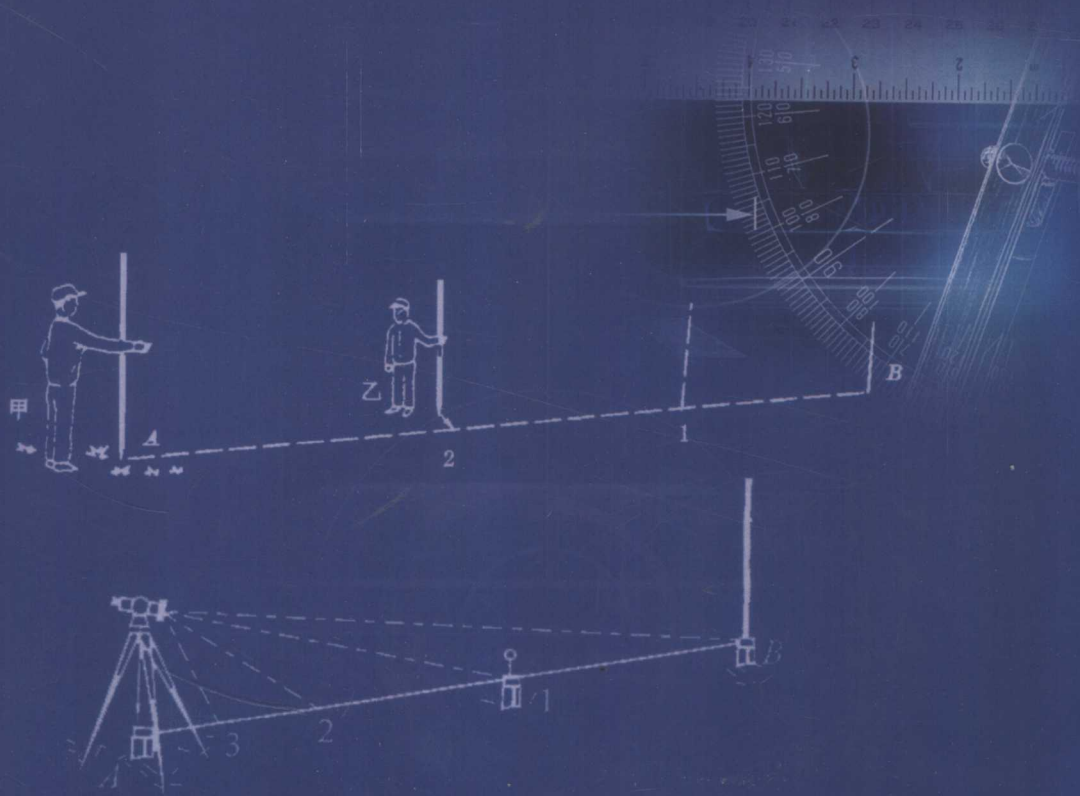


高等学校测绘学科教学指导委员会“十五”高职高专规划教材

工程测量 (测绘类)

Gongcheng Celiang (cehuilei)

周建郑 主编



黄河水利出版社

Abstract

工程測量

Company Culture

高等学校测绘学科教学指导委员会“十五”高职高专规划教材

工 程 测 量

(测绘类)

主编 周建郑

参编 唐保华 马文明

赵和鸣 李金生

黄河水利出版社

内容提要

本书是高等学校测绘学科教学指导委员会规划的测绘学科高职高专“十五”规划教材。重点介绍了工程测量的基本知识、测量仪器的使用、工程实地测设以及施工测量和变形观测等内容,最后介绍了近景摄影测量和全球卫星定位系统(GPS)在测量工程中的应用。本课程与地形测量、测量平差、全站仪原理与应用等课程之间联系密切,对培养学生的专业能力和岗位能力具有重要作用。

本书适合高职高专测绘类专业教学使用,也可供工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量(测绘类)/周建郑主编. —郑州:黄河水利出版社,2006.8

