



城市轨道交通系列教材

# 城市轨道交通列车运行控制

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG  
LIECHE YUNXING KONGZHI



陈荣武 主编



科学出版社

城市轨道交通系列教材

# 城市轨道交通列车运行控制

陈荣武 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书从列控角度出发,全面介绍城市轨道交通信号基础设备、列车自动控制系统及其三个子系统——列车自动防护系统、列车自动驾驶系统、列车自动监控系统,并且根据技术的发展需要,介绍 CBTC 系统及其系统相关的 IEEE 标准,主要介绍 IEEE Std 1474.1、IEEE Std 1474.2、IEEE Std 1474.3、IEEE Std 1474.4。

本书强调理论与实际的结合以及系统概念的建立,采取案例教学的方式,希望能够帮助读者更好地理解相关知识。本书可作为高等院校相关专业的教材,也可作为从事城市轨道交通相关领域的技术人员的学习资料,并可供对于城市轨道交通列控系统感兴趣的读者自学。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通列车运行控制/陈荣武主编. —北京:科学出版社,2014.2  
城市轨道交通系列教材  
ISBN 978-7-03-039695-2

I. ①城… II. ①陈… III. ①城市铁路—轨道交通—列车—运行—控制系统—高等学校—教材 IV. ①U284.48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 020032 号

责任编辑:杨 岭 于 楠 / 责任校对:胡小洁  
责任印制:邝志强 / 封面设计:墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014 年 2 月第一次印刷 印张:12 3/4

字数:300 000

定价:26.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## “城市轨道交通系列教材”编委会

主 编 蒋葛夫 翟婉明  
副主编 阎开印  
编 委 张卫华 高 波 高仕斌  
彭其渊 董大伟 潘 炜  
郭 进 易思蓉 张 锦  
金炜东

# 前 言

城市轨道交通具有运输能力大、速度快、安全、准时、保护环境、节约能源和土地等优点。世界各国普遍认识到：解决城市交通问题的根本出路在于优先发展以轨道交通为骨干的城市公共交通系统。国外大城市轨道的运营经验也表明，大力发展城市轨道交通是缓解交通拥堵难题的重要途径。随着城市交通拥堵问题的日益严重，国内城市轨道交通发展将进一步提速，我国城市轨道交通未来发展空间大。

为了适应现代城市轨道交通列车控制技术的发展，满足高等院校城市轨道交通相关专业学生及专业人员对城市轨道列控基础知识的学习，编者编写了这本书作为教材及参考书。

本书从信号、控制角度出发，根据城市轨道交通的发展需求，主要介绍城市轨道交通列车自动控制系统，详细介绍了自动控制系统的三个子系统：列车自动防护(ATP)系统、列车自动驾驶(ATO)系统、列车自动监控(ATS)系统，它们能最大程度保证列车的行车安全和缩短列车运行间隔，从而提高城市轨道交通的通过能力。同时，每个子系统均配有实例介绍，希望对读者的学习和工作有所帮助。信号设备是指挥列车运行、保证行车安全、提高运输效率、改善行车组织方式、实现行车指挥现代化的关键设施，所以本书也对城市轨道交通中常用的基础信号设备如信号机、转辙机、轨道电路、计轴器等作了详尽介绍。此外，现代轨道交通运行控制系统正向系统化、网络化、信息化、智能化及通信信号一体化方向发展。为实现不同厂商设备间、地面设备与车载设备间互联互通(interoperability)，使列车能够在轨道交通网中跨线运行，必须把 CBTC 系统的技术规范与技术标准作为系统研究的核心。因此本书最后一章详尽介绍了 IEEE 相关 CBTC 的标准，有助于读者进一步的学习。

在内容布置上，本书共分为七章。

第一章 介绍了城市轨道交通概况、发展历史及城市轨道交通列控系统。

第二章 对信号机、转辙机、轨道电路和计轴设备的结构、基本原理及应用作了简要的介绍。

第三章 介绍了国内外列车控制系统发展，阐述了列车控制系统的组成、原理和功能，并对西门子 ATC 系统作了讲解。

第四章 介绍 ATC 的子系统——ATP。详细介绍了 ATP 的功能、结构以及 ATP 安全制动模型与 ATP 速度防护模式，并以成都地铁 1 号线 ATP 作为实例进行了讲解。

