

中等专业学校教学用书

地形测量

侯湘浦 编

煤炭工业出版社

中等专业学校教学用书

地形测量

侯湘浦 编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书以中等专业学校学生为对象,系统地讲述了地形测量的基本原理与实际作业方法。全书共十五章,除一般测量方法外,还介绍了航空摄影测量的基本知识。对于测量误差的特点及规律亦做了系统讲解。为满足实际作业需要,书中介绍了PC-1500计算机图根控制测量计算程序。书中附有典型的计算实例及富有启发性的思考复习题。

本书系煤炭中等专业学校煤矿测量专业教材,亦可作为其他工科中等专业学校、技工学校相应课程教材,或供测量工作者参考。

责任编辑:王 大 彰

中 等 专 业 学 校 教 学 用 书

地 形 测 量

侯 湘 浦 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092\text{mm}^1/_{16}$ 印张 $18^1/4$

字数430千字 印数1—11,420

1988年3月第1版 1988年3月第1次印刷

ISBN 7-5020-0070-4/TD·66

书号2982

定价 2.65 元

前 言

本书系根据煤炭工业部教育司1981年审定的煤炭中等专业学校煤矿测量专业《地形测量》课程的教学大纲编写的。本书除作为中等专业学校煤矿测量专业相应课程的教材外，亦可供从事矿山测量和其它测量工作的工程技术人员参考。

全书共分十五章，系统地介绍了地形测量的基本知识、基本理论和基本方法。在内容编排上，总结了多年的教学实践，同时注意照顾各章节内容的前后衔接，既保持了教材应有的系统性，又便于教学。在取材上力求结合我国矿山测量中有关地形测量实际，适当介绍了测绘科学的新技术。此外，还充实了教学大纲中关于测量误差与航空摄影测量基本知识的内容，增编了PC-1500袖珍电子计算机图根控制测量计算程序（BASIC）一章。

在本教材编写过程中，中国矿业学院测量教研室、徐州、铜川矿务局地质测量处、徐州市测绘学会以及徐州煤炭工业学校的同志们曾给予大力的帮助和支持；书中插图请徐州煤炭工业学校王福章同志描绘，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

一九八六年六月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 测量学的研究对象及任务	1
第二节 测量学的发展概况	1
第三节 地形测量在社会主义建设中的作用	3
复习题	3
第二章 地形测量的基本知识	4
第一节 地球的形状和大小	4
第二节 地面点的地理坐标和高程	5
第三节 用水平面代替水准面的限度	6
第四节 比例尺	8
第五节 平面直角坐标	11
第六节 直线定向	14
第七节 坐标计算原理	17
第八节 地形测量工作的概念	19
第九节 地面点的标志	21
复习题	22
第三章 水准仪及水准测量	24
第一节 水准测量原理	24
第二节 水准测量的仪器和工具	25
第三节 望远镜及水准器	26
第四节 水准仪的使用	30
第五节 自动安平水准仪	32
第六节 水准测量的基本方法	34
第七节 水准仪的检验与校正	36
第八节 水准测量误差产生的原因及其消减方法	39
复习题	43
第四章 经纬仪及角度测量	44
第一节 角度测量概念	44
第二节 光学经纬仪	44
第三节 水平角观测	48
第四节 竖盘结构与竖直角观测	53
第五节 J ₆ 级光学经纬仪的检验与校正	57
第六节 水平角观测中的误差来源及其消减的方法	62
复习题	66
第五章 距离测量	67
第一节 钢尺量距工具与直线定线	67
第二节 钢尺量距的一般方法	69

第三节 钢尺的检定	71
第四节 较精确的钢尺量距方法	72
第五节 视距测量	75
第六节 红外光电测距	81
复习题	87
第六章 测量误差的基础知识	88
第一节 概述	88
第二节 测量误差的来源和分类	88
第三节 偶然误差的性质	90
第四节 评定精度的指标	91
第五节 误差传播定律——观测值函数的中误差	93
第六节 算术平均值及其中误差	98
第七节 根据改正数确定观测值中误差	100
第八节 误差传播定律应用举例	101
第九节 权与带权平均值	107
第十节 带权平均值的中误差及单位权中误差	111
复习题	113
第七章 经纬仪导线测量	114
第一节 平面控制测量概述	114
第二节 经纬仪导线的一般知识	117
第三节 经纬仪导线测量的外业工作	118
第四节 经纬仪导线内业计算概述	120
第五节 经纬仪闭合导线计算	121
第六节 经纬仪附合导线计算	125
第七节 结点导线计算	127
复习题	131
第八章 图根三角锁(网)测量	132
第一节 概述	132
第二节 图根三角锁(网)测量的外业工作	133
第三节 线形锁的近似平差计算	133
第四节 中点多边形近似平差	142
第五节 大地四边形近似平差	147
复习题	150
第九章 解析交会测量	151
第一节 概述	151
第二节 单三角形计算	153
第三节 前方交会计算	155
第四节 侧方交会计算	156
第五节 后方交会计算	158
第六节 距离交会计算	163
复习题	164
第十章 PC-1500袖珍计算机图根控制测量 (BASIC) 程序	166
第一节 PC-1500计算机概况	166

