

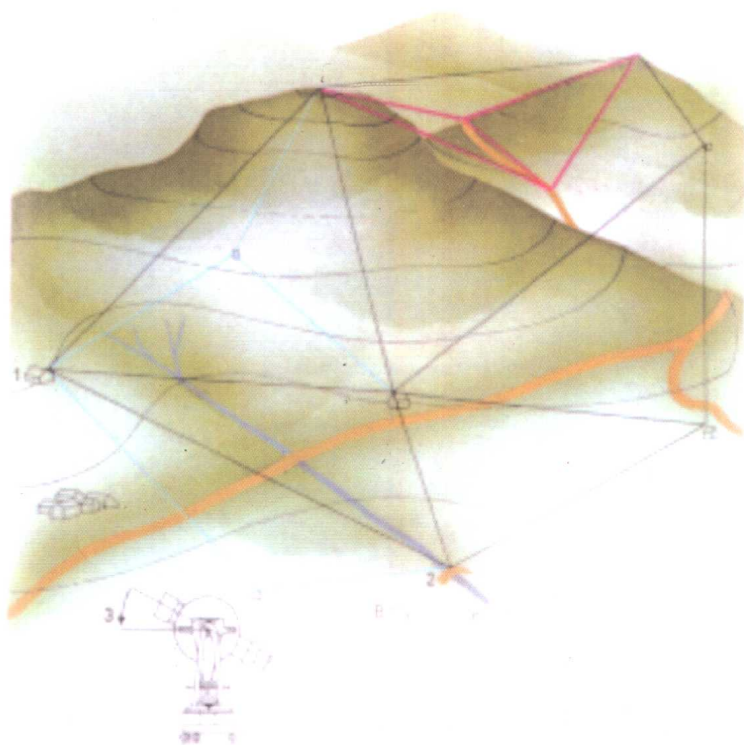


全国高等农林院校教材

测量学

(林学 园林 园艺等专业用)

李秀江 主编



中国林业出版社

全国高等农林院校教材

测 量 学

李秀江 主编

中国林业出版社

内 容 简 介

一、全书共分4篇13章。第1篇 测量学基础知识。包括：1. 绪论；2. 水准测量；3. 角度测量；4. 距离测量与直线定向。第2篇 地形图测绘。包括：5. 小区域控制测量；6. 地形图测绘。第3篇 地形图应用。包括：7. 地形图基本知识；8. 地形图应用。第4篇 农林工程测量。包括：9. 施工测量的基本工作；10. 园林工程测量；11. 土地资源开发测量；12. 林区公路测量；13. 渠道测量。

二、本教材具有以下特点：1. 坚持宽专业、厚基础、重应用的方向，重视教学内容的改革和创新，侧重传授基本知识和基本技能，注重学生素质与能力的培养；2. 破除了以地形测图为中心的编排旧结构，建立了地形图应用和园林工程测量为主干的教材新体系。删去了一些陈旧内容，并尽可能多地介绍符合发展方向的新内容。大幅度增加了地形图基本知识，地形图应用以及农林工程测量的基本原理和方法；3. 本书层次分明、内容充实、文字简练、图文并茂。既介绍了常规测量仪器的使用，又反映了电子水准仪、电子经纬仪、数字化测图、GPS定位等测绘新仪器、新技术，理论与实践并重。每章附有重点提示、课后阅读参考书目和复习思考题。

三、本教材系“十五”规划国家级教材，适用于高等院校林学、农学、园林、园艺、资源与环境、水土保持、环境工程、土木工程、工程管理等专业，也可作为其他院校有关专业师生、成人教育教材及科技人员学习或参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学/李秀江主编. —北京：中国林业出版社，2003. 2
全国高等农林院校教材
ISBN 7-5038-3308-4

I. 测… II. 李… III. 测量学-高等学校-教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 106337 号

中国林业出版社·教材建设与出版管理中心

电话：66170109 传真：66170109

出版 中国林业出版社 (100009 北京西城区刘海胡同 7 号)
E-mail: cfphz@public.bta.net.cn 电话：66184477

发行 新华书店北京发行所

印刷 中国科学院印刷厂

版次 2003 年 2 月第 1 版

印次 2003 年 2 月第 1 次

开本 850mm×1168mm 1/16

印张 16

字数 356 千字

定价 21.00 元

凡本书出现缺页、倒页、脱页等质量问题，请向出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

全国高等农林院校“十五”规划教材

《测量学》编写人员名单

主 编 李秀江

副 主 编 栾志刚 董 斌

编写人员 (按姓氏笔画为序)

