

城市轨道交通职业教育系列教材

城市轨道交通 司机信号

CHENGSHI
GUIDAO JIAOTONG
SIJI XINHAO

主编 © 朱济龙



YZL10890132369



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

城市轨道交通职业教育系列教材 内容

本书是城市轨道交通专业的一门专业基础课程。本书以城市轨道交通信号系统的基本原理、设备组成、系统结构、应用及维护等为主线，结合城市轨道交通信号系统的实际工程应用，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为城市轨道交通专业及相关专业的教材，也可供从事城市轨道交通信号工作的工程技术人员参考。

城市轨道交通司机信号

西南交通大学出版社
ISBN 978-7-2643-0998-2

主编 朱济龙

副主编 王朝阳 杨保庆 张平



主编 朱济龙
副主编 王朝阳 杨保庆 张平

西南交通大学出版社
(西南交通大学出版社)

地址：成都二环路北一段111号 邮编：610031 电话：028-87600262



9787264309982

张：20.152

只品发

2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷

ISBN 978-7-2643-0998-2

定价：36.00元

西南交通大学出版社
·成都·

内 容 简 介

本书较全面地介绍了地铁信号设备的基本组成和基本原理,包括:地铁信号概述,信号机、转辙机与道岔控制电路,信号基础设备——轨道电路、计轴器、应答器,联锁设备,区间闭塞控制基础,列车自动控制(ATC)系统,ATP子系统,ATO子系统,ATS子系统等。本书结合地铁电客车司机所需信号知识的特点及现场实际,并注意纳入了地铁司机专业所需要的相关知识。

本书可作为地铁职业教育各级学校教学用书,也可作为地铁企业新员工的培训教材,还可供现场地铁电客车司机专业人员、工程技术人员、运输专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通司机信号 / 朱济龙主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2011.1

城市轨道交通职业教育系列教材

ISBN 978-7-5643-0998-5

I. ①城… II. ①朱… III. ①城市轨道交通—交通信号—信号系统—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第251535号

城市轨道交通职业教育系列教材

城市轨道交通司机信号

主编 朱济龙

*

责任编辑 黄淑文

特邀编辑 宋彦博

封面设计 本格设计

成都西南交大出版社有限公司 出版发行

(简称 西南交通大学出版社)

成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川经纬印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×230 mm 印张: 20.125

字数: 439千字

2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-0998-5

定价: 36.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

地铁运营的安全、速度、输送能力和效率与信号系统密切相关，城市轨道交通信号系统（以下均采用地铁信号一词）是组织、指挥列车运行，保证行车安全，提高运输效率，传递信息，改善行车人员劳动条件的关键，实际上已成为地铁调度指挥和运营管理的中枢神经。地铁信号设备是地铁主要技术装备之一。地铁信号的装备水平和技术水准是地铁先进程度的重要标志。

地铁列车运行速度相对较低，站间距离短，但行车密度大，要求有可靠的安全保证。因此，各地铁公司共同选择了 ATC（列车运行自动控制）系统，构成信息交换网络闭环系统。该系统是以安全设备为基础，集行车指挥、运行调整以及列车自动驾驶等功能为一体，具有网络化、综合化、数字化、智能化的列车运行自动控制系统。

地铁信号系统的技术含量高，需要大量设备和电客车司机专业与运输专业人员。为使更多的将从事地铁司机职业的学生掌握地铁信号系统的基本原理，提高他们的技术水准，满足地铁发展需要，我们针对地铁电客车司机专业学生编写了本书。本书也可作为地铁企业新员工的培训教材，保障他们掌握基本知识，为提升应急应变处理现场故障的能力奠定基础。

针对本专业特点，本书密切结合地铁的实际情况，介绍各种信号设备，尽量不进行公式推导，少做定量分析，而着重物理概念和基本原理的讲解。

全书共十章，可分为以下六部分：

第一部分是地铁信号概述，较全面地介绍了地铁信号系统的概况，使读者能建立对地铁信号系统的整体认识。

第二部分是信号基础部分，介绍了信号机、转辙机与道岔控制电路。

第三部分是信号基础设备——轨道电路、计轴器、应答器。轨道电路是重要的信号基础设备，用来监督列车对轨道的占用和传递行车信息。该部分有选择性地介绍了几种轨道电路的结构和工作原理，也介绍了轨道电路备用设备计轴器的结构和原理。

