

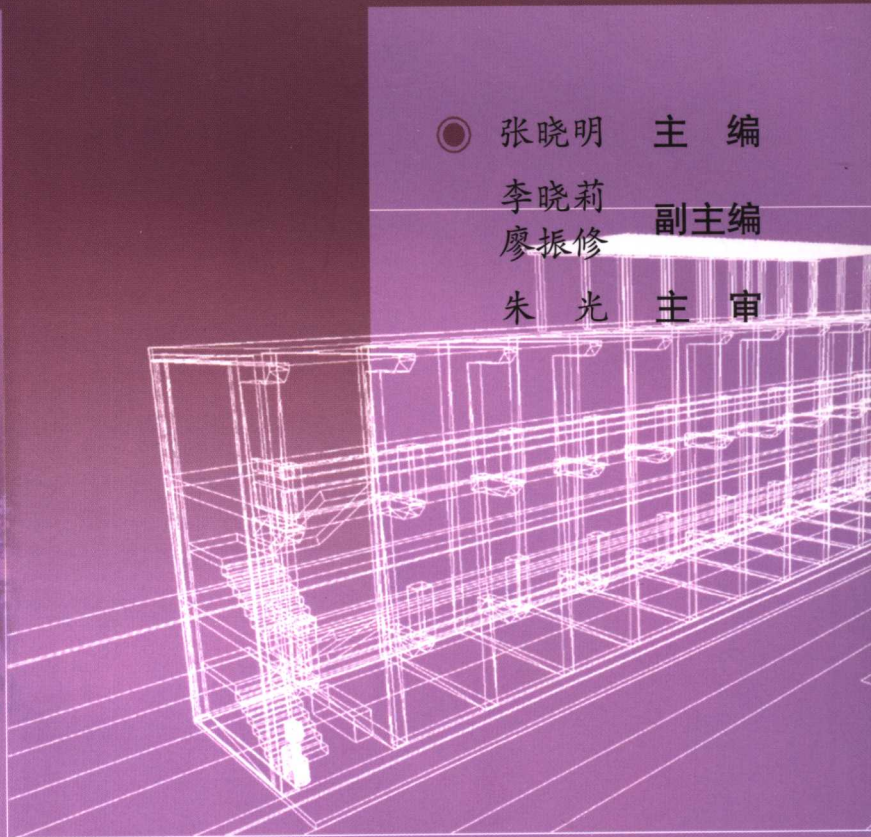
CELIANGXUE

高等学校省级规划教材
——土木工程专业系列教材

测量学

C E L I A N G X U E

◎ 张晓明 主 编
李晓莉 副主编
廖振修
朱 光 主 审



合肥工业大学出版社

高等学校省级规划教材

——土木工程专业系列教材

测 量 学

张晓明 主 编

李晓莉 副主编

廖振修

朱 光 主 审

合肥工业大学出版社

内容提要

《测量学》是高等学校省级规划教材——土木工程专业系列教材中的一册。本书包括基础理论、基础应用和综合应用三大部分。全书共分11章,系统地介绍了水准测量、角度测量、光电测距、观测误差与测量平差、控制测量、地形测量、地形图的应用、建筑工程测量、道路与桥梁工程测量、隧道工程测量等具体内容。本书根据全国高等学校土建学科教学指导委员会制定的培养目标和培养方案编写,立意明确,内容翔实。

本书可作为高等院校土木工程、建筑学、城市规划、给排水、地质工程、工程管理等专业以及其他相关工科专业本科教学用书,也可供广大测绘工程技术人员参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

测量学/张晓明主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2007.8

ISBN 978-7-81093-635-4

I. 测… II. 张… III. 测量学—高等学校—教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 124880 号

测 量 学

主 编:张晓明

责任编辑:陈淮民

出 版 合肥工业大学出版社

地 址 合肥市屯溪路 193 号

邮 编 230009

电 话 总编室:0551-2903038

发行部:0551-2903198

网 址 www.hfutpress.com.cn

E-mail Press@hfutpress.com.cn

版 次 2007 年 8 月第 1 版

印 次 2007 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787×1092 1/16

印 张 18

字 数 442 千字

发 行 全国新华书店

印 刷 合肥创新印务有限公司

ISBN 978-7-81093-635-4

定价:28.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

安徽省高校土木工程系列规划教材

编委会

主任：千洪

副主任：王建国 汪仁和 沈小璞

委员：（按姓氏笔画排列）

丁克伟	马芹永	戈海玉	卢平
刘安中	孙强	吴约	完海鹰
邵艳	柳炳康	夏勇	殷和平
高荣誉	黄伟		

前 言

测量学是一门古老的基础性应用学科。可以说,在从古至今的工程建设中,缺乏测量技术支持的情况是很少出现的。测量学又是一门内涵极广的学科:空间技术、信息技术、光电技术等现代技术的交叉融合,使得测量学朝气蓬勃,服务领域不断扩大和延伸。

本书根据全国高等学校土建学科教学指导委员会制定的培养目标和培养专业编写,立意明确。作为土木工程专业省级规划系列教材之一,秉承传统理论,宣扬现代技术,则是编写本书的指导原则。