第五章 介绍 ATC 的子系统——ATO。详细介绍了 ATO 的结构、功能及其工作原理，并介绍了 ATO 系统实例——广州地铁 1 号线 ATO 系统。

第六章 介绍 ATC 的子系统——ATS。详细介绍了 ATS 的结构、功能和基本原理，并讲解了上海地铁 1 号线的 ATS 系统。

第七章 对 CBTC 系统和 CBTC 系统相关的 4 个标准进行了介绍。

本书可以作为交通信息工程专业高年级本科生的专业必修课教材，也可作为城市轨

道交通相关方向研究生的参考教材；同时，本书文字通俗易懂，也可作为从事城市轨道交通相关方向的专业技术人员的参考资料。讲授学时可为 32 ~ 48 学时，教师可根据学时、专业和学生的实际情况选讲。附录部分为学生自学部分内容，其中附录 A 总结了城市轨道交通列车控制系统中常用的英文缩写，附录 B 和附录 C 为 IEEE1474 系列标准中对于部分读者有用的附录，读者可根据需求自学。

本书的编写得到了西南交通大学和科学出版社的大力支持，也获得了西南交通大学城市轨道交通实验室及其他老师的大力帮助。在本书的编写过程中编者参考了城市轨道交通相关资料以及其他相关著作，在此对相关作者表示衷心感谢。西南交通大学杨淘、李耀、李容、李浩宇、吴婷分别对本书的整理和完善工作给予了很多帮助；同时，还得到了其他同仁的支持和热情帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于时间仓促，以及编者学识水平有限，书中难免出现疏漏与不足，恳请同行专家及广大读者批评指正。

编 者

2013 年 9 月

# 目 录

## 前言

第一章 概述	1
第一节 城市轨道交通特点	1
第二节 城市轨道交通类型	3
第三节 我国城市轨道交通的发展历史	5
第四节 城市轨道交通列控系统	6
第二章 信号基础设施	9
第一节 概述	9
第二节 信号机	10
第三节 转辙机	13
第四节 轨道电路	16
第五节 计轴设备	20
第六节 应答器	24
第三章 列车自动控制系统	30
第一节 ATC 系统发展	30
第二节 ATC 系统概述	33
第三节 ATC 系统分类	38
第四节 ATC 系统实例——西门子 ATC 系统	45
第四章 列车自动防护系统	55
第一节 ATP 系统功能	55
第二节 ATP 系统结构	58
第三节 ATP 安全制动模型	63
第四节 ATP 速度防护模式	66
第五节 ATP 实例——成都地铁 1 号线 ATP 系统	73
第五章 列车自动驾驶系统	78
第一节 ATO 系统概述	78
第二节 ATO 系统的结构及功能	81
第三节 ATO 系统的工作原理	83
第四节 ATO 系统实例——广州地铁 1 号线 ATO 系统	86

<b>第六章 列车自动监控系统</b> .....	90
第一节 ATs 系统结构 .....	90
第二节 ATs 系统功能 .....	95
第三节 ATs 基本原理 .....	100
第四节 ATs 系统实例——上海地铁 1 号线 ATs 系统 .....	108
<b>第七章 CBTC 系统及相关标准</b> .....	115
第一节 CBTC 系统简介 .....	115
第二节 IEEE Std 1474.1——CBTC 系统性能及功能需求 .....	131
第三节 IEEE Std 1474.2——CBTC 系统用户接口需求 .....	147
第四节 IEEE Std 1474.3——CBTC 系统设计及功能分配需求 .....	156
第五节 IEEE Std 1474.4——CBTC 特点及应用 .....	178
<b>参考文献</b> .....	185
<b>附录 A 常用名词对照表</b> .....	186
<b>附录 B 典型的 CBTC 参数</b> .....	188
<b>附录 C 系统安全方案需求</b> .....	189



