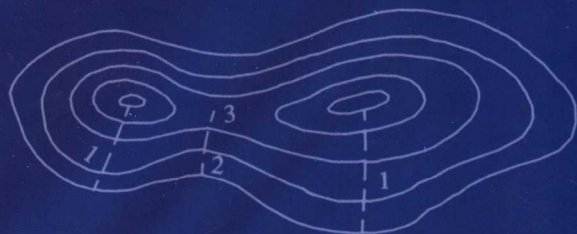
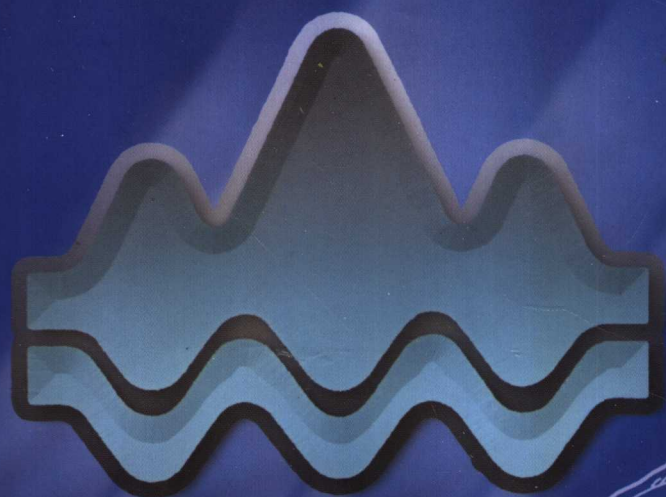


全国水利水电类高职高专统编教材

地形测量

李聚方 赵 杰 主编



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是全国水利水电类高职高专统编教材,是依据全国水利水电高职教研会 and 全国测绘行业教学指导委员会制定的工程测量专业《地形测量》课程教学大纲编写完成的。全书共分 12 章,主要内容有:绪论;测量基本知识;测量仪器的使用;距离测量;小区域平面控制测量;三角高程测量;地形图测绘;地形图的分幅与编号;地形图的应用;测绘产品质量控制体系与文件的编写要求;测绘新技术等。

本书主要供工程测量、矿山测量、水利水电工程测量、摄影测量、土地管理、工程地质等专业的高职高专教学使用,也可作为从事以上专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地形测量/李聚方,赵杰主编. — 郑州:黄河水利出版社,2004.10
全国水利水电类高职高专统编教材
ISBN 7-80621-832-7

I. 地… II. ①李… ②赵… III. 地形测量 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. P217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 098565 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

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrpc@public.zz.ha.cn

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:18.875

字数:436 千字

版次:2004 年 10 月第 1 版

印数:1—4 100

印次:2004 年 10 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-832-7/P·39

定价:30.00 元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,以及由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,报水利部批准,用中央财政安排的“支持示范性职业技术学院建设”项目经费组织编写的水利水电类全国统编教材。

本书是以全国水利水电类高职教研会 and 全国测绘行业教学指导委员会制定的工程测量专业《地形测量》课程教学大纲为主要依据,并在总结多年教学经验的基础上编写完成的。重点介绍了地形测量的基本理论和基本知识,并结合地形测量的实际需要阐述了有关地形图测绘及测绘产品质量控制体系的建立、测绘文件的编写等内容。本书有如下特点:

通用性——本书适用于所有开设测绘类专业的测量教学,各个开设测绘类专业的院校可根据自己的特点进行内容的选择。

实用性——本书根据国家教育部关于高职高专教育的指示精神,按照高职高专教育的特点,在基本理论教学的基础上,突出了以实用为主的教学原则,重点介绍地形测绘的实际作业方法和步骤,达到学以致用目的。

先进性——本书根据最新测量规范编写,舍弃了陈旧的测量知识,增添了电子仪器(如全站仪、电子水准仪、GPS)及数字化测图等新仪器和先进测量方法的介绍。

通俗性——本书舍弃了烦琐的理论推证,列举了大量测量实例,使内容通俗易懂。

除以上特点之外,为培养学生成为测绘生产一线复合型管理人才,本书特别编写了“测绘质量控制体系与文件的编写要求”一章,这是本书的最大特点,也是同类教材中所不具备的知识点。

参加本书编写的人员:黄河水利职业技术学院李聚方(前言、第一章、第六章第八至九节、第八章)、赵杰(第三章)、周建郑(第七章、第十二章)、纪勇(第四章),华北水利水电学院水利职业学院王郑睿(第二章、第五章第一至五节),湖北水利水电职业技术学院黎晶晶(第五章第六至八节、第十章),长江工程职业技术学院牛志宏(第六章第一至五节、第九章),广西水利电力职业技术学院蓝善勇(第六章第六至七节、第十一章)。全书由李聚方、赵杰主编并统稿,黄河水利职业技术学院靳祥升副教授主审。

本书得到了黄河水利委员会勘测规划设计研究院测绘总队杨建军高级工程师的大力支持和鼎力相助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,热诚希望广大读者对本书中的缺点和错误给予批评指正。

编 者

2004 年 8 月

目 录

前 言

第一章 绪 论

- 第一节 测量学的研究对象和任务..... (1)
- 第二节 地形测量概述及其在测绘专业中的地位..... (2)
- 第三节 测量的发展概况..... (5)

第二章 测量基本知识..... (7)

- 第一节 地球的形状和大小..... (7)
- 第二节 测量坐标系..... (9)
- 第三节 用水平面代替水准面的限度 (13)
- 第四节 比例尺 (16)
- 第五节 测量误差 (19)
- 第六节 测量常用的基本单位 (24)

