



高等学校“十一五”精品规划教材

现代测绘技术及应用

周国树 主编

XIANDAI CEHUI JISHU JI YINGYONG



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校“十一五”精品规划教材

现代测绘技术及应用

周国树 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材面向土木工程类学生,较全面地介绍了现代测绘技术的内容,包括现代测绘科学的形成与发展、现代测绘仪器、卫星定位技术、数字化测图、遥感技术、地理信息系统等。着重介绍了全站仪及其使用、GPS 测量、大比例尺数字测图、测绘新技术在工程中的应用。

本教材可作为土木工程类各专业开设“测绘新技术”课程的教材,也可供相关行业工程技术人员参考或用作继续教育的教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代测绘技术及应用 / 周国树主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2009

高等学校“十一五”精品规划教材

ISBN 978 - 7 - 5084 - 6463 - 3

I. 现… II. 周… III. 测绘学-高等学校-教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 053913 号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 现代测绘技术及应用
作 者	周国树 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 13.75 印张 326 千字
版 次	2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	28.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

测绘新技术对现代土木工程建设的影响越来越大,因此,高校培养的土木类专业的学生应该掌握一定的现代测绘技术,然而,仅依靠学时有限的“普通测量学”课程来实现是非常困难的,为此,尝试开设“现代测绘技术及应用”课程,并编写了这本《现代测绘技术及应用》教材。

面向非测绘专业开设的“现代测绘技术及应用”课程,它既不同于“普通测量学”,应该充分体现“新”与“现代”;也不同于“测绘学概论”,着重对一些实用测绘新技术进行详细介绍;还有别于测绘专业的“控制测量”、“工程测量”等课程,不可能也无必要阐述得那么深入;应该是基本反映当代测绘科技的发展状况,但阐述这些新理论和新技术是重点突出、深度恰当、易于学生接受和掌握。所以,本教材的内容既涉及较宽的面,又着重突出几项实用新技术,呈“上”形结构。涉及的面包括现代测绘科学的形成与发展、现代测绘仪器、卫星定位技术、数字化测图、遥感技术、地理信息系统等。着重突出的几项实用新技术包括全站仪及其使用、GPS 测量、大比例尺数字测图、测绘新技术在工程中的应用。

本教材重在论述基本原理、基本方法,简化数学模型的推导,着重介绍应用,力求在有限的篇幅内,适应面较广、应用性较强。本教材可供土木工程类各专业开设“现代测绘技术及应用”课程使用。

本教材由扬州大学周国树主编,孔明明和秦菊芳参加编写,第一稿完成于 2003 年,其中第 2 章由秦菊芳执笔,第 5 章由孔明明执笔,其他各章由周国树执笔,全书由周国树统稿。2005 年对第一稿进行了修订,其中第 5 章由孔明明执笔修订,其余均由周国树进行修订。2008 年由周国树对全书再一次进行修订。

本教材的编写得到扬州大学教学改革研究课题“土木工程类《测量学》课程教学改革研究”基金的资助。

本教材的编写参考和引用了一些专著、教材及相关仪器说明书的内容,这些资料均列于参考文献中,特此对引用资料的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在各种各样的问题,诚挚希望读者批评指正。

编者

2009 年 1 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 测绘学科的起源及历史沿革	1
1.2 现代测绘科学的形成与发展趋势	3
1.2.1 现代测绘科学的形成	3
1.2.2 现代测绘技术在工程中的应用	4
1.2.3 现代测绘科学的发展趋势	5
1.3 测绘学科的地位及作用	8
1.3.1 测绘学科的地位及其与其他学科的关系	8
1.3.2 测绘学科在国家经济建设和发展中的作用	9
思考题与习题	10
第 2 章 精密水准测量与精密角度测量	11
2.1 精密水准测量	11
2.1.1 精密水准仪	11
2.1.2 精密水准测量的实施	17
2.2 精密角度测量	20
2.2.1 精密经纬仪	20
2.2.2 精密角度测量的实施	24
思考题与习题	25
第 3 章 全站仪及其使用	27
3.1 全站仪概述	27
3.1.1 全站仪的构造	27
3.1.2 电子测角与光电测距原理	27
3.1.3 全站仪的特点	28
3.2 全站仪的使用	29