本书共分11章。第1章至第5章为测量学基础理论部分,介绍测量学的基本知识、基本理论及测量仪器的构造和使用;第6章到第8章为测量学基础应用部分,介绍控制测量以及大比例尺地形测量的有关知识;第9章至第11章为测量学综合应用部分,介绍测量学在工业与民用建筑工程、道路与桥梁工程、隧道工程中的综合应用。本书依然采用测量学传统的内容结构体系(即先基础理论,后应用综合),但是在阐述具体内容时,则尽量“弱化陈旧知识,强调现代技术”,使得本书在结构上秉承传统,在内容上推陈出新,更适应新形势下对非专业测绘人才培养的要求。

本书由安徽建筑工业学院、合肥工业大学、安徽工业大学、安徽农业大学、皖西学院、铜陵学院、合肥学院等多所高等院校具有多年教学和实践经验的测绘专业教师编写。全书各章编写分工为:高旭光编写第1章,柴陆修、李廷训编写第2章,董斌、田劲松编写第3章,廖振修编写第4章,周利利编写第5章,张晓明编写第6章,李晓莉编写第7章,刘英姿编写第8章,谢胜华编写第9章,赵平编写第10章,赵卫华编写第11章。本书由北京建筑工程学院朱光教授审定;张晓明担任主编;李晓莉、廖振修任副主编,协助做了统稿工作。学生代志国、李峰、尹堃和王猛帮助做了部分校对工作。

本书在编写过程中,得到了上述院校相关院系领导的大力支持和帮助。合肥工业大学出版社在本书编辑、校对、照排等方面做了大量的工作。朱光教授在百忙中审定书稿,在此一并表示衷心感谢。

在本书的编写过程中,我们力求做到明达、无误。但缘于编写水平及能力所限,书中还可能存在瑕疵错漏,请读者批评指正。

编 者

2007年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 测量学的基本概念与研究内容	1
1.2 测量学的发展	4
1.3 地面点位的确定	9
1.4 测量工作的程序和内容	16
第 2 章 水准测量	20
2.1 水准测量原理	20
2.2 光学水准仪和水准尺	21
2.3 普通水准测量的方法及成果整理	25
2.4 自动安平水准仪	32
2.5 精密水准仪	34
2.6 电子水准仪	36
2.7 光学水准仪的检验和校正	37
2.8 水准测量的误差分析及注意事项	39
第 3 章 角度测量	43
3.1 水平角和竖直角测量原理	43
3.2 光学经纬仪	44
3.3 水平角测量	50
3.4 竖直角测量	53
3.5 电子经纬仪的测角原理	56
3.6 激光准直经纬仪	59
3.7 光学经纬仪的检验与校正	61
3.8 水平角测量误差分析	64
第 4 章 光电测距	67
4.1 测距原理	67
4.2 光电测距仪及使用	72
4.3 光电测距成果整理	82
4.4 光电测距精度分析与注意事项	83

第 5 章 观测误差与测量平差	87
5.1 概述	87
5.2 偶然误差的规律性	88
5.3 衡量精度的指标	90
5.4 观测值的算术平均值及改正数	95
5.5 观测值的精度评定	96
5.6 误差传播定律及应用	98
5.7 加权平均值及中误差	104
第 6 章 控制测量	109
6.1 概述	109
6.2 平面控制测量	114
6.3 高程控制测量	132
6.4 全球定位系统(GPS)测量	137
第 7 章 地形测量	150
7.1 地形图的基本知识	150
7.2 地形图的测绘	166
7.3 电子全站仪数字化测图	172
7.4 航空摄影测量成图	184
第 8 章 地形图的应用	195
8.1 概述	195
8.2 地形图应用的基本内容	195
8.3 工程建设中的应用	200
8.4 建筑设计中的应用	205
8.5 给排水工程设计中的应用	206
8.6 道路勘测设计中的应用	206
8.7 城镇规划中的应用	207
8.8 数字地形图的应用	208
第 9 章 建筑施工测量	212
9.1 施工测量概述	212
9.2 测设的基本工作	213
9.3 施工场地控制测量	218
9.4 建筑施工测量	221

9.5	竣工测量	229
9.6	建筑物的变形测量	230
第 10 章	道路与桥梁工程测量	233
10.1	概述	233
10.2	道路带状地形测量	233
10.3	道路中线测量	237
10.4	路线纵横断面测量	248
10.5	道路施工测量	255
10.6	桥梁施工测量	258
第 11 章	隧道工程测量	265
11.1	概述	265
11.2	地面控制测量	265
11.3	隧道施工测量	267
11.4	竖井联系测量	270
11.5	隧道竣工测量	274
参考文献		277

第 1 章 结 论

1.1 测量学的基本概念与研究内容

1.1.1 测量学的基本概念

测绘学是地球科学的一个分支学科,《中国大百科全书》中关于测绘学的定义为:“研究测定和推算地面点的几何位置、地球形状及地球重力场,据此测量地球表面自然形态和人工设施的几何分布,并结合某些社会信息和自然信息的地理分布,编制全球和局部地区各种比例尺的地图和专题地图的理论和技术的学科。它包括测量和制图两项主要内容。有的国家称它为测量学,有的称为测量与制图学。在中国称为测绘学。”随着科学技术的发展,测绘学的研究对象不仅包括地球表面,还包括地球外层空间的各种自然实体和人造实体。因而,目前测绘学的比较完整的基本概念应是:研究对实体(包括地球整体、表面以及外层空间各种自然和人造的物体)中与地理空间分布有关的各种几何、物理、人文及其随时间变化的信息的采集、处理、管理、更新和应用的科学与技术。

