



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

DIXIA TIEDAO

地下铁道 (第三版)

朱永全 宋玉香 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

地下铁道

(第三版)

朱永全 宋玉香 主编

中国铁道出版社

2015年·北京

内 容 简 介

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,以地下铁道建筑结构的设计和施工为重点,全面论述了地下铁道线路规划设计、建筑构造及建筑设施。结合目前地下铁道建设情况,简要介绍了地下铁道设计与施工的新理论、新技术和新方法等相关内容,并介绍了一些典型工程的设计与施工。

本书为普通高等学校土木工程、交通工程等专业的教学用书,也可供研究生和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下铁道/朱永全,宋玉香主编.—3版.—北京:
中国铁道出版社,2015.12

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-113-21129-5

I. ①地… II. ①朱… ②宋… III. ①地下铁道—
铁路工程—高等学校—教材 IV. ①U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 281360 号

书 名:地下铁道(第三版)

作 者:朱永全 宋玉香 主编

责任编辑:李丽娟

编辑部电话:(010)51873135

读者热线:(010)63550836

封面设计:崔 欣

责任校对:马 丽

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.51eds.com>

印 刷:北京海淀五色花印刷厂

版 次:2006年8月第1版 2012年1月第2版 2015年12月第3版 2015年12月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:24.25 字数:599 千

书 号:ISBN 978-7-113-21129-5

定 价:50.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前言(第三版)

本教材是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是在第二版《地下铁道》的基础上修订而成的,修订时吸收了近年来城市地下铁道建设的新方法和新技术,保留了原教材的特色,同时对原版教材的不足进行了补充修改。

本教材重点是地下铁道建筑结构的设计与施工,同时也介绍了线路规划设计、建筑构造和建筑设施。结合目前地下铁道建设发展,补充了部分国内外地铁设计、施工的新理论、新技术和新方法。

本教材理论与实践并重,经典理论、方法与现代新技术、新方法相结合,引导学生掌握理论知识,注重解决实际工程技术问题能力的培养。教材内容丰富,信息量大,知识结构系统。

本教材为土木工程专业隧道及地下工程方向本科生的教材,也可供相关专业研究生和地下铁道工程设计与施工人员参考书。

本教材的编写人员都具有丰富的教学经验和现场施工经验。本教材由石家庄铁道大学朱永全、宋玉香主编,参加编写和修订的有景诗庭(第一章)、高新强(第二章)、李红建(第三章第一、二、三、四节)、宋玉香(第三章第五节)、张素敏(第四章第一、二节)、贾晓云(第四章第三节)、朱正国(第四章第四节)、孙明磊(第五章第一、二、三节)、刘志春(第五章第四、七节)、刘勇(第五章第五节)、孙星亮(第五章第六节)、韩现民(第五章第八节)、李文江(第六章)、朱永全(第七章)。本书由朱永全负责统稿和定稿。

本书在编写过程中,得到了景诗庭教授的悉心指导,王铎、吴志强等同志给予了文字支持与校核,在此深表感谢。

由于水平有限,时间仓促,本书难免有错误何不足之处,恳请专家和读者批评指正。

编 者

2015 年 10 月

本教材是在我院编写的《地下铁道规划与设计》(1996年版)、《地下铁道》(2003年版)教材以及《地下铁道》(1999年版,现场工程师继续教育进修班教材)的基础上,吸收了城市地下铁道建设新方法、新技术以及我院“地下铁道”课程建设成果(2005年被评为河北省精品课程)的基础上编写而成的。

本教材重点内容是地下铁道建筑结构的设计与施工,也介绍了线路规划设计、建筑构造及建筑设施。结合目前地下铁道建设发展,补充了不少国内外地铁设计、施工的新理论、新技术和新方法。

本教材理论与实践并重,经典理论、方法与现代新技术、新方法相结合,引导学生掌握理论知识,注重解决实际工程技术问题能力的培养。教材内容丰富,信息量大,知识结构系统。

本教材为土木工程专业隧道及地下工程方向本科生教材,也可作为相关专业研究生和地下铁道工程设计与施工人员的参考书。

本教材的编写人员都具有丰富的教学经验,参加编写的有朱永全(第一章)、宋玉香(第二、四章)、贾晓云(第三章)、张素敏(第五章第一、二节)、孙星亮(第五章第三节)、刘勇(第六章第一、二节)、李文江(第六章第三、四节)、李宏建(第六章第五节)、孙明磊(第六章第六节)、刘志春(第六章第七节)。全书由朱永全、宋玉香主编,朱永全负责统稿和审定。

