



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
教育部高等学校高职高专测绘类专业教学指导委员会组织编写

工程测量

(测绘类)

王军德 刘绍堂 主编 周园 周建郑 主审



黄河水利出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
教育部高等学校高职高专测绘类专业教学指导委员会组织编写

工程测量(测绘类)

王军德 刘绍堂 主编
周 园 周建邦 主审

黄河水利出版社
· 郑州 ·

内 容 提 要

本书突出了测绘类高职高专院校服务于各种工程测绘领域的特点,具体讲授了地形图测绘及应用、工程施工控制网建立、施工放样、建筑施工测量、工程变形监测、线型工程测量、管线工程测量、桥梁工程测量、地下工程测量、水平工程测量等,具有很强的实用性、指导性和可借鉴性。

本书可作为高职院校测绘专业与非测绘专业的基本教材,也可作为从事工程测量教学、生产和科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量(测绘类)/王军德,刘绍堂主编. —郑州:黄河水利出版社,2010.12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-80734-957-0

I. ①工… II. ①王…②刘… III. ①工程测量-高等学校-教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 251384 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:23

字数:560 千字

印数:1—4 100

版次:2010 年 12 月第 1 版

印次:2010 年 12 月第 1 次印刷

定价:39.00 元

教育部高等学校高职高专测绘类专业教学指导委员会
规划教材审定委员会

名誉主任 宁津生

顾问 陶本藻 王 依

主任 赵文亮

副主任 李生平 李骏元 韩力援

委员 邹自力 陈传胜 黄华明 邹晓军 张晓东
李天和 靳祥升 薄志义 全志强 张保民
王根虎 周 园 李青海 赵 敏 张彦东
张东明

序

我国的高职高专教育经历了十余年的蓬勃发展,获得了长足的进步,如今已成为我国高等教育的重要组成部分,在国家的经济、社会 and 科技发展中发挥着积极的服务作用,测绘类专业的高职高专教育也是如此。为了加深高职高专教育自身的改革,并使其高质量地向前发展,教育部决定组建高职高专教育的各学科专业指导委员会。国家测绘局受教育部委托,负责组建和管理高职高专教育测绘类专业指导委员会,并将其设置为高等学校测绘学科教学指导委员会下的一个分委员会。第一届分委员会成立后的第一件事就是根据教育部的要求,研讨和制定了我国高职高专教育的测绘类专业设置,新设置的专业目录已上报教育部和国家测绘局。随后组织委员和有关专家按照新的专业设置制订了“十五”期间相应的教材规划。在广泛征集有关高职高专院校意见的基础上,确定了规划中各本教材的主编和参编院校及其编写者,并规定了完成日期。为了保证教材的学术水平和编写质量,教学指导分委员会还针对高职高专教材的特点制定了严格的教材编写、审查及出版的流程和规定,并将其纳入高等学校测绘学科教学指导委员会统一管理。

经过各相关院校编写教师们的努力,现在第一批规划教材正式出版发行,其他教材也会陆续出版。这些规划教材鲜明地突出了高职高专教育中专业设置的职业性和教学内容的应用性,适应高职高专人才的职业需求,必定有别于高等教育的本科教材,希望在高职高专教育的测绘类专业教学中发挥很好的作用。

这里要特别指出,黄河水利出版社在获悉我们将出版一批规划教材后,为了支持和促进测绘类专业高职高专教育的发展,经与教学指导委员会协商,今后高职高专测绘类专业的全部规划教材都将由该社统一出版发行。这里谨向黄河水利出版社表示感谢。

由教学指导委员会按照新的专业目录,组织、规划和编写高职高专测绘类专业教材还是初次尝试,希望有测绘类专业的各高职高专院校能在教学中使用这些规划教材,并从中发现问题,提出建议,以便修改和完善。

高等学校测绘学科教学指导委员会主任
中国工程院院士

宁津生

2005年7月10日于武汉

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据《国务院关于大力发展职业教育的决定》、教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》等文件精神,以及教育部对普通高等教育“十一五”国家级规划教材建设的具体要求组织编写的。

本书考虑了测绘类高职高专院校学生掌握的测绘基础知识面较窄,深度和广度不够的现实,补充了部分测绘基础知识,减少了较深理论知识的讲授内容,而更注重教材的实用性,并尽量使教材内容浅显明了,通俗易懂。