现今,一般认为测量学是测绘学的一个狭义的概念,因而,测量学可以定义为:测量学是研究地球形状、大小和重力场以及确定地面(包括空中、地下和海底)点位的科学。

1.1.2 研究内容

从测绘学的定义可知,测绘学的研究内容相当广泛,而且由于学科的交叉发展,测绘学研究内容又增添了很多相关的学科内容,如空间科学、信息科学等。下面仅就其核心研究内容作一概略阐述。

第一,研究地球的形状和大小及其重力场的分布情况。测绘学主要是研究地理空间分布问题,而这一研究又是以地球为核心展开的,因而首先必须研究地球的形状和大小问题。由于人类的生产生活与地球的重力场有着重要的关系,因此,必须研究地球重力场的分布情况。因此,可以看出,对地球形状和大小以及重力场的研究是其他地理空间研究的基础。

第二,建立测绘的基准和测量的坐标系统和参考框架。主要是研究如何确立测量的起算基准、尺度基础,如何建立测量的坐标系统以及该坐标系统的具体应用形式,即参考框架。

第三,研究如何将地表形态测绘成地形图。在测量的坐标系统和参考框架已经建立的前提下,研究如何测定地面点的位置,如何将地面的点位绘到地形图上。可以采用传统的模拟法利用常规的测量仪器进行地形图测绘,平板仪测绘、经纬仪测绘等都是这种方式测绘地形图;可以采用数字化测图方法,利用全站仪或 GPS RTK、计算机等进行数字化地形图的数据采集和数字化地形图成图;也可以利用航空摄影的方法测绘地形图。

第四,研究测绘在国民经济生产生活和国防等建设中的应用问题。该问题主要研究:在图上设计的建筑物、构筑物的点位如何以一定的精度在实地标定出来,即放样;施工建设过程中如何确保各种设计的几何关系;工程竣工后的变形和沉降量等安全指标。该研究内容是直接服务于

人类的生产生活。

第五,研究测量的误差处理。在测量工作中由于种种原因,观测值是无法达到其真值的,即观测值中含有误差。为了更好地反映真实情况,消除由于观测误差带来的理论上的矛盾,同时,评定测量的精度,必须研究测量误差的性质和数学规律,即建立测量误差理论与测量平差方法。如,概率论与数理统计、最小二乘原理、灰色理论、神经网络理论等。

除上述主要的研究内容外,测绘学还研究空间信息的传输、存储和表达。随着信息化的到来,地理空间信息的共享也成为人们研究的重点,由此带来了空间海量信息的传输和存储问题。由于地理空间信息具有空间和属性双重内容,这使得传统关系型数据库不便于管理地理空间数据,必须研究新型的数据库系统以适应地理空间数据的特点。由于数字摄影测量和遥感普及应用,地理空间信息的数据量是巨大的(故称为海量数据):全国 1 米分辨率的影像数据量达到 60TB(1TB=1024GB)。海量数据的传输和存取是目前研究的一个重要方面。可视化是目前数据表达的重要方式,地理空间信息的可视化呈现出二维到三维的发展趋势,虚拟现实技术是目前研究的一个热点。

1.1.3 测量学的分类

随着测绘学的发展,已经形成一个完善的一级学科,根据其研究的不同侧重点可以分成以下几个分支学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究地球的形状、大小和重力场,测定地面点的几何位置和地球整体与局部运动的理论和技术的学科。测定地球的大小是指测定地球椭球的大小;研究地球形状是指研究大地水准面的形状;测定地面点的几何位置是指测定以地球椭球面为参考面的地面点位置。

大地测量学的基本任务是:第一,建立和维护高精度全球和区域性大地测量系统与大地测量参考框架;第二,获取空间点位置的静态和动态信息;第三,测定和研究地球形状大小、地球外部重力场及其随时间的变化;第四,测定和研究全球和区域性地球动力学现象,包括地球自转和极移、地球潮汐、板块运动与地壳形变以及其他全球变化;第五,研究地球表面观测量向椭球面和平面的投影变换及相关的大地测量计算问题;第六,研究新型的大地测量仪器和大地测量方法;第七,研究空间大地测量理论和方法。

现代大地测量学呈现出高精度、实时快速等特征,并正向四维发展(即加入“时间维”)。

2. 摄影测量学与遥感

摄影测量学是利用摄影的手段获取被测物体的信息(主要是影像),通过对图像的处理、量测、判识和研究,以确定被测物体的形状、大小和位置,并判断其物理性质的一门学科。按获取像片的方法不同,分为航空摄影测量学和地面近景摄影测量学。航空摄影测量主要用于测制地形图,是将摄影机安装到飞机等航空飞行器上,按照预定的航线对地面进行摄影(见图 1-1)。摄影时要保证像片具有一定的重叠度,前后重叠(航向重叠)一般大于 60%,左右重叠(旁向重叠)一般大于 20%,相互重叠的两张像片构成一个立体像对,通过对立体像对的处理生成正射影像图或线划地形图。摄影测量发展经历了模拟法、解析法和数字化三个阶段。航空摄影测量成图是当今大面积地形图测绘的主要方法。地面近景摄影测量是将摄影机安置在地面上进行测量,主要用于工程测量,如,建筑物的变形观测、工业设备的安装、古建筑测绘等,也可用于小区域地形测量。