本书在编写过程中,得到了景诗庭教授的悉心指导,庞山、毕经东、王利伟、曹勇、李军省、孙元国、何本国、潘国栋等同志给予了文字支持与校核,在此深表感谢。

由于水平有限,时间仓促,本书难免有错误和不足之处,恳请专家和读者批评指正。

编 者

2006年7月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 我国大中城市交通状况及城市轨道交通的作用	1
第二节 地下铁道概述	3
第三节 地下铁道的发展历程	8
思考题	20
第二章 地下铁道线网规划与线路设计	21
第一节 轨道交通及线网基本概念	21
第二节 地下铁道线网规划	22
第三节 限 界	33
第四节 地下铁道线路设计	38
第五节 轨道及路基	53
思考题	62
第三章 地下铁道车站建筑设计	63
第一节 地铁车站设计原则	63
第二节 地铁车站分类及规模	64
第三节 地下铁道车站平面设计	69
第四节 地铁车站建筑设计	72
第五节 车站环境设计	84
思考题	88
第四章 地下铁道结构设计	89
第一节 区间隧道的结构与构造	89
第二节 地铁车站的结构与构造	103
第三节 地下铁道结构与计算	127
第四节 高架结构设计	168
第五节 地下铁道的耐久性设计概要	177
思考题	182

第五章 地下铁道施工	183
第一节 施工方法的选择	183
第二节 明挖法施工	186
第三节 盖挖法施工	226
第四节 矿山法施工	234
第五节 盾构法施工	272
第六节 沉埋法施工	305
第七节 排水与降水工程	317
第八节 地铁工程施工监控量测	330
思考题	339
第六章 地下铁道的环境与灾害防控	341
第一节 通风和环境控制系统	341
第二节 地下铁道防水	347
第三节 地下铁道防灾	358
思考题	367
第七章 城市轨道交通体系综述	368
第一节 概 述	368
第二节 轻轨交通	369
第三节 单轨交通	372
第四节 城市铁路	374
第五节 新交通系统	377
第六节 磁浮交通	378
思考题	380
参考文献	381

第一章 绪 论

第一节 我国大中城市交通状况及城市轨道交通的作用

一、交通拥堵是当今城市发展的难题之一

随着经济的发展,人民生活水平的提高,城市规模越来越大,人口越来越多,小汽车数量不断快速增加,城市交通拥堵加剧。交通拥堵已成为我国乃至全世界城市中最难解决的问题之一。将小汽车作为上下班的主要交通工具,在我国城市布局及道路条件下,不仅产生交通拥堵,局部地区还会出现交通瘫痪。在上下班高峰及节假日前后,一些大城市的主干道几乎成为停车场,在行人过街天桥上望去,车流不见首尾,缓慢移动。以 2015 年的北京为例,在过去的 15 年间,北京市机动车年增长率一直维持在 15% 左右,早晚高峰期道路平均车速不足 20 km/h,而且全天高峰期时间长达 10 小时左右。若不及时采取有效措施,一些大城市仅靠小汽车和地面公交车常难按时上下班或到达预定地点。堵车常引起人们的烦躁情绪、不满心理,对城市的舒适感降低。交通堵塞已成为现代最严重的城市病。

随着小汽车数量的增加,我国一些大中城市的环境质量也日趋严峻。北京、沈阳、西安、上海、广州均列入世界空气污染最严重的城市名单中。一辆公共汽车可以代替 15~20 辆小汽车,小汽车载客的社会费用是公共交通的 6~8 倍,能耗高达 3~4 倍,空间占用量和环境污染量都高达 9 倍。很多城市都在提倡“绿色出行”,以减少交通工具对环境的污染。

二、城市道路的增加远赶不上人口和汽车数量增长是造成拥堵的重要原因

近几年我国城镇化的步伐不断加快,据统计,2013 年我国城镇化率已达 54.77%,用 30 年的时间赶上了西方 200 年城镇化历程。由于城市给居民带来很多福利和现代生活设施,大城市比小城镇更富吸引力,因此大城市的人口增加速度更快。

