

Chengshi
GUIDAO JIAOTONG XINHAO

城市轨道交通
关键技术丛书

城市轨道交通信号

刘伯鸿 李国宁 编著

城市轨道交通关键技术丛书

城市轨道交通信号

刘伯鸿 李国宁 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

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论、信号与运营、基础设备、闭塞与列控系统、联锁、列车定位与车-地通信、信号显示与信号机设置、列车运行自动控制系统、基于轨道电路的ATC系统、基于CBTC的ATC系统等十章。侧重阐述了城市轨道交通信号的基本理论与及技术。

本书可作为高等院校及高等职业技术学院城市轨道交通信号专业学生的教材或教学参考用书,也可作为城市轨道交通信号专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通信号 / 刘伯鸿, 李国宁编著. —成都:
西南交通大学出版社, 2011.9
(城市轨道交通关键技术丛书)
ISBN 978-7-5643-1355-5

I. ①城… II. ①刘… ②李… III. ①城市铁路—铁路信号—信号设备 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第174357号

城市轨道交通关键技术丛书

城市轨道交通信号

刘伯鸿 李国宁 编著

责任编辑 刘婷婷

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

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>

四川森林印务有限责任公司印刷

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 19.75

字数: 493千字

2011年9月第1版 2011年9月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-1355-5

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

随着人们生活水平的稳步提高，生活节奏日益加快，城市的交通运输已成为影响和制约城市发展的重要因素。城市经济的快速发展和急速增长的客流势态，使得一些大中城市开始制定、实施城市轨道交通发展计划。北京、上海、广州、深圳等大城市纷纷扩大、升级各自的地铁、轻轨等轨道交通系统；沈阳、南京、西安等城市开始立项、修建城市地铁轻轨运输系统，以解决城市交通运输的瓶颈。

信号系统是城市轨道交通的重要基础设施之一，是保证列车运行安全，实现行车指挥和列车运行现代化，提高运输效率的关键系统设备。

近三十年来，随着计算机技术、通信技术、控制技术和微电子技术的飞速发展，城市轨道交通信号系统已经发生了本质上的变化。城市轨道交通信号系统中，已经普遍采用列车运行自动控制（ATC）系统。列车运行自动控制又可分为列车自动防护（ATP）子系统、列车自动运行（ATO）子系统、列车自动监控（ATS）子系统和联锁系统。

当前，列车自动控制系统（ATC 系统）大体上分为两种制式，即基于数字轨道电路的准移动闭塞和基于通信的移动闭塞制式 CBTC 系统或基于无线（radio）通信虚拟闭塞制式 CBTC 系统。

本书由三部分组成。

第一部分为城市轨道交通信号的技术基础篇，分 6 章介绍与城市轨道交通信号有关的基础技术。第 1 章为城市轨道交通信号概述；第 2 章为信号及运营；第 3 章为基础设备；第 4 章为闭塞与列控系统；第 5 章为联锁；第 6 章为信号显示与信号机设置。

第二部分为城市轨道交通信号的系统篇。其中第 7 章介绍列车自动控制系统基本原理；第 8 章介绍列车自动控制系统技术应用。

第三部分为城市轨道交通信号的专题篇，分为 2 章分别介绍列车自动控制系统。第 9 章基于轨道电路的 ATC 系统有 US&S 公司的 ATC 系统和西门子的 ATC 系统；第 10 章介绍的 CBTC 系统有 SelTrac S40 型 CBTC 系统、西门子的 CBTC 系统和阿尔斯通的 URBAL ISTM 移动闭塞 CBTC 信号系统。

本书由刘伯鸿和李国宁编著，其中刘伯鸿编写第 1 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章；李国宁编写第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章。