第三章 水准测量 (26)

- 第一节 水准测量的原理 (26)
- 第二节 水准测量的仪器和工具 (28)
- 第三节 水准仪的使用 (35)
- 第四节 普通水准测量 (37)
- 第五节 四等水准测量 (42)
- 第六节 水准路线的高程计算 (46)
- 第七节 水准仪的检验、校正..... (49)
- 第八节 水准测量的误差分析 (55)
- 第九节 测量仪器的使用和维护 (59)
- 第十节 自动安平水准仪及电子水准仪简介 (60)

第四章 经纬仪及其角度观测 (64)

- 第一节 角度测量的基本概念 (64)
- 第二节 DJ₆ 光学经纬仪及其构造 (65)
- 第三节 角度测量 (71)
- 第四节 竖直角测量 (80)
- 第五节 经纬仪的检验校正 (84)
- 第六节 角度测量的误差来源 (90)
- 第七节 电子经纬仪简介 (93)

第五章 距离测量 (99)

- 第一节 概 述 (99)

第二节	距离丈量	(99)
第三节	钢尺检定	(106)
第四节	长度计算	(108)
第五节	视距测量	(110)
第六节	视距常数的测定	(114)
第七节	光电距离测量	(116)
第八节	全站仪简介	(120)
第六章	平面控制测量	(123)
第一节	控制测量概述	(123)
第二节	控制测量的外业工作	(127)
第三节	方位角的概念及坐标计算的基本原理	(128)
第四节	普通导线测量	(135)
第五节	导线测量的内业计算	(138)
第六节	导线测量观测值的粗差检测与定位	(146)
第七节	方向交会测量	(148)
第八节	测边交会测量	(156)
第九节	线形锁计算	(158)
第七章	三角高程测量	(169)
第一节	三角高程测量原理	(169)
第二节	独立交会高程测量	(172)
第三节	三角高程导线测量	(173)
第四节	三角高程导线测量的误差来源	(176)
第八章	大比例尺地形图的测绘	(178)
第一节	概 述	(178)
第二节	大比例尺地形图测绘的技术计划	(179)
第三节	测图前的准备工作	(180)
第四节	地形图测绘的常规方法	(184)
第五节	碎部点的测定方法	(187)
第六节	地物的测绘	(189)
第七节	地貌的测绘	(196)
第八节	测绘地形图注意事项及其误差来源	(208)
第九节	图边测绘、图幅的拼接及整饰	(209)
第十节	地形图的检查与验收	(211)
第九章	地形图的分幅编号及高斯投影	(213)
第一节	地形图的分幅及编号	(213)
第二节	地形图的图幅元素	(219)
第三节	高斯投影、投影带划分及投影带重叠	(221)

第十章 地形图的应用	(225)
第一节 地形图判读的必备知识.....	(225)
第二节 地形图应用的基本内容.....	(232)
第三节 根据地形图绘制断面图.....	(236)
第四节 地形图在平整土地中的应用.....	(239)
第五节 汇水面积的确定与面积量算.....	(242)
第十一章 测绘质量控制体系与文件的编写要求	(247)
第一节 测绘产品质量控制程序.....	(247)
第二节 勘测大纲、技术设计书及测量技术总结编写要求	(250)
第三节 测绘产品的检查验收与质量评定.....	(256)
第四节 质量评定标准与测绘文件审签、印刷要求	(261)
第十二章 测量新技术	(271)
第一节 GPS 全球卫星定位系统简介	(271)
第二节 数字测图简介.....	(288)
参考文献	(293)

第一章 绪 论

第一节 测量学的研究对象和任务

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程,将地球表面的起伏形态及各种固定物体测绘成图,以及确定地球的形状和大小的科学。随着整个社会生产的发展,测绘逐渐专门化,测量学亦随之分出各个分支,成为各个独立学科,这些学科通常分为以下几类。

(1)大地测量学。它是研究在广大地面上建立国家大地控制网,精确地测定地球的形状和大小以及地球重力场的理论、技术和方法的学科。大地测量工作为其他测量工作提供起算数据,为空间科学技术和军事用途提供资料,并为研究地球的形状、大小,地壳变形及为地震预报等提供重要资料。

(2)地形测量学。它是研究测绘地形图的基本理论、技术和方法的学科。其任务是应用各种测量仪器或地面影响,按一定的程序和方法,根据地形图图式规定的符号,将地物、地貌测绘在图纸上。

(3)摄影测量学。它是通过摄影相片和辐射能的各种图像记录手段,对其进行处理、测量、判释和研究,以测得物体的形状、大小和位置的模拟形式或数字形式的成果以及关于环境可靠信息的一门学科。其任务早先主要用以测绘地形图,而现在已愈来愈广泛地应用于其他各个领域。

(4)工程测量学。它是研究工程建设勘测设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作的学科。其任务是在城市规划、工业设计、农田水利、交通运输、地质勘探等不同规模和各种要求的工程建设中,完成勘测设计、施工以及竣工后所需的各种各样的测量工作。