安广义 河北农业大学

何瑞珍 河南农业大学

何立衡 南京林业大学

李秀江 河北农业大学

李雅素 西北农林科技大学

张建生 甘肃农业大学

柳瑞武 河北农业大学

栾志刚 南京林业大学

董 斌 安徽农业大学

教材是教学信息的主要载体，是学生知识的直接来源，教材改革一直成为教学改革的“重心”。为了把新的教学思想、教学体系和教学内容与测绘新理论、新技术和新仪器融于教材之中，以满足现代化人才培养的需要，中国林业出版社及时组织编写了本书。对传统的测量学教材在体系和内容上进行了较大改革，使其成为一本别具特色的教材。

首先，破除了以地形测图为中心的编排旧结构，建立了以地形图应用和园林工程测量为主干的教材新体系。由于传统的仪器和方法仍在广泛采用，此次对教材内容的增删也做了适当处理，删去了一些陈旧内容，并尽可能多地介绍符合发展方向的新内容。

第二，大幅度增加了地形图的基本知识，地形图应用以及农林工程测量的基本原理和方法。注意了与专业课的渗透与衔接，以显著提高学生在地形图上获取空间信息的能力和解决实际问题的能力，有利于学生朝着横向综合型人才的方向发展。

本书设篇列章，教材的系统性更加明确。

第1篇 介绍测量学的基础知识。测量误差精简后并于第一章；罗盘仪测量经缩减后与距离测量合为一章；增加了地心坐标系和参心坐标系概念，高斯坐标系移至第7章；结合角度、距离和高差三项测量工作，介绍了测绘技术的新成就、新仪器和新方法，以适应科技发展的方向。

第2篇 介绍地形测图的过程。平面控制测量和高程控制测量精简合为小区域控制测量，且仅讲解导线测量，删除农林院校基本不用的三角测量。同时介绍了GPS定位原理，数字测图的概念及方法。

第3篇 介绍地形图基本知识和识图用图的多种方法。电子地图和数字地图也编入其中；增加了GPS样点定位和测定面积的方法，以拓宽专业口径，开阔学生的知识视野。

第4篇 介绍农林工程测量。新辟了园林工程测量一章；土地资源开发测量一章涵盖了土地平整测量、梯田和果园的规划设计等内容；林区公路测量和渠道测量两章满足了农林工程建设的需求，本篇

内容可有力地提高学生的适应能力。

本书既考虑到相关专业对测量学知识的要求,又照顾了不同地区的需要。力求做到重点突出,概念清楚,定义准确,利于教学。侧重传授基本知识和基本技能,注重理论联系实际,并体现教材的先进性、实用性。在编写中参阅了大量国内外文献,尤其是吸收了国内同类教材之精华,在此对这些文献的作者表示诚挚的谢意。在编写过程中,始终得到中国林业出版社教材建设与出版管理中心和河北农业大学有关领导的大力支持和帮助,在此表示感谢。

编写分工如下:李秀江编写第1章、第3章、第2章之第五节、第7章之第六节及第6章之第七节;董斌编写第2章;何瑞珍编写第4章、第9章;李雅素编写第5章、第6章;柳瑞武编写第7章,并绘制了部分插图;安广义编写第8章;张建生编写第10章、第11章;栾志刚编写第12章;何立衡编写第13章。最后由主编李秀江对全书进行了认真地编纂统稿,并对大部分插图进行了计算机制作。

本书由于涵盖面宽,涉及学科多,又是跨入新世纪的“十五”规划教材,要求高,因此,难度较大。虽然在编审人员的共同努力下完成了这一繁重任务,但编者深感在基础理论、业务水平,无论在深度还是广度都难以胜任,时间又较仓促,书中讹误及不妥之处在所难免。殷切希望使用本教材的师生及读者提出宝贵意见,供再版时参考。