# 第一章 概述

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客流的急速增长，直接影响到城市居民的生活、工作、出行和购物。城市轨道交通可以缓解城市中心人口密集、住房紧张、空气污染严重、绿化面积小等城市通病，有利于提高居民的出行效率，节省时间，改善生活质量，同时促进城市的繁荣。目前一些大中城市已经开始制定、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和升级地铁、轻轨等轨道交通系统，以解决城市交通运输的瓶颈。

根据国家标准《城市公共交通常用名词术语》，城市轨道交通定义为“通常以电能为动力，采取轮轨运输方式的快速大运量公共交通的总称”。经济发达国家的交通发展历史显示大客运量的城市轨道交通系统能够从根本上改善城市公共交通的状况。

通常，城市轨道交通是具有固定线路、铺设固定轨道、配备运输车辆及服务设施等的公共交通设施。广义的城市轨道交通是指以轨道运输方式为主要技术特征，是城市公共客运交通系统中具有中等以上客运量的轨道交通系统(有别于道路交通)，主要为城市内(有别于城际铁路，但可涵盖郊区及城市圈范围)公共客运服务，是一种在城市公共客运交通中起骨干作用的现代化立体交通系统。

## 第一节 城市轨道交通特点

### 一、城市轨道交通的主要特点

#### 1. 城市轨道交通有较大的运输能力

城市轨道交通往往要承担很大的客流量，行车密度大，由于高密度运转，列车行车时间间隔短，行车速度快，列车编组辆数多，具有较大的运输能力。单向高峰每小时的运输能力最大可达到6万~8万人次(市郊铁道)；地铁达到3万~6万人次，甚至达到8万人次；轻轨1万~3万人次，有轨电车能达到1万人次，城市轨道交通的运输能力远超过公共汽车。据文献统计，地下铁道每千米线路年客运量可达100万人次以上，最高达到1200万人次，如莫斯科地铁、东京地铁、北京地铁等。城市轨道交通能在短时间内输送较大的客流，据统计，地铁在早高峰时1h能通过全日客流的17%~20%，3h能通过全日客流的31%。

#### 2. 城市轨道交通具有较高的准时性

城市轨道交通由于在专用行车道上运行，不受其他交通工具干扰，不产生线路堵塞现象并且不受气候和路面影响，是全天候的交通工具，列车能按运行图运行，精确停车，具有可信赖的准时性。

### 3. 城市轨道交通具有较高的速达性

与常规公共交通相比,城市轨道交通由于没有和普通道路交叉,运行在专用行车道上,不受其他交通工具干扰,相比城市道路交通,车辆有较快的运行速度,有较大的启、制动加速度,多数采用高站台,列车停站时间短,上下车迅速方便,而且换乘方便,从而可以使乘客较快地到达目的地,缩短了出行时间。

### 4. 城市轨道交通具有较高的舒适性

与常规公共交通相比,由于城市轨道交通运行在不受其他交通工具干扰的线路上,城市轨道交通车辆具有较好的运行特性,车辆、车站等装有空调、引导装置、自动售票等直接为乘客服务的设备,城市轨道交通具有较好的乘车条件,其舒适性优于公共电车、公共汽车。

### 5. 城市轨道交通具有较高的安全性

由于城市轨道交通运行在专用轨道上,没有平交道口,不受其他交通工具干扰,并且有先进的通信信号设备,极少发生交通事故。且通信信号设备都遵循铁路信号故障-安全原则,在故障时导向安全侧。

### 6. 城市轨道交通能充分利用地下和地上空间

大城市地面拥挤、土地费用昂贵。城市轨道交通由于充分利用了地下和地上空间,不占用地面街道,能有效缓解由汽车大量发展而造成的道路拥挤、堵塞,有利于城市空间的合理利用,特别有利于缓解大城市中心区过于拥挤的状态,提高了土地利用价值,并能改善城市景观。

### 7. 城市轨道交通的系统运营费用较低

城市轨道交通主要采用电气牵引,而且轮轨摩擦阻力较小,与公共电车、公共汽车相比更节省能源,运营费用较低。同时,轨道交通的输送能力是公路交通输送能力的近10倍,因而每一单位运输量消耗的能源也较少。

