

# 城市轨道交通工程

## URBAN RAIL TRANSIT ENGINEERING

主编 顾保南 叶霞飞

普通高等院校土木专业“十一五”规划精品教材

Civil Professional Textbooks for the 11th Five-Year Plan

主审 郑其昌

院校土木专业“十一五”规划精品教材

# 城市轨道交通工程

Urban Rail Transit Engineering

## 丛书审定委员会

王思敬 彭少民 石永久 白国良  
李 杰 姜忻良 吴瑞麟 张智慧

本书主编 顾保南 叶霞飞

本书主审 郑其昌

## 本书编写委员会

顾保南 叶霞飞 郑其昌 姚燕明  
刘丽波 高伟军 张明锐

华中科技大学出版社

中国·武汉

**图书在版编目(CIP)数据**

城市轨道交通工程/顾保南 叶霞飞 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2007年  
9月

ISBN 978-7-5609-4130-1

I. 城… II. ①顾… ②叶… III. 城市铁路-铁路工程 IV. U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第128365号

**城市轨道交通工程**

**顾保南 叶霞飞 主编**

责任编辑:陈丽君

封面设计:张璐

责任校对:刘峻

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:天津市南智科技文化发展有限公司

印刷:湖北新华印务有限公司

开本:850mm×1065mm 1/16

印张:20.25

字数:393 000

版次:2007年9月第1版

印次:2007年9月第1次印刷

定价:39.80元

ISBN 978-7-5609-4130-1/U·25

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

普通高等院校土木专业“十一五”规划精品教材

## 总 序

教育可理解为教书与育人。所谓教书,不外乎是教给学生科学知识、技术方法和运作技能等,教学生以安身之本。所谓育人,则要教给学生做人的道理,提升学生的人文素质和科学精神,教学生以立命之本。我们教育工作者应该从中华民族振兴的历史使命出发,来从事教书与育人工作。作为教育本源之一的教材,必然要承载教书和育人的双重责任,体现两者的高度结合。

中国经济建设高速持续发展,国家对各类建筑人才需求日增,对高校土建类高素质人才培养提出了新的要求,从而对土建类教材建设也提出了新的要求。这套教材正是为了适应当今时代对高层次建设人才培养的需求而编写的。

一部好的教材应该把人文素质和科学精神的培养放在重要位置。教材不仅要内容上体现人文素质教育和科学精神教育,而且还要从科学严谨性、法规权威性、工程技术创新性来启发和促进学生科学世界观的形成。简而言之,这套教材有以下几个特点:

一方面,从指导思想来讲,这套教材注意到“六个面向”,即面向社会需求、面向建筑实践、面向人才市场、面向教学改革、面向学生现状、面向新兴技术。

二方面,教材编写体系有所创新。结合具有土建类学科特色的教学理论、教学方法和教学模式,这套教材进行了许多新的教学方式的探索,如引入案例式教学、研讨式教学等。

三方面,这套教材适应现在教学改革发展的要求,提倡“宽口径、少学时”的人才培养模式。在教学体系、编写内容和课时数量等方面也做了相应考虑,而且教学起点也可随着学生水平做相应调整。同时,在这套教材编写中,特别重视人才的能力培养和基本技能培养,注重适应土建专业特别强调实践性的要求。

我们希望这套教材能有助于培养适应社会发展需要的、素质全面的新型工程建设人才。我们也相信这套教材能达到这个目标,从形式到内容都成为精品,为教师和学生,以及专业人士所喜爱。

中国工程院院士 王思敬

2006年6月于北京

# 前 言

随着我国社会经济的的发展和城市化进程的推进,我国大城市交通需求持续快速增长,越来越多的城市深受交通阻塞和交通公害的影响,许多城市正在或将要发展城市轨道交通,以谋求从根本上解决城市交通问题。“十一五”期间,国务院最先批准的 15 个城市正在建设轨道交通网络,现已批准的近期(2015 年前)建设规划就有 62 条线,计 1733 km,总投资额超过 6000 亿元,还有许多城市正在积极规划和申报,可见其发展速度相当之快。

城市轨道交通是城市建设史上最大的公益性基础设施,对城市布局发展及市民生活将产生深远的影响,其建设是一个涉及面广、专业性和综合性都很强的系统工程。由于我国城市轨道交通事业发展很快,具有此类知识结构的人才相对较少,部分从事城市轨道交通建设的技术与管理人员还是从铁路、道路等其他专业转过来的,他们迫切需要系统地了解城市轨道交通系统,尤其是与总体设计相关的知识。本书主要是为土木工程、交通工程等相关专业选修“城市轨道交通工程”课程的本科生编写的,也可作为从事城市轨道交通规划设计和管理的工程技术人员的参考书。