(5)地图制图学。它是研究地图及其制作的理论、工艺和应用的学科。其任务是利用已有的测量成果、成图,编制各种基本图和各种专业地图。

上述几门学科,既自成系统,各有专务,又必须密切联系,相互配合,只有这样才能更好地为测绘事业服务。

测绘工作常被人们称为国民经济和国防建设的尖兵,这是由于不论是国民经济建设还是国防建设,其勘测、设计、施工、竣工及运营等阶段都需要测绘工作,而且都要求测绘工作走在这类任务的前面。测绘科学在保卫祖国的战斗中也起着很重要的作用,如地形图就是战略部署的重要资料之一。随着科学技术的日益发展,测绘科学在国民经济建设和国防建设中的作用也将日益增大。目前,在地震预测预报、海底资源勘测、近海油井钻探、地下电缆埋设、灾情监视与调查、宇宙空间技术,以及其他科学研究方面无不需要测绘工作的配合。我国幅员辽阔、资源丰富,测绘任务十分繁重,这是测绘工作者的光荣,每个测绘工作者都有责任兢兢业业、不避艰辛,努力当好国民经济建设的尖兵,为祖国的日益富强多作贡献。

第二节 地形测量概述及其在测绘专业中的地位

地形测量是测量学逐渐发展的分支,是研究地球表面较小区域内测绘地形图的基本理论、技术和方法的科学。地形测量工作的主要任务有两个方面,一是确定地面点的位置即地面点的坐标和高程;二是根据地形图图式规定的符号,将地物、地貌按规定的比例尺测绘在图纸上。具体工作有角度测量、距离测量、高程测量、野外观测数据的处理和碎部测量等。

在地形测量工作中,通常将地球表面的具有明显外轮廓的固定物体称为地物,如居民地、道路、河流、森林等;将地球表面高低起伏的形态称为地貌,如山川、丘陵、平原、盆地、陡崖、冲沟等;又将地物、地貌合称为地形。

地形图是地形测量的主要产品,它是按一定比例尺,将地物、地貌的平面位置和高程正射投影到水平基准面上的正射投影图(见图 1-1)。地形图与平面图、地图以及其他专题图有什么区别呢?如果把小范围的地球表面当做平面看待,在测绘过程中只测量地物的平面位置,而不测地貌的正射投影图称为平面图(见图 1-2)。如果测绘面积较大,考虑到地球表面曲率的影响,通常采用投影法则来解决。按照一定的数学法则,使用特定的符号,有选择性地表示在地面上若干现象的图称为地图(见图 1-3),如中华人民共和国地图、河南省地图等。将专题内容表示在地图或地形图上的图称为专题图,如矿山图、旅游图、森林防火图、规划图等(如图 1-4 所示为开封市旅游图)。

