



高等学校城市地下空间工程专业规划教材

地铁与轻轨工程

DITIE YU QINGGUI GONGCHENG

曾润忠 李艳凤◎主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

地铁与轻轨工程

曾润忠 李艳凤 主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书以地铁与轻轨工程的建造过程为主线,以地铁与轻轨的规划设计、施工、到运营管理为序,系统地介绍了地铁与轻轨工程的基本知识,重点介绍地铁与轻轨系统的组成子系统与各部分的特点,力求让读者对地铁与轻轨交通有一个系统、全面、概括的了解,为后续课程的学习打下良好基础。

本书可以作为城市地下空间工程专业的教学用书,也可作为从事地铁与轻轨交通工程相关的勘察、设计、施工、运营管理等工作的参考用书及其它相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

地铁与轻轨工程 / 曾润忠, 李艳凤主编. — 北京:
人民交通出版社股份有限公司, 2016. 6

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

ISBN 978-7-114-12779-3

I. ①地… II. ①曾… ②李… III. ①地下铁道—铁路工程—高等学校—教材 ②轻轨铁路—铁路工程—高等学校—教材 IV. ①U23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 109668 号

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

书 名: 地铁与轻轨工程

著 作 者: 曾润忠 李艳凤

责任编辑: 张征宇 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 13

字 数: 300 千

版 次: 2016 年 6 月 第 1 版

印 次: 2016 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12779-3

定 价: 28.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

编 委 会

主任委员:张向东

副主任委员:宗 兰 黄 新 马芹永 周 勇
齐 伟 祝方才

委 员:张 彬 赵延喜 郝 哲 彭丽云
周 斌 王 艳 叶帅华 宁宝宽
平 琦 刘振平 赵志峰 王 亮

序 言

近年来,我国城市建设以前所未有的速度加快发展,规模不断扩大,人口急剧膨胀,不同程度地出现了建设用地紧张、生存空间拥挤、交通阻塞、基础设施落后等问题,城市可持续发展问题突出。开发利用城市地下空间,不但能为市民提供创业、居住环境,同时也能提供公共服务设施,可极大地缓解城市交通、行车、购物等困难。

为适应城市地下空间工程的发展,2012年9月,教育部颁布了《普通高等学校本科专业目录》(以下简称专业目录),专业目录里将城市地下空间工程专业列为特设专业。目前国内已有数十所高校设置了城市地下空间工程专业并招生,而在这个前所未有的发展时期,城市地下空间工程专业系列教材的建设明显滞后,一些已出版的教材与学生实际需求存在较大差距,部分教材未能反映最新的规范或标准,也没有形成体系。为满足高校和社会对于城市地下空间工程专业教材的多层次要求,人民交通出版社股份有限公司组织了全国10余所高校编写“高等学校城市地下空间工程专业规划教材”,并于2013年4月召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路,于2014年4月召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,目前这套规划教材陆续出版。

这套教材包括《地下工程概论》《地铁与轻轨工程》《岩体力学》《地下结构设计》《基坑与边坡工程》《岩土工程勘察》《隧道工程》《地下工程施工》《地下工程监测与检测技术》《地下空间规划设计》《地下工程概预算》等11门课程,涵盖了城市地下空间工程专业的主要专业核心课程。该套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,充分考虑知识体系的完整性、准确性、正确性和适用性,强调结合新规范、增大例题、图解等内容的比例,做到通俗易懂,图文并茂。

为方便教师的教学和学生的自学,本套教材配有多媒体教学课件,课件中除教学内容外,还有施工现场录像、图片、动画等内容,以增加学生的感性认识。

反映城市地下空间工程领域的最新研究成果、最新的标准或规范,体现教材的系统性、完整性和应用性,是本套教材所力求达到的目标。在各高校及所有编审人员的共同努力下,城市地下空间工程专业系列规划教材的出版,必将为我国高等学校城市地下工程专业建设起到重要的促进作用。

高等学校城市地下空间工程专业规划教材编审委员会
人民交通出版社股份有限公司

前 言

本书是高等学校城市地下空间工程专业规划教材中的一部,根据新的教学大纲及城市地下空间工程专业的教学需要编写。

本书系统地介绍了地铁与轻轨的设计、建设、运营等基础知识。全书共八章,主要内容包括绪论、地铁与轻轨的路网规划、地铁车站与轻轨车站及区间的设计要点、地铁与轻轨涉及的轨道工程、地铁与轻轨所使用的车辆供配电设备及控制系统、地铁与轻轨土建工程的施工方法及施工技术、地铁与轻轨的灾害防护、地铁与轻轨的运营及管理。编者力求使读者能够通过本书的学习建立起对地铁与轻轨的整体认识,了解地铁、轻轨的组成及建造过程。本书对地铁与轻轨各专业的设计、施工、管理不作过细的讲授,以免与专业课的相关知识重叠。

本书编写过程中努力做到理论知识与实践案例相结合,常用工法与新技术并重,注重拓展读者的专业视野,培养解决实际工程问题的能力。为使读者更好地掌握各章节内容,每章后均附有复习思考题。

本书由华东交通大学曾润忠主编。参加编写的有华东交通大学曾润忠(第五章第三节、第六章、第七章第三~五节)、沈阳建筑大学李艳凤(第二章、第八章)、金陵科技学院毛昆明(第一章、第三章)、南京工程学院韦有信(第四章)、南昌轨道交通集团周诚华(第七章第一、二节)、华东交通大学罗世民(第五章第一节)、华东交通大学许期英(第五章第二节),全书由曾润忠负责统稿。

本书的编写得到辽宁工程技术大学张向东教授的帮助,在此表示感谢。

由于时间仓促,水平有限,书中难免有不足和错误,恳请专家和广大读者批评指正。

编 者

2016年5月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 城市轨道交通概况	1
第二节 城市轨道交通发展现状及前景	5
思考题	10
第二章 地铁与轻轨的路网规划	11
第一节 路网规划的内容与原则	11
第二节 地铁与轻轨路网规划的规模	12
第三节 路网规划方法	15
思考题	22
第三章 地铁与轻轨车站	23
第一节 概述	23
第二节 地铁车站结构与设计	24
第三节 轻轨车站结构与设计	31
第四节 区间隧道设计	33
思考题	37
第四章 地铁与轻轨的轨道工程	38
第一节 概述	38
第二节 钢轨	39
第三节 扣件	49
第四节 轨下基础	55
第五节 道岔	61
第六节 无缝线路	67
思考题	71
第五章 地铁与轻轨的设备及控制系统	72
第一节 轨道车辆设备	72
第二节 供配电及牵引系统	88
第三节 通信及控制系统	107
思考题	126
第六章 地铁与轻轨土建施工	127
第一节 地铁明挖施工法概述	127
第二节 地铁暗挖施工法概述	136
第三节 地铁盾构法施工概述	144
第四节 地铁其它施工方法简介	153
第五节 高架结构施工概述	159

思考题.....	166
第七章 地铁与轻轨的灾害防护	167
第一节 地铁与轻轨工程的灾害概述.....	167
第二节 地铁与轻轨的防灾设计.....	168
第三节 地铁工程的火灾防护.....	173
第四节 地铁工程防水.....	179
第五节 地铁与轻轨其它灾害的防护.....	183
思考题.....	187
第八章 地铁与轻轨的运营及管理	188
第一节 地铁与轻轨交通运输工程管理体系.....	188
第二节 地铁与轻轨票务系统.....	190
思考题.....	195
参考文献	196

第一章 绪 论

第一节 城市轨道交通概况

城市轨道交通是城市公共交通系统的一个重要组成部分,在国家标准《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量公共交通的总称”,它包括地铁、轻轨、市郊铁路、有轨电车以及磁悬浮列车等多种类型。当今世界范围内人口向城市集中,城市化步伐加快,大中型城市普遍出现人口密集、住房紧缺、交通阻塞、环境污染严重、能源匮乏等所谓的“城市病”,城市道路交通已经难以满足城市交通的需求,城市轨道交通以其用地省、运能大(轨道线路的输送能力是公路交通输送能力近 10 倍)成为城市公共客运交通中起骨干作用的现代化立体交通系统,城市轨道交通已被称为“城市交通的主动脉”。

城市轨道交通是指以轨道交通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轮轨交通系统(有别于道路交通),主要为城市公共客运服务,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。城市轨道交通主要包括以下几类:有轨电车(Tramway)、地下铁道(Metro)或称为快速轨道交通(Rapid Rail Transit, RRT)、轻轨交通(Light rail Transit)、独轨交通(Monorail)、自动化导向交通(Automated Guideway)、磁浮交通系统(Maglev System)、缆索轨道交通(Cable Railway)等。

下面将目前国内外城市通常采用的主要轨道交通系统简单介绍如下。

一、地下铁道

地下铁道简称地铁,主要指在大城市的地下修建车站和隧道,并在其中铺设轨道,以电动快速列车运送大量乘客的城市铁路系统或捷运系统。在城市郊区以及人员车辆较少的地方,地铁线路也可延伸至地面或高架桥上。地铁运输几乎不占用街道面积,也不干扰地面交通。

地铁交通车辆大部分采用动力分布式(即动车组),而不采用动力集中式。另外,部分较为先进的系统已开始引入列车自动操作系统,如伦敦、巴黎、新加坡和我国的台湾、香港地区等地车辆通常都不需控制列车。更先进的轨道交通系统正在向无人操控的全自动方向发展,例如,世界上最长的自动化 LRT(Light Rail Transit)系统——温哥华 Skytrain,整个 LRT 系统所有的车站及列车均实现了“无人管理”。

在交通拥挤、行人密集、道路又难以扩建的街区,以地铁代替地面交通工具,具有许多优点。其主要表现在以下几个方面:

(1) 地铁交通具有安全、快捷、方便、准时的特点,可为乘客赢得效益,乘坐地铁通常要比利用地面交通工具节省 $1/2 \sim 2/3$ 的时间。它以车组方式运行,载客量大、准点率高、安全舒适。对于多条地下铁道立体交叉的情况,在交叉节点处设有楼梯、自动扶梯或垂直电梯,换乘



极为方便。同时,由于地铁的行驶路线不与其它运输系统(如地面道路)重叠、交叉,因此行车受到的交通干扰较少,可节省大量通勤时间。

(2)修建地铁可以改造地面环境。一方面地铁建于地下,可以减小对地面环境的噪声干扰;另一方面,地铁列车是以电力驱动,相对于以石油为能源的汽车,地铁交通没有废气的排放,大大降低了对地面生活环境的影响。

(3)地铁可节省地面空间。通过地铁建设建立起城市立体交通系统,能保护城市中心区域有限的地面资源,完善城市的交通服务功能。

(4)地铁可以带动周边经济发展。地铁会带动沿线地产、商业的增值,加速人口的流动,乃至拉动区域、城市的发展。从这点上来说,建设地铁可以为城市在其它方面带来长期丰厚的回报。

(5)城市地铁具有一定的防御战争和抵御地震破坏的能力。由于地铁位于地下,比较隐蔽,所以在战争状态下一般不易成为轰炸的目标,且地铁在修建时已经充分考虑了人防要求。另外,由于地铁隧道在地下围岩的约束下与围岩变形协调,所以在地震作用下能够很好地抵御地震的灾害作用。从近些年来地震情况来看,地铁所遭受的破坏程度相对桥梁等地上建筑来说比较轻。

因此,对于大城市,尤其是对国际化特大城市来说,建设地铁是非常必要的。从目前已建成地铁的城市来看,一般认为,当城市人口超过100万时就有考虑修建地铁的必要性。

同时,城市地铁建设和运营中还面临着很多问题,主要表现在以下几个方面:

(1)地下铁道的建造和运营成本高。由于地下工程的复杂性和不确定性,地下建造成本要远高于地面建设。一般来说,地铁工程的每千米造价在4亿~7亿元,且车辆每辆的造价动辄高达数千万元。此外,地铁的运营维护成本也很高,即使搭乘人流再大,所收票额也仅供日常运营开销。地铁修建所投入的高昂成本很难通过售票等措施的收入收回。目前,世界上除中国香港、新加坡等少数城市的地铁系统能够实现真正意义的盈利外,其它地铁没有一个不是靠政府的补贴下修建和维持运营的。

(2)地下铁道的建设周期长。地铁建设过程包括挖掘地下洞室、铺设铁轨、安装设备以及进行各种调试工作,地铁从开始动工到投入运营需要很长的时间。

(3)前期准备时间长。由于需要规划和政府审批,甚至还需要试验,建设地铁的前期准备时间较长。从开始酝酿到破土动工需要非常长的时间,短则几年,长则十几年都是有可能的。

(4)运营中的安全性有待提高。虽然地铁对于雪灾和冰雹的抵御能力较强,但是对水灾、火灾和恐怖活动等抵御能力很弱。考虑到地铁的构造,极易导致因为这些因素而发生悲剧。

①水灾。由于地铁内各系统所处高程低于地平线,而导致地上的雨水容易灌入地铁内。因此,地铁在设计时不得不规划充分的防水排水设施,即便如此,依然有可能发生地铁站淹水事件。为此,在发生暴雨之时,地铁车站入口的防潮板和线路上的防水闸门都要关闭。一个知名的例子是台北捷运在“纳莉”台风侵袭时曾经发生淹水事件。北京地铁一号线也曾因暴雨积水关闭了数小时。就在2014年,美国纽约因暴雨导致地铁运输系统瘫痪,不仅使得地铁被淹,还造成一名女子死亡。这名女子的车围困在洪水中,被另一辆车撞上发生了事故。

②火灾。以前,人们不太重视地铁站内的防火设施,而车站一旦发生火灾,瞬间就会充满烟雾,从而引发严重的灾祸。1987年11月18日,英国伦敦地铁 Kings Cross 站发生火灾,造

成32人死亡、100多人受伤,经济损失严重。大火是从一自动扶梯的底部开始烧起来的。地铁站的自动扶梯是古老的木质电梯,极为陈旧,已有40多年的历史。大火的火势迅速蔓延,浓烟滚滚,当时在地铁站候车的乘客乱作一团,中央售票大厅到处是混乱奔跑的人。人们咳嗽、流泪,陷入无比的恐惧之中。地上横七竖八地躺着人,有的人已被烧得面目全非,受惊人群夺路而逃。地铁站的大火烧了4个小时才被扑灭。这次伦敦地铁大火,是有史以来世界地铁系统发生的第一次大火。对于这次大火的起因众说纷纭。据伦敦警方调查,大火是由堆积在电梯下面的垃圾被电梯发动机所打出的火星点燃而引起的,也有人说是由于被丢弃尚未熄灭的烟头而引起的。所以大火以后,英国地铁系统全面禁止吸烟。伦敦地铁发生大火以后,许多国家迅速做出反应,普遍加强了地铁的消防工作。

但是地铁火灾仍然不断发生。如2003年2月28日,韩国大邱市的地铁车站因为精神病人纵火而产生火灾,12辆车厢被烧毁,192人死亡,148人受伤。这次火灾产生如此严重死伤的原因除了车厢内部装饰采用可燃材料之外,车站区域内排烟设施不完善也是重要因素,加上车辆材质燃烧时产生了大量的一氧化碳等有害物质,而导致不少人中毒死亡。再如2010年11月28日,土耳其伊斯坦布尔市海达尔帕夏火车站因为焊接火花以及电线短路导致起火,幸无人员伤亡,但部分建筑损毁。

③恐怖活动。由于地铁的空间狭小、人流量大、单位空间内人员密度大,发生灾难引起的伤亡大且救援困难,且引起的社会反响较大,所以地铁往往也容易成为恐怖分子袭击的目标。1995年3月20日,日本邪教组织“奥姆真理教”在东京地铁内施放“沙林”毒气,造成12人死亡,5000多人中毒。2002年5月11日,身份不明的恐怖分子在意大利米兰大教堂地铁站点燃了一个30千克重的巨型燃气罐,试图制造爆炸,但所幸被警方及时发现后扑灭,地铁被迫关闭约半小时。米兰著名的哥特式大教堂就在地铁站的正上方。2002年11月,英国军情五处(MI5)挫败了一起试图用“山埃”毒气袭击伦敦地铁的阴谋,3名据信来自突尼斯和摩洛哥的男子被捕,此事疑与“北非阵线”有关。而“北非阵线”又和基地组织有着密切关系。2004年2月6日,俄罗斯莫斯科一列地铁列车在运行中发生爆炸,造成近50人死亡,130多人受伤。2004年8月31日,莫斯科里加地铁站附近发生恐怖爆炸事件,造成10人死亡,51人受伤。2010年3月29日早晨7点50分左右,莫斯科市卢比扬卡地铁站内一节车厢发生爆炸。其后,莫斯科地铁文化公园站发生爆炸。随后又发生第三起爆炸事故,地点位于和平大街地铁站。此次事件被称为莫斯科地铁连环爆炸案。

二、轻轨交通

轻轨交通是在有轨电车的基础上发展起来的以电力驱动车辆与列车在特定保护下,但不一定与城市道路立体交叉的轻型、便捷的城市客运方式。其输送能力为1.5万~3.0万人次/小时。它的车辆轴重较地铁轴重轻,因此,施加在轨道上的荷载相对于城市铁路和地铁的荷载来说要小一些,因而称之为轻轨。

轻轨交通是城市轨道交通的一种,是目前缓解城市交通压力的主要形式之一。因为它具有诸多优点,而越来越被人们所认可,成为当今世界上发展最为迅猛的轨道交通形式。它的主要优点有:

(1)相对于普通的城市公共交通而言,它具有运量大、噪声小、污染小、速度快、安全性高



以及正点运行的优点。

(2)相比地铁等其它城市轨道交通来说,它的灵活性更高,而且投入的成本要小很多。一般情况下,地铁的平面曲线半径不小于300m,而轻轨一般在100~200m之间,转弯能力和与其它建筑的协调能力比地铁要灵活得多。

三、独轨交通

独轨交通又称单轨交通,是指车辆在一根轨道上运行的轨道交通系统,通常区分为跨座式和悬挂式两种:跨座式是指车辆跨坐在轨道梁上行驶;悬挂式是指车辆悬挂在轨道梁下方行驶,其重心处于轨道梁的下方。因其轨道比较窄,仅为85cm,故对城市的景观及日照影响较小。我国第一条独轨运输系统是重庆市较新线跨座式独轨运输系统,整个工程的一期工程于2004年底建成通车,线路共18个车站,全长18.878km。

独轨交通,不单是所占的地面面积小,垂直空间亦较小。独轨铁路所需的宽度主要由车辆的宽度决定,与轨距无关,且独轨铁路多数以高架兴建,地面上只需很小的空间建造承托路轨的桥墩。但相比其它高架铁路,独轨所占的空间较小,亦不大影响视线,能有效利用道路中央隔离带,适于建筑物密度大的狭窄街区。独轨使用橡胶轮胎在混凝土或者在钢轨上行走,噪声污染小。独轨铁路的爬坡能力强,拐弯半径小,一般正线最大坡度60‰,最小曲线半径100m,适合复杂地形。

但是,独轨交通也有运能小、速度低、能耗大、粉尘污染等缺点。此外,由于橡胶轮与混凝土轨面的滚动摩擦阻力比钢轨大,所以,其能耗要比普通钢轮钢轨的轨道交通约大4000;橡胶轮与轨道间的摩擦会形成橡胶粉尘,对环境有轻度污染;列车运行在区间发生事故时,面积狭小的轨道梁难以安设救援设施,造成疏散和救援工作都比较困难。因此,尽管独轨交通已经经历了一个多世纪的发展历程,但它在世界范围内却并没有得到广泛的应用。

四、有轨电车

有轨电车是一种公共交通工具,简称电车,通常采用地面线,有时具有隔离的专用路基和轨道,列车只有单节,最多亦不过3节。旧式的有轨电车由于与其它公共汽车及行人共用道路路权,且平交道口多,因而其运行所受的干扰多、速度慢、通行能力低,单向运输能力一般在1万人次/小时以下。现代有轨电车与运量较低的轻轨交通已很接近,只是车辆尺寸稍小一些,运营速度接近20km/h,单向运能可达2万人次/小时。

有轨电车自1879年在柏林博览会上首次尝试使用以来,已有100多年的历史。它在城市交通体系中具有自己的优点,主要包括:对于中型城市来说,路面电车是便宜实用的选择;无须在地下挖掘隧道;相较其它路面交通工具,路面电车能更有效地减少交通意外发生的概率;路面电车以电力驱动,车辆不会排放废气,是一种无污染的环保交通工具。

但有轨电车也有缺点:效率比地下铁路低。路面电车的速度一般较地下铁路慢,除非路面电车行驶的大部分路段是专用的(主要行驶路面电车的专用路段一般称为轻便铁路)。路面电车每小时可载客约7000人,但地下铁路每小时载客可达12000人。路面电车路轨占用路面,路面交通要因路面电车而改道,并让出行车线。如采用槽形轨,汽车和有轨电车可以共用一条马路。有轨电车需要设置架空电缆。超级电容供电和地下轨供电还处于试验阶段。

五、磁悬浮交通系统

磁悬浮列车利用电磁体“同名磁极相互排斥,异名磁极相互吸引”的原理,让磁铁具有抗拒地心引力的能力,使车体完全脱离轨道,悬浮在距离轨道约 1cm 处,腾空行驶,创造了近乎“零高度”空间飞行的奇迹。

由于磁悬浮列车具有快速、低耗、环保、安全等优点,因此前景十分广阔。常导磁悬浮列车速度可达 400 ~ 500km/h,超导磁悬浮列车可达 500 ~ 600km/h。它的高速度使其在 1000 ~ 1500km 之间的旅行距离中比乘坐飞机更优越。由于没有轮子、无摩擦等因素,它比目前最先进的高速火车少耗电 30%。在 500km/h 速度下,每座位/千米的能耗仅为飞机的 1/3 ~ 1/2,比汽车也少耗能 30%。因无轮轨接触,振动小、舒适性较好;可是颠簸大,对车辆和路轨的维修费用也要求极高。磁悬浮列车在运行时不与轨道发生摩擦,发出的噪声较低。磁悬浮列车一般以 5m 以上的高架通过平地或翻越山丘,从而不可避免开山挖沟对生态环境造成的破坏。磁悬浮列车在路轨上运行,按飞机的防火标准实行配置。

磁悬浮列车虽然具有这么多的好处,但世界上只有上海浦东磁悬浮铁路真正投入商业运营。尽管日本和德国已经有了实验路线,尽管 2005 年上海浦东机场到市区 30km 长的线路已经投入正式运营,但磁悬浮列车要想如同现今的普通轮轨式铁路那般成为民众日常交通工具,似乎还遥遥无期。那么,究竟是什么原因呢?

首先是安全方面。由于磁悬浮系统必须辅之以电磁力完成悬浮、导向和驱动,因此在断电情况下列车的安全就不能不是一个要考虑的问题。此外,在高速状态下运行时,列车的稳定性和可靠性也需要长期的实际检验。还有,则是建造时的技术难题。由于列车在运行时需要以特定高度悬浮,因此对线路的平整度、路基下沉量等的要求都很高。而且,如何避免强磁场对人体及环境的影响也一定要考虑到。

第二节 城市轨道交通发展现状及前景

一、世界城市轨道交通发展趋势

1863 年 1 月 10 日,用明挖法施工的世界上第一条地铁在伦敦建成通车,列车用蒸汽机车牵引,线路全长约 6.4km,区间隧道断面为矩形双线断面,宽度为 8.69m,高度为 5.18m。1890 年 12 月,伦敦首次用盾构法施工,建成另一条线路,由电气机车牵引,线路长约 5.2km,区间隧道断面为圆形断面。虽然城市轨道交通诞生已有一百多年,但受到重视并大规模修建城市轨道交通系统则是在第二次世界大战结束以后。20 世纪下半叶以来,伴随着世界范围内的城市化进程,大城市逐步形成了以地下铁道为主体,多种轨道交通类型并存的现代城市轨道交通新格局。

自 19 世纪 60 年代伦敦建成世界第一条地铁以来,轨道交通的投资、建设、运营和管理不断变化并走向成熟和完善。目前,世界城市轨道交通呈现以下三大发展趋势。

1. 投资多元化

最初,轨道交通投资主体比较单一,或由私人主体来投资,或由政府财政直接投资。随着



轨道交通规模的越来越大,为了解决资金问题和提高轨道交通的效率,很多城市轨道交通都由政府和社会资本等共同投资。投资主体的多元化已成为世界轨道交通的发展趋势。

(1)通过多元化投资来解决资金不足的问题。随着轨道交通的建设规模逐步增大,所需资金越来越多,政府和社会资本一般都不可能独资建设。通过由政府独家投资变为面向社会筹资而形成多元化的投资格局,可以解决资金问题,也可减轻政府的财政压力。东京都的地铁建设在前期主要由政府投资,但在地铁网络形成规模、地铁经营走向私有化后,1991年后的新线建设部分所需巨额资金则大部分依靠企业债务筹措,即主要来自政府长期贷款、政府无息贷款、民间资金和政府补助金。

(2)轨道交通的准公共产品性质要求投资主体多元化。轨道交通是一种准公共产品,政府在投资中起着重要的作用,但是轨道交通又可以带动沿线进行商业开发和商业化经营,因此决定了轨道交通投资需要政府和社会资金共同参与。也就是说,只有多元化投资才符合这种准公共产品的运行特点。实际上,许多城市政府积极鼓励社会资本介入轨道交通的投资,而政府只是投入少部分起导向作用的资金。

(3)投资多元化可以提高轨道交通的运行效率。投资主体的多元化可以发挥各个投资主体的优势,同时又可以相互监督和约束,从而使轨道交通更有效率。实际上,私人资金的介入不但能弥补政府资金不足的问题,更大的作用在于促使轨道交通经营效率的提高。欧洲城市早期轨道交通建设的资金来源比较单一,如伦敦世界第一条包括后来的几条轨道交通线均由私人来投资。现在,为了提高轨道交通的效率,欧洲城市轨道交通投资多元化趋向明显,其投资来源除了政府的财政支持外,越来越趋向于吸引私营公司的资金参与轨道交通建设,其结果自然提高了运行的效率。又例如,为提高轨道交通运营效率,东京市政当局根据不同路段的资金投入和回收情况,在投资环节尽可能地鼓励私人资金介入。

2. 经营市场化

轨道交通在历史发展的进程中,有的采取完全的国有垄断经营模式,有的采取市场化经营模式,有的介于这两者之间。现在,很多城市充分发挥市场作用以提高轨道交通的运行效率,在轨道交通运营上引入市场机制已成为一种发展趋势。

(1)打破垄断以促进经营市场化。随着市场经济发展和轨道交通运行实践的变化,政府垄断经营或者政府干预太多使建设和运营成本相对较高而效率却很低,结果导致亏损越来越大。为了使轨道交通更有效率,有关部门改变政府或其它组织独家经营的方式,尽量通过市场化的方式,想方设法打破垄断。

(2)引入市场竞争机制推动经营市场化。很多城市轨道交通通过招投标等多种方式引入竞争机制,促使轨道交通经营主体通过相互竞争提高运营效率。日本和东京市政当局在轨道交通的建设和运营中尽可能地引入竞争机制,除了鼓励私人资本参与市郊铁路的建设,日本铁道公司也吸收了很多私人股本。即使是国有的市区地铁线路,也分成两家主体进行管理,使之相互竞争。

(3)运用市场化经营放大资金的乘数效应。政府资金毕竟有限,通过市场化的经营,可以带动更多的社会资金积极参与,这些社会资金在追求利润最大化的前提下能够更好地经营,其结果必然放大了政府资金的乘数效应。

(4)通过经营市场化提高轨道交通的运行效率。市场化的经营方式充分考虑到了市场经济规律,能够根据市场信号做出较好的反应,最终可以提高轨道交通的运行效率。很多城市的轨道交通由专业化的经营公司按商业化原则来经营,借助市场的力量来提高经营效率。伦敦采取了收支两条线的经营管理方式,东京则是在可经营的市郊铁路上积极引入私铁的概念,香港更是借助了市场的力量,从资金管理、建设成本控制、运营管理等全方位提高效率,为全世界提供了商业化运作的楷模。相反,纽约轨道交通由于没有形成合理的竞争机制等原因,导致目前轨道交通的服务质量和运行效率不高。

3. 管理法制化

由于早期建设的规模较小和限于当时的社会经济条件,规范轨道交通管理的法制开始并不完善。现在,很多城市轨道交通实行全面法制化管理以规范各方行为和维护各方利益,以法制化的管理来保障轨道交通持续、稳定和高效的运行。轨道交通的全面法制化管理也是世界轨道交通发展的重要趋势。

(1)实行轨道交通全面的法制化管理。很多城市随着轨道交通的发展其轨道交通的法律所规范的范围越来越广,涉及投资者、经营者、管理者、消费者之间的关系以及各自行为的诸方面。香港当局通过制定全面、详细的轨道交通方面的法规来规范企业的权利、义务、行为,形成了稳定、透明的法规体系。1975年制定了《地下铁路公司条例》,此条例有关地铁公司在建设与管理方面的规章相当齐全,香港地铁公司就是依据此条例成立的。2000年这个条例被《地下铁路条例》所取代,适应形势变化,其就地铁公司的专营权、财产、法律责任、管理职能等作了新的界定。

(2)利用法制来规范各方行为和维护各方利益。通过法制来规范政府、企业和市民的行为,使政府、企业和市民均在法律的约束下投资轨道交通或使用轨道交通。同时,当政府、企业和市民的权利受到侵犯时,通过法律来维护各方的利益。如日本《帝都高速营团法》对营团地铁线路的运营制定了详细规定,包括地铁服务水平、企业监督报告、检查手续、就业人员资格等,以此规范有关人员和组织的行为,同时也维护其利益。

(3)运用法制化管理来降低不确定性和风险。轨道交通的投资、建设、运营和管理等方面都存在一些事先无法预测的因素,但是如果投资者事先已经知道法律的有关规定,就可以适当加以防范,部分降低不确定性和风险。如香港特区政府制定了《地下铁路条例》,多年来,不论其董事局如何换届,董事局主席如何更替,该公司均有法可依、有章可循,保障了香港地铁公司管理和运营的持续性和稳定性。纽约通过了《公共交通法》,规定政府不仅要在财政上保证对公共交通的投入,而且在技术上扶持城市公共交通的发展,以此部分降低轨道交通的风险。巴黎的法规也规定,城市交通设施的基本建设,中央政府投资40%,其余由地方政府和有关部门投资。

(4)通过法制化管理来保证公平和公正。最初很多城市轨道交通管理带有随意性和盲目性,导致公正性和公平性较差。随着轨道交通的建设规模越来越大,轨道交通管理逐步建立在整个社会的集体契约基础之上,对轨道交通的建设和运营的管理也有专门性的立法来规范。轨道交通的法制化管理可以使公平、公正原则得到较好的体现。实际上,现代发达国家十分重视在城市轨道交通的投资、管理和经营上通过法制来维持公平和公正。



二、我国城市轨道交通发展现状

我国城市轨道交通建设起步较晚,自 1965 年开始建设北京地铁一期工程,截至 2012 年底,已有北京、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、佛山共 17 个城市,累计开通 70 条城市轨道交通运营线路(含试运营线路),总运营里程达到 2064km。其中地铁 1726km,占 84%;轻轨 267km,占 13%;现代有轨电车 41km,占 2%;磁悬浮 30km,占 1%,具体见表 1-1。预计 10 年内我国还将新建城市轨道交通运营里程约 5000km。到 2020 年,预计全国城市轨道交通总里程将达到约 6100km。

2012 年全国已开通城市轨道交通线路运营里程统计表

表 1-1

序号	城市	运营线路 (条)	形式及运营里程(km)				车站数 (个)	总里程 (km)
			地铁	轻轨	现代有轨电车	磁浮		
1	北京	16	442.0	—	—	—	275	442.0
2	上海	13	425.1	—	9.2	30.0	295	464.3
3	天津	5	76.9	52.3	7.9	—	96	137.0
4	重庆	4	55.8	75.3	—	—	91	131.1
5	广州	8	220.9	—	—	—	137	220.9
6	深圳	5	178.6	—	—	—	131	178.6
7	武汉	2	27.7	28.8	—	—	47	56.6
8	南京	3	81.6	—	—	—	57	81.6
9	沈阳	2	49.9	—	—	—	41	49.9
10	长春	2	—	47.5	—	—	49	47.5
11	大连	4	—	63.4	23.4	—	57	86.8
12	成都	2	41.0	—	—	—	36	41.0
13	西安	1	20.5	—	—	—	17	20.5
14	苏州	1	25.7	—	—	—	24	25.7
15	昆明	1	18.0	—	—	—	4	18.0
16	杭州	1	48.0	—	—	—	31	48.0
17	佛山	1	14.8	—	—	—	11	14.8
合计		70	1726.3	267.3	40.5	30.0	1399	2064.0

但我国城市轨道交通只有 40 多年的发展历史,回顾我国城市轨道交通的发展历程,尽管轨道交通发展取得显著成就,但也存在诸多突出问题,对轨道交通系统整体功能的发挥产生了较大影响。主要问题有以下几点:

1. 城市轨道交通建设起步晚

我国轨道交通起步普遍较晚,尤其是上海、广州等特大城市轨道交通建设起步发展稍晚,国际同类特大城市通常在城市人口 400 万左右即快速建设轨道交通。北京虽然起步较早,但初期发展缓慢,1965 年始建至 2001 年的 36 年时间仅建成 42km。而随着社会经济的快速发展,小汽车快速进入家庭,城市交通面临巨大挑战,因此造成几个特大城市近些年超速建设轨

道交通,带来不少安全问题。同时由于前期工作不够充分,给后期工作造成很多隐患,如北京、上海普遍出现的换乘不便问题。

2. 城市轨道交通整体系统功能不完善

与国际大都市相比,我国的大城市基本均未形成以地铁为主、辅之以轻轨、有(无)轨电车和公共汽车、多层次的立体交通网络。突出表现为轨道交通网络不完善,系统内换乘不便,而且与其它交通方式的接驳不便,严重影响了整体效能的发挥,对居民出行的吸引力有待提高。

3. 部分线路建设时序安排与城市发展缺少协调

城市轨道交通线网中哪条线路先建,哪条后建,一条线路中哪些区段先建,哪些区段后建,都有建设时序问题。线路建设时序安排应与城市土地利用开发相协调,形成互动发展,否则难以发挥规划引导作用。如广州地铁4号线作为规划提出的“TOD”线路,目前41km线路日均客流量只有3.4万人,这主要是由于线路建设与城市规划不同步,经过的部分地区没有按照设想的发展,衔接配套措施相对滞后,交通引导城市空间发展目标的实现还有待时日。

4. 轨道交通的投融资缺少创新机制

我国在交通建设投资上开始实现由单一的政府投资向多元化和市场化转变,初步形成了“政府引导,社会参与,市场运作”的投资格局。在投资渠道上,现有轨道交通建设投资来源以财政渠道居多,取之于市场机制的较少,大多城市轨道交通建设需要依靠政府多方筹措资金,制订长期计划,逐步组织实施,缺少创新机制。在投资方向上,整体投资意识不足,在轨道交通建设投资对提高城市交通系统总体发展水平的作用上缺乏综合性系统评价。在资金分配上,应急建设、应急投资的现象十分普遍,而不是根据城市经济发展状况,制定出相应的轨道交通发展规划,导致轨道交通建设资金难到位,规划和建设不相协调的矛盾比较突出。

因此,我国轨道交通发展需要做到以下几点:

1. 政府政策保障

轨道交通的建设能够推动国民经济的发展,能够解决城市的交通问题等,是国家重要的基础设施。发展初期需要政府政策的支持,如制定相应的法规,明确国家和地方的投入比例,对前期建设和运营的费用给出保障措施。通过法规的制定,保证轨道交通建设发展的刚性需求。在轨道交通进入快速发展期后,可探索以资本市场为平台,拓展轨道交通产业的多元化融资渠道,以产权为纽带,引入市场化体系,发展轨道交通产业。在此阶段,可探索多种融资模式,如BOT、PPP等项目融资,股票及债券融资,信贷,租赁,信托等多种方式进行融资模式创新。进入成熟期后,轨道交通所需的资金主要用途是改造和维护现有路网。进入此阶段后,应该能够形成较为完善的投资建设法律法规体系,能够形成较为合理的投融资模式,轨道交通产业的市场化应更加明显。

2. 科学运营

我国轨道交通的发展起步晚,发展时间短,尚未形成网络化运营,且在站场布局上与各种运输方式的衔接性较差,无统一的规划和协调。目前,我国轨道交通系统的规划虽然也考虑到其它交通方式,但是由于其它交通方式存在已久,不能够合理地进行统一规划,在整体上未呈现出布局的系统化、集成化和高速化。在对国外及我国香港等地区较为先进的运营模式进行