与其他专业院校的同类教材相比,本书突出了测绘类高职高专院校服务于各种工程测绘领域的特点,内容涉及面广,具体讲授了地形图测绘及应用、工程施工控制网建立、施工放样、建筑施工测量、工程变形监测、线型工程测量、管线工程测量、桥梁工程测量、地下工程测量、水利工程测量等内容,适应了测绘市场对高职高专专业人才的需求。

本书紧跟测绘科技的发展趋势,结合生产单位的新技术、新方法和新仪器,并考虑了教材的前瞻性和引导性,加入了大量全站仪使用、GPS 技术、激光技术、数字测图技术、精密工程测量等最新知识。

本书图文并茂,理论联系实际,引入了大量生产实例,并融入了大量工程测绘中的经验、方法和技术,在指导实际生产方面有很强的实用性和可操作性。同时,本书从始至终贯穿了最新测绘规范的相关规定,加强了依据测绘规范进行规范化操作的概念。

本书突出了测绘类高职高专院校注重实际操作能力培养的特点,具有很强的实用性、指导性和可借鉴性。

本书由王军德、刘绍堂担任主编,郭红霞、许云燕参编了部分章节。具体分工如下:第3、6、8、9章由王军德编写,第2、10、11章由郭红霞编写,第1、4、5章由许云燕编写,第7章由刘仁钊编写,王军德负责全书的定稿工作。在本书编写过程中,天津海事局海测大队张墨起提供了水下地形测量的参考资料,杨国清高级讲师、张传喜高级讲师在编写过程中给予了诸多指导,并得到了郑州测绘学校大地工测教学部、教务处和校教材编审委员会的大力支持和帮助。在审阅书稿时提出了许多宝贵意见,作者在此一并表示深切的谢意。

本书可作为测绘类高等职业教育的基本教材,也可作为从事工程测量教学、生产和科技人员的参考书。

编 者

2010年9月

目 录

前 言

第1章 工程测量学概述	(1)
第1节 工程测量学的起源及历史沿革	(1)
第2节 工程测量学的主要内容	(3)
第3节 工程测量学与相邻学科的关系	(6)
第4节 工程测量学的发展趋势	(6)
习 题	(8)
第2章 大比例尺地形图测绘及应用	(9)
第1节 大比例尺地形图质量标准	(9)
第2节 大比例尺数字测图	(11)
第3节 工业场地现状图测绘	(15)
第4节 地形图应用基本内容	(18)
第5节 地形图在工程建设中的应用	(21)
习 题	(31)
第3章 工程施工控制网的建立	(33)
第1节 施工测量概述	(33)
第2节 施工控制网的布设	(33)
第3节 平面施工控制测量	(39)
第4节 高程控制测量	(46)
第5节 GPS 控制测量	(52)
第6节 施工控制网的坐标系统及坐标换算	(59)
第7节 施工控制网中央子午线及投影基准面的选择	(62)
第8节 施工控制网精度的确定方法	(68)
第9节 施工控制网优化设计	(73)
习 题	(75)
第4章 施工放样	(77)
第1节 施工放样概述	(77)
第2节 施工放样的基本操作	(79)
第3节 设计平面点位的测设	(88)
第4节 全站仪坐标放样	(95)
习 题	(100)
第5章 建筑施工测量	(101)
第1节 建筑施工控制网	(101)
第2节 民用建筑施工测量	(106)

第3节	高层建筑施工测量	(112)
第4节	工业建筑施工测量	(116)
第5节	特殊平面图形建筑物施工测量	(121)
习 题		(126)
第6章	工程变形监测、分析与预报	(128)
第1节	工程变形监测的基础知识	(128)
第2节	变形监测的精度与观测周期	(130)
第3节	变形监测网	(134)
第4节	建筑物垂直位移观测	(144)
第5节	水平位移观测	(153)
第6节	高耸建筑物的倾斜观测	(168)
第7节	裂缝观测	(175)
第8节	基准网稳定性检验	(176)
第9节	变形监测的资料整理、成果表达和解释	(181)
习 题		(183)
第7章	线型工程测量	(185)
第1节	线型工程测量概述	(185)
第2节	道路初测	(186)
第3节	道路中线测量	(189)
第4节	道路圆曲线线路坐标计算	(193)
第5节	完全非对称综合曲线线路坐标计算	(196)
第6节	互通立交匝道线型线路坐标计算	(201)
第7节	竖曲线测设	(204)
第8节	线路纵横断面测量	(206)
第9节	道路施工测量	(214)
第10节	软土地基路基施工沉降观测	(222)
第11节	全站仪在道路工程测量中的应用	(224)
习 题		(225)
第8章	管线工程测量	(228)
第1节	管线中线测量	(228)
第2节	管线施工测量	(231)
第3节	管线测绘	(234)
习 题		(241)
第9章	桥梁工程测量	(242)
第1节	桥址选线测量	(242)
第2节	桥梁施工控制网精度的确定	(243)
第3节	桥梁施工控制网的建立	(246)
第4节	桥梁墩、台定位和轴线测设	(252)
第5节	桥梁施工的细部放样	(259)