编 者

2002年9月

前 言

第 1 篇 测量学基础知识

1 绪 论	(1)
1.1 测量学的任务及其作用	(1)
1.2 地球的形状和大小	(3)
1.3 地面点位的确定	(4)
1.4 测量工作概述	(7)
1.5 几种常见的图	(10)
1.6 测量误差概述	(11)
2 水准测量	(17)
2.1 水准测量原理	(17)
2.2 微倾水准仪的构造及其使用	(18)
2.3 水准测量的方法	(22)
2.4 水准测量的校核与高程计算	(23)
2.5 自动安平水准仪和电子水准仪	(27)
2.6 水准仪的检验与校正	(30)
3 角度测量	(34)
3.1 角度测量原理	(34)
3.2 DJ ₆ 光学经纬仪及其使用	(35)
3.3 水平角测量	(39)
3.4 竖直角测量	(42)
3.5 电子经纬仪	(45)
3.6 经纬仪的检验与校正	(48)
4 距离测量和直线定向	(52)
4.1 距离丈量	(52)
4.2 视距测量	(55)
4.3 光电测距	(57)

4.4	电子全站仪测量	(61)
4.5	直线定向	(66)
4.6	罗盘仪测定磁方位角	(68)

第 2 篇 地形图测绘

5	小区域控制测量	(70)
5.1	控制测量概念	(70)
5.2	导线测量的外业工作	(72)
5.3	导线测量的内业计算	(74)
5.4	高程控制测量	(79)
5.5	全球定位系统 (GPS) 简介	(83)
6	地形图测绘	(91)
6.1	比例尺及其精度	(91)
6.2	地物地貌在地形图上的表示方法	(92)
6.3	测图前的准备工作	(98)
6.4	碎部测量的方法	(99)
6.5	地形图的拼接与检查	(104)
6.6	地形图的整饰、清绘与复制	(105)
6.7	数字测图概述	(107)

第 3 篇 地形图的应用

7	地形图基本知识	(113)
7.1	高斯投影的概念	(113)
7.2	地形图的分类、用途及系列	(116)
7.3	地形图的分幅与编号	(118)
7.4	地形图的识图	(124)
7.5	地形图读图的程序	(129)
7.6	电子地图与数字地图	(132)
8	地形图应用	(136)
8.1	地形图的室内应用	(136)
8.2	地形图的野外应用	(143)
8.3	地形图在城镇规划中的应用	(150)
8.4	面积测算	(153)
8.5	地形图的修测	(158)

第 4 篇 农林工程测量

9 施工测量的基本工作	(162)
9.1 概述	(162)
9.2 放样的基本工作	(162)
9.3 平面点位的测设方法	(167)
9.4 施工控制测量	(169)
10 园林工程测量	(173)
10.1 概述	(173)
10.2 园林建筑物的测设	(175)
10.3 园林主要工程的测设	(182)
10.4 园林树木种植定点放样	(185)
10.5 地下管道施工测量	(187)
10.6 竣工测量	(190)
11 土地资源开发测量	(194)
11.1 平原地区土地平整测量	(194)
11.2 山地建园梯田测量	(200)
11.3 果(桑)园建园放样	(209)
12 林区公路测量	(212)
12.1 踏查与选线	(212)
12.2 路线中线测量	(213)
12.3 圆曲线的测设	(215)
12.4 回头曲线的测设	(217)
12.5 路线纵断面测量	(218)
12.6 纵断面图绘制与纵向设计	(220)
12.7 横断面测量与横断面图绘制	(221)
12.8 竖曲线设计	(224)
12.9 路基设计与土石方计算	(225)
12.10 路基放样	(227)
13 渠道测量	(232)
13.1 渠道选线及中线测量	(232)
13.2 纵横断面测量	(233)
13.3 纵横断面图的绘制	(234)
13.4 渠道横断面设计	(235)
13.5 土方计算及施工放样	(239)
13.6 盘山渠道测量	(241)

第 1 篇

测量学基础知识

1 绪 论

[本章提要] 本章简要介绍了测量学的任务及其作用，并从宏观上阐述了测量工作的实质就是确定地面点的位置，为此要建立测量坐标系和高程系；水平距离、水平角和高差是确定地面点位置的三个基本要素；由于测量误差的影响，测量工作必须遵循“先控制后碎部”的测量基本原则；而测量误差可以通过误差传播定律公式进行计算，以便更好地把握测量过程，提高测量精度。