3.2.1	NTS—350 系列全站仪及其使用	29
3.2.2	RTS600 系列全站仪及其使用	50
3.2.3	GTS220 系列全站仪及其使用	57
	思考题与习题	64
第 4 章	全球定位系统 (GPS) 测量原理	65
4.1	概述	65
4.1.1	卫星定位技术的发展	65
4.1.2	GPS 系统组成	68
4.1.3	GPS 在国民经济建设中的应用	70
4.2	坐标系统和时间系统	72
4.2.1	WGS-84 坐标系和我国大地坐标系	72
4.2.2	坐标系统之间的转换	75
4.2.3	时间系统	76
4.3	GPS 卫星定位基本原理	78
4.3.1	卫星定位原理概述	78
4.3.2	伪距测量	79
4.3.3	载波相位测量	80
4.3.4	GPS 绝对定位与相对定位	82
4.4	GPS 测量的误差来源及其影响	85
4.4.1	与信号传播有关的误差	86
4.4.2	与卫星有关的误差	89
4.4.3	与接收机有关的误差	90
4.5	GPS 测量的实施	91
4.5.1	GPS 测量的技术设计	91
4.5.2	GPS 测量的作业模式	97
4.5.3	GPS 测量的外业准备及技术设计书编写	99
4.5.4	GPS 测量的外业实施	102
4.5.5	技术总结与上交资料	105
4.6	GPS 测量的数据处理	105
4.6.1	数据处理软件及选择	105
4.6.2	基线解算 (数据预处理)	106
4.6.3	观测成果的检核	106
4.6.4	GPS 网平差处理	108
4.7	GPS 连续运行参考站网络 (CORS)	109
4.7.1	CORS 概念	109
4.7.2	CORS 技术简述	109
4.7.3	扬州大学单基站 CORS 系统	110

思考题与习题	117
第 5 章 大比例尺数字测图	118
5.1 数字测图概述	118
5.1.1 数字测图的概念与特点	118
5.1.2 数字测图系统	118
5.1.3 数字测图的发展	119
5.2 数字测图的外业	120
5.2.1 野外数据采集原理	120
5.2.2 野外数据采集	122
5.3 数字测图的内业	126
5.3.1 数字测图内业概述	126
5.3.2 数字测图软件的使用	128
5.4 数字化图的输入输出设备	147
5.4.1 数字化仪与扫描仪	147
5.4.2 数控绘图仪	150
思考题与习题	154
第 6 章 遥感 (RS) 技术	155
6.1 概述	155
6.1.1 遥感的概念	155
6.1.2 遥感的类型	155
6.1.3 遥感平台	156
6.1.4 遥感技术的构成	156
6.1.5 遥感的特点	156
6.2 遥感信息获取技术	157
6.2.1 多尺度的遥感数据	157
6.2.2 高光谱的遥感数据	157
6.2.3 雷达遥感数据	157
6.2.4 小卫星群	158
6.3 遥感信息提取技术	158
6.3.1 目视判读提取	158
6.3.2 基于分类方法的遥感信息自动提取	158
6.3.3 基于知识发现的遥感专题信息提取	159
6.4 遥感的应用	159
6.4.1 遥感在测绘方面的应用	159
6.4.2 遥感在资源调查中的应用	160
6.4.3 遥感在环境监测与抗灾方面的应用	160
思考题与习题	161

第 7 章 地理信息系统 (GIS)	162
7.1 概述	162
7.1.1 信息、地理信息与地理信息系统	162
7.1.2 GIS 的形成与发展	162
7.1.3 GIS 的特征	163
7.1.4 GIS 与其他系统的关系	164
7.1.5 GIS 与其他学科的联系	164
7.1.6 GIS 的发展趋势	164
7.2 GIS 的组成	165
7.2.1 硬件平台	165
7.2.2 GIS 软件	166
7.2.3 地理数据	167
7.2.4 人才	168
7.3 GIS 的基本功能	168
7.3.1 数据采集	168
7.3.2 数据编辑	168
7.3.3 数据存储与管理	168
7.3.4 制图输出	169
7.3.5 空间查询与空间分析	169
7.3.6 数据表达与发布	170
7.4 GIS 的空间数据结构	170
7.4.1 矢量数据结构编码的基本内容	170
7.4.2 栅格数据结构编码的基本内容	173
7.4.3 矢量数据与栅格数据的区别	174
7.4.4 地理信息系统的数据库建设	174
7.5 GIS 的应用	174
7.5.1 GIS 的应用范围	174
7.5.2 GIS 的应用举例	175
思考题与习题	181
第 8 章 现代测绘技术在工程建设中的应用	182
8.1 概述	182
8.1.1 工程建设测量的内容	182
8.1.2 工程建设测量的精度要求	182
8.2 测绘新技术在工程建设测量中的应用	184
8.2.1 全站仪在工程建设测量中的应用	184
8.2.2 GPS 在工程建设测量中的应用	185
8.2.3 数字化测图技术和地理信息系统的应用	186

