



全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材
高等职业教育城市轨道交通运营管理专业系列规划教材

城市轨道交通 概论

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG GAILUN

刘建国 张齐坤 主 编 ■

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

—————

全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材
高等职业教育城市轨道交通运营管理专业系列规划教材

城市轨道交通概论

刘建国	张齐坤	主 编
李俊娥	陈 刚	副主编
	胡思继	主 审

中国铁道出版社

2013年·北京

内 容 简 介

本教材由具有多年教学实践和轨道交通现场工作经验的“双师型”教师团队编写。教材全面、系统地介绍了城市轨道交通的基本概念、基本原理、基本知识及基本技能,以及世界各国和我国城市轨道交通产生、发展、建设及近年来新技术、新设备等情况。全书共分十章,主要内容包括:绪论,城市轨道交通线路、车站、供电、车辆、信号与通信、驾驶、运营、安全及新技术等。

本教材为城市轨道交通专业的高职高专及中职职业教育学生的教学用书,也可作为从事城市轨道交通工程及运营的管理、技术、业务人员及现场工人的培训教材及对城市轨道交通有兴趣人士的阅读读物。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通概论/刘建国,张齐坤主编. —北京:
中国铁道出版社,2013. 8

全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材 高等
职业教育城市轨道交通运营管理专业系列规划教材
ISBN 978-7-113-17053-0

I. ①城… II. ①刘…②张… III. ①城市铁路—轨
道交通—高等教育—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 173260 号

书 名:城市轨道交通概论
作 者:刘建国 张齐坤 主编

责任编辑:金 锋 电话:010-51873125 电子邮箱:jinfeng88428@163.com
封面设计:崔丽芳
责任校对:马 丽
责任印制:李 佳

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:北京市昌平开拓印刷厂
版 次:2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷
开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:17.5 字数:445 千
印 数:1~3 000 册
书 号:ISBN 978-7-113-17053-0
定 价:35.00 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

前言

PREFACE

随着我国改革开放的不断深入,国民经济得到了持续快速增长,城市化建设的步伐明显加快。与此同时,城市的人口集中、交通堵塞、环境污染、效率低下等问题日渐突出。如何从根本上解决上述问题,已是摆在我国各大中城市的城市化建设和发展的一个普遍性、长期性、战略性的重要课题,并已成为当今全社会高度关心、关注的热点问题。

城市轨道交通以轨道运输方式为主要技术特征。与其他城市公共客运交通系统相比,具有运量大、速度快、时间省,成本低、安全好、能源省、无污染、用地少、舒适性好等比较优势,是典型的低碳交通运输方式。大力发展城市轨道交通,已被世界各发达国家近百年城市化建设、发展的历史实践所证明,它是从根本上解决大中城市交通、环境及效率问题的最佳途径之一,也是未来我国城市化、城镇化建设和发展的重大问题。

目前,随着我国城市化建设步伐的加快,城市轨道交通也进入快速建设期。截至 2009 年底,中国内地已有北京、上海、广州、天津、重庆、深圳、武汉、成都、沈阳等 10 多个城市开通了 34 条城市轨道交通线路,运营里程总长约 1 037 km。预计到 2015 年前后,中国城市轨道交通运营总里程将超过 2 500 km。此外,还有更多城市蓄势以待,着手开展城市轨道交通的可行性论证和前期工作。可以肯定,未来数年我国城市轨道交通的产业指数和运营效益将会持续快速上升。

城市轨道交通系统建立在设备先进、结构复杂、现代科学技术应用广泛的基础之上。城市轨道交通作用的发挥,以安全、可靠、高效、舒适的运营为前提。因此,必须有一支懂技术、会管理、有技能的高素质人才队伍,才能适应城市轨道交通建设、运营、发展的要求。

为满足城市轨道交通建设、发展、运营和维护等工作对高层次、高技能、专业



化技术和管理人才培养的需求,同时满足对城市轨道交通有兴趣人士的需要,普及、推广、传播城市轨道交通专业技术知识,我们组织具有多年教学实践和生产、技术、管理经验的“双师型”教师团队编写此教材。

本教材在内容的编排上,注重理论联系实际,语言简洁,通俗易懂,力求突出“四基”:基本概念、基本原理、基本知识、基本技能,以符合高职高专学生的学习、认知规律,同时,注重反映当今世界及我国城市轨道交通技术装备、管理理念、运营实践的新变化、新发展、新经验、新趋势。

本教材由武汉铁路职业技术学院刘建国、天津铁道职业技术学院张齐坤任主编,武汉铁路职业技术学院李俊娥、陈刚、胡华彬为副主编,北京交通大学胡思继主审。

各章分工如下:第一、十章刘建国、张齐坤执笔,第二章武汉铁路职业技术学院文妮执笔,第三、八章胡华彬执笔,第四章陈刚执笔,第五章武汉铁路职业技术学院黄超、何洲红执笔,第六章李俊娥执笔,第七章武汉铁路职业技术学院唐凌执笔,第九章武汉铁路职业技术学院彭文菁执笔。全书由刘建国统稿。

本教材在编写过程中得到了武汉、北京、上海、广州、深圳、香港、重庆等地铁(集团)公司有关专家的大力支持和帮助,并参考、借鉴、吸收了国内外相关文献、书籍及资料,在此一并表示深深的感谢。

由于编者水平有限,且编写时间仓促,教材中难免存在疏漏、不妥之处。诚恳希望各院校师生及读者提出批评及改进意见。

编者
2013年6月

目录

CONTENTS

第一章 绪 论	1
第一节 城市轨道交通的产生及发展	1
第二节 城市轨道交通的技术经济特征	5
第三节 我国城市轨道交通的发展与建设	11
复习思考题	16
第二章 城市轨道交通线路	17
第一节 概 述	17
第二节 线路平面和纵断面	26
第三节 线路结构	33
第四节 网络化建设	40
复习思考题	47
第三章 城市轨道交通车站	48
第一节 概 述	48
第二节 车站的类型和技术设备	51
第三节 车站服务系统	56
第四节 车站管理	58
复习思考题	61
第四章 城市轨道交通供电	62
第一节 概 述	62
第二节 变 电 所	66
第三节 变电所二次系统	74
第四节 电力监控系统	78
第五节 牵 引 网	80
第六节 动力照明系统	87
第七节 防护系统	87
复习思考题	89
第五章 城市轨道交通车辆	90
第一节 城市轨道车辆概述	90



第二节 车体及车内设备	95
第三节 转向架、驱动装置及其控制	102
第四节 车钩缓冲装置	111
第五节 车辆制动装置	116
第六节 动车组控制、信息系统及自动保护装置	123
复习思考题	126
第六章 城市轨道交通信号与通信	127
第一节 概 述	127
第二节 信号基础设备	129
第三节 联锁设备	140
第四节 列车运行自动控制系统	146
第五节 通信设备	161
复习思考题	165
第七章 城市轨道交通驾驶	166
第一节 司机室设备及功能	166
第二节 司机室设备与操作	174
第三节 司机的标准化作业	181
复习思考题	185
第八章 城市轨道交通运营组织	186
第一节 概 述	186
第二节 行车组织	188
第三节 乘务组织	200
第四节 客运组织	205
第五节 票务管理	212
第六节 经济技术指标	215
第七节 营销策划	219
复习思考题	224
第九章 城市轨道交通安全	225
第一节 防灾系统	225
第二节 环控系统	232
第三节 运营安全管理	237
第四节 安全应急处理	245
复习思考题	251
第十章 城市轨道交通新技术	252
第一节 概 述	252
第二节 磁悬浮技术的基本原理	255
第三节 磁悬浮技术的运用	263
第四节 我国磁悬浮技术的研究与发展	270
复习思考题	273
参考文献	274

第一章 绪 论



本章要点

本章通过对世界各国城市交通的产生和发展的介绍,说明发展城市轨道交通的意义和目的;全面阐述城市轨道交通的概念、分类及主要技术经济特征,以及我国城市轨道交通的发展与建设情况。

第一节 城市轨道交通的产生及发展

一、城市的概念

城市是人类文明发展的产物,也是其主要组成部分,同时,城市又伴随人类文明与进步不断发展和壮大。农耕时代,人类开始定居;伴随工商业的发展,城市崛起和城市文明开始传播。农耕时代,城市虽然出现,但其作用主要是军事防御和举行祭祀仪式,并不具有生产功能,只是消费中心。那时的城市规模小,且由于周围农村提供的余粮有限,每个城市 and 它控制的农村,构成一个小单位,自给自足,相对封闭。因此,学者们普遍认为,真正意义上的城市应该是工商业发展的产物。

自 18 世纪 60 年代英国产业革命以后,随着工业、科技、经济、贸易的快速发展,全球范围内的城市化得到迅速发展,世界各国先后开始由以农业为主的传统乡村社会向以工业和服务业为主的现代城市社会转变。1800 年,全世界城市人口所占比重只有 3%;但到 1900 年时,英国的城市人口已占其总人口的 75%,成为世界上第一个实现城市化的国家;1990 年时,地球上已有 50%的人口生活在城市,它标志着世界范围内已基本实现了城市化。有人预测:到 21 世纪末,整个世界将成为一个大型的城市圈(群)。今天,城市不仅是人类社会发 展富足的重要标志,也是现代文明的集中体现和象征。因此,人们通常把城市定义为:人口集中、交通便利、工商业发达、居民以非农业人口为主的地区,它是周边政治、经济、科技、文化、贸易的中心。同时,城市化的出现和迅速发展也给人们提出了许多新的亟待破解的课题。

二、城市交通的产生与发展

城市的快速发展,促使人与物资的流动加快。城市人口的不断增加给城市交通运输带来了越来越大的压力,并构成了影响或制约城市发展的重要因素之一。

城市交通是城市内部及城市与外部之间人和物资实现空间位移的载体,它包括城市内部交通和对外交通,涉及城市地面、地下、空中、水中等各种交通运输工具或方式。城市交通是随着城市的出现和不断扩张而逐渐发展起来的。同时,城市交通的发展又反过来促进了城市的



形成、演变和发展。随着经济发展和工业化的进程,城市和城市交通的发展呈现出一定的阶段性。

工业革命以前的城市多为政治中心或军事要地,工商业不占主导地位,城市建立在政治、军事及手工业和商业基础上,因而城市数目少、规模小、发展缓慢。其城市交通以城市间的交通和城乡交通为主,城市内部尚未形成规模。此时的交通工具主要由人力、畜力或自然力来驱动,如人的肩挑手提、牛车、马车及小帆船等。如工业革命前的欧洲城市,马车曾作为一种重要的交通工具盛行一时。1600年公共四轮马车在伦敦出现,业主们可往来于街道之间招揽顾客。1662年,巴黎出现了有固定运行线路的公共马车。1798年能运送20人的长途公共马车出现,由于它轻快、安全、费用低廉而受到欢迎并得到迅速发展。

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,使城市的性质转变为工业性、生产性、消费性和交换性。工商业开始成为城市的主导行业。商品经济的快速发展使工商业迅速向城市集中,并形成了巨大的集聚规模效益,城市职能演化为经济、贸易和行政中心。城市发展速度加快,使城市规模和结构都发生了空前变化,同时,对城市交通也提出了新的要求,促使城市交通发展进入一个新的阶段。

1. 城市对外交通的发展

城市化意味着非农经济活动向城市的大量集中,由此导致城市与乡村间产生大量的人员和物资的流动,促进了城市外部交通的迅速发展。火车及动力船的发明与使用,促使城市对外交通水平达到新的高度,城市与区域及城市间的交通运输网络不断完善,以满足不断增长的交通需求。

2. 城市内部交通的形成

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、新设施,城市发展逐步细分为行政区、商业区、娱乐区、工业区、大学区、居民区等不同功能的区域,这些都对城市内部交通提出了新的要求,促使城市内部交通逐步形成。工业革命以后,城市内部交通开始成为维持城市经济社会活动和人们正常生活运转的必要前提,城市内部交通问题开始为人们所关注。

3. 城市交通工具的现代化

在城市对内对外交通中,交通运输工具经历了由最初的人力车、帆船、马车,到今天的轮船、火车、汽车、飞机的发展过程。1825年,随着蒸汽机车的出现,铁路运输开始发展,这给城市对外交通带来了一场深刻的革命。此后,相当长的一段时期内,铁路运输成为城市对外交通的主导方式。在城市内交通中,1863年郊区铁路和地下铁路分别在伦敦建成使用。1881年,有轨电车在柏林出现。1885年,德国人奔驰发明了内燃机汽车。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。此后,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,逐步取代了人力车和马车。从19世纪中期开始,机动车逐渐成为发达国家城市交通运输的主导方式。

现代城市发展的主要特征表现为城市发展朝纵向和横向两个方向作双向运动。纵向发展的主要标志是,市中心区的高层建筑林立及地下结构的多层化趋势;横向发展的特征是,城市人口向周边地区扩散。上班时,城市人口向市中心区集聚,下班时,城市人口向郊区扩散。集聚和扩散并存构成了当代城市的矛盾运动。人流的集散是这一矛盾运动的表现形式,而城市轨道交通的出现并逐步成为这一矛盾运动的主要载体。



三、城市轨道交通的产生与发展

1775年,英国人约翰·乌特兰发明的有轨马车是世界上最早的城市轨道交通工具。它是用马匹作动力,牵引车辆在钢轨上滚动行驶的交通运输工具。它可搭载双倍于普通马车的乘客和货物重量。由于车辆是在轨道上行驶,减少了颠簸,提高了运行的速度和舒适性,从而备受市民的青睐。1832年,约翰·斯蒂芬森在美国纽约第四大街建立了第一条市区有轨马车的线路,并运营达3年之久(如图1-1所示)。

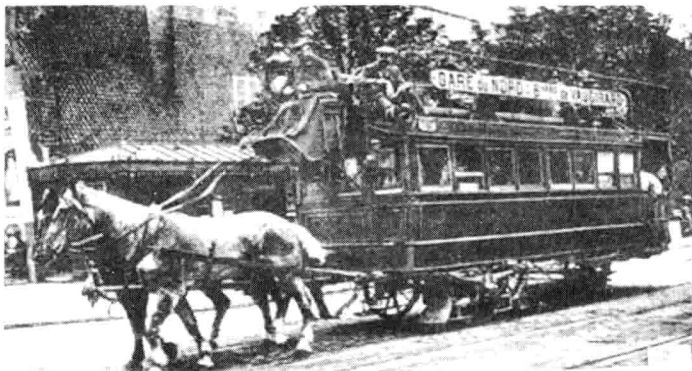


图1-1 美国纽约市区的有轨马车及线路实景图

第一个提出将马车轨道嵌入路面的是法国人埃米尔·卢巴,根据这项发明,1835年,他为巴黎修建了第一条嵌入式凹形马车轨道。

1804年,英国人理查德·特雷维塞克设计制造的蒸汽机车“新城堡号”。经过在圆形轨道上试车后,沿着专门铺设的轨道由默尔瑟开到阿伯西昂。这是世界第一条成功行驶蒸汽机车的轨道。

1825年9月27日,世界上第一条行驶蒸汽机车的永久性公用运输设施在英国斯托克顿至达灵顿的铁路上正式通车。由机车、煤水车、32节货车和1节客车组成的、载重质量约90 t的“旅行号”列车,由设计者斯蒂芬森亲自驾驶运行31.8 km。它标志着世界轨道交通运输业的诞生和用轨道交通来解决城市内(间)人们出行问题的开始。

1843年,英国律师查尔斯·皮尔逊针对当时伦敦人口日益膨胀给交通造成的压力,向国会提交了修建地下铁道的建议。经过近20年的酝酿,1860年英国开始修建地下铁道。它采用明挖法施工,为单拱砖砌结构。1863年1月10日世界上第一条长6.5 km、采用蒸汽机车牵引的地铁线路在伦敦建成通车。它是世界首条地下铁路(简称“地铁”)(如图1-2所示)。

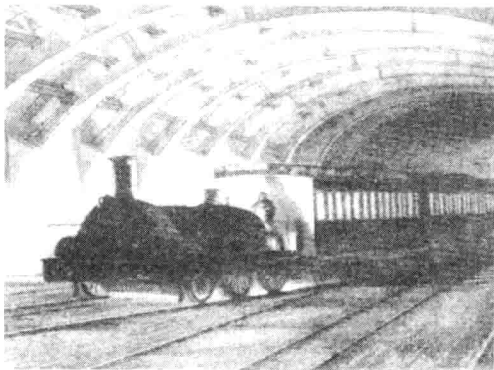


图1-2 世界第一条地铁线路实景图

此后,地铁作为新型城市公共交通方式而不断发展。1874年,英国在伦敦首次采用盾构法施

工,于1890年12月18日修建成一条5.2 km的地铁线路,并首次采用电力机车牵引。在19



世纪后 10 年,世界上又有芝加哥(1892 年)、布达佩斯(1896 年)、格拉斯哥(1896 年)、维也纳(1898 年)、巴黎(1900 年)等 5 座城市修建了地铁。20 世纪上半叶,柏林、纽约、东京、莫斯科等 12 座城市修建了地铁。第二次世界大战以后,从 1950 年到 1974 年,欧洲,特别是亚洲、美洲,有 30 余座城市修建了地铁。从 1975 年到 2000 年,又有 30 余座城市相继修建了地铁,其中亚洲最多,从而,构成了世界轨道交通的基本发展历史。

自从 1863 年世界第一条城市地铁开通以来,至今已有近 150 年的历史,目前,全世界已有 40 多个国家和地区的 320 多座城市修建了轨道交通,其中有 127 座城市修建了地铁;地铁线路总长度超过 5 200 km,有 10 余座城市的地铁运营线长度超过 100 km,其中,纽约 443 km,伦敦 408 km,巴黎 326 km,莫斯科 280 km,东京 286 km,首尔 287 km。

作为城市轨道交通的另一种形式——现代轻轨交通,则是在有轨电车的基础上发展起来的。1879 年柏林工业展览会上展出了第一辆以输电线供电的电动车。1886 年美国阿尔拉巴州的蒙哥马利市开始出现有轨电车系统,而世界上第一个真正投入运行的有轨电车系统是弗克尼的里兹门德有轨电车系统。此后有轨电车系统发展很快,20 世纪 20 年代,美国的有轨电车系统总长达到 25 000 km,20 世纪 30 年代,欧洲、日本、印度和中国的有轨电车有了很大发展,但旧式有轨电车一般都在城市道路中间行驶,行车速度慢、噪声大、舒适度差(如图 1-3 所示)。



图 1-3 行驶在城市道路中间的有轨电车实景图

随着汽车的迅速发展,尤其是私家小汽车的大量涌现,大大加重了城市道路交通的堵塞,于是,各国城市纷纷拆除有轨电车为日益增加的汽车让道。到 1970 年,世界上仅有 8 个城市还保留着有轨电车。而 20 世纪后半叶,随着世界各国的城市区域不断扩大和城市经济的发展,人口逐渐增长。随着流动人口及汽车的猛增,城市道路的相对有限性与汽车发展的相对无限性之间产生了尖锐的矛盾。在城市,汽车的大量上路,带给人们的是交通堵塞、事故频繁、能源过度消耗、尾气与噪声污染加剧等一系列问题。行车难、乘车难,不仅成为市民工作和生活的一个突出问题,而且制约着城市经济的发展。世界各国纷纷探索和思考如何走出这一困境。

20 世纪 60 年代初,西方一些人口密集的大城市,在考虑修建地下铁道的同时,又重新把注意力转移到有轨交通上。欧洲一些发达国家为满足城市公共交通客运量日益增长的需求,着手在旧式有轨电车的基础上,利用现代化技术改造和发展有轨电车系统,开发出新一代噪声低、速度高、走行部件转弯灵活、乘客上下方便,甚至可以照顾到老人和残疾人的低地板新型有



轨电车(如图 1-4 所示)。新型有轨电车在线路结构上采用了降噪减震技术等措施;并采用专用车道,在与繁忙道路交叉处进入半地下或高架交叉,互不影响,使其在运行速度、技术水平和服务质量上都有很大提高。1978 年 3 月国际公共交通联合会(UITP)在比利时首都布鲁塞尔召开会议,确定了新型有轨电车交通的统一名称,即轻型轨道交通(Light Rail Transit),简称轻轨交通(LRT)。



图 1-4 行驶在日本鹿儿岛市街头的低地板新型有轨电车实景图

20 世纪 80 年代,国际上一些大城市已相继建成现代化轻轨交通系统。如美国的萨克拉门托市,1987 年 3 月建成一条穿越市中心的轻轨线路,全长 29.4 km,共设 27 座车站,行车间隔 1.5 min,自建成到 1987 年 9 月,运送乘客达百万人次。20 世纪八九十年代,由于环境保护和能源结构问题突出,在经济可持续发展战略方针的指导下,全世界掀起了新一轮轻轨交通系统的建设高潮。据粗略统计,已有 50 个国家建有 360 条轻轨线路。1994 年 4 月,在新加坡召开的国际市长会议提出,要把城市轨道交通作为现代化城市的重要交通工具之一。

第二节 城市轨道交通的技术经济特征

轨道交通是一种独立的有轨交通系统,它可提供资源集约利用、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。因而,其应用首先是在经济发达的大城市中,因此,人们习惯把轨道交通称为城市轨道交通。

一、城市轨道交通的概念

根据轨道交通的特性,从广义上讲,凡车辆运行在导轨上的交通运输工具都可称为轨道交通运输。但在轨道交通运输发展的历史进程中,人们常把担当长大运输的铁路称为大铁路(或称干线铁路),用于与城市轨道交通运输相区别。因此,本书中所说的城市轨道交通不包括大铁路。



轨道交通是作为城市公共交通系统的一个重要组成部分而发展的,因此,人们习惯称其为城市轨道交通。在我国国家标准《城市公共交通常用名词术语》中,将城市轨道交通定义为“通常以电能为动力,采取轮轨运转方式的快速大运量公共交通的总称。”而在北京交通大学胡思继教授所著的《综合运输工程学》中的定义为“城市轨道交通系统是指服务于城市旅客运输,通常以电力为动力,轮轨运行方式为特征的车辆或列车与轨道等各种相关设施的总和。或者说,一般将城市中使用在固定轨道上运行并主要用于城市客运的交通系统称为城市轨道交通。”显然,后者定义的描述更为详细、明确。

城市轨道交通一般包括地铁、轻(独)轨列车、有轨电车、磁悬浮铁路等。在国际上,目前对城市轨道交通还没有统一的定义。在我国,随着区域经济和城市群的发展,人们又把连接城市间的铁路(简称为“城际铁路”)或铁路客运专线也称为城市轨道交通。因此,从广义的角度讲,城市轨道交通又包括城际铁路和铁路客运专线。另外,由于铁路客运专线主要应用于城际之间且速度大多在 160 km/h 左右,又与中长铁路干线相连接,故也称之为准高速铁路。

二、城市轨道交通的分类

按照不同的标准和方式,城市轨道交通可以有多种不同的分类,主要可归纳为以下几类。

(一)按基本技术特征分类

根据轨道交通系统基本技术特征的不同,轨道交通系统主要有地下铁道、轻轨交通、独轨铁路和有轨电车、市郊铁路、磁悬浮铁路等类型。

1. 地下铁道

地下铁道(简称“地铁”)是指修建在地下隧道中的铁路。地下铁道又可分为重型地铁、轻型地铁与微型地铁三种类型。重型地铁一般是指传统的普通地铁,轨道基本采用干线铁路技术标准,线路以地下隧道为主,仅在市郊等部分地段采用地面线路,路权专用、运能最大;轻型地铁是一种在轻轨线路、车辆等技术设备工艺基础上发展起来的地铁类型,路权专用,运能较大,通常采用高站台;微型地铁,又称为小断面地铁,隧道断面、车辆轮径和电动机尺寸均小于普通地铁,路权专用,运能中等,行车自动化程度较高。

由于地铁已是一个历史名词,如今其内涵与外延均都有较大的扩展,它已不局限于运行在地下隧道这一种形式,而是泛指高峰小时单向运输能力在 3 万~6 万人,地下、地面、高架运行线路三者结合的一种大容量轨道交通系统。

2. 轻轨铁路

轻轨铁路(简称“轻轨”)的含义是指车辆对轨道施加的荷载而言。轻轨车辆与地下铁道车辆比较相对较轻。早期的轻轨系统一般是直接对旧式有轨电车系统改建而成。20 世纪 70 年代后期,一些国家才开始修建全新的现代轻轨系统。现代轻轨系统与旧式有轨电车系统相比,具有自动控制、乘坐舒适、动力大、速度快、噪声低等优点。对世界各国轻轨系统进行分类研究表明,轻轨也存在多种技术标准并存发展的情况。高技术标准的轻轨接近于轻型地铁,而低技术标准的轻轨则接近于有轨电车。因此,轻轨通常指运营在城市中心,包括近郊地区(离市中心约 20 km)的轨道交通系统,其线路采用电气化,运行速度在 40~50 km/h,大多与地面交通立体交叉,其站间距离较小,为 1~1.5 km。

我国北京市东直门—西直门间的 40.5 km 的线路,就是一条典型的城市轻轨铁路线。欧洲、日本等轨道运输发达的国家,城市轻轨被广泛使用。如日本东京地铁只有 200 多公里,而



城市铁路共有 2 000 多公里。因此,建设城市轨道交通绝不限于地铁一种形式。目前,轻轨已形成三种主要类型:钢轮钢轨系统、线性电机牵引系统(主要用于机场各场间)、橡胶轮系统。由于轻轨的造价一般仅为地铁的 1/3,且施工简便,建设工期较短。加之轻轨的单向高峰小时客运量为 1 万~3 万人次,足以缓解城市交通拥挤的状况,且轻轨交通建设标准也低于地铁,因而易实现国产化的要求。因此,轻轨是适合我国大、中城市特别是中等城市的一种城市轨道交通方式。

3. 独轨铁路

独轨是车辆或列车在单一轨道上运行的城市轨道交通系统。独轨的线路一般采用高架结构,车辆则大多采用橡胶轮胎。从构造形式上可分为跨骑式独轨与悬挂式独轨两种,跨骑式独轨是列车跨坐在轨道梁上运行的形式,而悬挂式独轨则是列车悬挂在轨道梁下方运行的形式。橡胶轮独轨系统采用全高架运行,不占用地面道路,具有振动小、噪声低、爬坡能力强、转弯半径小、投资较省等优点,当前的独轨、新交通系统和 VAL 系统均属橡胶轮系统。

独轨运输能力一般为 0.5 万~2 万人次/h,多采用跨座式,轨道梁、转辙机、转向架是独轨系统的关键技术。由于采用橡胶轮胎,因而车体结构必须轻量化,轨道梁和支座材料的耐潮湿、耐酸性要求也较高。目前,我国重庆市轨道交通采用的就是这种制式(如图 1-5 所示)。

独轨铁路历史悠久,早在 1821 年英国人 P. H. Palmer 就开发了独轨铁路,并因此获得发明专利。1824 年在伦敦船坞为运送货物修建了世界上第一条独轨铁路,它比 1825 年开通的蒸汽机车牵引的铁路还要早。当时采用木制轨道,用马作为牵引动力。

1888 年法国人在爱尔兰铺设了约 15 km 的跨座式独轨铁路,蒸汽机车牵引,从此,有动力的独轨车辆走向实用化阶段,但最终因为车辆摇摆和噪声大等原因而于 1924 年停止使用。

1893 年,德国人 Langen 发明了悬挂式独轨车辆,并于 1901 年在德国的乌伯塔尔建成了世界上第一条悬挂式独轨线路投入运营,它线路长 13.3 km,其中跨河架设 10 km,成为利用街道上空建设独轨铁路的先驱,这条线路至今仍在使用,成为该市的一个历史景观。

第二次世界大战后,随着科学技术的进步,独轨铁路技术逐渐成熟,由于其可以有效地利用公路和河流的上方空间而受到一些国家的重视。1958 年瑞典出生的德国工业家 Axel Lenart Wenner-Gren 研制出跨座式、混凝土轨道和橡胶充气轮胎的独轨交通制式,即目前的 ALWEG 型。随后,美国、意大利等许多国家都建设了这种形式的独轨铁路(如图 1-6 所示)。日本是目前世界上使用独轨最多的国家,其中采用悬挂式独轨系统的就有湘南江之岛线和千叶都市的 1、2 号线等。但同时,由于独轨铁路在导向、稳定性及转辙装置等关键技术方面尚有不足,技术复杂而运量上又不占优势,使得其在世界范围内的广泛应用受到影响。

4. 有轨电车

有轨电车通常采用地面线,有时也有隔离的专用路基和轨道。隧道或高架区间仅在城市中心交通拥挤的地带采用。旧式的有轨电车由于其与公共汽车及行人共用街道路权,且平交道口多,因而其运行时所受的干扰多、速度慢。现代有轨电车与轻轨交通已很接近,只是车辆



图 1-5 重庆 3 号线独轨实景图

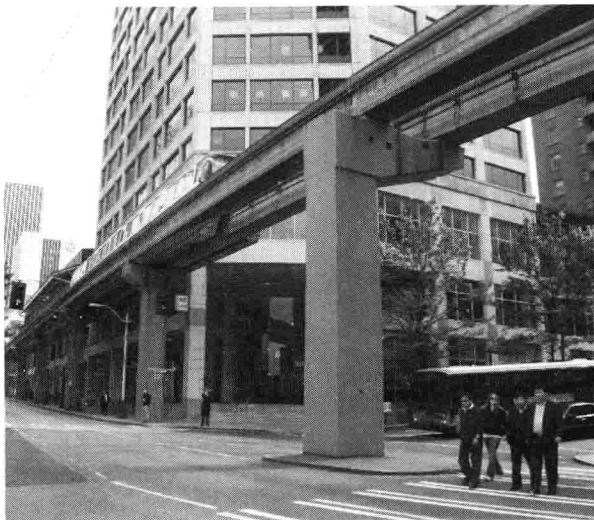


图 1-6 美国西雅图市独轨车的实景图

尺寸稍小些,运营速度一般为 20 km/h。

5. 市郊铁路

市郊铁路是连接城市市区与郊区,以及连接城市周围几十公里甚至更大范围的卫星城镇或城市圈的铁路,同时又是连接大中城市干线铁路的一部分,因此,它具有干线铁路的技术特征,如轨道通常是重型的。与城市轨道交通系统中的地下铁道等其他类型不同,在市郊铁路上通常是市郊旅客列车与干线旅客列车和货物列车混跑。市郊铁路的车辆运行速度远远大于其他城市交通工具,平均运行速度达 40 km/h 以上,最高可达到 120 km/h。如在法国,远郊的乘客只用半小时就可以到达市中心,如此快捷的运输速度吸引了大量客流。虽然市郊铁路采用干线铁路的技术标准,但其功能与干线铁路不同,因此,在技术性能上也略有差别。市郊铁路运行速度比干线铁路低;但其起动、制动加速度等远高于干线列车,略低于地铁列车;站间距离约 1~3 km。日本研究资料表明,市郊铁路的运营效率、能源消耗、投资费用以及土地利用等指标明显优于其他交通方式,市郊铁路的投资额是地铁的 1/10~1/5,1 人·km 的能源消耗是汽车的 1/7 左右,而运送能力单向每小时高达 6 万人次,是一种快速、经济、环保且可行的城市轨道交通方式。

6. 磁悬浮铁路

磁悬浮铁路是根据电磁学原理,利用电磁铁产生的电磁力将列车浮起,并推动列车前进的高速交通工具。由于它运行时悬浮于轨道上,因而没有轮轨的摩擦,突破了轮轨黏着极限速度的限制,成为人们理想的现代化高速交通工具。

(二)按路权及列车运行控制方式分类

根据城市轨道交通系统是否专用及列车运行控制方式的不同,轨道交通系统可分为路权专用、按信号指挥运行,路权专用、按视线可见距离运行和路权混用、按视线可见距离运行等类型。

1. 路权专用、按信号指挥运行

路权专用、按信号指挥运行类型系统的特点是线路专用,与其他城市交通线路没有平面交叉。由于路权专用及按信号指挥运行,可实行自动化的无人驾驶,行车速度快且行车安全性



好。属于这种类型的轨道交通系统主要有地下铁道、高技术标准的轻轨以及市郊铁路等。

2. 路权专用、按视线可见距离运行

路权专用、按视线可见距离运行类型系统的特点是线路专用,与其他城市交通线路没有平面交叉,行车安全性好,但由于无信号、按可视间隔运行,行车速度稍低。属于这种类型的轨道交通系统主要是中等技术标准的轻轨。

3. 路权混用、按视线可见距离运行

路权混用、按视线可见距离运行类型系统的特点是线路与其他运输车辆和行人共用,与其他城市交通线路有平面交叉。除在交叉口设置信号控制外,其余线路段按可视距离间隔运行,行车速度与安全性稍差。属于这种类型的轨道交通系统主要是低技术标准的轻轨和有轨电车。

(三)按高峰小时单向运输能力分类

根据城市轨道交通系统高峰小时单向运输能力的大小,轨道交通系统可分为高运量、中运量和低运量等三种类型。

(1)高运量是指轨道交通系统的高峰小时单向运输能力达到 3 万人以上,属于这种类型的轨道交通系统主要有重型地铁、轻型地铁和市郊铁路等。

(2)中运量是指轨道交通系统的高峰小时单向运输能力为 1.5 万~3 万人,属于这种类型的轨道交通系统主要有微型地铁、高技术标准的轻轨和独轨铁路。

(3)低运量是指轨道交通系统的高峰小时单向运输能力为 0.5 万~1.5 万人,属于这种类型的轨道交通系统主要有低技术标准的轻轨和有轨电车。

此外,城市轨道交通还可以有多种不同的分类方法。如:按轨道空间位置分类,将城市轨道交通划分为地下铁道、地面铁路和高架铁路等;按支承导向制式划分,划分为钢轮双轨系统、胶轮单轨系统和胶轮导轨系统等;按服务区域分类,可以划分为市郊铁路、市内铁路和区域快速铁路等;按路权专用程度划分,可以划分为线路全封闭型、线路半封闭型和线路不封闭型;按照运行控制方式分类,可以划分为自动控制、半自动控制、人工操纵等。

三、城市轨道交通的主要技术经济特征

从城市发展的角度看,城市人口的多少,城市范围的大小,决定了城市规模的大小。按城市人口和城市规模分,城市有大、中、小之分,不同规模的城市,其对交通运输的需求是不同的;城市的社会经济发展步伐不同,对交通的需求也是不一样的;不同需求等级的线路,会有不同运量和速度的交通运输系统与之相适应。因此,城市轨道交通作为交通运输方式之一,其建设和发展与城市的社会和经济发展紧密相关,与城市的人口、规模、形态及地理、气候、环境密不可分。

城市轨道交通有多种形式,其经济技术特征因各自的运能、速度、工程造价、营运费用及环境影响的不同而各不相同,从而满足不同城市或地区对交通运输的不同需求。但其共同的技术经济特征主要表现在以下方面:

(一)运量大

城市轨道交通的列车行车时间间隔短、运行速度快、列车编组辆数多且密度大,因而具有较大的运输能力。一般市郊铁路的单向高峰每小时的运输能力最大可达到 6 万~8 万人次,地铁可达到 3 万~7 万人次,轻轨一般在 1 万~4 万人次,有轨电车能达到 1 万人次,都远远超过了公共汽车等其他运输工具的运输能力。



(二)速度 快

城市轨道交通由于在专用行车轨道上运行,不受其他交通工具或行人的干扰,车辆可以有较高的运行速度和启、制动加速度,且由于普遍采用高站台,旅客乘降、换乘便利,大大压缩了站停时间,从而缩短了旅客出行的总时间。

(三)时 间 准

城市轨道交通由于使用专用行车通道,不受道路堵塞、恶劣气候等影响和干扰,可全天候运行,实行按图行车,可靠性强、准确性高。

(四)安全性好

与其他交通工具相比,城市轨道交通运行在专用线路上,没有平交道口,不受气候及其他交通工具的干扰,且普遍采用自动化程度高的通信信号控制设备,因此,极少发生交通事故,安全性非常好。

(五)成 本 低

城市交通工具属公共设施,其运营费用的高低,直接关系地方政府的财政支出多少,因此,日常运营费用高低是政府选择交通运输方式的重要决策依据。城市轨道交通由于采用先进的电力牵引技术,且轮轨摩擦阻力较小,与其他(如公共汽车等)交通工具相比具有速度快、能效高、用人少、运量大、费用低等特点,故常常被各国各地政府所首选。

(六)污 染 小

城市轨道交通由于采用电力牵引技术,与公共汽(电)车相比,基本不产生废气污染。且有利于减少小汽车及公共汽车的数量,从而减少废气的排放量。由于线路(如地铁)和车辆普遍采用了降噪措施,因此,其噪声对环境的污染也可以得到有效控制。

(七)占 地 省

大城市人口集中、土地昂贵、地面拥挤。城市轨道交通则通过对地下和地上高架等空间的利用和开发,不占或少占地面街道,能有效缓解汽车等地面交通工具发展造成的道路拥挤和堵塞,有利于城市空间的科学合理利用。同时可以缓解城市中心城区的拥挤、堵塞状态,提高土地利用价值,增加城市景观。

(八)舒适度高

城市轨道交通由于运行不受其他交通工具的干扰,其车辆运行特性较好,车辆、车站等场所一般都装有空调、通风、电梯、引导、自动售票等各种服务设施,使旅客的乘车环境和条件比公共汽(电)要好且舒适。

各类城市交通工具技术经济指标对比分析情况见表 1-1。

表 1-1 各类城市交通工具技术经济指标对比表

交通工具	平均速度 (km/h)	客运能力 (万人次/h)	乘车适宜时间 (min)	营运成本 [元/(人· km)]	能 耗 [(kJ/(人· km))]
公共汽车	20~30	0.5~0.9	8~30	2.47	752.4~902.9
有轨电车	30~40	1.0~1.5	8~30	1.85	564.3
地 铁	35~60	3.0~6.0	10~60	1.0	334.4~388.7
轻 轨	35~50	1.0~3.0	10~60		
单轨列车	30~60	1.0~3.0			539.2