



高等职业教育城市轨道交通专业系列规划教材

城市轨道交通概论

王 珏 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



高等职业教育城市轨道交通专业系列规划教材

城市轨道交通概论

王 珏 主编

毛保华 主审

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 8 年 · 北 京

内 容 简 介

本教材是为了满足城市轨道交通人才培训和培养的需要,根据2004年由铁道出版社组织的有国内多家城市轨道交通公司和有关院校人员共同参加的上海城市轨道交通教材研讨会精神编写的。

本教材共分六章,其内容包括城市轨道交通的发展、城市轨道交通线路、城市轨道交通车辆、城市轨道交通信号与通信设备、城市轨道交通的其他现代化设备和城市轨道交通的运营管理等。

本教材是可作为城市轨道交通相关高职专业教材,还可作为城市轨道交通相关中专专业和城市轨道交通的岗前培训参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通概论/王珏主编. —北京:中国铁道出版社,2008.3

(高等职业教育城市轨道交通专业系列规划教材)

ISBN 978-7-113-07532-3

I. 城… II. 王… III. 城市铁路-高等学校:技术学校-教材 IV. U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第024206号

书 名:城市轨道交通概论

作 者:王 珏 主编

策划编辑:金 锋

电话:010-51873134

电子邮箱:jinfeng88428@163.com

责任编辑:金 锋

封面设计:冯龙彬

责任校对:张玉华

责任印制:金洪泽

出版发行:中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街8号,100054)

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

版 次:2008年3月第1版 2008年3月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:12.5 字数:311千

印 数:1~3 000册

书 号:ISBN 978-7-113-07532-3/U·1995

定 价:22.00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调换。

电 话:(市电)010-63549495 (路电)021-73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504 路电(021)73187

随着我国国民经济的快速发展,我国城市轨道交通正处于快速发展时期。为了适应我国城市交通现代化的高速发展,满足城市轨道交通的用人需求,一些院校相继开设了城市轨道交通的相关专业。

目前,城市轨道交通的相关专业还没有一套完整、系统的教材,为此,中国铁道出版社于2004年4月特别邀请了北京、上海和广州等地铁公司的有关负责人和设有城市轨道交通高职高专院校的教师,在上海同济大学共同探讨了城市轨道交通的发展与未来。大家一致认为编写一套系统的城市轨道交通教材对满足城市轨道交通的用人需求以及城市轨道交通相关专业的良好发展都是很有必要的。

会上认真研讨了城市轨道交通相关专业教材的编写原则和编写要求,有关地铁公司的负责人从用人单位的角度对各教材的编写提出了希望和要求,各院校的教师们依据教学规范明确了各教材的编写原则。

2005年6月,在准备了一年之后,中国铁道出版社又将参加编写城市轨道交通系统教材的各院校教师召集到广州铁道职业技术学院。在广州,各院校的教师再一次根据上海会议精神进行了认真讨论,确定了各教材的编写大纲,明确了各位教师的编写任务。

本教材是高等职业教育城市轨道交通系列规划教材之一。在编写过程中,严格遵守上海、广州两次会议所要求的编写原则,力求做到资料新、内容全、深入浅出、图文并茂和通俗易懂。通过对本教材的学习,能够了解城市轨道交通的发展、城市轨道交通相关技术设备的基本组成与基本工作原理、目前我国城市轨道交通所采用的最新技术设备以及在新技术设备条件下的运营组织。

本教材由天津铁道职业技术学院王珏主编,由北京交通大学毛保华教授主审,编写分工为:天津铁道职业技术学院王珏(第一章、第三章、第六章)、南京铁道职业技术学院连苏宁(第二章)、南京铁道职业技术学院林瑜筠(第四章)、广州铁道职业技术学院曾险峰(第五章)。

由于城市轨道交通在我国正处于飞速发展时期,加之作者水平有限,教材中难免出现不足之处,敬请读者与专家指正。同时对给予本教材编写工作大力支持的北京地铁公司、上海地铁公司、广州地铁公司以及有关专家表示由衷的谢意!

编者
2007.10

第一章 绪 论	1
第一节 城市与城市交通.....	1
第二节 城市轨道交通概述.....	6
复习思考题	16
第二章 城市轨道交通车辆与牵引供电系统	17
第一节 城市轨道交通车辆的组成及主要技术参数	17
第二节 车 体	19
第三节 车钩缓冲装置	22
第四节 转 向 架	25
第五节 制动装置	30
第六节 空调通风系统	34
第七节 车辆的电力传动与控制	35
第八节 牵引供电系统	38
复习思考题	44
第三章 城市轨道交通线路与站场	45
第一节 轨道线路	45
第二节 路基、桥梁与隧道.....	65
第三节 车 站	73
复习思考题	83
第四章 城市轨道交通信号与通信设备	84
第一节 信号基础设备	84
第二节 联锁设备	96
第三节 ATC 系统	102
第四节 城市轨道交通的通信系统.....	117
复习思考题.....	135
第五章 城市轨道交通其他设备	136
第一节 自动售检票系统.....	136
第二节 环控系统.....	143
第三节 防灾报警系统.....	148
第四节 车站机电设备.....	155
第五节 车站机电设备监控系统.....	165
复习思考题.....	170

