

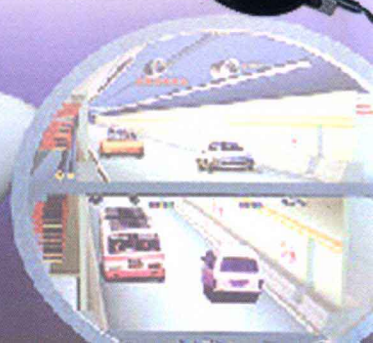
普通高等院校测绘课程系列规划教材

PUTONG GAODENG YUANXIAO CEHUI KECHENG XILIE GUIHUA JIAOCAI

DIXIA GONGCHENG
CELIANG YU LIANGCE

地下工程 测量与量测

主 编 \ 肖东升 叶险峰 邢文战



西南交通大学出版社
<http://press.swjtu.edu.cn>

普通高等院校测绘课程系列规划教材

地下工程测量与量测

主 编 肖东升 叶险峰 邢文战

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

地下工程测量与量测 / 肖东升, 叶险峰, 邢文战主
编. —成都: 西南交通大学出版社, 2013.1
普通高等院校测绘课程系列规划教材
ISBN 978-7-5643-2137-6

I. ①地… II. ①肖… ②叶… ③邢… III. ①地下工
程测量—高等学校—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 320008 号

普通高等院校测绘课程系列规划教材

地下工程测量与量测

主编 肖东升 叶险峰 邢文战

责任编辑	杨 勇
特邀编辑	姜锡伟
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	18.375
字 数	459 千字
版 次	2013 年 1 月第 1 版
印 次	2013 年 1 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2137-6
定 价	33.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

普通高等院校测绘课程系列规划教材

编审委员会

编审委员会主任：黄丁发

编审委员会副主任：郑加柱 方渊明

编委会成员：（以姓氏笔画为序）

马飞虎	马玉晓	王卫红	王化光	王增武
史玉峰	叶险峰	左小清	石信喜	刘国栋
刘绍堂	刘贵明	刘福臻	吉长东	邢文战
何立恒	余代俊	张 飞	张文君	张国辉
张明华	张燕茹	李长春	李保平	杨久东
杨明强	汪金花	沙从术	肖东升	陈绍杰
林友军	青 盛	胡圣武	徐 兮	聂启祥
高德政	程海琴	蒋端波	鲁小平	满 旺
潘国兵	潘建平	潘炳玉		

本书编委会

- 主 编：**肖东升 西南石油大学
叶险峰 湘潭大学
邢文战 辽宁科技学院
- 副主编：**刘石磊 湘潭职业技术学院
谢咸瑜 成都地铁有限责任公司
谢 波 重庆水利电力职业技术学院
戴小军 西南石油大学
- 编 委：**贾宏亮 西南石油大学
李章树 西华大学
李玉宝 西南科技大学
刘福臻 西南石油大学
马德英 西南石油大学
秦大辉 西南石油大学
任自珍 西南交通大学
宋明胤 石家庄铁源工程咨询有限公司
项 霞 四川大学
许辉熙 四川建筑职业技术学院
谢 用 成都大学
汪仁银 四川水利职业技术学院
余代俊 成都理工大学

前言

21 世纪, 交通拥堵是中国快速城市化运动中遇到的瓶颈, 为此, 全国各地的地铁建设风起云涌, 这项超级工程必将成为未来数十年测绘行业的新领域、新契机, 所以, 21 世纪将成为地下的世纪。目前, 有关地铁的施工方法以矿山法和盾构法为主, 尤其是安全、快速、高效的盾构施工, 已成为地下工程施工方法的主流。

现有的《地下工程测量》书籍主要由原地矿部、煤炭工业部和冶金部所属高校编写,《矿山测量》或《地下工程测量》的主要内容很好地适应了矿山中的地下工程测量要求。而今地铁建设全面铺开, 需要一本既适合矿山工程, 又适合地铁工程等的地下工程测量书籍, 以满足更多高校的测绘工程、地下工程、土木工程和勘察与技术等专业作为教材使用。

同时, 作为测绘领域的变形监测已远远不能适应就业市场的需要, 由此需要测绘专业的学生能够进入更广泛的监测领域, 即量测, 它涵盖了围岩变形、应力应变等内容。量测的外业远比测绘容易上手, 其相关物理原理在经验积累下, 辅助一定的土木和地质知识便可解释, 增加了学生的就业面和竞争力。

