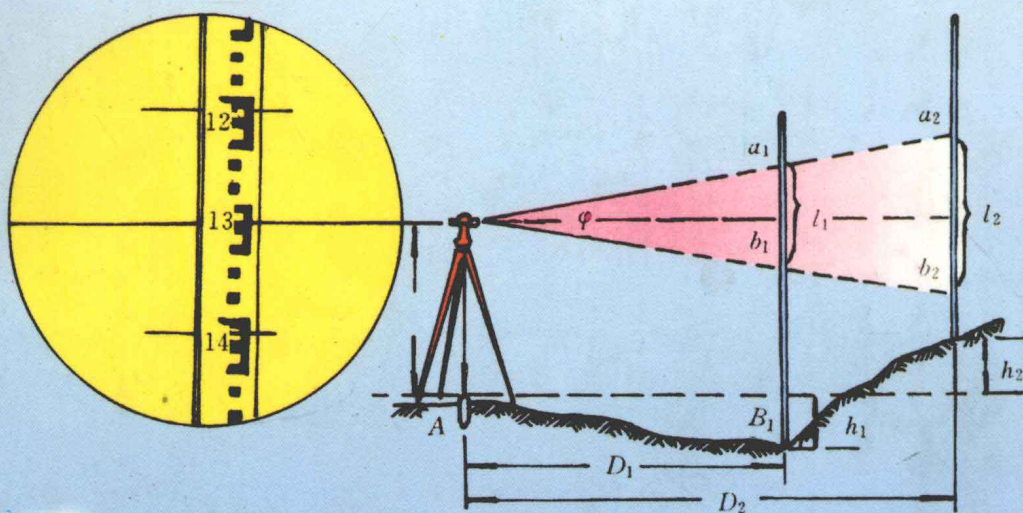


❖ 现代测绘科技丛书

测 绘 学

刘 谊 邢贵和 马振利 王国君 主编



教育科学出版社

测 绘 学

(非测量专业适用)

刘 谊 邢 贵 和 马 振 利 王 国 君 主 编

教育科学出版社

责任编辑:徐长发

装帧设计:安广军

责任校对:马振利

图书在版编目(CIP)数据

现代测绘科技丛书/武文波 主编

测量学/刘谊 邢贵和 马振利 王国君 编著

北京:教育科学出版社,2000.05

ISBN 7-5014-1648-6

I. ①现…②武…

Ⅱ. ①测…②刘…③邢…④马…⑤王…

Ⅲ. 测量学

Ⅳ. P. 22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(20)第 01469 号

测量学

编著 刘谊 邢贵和 马振利 王国君

教育科学出版社出版

(北京海淀区北三环中路 46 号)

通州印刷厂印刷

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月北京第 1 次印刷

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:15

字数:368 千字 印数:1000 册

ISBN 7-5014-1648-6/P. 208-10(课)

定价:25.00 元

《现代测绘科技丛书》编著说明

辽宁工程技术大学测量工程系具有近五十年的办学历史,具有雄厚的师资力量、较先进的教学设备及丰富的办学经验。“大地测量学与测量工程”学科为辽宁省重点学科,“测量工程实验室”为国家煤炭工业重点实验室。现有“大地测量学与测量工程”、“地图制图学与地理信息工程”、“摄影测量与遥感”三个硕士授权点。近年来在科研和教学上均取得了可观的成果和经验,在东北地区、煤炭工业系统乃至全国都有一定的影响。

随着计算机技术、微电子技术、空间技术、通讯技术和信息技术的不断进步,测绘仪器设备不断更新换代,测绘技术领域也发生了深刻的变化。从数据的采集、处理和管理,到数据的存储、输出,不断向自动化、数字化、集成化、科学化的方向迈进。GPS技术、RS技术、GIS技术、数字化测绘技术开始广泛地应用于国民经济建设的各个领域。为了适应测绘科学技术的迅猛发展,满足科教兴国战略方针的需要,从1995年开始,我们进行了面向二十一世纪的课程体系和教学内容的改革,已取得显著成果,并按新的教学体系和教学内容组织编著了这套《现代测绘科技丛书》。该科技丛书是按新科学体系经过优化组合后编著而成,其特点是面向未来、面向现代化,删除陈旧内容,纳入新理论和新技术。每部书既注意基本原理、基础知识的阐述,又大量的融入高新技术,并具有大量的实际操作内容。这些都是全体科技人员的科研成果、生产实践和教学经验的科学总结。该科技丛书密切结合教学实践妥善处理了传统技术与新技术之间的关系,各书之间既相互衔接,又自成体系。