8.2.4	激光技术的应用	186
8.2.5	测绘新技术在水下地形测量中的应用	189
8.2.6	遥感技术在河势监测和水库库容动态变化监测中的应用	193
8.3	变形测量	196
8.3.1	变形测量概述	196
8.3.2	变形观测精度和周期的确定	198
8.3.3	变形观测的实施	201
8.3.4	变形观测成果的整理与分析	205
	思考题与习题	209
	参考文献	210

第 1 章 绪 论

1.1 测绘学科的起源及历史沿革

测绘科学和技术（简称测绘学）是一门具有悠久历史和现代发展的学科，其内容包括测定、描述地球的形状、大小、重力场、地表形态以及它们的各种变化，确定自然和人工物体、人工设施的空间位置及属性，制成各种地图和建立有关信息系统。《中华人民共和国测绘法》将测绘描述为“对自然地理要素或者地表人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等进行测定、采集、表述以及对获取的数据、信息、成果进行处理和提供的活动”。

测绘学古老而年轻，说其古老，是因为测绘技术是人类在长期的生产实践中逐步发展起来的，是人类与大自然作斗争的一种手段；说其年轻，是科学技术的发展对测绘学科的影响而形成了现代测绘科学。测绘学的历史源远流长，当我们打开人类文明的历史画卷时，我们的祖先在测绘学方面所表现出来的智慧让我们惊叹，古今中外，概莫能外。早在公元前 27 世纪埃及大金字塔的建设，其形状与方向都很准确，说明当时已有放样的工具和方法。公元前 14 世纪，在幼发拉底河与尼罗河流域，曾进行过土地边界的测定。我国早在 2000 多年前的夏商时代，为了治水就开始了实际的测量工作，对此，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，山行乘撵，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。在山东嘉祥县汉代武梁祠石室造像中，有拿着“矩”的伏羲和拿着“规”的女娲的图像，说明我国在西汉以前，“规”和“矩”是用得很普遍的测量仪器。早期的水利工程多为对河道的疏导，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，预示下游将受到洪水的威胁；当水位低于石头人的脚背时，预示下游将出现干旱。这种标定水位的办法，如同现今的水尺，是我国水利工程测量发展的标志。北宋的科学家沈括主持进行的 800 多里水准测量，测得京师（今开封）的地面比泗州高出十九丈四尺八寸六分，达到了厘米级的精度。1973 年长沙马王堆汉墓出土的三幅帛地图（地形图、驻军图和城邑图），是轰动世界的惊人发现，它是目前世界上发现的最早的古代地图，无论是从地图的内容、精度，还是其艺术水平，都是罕有可比的，表明了我国在 2100 多年前的汉代，地图制图学就已有了蓬勃的发展。再如，我国的地籍最早出现在原始社会崩溃、奴隶社会形成的时候，那时，土地已变成私有财产，因此产生了调查和统计土地数量的需要。从秦、汉到唐朝，人口、土地和赋税都登记在一起，并以户籍登记

为主。到了明清两代，对全国土地进行了大清查，编制了鱼鳞图册，与现今的地籍调查和地籍测量非常相似。

矿山测量是测绘学科发展的又一成就。在国外，发现和保存有许多古代的矿山测量成果，如公元前 15 世纪的金矿巷道图，公元前 13 世纪埃及按比例缩小的巷道图，公元前 1 世纪希腊学者格罗·亚里山德里斯基对地下测量和定向进行的叙述等。1556 年，德国人格·阿格里柯拉出版了《采矿与冶金》一书，该书专门论述了用罗盘测量井下巷道问题和解决在开采过程中所发生的一些几何问题。我国的采矿业是世界上发展最早的国家，在公元前 2000 多年的黄帝时代就已经开始应用金属（如铜等）。到了周代金属工具已普遍应用，这说明当时采矿业已很发达。据《周礼》记载，在周代已设立了专门的采矿部门，而且在开采时还重视矿体形状，并使用矿产地质图以辨别矿产的分布，这说明当时我国的矿山测量已经有相当的技术。

