



普通高等教育城市轨道交通“十二五”规划教材

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG
LIECHE YUNXING KONGZHI

城市轨道交通 列车运行控制

吴金洪 张瑾 主编
叶建忠 邱欣 凌松涛 韦强 副主编



国防工业出版社
National Defense Industry Press



教学资源库
<http://js.ndip.cn>

普通高等教育城市轨道交通“十二五”规划教材

城市轨道交通列车 运行控制

吴金洪 张 瑾 主编
叶建忠 邱 欣 凌松涛 韦 强 副主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书系统地阐述了城市轨道交通列车运行控制的基本概念和工作原理,着重介绍了列车运行控制系统及其运用,主要内容包括基础设备、基础理论、闭塞系统、联锁系统、列车运行自动控制系统、典型 ATC 系统、非正常情况下列车运行等。

本书可作为高等院校以及高等职业技术学院相关专业教材或教学参考书、城市轨道交通信号专业人员的培训教材,也可作为城市轨道交通相关专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通列车运行控制/吴金洪,张瑾主编. —北京:国防工业出版社,2014. 4

普通高等教育城市轨道交通“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-09375-9

I. ①城… II. ①吴… ②张… 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 073822 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 322 千字

2014 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

随着城市化进程的快速发展,城市交通需求持续增长,同时城市道路交通拥挤、交通事故以及交通污染等问题日益加剧。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。在城市客运交通领域,在“以人为本、公交优先”方针指引下,城市轨道交通因具有运量大、速度快、安全准点、保护环境、节约能源和用地等优点,深受人民群众的欢迎,已成为广大市民出行的首选。目前我国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经从单线运营进入了网络化运营,其他城市的轨道交通建设也在不断深化和完善。

城市轨道交通的基本任务是安全、高效地运送乘客,必须采用安全、可靠的列车运行控制设备和合理的运输组织。列车运行控制系统是城市轨道交通调度指挥和运营管理的中枢神经,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。列车运行控制系统根据线路条件和实际情况,通过对列车运行速度进行监督、控制和调整,保证安全、平稳运行,高质量地完成运输任务,从而带来较好的经济效益和社会效益。

城市轨道交通列车运行控制系统技术含量高,是计算机技术、通信技术和控制技术的综合利用,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。为了满足我国城市轨道交通的快速发展,必须使更多的工作人员掌握列车运行控制系统的基本知识和基本技能,充分发挥其作用和优势,才能使城市轨道交通调度指挥和运营管理工作高效、准确。

本书系统地阐述了城市轨道交通列车运行控制的基本概念和工作原理,着重介绍了列车运行控制系统及其运用。本书由浙江师范大学吴金洪和苏州大学张瑾任主编,浙江省交通规划设计研究院叶建忠、浙江师范大学邱欣、苏州轨道交通有限公司凌松涛、浙江师范大学韦强任副主编。本书的编写工作分工如下:第一章由凌松涛编写,第二章和第三章由张瑾编写,第四章由邱欣编写,第五章和第七章由吴金洪编写,第六章由叶建忠编写,第八章由韦强编写。全书由吴金洪统稿。

IV 前言

在本书的编写过程中,参考了大量相关资料,在此编者向有关作者表示衷心的感谢。同时,得到了浙江省交通规划设计研究院丁赛华高级工程师,上海田之金计算机科技有限公司邹雷滨,苏州大学谢门喜,中国铁路通信信号上海工程局集团有限公司朱小锋总工程师等为本书在资料收集、内容安排等方面提出了许多宝贵意见,在此对他们表示感谢。

列车运行控制系统在不断发展,由于编写人员水平、资料难以收集齐全及实践经验的局限性,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2013年12月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 城市轨道交通发展概述	1
第二节 列车运行控制系统发展概述	7
思考题	11
第二章 基础设备	12
第一节 信号机	12
第二节 信号继电器	19
第三节 轨道电路	29
第四节 转辙机	38
第五节 计轴器	44
第六节 应答器	49
第七节 站台安全门系统	55
思考题	61
第三章 基础理论	62
第一节 故障导向安全	62
第二节 安全数据信息传输	68
第三节 列车定位技术	81
第四节 无线通信技术	86
第五节 速度控制模式	93
思考题	99
第四章 闭塞系统	100
第一节 闭塞的基本概念	100
第二节 半自动闭塞	102

