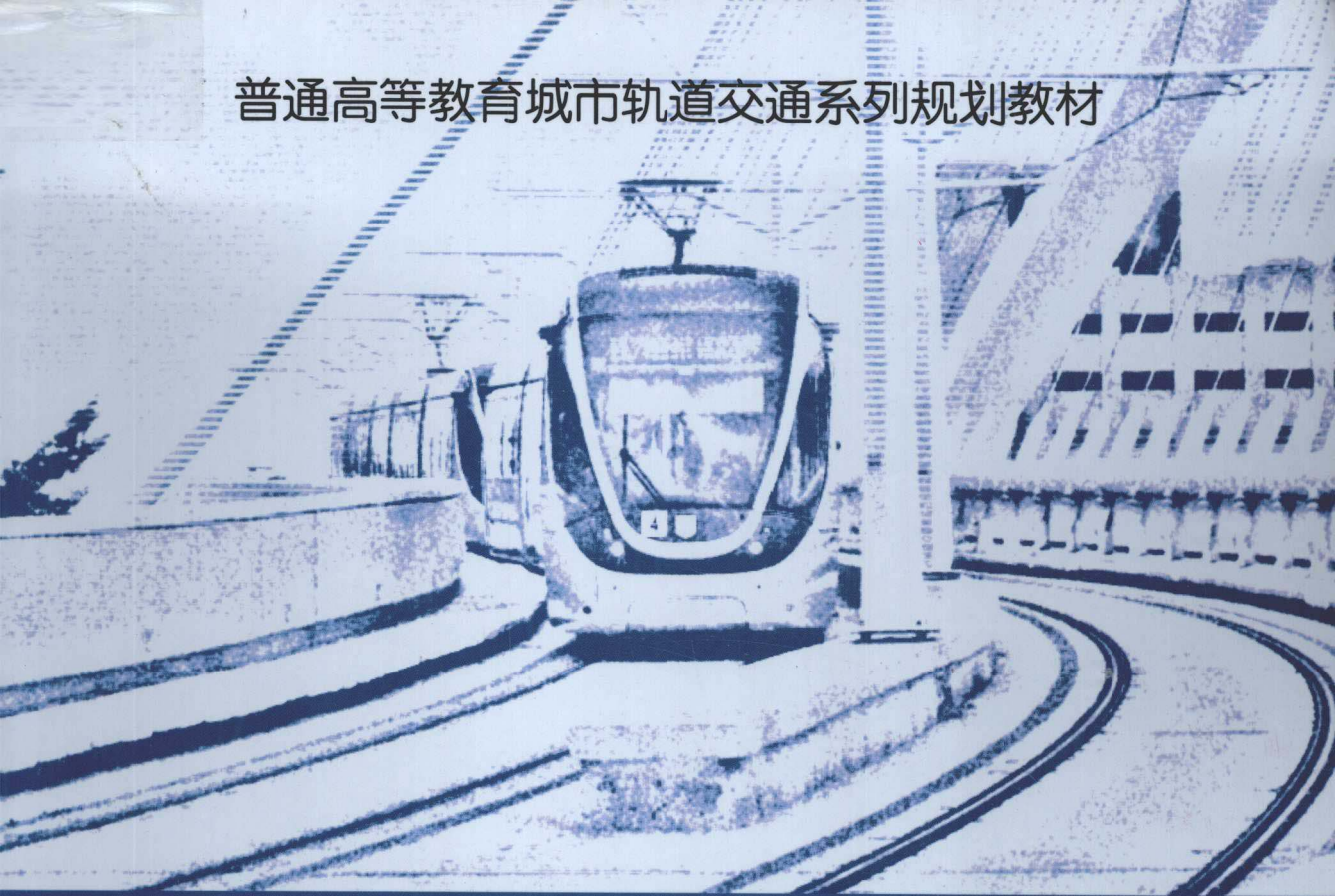


普通高等教育城市轨道交通系列规划教材



城市轨道交通概论

Introduction to Urban Rail Transit

主 编 王明生

主 审 毛保华



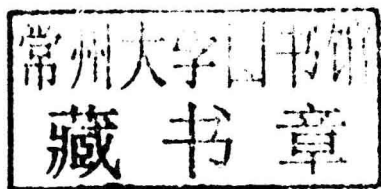
人民交通出版社
China Communications Press

普通高等教育城市轨道交通系列规划教材

城市轨道交通概论

Introduction to Urban Rail Transit

主 编 王明生
主 审 毛保华



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书是普通高等教育城市轨道交通系列规划教材之一。全书共十一章,内容全面,浅显易懂,系统介绍了城市轨道交通的各种知识,主要包括:城市轨道交通的概念、分类与发展历程,规划与设计基础,线路与结构,车站,车辆,车辆段,供配电系统,通信信号与行车自动控制系统,通风、环境与安全,建设投资模式及运营组织等内容。

本书可作为高等院校城市轨道交通、交通运输、交通工程等相关专业的本科生教材,同时也可供城市轨道交通设计、施工及运营管理等工程技术人员自学或培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通概论/王明生 主编. —北京:人民
交通出版社,2012.9

ISBN 978-7-114-10047-5

I. ①城… II. ①王… III. ①城市铁路—轨道交通—
概论 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 201356 号

普通高等教育城市轨道交通系列规划教材

书 名:城市轨道交通概论

著 者:王明生

责任编辑:高培 吴燕伶

出版发行:人民交通出版社

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)59757969, 59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京交通印务实业公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:17.25

字 数:408千

版 次:2012年9月 第1版

