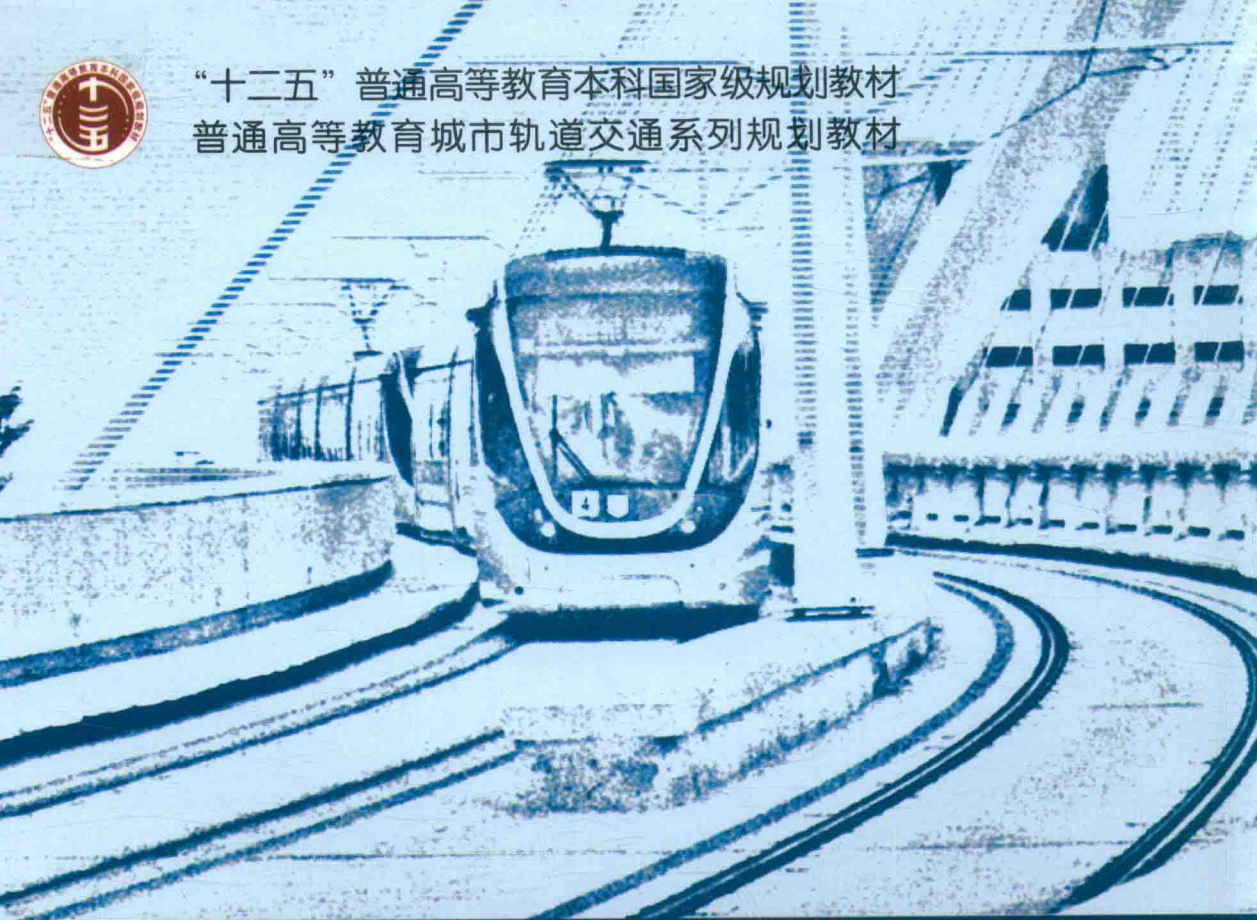




“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
普通高等教育城市轨道交通系列规划教材



# 城市轨道交通系统运营管理

Operations and Management for Urban Rail Transit

(第二版)

主 编 毛保华  
副主编 李夏苗 牛惠民  
主 审 蒋玉琨 刘 迁



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

配 二 维 码  
扫描即可观看学习



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
普通高等教育城市轨道交通系列规划教材

# 城市轨道交通系统运营管理

(第二版)

主 编 毛保华  
副主编 李夏苗 牛惠民  
主 审 蒋玉琨 刘 迁



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

## 内 容 提 要

本书是在北京交通大学与中南大学、石家庄铁道大学、兰州交通大学等高校协作编写的《城市轨道交通系统运营管理》(第一版,2006年,“十一五”及“十二五”国家级规划教材)基础上进行全面修订再版的。全书共分11章,主要内容包括:城市轨道交通系统运营概述、城市轨道交通系统管理模式与运营企业组织、车站客运工作组织、城市轨道交通运输计划、列车运行图编制、车底周转与乘务计划编制方法、城市轨道交通系统运输能力、列车运行控制、列车运行调度指挥技术、运营安全与应急管理、城市轨道交通系统运行经济理论与运营指标。本书部分知识点配微课程、教学动画等资源,扫描书中二维码即可观看学习。

本书可作为交通运输类专业及相关专业的城市轨道交通方面的本科生、研究生教材,亦可作为城市轨道交通系统及相关系统的决策、规划与设计、咨询、运营管理等人员的培训用书和参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通系统运营管理 / 毛保华主编. — 2版

· 一 北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.6

ISBN 978-7-114-12905-6

I. ①城… II. ①毛… III. ①城市铁路—交通运输管理 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第061554号

书 名:城市轨道交通系统运营管理(第二版)

著 作 者:毛保华

责任编辑:吴燕伶

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.ccpres.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:14.75

字 数:348千

版 次:2006年5月 第1版

2017年6月 第2版

印 次:2017年6月 第1次印刷 总第16次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12905-6

定 价:49.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

## 第二版前言

城市快速发展及其伴随而来的城市地区道路交通拥挤、交通事故以及由于交通排放引起的交通污染已备受各界瞩目。我国交通需求总量巨大,人均资源稀缺,探讨一种满足我国经济建设与居民生活改善需要的可持续的交通解决方案具有重要的战略意义。

在上述背景下,公共交通被认为是未来交通的主要形式。城市轨道交通作为公共交通系统的骨干,具有容量大、安全、环保特性好的特点,过去二十年来受到包括发达国家和发展中国家在内的许多大城市的青睐。我国的城市轨道交通已从较早的北京、天津普及各直辖市及省会城市,上海、北京已成为世界上城市轨道交通运营里程最长的城市;同时,不少经济发达的地级城市也已进入规划和建设程序。随着我国新型城镇化的推进,可以预见,在未来20年里,我国城市轨道交通系统将继续处于持续、快速的发展阶段。

本书第一版自2006年出版发行以来,已累计印刷了15次。本版是在第一版基础上修订形成的,其内容纳入了自第一版以来作者们开展的科研工作成果。除了从逻辑与结构上进一步优化第一版中存在的部分问题外,本版重点增补了与城市轨道交通运营实践密切相关的内容,包括运输计划编制、车底周转计划与乘务计划编制方法、系统能力计算与加强方法、运营调度指挥技术、运营补贴理论与方法等。本书部分知识点配有微课程、教学动画等资源,扫描书中二维码即可观看学习。全书力求反映我国城市轨道交通行业发展的基本特征,力争满足我国运营管理人才培养的实际需求。本书可以作为相关专业的本科生、研究生的教材或教学参考资料。同时,对与城市轨道交通系统相关的政府决策、工程规划与设计、城市轨道交通企业运营管理人员都有很好的参考价值。根据教学计划要求,本书推荐教学时间为64学时,另设16学时的实习与实验。

本书由北京交通大学、中南大学、兰州交通大学等单位的教师与研究人员共同编写,其中毛保华编写第1、2、7章,丁勇编写第3、5章,李夏苗编写第4章,张增勇编写第6章,许奇编写第8章,柏赉编写第9、11章,王宏伟编写第10章。全书由毛保华、李夏苗、牛惠民统稿,蒋玉琨、刘迁主审。

在本版修订过程中,得到了焦桐善、全永燊、沈景炎、周晓勤、朱军、秦国栋、孙壮志、刘剑锋、贾文峥、杨远舟、边颜东、潘晓军、冯旭杰、黄悦、方琪根、孙年友、李建新、卫和君、何天健、厉国权、田宗忠、贾旭东、陈海波等业内专家与同行的指导和帮助。中国城市轨道交通协会运营管理专业委员会、北京市地铁运营有限公司、交通运输部科学研究院、中国地铁工程咨询有限责任公司、长沙市轨道交通运营有限公司等单位为本书的编写提供了不少帮助。本书编写过

程中还得到了北京交通大学城市轨道交通系同行的帮助与指导。研究生陈志杰、陈焱、许得杰、麻存瑞、韦伟、李明高、曾玮、李颖、李茜、李星阳参加了本书的资料整理与校核工作。本书引用了大量国内外作者发表的有关城市轨道交通的文献以及部分国内大城市如北京、广州、上海、天津等城市轨道交通企业运营资料及相关文献。在此谨向上述专家及部门致以衷心感谢。

毛保华

2017年1月于北京交通大学

# 第一版前言

随着城市化的快速发展,城市地区道路交通拥挤、交通事故以及由于道路交通排放引起的交通污染已经成为备受各界瞩目的问题。作为发展中国家,我国人均资源稀缺,交通需求总量巨大,探讨一种满足我国经济建设与居民生活需要的可持续的交通解决方案具有重要的战略意义。

在上述背景下,公共交通被认为是未来交通的主要形式,其中,城市轨道交通又是公共交通系统的骨架。城市轨道交通具有容量大、安全、环保特性好等特点,过去 20 年来受到包括发达国家和发展中国家在内的许多大城市的青睐。我国数十个大城市也启动了城市轨道交通建设计划,长江三角洲、珠江三角洲、京津唐地区的区域轨道交通系统网络呼之欲出。可以预见,未来 30 年中,我国城市轨道交通系统将会得到持续、快速的发展。

2001 年,北京交通大学杨肇夏教授主持了教育部教改项目,该项目的重要成果之一是合并现交通运输、交通工程两个专业为交通运输大类专业,并在此基础上设置“铁路运输”、“城市道路交通”、“城市轨道交通”以及“运输与物流”四个专业方向。该项目 2005 年获得国家优秀教学成果二等奖。本系列课程的建设就是根据城市轨道交通方向教学需要进行的立项,包括《城市轨道交通规划与设计》、《城市轨道交通系统运营管理》、《列车牵引计算》、《城市客运管理》四门骨干课程。北京交通大学在中南大学、石家庄铁道学院、兰州交通大学等高校的大力协作下,在人民交通出版社的支持下,组织相关教师历时两年半完成了本书的编写和著述工作。

本书参考了国内外大量相关文献以及国内城市轨道交通系统建设、运营的实际资料。全书内容丰富且全面,不仅反映了国内外城市轨道交通系统运营管理理论研究的最新研究成果,同时还结合我国城市轨道交通系统运营管理的具体问题进行论述。本书可以作为相关专业的本科生、研究生教材或教学参考资料。同时,对与城市轨道交通系统相关的政府决策与管理人人员,交通工程规划、设计与咨询人员,城市轨道交通企业运营管理人员都有很好的参考价值。

参加本书编著的教师有毛保华(绪论,第 1 章)、李夏苗(第 2 章)、陈旭梅(第 3 章,第 6 章)、徐彬(第 4 章)、王明生(第 5 章)、丁勇(第 7 章)、吴芳(第 8 章)、刘海东(第 9 章)、许红(第 10 章)。根据教学计划要求,本书推荐教学时间为 40 学时,另设 24 学时的实习与实验。全书由毛保华、李夏苗统稿。

北京地铁研究所蒋玉琨、北京城建设计研究院刘迁审阅了本书稿。在教材编著过程中,得到了中国国际工程咨询公司周晓勤、朱军、边颜东及其专家组焦桐善、高世廉、沈景炎、全永榮、

马林、孙壮志等专家的帮助,铁道部铁道运输特色专业教学指导委员会主任杨肇夏及杨浩、高自友、孙全欣、邵春福、朱晓宁等教授以及香港理工大学电机工程系何天健博士(Dr. Tin-kin Ho)提供了大力支持,研究生何宇强、刘剑锋、黄荣、杨静、王璇参加了本书的资料整理工作。本书还引用了大量国内外作者发表的有关城市轨道交通的文献以及部分国内大城市如北京、广州、上海、天津等城市轨道交通企业运营资料及相关文献,在此谨向有关专家及部门致以衷心感谢。

毛保华

2005年12月于北京交通大学

# 目 录 *contents*

<b>第 1 章 城市轨道交通系统运营概述</b>	<b>1</b>
1.1 我国城市交通现状	1
1.2 城市轨道交通系统的发展	2
1.3 城市轨道交通系统的分类	5
1.4 城市轨道交通系统的运营特性	8
1.5 运营管理工作的目标与内容	12
复习思考题	19
<b>第 2 章 城市轨道交通系统管理模式与运营企业组织</b>	<b>20</b>
2.1 管理模式中的基本机制	20
2.2 我国城市轨道交通管理模式的发展	22
2.3 城市轨道交通运营企业组织	27
2.4 城市轨道交通网络化运营管理	36
复习思考题	37
<b>第 3 章 车站客运工作组织</b>	<b>38</b>
3.1 车站客运组织架构及职责要求	38
3.2 客运设备设施的运用与管理	41
3.3 车站客流组织方法	44
3.4 车站大客流组织方法	45
复习思考题	50
<b>第 4 章 城市轨道交通系统运输计划</b>	<b>51</b>
4.1 客流计划	51
4.2 行车计划	55
4.3 车辆配备、运用与检修计划	62
4.4 日常运输调整计划	65
复习思考题	66



<b>第5章 列车运行图编制</b>	67
5.1 列车运行图的概念与作用	67
5.2 列车运行图的格式及分类	69
5.3 列车运行图的编制方法	74
5.4 列车运行图编制中的关键技术	80
5.5 列车运行图指标的计算	90
5.6 列车运行图编制中的实际问题	90
复习思考题	92
<b>第6章 车底周转与乘务计划编制方法</b>	93
6.1 车辆基地运营工作	93
6.2 计划编制中的基本概念	95
6.3 车底周转计划编制方法	98
6.4 车底检修计划编制方法	101
6.5 乘务计划编制方法	102
6.6 实例	108
复习思考题	113
<b>第7章 城市轨道交通系统运输能力</b>	114
7.1 城市轨道交通系统能力的概念	114
7.2 运输能力的构成要素	116
7.3 能力计算原理	121
7.4 列车最小运行间隔计算方法	127
7.5 提高城市轨道交通系统输送能力的措施	139
复习思考题	146
<b>第8章 列车运行控制</b>	147
8.1 列车自动控制系统的组成及其功能	147
8.2 列车运行控制系统的基本类型	152
8.3 固定闭塞系统和移动闭塞系统原理	156
8.4 列车驾驶模式及模式转换	160
复习思考题	163

<b>第 9 章 列车运行调度指挥技术</b>	164
9.1 城市轨道交通调度指挥的任务	164
9.2 城市轨道交通调度指挥的组织	165
9.3 城市轨道交通行车调度指挥系统	169
9.4 城市轨道交通列车调度指挥方法	171
9.5 调度工作分析和运营信息分析	176
复习思考题	177
<b>第 10 章 运营安全与应急管理</b>	178
10.1 安全管理的内容	178
10.2 安全管理的方法	190
10.3 安全管理的法规	195
10.4 应急管理	196
复习思考题	202
<b>第 11 章 城市轨道交通系统运行经济理论与运营指标</b>	203
11.1 票制的基本理论	203
11.2 票价的基本理论	205
11.3 运营成本与补贴方法	211
11.4 企业运营指标	216
复习思考题	223
<b>参考文献</b>	224

# ◀ 第 1 章 城市轨道交通系统运营概述

城市轨道交通是现代城市综合交通体系的重要组成部分。本章重点介绍了我国城市交通的现状以及城市轨道交通的发展和分类,分析了不同类型城市轨道交通系统的运营特性,从时间与空间角度探讨了城市轨道交通系统运营组织的特点和基本原理,剖析了运营管理工作的主要目标和基本要求;在国内外城市轨道交通运营实践的基础上,分析了做好城市轨道交通运营管理工作的重要性和具体方法。

## ◀ 1.1 我国城市交通现状

社会与经济发展使世界城市化水平不断提高,城市规模不断扩大。据联合国统计,20 世纪 50 年代,全球人口只有 25.2 亿,其中城市人口占 26.6%;2000 年世界人口达 60.6 亿,其中城市人口占 36.0%。预计 2030 年世界人口将达到 81.1 亿,其中城市人口将超过 50%。目前,世界人口每年增长 7500 万人左右,其中城市人口年增量 6050 万人。20 世纪 80 年代末,我国百万以上人口大城市只有 28 座,到 2014 年已超过了 50 座,其中中心城区常住人口 300 万以上的特大城市达到 16 个。我国城市化过程中,城市结构及区域经济布局的变化主要体现在空间的充分利用和平面的不均衡扩展上;同时,流动人口增长迅速,居民出行更为频繁,城市交通日趋紧张。

改革开放近 40 年来,我国城市交通获得了前所未有的发展,城市机动化速度迅猛,步行与自行车出行比例迅速下降。不少城市机动车年均增速 15% 左右,而同期道路增长率不足 5%,道路交通供需矛盾突出。城市交通领域的突出变化体现在交通结构方面,尤其是公共交通。以伦敦为例,20 世纪 40 年代公共交通处于全盛期时年人均乘坐公共汽车与电车达 470 次,现已降低到 200 次以下,主要原因是公交效率的降低。资料表明,伦敦地面公共汽车平均速度为 19km/h(运距 3.5km),而私家车为 30km/h(运距 7.2km),出租车为 22km/h(运距 5.6km),城市轨道交通为 32km/h(运距 7.8km);包括首尔、曼谷、马尼拉、墨西哥城、吉隆坡、圣保罗在内的城市中心区平日交通速度已经低至 15km/h 以下,布加勒斯特、雅加达、金沙萨、拉各斯、马尼拉等城市的工作出行时间平均超过了 75min。

从资源利用角度看,不同运输方式每米宽度可通过的旅客数量一般为:小客车 200 人/h,自行车 75 人/h,公共汽车 1500 人/h,步行 3600 人/h,城市轨道交通 9000 人/h。我国多数城市的公共交通方式主要是公共汽车和无轨电车。由于城市基础设施建设滞后于交通需求增长,交通堵塞加剧,公共交通服务质量下降。高峰期间公交车上乘客密度可高达 10~12 人/m<sup>2</sup>,加上道路上各种车辆混行,使公共汽车车辆的运行速度从 20 世纪 80 年代的 25~35km/h 下降

到 9~15km/h, 公交系统服务质量难以满足居民要求。这种状况间接促进了个人交通方式发展, 改变了城市交通的结构, 使城市公共交通运行处境维艰, 严重影响了城市居民的生活质量和经济发展的活力。

我国城市交通面临的主要问题体现在以下三方面:

①城市空间规划与交通发展目标不协调, 城市化速度超过交通网络建设速度。

中心城区发展公共交通是国内外大都市的共识。我国城市规划部门一直采用按容积率控制规模的方法, 许多城市对城区建筑的密度与规模执行着相当严格的控制政策。然而, 改革开放以来, 我国城市化发展迅速, 城区人口增长屡屡超过预期。中心城区较低的容积率一方面为私家车的发展留下了空间, 某种程度上起到了引导城区私家车发展的实际作用; 另一方面, 中心城区的私家车严重侵袭了公共交通的发展空间, 影响了中心城区公共交通的运行效率, 降低了公共交通的服务质量。事实上, 这种城市空间规划与交通发展目标的矛盾是当前我国城市普遍拥堵的重要原因。表 1-1 给出了部分国际大都市中心城区的容积率数据。不难看出, 东京、纽约、首尔中心城区建筑密度在 10.0 以上, 而我国北京、上海等城市 CBD 的容积率均在 6.0 以下。中心城区较低密度的土地利用状况为私家车的存在客观上提供了更大空间, 这也使得我国城市中心城区公共交通主导发展的思路更难落实。

部分国际大都市中心城区容积率

表 1-1

城市	平均容积率	城市	平均容积率
纽约市 CBD	14.6	上海市中心城区	<6.0
东京都千代田区	10.1	北京市朝阳区 CBD	4.2
首尔市 CBD	10.0	北京市金融街	3.9
新加坡市中心区	8.0~25.0	北京市相关标准	1.0~3.5
香港	6.0~10.0	深圳市福田区 CBD	2.7

②城市交通系统结构不合理, 公交系统发展缓慢, 甚至出现萎缩。

改革开放以来, 我国城市道路交通基础设施规模和能力有了很大提高。尽管如此, 道路拥有水平的人均长度和面积指标仍然偏低, 不仅低于发达国家同类城市  $20\text{m}^2$  左右的水平, 也低于中等发达国家  $10\text{m}^2$  左右的水平。许多城市对交通结构缺乏研究, 交通发展缺乏顶层设计, 导致交通服务水平下降, 城市轨道交通的骨干作用未能得到充分发挥, 公交承担份额在 15%~30% 之间, 综合交通结构不合理, 系统运行效率低下。

③城市交通系统建设与管理之间缺乏协调, 安全管理手段的科学性需要提高。

我国多数城市依靠经验管理, 缺乏信息化、智能化的管理系统。城市地区交通控制装备水平不高, 维修养护不足, 设施设备完好率较低; 交通网络上行人、车辆的引导标志缺失或不完善, 信息服务系统水平以及安全应急能力亟待提高。

## 1.2 城市轨道交通系统的发展

### 1.2.1 发展概况

城市轨道交通的产生源于将列车引入城市中心的构想。1804 年, 英国人特里维西克试制

了第一台行驶于轨道上的蒸汽机车;1825年,英国在达林顿到斯托克顿间修建了长21km的世界第一条铁路。1829年,巴黎引入由马驱动的公共马车,后来将马车放到钢轨上行驶,即轨道公共马车,这也是城市轨道交通的雏形。1832年,世界上第一条马拉的城市街道铁路在美国纽约第四大街运营。1855年,轨道马车建设成本下降,轨道与街道上其他车辆的相互干扰得到协调,轨道马车大规模替代公共马车,并在美国及欧洲迅速发展。1843年,英国人皮尔逊提出修建地下铁道的建议。1860年,英国采用明挖法修建6.4km长的单拱砖砌结构隧道,并于1863年1月10日建成通车,列车由蒸汽机车牵引,这是世界上第一条城市轨道交通线路。1874年,伦敦首次采用盾构原理施工;1890年12月18日建成第一条采用电力机车牵引的、长约5.2km的城市轨道交通线路。此后,轨道技术被大量用来解决人们在城市内的出行。据1994年7月德国出版的《地铁世界》统计,在1990年,世界上有98个城市约5300km城市轨道交通线路投入运营,另有29个城市的94条约1000km城市轨道交通线路在建。

城市轨道交通的发展经历了一个曲折的过程,大致分为以下四个阶段:

**初步发展阶段(1863—1924年):**世界第一条地下铁道的诞生,为人口密集的大都市如何发展公共交通积累了宝贵经验。特别是到1879年电力驱动机车研制成功、1890年第一条电力牵引城市轨道交通线路建成并投入运营,大大改善了地下铁道的环境,免除了对污染的顾虑,城市轨道交通由此步入了连续发展时期。这一阶段,欧美的城市轨道交通发展较快。

**停滞萎缩阶段(1924—1949年):**这个阶段发生的战争以及汽车工业的发展,造成了城市轨道交通的停滞和萎缩。汽车的灵活、便捷及可达性,使其得到了飞速发展。城市轨道交通因投资大,建设周期长,一度失宠。该阶段只新增了5个有城市轨道交通的城市,有轨电车停滞不前,部分线路被拆除。由于地下空间对于战争的特殊防护作用,部分处于战争状态的国家反而加速了城市轨道交通建设,如日本东京、大阪和前苏联的莫斯科等。莫斯科第一条城市轨道交通线路于1935年建成通车后,第二次世界大战期间的建设速度反而更快了。

**再发展阶段(1949—1969年):**伴随汽车的过度使用,城市道路异常堵塞,严重时导致交通瘫痪;加之空气污染,噪声严重,石油资源短缺,市区停车普遍困难。人们重新认识到,解决城市客运交通必须依靠电力驱动、容量大、有独立路权的城市轨道交通。该阶段城市轨道交通从欧美扩展到亚洲的日本、中国、韩国以及巴西、伊朗、埃及等国家,新增了17个有城市轨道交通的城市,平均每年新增0.85个城市。

**快速发展阶段(1969年至今):**城市化导致人口高度集中,要求城市轨道交通快速发展以满足日益增加的客运需求,科技进步也为城市轨道交通的发展奠定了基础。很多国家确立了发展城市轨道交通的方针,立法解决建设资金需求。城市轨道交通从欧、美、亚洲又扩展到大洋洲的澳大利亚,从发达国家扩展到发展中国家。这一阶段,城市轨道交通以每年1.4个城市的速度增长。

据统计,2014年上半年时世界上已有55个国家与地区的168座城市开通了城市轨道交通运营线路,线路总长度超过10000km,还有至少36座城市有系统在建。2016年底,我国境内已有30座城市有城市轨道交通,运营线路134条,总里程4153km;其中上海683.0km,北京650.6km,广州289.6km,深圳286.5km,南京232.0km,重庆213.0km,成都、天津、武汉、大连、沈阳运营里程超过了100km。

### 1.2.2 运营概况

按照我国“城市轨道交通运营管理办法”,城市轨道交通运营单位由城市人民政府城市轨道交通主管部门按照《中华人民共和国行政许可法》以及市政公用事业特许经营的有关规定确定。城市轨道交通工程竣工后,应进行工程初验。初验合格,须进行不少于3个月的不载客试运行。试运行合格,具备基本运营条件的,可以进入载客试运行。试运行合格,按照国家有关规定验收,并报有关部门备案后,方可交付正式运营。运营单位应具备安全运营的规章制度,人员到位、持证上岗。

根据我国《城市轨道交通技术规范》(GB 50490—2009),城市轨道交通运营是指为实现安全有效运送乘客而有组织开展的各种活动的总称。城市轨道交通的运营包括行车管理、客运服务和维修三部分,其运营应以乘客需求为目标,做到资源共享,方便乘客。

城市轨道交通的运营状态包括正常运营状态、非正常运营状态和紧急运营状态。运营工作只有在能够保证乘客和所有使用该系统的人员以及设施、设备安全的情况下才能实施。运营单位应以安全、准时、便捷、文明为目标,为乘客提供持续改进的服务。安全设施不符合国家有关标准的城市轨道交通工程项目,不得投入运营。

城市轨道交通具有运输能力大、准时性好、单耗低、路权独立的特点,是解决城市道路交通拥挤的有效方法。由于城市人口与就业岗位分布空间的不均衡性,不同城市、不同区域线路的运营效果也不相同。客流量与票价是影响城市轨道交通企业运营的核心因素。从线网角度来看,客流量水平一般可以用客流强度来衡量。客流强度是指单位长度线路每日承担的客流发送量水平,其计量单位一般为万人次/(km·日)。

表 1-2 给出了部分城市线网规模和客流强度的统计值。

城市轨道交通线网规模和客流强度比较

表 1-2

城 市	线网长度(km)	客流强度[万人次/(km·日)]
伦敦(2010年)	433	0.89
东京(2011年)	312	3.55
莫斯科(2011年)	313	2.14
香港(2012年)	218	2.16
巴黎(2011年)	214	1.93
纽约(2011年)	368	1.47
北京(2014年)	527	1.52
上海(2014年9月)	587	1.41
广州(2014年)	253	2.47
重庆(2013年)	170	0.50
天津(2013年)	139	0.47
深圳(2013年)	178	1.40

可以看出,伦敦线网客流强度最低,属于高密度、低运量类型;其他城市均在1.5万人次/(km·日)以上,我国境内以广州为最高。天津、重庆线网处于发展初期,网络化程度略低,客

流强度不大。

各国城市轨道交通的运营实践表明：

①客流强度在 1.5 万人次/(km·日)以下时,城市轨道交通缺乏赢利的客流基础,政府扶持不可或缺。

②客流强度在 1.5 万~2.5 万人次/(km·日)时,城市轨道交通系统基本具备维持运营成本(不含折旧)所需的客流,可适当强化其市场机能,减轻政府负担。

③客流强度在 2.5 万人次/(km·日)以上时,应强化其市场机能。

因此,当城市轨道交通系统的建设费用毋须从运营收入中抵扣时,客流强度大于 1.5 万人次/(km·日)时就可考虑通过一定的经营扶持来维持其市场化运行。

### ◀ 1.3 城市轨道交通系统的分类

城市中车辆在固定导轨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系统。各国对城市轨道交通的分类各有差异,常用的分类方式有以下几种:

①按运能范围及车辆类型划分,城市轨道交通可分为市郊铁路(Suburban Railway)、地下铁路(Metro Underground)、轻轨交通(Light Metro, Light Rail Transit)、单轨交通(Monorail)、有轨电车(Tram, Tramway)、自动导向交通(Automated Guided Transit)、小断面地铁(Mini-Metro)、胶轮地铁(Rubber Tyred Metro)、索道(Aerial Tramway)等类型。

②按构筑物形态或轨道敷设方式划分,城市轨道交通可分为三类:位于地下隧道内的称为地下铁路;位于地面的称为地面铁路;位于地面高架桥上的称为高架铁路。

③按高峰小时单向运输能力划分,城市轨道交通系统一般可分为三类:高峰小时单向运输能力在 3 万人次及以上的称为高运量城市轨道交通系统;在 1.5 万~3 万人次的称为中运量城市轨道交通系统;在 1.5 万人次以下的称为低运量城市轨道交通系统。

④按导向方式划分,城市轨道交通系统可分为两类:轮轨导向指利用轮轨承重并导向的系统,如地铁、轻轨、有轨电车等方式;导向轮导向则指导向装置与承重装置相异的系统,如单轨和胶轮车辆。

⑤按轮轨的材料划分,城市轨道交通系统可分为钢轮钢轨系统和胶轮钢筋混凝土系统。地下轨道、轻轨交通、有轨电车属前者,单轨交通和自动导向交通属后者。

下面分别介绍不同类型城市轨道交通系统的运营特性。

#### 1. 地下铁道

地下铁道是指线路全部或大部分位于地下隧道内、全封闭且单向小时最大运输能力可达 3 万人次以上的城市轨道交通系统,一般简称地铁。地铁系统容量大、速度快、安全、准时、舒适、占地少,但建设成本较高。一般在用地紧张、客运需求量大的城市中心区域采用。

地铁车辆一般有 A、B 两种类型,A 型车长度 22.0~23.6m,车体宽 3.0m,定员可达 310 人;B 型车长度 19.0~19.5m,车体宽 2.8m,定员 230~250 人(立席均按 6 人/m<sup>2</sup> 计算)。地铁列车最高速度一般为 80~100km/h,运营速度为 35~40km/h;列车编组辆数通常为 4~8 辆,少数也有 10~12 辆编组的情况。列车运行的最小间隔时间可达到 75s,单向小时最大运输

能力可达3万~6万人次。

单从工程造价看,地下线路造价较地面约高1倍,高架部分较地面约高50%。为降低建设工程造价,考虑到征地拆迁难度,高架线路较地面线路容易实施。不过,我国城市土地资源紧缺,为保留地面土地的增值性,采用地下形式也具有现实合理性。

地下铁道的另一种革新形式是直线电机系统。它是指由直线电机牵引,轮轨导向,运行在小断面隧道、地面和高架专用线路上的中运量城市轨道交通系统,有时也称小断面地铁。

从运输能力看,早期的直线电机系统多采用小型车辆,直线电机系统被归为中运量系统,可采用高架线路。较早的直线电机系统有多伦多 Scarborough 线、温哥华 Skytrain Expo 线以及东京都12号线;我国广州地铁4号线、5号线和北京机场线已采用这种系统。东京都12号线最小曲线半径为正线100m,侧线80m,最大坡度5.5%,列车编组6节,车厢定员90~100人,直流1500V供电,列车最高速度为70km/h,单向小时最大输送能力29000人次。直线电机系统车辆自重轻、爬坡能力强(6%~8%)、线路曲线半径小(最小尺寸50m)。由于断面较一般地铁断面小,加上采用较小曲线半径和较大坡道,该系统可降低建设成本和维护成本。单向小时最大运输能力为1.7万~3.4万人次。

## 2. 轻轨交通

轻轨交通系统的概念是在有轨电车的基础上发展起来的,一般指电气牵引、轮轨导向、车辆编组运行在专用轨道上的中运量城市轨道交通系统,单向小时最大运输能力为1.5万~3.0万人次。轻轨系统车体小、轴重轻,设计速度也较低;多应用于中密度城区或交通走廊。

轻轨系统概念内涵较宽,实际中易产生分歧。轻轨系统有三种类型,第一种是源于传统有轨电车的轻轨系统,有时直接称为有轨电车;由电气牵引、轮轨导向、单车或两辆编组,运行在城市路面线路上。如20世纪早期各国的系统,典型的有斯图加特的轻轨系统、曼彻斯特的轻轨系统。由于其行驶在城市道路中间,速度慢、噪声大、舒适度差、安全性和准时性较差,单向高峰小时输送能力通常在1万人次以下。

第二种是新建的现代化轻轨系统。1978年,国际公共交通联合会(UITP)将在有轨电车基础上发展而成的中等运量的新型有轨电车交通方式称为“轻轨交通(Light Rail Transit)”,缩写为LRT。典型的如伦敦的道克兰轻轨系统,采用移动闭塞,列车无人控制,采用独享路权的地下或高架线路。

第三种是利用原有城市间铁路或城市市郊铁路线路走廊提供城市交通服务的轻轨系统,如美国的洛杉矶轻轨系统等。

轻轨车辆宽度为2.2~2.4m,定员在100人左右。新式轻轨车辆为适应客运需求,宽度可达2.5~2.6m。近年来各国研制的新型轻轨车辆有4轴车、6轴单铰接车和8轴双铰接车三种车型,车辆定员在130~270人之间,行车间隔可在2min以下,高峰小时单向运输能力一般在1.5万人次左右。

轻轨系统修建周期短,工程投资少,运营成本低,可适应陡坡急弯,是一种较好的中运量轨道交通工具。

## 3. 单轨交通

单轨交通,又称单轨或独轨铁路,是由电气牵引、具有特殊导向和转折装置、列车编组运行



在专用轨道梁上的中运量城市轨道交通系统；一般为高架设计，通常分为跨座式和悬挂式两种。现存最早的单轨铁路是德国乌帕塔尔市在 1901—1903 年间修建的一条长约 13km 的悬挂式单轨铁路，为电力驱动，当时主要用于游乐，该条轨道现仍在运营中。作为城市交通，单轨铁路由于其能力与速度不易提高等局限发展缓慢。日本、德国、美国、意大利、澳大利亚等国家的一些城市及我国重庆建有单轨铁路。



跨座式单轨铁路与悬挂式单轨铁路的车辆形式有所不同。跨座式单轨铁路的车辆较宽，约为 3m，悬挂式单轨铁路的车辆宽度在 2.6m 左右。跨座式单轨铁路的车辆定员为 140 ~ 190 人，其中座席为 30 ~ 40 人；悬挂式单轨铁路的车辆定员为 100 ~ 160 人，其中座席为 40 ~ 50 人。车内座席可以根据客流量情况设计成纵向、横向和混合排列等不同布置。车辆的最高速度可达 80km/h，运营速度约为 30km/h。单轨铁路列车通常为 4 ~ 6 辆编组。单轨交通系统道岔转换慢，列车折返时间较长，行车间隔不易压缩。一般单轨交通系统单向小时最大运输能力在 0.8 万 ~ 2.5 万人次之间。单轨交通系统适宜于市区空间较窄的街道，多用于运动会、体育场、机场和大型展览会等场所与市区的短途联系。

#### 4. 自动导向交通

自动导向交通 (Automatic Guideway Transit, 简称 AGT) 系统在一些文献中被称为新交通系统；其轨道采用混凝土道床、车辆采用橡胶轮胎，由一组导向轮引导车辆运行，列车运行可自动控制，实现无人驾驶。狭义的自动导向交通系统是指由电气牵引，具有特殊导向、操纵和转折方式的胶轮车辆，单车或数辆编组运行在专用轨道梁上的中运量城市轨道交通系统。

1964 年，日本建成了一条橡胶轮胎铁路，现已有 10 余条线路在运行。1983 年，法国里昂也首次建成 AGT 系统，称为 VAL。美国达拉斯沃斯堡机场的 People Movers 系统、摩根城的 Personal Rapid Transit 系统及我国广州的 APM 线也属于这种系统。

自动导向交通系统线路长度通常为 5 ~ 15km，以双线为主，但也有环形单线和网状线路；最大坡度可达 7% ~ 10%，最小曲线半径可达 10 ~ 30m。车辆为轻小型，车体宽度在 2m 左右，长度为 4 ~ 8m，电力驱动，动力从侧面供给，交流、直流均可。车轮采用橡胶轮胎。车辆定员 20 ~ 80 人，最高速度 60km/h 左右。列车通常采用短编组，大多为 2 辆编组，但也可以单车运行或 6 辆编组运行，单向小时最大运输能力为 0.8 万 ~ 2.5 万人次。

#### 5. 市郊铁路

市郊铁路是指由电气或内燃牵引，轮轨导向，车辆编组运行在城市中心与市郊、市郊与市郊、市郊与规划新城间，以地面专用线路为主的城市轨道交通系统。市郊铁路主要为通勤者提供运输服务，有时也称为通勤铁路或地区铁路。

市郊铁路一般可利用干线铁路，承担城市交通在郊区的功能扩展，沟通城市中心与边缘区、市郊地区间的联系。虽然市郊铁路终点站可引入城市中心区，但多数车站设在郊区，线路长度一般为 40 ~ 80km，站间距 2 ~ 4km，高峰期最小行车间隔 5min 左右，客流强度在 1.0 万人次/(km·日) 以下。

我国市郊铁路的所有权通常属于铁路部门，经营权由铁路部门或铁路与城市的联合体负责。