



城市轨道交通专业培训系列教材



城市轨道交通

信号技术

上海申通地铁集团有限公司
轨道交通培训中心

编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通信号技术/上海申通地铁集团有限公司
轨道交通培训中心编著. —北京:中国铁道出版社,
2012.5

城市轨道交通专业培训系列教材
ISBN 978-7-113-14414-2

I. ①城… II. ①上… III. ①城市轨道交通—交通信号—
信号系统—技术培训—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第046371号

书 名: 城市轨道交通专业培训系列教材
城市轨道交通信号技术
作 者: 上海申通地铁集团有限公司轨道交通培训中心

策划编辑: 殷小燕 电话: (010)51873147
责任编辑: 殷小燕
封面设计: 崔丽芳
责任校对: 张玉华
责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 三河市兴达印务有限公司

版 次: 2012年5月第1版 2012年5月第1次印刷

开 本: 787 mm×960 mm 1/16 印张: 23.5 字数: 438千

印 数: 1~3 000册

书 号: ISBN 978-7-113-14414-2

定 价: 40.00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,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电(010)51873170, 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)63549504, 路电(021)73187

序

随着城市化进程的加快,城市“出行难”的社会问题越来越突出。在“以人为本、公交优先”方针指引下,城市轨道交通因运能大、速度快、安全准点、节约资源、保护环境等优点,日益成为广大市民出行的首选,深受市民欢迎。当前我国的城市轨道交通正处在大发展、大建设时期:北京、上海等大城市的轨道交通已率先由单线运营进入了网络化运营;其他城市的轨道交通网络化建设规划也在不断深化和完善。便捷的城市轨道交通运营网络在为市民带来出行便利的同时,也为轨道交通运营部门带来了新的管理课题。

城市轨道交通的自身特点决定了:一旦开通运营,就必须持续保持高度的安全性、可靠性和服务的人性化。网络化运营带来的客流迅猛增长,对客运组织和客运服务提出了高要求。城市轨道交通的发展需要有一大批专业人才,急需有一套能满足城市轨道交通网络化运营要求的人才培训教材。

这套《城市轨道交通专业培训系列教材》是以上海城市轨道交通十余年运营实践为基础并结合全国轨道交通发展状况,推出的面向国内、面向未来的教材。城市轨道交通多专业“联动”的要求决定了专业技术人才的“一专多能”要求,因此本“系列丛书”既是城市轨道交通各专业人员的入门和提升培训教材,也能满足非本专业人员对其他专业的业务进修。

坚持科学发展观,提高自主创新能力。把多年积累的地铁各专业运营管理与维护方面的经验及解决实际问题的思路和方法,由多位具有运营实践的专业技术人员提炼总结,汇编成书,期望能给轨道交通运营管理与维护人员以启迪和帮助。

“源于实践、高于实践”,“符合国情”是本套丛书的二大特点,不但可以满足当前运营管理培训的需要,也为今后的城市轨道交通网络化发展的管理提出了新的思考和知识点。随着城市轨道交通不断引进新技术,随着运营管理的要求越来越高,虽然书中阐述的技术和管理的基本原理是相同的,但是《城市轨道交通专业培训系列教材》必然还要在实践中不断补充实例、不断完善,希望本套丛书能真正成为技术和管理人员的“良师益友”。

编委会

2009年10月

前 言

随着我国城市化的不断发展,各大城市的轨道交通建设均进入快速发展期,不少大城市的轨道交通运营线路已呈网络化态势,城市轨道交通运能大、能耗低、污染少、速度快,具有安全、准点、快捷的特点,成为深受广大市民欢迎的城市交通工具。北京、天津、上海、广州、深圳、南京、沈阳、成都、杭州、西安、苏州等 20 多个城市均在加紧进行轨道交通建设,不少线网已经投入运营。

城市轨道交通是集线路、车辆、供电、通信、信号、自动售检票、运营管理等专业于一体的综合系统;新工艺、新技术在城市轨道交通各个专业得到充分地运用;城市轨道交通职业是新的职业工种,所以对从业职工的岗前培训、岗位培训以及技能考核,成为城市轨道交通职业教育的重要任务。

