

21

世纪高等职业技术教育规划教材

土木工程类

张立 主编

城市轨道交通工程

Chengshi Guidao Gongcheng



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等职业技术教育规划教材——土木工程类

城市轨道交通工程

张 立 主 编

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

: 科

道出

建筑

.....
图书在版编目 (C I P) 数据

城市轨道交通 / 张立主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2006.8

21 世纪高等职业技术教育规划教材. 土木工程类
ISBN 7-81104-321-1

I. 城... II. 张... III. 城市铁路—铁路工程—高等学校: 技术学校—教材 IV. U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 058042 号
.....

21 世纪高等职业技术教育规划教材——土木工程类

城市轨道交通工程

张立主编

*

责任编辑 张波

责任校对 李梅

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 19.25

字数: 478 千字 印数: 1—3 000 册

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-321-1

定价: 29.50 元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

随着城市轨道交通的迅速发展,现场急需城市轨道交通施工及维修与养护方面的技术人员,为了适应这种形势并满足教学的需要进行了该教材的编写。

本教材的编写注重了城市轨道交通工程专业人员应具备的城市轨道施工与维修养护的专业知识和基本技能的要求。

教材包括以下内容:地铁和轻轨交通发展的概况,城市轨道构造及曲线轨道,普通单开道岔的构造、铺设与更换,无缝线路的原理、计算、铺设、应力放散、故障处理,城市轨道的维修及管理,地铁与轻轨线路的规划、设计,城市轨道施工等。本书密切联系现场实际,编写时加强了基本知识,特别是基本技能方面的内容,适用性强。为了帮助读者掌握各章内容,每章后均附有复习思考题。本书可作为城市轨道交通专业职业技术学院学生城市轨道交通课程的教材,也可供从事城市轨道交通工程施工及维修养护工作的人员自学或参考。

本书由天津铁道职业技术学院张立主编,参加编写的人员有天津铁道职业技术学院张立(第一章、第三章、第四章)、贾艳红(第五章、第十章)、梁晨(第八章、第九章)、丁策(第六章)、包头铁路工程学校张新安(第二章、第七章)。在本书的编写过程中,得到了北京地铁集团的大力支持,在此表示感谢。

由于编者的水平有限,难免存在不足之处和错误,敬请读者和有关专家批评指正。

编 者

2006年7月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 地铁和轻轨交通的特点	1
第二节 地铁和轻轨交通在城市公共交通中的地位	5
第三节 地铁和轻轨交通的发展	6
复习思考题	9
第二章 轨道构造	10
第一节 概 述	10
第二节 钢 轨	11
第三节 轨 枕	15
第四节 联结零件	18
第五节 道 床	32
第六节 轨道的几何形位	37
复习思考题	40
第三章 曲线轨道	41
第一节 曲线概述	41
第二节 曲线外轨超高	43
第三节 小半径曲线轨距加宽	47
第四节 缓和曲线	49
第五节 曲线缩短轨的配置	54
第六节 限 界	59
第七节 曲线轨道方向整正	70
复习思考题	97
第四章 普通单开道岔	98
第一节 概 述	98
第二节 普通单开道岔的构造	99
第三节 普通单开道岔的计算	111
第四节 普通单开道岔的铺设与更换	133
第五节 特殊道岔	146
复习思考题	156

第五章 无缝线路	158
第一节 概 述	158
第二节 无缝线路基本原理	159
第三节 无缝线路伸缩区轨端位移和缓冲区预留轨缝计算	172
第四节 无缝线路稳定性分析	175
第五节 超长无缝线路	182
第六节 无缝线路的铺设	183
第七节 无缝线路应力放散与调整	188
第八节 无缝线路的养护与故障处理	192
复习思考题	196
第六章 轨道的维护及管理	197
第一节 概 述	197
第二节 轨道检测	198
第三节 线路维修工作内容	204
第四节 线路维修与验收	206
第五节 线路保养质量评定	213
第六节 接触轨维修与验收	216
第七节 线路设备状态评定	220
第八节 线路设备大修及管理	220
复习思考题	226
第七章 地铁与轻轨交通系统线路规划与设计	227
第一节 线路网络规划	227
第二节 路网规划对城市发展结构的影响	232
第三节 城市轨道交通方式选择	237
复习思考题	241
第八章 城市轨道线路设计	242
第一节 城市轨道线路主要技术标准	242
第二节 线路平面设计	244
第三节 线路纵断面设计	247
第四节 环境保护	250
第五节 线路通过能力与输送能力	253
复习思考题	255
第九章 地铁与轻轨车站设计概要	256
第一节 概 述	256
第二节 地铁车站建筑设计	257
第三节 地铁车站结构	266