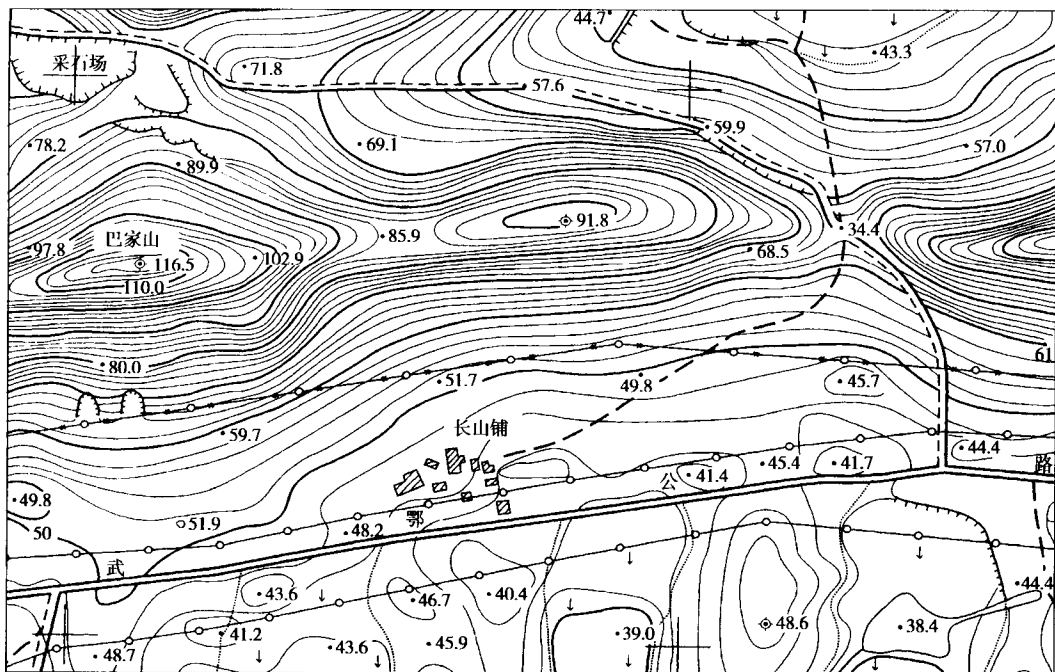


图 1-1

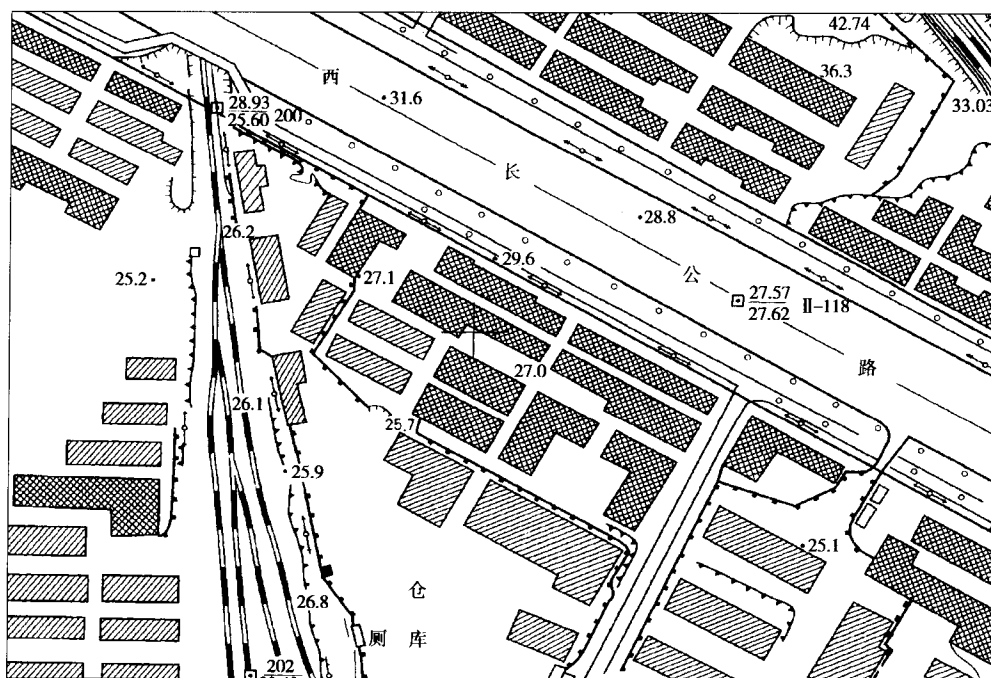


图 1-2

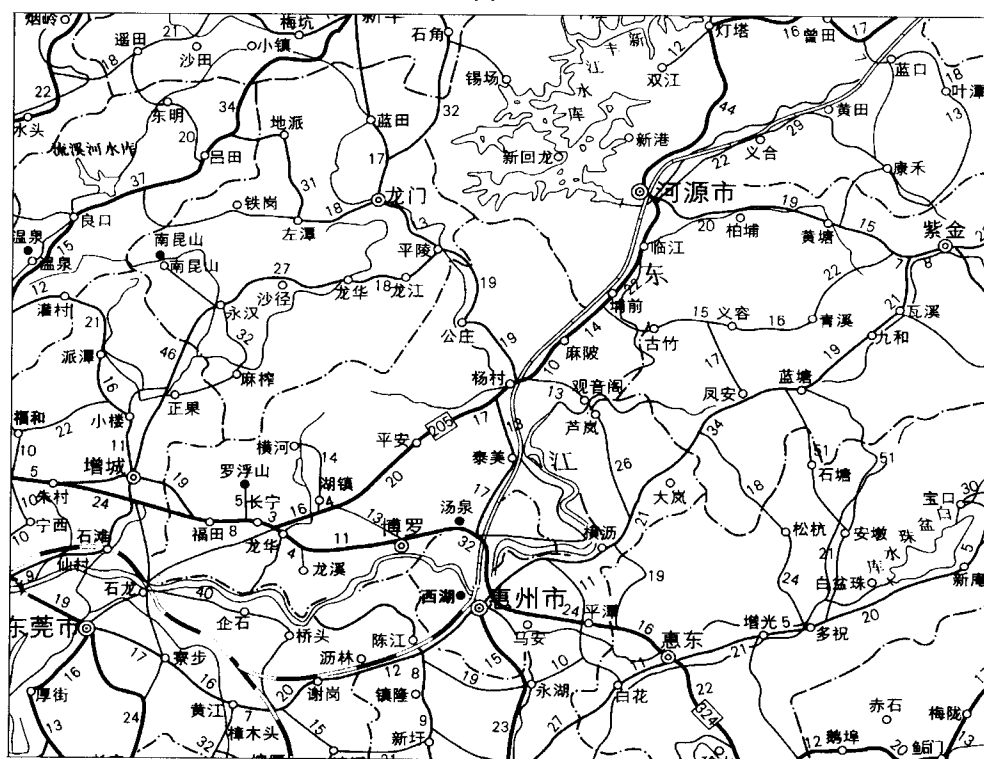


图 1-3



图 1-4

为了控制测量误差的累积,保证测量成果的质量,测量工作必须遵守测量作业原则,即“从整体到局部”、“由高级到低级”、“先控制后碎部”。根据这一原则,应首先建立首级控制网,为了满足测图需要,还必须在首级控制的基础上进行图根控制测量;其次进行地形测图(碎部测量)工作。控制测量和碎部测量在以后的章节中将一一讲述。

要想学好地形测量这门课,首先要了解地形测量在测量工程专业中所处的地位。从测绘专业的课程设置角度来看,通常按基础课、专业基础课和专业课三种方式安排课程。目前国内开设地形测量课程的大、中专院校较多,对不同院校或同一院校的不同专业来说,地形测量的地位是不同的,多数将其作为专业基础课,目的是为了建立测量科学的基本概念,掌握测量的基本方法和技巧。但对于工程测量专业而言,地形测量是一门专业课,课程中主要讲解的是测量地面点坐标和高程及测绘地形图的理论和方法,是完成实际测量任务的一门实用技术。

从地形测量学与测绘专业的关系来说,地形测量处于承上启下的地位,因为地形图的成图过程通常包括控制测量、地形测量和制图印刷三大工序。控制测量建立了全国性的平面和高程控制网,为地形控制测量和测图提供了一定量的地面点的精确坐标和高程(这些地面点叫大地控制点或大地点);控制测量的理论又为工程测量建立施工控制网奠定了