在本科技丛书的编著中,徐州师范大学、东北大学、河北理工学院、黑龙江工程学院、鞍山钢铁学院、长春建筑高等专科学校、本溪冶金高等专科学校等院校的有关专家参加了编著工作,并提出了宝贵意见,对本科技丛书的完成给予了有益的帮助。

本科技丛书是经过多年教学试用后重新组织编著的。编著者都是具有丰富教学、科研和生产实践经验的教授和副教授,同时组织了专家审阅和修改,现决定正式出版。该科技丛书适用对象为测绘生产及科研工作者的参考和自学用书,亦可作为“测绘工程”、“地理信息系统”、“城市规划”、“土地管理”及相关专业本、专科生教学用书。

《现代测绘科技丛书》编著委员会成员:

主 任: 武文波

副主任: 宋伟东、金继读、刘谊、马洪滨、王仲锋、包永德、王晏民

编委(以姓氏笔画为序):马洪滨、马明栋、马振利、马俊海、王家贵、王仲锋、王国君、王晏民、石金锋、包永德、宋伟东、刘立忱、刘谊、乔仰文、朱伟刚、邢贵和、任秀、杜维甲、杜明义、李勇、李正中、金继读、武文波、张永彬、徐爱功、施群德、赵长胜、赵波、景海涛、谢宏全

秘书:马振利、朱伟刚

《现代测绘科技丛书》(第一部分)名称、编著者:

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 1、数据库原理及在测量中应用 | 武文波、马洪滨、景海涛、王崇倡 |
| 2、面向对象的测量程序设计 | 马明栋、赵长胜、施群德、杜维甲 |
| 3、计算机绘图原理及应用 | 杜明义、包永德、朱伟刚、李巍 |
| 4、数字化测图原理及应用 | 宋伟东、张永彬、金继读、赵波 |
| 5、GPS 卫星定位原理及其在测绘中的应用 | 乔仰文、赵长胜、谢宏全、徐爱功 |
| 6、测量平差 | 赵长胜、石金锋、王仲锋、李勇 |
| 7、测绘学基础 | 王家贵、金继读、刘立忱、马俊海 |
| 8、地理信息系统原理 | 马明栋、武文波、申立群、宋伟东 |
| 9、遥感技术基础 | 徐爱功、杜明义、刘谊、武文波 |
| 10、现代路线工程测量 | 李正中、任秀、周涌波、武文波 |
| 11、测量学(非测绘专业用) | 刘谊、邢贵和、马振利、王国君 |

《现代测绘科技丛书》编著委员会

辽宁工程技术大学测量工程系

2000 年 1 月 20 日

前 言

本书是《现代测绘科技丛书》之一,可以作为各行业测绘工程技术人员的参考用书,尤其适合作为工科院校地矿类、土建类、水利类、环境与安全类、交通运输类等各本、专科专业及高等职业教育的教学用书。

随着科学技术的飞跃发展,以 3S(GPS、GIS、RS)为代表的测绘理论和技术开始广泛地应用于国民经济建设的各个领域,本书对传统的测绘理论和技术内容进行了全面地考虑,在保留现时实际工程现场仍然适用的常规测绘技术之外,有目的地增加了对测绘新理论、新仪器和新技术等内容的介绍,以期满足各类工程专业学生毕业后工作岗位的需求。

本书由河北理工学院刘谊,辽宁工程技术大学邢贵和、马振利、王国君主编,最后由马振利和王国君统稿与校正。由于编者水平有限,书内必然存在谬误之处,敬请各位专家和内行不吝赐教。

编 者

2000 年 6 月 30 日

目 录

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务和作用	1
第二节 地球的形状与大小	2
第三节 地面点位的确定	3