本教材围绕矿山法和盾构法的施工过程, 以及与之相适应的施工测量, 实现了施工工序与测量理论的结合, 克服了单纯地讲解测量技术和方法的缺点。本书特别增加了对地下工程的(监控)量测, 不仅为学生增加了竞争力, 扩展了其就业的渠道, 而且对施工现场水平参差不齐的工作人员有一定指导意义。它又在现有的《矿山测量》和《地下工程测量》教材的基础上, 广泛吸取了西南地区高校测绘工程专业、土木工程专业学科教师的教学经验。作者在参与成都地铁 2 号线建设的过程中, 听取了建设单位、监理单位和施工单位的经验和意见, 综合并吸收前辈们的经验和成果, 编写了这本教材。

从地下工程测量与量测学教学的角度看, 本教材具有如下特点:

(1) 本教材以就业市场为导向, 培养社会急需的人才。特别增编的监控量测内容是为了增加其核心竞争力, 有利于培养复合型人才的综合业务素质。

(2) 为了让学生更好更快地适应工作岗位, 与施工过程和施工测量相对应的教学, 本书以理论与实践相结合的依据精选和组织教材内容, 使之重点突出、符合教学规律、适宜组织教学, 比单纯讲测量更容易让学生提前进入工作状态。

(3) 本书适当地进行了学科的交叉, 既能让测绘工程专业的学生掌握关于变形监测以外的监控量测技术, 又能让地下工程、土木工程和勘察与技术等专业的学生了解地下工程测量方面的知识。实现学科交叉, 为后续学习和人才流动作好了铺垫。

本书由肖东升负责制订和统稿, 第 1、2 章由刘石磊编, 第 4 章由谢波编, 第 9 章由戴小军编, 第 3、6 章由邢文战编, 第 5、10 章由叶险峰编, 第 12 章由谢威瑜编, 第 7、8、11 章由肖东升编。本书从构思到编写, 得到了许多专家学者的指导和帮助。编委会成员对大纲

的编写和内容的制订提出了非常好的建设性意见和建议。本书的编写得到了成都地铁有限责任公司、石家庄铁源工程咨询有限公司和中铁第五工程局的大力帮助和支持，在此一并表示感谢。

随着科学与技术的发展，理论不断发展，技术不断更新，地下工程测量与量测必将与时俱进。由于编者水平有限，书中可能会存在缺点和疏漏，恳切希望同行、专家学者及广大读者批评指正。

编 者

2012 年 11 月



目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 地下工程测量的种类及特点	2
1.2 地下工程测量的内容	3
1.3 地下工程测量的要求	4
1.4 地下工程测量的现状及发展	5
第 2 章 地下工程控制测量	9
2.1 地面控制测量	10
2.2 地下控制测量	23
本章小结	49
习 题	49
第 3 章 联系测量及其精度分析	50
3.1 联系测量概述	52
3.2 投点和投向误差分析	55
3.3 一井定向及其精度分析	64
3.4 两井定向及其精度分析	75
3.5 陀螺经纬仪定向测量及其精度分析	92
3.6 高程联系测量及其精度分析	113
本章小结	115
习 题	115
第 4 章 地下工程施工测量方法	117
4.1 隧(巷)道中线的测设方法	118
4.2 隧(巷)道腰线的测设方法	124
4.3 立井的施工放样	127
4.4 激光导向	134
本章小结	135
习 题	135
第 5 章 贯通测量	136
5.1 贯通测量概述	138
5.2 一井内巷道贯通测量	141



