

Security Technology in City Subway Measurement

城市



地铁测量安全技术

胡荣明 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

城市地铁测量安全技术

胡荣明 著

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书论述了影响城市地铁测量安全的关键技术,包括“三网”的建立及复测技术、地铁隧道区间盾构贯通测量技术、暗挖隧道施工测量技术、地铁地下管线探测等技术,从理论上研究了影响城市地铁施工测量安全的主要因素和关键环节,提出了科学合理的解决方案,并进一步开展了实验研究;然后以地铁施工安全监测和安全管理为核心,研发了远程地铁安全监测预警信息系统,并提出地铁施工安全管理模式。

本书理论与实践相结合,内容浅显易懂,可作为高等学校测绘工程专业及其他相关工程专业技术参考书,也可作为铁路、地铁及其他地下工程建设部门从事隧道工程方面科研、设计、施工、监理的技术人员和管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市地铁测量安全技术/胡荣明著. —徐州:中国矿业大学出版社,2013.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1982 - 4

I. ①城… II. ①胡… III. ①地下铁道—铁路测量—安全技术 IV. ①U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 187144 号

书 名 城市地铁测量安全技术
著 者 胡荣明
责任编辑 潘俊成
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 13.25 字数 339 千字
版次印次 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷
定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

城市地铁测量是工程测量在地铁工程中的重要应用。随着我国城市化进程的发展,地铁建设规模日益庞大、发展愈发迅速,地铁施工安全对测量技术和测量管理提出了新的要求。

本书以涉及地铁施工安全的测量技术为主线,提出了测量安全的概念,并系统地论述了城市地铁测量安全技术,包括施工测量安全技术和地铁安全监测技术,并研发了远程地铁安全监测预警信息系统,提出了地铁施工安全管理模式。在隧道贯通测量井下导线边加测陀螺方位角后的误差分析中,笔者研制了陀螺全站仪强制对准连接装置,以提高对准精度。此外,本书论述的关于优化后的盾构机贯通方法,不但对指导城市地铁施工工程有重要的意义,而且对于其他隧道工程的贯通也有一定的参考价值。

本书是笔者在收集大量资料,并结合自身教学、科技开发经验以及长期实验研究的基础上编写完成的。全书内容由浅入深、循序渐进,注重理论、技术和方法与工程实际应用的结合。各个章节的安排如下:第1章,绪论;第2章,城市地铁测量安全技术简述;第3章,“三网”的建立及复测技术;第4章,地铁隧道区间贯通测量技术;第5章,暗挖隧道施工测量;第6章,地铁铺轨基标测量;第7章,地铁地下管线探测;第8章,城市地铁安全监测预警信息系统的研究;第9章,地铁施工安全管理模式。

本书在编写过程中引用了大量的参考文献,在此向已经列出参考文献和未列出参考文献的原作者深表感谢。陈晓娣硕士研究生对本书稿做了部分整理和校对工作,在此表示感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在不足和疏漏,恳切希望同仁及读者批评指正。

作 者

2013年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 城市地铁测量安全技术的研究现状	2
1.1.1 城市地铁的建设现状	2
1.1.2 城市地铁测量安全技术现状	3
1.1.3 城市地铁施工监测现状	4
1.1.4 城市地铁施工安全监测信息系统研究现状	4
1.1.5 城市地铁测量管理模式现状	5
1.2 城市地铁测量安全技术研究的主要内容	5
第 2 章 城市地铁测量安全技术简述	7
2.1 影响地铁施工测量安全的关键技术分析	7
2.1.1 地面控制网的建立及复测	7
2.1.2 联系测量	8
2.1.3 井下导线的延伸及复测	8
2.2 地铁安全监测技术	8
2.2.1 城市地铁的监测目的	8
2.2.2 城市地铁监测的内容和范围	9
2.2.3 城市地铁监测的方法	9
2.2.4 监测频率与警戒值	17
2.3 基础数据	18
2.3.1 基础数据	19
2.3.2 数据处理的软、硬件环境	20
2.3.3 数据处理	20
第 3 章 “三网”的建立及复测技术	29
3.1 城市地铁专用控制网的建立	29
3.1.1 地铁平面控制测量基准选择	29
3.1.2 地铁平面控制网的变形影响及补偿方法	29
3.2 地铁 GPS 网的建立与复测	32
3.2.1 地铁 GPS 控制网网形的优化设计与质量控制	32
3.2.2 地铁 GPS 控制网的解算及质量评价	38

