

高等学校教材

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG GAILUN

刁心宏 李明华 主编



CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

全书分为七章,第一章介绍轨道交通的特点、发展历程,轨道交通的地位与作用等;第二章介绍城市轨道交通路网规划方法和线路设计;第三章介绍城市轨道交通车站、区间隧道及高架桥梁等土建工程;第四章介绍城市轨道交通车辆及其牵引系统;第五章介绍城市轨道交通通信与信号系统;第六章介绍城市轨道交通常见的灾害及其防治措施;第七章简要介绍城市轨道交通的行车组织与客运管理。

本书可作为高等院校土木工程专业、交通工程专业、交通运输专业及其他相关专业与方向的本(专)科教材或教学参考书,也可作为从事相关专业工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通概论/刁心宏,李明华主编. —北京:中国铁道出版社,2009.9

ISBN 978-7-113-10392-7

I. 城… II. ①刁… ②李… III. 城市铁路—概论 IV. U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 130999 号

书 名: 城市轨道交通概论

作 者: 刁心宏 李明华 主编

责任编辑: 程东海

电话: 010-51873135

封面设计: 薛小卉

责任校对: 张玉华

责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京市彩桥印刷有限责任公司

版 次: 2009年9月第1版 2009年9月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 13.25 字数: 326千

书 号: ISBN 978-7-113-10392-7/U·2548

定 价: 26.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:(市电)010-51873170 (路电)021-73170

前 言

城市轨道交通诞生于 19 世纪中叶的英国伦敦，迄今已经历了 140 多年的发展历程。它除了具有快速、准时、运量大、舒适性高等特点外，还能有效拉近城乡距离，促进城市化发展。由于技术成熟、安全可靠、形式多样、用途广泛，已成为解决日益严重的城市交通堵塞的最有效手段。

城市轨道交通目前正在我国各大城市迅速发展，全国城市规划建设的轨道交通网络总里程已达 5 000 km，总投资估算将超过 8 000 亿元。随着城市化的快速推进，作为中国城市公共交通网络重要组成部分的城市轨道交通网络建设也在快速发展。中国已有北京、上海、广州、深圳等城市拥有已建成的轨道交通线路，全国规划建设轨道交通网络的城市则已达 25 个。

城市轨道交通的发展，急需大量德才兼备的各类人才。为了满足城市轨道交通建设对人才培养的迫切需要，我们组织编写了本书，它紧扣特色教育特点，突出轨道交通知识的系统性，力求内容简洁明了、文字通俗易懂。为配合教学的需要，每章配有适量的复习思考题。

全书分为七章，第一章绪论部分介绍轨道交通的特点、发展历程，轨道交通的地位与作用等；第二章介绍城市轨道交通路网规划方法和线路设计；第三章介绍城市轨道交通土建工程包括车站、区间隧道及高架桥梁等；第四章介绍城市轨道交通车辆及其牵引系统；第五章介绍城市轨道交通系统的通信与信号系统；第六章介绍城市轨道交通常见的灾害及其防治措施；第七章简要介绍城市轨道交通的行车组织与客运管理。

本书由华东交通大学刁心宏、李明华担任主编。主要分工情况是：第一章、第六章由刁心宏编写，第二章由刘林芽编写，第三章、第七章由李明华编写，第四章第一节由罗世民编写，第四章第二节、第五章由申惠编写。在统稿过程中，曾得到闵伟、刘士雨等同志大力协助，在此表示感谢。

本书编成后，虽经反复修改和校对，但由于编者水平和时间有限，不足甚至是错漏之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者
2009 年 6 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 轨道交通的概念与特点	1
第二节 世界城市轨道交通发展历史与现状	6
第三节 轨道交通在城市交通中的地位和作用	14
第四节 我国发展城市轨道交通的必要性	15
第五节 轨道交通的未来	17
复习思考题	18
第二章 路网规划与线路设计	19
第一节 线网类型及发展趋势	19
第二节 路网规划	21
第三节 线路设计	25
第四节 限界	30
第五节 车辆段	31
复习思考题	33
第三章 城市轨道交通土建工程	34
第一节 车站	34
第二节 区间隧道	44
第三节 高架结构工程	51
第四节 轨道结构	55
第五节 无缝线路	69
第六节 新型城市轨道交通结构	70
复习思考题	76
第四章 机车车辆与牵引系统	77
第一节 城市轨道交通车辆	77
第二节 供配电与电力牵引系统	100
复习思考题	118
第五章 通信信号及其他设备系统	119
第一节 城市轨道交通信号系统	119
第二节 城市轨道交通通信系统	138
第三节 自动检售票系统	144
第四节 环境控制系统	149
第五节 给排水和消防系统	155
复习思考题	158

第六章 城市轨道交通灾害与防护	159
第一节 灾害分类与防灾设计技术要求.....	159
第二节 地铁火灾与防护.....	163
第三节 地铁工程防水.....	169
第四节 地震灾害与防护.....	173
第五节 战争灾害防护.....	175
第六节 施工诱发灾害的预测及防护.....	178
复习思考题.....	185
第七章 城市轨道交通运营管理	186
第一节 运营管理特性与发展趋势.....	186
第二节 城市轨道交通行车组织.....	190
第三节 城市轨道交通客运管理.....	194
第四节 票务管理.....	197
第五节 城市轨道交通运营管理办法.....	199
复习思考题.....	202
参考文献	203

第一章 绪 论

本章主要介绍城市轨道交通特点,世界及我国城市轨道交通的发展历史与现状,以及我国发展城市轨道交通的必要性。

主要内容:轨道交通的概念与特点;世界及我国城市轨道交通发展历史与现状;轨道交通在城市交通中的地位与作用;我国发展城市轨道交通的必要性;城市轨道交通的未来发展趋势。

基本要求:了解城市轨道交通的种类及特点,了解世界及我国城市轨道交通发展的历史与现状,探讨我国发展城市轨道交通的必要性及应采取的建设方针。

第一节 轨道交通的概念与特点

一、轨道交通的种类

(一)城市轨道交通的定义

作为城市公共交通系统的一个重要组成部分,在中国国家标准《城市公共交通常用名词术语》中,将城市轨道交通定义为“通常以电能为动力,采取轮轨运转方式的快速大运量公共交通之总称”。目前国际轨道交通有地铁、轻轨、市郊铁路、有轨电车以及磁悬浮列车等多种类型,号称“城市交通的主动脉”。

一般地,城市轨道交通是指城市中使用车辆在固定导轨上运行,且主要用于城市客运的交通系统。目前在我国的城市轨道交通系统中,主要包括地铁和轻轨。

(二)城市轨道交通的分类

城市轨道交通有很多种类型,依据不同的指标有不同的分类。

1. 按交通容量分类

交通容量即运送能力,指单方向每小时的交通断面上乘客通过量。按照不同的交通容量大小,轨道交通可分为特大、大、中、小容量四种系统,如表 1-1 所示。

表 1-1 按交通容量划分的轨道交通类型

分类	特大	大	中	小
交通容量(万人/h)	>5	3~6	1~4	<0.5
交通形式	市郊铁路	地铁	轻轨、单轨、小型地铁、新交通系统	有轨电车

特大容量系统一般指市郊铁路,其单向小时断面客流量可达到 5 万~8 万人;大容量轨道交通通常指常规地铁;中容量轨道交通包括轻轨、单轨、小型地铁和新交通系统;小容量轨道交通系统则多指有轨电车。

2. 按线路敷设方式分类

按线路敷设方式可分为地下(包括山岭、水下)、高架和地面三种形式。特大、大容量轨道交通在交通较为繁忙的地区多采用地下隧道和高架形式,在市郊则可采用全封闭的地面形式;中容量可兼有三种敷设形式,且通常不与机动车混行;小容量轨道交通系统一般采用地面形式,可与机动车混行,运输效率较低,相对于普通公交优势并不明显。

3. 按车辆导向方式分类

按车辆导向方式可分为轮轨导向和导向轮导向,一般钢轨钢轮系统(地铁、轻轨、有轨电车)属前一类型;单轨及新交通系统等胶轮车辆属后一种类型。

单轨交通系统(Monorail System)是一种跨座或悬挂在高架的钢或混凝土轨道上行驶的交通系统。由于车辆摇晃、轮轨磨损大、舒适性差等不足,一直未得到发展,直到20世纪50年代,从技术上解决了行驶稳定问题后才得以发展。单轨交通是一种小容量的系统,适用于每小时单向截面客流量为0.5万~2.0万人次的地方。它具有占地少、爬坡能力大(可达10%)、噪声小(用橡胶轮胎)等优点,所以在机场、博览会、游乐场、旅游线等中小客流量的线路上常被采用。重庆轻轨较新线一期工程为国内首次采用的跨座式胶轮单轨系统,全长14.25 km,大部分为高架线路。

目前,新交通系统还没有统一的概念,较公认的新交通系统取自于日本的分类标准,特指全自动控制的中等运量的轨道快速客运系统,包括导轨交通、自导向交通、磁悬浮交通等,以导轨交通为主要特征。

4. 按轮轨支撑形式分类

按轮轨支撑形式,可分为钢轮钢轨系统、胶轮混凝土轨系统以及特殊系统。钢轮钢轨系统是目下地铁与轻轨的主流形式,胶轮混凝土轨系统主要指单轨及新交通系统,而特殊系统则包括支撑面置于车辆之上的悬挂式单轨系统、磁悬浮式轨道系统等。

(三)轨道交通的种类

轨道交通的名称有的沿用习惯名称或简称,往往不能确切地表达其性质和功能。有轨电车并不代表所有在轨道上运行的电气交通,地下铁道并不一定完全建造在地下,轻轨交通并不是指所使用的钢轨是轻质的。轨道交通的分类应当按照其作为公共交通的服务水平和运行方式来加以界定,最主要的是运送能力和运送速度两项指标。

运送能力是指在高峰时间一条线路能满足的最大客流量,用单方向断面每小时通过的最大乘客人数来表示。运送能力主要取决于列车的载客量和行车密度。假设断面最大客流量为单向每小时20 000人,列车的载客量为1 000人,那么该断面要求每小时通过20列车,才能将所有的乘客运走。这意味着每隔3 min要有一趟列车。显然,列车的载客量愈大,行车间隔时间愈短,则运送能力愈大。

运送速度是指车辆从起点站到达终点站的平均速度。这个速度首先取决于车辆在行驶中能够达到的最高速度,以及车辆在起动时的平均加速度和进站时的平均减速度。这些指标都取决于车辆的性能。运送速度还取决于站距的长短,站距愈短,则加速和减速所花去的时间在总的行驶时间中所占的比例愈大,那么平均速度就愈低。如果行驶中遇到阻碍而减速,甚至停车,那么,平均速度还要降低。运行中车辆停站时间的长短也影响其运送速度。所以,运送速度一方面取决于车辆的性能,另一方面取决于运行条件。

有轨电车(tramway)是指电力驱动的车辆在敷设于市区街道中的轨道上行驶的轨道交通系统,其特点是与其他交通方式混合行驶。通常是单节车辆或由2节车辆组成的短列车运行,

其运送能力为 2 000~5 000 人/h。由于与其他交通方式混合行驶,其运送速度一般为 15~20 km/h,在交通条件恶劣的情况下,可能低于 15 km/h。

地下铁道(metro)是一种载客量大、快速准点、舒适安全的轨道交通系统。市区内大部分在地下隧道中行驶,车站也设在地下。根据实际情况,可以有高架区段和地面区段,以节约投资,但必须是全封闭的。

为了更确切地加以界定,国际上使用重型轨道交通系统(Heavy Rail Transit,简称 HRT)或快速轨道交通系统(Rail Rapid Transit,简称 RRT)的名词,并且作出明确的定义。这种交通系统应当具有以下特征:

- (1)以电力为牵引动力;
- (2)有专用车道,不论是地下、地面或高架,均与其他交通完全隔离;
- (3)使用载客量较大的车辆;
- (4)由多节车辆组成列车运行。

地铁列车的编组根据客流的要求,最多为 6~8 节,其运送能力为 3 万~6 万人/h,运送速度一般为 32~40 km/h。

轻轨交通是一种中容量的轨道交通系统,介于有轨电车与地铁之间,其覆盖范围较大,灵活性也很大。轻型轨道交通系统(Light Rail Transit,简称 LRT)是相对于重型轨道交通系统而言的,它具有以下特征:

- (1)以电力为牵引动力。
- (2)整条线路可以包括地面、高架或地下区段,地下区段仅限于必要的地方。
- (3)可以有专用道,也可以在地面与其他交通方式混合行驶。为了保证一定的运送速度,在平交道口采用优先通行的交通信号系统。
- (4)由多节车辆组成列车运行。
- (5)车辆可以采用铰接的结构。

轻轨列车的编组一般不超过 4 辆,其运送能力为 5 000~30 000 人/h,运送速度一般为 25~35 km/h。可以看出,轻轨交通的最低水平接近于有轨电车,最高水平接近于地铁。

独轨交通(monorail system)是一种全线高架的轨道交通系统,其基础结构是架空的 T 形或 I 形导轨梁,同时起承载、导向和稳定的作用,占用的空间较小。车辆由若干节车厢组成,在轨道梁上部行驶的称为跨座式独轨交通,在轨道梁下部行驶的称为悬挂式独轨交通。车辆的走行部分由橡胶驱动轮和导向轮组成,因此噪声较小。独轨交通的运送能力在 5 000~20 000 人/h,运送速度一般为 30~40 km/h。

自动化导向交通(Automated Guideway Transit,简称 AGT)是一种无人驾驶、全自动运行的轨道交通,在专门制作的混凝土通道内行驶,其导向轨布置在走行轨的两侧或中部。它通常是高架的,完全与其他交通隔离。其车辆的载客量较小,可以是单节运行,也可以组成列车。日本认为 AGT 的运送能力为 4 000~16 000 人/h 比较合理,运送速度一般为 30~35 km/h。

磁浮交通系统(maglev system)是一种利用电磁力作用使车轮浮在轨道上行驶的客运交通系统,其驱动方式不是依靠车轮与轨道之间产生的牵引力来驱动车辆前进,而是利用感应原理推动车辆前进,车轮只起静止支承作用。由于此系统的车辆与导轨之间不产生摩擦,因此可以实现高速行驶,为此,系统必须全封闭,通常为架空的,其最高车速已达到 500 km/h。其应用在城市轨道交通,可以根据实际需要满足较高的运行速度和较好的爬坡能力,目前还应用不多。

缆索轨道交通(cable railway)是一种由钢索牵引车辆在轨道上行驶的交通系统,车辆本

身不带有动力,钢索设在两条钢轨之间,低于地面,其牵引动力装置一般设在位于线路中心位置的固定地点。车辆的尺寸和外形与有轨电车差不多,由于车辆的牵引力不受车轮与轨道之间黏着条件的限制,所以适合于坡度较大的道路系统。

二、轨道交通的特点

(一)特点

如前所述,地铁和轻轨同属于城市快速轨道交通的一部分,是一种具有快速、安全、舒适、能耗低、污染少等优点的绿色交通方式。

我国自 20 世纪 80 年代以来,随着国民经济的高速发展和城市规模扩大,城市交通堵塞、事故频繁、污染严重等问题日益严重。近年来,尤其是百万人口以上的大城市,道路每年以 3%~4% 的速度增加,但机动车每年以 15%~20% 的更高速度增长,因此交通拥挤现象十分普遍。轨道交通在 20 世纪之所以备受青睐,是因为与道路交通相比,轨道交通具有运量大、速度快、时间准、污染少、安全舒适,且与城市道路无平面交叉等无可比拟的优势。

(1)运量大。一辆公共汽车的载客量只有 40~80 人,轻轨一节车厢载客量为 60~150 人,地铁一节车厢载客量为 150~200 人;轻轨一般 2~6 辆编为一组,地铁为 4~10 辆一组;每小时单向输送能力公共汽车为 2 000~5 000 人,轻轨为 5 000~40 000 人,地铁达 30 000~70 000 人,轨道交通输送能力是公共汽车的 2.5~14 倍。

(2)速度快。一般情况下,公共汽车时速为 10~20 km,轻轨时速为 20~40 km,地铁时速为 40~50 km,最高达 70~80 km,轻轨和地铁的速度是公共汽车速度的 2~4 倍。

(3)污染少。轨道交通以电力作为动力,是一种清洁、绿色的运输方式。

(4)能耗少。轨道交通每公里能耗为道路交通的 15%~40%。

(5)占地省。按每小时输送 5 万人计算所需道路宽度是:小汽车 180 m,公共汽车 9 m,轨道交通综合占地仅为道路交通方式的 1/3 左右,而地铁和高架式轻轨几乎不占土地。

(6)安全与环保。轨道交通工具的事故率大大低于道路交通工具,噪声和空气污染等环境保护方面也优于道路交通。所以,城市轨道交通是在满足城市居民交通需求的条件下全社会总付出最少的方式,也是满足人文和城市可持续发展要求的最佳方式。

(二)地铁与轻轨的比较

“地铁”与“轻轨”的称谓主要来自于其交通容量的划分。一般认为,地铁为大容量交通体系(3 万~6 万人/h),轻轨为中容量交通体系(1 万~4 万人/h)。由此会对地铁与轻轨的工程设计标准如钢轨类型、线路坡度、曲线半径、车辆编组、牵引动力等带来差异。

轻轨线以高架线和地面线路为主,不得已时也可采用地下线,以浅埋区间段为宜,一般不设地下车站。轻轨线主要沿街道布线,时而转弯,时而高架或入地,线路的曲率半径小,坡度大。根据我国城市的特点和车辆的技术条件,建议正线运行速度不大于 35 km/h,平曲线最小曲率半径为 100 m,特殊地段可以采用半径 50 m,最大坡度值为 60‰。

早期的地铁线路大部分都设在地下,自 20 世纪 70 年代以来,地铁吸收了轻轨的一些技术优点,并且为了减少造价,只是在市区建筑物密集的地段设在地下,在城乡结合部和郊区等建筑场地和环境允许的情况下,线路和车站均建在地面或高架上。地铁线路沿主要交通干道布线,在商业、文化、政治中心和交通枢纽附近布置地下车站。由于地铁速度快、运量大,为了减少轮轨的磨耗,一般情况下地下铁道正线最小曲率半径为 300~600 m,特殊地段为 250~300 m。我国地铁设计规范规定,正线最大坡度采用 30‰,困难地段为 35‰,一般重车的最大

坡度值为 40‰~45‰,隧道线路要满足纵向排水要求,最小坡度一般不宜小于 3‰。

线路设置方式对直接投资影响很大。同样规模的线路,地面、高架、地下三种不同的线路设置方式其直接投资比例一般为 1:3:9。但若考虑对城市交通、环境、景观等的综合影响,则地铁不一定全部在地下,轻轨不一定全部在地上。地铁和轻轨互相渗透发展,其差别越来越小,有些系统也很难说它是地铁还是轻轨。例如,上海市轨道明珠线是高架、大容量系统,既不能完全称为地铁,也不能确切地叫它轻轨。又如,南京地铁二号线,南京站至三山街站之间区段经过城市中心地带,必须采用地下铁道的形式,而南京站以北和三山街站以南则采用高架线路的形式。

除上述之外,地铁和轻轨的区别主要表现在如下几点。

1. 轮轨系统

地铁和轻轨都是利用轨道作为车辆导向运输方式,以钢轮和钢轨(胶轮和钢筋混凝土凹槽)为走行系统的交通方式。

轻轨车辆轴重较轻,如我国轻轨样车的轴重只有 100 kN,但为了保证客车车辆运行的质量,使钢轨有较长的使用寿命以及适应无缝线路的需要,在正线上宜采用 50 kg/m 的钢轨,在车场支线内可采用 43 kg/m 的钢轨。目前我国地铁钢轨均采用 60 kg/m 的重型钢轨,只有车场空车运行、速度低的区段,才选用 50 kg/m 和 43 kg/m 的轻型钢轨。

城市高架轨道交通不适宜采用有砟轨下基础,多采用弹性支承轨道结构、无枕式整体道床。轨枕式整体道床和浮置板式整体道床在地铁工程中广泛应用,因为重量大,会加大桥梁的荷重,增加工程造价,故不宜用在高架轻轨线上。

2. 运输量

地铁是特大容量的公共交通工具,轻轨为中容量的交通运输工具。地铁单向高峰每小时载运 30 000~70 000 人次,轻轨单向高峰平均每小时客运量为 10 000~40 000 人次。

3. 车辆及其编组

轻轨车辆较地铁车辆新颖,有单节四轴车、双节单铰六轴车、三节双铰八轴车。车辆间采用铰接,可使车辆节间贯通,有利于乘客均匀分布及增加载客量,每组车可以单行,也可以联挂编列,可以通过小的曲率半径($R=25\text{ m}$)和大坡度(6%~7%)地段,适应能力强。

4. 土建工程

轻轨线区间线路和车站常建在高架桥上,常规采用上承式 T 形梁和箱梁预应力结构,也有采用建筑高度较小的槽型梁、下承式脊梁以及超低高度的板式结构。轻轨高架桥的墩台形式常用的有倒 T 形桥墩、T 形桥墩、双柱式桥墩和 Y 形桥墩。

轻轨车站设施较简单,地面车站上主要建筑是装有风雨篷的站台,其高度与车厢地板面相当,有利于乘客上下,减少停顿时间。

设置在地下的地铁车站和区间隧道,结构复杂,施工困难。软土层中浅埋地铁车站多为两层三跨框架结构,大多采用明挖法,市区为减少施工干扰也有采用盖挖法和逆作法。岩石地层中修建的地铁车站,一般采用钻爆法或者新奥法施工,结构形式多为拱形、搭拱形和多跨拱形。区间隧道施工方法视地质条件的不同而异,软土地区多为盾构法施工。

5. 振动和噪声控制

地面和轻轨高架线上运营的列车,需加强消音和减震的防护措施。地铁车站和线路深埋于地下,振动噪声对于外界的干扰较少,只要做好车厢内的减震和减噪即可。

6. 速度和正点率

地铁和轻轨线通常实行全隔离式或大部分隔离的措施,列车运营受外界干扰少,正点率高。国内地铁列车最高行驶速度为 120 km/h,地铁的运营速度为 30~40 km/h。轻轨线路受

坡度、转弯半径等限制,最大行驶速度 45 km/h,运营速度 25~30 km/h。

7. 通风、空调和采暖

轻轨交通的地面、高架线路和车站不需要专门的通风设备。北方寒冷地区需考虑高架车站和运营车厢的采暖。南方炎热地区,则要采用空调设备来保持车站和车厢内有适宜的温度和湿度。

地铁在运营中将产生大量的热量和废气,大量的客流集中疏散也要消耗新鲜空气,排出 CO₂。地铁的车站和区间线路均被岩土介质严密地包裹,热量散发不出去,地面新鲜空气和内部空气无法交换。为了保证乘客旅行的舒适度,区间隧道除利用列车行驶的活塞风外,不能满足空气对流交换时,还要增加机械进行排风。车站和车厢内采用空调,以保证站内和车厢内一定的空气温湿度。

8. 信号

大部分轻轨系统可以在没有信号装置的情况下安全行驶,但在道口、曲线地段、隧道内或瞭望距离受到限制的地段,应设置信号,以保证行车的安全。如果行车的速度快,密度大,就应设置自动闭塞信号系统。

地下铁道内信号系统应尽量选用列车自动控制系统——现代信号系统。由于条件限制或初期运量不足等原因,也可采用由信号、联锁、闭塞、机车信号、自动停车、调度集中等设备组成的中等水平传统信号系统。

9. 给排水系统

地铁和轻轨给水水源选择应优先选用城市自来水,排水方式优先利用城市排水系统,地面和高架轻轨排水设施类似于地面铁路工程。

地下铁道宜采用生产、生活和消防共用的给水系统,这样不仅可以节省给水管道,降低工程造价,而且使用管理也比较方便,如北京地铁、天津地铁、青岛和南京地铁。根据经济比较,也可采用生产、生活与消防用水分开的给水系统。

10. 灾害防护

地铁和轻轨在施工和运营期间都可能受到火灾、洪水、台风、地震、滑坡、泥石流、雷击、严寒、大雪等自然灾害的影响,也可能受到战争、人为工程事故危害。地下铁道对于战时空袭有得天独厚的优越条件,有的国家也结合人防工程要求设计地铁车站和隧道。地震灾害只有在地震等级高、震源离地铁工程较近时,才对地铁车站和隧道产生损害。

地震对轻轨高架桥墩台剪切破坏更严重,因此高架轻轨必须考虑抗震设防,采取相应构造措施。

11. 造价

同样规模的线路,建设在地面与高架上的轻轨交通和地铁比较,三者投资相差较多,其比值一般为 1:3:9。每公里地铁造价高达 6 亿~8 亿元人民币,每公里轻轨 1.5 亿~3.5 亿元人民币。

第二节 世界城市轨道交通发展历史与现状

一、国外城市轨道交通的发展历史与现状

1843 年英国人 C·皮尔逊提出在英国修建地下铁道的建议,1860 年英国伦敦开始修建世界上第一条地铁,采用明挖法施工,为单拱砖砌结构,1863 年 1 月 10 日建成通车,线路长 6.4 km,

用蒸汽机车牵引。

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取得了宝贵的经验;特别是到 1879 年电力驱动机车的研究成功,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。从此以后,世界上一些著名的大都市相继建造地下铁道。

自 1863 年至 1899 年,有英国的伦敦和格拉斯哥、美国的纽约和波士顿、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。

伦敦自 1863 年创建世界上第一条地下铁道以来,历经 140 多年的发展,通过不断提高技术水平,伦敦地铁系统已成为当今世界上的先进技术范例之一,尤其是地铁实现了电气化后,伦敦的地铁几乎每年都有新进展。目前,伦敦地铁线路总长度约 410 km(地下隧道 171 km),共设置车站 275 座,地铁车辆保有量总数约 4 139 辆,年客运总量已突破 8 亿人次。

受伦敦成功建设地下铁道的影响,美国纽约也于 1867 年建成了第一条地铁。随着纽约城市规模的扩大,城市人口不断增加,到 1900 年市区人口已有 185 万人,同时地铁建设也在不间断地发展。现在纽约已发展成为世界上地铁线路最多、里程最长的一座城市。目前,纽约地铁线路总长度约 421 km,其中地下隧道 258 km,共设置车站 476 座,地铁车辆保有总数约 6 561 辆,年客运总量已突破 10 亿人次。

法国巴黎也是最早修建地铁的城市之一,但比英国要晚 37 年。为举办“凡尔赛展览会”而修建的巴黎第一条地下铁道从巴士底通往马约门,全长约 10 km,它为巴黎地铁网络的不断发展和完善打下了基础。时至今日,巴黎市区已拥有地铁线路 15 条,其中 2 条为环线,有 4 条地铁采用橡胶轮体系的 VAL 车辆。地铁线路总长度约 201.4 km,地下隧道约占 175 km,共设置车站 370 座,车辆保有总数约 3 472 辆,年客运量总数也已突破 12 亿人次。巴黎的地区快速地铁(RER)非常发达,运营线路共有 363 km,其中 114 km 与地铁共线,249 km 为城市快速铁路 SNCF。RER 的年客运量约 4 亿人次。

在进入 20 世纪的最初 24 年里(1900 年至 1924 年),在欧洲和美洲又有 9 座大城市相继修建了地下铁道,如德国的柏林、汉堡,美国的费城以及西班牙的马德里等。

柏林的第一条地铁开通于 1902 年。发展至今,市区地铁已四通八达,有的线路已采用自动化运行技术。目前,柏林已有 9 条地铁线路,线路总长度约 142 km(其中地下隧道约 104 km),共设置车站 166 座,车辆保有量约 2 410 辆,年客运总量约 6.6 亿人次。

西班牙也是欧洲较早修建地下铁道的国家之一。1919 年,马德里的第一条地铁线路开始运行,现在已发展到 10 条地铁线路,线路总长度约 115 km,共设车站 158 座,车辆保有总数约 1 012 辆,年客运总量约 4 亿人次。

1925 年至 1949 年,其间经历了第二次世界大战,各国都着眼于自身的安危,地铁建设处于低潮,但仍有日本的东京、大阪,前苏联的莫斯科等少数城市在此期间修建了地铁。

日本东京的第一条地铁线路于 1927 年建成通车。虽然日本的地铁也是效法欧洲技术建设而成,但他们在修建地铁的同时,着重开发主要车站及其邻近的公众聚集场所,这些场所能促进地下商业中心的建设,而且与地下车站连成一片,使地铁这一公益性基础设施获得了新的活力,取得了较好的经济效益和社会效益。

1996 年,东京地铁已拥有 12 条地铁线路,线路总长度约 237 km,共设置车站 196 座,车辆保有总数约 2 450 辆,年客运总量已突破 25 亿人次,是当今世界上地铁客运量最大的城市之一。

1932 年莫斯科的第一条地铁开始动工,线路全长约 11.6 km,共设置车站 13 座,到 1935

年5月建成通车运营。其建设速度之快,在当时是空前的。以后莫斯科的地铁建设就一直没有中断过,即使在第二次世界大战期间也没有停顿。发展至今,莫斯科已拥有地铁线路9条,线路总长度约244 km,地铁车站总数为150座。莫斯科地铁系统的建筑风格和客运效率是举世闻名的,每个车站都是由著名的建筑师设计,并配有许多雕塑作品,艺术水平较高,使旅行者有身临宫殿之感。而所有地铁终点站都与公共汽车、无轨电车和轻轨系统相衔接,有几个车站还与铁路火车站相连接,为旅客提供了方便的换乘条件。目前,莫斯科地铁系统保有车辆总数约3 200辆,年客运量已突破26亿人次。

第二次世界大战以后,1950年至1974年的24年间,世界上地铁建设蓬勃发展。在此期间,有加拿大的多伦多、蒙特利尔,意大利的罗马、米兰,美国的费城、旧金山,前苏联的列宁格勒、基辅,日本的名古屋、横滨,韩国的首尔以及中国的北京等约30座城市相继建成了地铁。具有代表性的地铁项目有:

日本的名古屋,第二条地铁线路于1957年建成通车,现有5条地铁线路,线路总长度约76.5 km,共设61座车站,车辆保有总量约730辆,年客运量已突破6亿人次。

加拿大的蒙特利尔,第一条地铁线路于1966年建成通车,现在已有4条线路,线路总长度约64 km,共设车站65座,车辆保有量总数约760辆,年客运总量约3.5亿人次。

蒙特利尔的地铁主要采用橡胶轮胎走行系统,以法国的VAL技术为基础,列车在表面光滑的混凝土轨道上行驶,客运效率和乘坐舒适度都很高。线路布局充分考虑了与周围环境的协调,乘客换乘其他交通工具极为方便。新建地铁车站的建筑风格各不相同,建筑雄伟、辉煌而明快,为城市开辟了良好的地下活动空间。每座车站都与周围环境融为一体。在公园中,车站与树林绿茵配合成协调优美的景观;在商业繁华区,站台的高度往往与林荫人行道的高度相同,而且可直接相通;有的车站还可直接通向办公大楼或大饭店的厅廊。这些精心设计,给人们的出行和换乘创造了极为方便的条件。

墨西哥城与首尔是世界上地铁发展最快的城市。墨西哥城在短短的十年间修建了150 km地铁,到2000年已开通21条地铁线路,全长400 km,承担全城客运量的58%。首尔地铁1971年开始建设,1974年建成通车,到2000年共建成8条地铁,线路长度达285 km。

至今,全世界已有40个国家80多座城市建成地下铁道,全世界地铁运营线路里程已逾5 000 km,有16座城市的地下铁道运营线路长度超过了100 km,其中,纽约和伦敦的地铁线路超过了400 km,巴黎地铁接近300 km,目前还有20多个国家的30多个城市正在建设或筹备建设地下铁道。

轻轨交通是在有轨电车的基础上发展起来的。1879年柏林工业展览会展出了第一辆以输电线供电的电动车。1886年美国阿尔拉巴马州的蒙哥马利市开始出现有轨电车系统,而世界上第一个真正投入运行的有轨电车系统是弗克尼的里兹门德有轨电车系统。此后有轨电车系统发展很快。在20世纪20年代,美国的有轨电车系统总长达25 000 km。到了20世纪30年代,欧洲、日本、印度和我国的有轨电车有了很大的发展,但旧式有轨电车行驶在城市道路中间,行车速度慢、噪声大、舒适度差。随着汽车的迅速发展,西方私人小汽车大量涌上街道,于是各城市又纷纷拆除有轨电车,到1970年只剩下8个城市还保留着有轨电车。但汽车数量的过度增加,使城市交通经常造成交通堵塞,行车速度下降,空气、噪声污染严重。到20世纪60年代初,西方一些人口密集的大城市,除考虑修建地下铁道外,又重新把注意力转移到有轨交通上来。在这个时候,欧洲一些经济发达的国家,为满足城市公共交通客运量日益增长的需求,就着手在旧式有轨电车的基础上,利用现代化技术,改造和发展有轨电车系统,提高其技术

水平和服务质量,因而出现了轻轨交通系统。到 20 世纪 80 年代,国际上一些大城市已相继建成了现代化技术很高的轻轨交通系统,如美国的萨克拉门托市,1987 年 3 月建成一条穿越市中区的轻轨线路,全长 29.4 km,共设车站 27 座,行车间隔 1.5 min,自建成到 1987 年 9 月,已运送乘客达百万人次。当今世界上投入商业运营技术最先进的轻轨交通系统是加拿大温哥华市的轻轨交通系统,于 1986 年建成,线路全长 22.5 km,其中有 13 km 为高架结构,共设车站 16 座,车辆总数为 114 辆,行车间隔 3~5 min,信号系统由计算机控制,全部列车以无人驾驶全自动控制方式运行。

表 1-2 世界各国地下铁道

城市(国家)	开通年代	当时人口 (万人)	线路 条数	线路长度(km)		车站数	轨距 (mm)	牵引供电	
				全长	地下			方式	电压(V)
伦敦(英国)	1863	670	9	408	167	273	1 435	第三轨	630
纽约(美国)	1867	730	29	443	280	504	1 435	第三轨	600 650
芝加哥(美国)	1892	370	6	174	18	143	1 435	第三轨	600
布达佩斯(匈牙利)	1896	210	3	27.1	23	30	1 435	第三轨	750
格拉斯哥(英国)	1897	75.1	1	10.4	10.4	15	1 435	第三轨	600
波士顿(美国)	1898	150	3	34.4	19	39	1 220	第三轨	600
维也纳(奥地利)	1898	150	3	34.4	19	39	1 435	第三轨	750
巴黎(法国)	1900	210	15	199	175	367	1 440	第三轨	750
柏林(德国)	1902	320	10	134	106	132	1 435	第三轨	750
费城(美国)	1905	170	4	62	76		1 435	第三轨	600 700
汉堡(德国)	1912	160	3	92.7	34.3	82	1 435	第三轨	750
布宜诺斯艾利斯 (阿根廷)	1913	290	5	39	36	63	1 435	架空线	600 1 100
马德里(西班牙)	1919	320	10	112.5	107	154	1 445	架空线	600
巴塞罗那(西班牙)	1924	170	6	115.8	68.7	129	1 674 1 435	第三轨 架空线	1 200 1 500
雅典(希腊)	1925	300	1	28.8	3	23	1 435	第三轨	1 500
东京(日本)	1927	1190	10	219	182	207	1 067 1 372	第三轨 架空线	600 1 500
大阪(日本)	1933	260	6	99.1	88.6	79	1 435	第三轨 架空线	750 1 500
莫斯科(俄罗斯)	1935	880	9	246	200	143	1 524	第三轨	825
斯德哥尔摩(瑞典)	1950	66.3	3	110	62	99	1 435	第三轨	650 750
多伦多(加拿大)	1954	220	2	54.4	42	60	1 495	第三轨	600
克利夫兰(美国)	1954	57.3	1	30.6	8	18	1 435	架空线	600
圣彼得堡(俄罗斯)	1955	320	4	92		51	1 624	第三轨	825

续上表

城市(国家)	开通 年代	当时人口 (万人)	线路 条数	线路长度(km)		车站数	轨距 (mm)	牵引供电	
				全长	地下			方式	电压(V)
罗马(意大利)	1955	280	2	25.5	14.5	33	1 435	架空线	1 500
名古屋(日本)	1957	210	5	66.5	1258	66	1 067 1 435	第三轨 架空线	600 1 500
里斯本(葡萄牙)	1959	90	3	16	12	24	1 435	第三轨	750
基辅(乌克兰)	1960	210	3	32.7	29		1 524	第三轨	825
米兰(意大利)	1964	150	2	56	36	66	1 435	第三轨 架空线	750 1 500
奥斯陆(挪威)	1966	45	8	100	15	110	1 435	第三轨 架空线	750 600
蒙特利尔(加拿大)	1966	190	4	65	53	65	1 435	第三轨	750
第比利斯(格鲁吉亚)	1966	110	2	23	16.4	20	1 524	第三轨	825
巴库(阿塞拜疆)	1967	150	2	29		17	1 524	第三轨	825
法兰克福(德国)	1968	62	7	57	12	77	1 435	架空线	600
鹿特丹(荷兰)	1968	56.7	2	42	11.5	39	1 435	第三轨	750
北京(中国)	1969	600	2	40	40	29	1 435	第三轨	750
墨西哥城(墨西哥)	1969	2 000	8	141	71	125	1 435	第三轨	750
慕尼黑(德国)	1971	130	6	56.5	43	63	1 435	第三轨	750
札幌(日本)	1971	160	3	39.7	28.6	33	2 150 2 180	第三轨 架空线	750 1 500
横滨(日本)	1972	320	2	22.1	22.1	20	1 435	第三轨	750
旧金山(美国)	1972	71.5	4	115	37.4	36	1 676	第三轨	1 000
纽伦堡(德国)	1972	47.5	2	21.4	15.9	29	1 435	第三轨	750
平壤(朝鲜)	1973	183	2	22.5		15	1 435	第三轨	825
圣保罗(巴西)	1974	1 060	2	40.3	18.4	38	1 600	第三轨	750
首尔(韩国)	1974	1 020	4	116.5	93	102	1 435	架空线	1 500
布拉格(捷克)	1974	120	3	35	19	36	1 435	第三轨	750
圣地亚哥(智利)	1975	430	2	27.3	21.9	37	1 435	第三轨	750
哈尔科夫(乌克兰)	1975	140	2	22.9		19	1 524	第三轨	825
华盛顿(美国)	1976	64	4	112	52.8	38	1 435	第三轨	750
布鲁塞尔(比利时)	1976	110	3	39		51	1 435	第三轨	900
阿姆斯特丹(荷兰)	1977	69.1	2	24	3.5	20	1 432	第三轨	750
马赛(法国)	1977	87.4	2	19	15.5	22	1 435	第三轨	750
塔什干(乌兹别克斯坦)	1977	190	2	24		19	1 524	第三轨	825
神户(日本)	1977	140	2	22.6	14	16	1 435	架空线	1 500
里昂(法国)	1978	120	3	16.5	14	22	1 435	第三轨	750

续上表

城市(国家)	开通 年代	当时人口 (万人)	线路 条数	线路长度(km)		车站数	轨距 (mm)	牵引供电	
				全长	地下			方式	电压(V)
里约热内卢(巴西)	1979	580	3	21.6	13	19	1 600	第三轨	750
亚特兰大(美国)	1979	120	2	52.3	7	29	1 435	第三轨	750
香港(中国)	1979	550	3	43.2	34.4	38	1 435	架空线	1 500
布加勒斯特(罗马尼亚)	1979	220	2	46.2	37	30	1 432	第三轨	750
新堡(英国)	1980	28.1	4	55.6	6.4	46	1 435	架空线	1 500
天津(中国)	1980	540	1	7.4	7.4	8	1 435	第三轨	750
福冈(日本)	1981	120	2	18	17	19	1 067	架空线	1 500
埃里温(亚美尼亚)	1981	100	1	8.4	8.4	9	1 524	第三轨	825
京都(日本)	1981	150	1	9.9	9.9	12	1 435	第三轨	1 500
赫尔辛基(芬兰)	1982	49	1	15.9	4	11	1 524	第三轨	750
加拉加斯(委内瑞拉)	1983	350	2	40		35	1 435	第三轨	750
巴尔的摩(美国)	1983	80	1	22.4	12.8	12	1 435	第三轨	700
里尔(法国)	1983	110	2	25.3	9	34	2 060	第三轨	750
迈阿密(美国)	1984	170	1	34.5		20	1 435	第三轨	750
明斯克(白俄罗斯)	1984	130	1	9.5		9	1 524	第三轨	825
加尔各答(印度)	1984	730	1	16.4	15.1	17	1 674	第三轨	750
累西腓(巴西)	1985	120	2	20.5		17	1 600	架空线	3 000
高尔基城(俄罗斯)	1985	140	1	9.8		8	1 524	第三轨	825
贝洛奥里藏特(巴西)	1985	220	1	12.5		7	1 600	架空线	3 000
新西伯利亚(俄罗斯)	1985	130	2	12.9	12.9	10	1 524	第三轨	825
阿雷格里港(巴西)	1985	130	1	27.5		15	1 600	架空线	3 000
釜山(韩国)	1985	130	1	21.3	15	20	1 435	架空线	1 500
温哥华(加拿大)	1986	120	1	21.4	1.6	15	1 435	第三轨	600
古比雪夫(俄罗斯)	1986	100	1	12.5		9	1 524	第三轨	825
仙台(日本)	1987	90	1	14.4	11.8	16	1 067	架空线	1 500
新加坡(新加坡)	1987	260	2	67	18.9	42	1 435	第三轨	750
开罗(埃及)	1987	830	1	5	4.5	6	1 435	架空线	1 500
第聂伯罗彼得罗夫斯克 (乌克兰)	1988	110	1	11.2			1 524	第三轨	825

二、中国城市轨道交通发展历史与现状

我国城市轨道交通起步晚、数量少。1965年7月北京开始修建第一条地铁线。自20世纪90年代以来,我国城市轨道交通进入快速发展时期,到2008年,全国已有北京、天津、上海、广州、深圳、南京、青岛、台北和香港九个城市拥有了轨道交通,运营线路达35条共八百多公里。



1. 北京市

北京于1965年7月开始修建地铁,第一期工程西起苹果园,东至北京站,于1969年9月建成通车,线路长约24 km,共设车站17座,全线均为地下线路,用明挖法施工;第二期工程于1984年建成通车,与第一期工程的复兴门到北京站段构成一条环形线,长约16.1 km,设车站12座;第三期工程,从复兴门到八王坟,全线长12.7 km。2000年5月,开始修建轻轨交通第一期工程,从西直门到回龙观,全长40.8 km,2001年已建成通车,这也是我国第一条城市轻轨。到2008年底,北京已有1、2、5、10(一期)、13、八通线,机场线,奥运支线共8条线路约189 km投入正式运营。北京轨道交通已在城市交通中发挥了重要作用,客运量1994年突破5亿人次,并创下满载率世界第一,单车运行公里世界第一两项世界记录。

北京市2020年计划建成19条轨道交通线路,总长度561.5 km,其中市区线路15条,425.7 km。远景轨道交通规划线网由16条地铁(M线)、6条轻轨(L线)和6条市郊铁路(S线)组成,并分为三个阶段进行实施。

2. 上海市

上海地铁1号线一期16.4 km于1995年建成通车,1996年向南延伸至辛庄,全长20.5 km。上海地铁2号线(轻轨)一期工程,于1995年12月开工建设,2000年5月正式通车,长19 km。上海地铁3号线长24.7 km,于1998年开工建设,2000年底建成通车。目前,上海城市轨道交通有1、2、3、4、5、8、9号线投入运营,另有31 km的磁悬浮线路,轨道交通里程已达203 km。2010年以前6、7号线将建成通车,轨道交通总里程可达270 km。

上海市总体轨道交通网包括:市域级快速轨道线(R1-R4线)、市区级轨道线(M1-M8线)、市区级轻轨线(L1-L5线)、磁悬浮列车线,总里程为875.1 km,共设约450座车站。

(1)市域级快速轨道线:这是轨道网络的骨架,为市区提供快速到达城市各大枢纽的服务,配合城市向多中心方向发展。

(2)市区级轨道线:对城市最密集的中心区域提供发车频率高、运输能力大、运行速度快的服务,满足城市活动需要。

(3)市区级轻轨线:为局部区域交通需求提供服务,是对市域级和市区级网络的补充,在卫星城作为一种局部的交通服务。

3. 天津市

天津市地铁既有线自天津铁路西站至新华路全长7.4 km,1970年动工,1980年建成通车。未来的天津市区快速轨道交通主要为以环线-放射线形成路网的格局,由3条穿越市中心的放射线和一条环线组成。路网总长177 km,其中地下铁路长106 km,郊区环线预留71 km远期轻轨线。

4. 广州市

按照1998年广州市政府批准的《广州市快速轨道交通路网规划》,全市共规划7条线,总长206.5 km。其中地铁1号线是广州市地铁规划网的東西干线。地铁1号线总长18.47 km,沿线共设16座车站、车辆段控制中心和2座主变电站,已于1999年建成通车。地铁2号线为广州市快速轨道交通系统中客流量最大的基本骨干线,是新线路网中的南北轴线,从国际机场至海珠区后窖,全长46.5 km,第一期长23.21 km,其中高架10.68 km,地下线长11.1 km,地面线长0.27 km,过渡线长1.16 km,全线共设20座车站。地铁2号线工程于1998年7月28日开工,2004年建成通车。地铁3号、4号线也已于2005年建成通车,使广州轨道交通运营里程达116 km。至2010年,广州市将有7条线路182 km投入运营。