第四节 换 乘 站	271
复习思考题	272
第十章 城市轨道施工	274
第一节 有碴道床轨道施工	274
第二节 隧道内整体道床轨道施工	277
第三节 高架线路整体道床轨道施工	285
第四节 整体道床道岔施工	295
复习思考题	298
参考文献	299

第一章 绪 论

由于世界范围内人口向城市集中,城市化步伐日益加快,大中型城市普遍出现人口密集、住房紧缺、交通阻塞、环境污染严重、能源匮乏等所谓“城市病”。城市的人口分布、城市发展与其交通设施分布有着密切的关系,交通结构的布局往往会影响城市整体发展。地铁和轻轨属于城市快速轨道交通的重要组成部分,因其运量大、快速、正点、低能耗、少污染、乘坐舒适方便等优点,常被称为“绿色交通”。地铁和轻轨经过 150 年的发展,机车车辆、自动控制、通信和信号等技术方面有了很大的进步,很多方面代表和体现了当今高新科学技术发展的水平。发达国家的经验表明,地铁和轻轨是解决大中型城市公共交通运输的根本途径,对于 21 世纪实现城市可持续发展有非常重要的意义

第一节 地铁和轻轨交通的特点

一、地铁和轻轨交通的共同特点

地铁和轻轨均属于城市快速轨道交通的一部分。轨道交通还包括单轨交通、新交通、磁悬浮交通等交通系统。它们虽各有特色,但都能为居民提供优质快速的交通服务。

二、地铁和轻轨交通的不同特点

1. 轮轨系统

地铁和轻轨都是利用轨道作为车辆导向的运输方式,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。

(1) 钢轨选用原则上应以轨道承受的荷载来区分。虽然轻轨车辆轴重较轻,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。轻轨线路的钢轨有向重型化发展的趋势,上海明珠轻轨线的轨道设备考虑到运营强度和城市环境条件,努力减少运营期间轨道设备的维修,选用 60 kg/m (PD3 型) 高强度耐磨钢轨。目前我国地铁钢轨大部分采用 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。地铁和轻轨都趋向于选用重型钢轨的原因,是因为重型钢轨不仅能增强轨道的稳定性,减少养护和维修工作量,而且能增大回流断面,减少杂散电流。

(2) 弹性扣件和减振垫层的作用是把钢轨固定在正确位置,阻止钢轨纵向和横向位移,防止钢轨倾翻,还能提供适量的弹性,并将钢轨所受的力传递给轨枕或道床承轨台。北京地铁一期工程北京站至苹果园线、二期工程建国门站至西直门段线路均采用 DT I 型扣件,经过多年铺设使用和地铁运营的实践,扣件状态良好。北京地铁复八线、复兴门至西单段铺设 DT IV 型扣件。上海地铁 1 号线一般减振地段铺设 DT III 型扣件。轻轨线扣件分为轻轨 I 型和轻轨 II 型扣件。上海明珠轻轨线选用自行研制的 WJ-2 型分开式大调整量、小阻力的弹性扣件,可以使钢轨纵向力与

桥梁结构合理匹配。高架轻轨的减振垫层为压缩型橡胶垫板,放置在钢轨和承轨台之间。

(3) 轨道结构从运营管理和环境保护方面考虑,城市高架轨道交通不适宜采用有碴轨下基础,多采用弹性支承轨道结构、无枕式整体道床。上海明珠轻轨高架线选用承轨台式新型整体轨下基础。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,会加大桥梁的荷载,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,轻轨为大容量的交通运输工具;地铁单向高峰每小时载运 30 000~90 000 人次,轻轨单向高峰平均每小时客运量为 8 000~30 000 人次。