3.2.3 地铁 GPS 控制网复测理论	41
3.3 地铁精密导线网的建立与复测	42
3.3.1 地铁精密导线网的建立理论	42
3.3.2 地铁精密导线网的解算与质量评价	44
3.3.3 地铁精密导线网的复测理论	46
3.4 地铁高程控制网的建立与复测	46
3.4.1 地铁高程控制网的建立理论	47
3.4.2 地铁高程控制网的解算	48
3.4.3 地铁高程控制网的复测	49
第 4 章 地铁隧道区间贯通测量技术	51
4.1 地铁隧道贯通测量技术	51
4.2 地铁施工测量控制盾构的测量原理	51
4.3 地铁隧道联系测量	52
4.3.1 地铁隧道联系测量的目的和任务	52
4.3.2 定向的种类与要求	53
4.3.3 地面近井点、井口水准基点及井下定向基点的测设	53
4.3.4 陀螺仪的定向过程	55
4.3.5 采用陀螺仪定向时的联系测量	57
4.3.6 导入高程	59
4.4 地铁隧道贯通测量误差分析	60
4.4.1 地面控制测量误差分析	60
4.4.2 联系测量误差分析	61
4.4.3 井下导线测量误差分析	61
4.5 影响盾构贯通的地下导线边误差分析	61
4.6 井下导线边加测陀螺方位角后的误差分析	62
4.6.1 陀螺全站仪在地铁隧道施工中的工作原理	62
4.6.2 地面起算边位置选择	63
4.6.3 GPS 在地铁施工坐标系下子午线收敛角的计算	64
4.6.4 陀螺观测精度分析	66
4.6.5 加测陀螺方位角后的数据处理方法	66
4.7 地铁盾构区间实验分析	67
4.7.1 研究方案及实验区段	67
4.7.2 无陀螺边时盾构贯通分析	67
4.7.3 始发井井口测定仪器常数时盾构贯通分析	67
4.7.4 接收井井口测定仪器常数时盾构贯通分析	67
4.7.5 不同仪器常数的精度比较	67

第 5 章 暗挖隧道施工测量	73
5.1 盾构掘进隧道施工测量	73
5.1.1 盾构掘进施工测量的主要内容	73
5.1.2 盾构自动导向系统	74
5.1.3 人工进行盾构姿态和管片安装测量基本方法	83
5.1.4 测量实例	84
5.2 矿山法掘进隧道施工测量	88
5.2.1 开挖中腰线标定	89
5.2.2 竖曲线测设	97
5.2.3 激光指向仪介绍	98
第 6 章 地铁铺轨基标测量	103
6.1 概述	103
6.1.1 基标与轨道相对关系及其埋设位置	103
6.1.2 基标测设的精度要求	105
6.2 地铁铺轨基标测量方法	107
6.2.1 铺轨基标测设步骤	107
6.2.2 铺轨基标测设前放样数据的计算	108
6.2.3 铺轨基标测设基本方法	111
第 7 章 地铁地下管线探测	117
7.1 概述	117
7.1.1 地下管线分类	117
7.1.2 地下管线探测	117
7.2 电磁法探测地下管线的基本原理	118
7.2.1 电磁场理论	118
7.2.2 电磁法探测地下非金属管道	120
7.3 地质雷达探测地下管线的基本原理	121
7.3.1 雷达探测原理	121
7.3.2 仪器及参数选择	121
7.3.3 雷达结果解释	122
7.4 管线探查的基本方法	122
7.4.1 城市地下管线探查	122
7.4.2 地下管线测量	132
7.4.3 地下管线图的编绘	133
7.4.4 地下管线数据库建库	134
7.5 城市轨道交通地下管线调查与测绘实例	134
7.5.1 概述	134