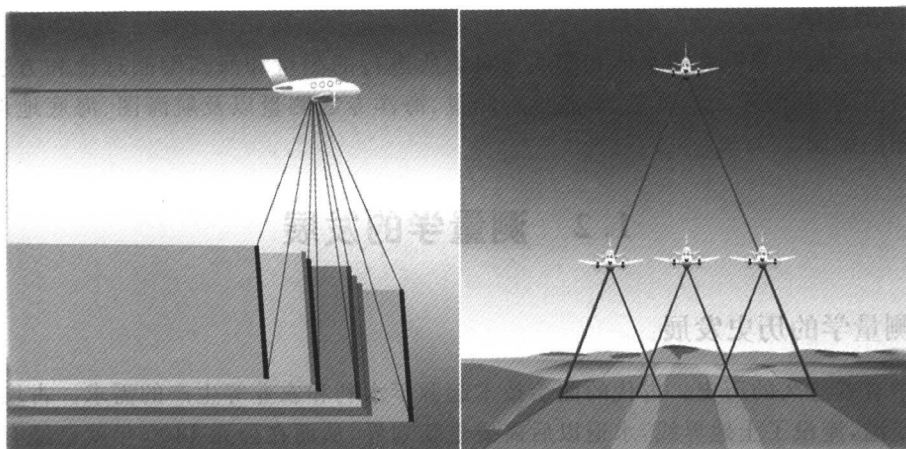


图 1-1 航空摄影测量

遥感,即遥远的感知,是指利用飞机、飞船、卫星等航天(空)器携带传感器,接收地面物体反射或发射的电磁波信号,以图像胶片或数字磁带形式记录下来,传到地面,经信息处理、判读分析和实地验证,提供给人们所需的地物的几何和物理信息。目前,遥感已应用于农业、林业、地质、环境、测绘、气象、军事等领域,应用前景非常广泛。

3. 工程测量学

工程测量学是研究工程建设在规划设计、施工放样和运营管理各阶段中进行测量工作的理论、技术和方法的科学。它是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用。按工程建设进行的程序,工程测量服务于工程建设的各阶段,主要任务有:在规划设计前期需进行工程现场的控制测量以提供施工的位置基准,测绘工程现场的地形图以供工程设计使用;在施工阶段前期需将图上设计好的建筑物标定到实地,确保其形状、大小、位置和相互关系正确,即放样;在施工阶段进行各种施工测量,准确地标定出建筑物各部分的平面和高程位置以及相互间的轴线关系,作为施工和安装的依据,以确保工程质量和安全生产;工程竣工后,要将建筑物群体测绘成竣工平面图,作为质量验收和日后管理维护的依据资料,称为竣工测量;对于大型工程,如高层建筑物、大型水坝、重要厂房等,工程竣工后,为监视工程的状况,保证安全,需进行周期性的变形监测和沉降观测,找出建筑物变形和沉降的规律并作出后期的预报。

工程测量学除服务于一般的工程建设外,还用于一些工业和科研设备的精密安装,从而形成工程测量学的一个分支学科,即精密工程测量。(例如,大型精密机床的安装、大型正负电子对撞机的安装等)。目前,一些大型工程如大型桥梁建设也需要精密工程测量为之定位。因而,精密工程测量代表着工程测量学的发展方向。

4. 地图制图学

地图制图学主要研究地图的基础理论、地图设计、地图编制和复制的技术方法及其应用的学科。传统地图学的具体研究内容为:地图投影,即将地面的曲面按一定的要求以一定的数学方法投影到平面上;地图编制,即制图资料的分析 and 处理、图例、表示方法等;地图制印,即研究地图的复制和印刷的各种工艺的理论和方法。随着计算机图形学应用,地图制图转向数字化,人们利用计算机及输入、输出等设备,通过数据库和图形数字处理方法实现地图数据的获取、处理、显示、存储和输出,从而产生了电子地图。较之传统地图,电子地图具有精度高、信息承载量大、使用方便、一图多用等优点。

5. 海洋测量学

海洋测量学是研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制理论和方法的学科,主要包括海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量以及航海图、海底地形图、海洋专题图等图的编制。

1.2 测量学的发展

1.2.1 测量学的历史发展

测绘学有着悠久的历史。古代的测绘技术起源于水利和农业等生产的需求。古埃及尼罗河每年洪水泛滥,淹没了土地界线,水退以后需要重新划界,从而在公元 1400 年就已经有了地产边界的测量。公元前 2 世纪,中国司马迁在《史记·夏本纪》中叙述了禹受命治理洪水的情况:“左准绳,右规矩,载四时,以开九州、通九道、陂九泽、度九山”。这段记载说明在公元前很久,中国人为了治水,已经会使用简单的测量工具了。