5.3 两井间巷道贯通测量	146
5.4 立井贯通测量	148
5.5 贯通实际偏差的测定及调整	149
5.6 贯通测量施测与提高贯通测量精度的技术措施	151
5.7 贯通测量时考虑井下导线边的归化和改正问题	152
本章小结	155
习 题	155
第 6 章 地下矿井工程测量	157
6.1 煤矿测量	158
6.2 金属矿山测量	162
本章小结	170
习 题	170
第 7 章 矿山法地下工程测量	171
7.1 矿山法施工概述	172
7.2 地下工程的控制测量	175
7.3 矿山法施工测量	177
本章小结	187
习 题	187
第 8 章 盾构法地下工程测量	188
8.1 盾构法概述	189
8.2 盾构法施工测量的程序、项目及方法	189
8.3 盾构始发洞门圈中心定位	192
8.4 盾构反力架和始发托架的放样	194
8.5 盾构机的掘进方向控制和盾构姿态测量	194
8.6 隧道管片的拼装与姿态测量	198
8.7 管片的安装、测量与调整	201
本章小结	203
习 题	203
第 9 章 地下工程竣工测量	204
9.1 中线基桩和水准点测设	205
9.2 断面测量	205
本章小结	209
习 题	209
第 10 章 贯通测量的误差预计及方案设计	210
10.1 贯通测量的误差预计	212



10.2 贯通测量方案的设计	229
10.3 贯通测量技术总结的编写	231
本章小结	232
习 题	232
第 11 章 地下工程量测	234
11.1 地下工程量测的目的、内容和分类	235
11.2 地下工程内宏观观察	238
11.3 地下工程的收敛位移量测	241
11.4 地表下沉量测	246
11.5 锚杆轴向力测定	249
11.6 钢架荷载量测	250
11.7 围岩内变形量测	250
11.8 混凝土应力量测	251
11.9 量测数据的处理及应用	252
11.10 其他量测技术	255
11.11 现场量测方案的设计	256
本章小结	261
习 题	261
第 12 章 地下工程测量与量测的组织和管理	262
12.1 施工测量质量管理目标和质量指标	263
12.2 主要使用的测量规范	263
12.3 地铁工程施工测量组织管理的主要内容	263
12.4 测量复核方法与措施	264
12.5 测量分工负责制	271
12.6 监控量测的组织管理	274
12.7 监控量测的信息处理与反馈	276
本章小结	277
习 题	277
参考文献	284



第1章 绪论

学习目标

主要讲述地下工程测量与量测的基本知识。通过本章的学习，应达到以下目标：

- (1) 熟悉地下工程测量的种类及特点；
- (2) 掌握地下工程测量的内容；
- (3) 理解地下工程测量的要求；
- (4) 了解地下工程测量的沿革及展望。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
地下工程测量的种类及特点	(1) 地下工程测量的种类 (2) 地下工程测量的特点	(1) 地下工程测量环境和空间 (2) 控制测量的形式、重复测量、可靠性 (3) 一般先以低等级导线指示坑道掘进，而后布设高级导线进行检核
地下工程测量的内容	(1) 勘察规划设计阶段地下工程的测量内容 (2) 施工阶段地下工程的测量内容 (3) 竣工阶段地下工程的测量内容	(1) 勘察规划内容 (2) 施工内容与工序 (3) 竣工内容
地下工程测量的要求	(1) 控制测量的三原则 (2) 为保证地下工程的施工质量，在工程施工前应进行工程测量误差预计	(1) 高级和低级 (2) 随时检核

基本概念

地下工程测量 贯通误差 误差预计



1.1 地下工程测量的种类及特点

地下工程是指为开发利用地下空间资源而深入地面以下所建造的土木工程,包括地下房屋和地下构筑物、地下铁道、公路隧道、地下隧道、地下沟渠和地下通道等。

地下工程按开发深度分为三类,即浅层地下工程、中层地下工程和深层地下工程。浅层地下工程即利用地表至地表以下 10 m 深度空间的工程,主要用于商业、文娱和部分业务空间;中层地下工程即利用地表以下 10 m 至地表以下 30 m 深度空间的工程,主要用于建造地下交通、地下污水处理场及城市水、电、气、通信等公用设施;深层地下工程即利用地表 30 m 以下空间的地下工程,主要用于建设高速地下交通轨道、危险品仓库、冷库、油库等地下工程。

地下工程根据工程建设的特点也可分为三大类:第一类属于地下通道工程,如隧道工程(包括城市间或国家间的铁路隧道、公路隧道、跨海通道以及输水隧洞)、城市地铁、上下水道、电力及瓦斯管道等;第二类属于地下建(构)筑物,如地下工厂、地下式住宅、地下停车场、地下文化娱乐设施(影剧院、游乐场、舞厅、餐厅、医院、图书室等)、地下核能发电站、地下水力发电站、地下能源发电站、地下各种储备设施、地下商业街、防御洪水灾害的地下坝、人防避难工程、地下河、防灾型城市的工事以及军事设施等;第三类是地下采矿工程,包括为开采各种地下矿产资源而建设的地下金属和非金属采矿工程。

