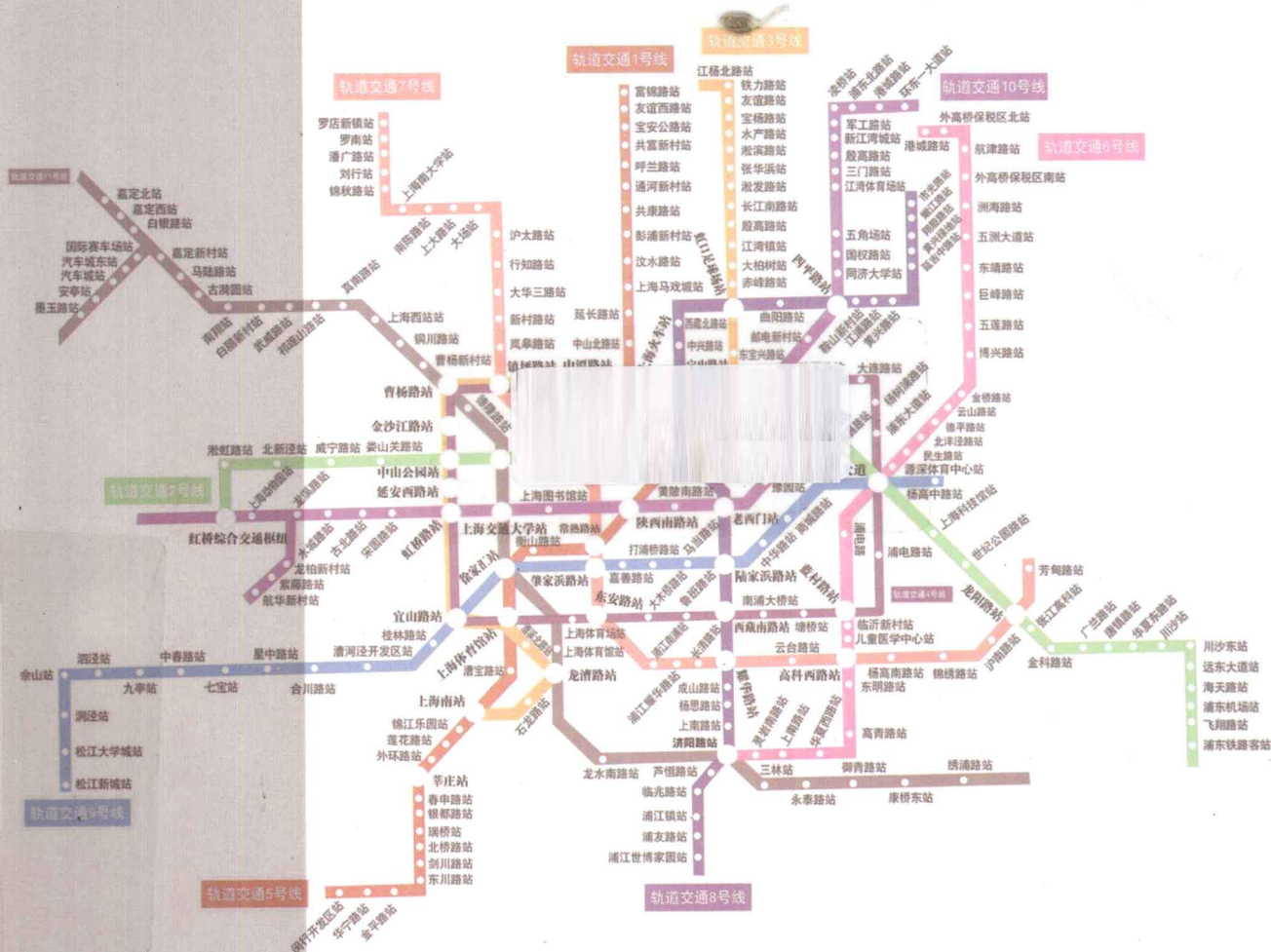




SHANGHAI DITIE JIANHU SHIJIAN

上海地铁监护实践

王如路 贾 坚 廖少明 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

上海地铁监护实践

王如路 贾 坚 廖少明 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书以对地铁结构的保护为中心,针对上海地质特点、设计施工情况、工程施工监控、地铁变形监测手段和变形规律及地铁病害修复措施等进行系统阐述。本书所涉及的工程都是临近地铁实施的典型工程,每一个工程都具有“深、大、近、难、险”特点,凝聚了广大监护工作者和工程参与各方的心血。本书内容丰富翔实,针对性强,可作为地铁保护专业人员的培训用书,也可作为地铁车站和盾构隧道建设及维护工作的参考书,亦可作为邻近隧道基坑设计施工及隧道穿越施工的参考书,还可作为大学教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

