

测量与工程测量

主编 程新文



中国地质大学出版社

测量与工程测量

主编：程新文

中国地质大学出版社

内 容 提 要

《测量与工程测量》教材共分两部分编写。第一部分以测绘地形图为主线,主要包括测量的基本原理和方法,在编写中,加重了现代测量手段和方法的教学内容,如GPS、全站仪、数字测图等。第二部分以工程测量为主线,主要内容有:工民建测量、道路工程测量、管线测量、地质勘探工程测量、地下工程测量、地籍测量等常见工程测量。

本书虽作为非测量专业的测量学教材,但也可供在交通、城建、国土管理、水电、地质、采矿等部门从事测绘工作的工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

测量与工程测量/程新文主编. —武汉:中国地质大学出版社, 2000.3
ISBN 7-5625-1484-4

- I. 测…
- II. 程…
- III. 测量-工程测量
- IV. P21

测量与工程测量

程新文 主编

责任编辑:方 菊

责任校对:胡义珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号)

邮编:430074

电话:(027)87483101 传真:87481537 E-mail:cbo@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:350千字 印张:13.5 插页:1

版次:2000年3月第1版

印次:2000年3月第1次印刷

印刷:中国地质大学出版社印刷厂

印数:1—3500册

ISBN 7-5625-1484-4/P·521

定价:20.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

21 世纪将是高度信息化的世纪。随着“数字地球”概念的确立,计算机技术、空间技术、通讯技术和电子技术的发展,测绘科学技术进入了数字化、自动化和智能化的时代。

GPS 全球定位技术实现了全天候、无障碍、实时、快速动态地提供点位、时间、速度等时空信息,给测绘科学带来了一场前所未有的技术革命。

随着地面测量仪器的电子化和数字化,工程测量的精度、速度和自动化水平也不断提高;全站仪、测距仪和电子经纬仪借助于电子手簿,与便携式计算机联结成野外数字测图一体化的测图系统,大大地提高了测图的精度和速度。

基于以上,我们新编写了一本测量教材,以适应测绘事业的发展和 21 世纪对高校人才培养的要求。本教材在适度介绍传统测绘手段的同时,力图突出测绘科学的新发展;在适度介绍测量的基本理论和基本方法的同时,重点突出其在国民经济各项建设中的应用。

全书共分两部分。第一部分为测量的基本理论、基本方法和主要手段,第二部分则主要介绍测量在各项工程中的应用。

本书第一、五、六章由陈义生编写;第二、三、十二、十四章由陈性义编写;第四、七、八章由吴北平编写;第九、十章由袁春、程新文编写;第十一章由吴北平、陈性义编写;第十三章由孙银聪编写;第十五、十六章由侯敏编写;第十七章由程新文编写。全书由程新文统稿。黄景湖教授对个别章节作了认真修改,在此表示衷心感谢。

由于作者水平所限,书中错误在所难免,诚请读者批评指正。

编 者

1999 年 11 月于喻家山



CUGP

责任编辑：方 菊
封面设计：田剑云



ISBN 7-5625-1484-4



9 787562 514848 >

定价：20.00元

目 录

第一篇 测量的基本理论与方法	(1)
第一章 测量学概述	(1)
§ 1-1 测量学的任务	(1)
§ 1-2 测量学的作用	(1)
§ 1-3 测量工作的基准面	(2)
§ 1-4 高程对长度归算的影响	(4)
§ 1-5 用水平面代替水准面的限度	(5)
§ 1-6 确定地面点位的坐标系	(6)
§ 1-7 测量工作的基本概念	(10)
§ 1-8 测量学发展概况	(11)
第二章 方向与角度测量	(13)
§ 2-1 方向测量	(13)
§ 2-2 角度测量	(17)
第三章 距离测量	(29)
§ 3-1 直线定线	(29)
§ 3-2 钢尺量距	(30)
§ 3-3 经纬仪视距法测距	(31)
§ 3-4 电子测绘仪器及应用	(34)
第四章 高程测量	(43)
§ 4-1 高程测量概述	(43)
§ 4-2 水准测量原理	(43)
§ 4-3 水准仪和水准尺	(45)
§ 4-4 水准测量的野外作业	(47)
§ 4-5 水准测量的内业计算	(51)
§ 4-6 三角高程测量	(52)
第五章 误差基本知识	(58)
§ 5-1 观测误差	(58)
§ 5-2 偶然误差的统计性质	(59)
§ 5-3 算术平均值	(61)
§ 5-4 观测值精度的衡量标准	(61)
§ 5-5 误差传播定律	(64)
§ 5-6 算术平均值的中误差	(67)
§ 5-7 权	(67)
第六章 控制测量	(71)
§ 6-1 控制测量概述	(71)
§ 6-2 导线测量	(73)