### 8. 城市轨道交通对环境低污染

城市轨道交通采用电气牵引,与公共汽车相比不产生废气污染。城市轨道交通的发展,还能减少公共汽车的数量,进一步减少了汽车的废气污染。城市轨道交通中的噪声属集中型,人均噪声小,易于治理;由于在线路和车辆上采用了各种降噪措施,一般不会对城市环境产生严重的噪声污染。

## 二、城市轨道交通信号系统主要特点

在一定程度上,城市轨道交通的信号系统沿袭大铁的技术,但是由于其自身发展特点,故与大铁的信号系统有一定的区别,主要体现在以下几个方面。

### 1. 正线信号设置为自动信号

由于城市轨道交通每天承担集中时段巨大的客流量,所以要求列车运行间隔时间短,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列车时刻表运行。

城市轨道交通信号系统具有进路自动排列功能。一般运行情况下,正线轨旁信号都

设置为自动信号或连续通过信号，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. 联锁关系较为“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、站台扣车等，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 90~120s，因此对列车运行速度监控的要求极高。

### 4. 车辆段独立采用联锁设备

城市轨道交通的车辆段可对列车编组、解编，接发列车和调车作业，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。

### 5. 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，所以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，人工介入较少。

## 第二节 城市轨道交通类型

按照运能范围、车辆类型及主要技术特征，城市轨道交通可以分为有轨电车、地下铁道、轻轨交通、市郊铁路、单轨交通和磁悬浮交通等，其中地下铁道和轻轨较为普遍。

### 1. 有轨电车

有轨电车也称为路面电车或简称电车，是采用电车牵引、轻轨导向、使用 1~3 辆编组运行在城市路面线路上的低运量轨道交通系统。

有轨电车是最早发展的城市轨道交通之一，世界上第一条有轨电车线于 1888 年 5 月在美国弗吉尼亚州里士满市开通。1906 年，中国第一条有轨电车线在天津北大关至老龙头火车站(今天津站)建成通车，随后上海、北京、抚顺、大连、长春、鞍山等城市相继修建了有轨电车或电铁客车，在当时的城市公共交通中发挥了重要作用。

旧式的有轨电车单向运输能力一般在 1 万人次/h 以下，通常采用地面路线，与其他车辆混合运行，运行速度一般为 10~20km/h。旧式有轨电车由于运能、挤占道路、噪声等问题，在 20 世纪五六十年代世界上各大城市纷纷拆除有轨电车线路，改建运量大的地铁或轻轨交通。中国的有轨电车在 20 世纪 50 年代末已拆得所剩无几，仅大连、长春两城市保留。大连还对有轨电车进行了改造，使其成为城市的一张名片。

旧式的有轨电车已停止了发展，基本上完成了它的历史使命。经改造后的现代有轨电车与性能较差的轻轨交通已很接近，只是车辆尺寸稍小一些，运营速度接近 20km/h，单向运能可达 2 万人次/h。

## 2. 地下铁道

地下铁道简称地铁，是城市快速轨道交通的先驱。地铁由电力牵引、轮轨导向且轴重相对较重，车辆按运行图行车，根据城市的具体条件，通常运行在地下隧道内或地面及高架线路上。地铁具有一定规模的运量，单向在 3 万人次/h，最高可达 6 万~8 万人次/h。通常，地铁最高速度可达 90km/h，旅行速度可达 40km/h 以上，可 4~10 辆编组，最小运行间隔可达 90s。

地铁造价昂贵，存在建设成本高、建设周期长的弊端，但同时地铁又具有运量大、安全、准时、不污染环境、节省能源、节省城市用地的优点。地铁适用于出行距离较长、客运量需求大的城市中心区域。

通常，地铁大部分的线路都在地下或高架上，因此地铁技术水平要求较高，同时要保证较高的可靠性和安全性要求。地铁系统主要由车辆、轨道、车站、通信信号等设备构成，要求各部门能够有机结合，协同动作，最大限度地完成输送任务。