《城市轨道交通信号技术》是由上海轨道交通维保中心通号公司的专业技术人员撰写。本书以上海轨道交通信号系统为主,并结合上海地铁十余年来信号运营维护工作的经验,对信号系统的基础设备和正线设备多种制式等都进行了阐述和概括;作为一本面向城市轨道交通一线职工的教材,有助于从事或将从事于信号专业的人员学习;理论联系实际是这本教材的特色。由于编写人员技术水平及经验所限,加上撰写工作量大、时间紧,难免有不周之处请各位读者谅解,期待广大同行和读者多多提出宝贵意见,以促共同进步。

本书不仅是城市轨道交通职工培训教材,也可以作为城市轨道交通大专院校、职业学校学生的教学参考用书。

编 者

2011.12 于上海

目 录

| | |
|---|-----|
| 第 1 章 城市轨道交通信号系统 | 1 |
| 1.1 信号系统概述 | 1 |
| 1.2 “故障—安全”原则 | 2 |
| 1.3 闭塞技术 | 2 |
| 1.4 列车自动控制系统分类 | 4 |
| 1.5 城市轨道交通信号系统的特点 | 6 |
| 1.6 城市轨道交通信号系统的基本功能 | 7 |
| 1.7 运营组织相关技术 | 9 |
| 第 2 章 信号系统基础设备 | 14 |
| 2.1 轨道电路..... | 14 |
| 2.2 信号机..... | 39 |
| 2.3 信号继电器..... | 46 |
| 2.4 转辙机及其控制..... | 49 |
| 2.5 计轴设备..... | 66 |
| 2.6 应答器(信标)..... | 72 |
| 第 3 章 联锁系统 | 82 |
| 3.1 联锁基本定义..... | 82 |
| 3.2 联锁的基本功能和要求..... | 83 |
| 3.3 进路的锁闭和解锁..... | 84 |
| 3.4 城市轨道交通联锁系统的应用..... | 86 |
| 第 4 章 基于轨道电路列车运行自动控制系统及其应用 | 128 |
| 4.1 速度码模式(台阶式)ATC 系统 | 128 |
| 4.2 目标距离码模式(美国 USS 公司)ATC 系统 | 170 |
| 4.3 目标距离码模式(法国 ALSTOM 公司)ATC 系统 | 219 |
| 4.4 点式列车自动控制系统 | 230 |
| 4.5 西屋 ATC 系统 | 249 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 第 5 章 基于通信的列车控制系统(CBTC) | 257 |
| 5.1 CBTC 系统的结构与功能 | 257 |
| 5.2 CBTC 系统的应用 | 260 |
| 5.3 CBTC 的后备降级控制模式 | 284 |
| 第 6 章 电源设备 | 285 |
| 6.1 信号电源系统 | 285 |
| 6.2 UPS 基本工作原理 | 319 |
| 6.3 蓄 电 池 | 324 |
| 第 7 章 常用仪器仪表 | 329 |
| 7.1 仪器仪表的基本使用规范 | 329 |
| 7.2 万 用 表 | 331 |
| 7.3 兆 欧 表 | 335 |
| 7.4 钳 形 表 | 336 |
| 7.5 示 波 器 | 338 |
| 7.6 频谱分析仪 | 351 |
| 7.7 场强测试仪 | 358 |
| 附录 名词术语英(缩略语)中文对照 | 363 |
| 参考文献 | 365 |

第 1 章 城市轨道交通信号系统

城市轨道交通信号系统是指挥列车运行,保证行车安全,提高运输效率的关键设备。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、敌对或相抵触的进路没有建立等条件满足,才允许向列车发出允许前行的信号,列车只要严格遵循信号的指示行车,就能确保列车安全运行,反之将导致事故。

随着信息技术的不断发展,特别是计算机技术、现代网络技术、无线和移动通信技术以及一体化的信息控制技术等现代化技术的广泛应用,信号系统发生了革命性的变化,轨旁的地面信号已由车载信号所代替,信号的内容也已发生了根本性的变化,列车接收的目标速度、目标距离,由车载系统直接控制列车自动运行,实现列车超速防护和车站程序自动定位停车等。近几年基于无线通信的列车自动控制系统(CBTC),也已在城市轨道交通信号系统中采用,将进一步提高列车运输效率。