1.1 测量学的任务及其作用

测量学是研究如何测定地面点的位置和高程，将地球表面的地形及其他信息测绘成图，以及确定地球的形状和大小的科学。根据研究的范围和对象不同，迄今测量学的发展已经形成以下几个分支学科：

普通测量学——研究地球表面小区域内测绘工作的理论、技术、方法和应用的学科，是测量学的基础。主要研究图根控制网的建立，地形图测绘及一般工程施工测量。具体工作有距离测量、角度测量、高程测量、观测数据的处理和绘图等。

大地测量学——研究在广大区域建立国家大地控制网，测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术与方法的学科。由于空间科学技术的发展，常规的大地测量已发展到人造卫星大地测量，测量对象也由地球表面扩展到空间星球，由静态发展到动态。

摄影测量学——研究利用摄影或遥感的手段获取被测物体的影像和辐射能的各种图像，经过对图像的处理、量测和判释，以确定物体的形状、大小和位置，并判断其性质的学科。

工程测量学——研究工程建设在勘测、设计、施工和管理阶段所进行测量工作的理论、方法和技术的学科。工程测量学的应用领域非常广阔。

地图制图学——利用测量获得的资料，研究地图及其制作的理论、工艺和应用的学科。其任务是编制与生产不同比例尺的地图。

本教材主要属于普通测量学的范畴，也包括一般工程测量的方法，其任务有三：

测绘——使用测量仪器和工具，对小区域的地形进行测量，并按一定的比例尺绘制成图，供规划设计使用。

测设——将图上已规划设计好的工程或建筑物的位置和高程，准确地测设到实地上，以便据此施工。

用图——泛指识别和使用地形图的知识、方法和技能。主要内容是地貌判读、地图标定、确定站立点和利用地图研究地形等，以解决工程上若干基本问题。

随着电子计算机、微电子技术、激光技术、遥感技术和空间技术的发展和应用，为测量学提供了新的手段和方法，推动着测量学的理论向前发展。测绘技术的不断发展与更新，使测量学的面貌发生了日新月异的变化。测量仪器也趋于小型化、自动化、智能化。测量学正朝着数据的自动获收、自动记录和自动处理的方向发展。

先进的地面测量仪器如光电测距仪、电子经纬仪、电子水准仪、电子全站仪等在测量中得到了广泛的应用，为测量工作的现代化创造了良好的条件；全球定位系统 GPS 的应用与发展，为测量提供了面目一新的技术手段，是一种高速度、高精度、高效率的定位技术。电子全站仪与电子计算机、数控绘图仪组成的数字化测图系统迅猛发展，它已成为数字化时代不可缺少的地理信息系统（GIS）的重要组成部分。

测量学在国民经济、国防建设和科学研究等各个方面都有着重要作用。

在国民经济建设中，诸如城乡建设、资源调查、能源开发、环境保护、江河治理、交通运输、道路管线等工程的勘测设计与施工，都离不开测量技术、地形图和其他测绘资料。

在国防建设方面，地形图和电子地图被称为“军事指挥员的眼睛”，一切战略部署、战役指挥、战术进攻和各项国防工程的设计与施工等，均需测绘技术作保障。

在科学研究方面，研究地球的形状和大小、地震预测预报、地壳升降、海陆变迁、土地资源的利用与监测、航天技术的研究等，更需要高科技含量的测绘技术与方法。

在农林业科学中，测量学也处处大显身手，如森林和土地资源清查、农林业区划、农田基本建设；作物产量和病虫害的预测预报；荒山荒地调查、宜林地的造林设计、苗圃的布局与建立；农田防护林、水土保持林的营造；小流域综合开发、退耕还林和风沙源治理；农业科技示范园、森林公园及园林工程和果园的规划设计、施工；森林旅游的开展，林区道路和排灌渠道勘测、设计等等，都需要测图和用图，测量学发挥着其他学科不可替代的重要作用。

总之，测量学是现代化建设不可缺少的基础性学科，测量工作也因此被誉为国民经济建设的先锋和尖兵。在 21 世纪“精细农业”、“精细林业”现代化生产模式和技术体系的建设中，地球空间信息技术、全球卫星定位技术和遥感技术等现代高科技测绘技术和手段将会发挥巨大的作用。作为从事农林科学的技术人

