监测和进路计划来控制。

### (4)列车运行调整

不断地对计划时刻表与实际时刻表进行比较,通过调整停站时间自动调整列车按计划时刻表运行,在此基础上自动产生列车的出发时间。在装备有ATO的线路上能通过对列车运行等级的设置实现对列车运行的自动调整。

调度员也可通过人工命令调整列车停站时间来调整列车运行。

### (5)旅客信息显示系统

用来通知等待的乘客下一列车的目的地和到达时间。

### (6)列车确实位置识别

列车识别码由司机在开始旅程前选定,由列车自动发送。

### (7)服务操作

操作员能修改数据库、列车参数、控制与显示数据库信息。

### (8)仿真及演示

系统仿真是通过仿真手段,离线模拟列车的在线运行,主要用于系统的调试、演示以及人员培训,是一种必不可少的运行模式。它与在线控制模式几乎完全相同,唯一的

● 差别是列车定位信息不是实际获取,而是随车次号的设置而出现。仿真模拟运行能够模拟在线控制中的所有功能,但它与现场之间没有任何表示信息和控制命令的信息交换。

培训/演示系统具有模拟时刻表,模拟列车运行的调度等,可记录、演示,据此对学员进行实际操作培训。

#### (9) 遥控联锁

联锁设备由远程控制系统操作,它提供了与运营控制系统的接口界面。

#### (10) 运行报告

ATS能记录大量与运行有关的数据,如列车运行里程数、实际列车运行图、列车运行与计划时间的偏差、重大运行事件、操作命令及其执行结果、设备的状态信息,设备的故障信息等。ATS系统所记录的事件都应该有备份。通过选择,可回放已被记录的事件;提供数据备份和恢复功能,并可回放和查询;提供运行分析报告。

ATS中心可提供多种报告,辅助调度员了解列车运行情况,以及系统工作情况。调度员还可调用列车运用计划并进行修改,并可登记、记录、统计数据、离线打印。

ATS系统可按用户的要求提供各种统计功能,以完成各种统计报表(如日报表、周报表、月报表等)。

#### (11) 监测与报警

能及时记录被监测对象的状态,有预警、诊断和故障定位能力;监测列车是否处于ATP保护状态;监测信号设备和其他设备结合部的有关状态;具有在线监测与报警能力;监测过程不影响被监测设备的正常工作。

在相应工作站上,报告所有故障报警的状况并予以视觉提示,直到恢复正常状态为止。重要的故障以音响报警提示,直到确认报警状况为止。

要报警的不正常状况包括:轨旁ATC系统内的故障;轨道电路和轨旁设备内的故障;车载ATC系统和车辆设备内的故障;通过TWC传送的车载ATC状态信息和在DTS(光纤通信系统)设备内检测出并由DTS报告的故障。

### 五、ATS系统基本原理

#### (1) 自动列车跟踪

列车追踪系统是监视受控区域内列车的移动的。不论是自动还是人工方式,每列列车与一个列车车次号相关连。当列车由车辆段进入正线运行时,ATS系统根据计划时刻表自动给该列车加入车次识别号。根据对来自联锁设备的信息的推断,随着列车的前进,列车车次号在列车追踪系统中从一个轨道区段单元向下一个轨道区段单元移动。列车移动在调度员工作站上的车次号窗内以列车识别号显示出来。车次号按先到先服务的原则显示。

##### ① 列车识别号报告

每次列车准备进入运营时,它将自动地被分配一个列车标识,根据预先存储的列车时刻表来命名进入系统的列车。根据列车跟踪,显示列车标识并能在显示器上移动列车标识。

列车识别号包括目的地号、序列号和服务号。目的地号规定列车行程终到地点。序列号按每次行程自动累增。乘务组号和车组号将显示在特定的对话框中。

如果某一列车出现在列车追踪系统所监视区域,该列车识别号必须报告给列车追踪系统。列车识别号报告给列车追踪系统的方法有:手动输入、用读点(PTI)读入、从列车时刻表中导出、在步进检测中产生。

当无法自动导出列车识别号时必须手动输入。调度员在其监视区的第一个区段输入列车识别号。如果该区段已被某一列车识别号占用,则不能输入列车识别号。

在系统的边界点,例如在车站,可安装检测接近列车的 PTI。当多次读入的车次号被传输时,列车自动追踪系统可以识别出这些读数属于这一列车。

列车运营是由时刻表决定的,时刻表系统建议列车的识别号。将车次号输入到相应进入的区段,按它们的出现顺序调用。

步进是列车号从一个显示区段移动到下一个与列车移动相应的显示区段的前进。当轨道区段发生从空闲到占用的状态变化,或轨道区段发生从占用到空闲的状态变化,或来自 PTI 的有效列车数据的输入,或来自 OCC MMI 功能的人工步进命令的输入时都会产生步进。如果由于故障不能自动步进,也可以手动步进。

## ② 列车识别号跟踪

自动列车跟踪要完成:列车号定位、列车号删除、车次号处理。

### a. 列车号定位

列车号向轨道区段的分配由下列任一情况所启动:

在列车离开车辆段的地点,一个向正线方向的列车移动被识别,列车号从时刻表数据库取出;

来自 PTI 的有效列车数据输入;

来自 OCC MMI 的一个列车号插入或修改的输入,或在没有列车号能被步进到的位置识别到一个列车移动时,依照时刻表产生一个列车号。

### b. 列车号删除

当步进超出自动列车跟踪功能的监控范围,或从 OCC MMI 功能输入一个人工删除命令时列车号被删除。

### c. 车次号处理

车次号处理包括:从 OCC MMI 功能输入一个新的列车号、输入列车识别号、更改列车识别号、删除列车识别、人工步进列车识别号、查询列车识别号。

## (2) 自动排列进路

通过列车进路系统,实现了进路的自动排列。这可以节约调度员大量的操作工作

量。其功能就是将进路排列指令及时地输出到联锁设备中去。

调度员可在任何时候都绕过列车进路系统,用手动方式办理进路。列车进路系统则在可用性检查中检测这一行动。列车进路系统可由调度员关闭,这一点是必要的,因在当调度员人工办理进路时,要避免列车进路系统发出命令的危险。列车进路系统可以为某些信号机、某些列车和某些联锁而关闭。

只有正常方向才考虑自动选路,反方向要受到 OCC MMI 的干预。

### ① 运行触发点

列车进路系统只是在列车到达某一特定地点时才被启动,该特定地点称为“运行触发点”。运行触发点的位置必须进行配置。运行触发点的选择应能使列车以最高线路允许速度运行。但运行触发点又不能发生得太早,否则其他列车可能会遇到不必要的妨碍。为此,可以确定一个延时时间来决定输出列车进路指令的时间。该时间称之为“接通时间”,由最长指令输出时间、联锁最长设定时间、列车到达接近信号机之前司机看到和作出反应的时间、预留的时间等来决定。

在驶近列车进路始端时,可以确定多个运行触发点。这样就可以保证列车进路系统的可靠工作,即使在出现问题而未发送出列车位置的情况下也能保证其可靠性。对于每一条进路,应在其他始端的前方,配置一个附加的、称之为“重新建立”的运行触发点。

对每个运行触发点,要对启动列车进路系统的目的地编码予以配置。列车进路由列车初始位置和列车的终到(目的)编码来确定。终到编码必须含在列车识别号中。列车位置、列车号是通过列车追踪系统报告给列车进路系统的,它决定了所要求的目的地。

### ② 确定进路

当到达触发点的列车请求进路时,已配置的数据就确定了进路。为此,为每个带有效目的地码的触发点配置一条进路。

对于每一条进路,还可以配置出替代进路。替代进路是必要的,如果该进路已被其他列车占用,那么就可以把替代进路按优先顺序存储到运行触发点处。进路可由两种方法予以确定。第一种,进路由时刻表来确定。前提条件是必须有一个时刻表系统,能提供当天适应于每一列列车的时刻表。列车进路系统利用这些信息确定列车的进路命令,相关的替代进路也被确定。第二种,从地点相关的控制数据中来确定进路。为此有必要在车次号中包含目的地码,然后相应的进路就可以通过目的地码的方式指派到每一个运行触发点。

### ③ 进路的可行性检查

在进路设定指令输出到联锁设备之前,需进行若干可行性检查,该检查将决定执行或拒绝命令。首先要进行“进路始端检查”,以检查没有排列敌对进路。然后进行“触发区段检查”,检查没有其他列车处于该列车和进路入口之间,确认该列车是否到达进路

的始端。

接着要进行“进路可用性检查”,目的是防止将不能执行的命令发送到联锁设备。这种检查要经过若干步骤来实施:第一步,要检查是否自始端开始的进路已排好;第二步,检查进路的自动办理是否可能;第三步,检查是否有短期障碍(如轨道被占用等)。如果所有检查都成功完成,则给联锁设备输出一个进路命令。

在规定的间隔之后进行“办理进路检查”,以查明联锁设备是否允许执行选择进路的命令,已办理好进路,并与输出命令相符。

列车自动排路功能不取消进路。

### (3)时刻表系统

时刻表系统要完成:时刻表数据管理;向其他 ATC 功能模块提供时刻表数据;向外部系统提供时刻表数据;为停站时间时刻表的在线装载设置界面;为时刻表的离线修改设置界面;为使用中的时刻表增加或删除一个列车行程设置界面;按自动列车追踪请求安排列车识别号。

ATC 设备包括时刻表数据库,该时刻表数据库里存储有 ATC 功能要求的所有时刻表信息。时刻表数据库里的信息是由时刻表计算机提供的。

#### ①时刻表编辑

时刻表的编制和修改在离线模式下用给定的数据在时刻表编辑器中编辑。基本数据代表一列列车在某段线路上的运行。基本数据包括:站间旅行时间、车站与折返线之间的旅行时间、在折返线上的停留时间。

时刻表包括到站和离站时间。为了编制时刻表,调度员必须通过时刻表编辑界面输入以下数据:运行始发时间、运行始发地点、运行终到站、每一运行间隔阶段的开始时间和终止时间、每一运行间隔阶段(是一个时间段,在当日对所有列车有效)的运行间隔。

调度员通过时刻表编辑界面输入必要的信息后,时刻表编译器/模拟器从该信息中综合出所需时刻表。如果新的时刻表存在冲突就会被显示。调度员可以调整时刻表的结果。如果调度员存储时刻表,时刻表就被确定。为不同类型的运行阶段可存储不同的时刻表。

系统时刻表中列车运行图或列车运行档案通过列车运行图表示器显示出来。

#### ②时刻表系统处理程序

手动选择当天运行的时刻表,这样的时刻表当天运行有效。

时刻表查询功能通过向时刻表系统查询,得到列车的计划到达或出发时间及到达下一站的时间。列车自动调整从时刻表系统得到用于列车调整的时刻表数据。

如果列车识别号在列车自动追踪时丢失,则向时刻表系统询问列车识别号,时刻表系统能给一个列车识别号建议。对此,确定的列车识别号是(按当天时刻表)预定的地点和时间最适当的车次。

### ③时刻表比较

时刻表比较器比较时刻表上预定的到达或出发时间和当前列车的到达和出发时间,为列车运行图表示器和自动列车跟踪提供列车与当前时刻表的偏差,启动列车自动调整。若时刻表偏差超过一规定值,时刻表偏差通过 MMI 给以显示,时刻表比较器进而给列车自动调整指令以调整列车的运行,其目标是补偿列车的实际偏差。此时,更新在乘客信息显示盘上的列车到达时间。

### (4)列车自动调整

由于许多随机因素的干扰,列车运行难免偏离基本运行图,尤其是在列车运行密度高的城市。一辆列车晚点往往会波及许多其他列车。当出现车辆故障或其他情况时,列车运行紊乱程度更加严重。就需要从整体上大范围地调整已紊乱的运行秩序,尽快恢复运行。人工调整很难尽善尽美。

采用自动调整方法,可以充分发挥计算机的优势,能比较及时并全面地选出优化的调整方案,使列车运行调整措施更智能化,避免人工调整的随意性。同时,调度员也可以积极发挥主观能动性,尽一切可能主动干预列车运行调整。

#### ①列车运行调整所需采集的数据

调整列车运行,首先必须实现对列车运行情况以及轨道、道岔、信号等设备状况的集中监督。

基本数据包括:车站的顺序和种类、站间旅行时间、各站的停站时间、车站与折返线之间的旅行时间、在折返线上的停留时间和计划时刻表数据等。

实时数据包括调度员下达的控制指令、在线运行列车的实时位置和速度、在线运行列车的限制速度和安全距离。

#### ②列车运行调整的目标

- a. 减少列车实绩运行图与计划运行图的偏差;
- b. 所有列车的总延迟最短;
- c. 减少旅客平均等待时间;
- d. 列车运行调整的时间尽量短;
- e. 实施运行调整的范围尽量小;
- f. 使整个系统尽快恢复正常运行。

#### ③列车运行调整的系统模式

列车运行调整的系统模式是指系统调整列车运行的自动化程度。可分为人工调整和自动调整两种类型。

人工调整方式下,除具有自动排列进路、自动的时刻表和车次号管理功能外,还具有自动调度功能,即能根据时刻表和调度模式,按时自动调度列车从端站出发,但运行调整仍需要人工进行。

自动调整除具有人工调整模式的全部功能外,还具有自动调整功能,能根据计划时

刻表自动调整列车停站时间和运行等级,使列车尽量恢复正点运行。

调度员应具有通过策略选择程序引用正确策略的能力。对于计算机显示的可应用方案和实施选择方案,什么样的修正动作是最适宜的,调度员能做出最佳判断,选择最适宜的方案。

#### ④列车运行调整的基本方法

对列车运行进行调整,实质上是对列车运行图的重新规划,它是在ATS对列车运行和道岔、信号设备能实时控制的基础上实现的。当列车偏离计划运行图的程度不大时,可以利用运行图自身的冗余时间,对个别列车进行调整即可恢复按图运行;当列车运行紊乱程度较严重时,则需要大幅度调整列车运行。

a. 改变车站停车时间。通过车站ATS适时发送命令,控制站内列车的停站时间。若列车晚点,可使列车提前出发(但也必须受车站最小停站时间的约束);若列车早点,则可延长列车停站时间。这种方法可以在一定范围内调整列车正点运行。

b. 改变站间运行时间。根据列车的速度和位置,可以预测列车到达下一站的到站时间。如果预测的到站时间晚于计划到站时间,可以向列车的ATO设备发送命令,提高ATO运行等级,缩短站间运行时间,从而及时消除可能出现的晚点。

c. 越站行驶。如果列车晚点太多,需要快速赶点,可要求列车直接通过下一个车站或多个车站,以尽快恢复到计划时刻表上。

d. 改变进路设置。在有道岔的车站,可通过改变进路的设置来改变列车运行的先后顺序,从而达到调整的目的。

e. 修改计划时刻表。当列车晚点时间比较多,或者涉及晚点的列车比较多时,可以考虑直接修改计划时刻表,尽可能地减小对整个系统的影响,保证系统的有序运行。修改计划时刻表通常包括加车、减车和时刻表整体偏移等。

#### ⑤列车运行调整的算法

a. 线路算法。一旦列车进入运营,线路算法将监视和控制列车的运行性能。线路算法的主要功能是快速和自动地管理由于较小的线路干扰造成的延误。线路干扰是指列车与其时刻表相比提早或滞后的状态,这将影响列车停站时间和在正线上列车的运行。线路算法通过调整列车的停站时间和运行等级,动态和自动地调整列车运行性能和列车运行时刻,使延误的影响减小或消失,以使本站的出发计划误差和下一站的到达计划误差最小。还调整受影响列车的前行列车和后续列车的空间间隔,以平稳地脱离线路干扰。当线路算法确定一列车或一组列车不能保持与时刻表一致(在时刻表误差内),它将产生一个报警。调度员能从时刻表控制中撤销一列车或一组车或者修正时刻表误差并取消报警,还能中止线路算法的自动运行。线路算法还应用于列车到达车站之前启动车站广播设备和旅客向导系统的控制。

b. 进路控制算法。进路控制算法将监督所有运营中列车的进路。列车上所存储的进路应能被控制中心改变。控制中心能自动地或由控制台发出命令,要求改变目的

地,并且能验证列车已收到的新目的地。

#### (5)控制和显示

当调度员通过键盘等输入命令时,列车控制和显示功能将驱动显示和报警监视器,提供运行状态和历史信息,还检查从现场返回的所有状态数据并按要求动态地更新显示和报警消息;允许调度员在授权的情况下,人工向系统输入命令,调用各种显示;处理所有调度员的输入以及协调这些输入的执行。控制和显示功能不允许不能执行的自动控制请求。

ATS 主机服务器将处理所有送到调度员工作站的输入和来自该工作站的输出。接收从工作站来的命令,包括:登记、退出、显示、硬拷贝、跟踪、列车控制、自动运行调整、数据输入、一般用户信息、报警、报警处理、进入/退出处理、列车和轨旁 ATC 状态请求、诊断信息请求等。

对于重要的命令采用命令释放程序,例如:调度员的命令和确认,进路、保护区段、轨道区段、道岔和信号机的状态,列车位置,时刻表数据库中的每日时刻表,时刻表偏差,所有 ATS 功能的错误信息,以及记录功能中的运营信息和错误信息。

调度员可通过控制中心 ATS 控制联锁设备。借助于设备显示器上的对话框和鼠标来输入联锁指令,然后送到联锁设备中。可实现如下操作:打开/关闭列车进路模式、打开/关闭联锁区域、指定联锁区域、对单一道岔操纵。

车辆段内信号机由车辆段信号楼控制,出段信号机由 ATS 系统自动控制。段内调车作业应能自动追踪,并能与 ATS 控制中心交换信息。

操作授权决定调度员可以使用哪些命令和可以访问哪些信息。调度员操作授权由系统管理员决定,并且通过登录过程完成。

线路的现状通过 MMI 以图形方式实时地向调度员显示。全线概况显示由 ATS 系统控制,显示的信息包括列车的位置和进路状况、车站名和站台结构、保护区段、轨道区段、道岔和信号机的状态,以及所有 ATC 系统状态和工作的动态表示、ATC 报警信息。信息的类型与显示的详细程度可以由调度员的显示控制命令而控制。缩放功能允许从全景显示缩放到单个要素的显示。

MMI 可显示调度员对话框和基本视窗。所有的功能、线路的总体情况和详细情况都可以在基本视窗上进行选择。

以下功能可通过基本视窗进行选择:设备和系统的总体概况;对话,例如用于系统登录/退出,或者调度员控制;信息功能,例如操作日志或者用户的登记。

系统概况显示出各种硬件设备以及它们的状况。通过这种办法能很快查找出损坏的设备。

列车识别号总体显示表示每一列车的列车识别号。

详细情况显示是详细地表示出一些较小的区域,用于控制决策以及用于监督特定列车或功能,如线路地形、列车识别号以及道岔编号、信号机编号和详细报警。

### (6) 记录功能

按顺序和类别存档从其他 ATC 功能得到的信息,例如操作信息和错误信息。能够通过 MMI 功能检查记录。记录序列存放在 MMI 工作站上,必要时能够回放。

收到的操作和错误信息时按事件和起因(联锁功能、ATC 功能、操作系统或联锁命令)分类。每个信息的文本和类别按时间顺序储存在操作记录上。

ATC 系统的记录和回放功能允许 MMI 工作站记录显示在监视器上的事件。记录和回放功能只在控制中心的三个调度员工作站上有效,并将在这些工作站记录 MMI 监视器显示的画面。

### (7) 列车运行图显示

列车运行图在线路-时间坐标上显示。横坐标是线路轴,纵坐标是时间轴。线路上的车站按次序描绘在线路轴上。

在计划运行图中,显示预定的到站和离站时间。

在实绩运行图中显示当天计划运行图,以及当天的相应计划运行图及与时刻表的偏差。实绩运行图与相应计划运行图用不同的颜色对比显示。

各种运行图的每一运行线上,都标示了线路标志和列车行程号。时刻表偏差显示在相应该列车的运行线边,该偏差表示相应列车通过该车站的发车时间偏差。

通过列车运行图显示功能可执行下列操作:设置运行图颜色;放大部分运行图;调出时刻表;调出当前运行图。

### (8) 培训/演示

培训/演示系统能完整测试 ATC 系统全线的列车运行调整和列车跟踪功能的有效性。此外,模拟应能验证特定时刻表的有效性。模拟功能是交互式的,允许调度员输入。培训/演示系统具有两种供学员选择的模式:一是列车运行模式,在该模式下学员可以通过选择某一联锁管辖区,由显示器上观察该区的工作情况,作为系统的初步培训;另一模式为指令模式,在该模式下,学员可进行各种命令输入,并能通过显示器动态地给出命令响应,如果命令错误,自动给出提示报警。由此可对学员进行实际操作的培训。

#### ① 培训/演示系统的组成

培训/演示系统包括有一个模拟 MMI(DS)和一个模拟 PC(S-PC)。

DS 是供学员学习的,在培训和演示系统中模拟 ATC 部分,包括了 ADM(系统管理服务器)、COM(通信服务器)和 MMI 功能。DS 为一个工作站,带有两台监视器和一台用于打印操作日记和报警表格的打印机。该工作站能执行多达 20 列列车的 ADM/COM 和 MMI 的功能。其操作系统、ATC 软件模块以及应用数据通常都与 ATC 系统一样。

S-PC 是供教师工作的,是一个标准的 PC,在培训和演示系统中模拟外部设备和处理过程。该 PC 机的性能足以保证能模拟要求的行车间隔内的 20 列列车。

S-PC 和 DS 是通过以太网连接的。

### ②DS

在 DS 上只有模拟必需的 ADM、COM 和 MMI 功能。模拟系统无冗余。

学员需用相应的用户名才能进入 DS。MMI 功能是否全部、部分或根本就不对学员开放,就取决于这一用户名。

DS 上必要的 ADM 功能都对学员开放。

COM 中用于模拟目的的功能,在 DS 上开放,包括:列车时刻表比较、列车自动调整、自动办理进路、列车监视和追踪、时刻表管理(但不得对时刻表进行修改)。

COM 中的以下功能不在 DS 上开放:PIIS(旅客信息显示)、DTI(发车计时器)、BAS(环境与设备监控系统)、FAS(火灾自动报警系统)、车辆段联锁接口、TEL(通话)。

概况显示在 MMI 上的模拟模式下全部可以实现,设备显示包括轨道概况、列车号概况、细部概况,以及系统概况。

在模拟模式下学员完全可以实现以下对话:变更责任(全部功能)、记录、变更工作站、联锁对话、列车移动监视、列车自动调整对话。

在模拟模式下学员不具备以下对话:车辆段服务对话、时刻表编辑器、列车运行图显示、记录和回放。

### ③S-PC

S-PC 模拟全部有关联锁功能、有关外部设备、有关 ATP 功能、有关 ATO 功能、列车运行。S-PC 具有图像操作界面,里面装有用户化的线路平面。

与 MMI 一样,S-PC 显示线路平面,包括联锁元件以及列车运行车次。DS 和 S-PC 的显示因为模拟的局限与实际设备的状态可能不相同。联锁元件的显示也会按实际情况的变化而变化。用这种办法,教师就可在 S-PC 上设置轨道电路是否空闲或被占用,进路是否已办理完毕等。

在正常操作情况下,即无教师输入任何干扰的情况下,在 S-PC 上模拟实际过程时,只需很少的操作。

S-PC 模拟每一个相关的联锁元件(轨道区段、信号机、道岔)的功能,若有状况的变化,则将其用报文形式传送到 DS。模拟联锁元件之后,还模拟相关的联锁功能,实时模拟办理进路,ARS(自动办理进路)的开/关以及从当地控制转到遥控都属此范围。

S-PC 全部模拟 PTI(列车识别系统)功能。当列车进入或离开车站时或者停在车站时,S-PC 将 PTI 报文(到达、停车和出发报文)发送给 DS。对于那些在车站区域以外的 PTI,S-PC 将在列车通过 PTI 时就产生一个通过报文。

S-PC 还生成 RTU(远程终端单元)的生存标志。

除了 LCP(局部控制盘)指示灯不模拟以外,全部当地的 LCP 功能,如“扣车”和“放行”以及远程 LCP“扣车”、“放行”和“跳站”等均被模拟。模拟包括对运营停车点和停

留时间的处理。

DTI 的功能仅仅是部分模拟。如果列车在车站停车,那么 S-PC 在停留时间过后,就自动解除停车点的命令,以使列车离开车站。

ATS 与 ATP 功能有关的只有“运营停车点的办理和解除”以及车站内紧急停车和反向命令等。因此 S-PC 不模拟其他 ATP 的功能。如果一列车离开车站的轨道区段,S-PC 则办理其运营停车点。如果另外一列车又进站了,而原运营停车点又没被取消,那么该停车点就继续保持下去。在停车点解除之后,列车就继续行驶。停车点还可通过 ATS 在列车进入车站之前予以解除。在这种情况下,列车就会实现经车站不停车运行。

ATS 与 ATO 功能有关的仅有“惰行/巡航”和给出的列车识别号。因此,S-PC 不模拟其他 ATO 的功能。在 S-PC 的模拟过程中,要给出两站之间的距离。S-PC 通过走行时间和到达目的地车站的距离就可以确定出准点到达目的地车站的速度。与真正的 ATO 不同,该模拟器的速度对整个运行时间都是常数。所确定的速度限制在实际的最大允许速度值内。输入到 S-PC 里的列车识别号可以由 DS 更改。

模拟列车运行,如果 ATR(列车自动调整)被关闭,那么列车则以在 S-PC 中规定的某一速度走行。例如,列车每 15 s 就向前移动一个轨道电路。对于使用中的 ATR 而言,列车向前移动的速度不是常数。给出旅行时间,S-PC 就计算出列车相对于实际速度的向前移动的相对时间。

## 六、ATS 系统运行

### 1. ATS 正常运行

ATS 系统的正常运行,在大部分情况下,是自动进行的,无需调度员干预。由于车站 ATS 分机可存储管辖范围内的当日运行时刻表,中心一般仅为监视,而由 ATS 分机进行列车运行的自动控制。

车站的 ATS 处理器通过从信号系统收到的轨道电路占用信息,监视列车运行情况,据此为列车办理进路。办理哪条进路以及何时办理进路的依据是时刻表,或者根据调度员为该列车提前指派的目的地信息。

ATS 分机可以对列车驾驶曲线作细微的调整,以遵守时间表规定的出发时间。停站时间可以调整,ATO 滑行开关控制参数可以修改。

调度员工作站对时刻表所作的其他修改内容也将传达给 ATS 分机,并用来确定新的出发时间。

当列车接近某个 ATS 分机的控制区边界时,该 ATS 分机就将列车资料传给同一条线上的下一个 ATS 分机,这样收取这些资料的下一个 ATS 分机可以为列车办理所需的进路。

ATS 分机将有关其控制区内的列车和信号设备(轨道、道岔、信号机等)的信息传

给 OCC 中的 ATS 设备,这些信息在工作站的屏幕上显示,供调度员监控,并在显示盘上显示整个线路的情况。

如果正常的自动运行发生问题(例如要求的进路无法设定)时,ATS 分机向 OCC 发出报警信号,要求调度员人为干预。

调度员也可以根据需要,脱离系统的自动运行,而 ATS 能提供对列车分配、进路办理和道岔转换的全面人工控制。

车辆段内的 ATS 设备没有自动运行模式。

## 2. 列车调度

ATS 系统用列车时刻表自动地和人工地调度列车。在培训/演示计算机上生成时刻表并下载到 ATC 主机服务器上。由系统维护 4 类时刻表:日常、周六、周日、假日和特殊时刻表。在同一时间只使用一种时刻表。在每晚的一预定时间,系统将设定次日的时刻表。在设定之前,调度员有权选择为次日建立的时刻表类型。如果没有选择,系统将自动地选择相应的符合本周本日的时刻表类型。

时刻表由每列列车的调度数据构成。列车调度数据包括:列车标识号、转换区和终端区的出发时间、车站到达和出发时间、每列车的起始站和终点站。

系统提供应用程序以在培训/演示工作站上生成和更新时刻表。该应用程序是菜单驱动的,并且不要求繁杂的原始数据编辑。一旦生成时刻表,它可以方便地直接下载到在线系统或被存储。

系统按“待用的”、“现役的”或“停用的”来标识计划列车。待用列车是正等待自动或人工将其插入系统中去的列车。现役列车是指一列正在被系统跟踪和生成历史信息的列车。当一列车到达其目的地或从系统中将其人工撤销时,则该列车被认为是停用的。可用两种方法将一列停用的列车再次插入系统。第一种,可以修改列车的进入时间,使列车标识号再次插入某车站的序列窗中,该列车再次成为待用的。第二种,指定车站直接将列车插入系统,使列车成为现役的。

调度员接口包括用鼠标/键盘插入、移动、交换、撤除列车跟踪标识号的功能。“插入列车”的功能将引入一列计划或非计划列车进入系统并在指定的轨道区段上方显示列车的标识号。“移动列车”功能是将一列计划或非计划列车的标识号从一个显示位置移到另一个位置。“交换列车”功能是用于交换两个列车标识号的位置。还包括由调度员编辑列车出发数据、到达时间和目的地标识号的功能。“撤除列车”功能是从系统中撤消早先进入的列车标识号,并取消显示。

ATS 系统从转换区和终端区以及车站之间的正线上调度和跟踪列车。基于当前的预存时刻表,给被检出的列车配上一个标识号。在计划出发后的规定时间内,若一列车没有出清联锁区,则向调度员发出报警。在每个车站转换线,随后的三列计划列车将在值班员的 CRT 上显示,系统调度和跟踪进出车辆段的列车。ATS 系统将实际的标识号与时刻表中的列车标识号相比较。如果它们相同,系统将为列车设定一条进路进

入下一车站。如果这些标识号不同,系统将产生一条报警。

在列车计划出发前的一个指定时间内,列车没有到达转换区或终端区,将引发值班员控制台处的一条报警。

列车要出发时,ATS系统通过列车出发指示器发送一个指示给司机。

### 3. 列车控制

ATS系统以自动控制模式或人工控制模式来控制 and 调整列车。系统将根据从本地接收到的轨道表示信息连续地跟踪列车,并在工作站CRT和显示盘的轨道图上显示每列车的位置。在与每条轨道相关的地方显示列车标识号。列车标识号将自动跟随轨道表示而变化。利用这种方式,在整个范围内可监督列车的运行。在运营中系统维持每一列车的跟踪记录;记录包括列车在每个车站的到达和出发,记录实际走行时间、计划走行时间和实际与计划走行时间的差值。通过列车进入跟踪时所派给它的列车识别号可以找出列车记录。

系统提供一组控制功能,用这些功能调度员能人工指挥通过其控制区域的列车。这些功能包括启动道岔、设置进路、取消进路和关闭信号。“进路设定”功能将发送控制命令给车站,来排列和开通一条进站或出站进路。如果在联锁区有一条以上的进路可以使用时,将从优先表中选择进路。如果优先进路不能使用,则选择顺序中的下一条进路。“启动道岔”功能发送控制命令给车站以转动道岔。“关闭信号”功能发送控制命令给车站,取消已开放的信号。

### 4. 运行图/时刻表调整

在每个车站,集中站ATS与控制中心ATS相连,将运行图和时刻表的调整信息传给列车。

运行图调整是由控制中心确定的,控制中心计算保证列车正点到达下一个车站所需要的运行图。有6个运行等级加上滑行模式可供选择。典型的调整是改变运行等级,包括设置最大速度和加速度。启动滑行模式也可影响运行时间。控制中心将运行图调整信息传到轨旁ATS再传到列车。

时刻表储存在集中站ATS中,必要时也可从控制中心获得。只能选择一个时刻表。

发生控制中心离线时,指定的集中站如终点站使用缺省的调度时刻表来进行列车调度。缺省的调度时刻表是建立在每天、每周的运行上,可由本地编程或由控制中心控制。

### 5. 目的地/进路控制

列车进路在正常情况是通过车-地通信系统的进路申请建立的,该申请受控制中心的监督。如果控制中心同意进路申请,进路就可执行。控制中心的操作员只有在异常条件下才会干涉。控制中心能拒绝任何进路申请。在异常情况下或者存在不同的进路要求时,控制中心将干涉。如果申请的进路不满足控制中心的要求,控制中心将发出报

警并将进路置为手动。

轨旁设备可从控制中心、车站 ATS、接近轨道电路接收进路申请。

在有车-地通信环线的任何集中站,车站 ATS 都能通过轨旁车-地通信模块询问列车的目的地编号。车站 ATS 在时刻表中查找列车车次号,向联锁设备发送进路申请,由联锁设备选择需要的道岔和信号机以建立进路。车站 ATS 也向控制中心传送进路信息。如果控制中心同意进路申请,列车就可以在完成停站时间后离开车站。如果控制中心离线并且车-地通信申请的进路有效,则进路不需批准即可执行。如果控制中心离线而车-地通信申请的进路无效,则进路不会执行。如果车站 ATS 失效,则通过自动的接近出清来排路。

#### 6. 自动排列进路

在中央自动模式(CA)中,系统根据当前时刻表自动地请求排列进路。通过使用时刻表和由系统采集的实际列车数据(实际到达/出发时间和实际到达/出发进路),计算机将检测冲突,提议解决的方法,以有效和及时的方式自动设置进路。

只有当列车和车站的控制模式都设在 CA 模式时,才能自动为列车排列进站进路。系统提供修改列车和车站控制级别的功能。“设定车站控制级别”功能请求设定本地、人工或自动控制等级。“设定列车控制级别”功能将一单独的计划列车的控制等级设为自动或人工。在 CA 模式时,系统基于自动排列进路规则,设置列车前方的最佳进路号码。如果所要求的进路因故没有开通,或一列列车在预定的时间因故未离开车站,则向调度员发出一条报警信息。

如果调度员人工排列一条不同于计划进路的列车进路进站,则自动排列进路功能将不为该列车排列出站进路;它认为调度员有其改变到达进路的原因。当列车到达站台时,系统试图在列车出发前 1min 设置出站进路。若列车晚点,系统将在停站时间结束前 1min 设置出站进路。用设定最小停站时间的功能可以人工调整停站时间。

“自动提议”功能能确定列车冲突,然后提出可能解决的办法。当停站列车离站时,“自动提议”功能可被人工或自动触发,所提议的解决办法提供调度员确认。应说明的是所有解决办法均需调度员确认,也就是说调度员确认列车不可以偏离其时刻表。

#### 7. 历史数据记录

系统采集所有列车、车站信息和出现的报警,这样做是为了编辑一份完整的系统运行历史。数据写入磁盘供以后分析用,并可将其归档供长期贮存。所记录的列车数据包括:计划和实际到达时间、计划和实际出发时间、计算的计划偏差。

可以联机检查数据,或在网络打印机中的一台打印出来。显示的格式是易读的并且按列车或车站组织。根据接收到的轨道表示,确定联锁区之间的列车实际走行时间,计算列车计划走行时间与实际走行时间的偏差并记录下来。通过使用“列车的

计划时间”或“车站的计划时间”功能,来检查所记录的运行图偏差。“列车的计划时间”功能将显示列车通过全部车站的计划的、实际的和偏差的时间。“车站的计划时间”功能将显示所有的列车通过指定车站的计划的、实际的和偏差的时间。如果列车超出了晚点阈值,则认为列车晚点到达车站。由调度员或系统管理员来调整晚点的阈值。

系统记录所有动作,诸如轨道电路占用、信号机和道岔的状态、进路设定和解锁数据以及列车运行等。所有采集到的信息都可以用文字的或图形的格式在线查看。

如果指定了文字格式,则数据可送到打印机打印出来或在屏幕上显示出来。这类格式化的数据展示了所记录的控制和表示的顺序,以详细检查在特定的车站内所发生的事件。一个调度员或所有调度员都可以请求数据并可按指定的时间或时间范围请求数据。

如果指定图形格式,必须由指定的调度员和时间来请求数据。在工作站上显示的信息与事件发生时的一样,用连续更新时间显示来描述每个事件实际出现的时间。系统还能加速、慢速或暂停重放图形显示。

由系统采集来的全部数据被储存在磁盘上最少 72 h(这个缺省值可由调度员或系统管理员联机调整)。还可以使数据从系统删除之前,自动进入 WORM 磁盘备用。系统不能自动地从 WORM 磁盘中再次调用数据。由于系统只能使用驻留在磁盘上的文件,因而为了分析 72 h 以前的数据,系统管理员需要先恢复已存入 WORM 磁盘的备用数据文件。这类处理过程能通过使用系统文本和可能提供的命令程序来简化。

## 8. 其他支持功能

### (1) 模拟

能模拟响应调度员控制和系统发生事件时中央 ATC 系统的表示。列车运行、轨旁表示和 TWC 表示都被精确地模拟,以便能对列车时刻表和算法进行测试。所有模拟的对控制中心控制命令的轨旁回应时间都通过一个文本数据库来进行配置。对于每一轨道运行时间也通过一个文本数据库来进行配置。

由于表示的来源对系统的其他功能是不透明的,模拟器可用来测试系统工作并向学员提供一个逼真的列车控制环境。当启动模拟系统时,模拟器被激活并可在培训/演示工作站上使用。

### (2) 调试

调试功能给用户提供了软件系统内部作业的接口,允许输入和扫描内部信息。调试功能是一个软件开发和故障查找的诊断实用程序,并且供熟悉控制中心 ATC 系统软件的维修人员使用。调试功能可用于诊断由中央启动控制所遇到的问题。通过参照一张编码-功能分配表,维修人员可以扫描输出控制和进入现场点,以便确定问题的来源。如果看到预期的控制,而未看到预期的表示,则问题来源可以缩小,排除了控制中心

ATC 系统的软件问题。

调试功能还可以与培训的模拟器一起使用。因为模拟器功能生成响应调度员控制的所有预期现场表示,调试功能可以用来促成一个非预期的表示或生成一个模拟报警条件。以此方式,调度员可在系统运营之前熟悉处理过程。

### (3)重放

重放功能提供启动重放和执行交互重放功能的用户接口。重放功能允许请求、检查和控制一段重放时间。在输入有效的重放请求时,重放功能恢复存储的数据并处理数据文件。然后用户能检查所要求数据的重放。

重放一段时间给用户提供了图形化的系统状态再现和影响系统状态的作业,这些是基于存储数据基础上的。重放应用 X-window 屏幕,允许用户交互使用。重放功能启动和初始化图形并执行重放允许用户控制时间段。当用户输入有效的时间时,重放尝试从硬盘驱动器或依附于控制中心 ATC 主机服务器处理器的 WORM 磁盘上恢复已经存储的配置文件。如果文件没有找到,重放将发送一条信息给用户。

### (4)构成常备时刻表

该功能给用户提供了生成新时刻表、编辑已有时刻表和修改日历数据的接口,控制中心 ATC 系统用日历数据自动选择时刻表。在生成新时刻表时,系统提供了减少由用户输入所需数据量的特性。该功能是一个独立可执行的功能,培训/演示工作站的约定管理器窗口内的应用程序菜单启动。它为用户提供输入和修改列车时刻表以及日历信息的能力。该功能只能由某一个用户在培训/演示工作站上使用。由于构成常备时刻表功能在培训/演示工作站上使用,并且被设计成单用户操作,所以不用文件锁闭机制来阻止多用户修改同一时刻表。

该功能只与脱机时刻表数据一起应用,时刻表数据库的访问是受限制的,并由用户来控制。直到新时刻表和日历信息被编入控制中心 ATC 主机服务器,任何脱机的时刻表和日历的变化均不会影响联机系统。不存在对这些时刻表和日历文件的自动版本管理。用户在对文件做修改前,可以拷贝一个时刻表或日历文件到不同文件名中去,这样修改之前的时刻表或日历文件能再恢复。

## 7. 故障模式运行

### (1)控制中心工作服务器故障

工作服务器若发生故障,自动开关就会探测到,然后把控制权转交给备用服务器,备用服务器即成为工作服务器。

该服务器探测到自己已成为工作服务器后,向所有车站 ATS 索取信息,并停止处理来自工作站的控制指令。

为了响应控制中心发出的信息的要求,每个车站 ATS 将其控制区内的信号设备和列车的完整信息送给控制中心。控制中心索要的车站 ATS 信息的发送速度受到控制,

以避免让通信网络或中央服务器超载。当所有信息收集齐全后,恢复全部的控制设施,供调度员使用。

从工作服务器失灵,到自动开关测出失灵状态、转交控制权,再到信息传送完毕,整个过程需时不到 1 min。除了向控制中心传送信息外,车站 ATS 还继续执行所有正常的列车跟踪和路线设定功能,线路继续运营,但路线设定功能降级。

### (2) 控制中心设备全面失灵

如果控制中心设备全面失灵,系统在车站 ATS 指挥下继续运行,基本上就是这种能力的延伸。车站 ATS 在硬盘上存储有 7 天的时刻表信息,每个车站 ATS 将继续按照当前的时刻表,自动设定路线。

车辆段控制器可以独立于控制中心,将出站列车信息传给相邻的车站 ATS,因此可以指定一列列车投入运行,由车站 ATS 指挥它在正线上行驶,直到它返回车辆段。

当控制中心系统恢复后,每个车站 ATS 将其当前状态的信息送给控制中心,恢复监视、控制整个系统的能力,调度员能够上载存储在本车站 ATS 和车辆段控制器中的记录信息。

### (3) 车站 ATS 服务器失灵

车站 ATS 的工作服务器失灵后,被自动开关探测到,就会把控制权转交给备用服务器。

由于 ATS 服务器是热备式,备用服务器掌握有关控制区内联锁和列车当前状态的全部信息,因此能够立即投入,为列车安排进路,并向控制中心汇报状态信息。

一个车站 ATS 中的两个服务器都有一个专用的联锁接口连通本地信号系统。当失灵的服务器重新启动后,它可以获得该区所有的信号信息,包括已占用轨道电路。

在工作服务器和备用服务器之间没有更新机制,但在运行的头几分钟内,备用服务器自动与工作服务器同步。

## 第五节 西屋 ATC

西屋信号有限公司(Westinghouse Signals Ltd,简称 WSL)的 ATC,充分利用 WSL 多模式列车自动防护系统 TBS100 的灵活性。系统具有很强的可维护性,一旦发生故障,修复时间可以尽量缩短。这种高水平的可维护性是通过广泛采用下列技术来实现的:用自诊断法和发光二极管指示或故障提示,进行有效的故障报告,可快速找出故障所在;使用模块化“在线可更换单元”,可更换失灵的模块,快速排除故障;尽量减少在不可及地点(例如隧道内)的设备;各系统一般分散布置,某些方面采用冗余,以提高系统可用性。

WSL 的 ATC 已在世界各地的地铁系统上运营,在我国则用于北京地铁系统和天津地铁 1 号线。

### 一、系统组成

WSL 的 ATC 由 TBS100ATP 和 ATO 系统、FS-2500 无绝缘轨道电路、基于 WESTRACE 处理器的联锁,以及 WESTCAD 监控系统组成。所提供的设备主要为模块式,便于扩大功能或延伸系统。

该系统大量采用处理器技术。例如,轨道电路以处理器为基础,联锁采用处理器,ATP 和 ATO 车载系统及轨旁系统基于处理器为基础,ATS 系统也采用处理器。正线列车车间隔采用自行开发的“多列车模拟器”。

基本的信号功能采用 WESTRACE 处理器为基础的联锁装置来实现。它包括特别设计的模块,可以与无绝缘轨道电路直接衔接。WESTRACE 联锁装置将接通本地或远程终端,并有端口供连接维修用的便携式计算机。

ATP 子系统采用最新的 TBS100 系统。这种系统极为灵活,并采用了最新的技术成果。ATP 系统利用联锁通过轨道电路传来的信息,决定列车的运行速度。

ATO 子系统采用与 TBS100ATP 系统相同的基本车载模块。它载有有关轨道布置和坡度的所有资料,能优化列车控制指令。它配备双向站台列车通信系统,确保能与 ATS 系统直接衔接,从而优化列车的运行。ATO 还能从 ATP 系统中提取数据,以判断前方信号情况。

ATS 子系统使用 WSL 最新的 WESTCAD 控制与显示系统。每个 WESTRACE 联锁接通一台 WESTCAD 控制终端,以便对该区域进行就地控制。它还通过电信链路,接至控制中心。控制中心的 WESTCAD 终端可以遥控正线上的所有路线、信号机和道岔。

系统正常时,ATC 系统自动控制正线运行的列车,必要时调度员可人工介入控制。控制中心故障时车站信号系统由车站值班员人工控制。在控制中心 ATS 正常时,可对全部正线列车进行监控,并对车辆段内列车进行追踪、监视。

### 二、ATP 子系统

ATP 系统可先按照目标距离模式来设计,这是可以满足城市轨道交通初期运营要求的最经济的低风险模式。在“目标距离”系统中,每列列车被告知它可以安全行驶的目标距离,据此列车决定到达该点的安全速度。即使发生某些故障,列车仍能以一定的限制速度行驶。

将来需要时,TBS100 可以升级为移动闭塞模式,用一个无线系统在列车和轨旁设备之间进行双向通信。每列列车向地面控制系统不断报告其所在位置,控制系统则向控制范围内的所有列车分配目标距离。

TBS100 由一系列标准模块组成。这些模块的大小都是欧洲板的两倍,装在 19 英寸(48.26 cm)的工业标准机架中。根据不同的应用条件,可选择相匹配的机箱和接口电路。

### 1. 设备构成

ATP 子系统由现场设备、车载设备及车站联锁设备组成。

#### (1) 现场设备

地面 ATP 设备用于向车载设备传送相关的安全信息。轨道电路提供了前方线路的状态信息,绝对位置参考应答器(APR)为列车提供精确的位置信息。

现场设备采用 FS-2500 无绝缘轨道电路。轨道电路采用由联锁系统生成的电码进行调制。这一编码取决于列车运行前方线路的状态。FS-2500 无绝缘轨道电路能够有效、及时、可靠地连续检测列车占用和向列车发送速度码;保证在电源电压或道床电阻变化时可靠分路;向列车发送足够功率的信息保证车载设备可靠接收;防止牵引动力对轨道电路的干扰;实现断轨检查及自诊断。

如果列车需要由 ATP 控制在一段轨道电路上双向运行,则只要发射器和接收器的端子与切换继电器的触头互换连通,通过继电器与相应的轨道电路终端相连,就可以实现。

道岔区段采用了有绝缘轨道电路,其采用的载频是车载设备无法识别的,故 ATP 编码是通过安装在线路上的特殊 ATP 环路单独传送的。

APR 应答器是一种小巧、坚固耐用的无源装置,没有永久的外部电气连接,安装在钢轨中间,并编入唯一的标识号。当列车经过应答器时,车载设备轮询应答器,应答器把自己的唯一标识号编码发送给列车作为应答。

#### (2) 车载设备

车载设备由 ATP 控制器、速度表、天线及测速电机等组成。

ATP 车载设备接收轨道电路传送的速度码(最大安全速度 MSS/目标速度 TS),当列车速度超过目标速度时向司机报警,提醒减速,如未减速或操作不当,列车超过最大安全速度时,实施紧急制动,实现列车超速防护功能。

当列车实际运行速度超过 ATP 规定的限制速度时,紧急制动;列车运行实际速度接近 ATP 规定的限制速度时,发生音响并告警司机进行减速;如未能减速时,自动启动常用制动使列车减速;列车非正常移动时采用紧急制动。系统可对轮径磨损进行自动补偿,实现故障自诊断及告警,进行运行状态记录。

#### (3) 车站设备

车站设备由车站集中联锁、接口电路、编码电路等组成。

与 ATP 速度编码电路的接口电路的主要功能是,保证站内联锁区内的轨道电路仅在进路建立、信号机开放后,才能发送速度码;并在列车进入进路内方后始终保持速度码的发送,直至列车出清进路。

编码电路的主要功能是根据发送速度码的条件、速度码的码序及前方轨道电路的空闲状态,为每一轨道区段选择正确的速度码。

与 ATS 及 PAC 的接口电路,包括车站内各种信号设备的状态表示、进路建立的表示信息等接口电路,控制接口电路。

## 2. TBS100 型 ATP 车载设备

TBS100 型车载 ATP 设备包括一个 ATC 机柜,它同时也装车载 ATO 设备,各种外设都连接到机柜。车载机柜装有一套双通道 ATP 系统(ATP<sub>1</sub> 和 ATP<sub>2</sub>),组成 2 选 2 系统,即 ATP 控制器包含两个相同的处理器通道,通过一块背板和多个接口模块互相连接。每个系统独立地计算 ATP 数据,并且分别驱动输出。它们与 ATO 系统和列车电路连接,还与用于速度和距离测量的 ATP 测速电机和多普勒仪、检测轨道电路 ATP 编码的 ATP 天线以及查询 ATP 应答器的 ARP 识别器相连接。

### (1) ATP 控制器

ATP 控制器的每个 ATP 处理通道单元都与许多模块相结合,它们之间的连接通过局部 VME 总线实现,VME 总线接口使得模块之间可以通信。总线上有多个主控制程序来控制总线通信情况。每条通道单元都有一个主处理器和必要的输入/输出模块。所有模块,包括处理器,都有一个诊断/测试串行链路。每个 ATP 通道由五个模块组成,如图 5-30 所示。

