

地铁工程监测测量人员培训教材

地铁工程监测测量 管理与技术

住房和城乡建设部工程质量安全监管司 组织审定
北京交通大学 组织编写

中国建筑工业出版社

地铁工程监测测量人员培训教材

地铁工程监测测量管理与技术

住房和城乡建设部工程质量安全监管司 组织审定
北京交通大学 组织编写



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地铁工程监测测量管理与技术/北京交通大学组织编写. —北京:中国建筑工业出版社, 2013. 9

地铁工程监测测量人员培训教材
ISBN 978-7-112-15507-1

I. ①地… II. ①北… III. ①地下铁道-施工监理-技术培训-教材 ②地下铁道-工程测量-技术培训-教材
IV. ①U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 124800 号

近年来,我国地铁工程建设迅速发展,施工技术和管理力量紧缺的问题日益突出,对质量安全培训工作提出了新的要求。为了切实增强培训的针对性和实效性,提高地铁施工质量安全管理水平,住房和城乡建设部工程质量安全监管司委托北京交通大学等单位编写了本教材。

本教材主要包括三部分内容:第一篇地铁工程综述,包括地铁工程及其发展概况、工程监测与测量的地位和作用、地铁工程常用施工方法及风险管理;第二篇地铁工程监测,包括工程监测的基本技术要求与管理,工程监测方法与仪器以及各种施工方法的监测项目、监测频率与周期、监测要求,并附工程案例进行说明;第三篇地铁工程测量,包括工程测量的主要内容及管理制度,地面控制测量,联系测量,地下工程测量,地面线及高架线施工测量,铺轨及设备安装工程测量等。

本教材可供地铁建设、施工及监理单位相关技术人员和安全管理参考使用。

* * *

责任编辑:孙玉珍

责任设计:李志立

责任校对:刘梦然 赵颖

地铁工程监测测量人员培训教材 地铁工程监测测量管理与技术

住房和城乡建设部工程质量安全监管司 组织审定
北京交通大学 组织编写

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:22¼ 字数:550 千字

2013 年 8 月第一版 2013 年 8 月第一次印刷

定价:58.00 元

ISBN 978-7-112-15507-1

(24133)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

编 审 委 员 会



主 任：郭允冲 施仲衡

副 主 任：常 青 张 弥 曲 琦

主 编：刘伊生

副 主 编：金 淮 张建全

编写人员：刘伊生 金 淮 张建全 王肖文 侯 静

刘 佳 任 干 耿长良 龚洁英 熊琦智

高爱林 汤发树 曹宝宁 马全明 刘永勤

审 稿：徐祯祥 秦长利 贺少辉 刘 军 曹伍富

刘永中 王暖堂 王 健 陈 建 张红梅

索 欢

前 言



近年来，我国地铁工程建设发展迅速，专业技术和管理力量紧缺的问题日益突出，对专业人员质量安全培训工作提出了新的要求。为了规范培训基本内容，增强培训针对性和实效性，住房城乡建设部工程质量安全监管司组织编写了一套适用于地铁工程专业技术和管理人员质量安全培训的基础性、普及性教材。

教材旨在满足地铁工程专业人员了解地铁工程特点，掌握地铁工程质量安全控制重点和难点，提高工程质量安全水平的需求。一方面，有助于新从事地铁工程的人员尽快掌握必要的专业知识和工作方法，提高质量安全意识，达到工作岗位要求；另一方面，有助于具备一定地铁工程经验的人员进一步学习和巩固专业知识，借鉴相关案例，综合提升工作能力。教材可适用于各级建设主管部门或有关企业组织开展的地铁工程专业人员质量安全培训。

按适用对象不同，教材分为建设管理、勘察设计、施工、监理、监测测量等专业分别出版。参加教材编审的既有长期从事工程建设的专业人员，又有相关高校的专家学者，具有扎实的专业知识和丰富的实践经验，以及比较广泛的代表性。编审人员在确定框架、收集资料、充实内容、审定书稿等方面做了大量工作，数易其稿，力求完善。教材既包涵了编审人员的集体智慧，也代表着城市轨道交通工程行业的共同财富，希望教材能够为我国地铁工程专业人员培育以及地铁工程健康快速发展发挥应有作用。