2010 年我国第六次人口普查结果(世界城市网, www.city363.com 资料),我国大城市常住人口超过 400 万的有 20 个,200 万~400 万的有 30 个。城市人口呈不断增加趋势。按国际标准,城市人口密度大于 2 万人/km²,属居住拥挤情况。按照这个标准,我国多个城市的城区人口密度已处于饱和状态。上海、重庆、沈阳等城市的人均建设用地仅有 50 m² 左右,在如此狭小的空间要布置工业、居住、办公和交通用地,必然导致人均道路面积和绿地的减少。根据 21 世纪初统计,北京人均道路面积为 4.7 m²、东京 10.7 m²、巴黎 10.3 m²、伦敦 26.4 m²。目前很多城市都在不断扩大城市面积,修建快速市区环线、城市立交桥、郊区高速公路等,但道路面积的增加,远赶不上人口的增加。

汽车工业是整个制造业发展的龙头,汽车消费是支撑中国完成工业化、城市化的重要内容,汽车消费扩大还带动相关上下级产业的增长,解决就业等问题。截止 2014 年底,我国机动车保有量已达 2.64 亿辆,其中汽车 1.54 亿辆。2014 年末,北京机动车拥有量为 559.1 万辆,

比上一年增加 15.4 万辆,北京每百户居民拥有汽车数量为 63,居全国第一。其他大城市小汽车增长速度也很惊人,长三角地区的无锡城镇居民每百户拥有汽车数量为 37 辆。在二、三线城市中,自驾车已成居民出行的首选。由于我国城市市区居民密度很高,机动车也集中在市区。北京机动车 80%集中在六环以内,北京 4 个城区户均拥有小汽车数是巴黎同等可比地区的 1.8 倍,纽约同等可比地区的 2.3 倍。国外小汽车出行频率是市外高、市内低,我国则是市外高、市内也高。小汽车的高增长、高使用、高密度是造成我国城市交通堵塞的重要原因。

三、交通拥堵需要综合治理,发展城市快速轨道交通是重要途径

面临城市的不断发展、交通流量大幅度增加、交通拥挤不断加剧的局面,各大城市都在采取各种措施解决城市交通问题。同样的问题,国外的大城市有的已基本解决,但还在不断改进;有的则同样严重,正在寻求解决途径。据测算,我国 20 多个大城市主要干道的高峰小时单向断面客流量高达 3 万~7 万人次/h。如此巨大的客流量,单靠运能 8~9 千人次/h 的地面公交车已不能解决问题。与机动车分道行驶的自行车只能作为短途客运的补充,而大量发展小汽车目前尚不符合我国国情,也更增加道路拥堵。我国绝大多数城市建设用地十分有限,要保证国家耕地红线,给郊区留出蔬菜副食用地,不能无限制地扩展道路,因此只能采取多种措施,综合治理城市交通问题。

北京 2010 年出台了《关于进一步推进首都交通科学发展,加大力度缓解交通拥堵工作的意见》,采取 20 多项综合措施,多管齐下,缓解交通拥堵。首要一条就是加快建设快速地下通道,增加站点和连接线,还有重点建设中心城市道路、微循环道路、公交专用道路等。另外就是调控小汽车数量,市辖各级党政机关不再增加公务车指标,其他机构和个人的小汽车认购指标以摇号方式分配。还有早晚高峰时间禁止非北京载客车辆进入五环以内,错时上班等等。有的市提出以“公交城市”破解拥堵困局,力争在“十二五”末城市公交出行比例达 45%,并提出“把城市搬到轨道上”的宏伟计划。其他城市也出台过类似措施,只不过各地情况不同,具体办法也各有不同。但是都有一个共同点,就是发展城市快速轨道交通,有计划、分期分批地建造地下铁道、高架轻轨、郊区快速铁路,并与公共汽车、出租车、有轨电车、轮渡等交通工具有机结合,互为补充。同时也要改进现有交通法规,强化居民交通文明意识。

发展地下轨道交通是城市发展的必然趋势,在城市道路被各种车辆相互堵塞的情况下,轨道交通车辆能顺利通行。但轨道交通独占线路空间,在城市地面和空中被各种设施和建筑物布满的情况下,能铺设轨道交通线路的空间极为有限。除在郊区外,繁华街道上方架设轨道线路会增加噪声污染,也影响城市景观,因而地下轨道交通成为最佳选择。但建设地下轨道交通线需要较高技术和大量资金,目前技术已不是问题,很多城市在资金困难情况下,千方百计,积极筹措,有计划、分期分批地修建地下轨道交通线,作为实现“公交城市”的有效保证。