上海地铁监护实践/王如路,贾坚,廖少明编著. --上海:同济大学出版社,2013.4

ISBN 978-7-5608-5084-9

I. ①上… II. ①王…②贾…③廖… III. ①地下铁道—施工监理—上海市②地下铁道—铁路养护—上海市
IV. ①U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 012379 号

上海地铁监护实践

王如路 贾 坚 廖少明 编著

责任编辑 杨宁霞 马继兰

责任校对 徐春莲

封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 24.5

印 数 1—2100

字 数 611000

版 次 2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5084-9

定 价 68.00 元



前言

上海地铁1号线自1990年获批准开工建设,1号线一期工程长16.365 km,于1995年4月建成通车,上海进入地铁时代。随着2010年申办世博会的成功,上海以举办世博会为契机,举全市之力,大力推进地铁网络化建设。截至2011年底,已投入运营的线路11条,计284座车站,全长425 km,工作日客流达到650万~730万人次,客流量占公共交通客运量的比例已超过35%,地铁已经成为市民出行不可或缺的最重要的交通方式之一。在地铁为市民出行提供了极大便利的同时,也对地铁设施维修保养与应急抢险救援提出更高的要求。

中国已建成的地铁线路已超过1500 km,“十二五”末运营里程将近4000 km,中国地铁工程建设进入新高潮。上海地铁建设者在20年的时间内建成了400多公里线路,成绩斐然,在世界历史上绝无仅有。如何运行好、保护好、维护好已建成的运营隧道桥梁是设施运营维护单位的一项十分艰巨的任务。由于建设初期缺乏施工技术经验,许多施工方法还处于探索之中,对地质复杂特性和施工环境复杂性认识不够,不可避免地给地铁隧道施工质量遗留安全隐患。随着运营网络的快速形成,有相当数量的结构安全隐患亟待治理。在地铁线路开通运营后,因地铁出行便利的带动,在地铁沿线附近实施了数以百计的工程,有些工程是为网络化互联互通配套实施的,但大部分是市政工程和项目开发工程。有相当数量的基坑工程占地面积大(达到10000~100000 m²)、开挖深度大(达到20~38 m)、建筑体量大(建筑面积达到200000~400000 m²)、施工距离近(个别工程紧贴结构)、施工时间周期长、施工难度大、风险高,尤其在市区土地资源稀缺的情况下,工程与地铁的关系越来越贴近,施工风险也越来越大。有些工程施工对地铁安全构成直接威胁,其施工影响更是漫长。施工不当不仅会加剧隧道结构变形和渗漏水,而且可能会引发更严重的结构病害,需要及时预防和治理各类结构病害,探索破解结构长期安全难题。如何发现结构病害并及时治理是保障结构长期安全的基础,建立健全地铁结构维修管理制度是一项基本基础制度,通过对隧道进行定期检查和监测,结合地质条件、隧道敷设情况、建设情况等相关资料分析,开展对隧道安全状态评估工作,查找出结构缺陷存在情况和产生病害的原因,提出病害治理对策。国外曾发生因设计施工及运营养护不当导致整条隧道报废的事件,也曾发生大范围、大幅度沉降导致隧道迟迟不能按时开通的情况;国内曾发生因隧道变形过大而停运维修的情况,也曾发生临近地铁施工控制欠缺而影响列车运营

的案例。及时总结临近地铁隧道的工程设计施工经验,对控制施工风险,确保地铁安全有着重大的现实意义;总结隧道养护维修经验教训,建立隧道安全控制体系,制订正确的治理方案,对保护地铁隧道长期安全有着长远的意义。自2008年初作者萌发了将成功实施的地铁监护工程整理出来的想法,并开始着手整理典型工程资料,包括工程设计施工过程中的思考、结构病害治理过程中的技术创新与设备研制、施工经验与教训等,加深对隧道结构及变形特征的认知,以供从事监护工作的同志参考和借鉴。