测绘学的研究对象是地球,人类对地球形状认识的逐步深化,要求对地球形状和大小进行精确的测定,因而促进了测绘学的发展。地图制图是测量的必然结果,所以地图的演变及其制作方法的进步是测绘学发展的重要方面。测绘学是一门技术性较强的学科,它的形成和发展在很大程度上依赖于测绘方法和仪器工具的创造和变革。从原始的测绘技术,发展到近代的测绘学,其过程可由下列 3 个方面来说明。

第一,人类对地球形状的认识过程。人类对地球形状的科学认识,是从公元前 6 世纪古希腊的毕达哥拉斯(Pythagoras)最早提出地球是球形的概念开始的。两世纪后,亚里士多德(Aristotle)作了进一步论证,支持这一学说,称为地圆说。世界上有记载的实测弧度测量,最早是中国唐代开元十二年(公元 724)张遂和南宫说等人在今河南省境内进行的,根据测量结果推算出了纬度 1 度的子午弧长。

17 世纪末,英国牛顿(I. Newton)和荷兰的惠更斯(C. Huygens)首次从力学的观点探讨地球形状,提出地球是两极略扁的椭球体,称为地扁说。1735~1741 年间,法国科学院派遣测量队在南美洲的秘鲁和北欧的拉普兰进行弧度测量,证明牛顿等的地扁说是正确的。

19 世纪初,随着测量精度的提高,通过对各处弧度测量结果的研究,发现测量所依据的垂线方向同地球椭球面的法线方向之间的差异不能忽略。因此法国的 P. S. 拉普拉斯和德国的 C. F. 高斯相继指出,地球形状不能用旋转椭球来代表。1849 年 Sir G. G. 斯托克斯提出利用地面重力观测资料确定地球形状的理论。1873 年,利斯廷(J. B. Listing)首用“大地水准面”一词,以该面代表地球形状。自那时起,弧度测量的任务,不仅是确定地球椭球的大小,而且还包括求出各处垂线方向相对于地球椭球面法线的偏差,用以研究大地水准面的形状。

人类对地球形状的认识和测定,经过了“球—椭球—大地水准面”3 个阶段,花去了约二千五六百年的时间,随着对地球形状和大小的认识和测定的愈益精确,测绘工作中精密计算地面点的平面坐标和高程逐步有了可靠的科学依据,同时也不断丰富了测绘学的理论。

第二,地图制图的演变。地图的出现可追溯到上古时代,那时由于人类从事生产和军事等活动,就产生了对地图的需要。考古工作者挖掘到公元前 25 世纪至前 3 世纪画在或刻在陶片、铜板或其他材料上的地图。据文字记载,中国春秋战国时期地图已用于地政、军事和墓葬等方面。例如《管子·地图篇》记述:“凡兵主者必先审知地图。”1973 年,在中国湖南省长沙马王堆汉墓中

发现的绘制在帛上的地图,是公元前 168 年之前制作的。这些地图虽是根据已有资料和见闻绘制的,但它已注意到比例尺和方位,讲求一定的精度。公元 2 世纪,古希腊的 C. 托勒密所著《地理学指南》一书,提出了地图投影问题。16 世纪,地图制图进入了一个新的发展时期。中国明代的罗洪先和德国的 G. 墨卡托都以编制地图集的形式,分别总结了 16 世纪之前中国和西方在地图制图方面的成就。从 16 世纪起,随着测量技术的发展,尤其是三角测量方法的创立,西方一些国家纷纷进行大地测量工作,并根据实地测量结果绘制国家规模的地形图,这样测绘的地形图,不仅有准确的方位和比例尺,具有较高的精度,而且能在地图上描绘出地表形态的细节,还可按不同的用途,将实测地形图缩制编绘成各种比例尺的地图。中国历史上首次使用这样的方法在广大国土上测绘的地形图,是清康熙四十七年至五十七年(公元 1708~1718)完成的《皇舆全图》。现代地图制图的方法有了巨大的变革,地图制图的理论也不断得到丰富,特别是 20 世纪 60 年代以来,又朝着计算机辅助地图制图的方向发展,使成图的精度和速度都有很大的提高。

第三,测绘技术和仪器工具的变革。17 世纪之前,人们使用简单的工具,例如中国的绳尺、步弓、矩尺和圭表等进行测量。这些测量工具都是机械式的,而且以用于量测距离为主。17 世纪初发明了望远镜。1617 年,荷兰的斯涅耳(W. Snell)为了进行弧度测量而首创三角测量法,以代替在地面上直接测量弧长,从此测绘工作不仅量测距离,而且开始了角度测量。约于 1640 年,英国的加斯科因(W. Gascoigne)在两片透镜之间设置十字丝,使望远镜能用于精确瞄准,用以改进测量仪器,这可算光学测绘仪器的开端。约于 1730 年,英国的西森(Sisson)制成测角用的第一架经纬仪,大大促进了三角测量的发展,使它成为建立各种等级测量控制网的主要方法。