教材既介绍了相关法律、法规和标准规范的规定，又着重指出了工程实践中的重点和难点；既有专业知识阐释，又有典型案例分析；既有对工程经验教训的总结，也有对工程技术发展的前瞻介绍。教材注重理论与实践、经验与知识相结合，力求学以致用、解决实际问题。

这本监测测量培训教材主要内容包括：地铁工程监测和测量综述；地铁工程监测基本技术要求、方法、仪器设备以及主要施工工法和周边环境的监测；地铁工程测量基本内容，地面及地下控制量测，地下工程、地面线及高架线施工测量，铺轨及设备安装工程测量等。重点介绍了地铁工程各主要施工工法和不同工程部位的监测测量质量安全控制要点、措施以及典型案例。

教材编写工作得到了北京城建勘测设计研究院等单位以及许多专家学者的大力支持和热情帮助，在此表示衷心感谢。

由于时间仓促，教材中难免存在一些不完善、不准确、不恰当的地方，真诚希望读者提出宝贵意见。

编审委员会

2013年4月

目 录



第一篇 地铁工程综述	1
第一章 地铁工程及其发展概况	1
第一节 地铁工程的组成及特点	1
第二节 工程建设法规及标准	5
第三节 国内外发展概况	6
第二章 工程监测与测量的地位和作用	10
第一节 工程监测的地位和作用	10
第二节 工程测量的地位和作用	14
第三章 地铁工程常用开挖方法	17
第一节 明（盖）挖法	17
第二节 矿山法	22
第三节 盾构法	25
第四章 地铁工程施工风险管理	30
第一节 地铁工程施工风险管理程序和职责	30
第二节 地铁工程施工风险分析	33
第三节 地铁工程施工风险控制措施	39
第二篇 地铁工程监测	46
第五章 工程监测的基本技术要求与管理	46
第一节 工程监测的基本技术要求	46
第二节 工程监测管理	55
第六章 工程监测方法及仪器	68
第一节 工程监测方法概述	68
第二节 几何测量监测方法	70
第三节 仪器测试方法	84
第四节 监测新技术	101
第五节 监测仪器元件选型	107
第七章 明（盖）挖法工程监测	111
第一节 监测项目确定	111
第二节 监测频率与周期	113
第三节 监测要求	114

目 录

第四节 明挖法工程监测案例	130
第八章 矿山法工程监测	140
第一节 监测项目确定	140
第二节 监测频率与周期	142
第三节 监测要求	143
第四节 矿山法工程监测案例	153
第九章 盾构法工程监测	164
第一节 监测项目确定	165
第二节 监测频率与周期	166
第三节 监测要求	167
第四节 盾构法工程监测案例	172
第十章 周边环境监测	180
第一节 建（构）筑物监测	180
第二节 桥梁监测	185
第三节 地下管线监测	187
第四节 高速公路与城市道路监测	190
第五节 既有轨道交通监测	193
第六节 周边环境对象监测案例	196
第三篇 地铁工程测量	203
第十一章 工程测量的主要内容及管理制度	203
第一节 工程测量的内容和手段	203
第二节 工程测量管理制度	205
第十二章 地面控制测量	209
第一节 概述	209
第二节 地面平面控制测量	210
第三节 地面高程控制测量	223
第四节 工程案例	228
第十三章 联系测量	241
第一节 概述	241
第二节 平面联系测量	243
第三节 高程联系测量	251
第四节 其他联系测量	253
第五节 工程案例	255
第十四章 地下工程测量	261
第一节 平面和高程控制测量	261
第二节 隧道、车站施工测量	265
第三节 隧道结构断面测量	276
第四节 工程案例	283

第十五章 地面线及高架线施工测量.....	286
第一节 地面线施工测量	286
第二节 高架线施工测量	288
第三节 工程案例	291
第十六章 铺轨及设备安装工程测量.....	294
第一节 铺轨工程测量	294
第二节 设备安装工程测量	320
第三节 工程案例	322