高等学校测绘学科教学指导委员会“十五”高职高专规划教材

ISBN 7-80734-038-X

I. 工… II. 周… III. 工程测量—高等学校:技术学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 091350 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940 传真:0371-66022620

E-mail: hhslebs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:23.75

字数:550 千字

印数:1—4 100

版次:2006 年 8 月第 1 版

印次:2006 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80734-038-X/TB·13

定价:38.00 元

高等学校测绘学科教学指导委员会“十五”高职高专 规划教材审定委员会

主 任 宁津生

副主任 陶本藻 王 依

委 员 赵文亮 方源敏 李晓桓

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、社会和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,并将其设置为全国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定了“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,其他教材也将会陆续出版。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

本教材是在高等学校测绘学科教学指导委员会的指导下,以高等学校测绘学科教学指导委员会“十五”高职高专规划教材研讨会上制定的《工程测量》教学大纲为主要依据,在总结多年教学经验的基础上编写完成的。本教材重点介绍了工程测量的基本知识、测量仪器的使用、工程实地测设以及施工测量和变形观测等内容,并结合了一定的测量实例。本课程与“地形测量”、“测量平差”、“全站仪原理与应用”及“控制测量与GPS测量”课程之间联系密切,对培养学生的专业能力和岗位能力具有重要的作用。

为使本教材具有较强的实用性和通用性,突出“以能力为本位”的指导思想,编写时力求做到:基本概念准确,各部分内容紧扣培养目标,文字简练、相互协调、通顺易懂、减少不必要的重复;不过分强调理论的系统性,努力避免贪多求全或高度浓缩的现象,教材内容理论联系实际,结合测量规范。为了提高学生的动手能力,书中还配有许多例题,以利于学生学习、实践和提高解决工程中实际问题的能力。

在编写这本教材时,我们力求体现高职教育的特点,力求满足高职教育培养技术应用型人才的要求,力求内容精练、突出应用、加强实践。为了体现教材的特色,我们对传统的教材内容体系作了适当的调整,希望调整后的体系能更适合高职教学的要求。根据高等职业教育理论与实践并重,理论课课时较少的情况,本书内容按“必需、够用”的原则安排。

本书由黄河水利职业技术学院周建郑主编。第一、二、六章由湖南工程职业技术学院唐保华编写;第三、八、十五章由平顶山工学院马文明编写;第四、十一、十三、十四章由重庆工程职业技术学院赵和鸣编写;第七、十章由沈阳农业大学高等职业技术学院李金生编写;第五、九、十二、十六章由周建郑编写。全书由周建郑副教授统一修改定稿。

全书完成后,由高等学校测绘学科教学指导委员会责成合肥工业大学土木建筑工程学院王依教授进行认真细致的审稿,提出了许多宝贵意见,修改后,通过了高等学校测绘学科教学指导委员会“十五”高职高专规划教材审定委员会的审定,作为测绘学科高职高专规划教材供高等职业教育测绘类专业使用。在此,对王依教授和教材审定委员会的各位专家表示感谢!在本教材编写过程中,杨中利老师提出许多宝贵的建议,在此表示感谢!同时对黄河水利出版社和编写者所在单位的大力支持表示感谢。