地下工程测量是工程测量的一个重要分支,它是研究地下工程建设中测量理论与方法的学科,是测绘学科在地下工程建设中的应用。与地面工程测量相比,地下工程测量具有以下特点:

(1) 地下工程测量环境差,如工作空间狭小、黑暗潮湿、通视条件不好、经常需进行点对中(常把点位布设在坑道顶部)、边长长短不一,因此常常影响到测量精度。

(2) 地下工程的坑道往往采用独头掘进,而硐室之间又互不相通,因此不便进行检核,出现错误时往往不能及时发现;并且,随着坑道向前掘进,点位误差由于累积会越来越大。

(3) 测量的网形受到地下条件的限制。由于地下工程施工面狭窄,且坑道一般只能前后通视,致使控制测量形式比较单一。常规的地面控制测量形式已不再适合,只能采用导线形式,且要进行重复测量以提高测量可靠性。

(4) 随着工程的掘进,测量工作需要不间断地进行。一般先以低等级导线指示坑道掘进,而后布设高级导线进行检核。

(5) 地下工程往往采用一些特殊或特定的测量方法(如联系测量等)和仪器(如陀螺经纬仪等)。有的采矿工程有矿尘和瓦斯(如井工矿),要求仪器具有较好的密封性和防爆性。

(6) 测量控制点埋设受到环境和空间的限制,例如有的要布设在巷道的顶部或边上。这些点还受地质结构和工程的影响,测量的检核工作量较大。

地下工程测量的环境和特点决定了地下工程测量一般采用导线测量的方法,但是不能完全按照常规测量——先高级后低级,先控制测量后碎部测量——的方法和程序,可能会先局

部控制、碎部测量,然后将局部控制延伸,再碎部,最后进行全面控制;或者局部控制测量和碎部测量交替延伸。

1.2 地下工程测量的内容

地下工程测量的内容包括地面控制测量、地下起始数据的传递、地下控制测量、贯通测量、地下工程施工测量、地下变形监测等。从工程建设的阶段来划分,地下工程测量对应工程勘察设计、施工、竣工等三个阶段。

1.2.1 勘察设计阶段

在地下工程勘察设计阶段,视工程规模和建筑物所处的深度,地下工程测量需要使用已有的各种大、中比例尺测绘专用地形图和带状地形图。其测绘范围除满足主体工程和附属工程的设计需要外,还应考虑岩体掘空后地面沉陷、岩体移动以及地下水渗入的可能影响范围。对于大型地下工程,测图比例尺在规划阶段为 $1:5\,000 \sim 1:25\,000$,在初步设计阶段为 $1:1\,000 \sim 1:5\,000$,在施工设计阶段为 $1:200 \sim 1:1\,000$ 。另外,对于小型地下工程,初步设计和施工设计用图的比例尺采用 $1:500 \sim 1:2\,000$ 。此外,还要绘制纵、横断面图。

1.2.2 施工阶段

在施工阶段,要配合施工步骤和施工方法,进行施工控制测量以及建(构)筑物的定线放样测量,以保证地下工程按照设计正确施工。其主要内容有:

1. 地下工程的施工控制测量

地下工程的施工控制测量分为地面控制测量、地下控制测量、联系测量和高程控制测量。

(1) 地面平面控制测量主要采用导线和 GPS 控制网;高程控制测量一般采用水准网或三角高程控制网。高程控制网的首级网应布设成闭合环线,加密网可布设成附和路线、结点网或闭合环。

(2) 联系测量。对于采用平硐或斜井进行施工的地下工程,可采用导线进行平面联系测量,采用水准或三角高程进行高程联系测量;如果通过竖井施工,则可采用几何联系测量(一井、两井定向测量等)或物理定向(陀螺定向测量等)的方法进行平面联系测量。高程联系测量通常采用长钢尺法、长钢丝法或电磁波测距仪测深的方法进行。

(3) 地下控制测量从各硐口或井口引进,随坑道掘进而逐步延伸。地下控制网的形状和测量方法,依坑道的形状和净空的大小而定。地下平面控制一般多采用导线和狭长的导线网,并加测陀螺方位角检核。地下高程控制一般采用水准测量或电磁波测距三角高程进行。