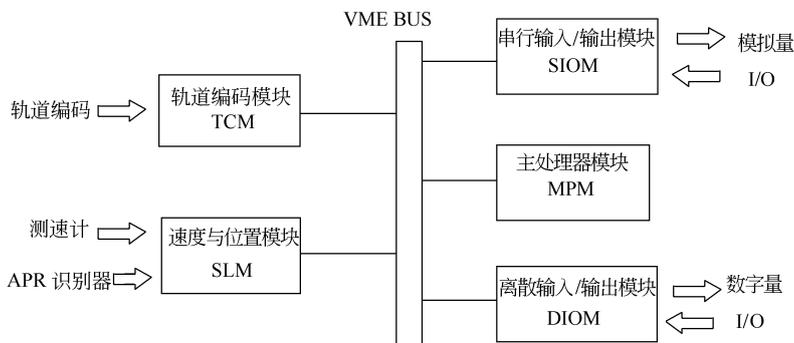


图 5-30 ATP 通道结构

#### ① 主处理器模块(MPM)

主处理器模块提供主处理和存储功能,以运行各种应用程序,以及存储各种数据。该模块提供一个 VME 外部总线控制器,它有硬件选择性切断功能,能对这条处理线路中的其他模块进行控制;它还提供串行链路,通往诊断和数据上载单元(DDU)。

主处理器模块提供一个基于摩托罗拉 68030 中央处理器,带有时钟、重启和看门狗电路。该中央处理器可以访问专用的非易失的只读存储器、专用的随机存取存储器和非易失的随机存取存储器。VME 总线接口使得模块间可以通信,随机存取存储器中

有一个区域为该中央处理器和该 VME 总线所共用。

只读存储器的各区域可以采用诊断和数据上载单元(DDU)来编程,通过一个串行接口来连接——这是所有 TBS100 模块的基本配置情况。

MPM 是一种充分采用表面安装技术的先进处理器,车载 ATO 设备中的模块以及移动闭塞信号系统中的地面移动闭塞处理器采用的也是这种处理器。

#### ② 串行输入/输出模块(SIOM)

SIOM 为外部子系统[例如控制中心和诊断和数据上载单元(DDU)]提供缓冲串行链路。SIOM 提供了 VME 的主控接口和从属接口,它们是通过硬件配置的。

这个模块为系统提供了串行通信接口。它包括两个单独的功能块,一个主要的中央处理器程序块和一个串行输入/输出程序块,带有一个对两者都通用的随机存取存储器的区域。

主要的中央处理器程序块基于一个摩托罗拉 68030 微处理器,带有专用的非易失的只读存储器、易失的和非易失的随机存取存储器。串行输入/输出程序块则基于两个摩托罗拉 68302 微处理器,一个是作为串行处理器,而另外一个则作为串行通信控制器,带有专用的随机存取存储器和非易失的只读存储器。

该模块为外部子系统和线路间通信提供了缓冲串行链路。串行输入/输出模块(SIOM)配备了下列的基本接口:

一个串行通道,RS232C,速度 19.2 kbit/s,诊断/测试端口通往前端面板;

两个串行通道,RS485,速度 1 Mbit/s,同步或者异步方式;

三条串行通道,RS485,速度 500 kbit/s,同步方式;

两条串行通道,RS485,速度 19.2 kbit/s,同步方式。

#### ③ 离散输入/输出模块(DIOM)

DIOM 为主处理器提供缓冲串行输入/输出,为离散的输入和输出信号设备提供各种接口。它提供了一个 VME 总线受控接口。

DIOM 通过电平转换器和 VME 总线接口为不连续的列车布线提供处理器接口。由于一系列列车信号与行车安全息息相关,非常关键,因此接口都应采用主备配置。DIOM 向列车提供紧急制动、车门启动和禁止牵引的输出。

它把离散的安全和非安全输入信号转换成为数字形式,通过 VME 总线传送到控制处理器模块。它还通过 VME 背板总线接受来自控制处理器模块的状态命令,以执行安全和非安全功能,相应地改变各自的输出驱动。它检验输出状态的正确性,并且把报告送回处理器模块。

SIOM 和 DIOM 为其他车载模块提供接口。SIOM 和 DIOM 也在 ATO 设备中采用。

#### ④ 速度和位置模块(SLM)

SLM 为列车速度传感器(测速电机、多普勒雷达)提供接口,列车速度传感器分别连接到每个 ATP 通道,以避免单条通道故障。并提供两个串行接口,以便接收绝对位

置参照(APR)系统的串行数据。它与用在车载ATO设备中的模块是一样的。

SLM接收来自测速电机、APR阅读器和多普勒速度传感器的输入信息。该模块保存精确的列车速度和位置测量数据。

这个模块提供一个处理器和足够的存储器来运行应用程序编码,存储变化的数据。它提供了一个VME外部总线控制器和从属接口,接口是通过硬件配置的。该模块还为多达四个环路调制解调器模块提供缓冲串行链路。

该模块提供一个基于摩托罗拉68030的中央处理器,带有时钟、重启和看门狗电路。该中央处理器可以访问专用的非易失的只读存储器、专用的随机存取存储器和非易失的随机存取存储器。有了一个VME总线接口,就使得模块之间可以通信。

速度和位置模块提供的各种接口:VME总线;一个串行通道,RS232C,速度19.2 kbit/s,去往面板的诊断/测试端口;两个90°相位差测速电机比特流接口;多普勒串行接口;两个串行通道,RS485,速度9.6 kbit/s,接收APR数据;APR离散(数字式)输入。

#### ⑤轨道编码模块(TCM)

轨道编码模块接收ATP轨道编码,并对其进行解码,它将验证无误的载频编码和调制频率发送给处理器。

轨道编码模块(TCM)提供的接口:VME总线;一个串行通道,RS232C,速度19.2 kbit/s,通往面板的诊断/测试端口;用于读取轨道码的移频键控(FSK)接口。

当按“目标距离”模式工作时,TBS100车载ATP设备不断计算制动曲线,以保证列车在其“运行许可范围”内停车。如果实际列车运行速度接近由制动曲线规定的速度时,TBS100将实施制动,以防护列车。

为了实现这一功能,TBS100需要各类信息。其中一些信息存储在车载存储器中,而另一些则从各种传感器的输入推算出。制动率延时和减速度、线路弯度和坡度、永久性速度限制等信息都存储在车载存储器中。而列车速度由测速电机和多普勒雷达推导出。列车位置则由APR应答器产生并在测速电机测量距离时进行更新。车载设备根据自己已知的位置解释ATP轨道编码,从而推导出目标距离。

如果车载设备不能定位,即车载设备不能确定列车当前位置,则工作在“目标距离”模式是不安全的,因为列车不能计算其目标距离,也不能计算出一条合适的制动曲线。在这种情况下,列车将以低于正常情况时的速度行驶,并处于ATP系统的完全防护之下,直到列车经过一个参考点,比如一个APR应答器,此时,列车能够重新定位,并以正常速度开行。

#### (2)天线

ATP天线单元由两个绕在铁氧体棒上的电感线圈组成,两个线圈彼此屏蔽、密封。一个线圈用于ATP安全系统,另一个线圈用于ATP非安全系统。

通过天线,ATP车载设备可以读出由ATP地面设备传来的编码信息。天线共两

套,车头车尾各装一套。天线分别装在两条运行轨的正上方,由它们读取由运行轨传递的频率。两侧天线反相串联,可滤掉列车牵引的共模干扰。

### (3)测速电机

ATP 车载设备采用两个测速电机来提供速度、走行距离和运行方向等信息(同时也为 ATO 车载设备提供这些信息)。测速电机一般装在列车头车的拖车轴上。两个测速电机与 ATP 控制器相连。它们分别装在不同的车轴或马达齿轮箱上。

它们之间的接口主要取决于测速电机的类型,一般而言,是测速电机对“速度及距离模块”的非连续性输入。

车轴转动,带动一个齿数已知的内置齿轮。电子传感器检测出经过的齿数,然后向测速电机提供一个输出,测速电机的接口电路对输出进行信号处理,产生一个方波输出,送到 ATP 控制器。这是一种双通道结构,由两个电子传感器提供的两路信号经过 $90^\circ$ 的相移,根据哪个信号在前,哪个信号滞后,可以判断出列车是前进还是后退。利用每个方波信号的频率可算出列车的速度,并且通过脉冲计数,可以测量出列车已经行驶的距离。

### (4)多普勒雷达

由于测速电机无法精确补偿车轮滑转和滑行,因此用一台多普勒雷达装置,向 ATP/ATO 系统输入第三个车速信息,这个信息跟测速电机输入的车速相比较,以检验车速测量系统的可靠性。多普勒雷达提供另一套距离、方向和速度的测量系统。它通过串行接口,能修正列车空转和打滑误差。多普勒雷达单独安装在车架下,朝向运行轨的相邻区域。图 5-31 显示了多普勒雷达的探测范围。

## 3. 北京地铁的 ATP 车载设备

ATP 车载设备由安全系统(SS)、非安全系统(NVS)、天线、测速电机、速度表等组成。安全系统和非安全系统按照故障—安全原则组成多微机(7个微处理器)控制系统,两个系统在信号处理和软件算法上采用不同的方式,独立完成相同的主要功能,以确保系统的安全和可靠。由于使用计算机软硬件结合技术,系统具有良好的性能,通过修改软件技术参数,可满足用户特殊的使用要求。

安全系统、非安全系统分别控制一个紧急制动继电器(EBR)和一个零速继电器(ZVR)。EBR 经常处于励磁状态,一旦列车超过最大安全速度即失磁,对列车实施紧急制动。ZVR 经常处于失磁状态,当列车速度降到预定值(2.5 km/h)时励磁,允许打开车门。

车载设备可以选择 4 种驾驶模式:限制人工驾驶模式(RM)、非限制人工驾驶模式(NRM,正常非限制和紧急非限制两种)、编码人工驾驶模式(CM)和自动驾驶模式(ATO)。

### (1)安全系统

安全系统由电码检测模块、测速电机处理模块、逻辑输出模块、驱动输出模块、电源

单元组成。图 5-32 为 ATP 安全系统方框图。

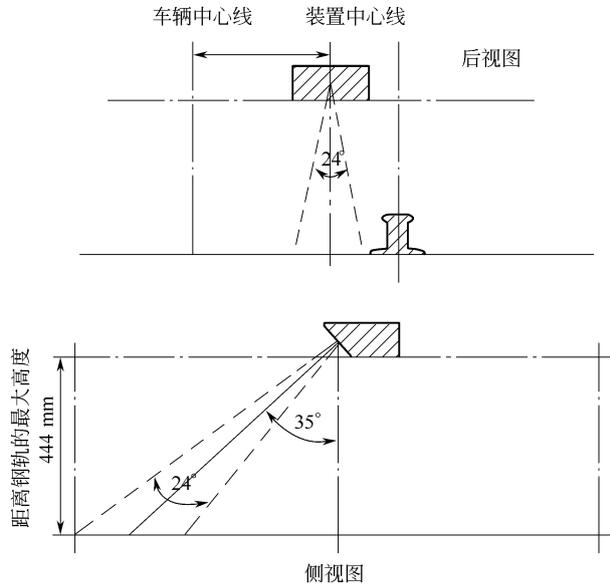


图 5-31 多普勒雷达的探测范围

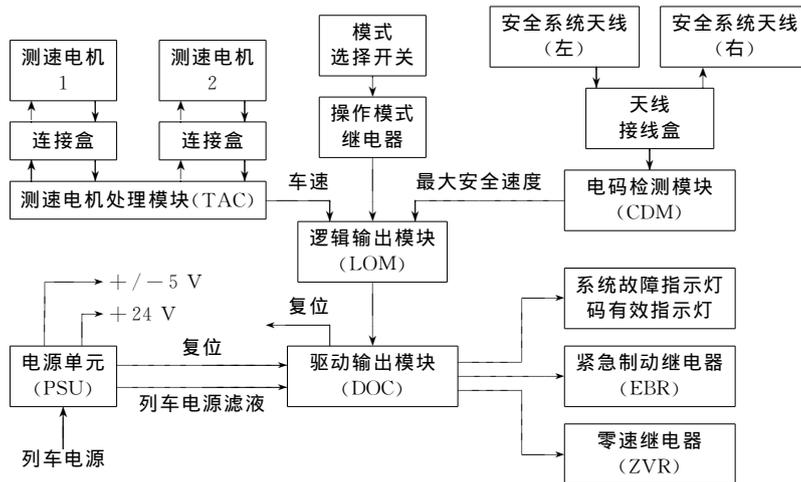


图 5-32 ATP 安全系统方框图

①电码检测模块(CDM)

CDM 接收 ATP 安全系统天线送来的移频键控(FSK)信号,进行动态实时采样,应用 FFT(快速傅立叶变换)进行信号频谱分析,解出载频和代表速度码的调制频率,通过 C 总线送至逻辑输出模块。

②测速电机处理模块(TAC)

TAC 由两个独立通道分别接收测速电机 1 和测速电机 2 的信号,应用 FFT 检出速度信号,通过 C 总线送至逻辑输出模块。测速电机处理模块利用双通道信号的一致性以判断数据是否正确;并向测速电机发送和接收验证信号,对测速电机信号检测电路进行安全检查。

### ③逻辑输出模块(LOM)

LOM 接收最大安全速度/目标速度与列车实际速度信息,进行分析、处理。若超过最大安全速度,通过驱动输出模块使紧急制动继电器失磁,导致列车紧急制动;如果列车速度低于预制的零速度线,通过驱动输出模块使零速继电器失磁,允许打开车门。

### ④驱动输出模块(DOC)

DOC 为 ATP 安全系统与外部电路之间的接口,驱动紧急制动继电器和零速继电器,驱动系统故障和码有效表示器,为 ATP 安全系统其他模块提供系统复位信号。

### ⑤电源单元(PSU)

向系统提供 +5 V、-5 V、+24 V 电源。

(2)非安全系统。非安全系统除执行 ATP 主要功能外,向 ATO 车载系统提供信息,向司机提供列车实际速度和目标速度显示。

ATP 非安全系统该包括列车输入数据模块(TID)、载频检测模块(CD)、调制检测模块(MD)、逻辑处理模块(PAL)、列车输出数据模块(TOD)和电源单元(PSU)等,见图 5-33。

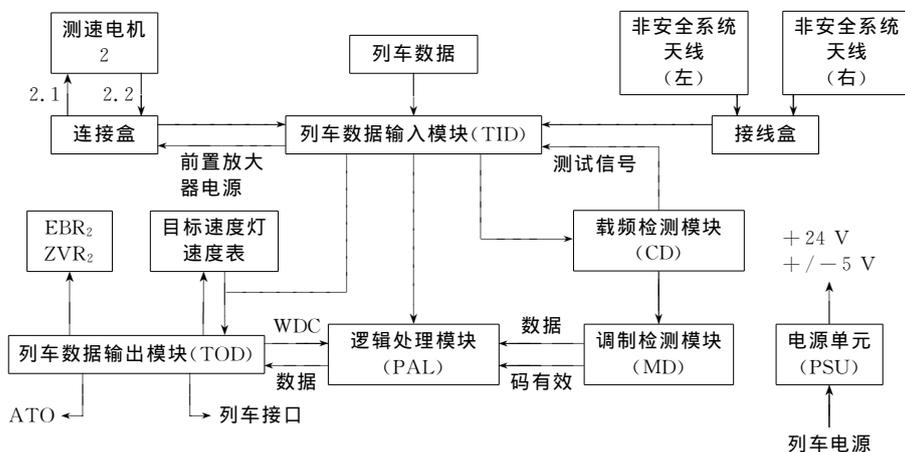


图 5-33 ATP 非安全系统方框图

①列车输入数据模块(TID)。TID 接收非安全系统天线送来的 FSK 信号和测速电机的信号,送至载频检测模块。

②载频检测模块(CD)。CD 将 TID 送来的信号进行分析、处理,检出载频和验证载频顺序,送至调制检测模块。

③调制检测模块(MD)。MD将CD送来的信号经处理检出调制频率(代表最大安全速度MSS/目标速度TS码),送至逻辑处理模块。

④逻辑处理模块(PAL)。PAL是非安全系统的重要处理单元,从TID、CD、MD模块接收多种信息和数据,向列车输出数据模块发送控制信号和数据,即从数据输入模块送来测速电机的脉冲信号,从数据输出模块送来轮径修正值,根据对EPROM的定义,计算出列车实际速度,送至数据输出模块;从调制检测模块送来调制频率有效码(目标速度),送至数据输出模块。逻辑处理模块比较两个值,当列车实际速度超过目标速度时,向输出数据模块提供超速音响报警和视觉报警信号;当列车速度超过最大安全速度时向输出数据模块发出紧急制动命令。逻辑处理模块检测测速电机2.1和2.2信号的相序(两输出信号相位相差 $90^\circ$ ),判断列车运行方向,并送至输出数据模块,当出现退行信号、ATO主要故障信号、丢失一定时间ATP有效码和 $EBR_1$ 、 $EBR_2$ 自检信号时使紧急制动继电器失磁。此外,非安全系统可实现常用制动控制。

⑤列车输出数据模块(TOD)。TOD接收逻辑处理模块送来控制信号和数据,根据列车实际速度驱动速度表;根据目标速度驱动目标速度灯;当列车实际速度超过目标速度时,提供超速音响报警和视觉报警;当列车速度超过最大安全速度使紧急制动继电器失磁,列车实施紧急制动。

⑥电源单元(PSU)。向系统提供+5V、-5V、+24V电源。

#### 4. 诊断和数据更新单元(DDU)

DDU是一个便携的可移动单元,可用于收集来自ATP和ATP子系统的各种诊断数据。与ATP控制器相连有两路DDU链路:直接与主处理器模块相连,用于外部测试,事件下载和程序/数据下载;与串行输入/输出模块相连,用于事件下载和程序/数据下载。

#### 5. 绝对位置参考(APR)系统

APR系统向列车提供所在绝对位置信息。APR系统的基础是那些安装在走行轨中间的应答器。APR信标沿轨道等距放置。每个信标都有一个独一无二的识别号,存储在ATP/ATO分布图系统存储器中。这个系统可以在指定范围内,对转速传感器发出的信号进行自动重新校正,也能进一步确定位置。

ATP通过识别器与应答器接口,通过天线接收APR信息。每个ATP控制器各接一个应答器的识别器。APR应答器的识别装置安装在列车底架上,位于轨道中央的上方。

APR识别器和ATP控制器之间有两个接口,一个串行,一个离散(数字式)。当检测到列车通过一个APR应答器时,识别器的离散接口输出信号,提醒ATP控制器。这样,ATP控制器在采用串行接口传来的信息计算列车位置时,就有了一个时间标志。

#### 6. 司机操作设备

TBS100在配置方面具有高度的灵活性,可以与司机操作设备相连,这样在显示和控制设备方面挑选的余地非常大,从硬线连接的司机台,到显示盘、触摸屏等都可以支持。

司机控制可分成不同的级别,其中实现系统必要的功能所要求的一级控制如下:驾驶模式选择开关、ATO 启动键。

其他的控制,如“无人手柄”类控制等,一般都直接与列车线路相连。

向司机提供的一级显示如下:实际速度、目标速度、目标信息、系统状态及报警。

如果采用的是司机台控制方式,那么在列车线路上会加上无压触头,由电流环路来驱动模拟显示,如速度显示等。

如果采用的是更高级的系统,那么就应采用适合的串行链路,与控制 and 显示模块相连。

某些功能,如一级的模式选择功能等,由于享有比其他级别的控制更高的地位,所以为确保安全,可能还需要进行一些特殊的处理。

### 7. 接口

ATP 设备与其他系统以及车载子系统之间存在有一系列的接口。与 ATP 和 ATO 系统相连的接头采用的都是军用标准接头。列车缆线接自由式插头,再插入 ATP 和 ATO 设备的固定式插口中。

(1)与 ATO 接口。ATP 通过高速通信链路与 ATO 接口。接口为内置接口,不需要外部接线。

(2)与测速电机接口。

(3)与轨道编码接收天线接口。天线连接到两个 ATP 控制器中。天线输出为模拟信号,通过列车线路输送到“轨道编码模块”。

(4)与多普勒雷达装置接口。每个 ATP 控制器还与一个多普勒雷达装置相连。多普勒雷达装置通过一个串行接口与 ATP 单元相连。

(5)与 APR 接口。每个 ATP 控制器分别与一个识别器相连。APR 识别器的和 ATP 控制器之间有两个接口,一个串行,一个中断。

(6)与司机控制及指示系统接口。根据列车人机界面接口设计原则,信号系统与司机控制和提示系统将通过并行或串行的方式相连。

(7)与列车接口。ATP 控制器有两种安全输出,即紧急制动继电器(EBR)和零速继电器(ZVR)。这两种输出与列车线路直接相连,用于保证列车的安全行驶。

EBR 和 ZVR 同时接由列车的安全联锁继电器(SIR)。只有达到特定的条件,SIR 才励磁。SIR 未励磁时,列车不能实施牵引,但可以实施全面紧急制动。

通电时,ZVR 得电励磁,表示列车处于停车状态,而 EBR 也得电,表示 ATP 控制器认为列车处于安全状态,SIR 可以得电。列车可以驾驶直到 ATP 控制器使一个或多个 EBR 失电。EBR 失电,SIR 也跟着失电,列车停止牵引,实施全面的、不可撤销的紧急制动,导致列车停车。

### 8. 软件

ATP 软件包含一个应用软件,由它来执行 ATP 的所有功能,此外还有一系列服务软

件,用于支持应用软件的各项行动。这些服务软件主要支持通信、线路地图和 BIT 功能。

#### (1) ATP 应用软件

ATP 应用软件执行 ATP 的基本功能。ATP 的基本功能可分成两块:速度和位置,以及前进权限。

速度和位置功能识别列车的位置和行驶速度。它接收速度传感器的速度信息并进行相应的计算。如必要,还可加上 APR 的多普勒雷达的速度信息。如果 ATP 发现列车超过了速度和位置模块规定的安全速度限制,它将对列车采取紧急制动。

前进权限主要确定列车还可以向前行驶多远,并识别列车的一些临时性速度限制信息。

#### (2) 服务软件

①通信软件。为了实现 ATP 与其他外部系统的通信,需要使用通信软件来支持两者的协议。

②线路地图数据库。每一个 ATP 单元都有一个数据库,包含有全线的地理信息。与这些数据相配套的还有其他有关信息,如环路位置、永久限速区的方位以及预测制动性能所需要的一些参数(轨道坡度等)。

③BIT 自行检测软件。执行 BIT 功能时,用软件方法实现,可以提高 BIT 的灵活性,并降低 BIT 的成本。BIT 被设计成为一系列的基本功能,在此基础上,可以在组建更加复杂的测试和控制程序。这些程序执行 BIT 的中断和连续性服务。

### 三、ATO 子系统

ATO 子系统采用最新的 TBS100 技术。初期可将 ATO 子系统安装并配置在“目标距离”模式下工作。需要时,可改进为移动闭塞。ATO 子系统采用与 ATP 系统同样的基本功能模块。和 ATP 系统一样,ATO 也存储了轨道布局和坡度信息,能够优化列车控制命令。经过专门设计,ATO 可以与站台屏蔽门(PSD)的控制系统全面接口,保证列车的精确和可靠的到站停车。ATO 还具有一个双向通信系统,允许列车直接与车站内的列车自动监控系统(ATS)连接,可以实现最佳的运营控制。

ATO 控制器和 PAC 与 ATP 控制器一样,都是用相同的模块组合而成的。这些模块以摩托罗拉 68030 处理器为基础,通过 DIN 41612 接头与标准 VME 总线相连。此外,ATO 系统还使用了“环路调制解调器模块”(LMM)和“ATO 功率放大模块”(APAM)。

ATO 子系统包括地面及车载设备两部分,但作为一个系统来说,ATO 又不能脱离 ATP 及 ATS 单独工作,必须从这两个系统得到系统工作的基础信息,共同构成 ATC 系统。

#### 1. ATO 地面设备

地面设备给车载 ATO 设备提供位置参考,并与车载设备交换信息。ATO 地面设

备的基本结构如图 5-34 所示。ATO 地面设备分为室内及室外两部分:在各车站设备室内设有“车站站台 ATO 通信单元”PAC(Platform ATO Communicator),在各车站上下行站台以及折返线处轨道上设有 ATO 环路。PAC 安装在信号设备室(SER)内,最多能与四个 ATO 停车位置相连接。PAC 与 ATS 系统以及联锁装置相连。当列车经过 ATO 环路时,PAC 与列车双向交换信息。



图 5-34 ATO 地面设备的基本结构

### (1) PAC

PAC 包括一个 6U 高的设备外壳,里边包含各种电路模块、电源和相关的硬件。存取访问哪些电路模块要通过一块可拆卸的面板。

PAC 由一些模块构成,这些模块通过背板相互连接,电路模块插入机壳的插件导轨中,并与两块背板紧密配合。它们与 ATO 和 ATP 车载设备采用的都是相同的基本核心模块。这些模块的配置情况如图 5-35 所示。

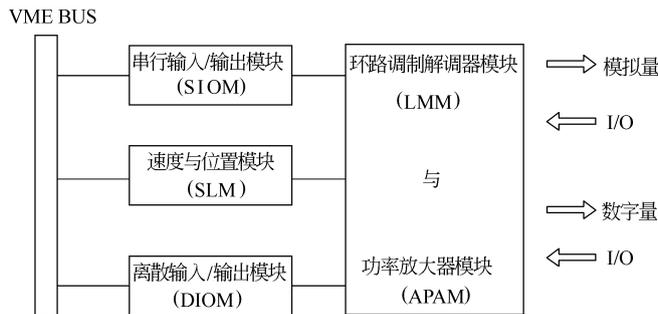


图 5-35 PAC 结构

PAC 包括 11 个模块:

1 个速度和位置模块(SLM)。

1 个串行输入/输出模块(SIOM)。

1 个离散输入/输出模块(DIOM)。

1~4 个环路调制解调器模块(LMM)(取决于由该设备服务的站台的数目)。环路调制解调器模块用于列车与地面的双向通信,它驱动一个 36 kHz 的低频载波进入轨旁发送器环路,并接收一个来自轨旁接收器环路的 28 kHz 低频载波。

1~4 个功率放大模块(APAM)(和环路调制解调器模块相对应)。功率放大模块提供足够的功率,来驱动车载发射天线和轨侧环路。APAM 与测试 PC 机相连。测试

● PC 再通过一个 55 路连接器跟外部试验设备接口。

1 个接口印刷电路与两个滤波连接器的组合,安装在机壳的后面。

1 个测试印刷电路与一个 55 路未滤波的连接器的组合,安装在机壳的后面。

7 个模块为第一组,形成 PAC 的处理“通道”,这些模块安装在接地屏蔽罩的左边。

4 个功率放大器模块 (APAM) 安装在接地屏蔽罩的右边。环路调制解调器模块 (LMM) 和功率放大器模块 (APAM) 的数量,取决于一个 PAC 可以带多少个站台(最多达到 4 个)。

PAC 的供电是一个  $50\text{ V} \pm 5\text{ V}$  的直流电源,信号设备机房电源大约为  $8\text{ A}$ 。电源组垂直装在背板的后面,带散热片。接口插件板紧挨着后面板上的连接器安装,它提供外部连接器和 PAC 处理通道之间的信号路径。所有的 ATO 外部连接都是通过后面板连接器接通的。

一个单独的状态指示器安装在测试插座的旁边,有一个发光二极管(绿色),当处理通道正常时,它点亮。

机壳的内部是一个开放的框架结构,使冷却空气可以自由地流动。上下机盖都打了孔,以便让冷却空气流能够通过机壳。可以由一台单独的风扇提供强制空气冷却,该风扇的安装极为适合 PAC 外壳下面的机箱。2U 高的风扇座包含六个风扇,保证提供充分的冷却。

PAC 内存有至下两个车站停车点的站间距离、轨道电路数量及长度,以及线路坡道和曲线信息;并通过与 LPU 或 RTU 接口,得到来自 ATS 系统及联锁系统的情行控制命令、扣车命令、下一车站通过命令及运行方向和目的地等信息,列车在车站停车期间经联锁电路及轨道电路的有关条件控制向室外环路发送。

## (2) ATO 环路

ATO 发送环路由电缆和环路单元组成。

### ① ATO 环路单元

ATO 环路单元包括 ATO 环路馈送单元(LFU)和 ATO 匹配单元(AMU)。

它们各包含在一个玻璃强化聚酯塑模的机箱内,该机箱装备有一个可分离的机盖,由四个六角形螺丝固定。它们通常安装在站台下面的一侧,备有四个  $8\text{ mm}$  安装孔,机箱的每个角各装一个。它们的电缆线路入口要通过电缆密封套。

### ② ATO 环路的布置

在各车站上下行站台以及进行 ATO 折返的折返线处轨道上设有环路。环路的作用有两个:一是通过环路的位置及交叉,使列车得知确定的位置信息,实现车站定点停车;另一作用是在列车停车期间,与列车进行信息交换。

ATO 发送环路由铺设走行轨旁边的电缆组成,位于列车停在停车点时列车接收天线所在位置的下方。发送环路通过环路馈入单元接收来自 PAC 的模拟信号,然后产生  $36\text{ kHz}$  的调制信号传给列车接收天线。发送环路可以配置为一个  $X_d$  环或者一个  $X_s$

环,当两个环在地面轨旁安装的时候,一个环是另外一个的镜像。

ATO 接收环路,由挨着走行轨铺设的电缆组成,位于列车停在停车点时列车发送天线所在位置的下方,配置为一个  $R_d$  环。接收环路接收来自列车的 28 kHz 调制信号,并产生一个模拟信号,经过匹配单元送到 PAC 的调制解调器模块。

ATO 环路布置如图 5-36 所示。

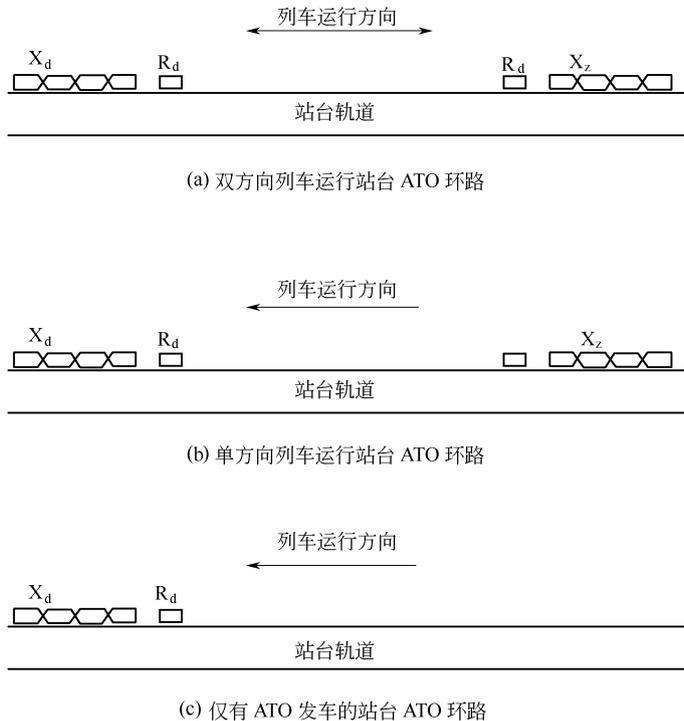


图 5-36 ATO 环路布置图

根据不同的功能,ATO 环路可分为几种不同的类型。在每个指定的停车位置,有两个 ATO 环路,发射环和接收环。指定的停车位置通常为车站站台,也可以是折返线,或车辆段内停车线。这两种环路允许在 PAC 和车载 ATO 之间建立双向的全双工通信通道。这一通信通道用于传送各种信息,包括站台屏蔽门(PSD)控制和显示、ATO 运行曲线、列车和乘务组标识等。这个通信通道构成了车载 ATO 系统与 ATS 系统之间的主要通信链路。

### ③ 列车和 PAC 通过 ATO 环路的通信过程

为站台入口提供地面标志环( $X_z$ ),标志环能够使列车在车站或者移动停车处精确地在一个 ATO 发送环( $X_d$ )和一个 ATO 接收数据环( $R_d$ )上停车。

一旦列车在发送  $X_d$  和接收  $R_d$  环上正确地停车,列车和 PAC 之间的双向通信就

确立了。一旦 PAC 和列车之间确立了完全的通信,双方就会交流以下信息:

- a. 列车通过接收环( $R_d$ )把列车的详细数据发送给 PAC。这些数据包括列车编号、目的地、车组全体人员编号以及当值/不当值信息。
- b. PAC 向 ATIS 发送一个“列车到达”的信息。
- c. PAC 响应接收到的列车详细数据,PAC 通过发送数据环( $X_d$ )发送数据。这个数据包括要通过下一个车站的任何要求、制动率、位置信息、惰行请求和实时更新。

当列车门关闭的时候,指令站台屏蔽门关闭;当列车门打开的时候,指令站台屏蔽门打开。

列车上也装有环路调制解调器模块(LMM)和功率放大模块(APAM)。环路调制解调器模块产生 28 kHz 低频载波通过车载 ATO 天线发射器发送出去,并从车载 ATO 天线接收器接收 36 kHz 的低频载波。该模块提供一个 VME 从属接口总线,用于一般控制、监视和内装测试。它的数据以串行方式由 SLM 提供。功率放大模块提供足够的功率,来驱动车载发射天线。

## 2. ATO 车载设备

车载 ATO 设备可分成 ATO 控制器和附件,这些附件用于速度测量、定位和司机接口。

ATO 车载设备由设在列车每一端司机室内的 ATO 控制器(包括司机控制台)及安装在列车每一端司机室车体下的两个 ATO 接收天线和两个 ATO 发送天线组成,如图 5-37 所示。

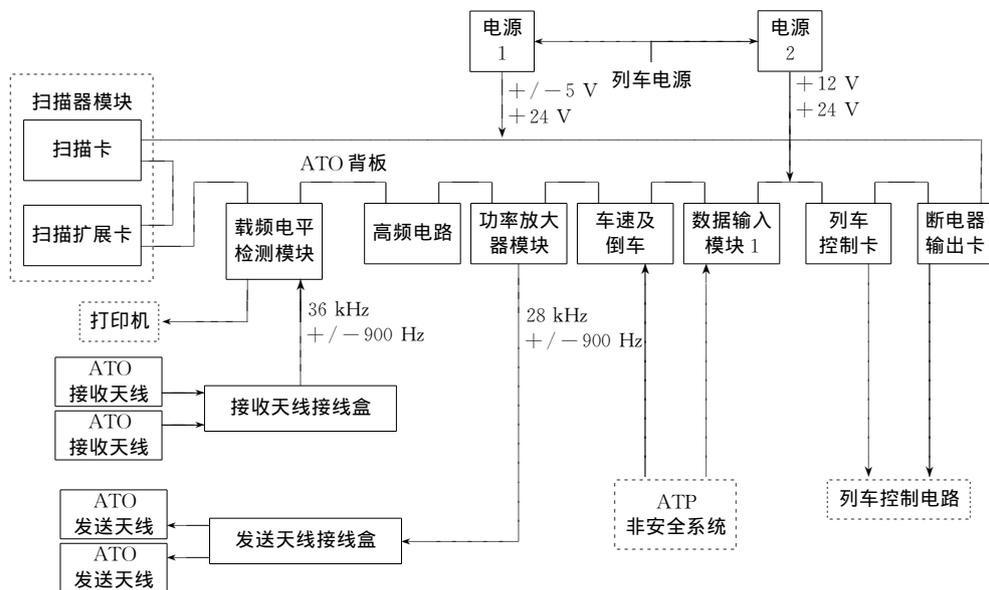


图 5-37 ATO 车载设备组成

### (1) ATO 控制器

车载 ATO 设备安装在 ATC 机柜(该机柜也安放了车载 ATP 设备)中。车载 ATO 系统的主要部分是 ATO 控制器。ATO 控制器包括一组 TBS100 模块,安装在一个 19 英寸的机架内。ATO 的硬件结构包括单一的 ATO 处理器通道单元,通过一块背板和多个接口模块互相连接。该系统独立于 ATP,单独计算 ATO 数据,分别形成驱动输出。机柜还接测速电机(用于速度和距离测量),以及 ATO 天线(用于与地面 ATO 环路通信)。

ATO 控制器由许多模块组成:主处理器模块(MPM)、串行输入/输出模块(SIOM)、速度和位置模块(SLM)、离散输入/输出模块(DIOM)、环路调制解调器模块(LMM)、ATO 功率放大器模块(APAM)。

串行输入/输出模块为主处理器模块提供缓冲串行输入/输出信号。如果需要的话,缓冲能够使主处理器不用中断就可以执行软件。

速度和位置模块能够为列车的速度传感器提供各种接口,如图 5-38 所示。

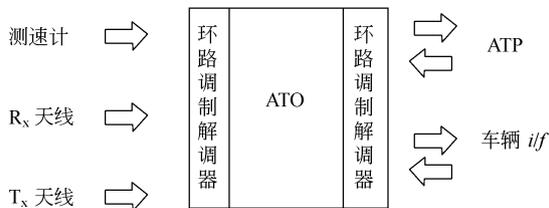


图 5-38 车载 ATO 控制器接口

离散输入/输出模块通过电平转换器和 VME 总线接口为分散的列车配线提供处理器接口。

环路调制解调器模块提供通往地面 ATO 的接口,产生 28 kHz 低频载波通过车载 ATO 天线发射器发送出去,并从车载 ATO 天线接收器接收 36 kHz 的低频载波。该模块提供一个 VME 从属接口总线,用于一般控制、监视和内装测试。它的数据以串行方式由 SLM 提供。

ATO 功率放大器模块提供必要的动力驱动发送天线。

ATO 控制器从车载 ATP 输入的信息主要有列车的实际运行速度及最大安全速度/目标速度限制信息;与车辆的接口电路,主要包括控制列车的牵引控制和制动控制;至司机台的接口为开、关门指示灯,列车启动按钮以及故障报警灯。

车载设备可检测到环路自身的交叉切换点,从而允许车载 ATO 系统以相当高的精度生成列车位置,并保证进站停车的准确度。

### (2) ATO 天线

ATO 天线共有两组:两个接收天线和两个发送天线。

① ATO 接收天线。列车两侧各装一条接收天线,正好位于两条轨道的上方,头车

前车轴的前面。在每个天线的上面,有两个螺纹套安装双头螺栓,便于固定到列车底架的一个支架上。接收天线接收由 PAC 传来的 36 kHz 调制信号,然后提供一个模拟信号,经列车线传给 ATO 控制器的“环路调制解调器模块”。

②ATO 发送天线。列车两侧各装一条发送天线,正好位于两条轨道的上方,头车前车轴的后面。在每个天线的上面,有 4 个双头螺栓,便于固定到列车底架的一个支架上。发送天线向 PAC 发出 28 kHz 的信号。信号是 ATO 控制器提供的模拟信号,经列车线传递给发射天线。

### 3. 诊断和数据更新单元 DDU

DDU 与 ATO 控制器和 PAC 相连。PAC 提供一个 RS232 串行接口,可以与 DDU 或 PC 机相连,由此可以下载系统的工作状况信息和记录数据,以便进行诊断测试。PAC 还提供一个 RS485 接口,以便对 PAC 中的数据进行更新。

DDU 可实现外部测试、事件下载监控和程序/数据下载功能。

### 4. 软件

ATO 软件分为执行 ATO 功能的应用软件和一系列支持应用软件的服务软件。服务软件主要支持通信、线路地图和 BIT 功能。

ATO 应用软件执行 ATO 的最基本功能。ATO 最基本的功能可分成 3 个部分:速度和距离、运行权限以及车辆控制。

速度和距离功能指示列车的当前位置和当前速度。这主要通过采集测速电机数据并经过计算而完成的。

运行权限主要确定列车还能允许行走多少距离,还能识别临时限速区。

车辆控制功能利用速度和距离、运行权限两个功能提供的信息,计算出如果马上采取紧急制动列车还能前进的距离,然后采取相应的行动。如果在紧急制动距离范围之内,ATO 将利用电机牵引和常用制动进行列车速度调节,以实现希望的行车间隔或节能措施。

服务软件与 ATP 的基本相同。

### 5. 接口

在列车上,ATO 设备和其他系统,以及和自己的子系统之间,存在一系列的接口。

#### (1) 司机控制和显示

ATO 与司机的接口有多种模式。

司机接口能提供当前实际速度、目标速度、允许行驶距离等信息。此外,还有一系列指示功能,如超速指示灯和蜂鸣器、故障指示灯和开门指示灯等。如果列车以 ATO 自动驾驶,则不启用超速蜂鸣器报警。

司机的 ATO 控制开关包括模式选择开关和 ATO 启动开关。

ATO 将向司机提供 ATO 状态指示和开门指示。

#### (2) 与 ATP 接口

ATP 通过一条专用的高速链路与 ATO 相连。这一通道为系统内部通道,不需要进行任何外部接线,通过这一通道,ATO 可以收到原始的轨道码数据。

ATO 控制器接一个测速电机,由它提供两个反相信号,用于判断列车行驶方向。

它们之间的接口主要取决于测速电机的类型,一般而言,主要是一个离散型输入,送到“速度和距离”模块。

### (3)与列车接口

根据牵引控制系统的要求,ATO 控制器与牵引和制动系统的接口可采用并行或串行的方式。ATO 同时也接收来自列车的离散型输入,如制动保持等有关列车当前状态的信号。

### (4)地面接口

①与 ATIS 接口。PAC 与 ATIS 之间有一串行接口,便于与控制中心双向传输数据。

②与站台屏蔽门接口。PAC 可以与站台屏蔽门的控制系统进行接口,这一接口为并行接口,可以保证站台屏蔽门和列车车门的同步控制。

③联锁系统接口。ATO 与联锁之间的接口为离散型输入输出接口。

## 四、ATS 子系统

### 1. 系统构成

ATS 系统包括控制中心子系统、车站控制子系统、车辆段程序单元和通信网络 4 部分。系统经特别设计,可用性强,万一出现故障,恢复能力也很强。实用性体现在分布式车站控制子系统均采用双处理器结构,控制中心对全线进行监控,也是双处理器结构。

#### (1)控制中心子系统

控制中心设备包括一个单元式的大表示盘、两个调度员台(各有一台彩色显示器)、一个调度长台(一台彩色显示器)、一个信息员台(一台彩色显示器)、一台绘图仪、一台报告打印机、一台偏离打印机。ATS 中心由两套互为主、备(热备)的 HPA900 小型计算机控制,并带有磁盘及驱动器、串并行接口及自动转换装置。平时中心由主计算机进行控制,备机可进行运行时刻表编制;一旦主计算机故障,可自动转至备用机工作,如转换时备机正在编制时刻表,在转换后并不中断时刻表的编制。但备机投入后,要对所有车站信息重新刷新后方可进行系统控制。中心还配有一套与备机相连的培训单元,用于进行调度员的培训。中心的其他设备还包括与各 LPU 车站的通信接口及一套 20 kV·A 的不间断电源。

中心表示分为两种,一是大单元表示盘;二是显示器。在站场布置图上显示全部正线内的信号机状态、道岔位置、轨道电路状态、进路状态及开通方向、站台扣车状态、列车位置及车次、车站控制状态(站控或遥控)、行车闭塞方式(自动闭塞或站间闭塞)、三

轨供电情况、信号设备报警,以及根据调度员的需要在显示器上显示车辆段内列车运用状况及各种报告。

控制中心子系统又分为 OCC、运行图编制、全线表示盘三个子系统。

#### ①OCC 子系统

OCC 由中央处理器、调度工作站、数据服务器、管理服务器等构成。

##### a. 中央服务器(CS)

中央服务器基于坚固型 PC 硬件,双机配置,“热备”。工作和备用处理器的状态由一个自动开关模块监视。每个处理器通过并行接口向自动切换模块发出一个脉冲,显示它正在运行,而且运行情况良好。如果自动切换模块未收到工作处理器的脉冲达 5 s 之久,它据此检测出工作处理器失灵,便将控制功能自动切换备用处理器,后者此时便成为工作处理器。备用处理器成为工作处理器后,就要求所有的 LPU 快速反应,立即提供当时路网状态和列车运行的信息,以更新其数据库,掌握当时的情况。

每个处理器有两个接口卡,可与 OCC LAN 的连接,提供 LPU 连接。每个处理器都有专用的维修终端。

中央服务器与调度工作站一起,组成 ATS OCC 的核心,而这两个子系统在一起运行时,能实施监测和控制。

中央服务器提供调度员和 LPU 之间的接口,调度员监测全线并进行人工控制,LPU 负责自动执行调度指令。中央服务器负责记录对全线有影响的操作员指令。

中央服务器向不同的对象提供有关信息:向调度员工作站提供有关联锁设备、列车位置、报警等方面的信息;向数据服务器提供档案信息,包括调度员指令记录;提供列车位置和时刻表信息,驱动全线表示盘;向列车运行图编辑器提供信息,显示预定及实际列车运行信息。它还将调度员指令发送给 LPU,以便据此予以执行。

中央服务器通过 LAN 与其他 OCC 的子系统衔接,另外也通过 CBN(通信系统)与 LPU 衔接。

##### b. 调度工作站(WKS)

控制中心配备工作站,供调度员对系统运营的监控。

调度工作站基于标准的 PC 桌面配置,单机。调度员信息在一个 21 英寸的监视器上显示,该监视器可显示高分辨度的图像。每个工作站硬件配置完全一致,便于维护,并可减少备件。工作站通过 LAN,与其他 OCC ATS 子系统衔接。

调度工作站供调度员灵活操作,提供屏幕显示或以打印方式检视存储在 SQL 数据库中的数据;具有列车图表功能,可进行列车时间表修改;实现对全线运营的监控。

##### c. 数据服务器(DS)

数据服务器基于同 ATS 系统其他部分相似的坚固型 PC 设备,单机,并配备一个专用维修终端。数据服务器通过 LAN 与其他 OCC 子系统衔接。

数据服务器提供集中式信息记录,用来存储和检索,并包含一个 SQL 数据库系统。

#### d. 管理服务器(AS)

管理服务器基于同 ATC 系统其他部分相似的坚固型 PC 设备, 单机, 并配备一个专用维修终端。管理服务器通过 LAN 与其他 OCC 子系统衔接。

管理服务器起到打印服务器的作用, 管理那些没有具体分配给某台机器的打印机。

该服务器还能主持以下功能和软件: 通信网管理、防止 ATC 软件发生讹误的病毒检查软件、提供软件升级控制能力的软件。

#### ②运行图编辑子系统(SC)

运行图编辑器由一台桌面 PC 系统构成, 单机, 这台 PC 中装有运行图编制软件。

运行图编辑器是一种独立式子系统, 通过 LAN 与其他 ATC 子系统通信。

此系统用来提前生成时刻表, 并将这些时刻表复制到中央服务器中。

#### ③全线表示盘子系统(OVW)

ATC 采用显示屏幕, 用来显示全线情况, 展现控制区域内的轨道布局和列车位置。一组屏幕由一个独立的 PC 控制器驱动, 该控制器通过 LAN 与其他 ATC 子系统衔接。

全线表示盘通过串行接口与中央计算机通信, 如果外接系统需要, 也可以选择网络接口与中央计算机通信。

#### (2) 车站控制子系统

车站控制子系统又分为 LPU、RTU、维修人员终端三个子系统。车站控制子系统分为两个层级。联锁车站(即有道岔的车站)配备 LPU, 为所负责的路段提供全面监测和控制。非联锁车站配备一个接口(RTU), 接通信号系统和 ATO 设备。

#### ①LPU

有岔联锁站采用车站程序单元(Local Program Unit, 简称为 LPU), LPU 为智能型设备, 是 ATC 系统的车站级智能控制单元。用来控制与监测联锁和轨旁设备, 提供自动路线设定功能, 可存储 7 日时刻表, 有记录功能, 与轨旁系统衔接。

每个 LPU 与中心计算机通信。一般按有岔站划分为若干个 LPU 控制区, 其余无岔站的 RTU 分属这些 LPU 控制, 每个 LPU 最多可以控制 5 个 RTU。

每个 LPU 由处理器 A 和 B、自动切换模块、线路控制系统组成。各处理器基于同 ATC 系统其他部分相似的坚固型 PC 设备, 采用双机热备模式, 主、备转换由自动切换单元进行, 其方式与 OCC 完全相同。处理器装在架式机柜内。LPU 使用一个自动开关模块(提供必要的正常监督和控制)和一个线路控制系统, 来控制将串行数据信道切换到工作处理器的操作。

LPU 负责执行所有的 ATC 自动监测与控制功能, 这些功能包括: 列车跟踪、列车进路安排、根据从 OCC 下载的时刻表发车、监测列车运行, 发现反常情况报警。

万一 OCC 丧失其功能, 或与 OCC 的通信中断, LPU 可以用降级的进路模式, 维持运行(例如用列车头码目的地来确定列车进路路径), 直到功能恢复正常。

LPU 与 CBN(通信系统)衔接。各个 LPU 之间还可互相接通, 提供控制中心与

LPU 之间的另一条通道。也就是说,如果某一个 LPU 与控制中心的通信中断,相邻的其他 LPU 可以将控制中心的信息转达给它,并与它进行双向通信。

此外,还有一个联锁接口,用来将 LPU 与信号联锁装置衔接。

其他接口包括:从 PAC 传送到控制 LPU 的 PTI 信息、从 LPU 传送到 PAC 的情行矢量编辑指令、从 PAC 传送到 LPU 的报警信息、乘客信息、来自 LPU 的列车出发信息。