7.5.2	地下管线探测工作方法	134
7.5.3	管线成果图的编绘	135
7.5.4	探测成果说明	136
7.5.5	地下管线探测工作质量	137
第8章	城市地铁安全监测预警信息系统的研究	138
8.1	系统分析	138
8.1.1	研究背景	138
8.1.2	功能需求	140
8.1.3	实现模式	140
8.1.4	关键技术	141
8.2	系统总体设计	143
8.2.1	系统目标	144
8.2.2	系统设计的基本原则	144
8.2.3	模块和子系统设计	144
8.2.4	系统的组网方案	146
8.2.5	硬件配置	147
8.2.6	软件配置	147
8.2.7	系统的安全策略	147
8.2.8	用户界面设计	147
8.2.9	数据预处理	147
8.3	功能设计	148
8.3.1	地图监控子系统	148
8.3.2	查询统计子系统	151
8.3.3	数据维护子系统	153
8.3.4	系统管理子系统	155
8.4	数据库详细设计	157
8.4.1	系统数据来源	157
8.4.2	系统数据特点	157
8.4.3	系统数据库设计	158
8.5	输入输出设计	162
8.5.1	输入设计	162
8.5.2	输出设计	162
8.6	小结	162
第9章	地铁施工安全管理模式	163
9.1	地铁施工测量管理	163
9.1.1	地铁施工测量单位	163

9.1.2 地铁施工测量内容及各单位测量分工	164
9.2 传统测量管理模式	165
9.3 地铁施工安全管理的网络化模式	165
9.4 城市地铁远程测量安全管理系统的构建	166
9.4.1 可行性分析	166
9.4.2 需求分析	168
9.4.3 总体分析	169
9.4.4 数据库设计	172
9.4.5 系统实施	177
9.4.6 系统管理与维护	183
9.4.7 功能实现	185
9.5 小结	194
参考文献	196

第1章 绪 论

随着我国城市化进程的加快,汽车的普及、城市道路资源的低效率分配利用和市区道路的结构缺陷等因素,致使城市交通问题日益突出。解决城市交通所面临的问题,不能把希望仅仅寄托在无休止地增加道路上,轨道交通的出现正是解决交通长期拥堵的较好方案。中国的地铁建设还处于起步阶段,如何将地铁交通建设成为可持续发展的网络,以此促进社会的和谐发展,进而促进整个社会和国家经济的可持续发展,是当前国家和政府所面对的重要课题。在解决人民群众基本需求,特别是交通需求方面,政府的任务异常艰巨。公共交通需求的急剧上升,也促使各大城市将修建地铁和轻轨作为必要内容,作为现代化大都市的标志。在未来的5~10年中,中国城市地铁将迎来大发展的黄金时期。《国民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要》提出:“科学制定城市轨道交通技术路线,规范建设标准,有序推进轻轨、地铁、有轨电车等城市轨道交通网络建设。”这充分表明中国城市已经进入了地铁时代。

为缓解城市交通拥挤、城市空间容量不足的状况,国内很多大城市都相继投入到地铁的修建中。据住建部统计,近期有15个城市建设规划了地铁线路,共计61条,总长1700 km,目前已开工建设的有1000 km,建成运营的有581 km,按照设计规划还将有约1200 km的线路在今后10年左右竣工。据预测,到2020年我国将有约30个城市发展以地铁为主的城市轨道交通。以目前的开工速度计算,每年将建设100~200 km的线路,到2020年我国的城市轨道交通线路规模将达到2000~2500 km,投资规模将超过1万亿元。

与其他国家相比,中国城市地下空间发展迅速,总体规模即将位居世界首位。以北京为例,其地下空间的发展相当迅速,已建成面积达30 km²,今后全市的地下空间还将以每年平均约3 km²的速度增加,占总建筑面积的10%,至2020年其地下空间总面积将达90 km²。除此之外,为解决城市交通和环境问题,提高土地集约化利用水平,今后还将有许多大城市结合地铁建设、旧城改造和新城建设,发展大型城市地下综合体。除已建成的北京金融街中心区、中关村西区、上海龙华南火车站、大连不夜城等大型地下综合体外,在建项目还包括0.4 km²的上海世博园区地下城,0.3 km²的五角场地下城,总面积超过3 km²的武汉王家墩商务地下城,以及以波浪文化城为骨干的杭州钱江新城地下城,该地下城建成后面积可达2 km²。此外,城市特大地下快速路的建设也正受到前所未有的重视。上海市的“井”字形地下通道方案,其全线长40 km,地下26 km,已于2010年建成;北京计划在2020年前修建两横四纵的地下快速路网;深圳已建设了大约7 km的地下快速通道。显然,在世界范围内,中国已成为隧道最多、建设发展速度最快的国家。根据规划显示,21世纪前20年,中国要建设总长约6000 km的隧道,10年内建设总长约155 km的