第四部分是联锁设备，介绍了 6502 继电集中联锁、计算机联锁、SICAS 联锁系统、计算机联锁功能，以及正线和车辆段所用联锁设备的结构、原理、功能。

第五部分是区间闭塞控制基础，介绍了区间的行车组织方法。

第六部分是列车自动控制（ATC）系统和 ATP、ATO、ATS 子系统，介绍了它们的结构、原理和功能，以及 ATC 系统列车定位技术的设备与原理。

本书由朱济龙任主编，王朝阳、杨保庆、张平任副主编，在编写过程中我们参阅、引用

了诸多老师编著的地铁和铁路专业书籍，书后列有参考文献，在这里向他们表示衷心的感谢。同时编者在武汉地铁公司、南京地铁公司、广州地铁公司、深圳地铁公司、成都地铁公司学习期间，得到了这些公司的干部、工人的大力支持与帮助，在这里一并表示感谢。

地铁信号系统，尤其是 ATC 系统，引入多国技术，制式众多，而且相关设备发展日新月异，书中的资料和数据可能与实际设备存在出入，仅供参考。同时由于编者水平有限，书中难免有不足、不妥之处，请读者批评指正。

本书在编写过程中，得到了许多专家和同行的帮助，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多专家和同行的帮助，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多专家和同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

编者

2010年7月

目 录

105	.....	1
405	.....	1
405	.....	2
515	.....	3
425	.....	4
105	.....	1
825	.....	1
045	.....	4
105	.....	16
025	.....	16
025	.....	26
105	.....	45
025	.....	45
025	.....	61
45	.....	68
45	.....	77
05	.....	88
80	.....	96
825	.....	100
105	.....	108
825	.....	108
19	.....	121
40	.....	142
80	.....	157
025	.....	168
025	.....	179
015	.....	182
825	.....	182
19	.....	186
40	.....	193
80	.....	195

录 目

第五节	电话闭塞法及特殊情况下列车运行	201
第六章	列车自动控制 (ATC) 系统	204
第一节	ATC 系统概述	204
第二节	不同结构的 ATC 系统	217
第三节	信号 ATC 系统运行	234
第四节	试车线控制运行	236
第五节	列车运行控制	237
第六节	后备模式运行	238
第七节	接口管理	240
第八节	ATC 系统辅助设备	243
第七章	ATP 子系统	250
第一节	ATP 设备组成	250
第二节	ATP 系统功能	251
第三节	ATP 的基本工作原理	260
第四节	ATP 设备运行	269
第八章	ATO 子系统	274
第一节	ATO 设备组成	274
第二节	ATO 功能	276
第三节	ATO 系统基本工作原理	280
第四节	ATO 与 ATP 的关系	283
第九章	ATS 子系统	285
第一节	ATS 系统组成	285
第二节	ATS 系统功能	291
第三节	ATS 系统基本原理	294
第四节	ATS 系统运行	303
第五节	ATS 的控制方式	309
参考文献		316

第一章 地铁信号概述

第一节 地铁信号设备的作用、特点

信号从广义说是用声音、动作、机具、颜色、状态、光和电波等传递信息或命令的符号。地铁信号设备则是指示列车或调车车列运行条件的设备及其附属设备。

地铁信号系统是实现行车指挥、列车运行监控和管理所需技术措施及配套装备的集合体。现代大运量地铁信号系统是城市轨道交通自动控制系统的重要组成部分，由它保证列车和乘客的安全，实现列车快速、高密度、有序运行的功能。其核心是列车自动控制(ATC)系统，它由计算机联锁、列车自动防护(ATP)子系统、列车自动驾驶(ATO)子系统和列车自动监控(ATS)子系统组成，各子系统之间相互配合，实现地面控制与车上控制相结合、就地控制与中央控制相结合，构成了一个以安全设备为基础，集行车指挥、运行调整以及列车驾驶自动化等功能为一体的自动控制系统。