3. 线路的规划

(1) 轻轨线路。以高架线和地面线路为主,只有在繁华市区不得已时才采用地下线,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,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 $v < 35 \text{ km/h}$, 平面曲线最小曲率半径 $R_{\min} = 100 \text{ m}$, 特殊地段可以采用半径 $R = 50 \text{ m}$, 最大坡度 $i_{\max} = 60\%$ 。

(2) 地铁线路。早期的地铁,大部分线路都设在地下,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,在市郊结合部和郊区,并且建筑场地和环境允许的情况下,线路和车站均建在地面和高架上。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。以北京地铁为例,一期工程特殊地段最小曲率半径为 200 m,钢轨磨耗严重,二期工程最小曲率半径为 250 m,磨耗情况有所改善,在曲率半径 $R > 300 \text{ m}$ 的线路上,未发现不正常磨耗现象。地铁由于高密度行车和大运输量,为了保证行车的安全正点,原则上要求列车失去部分(最大可达到 1/2)牵引动力的条件下,仍能用另一部分牵引力将列车从最大坡度上启动,为此最大坡度阻力及各种附加阻力之和不宜大于列车牵引力的 1/2。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‰。

4. 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。车辆间采用铰结,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,也可以联挂编组,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。

上海地铁 1 号线引进德国 20 世纪 80 年代水平的铝合金车体整车,具有较好的防腐蚀性能,重量较轻,能耗低。车辆传动变控方式和制动方式采用较先进的风冷(GTO)斩波调压技术,并有空气制动、电阻制动和再生制动装置,可满足高密度行车间隔短的需求。还配备有模拟制动的自动运行装置,远期可实现自动驾驶。由于空气干燥和滤清装置技术性能良好,可保证制动和车门开关控制等元件正常使用。

20 世纪 90 年代末期、上海地铁 2 号线和广州地铁 1 号线引进德国制造的先进地铁车辆,车辆的传动控制系统已改为当今最先进的交流变频调压(VVVF)传动技术,与其相匹配的也都是技术先进的机电设备。

5. 土建工程

(1) 轻轨。轻轨线路区间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形梁、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。轻轨高架桥系永久性城市建筑,设计中应考虑结构在制造、运输、安装及运营过程中应具有规定的强度、刚度及稳定性,且要求施工简便快捷,对城市交通干扰少,并考虑城市景观,结构寿命应按 50 年以上考虑。高架桥的总体设计中,下部结构应具有足够的强度、稳定性,以避免在荷载作用下的过大位移和扭转。桥梁下部结构的造型对整个桥梁结构的设计方案有较大影响,在桥梁美学方面具有独特的功能,合理的选型能使上下部结构协调一致,轻巧美观,并能使轻轨高架桥与城市环境谐调,使人有一种赏心悦目的感觉。

轻轨车站包括车站进出口、售票室和其他用房,高架车站的站房,应尽量布置在地面,以降低工程造价,站房也可以利用桥下空间或者利用街道两侧空地、绿化带、街心公园布置。跨线设施及垂直交通、乘客越线、行人过街等应综合考虑,高架车站应尽量利用桥下空间解决跨越的功能。

高架线的垂直交通布置,通常为两种方式:一种为街道两侧布置垂直交通,经天桥进入站台,即天桥进出方式;另一种是利用桥下空间,单跑楼梯通向休息平台,再经由双跑楼梯走向两侧高架站台,或直接通向岛式站台,即桥下进出式。两种方式各有优缺点,应根据高架桥所处地形条件、道路条件及景观要求综合考虑。

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,减少停站时间。上海明珠轻轨线高架车站选用轻型钢网架顶盖结构,上盖彩钢板,造型新颖别致。

(2) 地铁。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采用盖挖法和逆作法。岩石围岩中修建的地铁车站,一般采用钻爆法或者新奥法施工,结构形式多为拱形、双拱形和多跨拱形。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,钢筋混凝土管片在盾壳掩护下拼装成圆形隧道。在岩石地质情况下,依照技术经济条件可以采用隧道掘进机(TBM)机械化施工,也可以采用新奥法等施工方法。深埋地铁车站和隧道,需借助三圆、多圆异形盾构和其他特殊性能的隧道掘进机。