第6节	桥梁变形监测	(265)
习 题		(271)
第10章	地下工程测量	(272)
第1节	概 述	(272)
第2节	隧道地面控制测量	(272)
第3节	隧道地面控制网精度确定	(278)
第4节	地下控制测量	(282)
第5节	隧道地下控制网精度确定	(285)
第6节	竖井联系测量	(289)
第7节	隧道施工测量	(296)
第8节	陀螺经纬仪的定向原理	(303)
第9节	陀螺经纬仪的定向方法	(306)
习 题		(312)
第11章	水利工程测量	(314)
第1节	水下地形测量	(314)
第2节	河道纵横断面测量	(326)
第3节	水利枢纽施工控制网布设	(330)
第4节	水利枢纽施工控制网精度的确定	(332)
第5节	坝体施工测量	(334)
第6节	水利工程细部放样	(339)
第7节	大坝变形监测	(345)
习 题		(354)
参考文献		(355)

第 1 章 工程测量学概述

第 1 节 工程测量学的起源及历史沿革

工程测量学是一门历史悠久的学科,是从人类生产实践中逐渐发展起来的,历史源远流长。由于古代社会生产力水平不高,自然科学不发达,工程测量学与测绘学之间没有严格的学科界限,所以工程测量学的发展史实质上就是测绘学的一部发展史。

我国早在 2 000 多年前的夏商时代,为了治水就开始了实际的工程测量工作。对此,伟大的史学家司马迁在《史记》中对夏禹治水有这样的描述:“陆行乘车,水行乘船,泥行乘橇,山行乘桴,左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九道,陂九泽,度九山。”其中“准”是古代用的水准器,“绳”是一种测量距离、引画直线和定平用的工具,是最早的长度度量及定平工具之一,“规”是校正圆形的工具,“矩”是古代画方形的用具,也就是曲尺。这里所记录的就是当时勘测的情景。

早期的水利工程多为河道的疏导,以利防洪和灌溉,其主要的测量工作是确定水位和堤坝的高度。秦代李冰父子开凿的都江堰水利枢纽工程,用一个石头人来标定水位。当水位超过石头人的肩时,下游将受到洪水的威胁;当水位低于石头人的脚背时,下游将出现干旱。这种标定水位的办法,虽不如水尺那样精确,但却是我国水利工程测量发展的标志。而宋代汴渠的水准测量就比较精确,对此北宋的科学家沈括在他的《梦溪笔谈》中有着十分珍贵的记述,沈括主持进行了八百多里的水准测量,测得京师(今开封)的地面要比泗州高出十九丈四尺八寸六分。用分层筑堰的方法来进行水准测量是当时的一项新创造。当时常用的测量工具是“水平”、“望尺”和“千尺”等。其最小测量单位是百分之一尺,相当于公制的 3 mm 左右,这在当时的测量条件下,实在是非常难得。

战争也促进了工程测量学的发展。中国战国时期修筑的午道,公元前 212 年秦始皇修建的“蜃山堙谷,千八百里”的直道,古罗马构筑的兵道,以及公元前 218 年欧洲修建的通向意大利的“汉尼拔通道”等,都是著名的军用道路,修建中都曾应用简易测量工具进行地形勘测、定线测量和隧道测量。唐代李筌指出“以水佐攻者强……先设水平测其高下,可以漂城,灌军,浸营,败将也”,说明了测量地势高下对军事成败的作用。还有我们中华民族的象征——万里长城修建于秦汉时期,对于这样规模巨大的防护工程,从整体布局到修筑,都进行了详细的勘察测量工作。