战争也促进了测绘学的发展。如中国战国时期修筑的午道，公元前 210 年秦始皇修建的“堑山埋谷，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，修建中都要应用测量工具进行地形勘测、定线和隧道测量。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”，说明了测量地势的高低对军事成败的作用。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，必定要进行详细的勘察测量工作。

测绘作为一门学科，主要是从 17 世纪初开始逐步发展起来的，17 世纪初望远镜开始应用于各种测量仪器，1617 年三角测量方法开始应用。1683 年法国人进行了弧度测量，证明地球确是两极略扁的椭球体。此后，测绘学科无论在测量理论、测量方法及测绘仪器各方面都有不少创造发明，如德国人高斯于 1794 年提出了最小二乘法理论，以后又提出了横圆柱投影学说，这些理论经后人改进后至今仍在应用。1899 年摄影测量的理论研究得到发展，以及 1903 年飞机的发明，促进了航空摄影测量学的发展，从而使测图工作部分地由野外转移到室内，不仅减轻了劳动强度，而且提高了生产效率。

20 世纪，科学技术得到了快速发展，特别是电子学、信息学、电子计算机科学和空间科学等，推动了测绘技术和仪器的变革和进步。20 世纪 40 年代，自动安平水准仪的问世，标志着水准测量自动化的开端，近年来，数字水准仪的诞生，又使水准测量中的自动记录、自动传输、存储和处理数据成为现实。1947 年，光波测距仪问世，20 世纪 60 年代激光器作为光源用于电磁波测距，使长期以来艰苦的测距工作发生了根本性的变革，彻底改变了测量工作中以测角换算距离的状况，使测距工作向着自动化方向发展。如今，测距仪已普遍应用于测绘生产，而且向长测程、高精度、小体积方向发展。测角仪器的发展也十分迅速，伴随着电子技术、微处理机技术的广泛应用，经纬仪已使用电子度盘和电子读数，且能自动显示、自动记录，完成了自动化测角的进程。电子经纬仪与测距仪结合，形成了电子速测仪（全站仪），体积小、重量轻、功能全、自动化程度高。智能全站仪，连瞄准目标也可自动化。20 世纪 70 年代，除了用飞机进行航空摄影测量测绘地形图外，还通过人造卫星拍摄地球的照片，监测自然现象的变化，并利用遥感技术测绘地图。由于计算机技术的发展，用数字摄影测量技术进行摄影测量工作，不仅使摄影测量的成果更加稳

定、可靠,而且自动化程度高。20世纪80年代,采用卫星直接进行空间点的三维定位,引起了测绘工作的重大变革。由于卫星定位具有全球、全天候、快速、高精度和无需建立高标等优点,被广泛应用于大地测量、工程测量、地形测量、军事及民用的导航、定位等,开创了测绘科学技术的新时代。20世纪90年代以来,随着测量精度和测量自动化程度的提高,测量的技术和方法还在大型设备安装、航空航天工业以及汽车、船舶制造业中得到了广泛的应用,出现了工业测量学科方向。大型工程建筑物的建设,使安全监测、变形分析和预报成为测绘学科研究的又一主要方向之一。随着人类科学技术不断向着宏观宇宙和微观粒子世界延伸,测量的对象也随之向地下、水域、空间和宇宙深入。

生产的需要始终是推动一切科学发展的动力,测绘学也不例外。测绘学的历史沿革经历了一条从简单到复杂、从手工操作到测量生产的自动化、从常规精度到精密测量的发展道路,其发展始终与生产力发展水平相同步,并且能够满足人们在建设中对测量的需要。

1.2 现代测绘科学的形成与发展趋势

1.2.1 现代测绘科学的形成

电子技术、计算机技术、卫星定位技术的发展,导致了现代测绘科学的形成。现代测绘科学的特点体现在测绘仪器的发展和测绘理论的发展两个方面。

测绘仪器的发展不胜枚举,这里仅列出20世纪以来对测绘仪器设备影响最大的几个方面。首当其冲的应该是电子技术与计算机技术,其次是激光技术、卫星定位测量技术、遥感技术、计算机辅助设计(CAD)技术、地理信息系统(GIS)技术、数据库技术、计算技术、无线电通信技术、网络技术等。由此导致了包括光电测距仪、电子经纬仪、全站仪、各种激光测绘仪器、数字水准仪、全球卫星定位测量设备、机助制图系统等现代测绘仪器设备的设计与制造。正是由于这些现代测绘仪器的发展,使古老的测绘学科发生了深刻的变革。

