



全国高等农林院校“十一五”规划教材

2005 年全国高等农业院校优秀教材

测量学

第三版

王耀强 葛岱峰 主编



中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材
2005年全国高等农业院校优秀教材

测 量 学

第三版

王耀强 葛岱峰 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学/王耀强, 葛岱峰主编. —3 版, —北京:
中国农业出版社, 2010. 4
全国高等农林院校“十一五”规划教材, 2005 年全国
高等农业院校优秀教材
ISBN 978-7-109-14436-1

I. ①测… II. ①王…②葛… III. ①测量学—高等
学校—教材 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 039520 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100125)
责任编辑 王芳芳 马颀晨

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2000 年 11 月第 1 版 2010 年 4 月第 3 版
2010 年 4 月第 3 版北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 19

(凡本版

出版社发行部调换)

第三版前言

近年来,随着测绘新技术的迅速发展和应用,《测量学》(第二版)教材中某些内容逐步更新,甚至被淘汰。为了紧跟测绘新技术的发展,适应生产实践的需要,编者在《测量学》(第二版)教材的基础上,总结多年教学与生产实践的经验,对内容作了大幅度的更新和调整:删除了原来的钢尺精密量距、小三角测量、大平板仪测图、计算程序及算例等内容,增加了静态 GPS 原理及应用,全站仪、RTK 数字化测图方法,地籍测量等内容。由于遥感技术已发展成为一门独立的学科,本教材删除了遥感应用的基本知识的内容。考虑到篇幅的平衡,将平面控制测量和高程控制测量合并为一章。力求做到内容全面、有机衔接、条理清晰、方便自学。

本教材由内蒙古农业大学王耀强、葛岱峰主编,参加编写的人员有王耀强、葛岱峰、常同元、刘全明、李瑞平、李洪玉、黄大春、马腾,由王耀强教授主审。

由于编者理论水平和实践经验所限,不妥之处在所难免,敬请读者提出宝贵意见。

编者

2010年2月

第二版前言

为了满足测量学的教学改革和适应测绘技术不断发展的需要，本教材在第一版内容的基础上，根据教学与生产实践的实际需要，本着既反映测绘学科的基础内容、实用技术，又引进先进科学知识的原则，对原版教材中部分陈旧内容进行了删除，及时补充了新型电子仪器的介绍，并增加了附录部分，提供了用高级语言编译的常用控制测量计算程序，旨在培养学生运用计算机知识处理测量数据的能力。在编写过程中，对教材进行了内容、体系、特色的反复斟酌和大胆革新。

本教材由内蒙古农业大学王耀强教授主编，参加编写的人员有王耀强、段科德、葛岱峰、常同元、刘全明、黄大春。

由于时间所限，书中有不妥之处，恳请读者不吝赐教。

编者

2003年11月

第一版前言

教材是教学思想、教学体系、教学内容的集中体现，是教学工作的依据。只有具备科学的、反映时代进步的教科书，教学工作才能达到预期的效果。以空间定位技术、地理信息技术、航空航天遥感技术、数字摄影测量技术、专家系统为特征的“5S”技术以及3S集成技术，使测绘科学技术跨进了电子信息时代，向自动化、智能化方向发展。为能满足较全面地体现测量学的本质及基本内容，反映最新科技成果的要求，适应新教学计划、教学大纲的要求，更紧密结合实际，特编著本书，以满足当前的教学需要。

本教材把测量作为一门技术，内容力求丰富、完整、系统，既反映学科最新发展，又顾及生产实际需要。其内容大致分为7个部分：测量学基本理论知识；数据采集手段；测量误差基础知识；以测定和测设为主要内容，包括控制测量、工程中常见的测设内容；地形图及数字化地形图测绘；工程测量；航测与遥感基础知识及应用。在编写过程中，进行了理论性、学术性、知识性、实用性的大胆尝试。