本书的编写得到了兰州交通大学张友鹏教授、陈小强教授、董海鹰教授、董昱教授、王瑞峰教授的大力支持和帮助，并提出了许多宝贵的建议和意见，对此作者表示衷心的感谢！

在编写过程中广泛地参阅了国内外有关文献资料，在此，谨向这些文献资料的作者和出版单位表示衷心的感谢！

由于作者的水平和能力有限，且时间仓促，书中疏漏和错误之处在所难免，恳请广大读者批评、指正。

目 录

第一篇 技术基础篇

第 1 章 城市轨道交通信号概述	1
1.1 城市轨道交通信号系统及作用	1
1.2 城市轨道交通信号系统的基本组成和特点	4
1.3 城市轨道交通信号系统的功能及其实现	7
1.4 我国城市轨道交通信号系统的发展及趋势	8
1.5 城市轨道交通信号与运营管理自动化的关系	12
1.6 城市轨道交通信号与研究方法	13
第 2 章 信号及运营	19
2.1 线路与车站	19
2.2 信号与运营	22
2.3 列车运行组织	23
2.4 移动闭塞系统降级控制	26
2.5 基于通信的列车控制 (CBTC) 信号系统的后备模式	29
第 3 章 基础设备	34
3.1 色灯信号机及灯光显示	34
3.2 转辙机	36
3.3 轨道电路	42
3.4 计轴器	50
3.5 应答器	61
第 4 章 闭塞与列控系统	68
4.1 闭塞	68
4.2 列车制动控制模式	72
4.3 城轨交通的列控系统	74
4.4 移动闭塞	77
4.5 列控系统的应用	81
第 5 章 联锁	84
5.1 联锁	84
5.2 计算机联锁系统	87
5.3 城市轨道交通的联锁系统	94
5.4 CBTC 系统中的联锁技术	98

第 6 章 信号显示与信号机设置	102
6.1 信号显示	102
6.2 城市轨道交通车站及信号机配置	106
6.3 城市轨道交通车辆段出/入段线信号机设置	115
6.4 移动闭塞辅助轨旁系统	118

第二篇 系统篇

第 7 章 列车自动控制系统基本原理	121
7.1 ATC 系统综述	121
7.2 ATP 子系统的基本原理	138
7.3 ATO 子系统的基本原理	154
7.4 ATS 子系统的基本原理	161
第 8 章 列车自动控制系统技术应用	180
8.1 列车定位与车-地通信技术	180
8.2 轨道电路的 ATP 子系统	191
8.3 ATO 子系统及车站程序对位停车控制	208
8.4 ATS 子系统及列车与地面通信系统	217
8.5 基于通信的列车运行自动控制系统	222

第三篇 专题篇

第 9 章 基于轨道电路的 ATC 系统	242
9.1 US&S 公司的 ATC 系统	242
9.2 西门子的 ATC 系统	258
第 10 章 CBTC 系统	276
10.1 SelTrac S40 型 CBTC 系统	276
10.2 西门子的 CBTC 系统	291
10.3 阿尔斯通的 URBAL ISTM 移动闭塞 CBTC 信号系统	298
参考文献	309

第一篇 技术基础篇

第 1 章 城市轨道交通信号概述

1.1 城市轨道交通信号系统及作用

我国城市轨道交通建设虽然起步较晚，但随着改革开放和国民经济的发展也得到大力的发展，建设速度惊人。自 1971 年我国第一条地铁在北京投入运营后，城市轨道交通在天津、上海、广州、深圳、南京等城市也相继建成和投运。图 1-1 为北京城市轨道交通 2012 年规划示意图。