工程测量学的发展在很长的一段时间内是非常缓慢的。直到 20 世纪初,随着大规模工程和工业建设的出现,以及自然科学的迅速发展,解决重大工程问题的测绘理论与技术的形成和仪器的日臻完善,在测绘学的体系中逐渐形成了工程测量学这一学科。

因为工程测量主要为各项工程建设服务,所以最初工程测量学定义为:研究各项工程建设在勘测设计、施工建设和运营管理阶段所进行的各种测量工作的总称。各种工程包括工

业建设、城市建设、交通工程(铁路、公路、机场、车站、桥梁、隧道)、水利电力工程(河川枢纽、大坝、船闸、电站、渠道)、地下工程、管线工程(高压输电线、输油送气管道)、矿山工程等。

一般的工程建设分为勘测设计、施工建设和运营管理三个阶段。工程测量主要包括在这三个阶段所进行的各种测量工作。在工程建设的勘测设计阶段,测量工作主要是提供各种比例尺的地形图,还要为工程地质勘探、水文地质勘探及水文测验等进行测量。在工程建设的施工建设阶段,主要的测量工作是施工放样和设备安装测量,即把图纸上设计好的各种建筑物按其设计的三维坐标测设到实地上去,并把设备安装到设计的位置上。为此,要根据工地的地形、工程的性质及施工的组织与计划等,建立不同形式的施工控制网,作为施工放样与设备安装的基础,然后按照施工的需要进行点位放样。在工程建设的运营管理阶段,为了监视建筑物的安全和稳定情况,验证设计是否合理、正确,需要定期对其位移、沉陷、倾斜及摆动等进行观测,因此这一阶段的主要测量工作是工程建筑物的变形观测。

以核子、电子和空间技术为标志的所谓第三次科技革命,使工程测量得以迅速发展。20世纪以来,世界各国在城市建设、铁路建设、大型钢铁联合企业建设中对施工测量、施工控制网的建立和设计提出了一系列的要求;摩天大楼的建设、长隧道和地铁建设、空间技术试验和导弹发射场的建设促使工程测量向精密(高精度)工程测量方向发展;随着工程测量自动化程度和测量精度的提高,工程测量的技术和方法已经在大型设备安装、巨型试验设备建设及航空、航天工业,汽车、船舶制造业中得到了广泛的应用,出现了工业测量学;大型水工建筑物的建设、水利枢纽和电站工程的建设,使工程建筑物的安全监测、变形分析和预报成为工程测量研究的主要方向。20世纪末,现代科学技术有了飞速发展,人类科学技术不断向着宏观宇宙和微观粒子世界延伸。测量对象不仅限于地面而且深入地下、水域、空间和宇宙,如核电站、海底隧道、跨海大桥、电子对撞机工程等。由于仪器的进步和测量精度的提高,工程测量的领域日益扩大,除传统工程建设三阶段的测量工作外,在地震观测,海底探测,巨型机器、车床、设备的荷载试验,高大建筑物(电视发射塔、冷却塔)变形观测、文物调查,甚至在医学、体育运动和罪证调查中,都应用了最新的工程测量和精密工程测量的仪器和方法。1964年国际测量师联合会(FIG)为了促进和繁荣工程测量,成立了工程测量委员会(第六委员会),从此工程测量学在国际上作为一门独立的学科开展活动。

现代工程测量已经远远突破了为工程建设服务的狭窄概念,而向所谓的“广义工程测量学”方向发展,认为工程测量学是研究地球空间(包括地面、地下、水下、空中)具体几何实体的测量描绘和抽象几何实体的测设实现的理论、方法与技术的一门应用性学科。具体几何实体指一切被测对象,包括存在(或已建成)的各项工程及与工程有关的目标;抽象几何实体指一切设计的但尚未实现的、未建成的各项工程。

从工程测量学的发展历史可以看出,它的发展经历了一条从简单到复杂、从手工操作到测量自动化、从常规测量到精密测量的发展道路,它的发展始终与当时的生产力水平同步,并且能够满足大型特种精密工程中对测量所提出的愈来愈高的需求。如举世瞩目的长江三峡水利枢纽工程,溪洛渡、向家坝、小浪底和二滩等大型水利枢纽工程;长达30多km的杭州湾大桥和东海大桥工程;已竣工的秦岭隧道(18.4 km),山西省引黄工程南干线的7号隧洞(长42.6 km)及辽宁省大伙房引水工程隧道(长达85.3 km);上海磁悬浮铁路;北京国家

