

新世纪高等职业教育规划教材

Dixing Celiang

地形测量

主编 吴贵才 张小勤 姬 婧 副主编 袁济祥 乔殿荣

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学出版社

新世纪高等职业教育规划教材

地形测量

主 编 吴贵才 张小勤 姬 婧

副 主 编 袁济祥 乔殿荣

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

全书共分九章,第一章至第四章阐述了测量学的基本知识和测量仪器的构造、测量原理、操作及使用方法;第五章介绍了测量误差的基本知识;第六章叙述了小区域图根控制测量(平面控制测量和高程控制测量)的施测与计算方法;第七章、第八章介绍了地形测绘的基本知识及地形图测绘方法;第九章介绍了地形图识读与应用的有关问题。

本书是高等职业技术学院测绘专业的基础教材,也可作为相关专业的职业大学、函授大学及自学者用书,同时亦能作为中等职业技术学院有关专业师生的教材及参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地形测量/吴贵才,张小勤,姬婧主编. — 徐州:中国矿业大学出版社,2005.11

ISBN 7 - 81107- 146 -0

I. 地… II. ①吴… ②张… ③姬… 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(2005)第 088682 号

书 名 地形测量

主 编 吴贵才 张小勤 姬 婧

责任编辑 潘俊成

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社

印 刷 徐州新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 13 字数 316 千字

版次印次 2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷

定 价 24.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

高等职业教育的主要任务是培养高技能人才。高等职业教育培养的学生既要能动脑,更要能动手,经过实践的锻炼,能够迅速成长为高技能人才。

编写与上述要求和当前科学技术相适应的新教材,是深化教育改革和提高教学质量的重要环节之一。

《地形测量》是根据高等职业技术教育的培养目标与教学计划编写的。本书在阐述测量学的基础理论的同时注意理论与实践相结合,增加了实践教学时数。并注意新技术、新仪器的应用,以提高使用者分析和解决实际问题的能力。其主要内容有测量学的基础知识、水准测量、角度测量、距离测量、测量误差理论、小区域图根控制测量、大比例尺地形图测绘及地形图应用等。

参加本书编写工作的有辽宁工程技术大学职业技术学院吴贵才(第一、九章),山西煤炭职业技术学院张小勤(第五、六、七章),河南平顶山工业职业技术学院姬婧(第三、四章),甘肃煤炭工业学校袁济祥(第二章),山西雁北煤炭工业学校乔殿荣(第八章)。全书由吴贵才统稿。

由于编写时间仓促,加之编者水平有限,所以书中疏漏和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2005年8月

目 录

第一章 测量学的基本知识.....	1
第一节 测量学概述.....	1
第二节 测量学的坐标系统.....	3
第三节 比例尺	10
第四节 直线定向	13
第五节 坐标计算原理	17
第六节 地形测量工作概述	19
思考题与习题	22
第二章 水准测量	23
第一节 水准测量原理	23
第二节 水准测量的仪器及工具	24
第三节 水准测量外业	27
第四节 水准测量内业	33
第五节 水准仪的检验与校正	37
第六节 水准测量误差及消减方法	40
第七节 精密水准仪和电子水准仪简介	41
思考题与习题	43
第三章 经纬仪及角度测量	46
第一节 角度测量原理	46
第二节 光学经纬仪	47
第三节 水平角观测	51
第四节 竖直角观测	55
第五节 DJ ₆ 级光学经纬仪的检验与校正	59
第六节 全站仪及其使用	63
第七节 角度观测误差来源及消减办法	68
思考题与习题	71
第四章 距离测量	72
第一节 钢尺量距	72
第二节 视距测量	80
第三节 电磁波测距简介	83
思考题与习题	85

第五章 测量误差的理论知识	87
第一节 测量误差及其分类	87
第二节 评定精度的标准	89
第三节 误差传播定律及应用	94
思考题与习题	102
第六章 图根控制测量	104
第一节 概述	104
第二节 导线测量外业	107
第三节 导线测量内业	109
第四节 图根三角锁(网)测量	116
第五节 交会法测量	124
第六节 高程控制测量	131
第七节 GPS 卫星定位测量简介	141
思考题与习题	145
第七章 地形测绘的基本知识	148
第一节 概述	148
第二节 地形图符号	152
第三节 地形图注记	163
思考题与习题	168
第八章 地形图测绘	169
第一节 地形测图前的准备工作	169
第二节 地形测图的方法	172
第三节 全站仪数字化测图	178
第四节 地形测图的一般要求	179
第五节 增设补充测站点的方法	181
第六节 地形图的拼接、整饰及检查验收	183
思考题与习题	186
第九章 地形图的识读及应用	187
第一节 地形图的识读	187
第二节 地形图应用的基本内容	188
第三节 根据地形图求面积	192
思考题与习题	201
参考文献	202

