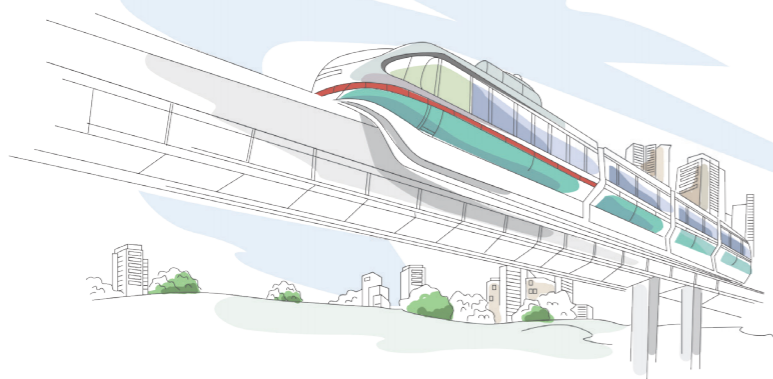


服务热线: 400-615-1233

★ 配套精品教学资料包

www.huatengedu.com.cn



城市轨道交通 概论

(第2版)

ISBN 978-7-5636-7899-0



9 787563 678990 >

定价: 49.90元

策划编辑: 闫华忠 金颖杰

责任编辑: 闫华忠

封面设计: 刘文东



城市轨道交通概论
(第2版)

主编 王军峰 李战彬



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

X-B

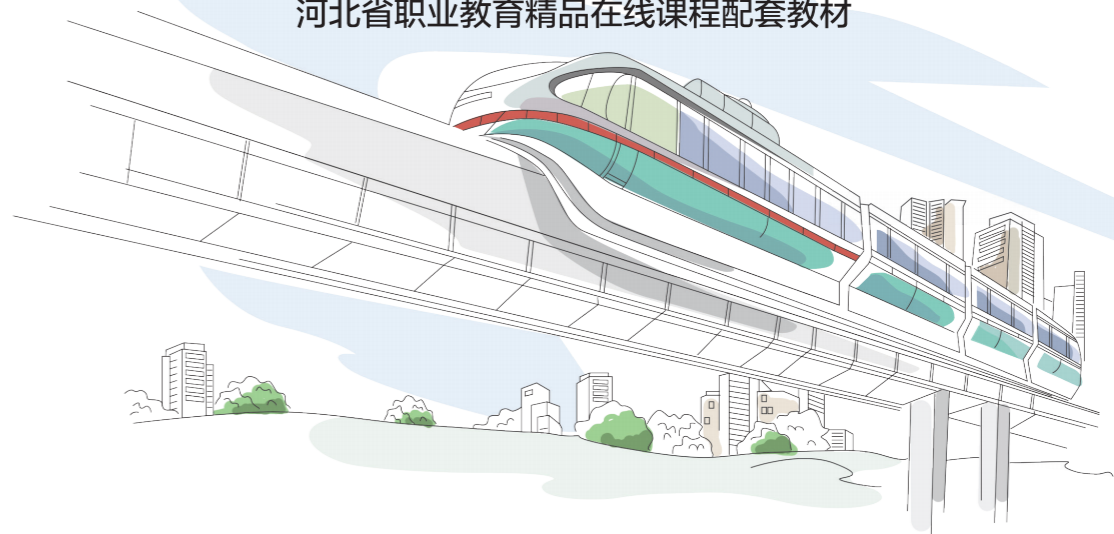


“十四五”职业教育国家规划教材



河北省“十四五”职业教育规划教材

河北省职业教育精品在线课程配套教材



城市轨道交通 概论

(第2版)

主编 王军峰 李战彬



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

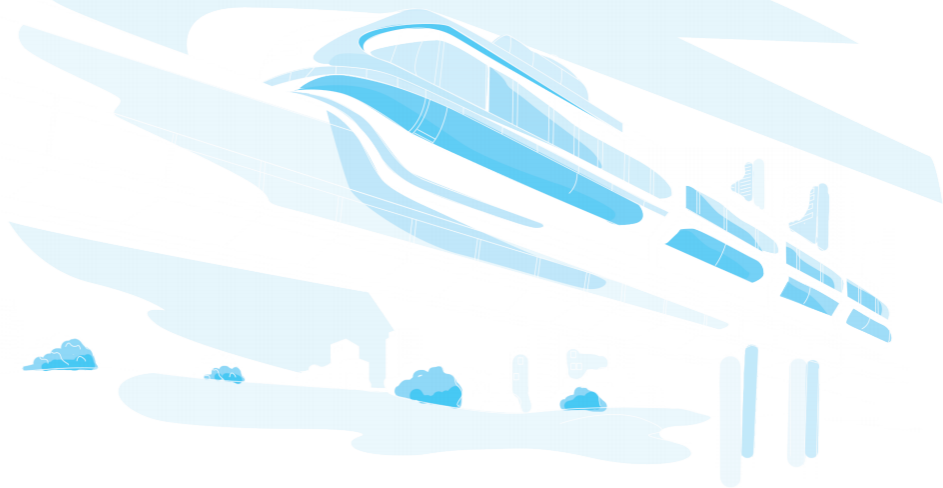


“十四五”职业教育国家规划教材



河北省“十四五”职业教育规划教材

河北省职业教育精品在线课程配套教材



城市轨道交通 概论

(第2版)

主 编 王军峰 李战彬
副主编 李海燕 王玉彩
杨翠蕾 吴 松



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

山东·青岛

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通概论/王军峰,李战彬主编. -- 2 版
. -- 青岛:中国石油大学出版社,2023.11(2026.2 重印)
ISBN 978-7-5636-7899-0
I. ①城… II. ①王… ②李… III. ①城市铁路—轨道交通—教材 IV. ①U239.5
中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 221149 号

如有印装质量问题,请与中国石油大学出版社发行部联系。
服务电话:400-615-1233

书 名:城市轨道交通概论(第 2 版)

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG GAILUN (DI-ER BAN)

主 编:王军峰 李战彬

策划编辑:闫华忠 金颖杰

责任编辑:闫华忠(0532-86983015)

封面设计:刘文东

出 版 者:中国石油大学出版社

(地址:山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号 邮编:266580)

网 址:<http://cbs.upc.edu.cn>

电子邮箱:uppbok@upc.edu.cn

排 版 者:华腾教育排版中心

印 刷 者:三河市骏杰印刷有限公司

发 行 者:中国石油大学出版社(电话 010-88433760)

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:17.5

插 页:1

字 数:451 千字

版 印 次:2015 年 1 月第 1 版

2023 年 11 月第 2 版 2026 年 2 月第 3 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5636-7899-0

定 价:49.90 元



第2版前言

城市轨道交通行业的快速发展使得大量新技术、新工艺、新材料、新设备不断被投入使用,使得相关岗位的工作人员也必须随之提高技能技艺以适应环境形势变化。同时一些生产一线也急需招聘一批熟练掌握专业技能、在关键岗位发挥骨干作用的高素质技术技能型人才。为了培养人才,各院校也需要更加切合专业特色的教材,以适应现今城市轨道交通网络化、智慧化的发展形势。

本书坚持职业教育的理念,采用项目引领、任务驱动的编排方式,在保留第1版结构的基础上,参照最新颁布的相关国家标准和职业技能等级考核标准,对教材中的数据及技术规范等内容进行了更新。本书内容包括城市轨道交通及其发展、城市轨道交通规划设计与施工、城市轨道交通线路和线路设备、城市轨道交通车辆、城市轨道交通供电系统、城市轨道交通通信系统、城市轨道交通信号系统、乘客信息系统、城市轨道交通车站与车站设备、城市轨道交通运营管理。

本版修订后主要体现以下特点。

1. 内容紧跟行业发展

本书总结和吸收了目前城市轨道交通发展的新技术及国家发布的相关规范、标准,结合职业技能等级考核标准的相关要求,梳理城市轨道交通所涉及的专业基础知识与基本技能要求,以应用为目的,围绕提升学生的专业核心职业能力来组织内容。

2. 产教融合,协同育人

编者深度调研了石家庄市轨道交通集团有限责任公司、天津轨道交通运营集团有限公司、中国铁路北京局集团有限公司等多家合作企业,将城市轨道交通相关岗位要求、企业规范及行业发展现状等调研成果融入教材,使得本书内容更加翔实、知识体系更加全面、技术标准更加先进。

3. 落实立德树人根本任务

党的二十大报告指出:“教育是国之大计、党之大计。培养什么人、怎样培养人、为谁培养人是教育的根本问题。育人的根本在于立德。”城市轨道交通的安全、准点、有序运营对社会的影响巨大,而职业教育担负着为行业培养大批有知识、懂安全、会操作的高素质技术技能型人才的重任。本书设置了“阅读与欣赏”模块,旨在培养学生的职业素养,落实立德树人根本任务,使学生践行“干一行爱一行,专一行精一行”的精益求精、追求卓越的工匠精神。

4. 数字化资源丰富

本书配有丰富的教学资源(包括教学课件、微课、动画、虚拟仿真等)和“智慧职教MOOC”河北省职业教育精品在线课程(<https://mooc.icve.com.cn/cms/courseDetails/>)



index.htm? classId=dc9c52cfef37b130a9cb939275703f21),旨在助力教师提高教学质量。

本书由石家庄铁路职业技术学院王军峰、石家庄市轨道交通集团有限责任公司运营分公司李战彬任主编,石家庄铁路职业技术学院李海燕、王玉彩、杨翠蕾、吴松任副主编,石家庄铁路职业技术学院刘佳、马硕、李唱参与了编写工作。具体编写分工如下:王军峰负责编写项目一,吴松负责编写项目二,马硕负责编写项目三,杨翠蕾负责编写项目四,李唱负责编写项目五,王玉彩负责编写项目六,李海燕负责编写项目七,刘佳负责编写项目八,王军峰、李战彬负责编写项目九、项目十。本书由王军峰统稿。

由于编者水平及实践经验有限,书中难免有疏漏和错误之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

第1版前言



城市轨道交通是缓解城市交通拥堵最有效的交通方式之一,具有安全准点、节能环保、快捷舒适的特点。目前,全国多个大中城市已经开展或者计划开展城市轨道交通建设,越来越多的高等职业院校开设了城市轨道交通相关专业,以满足社会对城市轨道交通专业人才的需求。

“城市轨道交通概论”是城市轨道交通相关专业的一门专业基础课程。学生通过本课程的学习,应能初步了解城市轨道交通系统的整体概念、系统的结构特点,掌握城市轨道交通的基础知识框架,熟悉各框架的构成及功能,了解各框架的相互关系,为以后专业课程的学习奠定基础。

本书严格按照国家相关标准和技术规范进行编写,并结合国内各大城市轨道交通建设运营实际情况,以项目教学的形式组织编排。本书建议总学时为 64 学时,在教学过程中,各学校可根据自己的实际情况进行适当调整。本书参考学时见下表。

内 容	学 时
项目一 城市轨道交通及其发展	6
项目二 城市轨道交通规划设计与施工	4
项目三 城市轨道交通线路和线路设备	8
项目四 城市轨道交通车辆	6
项目五 城市轨道交通供电系统	6
项目六 城市轨道交通通信系统	4
项目七 城市轨道交通信号系统	6
项目八 乘客信息服务系统	6
项目九 城市轨道交通车站与车站设备	6
项目十 城市轨道交通运营管理	12
总计	64