### ②RTU

无岔站采用远程终端单元(Remote terminated Unit,简称为 RTU),RTU 为非智能单元,为无岔站信息传输接口终端设备,单套,用来提供 LPU 和联锁及 RTU 站的 PAC 之间的接口。LPU 与其管辖范围内的 RTU 通信,RTU 由各所属的 LPU 控制。

联锁接口设备提供通往信号设备的接口和通往该站 PAC 的链路。RTU 子系统与 CBN(通信系统)相衔接,并提供下列功能:从 PAC 传送到控制 LPU 的 PTI 信息、从 LPU 传送到 PAC 的情行矢量编辑指令、从 PAC 传送到 LPU 的报警信息、乘客信息、来自 LPU 的列车出发信息。

### ③维修终端

维修终端在 LPU 和 OCC 提供维修功能。维修终端基于一台便携式计算机,通过一个 RS232 数据信道或 LAN,与 LPU 通信。该计算机使用 Windows 操作系统,提供系统安全,便于运行用来分析来自 LPU 的数据的标准软件包。文件传输通过 Windows 操作系统的文件管理功能实现。

### (3)DPU

车辆段采用车辆段程序单元(Depot Program Unit,简称为 DPU),DPU 是专为车辆段提供的 ATS 车站设备,也为单套。车辆段还包括两台显示终端和一台打印机。

ATS 车站设备还包括设于各正线车站及车辆段的站台发车端的发车计时器(Train Departure Timer,简称为 TDT),以及正线列车投入点的列车识别装置(Positive train Identification,简称为 PTI)的地面查询器——电缆环路。

### (4)通信网络

#### ①局域网

每个 OCC 和 LPU 所在站点都有一个局域网(LAN),将该点的 ATS 系统连接在一起。

OCC 网络组成 ATS 系统的 OCC 部分的各个子系统之间的所有通信,均通过局部区域网实现。这包括调度员工作站和中央服务器之间的通信。

为了确保系统可用性,安装一个双重冗余网络,所有硬件均有备份,LAN 连接也采用双通道,方法是在每个站点采用独立的 NIC(网络接口卡),这样可以消除单点故障。

#### ②传输通道

ATS 系统传输通道为带迂回的光通道,即 ATS 系统在车站和控制中心之间采用

光缆进行通信。

### ③OCC 与 LPU 通信以及 LPU 通信与 LPU 通信

控制中心与 LPU 之间的传输通道为点对点方式,LPU 之间信息传输有单独通道,并可作为相邻 LPU 与中心通信的迂回通道,一旦中心至某一 LPU 的通道故障,则可自动转至经由相邻 LPU 的通道进行通信。

### ④LPU 与 RTU 通信

LPU 和 RTU 之间的通信通过 CBN (通信系统)的多点串行链路实现。为并联传输方式,每个 RTU 与 LPU 之间的通道也为迂回方式,正常情况下,使用主通道与 LPU 通信,一旦通信故障,自动转至备用通道与 LPU 通信。

RTU 由相邻的 LPU 控制,如果通往 LPU(通常控制 RTU)的通信路径失灵,可以进入降级运行模式,在这种情况下,通信路径将改为相邻的另一个 LPU。

### ⑤LPU 与 PAC 通信

在 LPU 和 RTU 所在站点与 PAC 的通信通过本地接口实现。

### ⑥LPU 与 PI 通信

在 LPU 和 RTU 所在车站,与乘客信息系统的通信通过本地串行接口实现。

### ⑦LPU 与 TDT 通信

在 LPU 和 RTU 所在车站,与列车出发计时显示系统的通信通过本地串行接口实现。

## 2. 软件

系统完全以 PC 为基础,采用微软 Windows 调度系统和用微软 Visual C++ 语言编写应用软件。OCC 的调度员接口由运行 WESTCAD 前端软件的 PC 提供,而报告功能则由带 Powerbuilder 用户报告前端的 SQL 数据库提供。

系统使用一种标准操作系统,普及性强,技术支持随处可以获得,而且可以与 COTS (现成的商业性)软件包配套。COTS 应用程序不受系统平台软件控制,只是与 ATS 平行运行。

Windows 操作系统使用户与硬件分隔,而且系统平台软件要将 AST 应用程序与操作系统区分开。这种系统平台软件启动,关闭 ATS 的各种应用程序并监控探测其故障情况,还为这些应用程序提供任务间通信与计算机计时等功能。

### (1)Windows 操作系统

Windows 操作系统用于 OCC 工作站、车辆段和维修处便携式维修终端的所有 OCC 计算机和 LPU 计算机。

Windows 操作系统是一种可伸缩、多重处理调度系统,它支持种类繁多的、市场上可买到的软件包,并提供高级的 GUI 开发支持。

运行 Windows 操作系统的服务器可提供操作系统功能,例如文件服务、打印服务或系统管理功能,并提供数据库服务之类的应用功能。

控制台 PC 运行西屋公司的 WESTCAD 软件系统,这样调度员可以监视全线路,并发出指令。调度员用标准键盘或鼠标,通过标准的 Windows 用户接口输入。从菜单中选择指令,对话框打开,提示用户输入信息。信息(LPU 区域、记录报告等)在屏幕上的窗口中显示。

#### (2) 软件可携带性

软件设计采用模块化方法。Windows 操作系统不允许应用软件直接存取硬件,而迫使它通过 Windows 操作系统执行输入输出,这样,应用软件就不会产生对硬件的依赖性。分层式软件设计法可减轻将应用软件携带到调度系统和硬件平台中的任务。

#### (3) 商业性软件包

除了专用应用软件外,ATS 使用若干种商业性软件包,执行各种功能。

##### ① 微软 SQL 服务器

微软 SQL Server Enterprise Edition (第 7 版)作为数据库软件,用于 OCC 数据服务器。这是一种高性能数据库管理系统,是专门为 Windows 操作系统的应用程序而设计的。

##### ② Power Builder Enterprise

Power Builder Enterprise Edition 6.0 用于调度员工作站,用摘自 SQL 服务器数据库的数据,生成报告。

##### ③ 网络管理软件

网络管理让维修人员能够监测并分析通信网络的性能。这是一种基于 SNMP 的网络管理系统,可提供 ATS 网络连接的简明而深入的视图。网络管理器收集并展示数据,满足各种各样的信息需要。它能自动将网络布局整理成一份简化的布局图,这样调度员可以遍历网络布局图,从高级网络构件块到低级网络装置,均一览无余。

##### ④ 病毒检查器

病毒检查软件安装在管理服务器 PC 上,可防止病毒从其他系统输入到 ATS 中。

##### ⑤ 微软系统管理服务器

这种软件安装在管理服务器 PC 上,能提供控制软件升级的功能。

### 3. 接口

ATS 系统有若干个接口,可衔接与 ATS、ATO、ATP 和信号系统没有直接关系的外接系统。

#### (1) 与 BAS 接口

与 BAS 系统相接的链路。通过这个链路,BAS 系统可以当列车在隧道段停止时间超过给定的长度后,向 ATS 提供环境警告和信息。在 ATS 和 BAS 系统之间传递的信息仅限于报警和状态信息的传输。

#### (2) 与线路运行图显示系统接口

与线路运行图显示系统相接的链路。ATS 系统将监视控制区内的所有列车的位置

置,并将这些信息用易懂的方式,转达给显示系统。除了状态信息之外,信息流只来自ATS系统。

### (3)与联锁装置接口

接通信号联锁装置的接口系统是通过ATS-LPU装置的串行通信链路实现的。

### (4)与PI(站台显示器)接口

车站的PI由ATS控制。这些显示器显示下一列进站列车的前方目的地和到达时间信息。除了状态信息之外,信息流只来自ATS系统,故必须有与车站的PI显示器相接的链路。

### (5)与TDT(列车出发计时显示器)接口

列车出发计时器显示由ATS控制。将目前停在本站的列车的预定出发时间传送给显示屏,以通知司机,并将在列车出站时清除。除了状态信息之外,信息流只来自ATS系统,故必须有与每个站台的外接列车出发计时显示器相接的链路。

### (6)与系统时钟接口

系统时钟将时间/日期数据传达给中央计算机。

### (7)与PAC接口

这种ATS支持PAC功能,这样PTI信息在RTU站和LPU站从PAC传输给ATS。

### (8)与车辆段接口

这个接口用来识别从ATS控制区进入车辆段不受ATS自动控制的车辆段的列车。

## 4. 培训与模拟系统

为了支持调度人员培训,在调度员上岗操作ATS主系统之前,提供一种模拟系统用于培训,这种模拟系统由ATS系统的主要部件组成。

模拟系统的显示工作站与ATS主系统的相同,这样,调度员可以熟悉显示器的布局,并摸索指挥与控制接口。

为了让调度培训有的放矢,模拟系统可以重放列车的各种运行状态。

模拟系统中有相对独立的OCC和LPU部分。模拟系统的所有组成部分将与ATS的构成相似,但由于是单机式,因此可用性没有ATS那么高。

## 五、ATP/ATO试车线

### 1. 试车线设备组成

为了最大限度地发挥试车线的作用,试车线的装备应该和运营正线的配置完全一样。试车线设备组成如图5-39所示。

ATP/ATO试车线,安装若干段FS-2500型无绝缘轨道电路和FS-2500型有绝缘轨道电路,以及两套地面双方向ATO环路;室内设置了专为试验用的控制台及相应的ATP、ATO设备和继电电路。在试车线上,安装一台联锁装置,来发出轨道编码,并与

车辆段的控制设备相连。为了保证列车在进出试车线的时候仍有全面的信号保护, WESTRACE 还将与线路两端的 PAC 设备, 以及试车线上装的各种转辙机、信号机等接口。同时, 为了模拟列车的实际运行, 也可以在试车线上设置临时限速区, 或信号停车点。

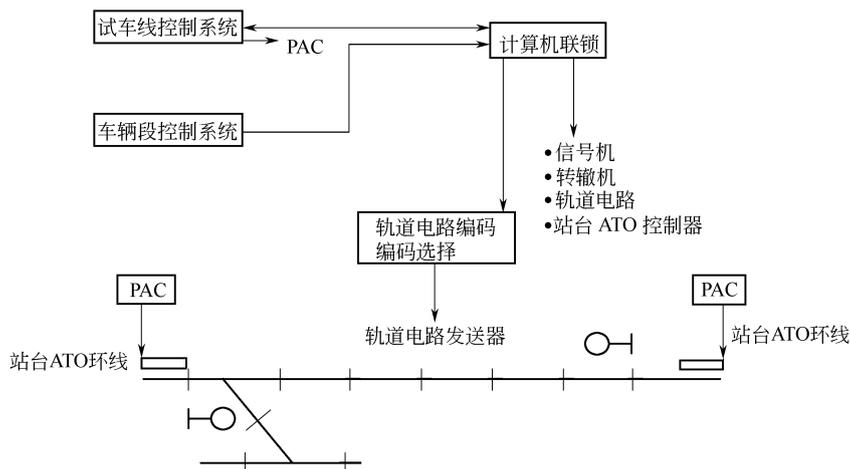


图 5-39 试车线设备组成

## 2. 试车线 ATP 子系统

试车线上运行的列车拥有全面的 ATP 保护。可以在试车线上设置一定的编码顺序, 模拟各种正常和非正常情况。例如, 可以将试车线上的编码顺序设置得和正线的一样, 然后发一列车模拟正常运行。同时, 还可以发送一套非正规的编码顺序, 使 ATP 系统发挥作用, 进行干预, 实施紧急制动。试车线可进行各级速度的模拟, 直到正线的最高速度, 确保列车能检测出故障, 在规定的时间内采取措施。

此外, 还可以在试车线上的某个轨道电路选择某个速度码(在安全范围内), 对车载设备进行测试, 看它是否能读出所有的速度码。

## 3. 试车线 ATO 子系统

试车线的两端都装有 PAC 设备, 可以检测列车在 ATO 自动驾驶状态下, 是否能按照轨道编码的指示行走正确的路线。同时, 其他各种功能也可在此进行试验, 如道岔区的停车、限速条件取消后的列车的重新启动等。

在自动方式下的多次行车试验, 可以检测出停车精度。此外, 如果还配备一些额外功能, 如惰行等, 也可通过试车线进行模拟, 而且这种模拟易控制, 可重复, 安全且能得到实测值。

## 4. 试车线控制系统

试车线的控制系统主要是一台人机接口的 PC 机, 可直接与联锁装置和 PAC 设备

相连。此控制系统界面简单,存有预先设计好的模拟模式,可以方便操作人员迅速有效地发布模拟指令。

操作界面与控制中心的 ATC 界面尽量保持一致。

#### 5. 接口

试车线的联锁装置将与车辆段的信号系统相连。

接口需要传递的信息量非常少,一般采用的是一种“插入”处理方式。如果列车要从车辆段进入试车线,车辆段控制系统发出一个“插入处理”请求,如果可以接受列车进入,则试车线联锁给出许可,此时列车可以在“受限制的人工驾驶模式”下驶入试车线。

如果列车需要驶出试车线,试车线的联锁将向车辆段控制系统发出一个“插入处理”请求,然后列车在“受限制人工驾驶模式”下驶回车辆段。

#### 六、ATP 日检测环路及维修环路

在车辆段存车库线内设置 ATP 日检测环路,以及在两条维修线上设置了 ATP 维修环路。

日检测环路的作用是在每日列车离开存车线前,通过地面的检测环路,检测列车的 ATP 设备是否正常工作。检测环路的工作方式为 30 s 有码、30 s 无码交替变换向列车发送。

日检测环路为在存车线头、尾车位置的钢轨内侧敷设的单芯电缆环路,环路的构成为每 7~8 股道的头部或尾部的环路串联连接后共用一个单一速度频率的发送器。

维修环路主要用于列车大修后,车载 ATP 系统安装后的试验。维修人员可以在驾驶室处通过速度码选择盘,检测车载 ATP 对各种速度命令的工作情况。

维修环路为每一维修线上设置一条连接头、尾位置环路的长环路,该环路可以发送所有不同的速度码,因而在每一条维修线的头、尾部各设一个供维修人员使用的速度码选择盘。

## 第六节 西门子 ATC

西门子交通技术集团研制的 VICOS(车辆和基础集中操作控制系统)OC 系列自动操作控制系统用于监控联锁设备和控制列车运行。VICOS OC 101 系统用于中小型系统,VICOS OC 501 是一个高可靠性的控制系统,它具有很多自动化功能,自动化水平较高,用于城市轨道交通中复杂的控制过程,可以监控任何类型的采用远程控制的继电联锁和计算机联锁。

#### 一、系统构成

西门子 ATC 系统框图如图 1-2 所示。

设备安装在现场线路上和机械室、站台、列车上以及控制中心(OCC)内。

ATP 设备包括:轨旁设备、车载设备和同步环线(SYN)。

ATO 设备包括:轨旁设备、车载设备和车-地通信环线(PTI)。

ATS 设备包括:系统管理器(ADM)、通信服务器(COM)、人机接口(MMI)、打印服务器、打印机、维护操作台(SO)、过程耦合单元(PCU)、模拟表示盘、演示系统(DS)、时刻表编辑器(TTE)、局域网(LAN)、不间断电源(UPS)、局部控制盘(LCP)、旅客向导信息系统(PIIS)、列车到达时刻显示器(ATI)、列车发车时刻显示器(DTI)等。

西门子的 ATC 系统按系统功能可划分为 4 个层次:

#### 1. 操作层(中央层)

分布在控制中心及正线各个设备集中站的车站控制室、车辆段信号楼控制室。由控制中心的计算机 VICOS OC 501 实现全线运营的集中监控与管理。由设备集中站车站控制室的 VICOS OC 101 执行本地控制功能。

#### 2. 轨旁层(车站层)

分布在沿线的轨旁层由 SICAS 和 LZB700M 系统组成,它们执行全部的联锁和轨旁 ATP 功能。

正线区段室内的联锁设备和接口单元、LZB700M 系统的 ATP/ATO 室内设备、轨道电路室内设备、ATS 车站设备(含与旅客向导牌、发车计时器及应急盘的接口)、室内终端架、电源设备等主要集中设置于联锁区设备集中站信号设备室和电源室,它们执行全部联锁和 ATP/ATO 轨旁功能。在站控室,放置操作工作站 LOW。

非设备集中站的现场设备由设于本站信号设备室内的接口及驱动设备控制,这些接口及驱动设备由相应设备集中站监控,此外,设备室内还将设置终端架、电源设备。

全线分若干个联锁区域,设备分别设于各个设备集中站,每个设备集中站管辖 1~3 个车站。

#### 3. 轨道层

轨道层包括转辙机和信号机、FTGS 轨道电路、PTI 环线及站台精确停车环线,实现进路的防护与控制、列车检测,以及车-地信息传输、列车位置识别。列车运行监督由在控制区间起始处和全线各个车站的列车位置识别系统(PTI)来实现。

#### 4. 车载层

车载层包括 LZB700M 的车载 ATP/ATO 设备,实现列车自动防护和自动运行功能。

ATP/ATO 轨旁(室内)计算机设备、计算机联锁设备采用 3 取 2 结构,ATP/ATO 车载设备采用 2 取 2 结构,符合故障—安全原则,并提高了系统的安全性、可靠性和可用性。

为了提高 ATS 系统的可靠性和可用性,中心与车站的通信采用“点对点”双通道热备方式,凡涉及行车指挥的主要设备均按双机热备配置,包括中心的通信器、耦合连接单元、显示接口单元、管理器(维修/管理器冷备),以及车站远程终端单元 RTU,保证任

一台单套设备或单通道故障时,不影响系统的正常使用。

## 二、系统特点

1. 为提高在各种故障及特殊情况下系统可用性及尽可能保持自动工作状态的连续,采取了多种措施:

(1) ATP 安全系统按故障—安全原则设计,采用冗余技术(车载 ATP 为计算机 2 取 2 系统,轨旁 ATP 为 3 取 2 计算机系统),ATS 系统采用双套冗余系统,系统可靠性和安全性高。

(2) 采用多级控制方式,有控制中心控制(人工及自动)、RTU 后备自动控制、车站控制(人工及自动)方式。

(3) 模块化设计,故障识别及自动控制模式的自动转换,系统可用性高,且便于维修。

(4) 以单个信号机及单个列车为基本单元的自动功能设定及取消。

(5) 自动功能设定的多种操作方法,如控制中心或车站对单个信号机,整个联锁区或控制中心对所有信号机自动功能的设定和取消,控制中心对单个列车或全部列车自动功能的设定及取消。

(6) 灵活、多样、简便的人工介入控制手段。

2. 设计适合信号系统功能要求并满足运营管理需要及其他专业接口要求的列车识别号管理系统,包含列车识别号的组成,在各类人机界面及打印文件上的显示内容及格式,列车识别号中各项内容的来源及进入系统方式、人工介入的手段等。

3. 设计带有运营要求特征,如列车跳停、折返、回库、存车、清洗等的列车目的地号,以支持系统的自动功能和管理要求。

4. 增强列车运行自动调整功能及人工介入能力,各系统均按人工优先原则设计:

(1) 调整列车车站发车时间采用列车到达车站时间与实施运行图比较,比较结果送至站台倒计时发车时间显示器,控制其倒计时起始时间;

(2) 调整列车区间运行时分采用列车车站发车时间与实施运行图比较,比较结果送至 ATO 车载系统,控制列车以秒计的区间运行时分;

(3) 设置列车运行修正时间,对每一列车或全部列车的图定运行时间进行以分计的修正,使列车运行自动调整功能符合调度员的意图,也有利于保持及恢复列车等间隔运行;

(4) 在车站设置现地控制盘,使车站具有与控制中心一样的对到站列车进行扣车、放行、跳停等控制能力。

## 5. 完善旅客向导信息系统

在上下行站台各装设两台显示清晰的旅客信息显示盘,由控制中心直接控制旅客信息显示盘的工作状态。向旅客提供必要的列车信息,如:列车终到站;以分计时倒计时

时式的列车到站时间预告;列车在本站是否载客等。

#### 6. 配备完整的 ATIS 子系统管理功能

ATIS 子系统管理功能对有效、安全地使用系统,增强使用人员责任心、分析运行事故及使系统工作站标准化都有一定作用,其管理功能包括:使用人员登记进入及退出;各工作站职责范围及权限的分配;按工作性质进行操作人员分类,以及各类操作人员的权限分配;以上功能的控制及管理。

7. 按运营要素自动编制列车运行图。列车运行图是行车调度自动化的基础,也是运营计划人员意图的直接体现,如何将运营人员的意图通过简便的方法直接转化为可实施的列车运行图是运行图编辑工作站的主要任务,其设计原则如下:

(1)由输入的运行要素直接自动生成运行图。运行要素包括:当天运营起始及终了时间;不同列车运行间隔的时间分段;各时间分段内列车运行间隔;各车站停车时间表;各区间列车运行时间表等。

(2)按不同的列车交路由各自的运营要素生成局部运行图并自动合成完整运行图。

(3)严格的运行冲突自动检查及提示,如:追踪间隔及折返间隔不小于可实现值;停站时间不小于规定值;折返站作业间隔时分小于可实现的最小间隔时分;排列进路的实时可能性。

(4)必要的人工介入手段,使运行图编制人员的意图能得到完全体现,并方便地清除运行图中存在的运行冲突。

(5)自动功能设定的多种操作方法,如:控制中心或车站对单个信号机、整个联锁区或控制中心对所有信号机自动功能的设定和取消;控制中心对单个列车或全部列车自动功能的设定及取消。

(6)灵活、多样、简便的人工介入控制手段。

#### 8. 确定运行模拟系统的功能

具有培训、演示功能,有一套 ATC 离线设备,可用于员工培训和系统演示,不影响正常运行。

根据运行模拟系统的使用要求,确定其详细技术规格,如设备类型、人机接口、各种模拟元素及有关参数、针对功能要求的操作方法等。其用途为:参观演示(离线使用);行车人员培训(离线使用);ATIS 子系统调试时模拟现场设备(在线使用)。

9. 根据运行要求确定运行数据储存功能、屏幕回放功能、各种运行报告内容及文本、报警分类及提示、打印功能及打印机配置等。

### 三、LZB700M 系统

LZB700M 系统是 ATC 系统的一个功能强大的子系统,它用在 ATP 和 ATO 中。LZB 700M 中的两个子系统结合在一起,用于增加系统的安全性和有效性。

LZB700M 连续式 ATP 系统利用 FTGS 数字式无绝缘轨道电路连续地向列车传

输数据,连续地监督、控制列车的运行。ATP 在轨旁不需要添加另外的传输设备。

ATP 轨旁单元连续地从联锁、轨道空闲监测系统和计划数据中得到驾驶命令,并传输到 ATP 车载单元。驾驶命令包括目标参数(目标速度和目标距离)、最大允许线路速度和线路坡度。ATP 车载设备根据这个数据和列车制动率计算出在当前位置的允许速度。驾驶列车所需的数据通过司机驾驶室内的显示屏显示给司机。

通过测速电机,连续测量列车实际运行速度和距离。如果列车在当前位置超过允许速度,ATP 车载设备在发出警报后,触发紧急制动。

LZB700M 遵照安全规则,能使在同一方向运行的两列车之间的间隔极短,连续地计算制动曲线,以保证最小安全距离。

### 1. LZB700M 配置

LZB700M 设备由车载设备和轨旁设备组成。轨旁设备由 ATP 轨旁单元、FTGS 数字式无绝缘轨道电路、同步定位单元和 PTI 轨旁单元组成,还有旅客向导牌和发车计时器。车载设备有 ATP 车载单元、ATO/PTI 单元和司机人机接口 MMI。LZB 700M 系统配置见图 5-40。

全线正线区段(包括折返线、存车线)、出入车辆段线(转换轨)及段内试车线均装备 LZB700M ATP/ATO 地面设备(3 取 2 配置)。

运营列车均装备车载 LZB 700M ATP/ATO 设备(2 取 2 配置)。

旅客向导牌采用超级双基色点阵式 LED 显示屏,双面显示。能显示各种字型、字体的数字、汉字、字母,即显示与旅客乘车有关的信息,如列车到达时间、目的地、列车直通等信息。具有信息编辑功能,可对各种信息进行编辑显示、特技处理显示。

发车计时器采用超级双基色点阵式 LED 显示屏,单面显示,为二位显示 00~99 s;超过 99 s 时,以 99 s 闪动表示。根据 OCC 传送数据,在列车停稳后倒计时,表示距开车时间的秒数;当倒计时到 0 s 后,改为正计时,表示延迟发车的时间;如停车期间 OCC 发来扣车命令,则计数暂停,取消扣车则计数器显示器显示为零。发车后显示关闭。

发车计时器采用超级双基色点阵式 LED 显示屏,单面显示,为二位显示 00~99 s;超过 99 s 时,以 99 s 闪动表示。根据 OCC 传送数据,在列车停稳后倒计时,表示距开车时间的秒数;当倒计时到 0 s 后,改为正计时,表示延迟发车的时间;如停车期间 OCC 发来扣车命令,则计数暂停,取消扣车则计数器显示器显示为零。发车后显示关闭。

### 2. ATP 轨旁单元

ATP 轨旁单元是 LZB700M 系统同整个列车防护系统其他要素的主要接口。ATP 轨旁设备完成安全功能,由基于故障—安全的 SIMIS®微机构成。ATP 轨旁单元使用 SIMIS® 3216 微机,它提供所需的高标准的储存容量和计算容量。这些 SIMIS

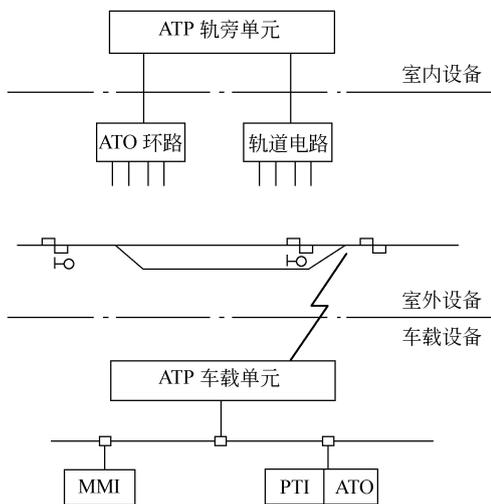


图 5-40 LZB 700M 系统配置图

微机为 3 取 2 的结构,以提高系统的安全性和可靠性。

(1)ATP 轨旁单元的主要功能

- ①摘录司机指令。
- ②储存线路参数(线路坡度、轨道区段的长度、区间速度限制、区间临时速度限制)。
- ③与计算机联锁接口。
- ④同相邻设备集中站轨旁单元的通信(故障—安全总线系统)。
- ⑤与 FTGS 轨道电路的接口。
- ⑥与外部设备的接口(自诊断、接点输入、紧急停车输入)。

(2)ATP 的输入数据

ATP 轨旁单元为决定运行命令,需要来自联锁、相邻的 ATP 轨旁单元和紧急停车单元的一些数据,以及恒定的线路参数,具体有:

- ①线路的设计;
- ②设计的速度限制——最大安全速度;
- ③临时限速区段;
- ④设计的安全区段;
- ⑤道岔设定;
- ⑥道岔区段的侧向限速;
- ⑦进路的入口;
- ⑧轨道空闲检测;
- ⑨紧急停车。

(3)电码的传输

从 ATP 轨旁到 ATP 车载的传输是单方向的,数据包含在一个有一定长度电码的报文里。这些电码用调频的方式经 FTGS 轨道电路周期地发送。

(4)ATP 轨旁和车载设备之间的数据传输

从 ATP 轨旁到 ATP 车载设备之间的数据传输速率是 200 Bd。数据以固定的长度分配到报文中,这些报文被周期地传送,综合各种方法来防止传输中的误码。ATP 车载设备能够识别数据传输时引起的错误,并将传输错误的的数据作为非法数据而被拒绝。

- ①用一个高性能的 32 位 CRC 保护码检验传输错误。
- ②通过一个特定的程序区别每一个电码。
- ③每一个报文都有一个为附加逻辑电码顺序控制的顺序号。
- ④每一个报文携带一个电码内容识别编码,在接收器里对电码内容的逻辑进行校验,为了得到这个特性,当前轨道电路的识别码、下一个轨道电路的识别码、下一轨道电路的接收频率必须包括在每一个报文中。
- ⑤抗相邻轨道电路的干扰是通过不同的轨道电路使用不同的载频来实现的。
- ⑥使用特殊的和单一的电码型式。

### 3. FTGS 轨道电路

FTGS 轨道电路用于 LZB 700M 的发送设备,从钢轨向列车发送信息以及作为列车占用轨道的检测设备。一个 LZB 轨旁单元最多能带 40 个轨道电路。

### 4. ATP/ATO 车载设备

LZB 的轨旁设备通过钢轨连续不断地向 ATP 车载设备传送列车运行指令,供 ATP 和 ATO 车载单元共享使用。车载 LZB700M 单元接收来自 LZB700M 轨旁设备的数据。

ATP/ATO 车载设备由 ATP 车载单元、ATO 车载单元、ATP/ATO 天线(每个驾驶室两个)、人机接口 MMI(与车辆共用)、测速电机(每列车安装两个)和服务/自诊断等设备组成。如图 5-41 所示。

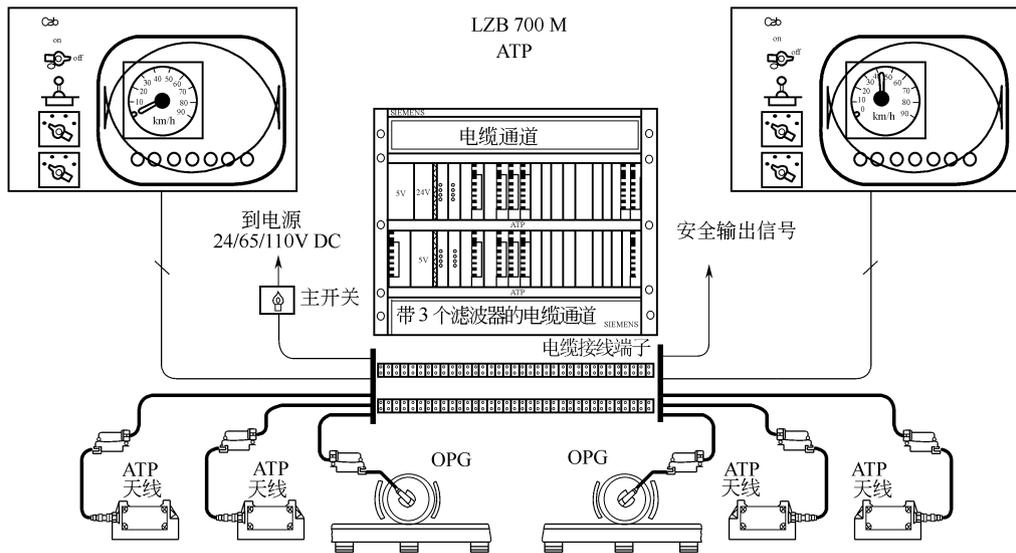


图 5-41 LZB 700 M 车载设备

OPG—速度脉冲发生器。

两个司机室中的 LZB700M 设备之间用数据通道连接。列车每端要两套天线和一套人机接口(MMI)。

#### (1) ATP 车载单元

ATP 车载单元安装在司机室的后边,它和 ATO 车载单元安装在同一个机柜内,标准机柜 600 mm×1200 mm×400 mm。

ATP 车载单元用来保证列车安全,检查列车运行与限制条件的一致性。列车超速运行将引起 ATP 车载单元执行紧急制动,并使列车停稳。这些与安全密切相关的控制,要求 ATP 车载单元必须是故障—安全的。由于这个原因,ATP 车载单元使用 SIMIS® 3116 硬件,为 2 取 2 配置。在 SIMIS 计算机中运行的 ATP 功能应用软件,被写

在 PASCAL 上,在西门子 COSPAS 实时操作系统下运行。

### (2)ATO 车载单元

ATO 子系统是在 ATP 监督下运行的非安全系统,完成列车自动运行、列车速度调整、列车目标制动、车门控制等任务。

当车载设备在 SM 模式,列车已经满足离站所需条件,且列车牵引和制动控制手柄已放置零位时,司机可以实施自动运行。ATO 能够计算出列车至下一站运营停车点的距离轨迹,同时对速度距离曲线进行优化。采用综合控制加速、巡航速度及惰行起点的办法,对列车在区间运行进行控制。列车接近车站时,ATO 借助于车站内列车定位系统(SYN 环线),对列车实施制动,并保证列车停车精度控制在误差不超过  $\pm 1\text{ m}$  的范围内。列车在区间运行及到站停车期间,限制速度曲线由 ATP 监督。

为完成 ATS 的 ATR(自动调整)功能,ATO 将根据计划刻表或调整后的时刻表,控制列车的巡航/惰行运行状态,按规定的时间控制列车在站间的运行。区间运行时间的控制是以时间单位“秒”为可控精度,以此作为 ATS 子系统对列车运行调整的基础之一。

ATO 把收集到的列车数据,传送给 PTI 再传送到 ATS。ATS 使用这些信息优化列车运行。

### (3)天线

ATP 天线安装在列车下部走行轨上方,最前端转向架的车轮前面,应以适当的角度与车辆运行方向一致水平地或同心地(一个高度)安装。ATC 天线中心应位于轨道中心。天线与列车第一轮轴间的距离在  $0.8\sim 1\text{ m}$  范围内。钢轨与天线底缘间的距离应保持在  $100\sim 150\text{ mm}$  范围内。

ATP 天线能感知通过轨道电路发出的信号。每个司机室装备有一对 ATP 天线,只有司机室在使用时 ATP 天线才被选用。一列车装备有两对天线,每对天线安装在列车的两端,列车前部前导轴的前方。

来自选定天线的信号被传到 ATP 车载单元的接收器模块。

另外,每列车应配备一个 PTI 天线,PTI 天线应安装在列车下面,在车下最前轴的前面。

### (4)速度脉冲发生器(OPG)

OPG 为 ATP 功能提供输入,用以完成所需的速度、距离和方向信息的计算。OPG 接在列车前部车辆后转向架的两个轴上。如果一个速度脉冲发生器装在前轴的左轮上,另一个应接到后轴的右轮上;反之亦然。

每个速度脉冲发生器有一个齿轮,它与车轮一起旋转。齿轮上的 16 个齿移动经过两个传感器。每个传感器有一个振荡器,产生  $45.5\text{ kHz}$  和  $60.5\text{ kHz}$  频率,具体频率由谐振电路确定。列车车轮的旋转引起两个载波周期的调制,然后传送至 ATP 车载单元进行测算。根据齿轮的旋转方向,一个载波的调制可使运算器确定车组的运行方向。

### (5)MMI 显示器

驾驶室内的 MMI 显示器安装在控制台上,靠近控制面板。驾驶员应无障碍地观察到 MMI。该 MMI 显示器不应暴露于太阳辐射。安装 MMI 显示器的开口不应挡住触摸屏的表面。MMI 显示器后面的接口应便于整备和维修。

#### (6) 控制部件

① 钥匙开关。使用钥匙开关,可以控制列车是否为人工驾驶。开关可切换到位置 0(关闭)、1(开启)、F(运行)和 R(折返)。在位置 1、F 和 R 时,都处于激活状态。

② ATO 释放。是“牵引/制动”杆和方向杆接点之间的串行连接。当“牵引/制动”杆在“0”位置上,且方向杆在“向前”位置上,则串行连接处于闭合状态(输入信号激活)。这是转换到 ATO 驾驶模式的基本条件。

③ 紧急制动。ATP 车载单元可以读取紧急制动的实际状态,紧急按钮功能可以由 ATO 继电器进行连接。

④ 紧急制动的回读。因为紧急制动要求的最大输出负荷超出了 ATP 的输出性能,因此输出被中继继电器放大。继电器的状态被 ATP 回读。

⑤ 车门控制。ATC 只有在完全 ATO 模式下才能提供自动开/关门功能。车门将在下列条件下用静态 110V 信号打开:ATP 轨旁单元允许车门向正确的一侧开启、列车停在“停车窗”内的运营停车点、列车处于完全停稳状态。如果其中一个条件没有得到满足,驾驶员手动打开车门。ATO 不提供更进一步的车门监控,比如在车门阻塞情况下的自动车门开启。如果所有车门都被关闭并且锁住后,列车控制发出关门指示。

⑥ 允许车门按钮。使用此按钮,司机可以取消 ATP 车载单元的门控功能。

⑦ ATO 启动按钮。当按下 ATO 启动按钮时,开始自动驾驶。只有在 ATP 释放 ATO 之前,才有可能转换到自动驾驶(ATO 模式)。这是由 ATO 启动按钮灯亮来表示的。把“牵引/制动”杆从“0”位置移开,或者把方向杆从“向前”位置移开,就可返回人工驾驶模式。对于驾驶和制动控制,应提供驱动、制动、ATO 模式和模拟信号的接点。这些控制线路的释放通过 ATP 的继电器实现。一旦释放,ATO 就激活 ATO 启动按钮中的 ATO 启动灯。当驾驶员对点亮的 ATO 启动按钮进行操作时,ATP 读入这一情况,并开始自动驾驶。

⑧ RM 按钮。司机可以使用 RM 按钮启动限制模式。此外,如果列车在紧急制动后停稳,则必须显示操作此按钮来取消 ATC 紧急制动的反应。

⑨ 自动折返按钮。通过自动折返按钮,司机可进行自动折返作业。

⑩ 风扇控制。风扇处于被监测状态。风扇的监控数据被存储,并可通过诊断计算机读取。

⑪ 故障开关。启用故障开关进行故障运行。故障开关的任务是把 ATC 设备和电源断开。此功能是通过几个 ATP 模块的相互作用实现的。故障开关必须有两个可连接到第二块 SECOP 板上高可用性的接点。如果 ATP 被故障开关切断,故障开关的另外两个接点可用来连接 ATP 紧急制动输出,也有必要连接牵引释放输出。

### (7) 静态输出

① 紧急制动。紧急制动输出是 ATP 最重要的功能。

② 车门释放。为防止车门在未经授权下被打开,车门在列车行驶过程中被锁住。只有在车站内指定的停止段中,且  $v=0$  时,车门才能打开。

③ ATO 释放。ATO 释放受到一个安全 ATP 输出的控制,这个输出会激活继电器,该继电器允许“牵引/制动”命令以及模拟信号输出。由于继电器的接点未被读回,一般应认为这个输出是非安全的。

④ ATP 的安全责任。当 RM 按钮灯闪动时,司机可以转换到 RM 模式,列车在司机监控下驾驶。

⑤ 牵引释放。当乘客上下的车门处于开启状态时,ATP 提供一个安全输出量,以防止列车移动。如果允许加速,就输出高电平。如果在 ATP/ATO 车载单元上的 ATP 故障开关断开,就输出低电平。

### (8) 故障条件的下运行

① ATP 的轨旁故障。ATP 的轨旁故障时,要继续运行必须满足下列条件:ATC 电源打开、ATP 开关在 ON 的位置、启动前按下 RM 按钮。在按下 RM 按钮之后,列车在 ATP 限制模式下运行,按钮中的指示灯点亮。

② 丢失与 ATP 轨旁设备的数据连接。

在满足 ATC 有效和 ATP ON/OFF 开关在“ON”的位置的条件下,如果 ATP 车载设备与 ATP 轨旁设备没有数据连接,系统将自动切换到 ATP 限制模式。在这种情况下就没有必要按下 RM 按钮。万一 ATP 轨旁设备出现故障,线路上的列车就如同在车辆段内一样运行。

③ ATP 车载设备故障。在 ATP 车载设备发生故障的情况下,ATP 将打断驾驶命令,并启动紧急制动。

④ 定位丢失。如果 ATP 丢失了列车的定位,列车将启动紧急制动。驾驶员需要按下 RM 按钮继续运行。

⑤ 列车超出停车窗。如果列车在车站上没有停在停车窗之内,驾驶员可以手动打开车门。

⑥ 丢失所有车门关闭的指示。如果 ATP 没有认可所有车门都关闭,司机需要按下“允许车门”按钮,连接 ATP 启动的车门锁闭。

### (9) 服务/自诊断设备

ATP 和 ATO 功能均与服务/诊断 PC 接口。诊断接口包括安装在 ATP 车载设备信号分配器上的连接器。这个接口为双向 RS232 串行接口,它最大传输速率是 19 200 Bd。数据以 8 数据位在这个接口上传送,一个停止位和奇数校验。

对 ATP 车载设备的运行,服务/诊断接口提供信息处理记录。它还允许安全数据(如车轮轮径和制动曲线)输入至 ATP 车载单元。数据可通过诊断接口传送至诊断

PC, 或从诊断 PC 输入。

安全数据输入功能可供与 ATP 相关的列车数据输入之用。此数据可由技术人员通过司机 MMI 功能和诊断 PC 送入, 通过口令保护变得更为方便。

其他安全数据, 如 ATP 制动速率和列车长度, 难以在 ATP 车载单元中编码, 不能用上述方法修正。

通过在诊断和维修时与 ATP 车载单元连接的诊断 PC 可输出: 来自速度监督功能的列车数据、状态信息、处理数据、记录数据以及差错信息; 来自速度监督、方向监督、车门监督、紧急停车监督、外部触发的紧急制动监督、报文监督以及内部运营监督功能的紧急制动。

#### (10) ATP 车载与车辆系统的接口

- ① ATP 和列车紧急制动系统间的接口。数字输出 110 V DC, 低速有源制动。
- ② ATP 和车门操作系统间的接口。数字输出 110 V DC, 右开门或左开门释放。
- ③ ATP 和车门控制间的接口。数字输入 24 V DC, 关闭和锁闭所有车门。
- ④ ATP 和列车紧急制动间的接口。数字输入 110 V DC, 紧急制动由列车启动。
- ⑤ ATP 和主控选择开关间的接口。数字输入 110 V DC, 主控选择开关的状态。

#### 5. 转换轨

正线与车辆段之间的联锁接口电路应考虑出、入段线的敌对照查条件。出入车辆段的线路(转换轨)纳入正线 ATC 系统监督, 出段列车进入任一条转换轨后可按 ATO 或 ATP 监督下的人工驾驶模式进入正线运行。

#### 6. 软件结构

由故障—安全计算机 SIMIS3116 和 SIMIS3216 的模块构成的硬件是软件的基础, 在这些硬件模块的基础上, 软件包括检查程序、操作系统、设备驱动程序和应用软件。

##### (1) 检查程序

在计算机每次开机的时候, 检查程序确保计算机在运行任何应用程序以前无故障。在后台以最低优先级运行的这些检查程序检测硬件错误。它们分成用户无关的(SEPP/SOPP)和用户专用的(ASSEPP/ASSOPP)模块。执行的功能来自于 SEAR。

##### (2) 操作系统

实时操作系统内核 COSPAS 是独立于硬件的。操作系统可同时处理许多程序或程序段(多任务处理的)。软件设计为具有快速处理功能, 根据优先权它管理并协调计算机功能的处理。操作系统还能向外部数据交换提供全部所需的驱动。

##### (3) 设备驱动程序

设备驱动程序用以读写外围设备, 使用的设备驱动程序取决于选用的硬件模块。

##### (4) 应用软件

应用软件执行实际的控制和安全任务。应用程序的设计是模块化的, 它以 PASCAL86 程序语言写入。计算机在西门子应用的独立实时操作系统 COSPAS®下运行。

#### 四、ATS 子系统

在正常运营条件下,全线列车的控制和监视由控制中心(OCC)的 VICOS OC 501 系统实现。VICOS 是一个用于实现 ATS 功能的计算机设备网络,主要包括控制中心的 VICOS OC 501 和车站控制室的 VICOS OC 101。

##### 1. 系统配置

VICOS OC 501 硬件基于 SUN 公司的 1 GHz,64bit Ultra SPARC 工作站,它可以确保安全性和可靠性要求,并能够实现未来的改建。通过使用冗余的以太局域网可以与所有系统部件实现可靠的通信连接。

VICOS OC 501 的基本思路是把操作控制划分为功能模块。不同的功能模块在不同的计算机或其他系统部件上运行。

##### (1) 控制中心设备

VICOS OC 501 系统硬件主要由如下部件组成:MMI 服务器(人机接口)和 TTE 服务器(时刻表编辑器)、COM 服务器(通信服务器)、ADM 服务器(系统管理服务器)、PCU(过程耦合单元)等。

VICOS OC 501 服务器之间通过 LAN 总线系统相连。VICOS OC 501 是一个多计算机系统,负责协调计算机和显示器的运行,以提高软、硬件的可用性。必要时,程序可在那些并非用于此目的计算机上运行。

VICOS OC 501 是一个具有较高自动化、高性能和功能完善的模块式结构的控制系统。它由一个用于实现 ATS 功能的 VICOS 计算机设备网络构成,根据不同的要求,可由不同的标准计算机组件组成。为实现高可用性,采用了冗余技术。

##### ① COM 服务器

VICOS OC 501 的核心是 COM 服务器,它是实时过程控制计算机,具有全部自动功能,包括:OCC 的主要控制功能、列车自动监控(ATS)功能、列车进路设定(ARS)功能、列车自动调整(ATR)功能。所有从联锁和外围系统发送来的数据都是先送到该服务器,并进行处理。自动运行控制功能如自动列车进路、自动列车跟踪和自动列车调整也在此服务器上完成。这些功能是由调度员通过 MMI 服务器进行控制的。COM 服务器也同 TTE 通信,以载入时刻表时间。

COM 服务器执行下列职责:预先处理程序数据,处理通过 RTU 从联锁设备传输来的数据;自动列车跟踪;自动进路设置;自动列车调整;通过 RTU 向联锁设备输出命令;存储日常操作纪录和报警清单。

对于 COM 服务器,采用了带有无延时转换的热备冗余。热备的 COM 服务器保证了当服务器发生故障、其功能相互替换时不丢失数据。这些服务器的软硬件都完全一样。主用服务器与其热备服务器平行工作,但热备输出被抑制。如果主用服务器出现故障,那么热备服务器就在检查到故障之后立即接管过程管理,因为它拥有当前过程数

据。一旦损坏的服务器被修复之后,它上电后进入热备模式。

### ②ADM(管理)服务器

ADM 服务器用于中央数据存储,储存系统所有的统计数据和应用软件包括主数据,提供通用数据管理和向 ATS 提供档案设施。在这个计算机上,存储属于该系统的所有系统数据并且一般不能改变,如线路示意图和配置数据。当系统启动,或当数据被改变时,当前的有效数据提供给所有其他计算机。

对于 ADM 服务器,采用了带有自动转换的备份冗余。备份服务器含有 ADM 服务器的软件和数据。ADM 服务器中的数据循环或者作为预先定义的事件的结果传递给备份服务器。必要时,备份服务器接管 ADM 的功能。在损坏的服务器修复之后,它可再次被启动作为备份。

### ③MMI(人机接口)服务器

MMI 服务器即操作员台,是操作员与运营控制计算机系统间的人机界面。在 OCC 装备 3 个调度员工作站,1 个配备给调度主任,另 2 个配备给行车调度员。每个工作站设有 2 台彩色监视器、1 个键盘和 1 个鼠标。这些工作站,具有相同的硬件和软件、控制功能以及相互备用功能。用户接口界面是以英文和中文被分成不同的显示和对话窗。在进行运营操作时,使用鼠标和键盘,可通过拖动方式从符号栏选择不同的功能,可同时打开不同窗口并根据需要移动窗口。这种多窗口方式可以同时处理多项功能。除拖动工具外,还可通过点击方式实现。

通过 MMI 服务器可进行过程数据预处理(处理通过 RTU 和 PCU 从联锁传输来的数据)、自动列车跟踪、自动进路设置、列车自动调整、命令输出,通过 PCU 向联锁输出命令、存储操作日志和报警清单。

对于 MMI 服务器,采用了无自动转换的替代操作,至少要用两台 MMI 服务器。每一台的服务器都授予专门的操作区域,用来监视和控制操作过程。如果一台计算机出现故障,该联锁区域的责任可交给其他操作员。连接更多的 MMI 可增加其可用性。

ATC 显示单元不要求是故障—安全的,采用可兼容的 PC-AT 计算机。它有一个 LCD 彩色显示器,数据进入模块,模块选定按钮可装有灯泡,当按钮为选定的设备有效或要求选定的确认(例如:ATO 启动按钮、AR 按钮),灯会亮。ATC 显示单元通过 DIN 总线接收到从 ATP 或 ATO 车载单元发出的输入,或 ATC 显示单元接收到司机通过数据进入模块化人工输入的数据。

### ④TTE(时刻表编辑)服务器

应用时刻表编辑服务器实现时间表编辑,应用时刻表数据库实现时刻表的生成、编辑、修改及存储。

TTE 服务器是为建立离线时刻表的操作员控制台。编辑好的时刻表的编译也是 TTE 服务器的任务。

时刻表操作员控制台基本上由计算机、一个彩色显示器、一个字符数字键盘和一个

鼠标组成。

#### ⑤ 模拟培训工作站

模拟培训工作站为调度员提供离线培训设备和在线调试、开通工具。

#### ⑥ 维护员工作站

维护工作站也放置在控制中心,原则上类似于一个调度员 MMI。维护员 MMI 的功能因为没有线路操作而有所简化。维护员 MMI 用于监督,可得到所有的报警列表、报告和概览。维护人员可利用系统概览功能进行系统维护。计算机和连接电缆以框图的形式表示,当相应的信息对 VICOS OC 501 有效时,设备的实际状态可以显示。