本教材由内蒙古农业大学王耀强主编，参加编写的同志有王耀强、林仁才、葛岱峰、段科德、常同元、刘全明、姚连胜、陈步尚、宇文威胜。

本教材由林仁才主审。

由于编者水平所限，差错在所难免，敬希读者批评指正。

编者

2000年8月

目 录

第三版前言
第二版前言
第一版前言

第一章 绪论	1
第一节 测量学的任务及其在工程建设中的作用	1
第二节 地面点位的确定	2
第三节 水准面的曲率对观测量的影响	7
第四节 平面图、地形图、地图、断面图	9
第五节 比例尺	10
第六节 测量工作的基本内容和原则	12
复习题一	13
第二章 水准测量	15
第一节 水准测量原理	15
第二节 水准仪和水准尺	16
第三节 水准仪的使用	21
第四节 水准测量的实施	22
第五节 水准测量的校核及高程计算	24
第六节 水准仪的检验与校正	26
第七节 水准测量的误差及注意事项	30
复习题二	32
第三章 角度测量	34
第一节 角度测量原理	34
第二节 经纬仪	35
第三节 水平角测量	42
第四节 竖直角测量	48
第五节 6''级光学经纬仪的检验与校正	52
第六节 水平角度测量中产生误差的原因及消减方法	58
复习题三	62

第四章 距离测量与直线定向	64
第一节 距离丈量	64
第二节 视距测量	69
第三节 全站仪及其使用	73
第四节 直线定向	80
第五节 距离、方位角与坐标之间的关系	85
复习题四	87
第五章 测量误差的基本知识	88
第一节 测量误差的分类	88
第二节 评定精度的指标	90
第三节 误差传播定律	92
第四节 算术平均值及其中误差	96
第五节 同精度观测值的中误差	98
第六节 不同精度观测	100
第七节 测量精度分析举例	103
复习题五	106
第六章 控制测量	107
第一节 概述	107
第二节 导线测量	109
第三节 大地四边形	119
第四节 交会定点	121
第五节 GPS 定位技术	123
第六节 连续运行参考站系统简介	132
第七节 高程控制测量	134
复习题六	141
第七章 地形图测绘的基本方法	143
第一节 地形图上地物和地貌的表示方法	143
第二节 测图前的准备工作	152
第三节 碎部点位的测定方法	156
第四节 经纬仪测图法	158
第五节 地形图的拼接、检查、整饰和复制	162
复习题七	164
第八章 数字化测图	165
第一节 野外数据采集	165

第二节 成图软件	167
第三节 数据传输	168
第四节 地物编绘	170
第五节 地貌编绘	183
第六节 地形图分幅	186
第七节 地形图输出	188
复习题八	191
第九章 地形图的应用	192
第一节 概述	192
第二节 地形图分幅与编号	192
第三节 地形图的阅读	199
第四节 地形图应用的基本内容	202
第五节 地形图在规划设计中的应用	203
第六节 面积量算	207
第七节 数字化测图软件 CASS6.1 在工程中的应用	209
第八节 地理信息系统 (GIS) 简介	218
复习题九	220
第十章 地籍测量	222
第一节 地籍测量概述	222
第二节 地籍调查	222
第三节 地籍测量	230
复习题十	232
第十一章 工程测量	233
第一节 施工测量概述	233
第二节 施工测量的基本放样方法	234
第三节 平面曲线放样	241
第四节 公路测量	251
第五节 渠道测量	262
第六节 管道工程测量	263
第七节 建筑工程测量	271
第八节 水工建筑物——坝的放样	286
第九节 场地平整测量	287
主要参考文献	291

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务及其在工程建设中的作用

测量学是研究地球的形状、大小和地表的几何形状以及研究如何确定地面点的空间位置的科学。包括：普通测量学、大地测量学、摄影测量学、工程测量学、海道测量学和地图制图学等学科。

普通测量学 研究地球自然表面小区域内测绘工作的学科。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、高程测量、定向测量、观测数据的处理和绘图等。

大地测量学 研究在广大地面上建立国家大地控制网，研究地球形状、大小和地球重力场的理论和技术的学科。由于人造地球卫星的发射及空间技术的发展，大地测量学又分为常规大地测量和卫星大地测量两部分。

摄影测量学 通过对摄影像片进行处理、量测、判释和研究，以获得物体的形状、大小和位置的学科。因获得像片的方法不同，分为地面摄影测量、航空摄影测量和航天摄影测量。地面摄影测量是利用安置在地面上基线两端点处的摄影机所拍摄的立体像对来进行测绘的技术。航空摄影测量是根据航空飞行器拍摄的像片获取地面信息，测绘地形图的技术。航天摄影测量是航空摄影测量的扩充和发展。

