



铁路科技图书出版基金

城市轨道交通工程

CHENGSHI JIAOTONG GUIDAO GONGCHENG

陈 嵘 韦 凯 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助出版

城市轨道交通工程

陈嵘 韦凯 编著

中国铁道出版社

2018年·北京

内 容 简 介

轨道工程师城市轨道交通技术体系中的基础与核心领域之一。近年来,伴随着我国城市轨道交通发展取得的巨大成就,轨道工程领域新技术、新工艺和新结构不断涌现。本书是在我国城市轨道交通大规模建设的历史背景下,以轮轨接触式运输为根本出发点,系统地介绍了城市轨道交通工程的基本知识,吸纳了当今世界轨道工程的最新发展成果,对城市轨道交通工程知识进行的归纳和提炼,将其以基本原理和方法的形式融入全书的各个章节。

本书内容不仅理论方法先进;而且工程应用性强,适合于城市轨道交通专业的科研、设计及工程技术人员阅读参考,并可兼作高等院校相关方向的研究生和本科生教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通工程/陈嵘,韦凯编著. —北京:
中国铁道出版社,2018.3
ISBN 978-7-113-23792-9

I. ①城… II. ①陈… ②韦… III. ①城市铁路—
铁路工程 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 220545 号

书 名:城市轨道交通工程
作 者:陈 嵘 韦 凯 编 著

责任编辑:邱金帅 张 婕 编辑部电话:010-51873347
封面设计:崔 欣
责任校对:苗 丹
责任印制:高春晓

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:北京建宏印刷有限公司
版 次:2018年3月第1版 2018年3月第1次印刷
开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:23.5 字数:571千
书 号:ISBN 978-7-113-23792-9
定 价:98.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)
打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

我国《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》中提出：“以提供顺畅、便捷的人性化交通运输服务为核心，加强统筹规划，发展交通系统信息化和智能化技术，安全高速的交通运输技术，提高运网能力和运输效率，实现交通信息共享和各种交通方式的有效衔接，提升交通运营管理的技术水平，发展综合交通运输。”城市轨道交通是一个庞大而复杂的系统，其技术专业既包括传统的土木建筑、机械、电机电器等门类，又涉及属于高新技术领域的电子产品、自动控制、信息传输等范畴。未来的城市轨道交通将趋向智能化、集成化、网络化、多元化、标准化和可持续化发展。

轨道工程是城市轨道交通技术体系中的基础与核心领域之一。近年来，伴随着我国城市轨道交通发展取得的巨大成就，轨道工程领域的新技术、新工艺和新结构也不断涌现。本书是在我国城市轨道交通大规模建设的历史背景下，根据编写者多年来对轨道知识体系的理解和近年来国际上本领域内的主要科研成果及国内外城市交通轨道工程新技术的发展情况，对城市交通轨道工程知识进行的归纳和提炼，并将其以基本原理和方法的形式融入全书的各个章节。

本书以轮轨接触式运输为根本出发点，系统地介绍了城市交通轨道工程的基本知识，并吸纳了当今世界轨道工程的最新发展成果。第一章在简要介绍城市交通的产生和发展情况的基础上，明确了轨道交通的概念以及城市轨道交通有别于城市道路交通和国家铁路的特点，厘清了城市轨道交通的类型与系统制式，并概述了国内外城市轨道交通的发展情况。第二章结合城市轨道交通的特点，对轨道的作用、特点、基本结构、运营条件与轨道的关系、轨道结构部件及其合理配套等进行了系统地介绍。第三章简要介绍了城市轨道交通轨下基础特点及其与轨道类型的匹配性。第四章介绍轨道几何形位的相关内容。第五章介绍轨道结构力学分析的相关内容，包括轨道的竖向静力计算模型、轨道结构的强度检算、轨道动力响应的准静态计算及轨道动力学的基本知识，是轨道结构中的力学理论基础，也是本书的难点和重点之一。第六章和第七章重点对无缝线路和道岔设计的基本原理进行介绍，并纳入目前科学研究中已经相对成熟的成果。第八章介绍城市轨