地铁信号系统设备必须具备较高的安全性、可靠性和可用性，凡涉及行车安全的设备必须符合故障-安全原则。主要行车指挥设备的计算机系统应采用双机热备、联锁、地面 ATP 子系统等安全设备，计算机系统应采用“3取2”或“2取2”预热备用的安全型冗余计算机系统。

地铁按线路及作用可划分为正线区域和车辆段区域，相应的信号系统也划分为正线信号系统和车辆段信号系统。正线信号系统一般为列车自动控制系统，车辆段信号系统一般为计算机联锁信号系统，两个系统间通过接口进行连接，也有正线和车辆段采用同一套信号系统控制的。

一、地铁信号自动控制系统的作用

列车运行自动控制系统就是对列车运行全过程或一部分作业实现自动控制的系统。其特征为：列车通过获取的地面信息和命令，控制列车运行，并调整与前行列车之间必须保持的距离。具体表现在以下三个方面：

(1) 反映了所防护线路的占用/空闲状态。只有当线路在空闲状态时，才能给出允许列车进入的信息。轨道电路、计轴器、交叉环线、射频电台、查询-应答器等，都是用来检测线路空闲状态的。

(2) 反映出危及行车安全的因素是否发生。危及行车安全的因素是多方面的，在发现危

险因素时,列车运行控制系统应立即给出使列车停止运行的信号,并通知司机不要驶入危险轨道区段,以保证列车运行的安全。

(3) 指示了列车安全运行速度。信号系统将根据线路状态(结构、曲线和坡度)、道岔曲线、机车车辆的构造速度、临时限速等限制并结合列车制动性能等因素给出推荐速度,列车按推荐速度运行。如果实际运行速度超过了推荐速度,则会由信号系统自动给出紧急制动的命令,以免列车发生事故。

二、地铁信号系统的特点

(1) 具有完备的列车速度监控功能,对列车的速度和停车位置予以全面地监控。地铁客运运输量很大,对行车间隔的要求很高,采用高密度行车方式,高峰时最小行车间隔达到 70 s,因此,对列车运行速度监控的要求很高。

(2) 由于地铁的线路长几十公里,站间距离都在 1~1.5 km,运营列车种类单一,大多数车站仅有上、下乘客的功能,因此它的信号系统通常包含自动排列进路和运行自动调整的功能,人工介入极少,自动化水平高。

(3) 采取不同的闭塞方式,信号机的设置也不同。地铁的许多车站没有配线,不设道岔,甚至也不设地面信号机,仅在少数有道岔站及车辆段才设置道岔和地面信号机,故联锁设备的监控各不统一。但一条线上的控制中心就可实现全线的联锁功能。

地铁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。

(4) 地铁列车运行速度一般不超过 80 km/h,地铁信号系统一般采用速率较低的独立的数据传输系统。但是,由于采用基于无线通信技术的系统,数据传输速率大大提高。

(5) 地铁的车辆段内,有列车库内的检修、洗车、车轮璇轮、试车等转线作业,还有列车出入库等调车作业等,作业的方式不复杂。所以,一般单独采用一套联锁设备。但是也有车辆段采用和正线一样的联锁设备。

三、地铁信号系统设备

地铁信号系统设备包括信号设备、联锁设备、闭塞设备等。

信号设备包括指示列车或调车列车运行条件的设备及其附属设备。在地铁线路的适当地点,装设有各种用途的固定信号机和各种信号标志等,它们以不同的显示方式,把前方线路的状况及对行车的各种命令传给司机,或者是用 ATC 显示当前的状态,使列车或调车作业顺利地运行,既保证了安全,又提高了行车速度。

联锁设备用于保证相关的信号机、道岔和进路(列车或调车在轨道线路内运行的径路叫做进路)满足一定条件后按照一定程序动作。站内列车或调车列车运行的每一条进路,要由信号机进行防护。当进路上的道岔位置不对或者进路上有车占用时,防护该条进路的信号机