员，更应掌握必要的测绘理论知识和基本操作技能，更好地为农林业生产服务。

1.2 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的，其表面是一个高低不平，极其复杂的自然表面，陆地最高的珠穆朗玛峰高达 8 848.13m，海底最低的马里亚纳海沟深达 11 022m，但这样的高低起伏相对于半径为 6 371km 的庞大地球而言是可以忽略不计的。由于海洋约占地球表面的 71%，陆地仅占 29%，因此，地球总的形状可以认为是被海水包围的球体。可以假想将静止的海水面延伸到大陆内部，形成一个封闭曲面，这个静止的海水面称为水准面。海水有潮汐变化，时高时低，所以水准面有无数多个，其中通过平均海水面的一个水准面称为大地水准面，它所包围的形体称为大地体。如图 1-1 所示，它非常接近一个两极扁平，赤道隆起的椭球，大地水准面的特性是处处与铅垂线正交，然而，由于地球内部物质分布不均匀，引起重力方向发生变化，使大地水准面成为一个不规则的复杂曲面，且不能用数学公式来表达，因此，大地水准面还不能作为测量成果的基准面。为了便于测量、计算和绘图，选用一个椭圆绕它的短轴旋转而成的椭球体来表示地球形体，称为参考椭球体，如图 1-1 所示。椭球体形状、大小与大地体非常接近，通常用这个椭球面作为测量与制图的基准面，并在这个椭球面上建立大地坐标系。

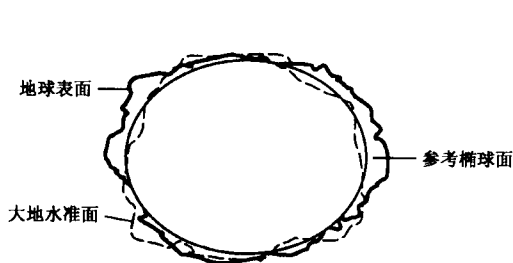


图 1-1 地球的形状

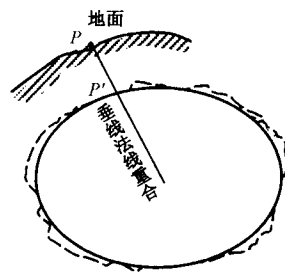


图 1-2 参考椭球定位

决定地球椭球体形状大小的参数为椭圆的长半径 a 和短半径 b ，扁率 α 。随着空间科学的进步，可以越来越精确地测定这些参数，截止目前，已知其精确值

$$a = 6\,378\,137\text{m}$$

$$b = 6\,356\,752\text{m}$$

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.257} \quad (1-1)$$

由于参考椭球体的扁率很小，当测区面积不大时，可以把地球视为圆球，其半径

$$R = (2a+b)/3 \approx 6\,371\text{km} \quad (1-2)$$

地球的形状确定后，还应进一步确定大地水准面与旋转椭球面的相对关系，才能把观测结果化算到椭球面上。如图 1-2 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' 点位于 P 点的铅垂线方向上，这时椭球面上 P' 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差距尽量的小。于是椭球与大地水准面的相对位置便固定下来，这就是参考椭球的定位工作，根据定位的结果确定了大地原点的起算数据，并由此建立国家大地坐标系。

1.3 地面点位的确定

测量工作的实质就是测定地面点的位置，而地面点的位置是用三维坐标，即用平面位置和高程表示的。下面介绍几种用以确定地面点位的坐标系。

1.3.1 测量坐标系

1.3.1.1 地理坐标系

地理坐标系属球面坐标系，依据采用的投影面不同，又分为天文地理坐标系和大地地理坐标系。

1. 天文地理坐标系

天文地理坐标系又称天文坐标，用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示地面点投影在大地水准面上的位置，如图 1-3 所示。