本书由同济大学顾保南、叶霞飞教授共同主编,上海市隧道工程轨道交通设计研究院姚燕明高级工程师、上海工程技术大学高伟君老师、同济大学刘丽波老师及张明锐老师参与了部分章节的编写工作。编写过程中主要选择与城市轨道交通总体设计关系密切的专业内容。全书共分 8 章。第 1 章、第 2 章的 2.1、2.3 及 2.4 节,第 4 章及第 7 章的 7.2 节由顾保南编写;第 2 章的 2.2 节、第 3 章的 3.1、3.2、3.3 及 3.4 节、第 6 章及第 8 章由叶霞飞编写,第 5 章及第 7 章的 7.7 节由姚燕明和高伟君编写;第 7 章的 7.1 节由张明锐、顾保南编写,第 3 章的 3.5 节、第 7 章的 7.3、7.4、7.5、7.6 节由刘丽波、郑其昌编写。全书由同济大学郑其昌教授主审。

本书参考了国内外有关城市轨道交通规划与设计的著作和论文,并在书末列出了参考文献目录,这里对其作者表示衷心的感谢。在编写过程中,孙章教授、郑其昌教授、翁梦熊教授为我们提供了不少宝贵资料及建议;同济大学城市轨道与铁道工程系研究生卫超、王治、方礼君、明瑞利、冯黎、钱泽林、吴放、司耀旺等帮助录入资料和绘制部分图表,并协助进行文字校核等工作,在此一并表示衷心的感谢。

希望本书能对读者有所裨益,并恳请读者批评指正。

编 者

2007 年 3 月于同济大学

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	(1)
1.1 城市轨道交通的定义及系统制式 .....	(1)
1.1.1 城市轨道交通的定义及分类 .....	(1)
1.1.2 城市轨道交通的系统制式 .....	(5)
1.2 国内外城市轨道交通发展概况 .....	(7)
1.2.1 国外城市轨道交通发展状况 .....	(7)
1.2.2 我国城市轨道交通现状及发展趋势 .....	(13)
1.3 本课程的主要内容 .....	(18)
<b>第 2 章 线网规划</b> .....	(20)
2.1 规划内容与步骤 .....	(20)
2.1.1 规划内容 .....	(20)
2.1.2 规划步骤 .....	(24)
2.2 客流需求预测 .....	(25)
2.2.1 预测内容及影响因素 .....	(25)
2.2.2 基本思路 .....	(28)
2.2.3 基本方法 .....	(29)
2.3 线网规模估算 .....	(39)
2.3.1 负荷强度法 .....	(39)
2.3.2 线网密度法 .....	(40)
2.4 线网方案设计 .....	(41)
2.4.1 影响线网方案设计的因素 .....	(41)
2.4.2 线网方案设计的过程 .....	(44)
2.4.3 线网的基本形态结构特征分析 .....	(45)
2.5 线网方案评价 .....	(56)
2.5.1 线网评价的目的 .....	(56)
2.5.2 线网评价的指标 .....	(56)
2.5.3 评价方法 .....	(58)
<b>第 3 章 线路设计</b> .....	(62)
3.1 线路设计的阶段与特点 .....	(62)
3.2 线路走向及车站分布 .....	(63)
3.2.1 线路走向选择 .....	(63)

3.2.2	车站分布 .....	(70)
3.3	线路平纵横断面设计 .....	(76)
3.3.1	平面设计 .....	(76)
3.3.2	纵断面设计 .....	(89)
3.3.3	横断面设计 .....	(97)
3.4	车辆段布局设计 .....	(99)
3.4.1	车辆段的功能与设施 .....	(99)
3.4.2	车辆段规模估算 .....	(101)
3.4.3	基本图式 .....	(104)
3.5	轨道结构 .....	(113)
3.5.1	轨道结构组成与功能 .....	(113)
3.5.2	轨道结构设计原则 .....	(117)
3.5.3	轨道结构类型选择 .....	(119)
3.5.4	轨道结构设计步骤 .....	(128)
<b>第4章</b>	<b>车站布局设计 .....</b>	<b>(131)</b>
4.1	中间站布局设计 .....	(132)
4.1.1	车站构成 .....	(132)
4.1.2	平面布局设计 .....	(132)
4.1.3	跨线设施及垂直交通 .....	(137)
4.1.4	横断面形式 .....	(139)
4.1.5	规模估算 .....	(141)
4.2	换乘站布局设计 .....	(142)
4.2.1	同站台换乘 .....	(142)
4.2.2	结点换乘 .....	(147)
4.2.3	站厅换乘 .....	(149)
4.2.4	通道换乘 .....	(150)
4.2.5	其他 .....	(153)
4.3	轨道交通系统与其他交通方式的衔接 .....	(154)
4.3.1	与常规公交的衔接 .....	(154)
4.3.2	与私人交通方式的衔接 .....	(156)
4.3.3	与城市对外交通站点的衔接 .....	(157)
<b>第5章</b>	<b>结构工程 .....</b>	<b>(161)</b>
5.1	地下车站结构 .....	(161)
5.1.1	地下车站的结构形式 .....	(161)
5.1.2	车站结构设计 .....	(174)
5.2	区间隧道结构 .....	(180)
5.2.1	区间隧道结构形式 .....	(180)
5.2.2	区间隧道设计 .....	(188)
5.3	高架车站结构 .....	(191)