就不能开放，以禁止列车或调车车列进入该进路。因此，联锁设备就能实现站内道岔、进路和信号三者之间的联锁关系。

闭塞设备是用信号或凭证保证列车按照空间间隔制运行的设备。它的作用是保证列车在区间内的运行安全和提高通过能力。

四、信号的种类

1. 视觉信号和听觉信号

视觉信号是以信号灯的颜色、显示数目及灯光状态等来表示的信号，如地面信号机、手信号旗、信号牌等。图 1-1 所示为地面信号机。

听觉信号是以声音的次数、长短等来表示的信号，如机车的鸣笛、号角、口哨声等。各地铁公司在《行车组织规则》中都对听觉信号作了相关规定。

(1) 鸣笛的作用是联系工作或发出警告，各公司的规定有所不同。有的公司规定长声为 3 s，短声 1 s，音响间隔为 1 s；重复鸣示时，需间隔 5 s 以上。

(2) 为避免对站内乘客及铁路沿途的居民造成影响，地铁公司都要执行所在城市的禁鸣规定，列车在正线上运行时只能在必要时鸣笛。

(3) 部分情况下的鸣笛方式见表 1-1。

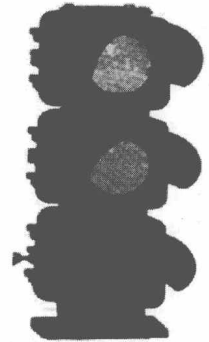


图 1-1 地面信号机

表 1-1 列车鸣笛方式

情 况	鸣示方式	情 况	鸣示方式
表示看到手信号	1 短声	列车倒车或退行时	2 长声
发出警报（请求支援）	连续短声	呼唤信号 （请求车站开放信号）	2 短 1 长声
列车将不停站 （通过开放站台）	1 长声	回示启动信号	1 短声
驶过危险信号之前	1 短 1 长声		

2. 固定信号和移动信号

固定信号是固定设置在规定位置的信号装置，如地面信号机等。移动信号是根据需要临时设置的信号装置，如线路有异常情况时，临时设置的禁止越过信号牌、限速信号牌、限速终止信号牌等。

3. 地面信号和车载信号

地面信号是设置在线路附近供地铁司机辨识并按其显示执行列车运行的信号。车载信号

是将地面信号通过传输设备或其他方式传到列车司机显示器上供司机或车载的信号设备执行列车运行的信号，车载信号机如图 1-2 所示。

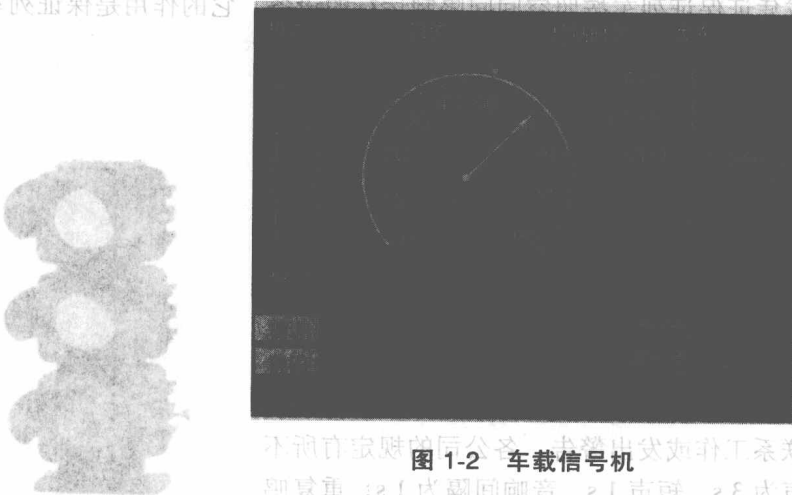


图 1-2 车载信号机

地铁信号系统自动化程度高，一般使用“地面信号显示与车载信号相结合、以车载信号为主”的方式，以控制列车的运行。

第二节 地铁信号系统的组成

地铁信号系统的组成如图 1-3 所示，它由列车自动控制（ATC，Automatic Train Control）系统和车辆段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，构成正线上和车辆段内的综合性自动化系统。