第三节 自动闭塞	109
第四节 装备 ATC 系统的自动闭塞	114
思考题	117
第五章 联锁系统	119
第一节 联锁基本概念	119
第二节 联锁内容	126
第三节 进路控制过程	131
第四节 6502 电气集中联锁系统	134
第五节 计算机联锁系统	137
思考题	158
第六章 列车运行自动控制系统	159
第一节 ATC 系统概述	159
第二节 ATP 系统	163
第三节 ATO 系统	169
第四节 ATS 系统	179
思考题	198
第七章 典型 ATC 系统	199
第一节 点式 ATC 系统	199
第二节 基于轨道电路的列车运行自动控制系统	203
第三节 基于通信的列车运行自动控制系统	212
第四节 单轨交通 ATC 系统	227
第五节 磁悬浮交通的列车运行控制系统	233
思考题	245
第八章 非正常情况下列车运行	246
第一节 列车运行控制系统的后备模式	246
第二节 ATS 非正常情况下的后备模式	254
第三节 列车运行控制系统故障时的行车组织	256
思考题	259
参考文献	260

第一章 绪 论

第一节 城市轨道交通发展概述

在时代车轮不断前行的过程中,随着世界各国城市化发展,城市交通问题越演越烈。经济发达国家城市的交通发展历程证明,只有采用大运量的城市轨道交通系统,才能从根本上改善城市交通拥堵状况。

从 1827 年,世界上第一条城市轨道交通公共马车出现在纽约百老汇大街上,令马车在钢轨上行驶,提高了速度、增加了平稳性,成为现代城市轨道交通的雏形。经过近 40 年的不断演变,1863 年 1 月 10 日,世界上第一条地下城市铁路(Metropolitan Railway)在伦敦正式通车运营,采用蒸汽机车牵引线路总长仅 6.5km,但第一年就运载了 950 万乘客,为解决城市交通拥堵树立了成功的典范,也为人口密集、交通需求量大的城市关于如何发展公共交通提供了宝贵经验。1897 年,电力驱动的机车研制成功,使地下客运环境和服务条件得到了空前的改善,地铁建设显示出更加强大的生命力。由此,世界各国知名的大城市都纷纷效仿伦敦修建地铁,揭开了城市公共交通方式的新篇章。

我国的城市轨道交通发展起步较晚,以 1969 年北京地铁 1 号线正式开通为标志,历经了 40 多年的发展,并在近几年进入了快速建设阶段。截至 2013 年 6 月,中国共有轨道交通运营城市 16 个,包括北京、上海、天津、重庆、广州、深圳、武汉、南京、沈阳、长春、大连、成都、西安、昆明、苏州、杭州,总计轨道交通运营线路达 68 条,比上年 56 条增加 12 条;运营长度总里程 2060km,比上年 1677km 增长 22.83%;运营车站总数 1350 座,比上年 1102 座增长 23%。

根据国内各城市目前轨道交通线路建设进度,2013 年有 12 个城市新开通运营轨道交通,至 2013 年底,中国轨道交通运营线路累计将达 80 条,运营总里程将达 2400km,运营车站将达 1600 座。截至 2013 年 9 月,中国获得国家批准建设轨道交通的城市达 37 个,高居世界第一。至 2020 年,我国城市轨道交通线路规划总里程将达到 6100km,所需车辆将超过 3 万辆。

目前,城市轨道交通已成为世界各国现代化都市的重要基础设施,它安全、快捷、舒适、便利地在城市范围内运送乘客,最大限度地满足居民出行的需要,成为城市解决交通拥挤、乘车困难、行车速度下降最行之有效的办法。

一、城市轨道交通的基本概念

1. 城市轨道交通的定义

城市轨道交通是指具有固定线路,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。“城市轨道交通”是一个包含范围较广的概念,在国际上没有统一的定义。

在中国国家标准《城市公共交通常用名词术语》(GB 5655—1985)中,将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”。

一般而言,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。

2. 城市轨道交通的特点

城市轨道交通相对于城市道路交通,位置或是高架或是地下,即使在地面线路也与道路交通相隔,具有运送乘客容量大、运行准时速达、运送安全,节省土地资源的特点。

城市轨道交通相对铁路,虽然同为轨道交通,但也具有各自鲜明的特点。

(1) 运营范围。城市轨道交通运行范围是城市市区及郊区,往往一条线只有几十千米。而铁路纵横数千千米,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,且站站需停车,列车运行速度通常不超过 80km/h。目前,随着城市轨道交通各方面技术的不断成熟和发展,最高运行速度可达到 120km/h。而铁路的运行速度比较高,普遍在 120km/h 以上,高速铁路在 300km/h 以上。