#### ⑦ 打印机

设有两个激光打印机和一个喷墨打印机用来执行打印任务。喷墨打印机用于输出连续的记录(操作日志)。彩色激光打印机用于输出所谓特殊清单(如报警信息清单),屏幕显示内容和列车运行图。

#### ⑧ 控制中心模拟盘

控制中心设大显示屏,显示屏应采用计算机控制技术,能在固定的区域显示需要的报警、行车信息(信息窗)、提示信息(含文字)。

模拟或 LED 盘通过串行的 RS422 接口与 PCU 连接,车次号窗应通过 PROFIBUS L2 来连接。如采用背投系统,则再定义相应的连接。

#### (2) 过程耦合单元 PCU

PCU 在 RTU 和 VICOS OC 501 的 COM 工作站之间传输数据。所有的 RTU 通过冗余的串口连接到 PCU。外部子系统接口,如列车无线、BAS、FAS 等,将通过一个串口连接到 PCU。

PCU 的主要部件是 SIMATIC(PLC)自动化单元。PCU 提供不同的硬件接口,并且转换通信设备间的协议。

#### (3) 车站远程终端单元 RTU

远程终端单元是连接 VICOS OC 501 系统(通过 PCU)和外围子系统的过程耦合单元。其他子系统,例如列车识别系统(PTI)、旅客向导系统(PIIS)、发车计时器(DTI)和局部控制盘(LCP),也都通过 RTU 操作。

RTU 设于正线各个设备集中站和车辆段信号设备室,正线的 RTU 主要用于连接 VICOS OC 101(车站联锁 MMI)系统与外围子系统的过程连接,同时它也负责故障降级模式下的进路设定、停站时间计算及 LCP(局部控制盘)的连接。

RTU 的主要部件是西门子 SIMATICS5-155H 双机热备可编程控制器。RTU 提供不同的硬件接口,并且在需要时转换通信设备间的协议。

RTU 取得外围设备的数据,如联锁设备的状态表示信息,把它们转换成要求的格式,并把它们传到控制中心 COM 服务器供进一步的处理。在 COM 服务器中,状态表示信息被输入内部进程映像,借助于状态表示信息,监视和控制线路的运行状态。

RTU 同样接收从 COM 服务器发出的控制命令,并输出至车站联锁 MMI 及其他外围子系统。

RTU 的具体任务如下:指令输出,协调指令输出到连接的外围单元;独立执行给外围单元的指令序列命令顺序;提供连接到 VICOS OC 501 系统中多个 COM 服务器的冗余功能;提供连接到冗余外围设备的冗余功能;处理 SICAS 计算机联锁和 ATP 的通信;处理实际列车识别号(PTD)通信;对旅客信息和指示系统(PIIS)及停站时间指示器通信的处理;读/写和处理 LCP 的信息/状态表示;在故障降级模式下负责设定进路、设定运营停车点和计算停站时间、乘客信息数据等。

车辆段 RTU 主要用于从车辆段联锁设备采集停车库轨道占用状态和进段信号机的开放状态,并把它们传到控制中心 COM 服务器供进一步的处理。

#### (4) 车站控制室设备

车站控制室内设有 VICOS OC 101 设备,用作本地控制和显示,对本地联锁区域进行监控。在一台 VICOS OC 101 出现故障的情况下,相邻联锁区域内的 VICOS OC 101 可以接管它的监控工作。VICOS OC 101 的用户界面与 OCC 的 VICOS OC 501 的用户界面一样。

所有要求联锁操作的功能都能在本地图形操作台(LOW)上执行。不仅正常的联锁操作如排列进路、转换道岔等,其他与安全相关的功能也能在本地图形操作台上执行。本地图形操作台包括 PC 和显示器。

在车辆段的信号调度室,车辆段 MMI 可给维修人员提供线路运营状态概况。

### 2. ATS 软件

VICOS OC 501 系统的软件基于 UNIX 操作系统,Solaris 2.5.1 或更高版本。服务和帮助程序,例如编辑器或输入/输出系统都在操作系统上直接运行。其上设有附加的软件层(SHELL 结构模型),基本系统包括 SOFT BUS、数据库变更系统和多计算机系统。SOFT BUS 是一个控制系统各部件间的数据交换的软件,并且使多计算机系统管理有效运行。过程数据的配置是在数据库变更系统中完成的。多计算机系统确保了服务器之间的通信。该系统主要是管理各部件的故障监视。

软件的最上层提供操作控制功能,例如操作员控制和显示的功能、自动办理进路以及列车自动追踪等。

### 3. 网络通信

VICOS OC 501 系统、联锁和外部系统的各部件之间进行通信的网络,视系统的复杂性和规模的不同而不同。VICOS OC 501 系统中的服务器和过程耦合单元 PCU 等部件相互连接是通过以太网实现的。以太网中的通信协议用的是 TCP/IP 和 ISO/OSI。计算机联锁通过 PROFIBUS(过程现场总线)与 RTU 相连。PROFIBUS 的特点是具有很高的抗电磁干扰和过电压影响的能力。

由于使用了 ISO 标准,以太网设计成一个开放的结构。其硬件和软件与要连接的

部件无关。

SOFT BUS 为 ISO 层模型中的 5 层到 7 层而创建。VICOS OC 501 软件部件通过 SOFT BUS 进行通信。通过 NFS(网络文件系统)可以获得其他系统的数据,NFS 是 UNIX 操作系统部件,采用 TCP/IP。

#### 4. 培训和演示系统

培训和演示系统包括有一个模拟 MMI(DS)和一个模拟 PC(S-PC)。

DS 在培训和演示系统中模拟 ATS 部分。DS 配置成了 DEMS。这也就是说,在 DS 中,包括了 VICOS OC 501 系统的 ADM、COM 和 MMI 功能。

S-PC 在培训和演示系统中模拟外部设备和处理过程。此部分模拟称之为 BAHNSIM,故 S-PC 也叫做 BAHNSIM-PC。

BAHNSIM-PC 和 DS 是通过以太网连接的。DS 和 BAHNSIM-PC 之间的通信与 COM 服务器和 PCU 的通信完全一样。

DS 为一个 SUN Ultra Sparc 工作站,带有两台监视器和一台用于打印操作日记和报警表格的打印机。该工作站的性能足以能执行以下描述的多达 20 列列车的 ADM/COM 和 MMI 的功能。其操作系统、SPECTRUM 的基本系统、ATS 软件模块以及 DS 上的应用数据通常都与 ATS 系统一样。

BAHNSIM-PC 是一个标准的 PC,其操作系统为 MS Windows-NT。该 PC 机的性能足以保证能模拟要求的行车间隔内的 20 列列车。BAHNSIM-PC 安装有一个 H1-bus-card 卡。

#### 5. 接口

##### (1) 车站设备接口

车站设备(本地控制盘、停站时间表示器和旅客信息盘)通过数据总线连接。

##### (2) 时钟系统的接口

主时钟系统向 VICOS-ATS 提供接口,VICOS OC 501 系统内部时钟将与主时钟系统同步,并向它的子系统(SICAS 联锁、LZB700M)的与时间相关的控制功能传递时间信息。

##### (3) 无线通信的接口

在信号系统同无线电通信系统之间传送有关列车构成和位置信息。此信息允许无线通信系统的用户根据列车车次号联系列车。不需要使用控制电路,通过使用 4 线 RS422,以半双工方式,数据接口可以完成两者之间的数据传输。

##### (4) 数据传输的接口

通信系统提供的单模式双界面 6 芯光缆用于各个车站信号设备室与 VICOS OC 501 的信息传输。

##### (5) SCADA(监督控制和数据采集系统)接口

它是 ATS 与 SCADA 系统的牵引动力的状态之间的数据交换接口。这些信息可

以使 ATC 显示牵引动力的状态。SCADA 系统与控制中心的 PCU 连接,数据通过 4 线 RS422 传输,是异步的点对点多通道的连接,以全双工的方式运行。它传输两个通信装置信息,不需要使用控制电路。

#### (6) 旅客向导系统

控制中心的 COM 服务器通过 PCU 和 OTN 与 RTU 连接。RTU 的服务器放置在联锁所在的车站,RTU 中插入具有数据总线的功能接口板,1 个接口板可以控制 4 个站。接口板通过光纤与 SIC 的 OLM 连接。1 个 OLM 通过两线的铜缆连接着 4 个 PIIS 显示器、2 个 DTI 显示器和 1 个 ET200 模块。把数据发送给旅客向导系统,接收到的信息必须由旅客向导系统分配,用以在站台上指定的旅客向导显示牌(PIIS)在到站显示器上显示列车到站时间,和在目的显示器上显示列车的目的地。发车时间表示显示器(DTI)应为在车站的单列车的司机显示发车时间。

### 五、试车线

试车线应设置 FTGS 的室内设备和室外设备、ATP/ATO 轨旁单元、用于紧急停车时与车辆段联锁系统的接口、精确停车的现场设备(SYN 环线)、PTI 环线、电源设备等故障诊断及维修工作站各一套。试车线将安装与正线上同样的 ATP/ATO 轨旁设备。试车线没有使用联锁。为替代联锁,将使用一台非安全试验 PC(仅用于试车线)模拟必要的联锁功能。

车辆段计算机联锁系统负责对试车线的进路设定。试验计算机模拟 ATP 的轨旁单元联锁接口,使 ATP 能够完成各项试验。

为了测试车辆,一典型的速度曲线将永久存储在 ATP 轨旁单元。在试车线的两端,在行驶的每一方向定制了运营停车点。ATP 的定位环线将安装在两端。

## 第七节 西门子的 CBTC 系统

西门子的 CBTC 系统是一个安全、可靠、先进、适应线性电机运载、基于无线通信的列车运行控制系统。它由 SICAS 计算机联锁系统、TRAINGUARD MT 移动闭塞式列控系统(ATP/ATO)、VICOS OC 系统(ATS)组成。它与前述西门子的准移动闭塞 ATC 系统的区别在于采用无线通信构成移动闭塞,而前者采用数字编码轨道电路构成准移动闭塞,它们的计算机联锁系统及 ATS 是基本相同的。西门子的 CBTC 系统现应用于广州轨道交通 4 号线和 5 号线。

### 一、系统结构

西门子的 CBTC 系统由 VICOS、SICAS、TRAINGUARD MT 三个子系统组成。它们分为中央层、轨旁层、车载层四个层级,分级实现 ATC 功能。

中央层分为中央级和车站级。在中央级,实现集中的线路运行控制;在车站级,为车站控制和后备模式的功能提供给车站操作员工作站(LOW)和列车进路计算机(TRC)。

轨旁层沿着线路分布,它由 SICAS 计算机联锁、TRAINGUARD MT 系统、信号机、计轴器和应答器等组成。它们共同执行所有的联锁和轨旁 ATP 功能。

通信层在轨旁和车载设备之间提供连续式和/或点式通信。

车载层完成 TRAINGUARD MT 的车载 ATP 和 ATO 功能。

西门子的 CBTC 系统结构如图 5-42 所示。

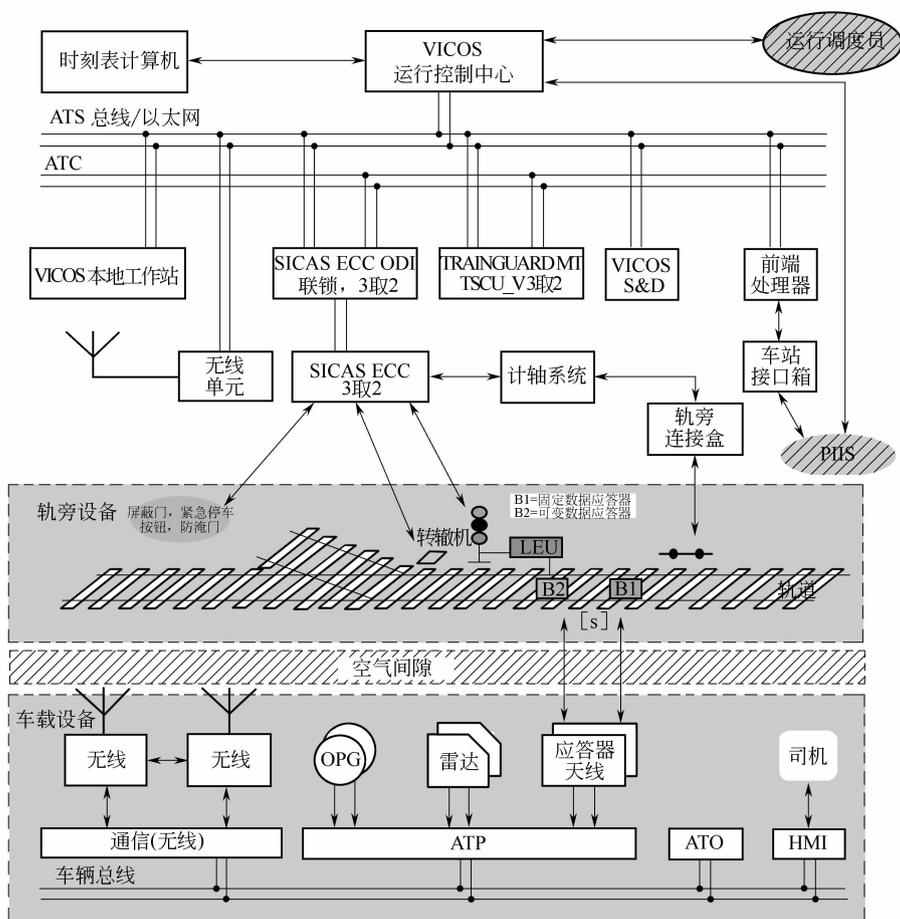


图 5-42 西门子的 CBTC 系统结构

ECC—元件接口模块;ODI—操作/显示接口;OPG—速度脉冲发生器;HMI—人机接口;  
LEU—轨旁电子单元;S&D—检查和诊断;TSCU\_V—轨旁安全计算机单元。

## 1. VICOS

VICOS 分为中央级的 VICOS OC 501 和车站级的 VICOS OC 101。

HMI是列车调度员的操作台。来自 SICAS ECC(ECC——元件接口模块)、TRAINGUARD MT(MT——城市轨道交通)和其他外围系统的动态数据汇集在 VICOS OC 501 的 COM 服务器并处理,ADM 服务器负责中心数据存储和报告,FEP(前端服务器)负责将其他外围系统接入 ATS 服务器。

在每个联锁站,配有高可靠性的冗余 PEP 用于采集来自其他外部子系统(如旅客向导系统 PIIS、发车计时器 DTI、综合后备盘 IBP)的信息。车站 FEP 提供一个时钟信息到 PIIS。这些现场信息再被传输到 OCC 的 ATS 计算机。其他相关系统,如车辆段联锁、主控系统 MCS、无线传输等则通过一台放置在 OCC 的 FEP 来处理,环境控制系统 EMCS 和 SCADA 的接口信息由 MCS 提供。

LOW 和 TRC 在 ATS 系统失效情况下将提供后备模式。

用于 LOW 的 VICOS OC 101 系统,其系统环境也是基于标准硬件和系统体系结构。LOS 采用个人计算机和 Windows 2000 操作系统,它与 SICAS ECC 联锁直接相连。

## 2. SICAS

SICAS 主要包括列车进路计算机(TRC)和车站操作员工作站(LOW)。计算机有连接室外设备和轨道空闲检测系统接口。

SICAS 使用联锁 PROFIBUS 总线用于 SICAS ECC 的内部通信。LOW、TRC 和 S&D 系统直接与 SICAS ECC 和 TRAINGUARD MT 通信。

SICAS ECC ODI(ODI——操作/显示接口)和 TRAINGUARD MT 轨旁设备之间的通信通过一个 ATC PROFIBUS 总线实现。

SICAS 和 TRAINGUARD MT 总线是双通道双向的光纤通信连接。每个通道独立工作并且提供故障—安全的通信。使用两个通道是为系统的高可用性提供冗余。

## 3. TRAINGUARD MT

TRAINGUARD MT 系统包括 ATP/ATO 和通信设备。

ATP/ATO 分为轨旁单元和车载单元。轨旁 ATP 系统与联锁系统、ATS 系统、列车(经过轨旁-列车通信系统)以及相邻的 ATP 系统有双向接口。通过轨旁到列车的通信网络,在轨旁单元和车载单元之间建立了双向通信。

在车载结构中,两个相互独立的无线系统的列车单元(TU)分别安装于列车前后的驾驶室内,作为轨旁无线单元 AP 的通信客户端。这两个 TU 通过一个点对点的以太网连接,不

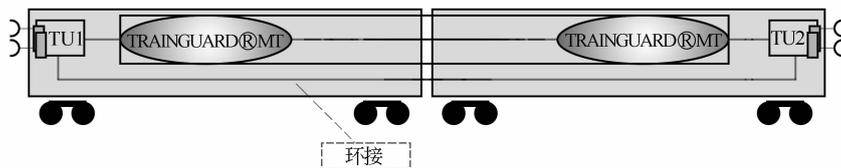


图 5-43 车载通信链路

TU—列车单元。

间断地相互通信。同时,这两个 TU 分别连接到列车前后的列车控制系统,如图 5-43 所示。

## 二、系统功能

系统的功能包括 ATS 功能、联锁功能、ATP/ATO 功能、列车检测功能、试车线功能、培训和模拟功能。

### 1. ATS 功能

ATS 除了自动进路排列(ARS)功能、自动列车调整(ATR)功能、列车监督和追踪(TMT)、时刻表(TTF)、控制中心人机接口(HMI)和报告、报警与文档等主要功能外,还改进和增加了以下功能:在 CTC 通信级使用双向通信通道;在 ATS 后备模式下车站级可以输入车次号;适应移动闭塞的控制要求;TRC(列车进路计算机)取代 RTU 的自动进路排列功能;提供独立的冗余局域网段;在 ATS 显示列车状态信息;与 MCS(主控系统)的接口;与车辆段联锁的接口;提供操作日志(含故障信息)的归档功能;设两个控制中心;车辆段调度员 ATS 工作站进行出库列车自动预先通知,在规定时间内无列车在车辆段转换轨时自动报警。

正常情况下,各线的控制中心行使行车调度职权。当各线控制中心的 HMI 丧失有效的行车调度和控制功能或当运营需要时,系统应能切换至综合控制指挥中心进行调度和控制。系统的切换能人工操作,也可以自动进行,但自动切换时必须经过人工确认。

### 2. 联锁功能

联锁除了轨道空闲处理(TVP)、进路控制(RC)、道岔控制(PC)和信号机控制(SC)等主要功能外,联锁设备与 ATS 系统相结合,可实现中央 ATS 和联锁设备的两级控制。根据运营要求,应能自动或人工进行进路控制。其中人工控制分为中央 ATS 人工和联锁设备人工两类,自动控制分为中央 ATS 自动、联锁设备自动。人工控制进路优先级高于自动控制进路。根据需要可进行联锁与中央 ATS 两级控制权的转换。控制权的转换过程中及转换后,未经人工介入各进路的原自动控制模式不变。在特殊情况下,可不经控制权的转换操作强制进行联锁设备的控制。在车站级控制的情况下,如中央级功能完好,仍可设定或者保留中央自动功能(如 ATR、ARS)。在车站 ATS LAN 与中央 ATS 之间通信中断的情况下,列车将在本地工作站 LOW 和列车进路计算机 TRC 的操作下继续运行。ATP/ATO 功能将根据缺省的停站时间和缺省的自动列车调整值在连续式通信模式和点式通信模式下工作,联锁功能继续。

### 3. ATP/ATO 功能

ATP/ATO 除了 ATP 轨旁、通信、ATP/ATO 车载等主要功能外,还改进和增加了以下功能:不使用 PTI 的信息交换,相应的功能可以通过双向通信通道在 CTC 实现;适应线性电机系统的线路条件,满足与线性电机接口的新要求;提供 ATO 的冗余;ATO 控制列车的原理适应移动闭塞的要求。

因此,TRAINGUARD MT 的核心功能是移动闭塞列车间隔功能,根据线路的空

闲状态和联锁状态(道岔状态、进路状态、运行方向、防淹门状态、PSD 状态、ESB 状态),产生移动授权电码。

正线区段(包括车辆段出入段线、存车线、折返线)具有双线双方向有人全自动驾驶运行功能。

列车进站停车时采取一级制动(连续制动曲线)的方式,按一级制动至目标停车点,中途不得缓解,且在进站前不会有非线路限速要求的减速台阶。

#### 4. 列车检测功能

采用计轴器(AXC)进行列车检测。

信号系统具有完善的远程故障自诊断功能,对全线的中央设备、车站设备、轨旁设备、车载设备以及车-地通信设备进行实时监督和故障报警,能准确报警到可更换单元(插拔件)等,便于及时更换,并能根据用户需要经通信传输通道在车辆段维修中心实施远程故障报警和故障诊断。

### 三、系统特点

CBTC 系统的最主要特点是采用无线通信,构成移动闭塞。

TRAINGUARD MT 是提供 ATP/ATO 功能的强大而先进的系统。它是一个模块化的系统,可以适用于不同的需要。

#### 1. 连续式和点式通信方式并存

连续式通信方式和点式通信方式可以单独工作或同时使用。

连续式通信是使用无线进行轨旁和列车间的通信。配合连续通信通道,列车根据移动闭塞原理相间隔,提供最小运行间隔,列车受 ATP/ATO 控制,构成移动闭塞。

点式通信则不依赖于连续通信通道,而采用基于应答器的点式通信通道从轨旁向车上传输数据。配合点式通信通道,列车根据固定闭塞原理相间隔,并受 ATP/ATO 控制,构成固定闭塞。固定闭塞运行可作为移动闭塞运行的后备模式。

#### 2. 混合运行

装备和未装备 ATP/ATO 的列车可以在同一线路上运行。

被司机人工驾驶的列车可以与采用 ATO 自动驾驶的列车混跑。

#### 3. 可升、降级

系统可以容易地从基本的运行模式(点式,固定闭塞)升级到高性能的等级(连续式通信,移动闭塞),直到无人驾驶的运行等级(MTO)。

在故障时,可适度降级,不同的运行等级可以使用一个比较低的等级作为后备级,例如:移动闭塞/连续通信的 ATP/ATO→固定闭塞/点式通信的 ATP/ATO→使用信号机的联锁级。

#### 4. 可扩展性

一条装备 TRAINGUARD MT 的线路可很容易地扩展,增加车站和列车。

## 5. 适应性

TRAINGUARD MT 能够处理具有不同特性的各种类型的列车。例如,4 车编组列车和 6 车编组列车,不同的加速和减速参数,不同的列车长度。列车将会被依照它们各自的特性最佳地驾驶。

## 四、通信级别

### 1. 连续式通信级

在连续式通信级,TRAINGUARD MT 提供最先进的基于移动闭塞原理的列车安全运行。轨旁到列车双向通信,使用无线。列车通过检测和识别应答器来确定自己的位置。对于列车采用连续式控制。在 ATO 系统控车后(AM 模式),ATO 系统完全自动控制列车运行直至终点站。

在 SM 或 AM 驾驶模式下,列车以移动闭塞运行,保持列车间的安全距离。列车上有一个被称为线路数据库(TDB)的铁路网络图,TDB 中包含应答器的位置数据。结合来自测速电机和雷达的位移测量,每个车载 ATP 计算本列车的位置,该位置是列车在线路上的绝对位置,而不是对一个固定闭塞分区的占用,并通过连续式通信发送位置报告给轨旁 ATP。轨旁 ATP 追踪列车,基于本列车和前行列车的位置报告和轨旁检测的空闲信息,评估所有列车的移动条件,并通过连续式通信系统发送一个连续式通信级移动授权报文到车载 ATP。该移动授权符合移动闭塞原理的安全列车间隔,并且满足其他来自 SICAS 的联锁条件以及其他的防护点,比如防淹门的状态、道岔的状态。

SICAS 联锁是底层的列车防护系统,也负责移动闭塞下的列车安全。ATP 负责列车间隔的安全职责,并连续监督联锁状态。在移动闭塞下,列车同样运行在联锁设定的进路上。

当联锁条件中不满足时,列车的移动授权不能越过信号机。同时,列车运行时连续地监督联锁条件。

### 2. 点式通信级

点式通信级可以作为连续式通信级的后备模式,或在部分对于列车行车间隔有较低要求、允许使用固定闭塞的线路使用。在点式通信级,ATO 系统完全自动控制列车从一个车站运行至下一个车站(AM 模式)。

在点式通信级,使用应答器进行轨旁到列车的通信。

此时,移动授权来自信号机的显示,并通过可变数据应答器由轨旁点式地传送到列车。列车在线路的定位与在连续通信级一样,考虑 TDB 中所有的详细线路描述,自动地服从所有的线路限速。

### 3. 联锁级

如果连续式或点式通信级故障,作为降级运行模式,可由 LED 信号机系统为列车提供全面的联锁防护。此时,没有轨旁到列车的通信。

## 五、无线系统配置

无线系统管理通信和它自身的可用性。无线系统是基于严格的分层概念建立的,允许根据项目进行特定的调整,以适应不同的应用、标准、技术和组件。无线系统具有完全冗余的结构,以满足实际要求的可用性。

无线系统的结构如图 5-44 所示。

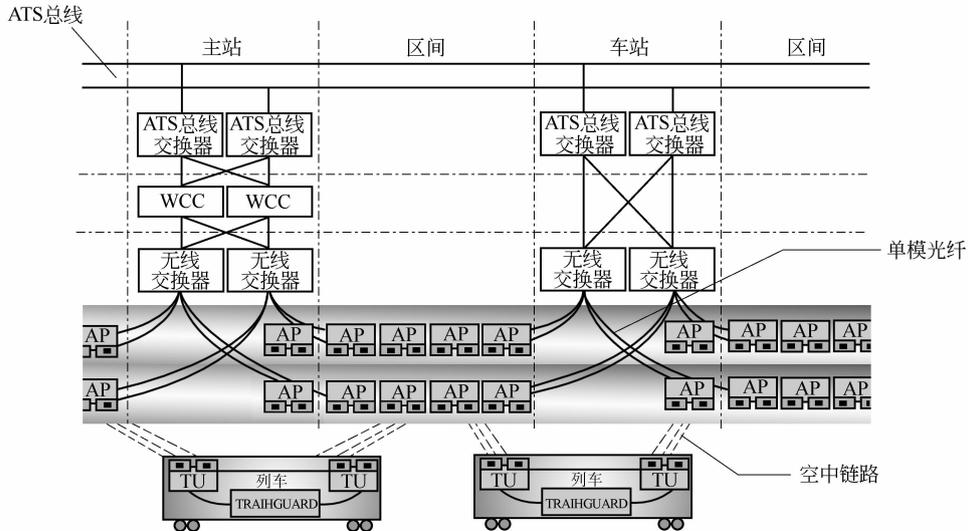


图 5-44 无线系统的结构

WCC—轨旁通信控制器;AP—轨旁无线单元;TU—列车单元。

无线系统通过两个独立的 ATS 总线交换器连接在两个独立的 ATS 总线通道上。ATS 总线对无线系统和轨旁 ATC 系统进行物理连接。

在一条轨道交通线路的整个无线系统中,有两套 WCC 安装在一个车站内,此车站称为主站。在系统的主站中,两套相互独立的 WCC 通过相应的 ATS 总线交换器连接在两个 ATS 总线通道上。WCC 交叉冗余地连接在 ATS 总线上,对整个无线系统进行管理。

在主站内,两个相互独立的无线交换器交叉冗余地连接到 WCC。在其他安装有无线设备的车站,无线交换器通过交叉冗余连接,直接连接在 ATS 总线交换器上。

每个无线交换器连接着分布于相应轨道中的多个相互独立的轨旁接入点 AP。每个 AP 通过单独的单模光纤连接到无线交换器,形成星形拓扑结构。同样的 AP 还连接到第二个无线交换器上,形成完全冗余的星型拓扑结构。

每个 AP 包含两个相互独立的无线单元,两者以冗余模式进行工作。

轨旁无线单元通过空中链路将轨旁和运行中的车辆信息连接起来。

在列车上,两个列车单元中的每一个使用两个相互独立的列车无线单元,通过空中

链路冗余地连接到轨旁 AP。同时,两个列车单元通过空中链路连接到轨旁不同的 AP,提供了冗余和多样性。

无线系统使用三个频道,不同频道的覆盖范围重叠,而相同频道的覆盖范围则分开,见图 5-45。

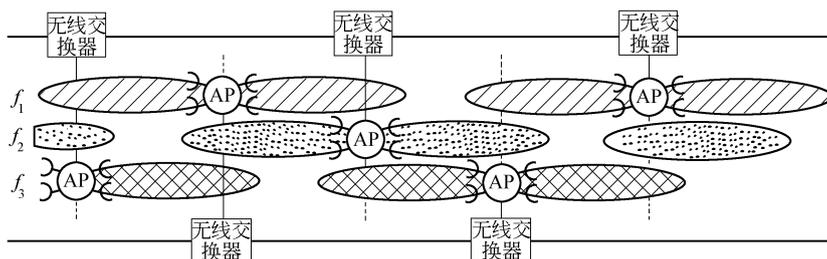


图 5-45 轨旁接入点和频带的排列

## 第八节 US&S ATC

由美国 US&S 公司研制的 ATC 用于上海地铁 2 号线和天津滨海线。

### 一、US&S 的 ATC 系统概述

#### 1. 基本配置

ATC 系统基于无绝缘的音频数字轨道电路系统 (AF-904), 以实现列车检测和机车信号。安全轨旁逻辑使用 MicroLok II 系统, 由安全微处理器来实现。非安全逻辑使用非安全逻辑模拟器 (NVLE) 来实现。车载列车自动控制用 MicroCab 车辆软件包来实现。

轨旁信号系统包括一个广域网系统。广域网在轨旁设备室和控制中心之间传输命令和表示。

#### 2. ATC 系统设备的布置

组成 ATC 系统的设备位于轨旁、控制中心和列车上, 图 5-46 为 ATC 系统的示意图。

轨旁信号系统控制设备被安装在轨旁和指定区域的正线集中站信号设备室 (SER) 中。轨旁系统包括: AF-904 轨道电路和 PF 轨道电路、MicroLok II 安全联锁控制器和轨道通信控制器、非安全逻辑模拟器、列车到轨旁通信系统。

联锁集中站包括站台、轨道渡线和指示列车转线所必需的轨旁信号机。车站控制计算机 (SCC) 安装在车站控制室 (SCR) 中, 车站值班员能够通过 SCC 接管控制中心对联锁的控制, 由本地完成联锁操作。SCR 里的 SCC 通过局域网连接到 NVLE。SCC 允许维护人员在 SCC 监视器上观察控制区域的联锁和轨道状态, 允许紧急状态时或进行维护时, 车站值班员在本地能够进行控制。

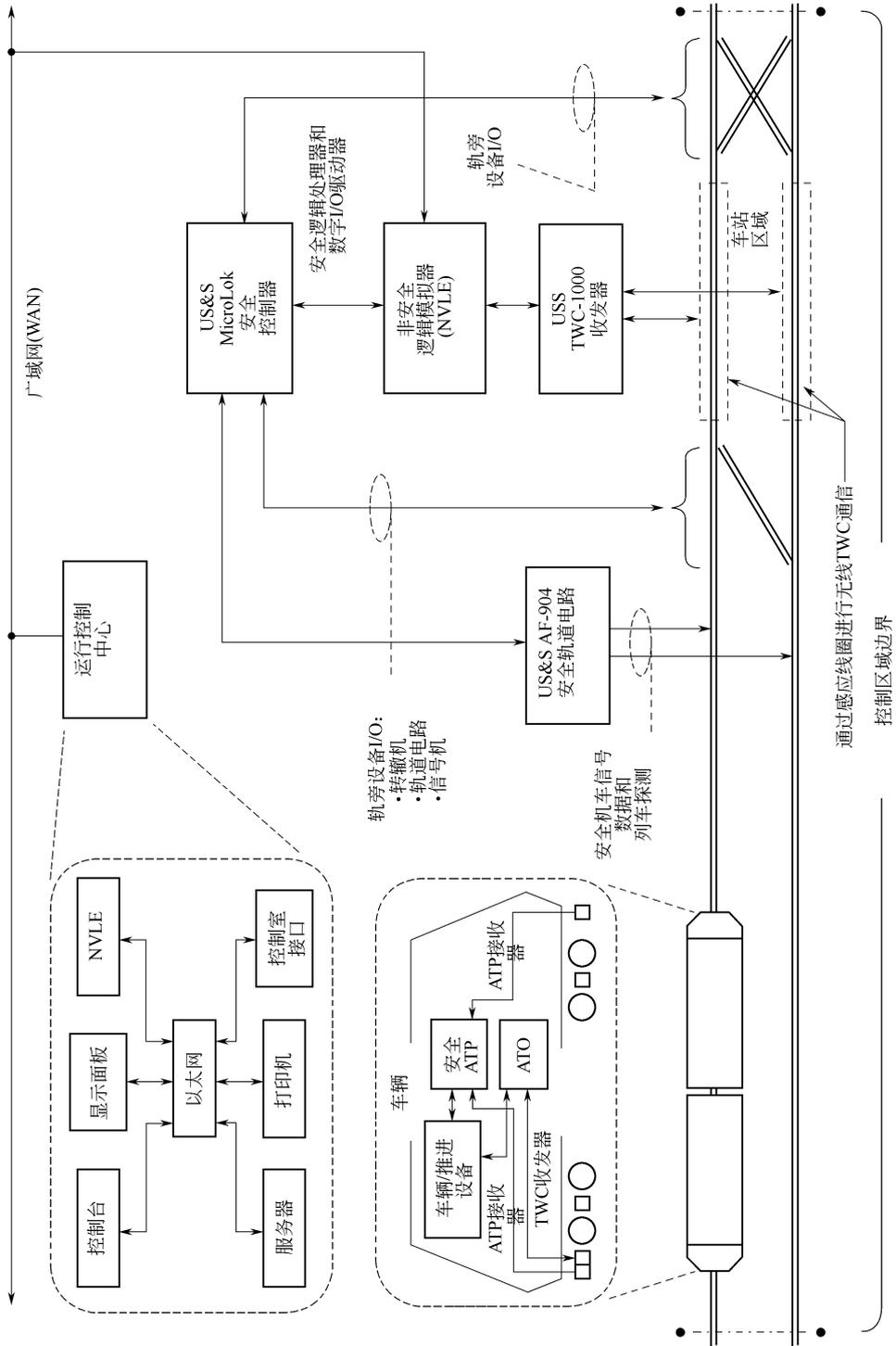


图 5-46 ATC 系统示意图

工频(PF)轨道电路在道岔区段使用,主要是进行列车检测。在渡线和会让线,采用 PF 轨道电路来检测列车,采用 AF-904 机车环线来向车载 ATC 系统传送 ATP 速度数据。

列车到轨旁通信系统(TWC)在车站和车场区域对列车提供控制和排路信息,同时允许车辆车况信息发送或接收于列车和 NVLE。

正线和车辆段的每一个道岔都有转辙机,用来控制联锁区列车运行的方向。联锁道岔由进路联锁电路来控制,此电路包含由本地计算机终端送来的车站值班员控制。

控制中心 ATC 系统由服务器、工作站和局域网等组成。

控制中心和轨旁、位于车站的轨旁信号设备室(SER)之间的通信是通过广域网来实现的。

非安全逻辑模拟器(NVLE)作为本地控制面板和非安全控制器,进行与 ATS 系统之间的中央 ATS 命令与轨旁表示的收发。列车上车载设备和轨旁之间的通信通过 TWC 来实现。

车载 ATC 系统由 MicroCab、特征显示单元(ADU)、ADU 电源、ATP 接收线圈和 TWC 天线组成。MicroCab 通过接收线圈接收轨道电路送来的 ATP 命令。车载设备和轨旁之间的通信通过 TWC 来实现。

## 二、ATC 轨旁子系统

轨旁信号系统控制设备安装在轨旁和指定集中站的 SER。

### 1. 设备组成

典型的轨旁联锁系统构成如图 4-23 所示。

轨旁系统包括:联锁 MicroLok II 安全子系统、轨道 MicroLok II 安全子系统、AF-904 轨道电路、PF 工频轨道电路、TWC 子系统、非安全逻辑模拟器(NVLE)。

ATP 功能主要是由 MicroLok II 和 AF-904 系统完成的。

#### (1) MicroLok II 安全联锁控制系统

MicroLok II 是基于安全微处理器的计算机系统和接口/通信系统。它被用作安全联锁控制器和 AF-904 系统的串行通信中介。

“联锁 MicroLok II”专门用来为轨旁联锁逻辑(转辙机、信号机等)执行安全功能。此系统由 68322 安全微处理器单板机来控制,并基于一种特定的安全结构,软件多样,且带有诊断。

与联锁设备的接口通过专门的 I/O 板来处理。每个 MicroLok II 系统都由一个常规单元和一个后备单元构成,其中一个处于运行状态,而另一个作为冗余后备。当在线系统发生故障时,冗余系统会自动变成在线系统。在线单元将监视后备冗余单元的性能状况,如果冗余单元不可用,向控制中心报警,本地显示器上也有显示。

“轨道 MicroLok II”主要用来提供 AF-904 系统的速度数据逻辑控制。AF-904

轨道占用表示通过主/从串行通信连接从一个轨道电路传到另一个轨道电路。该串行通信连接由这些 MicroLok II 系统来进行管理。在这些单元中,基于 68322 的 CPU 板提供了串行通信通道和相关软件,并且不使用 I/O 板。

可由 MicroLok II 设置区域限速,一旦设置了限速,集中站的轨道 MicroLok II 就将产生到速度限制区的新的“目标”距离和实际的目标限制速度,并通过 AF-904 轨道电路传送给接近限速区域的列车。限制区域内的限速列车通过 TWC 天线和环线以预定的载频向轨旁发送零速(速度为零)信息。来自轨道电路的安全信息和来自 TWC 的非安全信息促使 AF-904 向列车和站台屏蔽门发送“开门”命令。

当 MicroLok II 系统发生安全失效时,AF-904 设备将切断串行通信链路,导致系统降级到最限制状态。系统失效时,所有的速度命令都强置为零。备用系统在条件允许时即可接替失效系统。错误日志特性对 MicroLok II 是有用的,系统可利用它来诊断故障。

联锁 MicroLok II 检测相关设备的常闭接点,一旦断开即激活紧急停车系统。轨道 MicroLok II 收到紧急停车命令后,将发送给影响区域内的列车的数据信息中的“线路速度”、“目标速度”设置为零。

### (2)非安全逻辑模拟器(NVLE)

NVLE 安装在每个站的信号设备室,它允许维护人员在监视器上观察区域和轨道状态,并当出现紧急状况或需要维护时在本地采取控制。

车站信号设备室 NVLE 在控制中心和联锁设备之间提供一个接口。

在每个与联锁相关的 SER 中有两套 NVLE 子系统。其中,一个用于正常运行,另一个用作冗余后备。由 SER 中控制联锁的设备实现在线单元和备用单元之间的自动故障倒换。从在线单元到备用单元的故障倒换也可由控制中心通过远程“复位”命令实现。NVLE 有一个内置的数据日志功能,所有基本的数据都记录在日志中用于排除故障和维护。

NVLE 通过广域网对控制中心和其他 NVLE 进行通信。NVLE 通过直接连接到 MicroLok 子系统和 TWC 来进行通信。

端口等效器程序用于监督或等效任何连接到 NVLE 的串口。这些程序用于便携式计算机,通过串口校验输入/输出位的功能是否正确。NVLE 上的任何测试或操作都可通过密码授权进行。所有支持工具连同标准操作系统都是 NVLE 软件的一部分。软件平台与控制中心 ATC 使用的是一样的。

### (3)AF-904 音频数字轨道电路

AF-904 音频数字轨道电路是一个安全子系统。它在正线上用于确定轨道占用,并将此信息传送到联锁 MicroLok II 系统(通过轨道 MicroLok II 系统)。AF-904 还用来对车载信号数据进行编码,并传送到轨道上,以便车载 MicroCab 设备接收。每一 AF-904 系统都通过相邻轨道电路的末端进行通信。

#### (4) 车-地通信收发器(TWC)

TWC 是一个基于微处理器的系统调制解调器,它通过一个专门的车载天线和轨旁感应线圈提供同轨旁之间的双向通信。图 5-47 为 TWC 子系统的示意图。

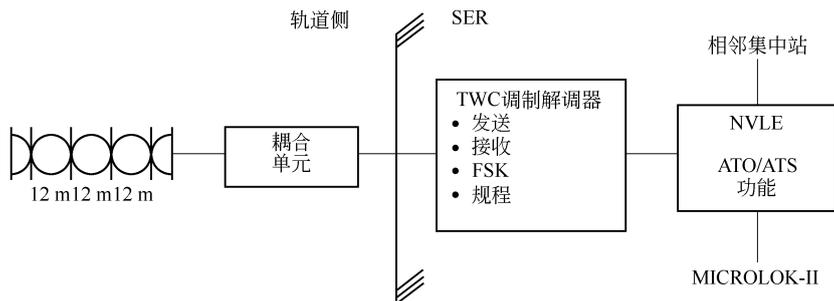


图 5-47 TWC 子系统

TWC 子系统用于实现与站台上的列车的双向通信,完成下列 ATO 功能:程序停车、运行图和时刻表调整、轨旁/列车数据交换、目的地和进路控制功能。TWC 与 NVLE 共同作用完成这些功能。

TWC 子系统车-地通信交换的数据是:①列车到轨旁:分配列车号、目的地、车门状态、车轮磨损表示(从 ATP 到控制中心)、在接近车站时制动所产生的过量车轮滑动、紧急情况或异常情况(比如不正确的开门)。②轨旁到列车:车辆车门开启命令、列车号的确认、列车长度、性能修改数据、出发测试指令、车门循环测试、主时钟参考信号、跳停指令、搁置命令、申请车载系统和报警状态。

TWC 设备使轨旁和列车间的双向数字数据传输成为可能。数据传输是通过电缆环线间的磁耦合完成的,电缆环线位于轨条和安装在列车下部的天线之间。电缆环线安装在所有车站轨道电路中、所有存车线轨道电路中,以及车辆段/正线分界处的转换轨中。在车站,TWC 环线长度为站台有效长,每隔 12 m 转换一次。轨旁 TWC 是主单元,使用单独载频的 FSK 调制技术来完成发送和接收功能,发送和接收采用相同的载波频率。车载 TWC 单元是从单元,只有轨旁单元才能发起与车载单元之间的通信,车载单元仅当接收到合法消息之后才作出回应。车载单元对于包含其 PVID 或一般广播消息的消息作出回应。

TWC 系统是非安全的,但是在车辆和轨旁之间既传输安全数据,也传输非安全数据。TWC 将此数据提交给合适的子系统。

轨旁 TWC 单元通过串行链路和 NVLE 接口。NVLE 含有缺省的时刻表,如果控制中心离线,则 NVLE 使用该时刻表。NVLE 处理所有来自机车的接收数据以及所有发往机车的数据。所有 TWC 数据都要送往控制中心,以便记录/处理。

每个车站站台都有一个独立的 TWC 环线,当列车位于站台轨道时,可利用环线

完成机车和轨旁之间的非安全信息交换。TWC 环线转换器用于保证精确的车站停车。除了车站站台,车库的入/出轨也装有 TWC 环线。通过这些车站站台环线进行通信的 TWC 模块与 NVLE 子系统通过 RS485 非安全端口直接连接。

TWC 子系统包括以下设备:

①轨旁环线

TWC 子系统利用轨条间的轨旁环线与机车通信。

②轨道侧的耦合单元

该单元将发送的或接收的数据耦合到环线间,TWC 调制解调器位于轨道一侧。

③SER 中的 TWC 调制解调器

TWC 调制解调器是基于微处理器的控制单元,建立和管理耦合单元和 NVLE 之间的通信。

调制解调器格式化信息规程,完成 FSK 调制任务。波特率可选择,最大为 9 600Bd。TWC 调制解调器使用 60 kHz 载频。

TWC 收发器轨旁调制解调器不冗余。不管这一单元发生怎样的故障,列车都不会停止。列车和轨旁的对话的缺失由一个报警器来指明,在这种情况下,需要更换 TWC 调制解调器。为调制解调器提供输入的计算机同样是非冗余的。

列车通过 TWC 天线和环线以预定的载频向轨旁发送零速(速度为零)信息。来自轨道电路的安全信息和来自 TWC 的非安全信息促使 AF-904 向列车和站台屏蔽门发送“开门”命令。

车辆段装备着用户提供的安全和非安全设备。车辆段设备室里会安装一个本地 ATS 终端监视器。与用户提供的车辆段信号系统接口是通过并行输入和输出,在 MicroLok II 系统和车辆段联锁系统之间由接点进行联系。当列车执行进入/退出操作时,系统会检查转换轨,以避免建立任何敌对进路。

在转换轨,为了妥善运行,检查所有的车辆到轨旁功能。

## 2. 数据通信

从 MicroLok II (正常和备用)出来的安全串行 RS485 口是物理连接。这个公共的端口与道岔设备连接。道岔设备的两个输出串口与光纤多路器上的两个隔离 I/O 通道连接。多路器设备支持网络的冗余细缆。

轨旁 ATC 系统通信即 SER 间和 SER 与控制中心间的通信,包括安全和非安全的通信,都是由数据通信子系统完成的。可分为两大类:ATP 通信和 ATO 通信。

冗余的光纤环状网络支持相邻集中站之间安全的和非安全的信息交换。ATC 光纤网络使用专用光纤。与相邻集中站通信所需要的 ATC 设备通过 I/O 电路板接入光纤多路复用器。冗余的 I/O 电路板可满足需要。同样的冗余的光纤环状网络支持 SER 设备和控制中心之间非安全的信息交换。与诸如 NVLE 通信所需要的 ATC 设备通过 I/O 电路板接入光纤多路复用器,I/O 电路板支持局域网配置。

### (1) ATP 通信

#### ① 联锁 MicroLok II 单元和轨道 MicroLok II 单元的通信

一般情况下联锁 MicroLok II 向轨道 MicroLok II 单元发送下列数据:相邻联锁区轨道电路状态、速度限制、设置紧急停车、复位速度限制和紧急停车、运行方向状态。

从轨道 MicroLok II 接收轨道占用状态和站台轨道停车信息。

#### ② 相邻联锁 MicroLok II 单元之间的通信

联锁 MicroLok II 单元和相邻集中站的 MicroLok II 单元(从和主)通过光纤环状网络进行通信,发送和接收轨道状态、紧急停车状态和运行方向状态等信息。

#### ③ MicroLok II 单元和 NVLE 单元的通信

MicroLok II 单元接收 NVLE 单元的下列信息:进路申请、道岔控制申请、操作模式状态、设置速度限制、复位速度限制。

MicroLok II 向 NVLE 单元发回下列信息:轨道状态、报警状态、道岔表示、运行方向和锁闭、紧急停车状态。

#### ④ 轨道 MicroLok II 单元的通信

轨道 MicroLok II 单元与主联锁 MicroLok II 通过 RS485 链路通信,数据交换内容同上述。

轨道 MicroLok II 单元与 AF-904 模块通过 RS485 链路通信,双断配置,采用安全的串行通信链路在各个单元之间传送数据。数据流包括地址位、最大到 126 位的数据和 24 位 CRC。

#### ⑤ MicroLok II 与道岔设备的通信

MicroLok II (正常和备用)的安全串行 RS485 端口与道岔设备连接。道岔设备的两个输出串口与光纤多路器上的两个隔离 I/O 通道连接。

### (2) ATO 通信

NVLE 通过冗余的以太网与中心和邻近的地点连接。

NVLE 和相邻集中站的 NVLE 单元(主或从)通过光纤环状网络进行任一方向的通信。NVLE 和控制中心通过以光纤环状网络接口的局域网通信,交换的信息包括控制和表示。

NVLE 与 MicroLok II 单元通过 RS423/RS232 链路通信;和两个方向的相邻集中站交换 TWC 信息;与车载设备通过站台 TWC 调制解调器交换数据。

### (3) 数据传输规程

数据传输系统的通信协议分为四大类:类型 1、类型 2、类型 3 和安全型。图 5-48 所示为各种通信链路使用的协议类型。类型 1、2、3 用于轨旁 NVLE 和控制中心交换各种命令和指示,安全型串行协议用于轨旁配置中 ATP 子系统间的通信。