第二章 水准测量

第一节 水准测量原理	9
第二节 水准测量的仪器与工具	9
第三节 水准仪的使用	15
第四节 水准测量的作业	16
第五节 水准仪的检验与校正	22
第六节 水准测量误差	25
第七节 精密水准仪、电子水准仪简介	26

第三章 角度测量

第一节 角度测量原理	29
第二节 经纬仪的构造	30
第三节 水平角观测方法	35
第四节 竖直角观测方法	39
第五节 水平角测量的误差	42
第六节 经纬仪的检验与校正	45
第七节 直线定向	49

第四章 距离测量

第一节 距离测量概述	52
第二节 视距测量	52
第三节 普通钢尺量距	55
第四节 电磁波测距	58

第五章 测量误差理论基础

第一节 测量误差概念	65
第二节 偶然误差的特性	66
第三节 评定精度的标准	68
第四节 误差传播定律及应用	72

第六章 控制测量概念

第一节 控制测量概述	75
第二节 导线测量	79
第三节 三角测量	88
第四节 交会法测定点位	92

第五节	高程控制测量	95
第六节	GPS 卫星定位测量简介	99
第七章	大比例尺地形图的测绘和应用	
第一节	地形图的基本知识	104
第二节	地形图的符号	106
第三节	大比例尺地形图的常规测绘方法	113
第四节	地形图的分幅与编号	117
第五节	地形图的应用	120
第八章	测设的基本工作	
第一节	测设水平距离	129
第二节	测设水平角	129
第三节	测设点的平面位置	130
第四节	测设已知高程	132
第五节	测设已知坡度线	134
第九章	建筑施工测量	
第一节	施工测量的特点	135
第二节	建筑场地的施工控制测量	135
第三节	工业民用建筑的施工测量	139
第四节	高层建筑物施工测量	145
第五节	竣工测量	147
第六节	建筑物的变形观测	147
第十章	道桥工程测量	
第一节	道路中线测量	152
第二节	圆曲线测设	153
第三节	纵横断面图测量	157
第四节	道路施工测量	161
第五节	桥梁工程测量	165
第十一章	管线工程测量	
第一节	管线工程测量概述	169
第二节	管道中线测量	169
第三节	管道纵横断面图测绘	171
第四节	管道施工测量	175
第五节	管道竣工测量	179
第十二章	地籍测绘	
第一节	概述	181
第二节	地籍平面控制测量	181
第三节	地籍要素调查	182
第四节	地籍要素测量	183
第五节	地籍成果整理	187

第六节	地籍修测·····	190
第十三章	地质勘探工程测量	
第一节	勘探工程测量·····	191
第二节	地质剖面测量·····	195
第三节	地质填图测量·····	198
第十四章	矿山测量	
第一节	矿山测量概述·····	199
第二节	井下控制测量·····	200
第三节	井下联系测量·····	205
第四节	巷道施工测量·····	215
第五节	矿图·····	222
	参考文献	

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务和作用

测量学是采集、量测、处理、应用与地球和空间分布有关数据的一门科学。它的研究对象非常广泛,从地球的形状、大小及至地球以外的空间,到地面上局部的面积和点位等有关数据和信息。按照研究范围和对象的不同,测绘科学形成了许多分支学科:

一、大地测量学

大地测量又可分为卫星大地测量、空间大地测量、几何大地测量(空间大地测量与几何大地测量又称为天文大地测量)、重力大地测量、海洋大地测量等。大地测量主要研究地球的形状与大小(精化水准面);地球的整体运动(地球的自转和极移等);地球的局部运动(板块运动和区域性地壳形变等)。

大地测量为地球动态变化状态以及动力学机制提供理论研究依据;为研究海平面变化、保护人类生存环境,为地震中长期预报提供依据和信息;为经济建设提供控制;为科学研究、航空、航天、航海提供定轨、定位;为国防建设,提高战略、战术武器的命中精度提供制导手段等等。

二、摄影测量与遥感

摄影测量与遥感又可分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面立体摄影测量、遥感测量。

摄影测量可以快速获取地球表面上地貌地物的影像。在当代通讯技术、计算机技术支持下,可以实时地获取各种纸质和数字地图。利用遥感技术(电磁波、光波、热辐射等)可以快速获取地球表面、地球内部、环境景象、天体等等传感目标的信息特征信号,应用于农业调查、土壤性质分析、植被分布、地下资源、气象、环境污染等调查以及自然灾害预测等。