5.3.1	高架车站结构形式 .....	(191)
5.3.2	高架车站结构设计 .....	(193)
5.4	高架区间结构 .....	(195)
5.4.1	高架区间结构形式 .....	(195)
5.4.2	高架区间结构设计 .....	(201)
<b>第 6 章</b>	<b>车辆 .....</b>	<b>(206)</b>
6.1	车辆构成及类型 .....	(206)
6.1.1	车辆构成 .....	(206)
6.1.2	车辆的主要技术参数 .....	(208)
6.1.3	车辆类型及主要技术规格 .....	(209)
6.2	车辆选型 .....	(220)
6.3	转向架 .....	(221)
6.3.1	转向架的基本结构 .....	(221)
6.3.2	轮对轴箱装置 .....	(222)
6.3.3	弹簧减振装置 .....	(222)
6.3.4	转向架构架 .....	(224)
6.3.5	中央牵引连接装置 .....	(224)
6.3.6	牵引传动装置 .....	(225)
6.3.7	制动装置 .....	(225)
6.4	车钩牵引缓冲联结装置 .....	(229)
6.5	车辆的电力传动与控制 .....	(231)
6.5.1	传动方式 .....	(231)
6.5.2	传动控制技术 .....	(232)
<b>第 7 章</b>	<b>机电设备 .....</b>	<b>(234)</b>
7.1	供电系统 .....	(234)
7.1.1	电力牵引的电流制 .....	(234)
7.1.2	供电系统的构成与主要设备 .....	(237)
7.1.3	供电系统的方案设计 .....	(241)
7.1.4	变电所的负荷能力和间距 .....	(244)
7.2	列车运行控制系统 .....	(249)
7.2.1	通信系统 .....	(249)
7.2.2	信号系统 .....	(254)
7.2.3	控制中心 .....	(264)
7.3	环控系统 .....	(266)
7.3.1	环控系统的主要功能 .....	(266)
7.3.2	环控系统的组成 .....	(267)
7.3.3	环控系统的制式 .....	(268)
7.3.4	环控系统工况 .....	(273)
7.4	给排水系统 .....	(275)



7.4.1	生产、生活给水系统 .....	(275)
7.4.2	消防给水系统 .....	(276)
7.4.3	排水系统 .....	(277)
7.5	防灾报警系统 .....	(278)
7.5.1	FAS 系统的组成及主要功能 .....	(279)
7.5.2	FAS 系统的配置 .....	(280)
7.5.3	FAS 控制装置的要求 .....	(282)
7.6	机电设备监控系统 .....	(283)
7.6.1	BAS 的组成 .....	(283)
7.6.2	BAS 的主要功能 .....	(283)
7.6.3	FAS 与 BAS 监控对象及接口关系 .....	(284)
7.7	自动售检票系统 .....	(285)
7.7.1	票制及票务管理 .....	(285)
7.7.2	AFC 系统构架 .....	(285)
7.7.3	系统运行模式 .....	(290)
<b>第 8 章</b>	<b>资源共享 .....</b>	<b>(291)</b>
8.1	资源共享的原则和类别 .....	(291)
8.1.1	资源共享的原则 .....	(291)
8.1.2	人力资源共享 .....	(292)
8.1.3	土地资源共享 .....	(292)
8.1.4	运营设备与设施资源共享 .....	(292)
8.1.5	检修设施与设备资源共享及检修社会化 .....	(293)
8.1.6	施工机具的资源共享 .....	(294)
8.1.7	换乘站机电设备的资源共享 .....	(295)
8.2	车辆资源共享 .....	(295)
8.2.1	基本形式 .....	(295)
8.2.2	实施要求 .....	(297)
8.2.3	车辆资源共享管理模式 .....	(301)
8.2.4	上海轨道交通网络车辆资源共享的基本设想 .....	(301)
8.3	车辆段资源共享 .....	(303)
8.3.1	基本内容 .....	(303)
8.3.2	实施条件与要求 .....	(306)
8.3.3	管理模式 .....	(307)
8.4	供电系统资源共享 .....	(308)
8.4.1	基本内容 .....	(309)
8.4.2	实施要求 .....	(310)
8.4.3	管理模式 .....	(310)
<b>参考文献</b>	.....	<b>(312)</b>

