

普通高校土木工程专业系列精品规划教材
PUTONGGAOXIAOTUMUGONGCHENGZHUANYEXILIEJINGPINGUIHUAJIAOCAI



地下铁道

DIXIA TIEDAO
DIXIA TIEDAO

◎ 彭立敏 施成华 主编
杨秀竹 主审



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

地 下 铁 道

主编 彭立敏 施成华
主审 杨秀竹



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

地下铁道/彭立敏,施成华主编. —长沙:中南大学出版社,2016.4
ISBN 978-7-5487-2200-7

I. 地... II. ①彭... ②施... III. 地下铁道-铁路工程-高等学校-教材 IV. U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 069865 号

地下铁道
DIXIA TIEDAO

彭立敏 施成华 主编

☐责任编辑 刘 辉

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙印通印刷有限公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 19.5 ☐字数 491 千字

☐版 次 2016 年 4 月第 1 版 ☐印次 2016 年 4 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-2200-7

☐定 价 45.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

普通高校土木工程专业系列精品规划教材

编审委员会

主 任 余志武

常务副主任 雷晓燕

副主任(按姓氏笔画排序)

王卫东	王有凯	龙志林	刘哲锋	祁 皓	杨 斌
吴国雄	陈振富	陈 淮	胡习兵	祝明桥	徐长节
崔 杰	彭立敏				

委 员(按姓氏笔画排序)

刁心宏	于向东	马飞虎	王 英	王星华	王晓光
王 薇	方 焘	甘元初	石钰锋	白明洲	乔建东
刘小明	刘 坚	刘根强	刘 靖	宇德明	孙 晓
孙翠羽	杨伟军	杨仲轩	杨建军	杨春霞	李长春
李东平	肖 潇	张 健	张维锦	张鹏飞	张燕茹
陈友兰	陈长坤	陈汉利	陈锐林	罗小勇	周小林
周书葵	周凌宇	周智辉	周德泉	郑明新	赵小平
赵国宇	胡文韬	胡晓波	耿大新	徐林荣	郭文华
黄海林	蒋丽忠	傅 纯	戴公连		

总 序

土木工程是促进我国国民经济发展的重要支柱产业。近 30 年来,我国公路、铁路、城市轨道交通等基础设施以及城市建筑进入了高速发展阶段,以高速、重载和超高层为特征的建设工程的安全性、经济性和耐久性等高标准要求向传统的土木工程设计、施工技术提出了严峻挑战。面对新挑战,国内外土木工程行业的设计、施工、养护技术人员和科研工作者在工程实践和科学研究工作中,不断提出创新理念,积极开展基础理论和技术创新,研发了大量的新技术、新材料和新设备,形成了成套设计、施工和养护的新规范和技术手册,并在工程实践中大范围应用。

土木工程行业日新月异的发展,对现代土木工程专业人才培养提出了迫切要求。教材建设和教学内容是人才培养的重要环节。为向普通高校本科生全面、系统和深入阐述公路、铁路、城市轨道交通以及建筑结构等土木工程领域的基础理论和工程技术成果,由中南大学出版社、中南大学土木工程学院组织国内土木工程领域一批专家、学者组成“普通高校土木工程专业系列精品规划教材”编审委员会,共同编写这套系列教材。通过多次研讨,确定了这套土木工程专业系列教材的编写原则:

1. 系统性

本系列教材以《土木工程指导性专业规范》为指导,教材内容满足城乡建筑、公路、铁路以及城市轨道交通等领域的建筑工程、桥梁工程、道路工程、铁道工程、隧道与地下工程和土木工程管理等方向的需求。

2. 先进性

本系列教材与 21 世纪土木工程专业人才培养模式的研究成果密切结合,既突出土木工程专业理论知识的传承,又尽可能全面反映土木工程领域的新理论、新技术和新方法,注重各门内容的充实与更新。

3. 实用性

本系列教材针对 90 后学生的知识与素质特点,以应用性人才培养为目标,注重理论知识与案例分析相结合,传统教学方式与基于现代信息技术的教学手段相结合,重点培养学生的工程实践能力,提高学生的创新素质。这套教材不仅是面向普通高校土木工程专业本科生的课程教材,还可作为其他层次学历教育和短期培训的教材和广大土木工程技术人员的专业参考书。