第六章 城市轨道交通运营组织.....	171
第一节 客运工作组织.....	171
第二节 行车工作组织.....	176
第三节 安全管理.....	190
复习思考题.....	193
参考文献.....	194

第一章 绪 论

城市是人类生活、工作密集度很高的场所,是人类进步与发展的产物。为了使在高密度、快节奏的城市人口有序而又方便地工作与生活,良好的城市交通则是其必不可少的基本保障。

第一节 城市与城市交通

一、城市的产生及城市的发展

(一)城市的产生

城与市原是两个不同的概念。城是指用墙包围起来的区域,而市则是指物品交易的场所。

在人类发展的历史长河中,早期的人们主要通过群居方式相互依存。他们共同狩猎、共同采摘来获取生存的基本资料——食物,他们的居住主要依附于自然的洞穴。这一时期就是我们现代人所说的原始共产主义时期,即原始社会时期。

随着人类对自然现象的逐步认识,人们开始逐渐对动物进行驯化、繁殖,并开垦土地播种粮食,修建房屋建设家园。这一时期人们从共同狩猎共同采摘的生存方式转向了以养殖动物播种粮食为主的生存方式,这一先进的生存方式带来了基本生活资料的结余。谁占有这结余的基本生活资料谁就有了生存的基本保障,从而产生了贫富差别并导致了私有制的产生,人类从此进入到私有制社会。

在私有制社会,人们为了掠夺他人的生活资料,以供自己生存所需并改善自己的生活,而在人类社会出现了战争。有掠夺就有反掠夺,人们为了保护自己的生活物资和家园,防止他人抢占,就在本部众密集居住和生活的地域周围修筑高墙来防御入侵。这样就出现了人类社会早期的城。我国早在公元前 2000 多年以前的五帝时期就有了这样的城,据我国考古学家在河南省登封考古时发现的一座古城,就被认定为是夏朝初年的都城——阳城。

在私有制社会,随着人类社会劳作的分工,不同劳作群体的人们所生产和拥有的生活资料的种类、数量也有所不同。人们为了获得他人所拥有而自己没有的生活资料来改善自己的生活,就开始了以物易物的交易。在交易过程中,随着交易数量和交易次数的不断增加,就逐渐地将交易场所固定下来,这就形成了市。

为了方便大多数人的商品交易,交易场所就自然而然地在人口密集的地方形成。由于城里正是人们密集居住和劳作的地方,城里人们的社会分工也随着社会的逐渐进步而细化,使得城里生活的人们对商品交易的依赖越来越强烈,从而使生活在城里的人们与商品交易紧紧相连。为了满足城里人们生活对商品交易的依赖,在城中就逐渐形成了具有一定规模的市场,从而就将城与市两个不同概念的名词有机地结合了起来,形成城市。当然今天城市的概念和当初城市的概念已经有了很大的变化。

(二)城市的发展与城市交通

初期的城市一般都是依据早期的人类自然村落而形成。当时的人们由于对大自然的认识能力和改造能力都有限,对修建城市的要求也仅仅是能够简单地抵御入侵和方便劳作与生活,这样早

期的城市就自然地出现在人们居住与生活比较集中的地方。随着人类社会的进步与发展,人们认识自然改造自然的能力逐步提高,城市出现的地方不再仅仅是人类原始的居住地,而是在人类社会需要的地方发展城市,如将交通要道的驿站、军事要地、矿产地、港湾、旅游风景区等慢慢地发展为城市。

在城市的发展过程中,城市区域的功能划分产生了城市道路网。早在奴隶社会向封建社会变革时期,城市的发展就已经出现了区域分工,逐渐形成了城市的政治区域、商业区域、居住区域、劳作区域以及殡葬区域等,尤其是作为区域隔离的道路形成了网络,使得行人和车马的行驶方便而通畅,城市区域的分工和完善的道路体系就是城市发展过程中的一个重要标志,在古希腊的米列都城和我国周代的王城就已经具有了这种方格式的道路体系。

城市发展的另一个重要标志就是城市人口的大量增加。随着城市功能的细分和道路体系的完善,带来了手工业生产的发展和商业的繁荣,从而吸引城市周边人口向城市的迁移,使得城市人口快速增长,城市人口的增长又导致城市地域的扩展。如我国西汉朝都长安,由于长时期的工商业繁荣发展,在当时已成为全国政治、经济、文化的中心,并拥有人口 35 万之众、城门 12 座、城周长 25.1 km;在唐朝定都长安时,人口已发展至 100 万之众,城周长已达 36 km,全城分为 108 个坊,拥有完整的棋盘式道路网,最宽的道路宽达 220 m,其市井道路也有 16~30 m 宽;北宋名城开封的人口也达 150 万~170 万,南宋临安(今杭州)也有 120 万左右;到明清时期,我国的城市发展已成较大规模,其著名的大城市已达 30 多个。

然而在城市的长期发展过程中,由于科学技术和交通工具的制约,城市的发展是十分缓慢的。直到 18 世纪中叶英国人瓦特发明了蒸汽机,在欧洲大地导致了一场工业革命,从而引起了欧洲工业的大力发展,同时也推动了欧洲城市化的发展。在欧洲城市化发展过程中,随着城市区域的不断扩大,城市城墙的功能则在逐渐淡化,而城市的工作、居住和交通的功能则在不断得到强化。尤其在 19 世纪中期机械交通工具的出现与发展,又引发了城市交通变革,在城市交通的逐渐变革与发展过程中反过来又促使城市不断地朝着现代化的方向发展。