大剧院等大型精密特种工程,都堪称世界之最。大型特种精密工程建设和对测绘提出的愈来愈高的要求是工程测量学发展的动力。

第2节 工程测量学的主要内容

总的来说,工程测量学主要包括以工程建筑为对象的工程测量和以机器设备为对象的工业测量两大部分,主要任务是为各种服务对象提供测绘保障,满足它们所提出的各种要求,可分为普通工程测量和精密工程测量。精密工程测量代表工程测量学的发展方向,大型特种精密工程是促进工程测量学科发展的动力。

由于本书主要面向测绘类高职高专及中等专业学校的学生,其服务的领域主要以工程建筑为对象,所讲述的内容主要为普通工程测量,但也适当融入了精密工程测量的部分内容。

工程测量学按所服务的对象分为建筑工程测量、线路工程测量、桥隧工程测量、地下工程测量、水利工程测量、海洋工程测量、三维工业测量及矿山测量、城市测量等。各项服务对象的测量工作各有特点与要求,但从其测量的基本理论与技术方法来看,又有很多共同之处。学习时,我们要注意特殊和一般、个性与共性的关系。学习完工程测量学后,对于上述任何一种工程测量都能理解和掌握。

工程测量学的主要内容可以归纳为以下几个主要方面。

1 工程测量中的地形图测绘

在工程勘测设计中所用的地形图比例尺一般较小,根据工程的规模可直接使用 1:1 万 ~ 1:10 万比例尺的国家基本地形图。对于一些大型工程,往往还需要专门测绘 1:2 000 ~ 1:5 000 比例尺的区域性或带状地形图,一般采用航空摄影测量的模拟法、解析法或全数字化法测图,而对于一般工程的地形图测绘,则大多采用地面测量方法,用模拟的白纸成图或数字化机助成图法。在施工建设和运营管理阶段,往往需要用数字化机助成图法测绘 1:1 000, 1:500 乃至更大比例尺的地形图或专题图。工程测量中的地形测绘还包括水下(含江、河、库、湖、海等)地形测绘和各种纵横断面图测绘。各种比例尺的地形图是工程信息系统的基础地理信息。

2 工程控制网布设及优化设计

工程控制网分为测图控制网、施工控制网、变形监测网和安装控制网,它们不同于国家基本网和城市等级网,在选点、埋标、观测方案设计、质量控制、平差计算、精度分析及其他与之相关的数据处理等方面都具有自身的鲜明特色。目前,除特高精度的工程专用网和设备安装控制网外,绝大多数首级工程控制网可采用 GPS 定位技术来建立。如何将现代卫星测量技术与地面测量技术相互结合、取长补短显得非常重要。无加密控制网的控制测量将走进工程测量领域。对于各种精密工程中的施工控制网、变形监测网及安装控制网,都应该或者说都必须进行网的优化设计。优化设计涉及坐标系确定,基准选择,仪器与方法选取,网的精度、可靠性、灵敏度和建网费用等质量准则问题。

3 施工放样技术和方法

将设计的抽象几何实体放样(或称测设)到实地上去成为具体几何实体所采用的测量方法和技术称为施工放样,机器和设备的安装也是一种放样。放样可归纳为点、线、面、体的放样。点放样是基础,施样点必须满足特定的条件:如在一条给定的直线或曲线上,在已知曲面上且空间形状符合设计要求。放样与测量的原理相同,使用的仪器和方法也相同,只是目的不一样。放样一般采用方向交会法、距离交会法、方向距离交会法、极坐标法、坐标法、偏角法、偏距法、投点法等。除常规的光学及电子经纬仪、水准仪、全站仪外, GPS 技术亦可用于工程的施工放样、施工机械导航定位和建筑物构件的安装定位。机器设备的安装往往需要达到计量级精度,为此,往往需要研究专门的测量方法和研制专用的测量仪器和工具。施工放样的工作量很大,因此施工放样一体化、自动化显得特别重要。

4 工程的变形监测分析和预报

工程建筑物的变形及与工程有关的灾害监测、分析和预报是工程测量学的重要研究内容。变形分析和预报都需要对变形观测数据进行处理,还涉及工程、地质、水文、应用数学、系统论和控制论等学科,属于多学科的交叉领域。