城市公路隧道,在这之中,多为长、大和深埋隧道。

地铁施工本身就具有隐蔽性、复杂性和不确定性等特点。随着社会的进步,地铁建设规模日益庞大、发展愈发迅速,但其技术和管理力量却难以保证。在这种情况下,地铁工程施工安全风险加大,再加上对风险的认识不客观、风险管理的体系不科学等因素,导致地铁施工重大安全事故屡屡发生,产生了恶劣的社会影响并导致了重大的经济损失。2007年3月,南京地铁在施工过程中导致燃气管断裂,导致燃气溢出并发生爆炸引发大火;同年北京地铁施工也导致6人死亡;经济损失最为严重的应属上海地铁四号线事故,该事故导致逾6亿元的损失。因此,城市地铁施工过程中,对测量安全的要求就显得尤为重要,对测量安全技术的研究是很有必要的。

在地铁建设的过程中,北京、上海、广州等城市已经越来越重视地铁施工安全管理,几乎所有的新建地铁项目都需要进行安全分析。北京在地铁建设过程中积累了宝贵的经验,自行编制了《北京地铁工程监控量测设计指南》、《北京地铁工程第三方监测设计指南》和《地铁工程监控量测技术规程》,既为地铁工程施工安全控制提供了依据,也为其他城市的地铁建设提供了参考。同时,北京还建立了“安全风险远程监控及信息平台”。上海地铁在建设过程中,展开了比较完善的监控量测研究与实践,采用数据反馈和三级管理机制,建立了较为独特的地铁建设安全管理体系。2006~2007年,广州地铁进行了安全风险管理体系的诊断性评价和施工前期的安全风险中间评价,同时建立了地铁监测信息平台。地铁建设工程是一项复杂的巨系统工程,除了线路长、标段多等特点外,项目参与方众多更是增加了其各方子系统之间的复杂关系。这样的关系既矛盾又相互依存,使得项目建设在参与各方之间(业主、供应商、勘察设计单位、咨询单位、施工单位、监理及监测单位等)、建设各阶段之间(规划、设计、招投标、施工)、各工种之间产生了大量的界面,增加了风险管理工作的难度。

当前,许多城市的地铁施工建设都利用了信息平台进行辅助管理,只是程度不同,管理内容不同。“远程监控系统”应用在南京地铁建设项目中,它主要研究了系统功能、参建各方的职责以及预警报警机制。而在上海地铁的建设过程中,应用了“安全地铁工程远程监控管理系统”,该系统实现了工程建设的动态监控以及建设工地的远程管理,既实现了实时监控又提高了管理效率。值得注意的是,大部分已投入使用的远程监控系统和地铁监测信息平台的系统功能过于简单,诸如数据分析、预警报警、辅助决策等相对复杂的高端应用功能使用比例极低,同时系统也缺少基础数据库和地理信息系统的支持。因此,开发以先进的海量数据动态调度技术为基础的、以地理信息系统和人工智能支持的、以高速宽带网络为依托的、利用三维可视化形式表达的信息管理和监测系统已迫在眉睫。

1.1 城市地铁测量安全技术的研究现状

1.1.1 城市地铁的建设现状

至今,世界上已有40多个国家和地区的120多个城市建有地铁,地铁线路总长度达到5200 km,国外主要城市的基本规模为:纽约443 km,伦敦408 km,巴黎326 km,首尔287 km,东京286 km,莫斯科280 km。世界上第一条地铁线路始建于1863年,诞生于英

国伦敦。至1899年,英国、美国等五个国家七个城市建有地铁。在随后的25年内,美洲和欧洲又有九个城市建设了地铁,这其中包括柏林、伊斯坦布尔等城市。从1925年到1949年,由于世界大战的影响,地铁建设的步伐放慢了。而在第二次世界大战之后的1950~1974年间,欧洲、亚洲和美洲共有30多座城市建设了地铁。至2000年,又有30余座城市相继开展了地铁建设,其中以亚洲城市居多,在这之中有20多座城市是首次建设地铁。