#### ① 类型 1

类型 1 数据协议定义为 16 位 CRC,外加一个时间顺序和两个操作员完成命令时采

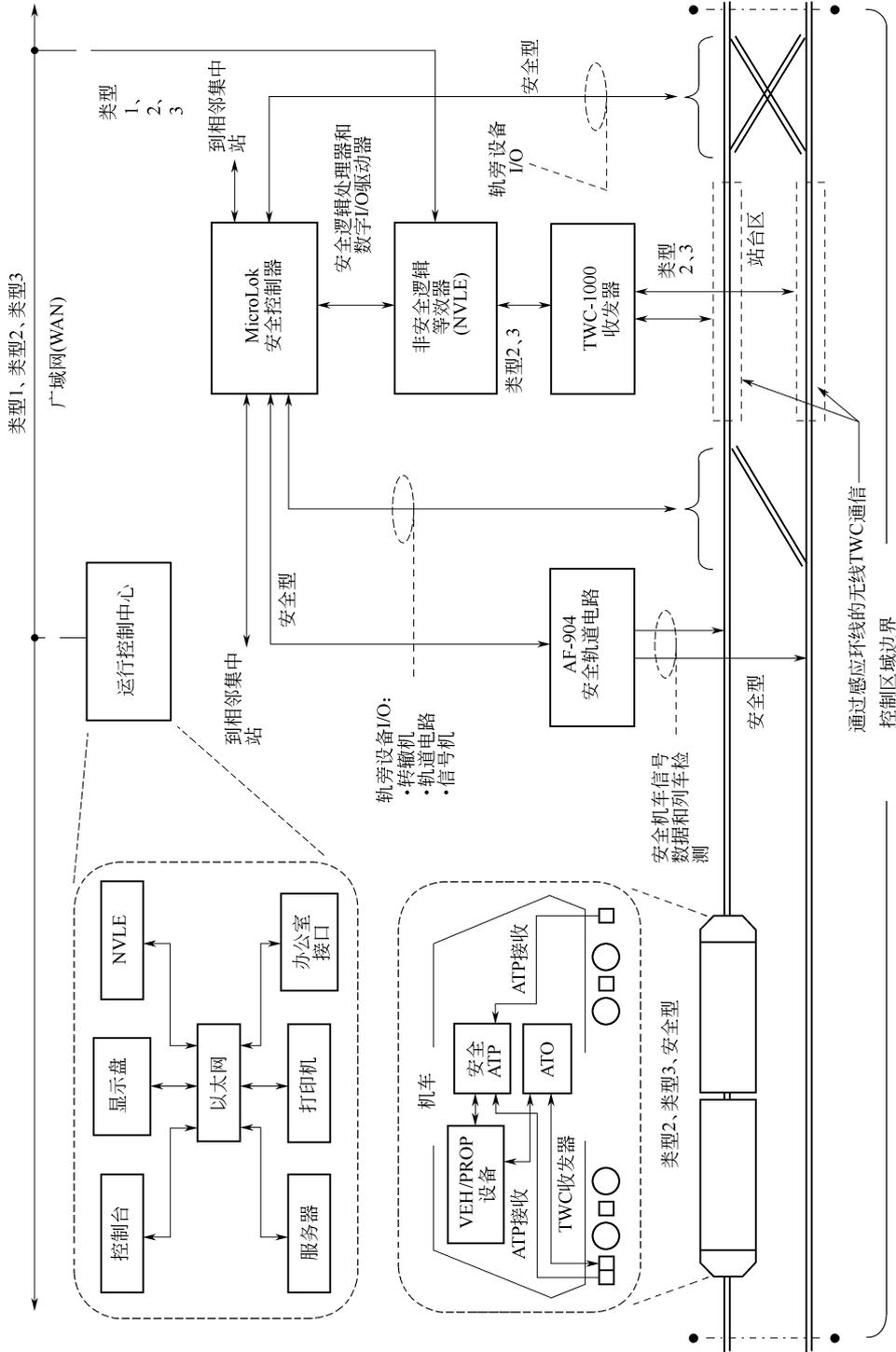


图 5-48 数据传输的类型

取的动作。控制中心机房利用这一协议来手动启动或清除轨旁功能,轨旁功能是指通过 MicroLok II 完成的诸如设置区域限速等功能。控制中心的一个动作就可启动速度限制等功能。一旦 MicroLok II 接收到命令,即利用自身存在的安全逻辑完成相关功能。

操作员对特定的 MicroLok II 编地址并使用唯一的功能键来取消速度限制。一旦取消被启动,计时器即开始计时,要求操作员在规定时间内完成取消过程。轨旁接收到启动取消的申请, MicroLok II 即发回一个确认信息,表明轨旁已接收到信息并且利用 16 位 CRC 未检测出错误。此时,操作员必须马上用第二个功能键来确定取消申请。操作员使用第二个功能键完成第二个动作,发出取消速度限制的命令。如果在操作员完成第二个命令前计时器已到时间,那么取消过程中断,必须从头开始。

### ②类型 2

类型 2 数据协议可以定义为一个简单命令和命令得到正确执行的表示。所有数据传输使用 16 位 CRC。这一类型协议的安全性在于始终使用 16 位 CRC,在于发出的命令必须得到命令已正确执行的确认。如果由于某些原因命令未得到正确执行,那么通信对话就会中断并发出报警。

### ③类型 3

类型 3 数据使用 16 位 CRC 进行错误检测。当正确接收到命令后,接收方发送一个单一信息,不需要其他动作。来自机载 VHM 的诊断数据传送到控制中心形成日志的通信采用这一类型的协议。

## 三、车载 ATC 子系统

### 1. 列车运转模式

ATC 系统支持两种列车运转模式:自动模式(由操作员辅助的自动)和手动模式(ATP 运行下的手动)。ATC 也可以被旁路。

#### (1)自动模式(操作员辅助)

在自动模式下,列车全自动运行在车站之间。速度调节和车站停车由 ATO 来执行。ATP 提供超速防护。车门监控由 ATP 系统来执行。启动车站发车需要司机的操作。

列车执行自动折返功能时,列车上有司机或无司机的情况下都可以自动折返。

#### (2)受监督的手动模式(处于 ATP 防护下的手动)

在手动模式下,列车在车站之间的运行是手动操作的。司机控制列车运行的所有方面。ATP 提供超速防护。停止和运行功能由司机控制台上的一个按钮来激活。

#### (3)旁路模式

在此模式中,列车运行完全靠手动来操纵。旁路模式需要破铅封。此时列车运行完全由司机控制,ATP 不提供超速防护。特征显示单元(ADU)通过一个独立的速度

输入来显示列车的速度。

当列车处于手动模式时,司机可以通过按下司机控制台上的停止与前进按钮来执行停止和前进的功能。在列车因为缺乏合法的机车信号或因为接到零速度的控制命令而停在轨道上的情况下,可通过停止和前进来移动车辆。注意,此功能必须通过操作员控制面板从 ATC 单元申请。只有获得控制中心调度员的允许,才能遵循严格的操作准则进行使用。通过 ADU 上的一个指示灯,可以指示 ATC 单元已经接收了申请。

此功能在当前速度命令为 0 时严格将列车的速度限制在不超过 13km/h(加上超速的 2.5 km/h)的范围内。当处于停止与前进模式时,车辆不间断地搜索下一个轨道电路频率。

此模式保持到以下情况发生:通过轨道电路接收到一个合法的速度码(非 0 km/h)、发生超速、司机再次按下停止与前进按钮、ATP 故障或掉电。

## 2. 设备组成

车载 ATC 系统由一个 MicroCab,一个特征显示单元(ADU)、一个 ADU 电源、两个 ATP 接收线圈、一个 TWC 天线组成。图 5-49 是车载 ATC 系统的示意图。

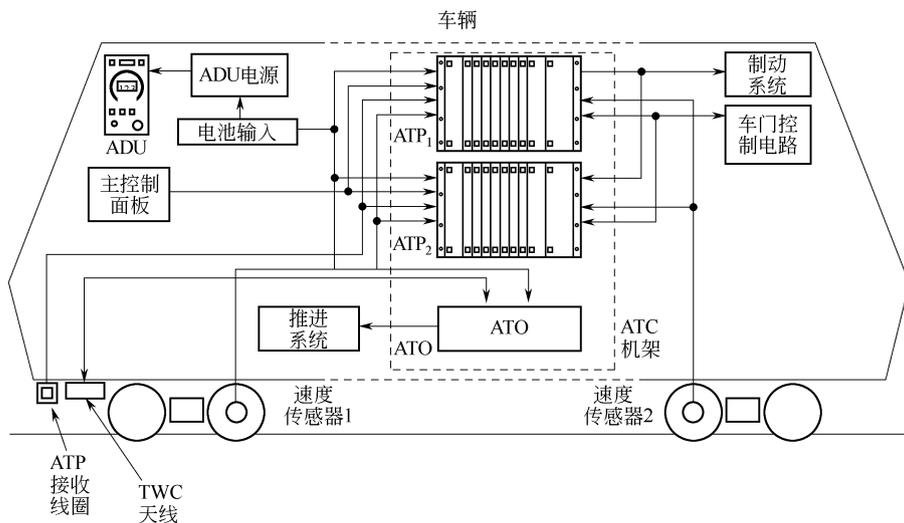


图 5-49 车载 ATC 系统的示意图

还有其他车辆系统,比如 ATC 系统的车辆通信系统(VCS)和车辆报告系统(VAS)接口,它们提供传递到中心的关于车辆的信息。

每一车辆上所安装的 MicroCab 设备可以被简单地描述为两个独立的功能性系统:ATP 子系统和 ATO 子系统,它们共享安装空间、供电和串行接口。在车辆运行过程中,ATP 和 ATO 子系统同时执行各自的功能,必要时进行数据交换。图 5-50 所示为 MicroCab 机架的一个基本的机箱配置图,机架安装在车辆 ATC 设备柜中。一个

MicroCab 带有两个(冗余)ATP 系统和一个 ATO 系统的 ATC 机架。

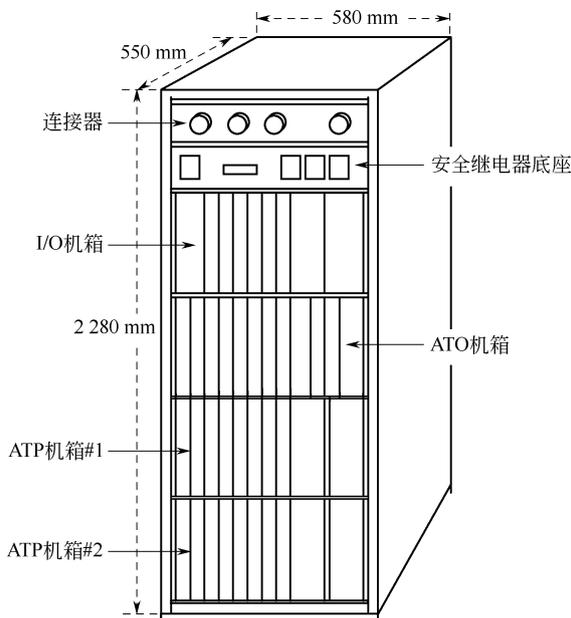


图 5-50 ATC 机架

### 3. 车载 ATP 子系统

ATP 子系统基于 US&S 的带有微处理器的 MicroCab 机车信号系统,是一种可编程的、基于微处理器的控制器。图 5-51 为 ATP 子系统的示意图。

#### (1) ATP 子系统电路板

ATP 系统由一个应用逻辑处理器和一个处理多种数据的 I/O 子系统所组成。I/O CPU 从硬件接口印制电路板控制并处理数据,将这些 I/O 数据发送到应用 CPU,来实现系统逻辑。在 ATC 机架中,ATP 的硬件实现由容纳多种印制电路板的机箱构成。这些印制电路板提供了与所有外设和周边系统相接口所需的硬件。

##### ① 串行通信控制器板(SCC)

SCC 处理 ATP 单元、ADU 和 VCS 之间的串行数据通信。SCC 还提供了一个诊断接口,用以与便携测试单元(PTU)相连接。通信模式是异步半双工,最大波特率为 9 600 Bd。这里采用了两种接口类型:一个 RS485 连接 ADU,一个 RS232 连接 PTU。

##### ② I/O CPU 板

I/O CPU 提供了应用 CPU 和车辆、轨旁/中央系统之间的软件接口。它从安全数字输入板(VDI)接收安全和非安全输入,对这些输入进行预处理和解码,然后将它们发送到应用 CPU。它又从应用 CPU 接收安全和非安全的输出,对安全输出进行解码,并且将它们发送到安全数字输出板(VDO)。I/O CPU 还从 SCC 板、FSK CPU 板和

ATO 单元接收串行 I/O,进行与应用 CPU 之间的数据传输。

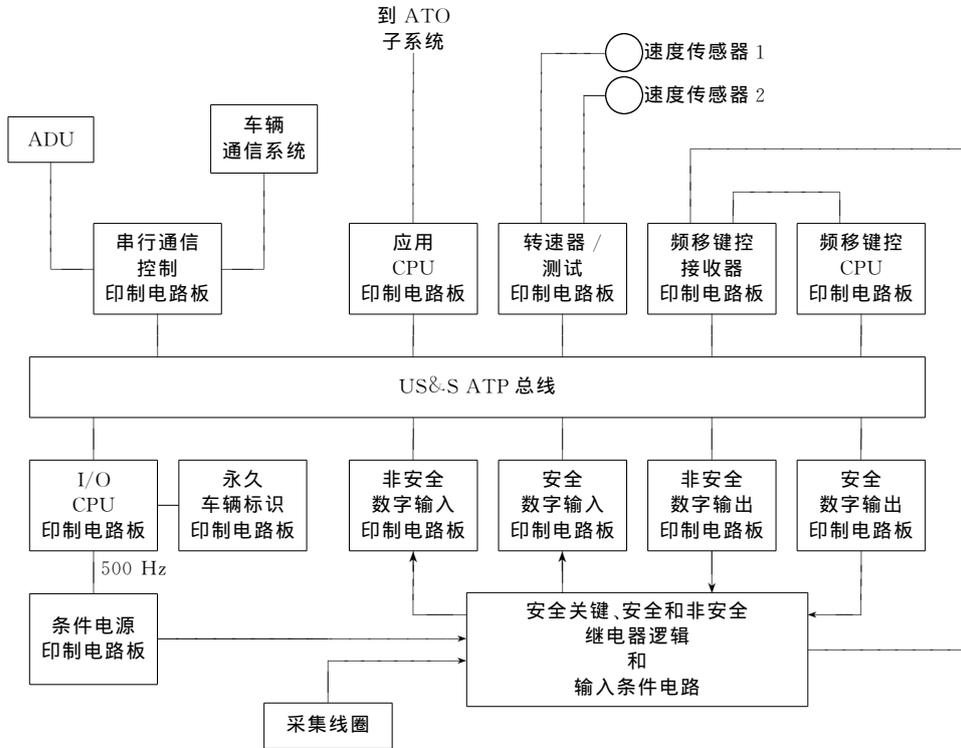


图 5-51 ATP 子系统

### ③ 接收器板和移频键控 CPU 板

接收器板是移频键控编码信号接收器和解调器,用来与采集线圈相接口。采集线圈可从轨道电路中提取数码数据。在载波频率为 9.5kHz 到 16.5 kHz 的范围内,它可以以 200 bit/s 处理 FSK 信号。FSK CPU 板包含一个微处理器,用于安全解码功能。

### ④ 转速器输入板

转速器输入板与安装于轮轴上的多通道速度传感器相连接,处理其所产生的脉冲。此板还为 ATO 子系统提供了一个条件信号。

### ⑤ VDO、VDI 和 NDO 板

每块安全数字输出板(VDO)有 8 个输出。每个输出可以驱动一个带有干接点与列车管相连的继电器。

每块安全数字输入板(VDI)有 16 个输入。每个输入都使用一个光耦,并且带有防护网络。

每块非安全数字输出板(NDO)有 16 个输出。每个输出可以驱动一个带有干接点与列车管相连的继电器。

### ⑥应用 CPU 板

此板基于 68332 微处理器,用来实现车载系统的安全逻辑和应用程序。这个处理器利用了 MicroLok II 可编程安全控制技术。它包含一个稳定版本(不可修改)的 MicroLok II 可执行程序(与用于 MicroLok II 轨旁 ATP 控制器的相同),用以运行其应用程序。应用 CPU 从 I/O CPU 板取得所有输入,并传送所有输出。

### ⑦条件电源板(CPS)

CPS 为 VDO 板提供直流电源。仅当 ATP 单元以安全方式运行时,才产生直流电源。在故障情况下,直流电源从 VDO 板撤除,导致所有输出处于逻辑零的状态。I/O CPU 提供对 CPS 的持续有效的输入。

#### (2)ATP 相关外设

##### ①特征显示单元(ADU)

ADU 安装在司机控制台上,由显示器、表示、报警和开关组成,为 ATP 系统提供人机界面,允许司机控制和监视 ATP 和 ATO 的功能。当 ATC 系统处于手动或是旁路运行模式时,司机可以控制车辆。此时,非安全数据呈现给司机。

##### ②永久车辆标识(PVID)

PVID 是一个串行 EPROM,位于车辆之上,可以记录车辆标识信息,区分其所在的车辆,以对特定轨旁命令作出反应。车辆标识对于印刷电路板和车辆 ATP 系统的机箱来说是安全的,每一车辆的永久标号由连到 ATP 单元的电缆连接器上的 EPROM 来设置。该电缆是车辆的永久组成部分。如果 ATP 硬件被调换,新的硬件将会靠电缆的 EPROM 连接来呈现出车辆的标号。

车辆 ID 是 TWC 列车 ID 的一部分,用在列车 ID 跟踪等方面。

##### ③便携测试单元(PTU)

便携测试单元是 ATC 系统的维护控制台,是一台便携的 PC 机,包括接口电缆和要执行这些功能所必需的软件。PTU 用来与 ATC 机架接口,取得数据日志和系统状态信息。它还可以用来设置系统参数,比如车轮的尺寸。通过一个由菜单驱动的数据获取程序通过 SCC 印制电路板上的诊断接口来访问 ATC 系统。

另有厂家测试成套设备(STS),是一种完整的、基于 PC 机的测试工作站,它可以允许系统维护者对 ATC 系统中的所有印刷电路板执行制造级别的测试和校准。

##### ④车载诊断辅助软件和工具

静态出发测试由静态出发测试命令来手动启动。此命令可以由 ATC 的控制中心由任何具有 TWC 信号功能的轨道来发出。司机也可以通过转换开关转换运行模式,手动激活这项测试。此时列车必须处于停止状态。

ATC 执行范围很广的内部诊断。内部自检在每一系统周期都执行。存储所有探测到的故障,供维护人员调用。自检的目的是确认 MicroCab 中央处理单元(CPU)硬件和软件以及其他大多数系统印制电路板的正常运行。主要的故障报告给车况监视器

(VHM),并且根据需要通过 TWC 传送给轨旁控制室和控制中心。事件日志可以通过 MicroCab 串行通信印制电路板前面板上的 EIA RS232 诊断端口来调取。

### (3) 速度传感器

采用两个速度传感器。每个传感器都是多通道的,它们安装在无动力车辆(有摩擦力制动设备)的轮轴上。传感器信号既被用在 ATP 单元,又被用在 ATO 单元,以确定车辆运动参数,包括真实速度、方向、所行里程、回转和零速度(车辆停止)。

DF-17 是一个多通道的脉冲产生器,采用光电传感技术。它应用一个多列光电光圈盘,对于 4 个独立光电电路所侦测到的 4 股独立光线,决定是否让其通过。DF-17 每转产生 128 个脉冲。这些传感器特征可以提供小到 1 km/s 的速度测量精度。

传感器的输出是基于旋转距离的脉冲。ATC 必须根据车轮直径,将这些脉冲转换成现行距离。车辆速度由每单位时间(250 ms)的脉冲计数来确定。

转速器可以探测到大于 1 km/h 的速度。ATP 子系统比较来自两个转速器的数据,以最后决定列车的速度。

系统允许输入正确车轮直径,来确保正确测量速度和里程。此项来自 ATP 处理器的安全输入可以以步长 1 cm 进行调整。一旦输入进入 ATP 单元,信息会存放 EPROM。轮径值在下次修改以前将一直保持着。

轮径访问入口在 ATP 的前面板,位于 ATC 设备柜门之后。当维护人员键入密码后,前面板的开关和显示器就可以被用来设置轮径。

ATP 中还提供了车轮磨耗的纠正功能。

## 4. 车载 ATO 子系统

图 5-52 为 ATO 子系统的示意图。ATO 与 ATP、TWC、VCS(车辆通信系统)和 VAS(车辆报告系统)相接口。所有的数据通过串行连接进行传输。

ATO 子系统印制电路板有:

① I/O 和应用 CPU 板。I/O 和应用 CPU 板用来实现速度调节和车站停车功能。速度输入直接通过 ATP 的条件速度输出取得,由此产生速度特征,并通过不同的因素同车辆的真实性能相比较。ATO 的输出用来控制车辆的性能,这是通过能产生推进和制动命令的“P-wire”(P-线圈)来实现的。

② 串行通信控制器板(SCC)。SCC 板是一个中断驱动的处理器,它用来与 TWC、VCS、VAS、ATP 子系统和连接到 PTU 的串行诊断接口一起处理所有的串行数据通信。

③ 非安全数字输入和非安全数字输出板。用来作为车辆逻辑的数字输入接口。非安全数字输出板用来作为 ATO 和本地车辆逻辑与列车管之间的接口。

④ P-wire 驱动板。此板包含用以驱动直流 P-wire 的电路。P-wire 对控制 ATO 所申请之推进或制动的模拟信号作出回应。

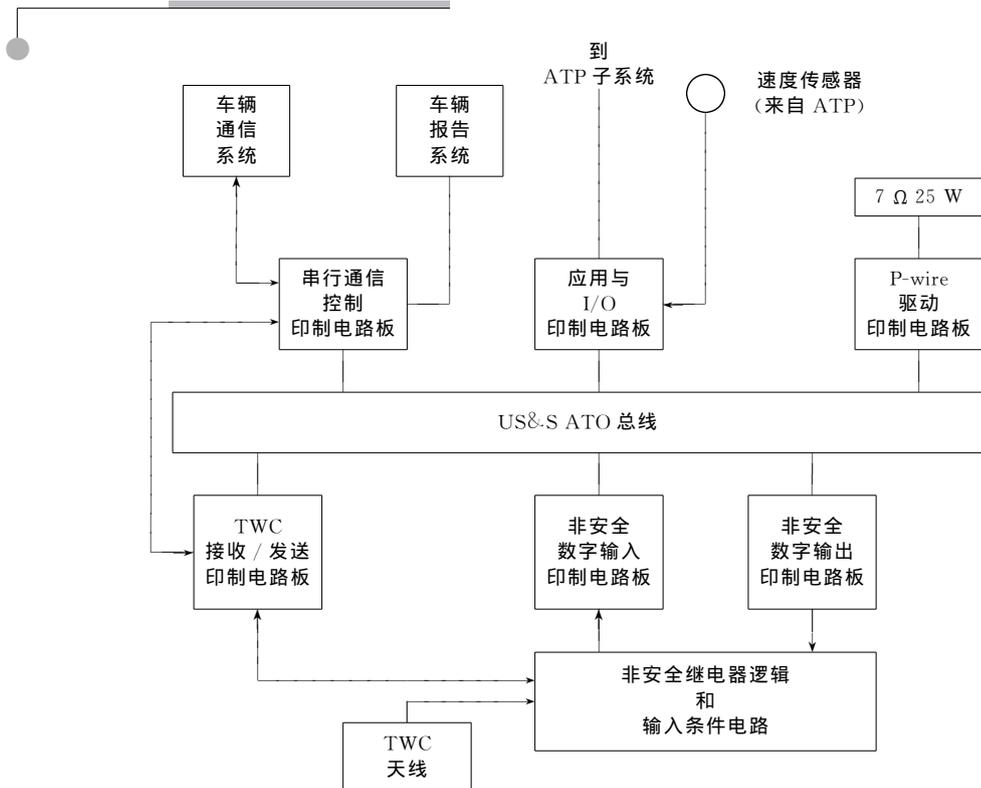


图 5-52 ATO 子系统

⑤ TWC 调制解调板。TWC 调制解调板包含通过 TWC 采集线圈收发数据的电路。

### 5. 车载 TWC 子系统

车载 TWC 子系统安装于车辆车载天线与车辆底盘之间。

车载 TWC 子系统印制电路板有：

① 串行通信控制器板 (SCC)。包含一个微处理器，由它实现用于控制 TWC 收发印制电路板的调制解调器功能。

② 发送/接收板。为 SCC 板提供了必要的电路，用以与车载天线相接口，并进行信号的收发。TWC 不包含系统智能，仅仅包含将数据从轨旁发送到合适车载子系统的功能。

### 6. 司机界面

ATC 系统的司机界面由司机控制台和特征显示单元 (ADU) 来实现。

ADU 不管当前的运行模式如何，总是同时显示车辆真实速度的示意图和数字表示，是一个双色发光二极管构成的示意性的圆环。每个发光二极管代表 2 km/h 的增量，表示的范围可从 0~90 km/h。绿色发光二极管表示当前速度，红色发光二极管表示当前速度限制。当 ATP 处于控制状态 (自动和手动模式) 时，显示当前速度限制。

ADU 内部的一个压电报警器在处于超速情况中时提供持续的声音报警。所有 ADU 上的控制和表示都是非安全的。

## 7. 数据通信

### (1) 车辆安全通信

由 AF-904 设备产生的数据信息,通过轨道电路发送,车辆上的感应线圈接收数码数据,由车载 ATP 子系统解码。

### (2) 对车辆的非安全通信

非安全数据在预定轨旁位置通过 TWC 系统被发送到车辆。虽然 TWC 系统提供双向的通信,对于轨旁,还是有一个主从的关系。

### (3) 车辆 ATC 相关子系统之间的通信

图 5-53 表示的是 ATO、ATP、TWC 单元之间的关系,还表示了 ADU、列车管、VCS、VAS 之间的应用接口。ATO、VCS、VAS、TWC 和 ATP 之间是由串行通信连接。串行通信还连接 ATP 单元和 ADU。通过安全或非安全继电器接点,并行接口输出到列车管。并行接口通过位于输入印制电路板上的光缆适配器输入到 ATP。

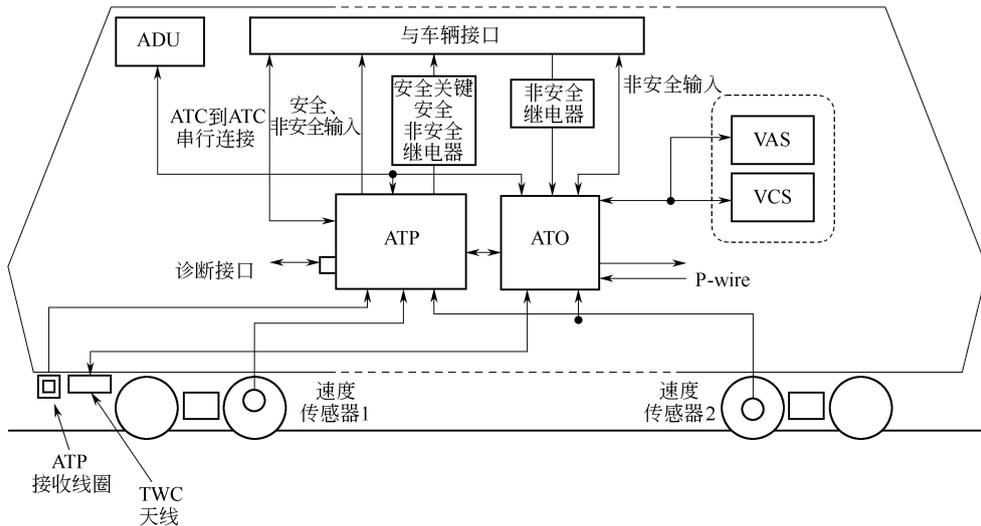


图 5-53 车载 ATC 系统之间的联系

ADU—特征显示单元;VAS—车辆报告中心;VCS—车辆通信系统。

## 四、控制中心 ATS

### 1. 控制中心 ATS 系统组成

中央 ATS 系统是基于一个在各自独立处理器上执行各种功能的分散处理网络。控制中心 ATS 系统由中心服务器、操作员工作站、以太网和外围设备组成,是一种分

布式的网络结构。控制中心系统的配置如图 5-54 所示。它还包括操作系统软件、控制软件和其他使系统工作所需的软件。

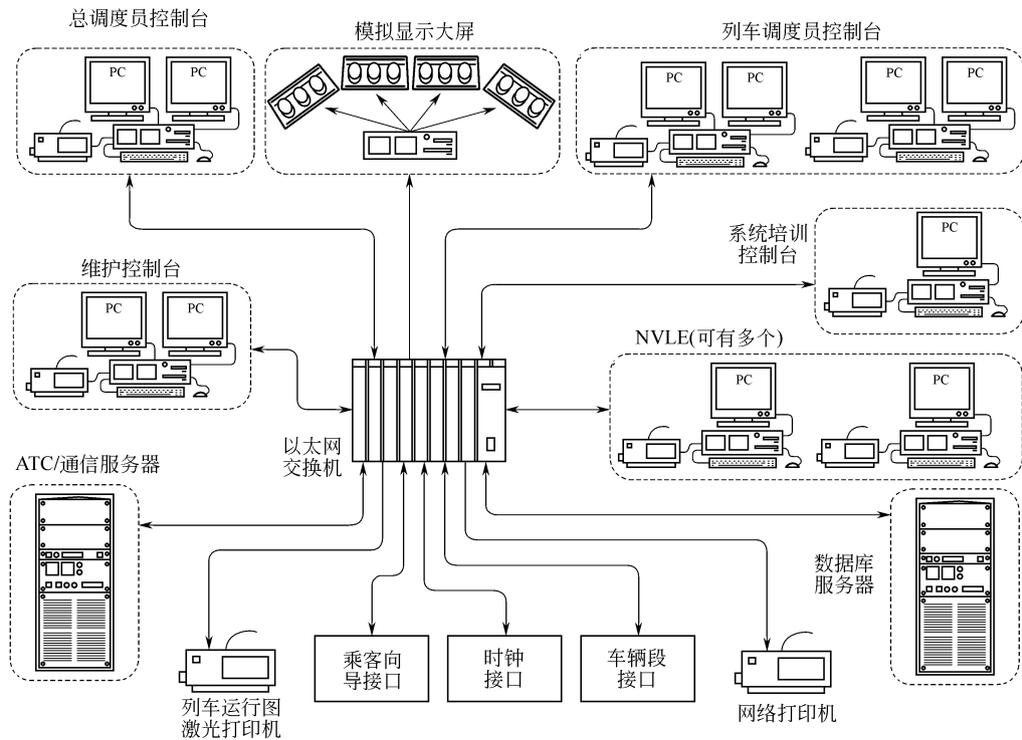


图 5-54 控制中心 ATS 系统组成

中央 ATS 系统使用 Dec Alpha 计算机平台,此平台是 POSIX 适应的并且是 64 位 RISC 结构。系统网络设计成冗余的 10Base-T/100Base-TX 以太链接。网络上每个处理器都被连接到两个网上,并有权使用从网络上其他所有处理器得到的数据。

在整个中央 ATS 系统硬件中都使用模块设计。给每个子系统提供可替代的和可修复的模块和部件,以便于故障查找和维修。如果出现故障,终端服务器模块能“热交换”来帮助置换。在修理或替换无效模块过程中,每个计算机系统可由备用系统执行其功能。执行同一功能的中央 ATC 系统的所有硬件(如磁盘、WORM 驱动器、磁带驱动器、打印机等)均可互换。

为每个中央 ATC 计算机系统提供总计为 256 MB 的内存。可通过增加附加的内存模块到机架的备用内存槽中来扩展内存。通过增加附加的外部或内部磁盘驱动器,每个中央 ATC 处理器能将磁盘容量扩展 2 倍以上。通过增加另外的工作站、服务器模块或打印机到网络上,中央 ATC 系统可进一步扩展。DTS 系统可通过增加另外的

现场通信接口单元来扩展。

中央 ATS 系统的特征:①高质量、技术先进的计算机系统;②分布式的网络体系结构;③现代化的图形用户界面;④冗余配置的 64 位 RISC 服务器;⑤配有高分辨率图形的 64 位 RISC 工作站;⑥几乎无数据丢失的快速故障转换响应时间(服务器);⑦动态的工作站恢复时在线控制区域的重新配置;⑧模块化的、可扩展的系统,使用维护方便;⑨所有工作站硬件是相同的并可通用。

#### (1)中央 ATS 的计算机系统

ATS 系统的计算机设备由多种操作员工作站和 ATC 主机服务器组成。ATC 主机服务器、终端服务器设备、现场接口设备放在设备室。

提供两个 ATC 计算机系统,ATC 主服务器 A 和 ATC 主服务器 B 计算机系统按主/备结构工作,执行所有 ATC 控制功能。

ATC 主机服务器、DTS 模块和 LAN 的冗余性服务增加了列车自动监控系统的整体工作性能,消除出现故障时丢失功能的可能性。

使用的操作系统是 Digital UNIX 操作系统,源代码以 C++ 编程语言开发。提供计算机系统完整的开发工具、C++ 编译器和自诊断程序。

系统采用用户友好界面和现代化图形用户界面。用 X-Window 系统来开发用户界面,接口将遵循 Motif 标准,提供报警信息(带语音),为系统的维修人员/系统管理员提供标准的启动和关闭程序。

#### (2)通信子系统

中央通信子系统包括局域网 LAN、光纤网 DTS 和光数据传输系统 CTS。

LAN 由冗余的 10Base-T/100Base-TX 自适应快速以太网交换机组成。自适应两个网络(网络 A 和网络 B)符合冗余要求。如果一个网络不能工作,则第二个网络能承担中央 ATC 系统的全部工作。两路终端服务器提供给 A 和 B 网络上以提供旅客向导系统、SCADA 和火灾报警系统的冗余连接。

DTS 由位于中央设备室的现场接口设备、位于每个信号设备室的现场接口和光缆组成。在中央 ATC 系统和远程区域的通信通过一个带有冗余的、反向环配置的光缆系统完成,以确保一个环的损坏不会影响其他环的工作,并可提供持续的网络通信。在中央设备室,通过软件程序监督每个通信通道。如果该软件检测到某一通信链路内的数据丢失,它就启动一次故障转接,连接到其他链路(即从主用到备用)。通过停止主用线路的传送和启动备用线路上的传送实现故障转接。

控制中心和轨旁之间以及相邻 MicroLok II 联锁设备之间的数据通信通过 DTS 完成。DTS 将控制数据通过 LAN 和 CTS 从中心 ATC 计算机传递到信号设备室,并且通过 CTS 和 LAN 从信号设备室传递指令数据到中心 ATC 计算机。

#### (3)控制和显示子系统

控制和显示子系统是人机界面,并且在必要时取代 ATS 系统或在正常运行期间帮

助 ATS 系统。

工作站除了显示和监督列车运行外,还与 ATC 计算机系统接口。在 OCC 控制室设有两个工作站,它们与正线运行有关。第三个工作站(主调度员控制台)是备用工作站,它能替代或扩大其他两个工作站中任一个的工作。也就是说这三个工作站中的任何一个都能作为正线工作站使用。在运营高峰或需要时,两个工作站应能同时操作系统的正线部分。工作站能与无论是主用 ATC 系统还是备用 ATC 系统通信。每个工作站的通信路径不受约束,因此当一个工作站故障时,不会影响其他工作站。为每个工作站提供一个自诊断测试,以验证系统工作正常。所有调度员位都提供同样的硬件功能特性。通过系统软件提供系统报警。整个 ATC 系统的所有键盘是通用的。

工作站采用 qwerty 型带功能键的键盘、一个光标定位设备和一台与 ATC 计算机系统接口的显示监视器。它们通过一个冗余的以太(10Base-T/100Base-TX)局域网连接到中央计算机设备。

ATC 显示系统驱动阴极射线管(CRT)和显示盘。在每个 ATC 主机服务器上的一个 RS232 串行接口用于显示系统。

#### (4) 打印机

①网络打印机。两台 LN17N 高速激光打印机在冗余配置下工作,并且在网上的所有设备都能使用和产生报告。通过将一台打印机接到“A”网而将另一台打印机接到“B”网的方法达到冗余。每台打印机能被网络上的所有设备访问。

②工作站打印机。两台 Dot Matrix 控制台打印机直接连到 ATC 主机服务器上,用于打印特定监视器屏幕的文字显示。

③列车图表打印机。两台 LNC02 彩色激光打印机连接到网络上并允许所有操作员位使用。通过将一台打印机接到“A”网而将另一台打印机接到“B”网的方法达到冗余。用于打印列车图表。

#### (5) 中央 ATC 培训设备

中央 ATC 培训设备设备用于调度员训练模拟和再现系统工作。包括一台 ATC 培训/演示工作站和一个相应的培训桌面。培训/演示工作站具有与运行工作站相同的设备。

#### (6) 维护工作站

维护工作站由维护人员使用,以查找故障。

#### (7) 其他接口

①时钟系统。提供冗余的 RS232 串行接口(在每个 ATC 主机服务器上的一个),用于主时钟系统。

②BAS。提供冗余的 RS232 串行接口(在每个访问终端上的一个),用于 BAS 系统接口。BAS 系统接口在 OCC 中。

③车辆段联锁系统。提供冗余的 RS232 串行接口(在每个访问终端上的一个),用于车辆段联锁系统。

④旅客向导。提供冗余的 RS232 串行接口(在每个访问终端上的一个),用于旅客向导。

⑤SCADA(电力监控)。提供冗余的 RS232 串行接口(在每个访问终端上的一个),用于 SCADA。

⑥列车出发指示系统。提供冗余的 RS232 串行接口(在每个访问终端上的一个),用于列车出发指示系统。

## 2. OCC 软件

ATC 中央计算机系统和 ATC 培训/演示工作站的软件分为系统软件和应用软件。软件用高级的结构化语言编写,具有模块性、扩展性和可维护性。

### (1) 系统软件

系统软件包括了一个实时操作系统和有关的 I/O 软件。也应包括支持程序来处理程序调度和时间控制。

系统软件通常由高级的结构化语言编写,包含:操作系统(中文版)、语言编译器、I/O 处理程序、系统性能监视软件、通信软件。

### (2) 应用软件

应用软件用于控制、监视、报警和显示。应用软件采用高级的结构化语言,用模块化结构设计和编写,用列表技术完成软件的模块性。应用软件包括:列车控制和显示软件、车辆调整软件、列车跟踪软件、报告生成软件、I/O 应用软件、通信软件、模拟和测试软件。

①处理器配置软件。为硬件配置的需要而设计,并确保设计目标的冗余性、有效性和可靠性。冗余设备在硬件故障、重新启动和用于工厂和现场的系统性能测试故障转换过程中能保持控制系统在线和可操作。

②系统性能监视软件。提供监视控制系统工作和记录在系统中发生的事件。该软件提供定期触发或按需触发。该软件也提供用于工厂和现场的系统性能测试的信息显示。

③诊断软件。提供包括联机诊断和脱机诊断的软件。联机诊断验证备用计算机的可用性以及连接到联机计算机系统的外设的可用性。这些诊断程序作为低优先级处理程序运行。脱机诊断提供给控制中心的所有硬件。在初始化后自动运行诊断程序并为用户提供容易理解的硬拷贝。用户还有交互能力,它们能进入要运行的测试,设置运行次数和要运行的不同选择。

④编程、培训和模拟终端支持软件。模拟和测试软件编成一个提交文档,可以用模拟软件在 ATC 中央计算机控制培训系统上培训人员。并用它们来验证提供给整个系统的程序的工作和有效性。

## 五、系统接口

### 1. 轨旁到列车、列车到轨旁

TWC 环线支持在列车和轨旁之间的双向数据传输。这一接口的功能性数据包括:停靠时间变更、出发命令、性能等级变更、车况监视数据、零速度表示、与车辆 ATC 系统相关的诊断。

### 2. 轨旁区到邻近轨旁区

每一个轨旁区都必须将它的数据传送到与之相邻的两个信号设备室,这样,列车就可以平滑地从一个区域穿越到另一个区域而不会存在速度命令信息的丢失。所有的区域到区域的轨旁通信都是由串行通信连接来处理的,该串行通信连接使用了安全通信协议。这些连接是热备冗余配置,当主用连接发生故障,就会自动转换到备用连接,通信不会中断。

### 3. 轨旁到现场

轨旁到现场通信是通过电缆连接。在每个车站信号设备室和轨旁设备之间安装了多芯的电缆,用以提供一个完整的点对点通信网络。在处理器和轨旁设备之间的实际接口是通过安全继电器来实现的。这些安全继电器在轨旁和现场设备之间提供完全的隔离。

### 4. 轨旁到中心

控制中心和轨旁区域之间的数据通信是通过一条光纤传输线(FOTL)广域网来实现的。轨旁可以为控制中心提供轨旁设备状态、轨道电路状态和进路信息。

### 5. 供电分配

ATC 供电分配子系统与电力监控(SCADA)子系统相接口,为控制中心提供用以指示故障的必要的报警。

### 6. 列车探测/机车信号系统

轨旁系统通过 AF-904 数字移频轨道电路为车载系统提供必要的速度命令和车门命令,通过 TWC 提供进路和列车停靠信息。反过来,车载系统通过 TWC 给轨旁系统提供列车号和停靠信息,通过旁路轨旁轨道电路来提供轨道电路状态。

### 7. 牵引电力子系统

轨旁可以从牵引电力子系统的分站接收列车前方的状态表示。如果牵引电力子系统不可用,列车就在无牵引力的情况下,在进入区域之前停车。

### 8. 车载 ATC 系统接口

#### (1) 车门控制

车载 ATC 系统提供一个到车门控制系统的接口。车门控制信号包括左车门使能、右车门使能和车门状态(开启或关闭)。

#### (2) 制动系统

车载 ATC 系统和制动系统之间的接口需要通过列车管。此接口包括脚踏闸(SB)、紧急制动(EB)和停车制动(PB)。

### (3) 推进系统

车载 ATC 系统和推进系统之间的接口需要通过列车管。接口包括 P-wire 环线滑行模拟、上电模式、前进和后退。P-wire 环线提供了推进和制动的模拟量控制,从最大脚踏闸制动到全速推进。

### (4) 车辆通信系统(VCS)

和 VCS 的接口使用了一个半双工的串行通信连接,提供车站报告信息。

### 9. 紧急车站停车系统(ESS)

控制中心将紧急车站停车命令发送给 ESS 系统。当停车被启动,轨旁设备将一个表示返回给控制中心。

## 六、试车线

试车线装备有音频轨道电路、转辙机、带有 TWC 环线的模拟车站和一个完整的 ATC 模拟设施所需的正线上的设备。用于试车线的设备有:完成安全联锁控制逻辑和速度逻辑的 MicroLok II 型系统;完成列车检测和速度数据传输的 AF-904 轨道电路;检测道岔渡线的工频轨道电路;道岔转辙机;在渡线/道岔上传送速度数据的电缆机车环线;完成道岔操作与控制的安全继电器逻辑和所有其他必需的安全接口;模拟站台中心用于 ATO 的 TWC 环线;完成非安全逻辑、轨道显示、进路或道岔的控制、列车地面通信功能的非安全逻辑等效器(NVLE);与其他子系统的接口。

所有的轨旁操作模式都可以在试车线上演示,包括:ATP 功能、ATP/ATO 的 4 种操作模式、在 ATO 方式下的双方向操作测试、通过轨条或 TWC 向列车发送速度码和其他信息、向列车发送运行等级信息以及 ATO 的站内停车测试。所有的测试轨道操作都由 TWC 子系统用于实现与站台上的列车的双向通信,完成下列 ATO 功能:程序停车、运行图和时刻表调整、轨旁/列车数据交换、目的地和进路控制功能。TWC 与 NVLE 共同作用完成这些功能。

## 第九节 ALSTOM ATC

ALSTOM 的 ATC 包括其本身研制的 ATC 和原美国 GRS 公司[阿尔斯通信号(美国)公司(ALSTOM Signaling Inc.)]研制的 ATC。前者用于上海轨道交通 3 号线,后者用于上海地铁 1 号线。

### 一、ALSTOM ATC

#### 1. ALSTOM ATC 的总体结构

ALSTOM ATC 系统总体结构如图 5-55 所示。

ATC 系统由室内设备、室外设备、车载设备及 OCC 设备组成。

(1)控制中心 ATS:进行中央监督和时刻表管理。

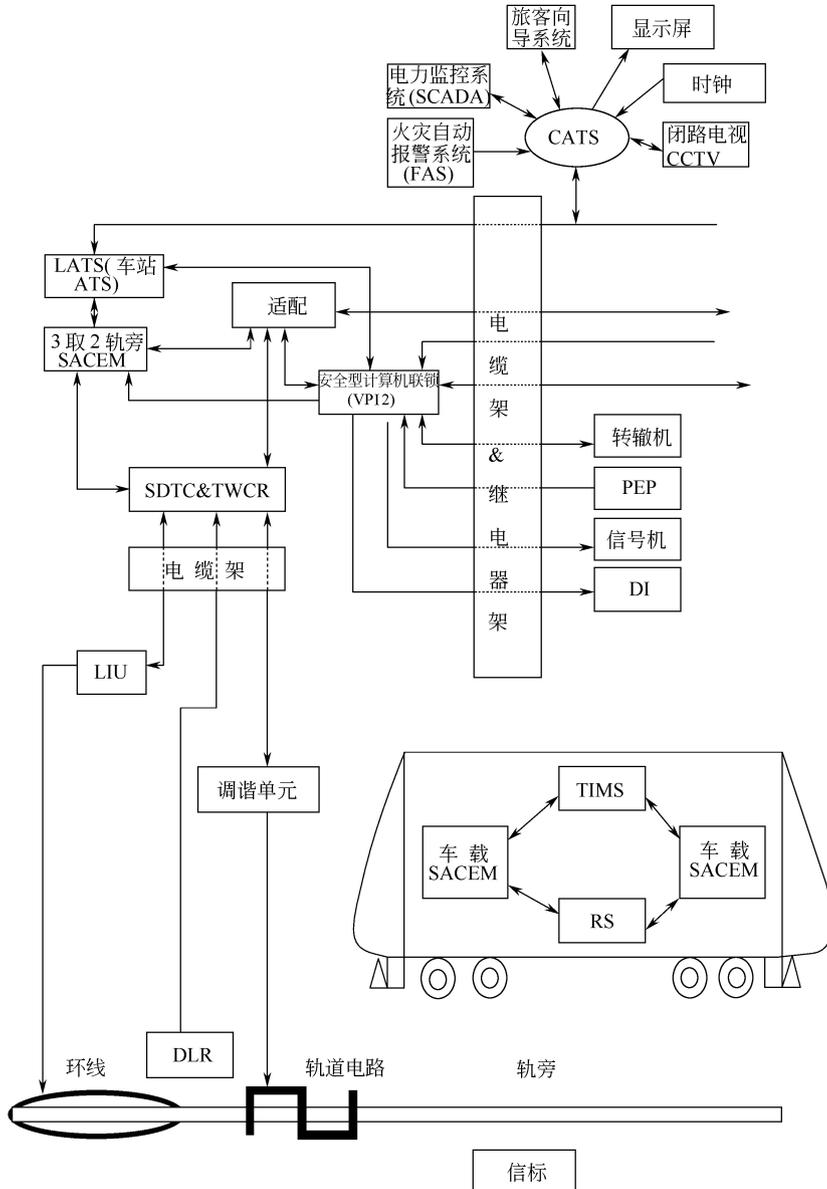


图 5-55 系统总体结构

CATS—控制中心列车自动监控软件系统;SACEM—基于“目标距离原则”的ATP/ATO系统;  
SDTC&TWCR—数字轨道电路或TWC架;LIU—传输可愈环;TIMS—列车信息管  
理系统;RS—车辆控制系统;DLR—TWC信标;PEP—站台紧急按钮;DI—发车表示器。

- (2) 车站 ATS: 进行车站状态的监督和与控制中心 ATS 接口。
- (3) VPI2: 执行进路联锁。
- (4) SACEM (ATP/ATO 系统): 执行列车自动运行和列车自动防护。
- (5) 数字轨道电路(DTC): 进行列车检测和地对车的传输。
- (6) 点式传输信标系统: 进行现场传输和轨道到列车的传输。
- (7) 室外信号设备: 主要有信号机和转辙机。

## 2. ATC 系统基本配置

一条线路划分为若干个 SECTOR 区。每个 SECTOR 区包括 2 ~4 个车站以及相关的站间轨道电路。车站按设备设置分为主设备站、CBI(计算机联锁)站和无岔站三种。

### (1) 主设备站

主要的信号设备集中在 SECTOR 区的特殊车站,这些车站称为主设备站(MES)。一个主设备站包括轨道电路机架、VPI2 机架、SACEM 的 SECTOR 设备以及车站 ATS 设备。还有信号机、转辙机、发车表示器 DI 和站台紧急按钮 PEP,由本站联锁设备控制。

### (2) CBI 站

有联锁设备和车站 ATS 的车站称为 CBI 站。一个 CBI 车站包括轨道电路机架、VPI2 机架和车站 ATS 设备,还有信号机、转辙机、DI 和 PEP,它们由本站联锁设备控制。在每个 CBI 站以及主设备站设有防雷架,用来保护与轨道设备相连的电缆。

### (3) 无岔站

没有道岔的车站称为无岔站。无岔站只有 DI 和 PEP,它们由控制无岔站的联锁设备远程控制,没有其他信号设备。

试车线完全与正线分开。试车线包括一套 SACEM 的 SECTOR 设备、一个轨道电路机柜和测试车载 SACEM 功能所必需的信标。

## 3. 主要设备

### (1) 控制中心 ATS

控制中心 ATS 提供线路管理所需要的所有功能。主要功能有:线路监督包括列车跟踪、定义任务和相应的时刻表、自动和人工排列进路、全线运行管理、报警管理、统计。

控制中心设有中央 ATS 设备,还包括中央冗余 ATS 应用服务器(热冗余)、前端处理机(热冗余)、不同操作员的工作站(2 个调度员工作站、1 个主调度员工作站、1 个维护/工程工作站、1 个培训工作站)、全线视频显示屏、打印机以及必要的通信设备。