§ 6-3 交会定点	(82)
第七章 地形图的测绘	(87)
§ 7-1 地形图的基本知识	(87)
§ 7-2 地形图的测绘	(92)
§ 7-3 地形图拼接	(98)
第八章 地图投影及地形图的应用	(101)
§ 8-1 高斯投影的概念	(101)
§ 8-2 地形图的分幅与编号	(104)
§ 8-3 地形图的应用	(109)
第九章 大比例尺数字测图原理	(118)
§ 9-1 数字测量概述	(118)
§ 9-2 野外数字测图数据构成	(119)
§ 9-3 计算机绘图的基本方法	(121)
§ 9-4 数字地面模型及等高线的绘制	(124)
第十章 GPS 测量的原理	(127)
§ 10-1 GPS 系统组成	(127)
§ 10-2 GPS 定位原理	(130)
§ 10-3 相位差分测量原理	(132)
§ 10-4 GPS 定位误差	(133)
第二篇 测量在工程中的应用	(136)
第十一章 施工测量基础	(136)
§ 11-1 工程测量概述	(136)
§ 11-2 施工测量的基本工作	(136)
§ 11-3 施工场地平整测量	(144)
第十二章 建筑工程测量	(149)
§ 12-1 工业场地建设施工测量	(149)
§ 12-2 民用建筑施工测量	(154)
第十三章 道路工程测量	(158)
§ 13-1 中线测量	(158)
§ 13-2 曲线放样	(161)
§ 13-3 纵横断面测量	(165)
§ 13-4 竖曲线的测设	(166)
第十四章 管线工程测量	(170)
§ 14-1 概述	(170)
§ 14-2 管线定线及纵横断面测量	(170)
§ 14-3 管线施工测量	(172)
§ 14-4 顶管施工测量	(174)
§ 14-5 管线竣工测量	(175)
第十五章 地下工程测量	(182)
§ 15-1 地下导线测量	(182)

§ 15-2	竖井联系测量	(183)
§ 15-3	隧道开挖中的测量工作	(186)
§ 15-4	贯通测量及贯通误差的测定	(187)
第十六章	地质勘探工程测量	(191)
§ 16-1	地质工程测量一般规定	(191)
§ 16-2	勘探网测量	(192)
§ 16-3	勘探线剖面测量	(194)
§ 16-4	地质勘探工程点测量	(195)
§ 16-5	资料整理与提交	(197)
第十七章	地籍测量	(198)
§ 17-1	地籍测量概述	(198)
§ 17-2	权属调查	(199)
§ 17-3	地籍图测绘	(203)
参考书目		(208)

第一篇 测量的基本理论与方法

第一章 测量学概述

§ 1-1 测量学的任务

测量学是研究测定地面点的空间位置，将地球表面的形状和其他信息测绘成图，以及确定地球形状和大小的科学。

按照研究的对象和范围的不同，测量学分为不同学科。

普通测量学——研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、方法和应用的学科。是测量学的基础。主要研究内容有：图根控制网的建立、地形图的测绘以及一般工程的施工测量。具体工作有距离测量、角度测量、定向测量、高程测量、观测数据的处理和绘图。

大地测量学——研究在广大地面上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。随着人造卫星等科学技术的发展，大地测量学又分为常规大地测量学和空间大地测量学。

摄影测量学——研究利用摄影或遥感手段获取被测物体的信息，以确定被测物体的形状、大小、位置和性质的学科。

工程测量学——研究工程建设在设计、施工和管理阶段所进行的多种测量工作的学科。主要内容有：工程控制网的建立、地形图测绘、施工放样、设备安装、竣工测量、变形观测和维修养护测量。

地图制图学——利用测量资料研究地图及其制作的理论、工艺和应用的学科。

本教材内容属于普通测量学，也包括部分工程测量学的内容。

§ 1-2 测量学的作用

人类的生存和发展活动都是在空间进行的，而测量学的核心功能就是为地理信息提供空间位置数据。资料表明，人们所关心的、经常接触的信息大约 80% 都与地理信息有关，所以测量学在国家的经济建设、国防建设、科学实验以及日常生活中都有着重要作用，并得到广泛的应用。

为了社会经济持续健康地发展,为了对各种资源和环境合理地进行开发、利用和保护,必须有计划地进行各种综合性的或专题性的调查和勘测,为统筹规划和宏观决策提供基础性资料,其中测绘工作提供的包括地形图在内的测绘成果,起着重要的、甚至主要的作用。