2. 地下工程的定线放样测量

地下工程的定线放样工作,是指依据地下平面控制点和水准控制点,放样出施工中线 and 施工腰线,给出开挖的方向,从而布置炮眼进行钻爆或以掘进机械进行开挖(已开始用激光导向的方法操纵掘进机械)的过程。待硐体成型或部分成型后,即根据校准的中线放样断面线,进行衬砌。地下工程衬砌后,要进行断面测量,核实净空。盾构机掘进的则要进行盾构机姿态和管片状态的测量。

1.2.3 竣工阶段

竣工测量指的是工程竣工后,为编制工程竣工文件,对实际完成的各项工程进行的一次全面量测的作业,它为建筑物的扩建、管理提供了图纸和数据资料。对于地下工程而言,在竣工后,要测制竣工图和记录必要的测量数据;在经营管理阶段,还要进行地下工程的设备安装、维修、改建、扩建等各种测量工作。

另外,地下工程在施工时,因岩体掘空,围岩应力发生变化,可能导致地下建筑物及其周围岩体的下沉、隆起、两侧内挤、断裂以至滑动等变形和位移。因此,在必要时,从施工前开始直到经营期间,应对地面、地面建筑物、地下岩体进行系统的变形观测,以保证施工安全、鉴定工程质量并开展相应的科学研究工作。

1.3 地下工程测量的要求

地下工程的测量可以分为地面控制测量、地上和地下的联系测量、地下工程中的控制测量、施工测量及竣工测量。其对测量的要求如下:

(1) 按照控制测量的原则,地面上是先“控制”后“碎部”、由“高级”到“低级”、从“整体”到“局部”。在地下,由于环境限制,顺序可以调整:先进行低级控制,当达到高级控制条件时进行高级控制,总体上都必须遵循步步有检核等原则。

(2) 在地下工程中,两个相向开挖的工作面的施工往往因测量误差而产生竖向(高程方向)、纵向和横向错开的现象,称为贯通误差。该误差在中线方向的投影长度称为纵向贯通误差,在水平面内垂直于中线方向的投影长度称为横向贯通误差,在高程方向的投影长度称为高程贯通误差(简称高程误差)。纵向误差不会影响隧道的贯通质量,而横向误差和高程误差将影响隧道的贯通质量。高程方向易于控制,出现测量错误的概率较小,容易达到工程的要求;而横向误差在测量的各个环节中稍不注意就会造成误差超限,引起工程中线几何形状的改变,给工程造成损失。因此,平面测量的精度是贯通质量好坏的关键。

(3) 为保证地下工程的施工质量,在工程施工前应进行工程测量误差预计。预计中应将容许的竣工误差适当加以分配。一般来说,地面上的测量条件比地下好,故对地面控制测量的精度应要求高一些,而将地下测量的精度要求适当降低。

(4) 在地下工程测量中,应尽量采用先进的测量设备。地面控制测量应采用 GPS 测量技术进行;平面联系测量应尽量采用陀螺定向;坑道内的导线测量应采用红外测距仪测距,以

加大导线边长、减少导线点数。为限制测角误差的传递,当导线前进一定距离后,应使用高精度陀螺经纬仪加测陀螺定向边。

1.4 地下工程测量的现状及发展

1.4.1 地下工程测量的国内外发展史

地下工程测量是随着地下工程的发展而发展起来的,最早可以追溯到古代。古代巴比伦王朝修建了长达 1 km 的横穿幼发拉底河的水底隧道;罗马时代也修筑了许多隧道工程,且都进行了隧道测量。中世纪时代由于对铜、铁等金属的需求,在矿石开采工程中采用了矿山测量技术。而且早在公元前 2000 多年前,我国便开始了铜矿开采;到了公元前 12 世纪,已经有了规模较大的各种金属矿开采点。在开采过程中,我国很重视矿体形状,并使用矿产地质图以辨别矿产的分布。

盾构施工技术自 1823 年由布鲁诺尔首创于英国伦敦泰晤士河的水底隧道工程以来,已有 180 余年的历史。在这 180 余年的风风雨雨中,经过几代人的努力,盾构法已从一种只能在极少数欧美发达国家中才见应用的特殊技术,发展成为在发达国家中极为普通,在发展中国家中亦逐渐得到应用的隧道施工技术。