1.1 信号系统概述

城市轨道交通信号系统也称为列车自动控制(Automatic Train Control)系统,简称为 ATC 系统。它实现行车指挥和列车运行自动化,能最大限度地确保列车运行安全,提高运输效率,减轻运营人员的劳动强度,充分发挥城市轨道交通的运载能力。

ATC 系统是对列车全过程或一部分作业,实现自动控制的设备的总成,其核心是 ATP 子系统,主要是防止列车超速和越过禁止信号机等功能。ATS 主要位于线路控制中心(俗称 OCC),主要实行监督工作,一般是通过网络的形式,和列车进行通信并指挥列车安全运行,信号集中站也具有一定的 ATS 功能,辅助中央 ATS 完成相关功能。ATS 的信息通过轨旁的 ATP 设备传递给列车,列车上的 ATP 设备通过接收的信息,必要的时候对列车发出限速或超速防护的指令。ATO 则根据这些信息,控制列车的运行、对位停车、开关车门等控制。

国内的城市轨道交通信号控制系统通常在正线采用国外供货商提供的列车自动控制系统(ATC),在车辆段或停车场采用国内供货商提供的继电联锁或微机联锁系统的信号控制系统。

列车自动控制系统主要用于列车进路控制、列车间隔控制、指挥调度、信息管

理、设备在线工况监测及维护管理,构成了一个高效的综合自动化控制系统。一般包括 3 个子系统:

- (1)列车自动监控系统(Automatic Train Supervision,简称 ATS);
- (2)列车自动防护系统(Automatic Train Protection,简称 ATP);
- (3)列车自动运行系统(Automatic Train Operation,简称 ATO)。

3 个子系统通过信息交换网络构成闭环系统,实现地面控制与车上控制结合、现地控制与中央控制结合,构成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列车自动控制系统。

1.2 “故障—安全”原则

“故障—安全(fail-safe)”是信号设计的基本原则。它要求行车时一旦信号设备或系统发生故障后,应具有自动导向安全一侧,防止出现危险性后果,以确保行车安全的功能。

“故障—安全”技术是具有层次性的。传统技术方式是依靠器件的故障率不对称性来构成一个“故障—安全”信号系统,例如在安全型继电器的失效形态中,错误释放的是失效率远远高于错误励磁的失效率,具有强烈的不对称性,因此采用接点落下位置对应安全侧、吸起位置对应危险侧的方式来获得“故障—安全”功能。

由于传统“故障—安全”技术的实现必须具备信号系统中出现意外事件与其导致结果之间的逻辑必须是单调性的,而实际信号系统的功能要求并不具备这种单调性,因此国际上自 20 世纪 60 年代末开拓了对“故障—安全”的研究领域,提出了二值逻辑、三值逻辑和双轨逻辑等理论,试图从结构上实现完善的“故障—安全”系统。到 20 世纪 70 年代,计算机容错计算(Fault-Tolerant Computing)技术的研究开始发展,并逐步运用到信号设备和系统中,使“故障—安全”和容错之间产生了许多相互包容的内涵。

1.3 闭塞技术

为了保证列车在区间行车安全,就是确保列车在区间中运行不发生追尾或者正面冲突。那么我们就需要确认列车在某个区间范围内,在同一时刻,只有一列车占用,这个就是闭塞的基本概念。通常我们所说的闭塞,也称为行车闭塞法,是指为了确保列车在区间内运行安全,车站向区间内发车时,必须确认区间内没有列车,并需遵循一定规律组织行车的方法,简单来说,就是把一段线路封闭起来,不准许其他列车进入的行车组织方法。因此,闭塞是列车安全运行的基本保证。通常

我们把实现闭塞方式的设备称为闭塞设备。

一般来说,组织区间行车实现闭塞主要有两种方法:

(1)时间间隔法

列车按照事先规定好的时间由车站发车,使前行列车和追踪列车之间保持一定时间的行车方法。这种行车方法因追踪列车不能确切得到前行列车的运行状况,所以不能确保列车在区间内的运行安全,目前我们已不使用这种方法。