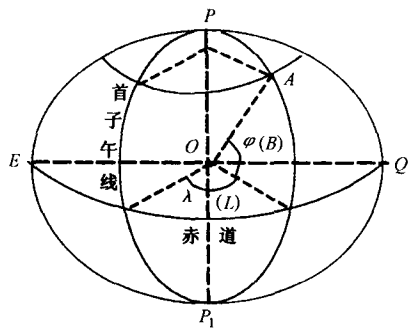


图 1-3 地理坐标系

确定球面坐标 (λ, φ) 所依据的基本线为铅垂线，基准面为大地水准面。 PP_1 为地球的自转轴， P 为北极， P_1 为南极。地面上任一点 A 的铅垂线与地轴 PP_1 所组成的平面称为该点的子午面。子午面与球面的交线称为子午线，也称经线。 A 点的经度 λ 是 A 点的子午面与首子午面所组成的二面角。它自首子午面向东、向西自 0° 起算至 180° ，向东为东经，向西为西经。垂直于地轴的平面与球面的交线称为纬线，垂直于地轴并通过地球中心 O 的平面为赤道面，赤道面与球面的

交线为赤道。 A 点的纬度 φ 是过 A 点的铅垂线与赤道平面之间的交角，其计算方法从赤道向北或向南自 0° 起算至 90° ，分别称为北纬或南纬。天文地理坐标系可以在地面上用天文测量的方法测定。

2. 大地地理坐标系

大地地理坐标系表示地面点投影在地球参考椭球面上的位置，用大地经度 L 和大地纬度 B 表示（图 1-3），其坐标原点并不与地球质心相重合。这种原点位于地球质心附近的坐标系，又称参心大地坐标系。确定球面坐标 (L, B) 所依据的基本线为椭球面的法线，基准面为旋转椭球面， A 点的大地经度是 A 点的

大地子午面与首子午面所夹的二面角, A 点的大地纬度 B 是过 A 点的椭球面法线与赤道面的交角。大地经纬度是根据一个起始的大地点(称为大地原点, 该点的大地经纬度与天文经纬度相一致)的大地坐标系, 按大地测量所得的数据推算而得。我国以位于陕西省泾阳县的大地原点为大地坐标的起算点, 由此建立的坐标系称为“1980 年国家大地坐标系”。

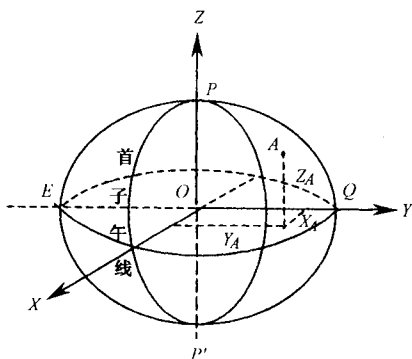


图 1-4 地心坐标系

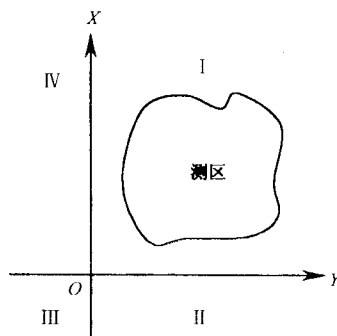


图 1-5 地区平面直角坐标系

1.3.1.2 地心坐标系

地心坐标系属空间三维直角坐标系, 用于卫星大地测量。由于人造地球卫星围绕地球运动, 地心坐标系的原点与地球质心重合, 如图 1-4 所示。 Z 轴指向北极且与地球自转轴相重合, X 、 Y 轴在地球赤道平面内, 首子午面与赤道平面的交线为 X 轴, Y 轴垂直于 XOZ 平面。地面点 A 的空间位置用三维直角坐标 x_A 、 y_A 、 z_A 来表示。WGS-84 世界大地坐标系是地心坐标系的一种, 应用于 GPS 卫星定位测量, 并可将该坐标系换算为大地坐标系或其他坐标系。

1.3.1.3 平面直角坐标系

1. 地区平面直角坐标系

当测量的范围较小时, 可把地球表面视为水平面, 直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上, 用平面直角坐标来表示它的投影位置。如图 1-5 所示。在测区的西南角, 设置一个原点 O , 使测区全部落在第 I 象限内。令通过原点的南北线为纵坐标轴 X , 与 X 轴相垂直的方向为横坐标轴 Y , 坐标轴将平面分成 4 个象限, 其顺序依顺时针方向排列, 各点坐标规定由原点向上、向右为正。测量上使用的平面直角坐标系与数学上常用的不同, 这是因为测量工作中规定所有直线的方向都是以纵坐标轴北端顺时针方向量度的。经这种变换, 既不改变数学公式, 又便于测量中方向和坐标的计算。测量上用的平面直角坐标原点有时是假设的。