## 3. 轻轨交通

轻轨是在有轨电车的基础上改造发展起来的城市轨道交通系统。相对于铁路和地铁，轻轨在轨道上的荷载较轻，公共交通国际联合会 (UITP) 将轻轨定义为“一种使用电力牵引、介于标准有轨电车和快运交通系统(包括地铁和城市铁路)，用于城市旅客运输的轨道交通系统”。

轻轨一般采用地面和高架相结合的方法建设，路线可以从市区通往近郊。由于轻轨采用了线路隔离、自动化信号、调度指挥系统和高新技术车辆等措施，最高速度可达 60km/h，克服了有轨电车运能低、噪声大等问题。

轻轨具有投资少、建设周期短、运能高、灵活等优点，因此发展很快。

## 4. 市郊铁路

市郊铁路建在城市内部或内外结合部，主要面向的对象是城市公共交通客流，以短途、通勤旅客等为主。市郊铁路运行特点接近于干线铁路，只是服务对象不同。

市郊铁路把市区与郊区，尤其是远郊联系起来，一般和干线铁路设有联络线，线路大多建于地面上，部分建在地下或高架上。市郊铁路是城市铁路的主要形式，通常使用电力牵引或内燃牵引，最高速度可达 100~120km/h。市郊铁路运能与地铁相同，但由于站距较地铁长，运行速度超过地铁，可达 80km/h 以上。

## 5. 单轨交通

单轨是指通过单一轨道梁支撑列车车厢并提供导引作用而运行的轨道交通系统，也称为独轨，其最大特点是车体比承载轨道要宽。根据支撑方式的不同，单轨交通通常分为跨座式和悬挂式两种：跨座式是车辆跨座在轨道梁上行驶；而悬挂式是车辆悬挂在轨道梁下方行驶。

单轨交通的车辆采用橡胶轮，由电气牵引，最高速度可达 80km/h，旅行速度为 30~35km/h，单向运送能力为 1 万~2.5 万人次/h。

单轨交通具有占地少、造价低、建设工期短的优点，同时还有振动小、噪声少、运行稳定可靠、适应复杂地形的要求、对日照和城市景观影响小的特点，其工程建筑费用仅为地铁的 1/3。但由于单轨橡胶轮与轨道梁摩擦产生橡胶粉尘，对环境有轻度污染，

同时列车在运行区间发生事故时救援比较困难。

### 6. 磁悬浮交通

磁悬浮交通系统是一种悬浮于地面上的、非轮轨黏着传动的交通运输系统。磁悬浮列车是利用常导磁铁或超导磁铁产生的吸力或斥力使车辆浮起,用以上的复合技术产生导向力,用直线电机产生牵引动力,使其成为安全、高速、舒适、环保、节能、维护简单、占地少的新一代交通运输工具。

城市轨道交通作为城市大容量、大众化的公共客运交通的骨干力量,是世界公认的低能耗、少污染的绿色交通方式,是解决城市病的一把金钥匙。城市轨道交通的建设对城市的发展和建设起着积极的促进和引导作用,能够缩减出行的交通成本、减轻城市公交系统的压力、提升城市的经济水平、促进城市的交流发展,对于实现城市的可持续发展具有非常重要的意义。

## 第三节 我国城市轨道交通的发展历史

近年来,我国城市轨道交通行业发展迅速,截至2012年12月31日,我国内地已有北京、上海、广州、深圳、天津、重庆、武汉、南京、沈阳、长春、大连、成都、西安、昆明、苏州、杭州等16个城市累计开通64条城市轨道交通运营线路(含地铁、轻轨线路,不含磁浮),总运营里程达到1980km,运营车站1291座。我国城市轨道交通发展经历了以下三个阶段。

第一阶段为开始建设阶段(20世纪80年代末~90年代中期)。以上海地铁1号线(21km)、北京地铁复八线(13.6km)、北京地铁1号线改造,广州地铁1号线(18.5km)建设为标志,我国真正以交通为目的的地铁项目开始建设。随着上海、广州地铁项目的建设,大批城市包括沈阳、天津、南京、重庆、武汉、深圳、成都、青岛等开始上报建设轨道交通项目,纷纷要求国家进行审批。