(2)空间间隔法

把线路划分为若干段落(区间或分区),在每个线段内同时只准许一列列车运行,使前行列车和追踪列车之间必须保持一定距离的行车方法。这种行车方法能严格地把列车分隔在2个空间,可以有效地防止列车追尾和正面冲突事故的发生,确保列车运行安全。一般所说的“闭塞”就是指的空間间隔法。

区间闭塞是列车在区间运行的安全保证,因此,所有行车组织都必须按照闭塞设计的原则进行安排,实现区间闭塞的方法是随着运能和列车运行速度及技术的发展,我们一般把闭塞按实现手段和闭塞区段划分方式来区分。

按实现闭塞的手段来分的话,可以分为人工闭塞、半自动闭塞和自动闭塞三类:

1.3.1 人工闭塞

电报、电话和电气路签(牌)闭塞都是以人工办理闭塞手续后,采用以人工书写的路票或由电气路签(牌)机中取得的路签(牌)作为列车占用区间的凭证。人工闭塞制式中,需要操作人员全程参与交接凭证和检查区间状态的工作,一些设备只是辅助进行行车指示工作。

1.3.2 半自动闭塞

在半自动闭塞制式下,首先人工办理闭塞手续,列车凭出站信号机的开放显示作为列车占用区间的凭证,列车出发后,出站信号机自动关闭的闭塞方法。发车站行车人员必须在办理好闭塞手续后才能开放出站信号机,列车出发后出站信号机自动关闭,在列车未到达接车站时,出站信号机不能开放。列车到达对方车站后,由行车人员确认列车完整到达后,办理解除闭塞手续,才能进行再办理闭塞手续。这种方法,既要人的操纵,又需依列车自动动作,所以叫做半自动闭塞。

半自动闭塞在站内设有轨道电路,主要用于监督列车的出发,使发车站闭塞机闭塞,禁止向同一区间再次发车;监督列车的到达,然后由车站的值班员办理到达复原手续,因此它具有设备简单、动作稳定、使用方便、维修容易、投资少,安装快的优点。

半自动闭塞在区间一般不设轨道电路,因此不能监督列车在区间内是否遗留有车列,列车的整列到达必须依靠值班员的确认,以专用的复原按钮发送到达复原信号之后,区间才能解除闭塞,其主要缺点是区间没有检查空闲的设备,在区间遗留车辆或车辆溜逸的情况下,极易发生事故。

1.3.3 自动闭塞

把站间区间划分为若干闭塞分区,每个闭塞分区都设有轨道电路及防护该分区的通过信号机。根据列车运行及有关闭塞分区状态,自动变换通过信号机的显示,而司机只凭信号显示行车的闭塞方法。在自动闭塞制式下,操作人员无需参与交换凭证和检查区间状态的工作,完全由设备自动完成这些工作,是一种效率比较高,安全等级较高的闭塞方式。

需要注意的,在区间闭塞中,区间和闭塞分区是两个概念。区间一般指两个车站之间的线路,闭塞分区通常指在区间中划分出来的段落,一般由若干段轨道电路区段构成,所以可以这么说,一个区间里包含了若干个闭塞分区。

1.4 列车自动控制系统分类

1.4.1 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

运行列车间的空间间隔是若干个闭塞分区,闭塞分区数依划分的速度级别而定。一般情况下,闭塞分区是用轨道电路或计轴装置来划分的,它具有列车定位和占用轨道的检查功能。固定闭塞的追踪目标点为前行列车所占用闭塞分区的始端,后行列车从最高速开始制动的计算点为要求开始减速的闭塞分区的始端,这两个点都是固定的,空间间隔的长度也是固定的,所以称为固定闭塞。

根据闭塞的实现方法分类中,一般情况下人工闭塞和半自动闭塞可以归类为固定闭塞。

2. 准移动闭塞

目标距离控制模式根据目标距离、目标速度及列车本身的性能确定列车制动曲线,不必设定每个闭塞分区速度等级,采用一次制动方式。准移动闭塞的追踪目标点是前行列车所占用闭塞分区的末端,当然会留有一定的安全距离,而后行列车从最高速度开始制动的计算点是目标距离、目标速度及列车本身的性能计算