2. 高斯平面直角坐标系

当测区范围较大, 就不能将地球表面视为平面, 须采用地图投影的方法建立高斯平面直角坐标系, 其方法详见 7.1 节。

1.3.2 测量高程系

地面点至大地水准面的垂直距离称为绝对高程或称海拔,简称高程,如图 1-6 中的 H_A 、 H_B 。为使我国的高程系统达到统一,规定采用以青岛验潮站 1950~1956 年测定的黄海平均海水面作为全国统一高程基准面,凡由该基准面起算的高程,统称为“1956 年黄海高程系”,该高程系的青岛水准原点的高程为 72.289m。

由于观测数据的积累,20 世纪 80 年代,国家又对青岛验潮站 1953~1979 年潮汐观测资料计算出平均海水面,重新推算出水准原点的高程为 72.260m,因此国家决定启用新的高程系,并命名为“1985 年国家高程基准”。

若远离国家高程控制点或为便于施工,在局部地区亦可建立假定高程系统,地面点至假定水准面的垂直距离,称为相对高程或假定高程。如图 1-6 所示, A、B 两点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。两点高程之差称为高差,以 h 表示。 $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$ 。

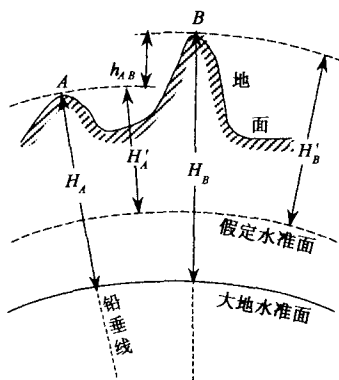


图 1-6 高程和高差

1.3.3 水平面代替水准面的限度

前已叙及,当测区较小时,往往用水平面代替水准面,那么,这个范围究竟有多大呢?

1.3.3.1 水准面曲率对距离的影响

在图 1-7 中,设 AB 为水准面一段弧长 D , 所对圆心角为 θ , 地球半径为 R , 另自 A 点作切线 AB' , 设长为 l 。若将切于 A 点的水平面代替水准面的圆弧,则在距离上将产生误差 ΔD

$$\Delta D = AB' - \widehat{AB} = l - D = R (\tan \theta - \theta)$$

将 $\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \dots$ 代入, 得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-3)$$

两端用 D 去除, 得相对误差为

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-4)$$

取 $R = 6371\text{km}$, ΔD 值见表 1-1。由该表可知, 当 $D = 10\text{km}$ 时, $\Delta D/D = 1 : 121$ 万, 小于目前精密的距

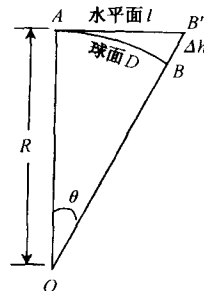


图 1-7 地球曲率的影响

离测量误差，即使在 $D=20\text{km}$ 时， $\Delta D/D=1:30$ 万，实际上将水准面当作水平面，即沿圆弧丈量的距离作为水平距离，其误差可忽略不计。

1.3.3.2 水准面曲率对高差的影响

由图 1-7 可知，A、B 两点在同一水准面上，高程相等，若以水平面代替水准面，则 B 点移到 B' 点，高差误差为 Δh ，可知

$$(R+\Delta h)^2=R^2+l^2$$

表 1-1 地球曲率的影响

误差/cm	圆 弧 长 度/km							
	0.1	0.2	0.4	1	5	10	50	100
Δh	0.08	0.31	1.3	8	196	785		
ΔD				0.001	0.10	0.82	103	820

$$\Delta h = \frac{l^2}{2R + \Delta h}$$

若 D 代替 l ，同时略去分母中的 Δh ，则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-5)$$

不同 D 值的 Δh 仍列于表 1-1 中。当 $D=1\text{km}$ 时， Δh 也有 8cm 的误差。可见地球曲率对高差的影响，即使在很短距离内也必须考虑。

1.4 测量工作概述

1.4.1 测量的基本问题

普通测量学的任务之一就是测定地球表面的地形并绘制成图。而地形是错综复杂的，在测量时可将其分为地物和地貌两大类，地物就是地表面的固定性物体，如居民地、道路、水系、独立地物等。地貌是指地球表面各种起伏的形态，如高山峻岭、丘陵盆地等。