城市、交通、电讯、旅游、工矿、水利、农林、地质、航天、航空、海洋等各项工程建设,在其规划设计、施工竣工、运营管理三个阶段中都要进行测绘和测设工作。

在国防建设方面,战略部署、战役指挥、战术运用、国防工程等都需要相应的测绘保证。

在科学实验方面,空间技术、地壳变形、海水面升降、灾害预报和灾情评估等科研课题都离不开精确的测绘数据。

科技在迅猛发展,人类对空间定位信息的需要与日俱增,测量学的重要性更加突出,应用范围也日益扩大。因此,从事工程建设的技术人员,掌握测量学的基本知识和基本技能是完全必要的。

学习本课程之后,要求掌握普通测量学的基本知识和基础理论;能正确使用工程水准仪、工程经纬仪等仪器和工具;了解大比例尺地形图的成图原理和方法;在工程设计和施工中,要求具有应用地形图和有关测量资料的能力和进行一般工程施工测设的能力,以便能灵活应用所学的测量知识为专业工作服务。

§ 1-3 测量工作的基准面

物体的空间位置具有相对性,它总是要与一个参考系相对照、相比较才能确切地加以描述。测量工作是在地球表面上进行的,首先必须选取合理的基准面,然后才能以此建立相应的坐标系,用以科学地描述地面上点的确切位置。

地球上任何一点都同时受到两种力的作用,一是地心引力,二是地球自转引起的离心力,两者的合力称为重力。重力方向称为铅垂线方向。

一、水准面和铅垂线

处于自由静止状态的水面称为水准面。例如,静止的水塘面就是一个水准面。水准面必然处处与重力方向垂直,否则重力作用将使水流动,这水面就不是水准面。水面可高可低,因此在地球重力的作用范围内,通过任何高度的点都存在一个水准面。与水准面相切的平面称为水平面。水平面上的直线称为水平线。

观测水平角时,置平经纬仪之后,仪器的纵轴位于铅垂线方向,水平度盘所在平面就是水准面的切平面,所测的水平角实际上就是观测方向线在水准面上投影线之间的夹角。用水准测量方法观测所得两点间的高差,也就是通过这两点的水准面之间的垂直距离。以上这些说明,铅垂线和水准面是测量工作中野外观测的基准线和基准面。

二、大地水准面

对于同一观测对象(例如长度、高程),如果选用不同的水准面,所得到的观测结果是否相同呢?

由于地球是球体,通过两点的铅垂线并不平行,所以,在不同高度的水准面上测得的等长距离,投影在同一基准面上并不等长(较详细的讨论见§1-4)。至于高程,显然根据不同的水准面,观测所得的同一点的高程是不同的。为了使不同测量部门所获得的测量成果能互

相比较、互相利用,有必要选择一个统一的、有代表性的水准面作为外业测量成果的共同基准面。

海洋面占地球总面积的 71%,所以静止的海水面就是地球上最大的天然水准面。

自由静止的海水面扩展延伸而形成的闭合曲面称为大地水准面。它所包围的形体称为大地体。因为大地体的形状和大小非常接近自然地球的形状和大小,并且位置比较稳定,因此,在大范围的区域内,选取大地水准面作为外业测量成果的共同基准面。图 1-1 是地球自然表面和大地水准面的关系示意图。

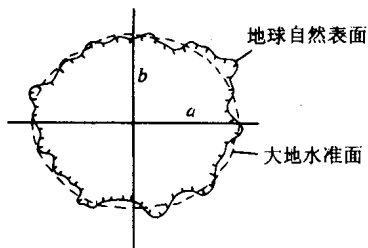


图 1-1 地球自然表面与大地水准面

三、旋转椭球面

为了确定点在地球上的精确位置,必须确知所依据的基准面的形状。研究表明,大地水准面是略有起伏的不规则曲面,无法用数学公式精确地表达出来,因而也就不确知其形状。其原因是,地表起伏以及地层内物质密度不均匀变化,引起重力方向的不规则变化,从而造成处处与重力方向正交的大地水准面的不规则。