第二阶段为调整整顿阶段(1995~1998年)。地铁建设发展迅猛,许多地方不考虑经济的承受能力和社会发展的需要,城市轨道交通建设带有很大盲目性。针对工程造价很高、轨道交通车辆全部引进、大部分设备大量引进、城市地铁每千米造价1亿美元左右等问题,1995年国务院办公厅60号文件通知,除上海地铁2号线项目外,所有地铁项目一律暂停审批,并要求做好发展规划和国产化工作。这期间近3年国家没有审批城市轨道交通项目。1997年底开始,国家计委研究城市轨道交通设备国产化实施方案,提出深圳地铁1号线(19.5km)、上海明珠线(24.5km)、广州地铁2号线(23km)作为国产化依托项目,于1998年批复3个项目立项,轨道交通项目又开始启动。

第三阶段为蓬勃发展阶段(1999年至今)。一是随着国家积极财政政策的实施,国家从建设资金上给予有力支持;二是通过技术引进,国际先进制造企业同国内企业合作,实现了城市轨道交通车辆、设备本地化,使城市轨道交通建设造价大大降低。国家先后批准了深圳、上海、广州、重庆、武汉、南京、杭州、成都、哈尔滨等10多个城市轨道交通项目开工建设,并投入40亿元国债资金予以支持,我国轨道交通建设进入高速发展期。

根据国民经济和社会发展,城镇化进程加快的需要,城市及城际轨道交通在未来十几年将处于网络规模扩展、完善结构、提高质量、快速扩充运输能力、不断提高装备水平的大发展时期。到2020年,我国将建成几千千米城市和城际轨道交通系统,基本形成布局合理、功能完善、干支衔接、技术装备优良的城际、城市轨道交通网,实现城际客运专线、城市轻轨、城市地铁同铁路客运专线之间的有机衔接,方便旅客换乘,更好地为人民群众服务。

## 第四节 城市轨道交通列控系统

城市轨道交通信号系统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,改善运输人员的劳动条件的关键系统设备。城市轨道交通信号系统造价高,科技内容含量高,涉及通信技术、计算机技术、网络技术和远程控制技术等。

### 一、城市轨道交通列控系统的特点

城市轨道交通信号系统技术沿袭了干线铁路的制式,与干线铁路存在着很多一致的地方,但也有一些不同之处。城市轨道交通信号系统有以下特点。

(1)城市轨道交通客流量大、行车密度高、站间距离短,列车的运行间隔一般在2min左右,甚至更短。所以,城市轨道交通对列车的速度监控系统要求更高,要求监控系统提供更高的安全保证。

(2)城市轨道交通系统中,区间一般不安装地面信号机,通常以机车的速度信号作为主体信号。

(3)城市轨道交通系统中的列车在大多数车站都需要上下旅客,大多数车站也不设置道岔,联锁设备的监控对象远少于一般铁路的客货站,大多在电气集中控制中心实现全线的联锁功能。

(4)城市轨道交通列车主要运送旅客,其行车组织功能比较单一,车站信号显示的含义也比较少。

(5)城市轨道交通列车运行的规律性很强,便于实现自动控制。

### 二、列车自动控制系统

城市轨道交通信号系统是城市轨道交通系统中最基础的控制系统,其不仅影响轨道交通列车的行车速度和运行间隔,而且影响列车的通过能力和输送能力,同时信号系统也是安全行车的重要保证。

信号系统是衡量城市轨道交通先进程度的一个重要方面,其通常用于列车间隔控制、列车进路控制、调度指挥、信息管理、设备监测及维护管理,是一个高效的综合自动化系统。

随着铁路技术的发展,铁路信号系统已经从传统的方式(以地面信号显示传递行车命令,机车司机按行车规范控制列车运行)发展到自动控制列车和自动调整追踪间隔的方式(根据地面发送的信息自动监控列车速度并且自动调整列车运行和追踪间隔),实现这一