4. 严谨性

本系列教材的编写出版要求严格按国家相关规范和标准执行,认真把好编写人员遴选关、教材大纲评审关、教材内容主审关和教材编辑出版关,尽最大努力提高教材编写质量,力求出精品教材。

根据本套系列教材的编写原则,我们邀请了一批长期从事土木工程专业教学的一线教师负责本系列教材的编写工作。但是,由于我们的水平和经验所限,这套教材的编写肯定有不尽人意的地方,敬请读者朋友们不吝赐教。编委会将根据读者意见、土木工程发展趋势和教学手段的提升,对教材进行认真修订,以期保持这套教材的时代性和实用性。

最后,衷心感谢全套教材的参编同仁,由于他们的辛勤劳动,编撰工作才能顺利完成。真诚感谢中南大学学校领导、中南大学出版社领导和编辑们,他们的大力支持和辛勤工作,本套教材才能够如期与读者见面。



2015年7月

前言

随着我国国民经济的发展和城市化步伐的加快,城市人口的大量增加导致市区的客运交通流量猛增。而建设大容量快速轨道交通包括地铁和轻轨运输是缓解交通紧张状况的有效途径。尤其是在市内,建设地下铁道,向地下发展是今后城市发展的一种必然趋势。

自1970年第一条地下铁道——北京地下铁道正式通车以来,我国的地铁建设经过20世纪80年代末至90年代初的初步发展阶段,1990—1999年间的政府调控阶段后,从21世纪初开始,随着国家的政策逐步鼓励大中城市发展城市轨道交通,进入建设高潮阶段,其建设速度大大超过之前的30年。截至2014年年末,全国已有23个城市建成地铁100余条,1800座地铁车站,地铁运营里程达3000 km。目前,我国修建地铁无论是城市数量,还是规划的地铁总里程,已经跃居世界前列。

地下铁道建设所涉及的技术领域广泛,本书以新修订的《地铁设计规范》(GB 50157—2013)和《地下铁道工程施工及验收规范》(GB 50299—1999)(2003版)等为主要依据而编写,就国内外地下铁道发展概况、路网规划、结构设计、车站建筑、运行设备、各类施工技术(包括明挖法、盖挖法、暗挖法、盾构法、沉管法和顶管法)、运营管理与防灾等方面,作了比较系统的介绍。

全书由彭立敏和施成华两位教师编写,其中第1章、第2章、第4章、第6章和第9章由彭立敏执笔;第3章、第5章、第7章、第8章和第10章由施成华执笔。本书由彭立敏负责定稿,杨秀竹负责主审。

本书主要是作为普通高等学校土木工程专业选修隧道与地下工程方向的教科书。它还可用作从事隧道与地下工程的设计、施工和科学研究的专业技术人员、大专院校师生、短训班学员的参考书。

本书在2006年版的基础上,对整个内容作了较大调整和修改,尤其是对近些年在地下铁道建设方面的一些新技术和新发展作了重点介绍。但由于编者业务水平有限,书中不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2015年12月

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 地下铁道的基本功能及特点	(1)
1.2 世界地下铁道的发展概况	(3)
1.3 我国地下铁道的建设与发展	(5)
1.4 地下铁道建设的前提条件和发展趋势	(11)
思考与练习	(13)
第2章 地下铁道线路规划与设计	(14)
2.1 城市公共交通的基本概念	(14)
2.2 地下铁道路网规划	(21)
2.3 地下铁道线路设计	(29)
2.4 地下铁道的轨道	(35)
思考与练习	(40)
第3章 地下铁道区间隧道	(41)
3.1 地下铁道区间隧道限界与净空	(41)
3.2 区间隧道断面形式与衬砌结构	(47)
3.3 地下铁道结构设计与计算	(55)
3.4 地铁结构荷载计算	(60)
3.5 地铁钢筋混凝土结构配筋构造要求	(66)
3.6 地下铁道的防水	(70)
思考与练习	(75)
第4章 地下铁道车站	(76)
4.1 地铁车站概述	(76)
4.2 站台设计	(79)
4.3 车站主体结构	(82)
4.4 车站主要设施	(92)
4.5 车站建筑装修	(101)
思考与练习	(104)
第5章 地下铁道的运营设施	(105)
5.1 地下铁道的环境控制系统	(105)