基础。在此基础上,地形测量在测区范围内进行到控制和测图,将地物地貌测绘于图纸上,得到地形原图;经过制图清绘和印刷,最后即得可供广泛应用的出版图。因此,地形测量是整个测量工程专业中关键的一环,对地形测量学学习的好坏将直接影响到其他专业课的学习。因此,地形测量在工程测量专业中起着重要的作用。

第三节 测量的发展概况

一、测量在我国的发展历史

中国是世界上历史悠久的文明古国之一,测量学在我国历史上也有其光辉的一页。早在公元前 21 世纪夏禹治水时就已采用了准、绳、规、矩这些简单的测量工具(公元前 11 世纪,周初曾绘制洛邑一带地图,用以选建洛阳城址)。在长沙马王堆汉墓中出土的文物中,有公元前 2 世纪制作的《地形图》、《驻军图》和《城邑图》,这些图件证实了古书上有关论述的可靠性,它们是当今世界上能保存下来的最早的地图。公元 1 世纪,汉人张衡制成了较准确的天文测量仪器——浑天仪。公元 3 世纪,晋人裴秀编绘了《禹贡地域图》和《地形方丈图》,并总结了制图经验,提出编绘地图的原则,称为制图六体,即道理(距离)、准望(方向)、高下(地形起伏)、方邪(地物形状)、迂直(河流、道路的曲直)、分率(比例尺)。公元 724 年,唐人张遂、南宫说等人曾在河南的滑县到上蔡一带,直接丈量了 300km 长的子午线长,并用日晷观测太阳照射物体的阴影,以定纬度,这是我国第一次用弧度测量的方法确定地球的形状和大小。在公元 13 世纪和 18 世纪初期,我国都进行了较大规模的大地测量工作,并根据大地测量结果编制了我国近代地图。

虽然我国的近代史是一部屈辱的历史,测绘事业处于极度的落后和停滞状态,但勤劳、智慧的中国人对测绘事业的发展作出了不可磨灭的贡献。

二、世界各国测绘科学的发展历史

世界各国测绘科学的发展主要是从 17 世纪初开始逐步发展起来的。当时资产阶级革命兴起,生产力得到发展,各种科学也在相互促进下得到发展。17 世纪初期望远镜的问世,可以说是测绘科学史上的一次革命。由于望远镜在测量仪器上的使用,使测量工作在可见光的范围内大大提高了工作效率,并且提高了测量成果的精度。1617 年三角测量方法开始运用。1683 年法国进行了弧度测量,从而证明了地球是两极略扁的椭球体。1794 年德国数学家高斯提出了最小二乘法理论,以后又提出了椭圆柱投影理论,这些理论被后人誉为“经典”理论。到 1899 年,摄影测量的理论研究得到发展,从而使测图工作部分地由野外转为室内,大大减小了作业人员的劳动强度。

20 世纪 50 年代,随着电子技术的飞速发展,测量设备由纯光学仪器向电子仪器转化,摄影测量由航拍向卫星遥感等多领域转化。20 世纪 80 年代,测量进入信息时代。

三、新中国成立后测绘事业在我国发展的概况

进入 20 世纪,我国开始采用了某些新的测量方法。但是,测量作为一门现代科学,还

是在中华人民共和国成立后才得到迅速发展。50多年来,我国测绘的主要成就有:

(1)在全国范围内(除台湾省外),建立了高精度的大地控制网,统一了坐标系统与高程系统。

(2)完成了国家基本地形图的测绘工作。测图比例尺随着我国经济建设发展的需要逐步增大,城市规划、工程设计都用上了大比例尺地形图。测图方法从以平板仪地形测量为主发展到以全数字摄影测量和地面数字测图为主。

(3)编制和出版各种地图、专题图及其地图集,制图逐渐实现从手工编绘向数字化、自动化过渡。

(4)制定了各种测绘法规,统一了技术规格和精度指标。

(5)建立了从中等测绘职业教育到高等测绘教育的完整教育体系,培养和造就了大量测绘技术人才。

(6)测绘技术步入世界先进行列,向着自动化和数字化发展。近10年来,研究出了大量具有世界先进技术水平的测绘软件,如全数字摄影测量系统——Virtuo Zo、JX-4C面向地理信息系统的建库系统——GeoStar(吉奥之星)、地理信息系统软件平台——Map-GIS、数字化测图软件——清华山维 EPSW、武汉瑞得 RDMS、南方 CASS 等优秀软件。测量仪器设备从无到有,不仅能生产光学仪器、电子仪器,还能生产全站仪、GPS 接收机等具有国际水准的仪器。

面向21世纪,为使我国走在知识经济的前沿,“数字中国”战略悄然启动。对测绘界来说,“数字中国”既是机遇又是挑战。为适应时代的发展和现代化测绘技术的需要,我们必须努力学习专业知识,继承和发扬测绘前辈的吃苦、耐劳、认真、准确的优良传统,为祖国的现代化建设服务。

四、测量新技术的发展概况

随着科学技术的飞速发展,测量新技术层出不穷。测量从传统的作业模式向全新概念的“3S”(GPS——全球卫星定位系统、RS——遥感技术、GIS——地理信息技术)技术发展,测量仪器由光学向智能化和数字化迈进。

测绘工作者的劳动强度随着测绘新技术的出现,由“劳动密集型”向“娱乐轻松型”转变。工作中,你可以在优美的乐曲中,或在与别人的轻松交谈中,完成野外的数据采集任务,免除了“爬高上低”的苦衷。美国的“U-2 高空侦察机”可以在4天之内完成全美国的大比例尺数字化测图工作,一月之内完成“数字地球”工作。