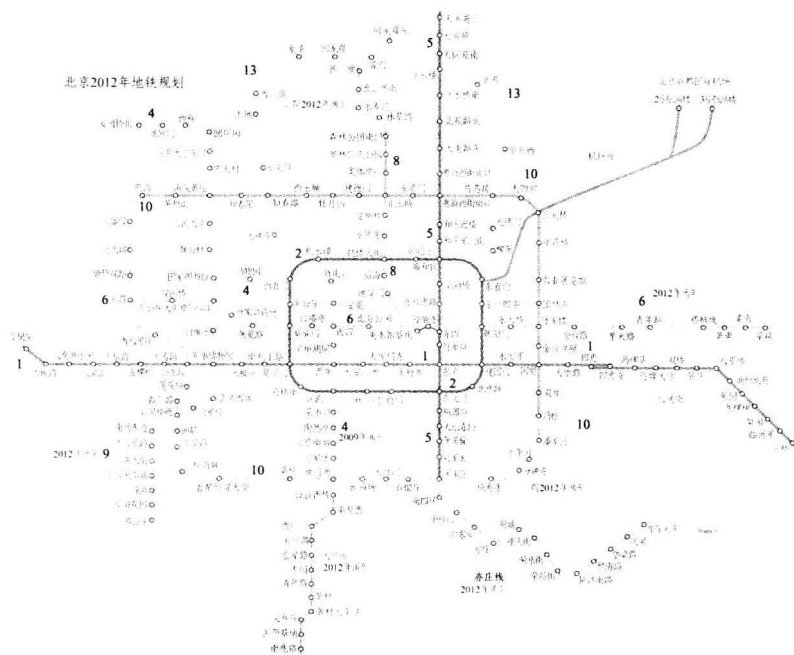


图 1-1 北京城市轨道交通规划示意图

1.1.1 城市轨道交通信号系统

城市轨道交通信号，就是应用于城市轨道交通系统中实现行车指挥和列车运行控制安全间隔控制技术的总称，其功能是保证行车安全，提高运输效率。

城市轨道交通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。图 1-2 为信号系统概况示意图。列车运行控制由机车信号车载设备、车站信号及地面轨旁设备、控制中心设备等共同完成。在图 1-2 中，车-地通信媒介采用轨道电路现代大运量城市轨道交通信号系统是整个城市轨道交通运输自动化系统中的重要组成部分，具有完成并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 (Automatic Train Control) 系统，它由计算机联锁、列车自动防护 ATP (Automatic Train Protection) 子系统、列车自动驾驶 ATO (Automatic Train Operation) 子系统和列车自动监控 ATS (Automatic Train Supervision) 子系统组成，各子系统之间相互渗透，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。

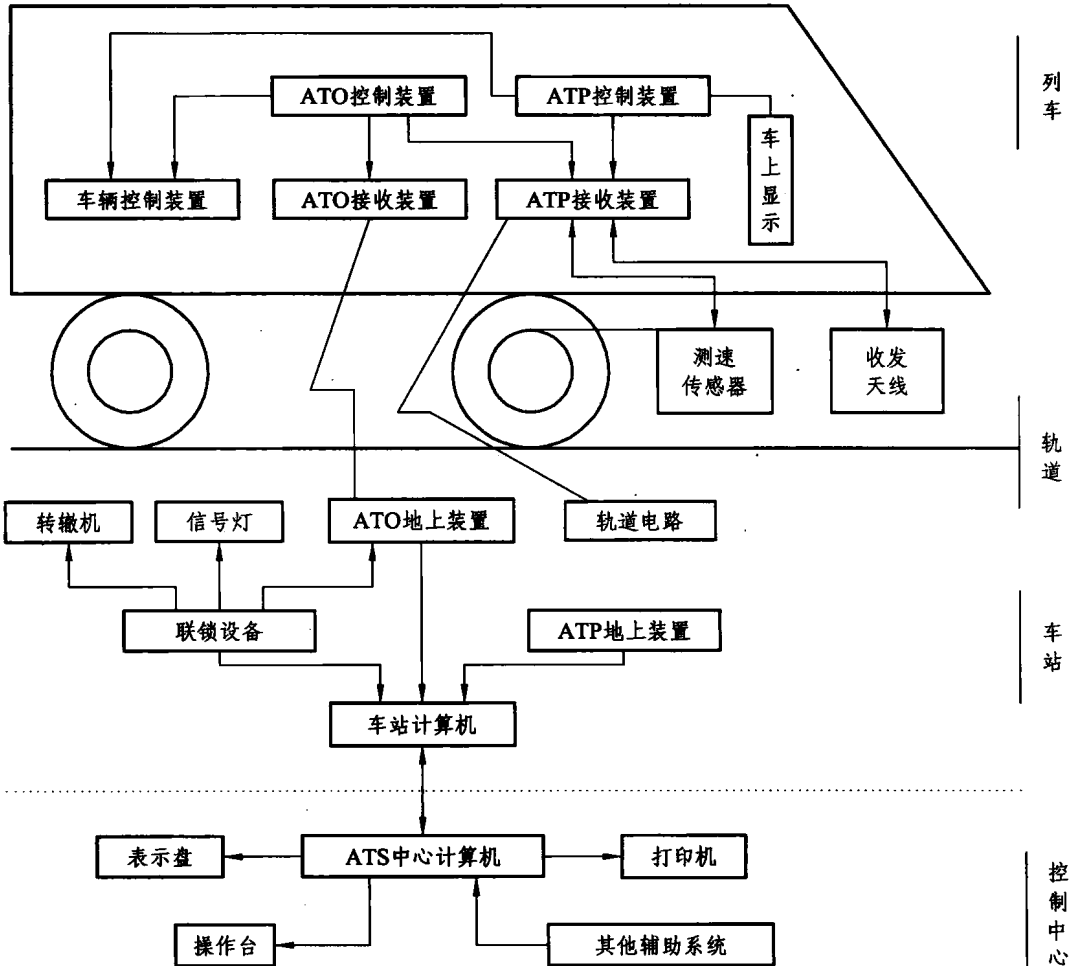


图 1-2 信号系统概况示意图

信号系统随着信息技术（微电子技术、计算机技术、通信技术和控制技术）的不断发展也产生了“革命性”的变化，原来设置于轨旁的“地面信号”逐渐由“车载信号”所替代，其“信号”的内容，已发生根本性的变化，它不再是用“颜色”显示不同的速度等级，而由车载信号直接接收列车运行的“目标速度”、“目标距离”或“进路电子地图”，并且由车载计算机直接控制列车的自动运行，实现列车在车站的程序定位停车和自动超速防护；随着数字编码技术的不断发展，模拟技术的信号系统将被数字信号系统所替代，这一点在信号系统的“轨道电路”技术发展中尤为突出，模拟轨道电路中，只能向列车传送有限的“固定信息”，而利用数字编码轨道电路可以向列车传送各种不同的“变量”，以实现列车运行的自动控制；光纤通信传输技术和无线通信技术都在信号系统中得到充分应用。