本书以城市轨道交通系统涉及的总体概念组织教学,帮助学生建立专业的城市轨道交通基础知识框架,使其在后续展开的专业课学习中具有更加明确的目标,能够将各门专业课知识贯穿成一个整体,具备在城市轨道交通领域进行建设,从事运营维护和管理工作的必备技能。

本书由石家庄铁路职业技术学院王军峰任主编,石家庄铁路职业技术学院张庆彬、王玉彩任副主编,石家庄铁路职业技术学院的贺媛媛参与了编写工作。具体编写分工如下:王军峰负责项目一、项目三、项目四、项目五、项目六、项目八的编写工作,张庆彬负责项目二、项目九的编写工

作,贺媛媛负责项目七的编写工作,王玉彩负责项目十的编写工作,全书由王军峰统稿。

在本书的编写过程中,参考了许多专家学者的相关资料,引用了国内轨道交通运营企业的一些数据和图片,我们已尽可能地在参考文献中详细列出,并在此对相关作者表示感谢。

由于编者水平有限,加之城市轨道交通领域的技术发展迅速,书中难免有疏漏和错误之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目录

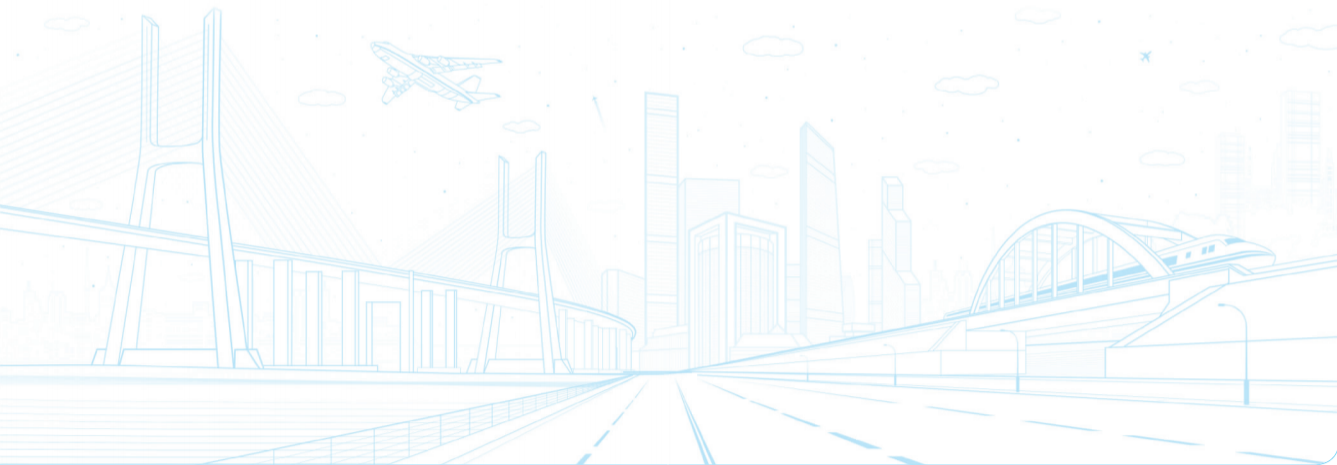


项目一	城市轨道交通及其发展	1
	学习目标	1
	阅读与欣赏	1
	任务一 认识城市轨道交通	3
	任务二 城市轨道交通的发展与运营网络化	15
	学习评价	27
	实训任务	27
项目二	城市轨道交通规划设计与施工	28
	学习目标	28
	阅读与欣赏	28
	任务一 城市轨道交通规划设计概述	29
	任务二 城市轨道交通线网规划与线路设计	32
	任务三 城市轨道交通工程施工	46
	学习评价	54
	实训任务	54
项目三	城市轨道交通线路和线路设备	55
	学习目标	55
	阅读与欣赏	55
	任务一 城市轨道交通线路	56
	任务二 城市轨道交通线路设备	65
	学习评价	80
	实训任务	80
项目四	城市轨道交通车辆	81
	学习目标	81
	阅读与欣赏	81
	任务一 认识城市轨道交通车辆	82
	任务二 城市轨道交通车辆的组成	85
	任务三 城市轨道交通车辆基地	103
	学习评价	108
	实训任务	108



项目五	城市轨道交通供电系统	109
	学习目标	109
	阅读与欣赏	109
	任务一 城市轨道交通供电系统的功能和要求	112
	任务二 城市轨道交通供电系统的供电原理	114
	任务三 城市轨道交通供电系统的构成	115
	学习评价	130
	实训任务	130
项目六	城市轨道交通通信系统	131
	学习目标	131
	阅读与欣赏	131
	任务一 城市轨道交通通信系统的要求和分类	133
	任务二 城市轨道交通通信网的基本结构	134
	任务三 城市轨道交通通信系统的组成	136
	学习评价	149
	实训任务	149
项目七	城市轨道交通信号系统	150
	学习目标	150
	阅读与欣赏	150
	任务一 城市轨道交通信号系统概述	151
	任务二 城市轨道交通信号系统的基础设备	152
	任务三 联锁与闭塞	162
	任务四 列车运行自动控制系统	165
	学习评价	175
	实训任务	175
项目八	乘客信息系统	176
	学习目标	176
	阅读与欣赏	176
	任务一 乘客信息系统概述	177
	任务二 乘客信息系统的构成、功能、信息显示及运行模式	179
	学习评价	188
	实训任务	188
项目九	城市轨道交通车站与车站设备	189
	学习目标	189

阅读与欣赏	189
任务一 认识城市轨道交通车站	190
任务二 认识城市轨道交通车站机电设备	197
学习评价	224
实训任务	224
项目十 城市轨道交通运营管理	225
学习目标	225
阅读与欣赏	225
任务一 认识城市轨道交通行车管理	226
任务二 认识城市轨道交通客运管理	244
任务三 认识城市轨道交通乘务管理	260
任务四 认识城市轨道交通票务管理	262
学习评价	270
实训任务	271
参考文献	272





项目一

城市轨道交通及其发展

学习目标

- (1) 了解城市轨道交通的概念。
- (2) 掌握城市轨道交通的特点。
- (3) 掌握城市轨道交通的分类。
- (4) 掌握城市轨道交通的组成。
- (5) 了解国内外城市轨道交通的发展。
- (6) 掌握智慧城轨的内涵。



阅读与欣赏

中国城市轨道交通的发展巨变

中华人民共和国成立以来,我国城市建设力度越来越大、速度越来越快。城市轨道交通的建设大大改善了居民出行条件,改变了城市的格局。

20 世纪 60 年代,老一辈建设者靠人力建成了中华人民共和国第一条地铁。如今,我国城市轨道交通取得了巨大的发展,开通城市数和运营里程在短短 10 年间增长迅速,运营规模稳居世界第一位。

1. 城市轨道交通已进入突飞猛进的发展期

目前,我国城市轨道交通发展较为迅速,但是由于经济实力和技术水平的限制,我国城市轨道交通建设相较于西方国家整体起步稍晚。20 世纪 50 年代,北京首先提出修建地下铁路,并于 1965 年正式开始动工建设;1970 年天津开始进行地铁建设。20 世纪 80 年代到 20 世纪末,改革开放使我国经济发展水平迅速提高,上海、广州开始进行以解决交通问题为主的城市轨道交通建设,随后各省会城市开始进行地铁项目规划。

2008 年以来,受到全球金融危机影响,我国推出“四万亿”计划,同时在经济条件以及城市化发展的要求下,城市轨道交通建设进入突飞猛进的发展时期。

2. 2018 年我国城市轨道交通客运量突破 200 亿人次

从我国城市轨道交通客运量来看,随着近年来城市轨道交通运营线路长度的增加以及城市人口的增多,城市轨道交通客运量在不断上升。据中国城市轨道交通协会发布的《城市轨道交通 2018 年度统计和分析报告》统计,2018 年全国城市轨道交通累计完成客运量



210.7 亿人次,比上年增加 25.9 亿人次,增长 14%。其中,北京 2018 年城市轨道交通累计完成客运量 38.5 亿人次,其次是上海、广州和深圳。这四座一线城市轨道交通的客运量占全国城市轨道交通总客运量的 58%。

3. 多座城市轨道交通建设规划获得批复

城市轨道交通发展获重视的主要原因之一是客运量庞大。2018 年上半年没有城市获得批复,8 座城市的轨道交通建设规划全部于下半年获得国家发展和改革委员会(简称国家发改委)批复,批复总规模 981.59 km、项目 39 个,总投资达 7 842.22 亿元。2019 年,仅《郑州市城市轨道交通第三期建设规划(2019—2024 年)》和《西安市城市轨道交通第三期建设规划(2019—2024 年)》获得国家发改委批复,批复规模 309.6 km、项目 14 个。

自 2005 年 3 月我国第一个城市轨道交通建设规划——《深圳市城市快速轨道交通建设规划(2005—2010)》获得批复,2005—2021 年,国家发改委共下发了 124 次城市轨道交通建设规划的批文,批复城市 44 座,获批里程达到 12 799.79 km。

从历年的批复情况来看,批复规模较大的是 2005 年、2012 年和 2015 年,批复规模分别达 1 286 km、1 516 km 和 1 584 km;批复规模中等的是 2013 年、2016 年和 2018 年,批复规模分别达 971 km、977 km 和 982 km;而批复规模最小的是 2008 年,仅批复规模 156 km。

4. 开通城市数和运营里程在十多年间增长数倍

2009 年,我国内地开通运营轨道交通的城市仅 10 座,运营里程仅 952.8 km。截至 2021 年年底,我国内地开通运营轨道交通(包含地铁、轻轨、磁悬浮等系统)的城市已达 51 座,运营总里程激增至 8 708 km,轨道交通开通城市数和运营里程在短短十多年间分别增长了 4.1 倍和 8.14 倍。

5. 2022 年新线开通活跃度依旧

自 2010 年后,我国城市轨道交通的新线开通较为活跃。其中,2016 年和 2017 年连续两年均有 21 座城市发布新线开通公告,2017 年新增运营里程 816.3 km,2022 年新增运营里程 1 080.63 km,新线开通活跃度依旧。

6. 未来城市轨道交通的需求超过 20 000 km

根据各城市的发展规划,中国城市轨道交通协会统计,我国共有 70 个城市规划了超过 700 条城市轨道交通线路,总里程超过 28 000 km;根据交通需求理论,预计我国远期城市轨道交通的需求约为 23 000 km。

现如今,我国城市轨道交通已成为一张国家名片。沙特阿拉伯的麦加、俄罗斯的莫斯科等都有着来自中国的“轨交艺术”。

目前,我国城市化进程已经进入新建与更新并存的发展阶段。尤其是在“一带一路”的契机下,我国城市轨道交通国际项目日益增多,大踏步走向世界的舞台,彰显了大国风采。

随着改革开放的不断深化,我国社会、经济全面发展,城市规模不断扩大,城市人口快速增长,城市交通状况日渐紧张,公共交通出行的需求迅猛增加。城市轨道交通作为城市基础设施,在公共交通系统中的地位越来越重要,所起的作用也越来越突出,逐步成为城市公共客运交通的骨干。根据国内外的经验,发展高层次、立体化、大运量的城市轨道交通是促进城市交通与经济、社会、环境协调发展的最有效的方法。

任务一

认识城市轨道交通



图文

“老鼠洞”催生了地铁

“城市轨道交通”是一个包含范围较大的概念,在国际上没有统一的定义。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,在城市公共客运交通系统中具有中等以上运量的城市轨道交通(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。