19 世纪初,随着测量方法和仪器的不断改进,测量数据的精度也不断提高,精确的测量计算就成为研究的中心问题。此时数学的进展开始对测绘学产生重大影响。1806 年和 1809 年法国的勒让德(A. M. Legendre)和德国的高斯分别发表了最小二乘准则,这为测量平差计算奠定了科学基础。19 世纪 50 年代初,法国洛斯塔(A. Laussedat)首创摄影测量方法。随后,相继出现立体坐标量测仪,地面立体测图仪等。由于航空技术的发展,1915 年出现了自动连续航空摄影机,因而可以将航摄像片在立体测图仪器上加工成地形图,从此发展了航空摄影测量方法。可以说,从 17 世纪末到 20 世纪中叶,测绘仪器主要在光学领域内发展,测绘学的传统理论和方法也已发展成熟。

从 20 世纪 50 年代起,测绘技术又朝电子化和自动化方向发展。首先是测距仪器的变革。1948 年起陆续发展起来的各种电磁波测距仪,由于可用来直接精密测量远达几十公里的距离,因而使得大地测量定位方法除了采用三角测量外,还可采用精密导线测量和三边测量。大约与此同时,电子计算机出现了,并很快应用到测绘学中。这不仅加快了测量计算的速度,而且还改变了测绘仪器和方法,使测绘工作更为简便和精确。继而在 60 年代,又出现了计算机控制的自动绘图机,可用以实现地图制图的自动化。

自从 1957 年第一颗人造地球卫星发射成功后,测绘工作有了新的飞跃,在测绘学中开辟了卫星大地测量学这一新领域。同时,由于利用卫星可从空间对地面进行遥感,因而可将遥感的图像信息用于编制大区域内的小比例尺影像地图和专题地图。所以 20 世纪 50 年代以后,测绘仪器的电子化和自动化以及许多空间技术的出现,不仅实现了测绘作业的自动化,提高了测绘成果的质量,而且使传统的测绘学理论和技术发生了巨大的变革,测绘的对象也由地球扩展到月球和其他天体。

1.2.2 测量学的现代发展

随着空间技术、计算机技术和信息技术的发展,测绘学同时也得到飞速发展。以“3S”为代表的现代测绘技术使测绘学在空间化、信息化和自动化方面发生了革命性变化。而其中,以“3S”集成为核心的地球空间信息科学是建立“数字地球”的基础。

1. “3S”技术

“3S”是指:全球卫星定位系统(GPS)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)。

全球卫星定位系统(Global Positioning System,简称 GPS)是美国军方于 1973 年开始发展的新一代卫星导航定位系统。该系统由三大部分构成,即 GPS 卫星星座、地面监控站和用户接收机。其中,GPS 卫星星座是由分布在 6 个轨道面上的 24 颗 GPS 卫星组成;地面监控站主要包括主控站、监测站和注入站,主要是用来监测并调整卫星的运行轨道及卫星的各部分的运行健康状况、计算卫星的实时位置并将其位置信息和气象等有关信息注入卫星中;用户接收机则是用来接收卫星的定位信号,计算出接收机位置的坐标。GPS 定位时只需 GPS 接收机接收到四颗以上的 GPS 卫星信号,利用空间距离后方交会的原理,即可根据接收到的卫星位置信息和卫星到接收机之间的距离信息解算出接收机所处位置的三维坐标。

全球卫星定位系统除了美国的 GPS 系统外,前苏联也于 20 世纪 80 年代开始建设了一套与 GPS 相似的 GLONASS 系统,GLONASS 系统的构成与 GPS 相同,主要不同之处是在卫星星座的设计、信号载波频率和卫星的识别技术上。但由于政治和经济等原因,GLONASS 系统的卫星星座至今仍未布置完全,俄罗斯现正着手完善该系统。另外,欧洲空间局和欧洲联盟于 2002 年也批准了建设新一代卫星导航定位系统 Galileo(伽利略)。Galileo 系统卫星星座由分布在三个轨道面上的 30 颗卫星组成,计划 2008 年底完成布置。该系统主要作为民用,建成后可以提供双频定位水平方向 4 米、垂直方向 8 米精度的免费定位服务,亚米级精度的商业定位服务和其他如生命安全、公共管制、搜寻援救等服务。中国、印度等非欧盟国家也在参与该系统的建设。

遥感(Remote Sensing,简称 RS),是在不接触物体本身,用传感器采集目标物的电磁波信息,经处理、分析后,得到目标物几何、物理性质的一项技术。其主要是利用物体本身的特征和所处的环境不同,具有不同的电磁波反射或反射辐射特征。目前,遥感平台主要以飞机和卫星为主,因而可以在较短时间内获得大面积区域的信息。遥感数据呈现出高空间分辨率、高光谱分辨率和高时相分辨率的发展趋势,卫星遥感 QuickBird 的空间分辨率已达到 0.61 米(见图 1-2)。随着遥感分辨率的提高,其应用也越来越普及,如资源勘察、测绘、农业、林业、水文、环境、气象和灾害监测等,成为快速获取地理信息的重要手段。