四、城市轨道交通的地位和作用

城市公共交通按照路权的使用性质可以分为共用路权的道路交通和专用路权的轨道交通。道路交通主要包括公共汽车、出租车、无轨电车、自行车等。城市轨道交通主要包括:城市区域铁路、地下铁道、轻轨、有轨电车、索轨铁路、齿轨铁路、单轨铁路、磁浮铁路和胶轮地铁等。几种不同方式的城市轨道交通的主要技术指标见表 1-1-1。

表 1-1-1 几种城市轨道交通方式的主要技术指标

指 标		单 位	地下铁道	轻轨交通	独轨交通	有轨电车
平均站间距离	市区	m	500~800	800~1 000	700~1 500	600~1 200
	市郊	m	1 000 以上	1 000 以上	2 000 以上	—
最高行车速度		km/h	90	80	80	60
旅行速度		km/h	30~45	25~35	18~43	16~20
行车最小间隔		s	50~90	90	90	90
每辆车容量		人	150~310	190~336	80~180	110
列车编组		辆	4~8	2~6	2~6	1~3
单向运输能力		万人次/h	3~8	2~4	1~2	1~1.4

根据国内外城市轨道交通建设的发展状况,总结出它所具备的基本特点是:必须是服务大众的公共交通运输系统;其运输线路位于城市及其影响范围内;列车以电力驱动方式运营;运输线路的大部分需独立于其他交通体系;如道路、其他铁路以外,且路权一般专有;列车采用高频率发车的方式运行。凡符合上述特性的城市公共交通就可以归属于城市轨道交通系统。

地铁和轻轨是城市轨道交通的主要方式,它们在城市公共交通的地位和作用,大致可归纳为下列几点:

(1)地铁和轻轨是大中城市公共交通运输的主干线,客流运送的大动脉,又是城市的生命线工程,直接关系到城市居民的出行、工作、购物和生活。

(2)地铁和轻轨是世界公认的低能耗、少污染的“绿色交通”,对于实现城市可持续发展有重要意义,同时它也是国际化大都市的标志。

(3)快速轨道交通建设可以带动城市沿轨道交通廊道的发展,促进城市繁荣,形成郊区卫星城和多个副都中心,缓解城市中心人口密集、住房紧张、绿化面积小、空气污染严重的城市通病。

(4)提高市民出行办事效率,改善生活质量。香港现有人口 600 万,人口密度最密集的地方 16 万人/km²,每百人拥有小汽车 7.7 辆,但由于香港轨道交通事业十分发达方便,人们大多依靠地铁轻轨上下班、上学和购物,故城市交通秩序井然。同样日本东京人口达 1 000 多万,拥有汽车 600 多万辆,但由于有密集的轨道交通网,绝大多数人上下班、上学、出行均乘坐地铁和市郊铁路,很少乘私人车辆。据统计,目前在东京市民的交通出行总量中,使用轨道交通系统出行的占据 86%,高于纽约的 54%,巴黎的 37%。

第二节 地下铁道概述

地下铁道(简称地铁)是城市快速轨道交通的先驱。地铁不仅具有运量大、速度快、安全、准时、节省能源、不污染环境等优点,而且可以在建筑物密集而不便于发展地面交通和高架轻轨的地区大力发展。因此,地铁在城市公共交通中发挥着巨大的作用,给城市居民出行提供了便捷的交通工具。

如今地铁的概念是泛指车辆轴重大于 15 t,高峰小时单向运输能力在 30 000~70 000 人左右的一种大容量轨道交通系统。地铁的运行线路多样化,其形式包括地下、地面和高架。美国纽约以及我国台湾、香港等地也称其为“大容量轨道交通”(Mass Rail Transit)或“捷运交通

系统”(Rapid Transit System)。这种轨道交通系统的建设规律是,在市中心为地下隧道线,市区以外为地面线或架空线。

目前的地铁技术不断发展,但总的来讲都是电力牵引,都可以实现车辆连挂、编组运行,它的主要技术参数见表 1-2-1。

表 1-2-1 地铁主要技术参数

序号	项 目	技术参数	序号	项 目	技术参数
1	高峰小时单向运送能力	30 000~70 000 人	9	安全性和可靠性	较好
2	列车编组	4~8 节(最多 11 节)	10	正线最小曲线半径	250 m、300 m、350 m
3	列车容量	3 000 人	11	正线最大坡度	30‰,35‰
4	车辆最高运行速度	80~100 km/h	12	舒适性	较好
5	列车旅行速度	>35 km/h	13	城市景观	无大影响
6	车站平均间距	600~2 000 m	14	空气污染、噪声污染	小
7	最大通过能力	>35 对/h	15	站台高度	一般为高站台,乘降方便
8	与地面交通隔离率	100%			