道交通的环境振动与噪声问题的产生、评价及控制技术。第九~第十一章概述了城市轨道交通结构的施工、养护维修及安全管理技术。总之,本书吸纳了城市轨道交通工程中相对成熟的最新研究成果,并采用了城市轨道交通中的最新规范体系,能够反映出城市轨道交通工程的最新发展动态。

需要强调的是,城市轨道交通工程是一个庞大而复杂的知识体系,涉及交通运输、力学、机械、材料、冶金、信息、土木、测绘、地质、环境、安全等学科的基础理论和专业知识。要系统掌握本书粗浅概述的基础知识似易实难,需要学习者具有较好的数学及力学基础,便于理解与运用书中的理论;同时希望学习者注意理论联系实际,通过对实际工程现场的参观、实习、交流等手段了解必要的轨道工程结构知识和维护管理知识,力争做到活学活用。随着相关科学技术不断向纵深发展,对于理论计算及其数据分析应注意其基本的理论基础、工程背景、精度要求、应用软件的特点等,注重培养实际动手能力和解决实际工程问题的能力。

在本书编写过程中,得到了西南交通大学王平教授、刘学毅教授、李成辉教授的悉心指导、中国铁道出版社的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。同时,特别感谢西南交通大学赵才友副教授和徐井芒讲师、中铁二院地铁院王小韬高工为本书部分内容提供了大量素材。此外,编写者所指导的博/硕士研究生杨凯、李帅、刘潇潇、钟瑞、温静、刘冬娅、陈嘉胤等在文字审校、图片以及公式编辑方面倾注了大量的时间和精力,在此一并表示感谢。

当前,城市轨道交通工程的相关理论和技术在实践中不断向纵深发展,仍面临着一些新的技术挑战,相关前瞻性、综合性的基础研究与技术创新正当其时。限于作者水平,本书内容距读者的期望可能还有距离,不当、疏漏之处亦在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2017年10月

目 录

1 绪 论	1
1.1 城市交通的产生和发展	1
1.2 轨道交通的概念和特点	4
1.2.1 轨道交通的概念	4
1.2.2 城市轨道交通的特点	5
1.3 城市轨道交通的类型和系统制式	7
1.3.1 城市轨道交通的类型	7
1.3.2 城市轨道交通的系统制式	13
1.4 国内外城市轨道交通发展概况	19
1.4.1 国外城市轨道交通的发展概况	19
1.4.2 我国城市轨道交通的发展概况	24
2 城市交通轨道结构	26
2.1 概 述	26
2.1.1 轨道的作用	26
2.1.2 轨道的特点	27
2.1.3 运营条件与轨道的关系	28
2.2 城市交通轨道结构	29
2.2.1 钢轨	30
2.2.2 扣件	40
2.2.3 轨枕	48
2.2.4 道床	52
2.3 轨道结构新技术	57
2.3.1 高等有砟轨道	57
2.3.2 新型无砟轨道	58
2.3.3 高性能钢轨和扣件	58
2.3.4 跨区间无缝线路	59
2.3.5 高技术道岔	60
2.3.6 轨道结构动力设计	61
2.3.7 现代化维护管理	61
2.4 小 结	63

3 轨道结构下部基础与接口	65
3.1 地面线路路基工程.....	65
3.1.1 路基工程的组成.....	66
3.1.2 路基工程的特点.....	67
3.1.3 路基横断面.....	67
3.1.4 路基基床.....	69
3.1.5 路基排水.....	70
3.1.6 路基防护.....	70
3.2 高架线桥梁工程.....	71
3.2.1 高架轨道交通的特点.....	71
3.2.2 高架结构的设计原则.....	72
3.2.3 高架线桥梁类型.....	73
3.2.4 高架线无砟轨道类型.....	78
3.3 地下线隧道工程.....	78
3.3.1 地下轨道交通的特点.....	78
3.3.2 地下结构的设计原则.....	79
3.3.3 地下线隧道类型.....	80
3.3.4 地下线无砟轨道类型.....	83
3.4 城市轨道交通工程接口.....	84
3.4.1 轨道工程内部接口.....	85
3.4.2 轨道工程外部接口.....	85
3.5 小 结.....	88
4 城市轨道交通几何形位	90
4.1 车辆走行部的构造.....	90
4.1.1 车轮.....	90
4.1.2 转向架.....	92
4.1.3 车辆轴距.....	92
4.2 轨道几何形位基本要素.....	93
4.2.1 轨距.....	93
4.2.2 水平.....	95
4.2.3 高低.....	96
4.2.4 轨向.....	96
4.2.5 轨底坡.....	96
4.3 曲线轨道轨距加宽.....	97
4.3.1 转向架的内接形式.....	97
4.3.2 曲线轨距加宽的确定原则.....	98