测绘理论的发展主要体现在三个方面:①测量平差理论的发展;②控制网优化设计理论和方法;③变形测量数据处理方法。

测量平差理论的发展主要包括:平差函数模型误差、随机模型误差的鉴别或诊断;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;病态方程与控制网及其观测方案设计的关系。由于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和发展。对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变形和观测值粗差的区分理论的研究和发展。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);针对方程系数阵存在病态的可能,发展了有偏估计。

控制网优化设计从20世纪60~70年代提出研究,到20世纪80年代形成研究高潮。目前,控制网的优化设计方法主要有解析法和模拟法两种。解析法是基于优化设计理论构造目标函数和约束条件,求解目标函数的极大值或极小值。一般将网的质量指标作为目标函数或约束条件。网的质量指标主要有精度、可靠性和费用,对于变形监测网还包括网的灵敏度或可区分性。模拟法是根据设计资料和地图资料在图上选点布网,获取网点近似坐标,根据仪器确定观测值精度,模拟观测值,计算网的各种质量指标如精度、可靠性、灵

敏度等。

变形观测数据处理理论包括：根据变形观测数据建立变形与影响因子之间的模型关系、变形几何分析与物理解释、变形预报。变形分析与预报传统的方法多采用回归分析的方法，以后又有灰色系统理论、时间序列分析理论、傅立叶变换方法、人工神经网络方法等。尤其需要提出的是，系统论方法用于变形观测的分析已为人们重视和研究，系统论方法涉及到许多非线性科学的知识，如系统论、控制论、信息论、突变论、协同论、分形理论、混沌理论、耗散结构等。

1.2.2 现代测绘技术在工程中的应用

1. 控制测量

控制测量为测量工作提供骨架和参考基准，因此控制测量首当其冲地得益于现代测绘技术的发展。空间技术特别是卫星定位技术的突破性发展导致了控制测量的根本性变革。目前，差分 GPS 测量、实时动态 GPS 测量（RTK）技术已经成熟，并成为建立各级平面控制的主要方法。传统的三角测量、三边测量、边角测量、导线测量等技术手段正在被卫星定位测量所替代。变革导致了控制测量成果质量的进一步稳定可靠和作业效率的大幅度提高。

几何水准测量一直是高程控制测量的经典方法，但这种方法耗时费力、作业效率低，20 世纪 60~70 年代以来，随着电子测距技术的发展，产生了电磁波测距（EDM）三角高程测量。目前 EDM 三角高程测量在一些特殊场合已可以替代三、四等甚至二等水准测量，国内一些规范也进行了相应的规定。此外，数字水准仪的面世，使古老的水准测量正在向智能化和自动化方向迈进。GPS 高程测量近年来受到广泛关注，GPS 技术在高程控制测量中的应用潜力巨大，前景广阔。

总之，应用卫星定位技术、全站仪及数字水准仪快速建立三维控制网，发展先进实用的测量数据处理方法，大力提高控制测量的成果质量和作业效率，已成为控制测量的发展方向。

2. 地形图测绘

工程的地形现状测绘包括两种情形，一种是工程规划、勘测设计阶段的测绘；另一种为工程竣工后的测绘，两者在技术手段上没有明显差别，都可以应用数字测图技术测绘数字线划图（DLG），并根据需要采集生成数字高程模型（DEM）。对于大型工程建设场地，还可以利用遥感影像数据制作数字正射影像图（DOM）。

在各种工程测量数字测图技术中，基于全站仪的数字测图方法被广泛采用。目前基于全站仪的测图系统主要有两种类型：一种是全站仪采集数据，利用电子手簿或人工记录数据，再传输到成图系统中经处理生成数字图；另一种是全站仪与便携式计算机组合成的电子平板系统，在数据采集的同时实时生成数字图，实现“所见即所测、所见即所得”。

野外数据采集更先进的趋势是多传感器技术的集成应用。国外已经发展了一些基于全站仪、卫星定位系统、数码相机等多种传感器的内外业一体化数据采集与制图系统。我国国家科技计划对此也给予了积极支持，比如，一种所谓的“移动测绘系统”正在研制，并应用于高速公路、建筑物和公用设施的测绘中。