5.2	地下铁道的照明	(119)
5.3	地下铁道的供电系统	(123)
5.4	地下铁道的通信与信号	(127)
5.5	地下铁道的给排水	(129)
5.6	地下铁道的消防	(132)
	思考与练习	(135)
第6章	地下铁道施工技术	(136)
6.1	施工准备	(136)
6.2	明挖法施工	(138)
6.3	地下连续墙施工法	(148)
6.4	盖挖施工法	(162)
6.5	浅埋暗挖法施工	(167)
6.6	地下铁道辅助施工方法	(172)
6.7	基础托换技术	(182)
	思考与练习	(193)
第7章	盾构法隧道	(194)
7.1	概 述	(194)
7.2	盾构的基本组成与类型	(197)
7.3	盾构隧道衬砌结构类型与设计	(208)
7.4	盾构法施工	(217)
7.5	衬砌管片防水	(228)
7.6	盾构施工引起的地表隆起与沉降	(232)
	思考与练习	(235)
第8章	沉管隧道	(236)
8.1	概 述	(236)
8.2	沉管隧道结构设计	(240)
8.3	沉管隧道的防水	(244)
8.4	沉管隧道的施工	(247)
	思考与练习	(265)
第9章	顶管隧道	(266)
9.1	顶管技术概述	(266)
9.2	顶管施工的基本组成	(271)
9.3	常用顶管施工技术	(274)
9.4	顶管施工中的有关计算	(277)
	思考与练习	(280)

第 10 章 地下铁道的运营维护与灾害防护	(281)
10.1 地下铁道的运营维护	(281)
10.2 地下铁道的灾害分类及防灾设计原则	(287)
10.3 地下铁道的防火	(290)
10.4 地下铁道的防震	(293)
10.5 地下铁道的防水灾	(295)
思考与练习	(297)
主要参考文献	(298)

第1章

绪论

地下铁道(metro、subway)是指在大城市的地下修筑隧道、铺设轨道,以电动快速列车运送大量乘客的公共交通体系,简称地铁。一般专指在地面下运行为主的城市铁路客运系统。在城市郊区,地铁线路常可延伸至地面或高架桥上。地铁运输几乎不占街道面积,不干扰地面交通,有些国家称它为“街外运输”,或称为“有轨公共交通线”(mass transit railway)。它是解决城市交通拥挤问题,并能大量、快速、安全运送旅客的一种现代化交通工具。

1.1 地下铁道的基本功能及特点

1.1.1 基本功能

随着我国国民经济的发展和城市化步伐的加快,城市人口已大量增加。目前我国百万人口以上的城市已达40多座,50万~100万人口之间的城市也超过40多座。城市人口平均密度为4万/km²,局部地区有16万/km²,北京市内的4个区平均2.8万人/km²。按照国际标准,城市人口密度大于2万人/km²,属于拥挤情况。这就势必导致市区的客运交通流量猛增。我国许多大城市交通主干道的高峰每小时客流量均超过3万人次,有的高达8万~9万人次,低运输量的公共交通运输工具很难适应客流增长的需要。

城市人口的迅速增长和人民生活水平的提高,又必然会导致机动车数量迅速增长。如北京市的机动车数量从新中国成立初期的2300辆发展到1997年2月的100万辆,用了48年的时间;而从100万辆发展到2003年8月的200万辆,只用了6年半。至2013年末的10年间汽车总量已达到537.1万辆,其中私人汽车407.5万辆。而随着市区的客运交通流量猛增和城市规模的不断扩大,使得城市中空气污染、噪音、交通拥挤等影响城市居民生活的因素逐渐突出,于是居民区就需向城市郊区扩展。在上、下班时和节假日,城市交通更显得拥挤混乱。原有城市道路面积和城市面积的比例(道路率)是受城市发展历史制约的,一般不易改变,想通过拆迁改造城市交通状况是极其困难的,甚至是不可能实现的。如上海市人均道路面积仅为2.2 m²,要增加道路面积非常困难。因此,许多干道的交通堵塞状况日益严重。目前很多城市道路的平均车速已下降至10 km/h以下,很多路口交通负荷度已经饱和。根据国内外的经验,建设大容量快速轨道交通包括地铁和轻轨运输是缓解交通紧张状况的有效途径。尤其是在市内,建设地下铁道,向地下发展是今后城市发展的一种趋势。

因此,地下铁道在城市客运交通中的主要功能是满足庞大客运量的需求。一条地下铁道

单方向每小时的运送能力可达4万~6万人次，为公共汽车的8倍至10倍，为轻轨交通的2倍多。完善的地下铁道系统会成为城市公共交通的骨干，可担负起一半左右的城市客运量（实例见表1-1）。