变形监测网的布设和优化设计较其他工程控制网更加丰富。网的精度是愈高愈好,需要具有更高的可靠性和灵敏度;应针对精度、可靠性及灵敏度作网的优化设计计算;还要确定所使用的仪器、网的等级、观测周期和观测时间等。变形监测几乎包括了全部的工程测量技术,除常规的仪器和方法外,还大量使用了各种传感器和专用仪器。

变形观测数据处理,首先是对监测网周期观测值的处理。其中,参考点稳定性分析,目标点位移量计算,变形模型的建立、检验以及参数估计是变形几何分析的重要内容。以几何分析为基础,与物理解释相结合,可以对变形体的静态、准静态、运动态和动态模型作确切的描述,能满足工程安全对变形分析预报的要求。变形分析预报也包括对变形观测成果的整理和图表输出等内容。变形监测分析与预报是工程或设备安全运营的基本保障,变形分析结果是对设计正确性的检验,是修改设计或类似工程新设计的依据。

5 工程测量的通用和专用仪器

经纬仪、水准仪、全站仪是工程测量的通用仪器,光学经纬仪、光学水准仪逐渐被电子经纬仪、电子全站仪、电子水准仪代替。GPS 接收机也已成为通用仪器而被广泛使用。陀螺经纬仪可直接测定方位角,主要用于联系测量和地下工程测量。通用仪器可测方向、角度、距离、高差、坐标差等几何量。从数据获取到数据处理,一体化、自动化程度愈来愈高。测量机器人是电子全站仪中的极品,它实现了整个测量过程的自动化。将 GPS 接收机与电子全站仪或测量机器人连接在一起,称为超站仪,它将 GPS 的实时动态定位技术与全站仪灵活的三维极坐标测量技术完美结合,可实现无加密控制的各种工程测量。CCD 传感器与电子全站仪结合,构成摄像全站仪,可实现面状数据的快速获取,具有很好的应用前景。

专用仪器是工程测量学仪器发展最活跃的领域,主要应用在精密工程测量领域,包括机械式、光电式、光机电(子)多传感器集成式仪器或测量系统。

如用于基准线测量或准直测量方面的仪器有正锤、倒锤及垂线观测仪、引张线仪、各种激光准直仪、铅直仪(向下、向上)、自准直仪及尼龙丝或金属丝准直测量系统等。

在距离测量方面,以 ME5000 为代表的精密激光测距仪和 TERRAMETER - LDM2 双频激光测距仪,使得中长距离测量精度可达亚毫米级;许多短距离、微距离测量都实现了测量数据采集的自动化,其中最典型的是铟瓦线尺测距仪 DISTINVAR、应变仪 DISTERMETER 与振动激光快速遥测仪等。采用多普勒效应的双频激光干涉仪,能在数十米范围内达到 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 计量精度,成为重要的长度检校和精密测量设备;采用 CCD 线列传感器测量微距离可达到百分之几微米的精度,使距离测量精度从毫米、微米级进入到纳米级世界。

高程测量方面显著的发展是液体静力水准测量系统。这种系统通过各种类型的传感器测量容器的液面高度,可同时获取数十个乃至数百个测点的高程,具有高精度、遥测、自动化、可移动和持续测量等特点。两容器间的距离可达数十千米,如用于跨河与跨海峡的水准测量。通过一种压力传感器,允许两容器之间的高差从过去的数厘米达到数米。

与高程测量相关的倾斜测量(又称挠度曲线测量)可用于确定被测对象(如桥、塔)在竖直平面内相对于水平或铅直基准线的挠度曲线。各种机械式测斜(倾)仪、电子测斜仪都向着数字显示、自动记录和灵活移动等方向发展,其精度达到微米级。

三维激光扫描仪可对被测对象在不同位置扫描,快速地获取物体在给定坐标系下的三维坐标,通过坐标转换和建模,可输出被测对象的各种图形和数字模型,还能直接转换到 CAD 成图。车载、机载激光扫描仪将成为 21 世纪地面数据采集的主要手段,一种称为图像工程测量的研究方向正悄然兴起。