由于编者的水平、经验及时间所限,书中定有欠妥之处,敬请专家和广大读者批评指正。

编 者

2006年8月

目 录

序
前言

宁津生

绪论	(1)
第一节 工程测量的任务和内容	(1)
第二节 工程测量学科的发展现状	(4)
复习思考题	(7)
第一章 工程建设中地形图的应用	(8)
第一节 地形图在工程建设勘测设计阶段的应用	(8)
第二节 工矿企业设计对地形图的精度要求	(9)
第三节 大比例尺数字测图的地形图精度	(11)
第四节 工矿企业设计专用地形图的测绘	(14)
第五节 测图控制网	(16)
第六节 工矿企业现状图及竣工图的测绘	(18)
复习思考题	(22)
第二章 施工测量的基本工作	(23)
第一节 概 述	(23)
第二节 测设的基本工作	(24)
第三节 极坐标法和直角坐标法放样点位	(31)
第四节 方向线交会法放样	(35)
第五节 前方交会法放样	(35)
第六节 角线交会辅助点法	(37)
第七节 距离交会法放样	(37)
第八节 直线放样方法	(38)
第九节 放样方法的选择	(41)
复习思考题	(42)
第三章 渠道和堤线测量	(43)
第一节 概 述	(43)
第二节 选线测量	(44)
第三节 中心导线测量	(46)
第四节 中线测量	(47)
第五节 纵断面测量	(51)
第六节 横断面测量	(54)

第七节 纵横断面图的绘制	(59)
第八节 横断面面积与土方计算	(61)
第九节 路线恢复和渠堤边坡放样	(64)
复习思考题	(67)
第四章 河道测量	(69)
第一节 河道控制点测量的特点	(69)
第二节 测深断面和测深点的布设	(72)
第三节 交会法测定水下地形点的平面位置	(73)
第四节 无线电定测深点的平面位置	(73)
第五节 全站仪和 GPS 定测深点的平面位置	(74)
第六节 水位观测	(76)
第七节 水深测量	(77)
第八节 河道测量成果整理	(80)
第九节 水下地形图的绘制	(82)
第十节 河道横断面图的绘制	(83)
第十一节 河道纵断面图的编绘	(85)
复习思考题	(89)
第五章 水库测量	(90)
第一节 水库测量的基本任务与特点	(90)
第二节 设计水电站工程时对库区地形图精度的要求	(91)
第三节 水库淹没界线测量	(93)
第四节 水库库容的计算	(96)
复习思考题	(100)
第六章 架空送电线路测量	(101)
第一节 概 述	(101)
第二节 路径方案的选择	(101)
第三节 选定线测量	(102)
第四节 桩间距离及高程测量	(104)
第五节 平断面测量	(104)
第六节 杆塔定位测量	(107)
第七节 杆塔基坑放样	(107)
第八节 拉线放样	(110)
第九节 导线弧垂的放样与观测	(114)
复习思考题	(116)
第七章 公路工程测量	(117)
第一节 概 述	(117)
第二节 新建公路的初测	(118)
第三节 公路详细测量	(120)

第四节 道路施工测量	(132)
第五节 管道施工测量	(139)
复习思考题	(142)
第八章 曲线测设	(143)
第一节 概 述	(143)
第二节 圆曲线的测设	(143)
第三节 综合曲线的测设	(151)
第四节 综合曲线详细测设	(155)
第五节 困难地段的曲线测设	(161)
第六节 复曲线的测设	(171)
第七节 回头曲线的测设	(173)
第八节 竖曲线的测设	(175)
复习思考题	(177)
第九章 工业与民用建筑施工测量	(179)
第一节 建筑工程施工控制网	(179)
第二节 建筑基线	(180)
第三节 建筑方格网	(182)
第四节 高程控制测量	(185)
第五节 场地平整测量	(185)
第六节 民用建筑施工测量	(189)
第七节 工业建筑施工测量	(205)
复习思考题	(213)
第十章 桥梁施工测量	(214)
第一节 桥梁施工控制网	(214)
第二节 直线桥梁施工测量	(224)
第三节 曲线桥梁施工测量	(230)
第四节 普通桥梁施工测量	(231)
复习思考题	(241)
第十一章 地下工程施工测量	(242)
第一节 概 述	(242)
第二节 地面控制测量	(243)
第三节 地下控制测量	(245)
第四节 竖井联系测量	(248)
第五节 施工控制网的精度	(257)
第六节 隧道施工测量	(261)
第七节 陀螺经纬仪定向测量	(266)
第八节 全自动陀螺经纬仪定向测量	(277)
复习思考题	(279)

