

高校转型发展系列教材



城市轨道交通运营

范立南 丛延峰 肖倩 主编



清华大学出版社

高校转型发展系列教材

城市轨道交通运营

范立南 丛延峰 肖倩 主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书对城市轨道交通的运营知识进行了较全面、系统的阐述, 主要内容包括城市轨道交通的运营特性和发展, 城市轨道交通运营管理, 客流计划、全日行车计划、车辆运用计划和列车开行方案, 行车调度和列车运行组织, 列车运行控制系统, ATC 系统和 CBTC 系统, 城市轨道交通灾害与安全防护以及城市轨道交通运营系统实例等。本书参考了城市轨道交通的最新资料, 汲取了城市轨道交通运营的最新成果, 并以沈阳市现代有轨电车为例介绍了城市轨道交通的实际运营方式。

本书具有较强的实用性和先进性, 内容选材新颖, 并配有大量的城市轨道交通实景图片。本书可以作为高等院校交通运输、城市轨道交通相关专业的核心课程教材或教学参考书, 也可以作为城市轨道交通技术人员的参考资料和培训教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通运营 / 范立南, 丛延峰, 肖倩 主编. —北京: 清华大学出版社, 2017

(高校转型发展系列教材)

ISBN 978-7-302-48716-6

I. ①城… II. ①范… ②丛… ③肖… III. ①城市铁路—交通运输管理—高等学校—教材
IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 271336 号

责任编辑: 施 猛 马遥遥

封面设计: 常雪影

版式设计: 方加青

责任校对: 曹 阳

责任印制: 刘海龙

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社总机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京密云胶印厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 15.75 字 数: 364 千字

版 次: 2017 年 11 月第 1 版 印 次: 2017 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 2000

定 价: 36.00 元

产品编号: 069741-01

高校转型发展系列教材

编委会

主任委员：李继安 李 峰

副主任委员：王淑梅

委员(按姓氏笔画排序)：

马德顺	王 焱	王小军	王建明	王海义	孙丽娜
李 娟	李长智	李庆杨	陈兴林	范立南	赵柏东
侯 彤	姜乃力	姜俊和	高小珺	董 海	解 勇

前 言

城市轨道交通具有大运量、高效率、低污染等优势，能够大大缓解城市交通压力，因此，近些年来在世界各地得到迅速发展。随着我国各大城市的快速发展，城市轨道交通的建设也进入高速发展的阶段。城市轨道交通的快速发展使得我国对城市轨道交通的运营技术和管理水平提出了更高的要求，同时对此类人才的专业培养和专业教学也提出了更多需求。

本书共分7章。前6章主要阐述了城市轨道交通运营的基本知识，适当进行了一些实际的案例分析。其中，第1章介绍了城市轨道交通系统的发展、特性及运营状况，第2章介绍了城市轨道交通运营管理内容、运营组织工作和管理办法等，第3章介绍了客流计划、全日行车计划、车辆运用计划、列车开行方案4种运营计划，第4章介绍了城市轨道交通行车组织调度、列车运行图和列车运行组织，第5章介绍了列车运行控制系统、ATC系统以及CBTC系统，第6章介绍了城市轨道交通灾害的特征与防护技术、措施。在本书的编写过程中，兼顾了中国城市轨道交通产业的发展现状和技术手段，第7章以沈阳市现代有轨电车工程为例，使读者对城市轨道交通运营系统有个直观的认知。为便于学生及时复习、巩固学习内容，书中每章后都配有相应的习题。

本书第1章由范立南编写，第2章由肖倩、张乐编写，第3章由范立南、肖倩编写，第4~6章由肖倩编写，第7章由丛延峰、张梦雪、关杰、金宜元、徐志强、蔡学谦、高越、伍丽娜、穆海权编写。全书由范立南统稿。

本书的编写得到了沈阳市浑南区现代有轨电车公司的大力支持，并为本书提供了大量的真实案例。丛延峰、张梦雪对本书的框架及编写思路提出了许多宝贵的意见，在此编者表示深深的谢意。本书还引用了许多国内外专家、学者的有关城市轨道交通的相关资料和文献，在此谨向有关作者表示衷心的感谢。