今天的城市就是在不断完善的交通系统基础上发展而来。一般说来,在从城市边缘到市中心去的旅行时间就是居民单程出行可能承受的最大旅行时间,城市的半径往往等于居民在 1 h 内所能到达的距离。例如,在罗马,当步行为出行的主要交通方式时,其城市半径只有 4 km;在 19 世纪的伦敦,出行靠公共马车和有轨马车时,城市半径仅有 8 km;到 20 世纪,当人们利用市郊铁路、地铁或公共汽车出行时,其城市的半径就已达到 25 km;而 20 世纪末,在发达国家,当汽车(即使没有普及)十分常见时,城市半径就达到了 50 km。可见,城市半径随着交通工具的速度的提高而增大。

交通工具的特性决定了居民出行距离,通过对居民出行活动的影响,又间接作用于城市空间形态的变迁。城市发展的不同时代都以当时的主导交通方式为主要特征,在城市结构、土地使用、人口密度等方面呈现出各自显著的特点。在步行与马车时代,受交通工具速度的限制,城市的规模较小,呈紧凑的同心圆方式演变、发展。电车作为一种交通方式进入城市后,对城市形态产生了重要的影响,城市规模有了扩展,并对外沿电车线呈狭窄的带状发展。在汽车时代,小汽车作为私人交通工具进入家庭,城市开始大规模的郊区化时代,市区急剧向外蔓延,人口和地域规模扩大,发展轴延伸到更远的地区。

二、城市交通的发展及城市现代化交通系统

(一)城市交通的发展

在 16 世纪之前,城市交通的发展只是表现为城市道路网的不断修建与完善,其交通形式

则一直为个人行为的步行、骑马和马车出行。直到进入 16 世纪中期的罗马时代建立了地区性的车辆出租系统,公共交通才开始出现。最早的城市公共交通是在 1625 年左右于伦敦、巴黎出现的马车出租(这是出租车的前身),到 1700 年,伦敦的出租马车大概只有 600 辆左右。这一历史时期的公共交通主要是服务于贵族阶层,决大多数民众仍然依靠步行出行,故而城市结构仍然是密集而紧凑的,城市半径在步行距离之内。

现代意义上的城市大容量公共交通是 1819 年在巴黎运行的公共马车。这是一种可载多人的大型马车,在固定线路上往返运行,任何人只要交付一定的资费就可乘坐的公共交通,因而十分方便市民的出行。这种公共马车因其实用,很快就在欧美一些主要城市出现,1827 年在美国纽约运行了美国的第一条公共马车线路,其马车也得到了改良,马车的载人数也提高到 12 人。

随着城市规模的逐渐扩大,对公共交通运输能力的要求也在不断提高,人们为了有效地利用牵引动力,在改良马车的同时也在对道路进行不断的改造,通过借鉴矿山的轨道运输,于是有了轨道马车。

1832 年,在美国的纽约市的曼哈顿街道上铺设了轨道并开始运行有轨公共马车(城市轨道交通的雏形)。这种有轨马车仅用 2 匹马就可以拉动载有 40 多名乘客的车厢,比普通马车的乘客多出 2 倍。1847 年的英国伦敦出现了最早的双层公共马车,敞开的顶层可以让乘客悠闲地浏览市容。1851 年顶层有了遮阳防雨的顶篷。到 1861 年伦敦的街道上也有了有轨马车。图 1-1 所示是 1902 年在柏林街道上行驶的轨道公共马车。

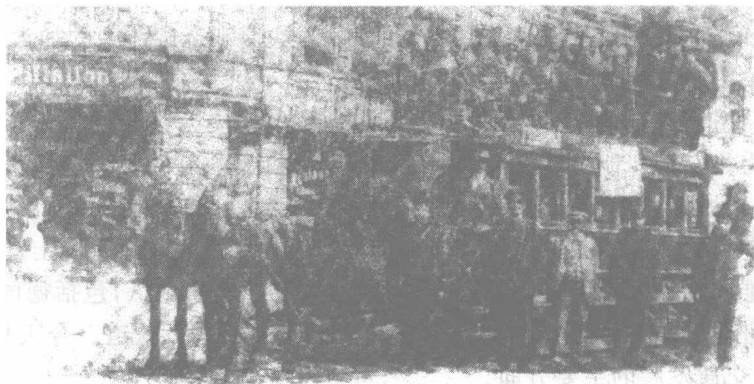


图 1-1 1902 年在柏林街道上行驶的轨道公共马车

自 1765 年英国人瓦特发明了蒸汽机,带领人类进入了“蒸汽机时代”。人们为了追求高效率的交通运输工具,许多发明家也纷纷把瓦特的发明应用到“自走式车辆”的设计中。法国人居尼奥花了 6 年时间,于 1769 年制成了世界第一辆具有实用价值的蒸汽汽车。但这辆式样很奇特的蒸汽汽车,由于存在许多致命的缺点,在试车中不断发生事故,最终因试车撞墙而变得面目全非。

蒸汽汽车在随后的发展过程中经历了漫长坎坷的历程。这其中不仅是受到当时科学技术水平的限制,人们头脑中旧的概念和旧的习惯势力更是严重地阻碍了蒸汽汽车的发展。尽管当时处于幼稚期的蒸汽汽车还无力与马车竞争,但却被马车行业的经营者视为未来的劲敌,受到他们的敌视、嘲笑和愚弄,并动用法律手段来对蒸汽汽车的使用进行限制。