一、地下铁道系统的构成

1. 地下铁道建筑物的组成

地下铁道是一种规模浩大的交通性公共建筑。地铁建筑物根据其功能、使用要求、设置位置的不同,划分成车站、区间和车辆段三个部分。这三个部分用轨道连接,构成一个完整的地铁线路运行系统。

车站是地铁系统中一个很重要的组成部分,地铁乘客乘坐地铁必须经过车站。它与乘客的关系极为密切,同时又集中设置了地铁运营中很大一部分技术设备和运营管理系统,因此,它对保证地铁安全运行起关键作用。车站位置的选择、环境条件的好坏、设计的合理与否,都会直接影响地铁的社会效益、环境效益和经济效益,影响到城市规划和城市景观。

区间是连接相邻两个车站的行车通道,它直接关系到列车的安全运行。区间设计的合理性、经济性对地铁总投资的影响很大,区间的线路标准和质量对乘客乘坐列车时的舒适感和列车运行速度的提高也有影响。

车辆段是地铁列车停放和进行日常检修维修的场所,也是技术培训基地,由各种生产、生活、辅助建筑及各专业的设备和设施组成。

为了保证安全运行和为乘客、员工提供舒适的环境,地铁还有安装通风、空调、采暖、给排水、供电、通信、防灾等设备的建筑物,还要建造可控制单条或多条地铁线路的运营控制中心。它们大部分和车站建在一起,也有单独修建的。

2. 线路及轮轨系统

地铁工程设计必须符合政府主管部门批准的城市总体规划和城市轨道交通线网规划。地铁主体结构工程设计使用年限为 100 年。地铁线路应为右侧行车的双线线路,并采用 1 435 mm 标准轨距。

轨道结构应有足够的强度、稳定性和适量弹性,以保证列车安全、平稳、快速和乘客舒适。正线采用 60 kg/m 钢轨,轻轨线路可用 50 kg/m 钢轨,用弹性扣件和减震垫正确固定钢轨位置,并提供适量弹性。轨枕式整体道床和浮置板式整体道床在地铁中广泛运用。高架轨道段

不适宜采用有砟轨下基础,多用弹性支承无枕式整体道床。

3. 车辆及列车编组

地铁车辆作为旅客运载工具,不仅要保证运行的安全、可靠、快速,而且应考虑乘客的舒适和方便以及公共交通所需的大容量,还应具备故障、事故和灾难情况下对人员和车辆救助的条件。地铁车辆不管采取何种模式,都是电动车组编组,即装有牵引电机、能自行行走的电动客车,称为动车。通常把无驾驶室的车辆称为中间车,牵引电机和驾驶室都没有的车辆称为拖车。在编组运行时,带驾驶室的控制车编在列车的两端。其他车型在列车中的位置可以互换,一般编组车辆数为4~8节。编组辆数由预测客流量以及线路条件、运营组织等因素决定。

无论是动车还是拖车,地铁车辆主要由以下几部分组成: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。

由于地铁车辆主要运行在地下隧道中,并且地铁线路曲线半径小、坡度大、站距短,与地面轨道车辆相比就要具备更好的技术性能。地铁车辆不同于其他轨道车辆的主要特征在于:①地铁车辆具有较好的加减速性能,启动快,停车制动距离短,平均运行速度高。②地铁车辆具有较大的载客容量,车门数多,便于乘客上下车,缩短停站时间。③地铁车辆车型小,适合隧道内运行,而且车辆采用不燃或低温、无卤的难燃材料制成,不易发生火灾。④地铁车辆技术含量较高,一般都安装列车自动控制、自动停车、自动驾驶装置等。

我国现有地铁车辆主要技术规格如表1-2-2所示。

表 1-2-2 地铁车辆的主要技术规格

名 称			A 型车	B 型车
车辆轴数			4	4
车体基本长度(mm)	无司机室车辆		22 000	19 000
	单司机室车辆		23 600	19 600
车体基本宽度(mm)			3 000	2 800
车钩连接中心点间 距离(mm)	无司机室车辆		22 800	19 520
	单司机室车辆		24 400	20 120
车辆最大高度(mm)	受流器车	有空调	3 800	3 800
		无空调	3 600	3 600
	受电弓车(落弓高度)		≤3 810	
	受电弓工作高度		3 900~5 600	
车内净高(mm)			2 100~2 150	
地板面距轨面高(mm)			1 130	1 100
轴重(t)			≤16	≤14
车辆定距(mm)			15 700	12 600
固定轴距(mm)			2 200~2 500	2 000~2 300
每侧车门数(对)			5	4
车门宽度(mm)			1 300~1 400	1 300~1 400
车门高度(mm)			≥1 800	≥1 800