美国的“奋进”号航天飞机于2000年2月11日12时43分发射升空,经过9天多的在轨雷达对地测量,测绘出了南纬 56° 和北纬 60° 之间的占全球面积75%的三维地图,航天飞机在轨测图成功,为“数字地球”的数据获取和更新开创了新的技术途径,并将导致测绘学科的一场深刻的科技革命。

第二章 测量基本知识

第一节 地球的形状和大小

地形测量的主要工作是将地球的自然表面(地物、地貌)测绘成地形图。为了确定地面点的平面位置和高程,就必须选择一个基准面。要选择一个理想的基准面,必须了解地球的形状和大小。

我们知道,地球的自然表面是极其不规则的,它有高山、丘陵、平原、江河、湖泊、海洋等。如果仅从其复杂的自然表面来考虑,很难确定地球的形状和大小。但是,从地球的总体表面来看,其海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%,陆地上最高的山峰——珠穆朗玛峰,其海拔虽为 8 848.13m,但是它与地球平均半径(约 6 371km)相比还是微不足道的。因此,我们可以把地球总的形状看做是一个被海水包围的形体,也就是设想一个静止的海水面(即没有波浪、无潮汐的海水面)向大陆内部延伸,使之穿过整个大陆和岛屿,最后形成一个封闭的形体。在这里,静止的液体表面叫做水准面。水准面有无穷多个,其中静止的海水面称为大地水准面。对一个国家或地区来说,经过若干个时期的连续验潮,确定平均海面作为该国家或该地区的大地水准面,也称为高程基准面,它是一个没有皱纹和棱角的、连续的封闭曲面。由大地水准面所包围的形体叫做大地体。通常认为大地体可以代表整个地球的形状。

苹果熟了之所以落在地上,是因为地球具有吸引力,同时地球又在不停地转动,使之受到离心力的作用。地球上任何一质点的物体都受到引力和离心力的共同作用,这个共同的作用力我们称为重力。

静止的水面之所以不流动,是因为它处处与重力方向垂直,从而形成了一个重力等势面。处处与重力方向垂直是水准面的一大特性。

然而,由于地球内部物质分布不均匀,使得地面各点铅垂线方向发生不规则的变化,根据水准面的特性,大地水准面实际上是略有起伏而不规则的光滑曲面,而不是人们想象的规则的光滑球体,如图 2-1 所示。显然,要在这样的曲面上进行各种测量数据的计算和进行成果、成图的处理是相当困难的,甚至是不可能的。然而,长期的测量和研究表明,地球是一个沿赤道稍微膨大而两极略微扁平的椭球。现在根据卫星照片和卫星大地测量的资料分析,更进一步证明了大地体是一个椭球体,并且接近一个椭圆绕轴旋转而成的旋转椭球体。因此,我们可以用一个规定大小的旋转椭球体与大地体进行定位,这个与大地体定位的椭球体,测量工作者称之为参考椭球体。它的表面是一个数学曲面,用 a 表示地球椭球体的长半径, b 表示其短半径,则地球的扁率为 $\alpha \left(\alpha = \frac{a-b}{a} \right)$, a 和 α 称为椭球元素。

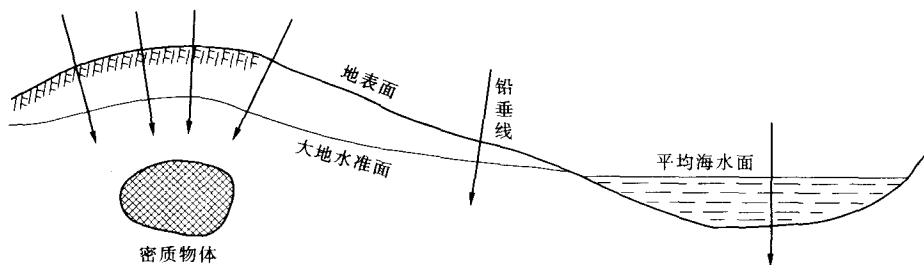


图 2-1

几个世纪以来,许多学者曾分别测算出参考椭球体的元素值,表 2-1 为几次测算的成果。由于地球椭球的扁率很小,因此在地形测量的小区域范围内常常近似地把它看做球体,其半径 R 为

$$R = (a + a + b)/3 = 6\,371(\text{km})$$

表 2-1

测算者	长半轴 $a(\text{m})$	短半轴 $b(\text{m})$	扁率	年代和国家
德兰布尔	6 375 653	6 356 564	1:334	1800 年法国
白塞尔	6 377 397	6 356 079	1:299.2	1841 年德国
克拉克	6 378 249	6 356 515	1:293.5	1880 年英国
海福特	6 378 388	6 356 912	1:297.0	1909 年美国
克拉索夫斯基	6 378 245	6 356 863	1:298.3	1940 年苏联
我国 1980 年国家大地坐标系	6 378 140	6 356 755	1:298.257	1975 年国际大地测量与地球物理联合会

我国目前所采用的两个国家大地坐标系是 1954 年北京坐标系和 1980 年国家大地坐标系。这两种坐标系分别采用的椭球是克拉索夫斯基椭球和 1975 年国际大地测量与地球物理联合会(IAG)推荐的椭球(长半径 $a = 6\,378\,140\text{m}$; $\alpha = 1:298.257$),详细情况将在控制测量中讲解。

一个国家为了处理自己的大地测量成果,就必须采用与地球大小和形状相似并确定了它和大地原点关系的地球椭球体,作为参考椭球体。那么如何定位这样一个参考椭球体呢?