1880—1890 年,在美国和加拿大间的圣克莱河下用盾构法建成一条直径 6.4 m,长 1 800 余米的水底铁路隧道。

1993 年建成的、连接英法两国的英吉利海峡隧道,全长 48.5 km,海底段长 37.5 km,隧道最深处在海平面下 100 m。这条隧道全部采用盾构法施工,英国一侧共用 6 台盾构,3 台施工岸边段,3 台施工海底段。施工海底段的盾构要向海峡中单向推进 21.2 km,与从法国侧向英国方向推来的盾构对接。法国侧共用 6 台盾构,2 台施工岸边段,3 台施工海底段。海峡隧道由 2 条外径为 8.6 m 的单线铁路隧道及 1 条外径为 5.6 m 的辅助隧道组成。由于海底段最大深度达 100 m,因此无论盾构机械还是预制钢筋混凝土管片衬砌结构,均要承受 10 个大气压的水压力;又由于单向推进 21.2 km,盾构推进速度必须达到月进 1 km 的速度才能在 3 年左右的时间内完成,因此盾构的构造及其后续设备均须采用高质量的耐磨耗、耐腐蚀材料。所以,该隧道的修建标志着盾构施工技术的最新水平。

20 世纪初,盾构施工法已在美、英、德、苏、法等国开始推广。三四十年代,这些国家已成功地使用盾构建成了内径为 3.0~9.5 m 的多条地下铁道及过河公路隧道,仅在美国纽约就采用气压法建成了 19 条重要的水底隧道。盾构施工的范围很广泛,有公路隧道、地下铁道、上下水道以及其他市政公用设施管道等。苏联 40 年代初开始使用直径为 6.0~9.5 m 的盾构先后在莫斯科、圣彼得保(列宁格勒)等市修建地下铁道的区间隧道及车站。

从 20 世纪 60 年代起,盾构法在日本得到迅速发展,除了大量用在东京、大阪、名古屋等城市的地下铁道建设中外,更多的是用在下水道等市政公用设施管道建设中。70 年代,日本及联邦德国等国针对在城市建设区的松软含水地层中由于盾构施工所引起的地表沉陷、预



制高精度钢筋混凝土衬砌和接缝防水等技术问题,研制了各种新型的衬砌和防水技术及局部气压式、泥水加压式和土压平衡式等新型盾构及相应的工艺和配套设备。日本是欧美国家以外第一个引进盾构施工技术的国家。

我国盾构的开发与应用始于 1953 年,东北阜新煤矿用手掘式盾构修建了直径 2.6 m 的疏水巷道。2001 年,国家科技部将盾构国产化列入国家“863”计划。2004 年 7 月 28 日,上海隧道工程股份有限公司、中铁隧道集团有限公司、上海科技投资公司、浙江大学、同济大学、华中科技大学等共投资 2 000 万元,在上海组建了股份制的盾构设计试验研究中心,研制出了我国第一台拥有自主知识产权的先进的大型多功能盾构试验平台。

随着高新技术的发展和应用,盾构控制技术的科技含量越来越高,自动化程度不断提高,测量定位也越来越准确,遥控技术、激光制导技术以及陀螺仪定位系统也已普遍应用于盾构技术中。盾构施工法施工过程中施工区域地表沉降控制技术日臻成熟,隧道施工的质量也越来越好,应用盾构进行隧道施工可安全地在地下穿越高大建筑物。

1.4.2 地下工程测量技术的现状

1. 传感器的研究动态、应用与集成

传感器是一个非常广义的概念,可泛指各种能自动化、高精度地采集数据的设备。GPS 接收机、激光跟踪仪、智能全站仪、马达驱动的全站仪、CCD 数码相机以及工程岩土位移伸缩计、流体静力水准等都属于传感器。当今,新型、高精度和实时动态性是结构复杂的大型工程安全施工和运营的重要保障,这就要求不同知识和专业领域的科技人员的共同合作,较全面地了解和掌握工程的安全状态,以综合分析建筑物的实时状态。因此,也就需要充分利用传感器自动化和高精度的特点,来实现数据的自动采集、传输、处理和表达。这种需求极大地促进了各种传感器的研发,并在各种工程中广泛应用。