对于大型工程建设场地，如大型水利水电枢纽、港口、机场建设，铁路、公路、高压

远距离输电线路的选线建设与城镇规划建设等,运用了航摄影像、高分辨率卫星遥感影像或实用轻型飞行器摄取的影像,使用数字摄影测量或遥感图像处理系统生成大比例尺DLG、DOM、DEM及三维景观模型,为工程勘测设计及竣工建档提供高质量、多形式的空间信息资料。

水下地形测量是地形测绘的一个特殊的方面,目前,将卫星定位设备与回声测深仪组合已成为水下地形测绘的基本方法和手段,利用相关的软件,能够得到等深线形式的水下地形图,也可以得到三维水下地形模型。

3. 工程建筑物的放样、检测与变形观测

随着大型和复杂工程建筑物(如大型桥梁、高耸建筑物构筑物、大型剧院、大型体育场馆等)的不断增加,迫切需要技术先进、快速、准确、有效的放样测设技术。基于智能化全站仪、激光、遥测、遥控和通信等技术的集成式空间放样测设技术应运而生。

智能全站仪具有较大的数据存储器、丰富的内置软件并可以与计算机进行数据通信。许多全站仪都有几种作业方式,即使用协作目标(棱镜或反射片)和不使用协作目标。目前,全站仪已成为工程施工放样、检测及变形观测的最主要仪器设备。

除了全站仪,GPS设备也被广泛应用于放样测设和监理检测工作,尤其是GPS RTK技术运用于施工放样和监理检测具有省时省力、功效高的明显特点。

现代测绘技术在工程中的应用,不仅是工程建设的需要,也是对测绘技术不断发展的促进,因此,应积极跟踪测绘新技术的发展,关注各种工程应用的需求,并通过研究开发、学校教育、职业培训、技术交流等多种方式,将测绘的新技术新手段运用到工程中去。

1.2.3 现代测绘科学的发展趋势

随着传统测绘技术走向数字化和信息化,测量的服务面不断拓宽,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更加深入。现代测绘科学总的发展趋势为:测量数据采集和处理向一体化、实时化、数字化方向发展;测量仪器和技术向精密、自动化、智能化、信息化方向发展;测量产品向多样化、网络化、社会化方向发展。具体表现在以下几个方面。

1. 测(成)图数字化

地形图的测绘是测量的重要内容和任务之一。工程建设规模扩大、城市迅速发展以及土地利用、地籍测量的紧迫要求,都希望缩短成图周期和实现成图自动化。

数字成图首先是测图,即野外数据采集、处理到绘图的数字化系统,整个系统形成一个数据流,而且是双向的,包括全站型仪器、卫星定位设备、计算机和数控绘图仪。数字成图的广义概念除了测图方面外,还包括形成各种专门用途的数字化图件,实际上是一个组合式的系统,包括测图系统和工程软件两部分,前者主要是获得原始地形资料,而后者可以生成彩色或单色的各种图件,如地形图、等高线图、带状平面图、立体透视图、纵横断面图、剖面图、地籍图、竣工图、地下管网图等,还可以进行工程量计算,如计算模型面积、体积及填挖方量等,还可进行土地规划及工程设计。

2. 工业测量系统

现代工业生产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,并给出工件或复杂形体的三维数学模型,这是传统的光

学、机械等工业测量方法所无法完成的,所以测绘学科的工业测量系统便应运而生。工业测量系统是指以电子经纬仪、全站仪、数字相机等为传感器,在计算机的控制下,完成工件的非接触实时三维坐标测量,并在现场进行测量数据的处理、分析和管理的系统。目前工业测量系统有:经纬仪测量系统、全站仪极坐标测量系统、激光跟踪测量系统和数字摄影测量系统等。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 连接等方面具有突出的优点,因此在工业界得到了广泛的应用。随着电子经纬仪向高精度和自动化方向的发展以及激光干涉测量技术和数字摄影测量技术的应用,出现了诸多商用的工业三维坐标测量系统,它们在航空航天工业、汽车工业、造船工业、电力工业、机械工业和核工业等行业和部门得到了极大地推广和应用。

3. 施工测量自动化和智能化

施工测量的工作量大,现场条件复杂,所以施工测量的自动化、智能化是人们期盼已久的目标。由 GPS 和智能全站仪构成的自动测量和控制系统在施工测量自动化方面已迈出了可喜的一步,例如我国自行开发的利用多台自动目标照准全站仪构成的顶管自动引导测量系统,已在地下顶管施工中发挥了巨大的作用。该系统利用 4 台自动目标照准全站仪,在计算机的控制下按自动导线测量方式,实时测出机头的位置并与设计坐标进行比较,从而在不影响顶管施工的情况下实时引导机头走向正确的位置。