尤其是近几年，基于无线通信的列车自动控制 CBTC (Communication Based Train Control) 系统，也已经在国内城市轨道交通信号系统中采用，这将使信号系统产生“革命性”的变化，为信号系统中“扬起”传统的“轨道电路”和“地面信号”，为进一步缩短行车间隔，真正实现“无人驾驶”的列车自动运行奠定了基础。

轨道交通信号系统的基础技术当然离不开自动控制、计算机、通信系统、数据传输等理论性很强的课程，但是，由于信号系统的特殊性，它还有一些“特有”和“专用”的检测、定位设备及运营相关的基础知识，这正是本书阐述的基点。

1.1.2 城市轨道交通信号系统的作用

城市轨道交通线路、车辆、供电、通信、信号、环控、售检票等系统，在运营管理人员的协调下，共同完成着旅客输送任务，实现旅客的位移。

在城市轨道交通中，信号系统担负着保证行车安全、指挥列车运行的重要任务。

城市轨道交通信号系统的作用主要是：

(1) 确保列车运行的安全

轨道交通信号系统是指挥列车安全运行的关键设备，只有在列车运行前方的轨道区段没有列车占用（列车进路空闲道岔位置正确、敌对或相抵触的进路没有建立）等条件满足，才允许向列车发出允许列车前行的信号，所以列车只要严格按照信号的显示运行，就能够确保列车的安全运行；反之，如果列车不遵循信号的显示运行（违章运行），将导致事故。在城市轨道交通运输中，确保旅客的旅途安全比什么都重要。所以信号系统担负着确保运输安全的重要使命，有了信号系统的保障，可以杜绝和减少列车运行事故，而且可以降低事故等级，缩小事故损失。

(2) 提高轨道交通的运行效率

信号设备在轨道交通建设中的投资比重不大，但是对于提高行车效率有着极其重要的作用。

在城市轨道交通中，目前大多数采用了先进的信号系统，使列车的行车间隔大大缩短，可以达到 2 min，甚至小于 2 min 的运营间隔，提高了行车密度，缩短列车停站时分，由计算机系统根据设定的列车运行时刻表，自动、安全地指挥列车按列车运行图运行。

现代化的信号系统，对于提高行车效率有着无可比拟的作用。如果信号系统失灵，或信号停用，将导致列车自动行车指挥系统处于瘫痪状态，只能靠调度人员“人工”指挥列车运行，不仅增加了调度人员的劳动强度，而且行车安全更是难以保证，当然也导致行车效率极

低，其损失难以估量。

1.2 城市轨道交通信号系统的基本组成和特点

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的运行间隔。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。

1.2.1 城市轨道交通信号系统的设备分布划分

从设备分布来看，城市轨道交通的信号系统（如图 1-3 所示）通常由列车运行自动控制（ATC）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、设备状况监测及维护管理，由此构成了一个高效的综合自动化系统。