1956年,毛泽东首次提出在北京建造地铁,自此中国各个城市的地铁企业开始了地铁建设的探索阶段。1969年10月1日,北京诞生了中国第一条地铁线路。截止2011年底,北京地铁的通车线路已达到15条,运营总里程372 km,其地铁网络效应已初步显现。根据规划,2015年底北京将建成“三环、四横、五纵、七放射”的轨道交通网络,北京市轨道交通运营规模将接近纽约2007年的水平。香港地铁自1977年建成通车以来,到2007年共有9条市区线路80座车站,其综合铁路系统全长168.1 km。上海地铁一号线南段(徐家汇—锦江乐园)是上海第一条通车的地铁线路,自1993年5月28日建成通车至今已有近20年的历史。到2010年6月底,上海轨道交通线网已开通运营11条线、278座车站,运营里程达428.9 km(均不含磁浮示范线),覆盖黄浦、静安、长宁、徐汇等13个行政区域,线网规模位列全国首位。天津地铁始建于1970年6月,经历了14年的建设,地铁一号线于1984年12月竣工通车。在响应国家扩大内需、促进经济增长的措施下,天津地铁二号线和三号线已于2012年底投入运营。广州地铁一号线于1999年6月28日正式通车,至此广州成为中国第四个拥有地铁的城市。2007年广州地铁线路总长达116 km,已全线迈入“线网时代”。2010年,广州地铁又凭借236 km的庞大线网规模,跻身世界十大地铁行列。2011~2020年,广州还将建设11条地铁线路(300 km左右),到2020年其全线总长达到530 km,核心区域的站点覆盖将达到80%以上,基本实现“30、60”的出行目标。深圳地铁于2004年12月28日正式通车,成为了大中华区继北京、香港、上海、天津、广州和台北之后的第七个拥有地铁的城市。截至2011年年底,深圳地铁已有5条线路、131座车站投入运营,运营总里程达到178 km。目前,深圳地铁三期工程的多条线路在建设中,并计划于2016年建成通车。届时,深圳地铁线路将达到10条,通车里程达348 km。除此之外,武汉、重庆、南京、苏州、西安、成都也已建成地铁并通车运营,而杭州、大连、长春、青岛、哈尔滨等多个城市正在建设地铁,总共有40多个城市的地铁在建或筹建或规划中。

1.1.2 城市地铁测量安全技术现状

随着各大中城市地铁建设的快速发展,施工测量安全技术问题越来越受到重视。就地铁隧道贯通测量技术而言,大多数仍然是针对某一测量环节的研究,在地面控制测量中采用GPS,联系测量中采用激光投点仪,地下导线采用双支导线;而在理论方面,仍采用不同的平差模型、平差条件进行研究。虽然有些施工标段对于比较长的区间在地下导线加测陀螺方位边进行复合检验,但也只是导线边方位与陀螺方位的简单比较,缺乏更深入的研究。对于隧道贯通,误差来源于地面控制测量、联系测量和地下导线测量的误差积累,大多数在做贯通误差预计的时候同时考虑三个方面的误差,但在实际测量过程中很少有人把这三个环节的误差综合起来分析研究,尤其在加测陀螺方位角后误差规律是否改

变,其主要影响因素是什么,这方面的研究很少。

目前,我国在城市测量管理中,为了提高测量的安全性,通常用大量的人力进行多次复测(比如,施工单位测量队定期复测、第三方测量复测),来增加测量成果的可靠性,随之带来的成果多,报检环节繁琐,有一方成果出现问题,会造成多方重复测量,增加工作量,延缓施工时间,既耗时又需要投入大量的资金,从而工作效率受到一定的影响。虽然,每个施工标段都具有网络条件,但缺乏基于网络的现代化管理平台。

1.1.3 城市地铁施工监测现状

在工程施工过程中,加强工程监测工作是确保施工安全最有效的方法之一,也是预防事故发生最可行的手段之一,因此工程监测在地铁施工中起着举足轻重的作用。但是,随着各个城市地下空间开发速度的加快、规模的加大,专业规范的监测队伍显得日益紧缺,由此催生了大批缺乏专业性的监测队伍,使得国内的工程监测市场鱼龙混杂。这种情况下,监测数据的准确性、信息化指导施工的有效性都将大打折扣。而国内对监测单位的资质、监测人员的技术素质也没有相应的管理和评价体系,就更促使了非规范监测单位的产生,这对项目的风险管理是十分不利的。

在国外,城市地下工程的施工监测和风险管理已成了比较重要的议题,安全、费用与风险已成为2004年以来国际隧道及地下空间协会每年年会的主题,地下工程施工监测及安全风险管理在欧美等国已经积极展开。意大利政府于1996年由总统签字发布了相应的指令。欧共体行政院于1992年发布了“欧共体就在临时或移动施工现场实施最低安全和健康要求的指令”。有些国家已编写出隧道工程施工监测风险管理的规范和法规。在这之中,英国隧协和保险业协会于2003年9月联合发布了《英国隧道工程建设风险管理联合规范》;国际隧道及地下空间协会于2004年发布了风险管理的指导方法;国际隧道工程保险集团(ITIG)于2006年1月发布了《隧道工程风险管理实践规程》。