应用服务器、前端处理器、操作员工作站和视频显示器通过双以太网(TCP/

● IP)交换数据。

应用服务器执行控制中心 ATS 功能的处理。

前端处理器执行与外部系统之间的通信,与车站 ATS 的通信以及与车辆段 ATS 的通信。

控制中心 ATS 与车站 ATS 通信以获得所有的数据信息,并把选定的调度员命令发送给信号设备。

ATS 监督属于 ATS 配置下的操作员工作站(OCC、主设备站、CBI 站)的状态、控制中心 ATS 应用服务器两个单元和 ATS 前端处理器两个单元的状态、每个车站 ATS 应用服务器和前端处理器的两个单元的状态、车辆段 ATS 前端处理器的状态、与外部系统的链接。这些状态显示在控制中心的调度员工作台上(以报警和/或图形符号的形式)。

视频显示屏显示整个线路的视图,在显示屏上显示的设备状况与运行显示器上显示的一样,不能在显示屏上进行任何控制。在显示屏上显示的能活动的符号有:轨道电路、道岔、进路、信号机、站台紧急按钮、列车确认号、接触网状况、火灾报警。显示屏还用来显示 CCTV(闭路电视)系统提供的 CCTV 图像。

#### (2) 车站 ATS

车站 ATS 的主要功能是:信号人工控制、自动排列进路、报警管理。

车站 ATS 是建立在分散的处理器上的,它为其他信号子系统(SACEM、VPI2)与控制中心 ATS 接口提供了一个非常高的可用性。

每个 CBI 站和主设备站均设有一个冗余的车站 ATS 应用服务器和前端处理机服务器、一个车站值班员工作站和必需的通信设备。车站 ATS 应用服务器、前端处理机服务器、值班员工作站通过双以太网(TCP/IP)交换数据。

车站 ATS 服务器通过冗余的串行线与计算机联锁、本地轨旁 SACEM 设备相连,串行线通过串行连接开关自动连接到运行的计算机上。

每个车站 ATS 与本站的联锁设备和中央 ATS 进行通信。主要设备车站 ATS 系统同 SACEM 的 SECTOR 通信。所交换的数据包括进路管理、运行控制所需要的信息和轨旁设备的状态信息和维修数据。

#### (3) 车辆段 ATS

车辆段 ATS 包括:一个非冗余的前端处理器(FEP)和两个操作员工作站。

FEP 服务器完成本地功能的处理,并且完成与外部系统的通信以及与中央 ATS 的通信。

操作员工作站是信息获得和显示设备。

#### (4) VPI2

VPI2 子系统是建立在分散的处理器上的,它提供一套实用性和安全性都非常高的进路联锁设备,并且控制所有轨旁设备的输入/输出。

VPI2 计算机控制和监督轨旁信号设备。从数字轨道电路上接收轨道电路占用信息。它管理进路设置、转辙机控制并采集信号机、道岔、站台紧急按钮状态,通过安全传输链接向 SACEM 提供这些信息。

VPI2 系统处理进路联锁功能。SACEM 从 VPI2 接收“联锁状态”。所有来自 VPI2 和 SACEM 的操作和维修数据都发送到车站 ATS。

系统对于每个主要的子系统采用一个分布式体系结构。每个 VPI2 通过高速数据网络与它相邻的 VPI2 相连,SACEM 之间的连接也是如此。这些连接相互独立,以获得系统功能上的独立性并提高它的实用性。这种连接在正常状态和降级状态下还提供了高水平的车站控制。

每个 VPI2 机柜有热备冗余配置,这样设备故障时不至于引起运行干扰。在从主设备转换到备用设备期间,信号机不必要设置到它们的限制状态;列车能够继续运行并且进路能够继续排列。

VPI2 应用工程依靠最先进的编程工具。

VPI2 计算机放置在主设备站和 CBI 站的信号设备室中。

VPI2 从 SDTC 接收轨道电路占用信息。它控制和监督信号设备,例如信号机、道岔、站台紧急按钮以及发车表示器。

VPI2 通过它的安全传输链路将该信息提供给 SACEM。VPI2 还与车站 ATS 子系统相连。

#### (5) SACEM

SACEM 系统是基于“目标距离原则”的 ATP/ATO 系统,是建立在分布在线路上的轨旁计算机和车载计算机基础上的。

每个轨旁计算机控制线路上一个区域内的列车,一个区域包括一个或几个车站。这个区域称之为一个 SACEM 区。为了保证连续不断地控制线路上的列车,相邻 SACEM 区的计算机也不断地交换信息。

轨旁 SACEM 系统管理相关的安全功能(ATP)和运行功能(ATO);与联锁的接口,轨道描述和数据描述的安全信息,精确调整、主动的列车识别。

##### ① 轨旁 SACEM 设备

轨旁 SACEM 设备放置在主设备站的信号设备室中,称为 SECTOR 设备。它的作用相当于一个邮箱。

它从联锁设备接收轨道状态(道岔、信号机和轨道电路)信息和站台紧急按钮 PEP 信息,从 ATS 接收运行调整命令。

它发送给列车信息包括:按照进路地形图原理的轨道描述和轨道状态信息、从 ATS 接收到的运行调整命令、临时限速信息。

它执行数据登录和维修数据,并将这些数据发送给 ATS。

它从列车接收维修数据和 PTI 信息,并将它们发送给 ATS。

它向相邻的 SACEM 的 SECTOR 设备传送已发送给列车的有关信息,使列车能越过其管界。

### ②车载 SACEM

车载 SACEM 确保下列功能:列车定位,基于安全里程计加上轨旁信标;紧急制动控制,决定防护区域,并采取安全措施防止任何情况的危害。

每个驾驶室中都安装有一套 SACEM 车载设备。车载 SACEM 设备通过接收线圈接收来自轨旁 SACEM 设备的信息。所接收的信息包括:进路地图、轨道状态、临时限速、运营调整指令。这些信息使得列车能够计算出前方下一个停车点,或者由于某些原因前方存在一列车或 PEP 启动;授权开门;提供列车自动运行、车站内精确停车、列车识别(PTI)、开门/关门命令、发车命令、事件记录和维修监督功能。车载 SACEM 设备向轨旁设备 SACEM 发送维修数据和 PTI 信息。SACEM 车载设备与驾驶室显示单元 DDU 相连接,可向司机信息显示并采集来自司机的信息。车载 SACEM 设备与机车控制台相链接,以选取驾驶模式并通知司机,并且将速度限制和实际速度在显示单元 DDU 上显示给司机,并采集来自司机的信息。每个司机室设置一套冗余 ATP 系统。

车载 SACEM 设备安装在每个司机室内,并与它的外围设备、天线、接收线圈以及编码里程计相连接。

车载计算机通过信标和它们之间的位移测量,能够使列车在轨道上定位。

ATP 系统控制紧急制动,它能够决定防护的位置,并且采取安全措施以防止当时情况下的任何危险。

ATO 系统控制列车。它生成列车牵引和制动命令。

TDMS 系统完成数据纪录、维修数据和 TIMS(列车信息管理系统)接口。

### (6)数字轨道电路 DTC

数字轨道电路用来确保列车检测和地对车的通信(在轨旁 SACEM 设备和列车之间连续不断地通信)。它实现安全性列车占用检查和断轨检测功能。

连续的对车的通信提供给列车安全的编码信息,这些编码描述了轨道信息以及道岔、信号机的状态、闭塞区间的信息。连续的对车通信还为 ATO 以及运行间隔的调整传送非安全信息。

数字轨道电路与轨旁 SACEM 设备接口,以实现地对车的通信;它与 VPI2 设备接口,以实现列车占用检测以及地对车通信的通信方向。

DTC 机架位于车站的信号设备室。室外设备有调谐单元及与其相连的 S 棒及箱盒。

### (7)点式传输的信标系统

信标系统确保从车载到轨旁 SACEM 的通信,接收来自列车的维修数据和 PTI 信息。当列车行驶过信标,信标所收到的信息由相应的 SACEM 的 SECTOR 设备接

收。

当列车穿过或停在信标上方时,特殊信标(称之为“初始化信标”)允许列车初始化车载 SACEM 的位置。

初始化结束后,列车的位置信息将由编码里程计测量位移来更新。在任何情况下,列车必须不时地重新定位,这是在列车驶过重定位信标时实现的。

这些信标采用的是 EUROBALISE 类型的信标。

列车对轨道的传输使用 EUROBALISE 向下链接信标(TWC 信标)。列车通过信标时,TWC 信标接收的信息由相应的 SACEM 轨旁设备收集。它接收来自列车的维修数据和 PTI 信息。

①静态列车初始化信标(STIB)。位于线路中间,长 4 m,黄色,位于每个站台的头部和折返信号机前方。STIB 信标主要用来对车载 SACEM 系统进行初始化。

②重定位信标(RB)。位于线路中间,长 53 cm,黄色,站台和区间都有。RB 信标主要为车载 SACEM 系统进行定位所用。

③MTIB 移动列车初始化信标(MTIB)。由两个 RB 组成,相隔 21 m,只有区间有(一个区间一个)。MTIB 信标有 3 个作用:对车载 SACEM 系统进行初始化、列车定位、校准编码里程器。

#### (8) 轨旁信号设备

轨旁信号设备还有阻抗棒、继电器、信号机、转辙机、发车表示器和站台紧急按钮,以及电源分配架、继电器架、分线盘和室外电缆等。

#### 4. 司机室内的设备

(1) 上电开关:是二位开关(断开/接通),位于司机操作台上,司机可以用来给机车上电/断电;司机在离开机车前一定要将开关置于 OFF 档。

(2) 模式选择开关:是六位开关,位于司机操作台上,分别是:ATO、手动、向前限速、洗车、断开、向后限速。其中 ATO 和手动模式是驾驶模式,用于列车运营。其余四种是车辆模式。

(3) 发车按钮:位于司机操作台上,用来发车。

(4) 紧急制动按钮:位于司机操作台上,司机在紧急情况下可以按压该按钮使得列车紧急制动。

(5) 紧急制动复位按钮:一旦列车紧急制动恢复后,司机需要按压紧急制动恢复按钮后才能重新驾驶列车运行。

(6) 限速模式(RMO)按钮:如果司机要选择 RMO 驾驶模式,必须将模式选择开关拨到 CM 档,并且按压限速模式按钮。

(7) 速度表:用来显示目标速度和实际速度,有两个指针,其中红色的指针指示目标速度,黄色指针指示实际速度。

(8)允许开左/右门灯:分别位于司机操作台的左右两侧,用来提示司机开左门还是开右门。

(9)开左门按钮、关左门按钮:有两个开左门按钮和关左门按钮,分别位于司机操作台的左边和左侧门边上,用来开/关左门。

(10)开右门按钮、关右门按钮:分别位于司机操作台的右边和右侧门边上,用来开/关右门。为了防止司机误动作司机操作台上的按钮,建议把操作台上的开关左/右门按钮盖住。

(11)门关好灯:当所有的车门都关好后,门关好灯亮灯。

(12)司机手柄:在非ATO驾驶模式下,司机用手柄来驾驶列车。共有4档:牵引、惰行、制动、快速制动。

(13)DDU:液晶显示屏,位于司机操作台上,用来将列车的驾驶信息显示给司机。

(14)蜂鸣器:位于DDU上,当列车行驶速度接近速度限制点或超过警戒曲线速度或者触发了紧急制动时,蜂鸣器鸣响;当停站时间即将结束时,蜂鸣器也鸣响,通知司机关门和发车。

(15)ATP主/备选择开关:位于司机后方的机柜里,用来选择ATP主机工作或者在主机故障的情况下选择备机工作。

(16)ATP隔离开关:位于司机后方的机柜里,加铅封,用来切断ATP电源。

另外司机控制台上还有其他通信设备和车辆设备。

## 5. ATS系统接口

ATS系统与VPI2系统、SACEM系统(ATP/ATO轨旁设备)、SCADA系统、时钟系统、旅客向导系统、火灾报警系统、通信网络系统、车辆段(停车场)区域的连锁系统、CCTV系统等外部子系统相连。

### (1)与VPI2的接口

VPI2和ATS子系统之间的连接位于CBI站和主设备站。在这些站,冗余的车站ATS服务器通过冗余的串行接口与VPI2设备相连。

ATS子系统从VPI2子系统接收信号设备的状态(如轨道电路、道岔、进路等)。

ATS系统向VPI2系统发送对信号设备的控制(如道岔、进路等)。ATS系统还通过VPI2系统向发车指示器发送发车命令。

### (2)与SACEM的接口

SACEM子系统和ATS子系统之间的连接位于主设备站。在这些站,冗余的车站ATS服务器通过冗余的串行接口与SACEM设备相连。

ATS子系统从SACEM子系统接收:每列车的Acar号、列车标识(主动列车识别)、车载和轨旁SACEM报警、参考时间请求。

ATS系统向SACEM系统发送:调整命令(发车时间、到达时间、列车扣车、跳停)、

PTI 初始化、参考时间。

(3)与 SCADA(电力监控)的接口

与 SCADA 系统的连接位于控制中心。控制中心 ATS 前端处理器(FEP)通过非冗余串行链路与 SCADA 系统连接。

ATS 系统从 SCADA 系统接收接触网的状态。

ATS 系统不向 SACEM 系统发送任何信息。

(4)与时钟的接口

与时钟系统的连接位于控制中心。控制中心 ATS 前端处理器(FEP)通过非冗余串行链路与时钟系统连接。

ATS 系统从时钟系统周期性(每秒)的接收当前的日期和时间。

ATS 系统不向时钟系统发送任何信息。

(5)与旅客向导系统的接口

与旅客向导系统(PIS)的连接位于控制中心。控制中心 ATS 前端处理器(FEP)通过非冗余串行链路与旅客向导系统连接。

ATS 系统不从旅客向导系统接收任何信息。

ATS 系统根据现行的时刻表发送真实的数据。

(6)与火灾报警系统的接口

与火灾报警系统(FAS)的连接位于 OCC。CATS 前端处理器(FEP)通过非冗余串行链路与火灾报警系统连接。

ATS 系统从 FAS 接收车站内发生的火灾报警。

ATS 系统不向 FAS 发送任何信息。

(7)与通信网络系统的接口

通信网络系统允许双向通信;控制中心 ATS 和每个车站 ATS 之间的通信,控制中心 ATS 和车场区域的通信。

通过通信网络,使用点对点冗余的同步链接使得 ATS 连在一起。

(8)与车辆段联锁系统的接口

车辆段联锁系统与 ATS 子系统之间的连接位于车辆段区域。

车辆段 ATS 子系统从车辆段联锁系统接收轨道电路状态以及出、入段信号机的状态。

ATS 系统不向车辆段联锁系统发送任何信息。

(9)与 CCTV 系统的接口

ATS 与 CCTV 的连接位于 OCC。

ATS 系统从 CCTV 接收 CCTV 图像信息,并且显示在显示屏上。

ATS 系统不向 CCTV 发送任何信息。

图 5-56 为 ATS 系统与外部系统之间的信息交换示意图。

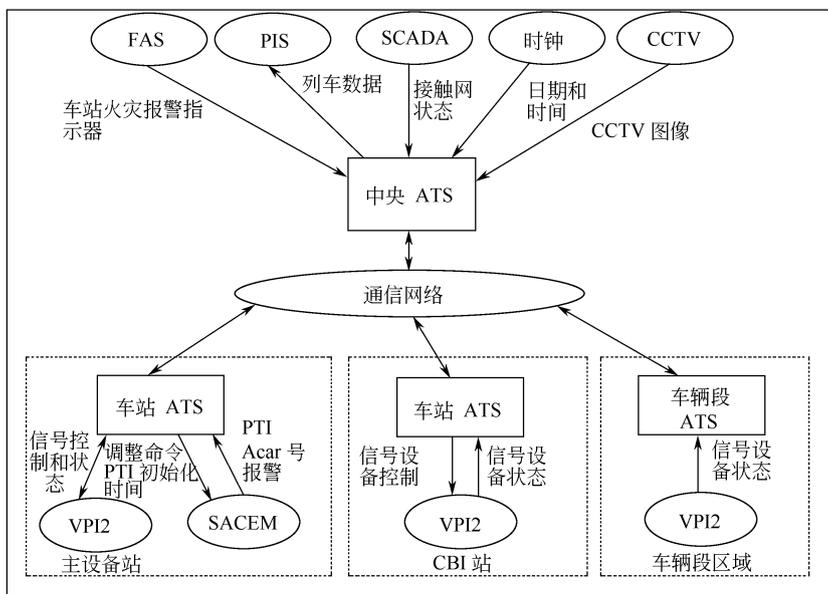


图 5-56 ATC 系统与外部系统之间的信息交换示意图

## 二、GRS ATC

### 1. 系统构成

#### (1) 现场设备

现场设备包括在轨旁和车站 ATC 设备室、车站控制室内的 ATP 子系统的无绝缘轨道电路设备和联锁设备,以及 ATO 和 ATP 子系统的现场支持设备、车辆段联锁设备和 ATC 远程终端。

#### (2) 车载设备

车载设备包括安装在列车司机室的 ATC 设备、ATC 控制显示单元以及 ATP、ATO 信号发送与接收设备。

#### (3) 控制中心设备

控制中心设备设有 1 套基于计算机的 ATC 设备。为便于统一管理,ATC 系统采用集中控制模式,全线设若干个有岔集中站,每个集中站管辖 2~3 个无岔站,受 ATC 中心控制。

CATS 与集中站之间借助于 PCM 通道,通过现场数据传输系统(LDTS)交换信息。GRS ATC 系统框图见图 5-57。

### 2. 系统特点

(1) 考虑到城市轨道交通的特点,ATC 系统具有多层次工作的能力。一旦设备出现故障或发生突发事件,系统可降级使用。

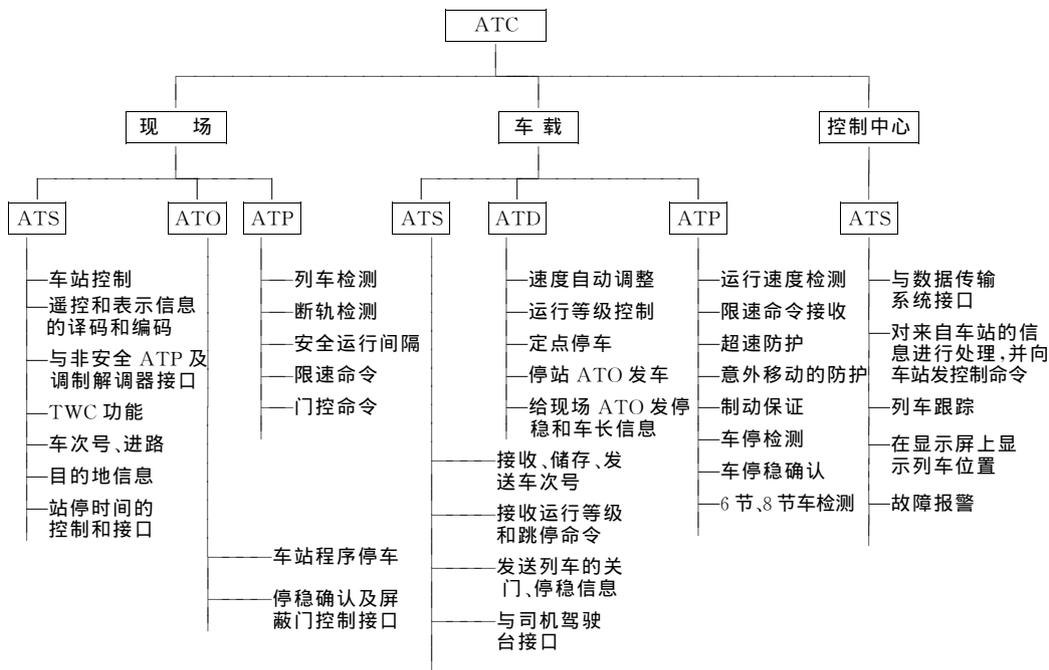


图 5-57 GRS ATC 系统框图

(2) 对于行车调度,系统具有中央自动控制、带人工介入的中央控制和车站现场控制 3 种方式。

(3) 对于列车司机,有以下 4 种操作方式:

① ATO 自动模式:ATS 自动调整列车运行,ATP 进行列车安全保护,ATO 自动控制列车,司机除关车门和站内启动列车外,只监视列车运行。

② ATP 人工驾驶模式:司机人工驾驶列车,司机负责列车运行速度、车站停车、车门控制及再启动。当列车超速时,ATP 进行紧急制动。

此模式还有 1 个慢速前行子模式:在人工驾驶模式下,当 ATP 为 0 速码,列车停车后,主控器处于全常用制动位,此时列车可按 20 km/h 运行。此子模式用于无速度码区段(如车辆段)、轨道电路故障区段。当列车接收到 ATP 速度命令后,自动返回为 ATP 人工驾驶模式。

③ 手动倒车模式:速度不允许超过 10 km/h,否则,ATP 实施紧急制动直至停车。

④ ATP 切除模式:司机人工驾驶列车,列车脱离 ATP 控制行车,司机应对列车运行安全负责。

其中,ATO 自动模式只能用于正常运行,反向运行采用 ATP 人工驾驶模式。

### 3. ATP 子系统

列车根据从音频无绝缘轨道电路接收到的 ATP 速度命令(机车信号)运

行。

#### (1) 设备组成

① 车载设备。包括列车两端的“A”车司机室内 ATC 机架上的两套 ATP 子系统模块,以及“A”车底部的 2 个速度传感器和 2 个 ATP/TWC 接收线圈。在司机操纵台上设有一个 ATC 控制及显示单元,其上设有各种 ATC 信号显示器、指示灯和开关。其中,“程序停车”、“慢速前行”和“超速”为指示灯,“ATO 发车”等其他 5 个为带指示灯的按钮。车次号、目的地和运行等级可由 CATS 或手动开关设置,并由数码管显示。在 ATO 自动模式下,“ATS 速度”显示 ATO 将要执行的速度控制命令。速度表外针指示接收到的 ATP 速度命令,内针指示实际车速。司机可通过车辆的有关开关设置驾驶模式和列车长度等。在 ATP 人工模式下,超速时发出报警声,提醒司机采取适当的操作。

② 现场设备。包括集中站 ATC 设备室内用于发送端的 3 种 PC 板,以及 ATP 速度命令选择和核准电路(GO 电路)等。安装在轨旁用于发送 ATP 速度命令的小型调谐阻抗连接变压器(WEEZ bond)、调谐环线耦合器,以及二元二位相敏轨道电路区段的长环线。

#### (2) ATP 速度命令信号

ATP 速度命令信号必须能经受以下 3 种因素的干扰相兼容:斩波器控制的列车牵引和再生制动,以及牵引电流的整流谐波。

ATP 速度命令信号采用低频脉冲调幅方式。载频为 2 250 Hz,有 8 种不同的调制频率,6 种用于 ATP 速度命令,2 种用于门控命令,频率范围为,0~20 Hz。

#### (3) 自动限速及其实现

列车自动限速就是对列车进行自动超速防护。超速时,实施全常用制动或紧急制动,将列车速度降至 ATP 速度命令之下,甚至停车。列车在 ATO 自动模式和 ATP 人工驾驶模式下,超速点为收到的 ATP 速度命令加上 3 km/h;在慢速前行模式下,超速点为 20 km/h;后退倒车的超速点为 10 km/h。

自动限速是由基于微处理器的车载 ATP 子系统完成的。一方面,它对来自 2 个速度传感器的信息进行安全处理和轮径补偿,形成一个实际速度;另一方面,通过 ATP/TWC 接收线圈接收从轨道电路发来的 ATP 速度命令,经比较,形成一个安全检查字。

若检查字指示超速,则实施全常用制动,使列车实际速度降至超速点之下。若在一定时间内减速率小于  $0.71 \text{ m/s}^2$ ,则实施紧急制动,直至停车。列车自动限速原理图见图 5-58。

当这个车载 ATP 子系统异常时,切断安全输出电源,引起紧急制动直至停车,或者转换到另一套 ATP 子系统。

#### (4) 冗余设计

车载 ATP 子系统采用两套冗余设计,可通过开关选择以下 3 种工作方式:

- ① ATP<sub>1</sub> 工作,ATP<sub>2</sub> 失电,ATO 从 ATP<sub>1</sub> 接收数据;
- ② ATP<sub>2</sub> 工作,ATP<sub>1</sub> 失电,ATO 从 ATP<sub>2</sub> 接收数据;

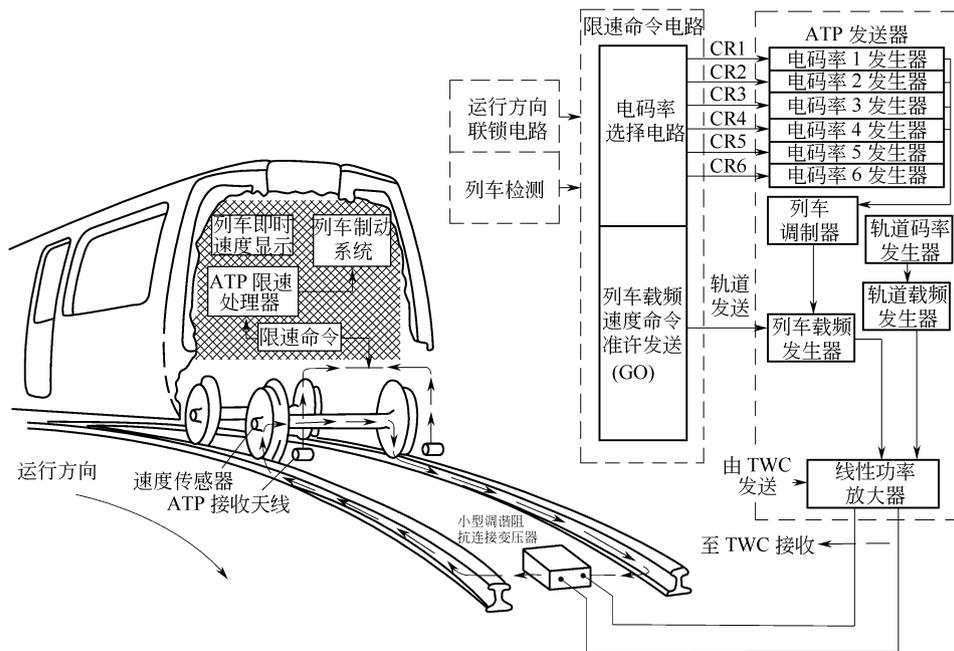


图 5-58 列车自动限速原理图

③ ATP<sub>1</sub> 和 ATP<sub>2</sub> 并行工作,ATP<sub>2</sub> 接收来自 ATP<sub>1</sub> 的数据,监视来自 ATP<sub>2</sub> 的数据;若 ATP<sub>1</sub> 故障,则 ATO 自动接收来自 ATP<sub>2</sub> 的数据。

这种冗余设计可提高系统的可靠性,缩短影响列车运行的间断时间。

#### (5) 列车停站与门控

当列车在站台停稳且停车点的误差在允许范围之内时,车载对位天线和地面对位天线才能很好地感应耦合并进行车门和屏蔽门的开关操作。这种操作需要地面和车载 ATC 设备以及车辆门控电路共同配合完成。地面 ATC 还将列车停准、停稳信息送至控制中心,作为列车到站的依据。待屏蔽门关闭后,车载 ATC 具备安全发车条件。

#### 4. ATO 子系统

ATO 为非安全系统。其接收来自 ATP 信息,包括 ATP 速度命令、列车实际速度和列车走行距离;从 ATS 系统和地面标志线圈接收列车运行等级等信息。根据这些信息,ATO 通过牵引/制动线控制列车,使其维持在一个参考速度上运行。考虑到站台屏蔽门的设置、方便乘客上下车,车门的开度和屏蔽门的开度要配合良好。为此,ATO 子

系统定点停车精度为 $\pm 0.25$  m。

ATO 子系统的设备包括司机室内一个由微处理器构成的 ATO/ATS 模块,“A”车底部的标志线圈和对位天线,以及每个车站 ATC 设备室内的车站停车模块和沿每个站台设置的一组地面标志线圈。

#### (1) 列车速度调整

①参考速度。参考速度即收到的 ATP 速度命令、ATS 运行等级的修正速度及定点停车速度曲线三者中最小速度。

ATS 系统具有 4 个 ATS 运行等级,其修正速度如下:

ATP 速度命令	修正速度			
	等级 1(正常)	等级 2	等级 3	等级 4
20	20	20	20	13
30	30	30	30	19.5
45	45	45	33.8	29.3
55	55	55	41.3	35.8
65	65	65	48.8	42.3
80	80	80	60	52

等级中的等级 2 又称为惰行模式。在惰行模式下,列车由牵引转为惰行状态,直到实际车速与定点停车曲线上某点速度相同(随后按定点停车曲线运行)或降至 39 km/h(维持在 30 km/h)。该种运行模式为节能模式。

②调速方法。ATO 系统是利用闭环反馈技术实现调速的,即将列车实际速度与参考速度之差作为偏差控制量。通过牵引/制动线对列车实施一定的牵引力或制动力,使偏差控制量为 0。列车速度调整系统可将列车实际速度调到参考速度 $\pm 2$  km/h 以内。

#### (2) 车站程序定点停车

车站程序定点停车是靠一组地面标志线圈提供至停车点的距离信息,这组标志线圈的布置见图 5-26。其中,350 m 和 150 m 标志线圈为成对布置,具有方向性。无源标志线圈具有固定的调谐频率,列车经过时与车载标志线圈产生谐振;有源标志线圈能发送特定的频率信号。

当列车正向运行经过 350 m 标志线圈时,启动定点停车程序,列车按定点停车曲线运行。定点停车曲线是建立在一个固定减速率基础上的(制动率为全常用制动率的 75%),其速度正比于至停车点距离的平方根。150 m 和 25 m 标志线圈的作用是根据停车曲线对实际车速进行校正。当列车通过 8 m 标志线圈时,将收到一个频率信号,随即转入定位模式,减速率进一步降低。当车载定位天线与地面定位天线对齐时,收到一个频率信号,立即实施全常用制动,将车停住。若列车停准(误差在 $\pm 0.25$  m 内),地

面定位天线会收到车载定位天线发送的列车停稳信号,然后才能进行开、关车门和屏蔽门的操作。

### 5. ATS 子系统

ATS 子系统由位于控制中心基于计算机的列车自动监控系统和 LDTS(现场数据传输系统)设备组成。

#### (1) 控制中心 ATS 系统组成

控制中心 ATS 系统组成见图 5-59。

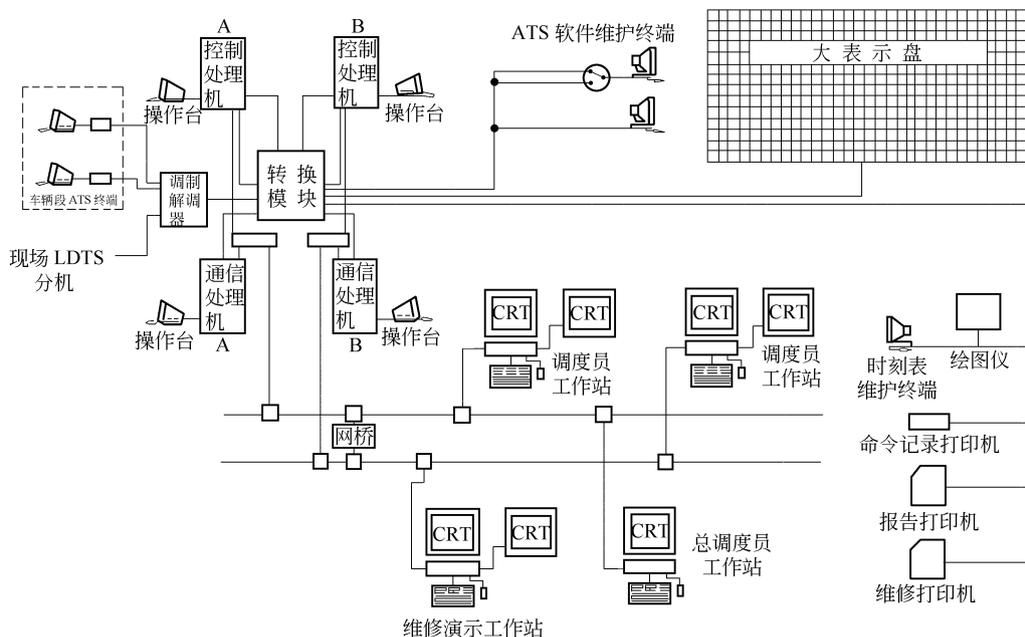


图 5-59 控制中心 ATS 系统组成

①控制中心 ATS 计算机系统。它采用 A、B 两套计算机冗余设计。每套由 1 台 DECMICROVAX 控制处理机和 1 台 DECMICROVAX 通信处理机组成。两台控制处理机分别和通信处理机组成各自独立的列车自动监控系统,并互为热备用。当主系统故障时,可由人工进行系统转换,使备用系统迅速接替控制。转换时间小于 1 min,由此大大地提高了整个控制中心 ATS 系统的可靠性和运行能力。

这两套计算机系统通过转换模块与表示屏、终端、打印机、绘图仪、调制解调器相连,完成所有外围设备在两个计算机系统之间的切换。它由一个转换控制器和转换开关组成。转换开关可一起转换,也可单独转换。通过 MODEM 连接车辆段的两个 ATS 终端和 6 个现场 LDTS 分机(DTM)。

控制处理机的主要作用是:处理全线的表示信息,并通过显示设备,显示全线设备(道岔、信号机、轨道电路等)和列车的运行状态;按时刻表的要求或调度员的指令,产生相应的控制命令,并通过相关设备。控制和调整全线列车的运行,采集和存储运行记录,并产生各种运行报告。

每台控制处理机都有一个工业标准磁带机,用于大容量地转贮运行记录。凡超过3天的运行记录就转存到磁带中去。

通信处理机的作用是完成控制中心ATS系统与各站数据传输单元DTM间的表示信息和控制命令的交换,以及与车辆段远程终端的信息交换。

系统控制台用于各计算机系统的管理与维护,也用于整个控制中心ATS系统的管理和维护。它由一台终端(显示器/键盘)和一台打印机组成。

系统设有两个软件工作终端,用于管理和维护列车自动监控软件系统。

②工作站。系统设有多台工作站,其作用是提供列车控制的图形人机对话接口,其中包括调度员工作站、总调工作站及维护员工作站。调度员工作站和维护员工作站都配有彩色显示器,总调工作站配有一台彩色显示器。另外,维护员工作站还配有硬盘机,用于扩展外存以及用于系统软件安装的光盘机,用于软件备份和更新的盒式磁带机。

工作站采用X-WINDOWS窗口系统作为人机接口方式,调度员可以通过其方便地监控列车。工作站能显示类似表示盘所显示的信息,调度员可利用X-WINDOWS窗口的功能菜单进行各种操作。系统控制方式有两种:人工控制和时刻表自动控制。维护/演示工作站具有再现以前(最近48h)实际运行数据和模拟控制列车运行的功能,便于调度员分析运行情况和培训。

系统设有一个时刻表维护终端,专门用于时刻表的建立和维护,供时刻表管理员单独使用。

③以太网。以太网用来连接计算机和工作站,使它们之间的信息交换方便、灵活和可靠。该以太网的数据传送速率是10Mbit/s,采用基带传输遵循IEEE802.3网络协议,通常由两个子网段A和B、一个网桥、两个网络集线器和8个以太网收发器组成。

④表示屏。表示屏上显示了全线的线路和车站的平面布置,全线的轨道电路、道岔、信号机、进路和列车的运行状态(车次号跟踪),以及站控/遥控状态和终端站折返模式。

⑤绘图仪。系统设有一台绘图仪,用于绘制计划运行图和实绩运行图。

⑥打印机。系统设有两台行式打印机,互为备用,用于打印时刻表,各种运行记录和报告,以及各种数据文件。

系统设有一个命令记录打印机,专用于实时地打印调度员在工作站上输入的命令和各种告警信息。

## (2) ATS 软件

ATS 软件包括系统软件和应用软件。

### ① 系统软件

a. 计算机中配置的操作系统,是一个实时的、虚拟存储的基于硬盘的多用户操作系统。它配置了 FORTRAN 数据库 FDBM,是一种以 FORTRAN 语言为操作语言的数据库,同时还配置了各种软件包,如编辑器、编译软件和连接程序。

b. 工作站中配置了 SUN 公司的 UNIX 操作系统,它是一个分时的基于硬盘的多用户操作系统。它配置了 X-WINDOWS 窗口系统和数据库 DBM。同时还配置了 SUN 公司的各种软件包,如编辑器、编译软件的相连接程序。

### ② 应用软件

应用软件指控制中心列车自动监控软件系统,或称 CATS 软件系统。

a. 计算机中应用软件的主要部分是用一种结构化的 FORTRAN 语言编写的,其余部分用汇编语言编写;同时使用 FORTRAN 数据库存储列车监控数据,供各种执行程序使用,并根据数据的变化属性,组成静态数据库和动态数据库。

b. 工作站中应用软件的主要部分是用 C 语言编写的,它也是一种结构化的程序设计语言,其余部分用汇编语言编写;同时也使用数据库 DBM 存储列车监控数据,并通过以太网,与计算机中数据库 FDBM 高效地交换信息,使两种数据库的映像保持一致,同时也使工作于同一运行模式中的各工作站的数据库映像保持一致。

使用 X-WINDOWS 窗口系统形成了一种友善的图形用户界面,图文并茂,便于理解 and 操作,其中有站场图形窗口、命令菜单窗口、告警信息窗口、处理器状态窗口、时钟窗口、用户等级选择窗口、运行模式选择窗口、登入退出窗口等。这些图形窗口界面都有中英文两套界面,用户在进入系统前,可在语言选择窗口中自己选择采用哪套界面。

c. 计算机中应用软件和工作站中应用软件,虽然运行在不同的硬件机器中和不同的操作系统上,但它们在功能上是互相兼容的,共同组成 CATS 软件系统的整体,形成一个高效的列车监控数据的处理流程。

d. CATS 软件系统采用模块化设计方法,以功能作为模块划分的基础,整个软件系统由许多相对独立的功能模块组成。

## (3) 数据传输系统(DTS)

DTS 为了保证控制中心与现场设备间可靠地进行信息传送,采用了 GRS 公司的 DATATRAN8 的通信规程。规程中包括检测现场设备状态变化及 CRC 循环码校验等功能。DTS 借助于光缆以 PCM 方式传送数据,速率为 2 400 bit/s。DTS 是个全双工系统,包括控制中心数据传输设备(通信处理机和调制解调器)和车站数据传输设备(DTM 机架)以及车辆段的远程终端。现场设有 DTM 机架,分别位于联锁中心站和车

辆段。

DTM 功能是:采集现场设备的信息,包括轨道电路、信号机和道岔的状态以及 TWC 信息,并将这些信息发送给控制中心 ATS;向现场设备发送控制中心 ATS 的控制命令,如排列进路、设置信号控制方式、折返模式和停站时间,以及设置车次号、运行等级、跳停命令等。

中央数据传输系统(CDTA)的传输任务由 CATS 通信处理器来完成;现场数据传输系统(LDTS)的传输任务由设在各站的 LDTS 内数据传输模块来完成。此模块还提供与现场信号系统和 TWC 的接口。

LDTS 有以下两种模块:

①信号模块(处理器)。有两个接口。一个接口是联锁电路与轨旁信号间传送信息用;另一接口是控制中心与轨旁设备间传送控制命令和表示信息用。

②TWC 模块。CATS 与车载设备间传送控制命令和表示信息的接口设备。

DTM 反映现场设备和 TWC 信息的变化,CATS 则以每秒一次的扫描速度与每个 DTM 通信,及时反映现场的最新信息。每隔一定时间,CATS 刷新来自 DTM 的数据,从而保证与 DTM 的信息一致。

DTS 还具有数据传输误差检测功能。若 CATS 与某个 DTM 之间连续出现两个故障,则 CATS 发出报警信息。当 LDTS 出现两次连续故障时,控制中心 ATS 生成一个“DTS 通信出错”的报警信号;当出现连续 5 次通信成功时,控制中心 ATS 则通知“DTS 通信恢复正常”。

DTM 反映现场设备和 TWC 信息的变化,CATS 则以每秒一次的扫描速度与每个 DTM 通信,及时反映现场的最新信息。每隔一定时间,CATS 刷新来自 DTM 的数据,从而保证与 DTM 的信息一致。

(4)车辆段 ATS 终端

车辆段的两台 ATS 终端,1 台位于信号楼控制室,1 台位于停车库派班室。其功能是输入投入运营的列车车号、司机号,根据时刻表通知列车投入运营。

(5)列车-地面通信(TWC)系统

TWC 系统是列车与地面之间的半双工数据通信系统,用于传送有关 ATS 信息。它以主从方式工作,车载 TWC 为主,地面 TWC 为从。当主机处于“发送”模式时向地面 TWC 送信息,当发送完转入“聆听”模式接收地面 TWC 来的信息。TWC 与 DTS 一起完成控制中心、地面(现场)和列车之间的 ATS 信息传送,从而使三者有机地结合在一起,组成一个协调一致的 ATC 系统。

TWC 数据采用曼彻斯特编码,经 FSK 调制后传输,具有很高的抗干扰能力。中心频率为 9 650 Hz,信号频率为 9 800 Hz,空号频率为 9 500 Hz,传输速率为 110 bit/s。

TWC 的数据内容主要包括:

①列车至地面:列车目的地、车次号、列车长度、车停站台、列车准备好、车门关闭、移动检测、驾驶方式、ATP 切除。

②地面至列车:列车目的地、车次号、ATS 运行等级、跳停。

## 第十节 SelTrac S40 型 CBTC 系统

SelTrac S40 型移动闭塞 ATC 系统,由加拿大阿尔卡特交通自动化部开发提供,有基于感应环线通信的移动闭塞制式 CBTC 和基于无线通信的移动闭塞制式 CBTC。

### 一、基于感应环线通信的 SelTrac S40 系统

武汉轻轨 1 号线和广州地铁 3 号线已安装该系统。它是一个充分综合了 ATP 和 ATO 功能的集中式系统,使用安全的编程计算机系统和高完整性遥测技术,来保持控制中心和列车之间的通信联系,由此对列车位置进行连续监控及根据情况来控制列车运行。系统可以划分成 3 个主要控制层:安全的车辆和轨道设备控制层、安全的遥测和车载控制器应用层、非安全监督控制层(管理层)。

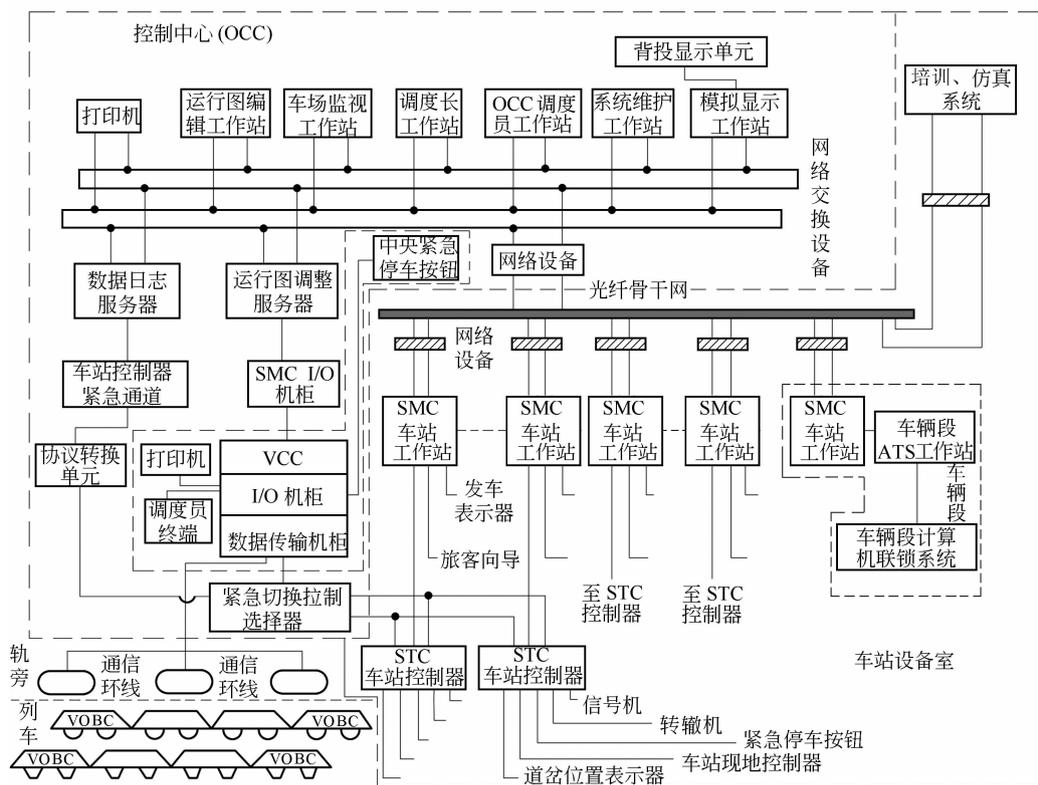


图 5-60 SelTrac S40 系统框图

## 1. 系统组成

SelTrac S40 系统由系统管理中心(SMC)、车辆控制中心(VCC)、车载设备(VOBC)、车站控制器(STC)、感应环线通信设备、车辆段设备、车站发车指示器、站台紧急停车按钮、接口等设备组成,如图 5-60 所示。

### (1) 系统管理中心(SMC)

系统管理中心对系统进行全面的协调管理,与车辆控制中心进行双向通信,完成对所有列车自动监控功能。

管理中心为系统操作员提供人机界面,便于进行运行调整。系统管理中心由 1 个非安全的 NetTrac 监控系统提供。该系统由多达 20 个在 OS/2 下运行的标准 IBM 兼容 PC 构成,它们连接在以本局域网内。操作界面由许多“工作站”构成。

SMC 设备设于运营控制中心(OCC),系统的软件/硬件都按模块化的原则设计,主要硬件部分包括:

①管理中心工作站。除系统服务器外,还配置调度员工作站、调度长工作站、模拟显示工作站、系统维护工作站、运行图编辑工作站及车场监视工作站。每个工作站都包含有一个键盘和一个“窗口”显示器,能够提供线路的全局情况,显示故障报警和指令提示。

②运行图调整服务器(SRS)。冗余的运行图调整服务器通过 SMC I/O 与车辆控制中心(VCC)相连,以实现 SRS 与 VCC 的通信,SRS 还与 SCADA、时钟、无线等系统接口。

③数据日志服务器。热备冗余配置,保留两个月以上的运行数据。

④网络通信设施。包括:SMC 的双局域网冗余交换机、与光通道的冗余接入设施、与培训中心及综合维修基地连接的通信设施等。

⑤车站控制器紧急通路(SCEG)。当 VCC 出现故障,不能对系统进行控制时,管理中心通过 SCEG 直接与车站控制器(STC)进行通信连接,实现对在线列车和轨旁设备的监控。SCEG 有紧急通路切换开关设备、协议转换单元(PCU)组成,每台 PCU 可与两台车站控制器(STC)进行通信连接。

⑥SMC I/O 机架。

⑦投影模拟显示系统。包括:模拟显示控制工作站及背投模拟显示屏,还有车辆段监视工作站、综合维修基地监测工作站、仿真及培训远程终端设备等。

### (2) 车辆控制中心(VCC)

对于列车运行的安全控制和轨道设备的联锁,全线被划分成若干个区域,每个区域由 1 套车辆控制中心(VCC)来进行控制。

VCC,位于运营控制中心(OCC),它有以下主要部分构成:

①VCC 中央计算机:采取 3 取 2 的配置,包括 3 台工业级计算机,以及相关的输入/输出接口。3 个中央处理单元通过显示/键盘选择开关,来共享一个显示和键盘。还有通用接口盒、电缆分线盒等。

②VCC I/O 机架:主要设备有 D24 接收器、多路复用输入设备、中央同步设备、电

源、定时器、熔丝等。

③VCC 数据传输(DT)架。

④VCC 调度员终端。

⑤中央紧急停车按钮(CESB):它与 VCC 接口,当调度员按下该按钮,将封锁所有的轨道,而且所有的列车立即停车;当紧急停车按钮中插入钥匙后,才可以解除。

VCC 还设有数据记录计算机、打印机等设备。

### (3)轨旁设备

轨旁设备主要有车站控制器(STC)、感应环线通信系统、车站 SMC 工作站等设备。

①车站控制器(STC)。STC 设于设备集中站,每个 STC 都有一个道岔安全控制器,其中带冗余的双 CPU 固态联锁控制器,是 STC 的核心单元。STC 通过双共线调制解调链路与 VCC 通信,它有调制解调器子机架、接口盘、电源子机架、INTERSIG 预处理器及子机架等组成。

②感应环线通信系统。位于设备室和轨旁,它有以下设备组成:馈电设备(FID)、入口馈电设备(EFID)、远端环线盒、感应环线电缆和支架等。感应环线电缆由扭绞铜制线芯和绝缘防护层组成,环线敷设于轨道之间,每 25m 交叉一次。

③SMC 车站工作站。每个车站配置 SMC 车站工作站,它由工业级计算机和接入设备组成,其接入光纤通信环网,实现与管理中心 SMC 的远程通信。它与车站控制器(STC)接口,实现车站本地控制;还与旅客信息向导系统等设备接口。