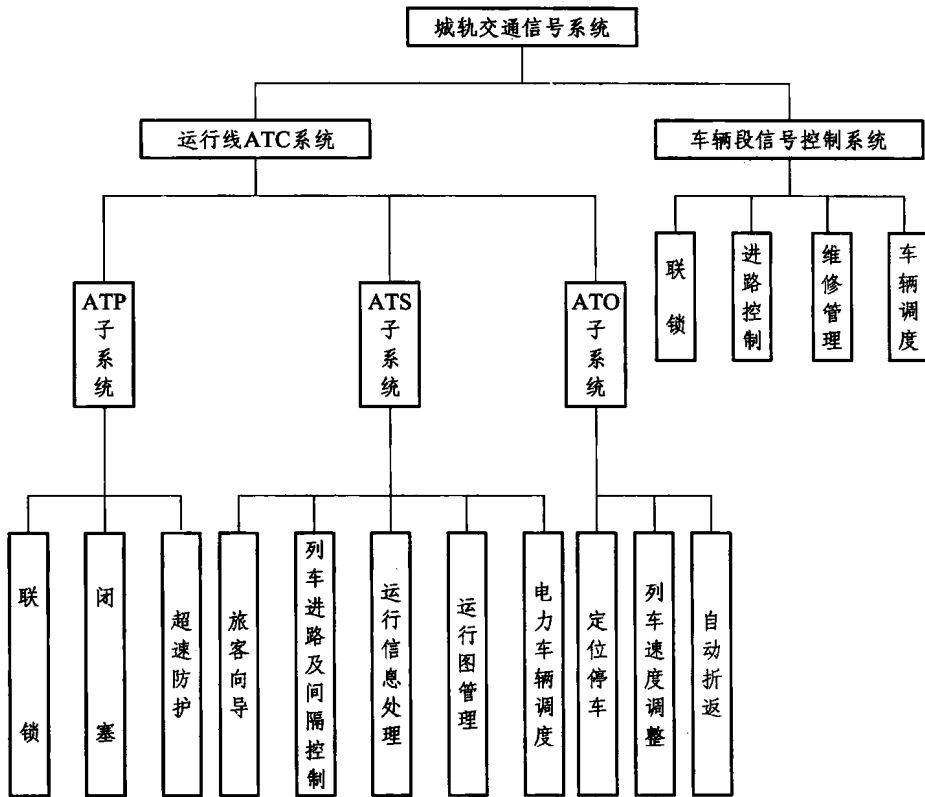


图 1-3 城市轨道交通的信号系统组成框图

1. 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通信系统的安全性、可靠性、实时性更高。

(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 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) 车站联锁。

通常，车站信号控制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。

① 集中联锁站及轨旁设备。集中联锁站设有 ATS 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。

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屏。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。

(3) 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。

(4) 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（设备停中站）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。

2. 车辆段联锁设备

就目前而言，国内车辆段（停车场）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。

车辆段联锁设备均采用计算机联锁，如图 1-4 所示。

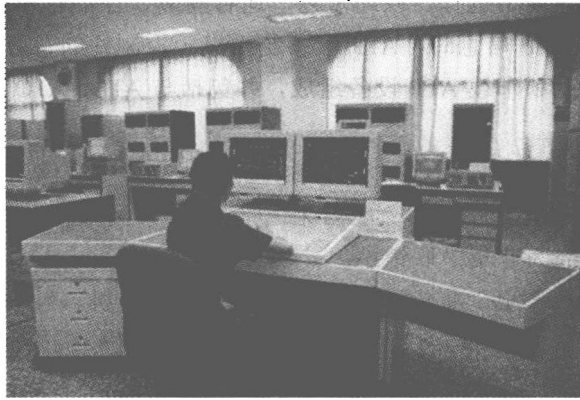


图 1-4 某车辆段室内联锁设备

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。

1.2.2 城市轨道交通信号系统的地域划分

城市轨道交通信号设备按地域划分为五部分：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。

1.2.3 城市轨道交通信号系统的特点

在一定程度上，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，故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. 正线信号设置成自动信号

由于城市轨道交通每天承担集中时段巨大的客流量，因此要求较短的列车运行间隔，并对信号系统的列车运行速度监控提出了极高的要求，以确保列车运行安全。城市轨道交通的

站间距离一般为 0.8~1.5km，相对较短，而且列车编组统一，所以列车行车时刻表的规律性很强，按工作日和节假日不同时间段的行车时刻表运行。城市轨道交通的信号系统（注：城市轨道交通正线信号由 ATC 系统控制，轨旁信号平时都设置成自动信号或连续通过信号），按时刻表编制的程序，具有进路自动排列功能。当然，在必要的时候，控制中心和联锁集中站都可以人工介入变更进路。

2. 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，仅在少数有岔站及车辆段才设置道岔和地面信号机，正线联锁设备由集中站和非集中站设备组成。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。

3. 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，对行车间隔的要求很高，最小行车间隔可达到 90~120s，因此对列车运行速度监控的要求极高。

4. 数据传输速率较低

城市轨道交通的列车运行速度不高，最高运行速度通常为 80km/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。

5. 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可对列车编解、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，国内一般独立采用一套联锁设备。

6. 自动化水平高

由于城市轨道交通的线路长，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。

1.3 城市轨道交通信号系统的功能及其实现

城市轨道交通的基本任务是安全、准时、高效率、高密度地运送旅客。因此，必须采用可靠的列车运行控制设备来指挥列车的运行，以确保列车的安全运行。从传统的“闭塞、联锁信号设备”，到现代化的列车运行自动控制（ATC）系统，是长期实践、经验的积累，是技术不断改进和发展的结果。