(3) 服务对象。城市轨道交通的服务对象单一,只是市内客运服务,而铁路包括客运和货运。

(4) 线路与轨道。城市轨道交通大部分线路在地下或是高架,均为双行线,各线路之间一般不过线运行。正线一般采用 9 号道岔,车辆段一般采用 7 号道岔,这些都与铁路线路有很大区别。另外,城市轨道交通还存在特有的形式,如跨座式和悬挂式。

(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。而铁路车站有数量不等的道岔及股道,有较为复杂的咽喉区,换乘为平面方式。

(6) 车辆段。城市轨道交通的车辆段不同于铁路的车辆段,不仅具有车辆检修的功能,还具有停放、大量列车编解、接发车和调车作业,类似于铁路的区段站。

(7) 车辆。城市轨道交通采用电动车组,相对于铁路车型单一。

(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。城市轨道交通均为直流供电,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,将陷入总体瘫痪状况。

(9) 通信信号。城市轨道交通列车密度较高、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等。

(10) 运行管理。城市轨道交通运行条件十分单纯,除了进、出段和折返外,基本没有越行、交会,正线上一般也没有调车作业,易于实现自动监控。

基于城市轨道交通的众多特点和优点,国家“十二五”规划纲要强调,实施公共交通优先发展战略,大力发展城市公共交通系统,提高公共交通出行分担比率。科学制定城市轨道交通技术路线,规范建设标准,有序推进轻轨、地铁、有轨电车等城市轨道交通网络建设。国家“十二五”规划的出台,无疑为我国城市轨道交通产业的发展提供了前所未有的机遇和巨大潜能。我国各大城市的城市轨道交通可以根据需求,选择相应的级别,如表 1-1 所列,将我国的城市轨道交通建设和运营推向新一轮快速发展时期。

表 1-1 城市轨道交通技术等级表

等级		I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
系统类型		高运量地铁	大运量地铁	中运量轻轨	次中量轻轨	低运量轻轨
使用车辆类型		A 型车	B 型车	C-I、C-II 型车	C-II 型车	现代有轨电车
最大客运量 (单向万人次/h)		4.5~7.5	3.0~5.5	1.0~3.0	0.8~2.5	0.6~1.0
线路	线路形态	隧道为主	隧道为主	地面或高架	地面为主	地面
	路用情况	专用	专用	专用	隔离或少量混用	混用为主
项目等级		I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
站台	平均站距/m	800~1500	800~1200	600~1000	600~1000	600~800
	站台长度/m	200	200	120	<100	<60
	站台高低	高	高	高	低(高)	低
车辆	车辆宽度/m	3	2.8	2.6	2.6	2.6
	车辆定员/人	310	240	320	220	104~202
	最大轴重	16	14	11	10	9
	最大时速/(km/h)	80~100	80	80	70	45~60
	平均运行速度/(km/h)	34~40	32~40	30~40	25~35	15~25
	轨距/mm	1435	1435	1435	1435	1435

(续)

等级		I级	II级	III级	IV级	V级
供电	额定电压/V	DC1500	DC750	DC750	DC750(600)	DC750(600)
	受电方式	架空线	第三轨	架空线/第三轨	架空线	架空线
信号	列车自动保护	有	有	有	有/无	无
	列车运行方式	ATO/ 司机驾驶	ATO/ 司机驾驶	ATO/ 司机驾驶	司机驾驶	司机驾驶
	行车控制技术	ATC	ATC	ATP/ATS	ATP/ATS	ATS/CTC
运营	列车最大车辆编组	6~8	6~8	4~6	2~4	2
	列车最小行车间隔/s	120	120	120	150	300

3. 城市轨道交通的构成

城市轨道交通是属于集多专业、多工种于一身的复杂系统,通常由轨道线路、车站、车辆、维护检修基地、供变电、通信信号、指挥控制中心等组成。城市轨道交通的运输组织、功能实现、安全保证均应遵循轨道交通客观规律。在运输组织上要实行集中调度、统一指挥、按运行图组织行车。在功能实现方面,各有关专业,如线路、车站、隧道、车辆、供电、通信、信号、机电设备及消防系统均应保证状态良好,运行正常。在安全保证方面,主要依靠行车组织和设备正常运行,来保证必要的行车间隔和正确的行车线路。