4. 工程测量仪器和专用仪器向自动化方向发展

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并有超过。如 T2000、T3000 电子经纬仪采用动态测量原理,测角精度达到 $0.5''$ 。电动机驱动的电子经纬仪和目标自动识别功能实现了目标的自动照准。

精密工程安装、放样仪器,以全站式电子速测仪发展最为迅速。全站仪不仅具有测角和电子测距的功能,而且具有自动记录、存储和运算能力,有很高的作业效率。最新的全能型全站仪,在完善的硬件条件下,包含了丰富的软件,可实现地面控制测量、施工放样和大比例尺碎部测量的一体化,同时还具有菜单提示和人机交互操作功能。

精密距离测量仪器,其精度及自动化程度愈来愈高。干涉法测距精度很高,例如,欧洲核电中心(CERN)在美国 HP5526A 激光干涉仪上,设计了有伺服回路控制的自准直反射器系统,施测 60m 以内距离误差小于 0.01mm ;瑞士与英国联合生产的 ME5000 电磁波测距仪,采用 He-Ne 红色激光束,单镜测程达 5km,精度为 $\pm 0.2\text{mm} + (0.2 \sim 0.1) \times 10^{-6} D$ 。

高精度定向仪器,即陀螺经纬仪在自动化观测方法上有了较大进步。采用电子计时法,定向精度从 $\pm 20''$ 提高到 $\pm 4''$ 。新型陀螺经纬仪由微处理器控制,可以自动观测陀螺连续摆,并能补偿外部干扰,因此定向时间短、精度高,例如德国生产的 Gyromat 2000 陀螺经纬仪只需 9min 观测就能获得 $\pm 3''$ 的精度。目前,陀螺经纬仪正在向高精度和激光可见方向发展。

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、Topcon 等全自动数字式水准仪和条码水准标尺,利用图像匹配原理实现自动读取视线高和距离,测量精度最高可达到每公里往返测高差均值的标准差为 0.2mm ,测量速度比常规水

准测量快 30%；德国 REN002A 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。

用于应变测量、准直测量和倾斜测量等需要的专用仪器。应变测量仪器有直接使用的各种传感器，以及用机械法和激光干涉法的精密测量应变的仪器，如欧洲核子中心研制的 Distinvar 是精密机械法测距的装置，精度达 0.05mm。激光干涉仪测量精度达 10^{-7} 以上，可用于直接变形测量，还可检核其他仪器。用于地面或高大建筑物倾斜测量的倾斜仪，一类是根据“长基线”做成的静力水准仪，精度高达 0.001"；另一类采用垂直摆或水平气泡作为参考线，通过机械法或电学法测量倾斜，精度为 0.01"。遥测倾斜仪，用于监测滑坡、地面沉陷、地壳形变等方面。波带板激光准直系统，其精度在大气中为 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ ，在真空中可达 10^{-7} ，已成功地用于精密轨道安装和加速器磁块的定位、大坝变形观测等。

5. 特种精密工程测量

为了保证各种大型建设工程的顺利进行，需要进行特种精密工程测量。特种精密工程测量的特点是把现代大地测量学和计量学结合起来，使用精密测量和计量仪器，达到 10^{-6} 以上的相对精度。

大型精密工程不仅结构复杂，而且对测量精度有很高的要求，例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径向误差不超过 $\pm(0.1 \sim 0.2)$ mm。在直线加速器中漂移管的横向精度为 0.05~0.3mm。要满足这样高的精度，就要开展一系列的研究工作，包括选择最优布网方案，埋设最稳定标志，研制专用的测量仪器，采用合理的测量方法，进行数据处理和建立数据库等。

6. 工程测量数据处理自动化

随着测量仪器的发展，一方面由于仪器精度的提高，使许多一般性的工程测量问题变得简单；而另一方面又因所获得的信息量很大，对数据动态处理和解释的要求提高，从而对结果的可靠性和精度要求也大大提高。特别是大型建筑和工业设备的施工、安装、检校、质量控制以及变形测量等，要求测量工作者除了具有丰富的经验外，还应在测量技术方案设计、仪器方法选择等方面，应与相邻学科如地球物理、工程地质和水文地质的专业技术人员密切合作，在研究和制定恰当的数据处理方法及计算机软件等方面，应具有丰富的专业知识和独立的工作能力。