4.3.3	根据车辆条件确定轨距加宽	98
4.3.4	曲线轨距加宽的标准及方法	99
4.4	曲线轨道外轨超高	100
4.4.1	设置外轨超高的原理和计算方法	100
4.4.2	曲线外轨超高的检算	101
4.4.3	曲线外轨超高的设置方法	104
4.5	缓和曲线	105
4.5.1	常用缓和曲线	106
4.5.2	缓和曲线的长度	107
4.6	小 结	110
5	城市轨道交通轨道结构力学	111
5.1	轮轨相互作用	111
5.1.1	轮轨接触	111
5.1.2	轮轨接触应力	112
5.1.3	轮轨接触弹簧	112
5.1.4	作用于轨道的力	113
5.2	轨道结构竖向静力模型	113
5.2.1	基本假设和计算模型	113
5.2.2	轨道的基本力学参数	114
5.2.3	钢轨位移、弯矩的分析计算	116
5.3	轨道动力响应的准静态计算	119
5.3.1	荷载系数	120
5.3.2	准静态计算公式	122
5.4	轨道结构的强度检算	122
5.4.1	钢轨强度检算	122
5.4.2	轨枕强度检算	124
5.4.3	道床及路基顶面强度检算	126
5.4.4	轨道强度检算算例	128
5.5	无砟轨道结构设计计算	131
5.5.1	弹性地基叠合梁模型	131
5.5.2	弹性地基梁板模型	134
5.5.3	无砟轨道设计检算荷载组合	139
5.6	扣件力学分析	140
5.6.1	扣件刚度	140
5.6.2	初始扣压力	140
5.6.3	扣件弹程	141
5.6.4	扣压力损失	141
5.6.5	扣件的横向弹性	141

5.7 车辆-轨道系统动力学	142
5.7.1 车辆动力学模型	143
5.7.2 轨道动力学模型	144
5.7.3 车辆与轨道的物理模型	148
5.7.4 车辆与轨道的数学模型	152
5.7.5 车辆与轨道的垂向非线性耦合关系及其线性化处理	159
5.7.6 轮轨耦合激励模型及随机轨道谱	160
5.7.7 车辆-轨道耦合动力学的数值求解方法	166
5.7.8 车辆-轨道耦合动力学模型的发展	169
5.8 车辆脱轨问题	172
5.8.1 车辆脱轨原因	172
5.8.2 车辆脱轨形式	172
5.8.3 车辆脱轨判据	173
5.9 小 结	175
6 城市轨道交通无缝线路	176
6.1 无缝线路的类型	176
6.2 无缝线路的基本原理	177
6.2.1 钢轨温度应力和温度力	177
6.2.2 锁定轨温及轨温变化幅度	178
6.2.3 线路纵向阻力	181
6.2.4 温度力图	184
6.3 无缝线路的稳定性分析	190
6.3.1 稳定性的概念	190
6.3.2 影响无缝线路稳定性的因素	191
6.3.3 无缝线路稳定性统一计算公式	194
6.3.4 不等波长稳定性计算公式	198
6.3.5 无缝线路稳定性算例	202
6.4 普通无缝线路的设计	205
6.4.1 确定设计锁定轨温	205
6.4.2 无缝线路结构计算	207
6.5 无缝线路的应力放散与应力调整	208
6.5.1 应力放散	208
6.5.2 应力调整	211
6.6 桥上无缝线路	211
6.6.1 桥上无缝线路概述	211
6.6.2 梁轨相互作用原理和微分方程	212
6.6.3 伸缩力的计算	213
6.6.4 挠曲力的计算	216