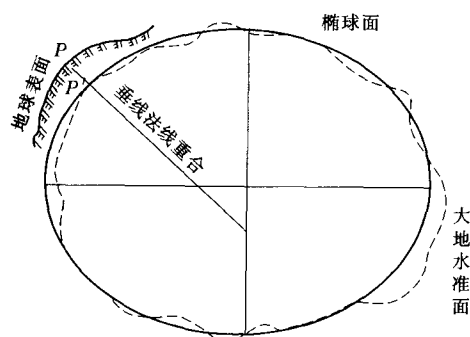


图 2-2

如图 2-2 所示,在一个国家的适当地点选择一点 P ,设想把椭球与大地体相切,切点 P' 位于 P 点的铅垂线方向上。这时,椭球面上的 P' 点的法线与大地水准面的铅垂线相重合,使椭球的短轴与地轴保持平行,且椭球面与这个国家范围内的大地水准面的差距尽量的小。于是椭球与大地水准面的相对位置

便被确定下来,这就是参考椭球体的定位工作。参考地球面是处理大地测量成果的基准面。如果一个国家(或地区)的参考椭球体选定得适当,参考椭球面与本国(本地区)的大地水准面的差距就会很小,它将有利的测量成果的处理。

第二节 测量坐标系

地形测量的主要工作就是将地球表面的地物、地貌测绘成具有一定比例尺的地形图。要测绘地物、地貌,就必须研究如何确定地面点的空间位置,就需要建立坐标系。

一、地理坐标

用经纬度表示地面点位置的球面坐标称为地理坐标。要研究地理坐标系的建立,就必须了解参考椭球面上的主要点、线、面。

(一)参考椭球面上的主要点、线、面

参考椭球面上的主要点、线、面如图 2-3 所示。

(1)旋转轴。参考椭球体旋转时所绕的短轴 NS,它通过椭球中心 O。把它和地球旋转轴重合,又称为地轴。

(2)极点。旋转轴与参考椭球面的交点 N、S 称为极点。N 为北极点,在参考椭球的北端,S 为南极点,在参考椭球的南端。

(3)子午面。包含旋转轴 NS 与椭球相交的任一平面称为子午面。子午面有无数多个。

(4)子午线。子午面与参考椭球面的交线,又称为经线。经线通过南北两极。

(5)首子午面。通过英国格林尼治天文台的子午面,被国际上公认为首子午面,又称起始子午面。

(6)首子午线。首子午面与参考椭球面的交线称为首子午线,或称为起始子午线、起始经线,亦称为本初子午线。

(7)纬线。垂直于旋转轴 NS 的平面与参考椭球面的交线称为纬线(或称纬圈)。因为各纬圈相互平行,所以又称为平行圈。

(8)赤道面。过参考椭球中心且垂直于旋转轴 NS 的平面,称为赤道面。

(9)赤道。赤道面与参考椭球面的交线,称为赤道。

(10)点的法线。过参考椭球面上任一点 P 而垂直于该点切平面的直线称为过 P 点的法线。一般不通过椭球中心,只有在赤道上的点和极点的法线才通过椭球中心。

(二)大地坐标系

大地坐标系是由首子午面(起始子午面)和赤道面作为参考面构成大地坐标系(经度、纬度)的起算面而建立的坐标系。如图 2-3 所示,过参考椭球面上任一点 P 的子午面

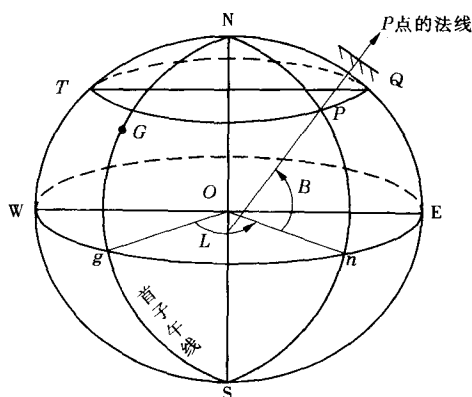


图 2-3

与首子午面的夹角 L ,称为该点的大地经度,简称经度。经度由首子午面向东量称为东经,向西量称为西经,其值在 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 之间。在同一子午线上的各点其经度相同。任意两点的经度之差称为经差,常用 ΔL 表示。过 P 点的法线与赤道面的夹角 B ,称为该点的大地纬度,简称纬度。纬度由赤道面向北量称为北纬,向南量称为南纬,其值在 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间。在同一平行圈上的各点其纬度相同。任意两点的纬度之差称为纬差,常用 ΔB 表示。

由于参考椭球面与大地水准面之间的相关位置已固定下来,所以地面上任一点的位置都可以沿法线方向投影到参考椭球面上,并用大地经度和纬度表示出来。

二、平面直角坐标系

在小区域内进行测量工作若采用大地坐标来表示地面点位置是不方便的,通常采用直角坐标表示。某点用大地坐标表示的位置,是该点在椭球面上的投影位置。研究小范围地面形状和大小时,常把球面的投影面当做平面看待。既然投影面被当做平面,这就可以采用平面直角坐标来表示地面点在投影面上的位置。

那么,测量直角坐标系是如何建立的呢?