例如,图 1-2 中,某处由于地形起伏和重金属矿体的存在,致使大地水准面与形状规则的旋转椭球面相比,形状稍微隆起,呈现不规则变化。

理论和实践都证明,大地体非常接近于一个两极略扁的旋转椭球(一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体)。与一国或地区的局部大地水准面符合得最佳的旋转椭球称为参考椭球。与整个大地水准面符合得最佳的旋转椭球称为地球椭球。这个椭球面可用简单的数学公式将它表达出来,因而世界各国通常都采用旋转椭球代表地球的形状和大小,采用旋转椭球面作为地面点精确定位的基准面。其形状和大小可由长半径(赤道半径) a ,短半径 b ,及扁率 $\alpha=(a-b)/a$ 三元素中任意两个所确定(图 1-3)。世界各国在测绘工作中各自采用不同的参考椭球。我国现今采用 1975 年国际大地测量与地球物理联合会第 16 届大会推荐的数据(简称 IAG-75),即

$$\begin{aligned} a &= 6\,378\,140\text{ m} \\ b &= 6\,356\,755\text{ m} \\ \alpha &= 1/298.257 \end{aligned}$$

(IAG: International Association of Geodesy & Geophysics)

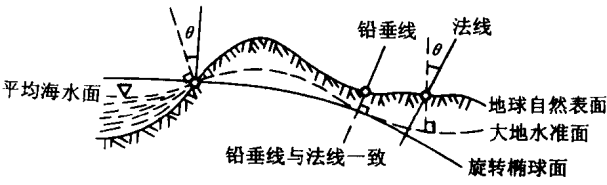


图 1-2 三个面的关系

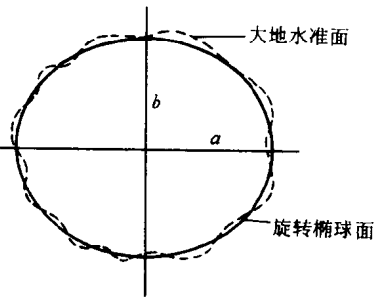


图 1-3 大地水准面与旋转椭球面

实际的大地测量工作就是在这个椭球面上建立坐标系，并把实地测得的各种数据归算到这个椭球面上做精确处理，求得地面点的精确位置。

在此以前，从 1953 年起，我国采用苏联克拉索夫斯基椭球元素，其值为

$$a=6\,378\,245\text{ m}$$

$$b=6\,356\,863\text{ m}$$

$$\alpha=1/298.3$$

随着科学技术的发展，对地球形状和大小的研究工作必将更加精细和全面，这个过程没有止境。

四、圆球面

当处理测绘资料或表述测绘问题的精度要求不高时，可把椭球面当作圆球面对待，其半径为 $R=(a+a+b)/3=6\,371\text{ km}$ 。这种处理问题的方法在某些生产、科研和教学中常常被采用。

五、水平面

采用水平面作为基准面处理测量数据问题，在 § 1-5、§ 1-6 中有较详细的讨论。

该选取哪种基准面，是大地水准面还是旋转椭球面？是曲面，还是平面？这取决于测量区域的大小和所需精度的高低，也取决于测量的性质和用途。

§ 1-4 高程对长度归算的影响

当讨论这个问题时，把水准面当作圆球面处理，这样做，可以保证计算精度。如图 1-4 所示，设 AO 、 BO 、 CO 为铅垂线，位于同一平面内； a 、 b 为 A 、 B 沿铅垂线在水准面 II 上的投影； $S=AB=bc$ ， $s=ab$ ， $h=Aa=Bb$ ， $R=6\,371\text{ km}$ 。

由图 1-4 可知

$$\frac{s}{R} = \frac{S}{R+h}$$

由此可得

$$s = S \frac{R}{R+h} = S \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{h}{R}} \right)$$

将上式展开为级数，舍弃二次以上的项，则有

$$s = S \left(1 - \frac{h}{R} \right) \quad (1-1)$$

$$\Delta S = s - S = -\frac{h}{R} S \quad (1-2)$$

设 $S=10\text{ km}$ ， $h=637\text{ m}$ ，代入 (1-2) 式中，算得

$$\Delta S \approx -1\text{ m}$$

虽然 $AB=10\text{ km}$ ， $bc=10\text{ km}$ ，但 $ab \neq bc$ ($ab-bc=-1\text{ m}$)。这就是说，在高度不同的水准面上，测得的等长距离，投影到同一水准面上后并不等长，这个差值 (ΔS) 就是高程对长度归算的影响。这个差值大约为：每