6. 振动和噪声的控制

地面和轻轨高架线上运营的列车,需加强消声和减振的防护措施。在车辆选择上采用“弹性车辆”,在吸收冲击中能起主要作用。轮上装有“旋转圆盘”,可以吸收车辆通过曲线时的噪声。在轮对与转向架之间,有橡胶弹簧装置,可吸收三个方向以上的自由振动。在轨道上除采用长距离无缝线路外,还设有橡胶弹性垫层减少噪声及振动传递,在轨道的两侧还设置了吸音挡板。国外对轻轨交通噪声控制要求是车内为 67~70 dB;车速在 50 km/h 时,两侧 7.5 m 的距离以外控制在 76~80 dB 范围内,小于公共汽车噪声。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振和降噪即可。

7. 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。

8. 供电方式

由城市电网对地铁和轻轨系统供电分为:集中式、分散式、混合式。沿线所有用电负荷通过

沿线变电所,形成一个完整的供电网络。内部供电系统分为三部分:主变电所、牵引变电系统和变配电系统,其中牵引变电系统为地铁运行提供动力。北京、天津地铁采用走行轨供电方式,即所谓的第三轨供电;上海、广州地铁采用架空接触网供电。新建的轻轨交通,电压制式应按国际标准 IEC750V 电压级选用,并采用架空线接触网的供电方式。

9. 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 CO_2 。地铁的车站和区间线路均被围岩介质严密地包裹,热量无法自由散发,地面新鲜空气和内部空气无法自由交换。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,还要增加机械进排风。车站和车厢内采用空调,可保证站内和车厢内一定的空气温湿度。车站站台和区间隧道之间还装有屏蔽门系统。地铁的通风排烟设施,对于一旦发生的火灾的救护也是十分必要的。

10. 信号系统

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,应设置信号装置,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。现代信号系统即列车自动控制系统(ATC)主要由三个子系统组成:

① 列车自动防护(ATP)子系统;② 列车自动驾驶(ATO)子系统;③ 列车自动监控(ATS)子系统。当前,我国在地铁信号系统方面与发达国家有一定的差距,主要设备尚需依靠进口。北京地铁引进了英国西屋信号公司的列车自动控制系统,上海地铁引进美国的通用信号列车自动控制系统,广州地铁引进了德国西门子等公司研究的通用连续式列车控制系统 $L_{2B}-80$ 。因此,尽快实现地铁、轻轨信号系统的国产化是当务之急。

11. 通信

通信系统是组织轨道交通运输生产的神经中枢,为其他自动化系统提供通道。它服务于行车调度、运营管理,提供快速可靠的指挥手段和实施科学管理的方法。通信网按传输媒介不同可分为有线通信、无线通信;按传输对象不同可分为语音、数据和图像通信;按使用性质不同又可分为专用通信、公务通信、广播和闭路电视等。地下铁道比轻轨客运量大、行车速度快、公务联系密切频繁,如果没有一套行车专用指挥系统,就必须设置独立的内部通讯网。地铁建设周期长,一旦建成后再进行改造比较困难,因此,新建地下铁道工程应优先采用数字通信技术。地下铁道一旦发生火灾和其他灾害事故时,需迅速传达信息下达指令,单独设一套防灾救灾通信系统势必增加更多投资,长期不使用设备也难以保持良好的状态。因此在设置地下铁道路程控自动电话、调度电话、区间电话和列车无线电话等通信设备时,既要考虑平时使用,又要兼顾事故发生的非常情况下的应用。

12. 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,如上海地铁 1 号线的地铁消火栓给水系统就是单独设置的。

地铁的排水系统可分为:结构渗漏水排水系统、消防及冲洗废水系统、粪便及生活污水排水系统、隧道洞口及露天出入口雨水排水系统等。

13. 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、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,给生命和财产造成极大损失。1969 年 11 月 11 日,北京地铁因电气故障,使电气机车发生火灾,浓烟聚集,由于排烟设备不完善,未能形成有组织的排烟,因此烟气四处扩散,并从口部溢出,给人员的疏散和救援带来极大困难,多人被烟气熏倒,200 多人中毒受伤。世界各国地铁因火灾造成的灾害时有发生,因此地下铁道应特别注重火灾防护,要设置可靠的火灾自动报警系统和自动消防、通风排烟系统。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。这样一来,战时地下铁道不但可以疏散客流,而且还可当作战时人员的掩蔽部,可谓一举两得。只有在地震等级高、震源离地铁工程较近时,地震才对地铁车站和隧道产生损害。例如,1997 年阪神大地震,造成大阪和神户多处地铁车站和隧道受到不同程度破坏。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。