1875 年美国议会也做出决议,认为蒸汽汽车是危险车辆,“含有一种与我们任何常识性的概念都不相符合的、极其危险的、极其自然力”。对蒸汽汽车的使用和制造进行了干预。而最早发明

了蒸汽汽车的法国,则由于1789年爆发了资产阶级革命以及后来的社会和政治上的动荡,在蒸汽汽车的研制方面中断了半个多世纪。

直到19世纪末,欧美的许多国家才又兴起了研究和制造蒸汽汽车的热潮,到1902年,仅美国就制造出了4 000多辆蒸汽汽车。由于蒸汽机的不断改进,蒸汽汽车的技术性能有了很大的提高,使得蒸汽机的体积大大缩小,车子的重量减轻许多,速度也随之提高,到两个世纪交替的时候,蒸汽汽车的性能已经达到了高峰,进入鼎盛时期。然而,伴随着科学技术的进步与发展,电能和内燃机的开发利用,蒸汽汽车就逐渐完成了交通运输的历史使命。

就在第一辆蒸汽汽车出现不久,英国人理查德·特里维西克根据蒸汽汽车工作原理,经过多年的探索、研究与改进,终于在1804年制造了一台单汽缸和大飞轮的蒸汽机车,能够牵引5辆车厢以时速8 km的速度在轨道上行驶,这就是在轨道上行驶的最早的机车。因为当时使用煤炭或木柴作燃料,人们就把它叫做“火车”。在此之后,史蒂芬森又积极改进了火车的性能,并且取得了很大的进展,于1814年制造出一辆有两个汽缸能够牵引30 t货物爬坡的火车。此时人们开始意识到,火车是一种很有前途的交通运输工具,并于1825年在英国的斯托克顿与达林顿之间开设了世界上第一条营业铁路。从这以后,火车就以速度快、运载能力大逐渐在世界范围得到了广泛的应用与快速的发展。随着牵引动力的改革,铁路发展速度逐步加快,到第一次世界大战爆发前夕,全世界就已经修建铁路达110万 km左右。

然而,由于城市人口的相对密集而存在的安全问题和当时马车业主们的极力反对,“火车”在城市范围的应用则受到了严重制约。直到1863年,因筑路技术的提高导致能够在城市地下修筑长大隧道时,英国伦敦才修通了世界上第一条用蒸汽机车牵引的地下铁道。虽然蒸汽机车在隧道内运行时烟雾熏人,但因道路的独立、速度的快捷和运载能力的加大而受到伦敦各界的喜爱。

第一条地下铁道在伦敦的诞生为人口密集的大城市发展公共交通提供了很好的经验,特别是1879年电力机车的研制成功,使得地下运输环境和服务条件得到了极大的改善,从此世界上一些著名的大城市先后修建了地下铁道。从1863年到1899年期间,修建地下铁道的就有5个国家的7座城市,它们是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、奥地利的维也纳以及法国的巴黎。在20世纪初期的欧美地区,包括德国的柏林和汉堡、美国的费城、西班牙的马德里等9座大城市又都相继修建了地下铁道。今天地下铁道仍是世界各大城市公共交通发展的主要方向。

电能的利用无疑是19世纪人类最伟大的创举,它为我们带来了全新的生活方式和巨大的社会财富。自1831年英国的物理学家、化学家迈克尔·法拉第在试验中发现电磁感应现象,并试制出世界上第一台发电机时,就把人类社会逐渐带入了电的世界。

1866年德国的电工学家、实业家恩斯脱·韦尔纳·冯·西门子研制出自激励式发电机,1870年比利时的Z·T·克拉姆又研制出了自激励式直流发电机。在经过不断的改进之后,电机技术已经走向成熟,1877年真正实用的发电机开始进入商业化生产阶段。

当时最成功地利用电能作动力的交通工具要算是有轨电车了,它是在有轨公共马车的基础上发展起来的。1879年德国的西门子-哈尔斯克电报机制作所研制出了第一辆有轨电车,并在柏林的工业展览会上进行了表演。这是一辆通过第三轨供电的电车,车上装有一台2.2 kW的电动机,在表演时可拉动3节载有18人的平板车厢。

1881年德国又发明了以高压输电线供电的电车供电系统,采用架空导线为电车输送电力,而不再需要铺设第三轨,从而提高了电车的负载力和用电的安全性。同年5月,柏林建成

了世界上第一条有轨电车线路,全长 274 m。不久后欧美的各大城市也都先后建成了有轨电车线路,一时间有轨电车成了城市中最受欢迎的公共交通工具。在 20 世纪 20 年代,美国的有轨电车线路总长就达 25 000 km 左右。1908 年,我国上海建成了中国第一条有轨电车线路,1909 年又在大连修建了有轨电车线路。随后,我国的北京、天津、沈阳、哈尔滨、长春、鞍山等城市也相继修建了有轨电车线路。但是随着汽车的发展,有轨电车的许多缺点被显现出来,如在钢轨上行驶时产生的震动和噪声,以及只能沿着轨道行驶不够灵便,同时轨道还破坏了城市街道路面的平整等。世界各大城市都纷纷拆除有轨电车线路,我国也不例外。目前,我国仅大连、长春、鞍山 3 座城市还保留了部分有轨电车线路。