6.6.5 断轨力的计算	218
6.6.6 制动力的计算	219
6.6.7 桥上无缝线路的设计要点	219
6.7 无缝线路的伸缩调节器	221
6.7.1 伸缩调节器概述	221
6.7.2 伸缩调节器的结构	222
6.7.3 伸缩调节器的主要用途	223
6.8 小 结	224
7 城市轨道交通道岔	226
7.1 道岔类型	226
7.1.1 连接设备	226
7.1.2 交叉设备	226
7.1.3 连接与交叉组合设备	227
7.1.4 其他	228
7.2 道岔的构造	229
7.2.1 普通单开道岔	229
7.2.2 其他城轨系统道岔	234
7.3 道岔的形位	241
7.3.1 单开道岔的主要尺寸	241
7.3.2 单开道岔轨距	241
7.3.3 转辙器几何尺寸	242
7.3.4 辙叉及护轨几何尺寸	243
7.4 导曲线支距及附带曲线	245
7.4.1 导曲线支距计算	245
7.4.2 附带曲线	246
7.5 过岔速度	248
7.5.1 侧向过岔速度	248
7.5.2 直向过岔速度	250
7.6 道岔加强	252
7.7 我国地铁道岔结构概述	253
7.7.1 正线道岔	253
7.7.2 车场线道岔	254
7.8 小 结	254
8 城市轨道交通的环境振动与噪声	256
8.1 城市轨道交通的环境振动	257
8.1.1 环境振动的评价标准	257
8.1.2 环境振动的特征	260

8.1.3	环境振动的弹性波基本理论	261
8.1.4	环境振动的预测	267
8.2	城市轨道交通的环境噪声	277
8.2.1	环境噪声的危害	277
8.2.2	环境噪声的评价	278
8.2.3	环境噪声的构成	282
8.2.4	结构振动引起噪声的预测	284
8.2.5	环境噪声的衰减特征	286
8.3	城市轨道交通环境振动噪声的控制技术	291
8.3.1	振动控制技术	292
8.3.2	噪声控制技术	298
8.4	城市轨道交通环境振动与噪声的数字化管理技术	304
8.4.1	城市轨道交通环境振动噪声地图的基本功能	304
8.4.2	城市轨道交通环境振动噪声地图技术的设计思路	305
8.4.3	城市轨道交通环境振动与噪声地图软件的应用案例	306
8.5	小 结	309
9	城市轨道交通结构施工	311
9.1	有砟轨道施工	311
9.1.1	施工准备	311
9.1.2	施工工艺	311
9.2	隧道内整体道床轨道施工	313
9.2.1	钢轨支撑架施工法	314
9.2.2	墩架结合施工法	316
9.3	高架线路整体道床轨道施工	317
9.3.1	一般施工方法	317
9.3.2	冬季施工方法	320
9.4	整体道床道岔施工	322
9.4.1	施工准备	322
9.4.2	工艺流程	323
9.4.3	道岔铺设	324
9.5	浮置板轨道结构施工	328
9.5.1	浮置板结构的特点	328
9.5.2	浮置板施工工艺	329
9.6	小 结	331
10	轨道结构维护与管理	332
10.1	轨道的检测与监测	332
10.1.1	轨道几何尺寸检测	332