根据《城市公共交通分类标准(附条文说明)》(CJJ/T 114—2007),城市轨道交通是采用轨道结构进行承重和导向的车辆运输系统,是依据城市交通总体规划的要求,设置全封闭或部分封闭的专用轨道线路,以列车或单车形式,运送相当规模客流量的公共交通方式。城市轨道交通是城市公共交通的重要组成部分,随着城市的高速发展,人口的不断增多,城市轨道交通逐渐成为城市中主要的公共客运交通工具。

一、城市轨道交通的特点

随着城市与城市交通的快速发展,城市轨道交通近年来发展迅速。目前,建设与发展城市轨道交通已成为世界各国解决城市交通问题的首选方案,究其原因,关键在于城市轨道交通具有地面常规交通方式没有的特点,具体表现在以下几个方面。

1. 具有较高的运输能力

由于城市轨道交通高密度运转,列车运行时间间隔短,行车速度快,列车编组辆数多,因此它具有较强的运输能力。其单向高峰每小时的运输能力可达到6万~8万人次(市郊铁道);地铁可达到3万~6万人次,甚至8万人次;轻轨可达到1万~3万人次;有轨电车可达到1万人次。可见城市轨道交通的运输能力远远超过公共汽车。根据有关资料,地下铁道每千米线路年客运量在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。城市轨道交通也能在短时间内输送较大的客流。据统计,地铁在早高峰时1小时能通过全日客流的17%~20%,3小时能通过全日客流的31%。



微课

城轨交通的定义及特点

2. 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(地下或高架),因此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影响,是全天候的交通工具。尤其是在上下班高峰时段,地面交通拥挤不堪时,列车能按运行图运行,具有可信赖的准时性。

3. 具有较高的速达性

由于城市轨道交通采用先进的电动车组动力牵引方式,在专用的行车轨道上运行,具有先进的自动控制系统及可靠的安全保障措施,因此车辆有较高的运行速度和较高的启、制动加速度;同时多数车站采用高站台,列车停站时间短,上下车及换乘迅速方便,从而使乘客较快地到达目的地,缩短了出行时间。目前,地铁列车的最高运行速度一般在80 km/h以上,



有的甚至达到 120 km/h,旅行速度(平均速度)基本可达 30~45 km/h。

4. 具有较高的舒适性

与常规公共交通相比,城市轨道交通由于运行在不受其他交通工具干扰的线路上,因此车辆具有较好的运行特性。同时,城市轨道交通车辆、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,使城市轨道交通具有较好的乘车条件,舒适性优于公共电车和公共汽车。

5. 具有较高的安全性

城市轨道交通由于没有平交道口,不受其他交通工具干扰,并且有先进的通信信号设备,因此极少发生交通事故。

6. 占地少、不破坏地面景观

大城市地面拥挤、土地费用高昂,而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,因此能有效缓解道路拥挤、堵塞现象,有利于城市空间的合理利用,特别是有利于缓解大城市中心区过于拥挤的状态,进而提高了土地利用价值,并能改善城市景观。

7. 低污染

城市轨道交通采用电气牵引,又是大运量高速度集约化列车运行方式,不会产生废气污染,可以称为“绿色交通”。随着城市轨道交通的发展,公共汽车会减少,这将进一步减少汽车的废气污染。这非常符合现代都市提倡的低碳生活。同时,城市轨道交通由于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。

8. 低能耗

由于城市轨道交通是大运量集团化客运系统,且采用了多项高新技术,按每运送一位乘客的能源消耗进行评价,这是其他任何一种城市交通运输方式所无法比拟的,并且其对能源的适应性相当强。

但是城市轨道交通存在一定的局限性,如建设费用高、建设难度大、建设周期长、技术含量高、运营成本高、经济效益有限等。城市轨道交通是一个庞大的系统工程,涉及土建(装修)、机械、电子、供电、通信、信号等多种技术,具有设备多,点多面广,技术要求、技术含量高,系统性、严密性、联动性要求高等特点。城市轨道交通土建工程规模大,建设周期长,涉及的资金投入一般是每千米 4 亿~6 亿元。而且土建工程一般是永久性结构(地下隧道、高架桥等),建成以后线路走向及路网结构不宜调整,因此对城市轨道交通线路的选择及路网规划要求较高,难度较大。

二、城市轨道交通的分类

按照不同的分类标准,城市轨道交通可以被划分为不同的类型。

在我国,城市轨道交通协会发布的《城市轨道交通分类》(T/CAMET 00001—2020)指出,对城市轨道交通可基于运输能力、空间范围、路权形式、设计最高速度和系统制式等要素进行分类。

(1)城市轨道交通按运输能力可分为大运能系统、中运能系统和低运能系统三类。其中,中运能系统可细分为中大运能系统和中小运能系统。大运能系统高峰时单向运输能力



图文
地铁的新类型

达到每小时 30 000 人次及以上；中大运能系统高峰时单向运输能力达到每小时 15 000～30 000(不含)人次，中小运能系统高峰时单向运输能力达到每小时 10 000～15 000(不含)人次；低运能系统高峰时单向运输能力在每小时 10 000 人次以下。

(2)城市轨道交通按空间范围可分为城区轨道交通和市域轨道交通两类。城区轨道交通主要服务于城市城区的通勤(学)、公务、购物、餐饮、文体娱乐、旅游休闲等多种出行目的；市域轨道交通主要服务于城市市域或都市圈(通勤圈)范围的公务、通勤(学)、旅游休闲等多种出行目的。城市轨道交通具有城区轨道交通和市域轨道交通双重功能特征时，宜结合线路的主要功能，采用城市轨道交通正线在不同空间范围的长度占总长度的比例进行划分。当位于城区范围内的城市轨道交通正线长度大于正线总长度的 50%时，宜将其划分为城区轨道交通；当位于城区以外的正线长度大于或等于正线总长度的 50%时，宜将其划分为市域轨道交通。

(3)城市轨道交通按路权形式可分为全封闭系统、部分封闭系统和开放式系统三类。全封闭系统与其他交通方式以物理方式完全隔离，具有独立的路权，与其他交通方式不存在混行。部分封闭系统中线路的部分区段与其他交通方式采用物理方式隔离，具有独立的路权，与其他交通方式不存在混行；另一部分区段不采用物理方式隔离，共享路权，与其他交通方式按照相应规则混行。开放式系统与其他交通方式不采用物理方式隔离，共享路权，与其他交通方式按照相应规则混行。

(4)城市轨道交通按设计最高速度可划分为快速轨道交通(快线)和普速轨道交通(普线)两类。其中，快速轨道交通可细分为 A、B 两级。城市轨道交通的设计最高速度宜在 60 km/h、70 km/h、80 km/h、100 km/h、120 km/h、140 km/h、160 km/h、200 km/h 八个速度等级中选用。设计最高运行速度大于 120 km/h 的为快速轨道交通 A 型，设计最高速度为 100～120 km/h 的为快速轨道交通 B 型，设计最高速度小于 100 km/h 的为普速轨道交通。

(5)城市轨道交通按系统制式可分为地铁系统(简称地铁)、市域快轨系统(简称市域快轨)、轻轨系统(简称轻轨)、中低速磁浮交通系统、跨座式单轨系统(简称跨座式单轨)、悬挂式单轨系统(简称悬挂式单轨)、自导向轨道系统、有轨电车系统(简称有轨电车)、导轨式胶轮系统、电子导向胶轮系统十类。其主要技术特征见表 1-1。

表 1-1 按系统制式分类的城市轨道交通的主要技术特征

分类名称	技术特征					
	运输能力/(人次·h ⁻¹)	设计最高速度/(km·h ⁻¹)	路权形式	敷设方式	车辆类型	列车最大长度/m
地铁系统	≥30 000	80～120	全封闭	地下或地上	A、As、B、Lb 型车	185
市域快轨系统	≥10 000	120～200	全封闭	地上为主	市域 A、市域 As、市域 B、市域 D 型车	185
轻轨系统	15 000～30 000	80～120	全封闭	地上为主	B、C、Lc 型车	100
	10 000～15 000	70	部分封闭	地上为主	C、Lc 型车	75



微课
城市轨道交通分类

续表

分类名称	技术特征					
	运输能力/(人次·h ⁻¹)	设计最高速度/(km·h ⁻¹)	路权形式	敷设方式	车辆类型	列车最大长度/m
中低速磁浮交通系统	10 000~30 000	80~200	全封闭	高架为主	短定子直线异步电动机磁浮车辆	120
					长定子直线同步电动机磁浮车辆	
跨座式单轨系统	10 000~30 000	80~120	全封闭	高架为主	单轨 A、单轨 B、市域单轨车	120
悬挂式单轨系统	5 000~15 000	60~80	全封闭	高架为主	悬挂式单轨车辆	75
自导向轨道系统	5 000~20 000	60~80	全封闭	高架为主	自导向轨道车辆	75
有轨电车系统	5 000~12 000	60~70	开放式或部分封闭	地面为主	钢轮钢轨低地板车辆	75
					胶轮车辆	60
导轨式胶轮系统	5 000~12 000	60~80	全封闭	高架为主	胶轮车辆	75
电子导向胶轮系统	5 000~12 000	60~70	开放式或部分封闭	地面为主	胶轮车辆	60

三、城市轨道交通的制式

1. 城市轨道交通制式的种类

(1) 地铁系统。地铁系统泛指轴重较重(60 kg/m 以上)、高峰时单向客运量为 3 万~7 万人次每小时的大容量城市轨道交通。图 1-1 所示为石家庄地铁系统。

地铁系统是城市快速轨道交通的先驱,是由电力牵引、轮轨导向、轴重较重、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城市轨道交通。地铁系统中,车辆的最高速度可达



图 1-1 石家庄地铁系统

120 km/h,旅行速度在 30 km/h 以上,可 4~10 辆编组,运行最小间隔可低于 1.5 min;可由直流电动机、交流电动机、直线电动机等驱动。地铁系统的运量大、速度快、安全、准时、节省能源、不污染环境、节省城市用地,但建设成本高,建设周期长,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应该考虑修建地铁系统。地铁系统的主要技术参数见表 1-2。

表 1-2 地铁系统的主要技术参数

序 号	项 目	技术参数	序 号	项 目	技术参数
1	高峰单向运送能力/(人·h ⁻¹)	30 000~70 000	9	安全性和可靠性	较好
2	列车编组	4~8 节, 最多 11 节	10	最小曲线半径/m	300
3	列车容量/人	3 000	11	最小竖曲线半径/m	3 000
4	车辆构造速度/(km·h ⁻¹)	80~100	12	舒适性	较好
5	平均运行速度/(km·h ⁻¹)	30~45	13	城市景观	无大影响
6	车站平均间距/m	600~2 000	14	空气、噪声污染	小
7	最大通过能力/(对·h ⁻¹)	30	15	站台高度	一般为高站台, 乘降方便
8	与地面交通隔离率	100%			

(2)市域快轨系统。市域快轨系统是一种主要服务于城市与郊区、中心城市与卫星城、重点城镇间等,具有通勤客运服务功能的中、长距离的大运量城市轨道交通,如图 1-2 所示。市域快轨系统的服务范围一般在 100 km 之内,设计车辆的最高运行速度为 120~200 km/h,融入城市轨道交通网络,基于城市轨道交通运营管理模式,是舒适度较高的一种快速城市轨道交通。