地理信息系统(Geographic Information System,简称 GIS)是一种以采集、存储、管理、分析和描述整个或部分地球表面与空间和地理分布有关的数据的信息系统。其核心技术是如何利用计算机表达和管理地理空间对象及其特征,主要包括硬件系统和软件系统。硬件系统主要包括计算机系统(含常规输入输出设备,如鼠标、键盘、打印机等)、数据采集系统(如数字化仪、扫描仪等)、输出设备(绘图仪等)。软件系统则是 GIS 的核心,决定着其功能。软件系统一般包括:数据输入子系统、图形及属性编辑子系统、空间数据库管理系统、空间查询与空间分析子系统、制图与输出子系统。目前,常用的国外 GIS 基础软件主要有 ArcGIS、MapInfo 等,国内的 GIS 基础软件主要有 MapGIS、SuperMap、GeoStar 等。目前,GIS 的进展主要表现在:组件 GIS,即采用面向对象的 COM/DCOM 技术,使得可以方便地利用 VC、VB、Delphi 等语言进行应用系统开发;互联网 GIS,利用互联网进行地理数据的分布式采集、存储和查询,是 GIS 发展的必然趋势;

多维动态 GIS,从传统的二维加属性形式向三维发展,最终发展到含时态信息的四维 GIS;移动 GIS,利用移动终端(如掌上电脑)结合 GPS、移动通信等技术,可进行移动定位、车辆导航等移动服务。



图 1-2 上海浦东(局部)QuickBird 遥感影像

目前,3S 技术正趋于集成化。GPS 主要用于实时、快速地提供目标的空间位置;RS 用于实时、快速地提供大面积地表地物及其环境的几何与物理信息,以及他们的各种变化;GIS 则对多种来源的时空数据与属性数据进行综合处理与分析应用。

2. 数字地球与地球空间信息科学

数字地球是美国前副总统戈尔于 1998 年 1 月 31 日在“数字地球——认识 21 世纪我们这颗星球”的报告中提出的一个概念。其可以理解为对真实地球及其相关现象统一的数字化重现和认识,特点是嵌入海量地理数据,实现多分辨率的、对地球三维的描述。数字地球的支撑技术主要包括:信息高速公路和计算机宽带高速网络技术、高分辨率卫星影像技术、空间信息技术、大容量数据处理与存储技术、科学计算以及可视化和虚拟现实技术。

地球空间信息科学(Geo-Spatial Information Science,简称 Geomatics)是实现数字地球的基础,是以全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、遥感(RS)等空间信息技术为主要内容,并以计算机技术和通信技术为主要技术支撑,用以采集、量测、分析、存储、管理、显示、传播和应用与地球和空间分布有关数据的一门综合和集成的信息科学和技术。地球空间信息科学理论框架的核心是地球空间信息机理,即通过对地球圈层间信息传输过程与物理机制的研究,揭示地球几何形态和空间分布及变化规律。

3. 工程测量中的测绘新技术

目前,工程测量正趋于内外业一体化和自动化。即数据的外业获取和内业处理的自动化。例如,在大坝变形监测中,可以采用自动照准全站仪(测量机器人)或 GPS 接收机进行实时、自动地数据采集,通过有线或无线的数据传输系统将观测数据传入主控计算机中,在数据处理软件的支持下变形分析和作业控制,如图 1-3 所示的自动化监测系统。

目前,小浪底水利枢纽、长江三峡水利枢纽等均采用 GPS 自动化变形监测系统。新疆昌吉三屯河水库大坝、安徽港口湾水库大坝、山西垣曲后河水库大坝等采用了全站仪自动化监测系统。



变形监测点 GPS 天线



自动化全站仪监测站

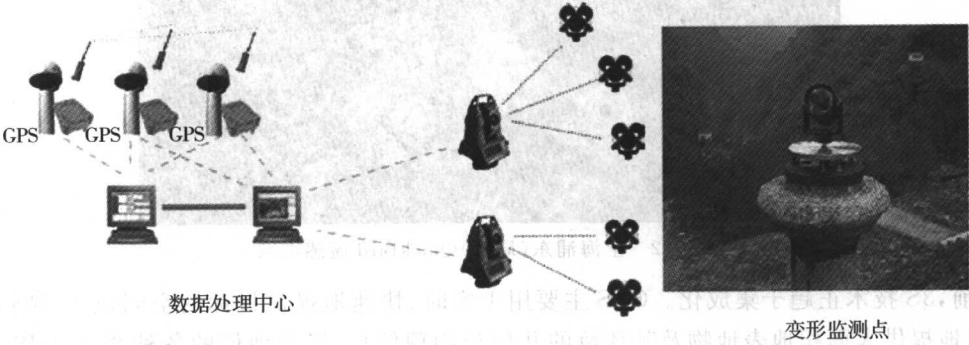


图 1-3 自动化监测系统

近年来,激光仪器在工程测量中得到长足的发展和应用。例如,常规工程测量使用的激光扫平仪、激光垂准仪,大大方便了施工测量工作,提高了工程施工效率(见图 1-4)。在精密工程测量中,激光跟踪测量仪可以以 0.05 mm 的精度方便地进行各种高精度的工业测量。目前该仪器在宝马汽车公司、波音飞机制造公司、中国科学技术大学同步辐射实验室等高精度工业安装及仪器定位监测中得到广泛应用(见图 1-5)。三维激光扫描仪可以进行近距离对地物海量点位的扫描,从而通过扫描获得的点云数据进行地物的三维建模。例如,该三维扫描仪应用在秦俑二号坑的三维数字化建模和故宫太和殿三维数字化建模中,如图 1-6。