印 次:2012年9月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10047-5

定 价:35.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言 Preface

城市轨道交通具有用地少、运能大、污染小、效率高等特点,能全面提升和改变一个城市的经济发展格局,促进城市交通优化组合,解决地面交通压力,还可以在一定程度上缓解国家在公共交通方面能源和人力资源紧张的状况。城市轨道交通已成为现代大城市缓解交通“两难”问题的优先或首选公共交通方式。随着“十二五”规划的制定,中国轨道交通行业迎来了空前的发展,当前我国城市轨道交通已进入快速发展时期。本书作为城市轨道交通入门教材,内容基本涵盖了城市轨道交通的所有方面,力求及时反映和概括城市轨道交通的新技术、新工艺、新理念,并兼顾全面性、系统性、思想性和新颖性,可作为高等院校城市轨道交通、交通运输、交通工程等相关专业教学用书,供全日制或在职学习的本科生使用。

本书参考了国内外城市轨道交通系统建设、规划设计、运营管理等大量相关文献。第1章介绍了城市轨道交通的概念与分类以及国内外城市轨道交通的发展历程;第2章介绍了城市轨道交通的基本建设程序,线网规划编制与审批的基本方法和工作流程,线路平、纵断面设计基础;第3章介绍了城市轨道交通的轨道结构、桥梁、隧道、涵洞等的基本构造和简要施工方法;第4章介绍了城市轨道交通车站分类与设计、平面布置与结构、客流组织与诱导服务以及换乘站的设计;第5章介绍了城市轨道交通车辆的组成、类型、基本参数和各种车辆的结构;第6章介绍了城市轨道交通车辆的维修基地及其检修标准;第7章介绍了城市轨道交通牵引供电系统的构成、特点及其表征参数;第8章介绍了城市轨道交通通信与信号系统设备的组成及其功能;第9章介绍了城市轨道交通通风空调系统构成、类型、控制方式,环境影响分析与安全防护措施等;第10章介绍了城市轨道交通的建设投资模式;第11章介绍了运营组织。

本书共分11章,全书由石家庄铁道大学王明生教授主编。各章的编写分工为:第1章和第4章由石家庄铁道大学交通运输学院罗玉屏编写;第2章由石家庄铁道大学交通运输学院宋颖编写;第3章由石家庄铁道大学交通运输学院黄守刚编写;第5章和第6章由兰州交通大学交通运输学院孟伯政编写;第7章和第9章由兰州交通大学交通运输学院孙丽芳编写;第8章、第10章和第11章由中南大学交通运输工程学院李夏苗、张云丽编写。全书各章节由王明生教授进行统稿与校对。

由于编者时间和水平有限,书中若有不当或错误之处,敬请同行专家和读者批评指正。

编 者
2012年5月

目 录 Contents

第 1 章 绪论	1
【本章概要】	1
1.1 城市轨道交通的概念与分类	1
1.1.1 城市轨道交通的概念	1
1.1.2 城市轨道交通系统的分类	2
1.1.3 城市轨道交通系统的组成	3
1.2 城市轨道交通的发展历程	4
1.2.1 地下铁道的发展	5
1.2.2 轻轨的发展	6
1.2.3 其他城市轨道交通形式的发展	7
1.2.4 世界城市轨道交通的发展阶段	8
1.3 我国城市轨道交通的发展	10
1.3.1 我国城市交通现状	10
1.3.2 我国城市轨道交通的发展与展望	11
本章小结	15
思考题	15
第 2 章 规划与设计	16
【本章概要】	16
2.1 城市轨道交通基本建设程序	16
2.1.1 项目建设周期	16
2.1.2 城市轨道交通项目前期工作内容	17
2.1.3 城市轨道交通项目的审批	20
2.2 城市轨道交通线网规划	21
2.2.1 线网规划的目的与意义	21
2.2.2 线网规划的原则与内容	23
2.2.3 线网规划编制基本方法	26
2.3 线路设计	30
2.3.1 线路设计阶段划分	30
2.3.2 选线原则	31
2.3.3 线路基本形式	36

2.3.4 线路平面	39
2.3.5 线路纵断面	52
本章小结	59
思考题	59

第3章 线路与结构 60

【本章概要】	60
3.1 轨道工程	60
3.1.1 轨道结构组成	60
3.1.2 轨道几何形位	72
3.1.3 道岔	75
3.1.4 无缝线路	78
3.1.5 轨道施工	79
3.1.6 独轨铁路轨道结构	80
3.1.7 磁悬浮轨道	81
3.2 路基工程	83
3.2.1 路基特点	83
3.2.2 路基横断面形式和组成	83
3.3 区间隧道结构	85
3.3.1 区间隧道分类	86
3.3.2 区间隧道结构组成	86
3.3.3 区间隧道施工方法	87
3.4 区间高架结构	92
3.4.1 桥梁结构组成	92
3.4.2 桥梁的分类	93
3.4.3 桥梁构造	97
3.4.4 桥梁施工	100
本章小结	102
思考题	102

第4章 车站 103

【本章概要】	103
4.1 车站分类与设置	103
4.1.1 车站分类	103
4.1.2 车站设置原则	105
4.1.3 车站规模	106
4.1.4 车站风格	106

4.2 车站平面布置与结构	107
4.2.1 车站平面布置	107
4.2.2 车站结构	120
4.3 车站客运组织	121
4.3.1 客流分析	121
4.3.2 车站客流组织	123
4.3.3 车站客运服务与管理	125
4.4 换乘站	130
4.4.1 换乘站设计原则及发展趋势	130
4.4.2 换乘方式	131
4.4.3 换乘站形式	136
4.4.4 城市轨道交通与常规公交换乘衔接	138
本章小结	140
思考题	141

第5章 车辆 142

【本章概要】	142
5.1 概述	142
5.1.1 城轨车辆的主要特点	142
5.1.2 城轨车辆的分类	143
5.2 车辆的基本构造	143
5.2.1 车体	144
5.2.2 转向架	147
5.2.3 连接装置	149
5.2.4 制动装置	150
5.2.5 受流装置	151
5.2.6 电气系统	152
5.2.7 内部设施	152
5.3 车辆的技术参数	156
5.3.1 主要技术参数	156
5.3.2 城轨车辆技术参数举例	158
5.4 车辆的基本标志	159
5.4.1 列车编组	159
5.4.2 车辆编号	160
5.4.3 方位标志	160
5.4.4 设备编号	161
本章小结	162
思考题	162

第 6 章 车辆段	163
【本章概要】	163
6.1 车辆段的功能与基本形式	163
6.1.1 车辆段的功能	163
6.1.2 车辆段的基本形式	164
6.2 车辆段的布置与组成	165
6.2.1 车辆段布置图	165
6.2.2 车辆段的线路配备	170
6.2.3 车辆段的主要组成	171
6.3 车辆段的检修标准	174
6.3.1 车辆的检修分类	174
6.3.2 车辆的检修修程	176
6.3.3 车辆检修作业内容	177
6.4 车辆段的建设规模	178
6.4.1 车辆段的选址原则	178
6.4.2 车辆段的建设规模	179
本章小结	183
思考题	183
第 7 章 供配电系统	184
【本章概要】	184
7.1 电力牵引供电系统概述	184
7.1.1 供电系统的构成	184
7.1.2 供电系统主要电气设备	185
7.1.3 供电方式	186
7.1.4 供电系统用电负荷分类	186
7.2 牵引供电和动力照明系统	187
7.2.1 牵引供电系统	187
7.2.2 动力照明供电系统	188
7.3 电力监控系统及杂散电流的防护	189
7.3.1 电力监控系统	189
7.3.2 杂散电流及其防护	191
本章小结	193
思考题	193

第 8 章 通信信号系统与行车自动控制系统	194
【本章概要】	194
8.1 城市轨道交通通信系统	194
8.1.1 调度指挥通信系统	195
8.1.2 无线通信系统	195
8.1.3 公务通信系统	196
8.1.4 广播系统	196
8.1.5 视频监视系统	196
8.1.6 传输系统	196
8.1.7 时钟系统	197
8.1.8 电源系统	197
8.2 城市轨道交通信号系统	197
8.2.1 概述	197
8.2.2 信号基础设施	200
8.2.3 联锁设备	201
8.2.4 列车自动控制系统	203
本章小结	208
思考题	208
第 9 章 通风、环境与安全	209
【本章概要】	209
9.1 通风空调系统	209
9.1.1 系统构成	209
9.1.2 通风空调系统的类型	210
9.1.3 通风空调系统控制方式	210
9.1.4 主要设计原则	210
9.2 环境影响	211
9.2.1 环境影响	211
9.2.2 治理措施	212
9.3 安全防护	214
9.3.1 环境与设备监控系统	214
9.3.2 火灾报警系统	214
9.3.3 事故通风和防排烟系统	215
9.3.4 消防给水系统	215
9.3.5 防灾通信系统	215
9.3.6 安全门系统	216

9.3.7 疏散预备用照明	216
9.3.8 建筑防火措施	216
9.3.9 供电设备防火措施	216
9.3.10 其他防灾或安全防护	217
本章小结	217
思考题	217

第 10 章 建设与运营管理模式 218

【本章概要】	218
10.1 城市轨道交通建设模式	218
10.1.1 城市轨道交通投融资模式	218
10.1.2 城市轨道交通线网规划模式	220
10.1.3 城市轨道交通线路建设工程管理模式	221
10.2 城市轨道交通运营管理模式	223
10.2.1 城市轨道交通系统运营管理模式分类	223
10.2.2 不同运营管理模式适用性	224
本章小结	225
思考题	225

第 11 章 运营组织 226

【本章概要】	226
11.1 城市轨道交通运营计划	226
11.1.1 客流计划	226
11.1.2 全日行车计划	228
11.1.3 车辆配备计划、运用与检修计划	229
11.1.4 列车交路计划	230
11.1.5 日常运输调整计划	232
11.2 列车运行图及运输能力	233
11.2.1 列车运行图	233
11.2.2 运输能力	235
11.3 列车运行组织	237
11.3.1 行车组织调度	237
11.3.2 正常情况下列车运行组织	239
11.3.3 特殊情况下的列车运行组织	240
11.3.4 站场行车作业组织	241
11.4 客运管理	243
11.4.1 站务管理	243

11.4.2 票务管理.....	243
本章小结.....	244
思考题.....	244

■ 附录:专业词汇中英文对照表	245
-----------------	-----

■ 参考文献	259
--------	-----

◀ 第 1 章 绪 论

【本章概要】

本章介绍了城市轨道交通系统的概念、分类、发展历史、国内外现状及系统组成。通过本章学习可了解大力发展城市轨道交通的原因,城市轨道交通的基本形式及其特点,城市交通存在的问题,以及城市轨道交通的地位与作用。

◀ 1.1 城市轨道交通的概念与分类

1.1.1 城市轨道交通的概念

我国国家标准《城市公共交通常用名词术语》(GB 5655—1985)中,对城市公共交通的定义是:“城市中供公众乘用的、经济方便的各种交通方式的总称。”我们将城市中使用车辆在固定轨道上运行并主要服务于城市公共交通的轮轨交通系统称为城市轨道交通。

城市轨道交通是城市公共交通的骨干,它具有运量大、速度快、节能、安全可靠、污染少、省地等特点,属绿色环保交通体系,符合可持续发展的原则,特别适合大中城市。其特点具体如下。

(1) 运量大

现代化的轨道交通,由于先进科学技术的运用,使列车行车密度和单列载客能力都得到大幅度的提高,从而大大提高了城市轨道交通的运输能力,能充分满足城市大客流的需要。

(2) 速度快

列车采用先进的电动车组动力牵引方式,加上良好的线路条件和行车自动控制体系,列车快速运行能得到安全保障,现代城市轨道交通系统的列车运行速度较以往有了很大提高。

(3) 节能

城市轨道交通为大运量客运系统,且采用了多项高新技术,在客流得到保证的情况下,其运送乘客的人均能源消耗远远低于其他任何一种城市交通方式。

(4) 安全可靠

城市轨道交通线路一般采用立交方式与地面其他交通方式完全隔离,不受地面交通干扰;同时,城市轨道交通采用先进的信号安全系统来确保列车运行安全,其受气候条件影响很小,因而城市轨道交通是一种全天候的公共交通方式,安全性和准点性高,是城市公共交通方式中可靠性最强的一种。尤其是在上下班高峰时段、气候条件恶劣的时候,其优势更加明显。

(5) 污染少

城市轨道交通一般采用电力牵引动力方式,列车以电力为能源产生动力,与以燃油为动力的交通工具相比,城市轨道交通没有废气污染,有“绿色交通”之称,而这正是现代城市可持续发展最为关注的环境保护问题。

(6) 占地少

城市轨道交通大量采用立交形式,大大减少了对城市土地的占用;由于其运量大,乘客交通出行人均所占土地面积相对于其他交通方式更少。

城市轨道交通具有许多优点,适合交通拥挤的大中城市采用,但城市轨道交通也存在建设投入大、线路建成后不易调整、运营成本高等如下局限性。

(1) 建设投入大

城市轨道交通系统采用立交方式,建设要求高,施工难度大,设备技术标准高,线路建设一次性投资额巨大。

(2) 线路建成后不易调整

城市轨道交通线路的地下隧道、高架桥等都是永久性结构,建成后几乎没有调整的可能性。

(3) 运营成本高、经济效益有限

城市轨道交通系统的设备和设施科技含量高、标准要求高,因此日常维修保养费用也高,运营成本居高不下;由于城市轨道交通系统有较强的公益性,无法按运营成本核收票价,极易导致运营亏损,大多数城市轨道交通系统依赖国家与地方政府、社会机构提供补贴。

1.1.2 城市轨道交通系统的分类

城市轨道交通在发展过程中,出现了许多不同的类型。按照不同的标准,城市轨道交通系统有不同的分类。

(1) 按技术特征分类

根据城市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分为地下铁道、轻轨交通、有轨电车、独轨系统、市郊铁路和磁悬浮系统六种类型。

①地下铁道:原始含义指修建在地下隧道中的铁路。随着地下铁道的发展,其线路布置已不只局限在地下隧道中,根据需要也可布置在地面或采用高架的方式修建,但市区内的线路还是以地下为主。地下铁道的服务范围主要集中在市区,通常简称为地铁。

②轻轨铁路:原始含义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的铁路。由于轻轨铁路的钢轨较轻,整体技术标准低于地铁,运输能力远小于地铁,早期的轻轨一般是直接对旧式有轨电车系统改建而成。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、舒适程度得到了很大提高,噪声问题得到了很大改善。随着轻轨线路的高架发展,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。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。

③有轨电车:是一种在城市道路上修建轨道并在空中架设输电系统的城市轨道交通公共交通系统。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。现代有轨电车系统与性能较差的轻轨交通已很接近,但前者的建设投资较小,见效较快,运输能力相对也较小。

④独轨铁路:是车辆或列车在单一轨道梁上运行的城市客运交通系统。独轨铁路的线路通常采用高架结构,车辆则大多采用橡胶轮胎。独轨铁路适合于在地面起伏较大的城市修建。

⑤市郊铁路:是连接市区与郊区,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。市郊铁路往往又是连接大中城市干线铁路的一部分,具有干线铁路的技术特征,如轨道钢轨通常是重型的;运营组织上通常是市郊旅客列车与干线旅客列车、货物列车混行。

⑥磁悬浮系统:磁悬浮列车依靠电磁吸力或电动斥力将列车悬浮于空中并进行导向,实现列车与轨道之间的无机械接触,再利用线性电机驱动列车运行。磁悬浮系统的轨道往往也采用轨道梁的高架结构,时速可达到 500km 以上,是当今世界最快的地面客运交通工具,具有速度快、爬坡能力强、能耗低的优点。

(2) 按运输能力分类

根据城市轨道交通系统单向高峰小时运输能力的大小,城市轨道交通系统可分为大运量、中运量和低运量三种类型。

①大运量城市轨道交通系统:单向高峰小时运输能力在 3 万人次以上,地下铁道属于此种类型。

②中运量城市轨道交通系统:单向高峰小时运输能力为 1.5 万~3 万人次,轻轨铁路、独轨铁路属于此种类型。

③低运量城市轨道交通系统:单向高峰小时运输能力为 0.5 万~1.5 万人次,有轨电车属于此种类型。

1.1.3 城市轨道交通系统的组成

城市轨道交通系统由一系列相关设施组成,这些设施包括车辆、线路、车站、供电、通信信号以及环控系统等,各系统协同合作为用户提供满意服务。线路、轨道、车站、车辆、供电系统、通信信号系统和环境控制系统,是城市轨道交通系统的基本构成。

(1) 线路

线路敷设方式,应根据城市总体规划和地理环境条件因地制宜选择,一般在城市中心地区采用地下线,其他地区在条件许可时可采用高架线或地面线。

城市轨道交通线路按其在运营中的作用,分为正线、辅助线和车场线。正线是车辆载客运营的线路,行车速度快、密度大,要保证行车安全和乘坐舒适,线路标准要求高;辅助线是为了保证正线运营而配置的线路,速度要求低,标准较低;车场线是供车辆检修作业用的线路,行车速度较低,线路标准只要满足场区作业即可。

(2) 轨道

轨道是列车运行的基础,直接承受列车荷载,并引导列车运行。轨道结构是城市轨道交通系统的重要组成部分,一般由钢轨、扣件、轨枕、道床、道岔及其他附属设备组成。为保证列车的安全运行,轨道结构应具有足够的强度、稳定性、耐久性、绝缘性和适量弹性,且养护维修量小,以确保列车安全运行和乘坐舒适。

(3) 车站

车站是旅客乘降的场所,也是城市轨道交通面向公众开放的窗口。车站的规模、设施先进

程度、服务水平,也反映了城市的综合实力和科技发展水平。

车站按运营性质可分为中间站、尽头站、换乘站和折返站;按结构形式可分为地下车站、地面车站和高架车站;按车站与轨道的相对位置又可分为岛式站台车站和侧式站台车站。

(4) 车辆

城市轨道交通车辆主要是指地铁车辆和轻轨车辆,它们是城市轨道交通系统最重要的设备,也是技术含量最高的机电设备。车辆作为旅客运载工具,不仅要保证运行安全、可靠、快速,而且应考虑乘客的舒适和方便程度,以及满足公共交通所需的大容量。

车辆分为动车、拖车,带司机室、不带司机室等多种形式。地铁车辆(无论是动车还是拖车)主要由车体、转向架、牵引缓冲装置、制动装置、受流装置、车辆内部设备、车辆电气系统等几部分组成。

(5) 供电系统

电能是城市轨道交通系统必需的能源,几乎所有的设备都离不开电力供应,一旦供电中断,整个轨道交通运输将陷入瘫痪状态,安全、可靠的供电系统是城市轨道交通系统正常运营的重要条件和保证。

供电系统一般包括牵引供电系统和动力照明供电系统。牵引供电系统为电动车辆运行提供电能,由牵引变电所和牵引网组成;动力照明供电系统提供车站和区间各类照明、扶梯、风机、水泵等动力机械设备电源,以及通信、信号、自动化等设备电源,其由降压变电所和动力照明配电线路组成。

(6) 通信信号系统

城市轨道交通具有高速度、高密度、短间隔的特点,其信号系统从传统的以地面信号为主发展到自动监控列车速度和自动调整列车追踪间隔的方式。信号系统按功能分为自动闭塞、联锁、列车自动监控系统、列车自动防护系统和列车自动运行系统等几个部分。

城市轨道交通具有自成体系的独立完整的内部通信网,由光纤数字传输系统、数字电话交换系统、闭路电视系统、无线调度系统以及车站广播系统等组成,以保证迅速、准确、可靠地传递和交换语音、图像、数据信息。

(7) 环境控制系统

城市轨道交通环境控制系统(以下简称环控系统)是城市轨道交通系统的重要组成部分,它关系到乘客旅行安全和旅途心情。早期地铁在隧道内运行较少考虑环境问题,乘客必须忍受高温、高湿及污浊的空气,随着经济和社会发展水平的提高,乘客对乘车环境有了更高要求,地铁系统中开始增设环控系统。环控系统主要包括地铁通风、空调和采暖等设备。

◀ 1.2 城市轨道交通的发展历程

城市轨道交通的雏形是轨道公共马车。把马车放在钢轨上行驶,可以提高运行速度及平稳性,还可以利用由多匹马组成的马队来提高牵引力,增大车辆规模,降低运输成本及票价。世界上第一条马拉的城市街道铁路于1832年在美国纽约的第四大街开始运营,但直到1855年,随着轨道安装成本下降,同时街道上有轨车辆交通与无轨车辆交通的相互干扰问题得到解

决,这种有轨道的马车才开始大规模地替代公共马车。

虽然马车铁道比公共马车有了很大的改进,但随着城市人口及车辆数量的增加,平交道口出现了交通阻塞,这一问题在较大的城市中非常严重。因此,需要通过立交形式的快速交通系统来避免铁道上或其所在街道上的拥挤。同时,人们考虑采用机车代替马车进行牵引,进一步提高车辆运行速度。

1.2.1 地下铁道的发展

1863~1900年间,英国的伦敦和格拉斯哥、美国的芝加哥和波士顿、匈牙利的布达佩斯、奥地利的维也纳以及法国的巴黎,共5个国家的7座城市率先建成了地下铁道。

1863年1月10日,世界上第一条地铁线路在英国伦敦建成通车,线路全长6.4km,采用明挖施工法建造,列车由蒸汽机车牵引。1892年6月6日,芝加哥建成了世界上第二条蒸汽驱动地铁。但由于蒸汽机车在地下隧道内产生大量的蒸汽和烟雾,且不易扩散,乘行环境不佳,直到1890年12月18日,伦敦建成开通世界上第一条电气化地铁,线路走向从威廉王子街到斯托克威尔,长度为5.23km,此后,地铁才开始在欧美发达国家发展起来。芝加哥于1895年建成了电气化地铁;1896年匈牙利的布达佩斯建成了欧洲大陆第一条电气化地铁;同年12月,英国的格拉斯哥开通一条10.6km长的地下环线(其最初由电缆驱动,不久便改造为电力驱动,系世界上第五条电气化地铁);1897年波士顿建成世界上第四条电气化地铁;1900年巴黎建成世界上第六条、欧洲大陆第二条电气化地铁。

1901年12月10日,纽约建成世界第七条蒸汽驱动地铁,该条铁路直到1904年10月27日才实现电气化。1902年2月18日柏林建成世界第八条、欧洲大陆第三条电气化地铁。

20世纪上半叶,东京、莫斯科等几座城市相继修建了地铁。截止到1963年的100年间,世界上建有地铁的城市共有26座。1964年到1980年的17年中又有30座城市修建了地铁,到1985年世界上大约共有60座城市正在有计划地修建地铁,当时全世界地铁的运营里程总计3000km。到2000年,全世界有127座城市修建了合计6000多公里地铁。目前地铁运营线路超过100km的城市已有十多个,其概况如表1-1所示。

运营线路超过100km的城市地铁概况

表 1-1

城市	城市人口 (万人)	区域人口 (万人)	线路 (km)	地下线路 (km)	高架线路 (km)	地面线路 (km)	车站 (个)	供电 (V)	受流方式
纽约	730	1330	436	253	129	75	501	DC625	三轨
伦敦	670	—	398	16.3	—	235	273	DC600	三轨
巴黎	210	1020	192	177	13.7	1.1	429	DC750	三轨
莫斯科	880	—	220	184	36	—	143	DC825	三轨
东京	840	1190	218	174	24	20	206	DC1500	三轨/架空线
芝加哥	300	700	163	18	85	60	143	DC750	三轨
墨西哥	2000	—	141	103	10	28	125	DC750	两导向杆
柏林	260	438	191	114	3	74	180	DC780/600	三轨

续上表

城市	城市人口 (万人)	区域人口 (万人)	线路 (km)	地下线路 (km)	高架线路 (km)	地面线路 (km)	车站 (个)	供电 (V)	受流方式
首尔	1020	1350	116	116	—	—	102	DC1500	三轨
马德里	320	400	113	105	3	5	137	DC600	架空线
华盛顿	60	300	112	62	10	40	64	DC750	三轨
斯德哥尔摩	66	160	105	62	—	—	99	DC650/750	三轨
大阪	260	—	104	93	11	—	98	DC750	三轨/架空线

1.2.2 轻轨的发展

轻轨是从旧式有轨电车发展演变而来的。过去,国外许多城市发展快速轨道交通系统以地下铁道为主,但地下铁道昂贵的造价,又使许多城市对地铁望而生畏。从20世纪70年代开始,欧洲和北美的一些国家对20世纪30年代后被纷纷拆除的旧式有轨电车系统产生了浓厚兴趣,这些国家通过对旧式有轨电车系统的技术改造,建成了一种全新的轻轨系统。

1978年3月,国际公共交通联合会(UITP)在比利时首都布鲁塞尔召开会议,会上确定了新型有轨电车交通的统一名称,其英文名称为Light Rail Transit,简称“轻轨”,英文缩写为LRT。

据统计,至20世纪90年代初期,已经有欧洲的十几个国家,北美洲的美国、加拿大,亚洲的日本、中国、菲律宾,以及非洲的突尼斯等国家建成轻轨系统,轻轨线路的总长约有1300km。各国轻轨线路概况见表1-2。同地铁的发展一样,轻轨的建设也朝着多元化方向发展。在多元化的轻轨技术标准系列中,处于高、低两端技术标准位置的分别是准地下铁道和新型有轨电车系统。

各国轻轨线路概况

表1-2

国家名称	线路数量(条)	国家名称	线路数量(条)
加拿大	4	德国	62
美国	25	荷兰	6
墨西哥	3	英国	6
巴拉圭	1	比利时	5
阿根廷	1	法国	8
巴西	4	奥地利	7
瑞典	4	瑞士	9
挪威	2	意大利	6
斯洛伐克	3	西班牙	3
波兰	14	葡萄牙	3
捷克	7	突尼斯	1
芬兰	1	阿塞拜疆	2
爱沙尼亚	1	哈萨克斯坦	5