本书共分8篇,第1篇概述,第2篇上海地区软土地质条件及特点,第3篇地铁车站建筑结构,第4篇地铁区间隧道结构,第5篇地铁结构保护标准监测及变形分析,第6篇安全区典型案例分析及监护,第7篇安全保护区典型盾构穿越工程案例分析,第8篇特殊工程施工及地铁结构病害治理。第1篇由王如路、闫静雅执笔,第2、第3篇由贾坚、翟杰群、郑俊星执笔,第4篇由廖少明、贾坚、孙瑀、范垚垚、郑俊星执笔,第5篇由王如路、魏刚、张旭执笔,第6篇由贾坚、谢小林、翟杰群、郑俊星执笔,第7篇由廖少明、邵华、孙瑀、范垚垚执笔,第8篇由王如路、汪小兵、邓指军、夏炜、李家平执笔。全书由王如路、邓指军校核,刘建航院士亲自对全书进行多次审阅并提出宝贵指导意见。

本书历时近4年得以成稿,在编写过程中得到不少业内前辈和专家、学者与同仁的真诚指导和帮助。在此,衷心感谢刘建航院士在成书过程中给予的悉心指导和帮助,感谢白廷辉同志的长期指导,感谢刘国彬、黄宏伟、张冬梅、朱合华、袁勇等同志在技术探讨过程中给予的许多新颖观点和帮助,感谢魏子新、陈丽蓉、倪辰禹同志提供的大量翔实数据资料。在编写过程中,得到上海申通地铁集团领导的关心和支持,得到曹文宏、杨志豪、杨磊、肖同刚、陈颖、任洁等同志的无私帮助,还得到许多其他同志的热情帮助,在此一并表示感谢。本书在编写过程中还参考了大量的工程资料,在此不能一一列出,编者对文献的作者表示最真挚的谢意。

感谢同济大学出版社杨宁霞编辑、马继兰编辑为本书的出版做了大量细致工作。

鉴于本书编写人员理论和技术水平有限,所从事的工程实践仅针对邻近地铁范围内的工程施工,也不能涵盖所有领域的施工情况,书中谬误与不足在所难免,望广大读者和同仁不吝赐教,提出批评和建议。

编著者

2012年6月于上海

目 录

序 前言

第1篇 概 述

1 轨道交通发展概况	2
1.1 引言	2
1.2 世界轨道交通发展简况	2
1.3 中国轨道交通发展概况	4
1.4 上海轨道交通发展概况	5
1.5 地铁结构安全	9

第2篇 上海地区软土地质条件及特点

2 上海地区土层构成及特征	12
2.1 土层构成	12
2.2 各土层的特性及分布	13
2.3 典型土层物理力学性质	27
3 上海地区工程不良地质及影响	29
3.1 特殊的地层分布	29
3.2 软弱土层	30
3.3 承压水	30
3.4 微承压水	31
3.5 含沼气地层	31

第3篇 地铁车站建筑结构

4 地铁车站建筑设计及特点	34
4.1 地铁车站的形式和规模	34
4.1.1 车站的形式	34
4.1.2 车站的规模	34
4.2 车站的组成	35
4.2.1 站厅层	35
4.2.2 站台层	37
4.2.3 地面出入口及风亭	37
4.3 地铁车站设计原则和标准	38
4.3.1 设计原则	38

4.3.2	设计标准	39
4.4	车站装修设计	39
5	地铁车站的结构设计	40
5.1	地铁车站结构形式特点及选型	40
5.2	顺筑法施工的车站结构设计	42
5.2.1	车站基坑支护设计	42
5.2.2	车站主体结构设计	51
5.2.3	其他结构设计	52
5.3	逆筑法施工的车站结构设计	53
5.3.1	逆筑法工艺特点	53
5.3.2	逆筑法车站结构设计	54
5.4	特殊工法施工的车站结构设计	60
5.4.1	盖挖顺筑法施工车站结构设计	60
5.4.2	半逆筑法施工的车站结构设计	62
5.5	车站结构防水	62
5.5.1	防水原则和技术要求	62
5.5.2	结构自防水	63
5.5.3	构造防水	64
6	高架车站设计	72
6.1	高架车站建筑设计及特点	72
6.1.1	高架车站建筑造型	72
6.1.2	高架车站平面及剖面设计特点	73
6.2	高架车站结构设计	73
6.2.1	高架车站结构形式及选型原则	73
6.2.2	结构设计计算	75
7	地铁车站施工	76
7.1	车站深基坑施工	76
7.2	信息化施工技术	78
8	地铁车站的变形控制和保护	80
8.1	地铁的长期沉降	80
8.2	地铁车站的不均匀沉降	81
8.2.1	不均匀沉降变形机理	81
8.2.2	不均匀沉降控制措施	82
8.3	地铁车站的横向变形	84
8.4	地铁车站的纵向伸缩变形	85
8.5	高架车站的变形控制	86
第4篇 地铁区间隧道结构		
9	盾构法区间隧道结构	88
9.1	盾构法隧道的特点和适用性	88
9.1.1	盾构法隧道优点	89

9.1.2	盾构法隧道缺点	90
9.1.3	盾构工法的地层适应性	90
9.2	盾构隧道结构形式	93
9.2.1	衬砌管片一般形式	93
9.2.2	单圆盾构隧道	95
9.2.3	双圆盾构及其他形式	100
9.3	隧道衬砌横断面结构分析	102
9.3.1	地铁区间隧道设计标准	102
9.3.2	计算理论与方法	103
9.3.3	设计荷载与内力变形计算	106
9.3.4	管片截面设计与验算	112
9.3.5	管片纵向接缝张开验算	115
9.4	隧道衬砌纵断面结构分析	117
9.4.1	纵向变形特点与机理	117
9.4.2	纵向变形计算理论	119
9.4.3	纵向变形的影响及控制措施	122
9.5	隧道衬砌防水	127
9.5.1	管片衬砌结构自防水	127
9.5.2	接缝防水	128
9.5.3	衬砌渗水的危害	129
9.6	盾构隧道施工环境影响及控制要点	129
9.6.1	盾构设备	129
9.6.2	环境影响评估	131
9.6.3	隧道质量问题与盾构施工	134
9.6.4	施工过程控制要点	136
10	明挖区间隧道结构	141
10.1	结构形式	141
10.1.1	矩形闭合框架	142
10.1.2	U形框架结构	142
10.2	设计计算	143
10.2.1	计算工况与荷载组合	143
10.2.2	结构计算模型与计算方法	144
10.2.3	隧道抗浮稳定验算	148
10.2.4	纵向不均匀沉降计算	148
10.3	主要控制措施	149
10.3.1	抗浮消浮措施	149
10.3.2	防排水措施	150
10.3.3	纵向不均匀沉降控制措施分析	151
10.4	主要施工方法	151
11	联络通道、泵站	152
11.1	联络通道、泵站结构形式及特点	152
11.1.1	联络通道、泵站结构形式	152

11.1.2	联络通道、泵站结构特点	153
11.2	联络通道、泵站的施工	153
11.2.1	施工方法概述	153
11.2.2	土方开挖	155
11.3	联络通道防水设计	156
11.3.1	联络通道的防水设计原则及防水等级要求	156
11.3.2	混凝土自防水	156
11.3.3	联络通道附加防水层	157
11.3.4	联络通道的接缝防水	158

第5篇 地铁结构保护标准监测及变形分析

12	地铁结构保护标准	160
12.1	上海地质条件及地铁敷设特点	160
12.2	地铁保护法律法规	160
12.3	地铁结构保护技术标准	161
12.4	地铁结构保护技术标准含义的解释	163
13	地铁结构的监测	166
13.1	监测工作概况	166
13.2	地铁结构长期监测	166
13.2.1	垂直位移监测	167
13.2.2	隧道管径收敛监测	171
13.3	地铁监护监测	173
13.3.1	垂直位移监测	173
13.3.2	水平位移监测	175
13.3.3	监护收敛监测	176
13.4	地铁监护监测的难点及新技术研发	177
13.4.1	地铁监护监测的难点	177
13.4.2	地铁监护监测新技术的探索与研究	177
14	盾构隧道变形分析	179
14.1	引言	179
14.2	盾构隧道结构和构造设计	179
14.2.1	盾构隧道结构与构造设计特点	180
14.2.2	隧道构件对纵向变形的适应性分析	182
14.3	隧道常见病害现象及分布	185
14.3.1	病害分布情况	186
14.3.2	主要影响因素分析	188
14.4	隧道收敛变形特征	188
14.5	隧道纵向变形特征分析	190
14.6	隧道纵向变形典型曲线及工程实例	195
14.7	对隧道结构变形的再认识	196

第6篇 安全区典型案例分析及监护

15	相邻工程施工扰动对地铁设施的影响及控制	204
15.1	相邻深大基坑的开挖卸荷	204
15.1.1	基坑卸荷的变形类型及影响因素	205
15.1.2	深大基坑卸荷的变形特征	207
15.1.3	深大基坑卸荷的坑内土体回弹变形及特点	208
15.1.4	控制深大基坑卸荷变形的对策和措施	212
15.2	抽降地下水	215
15.2.1	抽降地下水引起的岩土工程环境问题	215
15.2.2	控制抽降地下水不利影响的措施	217
15.3	桩基和围护结构的施工扰动	218
15.3.1	地下连续墙施工	218
15.3.2	钻孔灌注桩施工	221
15.3.3	水泥土搅拌桩施工	221
15.3.4	高压旋喷桩施工	222
15.4	地铁设施上方卸载或压载	223
15.4.1	地铁上方卸载或压载的影响分析	224
15.4.2	地铁上方工程施工的控制措施	225
15.5	新建高层建筑的沉降拖拽	226
15.5.1	新建高层建筑沉降对相邻地铁设施的实测分析	226
15.5.2	控制新建高层建筑沉降拖拽影响的措施	227
16	精选基坑工程	229
16.1	上海新世界商城	229
16.2	上海广场	235
16.3	上海市城市规划馆	242
16.4	上海香港新世界大厦	249
16.5	大上海会德丰广场	254
16.5.1	工程概况	254
16.5.2	基坑支护设计	256
16.5.3	基坑变形控制的结果	262
16.6	上海金昌广场	263
16.6.1	工程概况	263
16.6.2	工程设计要点及分区实施筹划	263
16.6.3	基坑变形控制的结果	266
16.7	卢湾区 55 街坊	267
16.7.1	工程概况	267
16.7.2	基坑支护设计	268
16.7.3	信息化施工及监测监控	272
16.7.4	小结	272
16.8	淮海中路 3 号地块发展项目	272
16.8.1	工程概况	272

16.8.2	基坑支护方案	273
16.8.3	基坑变形控制成果	276
16.9	嘉里静安综合发展项目	278
16.9.1	工程概况	278
16.9.2	基坑支护设计方案	278
16.9.3	基坑变形控制成果	281

第7篇 安全保护区典型盾构穿越工程案例分析

17	盾构穿越监控技术	284
17.1	引言	284
17.2	穿越工程回顾	284
17.3	地铁变形控制标准	286
17.3.1	穿越施工分类	286
17.3.2	隧道结构变形控制指标	286
17.3.3	地层损失率控制值	287
17.4	盾构穿越施工控制	287
17.4.1	穿越前分析论证	288
17.4.2	模拟试验	290
17.4.3	变形预测	291
17.4.4	穿越施工控制	291
17.5	盾构穿越影响因素分析	292
17.5.1	正面压力	292
17.5.2	推进速度	293
17.5.3	盾构姿态	293
17.5.4	同步注浆	294
17.5.5	二次注浆	295
17.5.6	不良地质	295
17.5.7	盾构机械	295
18	穿越工程案例分析	296
18.1	地铁4号线(张杨路—浦电路)穿越2号线	296
18.1.1	概况	296
18.1.2	控制难点及关键	296
18.1.3	变形预测	297
18.1.4	过程控制与实测分析	299
18.1.5	结论与经验教训	303
18.2	地铁9号线(肇嘉浜—徐家汇)穿越1号线	304
18.2.1	概况	304
18.2.2	控制难点及关键	305
18.2.3	变形预测	305
18.2.4	过程控制与实测分析	306
18.2.5	结论与经验教训	311
18.3	西藏南路越江隧道穿越地铁8号线	311
18.3.1	概况	311

18.3.2	控制难点及关键	312
18.3.3	变形预测	312
18.3.4	过程控制与实测分析	313
18.3.5	结论与经验教训	317
18.4	外滩通道穿越2号线	318
18.4.1	概况	318
18.4.2	控制难点及关键	319
18.4.3	变形预测	319
18.4.4	过程控制与实测分析	321
18.4.5	结论与经验教训	325

第8篇 特殊工程施工及地铁结构病害治理

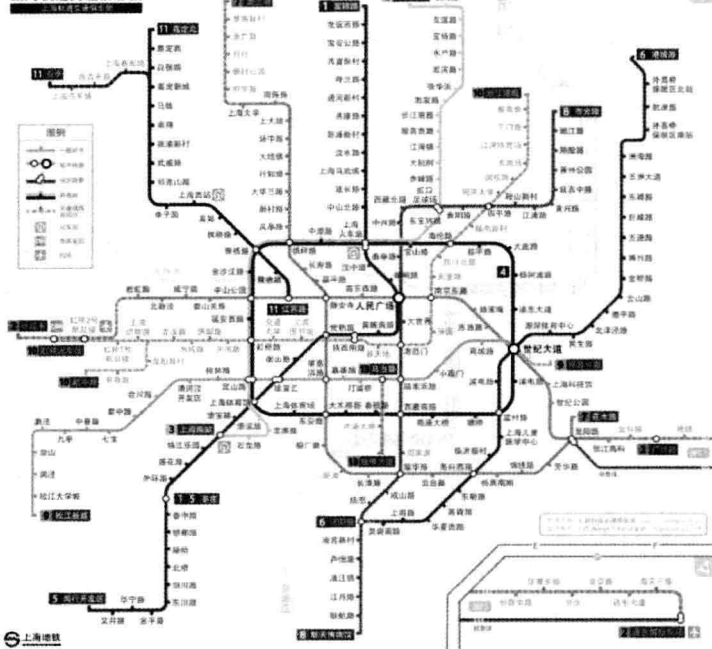
19	工程案例	328
19.1	引言	328
19.2	隧道标准化检查	328
19.3	工程案例——地铁4号线上体馆站零距离穿越运营中的地铁1号线施工	329
19.3.1	工程概况	329
19.3.2	穿越段地质条件及施工难度	330
19.3.3	穿越段施工	331
19.3.4	小结	338
19.4	液氮冰冻条件下修复运营隧道排水管工程	338
19.4.1	引言	338
19.4.2	工程概况	339
19.4.3	修复方案确定及冻结试验	339
19.4.4	冻结施工和排水管修复施工	342
19.4.5	小结	345
19.5	运营隧道纵向不均匀沉降控制——隧道内微扰动双液注浆施工	345
19.5.1	工程概况	345
19.5.2	不均匀沉降发展预测	346
19.5.3	注浆孔位的选择	348
19.5.4	注浆工艺	348
19.5.5	注浆安排	351
19.5.6	隧道监测结果	352
19.5.7	小结	354
19.6	隧道横向变形控制——外部注浆纠偏控制工程	355
19.6.1	工程概况	355
19.6.2	衬砌结构变形分析	355
19.6.3	双液浆注浆纠偏控制	356
19.6.4	注浆效果	358
19.6.5	小结	360
19.7	运营隧道横向变形治理工程	360
19.7.1	工程概况	360
19.7.2	原因分析	361
19.7.3	变形控制对策	362

19.7.4	小结	364
19.8	宝城路下穿地铁 1 号线立交工程	365
19.8.1	工程概况	365
19.8.2	基坑开挖施工及滑板、箱涵结构施工	366
19.8.3	便梁架设与箱涵顶进施工情况	367
19.8.4	地铁线路恢复及养护	371
19.8.5	小结	372
参考文献		373

第 1 篇

概 述

上海轨道交通信息图



1 轨道交通发展概况

1.1 引言

从世界各国城市化发展的长期实践来看,轨道交通以其运量大、速度快、安全可靠、准点便捷等系统固有优势成为城市主要交通运输方式之一。

城市轨道交通作为大中城市重要基础设施,具有占用土地少、运输能力大、站点密集、行车间隔短、快捷准时、环境污染小等优点,越来越得到社会及市民的认可,现已经成为现代化大城市或城市群不可或缺的交通工具。城市轨道交通不仅改善城市交通拥堵问题,提高城市运转效率,还能有效利用地下空间,除建设期间短时间占用道路外,运营后基本不占用昂贵的市区土地,而且在一定程度上引导土地合理开发利用,促进沿线经济发展,带动城市发展。但轨道交通的发展受制于投资规模巨大、建设周期相对较长、施工环境复杂、工程施工风险大、施工技术要求高和施工经验不足等影响,还受到车辆、供电、信号等重要运行设备装备能力和自给水平的制约。轨道交通建设是一项高投入工程,建设地下线路每公里的投入可达4亿~8亿元人民币,对一个城市来讲无疑是一项巨大投入;另外,轨道交通投运后长期运营收支平衡也是一个不容忽视的重要问题,作为社会公益性行业,轨道交通对于一个城市综合社会效益是巨大的,但其行业自身经济效益并不显著,如果仅靠企业的票务收入来支撑生产运营,世界上绝大多数地铁运营商的正常运营将难以为继,需要投入大量资金才能维系其正常运营生产,高强度客流是支撑运营生产的重要基础。

20世纪80年代初,上海城区人口急剧膨胀,城市规模迅速扩大,城市基础设施落后,特别是交通设施与城市化发展的矛盾日渐凸显,地面道路增长速度远跟不上机动车辆增加的速度,造成道路交通拥堵,出行效率低下,市区“乘车难”、“出行难”的矛盾日渐突出。当时上海公共交通因异常拥挤而闻名全国,公交不仅“慢”,而且拥挤程度也超乎想象,“挤公交”几乎是当时每一个上海人都曾有过的经历,交通拥堵问题成为困扰和制约上海城市快速发展的一项迫切需要解决的难题,也是一项事关民生的大事,解决这一难题的关键在于抓紧建成大容量的城市轨道交通。

1.2 世界轨道交通发展简况

世界上投入运营最早的地铁线路是英国伦敦地铁“大都会”线,投运于1863年1月,当时线路长度为7.6 km,隧道横断面高5.18 m,宽8.69 m,为单拱形砖砌结构。由于当时电动机车尚未问世,机车牵引采用蒸汽机车,尽管隧道里烟雾弥漫,但人们仍争相去乘坐,开通当日客流量就达到4万人。时至今日,伦敦已建成约408 km的地铁网,计12条路线,275座车站,其

中地下线路约 167 km,每日客流量可达 300 万人次。

之后,世界上很多其他城市也纷纷仿效伦敦建设地铁,布达佩斯地铁在 1896 年通车,波士顿地铁在 1897 年通车,巴黎地铁在 1900 年通车,纽约地铁也于 1904 年开通。经过 150 年的发展,城市轨道交通已从 19 世纪的几座城市发展到目前遍及世界 150 多座城市,运营里程接近 9 000 km,城市轨道交通在大城市或城市群的发展中扮演着越来越重要的角色。

纽约地铁于 1904 年 10 月通车,现共有 27 条线,长 368 km,车站 468 座,其中地下车站 277 座,是全球最错综复杂、历史最悠久的公共地下铁路系统之一,每天运送乘客约 500 万人次。

东京地铁于 1927 年 12 月通车,现有 13 条线路,车站 214 座,线路总长超过 300 km,日均客流量近 800 万人次,客流强度非常高,在早晚高峰时段车辆内拥挤异常。

莫斯科地铁于 1935 年 5 月开通,现有 12 条线路以及 177 座车站,运营线路长 298 km,日客流量约 900 万人次。莫斯科地铁的客流强度最大,也是世界上效率最高的地下轨道系统,它以运营时间长、发车间隔短、行车迅速、票价低廉、换乘方便著称,还以车站埋藏深度和车站建筑装潢华丽而闻名于世。

总体上讲,欧美国家经济技术发达,城市轨道交通发展比较早,施工技术和施工经验丰富,运营管理经验也都比较成熟,英国、法国、德国、俄罗斯、美国等国家不少大中城市已形成较完善的城市轨道交通运营网络。近年来,亚洲国家轨道交通发展迅速,有近 20 个国家或地区建设开通了轨道交通,特别是近年来中国轨道交通发展更呈雨后春笋之势。因建设投入巨大和受社会经济及自然因素制约,非洲国家发展地铁比较迟缓。运营里程前 10 位的国家如表 1-1 所示。目前,已经建立了较完善的地铁运营网络系统的城市主要有:伦敦、纽约、巴黎、莫斯科、柏林、东京、墨西哥城、首尔、马德里等世界著名大城市,北京、上海、广州和深圳等城市的运营网络也正在快速形成之中,上海、北京和广州因客运量和规模庞大,已是世界最大地铁组织(Community of Metros, CoMeT)成员,见表 1-2。截至 2011 年 6 月,广州和深圳的轨道交通运营规模已分别达到 236 km 和 178 km。

表 1-1 城市轨道交通线路长度前 10 位国家

排名	国家	轨道交通系统总长度/km	站台数目	启用年度
1	美国	1 747.3	1 037	1870
2	中国	1 566.7	1 007	1969
3	日本	803.1	722	1933
4	西班牙	642.4	555	1919
5	英国	533.1	386	1863
6	韩国	482.2	477	1974
7	俄罗斯	446.8	281	1935
8	德国	446.4	484	1902
9	法国	345.9	477	1900
10	巴西	257.5	195	1974

注:数据来源 www.urbanrail.net(2010 年 6 月)。

表 1-2 城市轨道交通线路长度前 10 位城市

序号	城市	长度/km	站台数目	线路数目	年客流统计/(人·次)	开通时间
1	 上海	423.46	284	12	19 亿(2010)	1995.4.10
2	 伦敦	408.00	275	12	11.97 亿(2007)	1863.1.10
3	 纽约	368.00	468	27	15.8 亿(2009)	1904.10.27
4	 北京	336.60	198	9	18.4 亿(2010)	1969.10.1
5	 东京	304.50	290	13	31.61 亿(2009)	1927.12.30
6	 莫斯科	298.80	177	12	25.73 亿(2008)	1935.5.15
7	 首尔	286.90	348	10	26.32 亿(2009)	1974.8.15
8	 马德里	284.00	348	13	6.42 亿(2009)	1919.10.17
9	 巴黎	213.00	380	16	13.88 亿(2007)	1900.7.19
10	 墨西哥城	201.70	175	11	14.14 亿(2009)	1969.9.5

注:数据来源 www.metrobits.org(2010 年 6 月)。

1.3 中国轨道交通发展概况

与欧美发达国家相比,中国城市轨道交通建设起步较晚,第 1 条地铁线路——北京地铁 1 号线一期工程于 1965 年 7 月 1 日开工建设,并于 1969 年 10 月建成通车。

改革开放 30 年来,中国的社会经济得到全面迅速发展,城市化建设步伐加快。根据国家统计局相关资料,2010 年中国的城市化率达到 47%,中国人口超过 100 万人的城市有 119 个,其中 200 万人以上的城市就达 36 个。城市化直接加快催生了一批特大城市、大城市及城市群,大城市人口迅速膨胀直接导致车辆增多,造成城市地面交通拥挤,行驶车速下降,事故增多,出行效率大大下降,而大城市和城市群的迅速出现客观上促进了轨道交通发展。我国国民经济的持续快速发展,施工技术和设备制造装备业已取得长足进步,为修建城市轨道交通系统提供了强大经济技术支撑。

在 2000 年之前,除香港(1979 年)、台北(1996 年)外,中国大陆地区仅有北京(1969 年)、天津(1984 年)、上海(1995 年)、广州(1997 年)四座城市开通了轨道交通运营线路。进入 21 世纪以来,随着中国经济的飞速发展和城市化进程加快,城市轨道交通建设也进入快速发展时期。根据近期轨道交通发展规划,2012 年北京轨道交通线网将全部覆盖中心城区,运营里程将超过 400 km,上海轨道交通将形成 12 条线路运营近 450 km 的规模,广州近期将建成 300 km 地铁网络,天津地铁的运营里程将超过 130 km。

截至 2012 年 6 月,中国大陆已有北京、上海、广州、天津、重庆、南京、武汉、长春、深圳、大连、成都、沈阳、西安、苏州、昆明等 15 座城市开通轨道交通运营线路(表 1-3),运营里程超过 1 500 km。与此同时,哈尔滨、杭州、福州、郑州、长沙、南昌、合肥、南宁、郑州、贵阳、青岛、宁波、无锡、东莞等 14 座城市正在建设轨道交通,另有十多座城市也在筹备、规划、申报审批过程中。