第一章 测量学的基本知识

第一节 测量学概述

一、概述

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。

1. 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以及动力学机制提供研究理论依据;为研究海平面变化、保护人类生存环境和地震中长期预报提供依据和信息;为经济建设提供控制依据;为科学研究、航空、航天、航海提供定轨、定位依据;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。

2. 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、遥感测量等。

摄影测量可以快速获取地球表面地貌地物的影像。在当代通讯技术和计算机技术的支持下,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。

3. 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)和遥感技术(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 DRG;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(National Spatial Data Infrastructure,简称 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。

4. 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,测绘科学还包括海洋测量学、地图制图学等。

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 Information Infrastructure,简称 NII)即“国家信息高速公路”必须由 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。

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。

二、地形测绘的任务及作用

地形测绘是研究地球局部表面形状和大小,并将其测绘成地形图的理论和技术。通过测定小范围地表高低起伏形态和地物(如建筑物、道路、耕地等)的特征点的平面位置和高程,经相应的数据处理,采用一定的测量符号按一定的比例缩绘在图纸上,从而获得与相应地面几何图形相似的地形图,为国家经济建设提供设计与施工的图纸资料。

在科学技术高速发展的今天,测量学作为比较古老的学科,发展非常迅速。20 世纪中期以后出现的激光技术、微电子技术、计算机技术等重大成就,极大地推动了测量学科的飞跃和革新,主要贡献有激光红外测距、卫星全天候定位、摄影测量与遥感、数字化测图技术和地理信息系统等。测量学已经是具有现代完整的理论基础和现代先进技术的重要学科。

三、测绘在现代化建设中的应用

在社会主义现代化经济建设中,凡资料勘察、工矿建设、城市规划、地质勘探、农田水利、公路与铁路选线与施工、飞机场的修建等无不需测绘工作。近年来,在地震预测、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、环境保护、国防建设、宇宙空间技术以及其他科学研究方面都越来越多地用到测绘技术。测绘工作的主要任务是按照《地形测量规范》的规定提供点位的空间信息。例如,在交通土木工程建设中主要表现在:

① 测量提供的信息是交通土木工程规划选线的重要依据。对于规划一个地区的交通网络,确定一条交通线路的走向,必须有测量提供的地形图和有关的地理信息参数才能实现。规划选线所需的地形图是优化交通网络,节约用地,提高交通建设效益的重要一环。

② 测量是交通土木工程勘察设计的重要的基础工作。对一个区域内或者一条待定交通线路地面的高低平斜、河川宽窄深浅以及地面附属物,只有经过详细测量并获得大量地面基础信息,才能进行交通土木工程的设计。测量是交通土木工程设计前期的重要工作。

③ 测量是交通土木工程顺利施工的基本保证。一条公路中心线的标定,一座建筑物实际位置的确定,测量技术工作在其中发挥着重要的保证作用。

④ 测量是检验工程质量和监视重要交通土木工程设施安全营运的必要技术手段。

测量是交通土木工程专业的 basic 技术,这门技术不仅包括测量学科的基本理论和技术

方法,而且具有工程测量学的意义。土木工程技术人員应明确测量学科在交通土木工程建设中的重要地位,掌握和应用工程测量的基本理论和方法,是完成交通土木工程技术工作的基本条件。

在矿产资源开发过程中,从矿区的开发至矿藏开采完毕整个过程中都需要测量。在矿产资源开发各阶段测量工作内容如表 1-1 所列。

表 1-1 矿产资源开发各阶段测量工作内容

矿区开发阶段	测量工作的主要内容
地质普查、勘探阶段	测绘勘探区及矿区地形图,为地质工作提供有关测量资料,作为储量计算和勘探工程设计的根据,标定钻孔和测定竣工工程点的位置等
基本建设阶段	根据设计的施工详图,在地面和井下测设各工程和设备的位置(如井口位置、巷道位置等),以便施工
生产时期	地下开采时,标定和指出工作面、巷道掘进的位置和方向,测定采空区和留设保护煤柱等;露天开采时,开展各项结合露天矿特点的测量工作,绘制各种矿图,为矿区管理提供基础资料