第十二章 水工建筑物的施工放样和安装测量	(280)
第一节 概 述.....	(280)
第二节 水闸的施工放样.....	(281)
第三节 土坝的施工放样.....	(283)
第四节 混凝土坝体放样线的测设.....	(289)
第五节 安装测量的基本工作.....	(293)
第六节 平面闸门的安装测量.....	(294)
第七节 弧形闸门的安装测量.....	(295)
第八节 人字闸门的安装测量.....	(297)
复习思考题.....	(299)
第十三章 工程建筑物变形观测	(300)
第一节 概 述.....	(300)
第二节 垂直位移观测.....	(300)
第三节 水平位移观测.....	(309)
第四节 工作基点位移对变形值的影响.....	(317)
第五节 裂缝观测.....	(318)
第六节 倾斜观测.....	(319)
第七节 观测资料的整编.....	(323)
复习思考题.....	(326)
第十四章 高精度工程测量	(327)
第一节 概 述.....	(327)
第二节 控制网布设与标志的建立.....	(327)
第三节 精密基准线测量.....	(334)
第四节 精密距离测量.....	(343)
第五节 精密垂准测量.....	(344)
复习思考题.....	(347)
第十五章 近景摄影测量及其在工程测量中的应用	(348)
第一节 概 述.....	(348)
第二节 近景摄影测量在工程测量中的应用.....	(350)
复习思考题.....	(357)
第十六章 全球卫星定位系统(GPS)在工程测量中的应用	(358)
第一节 GPS 定位的基本原理	(358)
第二节 GPS-RTK 技术在工程测量中的应用	(361)
第三节 GPS 网络 RTK 技术在工程测量中的应用	(365)
复习思考题.....	(369)
参考文献	(371)

绪 论

第一节 工程测量的任务和内容

工程测量学是研究地球空间中具体几何实体测量和抽象几何实体测设的理论、方法和技术的一门应用学科。它主要研究在工程与工业建设、城市建设与国土资源开发、水陆交通与环境工程的减灾救灾等事业中,进行地形和有关信息的采集与处理、施工放样、设备安装、变形监测与分析预报等方面的理论和技术,以及与之有关的信息管理与使用。

工程测量是为工程建设服务的,由于服务对象众多,所以它所包括的内容非常广泛。按照服务对象来划分,其内容大致可分为:工业与民用建筑工程测量,水利水电工程测量,铁路、公路、管线、电力线架设等线路工程测量,桥梁工程测量,矿山工程测量,地质勘探工程测量,隧道及地下工程测量等。按照工程建设的顺序和相应作业的性质,可将工程测量的内容分为以下三个阶段的工作:

(1)勘测设计阶段的工作。工程在勘测设计阶段需要各种比例尺的地形图、纵横断面图及一定点位的各种样本数据,这些都必须由测量工作来提供或到实地定点、定线。

(2)施工阶段的测量工作。设计好的工程在经过各项审批后,即可进入施工阶段。这就需要设计的工程位置标定在现场,作为实际施工的依据,在施工过程中还需对工程进行各种监测,确保工程质量。

(3)工程竣工后运营管理阶段的测量工作。工程竣工后,需测绘工程竣工图或进行工程最终定位测量作为工程验收和移交的依据。对于一些大型工程和重要工程,还需对其安全性和稳定性进行监测,为工程的安全运营提供保障。

可见,工程测量学就是围绕着各项工程建设对测量的需要所进行的一系列有关测量理论、方法和仪器设备进行研究的一门学科,它在国民经济建设中和国防建设中起到了极其重要的作用。但是对于不同的工程,其具体内容有所不同,现分述如下。

1 建筑工程测量

建筑工程测量是指建筑工业与民用建筑工程在勘测、设计施工和竣工验收、运营管理过程中的测量工作。具体工作如下。

(1)测绘地形图:在勘测设计阶段,为了给建筑物的具体设计提供地形资料,需在建筑区开展测绘地形图、纵横断面图、定点取样等测量工作。由于其测量工作只是在很小的区域进行,因此作业过程中可以不顾及地球曲率影响和正常高的改正,只须按常规作业程序进行即可满足精度要求。