方式的关键技术是列车自动控制系统。

列车自动控制系统简称 ATC (automatic train control) 系统, 是城市轨道交通信号系统最重要的组成部分。该系统主要由 3 部分构成: 列车自动防护 (automatic train protection, ATP) 系统、列车自动驾驶 (automatic train operation, ATO) 系统和列车自动监控 (automatic train supervision, ATS) 系统, 简称 3A 系统。三个子系统通过信息交换网络构成闭环系统, 实现地面控制与车载控制相结合、现地控制与中央控制相结合, 构成一个以安全设备为基础, 集行车指挥、运行调整及列车驾驶自动化等功能为一体的列车运行控制系统, 同时能够提高运输效率, 减轻运营人员的劳动强度。城市轨道交通 ATC 系统结构如图 1.1 所示。

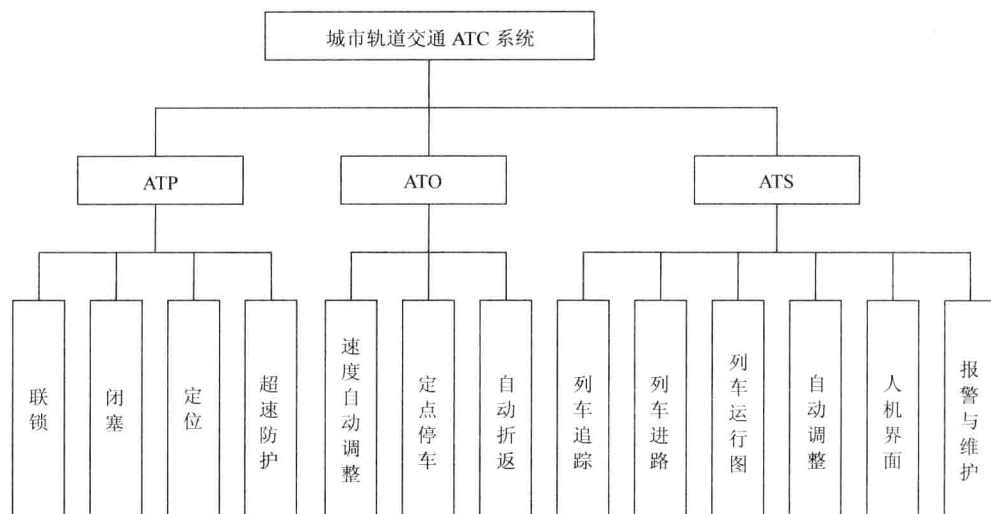


图 1.1 城市轨道交通 ATC 系统结构

### 1. ATP 子系统

ATP 子系统由地面设备和车载设备组成, 主要负责列车的运行安全, 监控与安全有关的设备或系统。车载 ATP 不断接收来自地面的信息, 如来自联锁设备和操作层的信息、线路条件、前方目标点等信息, 车载控制器根据这些信息计算列车当前允许速度并不断与检测到的列车实际运行速度进行对比, 依照实际速度必须低于允许速度的原则进行列车速度监督及控制。当列车速度超过目标速度时, ATP 车载设备发出制动命令, 使列车减速; 当列车速度降到目标速度以下后自动缓解。

ATP 系统能够很大地提高行车安全性、缩短列车的运行间隔、提高线路的利用率。ATP 子系统主要包含如下功能。

- (1) 列车定测速定位。
- (2) 安全列车间隔控制。
- (3) 列车速度和方向的监督防护。
- (4) 轮径确认及磨损补偿。
- (5) 车门/屏蔽门监控。

- (6) 轨道终点、工作区域和折返作业的防护。
- (7) 与 ATS、ATO 及车辆系统接口并进行信息交换。

## 2. ATO 子系统

ATO 子系统由车载设备和地面设备组成,控制列车自动运行,主要用于实现地对车控制,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。ATO 系统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。ATO 子系统能够使列车经常处于最佳运行状态,避免不必要的、过于剧烈的加速和减速,明显提高列车的运行效率、旅客的舒适度、列车准点率和减少能量消耗及轮轨磨损。

ATO 子系统是城市轨道交通列车运行时重要的安全保障,能够模拟最佳司机的驾驶。在 ATP 系统的保护下,ATO 根据 ATS 的指令实现列车运行的自动驾驶、速度的自动调整、列车车门控制,主要功能包括如下 6 个方面。