轨旁设备还包括:站台紧急停车按钮、站台发车指示器、车站现地控制盘,以及信号机、转辙机等现场设备。

### (4)车载设备

ATC 车载设备主要包括:车载控制器(VOBC)及其外围设备。

①车载控制器(VOBC)。每列车两端都安装有 VOBC,互为热备冗余。每套 VOBC 的 8085 双重处理器的一致性被持续监控,一致性的丢失将使单元无法使用。该单元可以支持 3 节编组列车的运行,负责列车管理的各方面,包括跟踪和报告列车位置,在多节车厢的列车上安装任何 VOBC 都能够履行 ATC 系统的要求,并采用安全的编程技术来进行编制。车载控制器由电子单元(EU)、接口继电器单元(IRU)、供电单元等组成。电子单元包括:天线滤波器、高频接收器、数据接收器、数据发送器、高频发送器、定位计算机、双 CPU 处理单元、输出/输入端口、发送/接收卡、车辆识别卡、输出继电器、距离测量控制、转速表放大器等。接口继电器单元包括:继电器面板、滤波/防护模块、电子单元与接口继电器单元的互联电缆等。

②VOBC 外围设备。包括:天线,每个 VOBC 设两个接收天线和两个发送天线;速度传感器,每个 VOBC 设两个速度传感器;司机显示盘(TOD),每列车设置两套。

③接口。信号系统内部接口包括:与信号监测子系统的接口,与电源子系统的接口,与模拟显示屏的接口,与发车指示器的接口,与中央紧急停车按钮的接口,与信号

机、转辙机等继电器控制电路的接口;与车站现地控制盘及站台紧急停车按钮的接口;与车辆段的接口;人机接口;主系统内部间的接口等。信号系统外部接口包括:与无线通信系统的接口,与时钟系统的接口,与通信传输系统的接口,与旅客信息系统(包括车上)的接口,与车辆的接口,与车辆管理系统的接口,与 SCADA 系统、FAS 系统、BAS 系统等的接口等。

## 2. 系统基本工作原理

感应环线通信的移动闭塞系统,能实现 90 s 的最小运行间隔。后续列车与前一列车的安全间隔距离是根据列车当前的运行速度、制动曲线,以及列车在线路上的位置而动态计算出来。由于列车位置的定位精度高,因此,后续列车可以在该线路区段,以最大允许速度安全地接近前一列车最后一次确认的尾部位置,并与之保持安全制动距离,如图 5-61 所示。

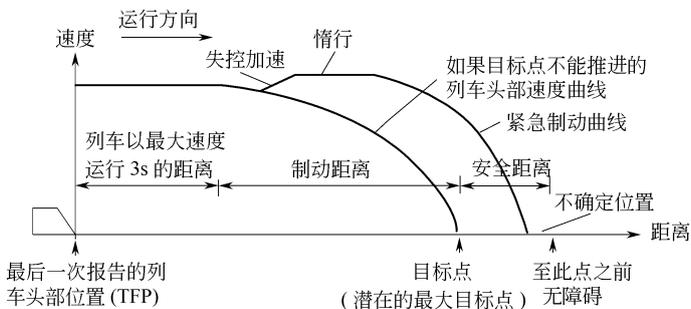


图 5-61 移动闭塞目标点示意图

该“安全距离”是指后续列车的指令停车点(目标点)与前一列车尾部位置之间的一个固定距离,它是最不利情况发生时,仍能保证安全间隔为前提计算而得到的。假如列车采用常用制动,列车可以停在目标点,当常用制动失效,实施紧急制动时,除了紧急制动所需时间外,必须增加系统作用时间和牵引停止到紧急制动启动的延长时间,这种情况下列车真正停车点并不是目标点,而是远于目标点,但必须停在安全距离的范围内。

列车目标点沿线路不断前进,VOBC 对列车进行控制,以使它以最大 VCC 命令速度跟随目标点。当列车靠近目标点的时候,VOBC 作出反应,列车以一种受控的方式,按控制器可预选的 4 级(0~3 级)2 类(NK 与 K)共 8 个常用制动率中的一种对列车进行常用制动,使其停车或限速。当列车前行可能超出目标点时,使用紧急制动,如图 5-62 所示。

目标停车点的周期性前移,主要取决于前一列车向前移动,和其他限制被解除。在车辆控制中心,接收来自列车和现场设备的输入报文,当确认输入报文有效后,才产生相应的指令报文。

为了确保列车的安全运行,列车必须连续不断地接收目标点的更新信息,系统设定

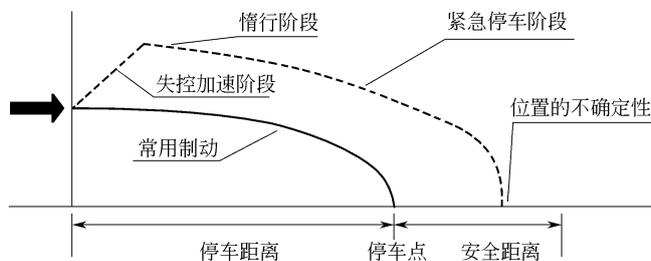


图 5-62 列车目标点扫描示意图

列车在 3 s 内收不到信息,就判断为通信发生故障,迫使列车紧急停车,保证列车运行安全。

系统管理中心对整个系统内的列车进路、运行图/时刻表进行管理,并向负责联锁及道岔控制的车辆控制中心发出排列进路请求,完成道岔联锁功能。一旦车辆控制中心确认道岔已锁在规定位置,才允许列车通过该道岔。

车辆控制器确保列车的特定功能(如实施速度限制和车门控制等)的安全控制均在车辆控制中心限制范围内。车辆控制器对来自车辆控制中心的报文,校核其冗余性、一致性、合理性,然后解译,并执行该报文。当然它只对该列车地址为报头的报文作出反应,如果报文不是特定选址某一列车,那么车辆控制器只从该报文提取环线识别号,以识别从一个环线段至下一个环线段的转换。

### 3. 系统功能及其实现

系统按功能划分为三层:管理层、控制层和执行层。

#### (1) 管理层

管理层的功能由系统管理中心和 SMC 车站工作站完成。

##### ① 系统管理中心

系统管理中心负责列车自动控制系统的全面管理。它起着系统与控制中心调度员及系统其他用户间接口的作用。它除了监控和显示列车位置、调整列车运行、排列列车进路、实现停站时间控制等功能外,还具备以下功能:调度列车投入运营(增加或减少投入运营的列车);运行图/时刻表管理(包括时刻表的生成、指定和取消);自动调整列车运行(调整列车速度和停站时间);监测列车性能的状况并收集 ATO 数据;自动跟踪列车;监督列车位置、速度、运行方向;指挥列车操作和排列进路(联锁控制);优化折返作业;列车及线路的报警等。

##### a. 管理中心工作站

所有工作站都由系统维护工作站管理,即系统维护工作站对网络中的计算机系统维护,该工作站主要监视 SMC 网络性能,进行记录和对整个系统进行诊断和维护。

运行图/时刻表编辑工作站可以在离线情况下对运行图/时刻表进行编辑,完成的运行图/时刻表文件,通过局域网传送到 SMC,也可以进行在线编辑。

调度员和调度长工作站实时监督在线列车的运行,并可实现列车运行的人工控制。

#### b. 运行图/时刻表调整服务器(SRS)

该服务器主要功能是为 SMC 提供运行图/时刻表调整和自动排列进路。SRS 还可预测当前时间之后一个时间段内列车运行情况,以便为旅客向导系统提供准确的信息。

当 SMC 的 SRS 与 VCC 的主连接发生故障(包括 SRS 故障)时,自动切换开关,将通信连接切换到备用的 SRS 计算机。

该服务器还完成与其他系统(SCADA、时钟、无线、消防等)进行接口的功能,并实现与 SMC 车站工作站的通信。

#### c. 局域网

网络交换机是冗余的,所以单台网络交换机的故障不会造成通信的丢失。网络交换机为 SMC 工作站、服务器、打印机等提供局域网连接。

SMC 调制解调器连接到 VCC 的数据传输架的调制解调器,对来自在线 SRS 的串行请求报文进行调制,对来自 VCC 的响应报文信息进行解调,转换成串行数据格式后,提供给通信处理器使用。

#### d. 加强型的车站控制器紧急通路(SCEG)

当 VCC 发生严重故障,调度员可以避开 VCC,从控制中心对道岔进行人工控制,通过 SMC 直接与 STC 通信。

SCEG 由转换盒和调制解调器等单元组成,转换盒位于 OCC 的两台协议转换单元(PCU)之间,(每台 PCU 与 STC 进行通信)。PCU 与 SMC 的数据记录服务器有一个串行连接。这些组件使调度员可以转移 VCC 对道岔的控制,并通过在 SMC 输入命令直接与 STC 通信。

在 OCC,激活 SCEG 开关,断开了 VCC 与 STC 的通信连接,并将 SMC 与 STC 连接起来。来自 STC 的信息从 VCC 改变路线到 PCU。PCU 对信息进行解码,解码后的信息传送到数据记录服务器,并转发至 SRS 进行处理。

调度员可以在 SMC 输入道岔转动的请求。请求被送到 PCU,PCU 发送请求至 STC,STC 确定道岔转换安全。

#### e. 接口

SMC 与其他系统进行接口,包括:主控系统、通信 WAN、无线电 Radio,实现信息资源的交换共享支持。

SMC 与车站及轨旁的主要接口,是在控制层,通过使用大量的低速连续链路来实现的。也正是通过这些链路,将指令传给与操作指令相关的安全设备,同时把包含有列车位置相关数据的调度和运营管理指令的执行,轨道设备状态和各种设备状态报警及报告,以相反方向传递。

通过网络冗余及关键设备运行图/时刻表调整服务器(SRS)冗余,工作站冗余及工作站职能分配等措施,大大提高了系统可用性。

当计算机化的列车和事件监控器(SNOOPER)一起使用时,就能得到大量的故障和操作数据,以帮助诊断性能和进行趋势分析,指导维护。

### ② SMC 车站工作站

SMC 车站工作站,可以实现与控制中心调度员工作站相同的功能,受系统维护工作站管理,由调度员授权,并对其授权管辖区域进行控制和监视。SMC 车站工作站,对车站控制器(STC)进行监视和现地控制。SMC 可以实现以下本地控制功能:

a. 在正常情况下,根据控制中心的授权,SMC 车站工作站可以对本站进行控制,控制命令通过光纤骨干网首先传回 SMC 中心,然后经过车辆控制中心返回本站车站控制器,执行相关命令。

b. 当 SMC 正常,车辆控制中心全面故障的情况下,SMC 车站工作站,仍将控制命令首先传回 SMC,SMC 在中心切换车站控制器紧急通路(SCEG),通过 SCEG 传递至本站车站控制器,以实施有关控制。

c. 在特殊情况下,由控制中心授权,车站值班员进行转换操作,SMC 车站工作站可以直接与本地 STC 通信,这时 SMC 车站工作站可作为现地控制盘使用。

d. 当 SMC、VCC 全面故障时,SMC 车站工作站可实现对 STC 及室外设备等车站设备的控制。

e. SMC 车站工作站通过光纤通信网,向中央 SMC 传输所管辖范围内的表示信息。

f. SMC 车站工作站,还作为旅客向导系统的接口。

### (2)控制层

控制层的功能包括列车自动防护(ATP)功能,由车辆控制中心(VCC)完成。车辆控制中心与全线的列车进行不间断地双向通信,所有的列车将其所在的精确位置和运行速度报告给车辆控制中心;车辆控制中心在完全掌握所有列车的精确位置、速度等信息的前提下,告知各列列车运行的目标停车点。车辆控制中心还与车站联锁装置通信,完成列车进路的排列。

VCC 连续地监控列车位置,控制列车运行和轨旁设备,使用 3 取 2 表决系统对其一致性进行检测。3 台计算机包含的代码几乎一样,用以执行其管辖区域内的列车控制和追踪的功能。线路数据包含了与区域地理相关的信息,如:车站的道岔位置、环线各分界点位置、轨道坡道,以及其他诸如最大线路速度、冲突防护区域(CAZ)位置、道岔状态、控制安全距离(SD)、永久限速区参数和可保证常用制动率等方面的安全数据。根据列车当前位置、速度等实时信息,参照线路数据、轨道装备状况,VCC 系统对其区域的列车运行进行管理。

①VCC 接收调度员的指令并按照联锁条件排列进路,完成集中联锁功能和排列进路功能。

②VCC 保证列车的自动运行安全间隔和控制列车自动运行。

VCC 以前一列车尾部最后一次确认的位置为基础,考虑到道岔故障、区段封锁等影响安全制动的因素,向后续列车传送与先行列车之间的最小的安全间隔距离信息,即后续列车运行的目标点。

也就是说,VCC 是通过将列车目标点前移的方式控制列车运行的。VCC 发送关于目标点位置变动的报文。该目标点是 1 个环线位置的号码,以允许相关列车前进到目标点。目标点距前方障碍物间隔 1 个安全距离,就是在发生超速时保证紧急制动率将正在以线路限制速度行驶的列车停下来所需要的距离,减去由于坡道影响的正常制动的停车距离。在该计算中隐含了能够适应最不利的故障模式的余量。其他所有可能影响车辆性能的可变参数由 VCC 定义,并按类似的方式发送。

所以,列车自动运行而无需司机或调度员干预,是通过列车跟踪和移动授权这两个功能实现的。VCC 通过连续地轮询 VOBC,实时地得到列车位置信息来跟踪所有列车;移动授权是通过 VCC 连续地向 VOBC 发送下一个安全停车位置(目标点)信息来实现。

对列车的控制,由 VCC 与 VOBC 的通信完成,VCC 可以发出实施牵引或制动,设置速度限制和制动率、停车站以及开、关车门等命令。VCC 根据最后一次报告的列车车速和位置、行驶方向、前一列车最后一次被证实的位置、限速、停站和地面设备状态等实时信息,生成一个包含有目标点、最大允许速度和其他指令的报文。

在 SMC 系统故障时,降级至控制层,VCC 可直接调用控制接口。在此情况下,列车仍可以自动运行,但是没有运行图调整功能。

③VCC 还负责对中央紧急停车按钮、车站站台紧急停车按钮、车站现地控制盘的状态进行监督并作出反应,这些设备的状态信息由 STC 向 VCC 提供。

### (3) 执行层

执行层的功能由加强型车站控制器(STC)、车载控制器(VOBC)、感应环线等完成。

#### ①加强型车站控制器(STC)

STC 通过双共线调制解调器链路与 VCC 通信。车站控制器的控制功能由来自 VCC 的指令报文启动,STC 采集所有轨旁设备的状态信息,并报告给 VCC;而 VCC 将联锁逻辑命令发送给 STC,STC 执行 VCC 的命令,控制并监督转辙机、信号机、计轴器、屏蔽门、防淹门及站台紧急停车等。轨道和转辙设备通过 STC 与 VCC 相接口。

a. 正常运营情况下,所有联锁功能都由 VCC 完成。STC 可在现地模式下,完成道岔转动。即在控制中心授权下,将 STC 所在地的 SMC 车站工作站与 STC 相连,选择现地模式。而当 VCC 与 SMC 故障时,可用 FALLBACK 直接降级至车站控制器 STC,STC 自动转为现地模式。当 STC 处于现地模式时,SMC 与车站控制器 STC 的串行通道来提供简易的联锁级控制,SMC 车站工作站就可以向 STC 发送指令,并接收 STC 的状态信息。这时,列车按信号显示人工驾驶。

b. 一旦 STC 处于现地模式时,道岔的转换只能由 SMC 车站工作站,而不是由

VCC来完成。处于现地模式下的道岔,不允许自动运行模式的列车和ATP防护人工模式的列车通过,只有限制人工模式及非限制模式的列车通过。

因此,STC的功能归纳为:道岔控制和表示采集、监督并报告,监督中央紧急停车按钮、车站现地控制盘上紧急停车按钮及站台紧急停车按钮的状态;信号机的点灯和灯丝报警;与VCC通信;与SMC车站工作站通信等。

### ②车载控制器(VOBC)

VOBC接收车辆控制中心发来的目标停车点信息,车载计算机根据允许运行的距离、所在区段的线路条件及列车的性能等,不断地计算运行速度,自动地完成速度控制。

VOBC和VCC之间的有效连续通信是通过轨旁环线来实现的。该环线采用FSK传输系统,使用36 Hz和56 Hz的载频,曼彻斯特Ⅱ编码系统的40/80 bit报文。除列车位置和目标点信息之外,VOBC和VCC之间的信息交流还包括最大线路速度、最大常用制动率、线路坡度和车辆状况。诸如车门/屏蔽门开/关门允许、启动/解除紧急制动和列车出发的指令,都以相似的安全(VITAL)方式处理。

与其他许多ATC系统不同,该系统的车载单元不包括任何固定的线路地形数据,VOBC实际上就只充当了一个复杂的闭环控制器,按照由VCC和车载传感器发出的激励信号以最优方式操作列车。

#### a. 确保列车安全运行

VOBC完成车载ATP/ATO功能。VOBC不断地与VCC进行通信,在ATP保护下进行牵引、制动及车门控制。对超速、目标点冒进及车门状态进行安全监督以确保列车在允许的包络线内运行;当无法继续安全运行时,自动实施紧急制动。

VOBC负责列车在VCC控制区域的自动运行,每列车装有主/备两套VOBC,每端一套,VCC命令其中一套激活工作,另一套处于备用模式,备用VOBC监督工作中的VOBC单元是否正常工作,如果出现故障或VCC命令切换时,立即接管工作,激活的VOBC负责车载ATP/ATO的功能。正常情况下,激活工作的ATP/ATO与列车前部司机显示盘TDD通信,当VOBC故障时,备用VOBC激活并与TDD通信。

在一列车和VCC之间通信中断的情况下,系统实际上会丢失列车位置的相关信息,并不能再对列车的位置进行控制。这时,为保持列车间的安全间隔,VOBC可以编程来检测通信故障,并启动列车紧急制动。同时,VCC也将作出反应,阻止该列车继续前进。然而,如果没有辅助列车检测装置,就无法对仍然存在故障的列车的移动情况进行检测。

为解决这一问题,可采取改进措施,增加一个叠加的计轴器固定闭塞系统,它与车站控制器子系统接口,对正在线路上运行的任何无通信列车进行追踪。一旦列车失去通信,系统将使用计轴器闭塞分区报告列车位置。目标点的设置采用中央人工进路(MRR)方式实现,运营能力与传统固定闭塞系统的方式类似,对列车进行信号机人工

保护,以便使故障列车撤离服务区。

#### b. 确保列车的定位精度

VOBC 的定位,以敷设于轨道间的感应环线上的信息,和安装于车辆轮轴的转速表的信息为基础,每段感应环线都有对应的环线编号,即 VOBC 通过感应环线编号及计算从每个环线起点开始的环线交叉点,给线路上的列车初步定位;更进一步的精确定位,要通过转速表来测量列车从上一个交叉点开始所走行的距离来实现。VOBC 传送到 VCC 的列车位置分辨率为 6.25 m,它是根据感应环线 25 m 交叉一次,以 25 m 除以 4 得到的。作为 VOBC 向 VCC 传送列车所在位置的数据,VOBC 与安装在列车底部的加速度计、测速计、天线等配合能识别和处理列车车辆的打滑、空转、并进行车轮轮径的补偿。

#### c. 解码与编码

VOBC 对发自 VCC 的命令进行解码,并控制列车不超出 VCC 指令的速度和距离界限;同时向 VCC 传送列车位置、速度、行驶方向及 VOBC 状态等数据。VOBC 的校核冗余微处理器,通过冗余性、合理性和一致性校核,测试来自 VCC 的报文,然后进行解码,VOBC 只对发给自己的报文作出反应。

### ③ 感应环线通信系统

通过感应环线通信系统,车辆控制中心可以保持与车辆系统间连续通信。

感应环线数据通信是 VCC 和 VOBC 之间交换信息的手段,为了进行准确和可靠的数据通信,与传输数据所伴随的冗余位,保证了被干扰的数据不被接受。也即通过在所有包含安全信息的数据信息中,使用循环冗余校验(CRC)来实现的。另外传输的数据被周期性更新。

交叉感应环线与车载控制信息之间进行的双向数据通信。VCC 呼叫区域内的每一列车,并从每一个车载控制器得到信息,通过“通信安全性测量”来保障车-地通信的可靠性和安全性。

a. 车-地通信频率。车到地的通信使用的频率为 56 kHz;地到车的通信使用的频率为 36 kHz。

b. VCC 到 VOBC 命令报文。报文包括报头、CRC 码、信息三部分。报头用于确定报文的开始部分。CRC 码提供信息质量/完整性的检查。信息内容包括:VOBC 所在环路编号、列车运行目标点、运行方向(上行/下行)、车门控制(开/关,左/右)、最大速度、VOBC 编号、VOBC 命令启动/备用、用于慢行区的目标速度、使用非安全码向 VOBC 传递特殊数据、制动曲线、停车、列车编号、车载旅客广播信息号、下一个目的地(车站或轨道区段)、紧急制动控制、当前位置的平均坡度、来自 SMC 的特殊 ATC 机车显示信息等。

c. VOBC 到 VCC 的状态报文。报文包括报头、CRC 码、信息三部分。报头用于确定报文的开始部分。CRC 码提供信息质量/完整性的描述。信息内容包括:

VOBC 编码、列车操作模式、紧急制动状态、列车门状态(开/关)、列车完整性状态、VOBC 启动/备用、VOBC 所在地实际环路的编号、运行方向(上行/下行)、列车所在环路的位置、实际速度、故障报告(例如,自动门切换位置、ATP 倒车状态、无人驾驶状态)等。

## 二、基于无线通信的 Seltrac S40 系统

基于无线通信的 Seltrac S40 系统是采用无线基站方式的 CBTC,应用于上海轨道交通 8 号线。

前已述及,无线通信有利用波导管、漏泄电缆和无线空间天线三种方式。无线通信 Seltrac S40 系统采用无线空间天线方式。

### 1. 无线 Seltrac S40 概述

无线 Seltrac S40 系统对通信设施和车载设备采用双套冗余,解决了轨道电路无法冗余的弱点,从而确保列车控制信息的可靠接收和车-地信息的可靠交换。因此,任何单个设备的故障都不会影响列车的正常运行。

CBTC 中不仅实现列车运行控制,而且可以实现综合运行管理,因为双向无线通信系统既可以有安全类信息双向传输,也可以双向传输非安全类的信息,例如:车次号、乘务员班组号、车辆号、运转时分、机车状态、油耗参数等大量机车、工务、电务等有关信息。

在 CBTC 应用中的关键技术是双向无线通信系统、列车定位技术、列车完整性检测等。在双向无线通信系统中,可应用 GSM-R 或扩频通信等技术。列车定位技术则有车载设备的测速-测距系统、全球卫星定位、感应回线、查询/应答器等。在列车完整性检测中,则用计轴器法、列车尾部加装无线信号法、司机检测列车风压法等。

随着计算机技术和通信技术的发展,信号的概念已经改变:从被动反应到主动检测,从轨旁设备控制到列车自我控制。现在采用连续的列车-轨旁双向数据通信技术,不再依赖于轨道电路的列车定位技术,使列车具备了“思考和对话”能力。

无线 CBTC 的突出优点是:有车-地双向通信,而且传输信息量大,传输速度快,很容易实现移动闭塞,大大减少了硬件尤其是轨旁设备,大量减少了区间敷设电缆,减少一次性投资及减少日常维护工作,可以大幅度提高区间通过能力,灵活组织双向运行和单项连续发车,适应不同车速、不同运量、不同类型牵引的列车运行控制等。

现在铁路信号界已逐步认为这是铁路信号新一代的列控系统,因为在无线 CBTC 条件下可以实现闭环控制,其不仅能提高运输能力,而且在安全上也会有所提高。无线 CBTC 基本特性包括:独立于轨道电路的高精度列车定位;连续、高容量的车-地双向无线数据通信;车载和轨旁的处理器执行安全功能。

装备了 CBTC 设备的列车,可以在各种模式下运行,这取决于列车是在 CBTC 区

域或是非 CBTC 区域,也取决于车载/轨旁设备的状态。混合运行应作为常用的运行模式。混合运行模式定义为在 CBTC 区域同时运营装备 CBTC 设备的列车和不具备 CBTC 功能的列车。混合运行模式可以使用以下一种或多种方式:在 CBTC 区域经常性的有计划的运营模式;在 CBTC 区域内偶尔的、没有计划的运营模式;在新的 CBTC 系统投入使用时的转换期间;CBTC 车载设备故障时。

## 2. 无线 Seltrac S40 系统的结构

无线 Seltrac S40 系统为分布式结构,是以列车为中心的系统。它的一般结构包括调度控制中心层、有线(光纤)通信层、无线通信层、车站控制层、无线通信层、车载设备层和调度控制中心层。调度控制中心层主要是中央 ATS,有线(光纤)通信层主要是数据通信系统(DCS),车站控制层主要是区域控制器,无线通信层、车载设备层包括车载控制器和司机操作显示单元。

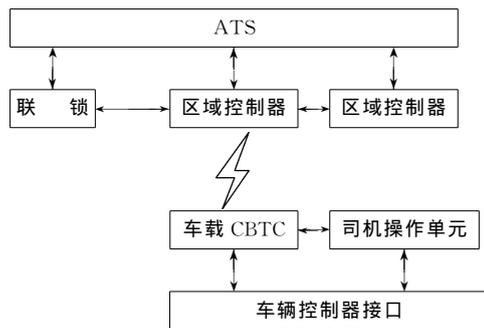


图 5-63 无线 Seltrac S40 系统的结构

系统的功能框图如图 5-63 所示。

每个区域控制器最多能控制 30 辆车,ATS 最多能控制 150 辆车。

## 3. 无线 Seltrac S40 系统的设备组成

无线 Seltrac S40 系统的设备包括控制中心设备、有线通信网、车站设备、车载设备、无线通信网、车辆段设备、试车线设备,如图 5-64 所示。

### (1) 控制中心设备

控制中心设备包括中央 ATS 设备、数据库存储单元、DCS 设备、培训/仿真室设备。

中央 ATS 设备包括 ATS 服务器、调度员工作站、数据日志记录器、数据记录器、运行图编辑器及打印机、维护工作站及打印机、ATS-车辆段终端、显示屏。其中,ATS 服务器、数据日志记录器、数据记录器为双机。

数据库存储单元(DSU)为 3 取 2 系统。

DCS 设备包括两台网络管理服务器(NVS)和一台授权认证服务器(CA)。

培训/仿真室设备包括培训服务器、工作站、打印机以及仿真服务器。

### (2) 车站设备

车站设备包括位于每个联锁站车站值班室的 ATS 工作站和位于每个联锁站设备室的数据记录器以及联锁子系统。联锁子系统包括:位于每个联锁站设备室的区域控制器、继电器架、电缆分线盘(CTF),位于轨旁的转辙机、信号机和车站紧急停车按钮、发车指示器(每站 4 个)。其中,区域控制器(TrZC)为 3 取 2 系统。轨旁还有接近盘、应答器。

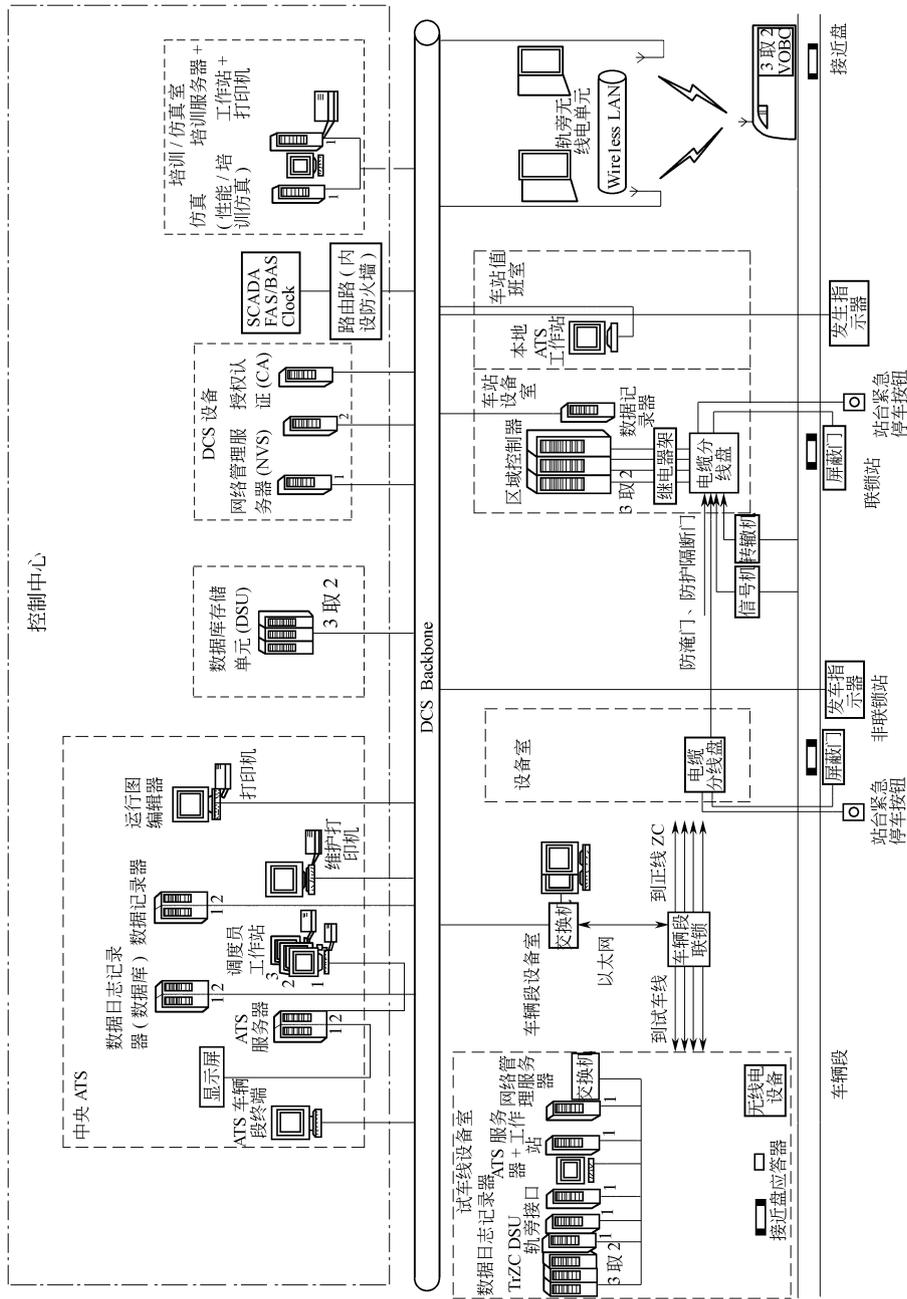


图 5-64 无线 Seltrac S40 系统的设备组成

DCS—数据通信系统; Backbone—骨干网; Wireless LAN—无线局域网; ZC—区域控制器; Clock—时钟。

而在非联锁站,只有车站紧急停车按钮、发车指示器和电缆分线盘、接近盘、应答器。

### (3) 车载设备

车载设备包括一个三重车载控制器(TrVOBC)以及它的外围设备:用于测速及列车定位的测速发电机(和加速度计)以及测速(多普勒)雷达;用于确认列车位置的接近传感器;用于提供绝对参考位置和校准的应答器;无线接收单元及天线;车载显示单元。

### (4) 车辆段设备

车辆段设备包括:ATS-车辆段终端、交换机和联锁设备,并通过联锁设备与试车线设备,正线区域控制器(ZC)相连。

### (5) 试车线设备

试车线设备室内包括区域控制器(TrZC)、数据库存储单元(DSU)、数据日志记录器、ATS服务器+工作站、轨旁接口服务器、网络管理服务器(NVS)、交换机等。室外有接近盘、应答器、无线电设备。

### (6) 数据通信系统(DCS)

数据通信系统 DCS 可实现任何子系统之间的通信,对所有的列车控制子系统是透明的。列车控制子系统之间的通信采用 UDP/IP 协议。由 DCS 完成报文路由。列车控制应用只占用不到 10% 的 DCS 带宽。允许系统实现其他附加功能:乘客广播系统、乘客向导系统、远程 SCADA 设备(轨旁)、车载视频监视系统。

DCS 设备包括:轨旁光纤骨干网、AP(轨旁无线设备接入点)、车载无线设备、联锁站和中央控制室的网络和骨干交换机。

光纤骨干网采用基于开放标准的设计方法,采用 IEEE 802.3 以太网标准,网络接口对所有业务透明,实现包含多个厂商提供的多种类型的设备互联互通。DCS 提供认证,确保系统可信。

### (7) 无线局域网

无线局域网由轨旁无线电单元和车载无线接收单元组成,用以构成车-地双向通信。采用基于 IEEE 802.11 标准,是 802.3 标准对无线通信的扩充,也是支持移动通信的唯一标准,以满足移动性和抗干扰性的要求。

## 4. 系统接口

### (1) 紧急关闭按钮

每个车站站台、车站控制室设有紧急关闭按钮。当紧急关闭按钮按下时,CBTC 系统应立即关闭本线路或是上、下行两条线路该区域内的信号机,并收回涉及该区域的移动授权。

### (2) 站台屏蔽门

与站台屏蔽门间的接口要求:确定列车停在规定的停车窗内后,向屏蔽门控制系统发出开门命令;在关列车门的同时,向屏蔽门控制系统发出关门命令;接收屏蔽门控制系统提供的屏蔽门锁闭信息或故障旁路信息;根据需要可向屏蔽门控制系统传送列车

到站信息等。

### (3)其他系统

DCS 通过路由器与 SCADA、FAS/BAS、Clock 等接口。

### 5. 系统的可靠性

为了提高系统的可靠性,采用冗余的骨干网络、冗余的轨旁网络和冗余的无线网络。如图 5-65 所示。

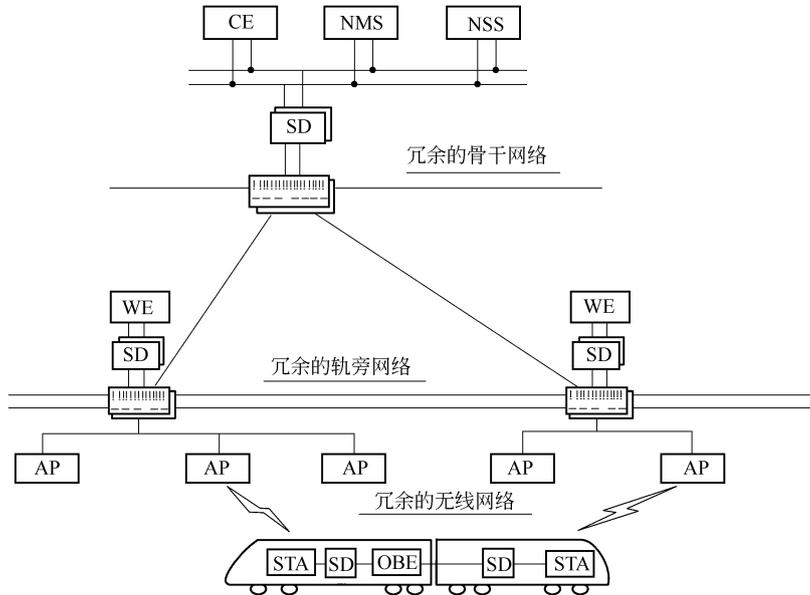


图 5-65 冗余的网络示意图

CE—控制设备;NMS—网管系统;NSS—网络支撑系统;WE—轨旁设备;

AP—接入点;OBE—车载设备;SD—安全装置;STA—天线。

有线网络采用冗余的电子装置、冗余的入网路径、冗余的环网结构,以及可选的光纤通路。无线网络的 AP 无线重叠覆盖 4 条单独的接收信道,每 2 条连接到列车的一端冗余的车载线无设备。

## 第十一节 调度集中(CTC)

根据运营需要,城市轨道交通运营初、近期或运行能力较低的线路可采用 CTC 系统。

### 一、CTC 概述

CTC (Centralized Traffic Control) 系统主要完成列车跟踪、列车运行监视、人工控制命令输出等功能。CTC 还提供了列车运行、调度员操作的记录、告警,计划运

行图的编制、显示,实迹运行图显示、绘制以及车次调整等功能。CTC是采用传统调度集中的以人工控制、调度员实现运行调整为主要运用特点的系统,与ATS有区别。

CTC系统控制区域的划分,应根据行车密度、车站数量、行车调度人员的劳动强度和CTC的技术性能等条件确定。根据需要,一条线路可单独设置CTC控制中心,若干运营线路可设置综合调度中心。

采用CTC的信号系统可不设乘客向导显示、发车计时器和ATO等设备。

CTC系统的其他功能和要求可参照ATS系统的有关部分执行。

## 二、SSC-1型地铁调度集中

SSC-1型地铁调度集中1994年在北京地铁环线正式投入运用,是中国电子系统工程总公司与北京地铁总公司合作研制的。

经过多年的实际运行经验表明,这套CTC系统实时性强,可靠性较高,稳定性较好,各项指标基本满足了设计要求。但存在开发使用较早,操作系统、用户界面比较陈旧的问题,其系统功能上也应该进一步地加强,以满足列车密度越来越大的情况下,进一步减轻行车调度员工作劳动强度,防止行车事故的需要。

### 1. 系统特点

(1)总机逻辑电路及计算机控制接口电路采用三重系,按功能模块进行3取2判别纠错,避免局部故障导致系统故障。

(2)调度集中分机采用热备冗余方式,主机故障时可自动切换到备机。另外,各主、备机的主要逻辑电路也采用主、备方式,主、备两套电路动作时序相互照查,保证了设备动作的完整性。

(3)调度集中系统可与ATC系统中的列车自动监控ATS主机接口,实现自动控制,也可中央人工控制及各车站进行分散控制。

### 2. 系统构成

调度集中系统包括控制中心设备(OCC)和车站设备(RTU)两部分,控制中心和车站间实现星型连接。系统采用双重冗余的通信网络,互为备用。控制中心综合数据局域网采用基于以太网的分布式网络拓扑结构,在100 Mb/s高速率的网络通信下实现数据共享,并通过网络设备实现高速数据传输通道的共用。为适应中心各相关计算机间高数据量传输的需要,采用网络交换机连接中心的各计算机和路由器,作为控制中心10/100 Mb/s以太网的主干。控制中心经路由器与车站相连,实现控制中心与车站间的不间断的点对点双向通信。控制中心使用TCP/IP协议和动态路由协议。车站按TCP/IP网络通信协议连接组成10 Mb/s分布式以太网,实现车站内各相关计算机间的信息共享。

SSC-1型调度集中系统结构框图见图5-66。

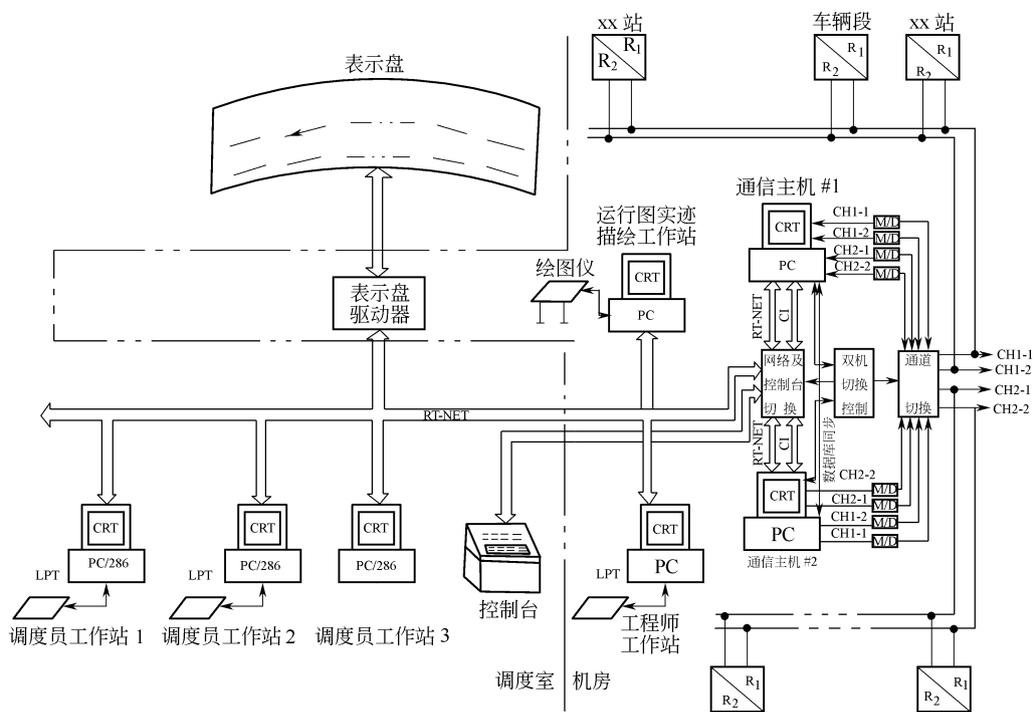


图 5-66 SSC-1 型调度集中系统结构框图

(1) 控制中心设备

总机系统由一主、多从的多微机分布式 RT-NET 网络构成。控制中心按功能模块划分成 6 个工作站，每个工作站可独立实现其功能，各工作站协调工作由通信主机完成。由于功能分散到各工作站，减轻了主控机（指通信主机）的负荷，风险分担，提高了系统的应答性、可靠性和扩展性。

控制中心设备包括模拟表示盘、控制台、调度员工作站 3 台、工程师工作站 1 台、主备通信控制机各 1 台、总机与分机通道接口柜 1 台、实迹运行图工作站 1 台（含 1 台绘图仪）、打印机 1 台、UPS 电源 4 台等。

中心主机、调度员台、调度长台、计划员台、维护管理台、培训台、网络交换机和路由器等均通过中心综合数据局域网相连，如图 5-67 所示。

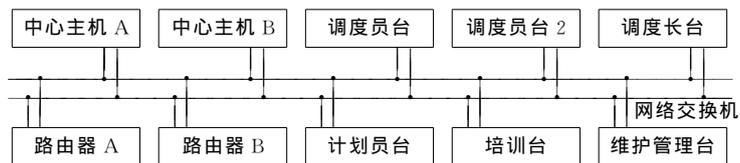


图 5-67 调度集中系统中心硬件结构图

中心的两台主机互为热备,主要进行数据处理、数据库管理、重要的计算和系统的管理等工作。主机接收调度员工作站发来的控制命令,经预处理后发给车站的通信分机,并从通信分机处接收站场表示信息。两个调度员台完全相同,主要负责从主机接收数据,显示站场状态和向主机发出各种控制命令。调度长台的显示与调度员台完全一致,只是没有控制功能,主要用于显示全线运营状况。

计划员台则用于编辑、修改、查看、安装列车运行计划。此外,培训台与调度员台基本一致,用于调度员的现场培训。维护管理台虽有调度员台的所有显示,却不能控制现场设备,只是为维护人员提供一套用于系统故障诊断的维护工具。两台冗余的路由器并行工作,完成中心与车站的实时信息传递功能。

OCC 设备具有下述特点:

- ①主机和各工作站由工业级 PC 机构成。
- ②局域网为一个实时网络。
- ③当前工作主机承担局域网管理和 RTU 通信管理,并进行设备诊断。
- ④当前工作主机完成车次追踪及车号调整功能,车次追踪方式采用特征点检出的追踪方式,车次号调整参数不通知现场运行列车。
- ⑤工程师工作站提供给维护人员直观的画面,显示系统设备状态。实际描绘工作站实现绘图仪管理,可实时或历史绘制列车实际运行图。
- ⑥调度员工作站实现人机交互和获得网络数据,并进行告警和报表管理。
- ⑦表示盘驱动器接收网络上送来的遥信帧后,按一定的点灯逻辑驱动表示盘上相应的显示对象,完成对列车运行和现场监视功能。
- ⑧控制台是产生“遥控”命令的主要设备,当在控制台办理“遥控”命令时,调度员按下欲控制对象的相应按钮,命令编码由通信主机送往被指定的 RTU 执行。

#### (2) 车站分机(RTU)

为提高系统可靠性车站分机采用主、备机冗余方式,主、备机各自都具有独立的微处理机和通道,双机共用接口电路,保证数据采集的一致性。RTU 设备包括各个车站和车辆段的 RTU。

车站的硬件包括通信分机和路由器。车站的通信分机两台互为热备,主要负责接收中心主机发来的控制命令,将其传递给联锁系统的监控机,并从监控机接收站场表示信息。车站与控制中心一样设有两台冗余的路由器并行工作,完成车站与控制中心的实时信息传递功能。

#### (3) 系统信息传输通道

为缩短表示信息采集和回示时间,根据环线线路构成特点(即环形),控制中心总机与车站分机的联系信道分两个半环。每个半环的 RTU 并接在与通信主机相连的传输线上。

### 3. 系统功能

#### (1) 控制功能

调度员的控制命令可通过控制台或调度员工作站下达。调度员工作站的大屏幕彩色监视器显示控制命令菜单,以便调度员对信号、进路进行手动控制。

为了减轻调度员劳动强度,该系统增加了“自动进路”、“自动折返进路”功能。

#### (2) 表示功能

在大型模拟表示盘上可显示线路平面示意图、列车位置、进路开通方向、信号机状态(包括防护信号机、进站、出站信号及阻挡信号机)、道岔位置、车次、控制命令执行情况、站控或遥控及信号设备状态等,以实现信号、轨道、进路的状态采集和监视。

在调度员工作站、工程师工作站均以站为单位显示模拟表示盘所显示的内容。

#### (3) 计划运行图、实绩运行图的显示与打印

##### ① 计划运行图、实绩运行图的显示

为调度员了解计划运行和列车实际运行情况,在调度员工作站的一个大屏幕彩色显示器上可分别显示计划运行图或实绩运行图,也可同时同屏同坐标轴不同颜色显示计划运行图和实绩运行图。通过观察即可清晰地了解实际运行与计划运行的情况,每一幅画面可显示 1 h 30 min 的运行图,其中前半小时是前页显示画面的重现,以保证显示内容的连续性。

##### ② 实绩运行图描绘

为了便于分析列车实际运行情况,实绩运行图工作站可按日存储全天列车运行数据,并可根据需要分别按时间顺序或以车次为单位描绘有关的列车运行实绩。

#### (4) 车次号追踪及显示

车次号是计划运行图的重要内容,为显示出每列车在表示盘上的位置与车次号对应关系,必须具有车次号追踪功能。系统的车次号追踪方式采用特殊点检出的伪追踪方式。此种方式的优点是数据处理量少而且简单,可不受轨道电路设备故障影响而造成的追踪错误。

为防止因个别车站分机故障扰乱系统车次号追踪,在车次追踪功能中增加“站切除”功能,即若某一车站分机故障不能正常向中心回示表示信息,中心失去本站车次追踪的依据时,通过“站切除”功能通知中心系统某站车站分机故障,控制中心则跨过故障站进行追踪。

车次号设置的时机不受限制,无论列车在站停车还是在区间运行均可设置车次号。

#### (5) 辅助调度员调整列车运行计划

为辅助调度员进行调整列车运行计划,系统具有对在线列车进行加、减车,车次号更换、车次号平移、修改回段车标志等功能,供调度员进行列车运行调整时使用。

#### (6) 设备故障报警

调度集中设备可清晰地提供总机各局部和主备各机故障报警,调度集中总机根据不同故障类型及故障设备类型给出不同频率、不同间隔的音响,便于维修人员快速诊断故障部位。

## 第十二节 国产试验型准移动闭塞 ATP 系统

中国铁路通信信号集团公司研制开发出城市轨道交通试验型准移动闭塞 ATP 系统,是我国第一个国产城市轨道交通 ATP 信号系统,是具有国际先进水平的超速防护系统。它采用本领域的国际领先技术,满足故障导向安全的要求,符合城市轨道交通系统的运用要求。2006 年 1 月,在长春轻轨正式开通了试验段,系统运行稳定。

ATP 系统主要由区域控制中心、数字化无绝缘轨道电路和 ATP 车载设备构成。

### 一、系统技术要求

1. ATP 系统要满足城市轨道交通列车追踪间隔 2 min 的系统要求;
2. 适用于直流 1500V 的牵引接触网供电方式以及直流 750 V 三轨供电方式的城市轨道交通系统;
3. 列车按机车速度信息显示人工驾驶运行,取消区间地面信号机;
4. 列控系统采用连续速度控制模式(一级速度控制),列车控制模式的生成以车载设备计算为主,地面信息为辅的混合控制方式;
5. 系统采用开放式体系结构、模块化设计,并预留与 ATS 和 ATO 系统的接口条件。

### 二、系统功能

#### 1. 区域控制中心的主要功能

- (1) 实现区域控制范围内正线信号设备的联锁控制;
- (2) 通过数字轨道电路为区域控制范围内的运行列车提供超速防护控制信息;
- (3) 实现与 ATS 系统的结合;
- (4) 设置维护终端,提供系统监测功能。