(2)使用地图:建筑物的设计方案力求经济、合理、实用、美观、环保。需要应用地图制图学的理论和方法在图上测量距离、角度等要素,确定建筑物在图上的具体位置,并为标

定到现场提供测量数据。

(3)工程放样:建筑物进入施工阶段就需要根据它的设计图纸,按照设计要求,通过测量的定位、放线和标高测量,将其平面位置标定到施工的作业面上。另外,在施工过程中还要随时对建筑物进行安全监测,为施工提供依据,指导施工。

(4)竣工及运营管理中测量工作:建筑物竣工后,需测绘竣工图及其他点、线位置,作为验收的依据。交付使用后,还需对其进行沉降、水平位移、倾斜、挠度、裂缝观测,从而监视该建筑物在各种外界因素影响下的安全性和稳定性,为建筑物的安全使用提供测绘保障。

2 线路工程测量

线路工程包括公路、铁路、输电线、输油线路、灌渠以及各种地下管线等工程。各种线性工程在勘测设计、施工建设和竣工验收及营运管理阶段的测量工作统称为线路工程测量。

2.1 勘测设计阶段的测量工作

(1)线路初测:是根据计划任务书确定的修改原则和线路的基本走向,通过对几条有比较价值的线路进行实地勘测,从中确定最佳方案,为编制初步设计文件提供资料。测量的主要内容有控制测量、高程测量、纵横断面测量、地形测量。

(2)线路定测:是根据批准的初步设计文件和确定的最佳线路方向及有关构造建筑物的布设方案将图纸上初步设计的线路和构筑物位置测设到实地,并根据现场的具体情况,对不能按原设计之处作局部线路调整,为施工图提供设计资料。它包括中线测量、高程测量、纵横断面测量。

2.2 施工阶段的测量工作

在施工阶段,首先要检测设计阶段所建立的平面、高程控制桩位,在检测基础上进行线路中线的恢复。另外,要进行路基放样、边坡放样、建(构)筑物的定位放样等工作。

2.3 竣工验收和运营管理阶段的测量工作

线路工程竣工后,为了检查工程质量是否符合要求,需进行竣工测量。其主要是在控制测量和高程测量的基础上进行中线位置和里程桩的标定。测绘线路中心线纵断面和路基横断面图,在大型构筑物附近设置平面和高程控制点,供以后工程养护管理使用。在工程运营过程中还需对路面、构筑物、护坡进行沉降、位移观测,为线路安全运营提供可靠保障。

3 水利工程测量

水利工程测量在勘测设计阶段,测量工作的主要任务是为水工建(构)筑物设计提供必要的地形资料和其他测量数据。因而,在为水利枢纽工程设计提供地形图资料时,应根据具体情况确定相应的比例尺。由于为水利枢纽工程提供的地形图是一种专业性用图,在测量精度、地形图所表示的内容方面都有特殊要求。一般来说,与国家基本图相比,平面位置精度要求较宽,而对地形精度要求有时较严。

在水利枢纽工程的施工期间,测量工作的主要任务是按照设计的意图,将设计图纸上

的建筑物以一定的精度要求测设于实地。此外,在施工过程中,有时还要对地基及水工建筑物本身或基础进行施工中的变形观测,以了解建筑物的施工质量,并为施工期间的科研工作收集资料。

在工程竣工或阶段性完工时,要进行验收和竣工测量。在水利枢纽中,大坝是最重要的建筑物,因此要定期或不定期地对其进行变形观测,我们常把用工程测量的方法观测水工建筑物几何形状的空间变化称为外部变形观测。包括水平位移观测、垂直位移观测、挠度观测和倾斜观测等。