综上所述,工程测量专用仪器具有高精度(亚毫米、微米乃至纳米)、快速、遥测、无接触、可移动、连续、自动记录、微机控制等特点,可进行精密定位测量、准直测量,可测量坐标、偏距、倾斜度、厚度、表面粗糙度和平直度,还可测量振动频度及物体的动态变化等。

6 工程测量学中的误差及测量平差理论

最小二乘法广泛应用于测量平差。经典最小二乘法建立在观测值服从正态分布的随机变量的基础上。测量误差导致了测不准理论。在对误差的研究上,有平差中函数模型误差和随机模型误差诊断。方差和协方差分量估计实质上是通过观测值的权迭代计算精化平差的随机模型,还要研究模型误差对参数估计的影响、对参数和残差统计性质的影响。研究病态方程与控制网及其观测方案设计的关系等。由于变形监测网参考点稳定性检验的需要,导致了自由网平差和拟稳平差的出现与发展。观测值粗差的研究促进了控制网可靠性理论以及变形监测网网点变形之间、变形与观测值粗差之间的可区别性理论的研究和发展。针对观测值存在粗差的客观实际,出现了稳健估计(或称抗差估计)。巴尔达的数据探测法对观测值中只存在一个粗差时有效,稳健估计法具有抵抗多个粗差影响的优点。建立改正数向量与观测值真误差向量之间的函数关系,可对多个粗差同时定位定值。针对法方程系数阵存在病态的可能,发展了有偏估计。为了与最小二乘估计相区别,稳健估计和有偏估计称为非最小二乘估计。与此同时,还有从参数估计到非参数估计和到半参数估计的发展,从线性估计到非线性估计的发展。

第3节 工程测量学与相邻学科的关系

工程测量学与测绘学及其他学科之间有密切的关系。

控制测量学是工程测量学的理论基础,各种测图控制网、工程控制网、变形监测网的建立离不开控制测量学、GPS 测量的相关知识;工程勘测设计阶段,常常需要用到各种比例尺地形图,而地形图测绘的基本知识是地形测量学,其最常用的成图方法无非是白纸测图、大比例尺野外数字测图、航测数字化成图等;工程测量的服务对象是各种工程,因此必须具备有关土建工程、机械工程、工程地质、水文地质和环境地质工程识图及 CAD 辅助设计等方面的知识;工程竣工测量与地籍测量也需要地籍测量和土地管理方面的有关知识;误差理论、测量平差是工程控制网及变形观测数据处理的基础;工程测量学中大量的数据处理、图形图像处理、建立信息系统等都离不开计算机科学与技术方面的知识,要具有计算机软硬件和网络方面的知识及一定的软件设计与编程能力。高等数学中的级数、微积分、微分方程,物理学中的电磁波传播、力学、光学等内容在工程测量学中应用得很普遍。

值得指出的是,随着空间技术、通信技术、信息技术、计算机技术的飞速发展,人类进入了信息时代;数字地球的建立和应用,地球村概念的出现,地球上人们相互往来日益增多,信息技术和经验交流日益迫切,测绘成为信息产业中的地理信息产业。为了加强国内外的学术交流,工程测量工作者要有较好的人文管理方面的知识,还要学 1~2 门外语(如英语),具有较好的听、说、阅读理解乃至思维能力。

所以,一定要摒弃只重视工程测量学这门专业课,而轻视其他专业基础课程的思想。缺少了工程测量专业体系中的任何一种知识,对工程测量学课程的掌握、对自己专业技能的培养都会造成很大的障碍。

第4节 工程测量学的发展趋势

武汉大学张正禄教授对工程测量学的发展趋势和特点高度概括为“六化”和“十六字”。“六化”是:测量内、外业作业的一体化;数据获取及处理的自动化;测量过程控制和系统行为的智能化;测量成果和产品的数字化;测量信息管理的可视化;信息共享和传播的网络化。“十六字”是:精确、可靠、快速、简便、实时、持续、动态、遥测。

1 概述

1.1 测量内、外业作业的一体化

测量内、外业作业的一体化是指测量内业和外业工作已无明确的界线,过去只能在内业处理和完成的事,现在在外业可以很方便地完成。如测图时可在野外编辑修改图形,控制测量时可在测站上平差和得到坐标,施工放样数据可在放样过程中随时计算等。

1.2 数据获取及处理的自动化

数据获取及处理的自动化主要指数据的自动化流程。电子全站仪、电子水准仪、GPS 接收机都是自动化地进行数据获取,大比例尺测图系统、水下地形测量系统、大坝变形监测系统等都可实现或都已实现数据获取及处理的自动化,如武汉大学研制的科傻系统实现了地