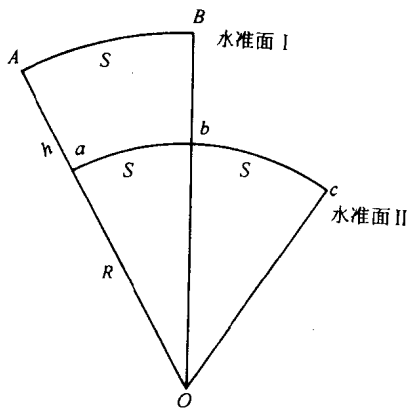


图 1-4 高程对长度归算的影响

降低 6.4 m, 1 km 长度要减少 1 mm。

因此, 当进行高精度测量时, 必须要选取一个确定的共同基准面, 计算出高度对长度归算的影响值, 并对长度观测值进行相应的改正。在以 10 km 为半径的圆面积内进行普通测量, 当地面高差不大时, 可以不考虑高度对长度归算的影响。

§ 1-5 用水平面代替水准面的限度

水准面是一个曲面, 曲面上的图形不破裂、不起皱是不能展为平面的。如果把地球表面的图形绘在地球仪上, 则因地球半径有 6 371 km, 即使把它缩小 100 万倍, 直径大约还有 13 m, 这样处理虽然不产生投影变形问题, 但是对一般工程建设用图来说极为不便, 难以接受。实际上, 我们需要的是将地面上的图形按比例缩小描绘在平面上。因而, 有必要对地图投影问题进行研究。

从理论上讲, 将极小部分的水准面当作平面也是难免要变形的。由于测量和制图都含有不可避免的误差, 如果将一块水准面当作平面看待, 其产生的误差不超过测量和制图的误差, 则这样做是允许的, 而且是合理的。现在来讨论以水平面代替水准面对距离、角度和高程的影响, 并给出水平面代替水准面的限制范围。

一、对水平距离的影响

如图 1-5 所示。设地面点 A、B、C 在水准面上的投影为 a、b、c 点, 如用与该区域中心点相切的水平面代替水准面, 则地面点 A、B、C 在水平面上的投影为 a'、b'、c' 点。现分析由于水准面的曲率对水平距离的影响。

在普通测量学中推导公式时, 常常近似地把水准面当作半径为 R 的球面来处理, 得到的公式较简单且能满足精度要求。

设 A、B 两点在水准面上的距离为 D, 在水平面上的距离为 D', 两者之差为 ΔD , 则用水平面代替水准面所引起的距离误差为

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-3)$$

根据三角函数的级数公式, 知: $\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$, 且因 θ 角值一般很小, 故可略去五次方以上的各项, 只取其前两项代入式 (1-3), 从而得

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

又因 $\theta = \frac{D}{R}$, 故有 $\Delta D = \frac{R}{3} \cdot (\frac{D}{R})^3 = \frac{D^3}{3R^2}$, 即

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-5)$$

将地球平均半径 $R = 6\,371\text{ km}$ 以及不同的距离 D 代入 (1-4)、(1-5) 式, 便得表 1-1 所示结

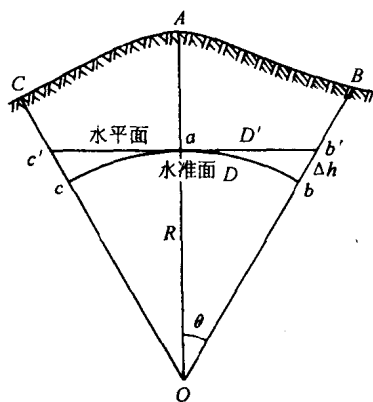


图 1-5 地球曲率对水平距离和高程的影响

表 1-1 地球曲率对水平距离的影响

D (km)	ΔD (cm)	$\Delta D/D$
10	0.8	1 : 1 200 000
20	7	1 : 300 000
50	102	1 : 49 000
100	821	1 : 12 000

果。由表中可以看出,当 $D=10\text{ km}$ 时,用水平面代替水准面所产生的距离误差为 0.8 cm ,大约只是距离的 $1/1\,200\,000$,这样小的误差,就是现在最精密的距离丈量,其精度要求也是允许的。因此,可得出结论:在半径为 10 km 的圆面积范围内进行长度测量工作时,可以不考虑地球曲率的影响,而把水准面当作水平面处理。

二、对水平角的影响

水平角是两条水平线之间的夹角,而水平线是水准面的切线,所以水平角实质上是球面角。水准面上以三点为顶点,由水平角构成的三角形是个球面三角形。当水平面上的三角形的边长和球面三角形对应边相等时,每个水平角比对应的球面角要小,其差值可用公式 $\Delta\beta = P/(3R^2)$ 计算出。式中, P 为平面三角形的面积; R 为地球平均半径, $R=6\,371\text{ km}$ 。