# 第 1 章 概 述

## 1.1 城市轨道交通的定义及系统制式

### 1.1.1 城市轨道交通的定义及分类

城市地域利用车辆在固定轨道上运行、主要为客运服务的交通系统称为城市轨道交通。

截止 2005 年底,世界上已有 48 个国家、140 多个城市拥有城市轨道交通系统,形成了很多种类。世界各国根据相对位置、运营范围、系统容量、路权、车辆类型等,提出了不同的分类,并赋予了各种名称。

#### 1) 按线路敷设方式分类

按线路敷设方式划分,城市轨道交通可分为以下三类。

(1) 地下线:位于地下(或水下)隧道内的那部分轨道交通线称为地下线,线路构筑物形态为单线或双线隧道。由于最早的城市轨道交通位于地下(underground),所以称为地下铁道(the underground),简称地铁;也有称为 Metro 的,是因最早经营这条地铁的公司为 Metro 而命名。

(2) 地面线:位于地面的轨道交通线称为地面线路,线路构筑物形态为路堤或路堑。

(3) 高架线:位于高架桥上的轨道交通线称为高架线,线路构筑物形态为高架桥。

#### 2) 按运营范围分类

按线路在城市区域中的运营范围划分,城市轨道交通可分为以下三类。

(1) (城)市区轨道交通(urban rail transit):服务范围以中心城区为主的城市轨道交通系统。城市市区的地铁、轻轨都是属于此类。

(2) (城)市域轨道交通:服务范围覆盖城市市域的轨道交通系统。这类交通系统在各国的名称不同,例如法国的 RER(Regional Express Railway)、德国的 S-Bahn(Stadt Bahn)、美国的区域快速轨道交通(Regional Rapid Rail Transit)、日本的私铁(市域范围内),等等。

(3) 地区铁路交通(regional railway):服务范围覆盖城市市域及其邻近地区的轨道交通系统。由于涉及两个或多个行政区,这类系统一般是由国有或私有铁路公司建设和管理,主要为大城市周围的通勤客流服务。日本、德国、美国等大部分发达国家在 19 世纪末就开始利用国家铁路为城市周围地区的客运服务,主要是大城市周围地区放射方向的客流,行程时间一般在 2 h 以内。有些地区铁路交通的服务范围

主要是在大城市市郊,人们习惯称为市郊铁路(suburban railway),例如“东日本”铁路公司(JR East)在东京周围开行的短程列车,德国联邦铁路公司(DB)在柏林周围开行的RB、RE列车;有些则主要是为大城市周围卫星城与中心城的通勤客流服务,人们习惯称为通勤铁路(commuter railway),例如英国铁路公司在伦敦周围开行的短程列车,美国纽约的长岛通勤列车,日本的私铁(经过两个及以上行政区);还有些是连接城市群的铁路交通。

### 3) 按路权分类

路权是指轨道交通系统运行线路与其他交通的隔离程度。轨道交通路权可分为A、B、C三种基本类型。

A类为全封闭系统,与其他交通方式完全隔离,不受平交道和人车的干扰,一般用于1.6万人/h以上的轨道交通系统。

B类为半封闭系统,沿行车方向采用路缘石、隔离栅、高差等措施与其他交通实体隔离,但在部分交叉路口仍与横向的人车平交混行,受交叉口信号系统控制,一般用于1.6万人/h以下的轨道交通系统。

C类为开放式系统,不实行实体分隔,轨道交通与地面交通混合行驶,在交叉口按信号规定驶停,也可享受一定的优先权,有轨电车即属于此类。

### 4) 按车辆特征分类

根据车辆的几何尺寸、驱动方式、车轮材料的不同,形成了轨道交通的不同名称。

在车辆几何尺寸上,各国标准有较大差别。目前我国轨道交通车辆的宽度规格有3m(A型车)、2.8m(B型车)、2.6m(C型车)3种。而日本大阪常规地铁(metro)车型的宽度为2.89m,小型地铁(mini-metro)的宽度为2.45m(线性电机系统)、自动导轨系统AGT(Automated Guideway Transit)车辆宽度为2.4m。