决定的。目标点相对固定,在同一闭塞分区内不依前行列车的走行而变化,而制动的起始点是随线路参数和列车本身性能不同而变化的。空间间隔的长度是不固定的,由于要与移动闭塞相区别,所以称为准移动闭塞。显然其追踪运行间隔要比固定闭塞小一些。

一般情况下,闭塞分区是用轨道电路或计轴装置来划分的,它具有列车定位和占用轨道的检查功能。由于目标点是相对固定的,所以,当前列车在同一闭塞分区内走行时,连续式一次速度控制曲线是相对稳定的;当前列车出清闭塞分区时,目标点突然前移,目标距离突然改变,连续式一次速度控制曲线会发生跳变。

在准移动闭塞中,还存在一种特殊的方式—虚拟闭塞,它不设轨道占用检查设备和轨旁信号机,采取无线定位方式来实现列车定位和占用轨道的检查功能,闭塞分区和轨旁信号机是以计算机技术虚拟设定的,仅在系统逻辑上存在有闭塞分区和信号机的概念。

3. 移动闭塞

移动闭塞的追踪目标点是前行列车的尾部,当然会留有一定的安全距离,后列车从最高速开始制动的计算点是根据目标距离、目标速度及列车本身的性能计算决定的。目标点是前行列车的尾部,与前行列车的走行和速度有关,是随时变化的,而制动的起始点是随线路参数和列车本身性能不同而变化的。空间间隔的长度是不固定的,所以称为移动闭塞。其追踪运行间隔要比准移动闭塞更小一些。移动闭塞一般采用无线通信和无线定位技术来实现。移动闭塞自动化程度高的还要考虑前行列车的速度。

移动闭塞方式的 ATC 系统通常采用地面交叉感应环线、波导、无线通信等媒体,向列控车载设备传递信息。列车安全间隔距离是根据最大允许车速、当前停车点位置、线路等信息计算得出,信息被循环更新,以保证列车不间断收到即时信息。

移动闭塞 ATC 系统是利用列车和地面间的双向数据通信设备,使地面信号设备可以得到每一列车连续的位置信息,并据此计算出每一列车的运行权限,动态更新发送给列车,列车根据接收到的运行权限和自身的运行状态,计算出列车运行的速度曲线,实现精确的定点停车,实现完全防护的列车双向运行模式,更有利于线路通过能力的充分发挥。

1.4.2 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。

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。

按地-车之间所传输信息的内容分类,ATC 系统可分为速度码系统与距离码系统。

1.5 城市轨道交通信号系统的特点

城市轨道交通信号系统的终端设备基本上沿袭铁路信号制式设备,但也基于轨道交通自身的特点,与铁路的信号系统又有一定的区别。由于城市轨道交通的行车间隔密度高、客运量大,最小行车间隔可达 90 秒,甚至更小,因此对列车运行速度监控的要求极高。但其列车运行速度(通常最高为 80 km/h)却远低于铁路干线的列车运行速度,所以一般采用速率较低的数据传输系统。

随着城市轨道交通信号自动化技术的不断发展,信息需求量越来越大,而且逐步采用速率较高且独立的数据传输系统。虽然城市轨道交通的大多数车站不设道岔、没有配线,甚至不设地面信号机,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,通常几个集中站或一个控制中心即可实现全线的联锁功能。

另外城市轨道交通信号自动控制最大的特点是把信号联锁关系纳入到 ATC 监控体系中,且包含一些轨道交通一些特有功能,如自动折返、自动进路、紧急关闭、扣车和跳停、以及屏蔽门/安全门联控等功能。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。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,行车规律性很高,因此它的信号系统中通常包括自动排列进路和运行自动调整的功能,自动化程度高,人工介入极少。

轨道交通信号系统的发展特点归纳为以下五方面:

- (1) 具备完善的列车速度监控功能;
- (2) 信号系统数据传输子系统相对独立、传输速率较低;
- (3) 正线车站联锁关系较简单但技术要求高;
- (4) 车辆段/停车场等基地采用独立的联锁设备;
- (5) ATC 系统自动化程度高。

1.6 城市轨道交通信号系统的基本功能

1.6.1 列车自动监控子系统(ATS)

ATS系统由控制中心、车站、车场以及车载设备组成。ATS系统在ATP系统的支持下完成对列车运行的自动监控,实现以下基本功能:

(1)通过ATS车站设备,能够采集轨旁及车载ATP提供的轨道占用状态、进路状态、列车运行状态以及信号设备故障等控制和监督列车运行的基础信息。

(2)根据联锁表、计划运行图及列车位置,自动生成输出进路控制命令,传送到车站联锁设备,设置列车进路、控制列车停站时分。

(3)列车识别跟踪、传递和显示功能。系统能自动完成正线区段内列车识别号(服务号、目的地号、车体号)跟踪,列车识别号可由中央ATS自动生成或调度员人工设定、修改,也可由列车经车一地通信向ATS发送识别号等信息。

(4)列车计划与实绩运行图的比较和计算机辅助调度功能。能根据列车运行实际的偏离情况,自动生成调整计划供调度员参考或自动调整列车停站时分,控制发车时间。

(5)ATS中央故障情况下的降级处理,由调度员人工介入设置进路,对列车运行进行调整,由ATS车站完成自动进路或根据列车识别号进行自动信号控制,由车站人工进行进路控制。

(6)在计算机辅助下完成对列车基本运行图的编制及管理,并具有较强的人工介入能力。通过设在车辆段的终端,向车辆段管理及行车人员提供必要的信息,以便编制车辆运用计划和行车计划。

(7)列车运行显示屏及调度台显示器,能对轨道区段、道岔、信号机和在线运行列车等进行监视,能在行调工作站上给出设备故障报警及故障源提示。

(8)能在中央专用设备上提供模拟和演示功能,用于培训及参观。能自动进行运行报表统计,并根据要求进行显示打印。

(9)能在车站控制模式下与计算机联锁设备结合,将部分或所有信号机置于自动模式状态。

(10)向通信无线、广播、旅客向导系统提供必要的信息。

1.6.2 列车自动防护子系统(ATP)

ATP系统由地面设备、车载设备组成,监督列车在安全速度下运行,确保列车一旦超过规定速度,立即施行制动,主要实现以下功能:

(1) 自动连续地对列车位置进行检测,并向列车发送必要的速度、距离、线路条件等信息,以确定列车运行的最大安全速度。提供列车速度保护,在列车超速时提供常用制动或紧急制动,保证前行与后续列车之间的安全间隔,满足正向行车时的设计行车间隔和折返间隔。对反向运行列车能进行 ATP 防护。

(2) 确保列车进路正确及列车的运行安全。确保同一径路上的不同列车之间具有足够的安全距离,以及等防止列车侧面冲撞。

(3) 防止列车超速运行,保证列车速度不超过线路、道岔、车辆等规定的允许速度。

(4) 为列车车门的开启提供安全、可靠的信息。

(5) 根据联锁设备提供的进路上轨道区间运行方向,确定相应轨道电路发码方向。

(6) 任何车一地通信中断以及列车的非预期移动(含退行)、任何列车完整性电路的中断、列车超速(含临时限速)、车载设备故障等都将产生安全性制动。

(7) 实现与 ATS 的接口和有关的交换信息。

(8) 系统的自诊断、故障报警、记录。

(9) 列车的实际速度、推荐速度、目标速度、目标距离等信息的记录和显示。具有人工或自动轮径磨耗补偿功能。

1.6.3 列车自动运行子系统(ATO)

ATO 子系统是控制列车自动运行的设备,由车载设备和地面设备组成,在 ATP 系统的保护下,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。