从式中可知, $\Delta\beta$ 与三角形面积成正比。设等边三角形的边长为 10 km ,按上式计算得到每个水平角比对应的球面角小 $0.^\circ07$ 。因此,在以 10 km 为半径的圆面积范围内,对于普通测量,用水平面代替水准面所产生的水平角度误差可以忽略不计。

三、对高程的影响

为了考虑用水平面代替水准面对高程的影响,我们仍以图 1-5 来说明:地面点 B 的高程应是铅垂距离 bB ;而用水平面代替水准面后, B 点的高程则为 $b'B$,两者之差为 Δh ,则用水平面代替水准面所引起的高程误差为

$$\Delta h = bB - b'B = Ob' - Ob = R\sec\theta - R = R(\sec\theta - 1) \quad (1-6)$$

同样,已知 $\sec\theta = 1 + \frac{1}{2}\theta^2 + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$,因 θ 角值很小,只取其前两项代入式(1-6),而得

$$\Delta h = R(1 + \frac{1}{2}\theta^2 - 1) = \frac{R(\frac{D}{R})^2}{2} = \frac{D^2}{2R} \quad (1-7)$$

若用不同的距离代入式(1-7)中,便可得如表 1-2 所示的结果。

表 1-2 地球曲率对高程的影响

$D\text{ (km)}$	0.2	0.5	1	2	3	4	5
$\Delta h\text{ (cm)}$	0.31	2	8	31	71	125	196

从表中可以看出:用水平面代替水准面,引起的高程误差还是很大的,距离 200 m 就有 0.31 cm 的误差,距离 1 km 就有 8 cm 的误差。因此,在高程控制测量时,即使距离很短,也应顾及地球曲率对高程的影响;在碎部测量时,可以忽略其影响。

§ 1-6 确定地面点位的坐标系

测量工作的核心任务是确定地面点的空间位置。一点的空间位置需要三个独立的参量来确定。通常的做法是,地面点的空间位置用坐标和高程表示。如图 1-6 所示,地面点 A 的坐标表示该点投影在基准面上的位置 P ,地面点的高程表示该点到基准面的垂直距离 AP 。