第一篇 地铁工程综述

第一章 地铁工程及其发展概况

第一节 地铁工程的组成及特点

一、地铁工程的组成

地铁工程主要由土建工程和机电设备两部分组成。土建部分包括车站、隧道、桥梁、路基、轨道以及主变电所、集中冷站、控制中心及车辆基地的土建部分等；机电设备部分包括建筑设备（又称常规设备）和轨道交通系统设备。建筑设备是指给排水与消防系统、建筑电气、电梯与自动扶梯、防灾报警系统（FAS）、通风空调与采暖系统、人防系统、环境与设备监控（BAS）系统等。轨道交通系统设备是指通信系统、信号系统、供电系统、电力监控系统（SCADA）、屏蔽门/安全门系统、自动售检票系统（AFC）、旅客信息系统（PIS），以及车辆系统和控制中心（OCC）等。

1. 土建工程

地铁车站由车站主体（站台、站厅、生产与生活用房）、出入口与通道（乘客进行地面和地下换乘的必经之路）、通风道和地面风亭（一般布置在车站的两头端部）等三大部分组成。车站应满足预测客流的需求，应保证乘降安全、疏导迅速、布置紧凑、便于管理，并应具有良好的通风、照明、卫生、防灾等设施，为乘客提供安全的候车、乘车环境。车站的站厅、站台、出入口、通道、人行楼梯、自动扶梯、售检票口（机）等部位的规模和通过能力应相互匹配。

（1）隧道。隧道是连接两个地下车站的建筑物，包括行车隧道、渡线、折返线、地下停车线、联络通道、集水泵房以及其他附属建筑物。

（2）轨道。轨道是指路基或结构面以上的线路部分，是由钢轨、轨枕、连接零件、道床、道岔和其他附属设备等组成的构筑物。根据环境保护对地铁沿线不同地段的减震、降噪要求，轨道应采用相应的减振轨道结构，并具有良好的绝缘性。

（3）路基。路基是指按照线路位置和一定技术要求修筑的带状构筑物，一般位于地下隧道通往路面车辆段或停车场的线路上，包括路堤、路堑和附属结构。

（4）车辆。车辆基地是指具有配属车辆以及承担车辆的运用管理、整备保养、检查工

作和承担较高级别的车辆检修任务的基本生产单位。综合基地是为了保证地铁正常运营而设立的综合维修中心、物资总库、培训中心和必要的生活设施场所。基地的土建工程包括路基工程、道路及广场工程、房屋工程等。

2. 机电设备

(1) 建筑设备

建筑设备安装与一般房屋建筑工程类似,但需要考虑地铁工程的特点。

1) 给水排水系统:地铁工程的给水排水系统用来满足生产、生活和消防用水对水量、水压和水质的要求。给水排水系统分别由给水系统和排水系统两部分组成。生活、生产给水系统由水源(城市自来水)、水池、水泵、水塔(水箱)、气压罐、管道、阀门、水龙头等组成;消防给水系统由水源(城市自来水)、消防地栓、水泵结合器、消防水泵、管道、阀门、消火栓(喷头)、水流指示器等组成。

2) 消防系统:地铁消防系统包括火灾报警系统、气体灭火系统、水消防系统、防排烟系统和疏散系统(疏散标志和事故照明)。其中,气体灭火系统的管网系统中气体钢瓶、阀、管等应承受高压气体。

3) 通风空调与采暖系统:通风空调与采暖系统可以保证地铁内部空气环境的温度、湿度、气流速度和空气质量满足人员生理要求和设备正常运转需要,当隧道、车站公共区及设备及管理用房内发生火灾事故时,应能进行有效的排烟、通风。

4) 低压配电及照明系统:低压配电及照明系统可分为照明和低压配电两个子系统,均采用380V三相五线制、220V单相三线制方式供电。照明系统范围为车站降压所变压器后的照明设备、设施及线路。原则上,在车站站台、站厅的两端分别设置照明配电室,室内集中安装各类照明配电控制箱;设置事故照明装置室,室内安装一套事故照明装置。低压配电系统为站台、站厅和设备及管理用房的环控、排水、消防、电(扶)梯、自动售检票及通信、信号、站控室等系统设备供配电和车站环控室内供配电设备的控制。