4 矿山测量

通常将配合地质找矿、矿物开采工作的各种测量工作统称为地质矿山工程测量。其中配合地质技术找矿方法的测量工作叫“地质勘探工程测量”,配合地球物理勘探和地球化学勘探技术找矿方法的测量工作叫“物探测量”,配合矿物开采的测量工作叫“矿山工程测量或地下工程测量”。

其主要工作有以下几个方面内容:

(1)按地质勘查工作的需要,提供矿区的控制测量和各种比例尺的地形图等基本测绘资料。

(2)根据地质勘探工程的设计,在实地定点、定线,提供工程的施工位置和方向,指导地质勘探工程的施工。

(3)及时准确地测定已竣工工程的坐标和高程,为编写地质报告和储量计算提供必要的测绘数据和资料。

(4)在矿山设计、施工和生产阶段测绘各种大比例尺地形图,进行建筑物及构筑物的放样、设备的安装测量、线路测量等工作,生产时随时需要进行巷道标定与测绘、储量管理和开采监督、岩层与地表变化的观测与研究、露天矿边坡稳定性观测与研究等。

5 海洋工程测量

海岸港口工程、海上物探工程、海底电缆及管道工程等在勘测设计、施工和运营管理阶段所进行的测量工作称为海洋工程测量。其目的是建立海底测量控制网、海上定位方法和测深技术,水位的潮汐改正以及海底地形图测绘。

5.1 海上定位方法

(1)无线电定位:无线电定位系统具有全天候、连续实时定位的特点,根据其工作频率,地面无线电定位系统可分为微波、超高频、中频、低频和甚低频。在定位精度满足水下地形测量要求的前提下,按其作用距离可分为近程(小于 300km)、中程(小于 1 000km)和远程(大于 1 000km)。无线电定位是目前海洋测量的主要定位手段之一。

无线电定位系统的工作原理主要有测量距离定位和测量距离差定位。即在陆地上设立若干个无线电发射台(称为岸台),船上则通过测量无线电传播的有关参数来确定自身相对于岸台的位置。

(2)光学仪器定位:在距离岸边 10km 以内进行水下地形测量时,可使用经纬仪实施前方交会定位,在岸上两个控制点 A、B 上设置经纬仪,同时观测船上标志的方位角或角

度而算出船的位置,也可用全站仪用极坐标的方法进行定位。近年来,测量机器人得到了广泛的应用,它可自动跟踪测量船上的目标(全反射棱镜),每隔一定时间测量一次船上目标与仪器之间的距离和目标到仪器方向的方位角。根据极坐标法,得出船的一系列动态瞬时位置,并可配合数字测深仪以及机助制图软件直接绘出海底地形图。

(3)差分 GPS 技术:目前海洋测量定位应用载波相位最现实的方法是同时考虑伪距和载波相位结合定位的方式,有伪距单点定位、差分定位和相位平滑伪距定位三种。

(4)水下声学定位:其原理是在水底设置若干个水下声标,利用一定的方法测定这些水下声标的相对位置,在确定船只相对于陆上大地测量控制网的位置的同时,确定船只相对于水下声标的位置,经处理,可完成水下声标控制点相对于陆上坐标系统的联测工作。若待测船只进行定位,则可向水下声标发射声脉冲,水下声标接收后并发回应答信号,待测船只接收并经过计算机处理后,即可得到船只的定位结果。此种方法有很高的动态定位精度,特别适合钻井船的定位。

(5)组合定位系统:将前面几种方法有机地结合起来,取长补短,提高定位精度,常用于定位精度要求较高的海洋工程中,如大陆架勘测、海底管道安装控制等工程。

5.2 测深技术

(1)常规测深技术:在船上利用回声测深仪的发射换能器(安装在船下),垂直向水下发射一定频率的超声波脉冲,以声速 c 在水中传播到水底,经反射或散射返回,被接收换能器接收,计算其回波时间来确定被测点的水深。