随着计算机技术的发展，测量数据处理正在逐步走向自动化。主要表现在对各种控制网的整体平差、控制网的最优化设计和变形观测的数据处理和分析等方面。测量工作者更好地使用和管理海量测量信息的最有效途径是建立测量数据库或与 GIS 技术结合建立各种工程信息系统。目前，许多测量部门已经建立了各种用途的数据库和信息系统，如控制测量数据库、地下管网数据库、道路数据库、营房数据库、土地资源信息系统、城市基础地理信息系统、军事工程信息系统等，为管理部门进行信息、数据检索与使用管理的科学化、实时化和现代化创造了条件。

7. 摄影测量和遥感技术

摄影测量是用量测相机或非量测相机对目标摄影解析出空间坐标，它是通过直接线性变换法而获得的，不必进行常规的相片内、外方位定向。根据这些点位的空间坐标，绘画

出目标的等值线图及其状态。它的应用范围非常广泛，可应用于文物、考古、园林、环境保护、医学等。例如，20 世纪 80 年代以来，园林部门借助测绘单位的技术力量和设备，测制了大量园林古建筑图，得到了建筑学家和文物专家的认可，认为采用近景摄影测量技术进行文物古迹和古建筑测绘是高效、优质的好方法。

近景摄影测量发展的趋势，重点是发展非量测摄影机和数码相机，因为其使用方便且价钱便宜。量测摄影机则向全能自动化方向发展。实时摄影测量是利用面阵列摄影机直接数字化影像，通过模数转换器和数字图像处理器的数字摄影测量技术，将它应用于近景摄影测量有独特的优点，如图像稳定性强、处理周期短、获取物方空间坐标快、价格便宜等，在制造工业、医学、天文学和机器人制造中获得广泛应用。

8. GPS 定位测量

GPS 定位技术是近代迅速发展起来的卫星定位新技术，在全世界获得了广泛的应用。用 GPS 进行测量有许多优点：精度高，作业时间短，不受时间、气候条件和点间通视的限制，可在统一坐标系中提供三维坐标信息等，因此在测量中有着极广的应用，如在城市控制网和工程控制网的建立与改造中已普遍地应用 GPS 技术，在石油勘探、高速公路、通信线路、地下铁路、隧道贯通、建筑变形、大坝监测、山体滑坡、地壳形变监测等方面也已广泛使用 GPS 技术。

随着差分 GPS 技术 (DGPS) 和实时动态 GPS 技术 (RTK) 的发展，出现了 GPS 全站仪的概念，可以利用 GPS 进行施工放样和碎部点测量，并在动态测量中有着极为广泛的应用，从而进一步拓宽了 GPS 在测量中的应用前景。GPS 与其他传感器（如 CCD 相机）或测量系统的组合解决了定位、测量和通信的一体化问题，已成功地应用于快速地形测绘。高精度 GPS 实时动态监测系统实现了大坝变形监测的全天候、高频率、高精度和自动化，是大坝外部变形观测的一个发展方向。

9. 三维激光扫描技术

三维激光扫描技术，也称为三维激光成图系统，主要由三维激光扫描仪和系统软件组成。其工作目标是快速、方便、准确地获取近距离静态物体的空间三维坐标模型，利用软件对模型进行进一步的分析和数据处理。三维激光扫描技术是近十年来发展起来的一项新兴的测量技术，具有精度高、测量方式灵活方便的特点，特别适合于建筑物的三维建模、大型工业设备的三维模型建立以及小范围数字地面模型的建立等，其应用前景非常广泛。

1.3 测绘学科的地位及作用

1.3.1 测绘学科的地位及其与其他学科的关系

测绘学科的发展，与现代科学技术的发展水平和速度、与人类社会改善生活和工作环境所进行的生产活动、与现代战争的要求和军事活动密切相关。测绘学的发展已经突破原来的为土木工程服务的狭窄概念，而向着更广义的方向发展，是研究并提供地表上、下及周围空间建筑和非建筑工程几何物理信息和图形信息的应用技术学科。几乎一切高科技发展的成就，都可以用来解决精密复杂的测量课题。因此它不是一个单一的学科，而是与许多学科之间互相渗透、互相补充、互相促进的技术学科。一方面它需要应用摄影与遥感、