面控制和施工测量的数据获取及处理的自动化。用测量机器人还可实现无人观测即测量过程的自动化。

1.3 测量过程控制和系统行为的智能化

测量过程控制和系统行为的智能化主要指通过程序实现对自动化观测仪器的智能化控制、管理,能模拟人脑的思维方式判断和处理测量过程中遇到的各种问题,如在地铁自动变形监测系统中,当测量视线遇遮挡时会自动判断并等待车辆通过后再观测,当变形值超限时会自动通过电话、传呼、发送电子邮件等方式报警。

1.4 测量成果和产品的数字化

测量成果和产品的数字化是指成果的形式和提交方式,只有数字化才能实现计算机处理和管理,以及与后续系统、用户之间的数据无缝衔接。测量成果和产品的数字化实际上还包括了测量成果的多样化。

1.5 测量信息管理的可视化

测量信息管理的可视化包含图形可视化、三维可视化和虚拟现实等。

1.6 信息共享和传播的网络化

信息共享和传播的网络化是在数字化基础上进一步锦上添花,包括在局域网和国际互联网上实现。

2 现代工程测量学发展的特点

“十六字”从另一角度概括了现代工程测量学的特点,特别是朝快速、动态方向发展。从目前的情况已经可以看出,各种移动式测量系统,如车载、机载测量系统将成为今后地面测量的主要手段。

从工程测量整个学科的发展来看,精密工程测量的理论与方法、工程的变形监测分析与灾害预报、工程信息系统的建立与应用将是今后一段时间内工程测量学研究的主要方向。

展望未来,我们可以预测工程测量学将在以下方面得到显著发展:

(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、工程与水文地质及土木建筑等学科相结合,解决工程建设中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)工程测量将从土木工程测量、三维工业测量扩展到人体科学测量,如人体各器官或各部位的显微测量和显微图像处理。

(4)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,可在大区域乃至全国范围内进行无控制网的各种测量和定位工作;在小尺度范围内,经纬仪、激光跟踪测量仪和摄影测量系统的集成可用于机器人的动态检校和设备在线检测等。

(5)GPS、GIS 技术将紧密结合工程项目,在勘测、设计、施工管理一体化方面发挥重大作用。

(6)大型和复杂结构建筑、设备的三维测量,几何重构及质量控制将是工程测量学发展

的一个热点。固定式、移动式、车载、机载三维激光扫描仪将成为快速获取被测物体乃至地面建筑物、构筑物及地形信息的重要仪器。用精密工程测量的设备和方法进行工业测量、大型设备的安装、在线检测和质量控制,成为设计制造的重要组成部分,甚至作为制造系统不可分割的一个单元是在工业领域应用的一个趋势。

(7)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容;数据处理的侧重点由网的平差计算、点的坐标计算、几何元素计算发展到高密度空间三维点、“点云”数据处理、被测物的三维重建、可视化分析、“逆向工程”,以及与实体模型的分析、测量数据和各种设计数据库的无缝衔接等。

综上所述,工程测量学的发展主要表现在从一维、二维到三维乃至四维,从点信息到面信息获取,从静态到动态,从后处理到实时处理,从人眼观测操作到机器人自动寻标观测,从大型特种工程到人体测量工程,从高空到地面、地下及水下,从人工量测到无接触遥测,从周期观测到持续测量。测量精度从毫米级到微米级乃至纳米级。一方面,随着人类文明的发展,对工程测量学的要求越来越高,服务范围不断扩大;另一方面,现代科技新成就为工程测量学提供了新的工具和手段,从而推动了工程测量学的不断发展。而工程测量学的发展又将直接对改善人们的生活环境,提高人们的生活质量起重要作用。

习 题

1. 什么叫工程测量学? 不同时期其含义有什么变化?
2. 一般工程建设可分为几个阶段? 其相应的测量任务有哪些?
3. 现代工程测量的对象与以前相比有哪些变化?
4. 工程测量学的主要内容有哪些?
5. 工程测量学与相邻学科有什么关系?
6. 请简单叙述工程测量学的发展趋势。
7. 工程测量学的发展趋势和特点中,“六化”和“十六字”分别是指哪些内容?