市域快轨系统供电制式主要有 25 kV 交流供电、1 500 V 直流供电、750 V 直流供电以及双流制式,车型主要有市域 A、市域 As、市域 B、市域 D 等。

目前,国际上大型城市均争先恐后发展市域快轨系统,以期调整城市布局,缓解城市的交通和住房压力,实现中心城区与城市远郊的同城化。这种交通模式在日本、德国、澳大利亚等国已经有大量成熟的应用。例如,日本东京交通圈涵盖以东京为中心的 50 km 半径范围,由东京和周围 7 个县组成,市域快轨系统对于缓解白天以通勤、通学、购物为目的的客流起到了极其重要的作用。在我国,近年来,北京、上海、天津、广州等城市陆续开始进入郊区化发展阶段,工作在中心城区、居住在郊区的人群不断扩展,催使通勤交通也不断发展。此外,长株潭、温州、东莞等地区的卫星城发展迅速,客流“潮汐”现象非常明显。市域快轨系统将为城市轨道交通实现全制式覆盖,为我国市域快轨交通的发展打造一小时都市圈,为国家新型城镇化的发展做出重要的贡献。



图 1-2 北京新机场线市域快轨系统



(3)轻轨系统。轻轨系统是在有轨电车的基础上改造发展起来的城市轨道交通,如图 1-3 所示。反映在轨道上,轻轨系统是相对于铁路系统和地铁系统的一种荷载较轻的交通系统。轻轨系统是一个比较广泛的概念,国际公共交通协会(Union Internationale des Transports Publics,UITP)关于轻轨运营系统的解释文件中提到:轻轨系统是一种使用电力牵引、介于标准有轨电车系统和快运交通系统(包括地铁系统和城市铁路系统),用于城市旅客运输的城市轨道交通。

轻轨系统原来是采用轻型轨道的城市交通系统。轻轨系统最早使用的是轻型钢轨,现在已采用与地铁系统相同质量的钢轨,所以目前国内外都以客运量或车辆轴重区分地铁系统和轻轨系统。轻轨系统是指运量或车辆轴重(60 kg/m 以下)稍小于地铁系统的快速轨道交通。在《城市轨道交通工程项目建设标准》(建标 104—2008)中,把每小时单向客流量为 1 万~3 万人次的轨道交通定义为中运量系统,即轻轨系统。



(a) 中国武汉的轻轨系统



(b) 国外的轻轨系统

图 1-3 轻轨系统

(4)中低速磁浮交通系统。中低速磁浮交通系统是利用电磁力实现列车与轨道之间的无接触悬浮和导向,再利用直线电动机产生的电磁力牵引列车运行的一种新型城市轨道交通。磁浮列车按悬浮原理可分为常导吸型和超导斥型,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,用直线电动机产生牵引动力,主要在高架桥上运行,特殊地段也可在地面或地下隧道中运行。中低速磁浮交通系统具有爬坡能力强、转弯半径小、噪声低、列车加速及制动性能好、乘坐舒适等特点。

磁浮交通系统可分为高速磁浮交通系统和中低速磁浮交通系统两种。一般认为,高速磁浮交通系统相比于中低速磁浮交通系统的工艺技术更为复杂,悬浮能耗较大,对人体和环境都有强磁场影响,造价较高,仅适用于需要高速运行的区间,最高行车速度可达 500 km/h ;而中低速磁浮交通系统的应用范围广泛,在城市市区、旅游景区、城际线路、枢纽之间均有较好的适用性,车辆的最高运行速度可达 $80\sim 200\text{ km/h}$,未来将有较大的应用市场。

上海高速磁浮列车如图 1-4 所示。磁浮列车的结构如图 1-5 所示。北京首条磁浮轨道交通,S1 线中低速磁浮列车如图 1-6 所示。



图 1-4 上海高速磁浮列车

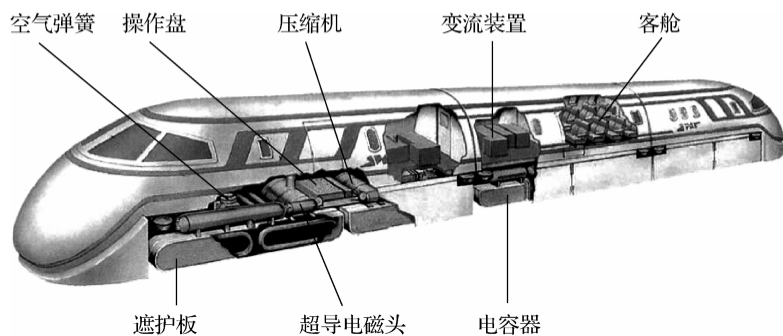


图 1-5 磁浮列车的结构



图 1-6 北京 S1 线中低速磁浮列车

(5)单轨系统。单轨系统是一种车辆与特制轨道梁组合成一体运行的中运量轨道运输系统,其轨道梁不仅是车辆的承重结构,也是车辆运行的导向轨道,又称为独轨系统。它与传统的钢轮钢轨运输系统完全不同,最大的特点是车体比承载轨道要宽。我国应用单轨系统的地区有重庆、上海、吉林等。

单轨系统是采用一条大断面轨道并全部为高架线路的轨道交通,通常分为跨座式和悬挂式两种,如图 1-7 和图 1-8 所示。跨座式单轨系统是车辆跨坐在轨道梁上行驶,轨道梁通常用预应力混凝土制成,车辆运行时走行轮在轨道上平面滚动,导向轮在轨道侧面滚动导向。悬挂式单轨是车辆悬挂在轨道梁下方行驶,轨道梁通常用钢材制成,车辆运行时走形轮



沿轨道走形面滚动,导向轮沿轨道导向面滚动导向。我国首条悬挂式单轨系统商业运营线于2020年6月6日在湖北恩施开建。



图 1-7 跨座式单轨系统



图 1-8 悬挂式单轨系统

单轨系统的车辆采用橡胶轮,电气牵引。跨座式单轨系统车辆的设计速度为 $80 \sim 120$ km/h,单向运送能力为每小时1万~3万人次;悬挂式单轨系统车辆的设计速度为 $60 \sim 80$ km/h,单向运送能力为每小时0.5万~1.5万人次。

(6)自导向轨道系统。自导向轨道系统是一种车辆采用橡胶轮胎在专用轨道上运行的中运量运输系统,如图1-9所示。自导向轨道系统的车辆沿着特制的导向装置行驶,车辆运行和车站管理完全由中央控制室计算机集中控制,可实现全自动化和无人驾驶,自动化水平高。自导向轨道系统在繁华市区采用地下隧道,在市区边缘或郊外采用高架结构,适用于城市机场专用线或城市中客流相对集中的点对点运营线路。自动导向轨道系统的车辆比地铁系统和轻轨系统的车辆体量小,一般编组2~6节。



(a) 自导向轨道车辆



(b) 自导向轨道

图 1-9 自导向轨道系统

自导向轨道系统与单轨交通系统有许多相同之处,最大的区别在于自导向轨道系统除有走行轨外,还设有导向轨。自导向轨道系统的导向系统可分为中央导向式和侧面导向式,每种导向系统又可细分为单用型和两用型两种。单用型是指车辆只能在导轨上运行;两用型则指车辆既可在导轨上运行,又可以在一般道路上行驶。自导向轨道系统在国外的应用较早,美国称其为客运系统(people mover system, PMS),法国称其为全自动捷运(véhicule automatique léger, VAL)系统,日本则称其为新交通系统(new transport system, NTS),

国内把自导向轨道系统称为旅客自动运输(automated people mover, APM)系统。

(7)有轨电车系统。有轨电车系统是使用电力牵引、轮轨导向、不超过5辆编组运行在城市路面线路上的低运量城市轨道交通,如图1-10所示。

有轨电车系统是较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。有轨电车系统具有造价低、建设容易的优点,一般采用直流电动机驱动,多与汽车和行人共用街道路权,受路口红绿灯的控制,因此受干扰多、速度慢、正点率低、噪声大、安全程度低,极易与地面道路车辆发生冲突而引起道路交通堵塞,故很多城市的有轨电车系统被取消或改良为轻轨系统。



(a) 大连有轨电车系统



(b) 上海新型现代有轨电车系统

图 1-10 有轨电车系统

(8)导轨式胶轮系统。导轨式胶轮系统是随着新技术的发展涌现出来的新的轨道交通方式,是基于传统胶轮导轨系统进行小型化研发而产生的新型的低运能胶轮导轨城市轨道交通,如图1-11所示。导轨式胶轮系统与其他交通方式以物理方式完全隔离,以高架敷设为主,具有独立的轨权,与其他交通方式不存在混行,属于全封闭系统;使用胶轮车辆,其牵引传动系统采用动力电池作为电源,实现无网供电。

(9)电子导向胶轮系统。电子导向胶轮系统是指电子控制的导向式胶轮系统,与机械导向式(导轨式)胶轮系统在车辆结构、路轨结构、功能配置等方面均有较大的区别。它通过电子导向、智能运控等技术手段实现车辆在预定的虚拟轨道上运行,一般采用可编组铰接胶轮车辆通过车厢主动协同控制在预定的轨迹线上(一般是道路上)运行,由橡胶车轮主动导向、承载和走行。电子导向胶轮系统的典型代表智轨如图1-12所示。



图 1-11 导轨式胶轮系统



图 1-12 智轨

2. 城市轨道交通制式的选择

城市轨道交通的不同制式有各自的特点和适用性，制式的选择应与功能定位和环境相适应。例如，地铁系统的运能大，适用于大运量、大中城市中心区域的骨干线路；有轨电车系统不享有专用路权，适用于低运量、中小城市的线路；胶轮系统爬坡能力强、噪声小，适用于转弯半径小、地形起伏大、环境噪声要求高的线路。从我国城市轨道交通规划发展现状看，由于建设地铁系统和轻轨系统审批的门槛较高，而建设有轨电车系统的审批程序相对简单，近年来有轨电车系统在全国各城市的发展较快。然而，有些城市的有轨电车系统占用了城市骨干交通走廊，在中心城区道路交叉口较多时很难实现信号优先，其功能定位和运能与公共汽车差异不大，与公交专用道相比反而浪费了道路资源。因此，有轨电车系统在交叉路口较多的中心城区骨干线路上的布置要慎重。胶轮系统（无论是单轨系统还是 APM 系统）虽然在单位牵引能耗上比钢轮钢轨系统要高，但不受黏着系数影响，在爬坡能力及震动噪声控制方面有优势，对线路可以采用高架敷设方式，车站动力照明方面的单位能耗较低，长期运营成本与钢轮钢轨系统相比不一定处于劣势。

总之，城市轨道交通制式的选择应与线路功能定位和环境相适应，各种制式都有其适用性。主要城市轨道交通不同制式的优缺点比较见表 1-3。

表 1-3 主要城市轨道交通不同制式的优缺点

城市轨道交通	优 点	缺 点	适用的区域
地铁系统	运量大，能耗低，技术成熟	噪声大，造价高	大、中城市中心区域
市域快轨系统	能耗低，技术成熟	震动噪声大	城市长距离郊区
轻轨系统	能耗低，技术成熟	震动噪声大	中、小城市
单轨系统	噪声小，爬坡能力强，转弯半径小	粉尘污染略高，胶轮易老化	中、小城市，专用路线
自导向轨道系统	转弯半径小，爬坡能力强，靠导向轮引导列车运行，易实现无人驾驶，自动化程度高	能耗略高，单位载客流量低	机场航站楼间、各交通枢纽间的短途摆渡
中低速磁浮交通系统	无震动噪声，爬坡能力强，转弯半径小，无污染，综合造价低且节能	车辆能耗略高	中小城市、大城市开发区、山地城市或旅游区
有轨电车系统	运量介于地铁系统和公共汽车之间，布线灵活，造价低	噪声大，运量与路权关系大	中、小城市，专用路线

四、城市轨道交通的组成

城市轨道交通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、实时性极强的复杂系统。

城市轨道交通包括线路、车辆、供电、通信、运营调度、自动售检票、客运服务、安全保障等诸多专业，各专业中又分别包含机械、电气、控制、自动化、计算机等多个工种。所有专业和工种必须有效联动，才能确保城市轨道交通系统的正常运营。各专业在城市轨道交通中发挥

着不可替代的作用。例如,列车是运送乘客的载具,但必须在已铺设完成的轨道线路上才能行驶;列车行驶依靠的是供电专业提供的电源;为保证列车行驶安全,必须有畅通及时的通信系统和准确无误的信号系统作为保障;乘客进出站、购票、上下列车都需要客运人员提供车站服务等。

由此可见,只有城市轨道交通涉及的专业都能确保各自工作正常,才能使城市轨道交通发挥作用。按照城市轨道交通工作目标和对象,可以将城市轨道交通涉及的专业分为设备保障和运营管理两大类。

1. 设备保障类

设备保障类的最大特点是为运营管理提供设备和技术保障,一般不直接与乘客“见面”。各专业利用技术先进、性能可靠、操作简便的专业设备,为城市轨道交通实现安全运送乘客至既定目标提供可靠的物质保障。设备保障类主要包括以下专业。

1) 线路工程

城市轨道交通采用的是电力驱动的轮轨系统,所以线路既是列车运行的支撑,也是电动列车驱动电路的组成部分,因而线路专业是整个乘客运送系统的基础。在城市轨道交通中,一般将隧道、桥梁、车站建筑等纳入线路工程的子系统。

2) 车辆

作为运送乘客的载具,列车的性能直接决定了运送乘客目标的实现质量。在乘坐城市轨道交通时,乘客除了在车站就是在列车上,乘客在途中的安全有赖于列车的安全运行;列车行进速度则直接决定了乘客到达的快捷和准点与否;车厢载客量、车厢硬件设备则决定了乘客出行过程中的舒适度。

3) 通信系统

通信系统的任务是建立一个能实现系统内指挥调度及公务业务联系的通道,如为乘客提供运营信息,为公安部门提供视频和无线资源,为消防管理部门提供无线资源等。有线通信和无线通信是通信系统的两个子系统。

4) 信号系统

信号是信息的表现形式,信息是信号的具体内容,可以认为信号是信息传递的一种手段。城市轨道交通通过信号实现行车指挥和列车运行现代化,保证列车运行的安全,提高运输效率。此外,信号系统需要利用信号将运营信息告知乘客,实现客流组织和完成运送乘客的任务。

5) 供电系统

电力是城市轨道交通正常运行的能源,由国家电网供应。供电系统不仅为城市轨道交通电动列车提供牵引用电,还为照明、通风、空调、电梯、防灾报警、通信、信号等运营服务设施提供电能。安全可靠又经济合理的供电系统是城市轨道交通正常运营的重要保障和前提,因此必须保证城市轨道交通供电系统正常运行,以免危及相关人员生命安全或造成重大财产损失。

6) 车站机电设备

车站机电设备包括车站的硬件设备系统和为乘客服务的设备系统两大类。属于前者有车站火灾自动报警系统(automatic fire alarm system, FAS)、车站环境与设备监控系统



微课
城市轨道交通
的组成



(building automation system, BAS)、车站给排水系统、车站低压配电及照明系统等;属于后者的有车站通风系统、车站空调系统、自动售检票(automatic fare collection, AFC)系统、自动扶梯系统、站台屏蔽门(platform screen door, PSD)系统等。车站机电设备的完好率将直接决定车站的安全和乘客直接感受到的舒适、方便、安全程度。因此,车站机电设备系统虽然不直接决定城市轨道交通的运营质量,但能充分体现城市轨道交通的服务质量,应给予充分重视。

2. 运营管理类

运营管理类的工作目标是为乘客提供安全、快捷、准点、方便和尽可能舒适的出行工具,所以,凡是直接涉及乘客出行的专业和工种,均应纳入运营管理的范围。

1) 行车管理

行车管理主要是对系统内所有列车的运行管理。城市轨道交通列车的运行是按运行图进行调度的,所以编制运行图、下达行车命令、突发事件时进行行车调整、发布有关行车组织的即时命令等均是行车管理系统的工作职责。

行车管理的主要工种包括运营调度、设备调度、车站值班员、列车驾驶员等。

(1)运营调度、设备调度一般集中在线路调度中心,负责全线的行车指挥。

(2)车站值班员岗位在车站,负责按运行图调度命令,对途经车站的列车进行正常行车操作或调整,对车站客流进行组织或疏导。

(3)列车驾驶员岗位在列车上,除了负责驾驶列车运送乘客外,还要通过列车广播、车厢显示屏等平台为乘客提供服务。当列车突发故障时,列车驾驶员要承担安全疏导乘客的任务。

2) 客运管理

客运管理是对乘客运送全过程的管理,是直接面向乘客的重要服务系统,服务对象是广大的乘客群,专业宗旨是为乘客提供优质服务,专业评价标准是乘客满意度。

客运管理包含两个重要子系统,即客流组织和客运服务。前者主要是组织乘客有序流动,后者是为乘客提供优质的服务,车站服务员(简称站务员)是服务提供者,其岗位在车站。

理论上,车站服务员是乘客出行过程中唯一能接触到的城市轨道交通工作人员,因此乘客通过车站服务员的言谈举止对轨道交通运营企业的工作质量进行评判。随着城市轨道交通各系统自动化技术的不断提高,目前已实现了乘客“自助式出行”的目标,即乘客可以依靠车站提供的各类信息指示,在“无人服务”的情况下自主完成出行。

3) 乘务管理

城市轨道交通列车乘务员指的是列车驾驶员,其处于城市轨道交通运营的第一线,肩负着行车安全的主要责任。因此,如何合理安排乘务员的作息时间、制定值乘方案、分配人员、进行教育培训及安全监督显得尤为重要。这些管理制度和措施的制定不仅要与实际运营相结合,而且要有一定的科学依据作为保障,做到人员精简高效的同时要确保运营的安全。

4) 票务管理

制定票价等运营政策,对车票(也称票卡)制作、车票出售、入站检票、出站检票、补票、罚款等营运信息进行有效的管理是票务管理的主要内容。只有通过安全、可靠和完备的自动售检票系统,才能有效地实施票务的清分和结算,所以票务管理是票务收入和结算的基础。

另外,城市轨道交通中安全运营始终是第一要务。广大乘客的生命安全、设备的安全运行、突发事件时的人员疏散和事故处理,以及反恐、防恐的措施制定和实施都属于安全管理

的工作范畴。按工作性质,安全管理可分为乘客和工作人员的人身安全管理、运行和服务设施的的安全管理和突发事件的应急处置三方面内容。

五、城市轨道交通的作用

城市轨道交通在城市公共交通中占有重要的地位,并发挥着重要的作用,具体表现如下。

(1)城市轨道交通是城市公共交通的主干线,是客流运送的大动脉,是城市生命线工程。城市轨道交通建成运营后,将直接关系到城市居民的出行、工作、购物和生活。

(2)城市轨道交通是世界公认的低能耗、少污染的“绿色交通”,是解决“城市病”的一把金钥匙,对于实现城市的可持续发展具有非常重要的意义。

(3)城市轨道交通是城市建设史上最大的公益性基础设施,对城市的全局和发展模式将产生深远的影响。为了建设生态城市,应把“摊大饼”式的城市发展模式改变为手掌形城市发展模式,而手掌形城市发展的骨架就是城市轨道交通。城市轨道交通的建设可以带动城市沿轨道交通廊道的发展,促进城市繁荣,形成郊区卫星城和多个副中心,从而缓解城市中心人口密集、住房紧张、绿化面积小、空气污染严重等城市通病。

(4)城市轨道交通的建设与发展有利于提高市民出行的效率,节省时间,提高生活质量。国际知名的大都市由于轨道交通事业十分发达方便,人们出行很少使用私人车辆,主要依靠地铁、轻轨等轨道交通,故城市交通秩序井然,市民出行方便、省时。

城市轨道交通经历了自 1863 年以来一个多世纪的发展,由于其技术成熟、安全可靠、形式多样、用途广泛,正在成为城市交通的骨干。

综上所述,城市轨道交通因其封闭、独立和自成体系的运营方式使安全、准点、快捷地运送乘客的目标得以实现;多专业、多工种的联动和新设备、新技术的应用是城市轨道交通的最大技术特点。



图文

城市轨道交通建设的必要性和充分性

任务二

城市轨道交通的发展与运营网络化

从城市和交通的发展历史来看,城市的规模与城市交通工具的技术进步密切相关,城市的直径一般就是当时最快的交通工具 1 h 运行的距离。美国科学史研究者屈菲尔(Trefil)提出:城市的规模取决于人们在其中移动的难易程度,即大部分人不愿意将 45 min 以上的时间花在一次出行上。例如,1819 年的伦敦,市区只有行人、手推车和数量不多的马车,因此当时的城市半径不超过 5 km;而如今的伦敦有了快速轨道交通,城市直径扩大到了 128 km。

随着世界各国城市化的发展,城市人口密集、交通拥堵、环境污染严重、能源匮乏、居民出行时间长、出行难等城市通病不断涌现,城市交通成为限制城市发展的主要问题。特别是第二次世界大战后,城市发展几乎是一个不断满足机动化的过程。然而,为了提高机动性,城市必须不断增加道路设施的供给。新的道路建设降低了出行时耗,但同时引发了新的出



行需求,在经过一段时间后又回升到新的交通拥堵水平。因此,城市总是在道路拥堵—增加运输能力—增加旅行速度—刺激城市延伸—增加旅行量—道路拥堵之间循环,而道路的增长始终跟不上汽车的生产速度。土地是一种不可再生的有限资源,道路不可能无限增长,这就需要一种运量中等、能耗低、占地少的交通形式来解决日益严重的交通拥堵问题,城市轨道交通应运而生。

一、世界城市轨道交通的发展

城市轨道交通的诞生和发展已有一百多年的历史,世界城市轨道交通的发展大致经历了以下几个阶段。

1. 城市轨道交通萌芽阶段(19 世纪初至 19 世纪 50 年代)

19 世纪以前,城市的交通以步行和乘坐马车为主。1642 年,法国人巴斯卡尔向法国政府提交了一份公共马车计划,很快得到了国王路易十四的许可,允许在巴黎的 5 条街上提供公共马车服务,城市公共交通从此诞生。公共马车(见图 1-13)为现代公共交通奠定了最基本的运营规则基础:有固定线路和班次,无论是否有乘客都要定点按时发车,乘客按里程付费等。

17 世纪末,马车在欧洲已被大量用于公共事业,成为当时陆地上最重要的大众化交通工具。1775 年,英国人约翰·乌特兰发明了有轨马车,旅客坐在简陋的车厢中,由两匹马拉着的车厢行走在铁制轨道上,这种马车铁道的营运线路当时仅铺设于郊区,可搭载重量双倍于普通马车的乘客和货物,而且这种在轨道上行驶的马车缓解了颠簸现象,乘坐较为舒适,如图 1-14 所示。



图文

世界城市轨道交通发展史



图 1-13 公共马车



图 1-14 有轨马车

由于有轨马车在钢轨上行驶,比无轨公共马车速度更快,既可以提高行驶速度及平稳性,又可以利用由多匹马组成的马队来提高牵引力、增大车辆规模、降低运输成本及票价,因而大受欢迎。1832 年,约翰·斯蒂芬森在美国纽约建立了第一条市区有轨马车线路,前后共经营了 3 年。法国南特的埃米尔·卢巴是第一个提出将马车轨道嵌入路面的。1852 年,卢巴负责修建了纽约 6 号街的马车轨道,那时纽约市内只有两辆有轨马车。1853 年,卢巴为巴黎修建了第一条嵌入式凹形马车轨道,其终点站分别为协和广场和位于巴黎西郊的圣克鲁。

同一时期,蒸汽机车也在发展。1804 年,英国人理查德·特里维西克设计制造的蒸汽

机车“新城堡号”在轨道上试车成功,如图 1-15 所示。这是世界上第一条成功行驶蒸汽机车的轨道,但由于机身笨重,时速仅为 8 km,远不如有轨马车。而且由于锅炉安装不当,机车震动大,竟把铁轨多处震断。1808 年,特里维西克为了展示改进后的机车,特意在伦敦铺设了圆形轨道,让机车在轨上行驶。有趣的是,圆形轨道外侧设置一圈围屏,只留一个入口,观看者每人需付 5 先令的入场费方可入内。当时 5 先令相当于一个人一周工资的 1/2,因此最初的机车只能是英国贵族的观赏物。但是实践证实了光滑的铁的机车驱动轮可在光滑的铁轨上运行而不会空转,机车可以拖动比自身重得多的物体。

世界上最早开始成批生产的蒸汽机车是布伦金索普于 1812 年设计制造的。他的机车主要用于货运,安装的是普通锅炉,速度慢,行走在有齿轨道上。布伦金索普机车从 1812 年起在英国利兹到米德尔顿之间的铁路上正式开始商业运行,直到 1853 年被内燃机车取代而停止。1827 年,法国的马克·塞甘取得管式锅炉专利,这是蒸汽机车发展史上的重大进步。1829 年,他制造出管式锅炉蒸汽机车,其虽然具有较大的牵引力,但时速从未超过 10 km。1825 年,哈格里斯、贝德莱和斯泰潘制造出两气缸蒸汽机车,这是世界上最早的客运列车,时速为 12.8 km,如图 1-16 所示。

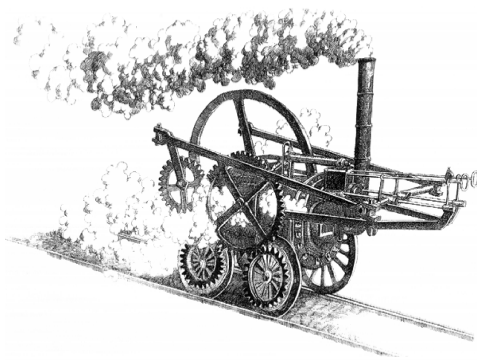


图 1-15 “新城堡号”蒸汽机车

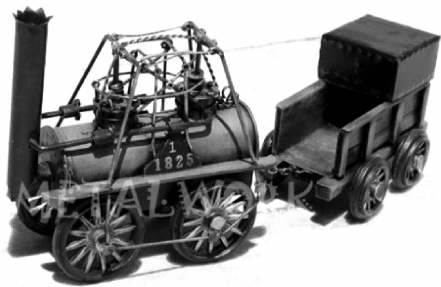


图 1-16 两气缸蒸汽机车

由于早期蒸汽机车存在速度慢、震动大、不安全等弊端,习惯了有轨马车的人们始终对蒸汽机车表示怀疑和不满。当时英国最快的有轨马车时速超过 40 km,因此 1825 年英国出版的《评论季刊》甚至嘲讽“期望火车的速度比马车快 2 倍,有什么比这更为荒谬、可笑”。当然,作为机械牵引动力的蒸汽机车最终以事实战胜了有轨马车,得到了人们的认可,后逐渐被内燃机车和电力机车所取代。

2. 城市轨道交通诞生起步阶段(19 世纪 60 年代至 19 世纪后期)

工业革命推动了原有城市规模的扩大和新工业城市的兴起,城市人口急剧增长。虽然有轨马车比无轨公共马车有了很大的改进,但随着城市人口及车辆的增加,在平交道口出现的交通堵塞问题日益严重。交通的拥堵使人们想到了将交通线路往地下铺设,以便很好地解决客流膨胀与土地紧张的问题。19 世纪中叶的伦敦交通十分拥堵,1843 年,有“地铁之父”之称的英国人查尔斯·皮尔逊建议修建地铁,经过 20 年的酝酿和建设,世界上第一条地下城市铁路——地铁于 1863 年在伦敦正式开通,如图 1-17 所示。它标志着城市轨道交通在世界上正式诞生。



当时使用蒸汽机车牵引,为了把蒸汽机车排出的浓烟引出地下,在建好的隧道上设置了通风孔,车站甚至没有顶棚,但仍由于排风不畅,乘客常常因烟熏感到气闷,有的人甚至昏倒在地铁中。即便如此,由于它不像地面道路那样拥堵,还是受到了广大市民的欢迎。这条铁路第一年便运送了 950 万人次的旅客,成为伦敦多数市民可以负担和使用的公共交通工具。1870 年,伦敦在地面上铺起了铁轨,把马车轱辘架在了铁轨上,这样,两匹马就可以拖动能够承载 50 人的车厢,形成了大型的地上公共交通设施。这种被称为“地上铁”的公共马车和地下铁路共同搭建起了伦敦历史上的第一个公共交通构架。



图文
世界上的第一
条地铁

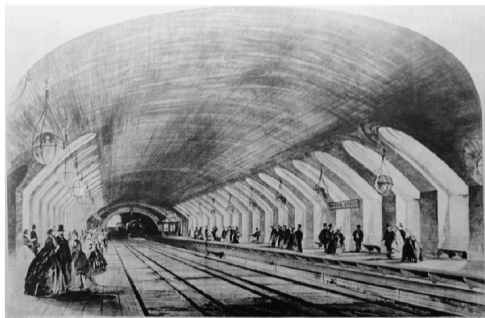
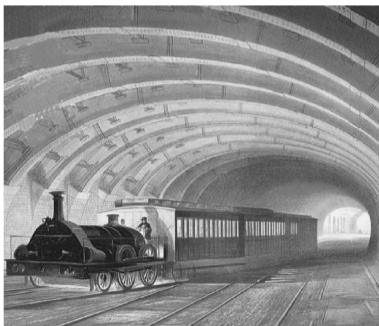


图 1-17 世界上的第一条地铁

1863 年至 1899 年,英国的伦敦和格拉斯哥、美国的纽约和波士顿、匈牙利的布达佩斯、奥地利的维也纳及法国的巴黎共 5 个国家的 7 座城市先后建成了地下铁道。

1870 年,美国第一条在曼哈顿格林威治大街及第九大道的高架快速轨道交通线开始运营。

1870 年,比利时工程师格拉姆发明了直流电动机。与此同时,德国人冯·西门子开始研究由电动机驱动的车辆,并制成了世界上第一辆有轨电车,如图 1-18 所示。



图 1-18 西门子发明的世界上第一辆有轨电车

1881 年,德国西门子公司在柏林近郊铺设了第一条电车轨道,双轨中的一条铁轨为相线,另一条铁轨为回路。但这种线路会给公共安全埋下安全隐患,于是西门子采用将输电线路架高的方式来解决供电和安全问题。

1884 年,美国人 C. J. 范德波尔在多伦多农业展览会上试用有轨电车运载乘客,如图 1-19

所示。他试用的有轨电车采用一根带触轮的集电杆和一条架空触线输电,并以钢轨作为另一回路的供电方法。1888年,美国人斯波拉格在美国弗吉尼亚州里兹门德市的几条有轨马车路线上改用电力牵引车辆行驶,并对车辆电动机的悬挂方法、驱动方式、集电装置和控制系统进行了改进,这是世界上第一个投入商业运行的有轨电车系统。从此,有轨电车开始在世界范围内迅猛发展起来。

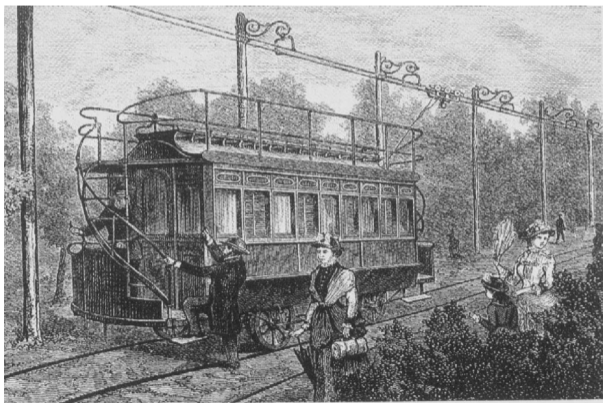


图 1-19 多伦多农业展览会上的有轨电车

3. 城市轨道交通初步发展阶段(19 世纪末至 20 世纪 20 年代)

19 世纪末,电力机车牵引的方式开始进入城市轨道交通领域,大大提升了城市轨道交通的实用性,使城市轨道交通进入了一个较为快速的发展时期。

在这一阶段,欧美的城市轨道交通发展较快,13 座城市建成了地铁,还有许多城市建设了有轨电车。世界上第一条地铁的诞生为人口密集的大都市如何发展公共交通提供了宝贵的经验。

1890 年,在英国伦敦,第一条使用电力机车牵引的地下铁道建成。1896 年,匈牙利布达佩斯修建了欧洲最早的电气化地铁,地铁开始进入电力牵引时代。电气化地铁解决了地铁通道的空气污染问题。环境条件的改观使地铁显示出了强大的生命力。这条地铁距离地面只有几米,平行运行于该市最主要的街道——安德拉什大街。时至今日,这条经改造后的线路仍在使用中。该线就是 1 号红线地铁,当地居民称之为“小地铁”。它是欧洲大陆上的第一条地铁,在整个欧洲则居英国之后。

1897 年,6 节编组的多节电动列车开始在美国芝加哥的南侧高架线上运营。1904 年,美国纽约地铁巴尔蒙线开通,被誉为“纽约地铁之父”。美国纽约成为美洲最早建立地铁系统的城市,纽约早期地铁如图 1-20 所示。1913 年,阿根廷的布宜诺斯艾利斯建成地铁系统,成为拉丁美洲最早建立地铁系统的城市。

1890—1920 年是有轨电车在世界范围大发展的时期。在第一次世界大战之前,世界上几乎每座大城市都有有轨电车。由于有轨电车的路轨是固定的,车辆在行驶过程中不能让路,在交通拥挤的街上往往会造成诸多不便,因此一些城市很快便废弃了有轨电车。不过,欧洲大陆的许多城市至今仍保留了有轨电车。

有轨电车是于 19 世纪末进入我国的。1899 年,德国西门子公司在北京修建了马家堡至



永定门的有轨电车线路,但在 1900 年义和团起义进攻北京时被拆毁。1906 年,天津第一条有轨电车线路投入运营,成为我国第一个拥有有轨电车的城市,如图 1-21 所示。随后,上海、大连、北京、沈阳、哈尔滨、长春和香港等城市相继修建了有轨电车线路。



图 1-20 纽约早期地铁



图 1-21 天津早期有轨电车

4. 城市轨道交通的停滞萎缩阶段(20 世纪 30 年代至 20 世纪 40 年代末)

在这一阶段,一方面由于汽车工业的发展和第二次世界大战的爆发,另一方面由于城市轨道交通的投资大、建设周期长等,城市轨道交通的发展呈现出停滞甚至萎缩的局面,特别是在地面行驶的有轨电车系统,在这一时期被大量拆除并被汽车所取代。例如,1939 年美国有轨电车线路的长度由原来的 32 180 km 锐减为 4 344 km;1912 年美国有 370 座城市建有有轨电车,到了 1970 年只剩下 8 座城市保留了有轨电车。而有轨电车的萎缩促使人们更加依赖于汽车。

虽然出现了停滞萎缩现象,但这一时期仍有一些国家新建了城市轨道交通。例如,1926 年,澳大利亚悉尼开通了隧道电车,拉开了澳大利亚建立城市轨道交通的序幕;1927 年,日本东京开通了浅草至涩谷的地下铁道线,其成为亚洲最早的地下铁道;1935 年,莫斯科第一条地铁通车投入运营。

5. 城市轨道交通复苏阶段(20 世纪 50 年代至 20 世纪 60 年代末)

第二次世界大战后,各国经济开始恢复。这一阶段由于汽车的过度增加,道路交通拥堵、事故频繁、能源过度消耗、尾气和噪声污染等一系列社会问题日益突出。人们于是将解决城市交通问题的注意力转移到占地面积小、污染少、运力大的城市轨道交通上,许多城市开始兴建城市轨道交通。

在此期间,一些新型的城市轨道交通形式相继出现:1959 年,美国的跨座式轻轨铁路开始运营;1961 年,独轨铁路在意大利国际劳动展览会开始运营。同时,加拿大的多伦多、蒙特利尔,意大利的罗马、米兰,美国的费城、旧金山,日本的名古屋、横滨,我国的北京等 30 座城市相继建成了地铁。其中,我国北京第一条地铁线于 1969 年建成通车,线路全长 23.6 km。

6. 城市轨道交通高速发展阶段(20 世纪 70 年代至今)

第二次世界大战后,经过短暂的经济恢复,世界经济高速发展,城市人口高度集中,这就要求轨道交通高速发展以适应日益增加的客运需求。于是,很多国家确定了优先发展城市轨道交通的方针,有的国家甚至立法解决城市轨道交通的资金来源问题。这一切都标志着城市轨道交通进入了高速发展阶段。

20 世纪 70 年代和 80 年代,各国地铁建设进入高峰期。据日本地铁协会统计,到 1999 年,全世界已有 125 座城市建成地铁,线路总长度超过 7 000 km,其中约有 5 600 km 是在第二次世界大战后特别是 20 世纪 70 年代建成的,发达国家的主要大城市(如纽约、芝加哥、伦敦、巴黎、柏林、东京、莫斯科等)已经完成了地铁网络的建设。

进入 21 世纪,发展中国家城镇化进程加快。发展中国家为解决城市交通问题,借鉴了 20 世纪发达国家发展城市轨道交通正反两方面的经验。21 世纪将是发展中国家城市轨道交通成网的世纪。

截至 2020 年年底,全球有 77 个国家和地区的 538 座城市开通城市轨道交通,运营里程超过 33 346 km。其中,57 个国家和地区的 178 座城市开通地铁,总里程达 17 584.77 km;23 个国家和地区的 71 座城市开通轻轨,总里程达 1 586.85 km;49 个国家和地区的 305 座城市开通有轨电车,总里程达 14 174.75 km。

在地铁高速发展的过程中,世界各国地铁各具特色。莫斯科地铁是世界上较为豪华的地铁,有欧洲“地下宫殿”的美称,如图 1-22 所示。天然的石料、欧洲的传统灯饰与莫斯科气势恢宏的各类博物馆交相辉映,简直是一座艺术博物馆。市区 9 条地铁线路纵横交错,充分体现了其城市轨道交通规划和建筑业的一流水平。



图文
莫斯科地铁

图 1-22 莫斯科地铁

美国纽约地铁有 30 条线路、472 座车站,堪称世界上地铁线路和车站最多的城市,全天 24 h 运营。我国北京地铁大兴机场线是当今世界上速度最快的地铁,最高速度达 160 km/h;上海地铁是总运营里程最长的地铁,运营线路共 19 条,运营里程为 772 km。法国巴黎地铁是世界上层次最多的地铁,连地面大厅共有 6 层(一般只有 2 或 3 层),地铁建筑精致美观。其行车、管理都实现了自动化,控制系统非常先进,如图 1-23 所示。法国里尔地铁是当今世界上最先进的地铁,全部由计算机控制,无人驾驶,轻便、省钱、省电,车辆行驶中噪声、震动都很小,高峰时每小时通过 60 列,为世界上行车间隔最短的全自动地铁。

新加坡地铁车站和线路清洁明亮、一尘不染,是世界上最安全、最清洁、管理最好的地铁之一,如图 1-24 所示。



图 1-23 巴黎地铁



图 1-24 新加坡地铁

由于地铁造价高昂,建设进度受财政和其他因素的制约,因此西方大城市在建设地铁的同时,重新把注意力转移到地面轨道上来,利用现代高科技开发了新一代噪声低、速度快、转弯灵活、乘客上下方便,甚至照顾到老人和残疾人的低地板新型有轨电车、独轨电车和磁浮列车。在线路结构上,采用了降噪技术措施。在速度要求较高的线路上,采用专用车道;与繁忙道路交叉处,进入半地下或以高架交叉,互不影响;对速度要求不高的线路,可与道路平齐,与汽车混合运行。

总之,城市轨道交通的高速发展既方便了居民出行,又引导了城市发展,在节约资源、能源与环保等方面具有比较大的优势,还能促进沿线土地开发,加快城市发展,产生明显的国民经济效益、社会效益和生态效益。特别是进入 21 世纪后,城市轨道交通的建设和运营实践都证明,轨道交通的发展对解决大城市交通拥堵,提高居民生活质量和环境质量,调整城市布局结构和产业结构及拉动城市社会经济持续发展都具有重要意义。

二、我国城市轨道交通的发展

我国城市轨道交通的发展可以划分为早期有轨电车交通时代和现代城市轨道交通时代。

1. 早期有轨电车交通时代

我国城市轨道交通的产生是从有轨电车开始的。最早的有轨电车出现于 20 世纪初的北京,20 世纪 50 年代我国有轨电车的发展达到了高峰。北京、上海、天津、哈尔滨、长春、大连、鞍山等诸多城市都建成了多条有轨电车,它在我国城市交通中发挥了历史性的作用。

由于有轨电车与城市的发展存在诸多矛盾,因此我国有轨电车同国外一样从 20 世纪 50 年代开始逐步被拆除。至今仍有有轨电车运营的城市只剩下香港、大连、长春、鞍山,而大连、长春的有轨电车正在被改造为轻轨的一部分。北京前门大街已恢复有轨电车线路,但仅用于观光旅游。

2. 现代城市轨道交通时代

我国现代城市轨道交通是以 1965 年 7 月 1 日开工建设的北京地铁为开端的,发展至今大致经历了四个阶段。

(1)起步阶段(20 世纪 60 年代至 80 年代初)。这一时期,我国先后于 1969 年在北京和 1976 年在天津开通了两条地铁。上海从 20 世纪 60 年代进行了地铁的研究和试验,并建成

一段试验段。这一时期兴建地铁的主要目的是用于防空备战,完全靠政府补贴运行。这一时期的地铁施工,无论是车站建设还是区间建设,均采用明挖法。“文化大革命”的几年间,地铁建设基本停顿。1969年10月1日,北京地铁1号线建成通车试运行。1979年10月,香港第一条地铁线路开始运营。

(2)平稳发展阶段(20世纪80年代中期至2000年)。这一时期,中国开始了改革开放的进程,地铁的建设也由服务于战备转为服务于经济发展和城市客运。伴随着经济的发展,继北京、天津之后,上海、广州也修建了地铁。这一时期,我国内地新增地铁运营里程120 km。香港地铁在这一时期得到了迅猛的发展,完成了现有7条线路的建设,并跻身世界城市地铁系统的前列。1996年,台北市修建了第一条城市轨道交通线路,拉开了台湾省修建城市轨道交通的序幕。

(3)快速发展阶段(2000—2018年)。进入21世纪,我国经济的迅猛发展为地铁建设带来了重大机遇,各大城市地铁项目竞相立项开工,全国各地城市轨道交通建设进入热潮。截至2018年年底,全国开通城市轨道交通运营的城市达35个,运营线路里程达5 761.4 km,有63座城市的轨道交通线网获得国家发改委批复。

(4)智慧城轨发展阶段(2018年至今)。

①2018年7月,国务院办公厅发布《国务院办公厅关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见》(国办发〔2018〕52号),指出要坚持“量力而行,有序推进”“因地制宜,经济适用”“衔接协调,集约高效”“严控风险,持续发展”的基本原则,“完善规划管理规定”“有序推进城市项目实施”。该举措使国内前期快速发展的城市轨道交通有所降温。

②2019年9月,习近平总书记在考察北京地铁大兴机场线时发表的重要讲话指明了城市轨道交通的发展方向。在新一轮科技革命和产业变革的浪潮推动下,我国城市轨道交通行业信息化建设步入快速发展阶段。把智慧城轨建设作为交通强国的重要支撑和智慧城市建设的先导工程,凝聚共识,大力推进。

③2020年3月,中国城市轨道交通协会印发《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》(简称《纲要》),以此作为今后一个时期(2020—2035年)引领我国智慧城轨建设的指导性文件。《纲要》指出,智慧城轨的内涵是“应用云计算、大数据、物联网、人工智能、5G、卫星通信、区块链等新兴信息技术,全面感知、深度互联和智能融合乘客、设施、设备、环境等实体信息,经自主进化,创新服务、运营、建设管理模式,构建安全、便捷、高效、绿色、经济的新一代中国式智慧型城市轨道交通”。智慧城轨建设蓝图如图1-25所示。

《纲要》同时指出通过“两步走”实现智慧城轨建设的战略目标:第一步,2025年,中国式智慧城轨特色基本形成,跻身世界先进智慧城轨国家行列;第二步,2035年,进入世界先进智慧城轨国家前列,中国式智慧城轨乘势领跑发展潮流。

根据中国城市轨道交通协会的统计,截至2022年年底,我国大陆地区共有55座城市开

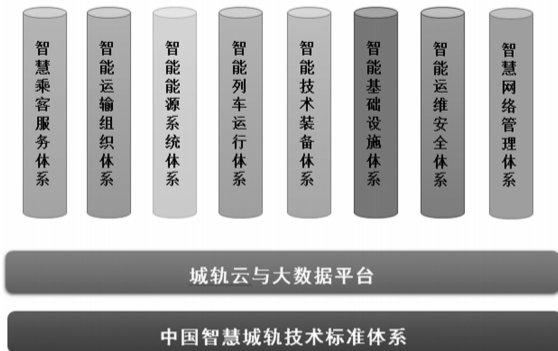


图 1-25 智慧城轨建设蓝图



通城市轨道交通运营线路 308 条,运营线路总长度为 10 287.45 km。其中,地铁运营线路总长度为 8 008.17 km,占比 77.84%;轻轨运营线路总长度为 219.75 km,占比 2.14%;跨座式单轨运营线路总长度为 144.65 km,占比 1.41%;市域快轨运营线路总长度为 1 223.46 km,占比 11.89%;有轨电车运营线路总长度为 564.77 km,占比 5.49%;磁浮交通运营线路总长度为 57.86 km,占比 0.56%;自导向轨道系统运营线路总长度为 10.19 km,占比 0.10%;电子导向胶轮系统运营线路总长度为 34.70 km,占比 0.34%;导轨式胶轮系统运营线路总长度为 23.90 km,占比 0.23%;无悬挂式单轨。拥有 4 条及以上运营线路,且换乘站有 3 座及以上的城市 26 个。

截至 2022 年年底,我国大陆地区共有 51 座城市(个别由地方政府批复项目未纳入统计)有城市轨道交通项目在建,在建线路总规模 6 350.55 km(含个别 2022 年当年仍有建设进展与投资发生的已运营项目和 2022 年当年建成投运项目)。

三、城市轨道交通运营网络化

城市轨道交通逐渐成为市民出行的首选公共交通方式。但随着城市的发展,城市地域越来越大,单一的轨道交通线路显然难以满足市民日益增长的出行需求,于是同一城市中出现了“三条以上走向固定的运营线路,通过换乘车站可以进行不同线路间转换”的运营网络。城市轨道交通网络化运营将实现网、线、站之间的互联、互通和资源共享,继而形成规模更大、可达性更强、覆盖面更广的客运网络,有助于解决大城市所面临的“出行难”问题,因此必然成为城市轨道交通的发展趋势。

1. 城市轨道交通网络成型的基本条件及效率

城市轨道交通建设需要巨额的资金和一定的建设周期,因此,在城市轨道交通建设的过程中一般遵循“根据规划,逐条建设,依次投运,形成网络”的建设规律,城市轨道交通的网络化运营是逐步形成的。

1) 城市轨道交通网络成型的基本条件

《城市轨道交通行车组织规则》(JT/T 1185—2018)对城市轨道交通网络化运营的定义是“建立在多线路组成的城市轨道交通线网的基础上,旨在高效满足出行者需要的安全、可持续的运输组织方法与经营行为的总称”。

多线路组成的线网具备的特征有:线路数为 4 条及以上,线路关联并形成网格状,线路基本连通、覆盖城市中心城区;基本实现中心城区 1 km 半径内能找到城市轨道交通车站,站点布局可达性强;换乘站为 3 座及以上,不同线路间可实现无障碍换乘。

(1) 线路数量。每一条独立运营的城市轨道交通线路有至少 2 座运营起始车站。位于两座起始车站中间的车站称为中途车站或中间站。2 条运营线路只有 4 座起始车站,因此,即便有较多的中间车站,也终因线路覆盖区域太小而难以形成有效的运营网络。由 4 条以上线路形成的运营网络至少有 8 座不同的起始车站,只要规划合理,一般可以形成有一定覆盖面的运营网络。当然,运营线路越多,网络覆盖的区域越大,市民出行越方便。

(2) 换乘条件。换乘车站和多条独立运行的轨道交通线路是构成城市轨道交通网络的基础。换乘车站是 2 条以上独立运行的轨道交通线路共有的车站,设有通往各独立运行线路候车站台的连接区域,通过连接区域乘客可以转乘其他不同线路的列车。这类具有换乘功能的车站就称为轨道交通换乘车站。轨道交通换乘专指网络内不同线路间乘客的换乘,



不包括轨道交通与其他交通工具的换乘。

2)城市轨道交通网络的效率

城市轨道交通网络应承担 $1/3$ 以上的城市出行客流总量。

城市轨道交通的总客流量与公交客运总量之比直接显示出城市轨道交通在城市公共交通中的作用。城市轨道交通虽然有快捷、准点、大运量等特点,但是其覆盖面、便捷程度、候车时间等因素都将直接决定人们的乘坐愿望,因此城市轨道交通网络的运量占城市客流总量的比例就成为衡量城市轨道交通网络所发挥作用的一个重要参数。在城市公共汽车、出租车和轨道交通三大系统中,后来居上的城市轨道交通的客运总量能否逐步替代另外两类公共交通系统,运输总量是否已经突破 $1/3$ 就成为判断城市轨道交通网络是否已经形成的关键指标之一。

综上所述,4条以上的线路、互通的换乘是构成城市轨道交通网络的要素,承担的总客流则是对城市轨道交通网络效率的评判依据。

2. 城市轨道交通网络化运营的特点

随着城市轨道交通网络化运营从小型线网向大型线网过渡,线网组成结构的复杂程度越来越高,给运营管理带来的压力和挑战越来越大,主要表现为如下。

(1)整个网络的客流叠加效应愈发明显,线网总客流量出现跳跃式增长,运营安全保障和客运服务压力与日俱增。

(2)任何一条线路出问题都将“牵一发而动全身、牵一点而动全线、牵一线而动全网”,应急处置面临严峻的挑战。

(3)公众对于城市轨道交通出行的依赖性和关注度日趋增强,对服务质量的要求日益提高,舆情应对压力也越来越大。

(4)管理区域和跨度不断增大,不同线路间的设备制式不一、系统新旧混搭、技术标准新老交叉等问题日益凸显。

(5)线网运营安全生产组织和服务产品交付质量难以聚焦明确的主体责任单位,运营管理转型升级需求迫切。

3. 城市轨道交通网络化运营管理

城市轨道交通网络化运营的本质转变是由量到质的线性过渡,促使运营单位必须全面革新管理思路、管理体制、管理层次。这是一个系统性强、复杂度高、延续性长的全局性问题,应着眼于城市轨道交通网络化管理的统一性和联动性进行统筹和谋划。

1)网络化的行车组织

城市轨道交通处于单线运营和小型线网阶段,一般在每1条或2条线路设置一个操作控制中心(operation control center,OCC)。但进入中、大型线网阶段,应建立城市轨道交通综合运营协调指挥中心,作为网络化运营协调、监管、统计和应急等功能一体化中心,以适应多条线路交织运输的行车组织保障和信息共享要求。各线路OCC集成在轨道交通指挥中心内,仍然负责本线的行车组织和施工作业。网络化行车组织呈多样化和复杂化特征,列车共线、Y形和大小等交路叠加运用,对运营单位制定运输方案和编制列车运行图提出更高的要求。根据线路功能和分布、客流大小和出行特点、设备系统参数和车辆车型编组等要素,要着眼全网统筹谋划运输方案,周密考虑市区线、郊区线的运能匹配;在编制列车运行图时



可研究采用非平行图等模式,并按工作日、双休日、节假日和特殊运营日编图,重点加强首末班车的有效衔接,最大限度地利用全网正线备车功能,提高 OCC 加开削峰列车的机动性和灵活性。

2)网络化的客运服务

网络化的客运服务因换乘枢纽多、换乘客流大,给整体的客运组织带来挑战,换乘客流的流畅组织和突发情况下的信息流转引导客流流向是关键。为达到贴心的网络化客运服务目标,可从四个方面加强统筹,即换乘车站的设备布局及客流组织,线网末班车时刻表衔接优化研究,客服中心智能、便捷、贴心服务,线网客运服务信息的流转与发布。

3)网络化的票务管理

网络化的线路下经营主体往往是多家不同的单位,并随着移动支付技术的不断发展而变化。为实现清晰的网络化票务管理,可从六个方面加强优化,即票务政策、规则的研究,票务数据统一清分、清算,票卡管理、收益审核管理,自动售检票线网的标准化接入,移动支付方式结算研究,网络票务清分系统与线路中心(line center, LC)之间的连接。

4)网络化的维修组织

城市轨道交通维修组织一般可分为自主修和委外修。前者适用于专业化程度高、可靠性和安全性要求高的设备系统,主要包括信号、车辆、接触网等;后者则适用于市场化程度高、不涉及运营单位核心技术的设备系统,主要有电梯、扶梯、自动售检票系统等。这两种模式与城市轨道交通网络化规模并无直接的关联,无论是单线还是大型线网,运营单位都可以从沉淀关键技术、培养人才梯队、经营成本及效益等不同的维度综合考量,普遍采取自主修与委外修相结合的维修组织模式。进入网络化阶段后,运营维修组织将更强调资源配置。对于常规设备系统的计划修、故障修和日常维护保养资源,可以下沉至正线站点和工班,其职责主要在于保持设备正常工况,一旦出现故障能够快速出动、快速响应、快速排除,最大限度地维持运营服务水平,普遍采用委外修组织模式;重要设备系统的大架修、发生故障后必要的离线修等一般采用自主修,运营单位根据设备系统属性、种类和分布线路等要素,在线网不同车辆基地内配置独立的维修资源,其职责主要在于对离线故障设备进行彻底修复,同时能锻炼、培养和储备核心技术力量。

5)网络化的服务标准

城市轨道交通网络化运营的产品是为公众提供的出行服务。运营单位应以年度或半年为周期组织乘客满意度调查,了解全网乘客结构及其需求特征,通过提升运能、优化换乘、完善设施、美化环境、加强诱导等措施,持续提高线网服务满意度。同时,要调查和收集非城市轨道交通乘客的意见,分析其不选择城市轨道交通出行的原因,以改善城市轨道线网规划设计,加大对客流的吸引力度。另外,运营单位要突出研究网络化条件下的服务标准提升,重点提升换乘服务标准,保障乘客在各种情况下能够有序流动,实现换乘或进出站。要建立健全线网服务质量评价标准,以乘客的视角定期开展运营现场服务监督检查,并结合网络正点率、运行图兑现率、设备可靠度和乘客最大等待时间等客观指标,搭建全面、有效、立体的网络化运营服务评价机制,促进全网各线不断提升服务水平。

6)网络化的应急抢险

城市轨道交通在单线运营和小型线网运营阶段普遍以“线路为单位、按专业划分”为指导原则建立应急抢险体系。进入网络化阶段后,运营单位一般按照“区域组团、网格辐射”的

原则创建线网应急抢险中心,由车辆、信号、供电和轨道等专业组织,依据有效覆盖半径对全网区域统筹布局应急分队,配备高质量救援器材、专业设备和机动车、抢险车。其日常工作职责聚焦于线网应急抢险训练,不断组织演练并检讨完善预案。一旦线网某处突发事件,对应区域就近的应急分队能立即赶赴现场启动救援程序,并承担应急抢险处置总指挥的任务。

7) 网络信息化建设

以办公网络、生产网络、对外服务网络为载体,推进信息化与运营生产融合,强化信息系统集中集成,为网络化运营生产提供强有力的支撑,对外提供优质服务,最终形成网络化的信息化建设一体化方案,横向上促进系统互联互通。建立信息化标准,通过业务标准、管理标准、数据标准、技术标准等,充分集成整合现有网络、硬件、数据、应用、人员等各方面资源,使信息资源发挥最大效用,纵向上推进专业系统拓深。

学习评价

1. 简述城市轨道交通的概念。
2. 简述城市轨道交通的特点。
3. 简述城市轨道交通的种类。
4. 列表比较各种城市轨道交通的特点。
5. 智慧城轨的内涵是什么?
6. 简述城市轨道交通网络化运营的特点。

实训任务

1. 调研你所在城市(或某一城市)的城市轨道交通建设的情况,具体包括城市轨道交通的类型、特点、线路数、规划情况等。
2. 了解国内各城市轨道交通开通运营的情况,具体包括城市轨道交通的类型、线路数、运营里程、营收情况等。