在国防建设方面,地形测量也起着重要的作用,无论是进行各种国防建设,还是研究地形,制定作战计划,指挥各兵种、军种的联合作战以及远程炮弹和导弹的发射等,都需要准确的地形图作为依据。地形测绘不仅是建设社会主义现代化强国的基础工作,而且也是各项建设的先行工程。

第二节 测量学的坐标系统

一、地球体的有关概念

测量工作是在地球表面上进行的,与地球体有着密切关系,也必然涉及到地球体的有关概念。

垂线:重力的作用线称为铅垂线,简称垂线。垂线是测量工作的一条基准线。一条细绳系一重物(图 1-1),细绳在重物作用下形成下垂的方向线就是垂线。图 1-1 中的重物称为垂球。

地球是个半径(约 6 371 km)很大的近似球体。地球的自然表面有海洋和陆地,是一个十分复杂的不规则表面。据推算,海洋表面积约占地球表面面积的 71%,而陆地约占 29%。由此可见,海洋占据地球表面的绝大部分,所以用静止的海平面表示地球的形状是恰当的。

水准面:某一时刻处于没有风浪设想为静止的海洋平面,称为水准面。水准面是一个理想化了的静止曲面,其性质有:① 水准面处处与其相应的垂线互相垂直;② 因海水有潮汐,静止曲面所处的高度随时刻不同而异,因此不同时刻的水准面存在不同的高度。

大地水准面:在高度不同的水准面中选择一个高度适中的水准面作为平均海水面,将这种平均海水面称为大地水准面。

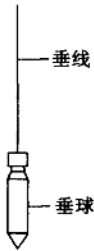


图 1-1

大地体:大地水准面所包围形成的曲面体称为大地体。大地测量学的研究表明,大地体是个上下略扁的椭球,如图 1-2 所示。

参考椭球体:由于地球内部物质的不均匀性,大地水准面各处重力线的方向是不规则的(图 1-3),大地水准面是一个起伏变化的不规则曲面,大地体表面也是不规则的曲面。

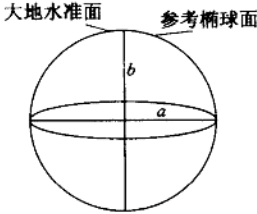


图 1-2

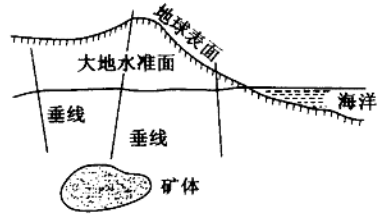


图 1-3

为了正确计算测量成果,准确表示地面点的位置,必须用一个近似于大地体的曲面体表示大地体,这个曲面体就是参考椭球体。参考椭球体是一种规则的曲面体,用简单数学公式表示:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

式中 a ——长半径;
 b ——短半径。

参考椭球体扁率 α 满足下式:

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \tag{1-1}$$

如图 1-2 所示,参考椭球体必须与大地体有较好的吻合,这种吻合又决定于世界各国实际采用的参考椭球体几何参数。我国采用的参考椭球体几何参数有:

- (1) 1980 年以后采用的国际大地测量协会 IAG—75 参数,即:
 $a = 6\,378\,140\text{ m}, \alpha = 1/298.257$,推算值 $b = 6\,356\,755.288\text{ m}$
- (2) 1954 年北京坐标系曾经采用的苏联克拉索夫斯基参数,即:
 $a = 6\,378\,245\text{ m}, \alpha = 1/298.3$,推算值 $b = 6\,356\,863.019\text{ m}$

1980 年以后,我国采用 IAG—75 参数建立国家新的坐标系,不再采用克拉索夫斯基参数,若实际应用中采用 1954 年北京坐标系时,克拉索夫斯基参数仍有效。

在工程应用上,若要求不高时,可以把地球当作圆球体,这时地球平均曲率半径 $R = 6\,371\,000\text{ m}$ 。

二、平面坐标系

坐标是表示地面点位置并从属于某种坐标系统的技术参数。用途不同,表示地面点位置的坐标系也不同。在工程建设中经常应用的有三种坐标系:大地地理坐标系、高斯平面直角坐标系和独立平面直角坐标系。

(一) 大地地理坐标系

大地地理坐标系是以参考椭球体表面为基准面的球面坐标系,通常以大地经度和大地纬度表示,简称经度(L)、纬度(B)。图 1-4 表示以 O 为中心的大地椭球体, N 为北极, S 为

南极,WDCE 是地球赤道面。 P 点是地面点在参考椭球体面的投影位置,NSCP 是过 P 点的子午线。图中设 NSDG 为经过英国格林尼治天文台 G 的本初子午线(起始子午线,1884 年国际经度会议决议确定),其子午面 NSD 与子午面 NSP 的夹角 L_P 是 P 点的大地经度, OP 线(法线)与赤道平面的夹角 B_P 是 P 点大地纬度。 L_P, B_P 称为 P 点大地坐标。

我国地理版图处在本初子午线以东的经度约是 $74^\circ \sim 135^\circ$,处在赤道以北的纬度约是 $3^\circ \sim 54^\circ$,因此在表示点位大地坐标时冠以“东经”、“北纬”的名称。例如, P 点的大地坐标 $L_P = 98^\circ 31', B_P = 25^\circ 27'$,称 P 点的大地坐标为东经 $98^\circ 31'$,北纬 $25^\circ 27'$ 。

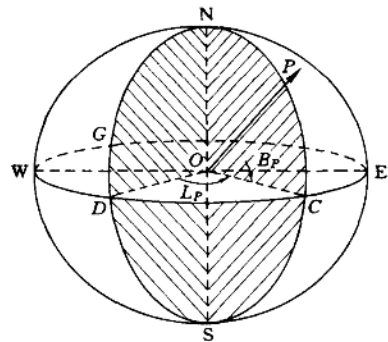


图 1-4

(二) 高斯平面直角坐标系

大地坐标表示的是地面点位的球面坐标,工程设计上需要的是点位平面位置。工程建设是在地球曲面上完成的,工程设计计算是在平面上进行的,可想而知,“平面”与“曲面”必然有矛盾。高斯平面直角坐标系是一种能够解决这类问题的应用比较广泛的坐标系。

1. 高斯投影的几何意义

高斯投影是高斯平面直角坐标系建立的基础,其几何意义(图 1-5)如下:

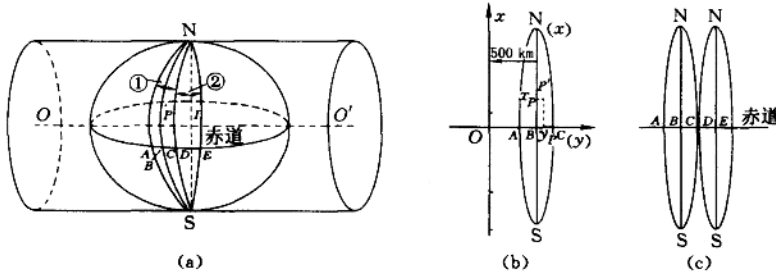


图 1-5

① 沿 N、S 两极在参考椭球面上均匀标出子午线(经线)。如图 1-5(a)所示,NAS、NBS、NCS 是其中的三条子午线,A、B、C 是三条子午线与赤道的交点,弧 $\widehat{AB}$ 、 $\widehat{BC}$ 的长度相等。子午线 NAS、NCS 构成的带状称为投影带。

② 假想一个横椭圆柱面套在参考椭球面上,柱中心轴 OO' 穿过地球中心 I ,且与地球旋转轴 NIS 互相垂直,柱面与参考椭球面相切于子午线 NBS,NBS 称为中央子午线。

③ 假想地球是透明体,中心 I 是一个点光源,光的照射使子午线 NAS、NBS、NCS 及其相应的地球表面投影到横椭圆柱面上。

④ 沿 NS 轴及 OO' 方向切开横椭圆柱面并展开成如图 1-5(b)所示的投影带平面,称为高斯投影带平面,简称高斯平面。

2. 高斯平面的特点

① 投影后的中央子午线 NBS 是直线,长度不变。

② 投影后的赤道 ABC 是直线,保持 $ABC \perp NBS$,长度也不变。

③ 离开中央子午线的子午线投影是以两极为终点的弧线,离中央子午线越远,弧线的曲率越大,说明离中央子午线越远投影变形越大。

3. 高斯平面直角坐标系的建立

根据高斯平面投影带的特点,高斯平面直角坐标系按下述

四个规则建立:

① x 轴是中央子午线 NBS 的投影,北方为正方向。

② y 轴是赤道 ABC 的投影,东方为正方向。

③ 原点,即中央子午线与赤道交点用 O 表示。

④ 四个象限按顺时针顺序 I、II、III、IV 排列,如图 1-6 所示。

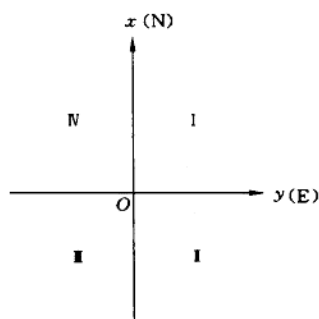


图 1-6

4. 投影带的中央子午线与编号

投影带的宽度用投影带边缘子午线之间的经度差 ΔL 表示。

为限制高斯投影带的变形,投影带的宽度 ΔL 不能太宽,一

般宽度取 6° 或 3° 。高斯投影根据 ΔL 逐带连续进行,例如,图 1-5(a)中的①投影完毕,转动椭圆体使②带的中央子午线 NDS 与椭圆柱面相切,并进行投影。①、②带的投影结果如图 1-5(c)所示。以此类推,按上述的几何意义对全球进行连续逐带高斯投影,即全球表面展开成如图 1-7 所示的高斯平面。

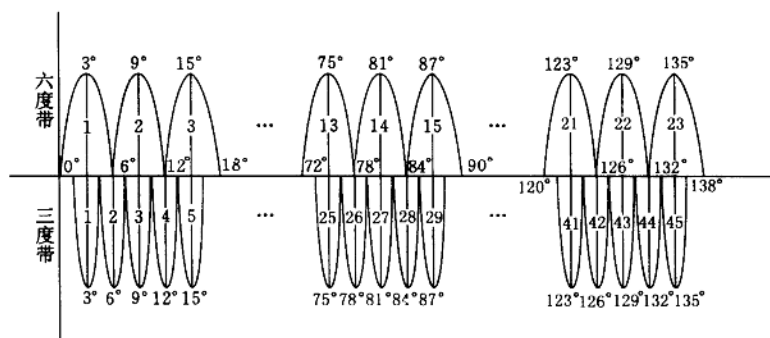


图 1-7

图 1-7 的上半部表示以 6° 作为宽度的六度带高斯投影平面,全球可分为 60 个六度投影带。各带的中央子午线的大地经度 L_0 与投影带的带号 N 有关系,即:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-2)$$

图 1-7 的下半部表示以 3° 作为宽度的三度带高斯投影平面,全球可分为 120 个三度投影带。各带的中央子午线的大地经度 L_0 与投影带的带号 n 的关系为:

$$L_0 = 3n \quad (1-3)$$

根据我国在大地坐标系中的经度位置 ($74^\circ \sim 135^\circ$),从上述两式可见,我国用到的六度带号 N 在 13~23 之间,用到的三度带的带号 n 在 25~45 之间。

5. 高斯平面直角坐标表示地面点的位置

我国国家测量大地控制点均按高斯投影计算其平面直角坐标。如图 1-5(a)中,球面点 P ,大地坐标 L_P, B_P 。在图 1-5(b)中 P' 是 P 的高斯投影点,其高斯平面直角坐标为 x_P, y_P 。他们表示的意义是:① x_P 表示 P 点在高斯平面上至赤道的距离;② y_P 包括有投影带的带号、附加值 500 km(为了避免出现负值)和实际坐标 y 的三个参数,即:

$$y_P = \text{带号 } N(\text{或 } n) + 500 \text{ km} + y(\text{自然值}) \quad (1-4)$$

例如,地面某点坐标 $x=2\,433\,586.693 \text{ m}, y=38\,514\,366.157 \text{ m}$ 。其中, x 表示该点在高斯平面上至赤道的距离为 2 433 586.693 m,根据式(1-4),该地面点所在的投影带带号 $n=38$,是三度带,地面点坐标的自然值 $y=14\,366.157 \text{ m}$ (即减去原坐标中带号 38 及附加值 500 km),表示该地面点在中央子午线以东 14 366.157 m,若自然值 y 带负号,则表示该地面点在中央子午线以西。

根据 y_P 坐标的投影带带号,便可以按式(1-3)推算投影带中央子午线的经度为 $L_0=104^\circ$ 。

注意:如果投影带带号属于六度带,则按式(1-2)推算(带号小于 23 则为 6 度分带)。

(三) 独立平面直角坐标系

独立平面直角坐标系的建立如图 1-6 所示,但这种平面直角坐标系没有高斯平面直角坐标系那样严格的规则,主要表现在:

① 坐标系 x 轴所在的中央子午线的经度不一定满足式(1-2)或式(1-3),可按不同要求采用其他经度,具有一定的随意性。

② 坐标系 x 轴的正方向不一定指向北极,可根据工作需要自行确定,具有某种实用性。

③ 坐标系原点不一定设在赤道上,一般设在有利于工作的范围内,具有相应的区域性。

在测区面积较小(小于 25 km^2),不考虑地球曲率而将其当做平面看待时,就不必进行复杂的投影计算,可以直接将地面点沿垂线投影到水平面上,用平面直角坐标表示它的投影位置和推算点与已知点之间的关系。坐标系原点可取用高斯直角坐标值,也可以根据实地情况设置,一般为使测区所有各点的横纵坐标为正值,坐标原点都设置在测区的西南角,使测区全部落在第一象限内。

(四) 测量平面坐标系与数学坐标系的异同点

测量平面坐标系包括高斯平面直角坐标系和独立直角坐标系。测量平面坐标系与数学坐标系相比的主要区别是坐标轴的取名不同,坐标系的象限排序不同,但是这些区别不影响数学上各种三角公式的应用。如图 1-8(a)是数学坐标系, α 角以 x 轴为起始方向,按象限排序在第一象限, OP 的长度为 S ,则 P 点的坐标为:

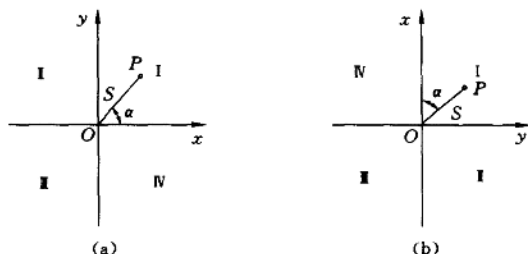


图 1-8

(a) 数学坐标系; (b) 测量平面坐标系

$$x = S \cos \alpha \quad (1-5)$$

$$y = S \sin \alpha \quad (1-6)$$

图 1-8(b)是测量平面坐标系, α 角是以 x 轴为起始方向按象限排序在第一象限, OP 长度为 S , 则 P 点坐标计算式仍然是式(1-5)和式(1-6)。因此, 数学上的三角公式适用于测量平面坐标系。

三、高程系统

(一) 高程系统的一般概念

地面点的高程, 指的是地面点到某一高程基准面的垂直距离。地面点高程是表示地面点位置的重要参数。地面点高程基准面一经认定, 地面点的高程系统就确定了, 即欲确定地面点高程, 必须首先确定一个高程起算面。用统一起算面作为基准确定所有地面点高程, 成为一个高程系统。

全国统一的高程系统, 通常是以大地水准面作为高程的起算面。为了确定大地水准面的位置, 需在沿海适宜的地方设立验潮站, 长期不断地观测该海区海水面的高度, 然后对若干年的观测成果整理计算得出平均值, 相应于该平均值高度的海水面即为大地水准面。我国自解放前到 1956 年, 采用东海平均海水面为高程起算面。1957 年后, 采用青岛验潮站 1950~1956 年观测成果所推算的黄海平均海水面作为全国的高程起算面, 叫做 1956 年黄海高程系。1987 年 5 月 26 日, 国家测绘总局决定启用由 1952~1979 年观测成果推算的黄海平均海水面作为全国的高程起算面, 叫做 1985 年高程基准。

以平均海水面的高度位置为高程零点, 用精确的方法联测, 求出一个预先建立的一个地面点的高程, 以此作为国家高程控制点(水准点)的起算基准, 这个地面点叫做水准原点。

(二) 绝对高程

地面点沿其垂线到法定的大地水准面的垂直距离, 即从地面点到大地水准面的垂直距离叫做该点的绝对高程或海拔。

如图 1-9 中的 H_A 、 H_B 分别为地面点 A 、 B 的绝对高程。

(三) 相对高程

地面点沿其垂线到假定的大地水准面的垂直距离(根据测区具体情况或工程需要可以假定一个水准面), 如图 1-9 所示, H'_A 、 H'_B 表示 A 、 B 两点分别到假定的大地水准面的相对高程。这里所说的相对高程是以假定的大地水准面为基准所确定的地面点高程, 可以说是假定高程系统的地面点高程。

采用相对高程的地区, 只要将其联测至国家高程控制点, 就不难将地面点的相对高程改算为绝对高程。

(四) 高差

两个地面点的高程之差, 用 h 表示, 如 A 、 B 两点高差 h_{AB} 为:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-7)$$

由于测算过程中, 要求高差必须能表明两点的高低情况, 所以高差总是带有与观测方向相应的符号。如图 1-9 中 A 、 B 两点的高差为 h , 若方向从 A 到 B , 则高差为 $h_{AB} = H_B - H_A$

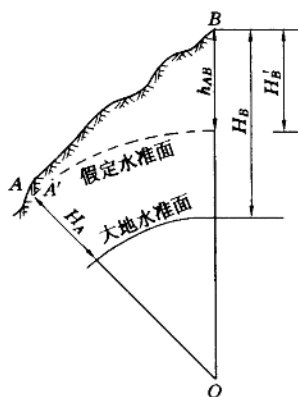


图 1-9

为正,表明 A 点低于 B 点;若测量方向从 B 到 A,则高差为 $h_{B,A}=H_{A,1}-H_{B,1}$ 为负,表明 B 点高于 A 点。

四、用水平面代替水准面的限度

在较小地区进行测量时,可以将椭球体面或大地水准面近似地当作圆球看待。但如果先将地面点的空间位置投影到圆球上,然后再将其投影位置描绘在平面纸上,其计算和绘图工作都将是很困难的。如果在一定的范围内,将水准面看成水平面,将地面点位置投影到平面上,在不影响用图精度的要求条件下,这将为地形测量工作带来很大的方便。用水平面代替水准面会产生误差,测量范围越大,误差也就越大,故有必要分析一下用水平面代替水准面的限度。下面从地球曲率对水平距离、水平角和高差的影响进行讨论。

(一) 地球曲率对水平距离的影响

如图 1-10 所示, DAB 为水准面, $\widehat{AB}$ 为其上的一段圆弧,其所对的圆心角为 θ ,地球半径为 R , $C'AC$ 为过 A 点所作的切平面。由图可知,距离误差:

$$\Delta S = AC - \widehat{AB} \tag{1-8}$$

其中, $AC = R \tan \theta$, θ 若用度、分、秒制表示, $\theta = (\widehat{AB}/R) \times \rho''$, 将 $R = 6\,371\text{ km}$ 及 $\rho'' = 206\,265$ 代入,通过计算可得表 1-2 中所列的结果。

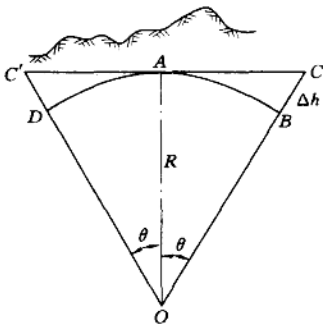


图 1-10

表 1-2 用水平面代替水准面对距离的影响

$\widehat{AB}/\text{km}$	Δ/km	$\Delta S/\widehat{AB}$
10	28	1/1 220 000
25	12.83	1/200 000
100	821.20	1/122 000

现代最精密的距离测量容许误差为其长度的 1/1 000 000,所以在半径为 10 km 的范围内,可用水平面上的距离代替水准面上的距离。在地形测量中,因精度要求低,当测量范围半径在 25 km 以内时,可以不考虑地球曲率的影响。

(二) 地球曲率对水平角的影响

由球面三角公式可知,同一个空间多边形在地球上投影的各内角和较其平面投影的各内角之和,要大一个球面角超 ϵ'' ,其计算公式为:

$$\epsilon'' = \frac{M}{R^2} \rho'' \tag{1-9}$$

式(1-9)中, M 为空间多边形在球面上投影的多边形面积,以平方千米为单位, R 为地球半径,以千米为单位。

按式(1-9)中以不同的 M 值(10、100、200)和 R 及 ρ'' 代入式中可得表 1-3 中所列的结果。

由表 1-3 可见,当地球上的面积在 100 km² 以内时球面角超不超过 0.51'',这种因水准面曲率对水平角的影响,只有在最精密的测量中才考虑,而在一般的地形测量工作中是无须

顾及的。

表 1-3 用水平面代替水准面对水平角的影响

M/km^2	ϵ''
10	0.05
100	0.51
200	1.02

(三) 地球曲率对高差的影响

若用水平面代替水准面进行高差测量,由图 1-10 可知:

$$\begin{aligned}(R + \Delta h)^2 &= R^2 + (AC)^2 \\ 2R \times \Delta h + (\Delta h)^2 &= (AC)^2 \\ \Delta h(2R + \Delta h) &= (AC)^2 \\ \Delta h &= \frac{(AC)^2}{2R + \Delta h}\end{aligned}\tag{1-10}$$