- ① 列车在区间运行的自动控制及调整。
- ② 控制列车按运行图规定的区间走行时分行车,自动实现对列车的启动、加速、惰行、巡航、减速和停车的合理控制。
- ③ 在正线车站、折返线和试车线自动实现列车的精确停车控制。
- ④ 在 ATP 子系统的允许下,向列车和屏蔽门控制系统发送开/关车门和屏蔽门的命令。
- ⑤ 向车辆自动广播系统提供相关信息。
- ⑥ 记录和统计系统事件的时间和日期。

## 3. ATS 子系统

ATS 系统由控制中心、车站、车场及车载设备组成,能够自动或人工地监督和控制列车的运行,实现列车的统一指挥调度,辅助行车调度人员对全线列车运行进行管理。ATS 为行车调度人员显示了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通过集中调度使其恢复正常,通过 ATO 接口向旅客提供运行信息通报。

ATS 系统功能由位于控制中心内的设备实现,主要功能包括如下 9 个方面。

- ① 列车识别追踪、传递和显示。
- ② 列车运行图编制及管理。
- ③ 列车运行的自动调整。
- ④ 列车进路的控制。
- ⑤ 实时监视在线列车运行和信号设备的状态(如道岔、信号机、电源)。
- ⑥ 实现与无线通信、乘客导向、综合监控等系统的接口。
- ⑦ 提供司机发车指示。
- ⑧ 培训和运行模拟。
- ⑨ 统计、管理与记录等。



## 第二章 信号基础设备

在城市轨道交通中，信号设备是非常重要和关键的，必须满足铁路信号故障-安全原则，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。在城市轨道交通信号系统中，采用了专用信号器械，就其主要功能而言，大致分为信号机、转辙机、轨道电路、计轴器和点式应答器等。其中，信号机、转辙机、轨道电路是信号统称的室外三大件，要保证绝对安全、可靠；在实际线路中计轴和应答器是运用较多的信号基础设备。

### 第一节 概 述

信号基础设备是保证线路运输安全、提高运输效率和改善劳动条件的重要设备，因此，对于信号设备的工作状态必须要求安全可靠。当设备的元件或者系统一旦发生故障时仍能确保行车安全，称为铁路信号故障-安全原则。铁路信号设备或系统的设计需满足该原则。

城市轨道交通信号基础设备大都沿袭铁路信号基础设备，部分信号基础设备又不同于铁路，如信号机的显示、轨道电路的制式等。

信号机如同交通信号灯一样，用于向司乘人员发出信号显示，以保证所防护区段内列车的运行安全。城市轨道交通采用色灯信号机。由于城市轨道交通有其特殊性，站间距离基本上只有 1km 左右，指挥列车运行的“主体信号”是“机车信号”，所以在不设道岔的车站，都不再设置地面信号机，即使在设有道岔的车站，也不设置进站信号机和出站信号机，只设调车信号机。城市轨道交通中列车的运行速度取决于非速差信号，而不取决于信号的显示。绿灯、黄灯表示列车的进路是道岔直股还是弯股，而不表示列车运行速度。城市轨道交通与铁路还有一个很大的区别：铁路列车在线路上是按左侧方向运行的，而城市轨道交通是按右侧方向运行的，所以请读者注意它们在信号机的配置上，方向是相反的。也就是说，铁路的信号机都必须设置于线路的左侧，而城市轨道交通的地面信号机都应该设置于线路的右侧。

道岔的转换和锁闭关系着行车安全。由转辙机转换和锁闭道岔，易于集中操纵并实现自动化。转辙机将道岔的尖轨从一个位置改变到另一位置，即转换道岔的位置至定位或反位，完成道岔转换后，用机械方法将密贴于基本轨的道岔尖轨牢靠地锁住，防止外力转换道岔，并给出相应的表示。当道岔被挤或因故处于“四开”位置时，及时给出报警及表示。城市轨道交通使用的转辙机和铁路一致。

继电器有许多应用，如自动调节、安全保护和转换电路等，继电器的品种也千变万化，有电磁继电器、干簧管继电器、固态继电器(半导体继电器)等，它们在各种自动、远程控制系统中发挥着良好的作用。在一般电路故障中，有一种信号继电器能够使导致