一、列车自动控制系统的组成

列车自动控制系统包括三个子系统：列车超速防护 ATP（Automatic Train Protection）子系统；列车自动驾驶 ATO（Automatic Train Operation）子系统；列车自动监控 ATS（Automatic Train Supervision）子系统。

ATP 子系统为 ATC 系统的安全核心，负责列车间的安全间隔、超速防护、进路控制及车门与站台门的安全监控，包括正线联锁、车载和地面设备等。

ATO 子系统在 ATP 子系统的安全防护条件下使用，负责列车车速的调整并控制列车的运行。它能完成牵引、惰行和制动操作，实现列车的站间运行、车站的定点停车、折返控制等。它有利于行车效率的控制和列车节能，能提高旅客乘坐的舒适度和减轻司机的劳动强

度。ATO 子系统控制的重点是列车运行正点控制、舒适度控制和精确度控制。

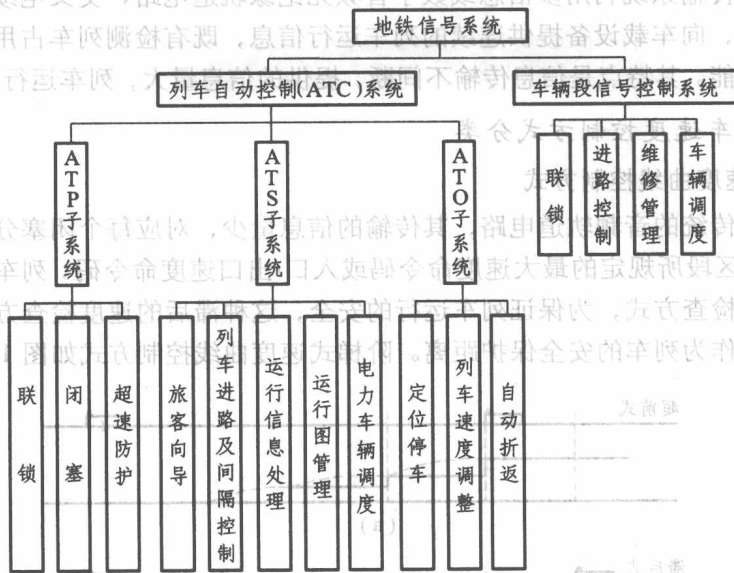


图 1-3 地铁信号系统组成框图

ATS 子系统为 ATC 系统的上层环节，重点管理、监督、控制、协调列车运行，根据客流与实际运行情况，选定并管理、执行运行图。信号系统与其他系统的接口通常通过 ATS 子系统来实现。ATS 子系统主要由中央计算机及相关显示、控制记录设备等组成。

二、列车自动控制系统的分类

随着地铁的发展，特别是列车密度的不断提高，地铁信号系统也逐步从地面信号传递列车命令，发展到车载列车超速防护设备（简称车载设备）根据地面发送的信息和列车参数实时计算出列车运行的允许速度，自动监督列车运行。一旦列车运行速度超过允许速度，车载设备将自动实施常用或紧急制动，有效防止事故发生，确保行车安全。这样，由自动闭塞设备、地车信息传送设备和车载设备构成了列车运行自动控制系统。

ATC 系统制式一般可按信息传输方式、列车速度控制方式、闭塞制式等对系统进行分类。

（一）按信息传输方式分类

1. 点式

点式信息传输系统主要由音频无绝缘轨道电路（或计轴器）和轨旁应答器构成，向车载设备定点地传输 ATP 信息。轨道电路（或计轴器）用于检测列车的占用情况，应答器用来实现车-地数据传输，根据需要还可用环线来延伸信息点的范围。

2. 连续式

连续式信息传输系统利用多信息或数字音频无绝缘轨道电路、交叉电缆环线、裂缝波导管或漏缆等设备,向车载设备提供连续的列车运行信息,既有检测列车占用情况的功能,也具有信息传递功能。其特点是信息传输不间断,提供的信息量大,列车运行安全、平稳舒适。