一、地面点的坐标

地面点的坐标,根据实际需要可以选用下列四种坐标系统中的一种来确定。

(一) 地理坐标系

当研究和测量整个地球的形状、大小,或进行大面积的测量工作时,可采用地理坐标系。

地面点在基准面上的位置是用经度和纬度表示的，称为地理坐标。地理坐标又按坐标系所依据的基准面不同以及求坐标的方法不同，可分为大地坐标系和天文坐标系两种。

1. 大地地理坐标（简称大地坐标）系

大地坐标是表示地面点投影在旋转椭球（下面简称椭球）面上的位置，用大地经度 L 、大地纬度 B 来表示。

如图 1-7，NS 即为椭球的自转轴，也称地轴。它与椭球表面有两个交点，N 为北极，S 为南极。

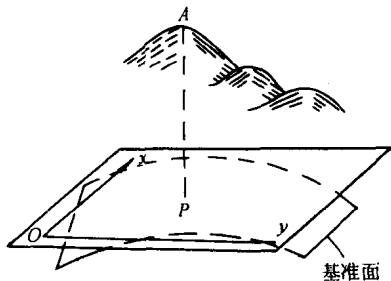


图 1-6 点的空间位置的表示

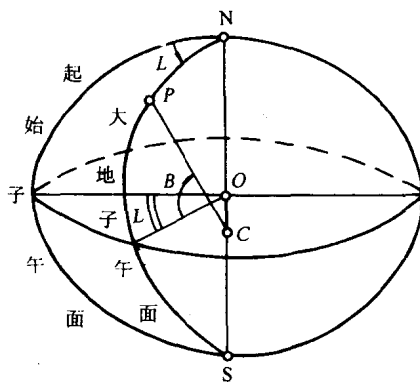


图 1-7 大地坐标系

过地轴的任一平面称为子午面，子午面与椭球面的交线为闭合圈，以南北极为界的半个闭合圈称为子午线，也称为经线。经国际天文学会决定，通过英国格林威治（Greenwich）天文台（因为伦敦浓雾和拥挤，迫使天文台自 1959 年起迁至 75 km 以外的赫斯特莫尼尤克斯，国际上已改为以平均天文台为准）的子午面称为首子午面（起始子午面），以它作为计算地面点经度的起始面。通过椭球中心并与地轴垂直的平面称为赤道面，赤道面与椭球表面的交线称为赤道，其他垂直于地轴的平面与椭球表面相交的线称为纬线。从图 1-7 中可见，P 点（P 点为地面点沿法线方向在椭球面上的投影）的位置可由其大地经度和大地纬度来确定。经度是首子午面和过 P 点的子午面所夹的两面角，可在赤道上量度，用 L 表示。从首子午线向东计，零度至 180° 的区间统称东经，从首子午线向西计零度至 180° 的区间称为西经。法线是垂直于椭球面的直线，纬度是过 P 点的法线和赤道面之间的夹角，在子午面上量度，用 B 表示。从赤道向北计，零度至 90° 的区间称为北纬；从赤道向南计，零度至 90° 的区间称为南纬。例如武昌某地的地理坐标为：东经 $114^\circ 27'$ ，北纬 $30^\circ 31'$ 。北京某地的地理坐标为：东经 $116^\circ 28'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。

一个经度和一条经线是唯一对应的，一个纬度和一条纬线是唯一对应的。

由于地球自转一周为 24 h，相当于经度 360° ，所以经差 15° 相当于时差 1 h。

2. 天文地理坐标（简称天文坐标）系

天文坐标表示地面点投影在大地水准面上的位置，用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示。见图 1-8。P 点的天文经度 λ ，就是包含 P 点的子午面和首子午面所夹的两面角。P 点的天文纬度 φ ，就是过 P 点的铅垂线（与大地水准面垂直的线）与赤道面的夹角。

地面上一点的天文坐标和大地坐标所以不同，是因为各自依据的基准面和基准线不同，前

者依据的是大地水准面和铅垂线，后者是旋转椭球面和法线。由于旋转椭球面和大地水准面不一致，因此过同一点的铅垂线和法线也不一致，从而产生垂线偏差 θ (见图 1-2)。根据天文经纬度和垂线偏差可以推算出大地经纬度。

天文经纬度是用天文测量的方法直接测定的，而大地经纬度是根据一个起始的大地点（通常称为大地原点，这个点的大地经纬度与天文经纬度一致）的大地坐标，再按大地测量所测得的数据推算而得的。我国以位于陕西省泾阳县境内的国家大地原点为起算点，并采用了国际大地测量与地球物理联合会于 1975 年第 16 届大会上推荐的地球椭球参数，由此建立了新的统一坐标系，称为“1980 年国家大地坐标系”。新坐标系统使旋转椭球面和我国大地水准面有了较好的吻合，在全国范围内，大地水准面与椭球面的差距约在 20 m 以内。建国后，我国曾采用“1954 年北京坐标系”，作为临时过渡性的坐标系，并采用了克拉索夫斯基椭球参数。

在控制点中，测定天文经纬度的控制点密度稀少，约 1 万多平方公里区域内才分布一个点，而点的大地经纬度由推算而来，密度几乎不受限制。在地图上表示的经纬度都是大地经纬度。

天文坐标系和大地坐标系的研究属于大地测量学的领域。

(二) 平面直角坐标系

当测量的范围较小时（一般在以 10 km 为半径的圆面积内），可以把该测区的水准面当作水平面对待，即以水平面作为该区的基准面，直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上，用平面直角坐标（图 1-9）来表示该点的投影位置。将坐标原点选在测区西南角，使测区全部落在第一象限内，并以该地的子午线为 x 轴，向北为正， y 轴向东为正。象限按顺时针方向编号，这是与数学上的规定不同的。测量上取南北线为标准方向，主要是为了定向方便，而象限采取顺时针方向编号，其目的是便于将数学上的三角和解析几何的公式直接应用到测量计算，可不作任何改变。地面上某点 A 投影在水平面上的位置 P 可用该点到横轴、纵轴的垂直距离 x 和 y 来表示。

(三) 高斯平面直角坐标系

大地坐标只能用来确定地面点在旋转椭球面上的位置，不能直接应用于测图。测量上的计算，在平面上进行最方便。

当测区较大，甚至包括整个地球时，若再把球面当平面，由此产生的各种变形将是不允许的。那么如何建立一个平面直角坐标系呢？用地图投影的理论和方法可以解决这个问题。地图投影方法很多，我国采用了高斯投影方法，用高斯平面直角坐标表示地面点投影在高斯平面上的位置（高斯投影内容，将在第八章中叙述）。