5) 自动扶梯与电梯:自动扶梯与电梯是乘客进出地铁车站的重要工具。车站出入口一般都设置自动扶梯,站厅层与站台层之间根据各站客流不同分设上、下行自动扶梯;为方便残疾人乘坐地铁,在车站站厅与地面之间、站厅层与站台层之间,设置垂直电梯。地铁自动扶梯采用重载荷公共交通型,主要由桁架、梯路系统、扶手带、主机及驱动系统、电气控制及安全装置组成。自动扶梯与电梯属于机电安装工程中的重型设备之一,其运输与到位的吊装是机电安装工程的安全重点之一。自动扶梯顶部吊钩或吊装孔是设备就位的必要条件,且受力载荷较大,需在土建工程施工时预埋且确保质量。

6) 防灾报警系统:地铁防灾报警系统在水灾、火灾、地震、雷击、行车及人为事故等灾害之前,要实现可靠报警。系统防灾自动报警系统由防灾报警主机(设在行车调度指挥中心)、防灾报警分机(设在各车站综合控制室、控制中心大楼、主变电所、车辆段检修车库、混合变电所、材料总库)、车站现场设备及将所有设备联系在一起的通信网络等四部分组成。所有区域内设置消防设施的联动控制设备,包括气体灭火控制设备、水消防设备、防排烟设备、防火卷帘门、风阀、电梯、非消防电源的断电控制、疏散诱导标志灯等,防灾报警系统直接或间接控制这些设备。

7) 环控系统:环控系统是指对车站站厅、站台、隧道、设备及管理用房等处所的环

境进行空气处理（调节区域内的空气温度、湿度，并控制二氧化碳、粉尘等有害物质的浓度）的系统，包括风系统（隧道通风系统、车站公共区的制冷空调及通风排烟系统、车站管理及设备用房空调排烟系统）、车站空调水系统和集中供冷系统，涉及大量的风机、空调机、冷水机、水泵、冷却塔、水（风）阀和水（风）管路的安装，其中，不乏大型设备的吊装、就位等作业。

（2）轨道交通系统设备

1) 通信系统：主要分为专用通信和公务通信两大类。为满足地铁交通安全、高效运营的需要，要建立安全可靠、独立且能传送语言、文字、数据、图像等信息的综合业务数字网。其中包括：传输交换、专业电话、无限通信、电视监视、遥控遥测、有线广播、列出广播、时钟、自动电话、直通电话会议、办公管理自动化和集中监测等子系统。

2) 信号系统：城市地铁信号系统一般采用列车自动控制系统（ATC），主要由列车自动监控子系统（ATS）、列车自动防护子系统（ATP）和列车自动运行子系统（ATO）组成。

3) 供电系统：由两大部分组成，一部分为外部电源，即城市电网；一部分为地铁内部供电系统，即通常所说的供电系统，包括变电所、牵引供电系统和变配电系统等三部分。

主变电所由城市电网的变电所引入两路 110kV 独立电源，主变电站内设主变压器，地铁内部由 35kV 电压组成一个独立的供电网络，该网络以两路电源向沿线各牵引降压混合变电所和车站降压变电所供电。

牵引供电系统包括牵引变电所与牵引网。一般由 35kV 供电线路组成独立供电网络，该供电网络以双回路馈电电缆箱所有混合变电所及降压变电所供电。牵引网络系统由接触网和回流网组成，接触网为正极，回流网为负极，并分别通过上网电缆和回流电缆与牵引变电所连接，电压等级与馈电方式是牵引网供电制式中的关键。接触网（或三轨）主要应满足地铁电气条件、线路条件、气候条件、悬挂类型、限界要求等运行条件，并保证机车的正常取流。直流 1500V 采用架空接触网，直流 750V 有采用架空接触网的，也有采用接触轨的。《地铁直流牵引供电系统》GB/T 10411—2005 规定，电压在直流 1500V 及以上的接触网宜采用架空接触网型式。

变配电系统包括降压变电所与动力照明配电系统，主要是供应全线运营用电、各系统用电、办公和照明用电等。

4) 电力监控（SCADA）系统：采用微机运动装置，主机对主变电所、牵引降压变电所、混合变电所、车站降压变电所等实行集中监视、控制和测量，其具备遥控功能、遥信功能、遥测功能、遥调功能。包括主站（电力监控中心）及传输通道。主站应设在控制中心大楼内。子站（执行端）设在各变电所，通道与通信合用光缆传输。