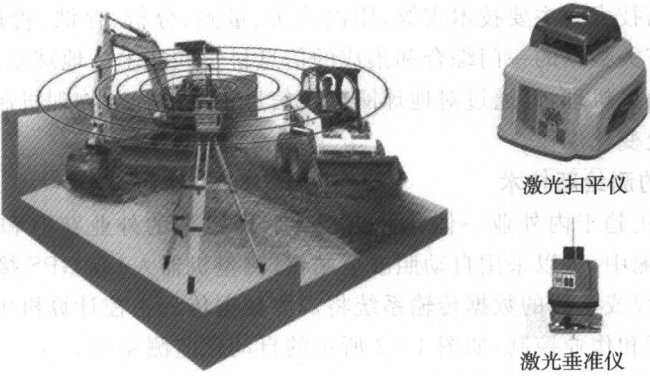


图 1-4 常用工程激光测量仪器

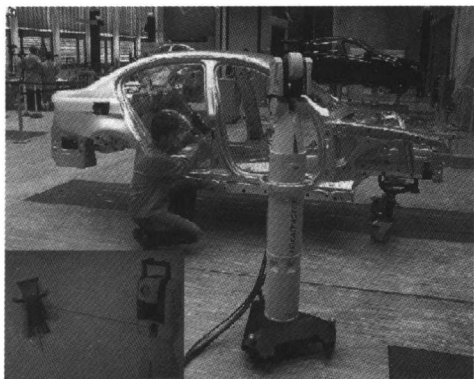


图 1-5 激光跟踪测量仪在汽车制造中的应用

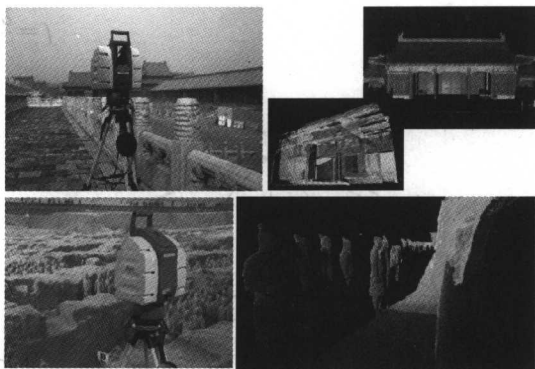


图 1-6 三维激光扫描仪在古建筑及文物保护中的应用

1.3 地面点位的确定

1.3.1 地球的形状和大小

由于测量工作是以地球为核心进行的,因此必须首先研究地球的形状和大小。目前,我们已经知道,地球的总体形状是一个不规则的椭球(见图 1-7)。由于地球表面形态非常复杂,例如,珠穆朗玛峰高出海平面达 8844.43 米,而马里亚纳海沟则在海平面下 11034 米,若直接用地球表面形态来作为地球形体来研究则非常复杂而无法进行。由于地球表面的三分之二是海洋面,我们可以设想将海洋面向陆地和岛屿延伸,从而形成一个曲面,我们称之为水准面,利用这个曲面来代替地球的形体。但海洋的海水面由于潮起潮落而并不固定,这样,水准面也就有无数多个,即每一时刻便有一个水准面,这时仍然无法唯一地确定地球形态。实际中,利用观潮资料可得到一个海水面的平均高度。就是用这个平均海水面所确定的水准面(我们称之为大地水准面),来唯一地表示地球形状(见图 1-7)。大地水准面所包围的形体称为大地体。由于地表的起伏与大地体的平均半径 6 371km 相比是微不足道的,因而利用大地水准面近似代表地球形状是可行的。大地水准面是测量工作的基准面。与大地水准面垂直的铅垂线是测量工作基准线。

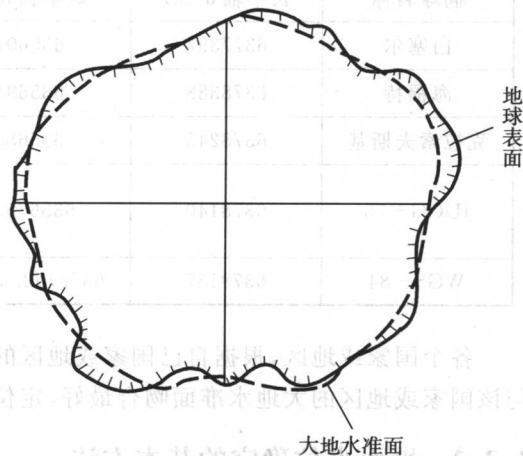


图 1-7 地球的总体形状

由于地球内部密度分布的不均匀,从而导致作为重力等位面的大地水准面也不是一个规则的椭球面,即无法用简单的数学式来表示。因此,必须寻求一个规则的几何形体来代替大地水准面,从而可以进行测量数据的计算处理。在实际中,利用与大地水准面最为相近的一个椭球面——地球椭球(又称旋转椭球)面来作为测量数据的计算面(如图 1-8(a))。

图 1-8(b)描绘了某一区域地球自然表面、大地水准面旋转椭球面三者的关系。地球椭球的几何参数为长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 f 。其关系为: