



高等轨道交通
系列教材

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG
LIECHE YUNXING KONGZHI

城市轨道交通 列车运行控制

贾文婷 / 主编 庞绍煌 / 主审



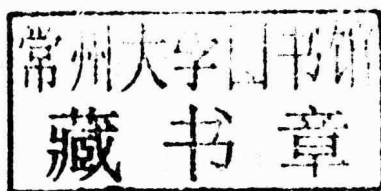
北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

高等教育城市轨道交通系列教材

城市轨道交通列车运行控制

贾文婷 主编

庞绍煌 主审



北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统地阐述了城市轨道交通系统中控制列车运行的基础设备和主要技术及方法,对列车自动控制技术(ATC)的三个子系统做出了较全面的分析,并结合目前新建线路中列车运行的案例,介绍了最先进的列车控制技术——基于通信的列车控制技术(CBTC)。本书着重从基本概念、基本原理入手,对列车运行控制技术进行了较为详细的讲解。

本书旨在为高等院校相关专业学生,以及高等职业院校相关专业的学生提供教学用书,同时为相关工程技术人员和一线工作人员提供学习和参考用书。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通列车运行控制/贾文婷主编. —北京:北京交通大学出版社,2011.12
(高等教育城市轨道交通系列教材)

ISBN 978-7-5121-0824-0

I. ①城… II. ①贾… III. ①城市铁路-轨道交通-列车-运行-控制系统-高等学校-教材 IV. ①U284.48

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第257712号

责任编辑:贾慧娟 陈跃琴

特邀编辑:温建华

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

地 址:北京市海淀区高粱桥斜街44号

邮编:100044

印 刷 者:北京市德美印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:12.75 字数:346千字

版 次:2012年1月第1版 2012年1月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-0824-0/U·83

印 数:1~2500册 定价:25.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

《高等教育城市轨道交通系列教材》

编 委 会

顾 问：施仲衡

主 任：陈 庚

副 主 任：朱晓宁 司银涛 章梓茂

委 员：郑光信 毛保华 韩宝明

赵晓波 贾慧娟 李 菊

本书主编：贾文婷

主 审：庞绍煌

出版说明

为促进城市轨道交通专业教材体系的建设,满足目前城市轨道交通专业人才培养的需要,北京交通大学交通运输学院、远程与继续教育学院和北京交通大学出版社组织以北京交通大学从事轨道交通研究教学的一线老师为主体、联合其他交通院校教师,并在北京地铁公司、广州市地下铁道总公司、南京地下铁道有限责任公司、北京市轨道交通建设管理有限公司、香港地铁公司等单位有关领导和专家的大力支持下,编写了本套“高等教育城市轨道交通系列教材”。

教材编写突出实用性。本着“理论部分通俗易懂,实操部分图文并茂”的原则,侧重实际工作岗位操作技能的培养。为方便读者,本系列教材采用“立体化”教学资源建设方式,配套有教学课件、习题库、自学指导书,并将陆续配备教学光盘。本系列教材可供相关专业的全日制或在职学习的本专科学生使用,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

本系列教材的出版得到施仲衡院士的关注和首肯,多年从事城市轨道交通研究的毛保华教授和朱晓宁教授对本系列教材的编写给予具体指导,《都市快轨交通》杂志社的主办和协办单位专家也给予本教材多方面的帮助和支持,在此一并致谢。

本系列教材从2011年8月起陆续推出,首批包括:《城市轨道交通设备》、《列车运行计算与设计》、《城市轨道交通系统运营管理》、《城市规划》、《轨道交通需求分析》、《交通政策法规》、《城市轨道交通规划与设计》、《企业发展战略》、《城市轨道交通土建工程》、《城市轨道交通车辆概论》、《城市轨道交通牵引电气化概论》、《城市轨道交通信号与通信概论》、《城市轨道交通列车运行控制》、《城市轨道交通信息技术》、《城市轨道交通运营统计分析》、《城市轨道交通安全管理》、《交通运营统计分析》、《城市轨道交通客流分析》、《城市轨道交通服务质量管理》、《城市轨道交通客运管理》。

希望本套教材的出版对城市轨道交通的发展、对城市轨道交通专业人才的培养有所贡献。

教材编写委员会
2012年1月

总 序

近年来，中国经济飞速发展，城市化进程逐步加快。在大城市中，地面建筑越来越密集，人口越来越多，交通量越来越大，交通拥堵对社会效益和经济效益都带来了很大影响。据统计，国内每年由于交通拥堵造成的损失将近一千多亿元。

解决交通拥堵，有各种各样的方法，其中城市轨道交通在土地利用、能源消耗、空气质量、景观质量、客运质量等方面具有一定优势，正逐步成为许多大城市交通发展战略中的骨干，并形成以地铁、城市快速铁路、高架轻轨等为主的多元化发展趋势。

我国城市轨道交通从20世纪50年代开始筹划。1965年7月，北京市开始兴建中国第一条地下铁道。经过近50年，特别是近十年的发展，截至2010年年底，我国已有13个城市拥有49条运营线路，总里程达1 425.5 km。另有16个城市，总计96条、2 000余公里的线路正在建设中。目前已发展和规划发展城市轨道交通的城市总数已经接近50个，全部规划线路超过300条，总里程超过10 000 km。

随着城市轨道交通在全国范围的迅猛发展，各地区均急需轨道交通建设、运营管理的大批技术人员和应用型人才。目前全国有近百所高等院校和高等职业院校已开设或准备开设城市轨道交通及相关专业。全国几十家相关企业也都设立自己的培训中心或培训部门。

从目前的情况看，在今后几年，城市轨道交通人才的培养应该处于大专院校的学历教育与企业、社会的能力培训相结合的状态。但现实情况是相关的教材，特别是培养应用型人才的优质教材、教学指导书的建设和出版严重不足，落后于城市轨道交通发展的需要。

2011年年初，北京交通大学远程与继续教育学院、交通运输学院、北京交通大学出版社共同筹划出版了“高等教育城市轨道交通系列教材”。这套教材的出版，恰逢其时。首先，这套教材由国内该领域学术界和企业界的知名专家执笔。他们的参与，既保证了对中国轨道交通探索与实践的传承，同时也突出了本套教材的实用性。其次，它丰富、实用的内容和多样性的课程设置，为行业内“城市轨道交通”各类人才的培养，提供了专业的、实用的教材。

祝愿中国轨道交通事业蓬勃发展，也祝愿北京交通大学出版社这套“高等教育城市轨道交通系列教材”能够为促进我国城市轨道交通又好又快地发展提供支撑！

中国工程院院士



2012年1月

前 言

近年来，随着经济的飞速发展及城市化进程的加快，大量的人口涌入城市，造成市区人口极其稠密，交通需求骤然增加，使城市陷入道路拥堵、环境污染、行车速度下降的境地，迫切需要出现一种新的高效的交通方式改善这种困境。城市轨道交通以其大运量、快速、环保、准时、安全可靠的优点得到了广泛的认可，成为现代化都市所必需的交通工具。

城市轨道交通是现代化都市的重要基础设施，它安全、迅速、舒适、便利地在城市范围内运送乘客，最大限度地满足市民出行的需要。在我国，北京、天津、上海、广州、深圳、南京等地已建成档次和规模不同的地铁并不断进行扩展和延伸，武汉高架快速轨道线、重庆独轨运输线、大连轻轨线、长春轻轨线已建成通车，成都、沈阳、青岛、西安、哈尔滨、杭州、苏州等城市轨道交通也正在建设。我国城市轨道交通出现了建设高潮，前景十分广阔。如今，城市轨道交通已成为现代化都市所必需的交通工具。

城市轨道交通能够安全准点地完成运输任务，依靠的是合理的运输组织和设备的正常运行。列车运行控制系统作为城市轨道交通调度指挥和运营管理的中枢神经，时刻影响着列车运行的速度、安全性、运输能力和效率。以速度控制为基础的列车运行控制系统已经成为城市轨道交通信号系统的共同选择，因为它能够对列车运行的速度进行监测、控制、调整，使列车在安全的前提下，尽可能高速平稳运行，从而高质量地完成大容量的运输任务，带来更好的经济效益和社会效益。

城市轨道交通列车运行控制系统技术含量高，是现代技术网络化、综合化、智能化、数字化的综合体现，所以掌握这种现代化控制系统的基本知识和基本技能，充分发挥其作用和优势，是目前城市轨道交通列车控制技术得以发展的前提。在这个前提下，才能使城市轨道交通调度指挥和运营管理工作更加高效、准确，使列车运行更加安全、迅速。

第1章是列车运行控制系统概述。

第2章是与列车运行相关的设备。

第3章是列车运行控制的主要技术和方法。

第4章是列车自动控制系统（ATC）。

第5章是列车自动防护系统（ATP）。

第6章是列车自动驾驶系统（ATO）。

第7章是列车自动监控系统（ATS）。

第8章是基于通信的列车控制系统（CBTC）。

第9章是非正常情况下的列车运行。

本书由贾文婷任主编，具体分工为：第1章由王海鹏编写，第2章由贾文婷编写，第3

章由王海鹏、史琳共同编写，第4章由吴梦媛编写，第5、6、7章由贾文婷、吴梦媛共同编写，第8、9章由贾文婷、朱爱华共同编写，全书由贾文婷统稿。

本书在编写过程中，参考了大量相关资料，在此编者对参考文献中所列专著、教材和高水平论文的 authors 表示衷心的感谢，正是他们的优秀作品为本书提供了丰富的素材，让我们汲取到充足的营养，使我们能够更好地进行科学研究和教学实践。尤其感谢《城市轨道交通信号》一书的作者，为我们在本专业领域多年的深入学习和工作提供了重要帮助，也为本书提供了大量宝贵的资料和素材。在本书的编写过程中，还有幸得到北京地铁运营公司扈杰利高级工程师的悉心指点，并提供了宝贵建设性意见。扈高工严谨的工作态度和丰富的现场经验给了我们极大的帮助和影响，在此特别感谢！同时我们也真诚地希望本书能够给城市轨道交通相关专业的学生和工作人员带来帮助，这是我们最大的心愿！

由于编者水平有限，难免有疏漏和错误之处，恳请各位读者批评指正。

编者

2012年1月

目 录

第 1 章 列车运行控制系统概述

1.1 城市轨道交通的发展历史	2
1.1.1 城市与城市交通的出现	2
1.1.2 城市轨道交通的出现	5
1.1.3 城市轨道交通的发展及现状	7
1.2 列车运行控制系统概述	10
1.2.1 国外列车运行控制系统的发展	12
1.2.2 国内列车运行控制系统的发展	13
1.3 列车运行控制系统的发展方向	15

第 2 章 与列车运行相关的设备

2.1 信号	20
2.1.1 城市轨道交通信号概述	20
2.1.2 地面信号机	22
2.1.3 车载信号	28
2.1.4 轨旁指示标志	30
2.1.5 手信号	34
2.1.6 听觉信号	40
2.2 轨道电路	42
2.2.1 轨道电路组成、工作原理、作用和分类	42
2.2.2 音频无绝缘数字轨道电路	46
2.2.3 50 Hz 相敏轨道电路	48
2.3 计轴器	49
2.3.1 计轴器的组成	50
2.3.2 计轴器的工作原理	51
2.4 查询应答器	51
2.4.1 查询应答器系统的组成	52
2.4.2 查询应答器的工作原理和主要特点	53
2.4.3 查询应答器的分类	55
2.4.4 查询应答器的作用	57

2.5 站台安全门系统	58
2.5.1 站台安全门的分类	58
2.5.2 站台安全门的构成及功能	60
2.5.3 列车车门与站台安全门开关控制	61
2.5.4 站台安全门的控制方式	62
2.5.5 站台安全门的火灾管理模式	63
2.5.6 站台安全门的安全设计	63
2.6 联锁设备	64
2.6.1 联锁的定义、基本内容与基本条件	65
2.6.2 联锁设备的分类、功能与基本要求	65
2.6.3 城市轨道交通的联锁设备	67

第 3 章 列车运行控制的技术与方法

3.1 测速技术	73
3.2 列车定位技术	76
3.3 无线通信技术	81
3.3.1 无线通信系统的组成与分类	81
3.3.2 无线局域网	82
3.3.3 漏泄波导通信技术	85
3.3.4 扩频技术	89
3.4 闭塞方式	91
3.4.1 闭塞的概念	91
3.4.2 闭塞的种类与划分	92
3.4.3 各种闭塞法介绍	93
3.5 速度控制模式	99
3.5.1 分级速度控制	99
3.5.2 速度 - 目标距离模式曲线控制	100

第 4 章 列车自动控制系统

4.1 ATC 系统综述	103
--------------------	-----

4.1.1	ATC系统的历史沿革	103	8.1.1	CBTC系统的定义与优点	160
4.1.2	ATC系统的组成和功能	103	8.1.2	CBTC系统的分类	161
4.2	ATC系统的分类	106	8.2	CBTC系统的结构与组成	165
4.3	ATC系统的选用原则	113	8.2.1	CBTC系统的结构	165
4.4	ATC系统的控制模式	113	8.2.2	CBTC系统的组成	166
			8.2.3	CBTC系统的基本原理	168
第5章 列车自动防护系统					
5.1	ATP的基本概念	117	8.3	CBTC系统的功能	168
5.2	ATP的设备	118	8.3.1	CBTC系统的基本功能	170
5.2.1	ATP车载设备组成	118	8.3.2	CBTC系统的具体功能	171
5.2.2	ATP轨旁设备	119	8.4	CBTC系统的特点	173
5.2.3	ATP车载设备和轨旁设备的联系	120	第9章 非正常情况下列车运行		
5.3	ATP的功能及其技术要求	120	9.1	列车运行控制系统的后备模式	177
5.3.1	ATP的功能	120	9.1.1	后备系统简介	177
5.3.2	ATP系统的技术要求	124	9.1.2	常用后备系统方案	179
			9.1.3	后备系统举例	181
第6章 列车自动驾驶系统					
6.1	ATO的基本概念	127	9.2	ATS非正常情况下的后备模式	183
6.2	ATO的设备组成	127	9.2.1	后备模式级别的设置	183
6.3	驾驶模式与模式转换	128	9.2.2	后备模式的切换	184
6.4	ATO的功能及其工作原理	132	9.3	列车运行控制系统故障时的行车组织	184
6.4.1	ATO的功能	132	9.3.1	ATS设备故障时的行车组织	184
6.4.2	ATO系统的基本要求	134	9.3.2	ATP设备故障时的行车组织	185
6.4.3	ATO系统的基本工作原理	135	9.3.3	ATO设备发生故障时的行车组织	187
6.4.4	ATO与ATP的关系	137	附录A 城市轨道交通列车运行控制模拟试题		
第7章 列车自动监控系统					
7.1	ATS的基本概念	140	A1	模拟试题1	188
7.2	ATS的组成	140	A2	模拟试卷2	190
7.3	ATS的主要功能	145	参考文献		
7.4	ATS系统的基本原理	148	192		
7.5	ATS系统的运行	154			
第8章 基于通信的列车控制系统					
8.1	CBTC系统简介	160			

1

第1章

列车运行控制系统概述

本章概述

在人类历史发展的进程中，城市起到了举足轻重的作用，它将人类安定下来进行生活、生产、交换等活动，随着政治、经济和文化交流的频繁，城市交通承担了大量人员、物资的流动，成为城市服务中最重要的基础设施。由于城市化进程的加快，城市交通面临一系列问题，迫切需要一种环保、准时、可持续发展的公共交通系统。大客运量的城市轨道交通系统，成为从根本上改善城市公共交通状况的有效途径。

随着科学技术的发展，特别是近年来微电子、计算机、通信、智能控制等技术的突飞猛进，城市轨道交通列车运行控制系统不仅仅能够保证列车安全、提高运行效率、缩短行车间隔，还能够促进运营管理现代化，大大提升城市客运的综合运力和服务质量。而信号系统和通信系统是城市轨道交通列车运行控制系统的关键技术装备。在传统观念里，信号系统与通信系统是相互独立的，列车运行控制系统的发展经历了二者相互融合的一个过程，所以通信信号设备一体化成为了现代城市轨道交通列车运行控制系统的重要发展趋势。

本章我们主要介绍城市与城市交通的出现，以及城市轨道交通的出现、发展及现状，以及列车运行控制系统在国内外的的发展情况和趋势。

学习重点

1. 了解人类历史上城市与城市交通所经历的过程；
2. 熟悉城市轨道交通的发展史和对城市公共交通的影响；
3. 初步认识列车运行控制系统在城市轨道交通中的重要作用，了解该系统在国内外的的发展过程，以及城市轨道交通列车运行控制系统的发展方向。

1.1

城市轨道交通的发展历史

1.1.1 城市与城市交通的出现

1. 城与市的出现

在历史长河中，几十亿年的天地造化，诞生了最优秀的作品——人类；又是几万年、几十万年的苦难磨砺，人类创造了自己最优秀的作品——城市。

迄今为止，城市的发展已经有 5 000 年以上的历史。在人类社会发展的初期，城与市是不同的概念。

在原始社会的漫长岁月中，人类一直居无定所，三五成群地依附于自然条件进行穴居、巢居生活，凭借采集、狩猎满足饱腹之需。但是，在对付个体庞大的凶猛动物时，三五个人的力量显得单薄，只有联合其他群体，才能获得胜利。由于群体的力量强大，收获也就丰富起来，捕获的猎物不便携带，需找地方储藏起来，久而久之便在有些地方定居下来。但凡人类选择定居的地方，都是些水草丰美、动物繁盛的处所。这就出现了最早的“城”。

定居下来的先民，为了抵御野兽的侵扰，便在驻地周围扎上篱笆，形成了早期的村落。随着人口的繁盛，村落规模不断升级，猎杀一只动物，整个村落的人倾巢出动显得有些多了，且不便分配。于是，村落内部便分化出若干个群体，各自为战，猎物在群体内分配。由于群体的划分是随意进行的，那些老弱病残的群体常常抓获不到动物，只好靠依附力量强壮的群体而获得一些食物。而收获丰盈的群体，不仅消费不完猎物，还可以把多余的猎物拿来，与其他群体换取自己没有的东西。为了方便日益频繁的交换活动，交换的场所就逐渐被固定下来。于是，早期的“市”便形成了。

在奴隶社会向封建社会进化的过程中，城市形态渐趋成熟，有了完整的城墙以区分城市与乡村，有了较清晰的功能分区，如政治、居住、商业、手工业、殡葬等。尤为重要的是具有较完善的道路交通体系，是城市发展的重大转折。在这一时期，由于中国的封建社会形成早于欧洲及其他大陆地区，因此，当时中国的城市发展已成较大规模。

一般而言，城市规模发展遵循“自由村落—中心村—镇—小城市—中等城市—大城市—特大城市—超级大都市—城市带—城市圈—城市群”的规律。在此过程中，遵循“优胜劣汰”原则，兴衰迥异。

2. 城市交通

在城市发展的过程中，随着城市个数的不断增加，城市人口的急剧增加，出现了一个人类社会发展的的大趋势——城市化。所谓城市化是指人口由分散的农村向城市集中的社会

进程。

城市化初期，由生产力提高所创造的所有先进交通工具基本上是首先用于解决城际交通问题的，并进一步推动着城市化的进程，当城市规模扩大到只有利用交通工具才能保证城市经济生活的正常进行时，城市内部交通系统开始诞生，出现了相应的交通工具并逐渐有所发展。

城市交通是城市形成与发展的必然产物，是为城市服务的最重要的基础设施。城市内人员的流动、物资的运输是依靠城市交通来完成的。城市交通肩负着市民日常生活必需的衣食住行中“行”的任务，直接展示了城市的面貌和活力，体现着城市的承载能力。城市交通作为城市经济发展的纽带和命脉，与城市的形成、发展和兴衰紧密相连。正如马克思所言：“没有现代的交通，就没有城市的繁荣。”

城市交通系统的主要构成框架如图 1-1 所示。

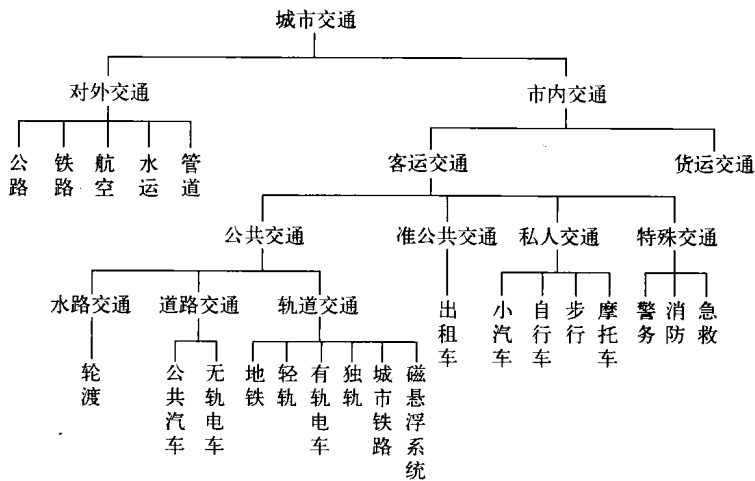


图 1-1 城市交通系统主要构成框架

虽然城市交通事业的发展，有效地保障了城市经济发展和社会进步，但是由于交通需求的过分增长，在城市化的进程中，不断地暴露出大量的问题，使城市的发展岌岌可危。主要问题如下。

1) 交通拥堵

研究表明，城区交通流的速度每 10 年降低 5%，拥堵的严重性随城市规模增加而增加。交通拥堵不但增加了市民在出行中时间、精力、财力等的消耗，而且使交通事故发生的可能性大大提升，同时还造成公共交通服务水平日益下降，客运效率越来越差，以致大量自行车、出租汽车、私家轿车涌上街头，有限的城市道路不堪重负。如图 1-2 所示为某城市交通拥堵现象。

2) 环保问题

CO₂ 和臭氧是影响人类生存环境的两种主要污染物，大多源于机动车的烟雾排放。全国 500 多座城市，大气质量达到一级标准的不足 1%，据 1998 年国际卫生组织公布的一项报告表明，全球空气污染最严重的城市依次为：太原、米兰、北京、乌鲁木齐、墨西哥城、兰州、重庆、济南、石家庄、德黑兰。世界十大污染严重的城市中，涉及我国的就有 7 个大型城市。



图 1-2 某城市交通拥堵现象

同时，发达国家有 15% 的人口生活在 65 dB 以上的高噪声环境下，这些噪声主要来自交通，还有重型货车及夜间装卸引起的震动。从健康的角度看，人体长期在超过 50 dB 的环境中就会影响睡眠和休息。由于休息不足，疲劳不能消除，正常生理功能会受到一定的影响；噪声在 70 dB 以上会干扰谈话，使人心烦意乱，精神不集中，影响工作效率，甚至发生事故；长期工作或生活在 90 dB 以上的噪声环境，会严重影响听力和导致其他疾病的发生。

3) 土地消耗

交通设施骤然增加，必然会不同程度地影响城市原有历史建筑群。大量机动车辆涌上街道，对道路占有量增加的同时，还需要建设大面积的停车场。诸如此类均大量消耗土地，破坏城市景观，大大便利了机动车使用者，但对其他行人、非机动车用户来说则是障碍。如图 1-3 所示为某城市停车场景象。



图 1-3 某城市停车场景象

4) 全球变暖

全球变暖主要是燃料（固体及液体）燃烧所致。目前，交通排放二氧化碳约占全部排放量的25%，且其比例在逐年增加。

5) 能源消耗

在多数发达国家，运输部门的能源消耗占国家各行业总能耗的25%以上。液体燃料比例更大。

6) 城市分散化

机动车运输的发展导致了居民出行距离与出行时间的增加，从而使出行时间和空间更为分散；它反过来又增加了人们对轿车的依赖；减少了公共交通发展的可能性。

传统城市交通发展模式已很难从根本上摆脱拥挤—缓和—再拥挤的恶性循环。重新认识城市交通发展规律，寻求城市交通的可持续发展道路，就成为世界所有城市开始关注的问题。发展以公共交通为主的公共交通体系，优化城市结构，研发耗能少、有利于环保的交通工具，走可持续发展之路，是解决城市交通的有效和根本途径，现已成为广泛共识，并将是21世纪世界城市交通发展的必然趋势。

1.1.2 城市轨道交通的出现

随着科学技术和城市化的发展，大运量的轨道交通在现代化大城市中起着越来越重要的作用。经济发达国家城市的交通发展历史告诉我们，只有采用大运量的城市轨道交通系统，才能从根本上改善城市公共交通拥堵状况。

轨道交通很早就作为公共交通在城市中出现。1662年，法国科学家与哲学家布莱斯·帕斯卡尔（B. Pascal）提出公共马车计划，在法国巴黎街头出现了一种可供一定人数乘坐的“公共马车”，其以固定路线、固定价格、按固定站循环的方式运载乘客，这是历史上第一条无轨公共交通线路，无轨公共马车是城市公共交通的先驱，但是它缓慢颠簸，舒适性较差，且容易造成街道的车辆拥挤及阻塞，如图1-4所示。



图1-4 无轨公共马车

1827年，世界上第一条城市轨道公共马车出现在纽约百老汇大街上。马车在钢轨上行驶，提高了速度，增加了平稳性，还可以利用多匹马组成马队来提高牵引力，加大车辆规模，降低运输成本及票价。1832年，这种城市轨道公共马车在美国纽约的第4大街上正式运营。法国工程师罗伯特（E. Loubat）在1853年把它引进巴黎，由于比无轨公共马车更有效率、更舒适，所以大受欢迎。到1879年，大巴黎区已有38条有轨公共马车路线。有轨公共马车在美国及欧洲多国都得到迅速发展，至1890年其轨道里程已经达到9900km。图1-5为1884年法国里昂的有轨公共马车。有轨公共马车是现代城市轨道交通的雏形。

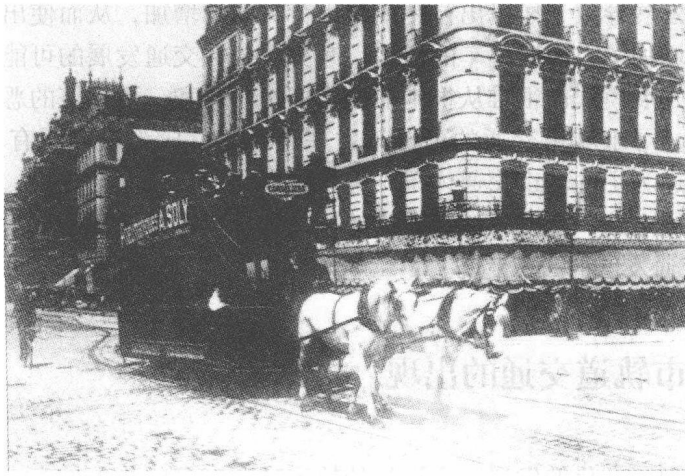


图1-5 1884年法国里昂的有轨公共马车

伦敦是世界上地铁的诞生地。一条由英国律师皮尔逊（Charles Pearson）鼓动并投资建设的地下城市铁路（Metropolitan Railway）于1863年1月10日正式通车运营。这条地铁（见图1-6）从帕丁顿到弗灵顿，总长6.5km。动力是向英国铁路公司租借的蒸汽机车。皮尔逊因此被誉为“地铁之父”。“Metro”也成了世界上绝大多数国家城市轨道交通的标志和代号。

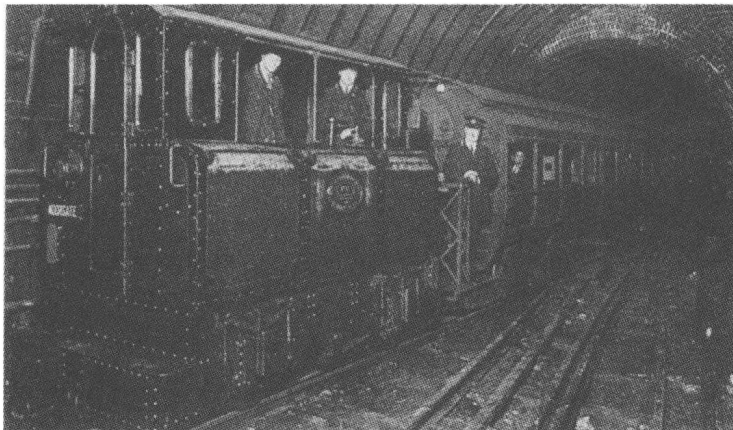


图1-6 英国伦敦1863年的地铁

世界第一条地铁的诞生,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。特别是伦敦地铁,线路仅长6.5 km,第一年就运载了950万乘客,为解决城市交通拥堵树立了成功的典范。1879年电力驱动的机车研制成功,使地下客运环境和服务条件得到了空前的改善,地铁建设显示出强大的生命力。世界上知名大都市和其他城市纷纷效仿伦敦修建地铁。至此,城市轨道交通彰显出巨大的优势,成为城市公共交通方式中的“新宠儿”。其主要优点如下所述。

1) 运量大

目前城市轨道交通在高峰小时单向运输能力可以达到六七万人次,成为运量最大的城市交通工具。

2) 速度快

城市轨道交通通常采用电动车组作为牵引动力,而且配有良好的线路条件和自动控制体系,确保了列车良好的运行环境和性能。目前,地铁最高运行速度一般都在80 km/h,在部分站间距较大的郊区,地铁运行速度可以达到110 km/h。

3) 污染少

城市轨道交通的动力来源于电力牵引,所以与道路交通相比,污染微乎其微,这也是其堪称“绿色交通”的原因之一,对城市环境保护有积极意义。

4) 能耗低

作为一种大运量的集团化客运系统,城市轨道交通每运送一位乘客所消耗的能量水平,远远低于其他城市交通方式。

5) 可靠性强

由于城市轨道交通线路一般与地面交通完全隔离,因而不受地面交通的影响。如果线路建设在地下隧道内,则完全不受外界气候环境的影响,所以,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,地面交通拥挤不堪的情况下,对于时间性极强的现代城市交通行为者而言,这个优势更是无可比拟的。

6) 舒适性佳

城市公共客运交通方式舒适性主要表现在环境质量与拥挤程度两个方面。而轨道交通系统,环境质量较好,不论是在车站候车、售检票,还是在途中乘车,均有现代化的环控措施保证良好的空气质量;拥挤度则可通过轨道交通的准时性、速达性得到较大程度的调整。

7) 占地面积小

城市轨道交通既是城市公共客运交通,又是大运量集团化轨道交通。线路主要存在于地下隧道中、高架桥梁上,较少占用地面,因此每位乘客完成交通行为所占用的道路面积是最小的。

1.1.3 城市轨道交通的发展及现状

上述诸多优点决定了世界范围内许多发达城市都在积极建设城市轨道交通。自1863年