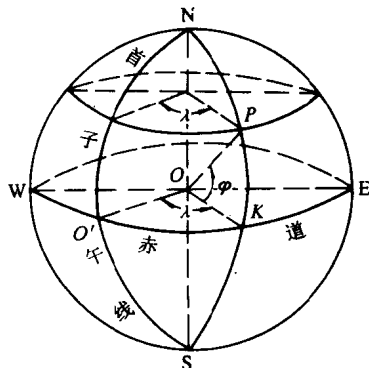


图 1-8 天文坐标系

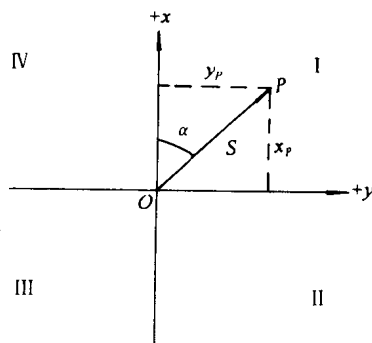


图 1-9 平面直角坐标系

二、高程

坐标确定了空间某点投影在基准面上的位置。除此以外,尚需确定该点沿投影方向到基准面的垂直距离,即该点的高程。高程按起算的基准面不同而有绝对高程和相对高程之分。

(一) 绝对高程

地面某点沿铅垂线方向至大地水准面的垂直距离称为该点的绝对高程,简称高程,或称海拔。图 1-10 中 H_A 、 H_B 分别为 A、B 两点的绝对高程。我国的绝对高程是以青岛港所设立的验潮站,经长期观测和记录黄海水面的高低变化,取其平均海水面的高程为零,作为大地水准面的位置,并作为我国计算高程的基准面。我国在青岛市内一个山洞里建立了水准原点,其高程为 72.289 m。全国各地的高程都是以它为基准测算出来的。这就是我国规定的“1956 年黄海高程系”。

1975 年我国登山队登上珠穆朗玛峰,测得其高程为 8 848.13 m,这就是指珠穆朗玛峰峰顶距黄海平均海水面的铅垂距离。

由于验潮资料不足等原因,我国自 1987 年启用“1985 国家高程基准”。它是采用青岛验潮站 1953 年至 1979 年验潮资料计算确定的。依此确定的青岛国家水准原点高程为 72.260 m。为了统一全国的高程系统,全国都应以新的原点高程为准。旧系统内点的高程与新系统内对应点的高程的关系为

$$H_{\text{新}} = H_{\text{旧}} - 0.029 \text{ m}$$

(二) 相对高程

当有些地区使用绝对高程有困难时,可采用假定高程系统,我们可以采用一个适当的水准面作为基准面。在此地区内,所有的点到此水准面的垂直距离称为相对高程,或者叫假定高程。如图 1-10 中 PP' 为任一水准面, H'_A 、 H'_B 即为 A、B 两点的相对高程。

(三) 高差

A、B 两点高程之差称为高差,地面上点 A 到点 B 的高差定义(如图 1-10 所示)为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

由此可见,两点间的高差与起算的水准面无关。

高差是表示两点间相对高低的量,所以高差值带有正负号。例如, h_{AB} 值为正,表示 B 点高于 A 点; h_{AB} 为负,表示 B 点低于 A 点;反之亦然。

三、地心空间直角坐标系

这个坐标系的原点选在参考椭球的中心, z 轴指向地北极, x 轴处于起始子午面内, y 轴按逆时针方向配置(见图 1-11)。地面某点的位置用三维坐标 x 、 y 、 z 来确定。空间直角坐标系与大地坐标系有确定的转换公

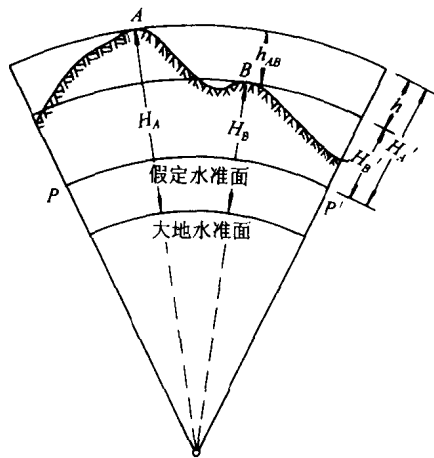


图 1-10 高程表示

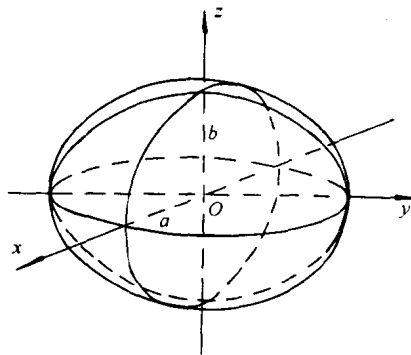


图 1-11 地心空间直角坐标系