今天随处可见的汽车则是人们出行最方便的代步工具。然而,汽车的发展历史可以追溯到 19 世纪中期的 1860 年,这一年法国人鲁诺阿尔发明了第一台内燃机,从此将人类交通带上了内燃动力之路。

1886 年,举世公认的第一辆现代意义的汽车在德国诞生。这是德国人卡尔·本茨在不断总结前人发明的基础上研究制造的,该车为单缸四冲程三轮汽车,随后又有德国人戈特利布·戴姆勒制成了四冲程汽油机驱动的四轮汽车。

1908 年 10 月,使福特名垂青史的“T”型“经济车”面世,成为世界最早批量生产的大众化汽车。这种车简单实用、材料出众、结构轻巧,尤其是脚踏变速器操作十分方便。到 1913 年,由于福特公司建成了世界上第一条汽车装配流水线,致使福特“T”型汽车的制造速度大大加快,制造成本大幅度降低,从而推动了汽车工业和汽车交通的大力发展。

20 世纪 20 年代,由于汽车制造技术的不断创新与完善,从而进入了汽车的快速发展时代。汽车因其速度优势、灵活优势和多用途优势,在货运、客运、邮政、消防、军事以及城市公交等多个运输领域得到广泛发展。

受到汽车快速发展的影响,城市有轨电车因其诸多的缺点很难适应汽车的竞争,因而有轨电车逐渐遭到淘汰。但电车公司不甘失败,在借鉴汽车的构造特点前提下很快就制造出无轨电车,在城市的公共交通领域与汽车竞争,尤其在 20 世纪 30、40 年代汽油成为战争的统配物资受到严格控制时,汽油的短缺使得无轨电车得到大力发展的机会,使之成为世界许多国家城市的重要公共交通工具。无轨电车最早在 20 世纪 20 年代初首先行驶在美国一些城市的街道上,随后就在欧洲和世界的许多城市出现。我国大力发展无轨电车是在 20 世纪的 50、60 年代,这一时期正是我国建国发展初期,当时我国石油资源也十分紧缺,为了跟上国家建设发展的步伐,克服石油资源的严重不足,我国许多大城市都在这一时期选择了发展无轨电车来改善城市交通。今天,无轨电车在我国仍是重要的公共交通工具之一。

(二)现代化城市交通系统

城市交通是城市发展的产物,是为城市服务的重要环节,是城市基础设施的重要组成部分,也是城市持续发展的基本保障。现代化城市的发展,充分表明了城市交通在城市发展的进程中起到了极其重要的作用,其作用主要表现为:城市交通是城市生存与发展的必要条件,是城市内外联系的纽带,是城市布局的框架,是城市生活的重要组成部分,也是城市现代化的重要标志。

城市交通包括城市对外交通和城市内交通。城市对外交通是城市间及城市与乡村间的交通,其交通形式有铁路、航空、公路、水路及管道等。市内交通是服务于城市的交通,根据服务对象的不同有客运交通和货运交通,其客运交通因交通性质的不同有公共交通和私人交通之分,作为大城市应大力发展公共交通。城市公共交通又因交通形式的不同有轨道交通、非轨道交通和特殊交通。

城市交通系统的主要构成如图 1-2 所示。

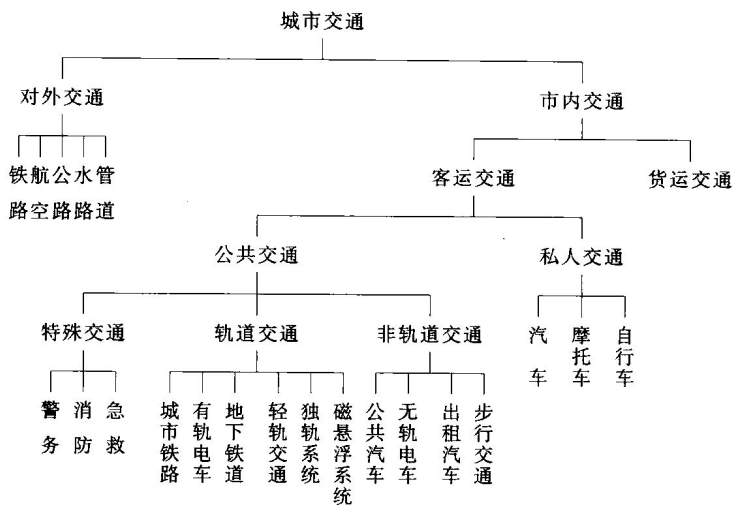


图 1-2 城市交通系统的主要构成图

现代化的城市交通系统是一个复杂的庞大系统,在这个系统里交通形式呈现出多样性,道路设施呈现出网状性和立交性,交通服务要求呈现出方便性、快速性和舒适性等。如何根据城市自身情况,合理发展城市交通是各个城市所面临的共同问题。

第二节 城市轨道交通概述

城市轨道交通是指以轨道运输方式为主要技术特征,以城市客运公共交通为服务形式的交通运输方式。自 1863 年在英国伦敦出现世界上第一条地下铁道线路以来,城市轨道交通经历了曲折的发展历程。近年来,随着科学技术的进步和城市的快速发展,城市交通也得到了非常快的发展,尤其是城市轨道交通的发展非常明显。