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的各种测量工作的学科。主要内容有：工程控制网的建立、地形测绘、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形观测和维修养护测量的理论、技术与方法。

海道测量学 研究和测量地球表面水体及水下地貌的一门综合性学科。主要研究内容为上述范围内的控制测量、地形岸线测量、水深测量等各种测量工作的理论、技术和方法。

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。其任务是编绘与生产不同比例尺的地形图、地图和各类专题图。

测量学应用的范围比较广，测量工作常被人们称为建设的尖兵工作，这是由于不论是国民经济建设、科学研究，还是文化教育和国防建设，都十分需要测绘工作。在国民经济建设中，资源的调查勘探、能源开发、农田基本建设、城乡规划与建设、交通运输等方面无不有赖于测绘工作。随着科学技术的日益发展，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、土地资源利用的监测与管理、农作物估产、气象预报、地壳升降以及海陆变迁等方面，更需要测绘科学的配合。因此，测绘工作在我国国民经济建设、科学研究、国防建设和各种工程建设中正发挥着巨大的作用。

测绘学科的发展和测量学的广泛应用离不开测绘仪器的发明。17世纪，发明了望远镜、经纬仪、水准仪和平板仪，使控制测量和地形测量技术日趋成熟。19世纪，摄影技术问世。20世纪初，制造出航空摄影机，并将摄影像片在立体测图仪上绘制出地形图，创立了航空

摄影测量技术。20世纪50年代以来,测绘仪器向着电子化和自动化方向发展。1948年,发明了电磁波测距仪,可以精确测定几十千米的距离。由于电子计算机的飞速发展,产生了用电子设备和计算机控制的测绘仪器,如电子经纬仪、全站仪、电子水准仪等,为测量工作向现代化方向发展创造了良好的条件。1957年第一颗人造地球卫星发射成功,使空间定位技术得到迅速的发展和完善,同时也为测量提供了崭新的技术手段。此后,由美国卫星支持的全球定位系统(GPS)和遥感(RS)技术在测绘学科得到广泛应用,并形成“空间大地测量”和“摄影测量与遥感”的分支学科。

目前,现代测量学正在努力实现“3S”技术的结合,即GIS(地理信息系统)、GPS(全球定位系统)、RS(遥感)的结合与集成。以3S技术为代表的新技术打破了以大地、航测、制图划分的传统测绘的界限,具有范围大、速度快、精度高、全天候等特点,适应了资源与环境调查、监测和自然灾害预测等内容的要求,成为人类解决全球和区域性环境与发展问题的重要手段。

第二节 地面点位的确定

地球表面上布满山川、河流、农田与森林、城镇与乡村、工矿、铁路、公路等。测量学上把地球表面上的固定物体称为地物,如居民地、建筑物、道路、河流、森林等;把地球表面的各种起伏形态称为地貌,如山地、平原、丘陵等。地物和地貌统称为地形。测量学的任务之一就是要将地形测绘于图纸上。无论地形多么复杂,其构成的基本要素都是地形特征点。地物轮廓的转折点称为地物特征点;地面坡度变化的转折点称为地貌特征点。测绘地物与地貌,必须通过测定这些特征点的相对位置来实现。例如,要测绘一座长方形房屋的平面位置,只要测绘四个房基角点,按一定的比例尺展绘到图纸上,就确定了房屋的平面位置。因此,测量工作的基本问题就是测定地面点的位置。地面一点在空间的位置必须由三个量来确定。在测量工作中,这三个量通常用该点在基准面(参考椭球面)上的投影位置和该点沿投影方向到基准面(一般用大地水准面)的距离表示。

一、地球的形状和大小

测量工作是在地球自然表面上进行的。而地球自然表面是不规则的。地球上最高的山峰是我国境内的珠穆朗玛峰,其高程为8844.43m,最低处在太平洋西部的马里亚纳海沟,其深达10924m。但这样的高低起伏相对于半径为6371km的庞大地球体积来说是可以忽略不计的,故仍把地球看作球体。由于地球表面上的海洋面积约占71%,陆地面积约占29%,人们设想有一个静止的海水面,向陆地内部延伸而形成一个封闭的曲面,这个静止的海水面称为水准面。海水有潮汐变化,时高时低,所以水准面有无数个,把通过平均海水面的一个称为大地水准面,它包围的形体称为大地体,如图1-1所示。

水准面的特性是处处与铅垂线垂直。地球不停地自转,地球上每一点受离心力作用;地球本身有巨大的质量,对地球上每一点又有一吸引力。所以,地球上每一点都受着离心力与地球吸引力的作用,其合力为重力。如图1-2所示,重力的作用线OG又称铅垂线,铅垂线的方向取决于地球的吸引力,吸引力的大小与地球内部的质量有关,而地球内部的质量分

布又不均匀,引起地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化,因而,大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面。如果把地球表面的形状投影到这个不规则的曲面上,将无法进行测量的计算工作。因而,计算工作必须在一个能用数学式子表示的规则曲面上进行。测量上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。椭球体的形状、大小与大地体很接近,通常用这个椭球面作为测量计算的基准面,并在这个曲面上建立大地坐标系。

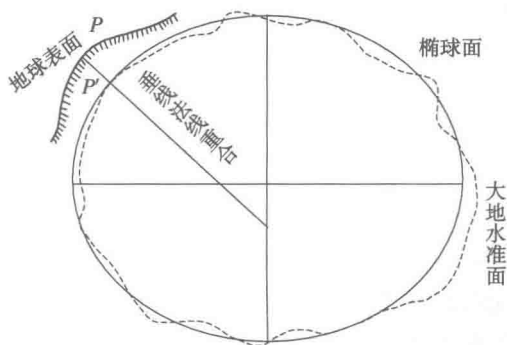


图 1-1 大地水准面示意图

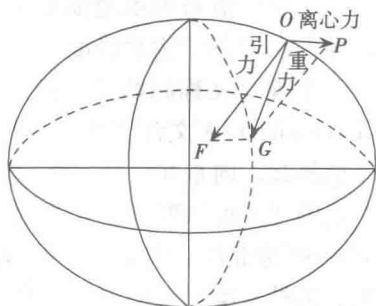


图 1-2 地球上一点的受力分析

现在根据卫星观测证实,地球南北两极是不对称的,其形状近似梨形。椭球体的基本元素是:长半轴 a , 短半轴 b 和扁率 α 。其中,扁率可表示为

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

几个世纪以来,许多学者曾分别测算出椭球元素值,详见表 1-1。

表 1-1 国际主要椭球参数表

椭球名称	年代与国家	长半轴 a/m	短半轴 b/m	扁率 α
德兰勃尔 (Delambre)	1800 法国	6 375 653	6 356 564	1 : 334.0
贝塞耳 (Bessel)	1841 德国	6 377 397	6 356 079	1 : 299.152
克拉克 (Clarke)	1880 英国	6 378 249	6 356 514	1 : 293.459
海福特 (Hayford)	1942 年国际第一个推荐值 (1910)	6 378 388	6 356 912	1 : 297.0
克拉索夫斯基	1940 苏联	6 378 245	6 356 863	1 : 298.3
1980 年大地测量参考系统	1975 IUGG	6 378 137	6 356 752.314 1	1 : 298.257 2

目前,我国正利用人造卫星的观测成果和全国大地测量资料,计算适合我国实际的参考椭球体元素。

地球的形状确定后,还应进一步确定大地水准面与椭球面的相对关系,才能将观测成果换算到椭球面上。如图 1-3 所示,在适当地点选择一个点 P ,设想把椭球体和大地体相切,切点 P' 位于 P 点的铅垂线方向上,这时,椭球面上 P' 点的法线与该点对大地水准面的铅垂线相重合,椭球体的形状和大小与大地体很接近。确定椭球体与大地体之间的关系并将其固定下来,这项工作称为参考椭球体的定位。

由于参考椭球体的扁率很小,在普通测量中,可把地球作为圆球看待,其半径取为

$$R = \frac{1}{3} (a+a+b) \approx 6371\text{km} \quad (1-2)$$

二、确定地面点位的坐标系和高程系

(一) 大地坐标系

大地坐标系又称“地理坐标系”，是以地球椭球面作为基准面，以首子午面和赤道平面作为参考面，用经度和纬度两个坐标值来表示地面点的球面位置。如图 1-4 所示，地面点 P 的“大地经度” (L) 为通过 P 点的子午面与首子午面 [又称起始子午面，指通过英国的格林尼治 (Greenwich) 天文台原址的子午面] 之间的夹角，由首子午面算起，向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为东经，向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为西经； P 点的“大地纬度” (B) 为通过 P 点的椭球面法线与赤道平面的夹角，由赤道面算起，向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为北纬，向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为南纬。大地经纬度 L 、 B 是地面点在地球椭球面上的二维坐标，另外一维为点的“大地高” (H)。沿地面点的椭球面法线计算，点位在椭球面之上， H 为正，点位在椭球面之下， H 为负。大地坐标 L 、 B 、 H 可用于确定地面点在大地坐标系中的空间位置。

如果地面点的经纬度是用天文测量方法测定的，则分别称为“天文经度” (λ) 和“天文纬度” (φ)。

(二) 空间三维直角坐标系

空间三维直角坐标系又称“地心坐标系”，是以地球椭球的中心 (即地球体的质心) O 为原点，起始子午面与赤道面的交线为 X 轴，赤道面内通过原点与 X 轴垂直的轴为 Y 轴，地球椭球的旋转轴为 Z 轴的坐标系，如图 1-5 所示。地面点 A 的空间位置用三维直角坐标 (X_A , Y_A , Z_A) 表示。 A 点可以在椭球面之上，也可以在椭球面之下。

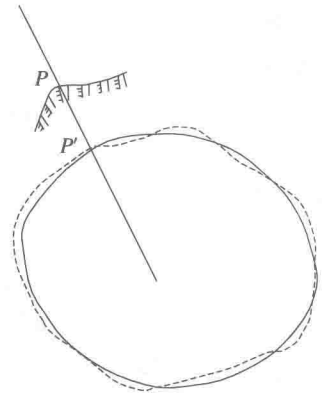


图 1-3

注：在 P' 点处，椭球体与大地体相切

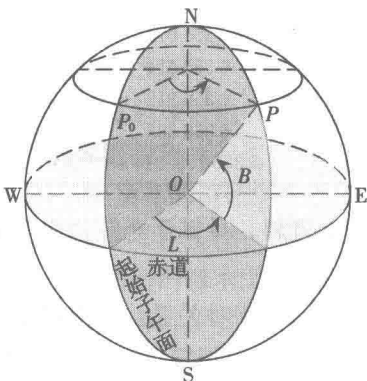


图 1-4 大地坐标系示意图

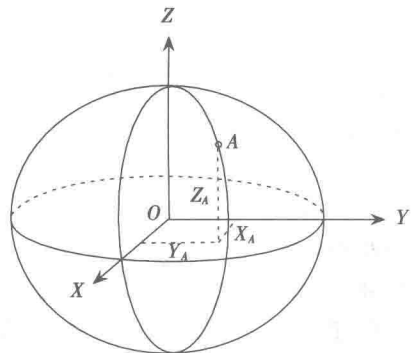


图 1-5 空间三维直角坐标系示意图

(三) 高斯-克吕格平面直角坐标系

大地坐标系和三维直角坐标系一般适用于少数高级控制点的定位，或作为点位的初始观

测值，而对于地形图测绘和工程测量中大量地面点位的确定来说，是不直观和不方便的。这就需要采用地图投影的方法，将空间坐标变换为球面坐标，或将球面坐标变换为平面坐标，或直接在平面坐标系中进行测量。由椭球面变换为平面的地图投影方法一般采用“高斯-克吕格投影”（简称“高斯投影”），所建立的平面直角坐标系称为“高斯平面直角坐标系”。

高斯投影的方法首先是将地球按经线划分成带，称为投影带。投影带是从首子午线（经度为 0° ）起，每隔经度 6° 划为一带，称为 6° 带，如图1-6所示，自西向东将整个地球划分为60个带，带号从首子午线开始，用阿拉伯数字表示，这样的全球分带方法称为统一投影带。位于各带中央的子午线称为该带的“中央子午线”（或称主子午线），如图1-6所示，第一个 6° 带的中央子午线经度为 3° ，任意一个 6° 带中央子午线的经度 λ_0 可按式(1-3)计算：

$$\lambda_0 = 6N - 3 \quad (1-3)$$

式中， N 为投影带号。

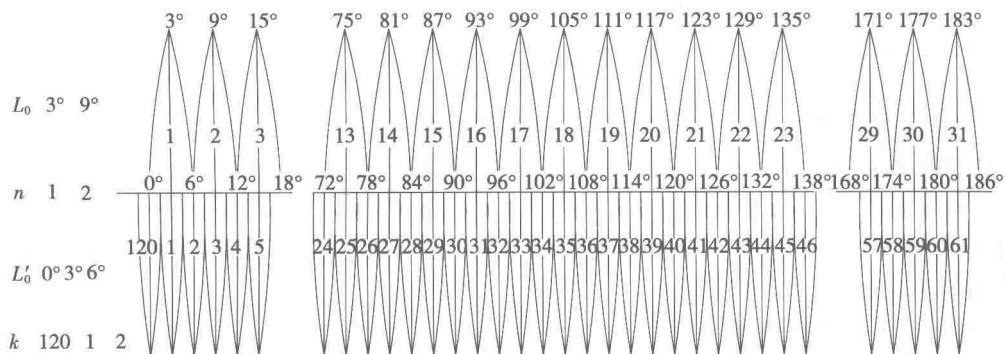


图 1-6 投影带的划分

高斯投影的基本原理是：设想取一个椭圆柱面与地球椭球的某一中央子午线相切，如图1-7(a)所示，在椭球面图形与柱面图形保持等角的条件下（称为“正形投影”），将球面图形投影在椭圆柱面上，然后将椭圆柱面沿着通过南、北极的母线切开，展开成平面。在这个平面上，中央子午线与赤道成为相互垂直相交的直线，将其分别作为高斯平面直角坐标系的纵轴（ X 轴）和横轴（ Y 轴），将赤道上两轴的交点 O 作为坐标的原点。在该坐标系内，规定 X 轴向北为正， Y 轴向东为正。位于北半球的国家，境内的 X 坐标值恒为正值， Y 坐标值则有正有负。例如，图1-7(c)中， A 点和 B 点的横坐标为： $Y_A = +27\ 680\text{m}$ ， $Y_B = -34\ 240\text{m}$ 。为避免坐标出现负值，将每个投影带的坐标原点向西移 500km ，则投影带中任一点的横坐标值也恒为正值。例如，图1-7(d)中， $Y_A = 500\ 000 + 27\ 680 = 527\ 680\text{m}$ ， $Y_B = 500\ 000 - 34\ 240 = 465\ 760\text{m}$ 。为了能确定某点在哪一个 6° 带内，在横坐标值前冠以带的编号。例如，设 A 点位于第20带内，则其横坐标值为 $Y_A = 20\ 527\ 680\text{m}$ 。

在高斯投影中，虽然能使球面图形的角度和平面图形的角度保持不变，使二者具有相似性，但任意两点间的长度却会产生变形。投影在平面上的长度大于球面长度，其差值称为“投影长度变形”（ ΔS ）。相对长度变形 $\Delta S/S$ ，可以用下式计算：

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

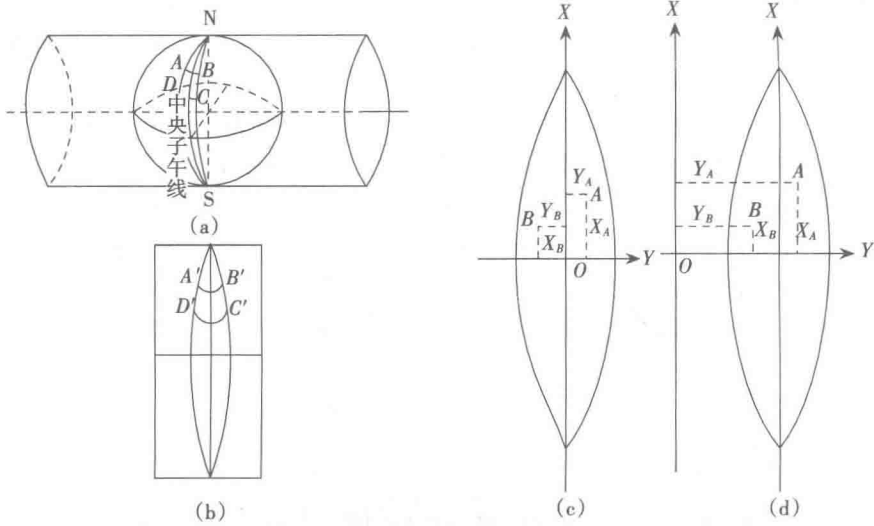


图 1-7 高斯投影基本原理示意图

式中， Y_m 为直线两端点横坐标的平均值， R 为地球半径。

由此可见，离中央子午线愈远，则长度变形愈大。变形过大，对于测图和用图都是不方便的。6°带投影后，其边缘部分的变形能满足 1 : 25 000 或更小比例尺测图的精度要求。当进行 1 : 10 000 或更大比例尺测图且测区离中央子午线较远时，要求投影长度变形更小，则可采用 3°带投影或 1.5°带投影。

(四) 地区平面直角坐标系

地区平面直角坐标系又称独立坐标系。由式 (1-4) 可知，高斯投影的相对长度变形与测区离中央子午线距离的平方成正比。达到一定距离，例如，相对长度变形达到 1/40 000，就不能满足城市和工程测量的精度要求。因此，城市的平面直角坐标系经常以城市中心地区某点的子午线作为中央子午线，将坐标原点也移到测区以内，据此进行高斯投影，称为“城市独立坐标系”（简称“城市坐标系”）。例如，上海地区并不位于统一的高斯投影 6°带或 3°带的中央子午线附近，地区边缘的投影长度变形超过城市和工程测量的精度要求；因此，以市中心区的国际饭店楼顶的旗杆中心作为城市坐标系的坐标原点，把整个市区分为 I、II、III、IV 四个象限，如图 1-8 所示，建立城市独立坐标系。但是，城市独立坐标系与全球统一投影带的高斯平面直角坐标系之间应有联测关系，使二者之间可以进行坐标换算。

当测量的范围很小时（例如数平方千米），可以把该测区地表的一小块球面当平面看待，对于地物的平面位置，可以不需考虑地图投影问题。将坐标原点选在测区西南角，使坐标均为正值，建立该地区的独立平面直角坐标系。例如，在房屋建筑或其他相对独立的工程建筑工地，为了设计和施工放样的方便，使所采用的平面坐标系轴线与建筑设计的主轴线相平行，并将其称为“建筑坐标系”。当然，这样的独立坐标系也需要与国家或城市统一的坐标系进行联测，使能进

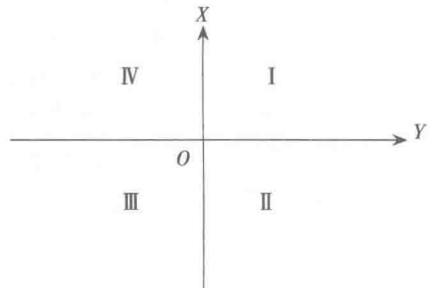


图 1-8 城市独立坐标系

行坐标换算。

(五) 高程系统

要确定地面点的点位，除了确定点在基准面上的投影位置，还应确定该点沿投影方向到基准面的距离。在一般测量工作中，都以大地水准面作为基准面，某点沿铅垂线方向到大地水准面的距离，通常称为绝对高程或海拔，简称高程。如图 1-9 所示， H_a 及 H_b 是绝对高程。某点距任意水准面的距离，称为相对高程，如图中 H'_a 及 H'_b 。我国的绝对高程以青岛港验潮站历年平均海面为准，将其作为高程的零点，即青岛原点，此高程系称黄海高程系。在青岛市观象山山洞内建立水准原点，其高程为 72.289 3m，并在全中国布设国家高程控制点。1986 年国家测绘部门根据验潮资料，对水准原点的高程作了修正，我国大地法式规定，从 1987 年 1 月 1 日起采用“1985 年国家高程基准”，水准原点的高程为 72.260 4m。

如果某项建设工程远离已知高程的国家控制点，也可临时假定某点高程，称为相对高程。将来如有需要，只需与国家高程控制点联测，再换算成绝对高程就可以了。在使用水准点的高程时，要注意新旧高程系统的转换，两系统相差 $-0.028 9\text{m}$ ，对一般地形图来说，可不用改动。工程测量单位采用“1985 年国家高程基准”时，应在说明书中写入换算公式，有条件时，宜将原高程系统换算成“1985 年国家高程基准”。

地面上两点间绝对高程或相对高程之差称为“高差”，用 h 表示，如图 1-9 所示，A、B 两点的高差为

$$h_{AB} = H_b - H_a = H'_b - H'_a$$

由此可见，对于高差而言，有正、负之分，但与水准面无关。

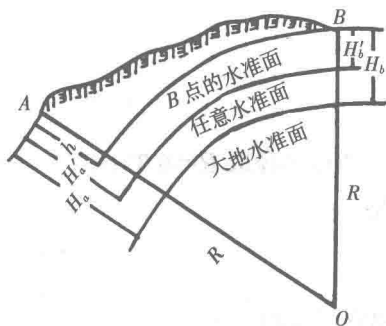


图 1-9 高程及高差

第三节 水准面的曲率对观测量的影响

前已说明，在普通测量工作中，是将大地水准面近似看作圆球面。若将地面投影到球面上，然后再投影到平面的图纸上，这是很复杂的。在实际测量工作中，在一定的测量精度要求和测区面积不大的情况下，往往以水平面代替水准面，将地面上的点投影到该水平面上来确定其位置。但是，在多大面积范围内能这样做必须加以讨论。

(一) 地球曲率对水平距离的影响

如图 1-10 所示，设 DAE 为水准面， \widehat{AB} 为其上一段圆弧，其长度设为 S ，所对圆心角为 θ ，地球平均曲率半径为 R 。自 A 点作切线 AC ，设长为 t ，如果用切于 A 点的水平面代替水准面，即以相应的切线段 AC 代替圆弧 \widehat{AB} ，则在距离方面将产生误差 ΔS ，由此

$$\Delta S = AC - \widehat{AB} = t - S$$

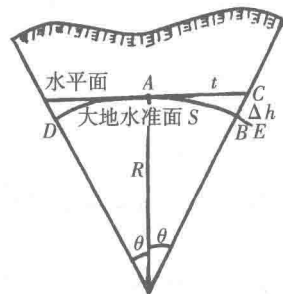


图 1-10

其中, $AC=t=R \cdot \tan \theta$, $\widehat{AB}=S=R \cdot \theta$ 。

根据三角函数的级数公式

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$$

则

$$\Delta S = R \left(\frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots \right)$$

因 θ 角值一般很小, 故可略去五次以上各项, 并将 $\theta = \frac{S}{R}$ 代入, 则得

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

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{3} \left(\frac{S}{R} \right)^2 \quad (1-6)$$

地球半径取 $R=6371\text{km}$ 时, 将大地水准面上不同距离 S 代入式 (1-5) 和式 (1-6), 可得

S/km	$\Delta S/ (10^{-5}\text{km})$	$\Delta S/S$
1	0.00	—
5	0.10	1/4 870 757
10	0.82	1/1 217 689
25	12.83	1/194 830
50	102.65	1/48 708

由上述计算可知, 当水平距离 $S=10\text{km}$ 时, 以水平面代替水准面所产生的距离误差为距离的 $1/1\,217\,689$, 现在最精密的距离测量的容许误差为其长度的 $1/10^6$ 。由此可见, 当在半径 $R \leq 10\text{km}$ 的圆面积内进行长度测量时, 可不考虑地球曲率的影响, 即可把水准面当作水平面看待。

(二) 地球曲率对水平角度的影响

由球面三角学知道, 同一个空间多边形在球面上投影的各内角之和较其在平面上投影的内角之和大一个球面角超值 ϵ 。其公式为

$$\epsilon = \rho'' \frac{P}{R^2} \quad (1-7)$$

式中, ρ'' 为以秒计的弧度 ($206\,265''$), P 为球面多边形面积, R 为地球半径。

在测量工作中实测的是球面面积, 绘制成图时则绘成平面图形的面积。将球面上不同面积代入式 (1-7), 求得多边形面积的球面角超值为

P/km^2	$\epsilon/ (")$
10	0.05
100	0.51
500	2.54

从以上计算可知, 在面积 $P \leq 100\text{km}^2$ 范围内进行水平角测量时, 可不考虑地球曲率的影响。

以上两项分析说明: 在面积为 100km^2 范围内, 不论是水平距离或水平角度测量, 都可以不顾及地球曲率的影响。在精度要求较低的情况下, 这个范围还可以相应扩大。