(1) 自动完成对列车的启动、牵引、巡航、惰行和制动的控制,以较高的速度进行追踪运行和折返作业,确保达到设计间隔及旅行速度。

(2) 在 ATS 监控范围的入口及各站停车区域(含折返线、停车线)进行车一地通信,将列车有关信息传送至 ATS 系统,以便于 ATS 系统对在线列车进行监控。

(3) 控制列车按照运行图进行运行,达到节能及自动调整列车运行的目的。

(4) ATO 自动驾驶时实现车站站台定点停车控制、舒适度控制及节省能源控制。

(5) 能根据停车站台的位置及停车精度,自动地对车门进行控制。

(6) 与 ATS 和 ATP 结合,实现列车自动驾驶、有人或无人驾驶。

1.7 运营组织相关技术

1.7.1 城市轨道交通列车运行的特点

城市轨道交通客流具有流量大、阶段性高峰明显等特点。城市轨道交通线路具有站间距离短、车站配线数量少、列车交路总类多、出入库频繁等特点。一旦列车发生运行延误,因其调整难度较大,使延误的传播速度快、影响范围大,具有直接性、快速性和双向性等特点。

列车运行延误及其传播主要与能力利用率、缓冲时间、备车数量以及辅助线数量等因素有关,并且这些参数之间应该保持一定的合理匹配关系。

1.7.2 城市轨道交通列车运行方案和运行间隔

我国城市轨道交通大多采用单一交路、站站停车的列车运行方案,随着某些大城市轨道交通线路的不断延伸加长和多线网络化换乘的形成,列车运行组织更趋复杂性,需要考虑线路各区段客流相差悬殊时或不同轨道线路共线运行时,如何根据采用相适应的列车运行方案,实现乘客服务水平、资源合理利用和各项运营指标的最优化。

- 列车运行方案主要包括列车交路计划和列车停站计划两方面。
- 列车交路计划主要有折返方式和交路方式两方面内容。
- 折返方式分为:站后折返、站前折返和混合折返。

采用站后折返的优点是:出发列车与到达列车不存在敌对进路,折返作业时空载(不载客)运行,折返线还可当作临时存车线,其缺点是:列车折返走行距离较长。站后折返示意图如图 1.1 所示。

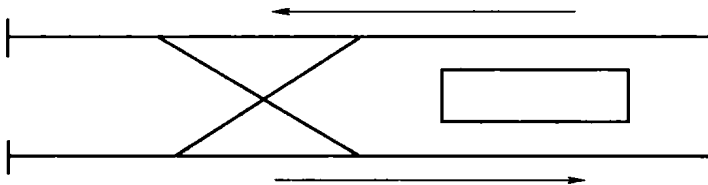


图 1.1 站后折返示意图

采用站前折返的优点是:列车折返走行距离较短,乘客同时上下客节省停站时间,其缺点是:出发列车与到达列车存在敌对进路,折返作业时载客运行(影响乘客舒适感)。站前折返示意图如图 1.2 所示。

采用混合折返兼有站前折返和站后折返的特点,能够提高列车折返能力与线

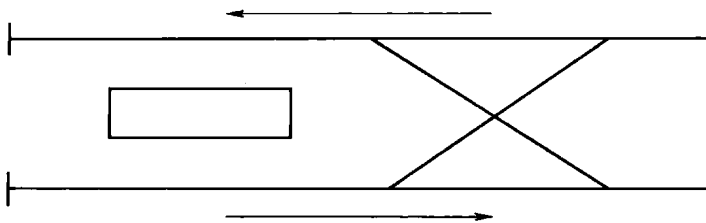


图 1.2 站前折返示意图

路通过能力,更有利于行车组织调整,适用于对折返能力要求较高的终点站。混合折返示意图如图 1.3 所示。

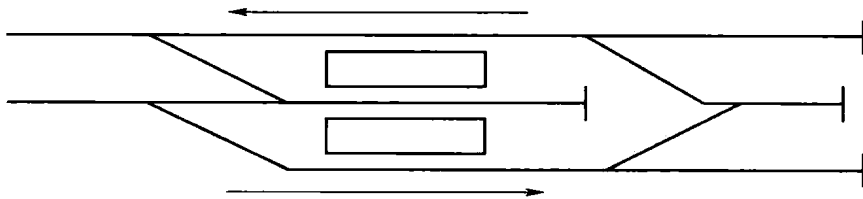


图 1.3 混合折返示意图

交路方式分为:长交路、短交路和长短交路。

长交路是指列车在线路的两个终点站间运行,行车组织较为简单,但在各区段客流不平衡程度较大的情况下,会产生客流较小区段的运能浪费。长交路示意图如图 1.4 所示。

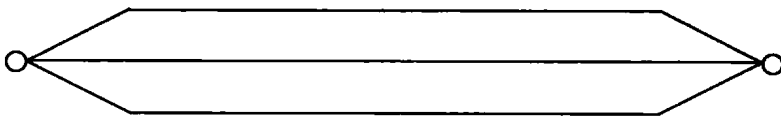


图 1.4 长交路示意图

短交路是指列车在线路的各部分区段内往返运行,在指定车站折返,对不同客流区段的运能较为经济,但双向折返站需要换乘,给乘客带来不便。短交路示意图如图 1.5 所示。

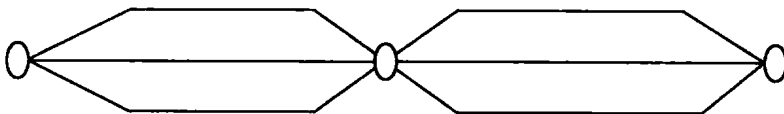


图 1.5 短交路示意图

长短交路也称大小交路,是指列车在线路上既有采用长交路方式运行的,也有采用短交路方式运行的,它兼有长交路和短交路的特点,对中间折返站的运营组织要求较高。长短交路示意图如图 1.6 所示。

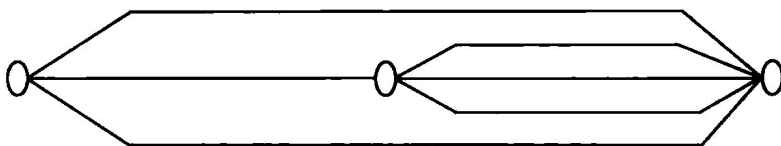


图 1.6 长短交路示意图

停站计划主要有分段停站和跨站停站两种方案。

分段停站在长短交路的基础上,规定长交路运行列车在短交路区段外站站停车,在短交路区段内不停车通过;而短交路运行列车在短交路区段内站站停车。此方案减少了长交路列车的停站次数,缩短了长途乘客的旅行时间,但也带来候车、换乘等不便问题。分段停站示意图如图 1.7 所示。

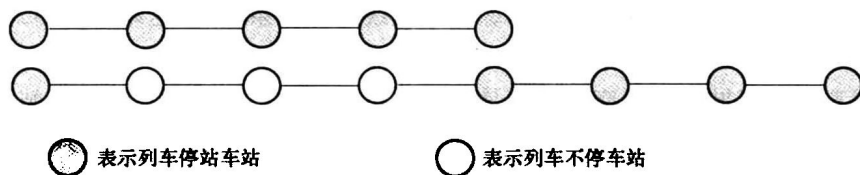


图 1.7 分段停站运行方案

跨站停站是将全线车站分为 A、B、C 三类,规定运行列车既有只停 A 类站和 C 类站(B 类站跳停),也有只停 B 类站和 C 类站(A 类站跳停)。此方案减少了停站次数,缩短了旅行时间,还加速了车辆周转速度,减少了车辆使用,但也带来候车、换乘等不便问题。跨站停站适用于 C 类站客流较大,而 A、B 类站客流较小,且长途乘客较多的线路,其示意图如图 1.8 所示。

列车运行最小间隔是城市轨道交通系统技术经济参数之一,因各国建设标准不完全相同而规定有所不同,它有列车最小时间间隔和列车最小空间间隔两种理解方式。从轨道交通系统的技术经济参数上来讲,大多是指列车最小运行时间间隔。它与信号区间闭塞设计能力、折返设计能力等各方面因素有关。目前世界上对列车运行最小间隔的技术经济参数大多定为 2 min。在运营过程中,应根据每列车编组车厢数、每节车辆定员数、最高时速、每小时单向最大运送能力等其他技术经济指标,同时综合考虑平均时速、实际运送需求等情况,制订针对不同时段、不