一、城市轨道交通的优势与局限

(一)城市轨道交通的发展优势

城市轨道交通的优势主要体现在运能大、速度快、能耗低、污染少、安全可靠、舒适性佳和占地面积少等多个方面。

1. 运能大

现代化的轨道交通,由于先进科学技术的运用,使得列车行车密度和单列载客能力得到了大幅度地提高,从而大大地提高了城市轨道交通的运输能力,能够充分满足现代化城市大客流的需要。目前,大型地下铁道系统的高峰小时单向运能力可达 6 万~7 万人次。

2. 速度快

由于列车采用先进的电动车组动力牵引方式,又有良好的线路条件和自动控制体系,列车的快速运行安全有了保障。因此,现代城市轨道交通系统的列车运行速度比过去有了明显的提高。目前,地下铁道列车的最高运行速度能达到 100 km/h,旅行速度基本可达到 35~45 km/h,这在各种城市交通方式中是最快的。

3. 能耗低

由于城市轨道交通为大运量集团化客运系统,且又采用了多项高新技术,在客流得到保证的情况下,使得每位乘客的能源平均消耗远远低于其他任何一种城市交通方式。

4. 污染少

城市轨道交通一般均采用电力牵引动力方式,列车在运行过程中由于以电为能源产生动力,较之以燃油为动力的交通工具没有废气污染;就算采用以内燃机为动力的内燃动车组列车,也因大运量集团化运输方式,而使每位乘客所均摊的污染微乎其微。因而城市轨道交通有“绿色交通”之称,这正是现代都市可持续发展最为关注的问题——环境保护问题。

5. 安全可靠

由于城市轨道交通路线一般都采用立交方式而与地面其他交通方式完全隔离,不受地面交通干扰;现代化轨道交通一般都采用先进的信号安全系统来确保列车运行安全,因而受气候条件影响很小;轨道运输的准点性也是其他交通形式不可比拟的。因此,城市轨道交通是城市客运交通方式中可靠性最强的一种。尤其是在上下班高峰时段、气候条件恶劣之时,对于时间观念极强的现代城市交通行为者而言,这点优势是至关重要的。

6. 舒适性佳

城市公共客运交通方式的舒适性主要表现在环境质量与拥挤度两个方面。对城市轨道交通系统而言,不论是车站的环境,还是途中车厢内的乘车环境,均因有现代化的环控设施保障(如采用全空调等)而环境质量较佳;拥挤度则因轨道交通的快速性、准时性和列车间隔时间小带来的乘客候车时间短而得到较佳的调整。

7. 占地面积少

城市轨道交通一方面因大量采用立交形式,而大大减少了城市土地的占用,另一方面又因大运量集团化运输方式,而使乘客的交通行为人均所占的道路面积进一步减少。

城市轨道交通另外还使得沿线土地得到有效利用和开发,使得城市的布局更加合理和更加方便市民的出行,同时还增添了现代都市景观效应。因此,城市轨道交通的发展近年来在世界各地呈现出蓬勃向上之势,无论是在经济发达的国家与地区,还是在发展中国家和地区,城市轨道交通均成为发展城市交通的重要手段。

(二)城市轨道交通的局限性

城市轨道交通虽然有许多优点,然而在具体的发展过程中还存在建设投入大、线路建成后不易调整、运营成本高等局限性。

1. 建设投入大

为了使城市轨道交通的优势得到充分体现,城市轨道交通路线的修建往往需要立交,并且形成网络。然而,城市轨道系统建设要求高,施工难度大,设备技术标准高,使得每公里线路的修建需要上亿元的投入,尤其是地下铁道每公里造价达3亿元以上。因此,城市轨道交通路线建设一次性的工程投资巨大,一个国家或地区的城市没有相当强的整体经济实力无法承受如此巨额的投资负担。

2. 线路建成后不易调整

城市轨道交通路线一般均是永久性结构(比如地下隧道、高架桥结构等),建成后几乎无调整的可能性。因此,城市轨道交通路线的选线及路网规划应严格按照城市发展规划进行认真制定,否则,会造成极大的工程投资浪费。

3. 运营成本高、经济效益有限

城市轨道交通的运营成本主要包括设备投资成本、运营管理成本、设备维护和保养成本、能源消耗成本以及员工的工资成本等。

由于城市轨道交通系统使用了科技含量较高的设备与设施,为了使这些设备、设施(如列车牵引系统、环境控制系统、车站机电设备系统、通信信号设备系统和高标准的防灾系统等)处于良好工作状态,就需要加强日常维修和保养,而用于日常维修和保养的费用则很高;城市轨道交通系统需要人员素质较高,必须对员工进行定期的技术、安全培训,其培训教育经费也较高;此外,由于城市轨道交通运营系统的特殊性,站间距小,车站的服务项目多等,则需用员工人数也较多,这都是使得城市轨道交通系统运营成本居高不下的原因。

城市轨道交通系统带有较强的公益性特征,较多地关注间接的社会整体效益,无法按运输成本核收票价,极易导致运营亏损。虽然已有少数城市轨道交通系统因乘客量巨大,产业开发经营较佳而达到略有盈余,但还是有众多的城市轨道交通系统处于“亏本经营”,依赖国家与地方政府、社会机构提供补贴。