根据不同的驱动方式,轨道交通车辆可分为电传动车、线性电机车、独轨车、自动导轨车、磁(悬)浮车。见图1-1~图1-9。

### 5) 按系统运能分类

系统运能也称系统容量,即为线路一定时间内单向输送能力,通常用单向小时



图 1-1 德国低地板现代有轨电车(电传动车)



图 1-2 日本私铁通勤列车(电传动车)

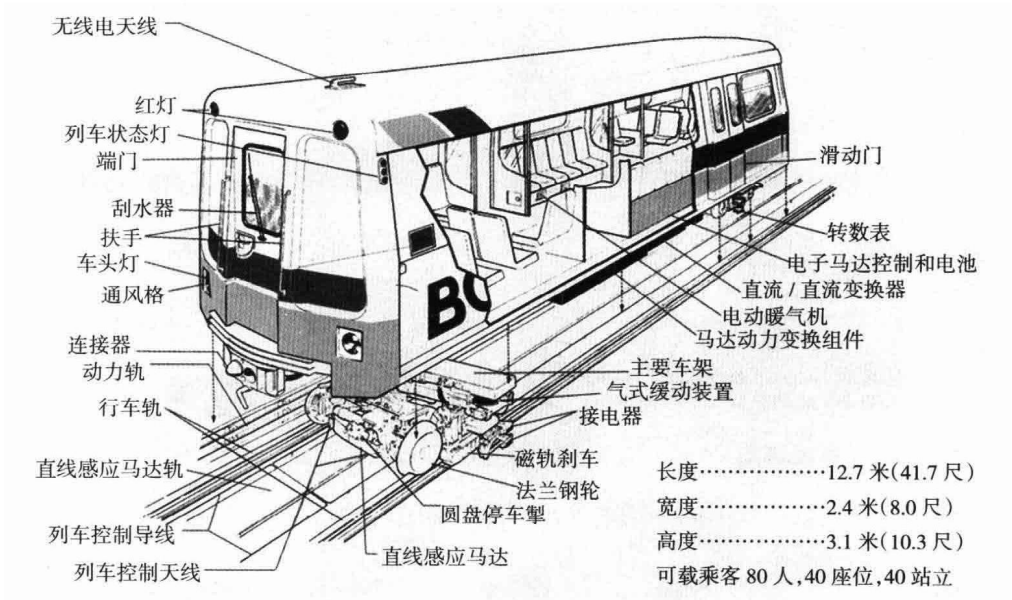


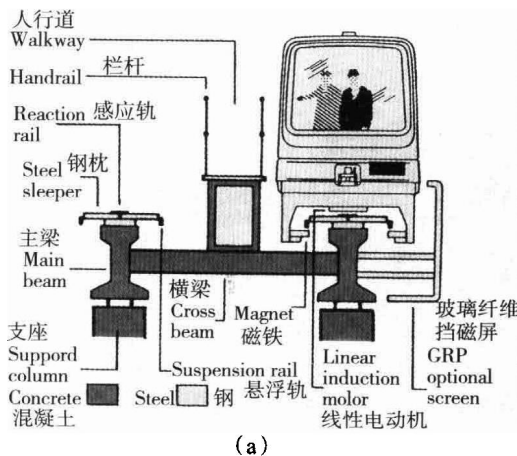
图 1-3 线性电车车厢构造



图 1-4 日本多摩市的跨座式独轨车



图 1-5 日本千葉市的悬挂式独轨交通



(a)

(b)