为了保证列车运行安全、正点,在集中调度、统一指挥的原则下,行车组织、设备、车辆检修、设备运行管理、安全保证等均由一系列规章制度来规范。列车运行是一个多专业、多工种配合工作,围绕安全行车这一中心而组成的有序联动、时效性极强的系统。

城市轨道交通系统中,采用了以电子计算机处理技术为核心的各种自动化设备,从而代替人工的、机械的、电气的行车组织、设备运行和安全保证系统。例如,ATC(列车自动控制)系统可以实现列车自动驾驶、自动跟踪、自动调度;SCADA(供电系统管理自动化)系统可以实现主变电所、牵引变电所、降压变电所设备系统的遥控、遥信、遥测和遥调;BAS(环境监控系统)和FAS(火灾报警系统)可以实现车站环境控制的自动化和消防、报警系统的自动化;AFC(自动售检票系统)可以实现自动售票、检票、分类等功能。这些系统全线各自形成网络,均在OCC(控制中心)设置中心计算机,实现统一指挥,分级控制。

二、城市轨道交通的主要类型

城市轨道交通按照运能范围、车辆类型及主要技术特征可分为地下铁道、轻轨交通、有轨电车、市郊铁路、单轨道交通、新交通系统、磁悬浮交通7类。以下对目

前广泛发展的前3种类型进行分述。

1. 地下铁道

地下铁道简称地铁(Metro 或 Underground Railway 或 Subway 或 Tube),地铁是城市快速轨道交通的先驱。地铁是由电力牵引、轮轨导向,轴重相对较重,具有一定规模运量,按运行图行车,车辆编组运行在地下隧道内,或根据城市的具体条件,运行在地面或高架线路上的快速轨道交通系统。地铁的运能,单向运输能力在3万人次/h,最高可达6~8万人次/h。最高速度可达120km/h,旅行速度在40km/h以上,可4~10辆编组,车辆运行最小间隔可低于90s。驱动方式有直流电机、交流电机、直线电机等。地铁造价昂贵,每千米投资在3~6亿元人民币。地铁有建设成本高、建设周期长的弊端,但同时又具有运量大、安全、准时、节省能源、不污染环境、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。一般认为,人口超过百万的大城市就应该考虑修建地铁,如北京、上海、广州等都是率先建设地下铁道(地铁)的城市,图1-1所示为北京地铁一号线。



图1-1 北京地铁1号线

2. 轻轨交通

轻轨交通(Light Rail Transit, LRT),是反映在轨道上的荷载相对于铁路和地铁荷载较轻的一种交通系统。轻轨是一个比较广泛的概念,公共交通国际联合会(UITP)关于轻轨运营系统的解释文件中提到:轻轨是一种使用电力牵引、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。

原有的轻轨定义是指采用轻型轨道的城市交通系统。而如今的轻轨交通已采用与地铁相同质量的钢轨,主要以客运量或车辆轴重的大小来区分地铁和轻轨。在中国《城市轨道交通工程项目建设标准》(建标104—2008)(试行本)中,把每小时单向客流量为0.6~3万人次的轨道交通定义为中运量轨道交通,即轻轨。

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。列车编组采用3~6辆,铰接式车体。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。

由于轻轨具有投资少(每公里造价在 0.6~1.8 亿元人民币)、建设周期短、运能高、灵活等优点,因此发展很快,图 1-2 所示为天津津滨轻轨。

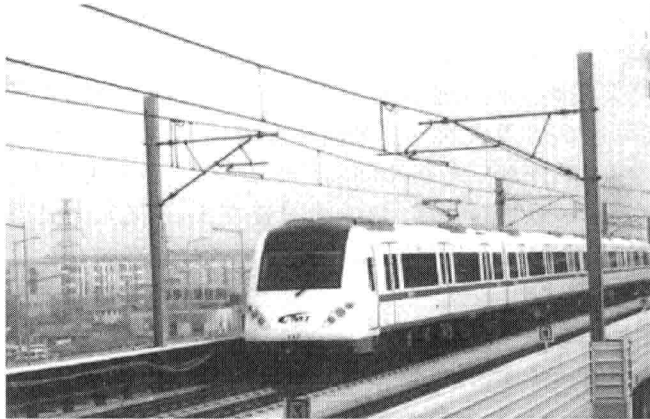


图 1-2 天津津滨轻轨

3. 有轨电车

有轨电车(Tram 或 Streetcar)是使用电车牵引、轻轨导向、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一,一般设在城市中心穿街走巷运行,具有上下车方便的特点。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,运行速度一般在 10~20km/h 之间。由于其运能低、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 年代末已所剩无几,仅大连、长春两城市保留,如图 1-3 所示。大连还对有轨电车