为了保证地铁施工的安全,国内很多城市进行了“第三方监测”的探索与实践。在城市地下工程施工过程中,“第三方监测”的实施确实成了保证施工安全和工程质量十分重要的举措,且有效地避免了工程中可能发生的事故。但目前对于“第三方监测”,国家和地方都没有明确的法规予以规定和管理,各地的“第三方监测”依然处于无序状态,不仅其监测内容、责任主体没有统一的管理和规定,其监测指标和管理信息系统的数据也没有统一的标准。这种情况下,能否有效地通过“第三方监测”实施工程安全管理是值得商榷的。

当前,对地下工程安全管理、重大事故的预测预报研究已经迫在眉睫。这就需要对地下工程施工安全监测与监控技术、灾害预测预报技术、应急处理决策支持技术等先进的技术进行系统深入的研究。在此基础上,评估事故发生概率及可能的灾害后果,从而提出防范措施及依据。

1.1.4 城市地铁施工安全监测信息系统研究现状

在国际上,已有一些信息化管理平台被应用在地铁施工安全监测方面。如意大利GeoDATA公司针对地下工程施工推出了名为GDMS(geodata master system)的信息化管理平台,该系统运用了GIS和Web技术,由建筑物状态管理系统(building condition system,BCS)、建筑风险评估系统(building risk assessment,BRA)、盾构数据管理系统(TBM data management,TDM)、监测数据管理系统(monitring data management,

MDM)以及文档管理系统(document management system,DMS)5个子系统构成,具备完善的风险管理方案,并在俄罗斯圣彼得堡、意大利罗马和圣地亚哥等地铁工程中得到应用。韩国 Chungsik Yoo 与 Jae-Hoon Kim 就土体移动和毗邻建筑物的损害风险进行预测,在 MapGuide ActiveX Control 软件的基础上结合 VB 6.0 开发了网络版评估系统;之后,Chungsik Yoo、Young-Woo Jeon 等人以首尔地铁 3 号线的扩展线路为例,基于 IT 技术研究了 GIS 在地铁施工过程中的安全监测和风险管理系统,通过地铁三维可视化地理信息子系统,以模块或功能等方式融入指挥中心的各种应用系统中,实现了通用 GIS 操作功能、动态标注功能及 GPS 监控查询功能。虽然以上研究并开发的系统在国外已有所应用,但在监测手段、施工管理等环节上,这些系统不完全适合中国国情。

1.1.5 城市地铁测量管理模式现状

安全管理应向着基于信息化技术的管理及预警决策支持系统方向发展,要在管理中加强科学的定量研究、监测与信息化传输和反馈控制。建立施工安全远程监测系统,通过传感器获取相应信息后反馈给指挥部,并结合工程管理地理数据库中的数据进行分析,加强预警,并发出警报,以便能及时采取应急预案或组织专家现场查看。

1.2 城市地铁测量安全技术研究的主要内容

在本书中主要对以下几个方面进行论述:

(1) 城市地铁测量安全技术简述

分析影响城市地铁测量安全的关键技术,一方面依靠贯通测量技术,另一方面依靠测量管理。从测量安全(贯通测量技术和测量管理)、安全监测以及研究所使用的数据三方面介绍地铁施工过程中施工安全的重要内容。

(2) “三网”的建立及复测技术

地铁地面控制测量所布设的网通常称作“三网”,它是城市地铁施工的基本控制网,包括 GPS 网、精密导线网、精密水准网。因此,在地铁施工前首先要建立“三网”,为地铁施工建立测量和施工基准。本书将分别讲述地铁 GPS 网的建立与复测、地铁精密导线网的建立与复测以及地铁高程控制网的建立与复测。

(3) 地铁隧道区间贯通测量技术

由城市地铁施工区间盾构施工的工艺特点可知,地下临近盾构的导线边对地铁盾构施工前进方向起着控制作用。因此,它的误差大小会直接影响盾构的前进方向。在对井下导线加测陀螺方位后,从理论上研究其误差规律的改变,找出在这种情况下影响盾构隧道贯通测量的主要因素和关键环节,提出了可行的解决方案,并进行实验研究,为地铁施工测量安全提供好的技术手段。在这部分的研究过程中,解决了如下技术问题:

① GPS 与陀螺全站仪的集成研究:陀螺全站仪在使用的时候,必须考虑仪器测站点的子午线收敛角,子午线收敛角通过国家坐标来获取,而地铁施工多用城市独立坐标,在不具备坐标转换的情况下子午线收敛角是很难获取的。本研究通过 GPS 与陀螺全站仪的集成,解决了独立坐标系下陀螺定向子午线收敛角的计算问题。

② YJTQ—1 型陀螺全站仪强制对准连接装置的研究:陀螺工作处在一个内磁场的

环境下,因此连接装置的研究既要满足仪器水平、对准的要求,同时又要防止外磁场对陀螺的干扰,在这种要求下,本研究从材质选择、结构设计、精度测试着手开展了科学的研究,使之能够达到使用要求。

(4) 暗挖隧道施工测量

主要介绍城市轨道交通工程隧道暗挖盾构法和矿山法掘进隧道施工测量,分别介绍盾构掘进隧道施工测量的主要内容、盾构自动导向系统、人工进行盾构姿态和管片安装测量基本方法以及矿山法掘进隧道施工测量开挖中腰线标定、竖曲线测设、激光指向仪等具体内容。

(5) 地铁铺轨基标测量

铺轨基标不但是地铁建设期间指导轨道铺设的测量控制点,也是运营期间用于轨道维护的测量控制点。精确地测设铺轨基标是保证轨道线形质量的关键,本书将从基标埋设位置、测设的精度要求以及地铁铺轨基标测量方法等方面加以介绍。

(6) 地铁地下管线探测

地下管线是城市基础设施的重要组成部分。在地铁修建的过程中,特别是暗挖区间,可能会对地下管线造成破坏。因此,有必要对地下管线进行探测,包括对已有地下管线进行现场调查和采用不同的探测方法探寻各种管线的埋设位置和深度。本书在电磁法探测、地质雷达探测地下管线基本原理的基础上,以城市轨道交通地下管线调查与测绘为实例对地铁地下管线探测技术进行介绍。

(7) 研发远程地铁安全监测预警信息系统

地铁安全监测要求实时、准确地了解监测对象的变化情况,常规的监测结果往往不能及时上报,或者无法及时掌握监测对象的动态变化。针对这种情况,在需求分析、系统结构分析和模型研究的基础上,研发了城市地铁监测预警分析系统。系统在功能上实现了工程问题与 GIS 的有效结合以及图形化、网络化工程施工安全预警与形变分析,为地铁安全施工提供了可靠的数据。

(8) 地铁施工安全管理模式

地铁在建设过程中,测量内容多,过程复杂,第三方测量、监理、施工等多家单位对同一项测量任务进行多次复测检核,最后成果资料繁多,检核报检环节复杂,给测量管理带来了很大的不便,稍有失误就会影响施工的正常进行。另外,由于测量单位多,各自使用的计算方法及计算软件各不相同。因此,本研究针对这种状况,利用 Web 技术、地理信息技术,建立具有日常测量计算等功能,能方便、实时、高效地进行测量管理的远程管理平台。

第2章 城市地铁测量安全技术简述

城市地铁测量安全技术(Security Technology in City Subway Measurement)是指地铁在施工过程中所涉及的测量技术,主要包括两个方面的含义:一方面是地铁隧道能否按照设计要求在指定的位置顺利贯通;另一方面,在施工期间由于地下开挖对岩土体产生扰动,岩土体变形可能引起对地铁结构工程及施工沿线周围地下、地面建(构)筑物、重要管线、地面道路等的水平移动和沉降,从而对周围环境的安全产生影响。

地铁施工测量安全,一方面依靠贯通测量技术,另一方面依靠测量管理。贯通测量技术是通过地面测量、联系测量、隧道导线测量来控制隧道施工方向的测量技术,同时正确的测量方案和可靠高精度的测量成果是隧道贯通的重要依据。从地铁测量管理模式来看,施工方测量队、业主测量队和第三方测量都需要对地面控制测量、联系测量和地下导线测量进行复测,并且成果检核后才能被使用。因此,成果资料必须经过报检复查后才能使用,而报检程序复杂,有时由于施工进度问题报检容易出现遗漏,从而为地铁施工安全埋下隐患。地铁安全监测是通过对变形体上监测点的观测来获取建筑结构、地铁施工周围环境变化的监测手段。因此,测量安全(贯通测量技术和测量管理)和安全监测是地铁施工过程中直接关系地铁施工安全的重要内容。