10.1.2	轨道部件状态检测	334
10.1.3	行车平稳性检测	336
10.2	轨道质量评价体系	337
10.2.1	轨道不平顺及其危害	337
10.2.2	轨道不平顺评价方法	338
10.3	轨道维护及管理	340
10.3.1	轨道维护的主要内容	340
10.3.2	轨道维护的组织体制	341
10.3.3	维护计划管理	341
10.3.4	工务设备管理	342
10.3.5	信息决策管理	342
10.3.6	技术资产管理	343
10.3.7	运营安全管理	346
10.4	轨道大修及管理	347
10.4.1	轨道大修的主要内容	347
10.4.2	轨道大修技术要求	347
10.4.3	轨道大修施工组织管理	348
10.5	缩短轨及曲线整正	349
10.5.1	缩短轨计算	349
10.5.2	曲线整正计划	350
10.6	轨道精调	356
10.6.1	轨道“三网合一”测量体系	356
10.6.2	精调流程	357
10.6.3	数据采集	358
10.6.4	调整量模拟试算	358
10.6.5	道岔区精调	361
10.7	小 结	361
	参考文献	363

1 绪 论

本章在简要介绍城市交通的产生和发展情况的基础上,阐述轨道交通的概念以及城市轨道交通有别于城市道路交通和国家铁路的特点,理清城市轨道交通的类型和系统制式,并对国内外城市轨道交通的发展情况进行概述。

交通运输是国民经济的命脉,现代社会的生存基础和文明标志,是联系工业与农业、城市与乡村、生产与消费的纽带,也是人类社会与经济发展的基本需要和先决条件。交通运输最早为政治服务,平时服务于经济,战时服务于军事,在国家的政治、经济、军事、文化建设中均具有重要作用。现代交通运输主要包括铁路、公路、水路、航空和管道五种方式,五种运输方式在技术上、经济上各有长短,都有适宜的使用范围。

城市是为了安全、高效、舒适的将人和人的活动及其所需的装备集中起来的场所。因此城市表现于空间上的集中,也表现在交通能力上。交通能力有两类,一类是对外交通能力,是指在几小时或几天内从城市疏散出去的能力,或者是与其他城市进行交通联系的能力;另一类是内部交通能力,即从城市向居民提供的各种便利服务(就业、购物、娱乐、交往)中获取利益的交通能力。城市交通的特征因各城市的规模、性质、结构、地理位置和政治经济地位的差异而有所不同,但是它们具有的主要特点则是相同的:城市交通的重点是客运;早晚上下班时间是城市客运高峰;每个城市的客流形成都有自身的规律;城市客运量大小与该城市的总体规划和布局有直接关系。城市交通越完善,证明城市越进步,故而城市交通的规划建设必须同时将空间、时间、资金和质量结合起来考虑。

随着经济发展和城市现代化进程的加快,世界各国都面临同样的问题:城市人口迅猛增长、地域不断扩大,一般的城市交通无法满足人们日益增长的出行需求,与此同时,交通阻塞、环境污染、能源匮乏等所谓“城市病”也日益严重。人们总能从发展历程的经验教训中汲取智慧,目前,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。

1.1 城市交通的产生和发展

人类历史上的第一次劳动大分工,使得农业从采集业中分离出来,同时孕育产生了固定的居民点。伴随着第二次劳动大分工,商业与手工业从农业中分离出来,诞生了城市这种特殊的居民点形式。城市的产生是人类与自然界相互作用的结果,是人类文明进步的标志,城市也是人类有史以来最集约的土地使用形式。城市虽然只占据了地球表面很小的面积,但是,却高度集聚了大量的人口和社会经济活动,它是人类物质财富和精神财富生产、传播及扩散的中心。城市交通是城市内部及城市与外部之间的人员和物资实现空间位移的载体,包括城市内部交通和对外交通,涉及城市中地面交通、地下交通、空中交通等各种运输方式。城市交

通的需求和模式随着城市、生活、产业、技术等多方面的发展而持续改变。城市居民的出行需求和习惯会根据能够得到的交通工具、交通方式和交通服务而改变。只有当一种城市交通方式既符合城市发展要求又能满足居民出行的需求(如便利、快速、准时、舒适和环保等)时,它才能成为城市发展中的主导交通方式。总体而言,城市交通的发展呈现出一定的阶段性。