表 1-1 地下铁道与公共电、汽车客运量实例比较表

城市 \ 客运量	地下铁道 (亿人次/年)	公共电、汽车 (亿人次/年)
东 京	25.0	20.5
纽 约	12.0	13.5
巴 黎	13.0	7.9
莫斯科	26.8	23.6

总之，一个现代化的大都市，尤其是国际化特大城市，如果没有良好的城市运输是不可想象的，地下铁道作为直达运输对运送旅客作用最大，也应成为最普及的城市交通方式。

1.1.2 主要特点

1. 优点

①地铁列车以平均每小时40~50 km的速度运行，且一般不存在堵车问题，所以省时、快速、方便，减少了乘客的出行时间和体力消耗。乘坐地铁通常要比利用地面交通工具节省1/2~2/3的时间。

②能缓和街道交通的拥挤和降低交通事故。地铁以车组方式运行，载客量大，正点率高，安全舒适。此外在多条地下铁道立体交叉情况下，通过在交叉点设立楼梯式电梯或垂直电梯，换乘极为方便，在城市中心区等热闹地带，可将地铁的出入口建在最繁华的街区，或建在大型百货商店以及其他公共场所的建筑物内，极大地方便了乘客。可将大量的客流引入地下，减少地面交通车辆，使私人小汽车或自行车出行者转变为地铁乘客。

③节省能源。一般的汽车或公交车使用石油或液化气作为能源，而地铁使用电能，在全球变暖趋势下，地铁是最佳大众交通运输工具，能节省许多因开车所消耗的能源。

④能改善地面环境，降低噪声、减少城市公共交通产生的尾气排放污染，为把城市中心区域地面变成优美的步行街区创造条件。

⑤地铁线路大部分建于地下，可节省地面空间，保存城市中心“寸土寸金”的地皮。

⑥地铁有一定的抵抗战争和抵抗地震破坏的能力。

⑦地铁网将城市中心区和市郊区(或被河流等分割的市区城市)联成一个整体，既能畅通交通，又能促进经济繁荣。例如：广州、香港、旧金山等。

2. 主要缺点

①由于要钻挖地底，地下建造成本比建于地面高。

②建设地铁的前期时间较长，由于需要规划和政府审批，甚至还需要试验。从开始酝酿到付诸行动开始建设需要非常长的时间，短则几年，长则十几年。

1.2 世界地下铁道的发展概况

1.2.1 早期发展

1. 世界上的第一条地铁

1843年英国人C.皮尔逊提出了在伦敦修建地铁的建议,1860年开始动工修建,采用明挖法施工。隧道断面高5.18 m(17英尺),宽8.38 m(27.5英尺),为单拱形砖砌结构。1863年1月10日建成通车,当时用蒸汽机车牵引,是世界上第一条客运地下铁道,线路长约6.4 km,1874年在伦敦采用气压盾构修建地铁,1890年建成,并在地铁开始采用电力机车牵引,线路长约5.2 km,为世界上第一条电气化地铁。

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提供了宝贵的经验,特别是在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了地下铁道。

2. 1890—1999年期间世界地铁发展概况

19世纪的最后10年,世界上又有纽约(1868)、伊斯坦布尔(1875)、芝加哥(1892)、布达佩斯(1896)、格拉斯哥(1896)、维也纳(1896)、波士顿(1897)、巴黎(1900)8座城市修建地铁并投入运营。其中芝加哥修建的全部是高架线,直到1943年才建成第一条地下线,格拉斯哥的地铁列车原来在轨道上用缆索牵引,到1936年才改用电力牵引。

20世纪上半叶,柏林、费城、汉堡、布宜诺斯艾利斯、马德里、巴塞罗那、雅典、东京、京都、大阪、莫斯科等11座城市也相继修建了地铁。第二次世界大战期间,有些城市的地铁还发挥了防空掩蔽的作用,避免遭受飞机的轰炸,保护了许多人的生命。第二次世界大战以后,发展地铁已受到各国的广泛重视,纷纷效法伦敦,兴建地铁的城市如雨后春笋般地飞速发展起来。50年间,又有97座城市建成了地铁。

截至20世纪末期,全世界共有43个国家的117座城市建有地铁,总运营里程接近6000 km。其中欧洲有21个国家58座城市,美洲9个国家31座城市,亚洲12个国家27座城市,非洲只有1个国家1座城市(埃及的开罗)建有地铁。世界著名的城市如伦敦、纽约、柏林、巴黎、莫斯科、东京、新加坡、香港等都先后建成并形成地铁网络,有的地铁已成为现代化城市的著名景观(如莫斯科地铁)。由此可见,是否具有地铁已成为现代化大城市的标志。

1.2.2 21世纪以来世界地铁发展概况

1. 主要概况

迄今为止,除中国外,地铁最发达的是美国,其有14座城市建有地铁,其次是德国,有11座城市,日本有9座城市,俄罗斯、意大利、巴西各有6座城市,法国和西班牙各有5座城市,比利时有4座城市,英国、加拿大、墨西哥和乌克兰各有3座城市,荷兰、奥地利、印度和韩国各有2座城市,其余有地铁的国家均为1座城市,且这些城市基本上属于该国家的首都。

地铁线路长度超过 200 km 的城市有 13 座(见表 1-2, 不包括中国), 其中纽约和伦敦均超过 400 km, 巴黎、东京和首尔超过 300 km。

表 1-2 全世界 100 km 以上地铁线路的城市概况

国家	城市	通车年代	线路条数	线路长度/km	车站数目	轨距/mm	牵引供电		运营速度/(km·h ⁻¹)	年客运量/(亿人次)
							方式	电压/V		
英国	伦敦	1863	12	410	275	1435	第三轨	630	33	8.5
美国	纽约	1867	31	443	504	1435	第三轨	650	32~48	12.0
法国	巴黎	1900	16	330	380	1440	第三轨	750	32	13.0
西班牙	马德里	1919	12	282	281	1435	架空线	600	24~42	4.0
日本	东京	1927	13	313	230	1067	第三轨	600	29~34	26.4
						1372	架空线	1500		
俄罗斯	莫斯科	1935	12	278	171	1524	第三轨	825	41	25.0
墨西哥	墨西哥城	1969	21	201	175	1435	第三轨	750		16.5
韩国	首尔	1974	9	327	576	1435	架空线	1500		14.6

2. 具有一定特色的地铁简介

地铁线路和车站最多的是纽约, 共 30 条线路, 504 个车站。

客运量最高的是东京地铁, 平均每天运送超过 800 万人次, 年客运量达 26.4 亿人次; 其次是莫斯科地铁, 年客运量为 25 亿人次; 墨西哥地铁居第 3 位, 全年运送 16.5 亿多人次。美国旧金山的地铁四通八达, 伸展到湾区每一个角落。它还是世界上时速最高的地铁, 每小时 128 km, 从奥克兰唐人街坐地铁到旧金山市中心不用 10 min, 开快车都赶不上它。

最具特色的是蒙特利尔的地铁, 主要采用橡胶轮胎走行系统, 列车在表面光滑的混凝土轨道上行驶。法国巴黎地铁是世界上层次最多的地铁, 其中有一条全自动无人驾驶地铁。

莫斯科地铁采用一系列高新技术, 营运时间长, 发车频繁, 地铁列车最短发车间隔只有 80 s, 行车迅速, 票价也是全世界最低廉的, 换车方便, 堪称世界最方便舒适的地铁。

新加坡地铁均不采用木质、天然纤维等易燃材料, 还有一整套灭火救灾的自动监测系统, 是世界上最清洁、最安全的地铁之一。

世界上最深的是朝鲜平壤地铁, 它埋深达 100 m 左右。墨西哥城地铁修建在海拔 2300 m 处的高原上。它是拉美第一个修建地铁的城市, 作为全世界海拔最高的地铁系统, 经过 40 年的发展, 墨西哥城的地铁网络如今已经是拉美规模最大、最现代化的地铁网络。

瑞典斯德哥尔摩地铁堪称世界上最长的地下艺术长廊, 这个每年颁发诺贝尔奖的城市, 地铁是它的标志。斯德哥尔摩的地铁建于 60 多年前, 当时他们聘请了 100 多位艺术家, 分别按照自己的艺术风格来设计和构思一个站台的装修。众多艺术家的灵感集合在一起, 不仅没有造成艺术风格的混乱, 反而让人惊喜地成为了世界上最长又最优美的艺术长廊, 人们可在里面享受一场视觉的盛宴, 数不尽的壁画、雕塑、绘画创作让人目不暇接。

1.3 我国地下铁道的建设与发展

1.3.1 发展概况

我国地铁建设事业起步较晚,其发展经历了一个相当曲折的过程,大致经过以下几个阶段。

1. 起步阶段

20 世纪 50 年代,我国开始筹备北京地铁网络建设,1965 年开始兴建具有交通和人防双重功能的中国第一条地铁线路,并于 1969 年 1 月投入运营,从而开创了我国地铁建设的先河。随后建设了天津地铁(7.1 km)等工程。该阶段地铁建设以人防功能为指导思想。

2. 初步发展阶段

20 世纪 80 年代末至 90 年代初,改革开放以后,我国国民经济保持持续快速增长,城市化进程明显加快,对城市运输的需求日益增加。上海、广州地铁相继开工,全国 10 多座城市计划修建地铁或轻轨,掀起了轨道交通建设的小高潮。但资金不足、建设标准混乱,造成地铁造价急剧上涨,被国家暂停审批地铁的立项。至 21 世纪初,内地仅有北京、天津、上海和广州 4 座城市共 7 条地铁线路,总里程 146 km。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

进入 20 世纪 90 年代,一批省会城市开始筹划建设轨道交通项目,纷纷进行地铁建设的前期工作。由于要求建设的项目较多且工程造价高,1995 年 12 月国务院发布国办 60 号文,暂停了地铁项目的审批。同时,国家计委开始研究制定城市轨道交通设备国产化政策。该阶段为政府通过研究制定相应政策来指导地铁的规划建设阶段。

4. 建设高潮阶段

1999 年以后,国家的政策逐步鼓励大中城市发展城市轨道交通,该阶段地铁建设速度大大超过之前的 30 年。截至 2014 年年末,全国已有 23 个城市建成地铁 100 余条,1800 座地铁站,地铁运营里程达 3000 km(见表 1-2)。目前,我国修建地铁无论是城市数量,还是规划的地铁总里程,已经跃居到了世界前列。其中,地铁线路最多的是北京,有 17 条;地铁里程最长的是上海,达到 548 km,已居世界第一位;修建地铁的城市最多的省份是江苏省,包括南京、苏州、无锡、常州、徐州和南通共 6 个;其次是广东省,有广州、深圳、佛山和东莞共 4 个。

表 1-2 中国已有地铁运营城市概况(至 2014 年底)

序号	城市	首条地铁 运营时间	运营状况			远期规划目标	
			线路/条	里程/km	车站/座	线路/条	里程/km
1	上海	1995	14	548	337	23	970
2	北京	1969	17	465	276	26	1050
3	广州	1997	9	261	164	20	750

续表 1-2

序号	城市	首条地铁 运营时间	运营状况			远期规划目标	
			线路/条	里程/km	车站/座	线路/条	里程/km
4	香港	1979	10	215	150		
5	南京	2005	2	180	57	24	775
6	深圳	2004	5	177	131	16	720
7	重庆	2004	5	169	96	18	820
8	天津	1984	4	136	82	29	1040
9	台北	1996	11	113	103		
10	武汉	2012	3	96	62	32	540
11	昆明	2012	3	60	33	31	600
12	成都	2010	2	63	43	13	400
13	无锡	2014	2	56	46	7	210
14	沈阳	2010	2	55	44	7	210
15	苏州	2012	2	52	45	9	380
16	西安	2011	2	52	36	15	550
17	杭州	2012	1	48	31	13	380
18	高雄	2008	2	43	37		
19	郑州	2013	1	26	20	17	280
20	长沙	2014	1	22	19	12	460
21	宁波	2014	1	21	20	14	700
22	佛山	2010	1	21	14	8	260
23	哈尔滨	2013	1	18	18	10	340

1.3.2 我国地铁运营长度超过 200 km 的城市简介

1. 北京市地铁

我国于 1965 年 7 月在北京开始修建第一条地铁。工程分为两期。第一期地铁线路自苹果园至北京火车站，全长 24 km，共 17 个车站，于 1965 年 7 月开始动工兴建，采用明挖填埋法施工，1969 年 10 月 1 日建成并开始试运营。1981 年 9 月 11 日，在试运营 10 余年之后，正式对外运营。这也是中国的第一条地铁。

1984 年 9 月 20 日，北京地铁二期工程开通运营。这条马蹄形的线路于 1971 年 3 月开工。自复兴门至建国门，长 16.1 km，有 12 座车站。二期工程和一期工程的一部分可以组合成一个环，但直到 1987 年 12 月 28 日，两条已有线路才被重新组合成两条新线，自苹果园至复兴门的 1 号线(全长 16.9 km，共 12 座车站)和一条沿北京内城城墙行驶的环线，即 2 号线

(全长 23.03 km, 共 18 座车站)。

1992 年 6 月 24 日, 1 号线沿长安街东延“复八线”(由复兴门延长至八王坟地区)开工。西单站在 1992 年 12 月 12 日开始运营, 其余线路则在 1999 年 9 月 28 日通车。2000 年 6 月 28 日, 1 号线全线贯通运营。

2001 年 7 月 13 日, 北京获得第 29 届夏季奥林匹克运动会主办权, 极大地推动了北京地铁事业的发展。2002 年至 2008 年间, 先后建成了: 连接城市北部的半环线 13 号线、1 号线向通州区的延长线八通线, 4 号线、5 号线、10 号线一期、8 号线一期(奥运支线); 机场线也同时开通试运营以迎接奥运会。2008 年 8 月 22 日, 北京地铁日客流量创下新高, 达到 492.2 万人次。北京地铁当年的客流量增长了 75%, 达到 12 亿人次。

在此期间, 北京地铁在新线不断开通的同时, 老线也在进行更新改造工程。北京地铁对 1 号线和 2 号线各站站厅进行了改造, 增设了乘客服务中心, 车站导向标志和卫生间也进行了改造。同时, 1 号线和 2 号线在不中断运营的情况下, 完成了车辆、信号、通信、供电、机电、线路等系统的改造, 购买了新列车, 缩短了发车间隔。2 号线还实现了有人看护下的自动驾驶。2008 年 6 月 9 日, 作为改造的成果之一, 北京地铁启用自动售票系统, 人工售出的纸质车票停用, 取而代之的是非接触式 IC 卡车票。乘客只需在地铁出入口的自动检票机上刷一下车票或是“一卡通”即可完成进出站。

2010 年以来北京又先后建成了: 6 号线、7 号线、8 号线、9 号线、10 号线、14 号线和 15 号, 另有 8 条地铁线路在建中。

截至 2014 年年底, 北京地铁共有 18 条运营线路(包括 17 条地铁线路和 1 条机场轨道), 组成覆盖北京市 11 个市辖区、拥有 268 座运营车站、总长 527 km 运营线路的轨道交通系统。工作日日均客运量达到 1008.76 万人次。年乘客量达到 34.1 亿人次。

根据《北京市城市轨道交通建设规划方案(2011—2020 年)》(图 1-1), 至 2020 年北京市的轨道交通线路网将包括 30 条线路, 总长约 1050 km, 车站近 450 个。届时, 北京四环路内轨道交通网密度将达每平方千米 1.29 km 左右, 达到或超过东京、纽约等国际城市的轨道交通线网密度水平。

2. 上海市地铁

早在 20 世纪 60 年代, 上海就开始了建设地铁的可行性研究。1963 年, 于浦东塘桥, 进行了最早的地铁建设摸索和试验。采用钢筋混凝土管片衬砌试挖了直径 4.2 m, 长度为 100 多米的盾构隧道, 用于验证粉砂性土质和淤混质黏土质中建设隧道的可行性。1964 年, 在衡山公园附近, 进行了地铁隧道和地铁站试验。该车站大小仅 80 m × 20 m × 20 m, 规模是按照 3 m 深、宽卡列车编组的停靠来建造的, 施工工艺为深井法施工。连接到衡山路时, 再挖了两条 600 m 长的隧道, 整个项目名称为上海地下铁道扩大试验工程。由于该座车站和地下隧道规模较小, 而且又太深, 最终没有融入 1 号线的建设中, 但对于之后地铁建设奠定了基础。截至 2014 年, 衡山公园地下仍保留着该设施。20 世纪 70 年代末, 在漕溪公园的地底下, 尝试了第二条试验隧道的掘进, 上下行总长 1290 m。这段线路采用结构法修筑地下连续水泥墙的方形隧道, 与此后采用盾构机掘进的圆形隧道有明显不同。这段线路作为上海轨道交通 1 号线的正式路线使用。

但由于历史的原因, 这项解决上海人民“行路难”的工程, 久久未能实施。十一届三中全会后, 修建地铁又重新提到议事日程上来, 经过大量的前期准备工作, 1 号地铁线于 1990 年