(2)海底地貌探测仪:又称测扫声纳,它可显示海底地貌,并确定目标的概略位置和高程。

(3)多波束测深系统:多波束测深系统能一次给出与航线相垂直的平面内几十个甚至上百个深度。因此,多波束测深系统能精确快速地测定沿航线一定宽度内水下目标的大小、形状、最高点、最低点,从而较可靠地描绘出水下地形的精细特征。将它与卫星定位系统、无线电定位系统相连,可由计算机控制组成自动成图系统,使海底地形测量完成得又快又好。

(4)机载激光测深:机载激光测深技术是 20 世纪 60 年代末 70 年代初出现的,经过 20 多年的研制试验已进入实用阶段。从飞机上向海面发射两种波段的激光,其中一种为波长 $1064\mu\text{m}$ 的红外线,另一种为波长 $523\mu\text{m}$ 的绿光,红外光被海面反射,绿光则透射到海水中,到达海底后被反射回来,这样,两束反射光被接收的时间差等于激光从海面到海底的传播时间的两倍。机载激光测深系统目前测深能力在 50m 左右,精度在 0.3m 左右。

第二节 工程测量学科的发展现状

随着传统测绘技术走向数字化测绘技术,工程测量的服务方面不断拓宽,与其他学科的互相渗透和交叉不断加强,新技术、新理论的引进和应用不断深入,因此可以看到,工程测量学科应该沿着测量数据采集和处理向一体化、实时化、数字化方向发展;测量仪器向精密化、自动化、信息化、智能化发展;工程测量产品向多样化、网络化和社会化方向发展,具体体现在以下几个方面。

1 大比例尺工程测图数字化

大比例尺地形图和工程图的测绘是工程测量的重要内容和任务之一。工程建设规模扩大,城市迅速扩展以及土地利用、地籍图应用,都需要缩短成图周期和实现成图的数字化。

国内大比例尺工程测图数字化在近几年内得到迅速发展,测绘仪器不断推出新的品种,如苏州第一光学仪器公司、北京博飞测绘仪器公司、南方测绘仪器公司都推出了价廉物美的全站型速测仪和 GPS 全球定位系统。测图软件方面也趋于成熟,如南方公司的 CASS 测图软件,中翰测绘仪器公司的 CSC 测图软件,清华山维推出的测图软件。各测绘单位也自主开发了测图软件,使中国的数字化测图由传统的测图方法发展成为测图的主流方法,为推动中国测绘走向数字化、信息化做出了重要贡献。

2 工业测量系统的最新进展

20 世纪 80 年代以来,现代工业生产进入了一个新阶段,许多新的设计、工艺,要求对生产的自动化流程、生产过程控制、产品质量检验与监测等工作进行快速、高精度的测点定位,并给出工作时复杂形体的三维数学模型,利用传统的光学、机械等工业测量方法都无法完成,而利用电子经纬仪、全站仪、数码相机等作为传感器,在计算机的控制下,工业测量系统完成工作的非接触和实时三维坐标测量,并在现场进行测量数据的处理、分析和与管理。与传统的工业测量方法相比较,工业测量系统在实时性、非接触性、机动性和与 CAD/CAM 连接等方面有突出的优点,因此在工业界得到广泛的应用。

2.1 电子经纬仪测量系统

电子经纬仪测量系统(MTS)是由多台高精度电子经纬仪构成的空间角度前方交会测量系统,如 Lecia 在 1995 年前推出的 MANTCA 系统与 ECDS 系统,最多可接洽 8 台电子经纬仪。现在波音和麦道飞机制造公司及其合作伙伴(如中国上飞、沈飞、西飞等)还在使用 MANTCA 系统。

经纬仪测量系统的硬件设备主要由高精度的电子经纬仪、基准尺、接口和联机电缆及微机等组成。采用手动照准目标、经纬仪自动读数、逐点观测的方法。该测量系统在几米至几十米的测量范围内的精度可达到 $0.22 \sim 0.05\text{mm}$ 。