2. 激光扫描仪的研究与应用

激光扫描仪是近几年出现的一种新型传感器,激光扫描仪的突出优点是不需要反射合作目标,速度快、精度高,主要用于快速、精确地测定物体的表面形状,尤其适合于形状和结构特别复杂的对象,如工业设备测定、古建筑测绘等,在工业测量、古迹文物保护、土木工程文档和变形监测等方面也都得到了广泛的应用。目前,对其研究的重点集中在两个方面:一是测量精度的研究,包括距离测量精度、角度测量精度、物体表面影响和同名点的匹配精度等;二是具体的实际应用,如建筑物文档的制作、工厂复杂管道三维模型的建立、工程施工和竣工的形状资料等。

3. 变形监测

变形监测的自动化是目前变形监测手段的重要话题。一个变形监测系统应该是一个测量传感器和“非测量”传感器组成的联合自动化系统。就目前的监测手段而言,极大部分还是以 GPS、马达驱动的全站仪和数字水准仪为主体。这是因为这几种方法设站灵活、成本低、



易自动化,且在大部分情况下都能满足变形测量的要求。同时,为弥补其不足,流体静力水准仪、倾斜测量仪、温度传感器、风力传感器、光纤位移传感器、交通流量测量传感器、振动测量传感器等的应用也越来越广泛,以满足具体工程的特殊要求和便于全面地进行变形分析。变形监测的对象主要集中在常规的土木工程,如道路、桥梁、隧道、铁路、水坝、厂房设备、电视塔等高大建筑物和滑坡、岩崩、雪崩等。由于各种传感器的大量使用,我们不仅可以连续地测量变形本身,而且尽可能地连续测量包括温度、水位、气压、荷载、风力、降雨、湿度等在内的变形体周围的多种环境数据。因此,变形监测的数据处理主要集中在对连续时间序列的处理、对多传感器数据的联合处理、变形可视化表达和建立变形动态模型等几个方面。通过数据处理后的分析能对变形作出合理的解释,对工程建筑物的现状给出正确的评价,对其发展趋势给出正确的预报。

4. 测量仪器的检校

随着各种高精度数字化仪器(传感器)的出现,如何选择更高精度的设备和方法对它们进行有效的检验,也是地下工程测量技术发展的一个重点。例如数字水准仪、电子经纬仪、流体静力水准系统、三维激光扫描仪、倾斜测量仪等能达到怎样的精度,如何检测其精度,它们在实际运行中的姿态对测量结果产生多大的影响,外界环境因素的变化影响有多大等,都有很大的发展空间。检测结果不仅是仪器使用者和仪器制造商关心的问题,也属于地下工程测量需要研究和解决的问题。

5. 高精度的陀螺经纬仪

陀螺经纬仪是可以确定过测站的子午线方向(陀螺北方向)和测线的陀螺方位角的仪器,是矿山、隧道等地下工程测量中的主要定向设备。由于陀螺仪定向的人工观测过程费时费力,很容易造成返工且精度受到限制,所以便出现了自动跟踪观测及自动数字显示等的陀螺经纬仪。新一代的陀螺经纬仪由计算机控制,仪器自动、连续地观测陀螺的摆动并能补偿外部的干扰,观测时间短、精度高。例如,Cromad 陀螺经纬仪在 7 min 左右的观测时间能获取 3" 的精度,比传统陀螺经纬仪精度提高近 7 倍,作业效率提高近 10 倍。

1.4.3 地下工程测量技术的发展

(1) 测量机器人将作为多传感器集成系统在人工智能方面得到进一步发展,其应用范围将进一步扩大,影像、图形和数据处理方面的能力将进一步增强。

(2) 在变形观测数据处理和大型工程建设中,将发展基于知识的信息系统,并进一步与大地测量、地球物理、工程与水文地质以及土木建筑等学科相结合,解决工程建设中以及运行期间的安全监测、灾害防治和环境保护的各种问题。

(3) 多传感器的混合测量系统将得到迅速发展和广泛应用,如 GPS 接收机与电子全站仪或测量机器人集成,可在大区域乃至国家范围内进行无控制网的各种测量工作。

(4) 数据处理中数学物理模型的建立、分析和辨识将成为工程测量学专业教育的重要内