图 1-6 英国伯明翰 Maglev 线轨道结构



图 1-7 日本广岛 ASTRAM 线的 AGT 车辆

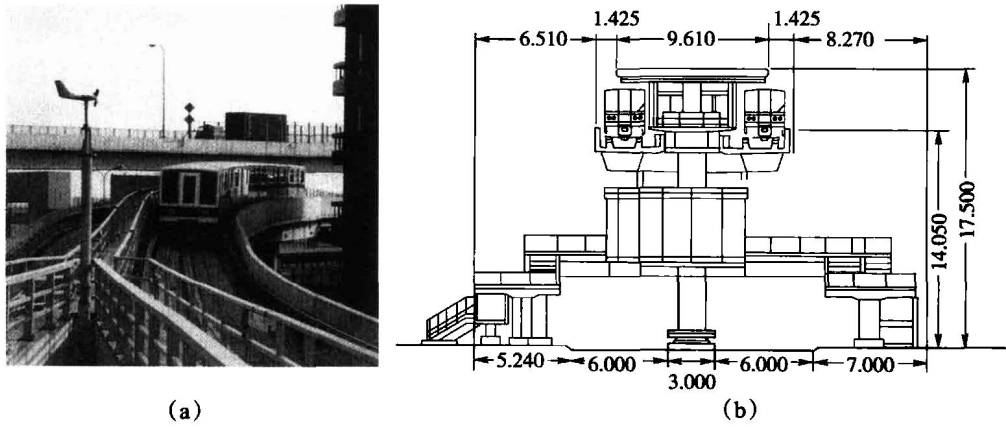


图 1-8 日本神户的港岛 AGT 线

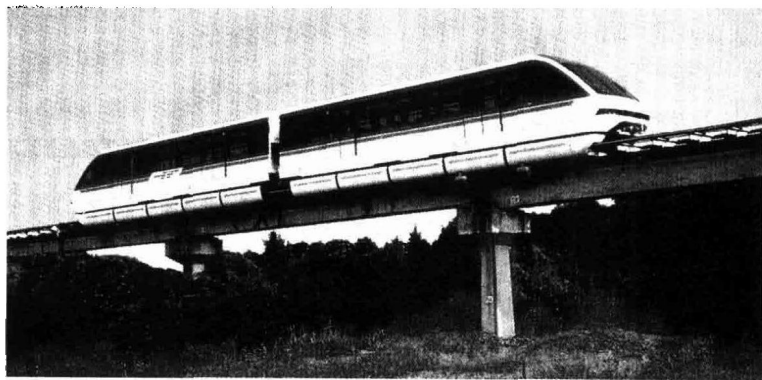


图 1-9 日本常导磁悬浮 HSST-100 磁悬浮列车

输送能力表示。在轨道交通线路设计时,系统容量应不小于预测的线路远期高峰小时单向最大断面流量。

根据我国现行的《城市快速轨道交通工程建设标准》,轨道交通按系统容量可分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级,分别对应大于或等于5、3~5、1~3万人次/小时的单方向小时断面客流输送能力,也分别称为高运能、大运能、中运能的轨道交通。

对应于不同运能级别的轨道交通系统,线路、车辆及编组、路权、信号等设备都要与之匹配。

对高运量(高运能)线路,一般采用车辆基本宽度为3m的A型车,列车编组通常为6~12节,全封闭线路,具有支持高密度行车(30对/小时)的信号系统。通常这类线路的列车最高速度可达80km/h以上。

对大运能线路,一般采用车辆基本宽度为2.8m的B型车,虽然也多采用全封闭的线路及具有支持高密度行车(30对/小时)的信号系统,但列车编组相对较小,一般不超过6节,轨道结构、信号、环控等系统的设计容量明显减小,车辆最高速度、平均站间距也较小。

对中运能线路,车辆宽度就更小,目前我国的C型车基本宽度为2.6m。

## 1.1.2 城市轨道交通的系统制式

虽然轨道交通系统从专业的角度可以从运能、轨道敷设位置、路权、车辆速度及驱动方式等多个方面进行比较严密的、细致的划分,但这对于不熟悉城市轨道交通专业的决策者与乘客是不易理解和交流的。此外,由于传播的历史性影响,有些名称在不同的国家形成了不同的含义,例如欧洲有些城市所指的“轻轨”与我国所说的“轻轨”含义不同,他们所指的是现代有轨电车。为了便于专业人员及非专业人员相互交流,有必要归纳几种典型的城市轨道交通系统类型作为系统制式或模式。系统制(模)式的名称,需要兼顾本国的习惯称呼,简明地、综合地反映城市轨道交通系统本质及主要的特征。

从目前国内外城市轨道交通发展状况看,城市轨道交通的系统制式主要有地铁、轻轨、独轨、自动导轨、城市铁路、磁浮交通。各种制式的主要特征如下。

(1) 地铁。大运量的、快速的、全封闭的、线路全部或大部分位于市区的城市轨道交通系统。大而快是地铁的本质特征,车体较宽(2.8~3.0m),速度较高(80km/h及以上),无平交道口,列车信号与控制系统先进,发车密度可达30对/小时。

(2) 轻轨。它是对传统的有轨电车系统利用现代科技进行改造后各类有轨电车系统的总称,由国际公共交通联合会(UITP)于1978年3月在比利时布鲁塞尔召开的会议上正式统一命名的,英文为Light Rail Transit(LRT)。与地铁相比,轻轨系统在“大”与“快”方面,至少有一方面有所降低,使得其运量比地铁小,一般为1~3万人/小时。例如,因车辆宽度较小(一般在2.6m及以下)而降低了系统容量;因车辆最高运行速度较低(如70km/h)、站间距缩短(如500~800m)、线路存在部分平交道口等