本书可作为普通高等院校交通运输、城市轨道交通等相关专业的教材或教学参考书，也可作为城市轨道交通领域相关工作人员的参考读本。

由于我国乃至世界的城市轨道交通系统发展迅速、技术日新月异，本书的资料和数据引用不够全面，虽然编者做出了很大努力，但限于时间和水平，书中难免有疏漏、不妥之处，敬请读者批评指正。同时，希望本书的出版能为广大读者和同行提供一些切实的帮助。

编 者

2017年5月1日

目 录

第1章 城市轨道交通运营概述	1
1.1 城市轨道交通概况及类型	1
1.1.1 城市轨道交通的概况	2
1.1.2 城市轨道交通的分类	2
1.2 城市轨道交通系统的技术经济特性	6
1.2.1 城市轨道交通的技术优势	6
1.2.2 城市轨道交通的经济特点	7
1.2.3 不同类型城市轨道交通的技术经济特性	8
1.2.4 市郊铁路	10
1.2.5 磁悬浮交通	10
1.3 城市轨道交通系统的运营特性	10
1.3.1 城市轨道交通系统的构成	11
1.3.2 运营特性	11
1.4 我国城市轨道交通的运营发展状况	14
1.4.1 我国城市轨道交通的运营发展历程	14
1.4.2 城市轨道交通的运营发展趋势	16
本章小结	17
习题	18
第2章 城市轨道交通运营管理	20
2.1 城市轨道交通运营组织与发展	20
2.1.1 运营组织工作	20
2.1.2 广义的运营管理方式	21
2.2 城市轨道交通运营管理内容	24
2.2.1 车站行车管理	24
2.2.2 车站设备管理	31
2.2.3 票务管理	40

2.2.4 站务管理	47
2.3 城市轨道交通运营管理办法	52
2.3.1 《城市轨道交通运营管理办法》的主要内容	52
2.3.2 《城市轨道交通运营管理办法》解读	55
本章小结	55
习题	56
 第3章 城市轨道交通运营计划	 58
3.1 客流计划	58
3.1.1 客流概念	59
3.1.2 客流特征	60
3.1.3 客流计划编制	62
3.2 全日行车计划	64
3.2.1 全日行车计划编制的依据	64
3.2.2 全日行车计划编制的程序	65
3.3 车辆运用计划	67
3.3.1 运用车	68
3.3.2 检修车	68
3.3.3 备用车	70
3.3.4 车辆运用	70
3.4 列车开行方案	72
3.4.1 列车编组方案	72
3.4.2 列车交路计划	73
3.4.3 列车停站设计	76
3.5 日常运输计划的调整	78
本章小结	79
习题	79
 第4章 列车运行组织	 81
4.1 行车组织调度	81
4.1.1 运输调度生产组织系统	81
4.1.2 行车调度	82
4.1.3 行车调度控制方式	84
4.1.4 列车运行图	85
4.2 正常情况下列车运行组织	96
4.2.1 列车运行的相关概念	96

4.2.2	列车运行调整的方法	97
4.2.3	调度命令	98
4.3	非正常情况下列车运行组织	100
4.3.1	行车事故及处理	100
4.3.2	列车自动控制系统故障时的行车	102
4.3.3	改为车站控制时的行车	102
4.3.4	改用电话闭塞法时的行车	103
4.3.5	改用时间间隔法时的行车	104
4.3.6	夜间施工时的行车	105
	本章小结	105
	习题	106
第5章	列车运行控制系统	108
5.1	列车运行控制系统的原理	108
5.1.1	列车运行控制系统的设备	109
5.1.2	列车运行控制系统的基本原理	115
5.2	列车自动控制系统	121
5.2.1	列车自动控制(ATC)系统的构成	121
5.2.2	基于不同闭塞制式的ATC系统	126
5.3	CBTC系统	128
5.3.1	CBTC的工作原理	128
5.3.2	国内外CBTC的发展	131
	本章小结	133
	习题	134
第6章	城市轨道交通灾害与安全防护	136
6.1	灾害分类与防灾设计技术要求	136
6.1.1	灾害分类	137
6.1.2	防灾设计技术要求	137
6.2	地铁火灾与防护	142
6.2.1	地铁火灾的特征及危害	142
6.2.2	防护对策	145
6.2.3	地铁消防	148
6.3	地铁工程防水	150
6.3.1	防洪水、积水回灌	151
6.3.2	地铁工程内部防水	151