#### 2. ATP 车载设备的主要功能

- (1) 监督列车在任何情况下不超出车辆的构造速度;
- (2) 监督列车在任何情况下不超出线路的设计速度;
- (3) 监督并保证列车在停车点前停车;
- (4) 监督并保证列车在限速点前降到规定的速度;
- (5) 按照进路的情况,自动监督并保证列车的运行安全;
- (6) 防止列车错误退行;
- (7) 防止列车在移动中打开车门;
- (8) 列车停车时,防止司机或 ATO 错开车门;
- (9) 防止列车在站台停车时,没有停在规定范围内而打开车门(预留)。

### 三、区域控制中心

#### 1. 系统结构

区域控制中心系统结构如图 5-68 所示。分为 3 层结构,即操作控制层、主机处理层和输入/输出控制层。3 层设备之间通过两层不同的网络连接,它们分别是系统网络和联锁总线。

##### (1) 操作控制层

配置工控主机。控制台采用双机热备,以提高系统操作可用性。监测维护设备为单机配置。操作层设备均通过冗余光纤通道连接系统网络。

##### (2) 主机处理层

配置信号控制专用三冗余主机系统,冗余主机通过冗余端口连接系统网络的主、备通道和联锁总线的主备通道。

##### (3) 输入/输出控制层

配置双板热备,无扰切换,双板均通过两个端口连接到联锁总线的主、备通道。

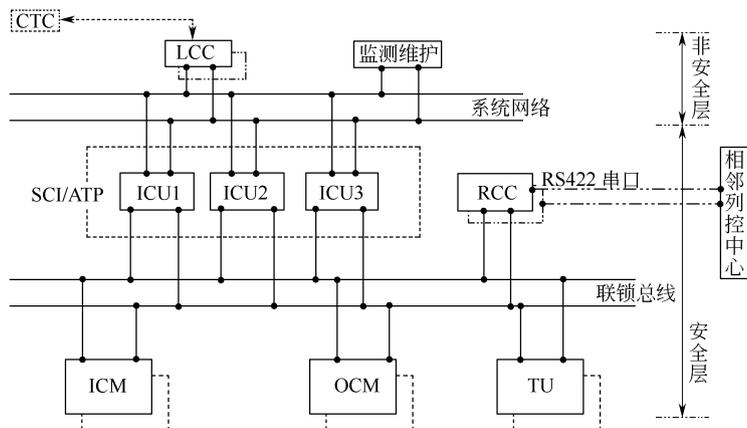


图 5-68 区域控制中心系统结构

CTC—集中控制中心;ATP—列车超速防护;LCC—本地控制台;RCC—远程通信控制器;ICU—控制单元;  
ICM—输入控制模板;SCI—计算机联锁;OCM—输出控制模板;TU—轨道电路控制单元。

图 5-68 中实线框与虚线框叠加代表双冗余配置,包括:ICM、OCM、RCC、TU 和 LCC。

系统分为非安全层和安全层。非安全层包括本地控制台(以及 CTC)、监测维护和与之相关的系统网络通信。安全层包括:主机计算模块、输入/输出控制模块、控制远程通信模块、数字轨道电路单元,以及与之相关的网络通信和总线通信。系统的安全层和非安全层则以系统网络分界。

#### 2. 硬件组成

硬件设备主要包括:计算模块 ICU、输入模块 ICM、输出模块 OCM、远程通信控制模块 RCM,以及系统网络 Arcnet 和控制总线 CAN,通过控制总线首次实现了轨道电路的全数字通信接口。

#### (1) 计算模块 ICU 与三机冗余

系统控制主机由三个计算模块 ICU 组成,它们与系统网络和控制总线一起构成了系统的三重冗余结构。

计算模块 ICU 采用 PC 兼容设计方法,应用 PC104 总线提供扩展接口,每个 ICU 模块可提供:

① 双冗余的系统网络接口实现计算模块间的同步数据通信,以及计算模块与操作控制台和监测机的网络通信;冗余的网络上传送相同的数据,保证通信的正常工作。

② 4 路控制总线接口,其中 2 路用于与智能输入/输出模块以及远程通信模块的通信,另外 2 路专门用于与数字轨道电路的通信。冗余的总线上传送相同的数据,保证通信网络的正常工作,总线之间实现电气隔离。

计算模块 ICU 同时具有上电复位、电源监测、手动复位功能,可实现带电插拔。

主机系统的三冗余结构为松散耦合的方式,ICU 模块的采集、运算和输出都具有相对的独立性,冗余模块之间通过两层同步机制实现协调、统一。两层同步分别是控制总线上的系统同步信号和系统网络上的应用数据同步信息。

总线上的同步信号可以使冗余主机的输入和输出同步,从而保证采集信息的一致和输出信号的同步。

系统网络上的应用数据同步信息每周期交换一次,单机不一致,首先进行自诊断,故障时,报警并停止运算和控制,其他两台仍能正常工作;如诊断正常,在完成应用数据重构后,可重新投入工作;如果三机互不一致,则进入监测状态,停止输出。

#### (2) 输入模块 ICM

输入模块具有 32 路数字量采集通道,可实现对现场设备状态的采集,如:信号机显示、道岔表示、轨道条件及其他继电器条件等,并将采集的结果上报主机 ICU 模块。输入模块具有故障识别的功能,可以判断通道故障、短路、断路的情况,同时对采集的信号进行滤波处理,以保证向 ICU 报告正确的结果。

输入模块 ICM 为冗余配置,冗余 ICM 间可实现自动切换。

输入模块 ICM 的原理框图如图 5-69 所示。

#### (3) 输出模块 OCM

输出模块 OCM 具有 32 路数字量输出通道,它接收主机输出的控制指令,进行 3 取 2 表决之后,输出控制现场设备。输出控制模块 OCM 保证在发生任何故障的时候导向安全侧。

输出模块 OCM 为冗余配置,冗余的 OCM 间可实现自动切换。

输出模块 OCM 的原理框图如图 5-70 所示。

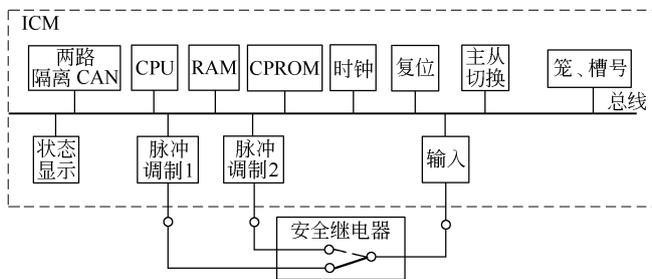


图 5-69 ICM 原理框图

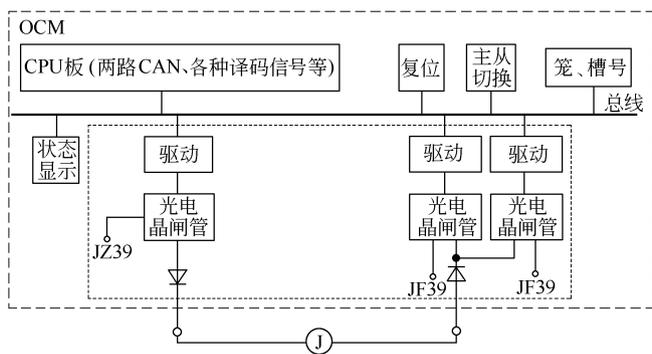


图 5-70 OCM 原理框图

#### (4) 远程通信模块 RCM

远程通信模块 RCM 主要完成 CAN 总线通信和 RS422 通信的转换,以实现控制主机与相邻控制中心主机间的通信。其主要包括两路隔离的 CAN 网络和两路隔离的 RS422 通信口。

RCM 为冗余配置,冗余的 RCM 间可实现自动切换。

RCM 原理图如图 5-71 所示。

#### (5) 系统网络 Arcnet

系统网络 Arcnet 是 3 取 2 主机系统连接各冗余主机和操作层其他节点的实时通信网络,可实现:控制主机向操作层传递站场表示信息和报警信息;操作层向控制主机的控制命令传送;冗余主机间的大数据量通信,保持三机应用同步和数据一致性。

系统网络采用光纤作为通信介质,网络的通信速率可达 5 Mb/s,节点数可达 255 个。

系统网络采用冗余配置,双通道上传送相同的数据,任意通道或节点的故障不会影响网络的正常通信。



图 5-71 RCM 原理框图

#### (6) 控制总线 CAN

控制总线是冗余主机系统与输入/输出模块、数字轨道电路单元、站间通信单元之间的通信通道, 主要实现安全信息的采集和输出, 以及冗余主机系统的同步指令传送。

系统控制总线采用 CAN 现场总线网, 符合 ISO 11898 CAN Specification 2.0A 标准, 是一种按优先级抢占式的总线网络, 具有以下特点: 支持多主结构; 提供优先级控制, 实时性强; 具有很强的错误识别和处理能力; 具有自动重发机制; 支持点对点发送和广播发送功能。

为了确保实时性要求, 人为避免数据的网上冲突, 系统还增加了控制总线的信息传送时隙处理。

控制网络采用双绞线作为通信介质, 最大通信速率可达 1 Mb/s, 控制网络上至多可挂接 96 个节点。

#### (7) 与轨道电路的数字接口

本系统中控制主机与轨道电路之间设计提供了 1 对专用 CAN 总线, 以实现控制主机与轨道电路之间的大信息量的数字通信。

系统首次取消了轨道继电器, 轨道占用检查状态由轨道电路单元通过 CAN 总线传送到主机 ICU 模块, 轨道状态由联锁模块和 ATP 编码模块共享。

### 3. 软件系统

软件系统分为系统软件和应用软件两部分。

#### (1) 系统软件

系统软件实现以下功能: 系统资源的分配管理; 对系统中的应用任务进行实时调度; 三机同步和单机故障时的系统重构; 与主机外部接口的输入/输出控制和通信。

系统软件定位在工业控制实时多任务操作系统的基础上, 根据应用系统的特点进行二次开发。

#### (2) 应用软件

应用软件完成联锁运算和 ATP 编码运算。

由于国内的计算机联锁系统已成熟运用, 所以联锁应用软件没有必要重复开发, 只需要进行软件的移植, 本项目采用 DS6-11 系统联锁软件。ATP 编码软件为新开发的软件模块。

应用软件主要分为 3 部分: 操作控制层控制管理软件、联锁/ATP 安全处理层控制软件、输入/输出层接口模块应用软件。

操作控制层控制管理软件包括: 控制台人机界面管理软件、维护监测管理软件和辅助设计工具软件。

联锁/ATP 安全处理层控制软件模块包括: 系统初始化、联锁逻辑运算模块、ATP 编码运算模块、故障安全检查模块、输入/输出信息处理模块。

输入/输出层接口模块应用软件包括: 实时采集、控制、故障检测与切换控制。

以上各软件功能模块之间的联系如图 5-72 所示。

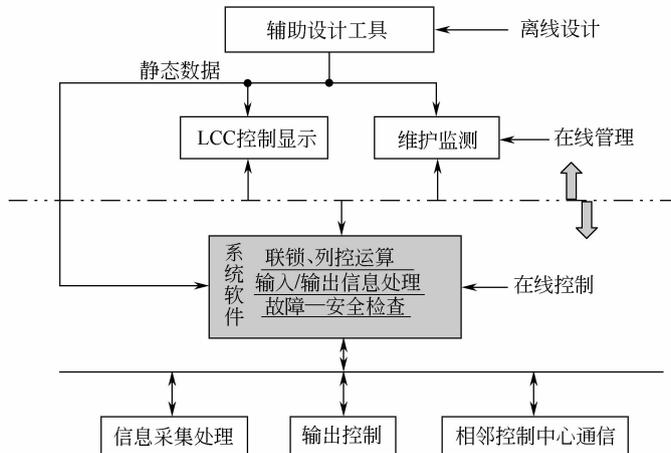


图 5-72 软件功能模块联系图

#### 4. 系统安全

区域控制中心系统是车站控制的核心，其具有可靠性高、分散性强、可冗余配置的技术特色。

##### (1) 冗余措施

① 系统冗余。主机系统为三冗余结构。冗余主机之间在控制层进行 3 取 2 比较，以达到输出的一致性；执行层设备，包括输出模块 OCM 和轨道电路单元，在接收到三个冗余主机的命令后，需再进行 3 取 2 的比较，第二层比较既可对上一层的比较进行校核，同时也可达到滤除通信过程中的错误的目的。

② 网络冗余。系统分两层网络，系统网络和控制总线。两层网络均为冗余配置，热备份工作；每台主机有两个系统网络接口和 4 个控制总线端口；每个执行层设备上有两个控制总线接口；每个操作层设备上有两个系统网络接口。系统可保证任意网络通道或节点故障，不会导致数据丢失，不会影响系统其他设备的正常工作；任意控制总线通道或总线节点故障，不会导致数据丢失，不会影响系统其他设备的正常工作。

③ 电源冗余。电源模块为特殊设计，功率大，稳定性好，均实现冗余配置，两个电源并联使用，均流运行，当其中一个故障时，另一个自动承担全部负载。

④ I/O 模块、远程通信模块、轨道电路单元接口冗余。各种 I/O 模块、通信模块以及轨道电路单元的接口模块均为冗余配置，冗余设备之间可实现无扰切换。

##### (2) 分散隔离措施

系统实现了所有 I/O 模块的智能化，将控制有效地分散到各 I/O 模块，降低主机系统的负担，并且实现了板级运行状态检测和故障诊断。

采用现场总线技术取代传统的并行总线，使各输入/输出模块的故障被有效地隔离。

所有输入/输出模块均带有隔离电路,将通道上的干扰源拒之于系统之外,无需另配隔离器。

通道间也提供了隔离措施,清除由于现场地电位差对系统造成的损坏。

### (3)快速维修措施

①自诊断能力。系统的所有模板均带有 CPU,各板均周期性地进行自诊断。诊断包括:CPU、内存等自检,开关量输出的回读比较自检,网络上每秒进行的各节点的状态检测等。

②故障指示。系统中所有模板及主机上均有运行、故障网络通信和总线通信的指示灯,I/O 模块还有通道指示灯等。透过机柜玻璃门各模板运行状态一目了然。

③带电插拔功能。由于采用了特殊保护措施,系统中的主机板和所有模板均可带电拔插,对系统的运行不会产生任何影响。这就保证了系统在某些模板故障时,自动切换到备用板,维修人员可在不影响系统运行的情况实现故障维修。

### (4)ATP 安全措施

本系统的应用软件除保留了原系统的故障—安全保证措施外,重点对新增加的 ATP 编码模块与系统的结合进行了分析,并软件编码上采取了安全防护措施,另外系统结构设计上充分考虑了新接入的数字轨道电路,也采取了相应的措施,以保证不降低原联锁系统的安全性,具体措施有:

①数字轨道电路与联锁 I/O 使用不同的总线通道,物理隔离,这样一方面可解决由于数字轨道电路的通信量较大而使通信周期紧张的矛盾;另一方面杜绝了总线上的数字轨道电路与联锁 I/O 数据之间可能产生的干扰或总线占用冲突。

②系统总体设计中已充分考虑了节点接入和断开对总线的影响,保证总线上任意节点故障不会影响总线的正常工作。

③数字轨道电路的总线资源占用,包括节点地址、通信时间段等,由系统统一分配,相互间不会产生冲突;数字轨道电路接收主机的同步指令和控制指令,对控制指令进行 3 取 2 表决,保证输出编码的正确性,当连续几个周期接收信息错误时,则导向安全编码输出;数字轨道电路通过总线向主机发送轨道电路占用信息和设备状态信息。数字轨道电路,由于轨道占用状态参与联锁和 ATP 编码运算,所以作为安全信息,其传输采用了应用编码冗余加传输校验的双重保护措施,并由系统软件接收处理后统一提供给联锁运算模块和 ATP 编码模块。

## 四、ATP 车载设备

### 1. ATP 车载设备的设计原则

(1)车载 ATP 系统以一次速度控制曲线模式为主要控制模式。

(2)车载 ATP 系统以地面固定信息的车载设备存储为主要方式。

(3)车载 ATP 设备响应时间小于 2 s。

(4)车载 ATP 设备按双机设计使用,正常情况下,两个系统是并行运行的,也可被配置成为任何一个系统单独运用。

(5)车载 ATP 设备采用开放式体系结构、模块化设计。同时根据车-地间不同的信息传输方式,只要增加相应的信息处理模块就可以实现基于轨道电缆或无线传输的 ATP 系统。

(6)能适应交流、直流牵引。

(7)满足故障—安全原则。

(8)满足电磁兼容设计原则。

(9)预留 ATO 接口。

(10)车载 ATP 设备具有自检测、自诊断功能。

## 2. ATP 车载设备的主要功能

### (1)司机的驾驶操作模式功能

操作模式是当列车和车载设备处于不同工作条件下,车载 ATP 设备所提供的不同的司机操作方式。车载 ATP 系统提供了 3 种运营操作的模式:ATP 人工驾驶模式(监控模式)、ATP 限速驾驶模式(限速模式)、切除模式。

正常情况下的列车运营都应在监控模式下进行,主要功能都是在这种模式下的实现的。监控模式具有两种子模式:人工正向驾驶和人工退行驾驶。

对于监控模式,一般在地面无有效地面信息或列车进出车辆段或地面设备故障时,由设备自动确定。这种模式只对列车进行一个固定的速度(20 km/h)监督,以及停车才能开门的监督;特殊情况下,列车处于监控模式时,在列车发生紧急制动后,或列车在速度低于 20 km/h,司机按压 RM 按钮时,也会转为限速模式。

采用切除模式是由司机确定的,一般在车载设备出现故障时采用,司机需纪录后,将 ATP 车载设备切除;在此模式下,车载 ATP 系统与制动系统的接口被切除,切除后不影响列车的正常驾驶。

### (2)地面信息的接收功能

ATP 车载设备接收由控制中心产生并经由数字轨道电路设备传输来的信息,完成信息的解调、安全校验及解码。该功能由地面信息接收板完成,并将解码完成的信息通过通信总线传送给主机系统,同时地面信息接收板还给出当列车经过两个相邻轨道电路的分界点时的过绝缘节信息,该信息使主机系统可以对走行距离进行矫正,消除测距过程中的累积误差。

车载接收板针对数字轨道电路 8 种载频进行接收处理,具体的解调原理与数字轨道电路的接收原理一样。

### (3)测速测距功能

测速测距功能的实现是由主机板对来自光电速度传感器的信号进行计算处理来测量列车的实际运行速度和走行的距离,系统采用两个速度传感器,一个速度传感器提供

三路频率信号,信号相位差  $120^\circ$ ;另一个速度传感器提供两路信号,一路用于 ATP 测速,一路用于 ATP 关机时,人机接口自行测速。

测速测距产生的速度和距离信息以及运行方向,除了要用于对列车速度进行监督以外,还要通过 CAN 通信口,传给人机接口子系统用于显示。

#### (4)速度-距离监督曲线的计算

速度-距离监督曲线是由车载 ATP 设备生成的用于保证列车安全运行的一条列车速度与距离互为变量的函数曲线,计算过程为:

①通过地面信息的解码,得到前方的停车点或限速点(目标点)。

②车载设备根据列车当前的位置可以计算出前方停车点或限速点的实际距离,并以此点为基点,从车载设备存储的固定信息里,提取出这段距离的坡道值、弯道值、线路的最高限速,结合车载设备存储的列车性能参数,如:制动率、空走时间、列车阻力、旋转质量系数等,利用公式计算出列车当前位置到目标点的速度-距离监督曲线。

③当存在多个目标点时,对每个目标点都要进行计算,采用速度最限制的一个作为控制的依据。

#### (5)列车车门的安全防护功能

当列车在移动时如果检测到车门已打开,则 ATP 设备应给出制动命令,输入/输出子系统的开左门、开右门命令的硬件执行电路是故障—安全的,即当电路发生故障时,能够保证输出禁止开门命令,并关断安全输出控制,从而切断输出电路的电源,保证安全。

在监控模式下,当列车停稳并且停在站台上时,主机系统才能给出打开相应站台侧车门的命令,站台在哪一侧是由存储在车载设备中的固定数据和地面信息中得到的。

在限速模式下,只要列车速度为 0,就可以打开车门。

#### (6)列车制动的控制功能

目前系统提供的制动接口有两个:紧急制动和全常用制动。

列车发生超速时,首先实施全常用制动,全常用制动比紧急制动小一个固定值  $3\text{ km/h}$ ;列车速度低于限速时,自动缓解。

在列车超速后全常用制动未能起到应有的效果,或在不允许打开车门时候车门被打开时施行紧急制动。列车速度为 0,且  $2\text{ s}$  后自动缓解。

#### (7)人机交互功能

车载设备通过人机接口提供了与司机和检修人员交互接口,司机可以通过相应的菜单界面输入司机编号、车次编号和终点编号等信息。

检修人员在输入密码并通过密码验证之后,可在触摸屏上输入日期、时间、轮径、车辆标识等数据。

#### (8)运行信息的记录及管理功能

ATP 车载设备通过记录板,能够完成对列车运营整个过程信息的记录,主要包括:

①ATP 设备工作状况记录功能。通过与 ATP 车载设备的各种输入/输出接口和

通信总线相联系,记录 ATP 车载设备的工作过程,可以分析 ATP 设备的工作状况。

②司机驾驶状况记录功能。通过与司机的驾驶操作设备的接口,对司机的驾驶过程进行记录。

③ATO 设备工作状况记录功能。通过与 ATO 设备的各种输入输出接口和通信总线相联系,记录 ATO 的工作过程,可以分析 ATO 设备的工作状况。

④列车运行情况详细记录功能。通过与列车设备的接口,对列车的运行情况进行记录。记录板记录的信息和数据通过转储设备,可以由地面的信息管理系统进行分析和处理并可以打印出相应的报表。

### 3. ATP 车载设备的组成

ATP 车载设备的安装示意图如图 5-73 所示。共包括 4 个相对独立的部分:车载主机系统,MMI(人机接口),测速传感器,ATP 天线。

车载设备主机安装在司机室后的电气设备控制柜里。MMI 设备安装在司机操控台上。测速传感器安装在不同转向架上,并且位于车辆的两侧。ATP 天线安装在列车的第一轮对的前方。

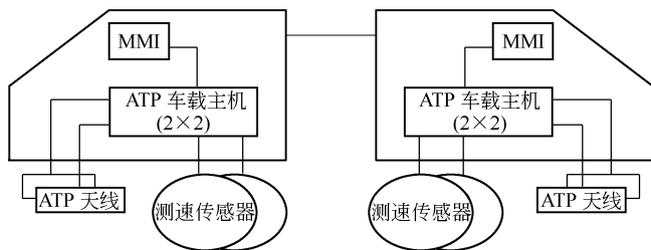


图 5-73 ATP 车载设备安装示意图

### 4. 系统故障—安全

ATP 车载设备是保障安全的设备,因此其必须遵循故障—安全的设计方法。ATP 车载设备通过合理的系统结构和安全保障措施来保证系统的安全,任何影响安全性的功能失效均使系统转到一种已知的安全状态。ATP 车载设备在故障安全设计时,遵循如下设计原则:闭环原则、动态原则、冗余原则、高可靠原则。

系统采取的一些具体的保障系统故障—安全的措施有:

(1)采用双 CPU 构成的主从式处理结构,能够有效地防止由于 CPU 结构复杂,无法采取等效的故障模式分析,而引起的故障不确定性;

(2)多级校核,设备的输入/输出采取多级校核,在输出前进行校核,输出后进行检查校核;

(3)对设备的输入接口进行动态检查,防止由于接口电路的故障,引起输入信号采集的错误;

(4)采用安全电源控制输出,对于关键的输出信号如紧急制动、左右门控均采用安

● 全电源控制输出,一旦发生故障可以切断输出,保证安全;

- (5) 软件设计过程严格按照软件工程规范进行;
- (6) 软件设计采用模块化设计,遵循高内聚、低耦合的原则;
- (7) 尽量减少 CPU 的利用率,使其具有足够的余量;
- (8) 增加系统通信校验,保障通信安全。

## 第十三节 单轨交通 ATC 系统

重庆单轨较新线采用跨座式单轨交通方式:以高强度混凝土梁(PC梁或RC梁)及少部分钢质箱体梁作为车辆运行的轨道;道岔采用关节型道岔或可挠型道岔;车辆采用跨座式单轨车,车辆的走行轮、导向轮和稳定轮均采用充气橡胶轮胎。单轨交通方式占地面积少、爬坡能力强、转弯半径小,非常适合山高坡陡、弯多路窄的地形条件。由于取消了传统的钢轨和钢轮,大大减少了车轮与钢轨间的噪声,从而改善了城市公共环境。为了检测列车占用情况以及对列车进行控制,重庆单轨交通采用日本信号公司的 ATP 车载及轨旁设备。

### 一、单轨交通信号系统的特点

(1) 单轨交通取消了钢轮和钢轨,传统的依靠钢轨传递 ATP 信息和获得列车位置信息的方法已不再适用,必须采用特殊的方式来传递信息和检查列车的位置。

(2) 单轨交通除使用单开道岔外,还使用三开、五开道岔,采用高架线路,道岔非接通位置是悬空的,因此在联锁系统和道岔控制系统中必须进行特殊处理和合理分工,才能确保行车安全。

(3) 轨道大部分采用高强度混凝土梁,在制作时对信号设备安装和敷设管线的部位,必须进行预留和预埋。

(4) 高架线路上信号设备的施工和维护全部采用作业车进行。

### 二、单轨交通 ATC 系统主要设备

单轨交通 ATC 系统由列车自动防护(ATP)及列车位置检测(TD)子系统、计算机联锁(CI)子系统和列车自动监控(ATS)子系统 3 部分构成。

#### 1. ATP/TD 系统

引进具有实际运营经验和成熟技术的日本单轨交通 ATP/TD 系统。它采用基于轨道环线的感应技术,实现列车运行超速防护和列车在线位置检测,能确保列车高速、高密度、安全可靠地运行。

#### 2. CI 系统

采用 TYJL-II 型计算机联锁系统,实现道岔、进路、信号相互之间的联锁,确保行

车安全。

### 3. ATS 系统

对其控制范围内的列车群进行控制、监视和管理,具有实时、高可靠、高安全、高可用性的特点,做到不间断地全天候工作。

## 三、ATP/TD 系统

### 1. 系统功能

#### (1) 列车位置检测

ATP/TD 系统的车载设备通过列车头部和尾部的天线,分别向轨道环线连续发送不同频率的信号,由地面设备接收解码,并利用逻辑判断电路进行处理,确定列车的在线位置。

#### (2) 列车运行超速防护

ATP/TD 系统的地面设备通过设置于轨道梁两肩部的轨道环线,向列车连续发送速度控制信息,由 ATP 系统的车载设备根据接收到的速度控制信息,连续控制车辆的运行,实现列车的间隔保护和超速防护。

### 2. 系统构成

(1) ATP/TD 地面设备。主要由联锁编码单元、轨道继电器、发送设备、TD 接收设备、匹配单元、匹配变压器和电缆环线等组成,见图 5-74。

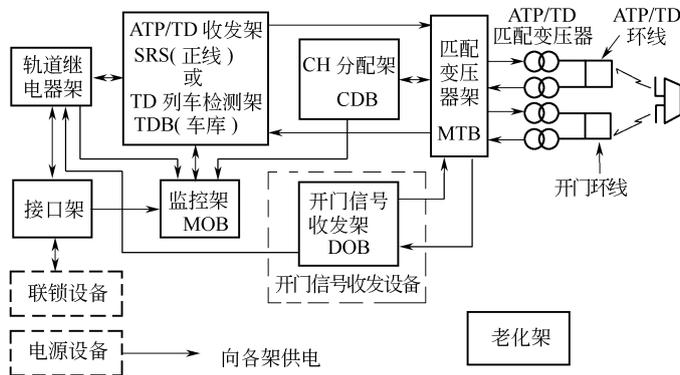


图 5-74 ATP/TD 地面设备构成图

(2) ATP/TD 车载设备。主要由接收天线、匹配变压器、公共单元、接收单元、TD 信号发送单元、ATP 放大单元及 ATP/TD 继电器单元等组成,见图 5-75。

### 3. 工作原理

#### (1) 列车位置检测

单轨交通不能按传统的轮轨式轨道电路方式来检测列车占用情况,而是在 PC 梁或钢箱梁面上预埋轨道环线,利用轨道环线与车载设备共同作用完成列车占用检测任

务。在列车没有压入该环线区段时,地面环线接收设备可以接收到 TD 检查信号而使环线继电器吸起,表明该环线区段没有被列车占用。一旦列车占用该环线区段,列车车头和车尾不断发送的 TD 调制信号将会叠加到地面环线上,使得地面环线接收设备不能正常工作,环线继电器落下,表明环线被列车占用。通过地面和车载设备的配合使用,可以检测列车占用情况。

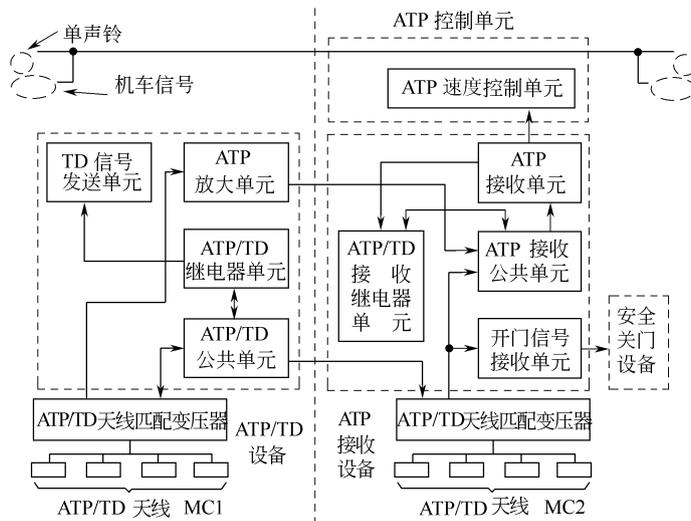


图 5-75 ATP/TD 车载设备构成图

### ① TD 系统组成

列车位置检测由列车两端的 TD 发送设备和地面的发送、接收设备共同完成。TD 地面设备发送校核信号(CH),检查环线的完整性。CH 信号的载频为 14.25 kHz,调制信号为 97 Hz,采用梯形波调幅方式(PWD)。

车辆两端的 TD 发送设备分别向轨道梁上的环线发送  $f_1$ 、 $f_2$  信号。其中  $f_1$  为 13.5 kHz,调制频率为 112 Hz;  $f_2$  载频 15.0 kHz,调制频率为 112 Hz,也采用梯形波调幅方式(PWD)。

TD 系统组成图见图 5-76。

### ② TD 系统工作原理

每个环线区段设地面 TD 检查(频率检查)继电器 CH、机车 TD 信息检查继电器  $F_{1R}$  和  $F_{2R}$  及环线轨道继电器 TR。当列车尚未占用环线区段时,  $CH \uparrow \rightarrow TR \uparrow$ ; 当列车头部进入环线区段时,  $F_{1R} \uparrow \rightarrow CH \downarrow \rightarrow TR \downarrow$ ; 当列车完全进入环线区段时,  $F_{1R} \uparrow$  和  $F_{2R} \uparrow \rightarrow CH \downarrow \rightarrow TR \downarrow$ ; 当列车头部离开环线区段时,  $F_{2R} \uparrow \rightarrow CH \uparrow \rightarrow TR \uparrow$ ; 当列车完全离开环线区段时,  $CH \uparrow \rightarrow TR \uparrow$ , 电路恢复正常。

环线轨道继电器电路图如图 5-77 所示。在列车出清环线区段时,利用本区段  $F_{2R}$

缓放时间进行检查,若相邻下一区段  $F_2R$  可靠吸起条件(表明列车已经进入下一环线区段),以及本区段  $CH$  可靠吸起条件(说明列车已经完全出清本环线区段)均具备时,  $TR$  吸起。可见,其具有一定的时间逻辑顺序关系,对各继电器吸起、落下时间要求很

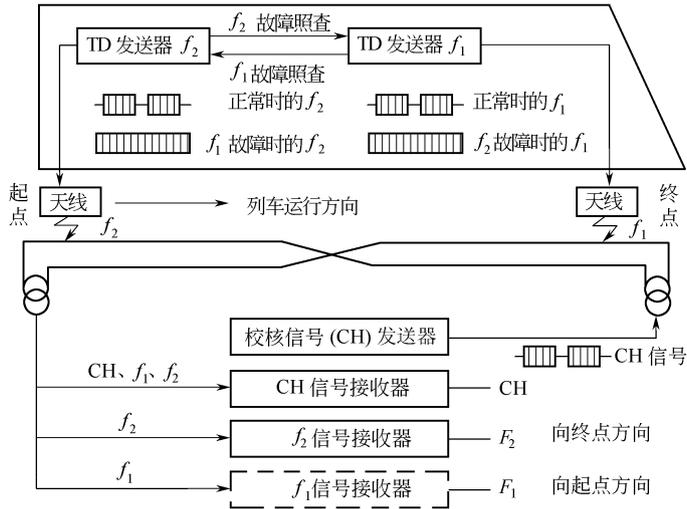


图 5-76 TD 系统组成图

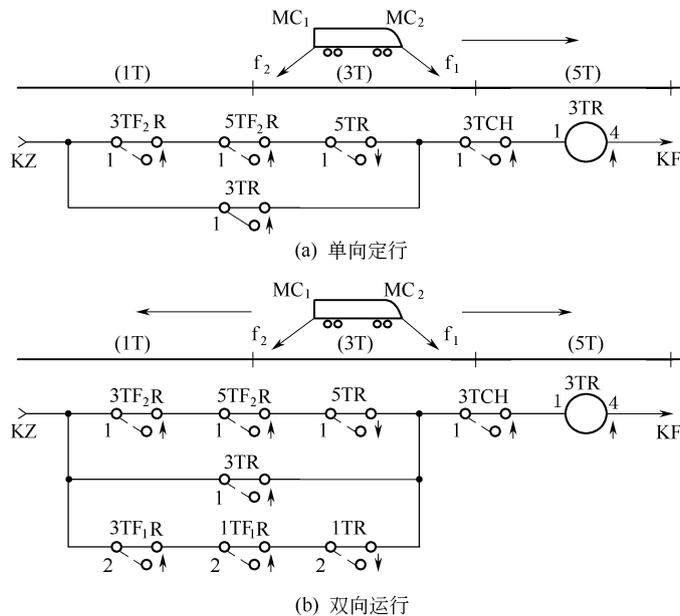


图 5-77 环线轨道继电器工作原理图

1T、3T、5T—1、3、5 轨道区段;  $MC_1$ —1 端;  $MC_2$ —2 端。

严,  $F_1R(F_2R)$  缓放时间必须大于 CH 可靠吸起时间及  $F_1R(F_2R)$  可靠吸起时间之和, 才能确保 TR 可靠工作。若其中某一环节故障, 则其后各环线 TR 均不能可靠工作。

### ③ TD 系统故障—安全设计

单轨交通因需列车头、尾部发送设备与地面设备共同作用才能完成列车占用检查任务, 故必须认真设计其故障—安全性能。

若某一轨道环线区段发送、接收、环线之间出现断线或地面 TD 发送设备故障, 则  $TR \downarrow$ , 故障导向安全, 列车压入的后续轨道环线区段的轨道继电器均不能正常吸起, 此类故障容易发现。若列车头部车载 TD 发送设备故障, 则当列车压入轨道环线区段时, 该区段 CH 不会落下, 直到列车完全进入该区段, 列车尾部车载 TD 发送设备发码起作用时, TR 才落下, 这种情况很危险。若列车尾部车载 TD 发送设备故障, 则会使本环线区段 TR 及后续区段 TR 不能正常吸起, 此情况故障导向安全, 也易被发现。若列车头、尾部车载 TD 发送设备均故障, 则除列车故障时所压入环线区段 TR 不能正常复原外, 其后续压入区段 TR 均不会落下, 不能检测列车的具体位置, 造成列车占用无显示, 此类故障最危险。

可见, 列车车载 TD 发送设备故障危害较大。为了解决列车车载 TD 发送设备故障时的安全问题, 要求:

a. 为了提高系统可靠性, 所有设备均采用双套冗余结构。

b. 列车头、尾部车载 TD 发送设备相互检测, 任一侧发送设备故障均告警, 而另一侧 TD 信号由调幅波切换为连续波, 以便将车上装置异常情报传送到地面, 同时接通制动系统让列车停车, 确保行车安全。

c. 列车头、尾部车载 TD 发送设备使用两套不同电源(DC 100 V 和 DC 24 V), 且 DC 100 V 具有 5 s 延迟时间, 以便两套发送设备可以形成闭环检测。

d. 采用后方保护, 由于列车头、尾部车载 TD 发送设备同时故障, 其所在区段的轨道继电器就会失去励磁的时机, 尽管故障后所经过的区段无法检测列车的实际位置, 但列车后方始终有一区段是红光带, 阻止了后续列车的进入, 实现了后方保护, 使故障导向安全。

### ④ TD 预置(轨道区段故障解锁)

与一般轨道电路不同, 环线轨道电路对列车的占用/出清检查是通过逻辑电路来实现的。该逻辑电路具有记忆功能。为确保安全, 在停电或故障时所有区段都设置为列车在线(占用)。因此, 在开机和故障恢复时, 需对列车在线的情况进行确认后, 再对 TD 设备进行恢复, 这就需要对 TD 设备进行预置。

由于 TD 预置时, 将轨道区段人为地设置为有车或无车, 存在安全隐患。因此必须对 TD 预置按钮进行加封, 采取严格的限制和特别的管理。

### (2) 列车速度防护

ATP 地面设备根据位置、线路占用/出清等情况选择限制速度信号, 并将其发送给

轨道环线。ATP 车上设备通过列车的天线接收信号并解码,一方面使机车信号速度灯点亮,另一方面将列车速度限制的信息传给 ATP 控制装置。

地面 ATP 控制信号,分上、下行方向,上行载频频率为 21 kHz,下行为 20 kHz,在送电端叠加发码。与 TD 检查发送共用同一环线,利用环线向机车传递地面 ATP 信息。其工作原理与传统轮轨式轨道电路一样。

### ① 低频信号及意义

ATP 低频调制信号共 12 个频率,它们的意义见表 5-1。

表 5-1 低频信号的意义

低频信号(Hz)	信号种类	信号显示	限制速度(km/h)	用途	制动方式
16	75 信号	75	75	最高限制速度	最大常用制动
19	65 信号	65	65	中等限制速度 曲线限制速度	最大常用制动
22	60 信号	60	60	中等限制速度 曲线限制速度	最大常用制动
25	50 信号	50	50	中等限制速度 曲线限制速度	最大常用制动
28	45 信号	45	45	中等限制速度 曲线限制速度	最大常用制动
31	35 信号	35	35	中等限制速度 曲线限制速度	最大常用制动
34	25 信号	25	25	中等限制速度 曲线限制速度 道岔限制速度	最大常用制动
41	S25 信号	S 25	25	调车作业限制速度	最大常用制动
54	S15 信号	S 15	15	调车作业限制速度	最大常用制动
63	X 信号	X	15	转换区限速 非 ATP 区段限速	最大常用制动
72	M 信号	M	5	防止误发车 限制速度	最大常用制动
78	01 信号	01	0	停车	最大常用制动
	无信号	02	0	停车	紧急制动

### ② 运行模式

列车运行模式不同,机车信号、提示音响、速度校核单元的动作也不一样。运行模式有 5 种:

- a. ATP 监督下的人工驾驶模式,采用机车信号运行模式。
- b. 调车模式,带机车信号显示。

- c. 非 ATP 区段限制人工驾驶模式,用于车辆段,按调车信号机显示运行。
- d. ATP 区段的限制人工驾驶模式,用于 ATP/TD 接收系统故障、ATP 地面设备故障的情况下。该模式下系统监视列车速度,只检测 15 km/h 的限制速度。
- e. 非限制人工驾驶模式,用于其他代用闭塞系统的运行模式,ATP 装置切除时,按规定的模式运行。

#### 四、防误出发设备

在车辆段每一股道出段信号机前方区段,设置防误出发设备,由安装于室内的防误出发信号发送器,向室外的 TD 环线上叠加防误出发信号。

当出段信号机关闭时,防误出发设备向每一股道的 TD 环线发送“M”信号,使列车启动 ATP 车载设备,列车以 7 km/h 的速度行驶。此时若列车错误出发越过信号机,因信号机后方区段是 ATP 区域,车载 ATP 设备从有码变无码,列车将实行紧急制动。

当出段信号机开放时,防误出发设备向其前方股道的 TD 环线发送“X”信号,使列车切断 ATP 车载设备,以 15 km/h 的速度行驶并越过信号机。

当地面防误出发发送设备故障、TD 环线故障、车载 ATP 设备故障或在无限制人工驾驶模式下,将失去防误出发功能。

#### 五、道岔控制

单轨道岔由 4~5 节箱型钢梁连接组成,以道岔梁整体移动的方法构成列车运行的进路。单轨交通将道岔的监控和转换进行分工,由信号系统负责道岔的监控,由道岔系统负责道岔的转换和机械锁闭。

信号系统的联锁设备需进行特殊处理,解决三开、五开道岔的联锁关系以及道岔转换时间延长的问题。信号系统负责向道岔系统提供道岔转换的目标位置信息、现场操作授权信息和 DC 24 V 表示电源等。道岔系统向信号系统提供道岔位置的表示信息、现场操作交权信息、道岔故障信息。

## 附录 名词术语英(缩略语)中对照

ADM 系统管理器	通信的列车控制
ADU 特征显示单元	CCTV 闭路电视
AF 音频	CD 载频检测模块
AM 列车自动运行驾驶	CDM 电码检测模块
AMU ATO 匹配单元	CDTA 中央数据传输系统
AP 接入点、轨旁无线单元	CE 控制设备
APAM ATO 功率放大模块	CENELEC 欧洲电工标准委员会
API 应用程序接口	CESB 中央紧急停车按钮
APR 绝对位置参考应答器、信标	CG 编码发生器
AR 自动折返驾驶	CH 校核信号
ARS 列车进路设定	CI 计算机联锁
AS 管理服务器	CM 编码人工驾驶模式
ASK 数字调幅、幅移键控	COM 通信服务器
ATC 列车运行自动控制系統	CPISA 通信处理器
ATI 列车到达时刻显示器	CPS 条件电源板
ATO 列车自动运行	CPU 中央处理单元
ATP 列车自动防护	CRC 循环冗余校验
ATR 列车自动调整	CRT 阴极射线显示器
ATS 列车自动监控	CS 中央服务器
AXC 计轴器	CSEX 电码系统模拟器扩展
B&A 操作和显示	CTC 调度集中
BAS 环境与设备监控系统	CTS 光数据传输系统
Bd 波特	DCC 元件接口模块
bond 棒	DCS 数据通信系统
BUMA 总线控制板	DDS 数字频率合成技术
CA 控制中心自动控制模式、中央自动模式	DDU 诊断和数据上载单元、诊断和数据更新单元
CAN 现场总线	DEBLIMO 闪光元件接口模块
CAZ 冲突防护区域	DEM 解调器
CBI 计算机联锁	DESIMO 信号机元件接口模块
CBN 通信系统	DEWEMO 道岔元件接口模块
CBTC 基于通信的移动闭塞制式;基于	DI 安全型输入、列车发车时刻显示器

- DIOM 离散输入/输出模块
- DOC 驱动输出模块
- DOT 倒换方向
- DPU 车辆段程序单元
- DS 模拟 MMI、演示系统、数据服务器
- DSP 数字信号处理技术
- DSTT 接口控制模块
- DT VCC 数据传输
- DTC 数字轨道电路
- DTI 发车计时器、发车时间表示显示器
- DTM 现场 LDTS 分机
- DTS 光纤网、数据传输系统、光纤通信系统读点
- EBR 紧急制动继电器
- EB 紧急制动
- ECC 元件接口模块
- EFAST 列车制动元件接口模块
- EFID 入口馈电设备
- EPROM 只读存储器
- ESB 紧急关闭按钮
- ESS 紧急车站停车系统
- ESTT 电子元件接口模块
- EU 电子单元
- FAS 火灾自动报警系统
- FEC 非向前纠错
- FEP 前端处理器
- FFT 快速傅立叶变换
- FID 馈电设备
- FOTL 光纤传输线
- FSK 数字调频、频移键控
- FTGS 西门子公司的遥供无绝缘音频轨道电路
- GO ATP 速度命令选择和核准电路
- HMI 人机接口
- I/O 输入/输出
- ICM 输入控制模板、输入模块
- ICU 区域控制中心、控制单元、计算模块
- ID 识别
- IEC 国际电工委员会
- IRU 接口继电器单元
- JTC 无绝缘轨道电路
- KOMDA 开关量输出板
- LAN 局域网
- LC 车站控制
- LCC 本地控制台
- LCD 液晶
- LCP 局部控制盘
- LDTS 现场数据传输系统
- LED 发光二极管
- LEU 道旁电子单元、信号接口
- LFU 环路馈送单元
- LISTE 信号机元件接口模块
- LIU 环线调谐单元
- LMM 环路调制解调器模块
- LOM 逻辑输出模块
- LOW 现场操作工作站
- LPU 车站程序单元
- LZB 连续式列车自动控制系统
- MD 调制检测模块
- MELDE 开关量输入板
- MI 联锁单元
- MMI 人机界面
- MODEM 调制解调器
- MPM 主处理器模块
- MSK 最小移频键控
- MSS 最大安全速度
- MT 轨道联锁、城市轨道交通
- MTIB 移动列车初始化信标
- MTO 无人驾驶

MUX	接口电路	PROFI BUS	过程现场总线
NDO	非安全数字输出板	PROM	可编程计数器
NFS	网络文件系统	PSD	站台屏障门
NIC	网络接口卡	PSU	电源单元
NISAL	数字集成安全保障逻辑	PTI	列车识别系统
NMS	网管系统	PVID	永久车辆标识
NRM	非限制人工驾驶模式	PWD	梯形波调幅
NRZI	不归零倒置	RAMS	安全性
NSS	网络支撑系统	RB	重定位信标
NVI	非安全型输入	RC	进路控制
NVLE	非安全逻辑模拟器工作站	RCC	远程通信控制器
NVO	非安全型输出	RCM	远程通信控制模块
OBE	车载设备	RM	限制人工驾驶
OCC	控制中心	RMO	限速模式
OCM	输出控制模板、输出模块	RTOS	实时操作系统
ODI	操作/显示接口	RTU	车站远程终端单元
OLM	通信模块、光连接模块	RX	接收器
OLP	光连接插头	SB	脚踏闸
OPG	速度脉冲发生器	SBO	安全型单断输出
OVW	全线表示盘子系统	SC	运行图编辑子系统
PAC	环路调制解调器	SCADA	电力监控系统
PAL	逻辑处理模块	SCC	车站控制计算机、串行通信控制器板
PAS	乘客广播系统	SCEG	车站控制器紧急通路
PB	停车制动	SCI	计算机联锁
PC	道岔控制	SCR	车站控制室
PCB	控制器、印制电路板	S&D	服务和诊断、检修和诊断
PCU	过程耦合单元、协议转换单元	SD	安全装置
PD	多项式除法器	SER	信号设备室
PEP	站台紧急按钮	SICAS	西门子计算机辅助信号
PF	工频	SIL	安全完整度等级
PI	站台显示器	SIOM	串行输入/输出模块
PID	乘客向导系统	SIR	安全联锁继电器
PIIS	旅客信息显示、旅客向导系统、旅客向导显示牌	SISIG	熔断器板
PIS	旅客向导系统	SIWE	熔断器板
		SLC	同步环线盒

- SLM 速度和位置模块
- SM 列车自动防护驾驶、系统维护台、系统维护模块
- SMC 系统管理中心
- SNOOPER 列车和事件监控器
- SO 维护操作台
- S-PC 模拟 PC
- SPDT 瞬间接触开关
- SQL 结构化查询语言
- SRS 运行图、时刻表调整服务器
- STA 天线
- STC 车站控制器
- STEKOP 现场接口计算机
- STIB 静态列车初始化信标
- STS 厂家测试成套设备
- SYN 同步环线
- TAC 测速电机处理模块
- TC 轨道区段、轨道电路、报文切换
- TCM 轨道编码模块
- TCP/IP 运输控制协议/国际协议
- TD 列车位置检测
- TDB 线路数据库
- TDT 列车发车计时器、列车出发计时显示器
- TID 列车输入数据模块
- TM 室内控制柜
- TMT 列车监督和追踪
- TOD 司机显示盘、列车输出数据模块
- TRC 列车进路计算机
- TS 目标速度
- TTE 时刻表编辑器
- TTF 时刻表
- TU 调谐单元、轨道电路控制单元、通信板、列车单元
- TVP 轨道空闲处理
- TWC 车-地通信
- TX 发送器
- URM 非限制人工驾驶
- VAS 车辆报告系统
- VCC 车辆控制中心
- VCS 车辆通信系统
- VDI 安全数字输入板
- VDO 安全数字输出板
- VENUS 处理器板中断板
- VESUV 同步比较板
- VHM 车况监视器
- VICOS 车辆和基础集中操作控制系统
- VOBC 车载计算机、车载控制设备
- VPI 安全型计算机联锁
- VRD 安全型继电器驱动器
- VSC 安全型串行控制器
- WEEZ Bond 小型调谐阻抗连接变压器
- WCC 轨旁通信控制器
- WE 轨旁设备
- WESTE 道岔接口模块
- WKS 调度工作站
- Wireless LAN 无线局域网
- WSL 西屋信号有限公司
- ZC 区域控制器
- ZVR 零速继电器