1. 早期城市交通

18世纪60年代英国工业革命以前,城市发展的社会经济基础是自然经济和小农经济。那一时期的城市数目少,规模小,发展缓慢,城市交通主要为城市间交通和城乡交通,城市内部交通尚未形成规模。交通工具主要由人力、畜力和自然力来驱动,肩挑手提、牛车、马车及帆船等。在工业革命以前的欧洲城市,马车曾作为重要的交通工具盛行一时。1600年,公共四轮马车在伦敦出现;1662年,巴黎出现了固定线路上运行的公共马车,也叫有轨马车;1789年,能运送20人的长途公共马车产生,由于其轻快、安全、费用合理,因此得到迅速发展。

2. 近代城市交通

18世纪中叶的工业革命,带来了生产方式和产业结构的深刻变革。工业化和城市化极大地推动了世界城市的发展,城市规模和城市结构都发生了空前变化,城市职能演化为经济中心和行政中心。相应地,对城市交通提出了新的要求,促使城市交通进入一个新的阶段。一方面,城市的对外交通迅速发展。由于城市化发展使得非农经济活动向城市大量集中,城市与乡村间产生大量的人口流动和物资流动,促进了城市外部交通的迅速发展。另一方面,城市内部交通逐渐显现。工业化与城市化不仅使城市人口和经济规模空前扩大,而且给城市带来了大量新产业、新机构,城市中的行政区、商业区、娱乐区和工业区等相继出现,这些都对城市内部交通提出新的要求,促使城市内部交通迅速发展。

在这个时期,城市交通工具开始采用现代技术,现代化的城市交通系统逐步形成,新的交通方式与交通工具的出现进一步促进了城市化发展。在城市对外交通中,交通工具已由帆船、马车进化到轮船、火车、汽车、飞机。1825年,蒸汽机车出现,英国在达林顿(Darlington)至斯托克顿(Stockton)间修建了第一条铁路,铁路运输开始发展,这给城市对外交通带来一场革命。至1850年,英国国家铁路网里程达到9799 km,各大城市间的干线铁路基本形成,铁路年客运周转量达到17亿人次,伦敦人口亦由120万猛增到270万,人口的增长刺激了城市内部交通需求的增长,巨大的城市间客流迫切需要提高市内交通的集疏运能力。在此内在的发展条件与需求背景下,1863年1月10日,世界上第一条地铁线路在伦敦通车运营。1881年,有轨电车在柏林出现。1885年,德国人奔驰发明了第一辆内燃机汽车。此后不久,有轨电车、无轨电车、公共汽车及城市快速轨道运输方式相继投入使用,逐步取代了马车。1899年,世界上最早的公共汽车在伦敦开始运营。1901年,第一条无轨电车线路在法国投入使用。从19世纪中期开始,机动车逐渐成为城市内部交通的主导方式。

从工业革命时期到20世纪初期的城市化进程中,大工业生产方式对城市功能结构产生了巨大冲击,同时,前所未有的铁路运输枢纽、火车站、港口码头等繁忙的作业区,打乱了原来城市的结构布局,使得在城市规模不断扩张的过程中,城市布局日渐趋于混乱。人口的增长和经济的发展,产生了大量的人流、货流和车流,新的机动化交通系统也冲击着原有的城市结构,使

得原有的只适用于步行和马车交通的道路远远不能适应交通的需要,城市交通出现了城市化时期的混杂、紊乱、拥挤甚至阻塞的状况,城市交通问题初显端倪。

3. 现代城市交通

经历第二次世界大战后的经济恢复时期,从 20 世纪 60 年代起,西方发达国家纷纷进入工业化后期并开始了现代化的历程,而许多发展中国家则相继进入工业化阶段。伴随着经济的迅速发展,世界城市化的进程大大加快,城市交通机动化发展也大大加快,以汽车、摩托车、自行车为工具的私人交通得到迅速发展。它方便了人们出行,机动灵活,行止随意,可以“从门到门”。但是这些自用交通工具载量小,运送效率低,道路利用率不高。私人交通工具发展的结果,给城市带来了诸如土地资源紧缺、交通拥堵、事故增加、环境污染、能耗剧增等一系列问题。20 世纪 70 年代能源危机之后,欧美日韩等发达国家逐渐“醒悟”过来,重新提倡发展公共交通,大力扩展以轨道交通为骨干的综合性城市交通网络。