14. 自动售检票系统

地铁和轻轨均需要自动售检票系统(Automatic Fair Collection System,简称 AFC)。地铁因客运量大,行车间隔短,运行速度快,世界各国地铁大都采用自动售检票系统,而轻轨线售检票系统的要求则不像地铁那样高。

地铁售检票系统有开放式和封闭式两类。开放式系统在地铁站台上不设检票口闸门,敞开的通道直通站台,上车前或在车上注销车票,随机查票。这种售检票系统投资少,紧急疏散时没有障碍物,但对逃票者难以控制。封闭式是通常所说的自动售检票系统(AFC),是现代地铁普遍采用的票务管理模式。乘客从自动售票机箱得到车票,在进出车站闸门口经自动检票进站或离站。世界各地较通用的可循环车票为信用卡大小(ISO 标准)的塑胶车票,又称磁卡车票。

15. 造 价

一般说来,钢轮钢轨制导的快速轨道交通系统,滚动摩擦小,单位电耗小,运输费用较经济。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。地铁造价高达 6~8 亿元/km,轻轨为 1.5~3.5 亿元/km。因此如何降低工程造价,进一步实现地铁轻轨车辆、信号、通信、防灾、供配电等设备国产化,是加快城市轨道交通建设的关键。

第二节 地铁和轻轨交通在城市公共交通中的地位

城市是一个国家或地区的经济、政治和文化中心。城市客运交通是城市赖以生存和发展的基础,世界发达国家在发展经济的同时,始终重视大城市客运交通的建设。一些发达国家大城市在解决客运交通方面已取得了成功的经验,它们最突出的共同特点就是:在注重发展多种运输方

式、不断加强和完善综合运输网络的同时,积极发展地下铁道或轻轨交通系统为骨干的城市公共交通体系,并使之成为城市客运的主体承担者。目前,现代大城市中的地下铁道和轻轨交通在城市的社会、经济活动中正发挥着不可替代的作用。东京虽拥有 600 万辆小汽车,但居民上下班、上下学绝大部分乘坐地铁,很少有人乘私人汽车;巴黎地铁在运输中也发挥了重要作用,在 7:00~9:00 高峰运输时间,在从市区到郊区的客流中,利用私人交通工具的仅占 19%,利用公共交通工具的占 81%,而在公共交通中地下铁道占 40%;莫斯科由于乘坐地铁舒适、方便、票价低廉,所以大量乘坐小汽车上下班的居民纷纷改乘地铁。

20 世纪 60 年代以来,世界经济水平的迅速提高促进了城市的快速发展。随着城市现代化进程的加快,城市规模日益扩大、城市人口不断增长。在不同的城市发展策略实施的同时,城市的住宅结构和工业结构发生了很大的变化,对旅客运输需求也产生了很大的影响。发达国家的城市交通自 20 世纪 60 年代先后进入了汽车时代,私人小汽车一度成为城市交通中的“宠儿”,是人们出行的主要交通工具。但随着时间的推移,小汽车数量猛增,有限的城市空间无法容纳小汽车的无限增长,使城市交通拥挤不堪、事故频繁,汽车在城市中的运行速度大大降低,不能发挥其应有的功效,同时,汽车产生的大量尾气、噪声、振动等污染,使城市环境进一步恶化,极大地影响了城市政治、经济等各方面的有序发展,汽车的发展已不能满足城市客运的需求。地下铁道和轻轨交通具有载客量大、运载效率高、节约能源、污染少、使用寿命长、占地少、不干扰市内道路交通等优越性,是解决时间集中、客流量特别大的大城市交通问题的最有效和最理想的运输方式,适合城市旅客交通运输的特点以及城市可持续发展的需要,因此很快成为现代大城市重要的公共交通方式。