5) 屏蔽门/安全门系统：安装于地铁沿线车站站台边缘，用以提高运营安全系统、改善乘客候车环境、节约运营成本的一套机电一体化的机电设备系统。屏蔽门系统作为站台公共区与轨道列车之间的可控通道，其功能是列车进站时配合列车车门动作打开或关闭滑动门，为乘客提供上下列车的通道。

二、地铁工程建设特点

地铁工程穿行于城市交通要道和人口密集区，线长、面广，扰动土层深度较大，地铁工程建设具有如下特点：

1. 工程地质条件复杂

地铁工程地质环境比较复杂。例如，上海、广州、深圳等沿海城市或南方城市的工程地质水文地质条件复杂多变，地铁线路经过海积、海冲积、冲积平原和台地等多种地貌单元，常位于“软硬交错”地层（上部为人工填土、黏性土、淤泥质土、砂类土及残积土，下部为花岗岩、微风化岩等坚硬岩石层，或者孤石），还常遇到断裂破碎带、沉降区、地裂缝和溶洞等特殊地质构造，穿越或邻近江河湖海时，地下水丰富、水位高。

2. 工程周边环境复杂

由于地铁长距离穿行于城市交通要道和人口密集区域，建筑物、构筑物、既有轨道交通设施、桥梁、隧道、道路、管线、地表水体等周边工程环境复杂，不可预见因素较多，稍有不慎，容易引发安全事故，导致经济损失和人员伤亡，造成不良社会影响。

3. 工程投资规模大

地铁工程建设成本非常高，从我国建成的地铁线路来看，综合平均造价为 5~7 亿元/km 左右，轻轨在 3 亿元/km 左右，工期相对较长，线路跨度城区范围广、人员投入多、实物工程量巨大。

4. 工程技术复杂

地铁工程是土建施工及机电设备安装复杂的综合性系统工程，工程本身涵盖专业领域广泛，除公共建筑工程具有的专业外，还涉及信号、机电及轨道等专业系统工程。同时，随着地铁工程向智能信息化、环保节能化发展，施工机械化水平将不断提高，对地铁工程建设人员专业水平及施工工艺精细化程度的要求会越来越高。

5. 工程协调量大

地铁工程参建单位包括建设、勘察、设计、施工、监理、监测、检测和材料设备供应等单位，专业多、项目多、环节多、接口多，作业时空交叉，组织协调量大。同时，其线性特征致使工程建设影响对周边环境影响区域较大，拆、改、移工作量大，协调难度也非常大。为使工程建设顺利进行，必须协调好与沿线居民的关系，与工程所在区域的管理单位实现有效沟通。

6. 控制标准严格

为确保隧道、深基坑施工（含降水）过程中，建筑物、构筑物、既有轨道交通设施、桥梁、隧道、道路、管线、地表水体等工程周边环境不发生过量沉降和坍塌，确保其安全，要求严格控制沉降（包括绝对值和速率等）。例如地面累计沉降量，一般要求控制在 30mm 以内。

7. 施工安全风险大

地铁工程的前述特点决定了地铁工程施工安全风险（包括工程本身的风险和对工程周

边环境的风险)大,风险关联性强。如果水文工程地质条件不明,工程周边环境不清,措施准备不充分,很容易出现安全质量事故和险情,造成人员伤亡和经济损失。

第二节 工程建设法规及标准

一、建设法规及政策

1. 建设法规

与地铁工程建设质量、安全相关的行政法规见表 1-1。

地铁工程建设法规 表 1-1

序 号	法 规 名 称	国务院令	实施日期
1	《建设工程质量管理条例》	第 279 号	2000 年 1 月 30 日
2	《建设工程勘察设计管理条例》	第 293 号	2000 年 9 月 25 日
3	《建设工程安全生产管理条例》	第 393 号	2004 年 2 月 1 日
4	《生产安全事故报告和调查处理条例》	第 493 号	2007 年 6 月 1 日

2. 部门规章及政策

与地铁工程建设质量、安全相关的部门规章及政策见表 1-2。

地铁工程建设相关部门规章及政策 表 1-2

序号	规章及政策	颁布令/文号	实施日期
1	《实施工程建设强制性标准监督规定》	建设部令第 81 号	2000 年 8 月 25 日
2	《建筑工程安全生产监督管理工作导则》	建质 [2005] 184 号	2005 年 10 月 13 日
3	《关于落实建设工程安全生产监理责任的若干意见》	建市 [2006] 248 号	2006 年 10 月 16 日
4	《关于进一步加强地铁建设安全管理工作的紧急通知》	建质电 [2008] 118 号	2008 年 11 月 19 日
5	《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》	建质 [2009] 87 号	2009 年 5 月 13 日
6	关于印发《城市轨道交通工程安全质量管理暂行办法》的通知	建质 [2010] 5 号	2010 年 1 月 8 日