至 2000 年,世界城市人口比例已超过 50%,发达国家超过 70%,甚至达 80%以上。随着城市化逐步走向成熟,发达国家城市交通系统日臻完善,城市交通日益高速化、舒适化。首先,由于城市郊区化和郊区城市化的发展,使城市在空间形态日益呈分散化倾向,人流和物流向城市集中的速度减缓,强度变弱,城市中心区的运输供给与运输需求矛盾开始缓解,城市内部交通问题趋于缓和,城市对外交通开始由大容量化向快速化和舒适化演变。其次,城市交通体系构成全方位、立体化的格局。交通运输工具和交通运输方式多元化,城市内部交通与城市对外交通的衔接逐渐由无序走向有序。人与物在城际间的空间位移可通过水上、空中、地面甚至地下等多种运输方式联合完成,而人员在城市内的空间位移也可借用地面、高架、地下等多种方式得以实现。

4. 未来城市交通

预计到 2030 年,城市人口占全球人口的比例将达 60%,到 2050 年这个比例将达 67%。城市人口持续快速增长的结果之一就是大量增长的个人和家庭日常出行。目前,全球交通总量的 64%发生在城市,到 2050 年城市的交通总量将在目前基础上增长 3 倍。毋庸置疑,大量增长的交通需求必将会对人们的日常生活、环境污染和能源消耗带来日益显著的重大影响。与此同时,不断的技术和生活方式改变会对公共交通提出持续发展的要求。以史为鉴可知,几次技术变革对城市交通的发展起到了根本性的作用,如第一次工业革命带来的机械化,第二次工业革命带来的大规模制造,20 世纪中后期开始的计算机和人工智能的普及,当前兴起的清洁能源和互联网技术等。城市交通的发展只能通过不断创新来持续提升容量、效率和吸引力,这些创新包括信息技术、互联网、远程通信、能源、环保、机械等。展望未来,城市交通必将向着安全、高效、绿色、低碳、高度可持续发展的方向不断发展前进。

由上述城市交通的产生和发展历程可以看出,城市交通是城市发展的基础和关键。现代城市的特征是高效益和高效率,需要有一个与其现代化生活相适应的现代化交通体系,形成一个与城市发展布局高度协调的综合交通格局。发展高效节能导向的多层次、立体化、智能化城市交通体系,是世界城市建设发展中普遍追求的目标。而发展大、中、低客运量相互匹配的、多种形式相结合的客运交通工具,将是实现上述目标的一项重大技术决策措施。落实城市公共交通优先发展战略,重点发展以轨道交通为骨干的公共交通网络,积极引入具有大、中客运量的地铁和轻轨交通方式是城市交通发展的必然趋向。

1.2 轨道交通的概念和特点

1.2.1 轨道交通的概念

轨道交通是一种独立的有轨交通系统,它可提供资源节约、环境舒适、节能减排、安全快捷的大容量运输服务,能够按照设计能力正常运行,与其他交通工具互不干扰,具有强大的运输能力、较高的服务水平和显著的资源环境效益。从广义上讲,凡车辆运行在导轨上的交通运输方式都可称为轨道交通运输。