而降低了线路的通行能力。

(3) 独轨。车辆在一根轨道上运行的轨道交通系统。轨道可以是钢梁、钢筋混凝土梁等形式。车辆可以悬挂在轨道上,这类独轨系统称为悬挂式独轨;车辆也可以骑跨在轨道上,这类独轨系统称为跨座式独轨。独轨系统多为高架结构,占地少(单支柱1~1.5 m宽,轨道梁一般为0.85 m宽),对城市的景观及采光等影响小,噪声和振动较低,转弯及爬坡能力强(最小曲线半径可达50~100 m,最大坡度可达6%),运能为0.5~2万人/小时。对于跨座式独轨系统,一般采用橡胶轮的车轮与混凝土轨道梁,由于其滚动摩阻力比钢轮钢轨大,所以该系统能耗较高(比钢轮钢轨约大40%);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,疏散和救援工作都比较困难。该系统适宜于在市区较窄的街道上建造高架线路,目前一般多用于运动会、体育场、机场和大型展览会等场所与市区的短途联系。

(4) 自动导轨。一般是指带小型轻量橡胶轮的车辆沿导轨行驶在专用混凝土轨道上的客运系统。典型的AGT系统由计算机进行全自动控制,因此可以实现无人驾驶的高密度列车运营。AGT的导向方式有侧面导向、中央导向、中央沟导向等。其车辆采用的车轮是特制的橡胶轮,轨道可用特制的混凝土做成,也可用钢板焊接而成,轨道结构较复杂。AGT系统的输送能力比独轨系统小,但其建设费用较低,噪声也较小,通常用于连接新开发区与附近的铁路车站或交通枢纽。

(5) 城市铁路。在城市区域内主要承担城市交通功能,线路主要位于地上的铁路系统。与地铁比较,城市铁路的主要特征是站距短、绝大部分位于地面以上。其站距一般为1 km(市区)、3~5 km(郊区),比传统铁路的10 km以上的站距小得多,从而适应城市客流需求的特点;其线路位于地面以上,使之建设成本及运营成本比地铁小得多。与轻轨相比,城市铁路列车车体较宽(一般与城市间铁路列车同宽),轴重及最高速度也较大。区域快速铁路(服务于城市市区及郊区)、市郊铁路(仅服务于城市郊区)、通勤铁路(主要服务于中心城与卫星城之间上下班的通勤交通)都是其特殊的时空表现形式。

(6) 磁(悬)浮交通。磁浮车辆的推进原理与线性电机相同,都是采用线性电机驱动车辆前进,只是线性电机车没有离开轨道,而磁浮车辆离开轨道有一定的间隙,实现了无接触运行。用于城市交通的磁浮系统为中低速,速度一般在100 km/h左右,如伯明翰Maglev系统、日本的HSST-100。中低速磁悬浮列车的特点:一是“短定子、长转子”,即定子安装在车辆上,转子铺设在轨道上;二是需要对车辆供电,如国防科技大学研制的磁浮系统采用第三、四轨供电方式,供电制式为直流750 V;三是磁悬浮系统的导向稳定依靠自稳来实现。磁浮系统的最大优点是低噪声(因非接触支撑)、行驶阻力小、转弯及爬坡能力强;其缺点是列车发生故障之后救援相对困难。

## 1.2 国内外城市轨道交通发展概况

### 1.2.1 国外城市轨道交通发展状况

#### 1.2.1.1 大容量轨道交通的起源与发展

##### 1) 地铁的起源与发展

1863年1月10日,世界上第一条地铁线路(Paddington—Farringdon,6 km)在伦敦通车运营。伦敦地铁的产生有其内在的发展条件与需求。

首先是铁路运输技术日趋成熟,铁路客运需求增长迅速。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年世界上第一条铁路(Darlington—Stockdon,21km)在英国开通运营。铁路发展和工业革命引起伦敦等大城市建立了许多工厂,大量的人口涌入城市。1821年至1851年,伦敦人口由120万猛增到270万,人口的增长刺激了城市交通需求的增长。同时,铁路网的迅速扩展促进了城市间交通需求的发展。至1850年,英国铁路网里程达到9799 km,各大城市间的干线铁路基本形成,铁路年客运周转量达到17亿人次,巨大的城市间客流迫切需要提高市内交通的集疏运能力。

其次是伦敦市区交通拥挤状况日益严重。在19世纪上半叶,伦敦的城市交通主要依靠马车,众多的地面铁路线与马车混行在一起,杂乱而低效;伦敦的人口膨胀、富裕的居民搬往郊区形成的高峰时段的郊区与市中心区的通勤交通需求、市区缺乏直接通往郊区的便捷道路等因素,使得伦敦的城市交通供需矛盾日益突出。