二、建设标准

与地铁工程监测、测量相关的标准主要有:

- (1)《城市轨道交通技术规范》GB 50490—2009;
- (2)《工程测量规范》GB 50026—2007;
- (3)《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308—2008;
- (4)《地铁设计规范》GB 50157—2003;
- (5)《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299—1999 (2003 年修订);
- (6)《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307—2012;
- (7)《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652—2011;

- (8)《城市轨道交通通信工程质量验收规范》GB 50382—2006;
- (9)《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》JGJ/T 170—2009;
- (10)《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446—2008;
- (11)《建筑变形测量规范》JGJ 8—2007;
- (12)《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897—2006。

第三节 国内外发展概况

一、国外发展概况

1. 发展历史

自第一条地下式铁路于 1863 年在伦敦通车,国外地铁工程建设已经历了近 150 年的历史。目前,地铁已成为国际现代化大都市的象征,是城市社会公益性发展的重要内容。20 世纪 70 年代以来,工程技术的迅速发展,以及环保问题、能源结构问题的日益突出,世界上许多国家都确定了发展城市轨道交通的方针,促进了城市轨道交通的发展。据粗略统计,世界上已有 40 多个国家和地区的 127 座城市建造了轨道交通,累计轨道交通线路总长度约 5270km,年客运总量约为 230 亿人次。

全世界已有 100 多个 20 万以上人口的城市相继建设了以轨道交通为骨干,以道路交通为基础,同时发展其他交通方式的立体化交通网络。东京、伦敦、巴黎、纽约、柏林、莫斯科、首尔等城市在 20 世纪建成了与城市人口和环境发展相匹配的城市轨道交通网络。

(1) 东京。自 1927 年首条线路建成至今,已拥有世界大城市中最长的轨道交通线路,全长近 2000km;年运量在 100 亿人次以上,市郊铁路列车最小运行间隔为 2min,最大编组为 15 节,每小时每方向运输能力多达 10 万人次;最近 20 多年共新建地铁近 140km,总里程达 230km;有 7 家分布在郊区的私营铁路公司,服务质量优于国有铁路,同时价格较便宜。

(2) 伦敦。伦敦早已实现客运以轨道交通为主的目标。地铁共有 9 条线路,总长 408km,其中 167km 在地下;运行间隔为 2~2.5min,郊区为 10min,最大编组为 8 节;市郊铁路共有 650km,550 个车站,市中心有 15 个终点站,线路呈放射状布置,有的线路直通距市中心 40km 以上的新城。

(3) 巴黎。巴黎是欧洲地区的交通枢纽和对外门户之一。1908 年,巴黎建成了第一条城市轨道交通线路,经过一个世纪的发展,巴黎的轨道交通包括地铁、轻轨铁路和市郊铁路,承担着全市公共交通 70% 的运量,另外的 30% 由市内和郊区汽车承担;有地铁 15 条,总里程达 199km,是内城公共交通的骨干,乘客徒步 5min 就可到达地铁站;列车最小运行间隔 95s,市郊铁路有 16 条,长 760km。

(4) 纽约。1904 年,纽约首条城市轨道交通线路建成。发展至今,纽约的公共交通占总交通量的 53%,到内城的客运 80% 采用包括地铁、市郊铁路和公共汽车在内的大容量交通工具;市区铁路线共有 27 条,长 443km,所有的车站通宵服务。纽约的轨道交通

系统分为两个独立的系统——地铁网和通勤铁路网。

(5) 莫斯科。1935 年, 莫斯科第一条线路建成。如今, 莫斯科拥有一个跨及全市的立体交叉地铁网, 总长 243km, 包括 140 多个车站, 由 1 条环线和 8 条放射线组成; 每天运营 20h, 高峰时列车间隔为 75s, 时速 41km, 日运量超过 800 万人次, 居世界之首; 客运密度为每公里 1400 万人次以上, 高于伦敦、纽约、巴黎。