图 1-3 长春旧式有轨电车

进行了改造,使其成为城市的一张名片。

随着城市轨道交通的发展,经过改造后现代钢轮钢轨 100%低地板有轨电车运营速度接近 20km/h,单向运能可达 2 万人次/h,以其节能、环保、投资较小、无需挖掘隧道、适中的载客量、较好的乘坐舒适性、较少的后期维护费用,重新成为解决城市核心区换乘、市郊接驳以及景区旅游观光交通的重要手段,如图 1-4 所示。



图 1-4 上海张江现代有轨电车

第二节 列车运行控制系统发展概述

作为轨道交通系统,安全和高效是其追求的两大目标。能够安全、高效运行,首先取决于信号系统中列车运行控制系统的性能,列车运行控制系统是确保列车运行安全、提高列车运行效率的核心子系统,是轨道交通系统的大脑和中枢,也是一个国家体现自动化水平的标志之一。与铁路相比,在城市轨道交通中,列车运行的速度虽然不是很高,但是站间距离短,列车运行过程中追踪间距、时间都比较小,行车间隔最短可达到 90s,甚至更短。如此短的追踪间隔,既要保证行车安全,又要保证行车的效率和准确性,则对列车运行控制系统有着更高的要求。

一、列车运行控制系统的发展

着眼于世界城市轨道交通的发展史,列车运行控制系统经历了多次革命性的变革:从最初依靠司机的视线控制、人工壁板信号控制、信号灯显示控制,发展到模拟轨道电路、数字轨道电路、基于感应环线的 CBTC,以及发展至今技术最为先进的基于无线通信的 CBTC。除去初期人为视觉控制时期,从有控制设备或系统以来,它大体可以分为 4 个发展阶段。

(1) 机械装置控制阶段,是以机械锁闭器和壁板信号机为代表的时代,目前已

经被淘汰。

(2) 电气控制阶段,是以继电器联锁系统和色灯信号机为代表。20世纪30~60年代,列车运行控制系统依靠路旁信号机来传递不同的行车信息,列车运行安全很大程度上取决于司机的视觉条件、驾驶技术和经验。前后列车间的空间间隔由相邻信号机之间的距离来实现,司机根据地面信号的显示,按照行车规则操纵列车运行。

传统的信号系统中,列车运行控制存在以下3个方面不足:

- ① 地面信号显示行车信息的能力有限,较大程度上列车控制还是依赖司机。
- ② 信号机的位置不能随意改变,对列车间隔控制的灵活性较差。
- ③ 安全性较差,列车运行的效率低。

如今,随着城市轨道交通列车运行速度越来越快、行车间隔时间越来越短,对安全性的要求也越来越高,因此这种传统的列车运行控制方式逐步被取代。

(3) 电子控制阶段,20世纪60年代以后,列车运行控制系统迎来了快速发展的阶段,称为智能化的车载控制系统。采用先进的轨道交通列车运行控制的技术,在列车运行控制中心的计算机和列车车载的计算机之间建立起可靠、有效的信息交换通道,从模拟轨道电路到数字化轨道电路,使地面向列车传递的行车信息越来越全面,从而实现越来越精确的速度控制并显示在列车驾驶台上,由司机手动或自动操作,使司机驾驶更加从容有序,也使列车运行更加安全和高效。

从20世纪70年代,随着通信技术的发展,尤其是无线通信技术的广泛应用,以信号控制为核心的轨道交通信号系统开始演变为基于通信技术的轨道交通运行控制系统,则标志进入了第四阶段为基于通信技术的控制阶段。

(4) 无线通信可以实现大信息量的车-地双向通信,除了能满足列车运行控制的需要,还可以用于行车指挥信息传输,能够满足城市轨道交通信息化对固定设备与移动列车之间大容量信息交换的要求。基于通信的列车控制系统(Communication Based Train Control, CBTC),可以实现双向信息传输,具有更高的传输速率、更多的信息量,可以摆脱对传统轨道电路的依赖,实现真正意义上的移动闭塞,使行车间隔大大缩短,系统实时性增加,从而进一步提高列车运能和安全性。CBTC是城市轨道交通列车运行控制技术发展的方向。

二、我国列车运行控制系统的发展

我国的城市轨道交通发展起步较晚,因此我国城市轨道交通列车运行系统的发展起点较高,大致分为3个阶段。

第一阶段,从1965年7月1日开始,我国第一条地下铁路——北京地铁一期工程兴建,历经4年的建设期,于1969年10月通车。根据当时的国情,决定全部设备由国内自主研发,同时要求信号设备必须具有较高的技术水平。借鉴已有铁