续上表

名 称			A 型车	B 型车
载员(人)	座席	单司机车辆	56	36
		无司机车辆	56	46
	定员	单司机车辆	310	230
		无司机车辆	310	250
	超员	单司机车辆	432	327
		无司机车辆	432	352
车辆最高运行速度(km/h)			80~100	80~100
起动平均加速度(m/s ²)(0~35km/h)			0.83~1.0	0.83~1.0
最高级别常用制动平均减速度(m/s ²)			1.0	1.0
紧急制动平均减速度(m/s ²)			1.2	1.2

地铁列车受电方式有通过接触网—受电弓和接触轨—受电器受电两种,供电电压为DC1 500V和DC750V 两种。

4. 供电系统

地铁供电系统一般包括牵引供电系统、动力照明系统和高压电源系统。其中,牵引供电系统供给地铁车辆需要的电能,由牵引变电所和接触网或接触轨组成;动力照明系统提供车站和区间各类照明、风机、水泵等动力机械设备电源和通信、信号、自动化等设备电源,它由降压变电所和动力照明配电线路组成;高压电源系统视各城市具体情况而定,可以是市电直接供给地铁各变电所,也可由城市高压供电线路集中供给地铁线路,然后由电源变压器再分配给地铁沿线各变电所,还可以是这两种情况的综合。

5. 通信信号系统

通信信号系统在地铁中的作用相当重要,既要确保行车安全,指挥列车运行,又要适应提高现代化管理水平和传输各种声、像信息的需要。地铁通信应做到系统可靠、功能合理、设备成熟、技术先进、经济实用。地铁通信由专用通信系统、民用通信引入系统、公安通信系统组成。专用通信系统应满足正常运营方式和灾害运营方式的通信需求,在正常运营时为运营管理提供信息,在灾害运营时为防灾、救援和事故处理的指挥提供保证。

6. 通风、空调与采暖系统

地铁内部空气环境应采用通风、空调与采暖系统进行控制,系统应保证地铁内部空气质量、温度、湿度、气流速度和噪声等均能满足乘客的舒适感和设备正常运转的需要。

为保证乘客的舒适度,区间隧道除利用列车活塞风外,通常还要设机械式排风。车站和车厢内采用空调以保证一定的空气温度和湿度。地铁的通风排烟设备还用于发生火灾时的救护。地面和高架线路可省去专门的通风设备。

车站和区间隧道设通风道进行机械通风,进风直接采自大气,出风排出地面。采用的空调系统,每个乘客每小时供应的新鲜空气不应少于 12.6 m³,系统的新风量不应小于总送风量的 10%。

地铁车站及区间不设采暖系统。对于最冷月份室外平均温度低于-10℃的地区,车站出入口宜设热风幕。

7. 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、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、人为破坏等危害。因此,地铁对各种灾害的防护都应有相应的措施。特别是火灾防护,要有自动报警、自动消防、通风排烟系统。地铁对战时空袭有优越条件,战时可疏散人流,还可作为人员掩蔽部。