二、城市轨道交通的种类

城市轨道交通发展不但呈现速度快、数量多,而且呈现类型多样化、设施更先进、管理经营更科学、整体效益更佳的趋势,随着城市发展与城市化进程的发展,轨道交通的地位与作用正被重新估量。

(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,城市轨道交通系统主要有市郊铁路、有轨电车、地下铁道、轻轨交通、独轨系统和磁悬浮系统等。

1. 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的铁路,它往往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行。

2. 有轨电车

有轨电车是一种在城市道路上修建轨道并采用空中架设输电系统的城市轨道交通系统,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交通拥挤的地带才被采用。有轨电车轨道系统的建设投资较小,见效较快,但运输能力相对也较小。自1881年德国发明了高压输电的电车供电系统后,柏林就建成了世界上第一条有轨电线路,19世纪后期和20世纪前期是有轨电车的发展高峰。旧式的有轨电车由于与公共汽车及行人共用街道路权,且平交道口多,因而其运行所受的干扰多,速度慢。现代有轨电车与性能较差的轻轨交通已很接近,只是车辆尺寸稍小些,运营速度接近20 km/h。

由于近来人们环保意识和能源危机意识的不断提高与加强,有轨电车在世界不少城市有复苏的迹象,我国也有不少城市提出了恢复有轨电车的设想,其中备受瞩目的天津泰达现代有轨电车项目。泰达现代有轨电车工程将分为两期,全程30 km。一期工程为试验段,全长8.8 km,南起轻轨洞庭路站,北至大学城北部的学院区北站;二期工程则将试验段向两端延伸,向北连接北塘,向南接塘沽城区。试验段工程总投资(不含车辆)约1.9亿人民币,预计设置车站14座,全部为地面站,并采用岛式站台。在车辆选择方面,将选用8列法国

劳尔 Translohr 有轨电车。该车采用 100% 低底盘设计,地板与地面的距离尚不到 30 cm,不但乘客们上下车十分方便,就连残疾人的轮椅也能毫不费力地推上车,人性化设计理念显露无疑。而橡胶制成的电车动力轮,将运行时的噪声减到最低,也会大大降低车辆对路面的损坏。

3. 地下铁道

地下铁道的原始意义是修建在地下隧道中的铁路。随着地下铁道的发展,其线路布置已不仅仅只局限在地下隧道中,而是根据需要也可以布置在地面或采用高架的方式修建,但城区内的线路还是以地下为主。对世界各国地下铁道系统进行分类研究可知,地下铁道由于所采用的技术标准不同又可分为重型地铁、轻型地铁与微型地铁三种类型,它们的运载能力因技术标准的不同而差别很大。目前,地下铁道的概念通常是指重型地铁,其单向小时最大运输能力在 30 000~60 000 人次之间,其服务范围主要集中在城市市区。

4. 轻轨铁路

轻轨铁路的原始涵义是指车辆运行的线路所使用的钢轨比重型地铁所使用的钢轨轻。由于轻轨铁路的钢轨较轻,其整体的技术标准也低于地铁,因而轻轨的运输能力也远远小于地铁,早期的轻轨一般是直接对旧式有轨电车系统改建而成。在 20 世纪 70 年代后期一些国家开始修建全新的现代轻轨系统,使得轻轨系统的行车速度、舒适程度及噪声得到了很大地改善。随着轻轨线路的高架,其相关技术标准也在与地铁接近,因而轻轨的运输能力也相应得到了提高,目前轻轨的单向小时最大运输能力能在 8 000~40 000 人次之间。轻轨的服务范围主要连接市区与郊区,构成市区与重点郊区的大运能通道。

5. 独轨系统

独轨系统是车辆或列车在单一轨道梁上运行的城市客运交通系统。独轨系统的线路通常采用高架结构,车辆则大多采用橡胶轮胎。从构造形式上还可分为跨骑式独轨与悬挂式独轨两种(如图 1-3 所示)。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运行的形式。独轨系统由于道岔转换时间较长而制约着通过能力,因而单向小时最大运输能力在 5 000~20 000 人次之间,但它的爬坡性能很好,适合于在地面起伏较大的城市修建。我国重庆现已开通的轻轨线路就是采用的跨骑式独轨系统技术,如图 1-4 所示。

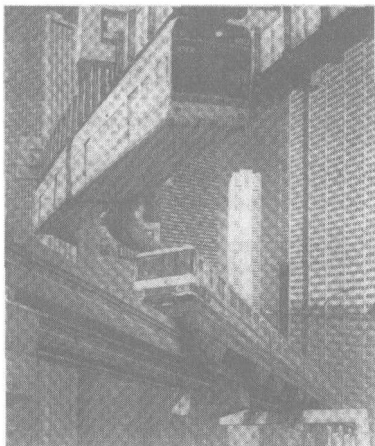


图 1-3 跨骑式独轨与悬挂式独轨

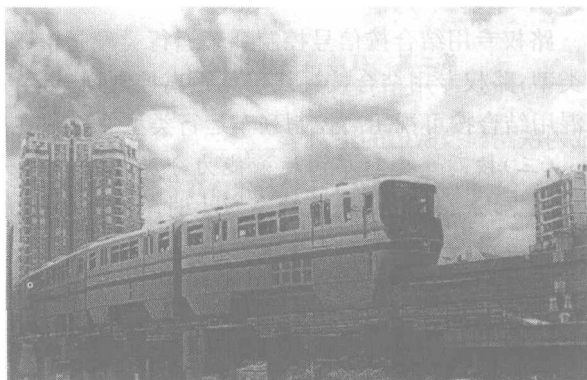


图 1-4 重庆第一条跨骑式独轨轻轨

6. 磁悬浮系统

磁悬浮列车实际上是依靠电磁吸力或电动斥力将列车悬浮于空中并进行导向,实现列车与地面轨道间的无机械接触,再利用线性电机驱动列车运行。由于列车在牵引运行时与轨道之间无机械接触,因此从根本上克服了传统列车轮轨粘着限制、机械噪声和磨损等问题,所以它也许会成为人们梦寐以求的理想陆上交通工具。

磁悬浮系统的轨道往往也采用轨道梁的高架结构,它的时速可达到 500 km 以上,是当今世界最快的地面客运交通工具,有速度快、爬坡能力强、能耗低的优点,每个坐位的能耗仅为飞机的三分之一、汽车的 70%。它运行时噪声小、安全舒适、不烧油,污染少。

中国乃至世界上第一条高速磁悬浮铁路商业运行线是 2001 年 3 月 1 日开工建设的上海磁悬浮列车示范线。上海磁悬浮列车示范线西起上海地铁 2 号线龙阳路车站南侧,东到浦东国际机场一期航站楼东侧,线路总长 31.17 km,设计时速和运行时速分别为 505 km 和 430 km,总投资 89 亿元(上海磁悬浮列车如图 1-5 所示)。目前,德国、日本等一些国家也正在规划建设城市磁悬浮交通。



图 1-5 上海磁悬浮列车

(二)按路权使用及列车运行控制方式分类

根据城市轨道交通系统的路权使用情况不同,有路权专用与路权混用之分。路权专用系指轨道交通系统的道路为独立道路系统,不与其他任何道路存在干扰;路权混用则指轨道交通线路与其他交通车辆共用道路,并且还与其他线路还存在平面交叉。

根据列车运行控制方式的不同城市轨道交通系统有按信号控制列车运行和按视线可见距离控制列车运行两种方式。按信号控制列车运行方式安全性能好,可满足列车快速行驶;按视线可见距离控制列车运行方式安全性能较差,列车不宜快速行驶。

根据这两方面的分类组合,城市轨道交通系统就有路权专用结合按信号控制列车运行类型、路权专用结合按视线可见距离控制列车运行类型和路权混用结合按可视距离控制列车运行类型三种。

路权专用结合按信号控制列车运行类型是市郊铁路、地下铁道、高技术标准的轻轨普遍采用的类型;路权专用结合按视线可见距离控制列车运行类型主要适合中低技术标准的轻轨采用;路权混用结合按可视距离控制列车运行类型一般只在有轨电车这样低技术标准的轨道系统采用。

(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、中运量和低运量等类型。

高运量轨道交通系统的高峰小时单向运输能力在 30 000 人次以上,属于该种类型的轨道交通系统主要有地下铁道和高技术标准的轻轨铁路。

中运量轨道交通系统的高峰小时单向运输能力为 15 000~30 000 人次,属于该种类型的轨道交通系统主要有轻轨铁路和独轨铁路。

低运量轨道交通系统的高峰小时单向运输能力为 5 000~15 000 人次,属于该种类的轨道

交通系统主要有低技术标准的轻轨铁路和有轨电车。

应当指出,以上分类并不是绝对的。事实上,在一些不同类型城市轨道交通系统之间并没有明确的、清晰的界限。专业文献资料表明,国外对同一种轨道交通系统有轻型地铁和轻轨等不同称呼的情况。综合城市轨道交通的相关分类,不同等级的城市轨道交通系统见表 1-1。

表 1-1 我国城市轨道交通技术等级表

系统类型		I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
		高运量地铁	大运量地铁	中运量轻轨	次中运量轻轨	低运量轻轨
通用车辆类型		A 型车	B 型车	C-I、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	线路状态	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
车站	平均站距(m)	800~1 500	800~1 200	600~1 000	600~1 000	600~1 000
	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(站 6 人/m ²)	310	240	220	220	104~202
	最大轴重(t)	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)	1 435	1 435	1 435	1 435	1 435
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	司机架驶	司机驾驶
	行车控制技术	ATC	ATC	ATP/ATS	ATP/ATS	ATP/CTC
运营	列车编组	6~8	6~8	4~6	2~4	2
	列车最小行车间隔(s)	120	120	120	150	300

三、世界城市轨道交通概况

据统计,目前世界上共有 40 多个国家(地区)的 130 多个城市已有或正在规划建设城市轨道交通,建设发展城市轨道交通系统已成为世界各国城市解决城市交通问题的主要方案。世界城市轨道交通概况见表 1-2 所示。

表 1-2 世界城市轨道交通概况

城市	开通年份	线路总长(km)	数量	车站数	平均速度(km/h)	最小间隔时分	备注
伦敦	1863 年	423.0	11	286	33.0	2 min 30 s	轻轨 2 条
柏林	1902 年	134.0	9	163	33.0	2 min 30 s	
巴黎	1900 年	303.0	18	434	24.0	1 min 35 s	轻轨 1 条
汉堡	1912 年	98.0	3	87	32.0	2 min	