(二) 按列车速度控制方式分类

1. 阶梯式速度曲线控制方式

该方式基于传统的音频轨道电路,其传输的信息量少,对应每个闭塞分区只能传送一个信息代码,即该区段所规定的最大速度命令码或入口/出口速度命令码。列车速度监控采用的是闭塞分区出口检查方式,为保证列车运行的安全,这种滞后的速度检查方式必须要有一个完整的闭塞分区作为列车的安全保护距离。阶梯式速度曲线控制方式如图 1-4 所示。

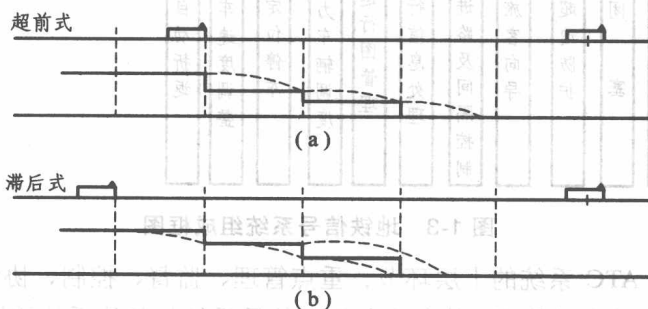


图 1-4 阶梯式速度曲线控制方式

2. 速度-距离曲线控制方式

该方式由命令编码单元通过轨道电路、查询应答器、电缆环线、裂缝波导管或无线设施向列车提供目标及限制速度等命令信息,同时还向列车提供目标速度、目标距离、线路状态等信息,在列车的每一确切位置,车载 ATP 设备据此计算出列车运行的速度-距离曲线,保证列车在最高安全速度下运行。该方式的控制原理如图 1-5 所示。

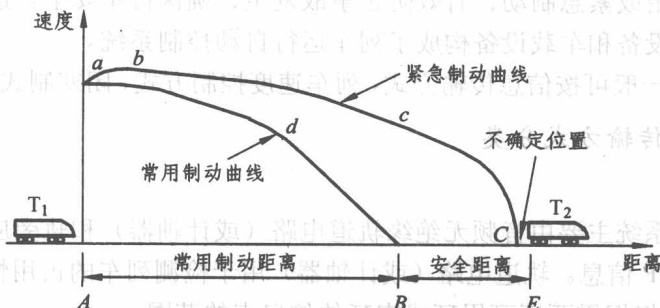


图 1-5 速度-距离曲线控制原理

将以上两种列车速度控制方式相比较,前者两列车之间的最小行车安全间隔距离较后者的大,降低了线路通过能力,且不能实现列车连续速度控制,列车运行的平稳性差;后者可以提高线路利用率,相应缩短追踪列车之间的最小安全行车及正常行车间隔距离,可提高行车密度及列车运行的平稳度。

(三) 按闭塞制式分类

地铁的闭塞方式有三种:固定闭塞、准移动闭塞和移动闭塞。

1. 固定闭塞

固定闭塞采用固定划分区段的轨道电路,即基于传统的多信息音频轨道电路,列车以闭塞分区为最小行车间隔,且需设防护区段。在这种制式中,向被控列车传送的只是速度码,速度控制方式使用阶梯式速度曲线控制方式。

2. 准移动闭塞

准移动闭塞一般采用数字式音频无绝缘轨道电路。音频无绝缘轨道电路+感应电缆环线或计轴设备+感应电缆环线方式作为列车占用监测和 ATP 信息传输媒介,具有较大的信息传输量和较强的抗干扰能力。因为对前行列车的定位仍采用固定闭塞的方式,而后续列车的定位则采用连续的或称为移动的方式,所以,准移动闭塞系统采用速度-距离曲线的列车速度控制方式,提高了列车运行的平稳性,列车追踪运行的最小安全间隔较固定闭塞短,对提高区间通过能力有利。