在此历史背景下,伦敦市交通委员会向公众征集伦敦中心区(半径6km)交通问题的解决方案。征集到的典型方案有:将铁路线引入市中心,在中心区修建“中央火车站”,在中心区修建环形铁路线,在市中心区建设高架的城市铁路,等等。一位名叫查尔斯·皮尔森(Charles Pearson)的律师在19世纪30年代就有了修建伦敦地下铁道的设想,经过系统论证后他于1843年向伦敦市议会正式提出,但因涉及大规模的拆迁而被议会否定。1852年,伦敦城市铁路车站公司(City Terminus Company)成立,公司再次向议会提出修建地铁的建议,但因缺乏财政支持而再遭否定。1853年,Bayswater、Paddington及Holborn桥梁铁路公司提出了一份新的地下铁道线路方案,其建设成本不到城市铁路车站公司所提方案预算的一半(30万英镑),这次的方案获得了议会的批准。

在修建这条世界上谁也没见过的地铁之前,伦敦各大报刊对它的未来进行过各种各样负面的猜测:比如地道会不会塌下来,旅客会不会被火车喷出的浓烟熏死,等等。

1863年1月10日,在伦敦第一条地铁开放的首回,乘客发送量就达到了4万人次。由于当时电力机车尚未发明,使用蒸汽机车作为牵引,再加上排风不畅,乘客常



常感到烟熏气闷,有的人甚至昏倒在地铁里。尽管如此,伦敦市民甚至皇亲显贵们都争相乘坐这种地下列车,因为在拥挤不堪的伦敦地面街道上乘坐公共马车,其条件和速度还不如地铁。这条地铁第一年运送乘客 950 万人次,平均每天 2.6 万人次。从此,地铁成为伦敦历史上第一个多数市民可以负担和使用的公共交通工具。

地铁在其他城市推广使用应归功于电力机车的发明与应用。1879 年,德国工程师沃纳·冯·西门子(Werner Von Siemens)在柏林博览会展示实用电力机车。1881 年,世界上第一条实用的电气化铁路在柏林市郊(Lichterfelde)投入运营。其后,北美城市也建造了几条试验线,于 1888 年成功地试验出技术先进的电力机车。此后,电力机车迅速推广应用。

1896 年,布达佩斯修建了欧洲最早的电气化地铁,解决了地铁通道的空气污染问题。从此,巴黎(1900)、柏林(1902)、纽约(1904)、东京(1927)等发达城市纷纷建设地铁。20 世纪初的 25 年是世界地铁建设史上的第一次高潮,至第二次世界大战前的 1935 年,欧美有近 20 个城市建设了地铁,总里程约 1400 km。

第二次世界大战以后的 20 余年中,各国又有一批城市建设地铁,包括加拿大的多伦多、蒙特利尔,意大利的罗马、米兰,美国的费城、旧金山,原苏联的列宁格勒、基辅,日本的名古屋、横滨,韩国的首尔等,约 30 座城市相继建成了地铁。20 世纪 70 年代能源危机之后,迎来了世界第二次地铁建设高潮。一方面包括日本、韩国等一些新兴的发达国家的大城市开始快速发展地铁网络;另一方面,欧美等发达国家也从 70 年代能源危机中“醒悟”过来,重新提倡发展公共交通,大力扩展地铁网络。截止 2005 年底,国外有 108 个城市拥有近 7000 km 的地铁网里程(见表 1-1)。

## 2) 其他大容量城市交通的起源与发展

地铁之所以区别于普通铁路及常规公交系统而具备很大的城市交通客运能力,其关键在于采用了全封闭线路、保障高密度行车的通信信号、容量大且集散快速的车

表 1-1 世界各城市地铁线网里程(2005 年)

城市	首段开通时间	线网长/km	线路数	车站数	城市	首段开通时间	线网长/km	线路数	车站数
伦敦	1863.1	408	12	275	雅典	1904.9	25.6	1	24
伊斯坦布尔	1875	0.573	1	2	费城	1907.3	38.7	2	53
洛桑	1877	1.5	1	5	纽沃克	1908.2	22.2	4	13
芝加哥	1892	358.2	7	144	汉堡	1912.3	100.7	3	89
格拉斯哥	1896.12	10.4	1	15	布宜诺斯艾利斯	1913.12	41.6	5	69
布达佩斯	1897	32.3	3	40	马德里	1919.1	226.7	12	190
波士顿	1897.9	98.1	4	66	巴塞罗那	1924.12	86.6	5	123
巴黎	1900.7	212.1	14	297	东京	1927.12	292.2	12	274
柏林	1902.8	152.7	9	170	大阪	1933.5	115.6	7	111
纽约	1904.1	371	27	468	莫斯科	1935.5	275.6	12	170