6.4	地震灾害与防护	155
6.4.1	地震破坏的特征	156
6.4.2	抗震设计的方法	156
6.4.3	抗震结构措施	157
6.5	战争灾害防护	158
6.5.1	建筑设计	159
6.5.2	结构设计	161
6.6	施工诱发灾害的预测及防护	162
6.6.1	地铁工程施工	162
6.6.2	建筑物和公用设施损坏的判据	164
6.6.3	防护措施	169
6.7	城市轨道交通应急管理	171
6.7.1	城市轨道交通应急处理原则	171
6.7.2	城市轨道交通应急预案	172
6.7.3	应急演练与评估	172
	本章小结	174
	习题	174
第7章	城市轨道交通运营系统实例	176
7.1	有轨电车综合系统介绍	177
7.1.1	有轨电车供电系统	177
7.1.2	通信系统的组成及功能	180
7.1.3	有轨电车信号系统	182
7.2	有轨电车运营系统	186
7.2.1	客运设备	186
7.2.2	运营安全系统	193
7.3	应急处理	225
7.3.1	应急处理总则	225
7.3.2	处理原则	226
7.4	案例分析	227
7.4.1	电车牵引故障导致救援	227
7.4.2	电车司机室控制器故障导致救援	229
7.5	应急演练	230
7.5.1	建立小交路运营的应急演练	230
7.5.2	电车起火事件应急演练	232
7.6	乘降组织	233
7.6.1	安全管理	233

7.6.2 文明服务	234
7.6.3 仪容仪表	234
本章小结	235
习题	235
参考文献	238

第1章 城市轨道交通运营概述

教学提示

城市轨道交通系统是指主要服务于城市客运系统，通常以电力或机械力为动力，以轮轨运行方式为特征的车辆与轨道(导轨)等相关设施的总和。相比其他城市公共交通系统，它具有运能大、速度快、安全、准时、节约能源、能缓解地面交通拥挤和有利于环境保护等优点。经过100多年的研究、开发、建设与运营，城市轨道交通系统已经形成多种类型并存与发展的状态。

学习目标

- 了解城市轨道交通系统的发展及分类；
- 理解城市轨道交通系统的技术优势和经济特点；
- 掌握城市轨道交通系统的运营特性；
- 了解我国城市轨道交通系统的运营发展状况。

知识结构

本章知识结构，如图1.1所示。



图1.1 本章知识结构

1.1 城市轨道交通概况及类型

城市轨道交通系统是指在城市中使用车辆在固定导轨上运行并主要用于城市客运的交

通系统。在中国国家标准《城市公共交通常用名词术语》中,城市轨道交通被定义为“通常以电能为动力,采取轮轨运输方式的快速大运量公共交通的总称”。下面通过分别介绍城市轨道交通的概况及类型来深入了解城市轨道交通系统。

1.1.1 城市轨道交通的概况

城市轨道交通最早起源于轨道的出现,轨道是指用条形的钢材铺成的供火车、电车等行驶的路线。轨道出现的时间远远早于火车,它的出现是为了减少车辆的地面摩擦力,提供一个比较平滑的接触面。公元前6世纪,希腊建造了一条6km长的石制轨道,用来运输船只,这条轨道使用了1300多年,是世界上最早的轨道;2000年前,希腊、马耳他和罗马帝国出现了马拉轨道车辆,使用的是加工过的石质轨道;18世纪,英国土木工程师William Jseeop设计了类似现在的铁轨和有轮缘的车轮;1802年,伦敦南部开通了世界上第一条马拉的公共铁路。

1804年,英国人特雷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世界上第一条铁路,长度为21km;1829年,巴黎引入了由马驱动的公共马车,随之纽约在1831年也引入了这种车辆,后来把马车放在钢轨上行驶,形成轨道公共马车;1832年,世界上第一条马拉的城市街道铁路在美国纽约的第四大街开始运营,这就是城市轨道交通的雏形;1855年,有轨马车在美国及欧洲迅速扩展,1890年总的轨道里程达到9900km,在平交道口出现了交通阻塞,因此人们开始考虑用机车代替马来牵引,进而提高运营速度;1843年,英国人皮尔逊提出修建地下铁道的建议,1860年,开始采用明挖法施工,为单拱砖砌结构;1863年,世界第一条地铁线路建成,采用蒸汽机牵引。此后,地铁慢慢发展为一种重要的城市轨道交通方式,一些其他形式的轨道交通也相应产生。

当前,城市轨道交通成为现代化都市所必需的交通工具,我国的城市轨道交通建设处于高速发展阶段。相关数据表明,截至2016年底,北京、上海、深圳、南京、武汉、重庆、天津等30个城市已开通运营城市轨道交通,共计133条线路,运营线路总长度达4152.8km。2017年,中国城市轨道交通市场仍将处于建设高峰时期,城市轨道交通建设正在向二三线城市延展。预计到2020年,中国城市轨道交通运营里程将达到6000km左右。

1.1.2 城市轨道交通的分类

1. 城市轨道交通的划分形式

城市轨道交通的类型是多种多样的,主要有以下几种划分形式。

(1) 按构筑物的形态或轨道的铺设方式划分,可分为地下铁路、地面铁路和高架铁路三类。地下铁路即位于地下隧道内的铁路;地面铁路即位于地面上的铁路;高架铁路即位于地面之上的高架桥上的铁路。

(2) 根据城市轨道交通系统高峰小时单向运输能力的大小,可分为高运量、中运量和

低运量三类。高运量城市轨道交通系统的高峰小时单向运输能力达到30 000人以上,属于这种类型的城市轨道交通系统主要有重型地铁、轻型地铁及中低速磁悬浮系统等;中运量城市轨道交通系统的高峰小时单向运输能力为15 000~30 000人,属于这种类型的城市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;低运量城市轨道交通系统的高峰小时单向运输能力为5000~15 000人,属于这种类型的城市轨道交通系统主要有低技术标准的轻轨、自动导向交通系统和有轨电车。

(3) 以导向方式划分,可分为轮轨导向和导向轮导向两类。一般情况下,钢轮钢轨系统如地铁、轻轨、有轨电车均属于轮轨导向方式;单轨和新交通系统的胶轮车辆属于导向轮导向系统。

(4) 以轮轨的材料划分,可分为钢轮钢轨系统和胶轮钢筋混凝土城市轨道交通系统两类。钢轮钢轨系统主要有地铁、轻轨、有轨电车;胶轮钢筋混凝土城市轨道交通系统主要有单轨和新交通系统。

(5) 按运能范围及车辆类型划分,可分为市郊铁路、地下铁道、轻轨交通、独轨交通、有轨电车、自动导向交通、小断面地铁、胶轮地铁、索道等类型。

2. 城市轨道交通的类型

当前,国内外常用的城市轨道交通有以下几种。

(1) 地铁。地铁是地下铁路的简称,它是一种在城市中修建的快速、大运量的轨道交通系统,图1.2为成都地铁。地铁的单向运输能力在每小时30 000人次以上,它的线路通常设在地下隧道内,也有的设在地面或高架桥上。在世界范围内,地下铁道的地下部分约占70%,地面和高架部分约占30%。地铁具有容量大、速度快、安全、准时、舒适、运输成本低、不占城市用地的特点,但建设成本高,适用于出行距离较长、客运量需求大的城市中心区域。

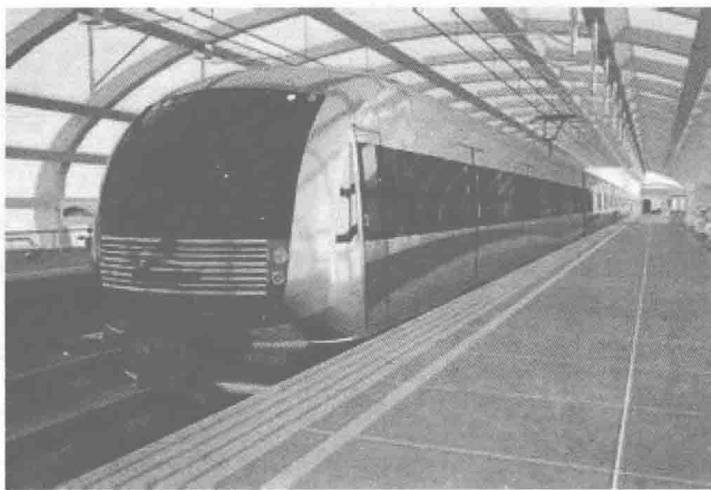


图1.2 成都地铁

(2) 有轨电车。有轨电车是采用电气牵引方式在轨道上行驶的轻型轨道交通车辆,它是一种单车或两辆编组运行在城市路面线路上的低运量城市轨道交通系统。车辆运行速度较慢,行车安全和准时性较差,运量小,单向运量在10 000人次左右。图1.3为沈阳的现代

有轨电车。



图1.3 沈阳现代有轨电车

(3) 轻轨交通。轻轨交通是在有轨电车的基础上发展起来的电车牵引方式，它是一种中运量的轨道交通运输系统，一般采用钢轮钢轨地铁，主要在城市地面或高架桥上运行，线路采用地面专用轨道或高架轨道，遇繁华街区，也可进入地下或与地铁衔接。轻轨的输送能力在每小时10 000~30 000人次，它的车辆轴重较轻，施加在轨道上的荷载相对于城市铁路和地铁的荷载来说比较轻，因此被称为轻轨。图1.4为苏州轻轨3号线。



图1.4 苏州轻轨

轻轨与地铁的区别在于轻轨运量较小，采用较小的车辆。按照国际标准，城市轨道交通列车可分为A、B、C三种型号，分别对应3m、2.8m、2.6m的列车宽度。选用A型或B型列车的轨道交通线路为地铁，采用5~8节编组列车；选用C型列车的轨道交通线路为轻轨，采用2~4节编组列车。

(4) 独轨交通。独轨交通又称单轨铁路，单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，通常分为跨座式和悬挂式两种。跨座式跨在一根走行轨道上行走，其重心位于走行轨道上方，我国重庆市轨道交通采用的就是这种制式，如图1.5所示。悬挂式的车辆悬挂于可在轨道梁上行走的走行

装置的下面，其重心处于轨道梁的下方。



图1.5 重庆独轨

(5) 市郊铁路。城市市郊铁路是由电气或内燃牵引，采用轮轨导向，车辆编组运行在城市中心与市郊、市郊与市郊、市郊与新建城镇间，以地面专用线路为主的大运量快速城市轨道交通系统。北京市郊铁路s2线，如图1.6所示。市郊铁路的通过所有权一般不属于所在的城市政府，而由铁路部门经营。



图1.6 北京市郊铁路

(6) 磁悬浮交通。磁悬浮交通是一种运用“同性相斥、异性相吸”的电磁原理、依靠电磁力使车厢悬浮并行走的轨道运输系统。磁浮交通有常导和超导两种类型。常导式磁浮线路能使车辆浮起10~15mm的高度，运行速度较慢，用感应线性电机来驱动。超导式磁浮线路能使车辆浮起100mm以上，速度较快，用同步线性电机来驱动，技术难度较大。图1.7为北京八达岭磁悬浮观光车。



图1.7 北京磁悬浮交通

1.2 城市轨道交通系统的技术经济特性

随着经济社会的不断发展，现代城市的规模也不断扩大，传统的公共汽车和自行车等交通工具已无法满足市民对于长距离出行的需求，我国各大城市迎来了轨道交通高速发展的时期。城市轨道交通由于其自身的技术优势和经济特点，能迅速、安全地完成高运量市郊铁路、大运量地铁和中运量轻轨的旅客输送任务，满足多层次、多方面的客运需求。

1.2.1 城市轨道交通的技术优势

与其他交通方式相比，城市轨道交通具有其自身的特性。一般来说，城市轨道交通具有以下技术优势。

(1) 运量大、速度快。与城市综合交通系统中其他交通运输方式相比，城市轨道交通具有运量大、速度快的特点，各种交通方式的客运量和运输速度，如表1-1所示。

表1-1 各种交通方式的客运量和运输速度

交通方式	客运量/人/h	运输速度/km/h
小汽车	3000	20~50
常规公交车、电车	3000~8000	20~40
轻轨	10 000~30 000	40~60
地铁	30 000~60 000	40~80
市郊铁路	60 000~80 000	50~100

(2) 运行准时、速达。城市轨道交通有自己的专用线路，与道路交通相隔离，不受其他交通工具的干扰，不会因出现交通阻塞而延误运行时间，可以保证乘客准时、迅速地到达目的地。

(3) 安全舒适。轨道交通是封闭性的交通方式，与其他交通方式相隔离，安全性较

高，事故率低。轨道交通与汽车的伤亡率比较，如表1-2所示。同时，轨道交通运营平稳，乘车环境舒适，车站配套设施齐全，是服务水平较高的公共交通方式。

表1-2 轨道交通与汽车的伤亡率比较 人/10亿人·km

交通方式	死亡率	比较	伤害率	比较
轨道交通	0.053	1	0.106	1
汽车	11.968	221	856.282	8080

(4) 节约土地。城市轨道交通多建于地下或高架上，尤其是地铁，线路多数占用的是地下空间，即使在地面上，也只占据少量的空间，充分利用了城市空间。轻轨等地上的轨道交通是导向式的交通方式，有其特定的运行路线，不会占用轨道以外的土地，因此节省了宝贵的土地资源。

(5) 能源消耗低。城市轨道交通以电力牵引为主，与传统的交通方式相比，能够以更低的能源消耗完成更多的客运任务。从表1-3可以看出，轨道交通平均能耗约是公交车的1/3，是小汽车的1/12。

表1-3 各种交通方式的单位能耗对比

交通方式	能源消耗/kJ/人·km	比率(以轨道交通为基准)
小汽车	2479	11.84
公交车	670	3.2
轨道交通	209	1

(6) 有利于环境保护。地铁和轻轨列车是由电力牵引，不排放SO₂、NO₂等废气，其运行过程中仅会产生对空气无污染的CO₂，由表1-4可以看出，轨道交通的人均CO₂排放量约是小汽车的1/5。城市轨道交通的噪声污染比较小，对城市环境不会造成破坏。

表1-4 各种交通方式的环境污染比较(以市郊铁路为基准)

交通方式	市郊铁路	航空	汽车	地铁轻轨
人均CO ₂ 排放量	1	6.3	4.6	1
人均噪声污染	1	1.5	0.7	0.4

1.2.2 城市轨道交通的经济特点

城市轨道交通是重要的城市基础设施，一般具有以下几个明显的经济特点。

(1) 准公共产品特性。从经济学角度来看，城市轨道交通系统兼具公共产品和私人产品的特性，即具有消费的非竞争性和有一定排他性的基本特征，所以属于准公共产品。与一般的投资项目追求利润最大化不同，城市轨道交通建设的目的是满足旅客多层次、多方面的出行需求，为其提供高质低价的服务，城市轨道交通追求的是宏观的社会经济效益。

(2) 正外部效应。城市轨道交通建设能诱发沿线土地升值，促进沿线房地产、商业等行业的加速发展。从这一意义上看，城市轨道交通能增加城市的社会经济福利，带来巨大