二、地下铁道施工方法简介

施工是修建地下铁道极为关键性的环节,地下铁道的结构和构造随着施工方法的不同而不同。目前常用的施工方法及其适用范围如表 1-2-3 所示。

表 1-2-3 施工方法分类表

序号	施工方法	主 要 工 序	适 用 范 围
1	明挖法	(1)敞口明挖:现场灌注混凝土,回填	地面开阔,建筑物稀少,土质稳定
		(2)用工字钢桩或者钢板桩或灌注桩或旋喷、搅拌桩支护侧壁开挖:现场灌注混凝土,回填	施工场地较窄,土质自立性较差
		(3)地下连续墙:修筑导槽,分段挖槽,连续成墙,开挖土体,灌注结构,回填	地层松软,地下水丰富,建筑物密集地区,修建深度较大
		(4)盖挖法:用桩或者连续墙支护侧壁,加顶盖恢复交通后在顶盖下开挖,灌注混凝土	街道狭窄地面交通繁忙地区
2	新奥法(传统矿山法)(浅埋暗挖法)	(1)对岩石地层采用分部或全断面开挖,锚喷支护或锚喷支护复合衬砌	岩石地层
		(2)对地层加固后再开挖、支护、衬砌	松软地层,无地下水地区;有地下水时要降水
3	盾构法	采用盾构机开挖地层,并在其内装配管片衬砌或浇筑挤压混凝土衬砌	松软地层,无地下水地区,有地下水时要降水
4	顶进法	预制钢筋混凝土结构,边开挖、边顶进	穿越交通繁忙道路、地面铁路、地下管网和建筑物等障碍物地区
5	管段沉埋法	利用船台或干船坞把预制隧道管段浮运至设计位置的沟槽内,处理好接缝,回填土后贯通	过江河或过海峡
6	沉箱法(沉井法)	分段预制隧道结构,用压缩空气排除涌水,开挖土体下沉到设计位置	地下水位高,涌水量大,穿过河流地区
7	辅助施工方法(配合上述施工方法使用)	(1)注浆固结法:向地层注入凝固剂,增加地层强度后进行土体开挖,灌注混凝土结构	局部地层不良、发生坍塌、地下水流速不超过 1 m/s 的地带
		(2)管棚法:顶部打入钢管,压注水泥砂浆,在管棚保护下开挖、立钢拱架、喷混凝土、灌注混凝土	松散地层
		(3)降低地下水水位法:采用井点将地下水位降低,以疏干工作面	渗透系数较大的地层
		(4)冻结法:对松软含水土壤打入冷冻管将地层冻结形成冻土壁,再开挖土层及灌注混凝土结构	松软含水地层

三、地下铁道的适应范围

地下铁道之所以在世界范围内得到广泛发展,一个很重要的原因就在于它具备城市道路交通不可比拟的优势:

(1)地铁是一种大容量的城市轨道交通系统,其单向小时运送能力可达 30 000~70 000 人次左右,而公共汽、电车单向每小时运送能力只在 8 000 人次左右,远远小于地铁,所以在客流密集的城市中心地带建设地铁可以明显疏散公交客流,分担绝大部分城市公共交通流量。

(2)地铁具有可信赖的准时性和速达性。地铁线路与道路交通隔绝,有自己的专用线路,不受气候、时间和其他交通工具的干扰,不会出现交通阻塞而延误时间,因而在保证准时到达目的地方面得到乘客的信赖。

(3)地铁大多在地下或为高架,因而与其他交通方式互不干扰,安全性高。在当今世界汽车泛滥、交通事故居高不下的情况下,如不发生意外或自然灾害,地铁里乘客的安全性较高,这也是地铁吸引客流的原因之一。

(4)地铁噪声小、污染少,对城市环境不造成破坏。

(5)在城市发展空间日益狭小的今天,地铁充分利用了地下空间,节约出地面宝贵的土地资源为人类所用,这在一定程度上也刺激了其自身的发展。

虽然地铁具有很多其他交通方式并不具备的优势,但其缺点也相当突出,制约着地铁的进一步发展。地铁的绝大部分线路和设备处于地下,而城市地下各种管线纵横交错,极大地增加了施工难度,而且在建设中还涉及隧道开挖、线路施工、供电、通信信号、通风照明、振动噪声等一系列技术问题以及要考虑防灾、救灾系统的设置等,都需要大量的资金投入,因此,地铁的建设费用相当高。在日本,每千米地铁建设费用要超过 200 亿日元,我国每千米地铁造价达 5 亿~8 亿人民币。即使对工业发达国家来说,大量建设地铁所需的费用也是难以承担的。地铁不仅建设费用比较高,而且建设周期长,见效慢。地铁还有一个致命的弱点在于,一旦发生火灾或者其他自然灾害,乘客疏散比较困难,容易遭受重大人员伤亡和财产损失,对社会造成不良影响。

第三节 地下铁道的发展历程

一、地铁和轻轨的发展历程

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的 5.2 km 的另一条线路。从此,城市交通进入轨道交通时代,因此可以说轨道交通的历史比汽车还悠久。

1892 年 6 月 6 日,芝加哥建成世界上第二条蒸汽机车驱动地铁,1895 年 5 月 6 日建成世界第二条电气化地铁;1895 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;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。

1900 年 7 月 9 日,巴黎建成世界上第六、欧洲第二条电气化地铁;1901 年 12 月 10 日,纽

约建成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,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地铁。截至 1963 年,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 年世界大约共有 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 月德国出版的《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。现在全世界约有 120 多个城市建有地铁。从 1863~2005 年增加的线路是 1863 年到 1963 年一百年建成地铁总长度的 3 倍。