2. 发展特点

国外城市轨道交通的发展具有以下特点:

(1) 发展趋势多样化。目前, 国际上技术比较成熟、已经上线运营的城市轨道交通有地铁、市郊铁路、轻轨、单轨、导轨、线性电机牵引的轨道交通及有轨电车 7 种。

(2) 规模化和网络化。纽约、伦敦、巴黎、莫斯科、东京等轨道交通较为发达的城市, 已经形成一定的轨道交通规模和网络, 可以延伸到城市的各个方向。

(3) 与城市规划紧密结合。例如巴黎的市域快速轨道交通 (RER) 线规划和建设正是为了适应这种巴黎城市人口的集中和郊区城市化的需要。

(4) 资金来源以政府为主。从总体来看, 国外轨道交通的建设投资资金主要来源于国家政府、地方政府的共同出资, 或者连同城市轨道交通收益部门与个人共同投资。

二、国内发展概况

1. 发展历程

随着我国经济快速发展, 城市机动车数量激增导致了地面交通的拥堵。而长期以来, 我国城市轨道交通建设相对滞后, 轨道交通运营总长度、密度及负担客运的比例均远低于世界平均水平。国际经验表明, 当一个国家的城市化率超过 60%, 为解决大城市的交通拥堵问题城市轨道交通将高速发展, 并由此拉动城市轨道交通建设投资的迅速增加。显然, 建设城市轨道交通是缓解地面交通压力的一种有效方式。

我国地铁发展经过了 50 多年的历程, 按发展特点可分为以下 4 个阶段。

(1) 起步阶段 (1965~1980 年)。20 世纪 50 年代末, 开始规划在北京、沈阳、上海三座重要城市修建地铁。北京地铁 1 号线是我国第一条地铁, 线路从北京站到苹果园站, 全长 23.6km, 采用明挖回埋法施工, 至 1969 年 10 月 1 日建成通车。随后, 建设了天津地铁 (现已拆除重建)、哈尔滨人防隧道等工程。该阶段地铁工程建设兼顾了人防功能。

(2) 发展阶段 (1980~1990 年)。20 世纪 80 年代末至 90 年代初, 我国仅有上海、北京、广州等几个大城市规划建设地铁。该阶段地铁建设开始真正以城市交通为目的。

(3) 政府调控阶段 (1990~1999 年)。进入 20 世纪 90 年代, 一批省会城市开始筹划建设地铁工程, 纷纷进行地铁建设的前期工作。由于要求建设的工程项目较多且造价高, 1995 年 12 月国务院发布国办发 [1995] 60 号文, 暂停了地铁项目的审批。同时, 原国家计委开始研究制定地铁设备国产化政策。

(4) 建设高潮阶段 (1999 年至今)。1999 年以后, 国家逐步鼓励大中城市发展轨道交通, 地铁建设进入高速发展期。2005~2012 年期间, 我国的轨道交通里程超过 1000km, 截至 2012 年底, 全国包括港、澳、台地区已有北京、天津、上海、广州、南京、沈阳、

成都、武汉、西安、重庆、深圳、杭州、苏州、长春、大连、佛山、昆明、香港、台北 19 个城市的轨道交通投入运营,线路总里程约为 2042km。其中,北京、上海、广州三个特大城市轨道交通网络已经初步形成。至 2012 年底,北京市城市轨道交通总里程达到 442km,提前 3 年完成了预定到 2015 年的目标里程。上海市轨道交通开通运营的总里程已达 420km,跻身世界前五名,超过了不少已有近百年地铁历史的欧美著名城市,2015 年上海城市轨道交通运营里程将达到 600km。广州为了迎接亚运会,2010 年 10 月 30 日,总长 86km 的 6 条线路(段)同时开通,创造一次性开通线路最多、里程最长的地铁建设纪录,同时也完成了地铁路线覆盖八成以上比赛场馆的亚运承诺,至 2010 年底,广州开通运营轨道交通已达 236km。