路的相关经验,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。通过这几项主要技术,实现行车集中调度、集中监控和列车运行自动化。该项目完全独立自主地为中国第一条地铁提供了一整套信号控制设备,为后续 20 多年的安全运营奠定了坚实的基础。

第二阶段,1971 年北京地铁二号线开始建设,要求采用“行车指挥与列车运行自动化”系统,即 ATC 系统。该线路于 1984 年正式开通,其信号系统大多采用国产设备。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全线机车信号,从而提高了车载设备的可靠性。

进入 20 世纪 90 年代以后,随着我国改革开放的步伐加快,经济的快速发展,各大城市都进入了建设城市轨道交通的高潮,但是由于我国地铁建设缺乏经验,使得国产信号设备技术水平较低,只能提供配套设备,无法形成一体化完整的国产地铁信号系统。再加上建设地铁向国外贷款,利用外资的附加条件就是必须购买该国的设备,因此纷纷引进国外先进的地铁信号设备。

在先后引进英国西屋公司的 ATC 系统、美国阿尔斯通公司的 ATC 系统等国外列车运行控制系统后,使我国地铁信号装配水平与国际差距大大缩小,取得了较好的效果。列车运行呈现出全新的面貌,实现了 120s 的运行间隔,大大提高了地铁列车的运行效率和运输能力。

在这一阶段我国城市轨道交通进入了大量建设时期,在引进国外先进设备和系统的基础上,信号设备的研制工作也逐步展开,信号设备从传统的有绝缘轨道电路、继电联锁、机车信号、自动停车、调度监督、调度集中逐步向无绝缘轨道电路、微机联锁、列车超速防护、列车自动监控等现代信号设备系统进行过渡和发展。

第三阶段,自 1994 年至今,我国城市轨道交通建设进入了快速发展期。继北京之后,广州、上海、深圳、武汉、重庆和南京等城市也开始发展城市轨道交通,信号系统采用德国西门子公司、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 列车自动控制系统。采用引进设备后,大大缩减了列车运行间隔,提高了安全程度和通过能力,但由于国内外的电源质量、道岔结构、轨道施工工艺等存在差异,所以引进的 ATC 系统在我国应用的效果大打折扣,而且引进的设备也会带来诸多后续问题,如造价昂贵、维修成本高、备品备件缺乏、系统制式混杂及难以管理等。

从 1999 年初开始,我国推行城市轨道交通设备国产化政策,针对引进国外信号设备和系统已经出现的诸多问题,这一举措的主要目的在于降低建设投资,充分吸收借鉴国外的先进技术,研究开发具有自主知识产权的城市轨道交通相关技术并进行设备产品本土化生产制造,提升中国城市轨道交通行业技术水平并逐步减少对国外产品的依赖。

经历十几年国产化发展道路,2010 年 12 月 30 日北京地铁亦庄线顺利开通试

运行,标志着我国具有完全自主知识产权的“基于通信的列车运行控制系统”示范工程取得成功,使中国成为继德国(西门子公司)、法国(阿尔斯通公司和阿尔卡特公司)、加拿大(庞巴迪公司)后第4个成功掌握该项核心技术并成功应用于实际运营线路的国家,从而也使我国城市轨道交通的列车运行控制系统进入了自主化、现代化、智能化的全新发展应用时代。

三、列车运行控制系统的发展趋势

随着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、列车运行控制以及行车调度自动化的一体化,通信信号系统的互相融合,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。

20世纪80年代早期,列车运行控制技术将传统的信号控制技术和通信技术相结合,进一步发展成为基于通信的列车运行控制系统(CBTC系统),成为未来城市轨道交通列车运行控制的发展趋势。

基于通信的列车运行控制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断列车占用和空闲的限制,突破了固定(准移动)闭塞的局限性,较以往系统具有更大的优越性,具体体现为以下几个方面:

(1) 实现列车与轨旁设备双向、大量、实时通信。

(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) 有利于缩短列车编组、加大列车运行密度,并可以缩短站台长度,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) 可以适应各种类型、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,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) 系统不依靠轨道电路检测列车位置和向车载设备传递信息,有利于旧线系统升级改造的实施,即有利于在不影响既有线正常运营的前提下,对系统进行升级改造,对运营的影响降至最低。

(8) 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