3. 移动闭塞

前两种闭塞制式均属于基于轨道电路的 ATP 系统。而在准移动闭塞中,前行列车本身也具有移动定位的能力,只是列车没有将本身定位的信息传给地面,也就不能供后续列车使用。但只要增设车对地的安全数据通信设备,前行列车将移动定位信息安全地经地面传给后续列车,便构成移动闭塞。基于通信的移动闭塞 ATP 系统不依靠轨道电路,而是采用交叉感应电缆环线、漏缆、裂缝波导管以及无线电台等实现车-地、地-车间双向数据传输,监测列车位置,使地面信号设备可以得到每一列车连续的位置信息和列车运行的其他信息。追踪列车之间应保持一个“安全的距离”。这个安全距离是指后续列车的指令停车点和前车尾部的确认位置之间的动态距离。这个安全距离允许在一系列最不利情况存在时,仍能保证安全间隔。该制式中,信息被循环更新,以保证列车不断收到即时信息。因此能在保证安全的前提下,最大限度地提高区间通过能力。

三、车辆段联锁设备

地铁车辆段单独设一套联锁设备,用以实现车辆段内的进路控制,完成车辆运用、停放检修,以及进行列车技术检查、车辆清扫洗刷等日常保养作业,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, 近来逐步改进为计算机联锁。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连。列车的整备、维修与运行相互衔接成一个整体。

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 ATP 设备进行静、动态试验。终端式车辆段和贯通式车辆段如图 1-6 和 1-7 所示。车辆段内车库和车辆段内车场如图 1-8 和 1-9 所示。