在轨道交通发展的历史进程中,人们常把担当长大运输的铁路称为大铁路(或称干线铁路)。在综合交通运输体系中,铁路运输是一种适合于大运量、长距离、中高速度的运输工具,相对于其他的运输方式,具有成本低、能耗小、占地少、污染轻和可利用多种能源的优势。铁路的运量大,每一列车载运旅客和货物的能力要比汽车和飞机大得多。同时,铁路的运输成本也比公路、航空要低,运距越长、运量越大,其单位的运输成本越低。此外,铁路运输一般可以全天候运营,较少受到气候的影响,安全性和可靠性较公路运输和航空运输高。铁路运输尤为适合国土面积大的国家,能够满足运送长距离、经常性、稳定的大宗货物的需要,适合于中长距离的旅客运输以及城市间的旅客运输需要。客运高速化、货运重载化的发展方向无疑可将铁路的比较优势展现得更为淋漓尽致,因此,在20世纪下半叶,发达国家的铁路运输竞相采用高新技术,在货运重载、客运高速和信息技术等方面取得了重大突破,开始了从传统产业向现代化产业的转变。重载铁路和高速铁路是一个国家铁路科技和运输技术综合水平的重要标志。因此,世界铁路依靠科技进步在各种现代化交通运输方式的激烈竞争中得到了振兴和发展。在我国,近年来铁路建设得到了很大的发展,尤其是在路网建设、线路状况、技术装备和运输效率上,都取得了辉煌的成就。截至2017年底,国家铁路营业里程达12.7万km,其中高速铁路2.5万km,占世界高速铁路总量的66.3%。随着区域经济和城市群的发展,人们习惯把连接城市间、采用公交化运营组织方案的快速轨道交通或铁路客运专线称为“城际高速铁路”,如沪宁高速铁路、京津城际铁路等。目前,我国国家铁路已成为世界上最繁忙的运输工具,在推动社会经济发展进程中占有重要的地位。2017年,铁路完成旅客发送量突破30亿人次、货物发送量29.19亿t、总换算周转量37488.66亿t·km。

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城市公共交通设施。“城市轨道交通”(Urban Rail Transit)是一个包含范围较大的概念,在国际上并没有统一的定义。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的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发挥骨干作用的现代化立体交通系统。

城市轨道交通可视为公交铁路化的产物,而城际轨道交通则是铁路公交化的产物。城市轨道交通是城市公共交通的一种,只是通过铁路的形式表现出来,以其大载客量、快捷、准时、安全、环保而成为解决交通拥挤的最有效手段。城市公共交通的轨道化程度已成为一个城市现代化的重要标志之一。

1.2.2 城市轨道交通的特点

城市轨道交通的技术装备与运输组织工作远比地面交通复杂。但由于服务范围限于城市内部,服务对象比较单一,其运营管理比铁路简单多。然而城市轨道交通的高密度、大运量需要现代化的设备和技术来保证。

1. 城市轨道交通有别于城市道路交通的特点

城市轨道交通具有城市道路交通无可比拟的优势:运量大,运行准时,快捷,舒适,安全,能耗低,低污染,占地少,不破坏地面景观,能实现大运量的要求,具有良好的社会效益。

(1) 运量大

城市轨道交通由于高密度运转,列车行车时间间隔短,行车速度快,列车编组车辆数多而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;有轨电车达到1万人次,城市轨道交通的运输能力远远超过公共汽车。2016年,北京地铁日客运量达1200万人次,莫斯科地铁日均客流量达800万~900万人次,东京地铁达1400万人次。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%。

(2) 运行准时

城市轨道交通由于在专用行车道上运行,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。列车能按运行图运行,具有可信赖的准时性。

(3) 快捷

与常规公共交通相比,车辆有较高的运行速度,有较高的启、制动加速度,同时多数采用高站台,列车停站时间短,上下车方便迅速,而且换乘方便,从而可以使乘客较快地到达目的地,缩短出行时间。

(4) 舒适

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,所以城市轨道车辆具有较好的运行特性。同时,其车辆、车站等装有空调、引导装置、自动售票、移动通信等直接为乘客服务的设备,这使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) 安全

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控制设备,因此极少发生交通事故。

(6) 能耗低

由于城市轨道交通采用的是大运量集约化的客运系统,且普遍采用高新技术,按每运送一位乘客的能源消耗评价,是任何其他城市交通方式都无法比拟的,在节约大量能耗的同时,对能源的适应性也相当强。每一单位运输量能源消费量,轨道交通系统仅为公共汽车的3/5,私人用车的1/6。

(7) 低污染

城市轨道交通由于采用电气牵引,与公共汽车相比它不会产生废气污染,并且随着城市轨道交通的发展,公共汽车的数量将不断减少,这进一步减少了汽车的废气污染。同时,城市轨