城市轨道交通信号系统是指列车安全运行的关键设备，只有在列车运行前方的轨道区段没有列车占用、道岔位置正确、敌对或相抵触的信号没有建立等条件满足，才允许向列车发出允许前行的信号，所以列车只要严格遵循信号的指示运行，就能够确保列车的安全运行；反之，如果列车不遵循信号的指示运行，将导致事故。所以信号系统担负着确保运输安全的重要使命，有了信号系统的保障，可以杜绝和减少列车运行事故。

1.3.1 城市轨道交通信号系统的功能层次

在《城市快速轨道交通工程项目建设标准——试行本》中，把信号系统划分了三个层次：

第一层次设备在运量较小、行车密度较低的线路上，可配置联锁设备、自动闭塞、机车信号和自动停车系统；第二层次设备在运量较大、行车密度较高的线路上，可配置列车自动监控（ATS）系统和列车自动防护（ATP）系统；第三层次设备在运量大、行车密度高的线路上，配置列车自动监控系统、列车自动防护系统和列车自动运行（ATO）系统。

上述第一层次系统配置属最低水平等级，只适于行车间隔大于 3 min 的线路运用，然而其国产化率水平是最高的，工程造价是最低的。

第二层次的信号系统配置，适于行车间隔在 2 min 以上的线路运用，行车安全可以完全由列车自动防护系统来保证。虽然其国产化率水平降低，工程造价增高，但是该层次设备技术先进，便于向第三层次扩展。

第三层次的系统配置具备很高的现代化技术水平，适于行车间隔小于 2 min 的线路运用，不仅行车安全可以完全由列车自动防护系统来保证，而且列车自动运行系统还可以完成站间自动运行、定位停车，接收控制中心运行指令，实现列车运行自动调整，使整套信号系统能够满足列车高速、高密度运行的需要。这种系统的国产化率水平低，工程造价高。

1.3.2 城市轨道交通信号系统的功能实现

城市轨道交通信号系统的功能实现，可以按照系统不同的特征主要从以下几方面进行实现。

1. 按照区间闭塞方式实现

闭塞方式是列车控制系统最主要的特征，城轨交通信号系统按照闭塞方式可分为固定闭塞、准移动闭塞和移动闭塞 3 种类型。相应的，信号系统的功能也按此实现。

固定闭塞的特点是闭塞分区的长度固定，并按列车最不利条件下的制动距离进行设计，列车的运行间隔按照后续列车与前行列车之间的闭塞分区数进行计算，与列车在闭塞分区中的位置无关。

移动闭塞的特点是没有闭塞分区的概念，列车之间的运行间隔是按照后续列车与前行列车之间的实际距离计算的，并随着列车实际位置的变化而随时动态刷新。

准移动闭塞则是介于移动闭塞和固定闭塞之间，其特点是仍然保留有闭塞分区，长度划分综合考虑轨道电路的极限长度及运行间隔的要求而制定，在同一时间，一段闭塞分区只能被一辆列车所占用，列车之间的运行间隔是按照后续列车的实际位置距前行列车所在闭塞分区的距离来进行计算，是随着后续列车实际位置的变化而随时动态刷新的。

2. 按照信息的传输方式划分类型实现

按照车-地间的传输方式，主要分为点式、连续式。

3. 按照信息的传输介质划分类型实现

按照车-地间的传输介质划分，主要包括依靠轨道电路、电缆环线、漏泄电缆、应答器点式设备、无线等。

1.4 我国城市轨道交通信号系统的发展及趋势

从时间上，我国城市轨道交通信号系统的发展大致经历了三个阶段：起步阶段、技术改造过渡阶段和发展阶段。相应的，ATP、ATO、ATS 系统也基本经历了以上三个阶段。

1.4.1 ATP 系统的发展

列车超速防护系统是保证行车安全的控制设备，主要由地面设备、车载设备及车—地之间传输信息媒体 3 部分组成。

在传统信号中，列车是依靠地面设置的信号机来确保其运行安全。为防止司机漏看信号而造成的人为事故，设计了种种信号设备以提高安全性。

在信号技术的发展过程中，微电子技术的发展起到了重要作用。最初的车载设备是列车自动停车装置（ZTL）。当车内信号显示红灯、发出警报敦促司机注意，司机若在规定时间内不按规定操作，则自动产生制动使列车停车。当初的 ZTL 功能简单，使用晶体管。为了消除人为错误，装置有更高的功能，因此使用了计算机。

与地面车上能够实现信息传输的查询应答器相结合，车上产生速度校核曲线，按此曲线来控制列车运行，这就是 ATP 装置，是目前的主流车载信号设备之一。

当信号显示由进路式转变为速差式时，车内信号显示列车允许速度，按此速度进行减速，这就是列车自动控制（ATC）设备。该系统由地面设备向列车提供每个闭塞区间的允许速度，列车按此反复进行减速、惰行的分级制动速度控制。为进一步提高其功能及乘车舒适度，要向无极控制的模式转换，为此需要有众多的信息量，因此采用了大规模集成电路的微机。从技术上看，微机已由 8 位到 16 位再发展到 32 位。

随后，地面传送的信号由模拟量变换成数字量（数码化），实现了大量传送信息，以便实现更为确切的速度控制。车—地信息传输也逐渐向无线传送方式发展。

1.4.2 ATO 系统的发展

随着列车自动控制技术的不断发展，列车驾驶控制模式由最初的司机承担全部驾驶控制列车职责，发展为在司机监督下的 ATO（自动列车控制）运行模式，目前已有多个系统开发商提供了更为先进的无人驾驶控制技术。无人驾驶是在“列车控制系统”安全保护下，由现代计算机控制技术取代司机驾驶，自动控制列车运行的一种高度智能化的列车运营模式。在小编组、高密度、快速运行条件下，可有效节省运营成本，大幅度提高运营服务水平，进一步提高城市轨道交通运行的竞争力。

无人驾驶运营模式从 1980 年开始至今已在世界多条城市轨道交通中使用，包括加拿大温哥华地铁线、法国巴黎地铁 14 号线、英国伦敦 Dockland 线、马来西亚吉隆坡轻轨 2 号线、丹麦哥本哈根轻轨线、新加坡东北线等均已实现了全自动无人驾驶运行模式。在意大利的都灵、瑞士的洛桑、西班牙的巴塞罗那等城市均在新建无人驾驶系统。从世界范围来讲，无人驾驶系统是城市轨道交通逐步走向高度集中监控和自动化管理的发展趋势，它在世界多个城市轨道交通中得到广泛运用。与轨道交通有人自动驾驶的运营系统相比，无人自动驾驶列车控制系统具有更高的安全性和可靠性，能更有效地提供运营线路的通过能力，提高列车平均旅行速度，减少车辆需求量，减少组织管理人员，为运营管理降低成本。

无人自动驾驶技术经过国外开通运营线路的实践证明，它不仅代表了轨道交通的先进性，而且已具有成熟的运用经验，但国内城市轨道交通系统尚没有无人自动驾驶载客使用的工程建设、运营管理经验。随着世界轨道交通技术的发展，无人自动驾驶信号系统的列

车控制运营模式将是一个可供选择的发展方向。下面列举无人自动驾驶列车控制技术的应用实例。

1. 基于环线通信的无人驾驶系统

法国巴黎地铁 14 号线一期工程长约 11 km，共设置 8 座车站，车站安装屏蔽门，设计行车间隔 85s，运营行车间隔 105 s，平均旅行速度 40 km/h。初期 4 辆车编组，远期 6 辆或 8 辆车编组，选用 SiCMens 法国设备，工程于 1998 年 6 月开通运营。该无人驾驶自动列车控制采用 CBTC 移动闭塞、环线通信的 METEOR 信号系统（西门子公司）。METEOR 信号系统是在每列车上设置一套计算机系统，采用冗余配置，以提高系统的可用性。在中央控制室，调度员通过信号显示屏监督全线列车运行，通过车载（每节车厢两端各设置 1 个监视器）和站台（每站台 4 个监视器）CCTV 监视系统，监视站台和车厢内的情况，通过操作选择可监视 1 个车站或 1 列车，并通过遥控进行干预。

2. 基于无线通信的无人驾驶系统

西门子公司最新技术的移动闭塞列车控制信号系统（Trainguard MT 系统）和 SICASOI 联锁系统，应用于纽约地铁 CANARSIE 线工程改造。该系统以无线扩频电台通信方式替代环线式通信，使用 2.4GHz 频段，采用直接序列扩频技术（DSSS）调制方式，码分多址编码、时序半双工进行车-地、地-车双向连续通信。西班牙巴塞罗那 9 号线也是采用基于无线扩频技术的 CBTC 移动闭塞信号系统。

3. 基于无线漏缆通信的无人驾驶系统

瑞士洛桑轨道交通采用漏缆传输技术的无人自动驾驶系统。

4. 基于数字轨道电路通信的无人驾驶系统

2002 年 10 月，丹麦哥本哈根建成了第一条从东向西的全自动运营线路。该线路有两条分支，一条向南连接到奥莱斯塔德（Ørestad），一条向东连接到哥本哈根机场。第一阶段 2002 年 10 月 19 日开通诺雷坡特（Nørreport）—奥莱斯塔德（Ørestad）·威斯塔马格（Vestamanger）；2003 年 5 月 29 日开通佛鲁姆（Forum）和肺特烈斯贝（Frederiksberg），2003 年 10 月 12 日地铁延伸至万洛斯（Vanløse）。该地铁线路配备 34 列车，每列车 3 辆编组。轨道电路采用 US&S 的 AF9000 轨道电路。

综上所述，信号系统技术的发展使得城市轨道交通在小编组、高密度、快速运行条件下，有效地节省运营成本，大幅提高运营服务水平，进一步提升城市轨道交通运营的竞争力。经过国内外已开通运营线路的实践证明，最大限度地提高城市轨道交通信号系统的自动化程度将是以后发展的必然趋势。显然，移动闭塞、无人自动驾驶技术等代表了当今城市轨道交通信号系统发展的最新方向。

1.4.3 自动监控系统（ATS）的发展

ATS 通过与 ATC 系统中的 ATP 和 ATO 子系统的协调配合，完成对高密度城市轨道交通信号系统的自动化管理和全自动行车调度指挥控制。

从 ATS 系统的功能角度来讲，经历了调度集中、ATS 系统、以列车运行控制为核心的行车指挥系统 3 个阶段。

目前，就国内城市轨道交通 ATS 系统的应用和发展来讲，国内自主研发的 ATS 尚未成为

主流产品，大部分线路采用国外的 ATS 系统。

1. 国外 ATS 系统

采用国外信号系统的线路，基本上都采用与其配套的 ATS 系统。

北京、上海、广州、武汉等地已开通运营和正在建设的供货商也都是国外知名企业，如德国 Siemens 公司、加拿大 Alcatel 公司、法国 Alstom 公司、英国 Westinghouse 公司等，但无论是采用哪一种闭塞方式，无论是采用哪一家知名公司的设备，其信号系统都各成体系，特别是 ATS、ATP、ATO 相互之间的关系、功能界面的划分以及软件平台的搭建各有特色。

ATS 系统的基本类型从结构上划分，有车站分散式控制和区域分散式控制两种，但其技术随着通信技术、计算机技术、网络技术的发展而发展。

2. 国产 ATS 系统

国内先期建设的地铁项目基本上都采用进口信号系统或关键子系统。

近几年，国家鼓励掌握计算机联锁系统（CBI）、列车自动监督系统（ATS）等技术的中资企业实行项目总承包，采用国产 ATS、计算机联锁子系统，以提高国产化水平。

现阶段，城轨信号系统的自主化技术路线是在成熟技术的基础上开展自主开发、实现技术升级。目前已采用国产 ATS 系统、计算机联锁子系统的部分线路统计见表 1-1。

表 1-1 采用国产 ATS 系统和计算机联锁子系统的部分线路

城市	线路/项目	国外厂商	国内厂商	技术特点	运营时间
北京	13 号线	西屋 ATP	铁科研 CBI、卡斯柯 ATS	模拟轨道电路	2003 年
	5 号线	西屋 ATP	卡斯柯 ATS、CBI	模拟轨道电路	2007 年
重庆	轻轨 2 号线	日信 ATP	铁科研 ATS、CBI	环线 ATP	2010 年
	轻轨 3 号线	日产 ATP	铁科研 ATS、交大微联 CBI	CBTC	在建

1.4.4 城市轨道交通信号系统的发展趋势

目前，国内外城市轨道交通信号系统的发展主要表现出以下特点：

1. 基于数字轨道电路的列车自动控制系统已成为城市轨道交通信号系统的主流

目前，轨道电路所提供的列车占用检查、列车完整性检查及断轨检查的功能，还无法找到更好的手段进行替代，所以轨道电路作为一种检查手段及传输方式在城市轨道交通信号系统中仍将发挥重要作用。数字轨道电路的优点在于能提供大容量的信息传输，对改善列车自动控制系统的控制性能，减少运行间隔发挥了重要的作用。

数字轨道电路也是目前城市轨道交通信号系统中技术相对比较先进、成熟的产品。美国 USSI 公司及德国西门子公司的地铁主流产品都是数字轨道电路，英国西屋公司也推出了自己的采用数字轨道电路的城轨交通信号系统。欧共体目前为了实现不同线路及信号系统互连互通而制定了 Cenelex 标准，该安全标准旨在规范欧洲各国详细的安全标准及控制系统接口。USSI 公司在哥本哈根所实施的基于 AF900 数字轨道电路及 MICROLOKII 微控制器的 ATC 系