三、地形测量学

地形测量学主要研究地球表面局部地区的测绘问题。由于全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、当代遥感技术(RS)即 3S 技术为代表的测绘新技术的迅猛发展,地形测量学的产品已经开始由传统的纸质地图快速向 4D(数字高程模型 Digital Elevation Model 简称 DEM;数字正射影像图 Digital Orthophoto Map 简称 DOM;数字栅格地图 Digital Raster Graphic 简称 DRC;数字线划地图 Digital Line Graphic 简称 DLG)产品过渡。4D 产品在网络的支持下,将成为国家空间数据基础设施(NSDI)的基础,给相关的研究工作以及国民经济各行业、各部门应用地理信息带来巨大的方便。

四、工程测量学

工程测量学主要研究有关城市建设、矿山工厂、水利水电、农林牧业、道路交通、地质矿产等领域的勘测设计、建设施工、竣工验收、生产经营、变形监测等方面的测绘工作。工程测量学的特点是应用基本测量理论、技术、仪器设备,针对不同工程的特点,研究其具有特殊性的施工测绘方法。

此外,测绘科学还包括有海洋测量学,地图制图学等等。

测绘科学的地位非常重要。在 21 世纪的信息时代,国家信息基础设施(National Infor-

mation Infrastructure 简称 NI)即“国家信息高速公路”必须由国家空间数据基础设施(National Spatial Data Infrastructure 简称 NSDI)作为基础,未来的“数字地球”(Digital Earth)也必须以 NSDI 作为基础。现代测绘业正是 NSDI 的主干产业,它提供的地理信息数据产品、技术产品和地理信息工程将作为 NSDI 的基础框架,因而现代测绘业越来越多地被称为地球信息(Geomatics)产业。

测绘科学在国家各级政府部门的管理和决策、国民经济的发展规划、科学研究、各项工农业基本建设、国防建设中都有着极广泛的应用。例如:我国国务院常务会议就使用了电子地图系统——国务院国情地理信息系统。又例如:对于各种工程建设,在勘测设计阶段,要求有相应比例尺的地形图,供规划、选址、管道及交通路线选线以及总平面图设计和竖向设计之用。在施工阶段,要将设计的建筑物、构筑物的平面位置和高程测设于实地,指导施工。施工结束后,还要进行竣工测量,绘制竣工图,供日后扩建和维修之用。对某些大型及重要的建筑物和构筑物还要进行变形观测,以保证其安全运营和使用。

对于一般工程建设而言,测量学的基本工作内容包括两个部分:测定和测设。测定是通过使用专用仪器设备、采用一定的技术方法,将地貌地物转化成一系列的数据,经过处理后成为各种纸质地图或数字地图。测设则是测定的反过程,即把图上的规划或设计例如构筑物的位置、图形在地面上标定出来,作为建设施工的依据。

本教材供非测绘专业的学生学习之用。通过对本课程的学习,要求学生对测绘学的基本知识、基础理论有一定的了解,并初步掌握工程水准仪、经纬仪等常规工程测绘仪器的基本操作方法和基本内业计算工作,以便在各自的专业中具有正确应用有关测绘信息与资料的能力,更好地为其专业工作服务。

第二节 地球的形状与大小

地球的形状,是指地球表面的几何形状。地球的自然表面极为复杂,有高山、丘陵、盆地、

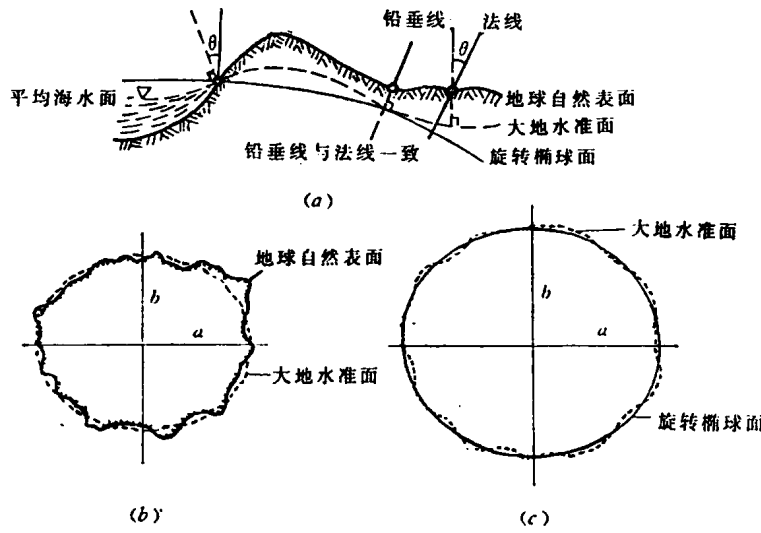


图 1-1 地球自然表面、大地水准面和旋转椭球面

平原和海洋,所以人们把平均海水面及其延伸到大陆内部所形成的大地水准面(图 1-1(a)、(b))用来代表地球的形状。这是因为大地水准面同地球表面的形状非常接近。大地水准面是一个处处与重力方向垂直的封闭曲面。重力的方向线又称铅垂线,是测量工作的基准线,而大地水准面则是测量工作的一个基准面。

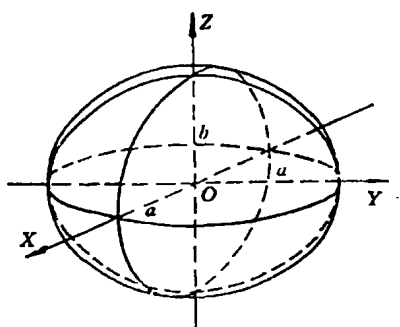


图 1-2 旋转椭球

由于地球内部质量分布不均匀,引起铅垂线方向的变化,致使大地水准面成为一个复杂的曲面,人们无法在这个曲面上直接进行测绘和数据处理。但从力学角度看,地球是一个旋转的均质流体,其平衡状态是一个旋转椭球体。于是人们进一步利用一个合适的旋转椭球面来逼近大地水准面(图 1-1(c))。

旋转椭球面是一个数学表面。在直角坐标系 $O-XYZ$ 中(图 1-2),若椭圆长半轴为 a ,短半轴为 b ,则旋转椭球面标准方程为:

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1 \quad (1-1)$$

地球的形状非常接近于一个旋转椭球,其长半轴 a 为 6378136m,扁率 α 为 $1:298.257$ 。其中

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-2)$$

在一般情况下,地面点上的铅垂线同旋转椭球面正交的法线是不平行的,两者之间的夹角称为垂线偏差,以 θ 表示,其值一般在 $10''$ 之内(图 1-1(a))。

由于地球椭球的扁率很小,当测区面积不大时,可以把地球当作圆球来看待,其平均半径为 6371km。

第三节 地面点位的确定

测量工作的根本任务是确定地面点的位置。确定地面点的空间位置,通常是求出该点的球面位置或投影在水平面上的平面位置,以及求出该点到大地水准面的铅垂距离(称为高程或标高),也就是确定地面点的坐标和高程。

一、地面点的坐标

地面点的坐标,根据实际情况,可选用下列三种坐标系统中的一种来确定。

1. 地理坐标

地面点在球面上的位置是用经纬度表示的,称为地理坐标。地理坐标又按坐标所依据的基本线和基本面的不同以及求坐标方法的不同,可分为天文坐标和大地坐标两种。

(1) 天文坐标

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

地球的自转轴 NS 称为地轴。垂直于地轴的平面与球面的交线称为纬线,垂直于地轴的平面并通过球心 O 与球面相交的纬线称为赤道,经过 F 点的铅垂线和赤道平面的夹角,称

为 F 点的纬度,常以 φ 表示。由于地球是椭球体,所以地面点的铅垂线不一定经过地球中心。纬度从赤道向北或向南自 0° 至 90° ,分别称为北纬或南纬。

(2) 大地坐标

大地坐标又称大地地理坐标,是表示地面点在旋转椭球面上的位置,用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。 F 点的大地经度 L ,就是包含 F 点的子午面和首子午面所夹的两面角; F 点的大地纬度 B ,就是过 F 点的法线(与旋转椭球面垂直的线)与赤道面的交角。

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大地测量数据由椭球定位的数学关系推算而得。不同的椭球和定位方法得到不同的坐标系。目前我国同时使用着“1954 年北京坐标系”和“1980 年国家大地坐标系”。

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本面和基本线不同,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,而产生垂线偏差 θ (图 1-1(a))。

2. 高斯平面直角坐标

大地坐标只能用来确定地面点在旋转椭球面上的位置,不能直接用来测图。测量上的计算,最好在平面上进行。大家知道,旋转椭球面是一个曲面,不能简单地展成平面,那末如何建立一个平面直角坐标系呢?我国采用高斯投影的方法。

高斯投影就是设想将截面为椭圆的一个圆柱面横套在旋转椭球外面(图 1-4(a)),并与旋转椭球面上某一条子午线(如 NOS)相切,同时使圆柱的轴位于赤道面内,并通过椭球中心,相切的子午线称为中央子午线。然后将中央子午线附近的旋转椭球面上的点、线投影到横圆柱面上,如将旋转椭球面上的 M 点,投影到横圆柱面上得 m 点,再顺着过极点的母线,将圆柱面剪开,展成平面如图 1-4(b)所示,这个平面称为高斯投影平面。

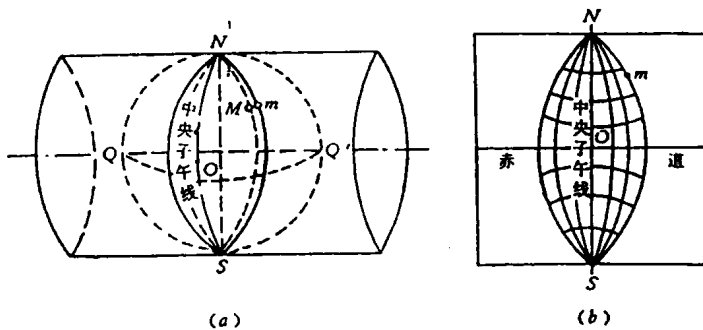


图 1-4 高斯投影

高斯投影平面上的中央子午线投影为直线且长度不变,其余的子午线均为凹向中央子午线的曲线,其长度大于投影前的长度,离中央子午线愈远长度变形愈大。为了将长度变形限制在测量精度允许的范围内,因此有投影带的划分,一般都采用 6° 分带法,即从格林尼治零子午线起每隔经差 6° 为一带,将旋转椭球面由西向东等分为六十带(图 1-5(a)), $0^\circ \sim 6^\circ$ 为

第一带。第一带的中央子午线的经度为 3° (图 1-5(b)), 任意带中央子午线经度 L_0 可按下式计算:

$$L_0 = 6n - 3$$

式中 n 为投影带的号数。每一投影带采用各自独立的高斯平面直角坐标系 (图 1-6(a))。

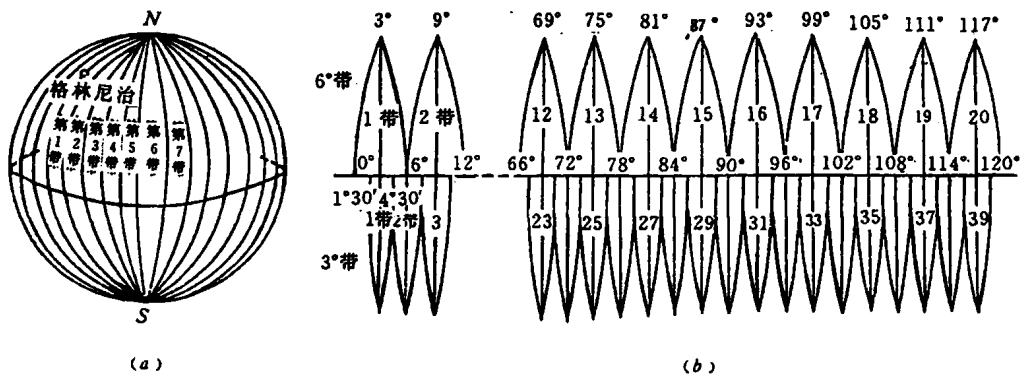


图 1-5 分带

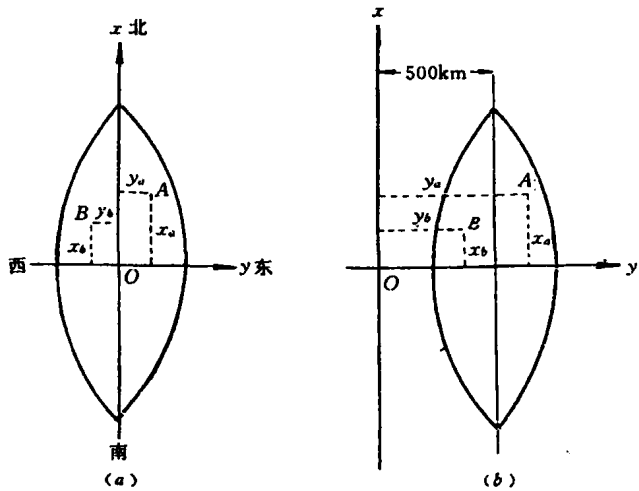


图 1-6 高斯平面直角坐标

实践证明, 6° 带投影后, 其边缘部分的变形能满足 $1:25000$ 或更小比例尺测图的精度。当进行 $1:10000$ 或更大比例尺测图时, 要求投影变形更小, 可用 3° 分带法 (图 1-5(b)) 或 1.5° 分带法。 3° 分带法是从东经 $1^\circ 30'$ 起, 每隔 3° 划分一带, 全球共划分为 120 带, 每带中央子午线经度 L_0 可按下式计算

$$L_0 = 3n$$

测量上以每一带的中央子午线的投影为直角坐标系的纵轴 x , 向上为正, 向下为负; 以赤道的投影为直角坐标系的横轴 y , 向东为正, 向西为负; 两轴交点 O 为坐标

原点, 由于我国领土全部位于赤道以北, 因此 x 值均为正值, 而 y 值则有正有负, 如图 1-6(a), $y_a = +148680.54\text{m}$, $y_b = -134240.69\text{m}$ 。为了避免出现负值, 将每带的坐标原点向西移 500km , 则每点的横坐标值均为正值, 如图 1-6(b), $y_a = 500000 + 148680.54 = 648680.54\text{m}$, $y_b = 500000 - 134240.69 = 365759.31\text{m}$ 。

为了根据横坐标值能确定某点位于哪一个 6° 带内, 则在横坐标值前冠以带的编号。例如 A 点位于第 20 带内, 则其横坐标值 y_a 为 20648680.54m 。

3. 独立平面直角坐标

当测量的区域较小时, 可以把该测区的球面当作平面看待, 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 1-7)来表示它的投影位置。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函数和解析几何的公式直接应用到测量计算,可不作任何改变。如地面上某点 A 的位置可用该点到横、纵坐标轴的垂直距离 x_A 和 y_A 来表示。

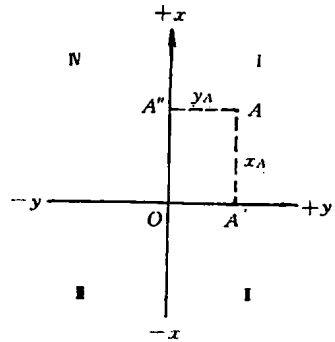


图 1-7 独立平面直角坐标

二、地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为绝对高程,又称海拔。如图 1-8 中的 A 、 B 两点的绝对高程为 H_A 、 H_B 。海水面由于受潮汐、风浪等影响,是个动态的曲面,它的高低时刻都在变化,通常是在海边设立验潮站,进行长期观测,取海水面的平均高度作为高程零点。通过该零点的大地水准面称为高程基准面(即高程起算面)。建国后,我国曾采用从青岛验潮站求得的黄海平均海水面作为高程基准面,称为“1956 年黄海高程系”,并在青岛市观象山上建立水准原点,其高程为 72.289m。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。依此推算的青岛国家水准原点高程为 72.260m。为了统一全国的高程系统,全国都应以新的原点高程为准。

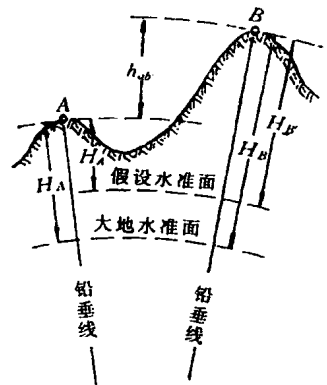


图 1-8 高程和高差

在局部地区,也可以假设一个水准面作为高程起算面。地面点到假设水准面的铅垂距离,称为假设高程或相对高程。 A 、 B 点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。

地面两点高程之差称为高差,以 h 表示,如图 1-8 中 A 、 B 两点的高差为

$$h_{ab} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-3)$$

三、水平面代替水准面的限度

对于众多的工程来说,图纸是平面的,而且要求平面图上地貌、地物是实地地貌、地物按比例缩小的相似形。然而水准面是不可展开的曲面,如果一定要将水准面展开成平面,则会发生变形。

下面分别讨论不考虑地球曲率,直接用水平面代替水准面时这种变形对平面距离和高程的影响,以便确定在允许的精度内(变形产生的误差可以忽略不计)以水平面代替水准面的限度。

1. 对距离的影响

如图 1-9,设球面 P 与水平面 P' 在 A 点相切, A 、 B 两点在球面上的弧长为 D ,在水平面上的距离为 D' ,则

$$D = R \cdot \beta \quad D' = R \cdot \tan \beta$$

以水平长度 D' 代替球面上弧长 D 所产生的误差为

$$\Delta D = D' - D = R \tan \beta - R \beta = R(\tan \beta - \beta)$$

将 $\tan \beta$ 按级数展开,并略去高次项,得

$$\tan \beta = \beta + \frac{1}{3} \beta^3 + \dots$$

因而

$$\Delta D = R \left[\left(\beta + \frac{1}{3} \beta^3 + \dots \right) - \beta \right] = R \cdot \frac{\beta^3}{3}$$

以 $\beta = \frac{D}{R}$ 代入上式,得

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

或

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

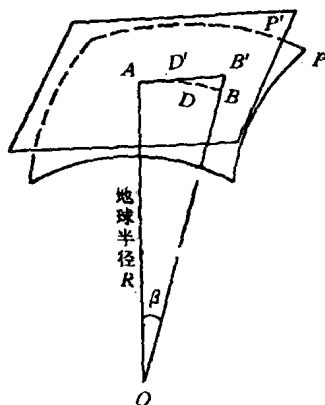


图 1-9 水平面代替水准面的影响

取 $R = 6371 \text{ km}$, 并以不同的 D 值代入上式, 则可得出距离误差 ΔD 和相对误差 $\Delta D/D$, 如表 1-1 所示。

由表 1-1 可知, 当距离为 10 km 时, 以平面代替曲面所产生的距离相对误差为 $1 : 125$ 万, 这样小的误差, 就是在地面上进行最精密的距离测量也是容许的。因此, 在半径为 10 km 的范围内, 即面积约 320 km^2 内, 以水平面代替水准面所产生的距离误差可忽略不计。当精度要求较低时, 还可以将测量范围的半径扩大到 25 km , 即面积约为 2000 km^2 。

表 1-1 水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{cm})$	相对误差 $\Delta D/D$
10	0.8	$1 : 1250000$
25	12.8	$1 : 200000$
50	102.6	$1 : 49000$
100	821.2	$1 : 12000$

2. 对高程的影响

在图 1-9 中, A, B 两点在同一水准面上, 其高程应相等。 B 点投影到水平面上得 B' 点, 则 BB' 即为水平面代替水准面所产生的高程误差, 或称为地球曲率的影响。

设 $BB' = \Delta h$, 则

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2$$

$$2R\Delta h + \Delta h^2 = D'^2$$

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

上式中, 用 D 代替 D' , 同时 Δh 与 $2R$ 相比可略而不计, 则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-6)$$

以不同的距离 D 代入上式,则得相应的高程误差值,如表 1-2 所示。

表 1-2 水平面代替水准面的高程误差

$D(\text{km})$	0.1	0.5	1	2	3	4	5	10
$\Delta h(\text{cm})$	0.08	2	8	31	71	125	196	785

由表 1-2 可知,以水平面代替水准面,在 1km 的距离内高差误差就有 8cm。因此,当进行高程测量时,即使距离很短也必须顾及地球曲率的影响。