地下铁道的运输能力特别大,其单向运送能力为 3~7 万人次/h,由于地下铁道工程造价昂贵,运输成本高,客运量太小会造成严重亏损,所以当网线远期单向最大断面预测客流量超过 4 万人次/时的时侯,选用地下铁道交通系统较为合理。轻轨交通的单向运输能力为 0.8~3 万人次/h,是介于地铁运输和公共汽车运输之间的中运量运输系统,所以当网线近期单向最大断面预测客流量超过 0.8 万人次/h,而远期预测客流量不超过 4 万人次/h,且有条件设较多地上线时,一般选择轻轨交通系统较为适宜。

总之,在现代化技术背景下,能满足现代大城市公共交通需求的无疑是地下铁道或轻轨交通。

第三节 地铁和轻轨交通的发展

一、国外地铁和轻轨的发展

1863 年 1 月 10 日,用明挖法施工的世界上第一条地铁在伦敦建成通车,列车用蒸汽机车牵引,线路全长约 6.4 km。1890 年 12 月 8 日伦敦首次用盾构法施工,建成用电气机车牵引 5.2 km 的另一条线路。从此,城市交通进入轨道交通时代,因此可以说城市轨道交通的历史比汽车的历史还悠久。

1892 年 6 月 6 日,芝加哥建成世界上第二条蒸汽驱动地铁,1895 年 5 月 6 日建成世界第二条电气化地铁;1896 年 5 月 8 日,布达佩斯建成世界第三条、欧洲大陆第一条电气化地铁,并由奥匈帝国皇帝弗朗西斯约瑟夫剪彩通车;1897 年 9 月 1 日,波士顿建成世界上第四条电气化地铁;1898 年 5 月 9 日维也纳也建成蒸汽驱动地铁。

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 年世界大约有 60 座城市正在有计划地修建地铁,当时全世界地铁运营的里程总计 3 000 km。据 1994 年 7 月德国出版《地铁世界》一书统计资料,到 1990 年世界有 98 个城市约 5 300 km 轨道交通投入运营,另有 29 个城市,94 条线约 1 000 km 在建。近 20 年来增加的线路是 1863 年到 1963 年 100 年建成地铁总长度的 3 倍。运营线路长度排名前 10 位的城市依次为:纽约、伦敦、巴黎、莫斯科、东京、芝加哥、墨西哥城、柏林、波士顿、圣彼得堡,线路总长 2 300 km,占世界城市轨道交通的 43%。

城市轨道交通的发展经历了一个曲折的过程,大致分为以下几个阶段:

1. 初步发展阶段(1863—1924 年)

在这一阶段,欧美的城市轨道交通发展较快,其间 13 个城市建成了地铁,还有许多城市建设了有轨电车。20 世纪 20 年代,美国、日本、印度和中国的有轨电车有了很大发展。这种旧式的有轨电车行驶在城市的道路中间,运行速度慢,正点率很低,而且噪声大,加速性能低,乘客舒适度差,但在当时仍然是公共交通的骨干。

2. 停滞萎缩阶段(1924—1949 年)

第二次世界大战的爆发和汽车工业的发展,促使了城市轨道交通的停滞和萎缩。汽车的灵活、便捷及可达性,一度成为城市交通的宠儿,得到飞速发展。而轨道交通因投资大、建设周期长,一度失宠。这一阶段只有五个城市发展了城市地铁,有轨电车则停滞不前,有些线路被拆除。美国在 1912 年已有 370 个城市建有有轨电车,而到了 1970 年,受拆除风的影响,只剩下 8 个城市保留有轨电车。

3. 再发展阶段(1949—1969 年)

汽车过度增加,使城市道路异常堵塞,行车速度下降,严重时还会导致交通瘫痪,加之空气污染,噪声严重,大量耗费石油资源,市区汽车有时甚至难以找到停车地方,于是人们认识到,解决城市客运交通必须依靠电力驱动的轨道交通。轨道交通因此重新得到了重视,而且从欧美扩展到亚非的日本、中国、韩国、伊朗、埃及等国家,这期间有 17 个城市新建了地铁。

4. 高速发展阶段(1970 年至今)

世界上很多国家都确立了优先发展城市轨道交通的方针,立法解决城市轨道交通的资金来源。世界各国城市化的趋势,导致人口高度集中,要求轨道交通高速发展以适应日益增加的客流运输,各种技术的发展也为轨道交通奠定了良好的基础。近几年又有四十几个城市修建了地铁、轻轨或其他轨道交通。

世界各国地铁各具特色。莫斯科地铁是世界上最豪华的地铁,有欧洲“地下宫殿”之称。天然的料石、欧洲的传统灯饰与莫斯科气势恢宏的各类博物馆交相辉映,简直是一座艺术的博物馆。市区 9 条地铁线路纵横交错,充分体现了前苏联城市交通规划和建筑业的一流水平。纽约是当今世界地铁运行线路最长的城市,其线路 37 条,全长 432.4 km,车站多达 498 个,设施较为陈旧。巴黎地铁是世界上最方便的地铁,每天发出 4 960 列车,在主要车站的出入口,均设电脑显示应乘的线路、换乘的地点等,一目了然。巴黎地铁也是世界上层次最多的地铁,包括地面大厅共有 6 层(一般为 2~3 层)。法国里尔地铁是当今世界最先进的地铁,全部由微机控制,无人驾驶、轻便、省钱、省电,车辆行驶中噪声、振动都很小,高峰时每小时通过 60 列车,为世界上行车间隔最短的全自动化地铁。美国旧金山地铁是当今世界地铁列车速度之冠。香港地铁 1994 年总收入 51.3 亿港元,扣除经营开发、折旧、利息和财务开支后,当年利润为 10.38 亿港元。世界各国地

铁均靠政府补贴,唯独香港地铁既解决市区出行,同时又可创利。新加坡地铁车站和线路清洁明亮,一尘不染,是世界上最安全、最清洁、管理最好的地铁。新加坡像莫斯科地铁一样考虑了战时的防护掩蔽,车站出入口设置防护门、密闭门等防护设施。

墨西哥城在短短的 10 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,目前已建成 285 km,共 8 条线。墨西哥城与首尔是世界上地铁发展最快的城市。

二、中国地铁和轻轨的发展

我国城市的公共交通方式,绝大多数还是采用公共汽车和无轨电车来运载乘客,其客运能力较弱,一条线路最大客运量仅有 6~8 千人次/时,这已很难适应现代城市经济建设高速发展的步伐,一些城市已开始考虑修建地下铁道或轻轨交通来完成大、中客运量的任务。我国北京、天津、上海、广州、香港和台北等 6 座城市修建了地铁或轻轨。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,它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,共设车站 11 座。2000 年 5 月,北京市又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,共设车站 17 座,2001 年已建成通车,这也是我国第一条城市轻轨。

天津地铁始建于 1970 年 4 月,1984 年才建成通车,全长 7.4 km,共 8 座站,大多采用明挖法施工,有些站采用顶进法施工,比较简陋,采用第三轨导电。天津地铁网络远期规划为 9 条,由穿过市中心的放射线和 1 条环线构成,总长度为 227 km。上海地铁在 20 世纪 80 年代初开始施工,1994 年建成 1 号线试运行,全长 16.11 km,沿线共 13 座站,其中 2 座在地面。地铁 2 号线是东西向的,全长 20.5 km,分 2 段,首段线路自金安庙至浦东区的陇东路,长 13.6 km,第 2 段线路自金安庙向西延伸至虹桥机场,长 6.9 km。上海地铁远期规划修建 11 条地铁线路,全长 325.6 km,还将修建 7 条轻轨线路,全长 136.3 km。广州地铁于 1993 年 12 月 28 日开始动工修建,1 号线全长 18.48 km,设车站 16 座。香港地铁自 1975 年 11 月开始动工修建,到 1989 年 8 月建成 3 条地铁线路,总长度为 43.2 km,共 38 座车站。其远期规划将修建 4 条地铁线,共计长度 52.6 km。台北市 1986 年提出建设地铁规划,地铁路网由 4 条线组成,总长度 84.7 km,共设车站 77 座。

自 19 世纪 60 年代初伦敦地铁问世后,为城市交通向地下发展开辟了一条新途径。130 多年来,地铁和轻轨交通已受到世界各国的广泛重视,并纷纷效仿。特别是 1971 年以来,就有 80 多座城市又修建了地铁或轻轨,是过去 100 多年的 2 倍多。如今,发展城市地铁和轻轨交通已成为现代化城市的标志。西方发达国家,人口只有 20~30 万人的中小城市也纷纷规划修建地铁与轻轨。

据了解,除南京、深圳、青岛、沈阳、重庆五城市由国务院和国家计委批准立项并原则同意兴建地铁和轻轨道路外,大连、长春、哈尔滨、鞍山、武汉、杭州、乌鲁木齐、合肥、成都、兰州、佛山、桂林、昆明、西安、济南、福州、宁波等城市也都完成了市区地铁轨道交通的路网规划、客流预测、可行性报告、总体方案,有的还进行了初步设计。

地铁和轻轨工程在中国将有巨大的市场和广阔的前景。我国 50 万~100 万人口的大中城市 44 座,100 万以上的大城市 35 座。根据发达国家经验,要使快速轨道交通承担客运交通的 50%~

80%，居民出行百万人以上城市控制在 40 min，中等城市为 30 min。中等城市要修建轨道交通 1~3 条，100 万人口以上的大城市则要修建 4~8 条快速轨道交通线。我国所有大城市和部分中等城市正在审定城市总体规划，规划城市的快速轨道交通。已经修建和正在准备开工的有 20 条，近期规划修建 50 条，按每条 15 km，约 750 km，所有大中城市均实现轨道交通为客运交通主体，应该修建约 300 条，4 500 km，预计 2010 年，将建成快速轨道交通 1 000 km，到 2050 年将建成 4 500 km。

复习思考题

- (1) 地铁与轻轨交通共同点和不同点有哪些？
- (2) 轻轨交通包括哪些主要土建工程？
- (3) 地铁和轻轨交通在城市轨道交通中的地位。
- (4) 简述世界城市轨道交通的发展。
- (5) 简述我国城市轨道交通的发展。

第二章 轨道构造

第一节 概 述

一、轨道组成

轨道是线路设备的重要组成部分，它直接承受着机车车辆荷载的作用并引导机车车辆运行，轨道一般由钢轨、轨枕、道床、联结零件、防爬设备及道岔等主要部件组成。

轨道是运输设备的基础，机车车辆作用于轨道上的力有垂直压力、横向水平力、纵向水平力以及因温度变化所产生的温度附加力等。所以，要求轨道结构有足够的强度和稳定性，各组成部分的结构要合理，尺寸及材质要相互配合、等强配套，以保证列车规定的速度安全、平稳和不间断地运行。

二、轨道各部件的作用

(1) 钢轨是轨道最重要的组成部件，它直接承受列车的荷载，依靠钢轨头部内侧面和机车车辆轮缘的相互作用，引导列车运行，依靠它本身的刚度和弹性把机车车辆荷载分布开来，传递给轨枕。

(2) 轨枕的作用是一方面承受钢轨传下来的机车车辆的各种力，并把它传递给道床；另一方面是通过扣件把钢轨固定在规定的正确位置上，以保持轨距、轨底坡、曲线超高等，防止钢轨产生位移和爬行。

(3) 道床的作用是固定轨枕的位置，防止轨枕纵、横向位移并把轨枕所承受的压力传递给路基，同时道床还起到排水的作用，可防止路基翻浆冒泥和木枕腐朽。

(4) 道岔的作用主要是引导列车从一条线路转向另一条线路。

(5) 联结零件分接头联结零件和中间联结零件。接头联结零件有钢轨夹板和螺栓等，用于钢轨和钢轨、钢轨和道岔之间的联结，要求其有足够的强度，以承受车轮通过钢轨接头时所产生的巨大冲击力、纵向力、横向水平力以及因温度变化钢轨所产生的温度附加力等。中间联结零件有道钉、垫板（用于木枕线路）、混凝土轨枕用螺旋道钉、扣件、橡胶垫板等。中间联结零件的作用是固定钢轨的位置，阻止钢轨的纵、横向位移，防止钢轨翻转，并将钢轨所受的力传递给轨枕。

(6) 防爬设备由防爬器和防爬支撑组成，用以增加钢轨和轨枕的联结，增加线路抵抗钢轨爬行的能力。对于使用弹条型扣件的线路，由于其扣压力较大，弹性较好，因此可以不用防爬设备。

三、城市轨道交通对轨道结构的基本要求

城市轨道交通由于行车密度大，因而要求运营安全平稳，舒适度好，尽量减少维修和养护工作。城市轨道交通对轨道结构的基本要求如下：