由地球曲率对水平距离影响的分析可知,水平距离 AC 与 $\widehat{AB}$ 相差很小,可以互相代替。此外式(1-10)中的 Δh 与 R 相比较,可以忽略不计,这样式(1-10)可写成:

$$\Delta h = \frac{\widehat{AB}^2}{2R}\tag{1-11}$$

若以 $R=6\,371\text{ km}$ 和不同的 $\widehat{AB}$ 值代入上式,可得表 1-4 所列的结果。

表 1-4 用水平面代替水准面对高差的影响

$\widehat{AB}/\text{km}$	0.1	0.5	1	2	3	4	5
$\Delta h/\text{cm}$	0.078	2	8	31	71	125	196

由表 1-4 可见,地球曲率对高差的影响是很大的。因此,即使在较短的距离内,也应考虑地球曲率的影响。

第三节 比例尺

地形图总是按一定比例尺缩绘而成的,其缩小的程度是以比例尺来表示的。图上线段与实地相应线段的水平投影之比称为比例尺。比例尺按表示的方法不同,分为以下三种。

一、数字比例尺

以数字形式表示的比例尺叫数字比例尺。为计算方便,数字比例尺是以分子为 1 的分数来表示的。设图上某一直线长度为 l ,地面上相应线段水平投影长度为 L , M 为比例尺分母,则该图的比例尺为:

$$\frac{1}{M} = \frac{l}{L} = \frac{1}{L/l}\tag{1-12}$$

地形图常用的比例尺有 1/500、1/1 000、1/2 000、1/5 000 等。比例尺也可写成 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000、1 : 5 000 等。

按式(1-12)计算,量得地面两点水平距离后,若使用的比例尺已确定,可换算出该两点的图上长度。又若在某一比例尺的图上量得两点长度,可换算出该两点的实际水平距离。比例尺的大小,是由分母数值的大小决定的。比例尺分母愈小,比例尺愈大;比例尺分母愈大,比例尺愈小。在地形测量中,通常将地形图的比例尺分为三类:1:500、1:1 000、1:2 000、1:5 000 称为大比例尺;1:1 万、1:2.5 万、1:10 万称为中比例尺;1:20 万、1:50 万、1:100 万称为小比例尺。

二、直线比例尺

以图示直线形式表示的比例尺叫直线比例尺。用数字比例尺需要经常换算,很不方便。在实际测绘工作中,为减少这种换算,可用如图 1-11 所示的直线比例尺。该比例尺为 1:2 000。

直线比例尺是根据数字比例尺的大小,用图上线段长度代表实际距离来表示比例尺大小的。直线比例尺的绘制方法是:

① 先在图上绘一条直线,在该直线上截取若干个 2 cm 或 1 cm 的线段,这些线段称为比例尺的基本单位。

② 将最左端的基本单位分成 20 个或 10 个等份,然后在该基本单位的右分点上标注 0,如图 1-11 所示。

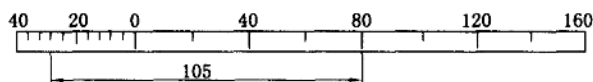


图 1-11

③ 自 0 点起,向左向右的各分点上,适当标注不同线段的实际距离。

使用直线比例尺时,要用分规在地形图上量出某点的距离,然后将分规移至直线比例尺上,使其一脚尖对准零右边的一个分划线上,从另一脚尖读取左边的小分划,并估读零数。

直线比例尺也可在三棱的尺面上,每面刻有两种比例尺,如图 1-12 所示。



图 1-12

三、斜线比例尺

从直线比例尺的使用中知道,基本单位的 1/10 可用比例尺直接量取,而小于 1/10 基本单位则只能目估了。为了能准确地直接量取基本单位的 1/100,可以用斜线比例尺。

斜线比例尺的绘制方法如图 1-13 所示。在 AB 直线上按确定的基本单位长度,自一端

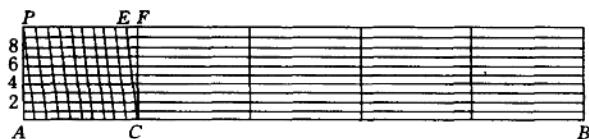


图 1-13