地面上的地物和地貌是千差万别的，那么从何处入手对它们进行测绘呢？根据点、线的几何关系可知，地物的轮廓线是由直线和曲线组成的，曲线又可视为许多短直线段所组成，如图 1-8 中是一栋房子的平面图形，它是由表示房屋轮廓的一些折线所组成。测量时只要确定四个屋角 1、2、3、4 各转折点在图上的位置，把相邻点连接起来，房屋在图上的位置就确定了。

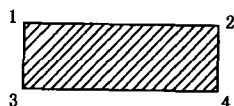


图 1-8 地物特征点

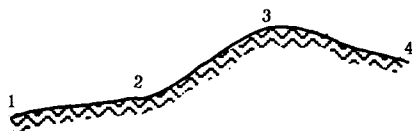


图 1-9 地貌特征点

图 1-9 为一山坡地形, 其地形变化情况可用坡度变换点 1、2、3、4 各点所组成的线段表示。因为相邻点内的坡度认为是一致的, 因此, 只要把 1、2、3、4 各点的高程和平面位置确定后, 地形变化的情况也就基本反映出来了。

上述两例中的 1、2、3、4 点, 分别称为地物特征点和地貌特征点。

综上所述, 不难看出: 地物和地貌的形状总是由自身的特征点构成的, 只要在实地测绘出这些特征点的位置, 它们的形状和大小就能在图上得到正确反映。因此, 测量的基本问题就是测定地面点的平面位置和高程。

1.4.2 测量的基本工作

为了确定地面点的位置, 需要进行哪些测量工作呢? 如图 1-10 所示, 设 A、B 为地面上的两点, 投影到水平面上的位置分别为 a 、 b 。若 A 点的位置已知, 要确定 B 点的位置, 除丈量出 A、B 的水平距离 D_{AB} 之外, 还需知道 B 点在 A 点的哪一方向。图上 a 、 b 的方向可用过 a 点的指北方向与 ab 的水平夹角 α 表示, α 角称为方位角。有了 D_{AB} 和 α , B 点在图上的位置 b 就可确定。如果还需确定 c 点在图上的位置, 需丈量 BC 的水平距离 D_{BC} 与 B 点上相邻两边的水平角 β 。因此为了确定地面点的平面位置, 必须测定水平距离和水平角。

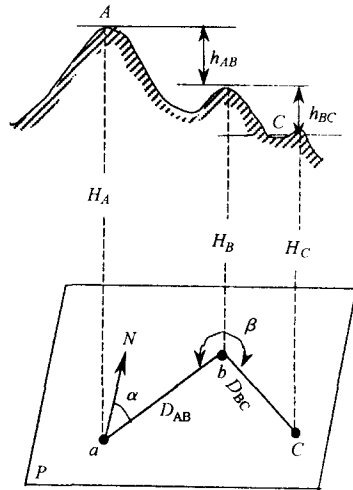


图 1-10 地面点位的确定

在图中还可以看出, A、B、C 三点不是等高的, 要完全确定它们在三度空间内的位置, 还需要测量其高程 H_A , H_B , H_C 或高差 h_{AB} , h_{BC} 。

由此可见, 距离、角度和高程是确定地面点位置的三个基本几何要素, 距离测量、角度测量与高程测量是测量的基本工作。

1.4.3 测量的基本原则

测绘地形图时, 一般情况下, 要在一个测站点上将该测区的所有地物和地貌测绘出来是不可能的。如图 1-11 所示, 一开始就在测区内的第一点 A 起连续进行测量, 即在测完 A 站附近的地形之后, 测定第二测站 B 的位置。然后将仪器搬到 B 站测绘, 继而又测定 C 站位置, 又

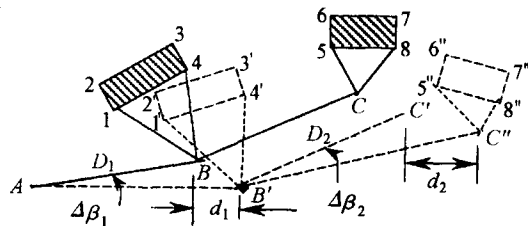


图 1-11 误差积累对测图的影响