城市轨道交通的发展经历了一个曲折的过程,大致可以分为以下 4 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的发展。这种旧式的有轨电车行驶在城市道路的中间,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(1924~1969 年)

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修建了有轨电车,到 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的地方,于是人们又重新认识到,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,而且从欧美发展到亚洲的日本、中国、韩国、巴西、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(1970~2015 年)

世界上很多国家都确立了优先发展轨道交通的方针,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 11 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。上海是当今世界运行线路最长的城市,至 2015 年底,共有线路 15 条,全长 588 km。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。巴黎地铁也是当今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速度之冠。香港地铁使用密度高达 10 万人

次/km·日,平均每天223.5万人次,1999年圣诞节创新高300万人次/日。香港地铁1994年总收入51.3亿港元,扣除经营开发、拆除、利息和财务开支后,当年利润为10.38亿港元。世界各国地铁均依靠政府补贴,唯独香港地铁既能解决市区出行,同时又可创利。新加坡地铁又叫“大众捷运系统”,由3条干线组成“锚”形,东西长,南北短,运营总长101 km,共设49个车站,平均站距1.59 km,日均客运量80万人次,占新加坡公交总客运量的60%。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。

21世纪的地铁,以高速、正点、低能耗、少污染、安全、舒适等功能吸引大中城市客运交通的80%以上。美国、日本、德国、法国等经济发达国家不断加大地铁的科技投入,许多新材料、新技术、新工艺运用在地铁工程中。

新一代轨道交通要采用可调式转向架,使列车在运行时适应不同轨距的变化。开发地铁轻轨智能运输系统(ITS),满足各种乘客的旅行需要。研制新的橡胶减震轨道系统,减少噪声、振动,降低能耗,改进车体设计,保证时速350 km/h情况下,噪声控制在75 dB以下。开发新一代自动信号控制系统(ATC),实现列车的自动运行、自动保护、自动监控。车辆材料推广采用国际先进的拉伸铝合金型材为基础的结构轻型车体,保证车辆运行中的稳定性,新的地铁轻轨列车应装有IGBT智能模块和VVVF交流变频调压传动技术。主传动为鼠笼式感应电动机,采用现代微机处理电子控制技术,对运行列车轨道、各类设备和仪器故障自动诊断显示,自动修复。

二、中国地铁的发展

我国的第一条地铁于1965年在北京修建,第一期工程全长22.17 km,1971投入运营。天津地铁一号线1970年动工,1980年通车。上海在20世纪90年代初即已开始大力发展轨道交通,地铁一号线1995年建成通车。国内很多大中城市在20世纪80年代末、90年代初都在积极筹备修建地铁的工作,但由于造价高昂,国家在1996年、2002年先后两次“急刹车”,冻结了许多城市的地铁项目。2005年再次解禁,除了缓解城市交通拥堵的迫切需要外,还与我国宏观经济调控政策有关系,此后许多城市的地铁和轻轨纷纷上马。

目前,我国城市轨道交通建设正处于高速发展期,据统计,到2014年底,全国共有22个城市的轨道交通投入了运营,线路总里程约为2 934 km,共有35个城市126条线路(含续建)正在紧张建设中,总里程超过3 000 km。已发展和规划发展城市轨道交通的城市总数超过54个,全部规划线路超过480条,总里程超过23 000 km。

1. 北京地铁

在20世纪50年代末期,中国开始规划在北京、沈阳、上海三座重要城市修建地铁以作为平战结合的战备防御手段。北京地铁首先开工。一期工程于1965年7月1日开工建设,其线路自西向东贯穿北京市区,连接西山的卫戍部队驻地和北京站,采用明挖回填法施工,全长23.6 km,1969年10月1日建成通车,1971年投入运营,使北京成为中国第一个拥有地铁的城市。北京地铁二期工程开始于1969年,其线路沿北京内城城墙自建国门至复兴门,呈倒U字形,线路全长为17.2 km。1981年9月15日,北京地铁正式对外运营。北京地铁复八线于1992年6月24日开工建设,1999年9月28日通车试运营,2000年6月28日与1号线地铁全线贯通。北京地铁13号线(城市铁路)于2002年9月起分段开通,将霍营、回龙观和北苑等城北住宅区和上地信息产业基地与中心城区联系起来。八通线于2003年开通,对改善通州交通