2.2 全站仪极坐标测量系统

全站仪极坐标测量系统是由一台高精度的测角、测距全站仪构成的单台仪器三维坐标测量系统(STS)。全站仪极坐标测量系统在近距离测量时采用免棱镜测量,为特殊环境下的距离测量提供了方便。

2.3 激光跟踪测量系统

激光跟踪测量系统的代表产品为 SMART310,与常规经纬仪测量系统不同的是,SMART310 激光跟踪测量系统可全自动地跟踪反射装置,只要将反射装置在被测物的表面移动,就可实现该表面的快速数字化,由于干涉测量的速度极快,其坐标重复测量精度高达 5×10^{-6} ,因此它特别适用于动态目标的监测。

2.4 数字摄影测量系统

数字摄影测量系统是采用数字近景摄影测量原理,通过 2 台高分辨率的数码相机对被测物同时拍摄,得到物体的数字影像,经计算机图像处理得到精确的 X 、 Y 、 Z 坐标。美国大地测量服务公司(GSI)生产的 V-SARS 是数字摄影测量系统的典型产品。数字摄影测量系统的最新进展是采用高分辨率的数字相机来提高测量精度。另外,利用条码测量标志可以实现控制编号的自动识别,采用专用纹理投影可代替物体表面的标志设置,这些新技术也正促使数字摄影测量向完全自动化方向发展。

3 施工测量仪器和专用仪器向自动化、智能化方向发展

施工测量的工作量大,现场条件复杂,施工测量仪器的自动化、智能化是施工测量仪器今后发展的方向。具体体现在以下几个方面:

(1)精密角度测量仪器,发展到用光电测角代替光学测角。光电测角能够实现数据的自动获取、改正、显示、存储和传输,测角精度与光学仪器相当甚至超过。如 T2000、T3000 电子经纬仪采用动态测量原理,测角精度达到 $0.5''$ 。马达驱动的电子经纬仪和目标识别功能实现了目标的自动照准。

(2)精密工程安装、放样仪器。以全站型速测仪发展最为迅速。全站仪不仅能自动测角、测距、自动记录、计算、存储等,还可以在完善的硬件条件下进行软件开发,实现控制测量、施工测量、地形测量一体化及中文显示的人机对话功能。

(3)精密距离测量仪器,其精度与自动化程度愈来愈高。

(4)高精度定向仪器,如陀螺仪采用电子计时法,定向精度从 $\pm 20''$ 提高到 $\pm 4''$ 。目前陀螺仪正向全自动激光陀螺定向发展。

(5)精密高程测量仪器,采用数字水准仪实现了高程测量的自动化。例如:Leica NA 3003 和 Topcon DL101 全自动数字式水准仪的条码水准标尺,利用图像匹配原理实现自动读取视线高和距离,测量精度达到每公里往返测高差均值的标准差为 0.4mm ,测量速度比常规水准仪快 30%。而德国 REAN002A 记录式精密补偿器水准仪和 TELAMAT 激光扫平仪实现了几何水准测量的自动安平、自动读数和记录、自动检核,为高程测量和放样提供了极大的方便。

(6)工程测量专用仪器,主要指用于应变测量、准直测量和倾斜测量等需要的专用仪器。

4 特种精密工程测量的发展

为满足大型精密工程施工的需要,往往要进行精密工程测量,大型精密工程不仅施工复杂、难度大,而且对测量精度要求高。需要将大地测量学和计量学结合起来,使用精密测量计量仪器,在超出计量的条件下,达到 10^{-6} 以上的相对精度。

如:研究基本粒子结构和性质的高能粒子加速器工程,要求安装两相邻电磁铁的相对精度不超过 $\pm (0.1 \sim 0.2)\text{mm}$,这就要求我们必须采用最优布网方案,研制专门的测量仪器,采用合理的测量方法和数据处理方法来实施该测量方案。