测量工作中所用的平面直角坐标与解析几何中所介绍的基本相同,只是测量工作以 x 轴为纵轴,一般用它表示南北方向;以 y 轴为横轴,表示东西方向(如图2-4(a)所示)。这是由于在测量工作中以极坐标表示点位时其角度值是以北方向为准,按顺时针方向计算的夹角,而数学中则是从横轴按逆时针方向计算的缘故。把 x 轴与 y 轴纵横互换后,全部平面三角学公式同样能用在测量计算中。

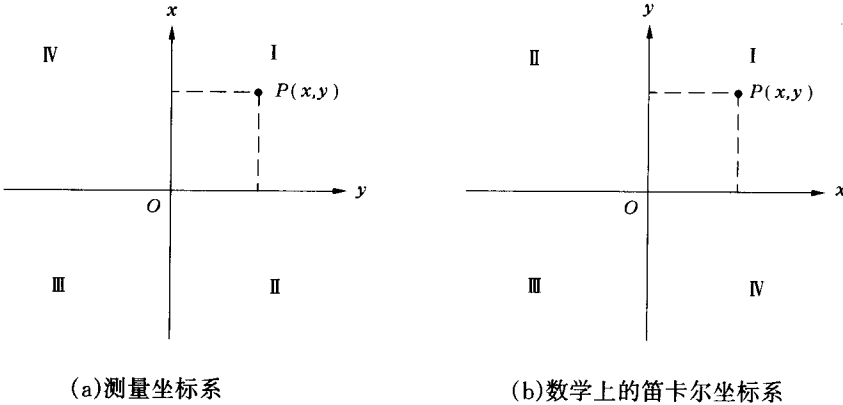


图 2-4

为了使用方便,测量上的平面直角坐标的原点有时是假设的。假设原点的位置应使测区内各点的坐标值为正。

三、高斯-克吕格平面直角坐标系

当测区范围较小,把地球表面的一部分当做平面看待时,所测得地面点的位置或一系列点子所构成的图形,可直接用相似而缩小的方法描绘到平面上去。如果测区范围较大,就不能把地球上很大一块地表面当做平面看待,必须采用适当的投影方法来解决这个问

题。

投影方法有多种,我国通常采用的是高斯投影,这里只讲它与大地坐标的联系(以后将重点讲解高斯投影问题)。为简单起见,把地球作为一个圆球看待,设想把一个平面卷成一个横圆柱,把它套在圆球外面,使横圆柱的中心轴线通过圆球的中心,把圆球面上一根子午线与横圆柱相切,即这条子午线与横圆柱重合。为了限制投影变形,采用分带投影,带的宽度一般分为经差 6° 、 3° 和 1.5° 等几种,简称为 6° 带、 3° 带和 1.5° 带,所以取各带中间的一条子午线各自与横圆柱相切,通常称它为“中央子午线”。 6° 带和 3° 带的划分情况见图 2-5。中央子午线投影到横圆柱上是一条直线,把这条直线作为平面直角坐标系的纵坐标轴即 x 轴,所以中央子午线也称轴子午线。另外,扩大赤道面与横圆柱相交,这条交线必然与中央子午线相垂直,将它作为平面直角坐标系的 y 轴。若将横柱沿母线切开并展平后,在圆柱上即形成两条相互垂直的直线,这两条正交直线相当于平面直角坐标系的纵横轴(见图 2-6),因这种平面直角坐标又与大地坐标的经纬度发生了联系,因此它适用于大范围的测量工作。这种方法由于是高斯创意,后经克吕格改进,因而通常称它为高斯-克吕格坐标。

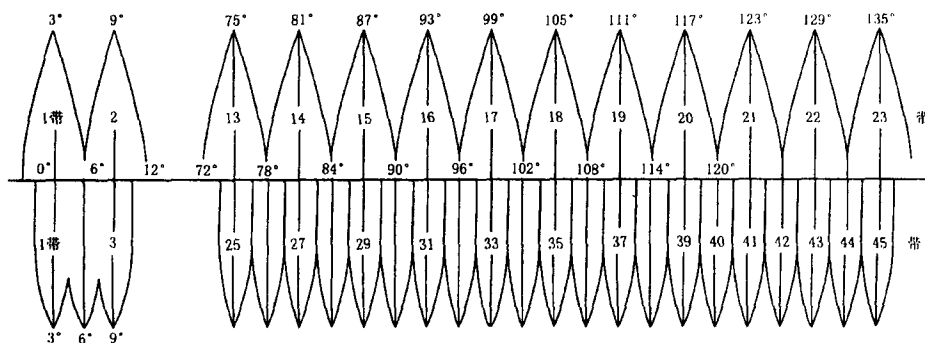


图 2-5

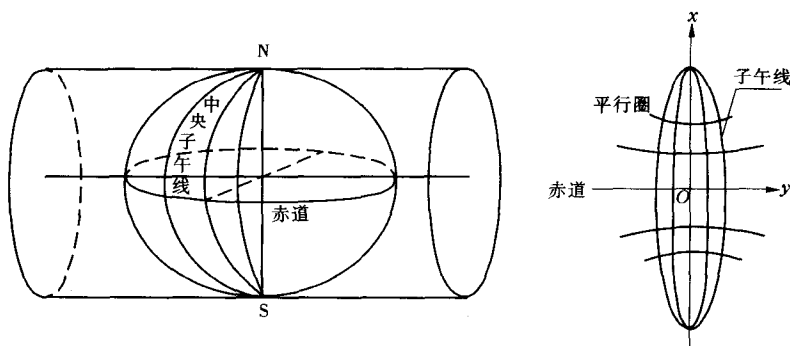


图 2-6

四、地心空间直角坐标系

目前,由于卫星大地测量日益发展,常用地心空间直角坐标来表示空间一点的位置。地心空间直角坐标的原点设在地球椭球的中心 O ,用相互垂直的 x 、 y 、 z 三个轴表示, x