目前,地铁施工引起周围环境的安全问题主要是通过实时监测来分析周围地下、地面建(构)筑物、重要管线和地面道路的安全,从而对可能发生的危害及环境安全的隐患或事故进行及时、准确的预报,以便及时采取有效措施,避免事故的发生。

2.1 影响地铁施工测量安全的关键技术分析

地铁施工测量安全技术主要指地铁隧道的贯通测量技术,安全贯通保证了施工测量的安全。为了确保城市地铁隧道能够安全贯通所进行的测量工作主要包括地面控制测量、联系测量和井下控制测量。

2.1.1 地面控制网的建立及复测

地铁地面控制测量所布设的三网包括 GPS 网、精密导线网和精密水准网:GPS 网一般是在城市独立坐标系下建立的 C 级 GPS 控制网,是沿地铁线路每 4 km 布设一对 GPS 点;精密导线网是在每对 GPS 点之间布设平均边长为 350 m 的精密导线点构成的导线网;精密水准网是沿地铁线路布设二等水准点构成的水准网。在地铁施工前,首先要建立三网,为地铁施工建立测量和施工基准。

随着施工工作的进行,隧道施工会对周边环境产生影响,有可能破坏之前布设的 GPS 点、导线点、水准点。为了保证其施工的可靠性,需要对三网进行定期全面的复测工

作,将复测成果与建网成果进行对比,如果其变化满足施工要求可继续使用,如果三网基准数据变化超过了施工要求,则需要及时采取其他测量措施。

2.1.2 联系测量

联系测量是将地面的平面坐标和高程引入井下,使井上下具有相同的坐标系统。在地铁修建过程中,当车站始发井施工完成后,要及时将地面的平面坐标及高程传递到始发井井下,以便指导盾构施工掘进。传递到井下的平面坐标和高程是地铁盾构施工的起算数据,成果的正确与否、精度高低直接关系隧道的掘进方向,关系着施工的安全。因此,一般施工方施测完成后,由业主测量队独立进行复测,确保联系测量成果的正确性。

在城市轨道交通工程中联系测量主要是通过定向测量和传递高程测量来完成的。目前,定向测量主要有陀螺经纬仪与铅垂仪组合法、联系三角形法、两井定向、导线直接传递法和透点定向法。传递高程测量主要有悬挂钢尺法、光电测距三角高程法和水准测量法。

联系测量以地面近井点为依据,确定出井下导线起算边的坐标方位角和起算点的坐标。井下导线边的坐标方位角误差将使地下导线各边的方位偏向一个误差值,由此引起导线各点的点位误差将随导线延长而增大,因此,怎样控制或减弱此误差的传播,直接影响到施工测量的安全,本书将在第4章进行论述。

2.1.3 井下导线的延伸及复测

盾构每向前推进100 m,井下延伸导线要随之向前跟进。这就需要对跟进导线及时进行观测,更新推进后的导线数据,并传入盾构指向系统,指导盾构沿设计方向掘进。由于隧道条件的限制,隧道内导线只能布设成支导线或双支导线,这样,所有地面控制测量误差、联系测量误差和井下导线的测量误差都将累积在隧道导线的最弱边上,而导线的最弱边始终是盾构指向系统的起始边,因此,井下这条边的精度直接关系着盾构贯通的安全,这是地铁测量安全工作的核心所在,本书将在第4章详细说明。

2.2 地铁安全监测技术

2.2.1 城市地铁的监测目的

城市地铁在施工期间对地铁结构工程及施工沿线周围重要的地下、地面建(构)筑物、重要管线、地面道路的变形实施监测,为施工提供及时可靠的数据,用以评定地铁结构工程在施工期间的安全性和施工对周边环境的影响,并对可能发生的危害及环境安全的隐患或事故进行及时、准确的预报,以便及时采取有效措施,避免事故的发生。

监测数据和资料主要应满足以下几方面的要求:

① 监测数据和资料能完全客观真实地反映工程安全状态和质量程度,掌握工程各主体部分的关键性安全和质量指标,确保地铁工程能按照预定的要求顺利完成。

② 监测数据和资料可以根据安全预警发出报警信息,既可以对安全 and 质量事故做到防患于未然,又可以对各种潜在的安全和质量做到心中有数。

③ 监测数据和资料可以丰富设计人员和专家对类似工程的经验,以利于专家解决工程中所遇到的工程难题。