近年来,我国城市轨道交通建设进程不断加快。截至 2012 年底,国务院已批复 35 个城市的轨道交通近期建设规划,包括北京、天津、上海、广州、深圳、武汉、重庆、长沙、宁波、贵阳、成都、合肥、大连、南京、昆明、东莞、苏州、无锡、沈阳、长春、西安、杭州、郑州、南昌、青岛、福州、厦门、哈尔滨、南宁、石家庄、太原、济南、乌鲁木齐、兰州、长沙等城市。按照现有规划,2011~2020 年全国城市轨道交通将新增里程 4300km 左右,如果按每千米 5 亿元的平均投资额估算,投资总规模将超过 2 万亿元。

在里程增加的同时,我国城市轨道交通正逐步向多样化发展,正在形成以地下铁道为骨干、多种类型并存的城市轨道交通体系。上海、武汉、天津、大连等城市建成了快速轻轨交通系统;长春、大连进行了有轨电车改造,鞍山也准备对现有有轨电车进行改造,北京、上海正在酝酿新建有轨电车线路;重庆建成了我国第一条跨座式的单轨交通系统;上海浦东龙阳路至浦东国际机场开通了磁悬浮高速线;广州和北京已建成或正在建设直线电机驱动的轨道交通线路;北京首都机场内正在建设全自动化的新交通系统(APM)等。

2. 部分城市轨道交通发展概况

(1) 北京。北京是中国第一个拥有地铁的城市。1965 年 7 月 1 日,北京市开始兴建第一条地下铁道,即地铁 1 号线,一期工程全长 23.6km,于 1969 年 10 月 1 日建成通车。由于属于战备工程,北京地铁在通车后很长时间内不对公众开放,需凭介绍信参观及乘坐。北京地铁二期工程始于 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,设 12 座车站及太平湖车辆段,线路长度为 17.2km。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,2000 年 6 月 28 日与一线全线贯通。北京地铁 13 号线于 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,对改善通州交通环境起重要作用。

2007~2011 年底,北京地铁 5 号线、10 号线一期、奥运支线(北京地铁 8 号线一期)和机场线、4 号线、亦庄线、大兴线、房山线(苏庄至大葆台)、15 号线(顺义线,一期首开段望京西到后沙峪)和昌平线(一期西二旗到南邵)、8 号线二期北段(森林公园南门到回龙观东大街)、9 号线南段(郭公庄到北京西站)、15 号线一期东段(后沙峪到俸伯)、房山线大葆台到郭公庄段陆续开通。

2012 年 8 月 16 日发布的《北京市“十二五”时期交通发展建设规划》提出:“十二

五”期间大力发展轨道交通，确立轨道交通在城市公共客运系统中的骨干地位，发挥其引导与支撑城市空间结构优化调整的作用，按照安全、质量、功能、成本、效率五统一原则，加快轨道交通新线建设，扩大线网规模，增加中心城线网密度。建设完成6号线、8号线二期、9号线、10号线二期、7号线、14号线、西郊线、S1线、昌平线二期等10条线路，全面完成2015年轨道交通561km近期线网建设规划。加快实施中心城轨道交通加密工程，重点推进16号线、8号线三期、海淀山后线、燕房线建设，2015年全市轨道交通线网运行总里程达到660km，五环路内线网密度达到 $0.58\text{km}/\text{km}^2$ 以上，平均步行1000m即可到达地铁车站。

(2) 上海。上海轨道交通，又称上海地铁，其第一条线路于1995年4月10日正式运营，是继北京地铁、天津地铁建成通车后中国内地投入运营的第三个城市轨道交通系统，也是目前中国线路最长的城市轨道交通系统。截至2012年1月1日，上海轨道交通全路网已开通运营11条线、287座车站，运营里程达420km（不含磁浮线）。

上海已开通运营的11条轨道交通是：轨道交通1号线、2号线、3号线、4号线、5号线、6号线、7号线、8号线、9号线、10号线、11号线、13号世博专线、上海磁浮示范运营线。线路由城市轻轨和地下铁道组成。

2012年在建的轨道交通工程主要有：轨道交通11号线北段二期，全部为地下线，是连接上海市西北地区—中心城—浦东新区的一条主干线；轨道交通12号线工程为纵贯中心城区“西南—东北”轴向的重要主干线。轨道交通13号线一期工程为纵贯中心城区“西北—东南”轴向的重要主干线；轨道交通16号线工程线路长约59km，共设13座车站。