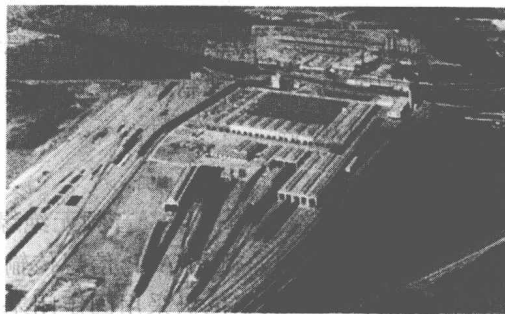


图 1-6 终端式车辆段

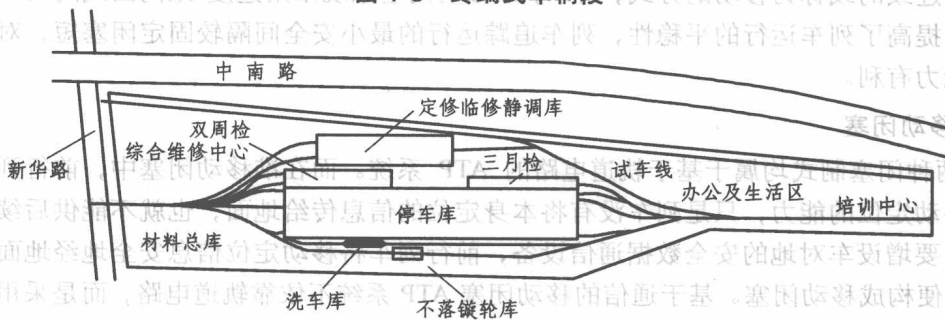


图 1-7 贯通式车辆段



图 1-8 车辆段内车库

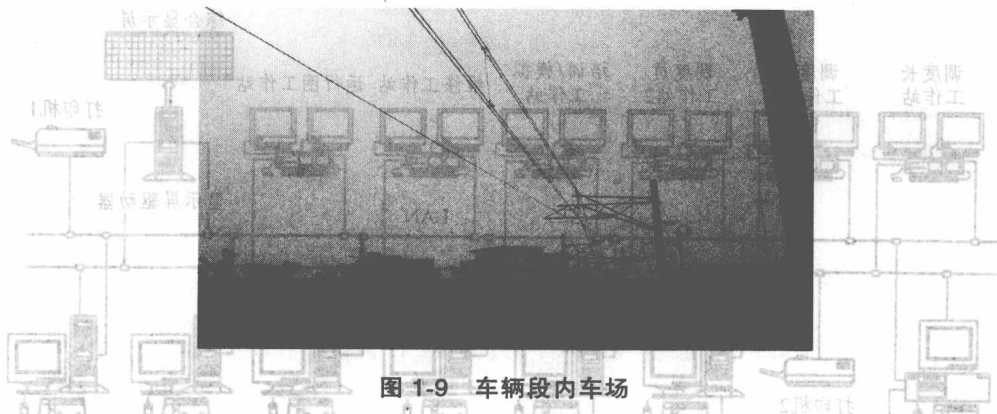


图 1-9 车辆段内车场

四、地铁信号系统的设备

地铁信号设备按装设的位置不同分为 5 个部分：控制中心信号设备、车站及轨旁信号设备、车辆段信号设备、试车线信号设备和车载 ATC 设备。

(一) 控制中心信号设备

控制中心如图 1-10 所示。控制中心信号设备属于 ATS 子系统，是 ATC 的核心，其组成如图 1-11 所示。

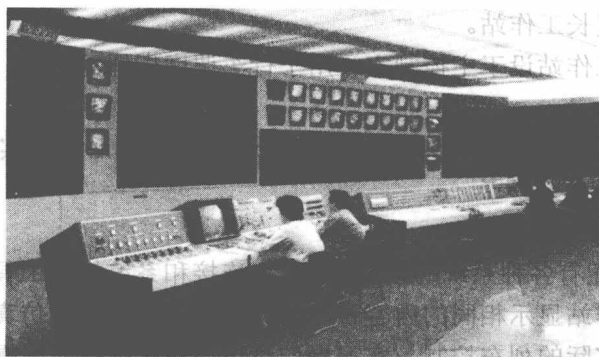


图 1-10 控制中心外观图

(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，主要硬件设备均采用主/备双套热备方式，可自动或人工切换。中心计算机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。

综合显示屏设于主控制室，用于监测正线列车运行情况及系统设备状态，它由显示设备和相应的驱动设备组成。

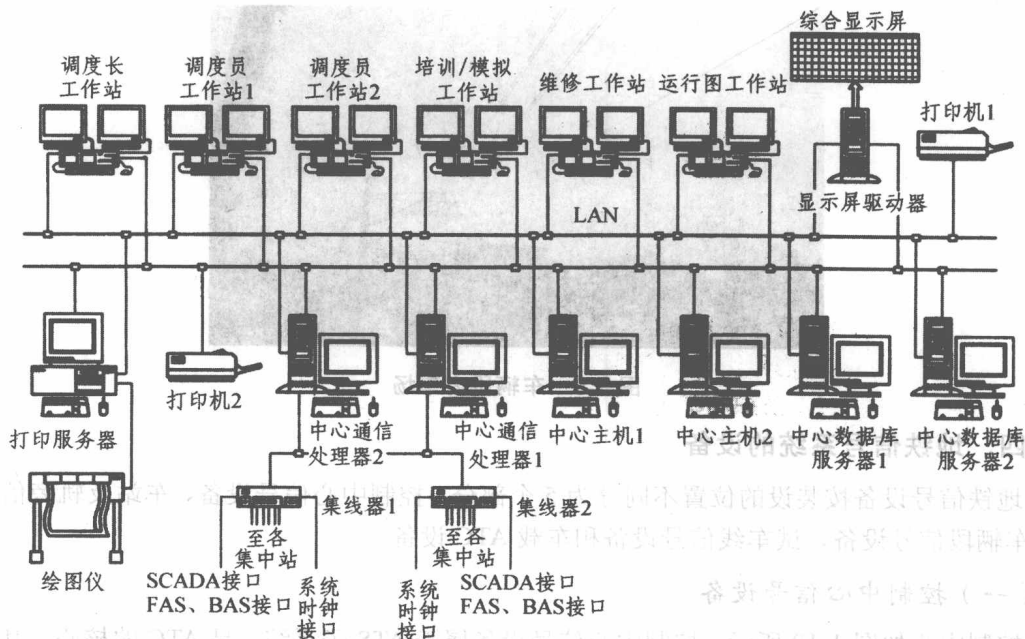


图 1-11 控制中心设备组成

(3) 调度员及调度长工作站。

调度员及调度长工作站设于主控制室，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。

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。蓄电池组的外观如图 1-12 所示。