第二节	经纬仪导线计算程序	169
第三节	图根线形锁近似平差计算程序	171
第四节	中点多边形与大地四边形近似平差公用计算程序	175
第五节	后方交会计算程序	180
第六节	前方交会计算程序	182
第七节	侧方交会计算程序	184
第八节	距离交会计算程序	186
第十一章	图根高程测量	188
第一节	概述	188
第二节	等外水准路线的布设	189
第三节	等外水准测量的观测与记录	190
第四节	等外水准测量的内业	192
第五节	三角高程测量	194
	复习题	199
第十二章	平板仪测量	200
第一节	平板仪测量原理	200
第二节	平板仪及其附件	200
第三节	小平板仪	203
第四节	平板仪的安置	204
第五节	平板仪图解交会	206
第六节	平板仪的检验与校正	210
	复习题	213
第十三章	大比例尺地形测图	214
第一节	概述	214
第二节	地形图的分幅与编号	214
第三节	《高斯投影大比例尺图廓坐标表》的使用方法	218
第四节	地物在地形图上的表示方法	220
第五节	地貌在地形图上的表示方法	221
第六节	测图前的准备工作	225
第七节	地形测图的方法	229
第八节	地形测图的一般要求	235
第九节	地物的测绘	236
第十节	地貌的测绘	239
第十一节	增设补充测站点的方法	245
第十二节	地形图的拼接与整饰	247
第十三节	地形图的检查与验收	248
	复习题	250
第十四章	航空摄影测量基本知识	251
第一节	概述	251
第二节	航摄像片的基本知识	252
第三节	像片纠正	257
第四节	像片的立体观察	260
第五节	航测外业	261

第六节 航摄像片的量测原理	266
第七节 航测内业	268
复习题	272
第十五章 地形图的应用	273
第一节 识图的基本知识	273
第二节 地形图应用的基本内容	275
第三节 在地形图上量测面积	279
复习题	282
参考文献	283

第一章 绪 论

第一节 测量学的研究对象及任务

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程，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等科学。

测量学按照研究范围及测量手段的不同，分为许多分支学科，这些学科主要有：

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。包括三角边测量、导线测量、水准测量、天文测量、重力测量、卫星大地测量、惯性测量、椭球面大地测量、地球形状理论和测量平差计算等内容。大地测量工作为地形测量和大型工程测量提供基本的平面和高程起算数据；为研究地球形状大小、地壳变形、地震预报、空间技术和军事用途提供重要资料。

地形测量学 研究测绘地形图的基本理论、技术和方法的学科。主要包括：图根控制网的建立；碎部测量；普通测绘仪器的构造、性能、检验校正和使用；地形测量误差分析和观测值数据处理；地形图的使用等。

摄影测量学 通过对摄影像片和辐射能的各种图像记录进行量测、判释和研究，从而确定地表面形状和大小的测绘学科。按获得像片方法的不同，摄影测量学又分为地面摄影测量学和航空摄影测量学。此外，还可利用卫星摄影像片绘制1:100万至1:25万小比例尺地形图。随着科学技术的飞速发展，摄影测量已在许多科学领域得到应用。

工程测量学 研究工程建设中勘测设计、施工和管理各阶段所进行的各种测量工作的学科。工程测量按工程建设的对象分为：矿山、建筑、水利、铁路、公路、桥梁、地质勘探和国防工程等测量。工程测量的主要内容有：工程控制网建立、地形测绘、施工放样、设备安装、变形观测等。随着科学技术的发展，在工程测量中已广泛应用电子计算机、电磁波测距、摄影测量和遥感技术等。

地图制图学 研究地图及其制作的理论、工艺和应用的学科。

第二节 测量学的发展概况

测量学是在人类生产实践中不断发展而形成的一门应用科学，有着悠久的历史。

我国是世界上文化古国之一。早在夏禹治水时，我国劳动人民就已发明和使用了“准、绳、规、矩”等测量工具。春秋战国时代发明的指南针，直到现在还被全世界广泛地应用着。三千多年前的管仲在其所著《管子》一书中，收集有我国早期地图27幅，对地图的作用已有了论述。战国时李冰父子修建了四川都江堰。历史上这一伟大工程，若不进行大量的测量工作是无法完成的。1973年由长沙马王堆三号汉墓出土的西汉初期编绘的《地形图》、《城邑图》和《驻军图》，是目前发现的我国最早的局部地区地形图。西晋裴秀在《禹贡地域图》序言中阐明的“制图六体”，提出了绘制地图的六条原则，这是世界上最早的地形测量和地图绘制的规范。裴秀编绘的《禹贡地域图》和《地形方丈图》，前者是

世界上最早的历史图集，后者是我国全国大地图。唐代开元年间，张遂（一行）和南宫说等人，在河南开封等地组织测量了300km子午线弧长，确定了地球的形状和大小，这是世界上最早的子午弧长测量。宋代沈括绘制了“天下州县图”，在他的“梦溪笔谈”中，曾记载了磁偏角现象，这比哥伦布发现磁偏角早400年左右。公元13世纪和18世纪初，我国曾进行过大规模的大地测量工作。18世纪初还根据大地测量成果，编制了全国地图。我们祖先对测量学的发展，作出了卓越的贡献。但是，自1840年鸦片战争直到解放前的近百年中，我国人民遭受帝国主义、封建主义、官僚资本主义的压迫和统治，生产力的发展受到很大的阻碍，测绘事业也处于极端落后和停滞的状况。

自新中国成立以来，随着社会主义经济建设和国防建设发展的需要，祖国测绘事业进入了一个蓬勃发展的崭新阶段，短期内取得了不少成就。1950年中国人民解放军总参谋部测绘局成立。1952年清华大学等六所高等院校设置了测量专业，积极培养测绘人才。1956年建立了全国统一的测绘机构——国家测绘总局，统一组织领导全国的测绘工作。此外，还建立了专门的测绘科学研究机构和测绘院校。三十余年来，完成了全国范围的大地控制网，基本上统一了全国的平面坐标和高程系统，同时还施测了大量的国家基本地形图。在进行工矿、农田水利、城市、交通等各项经济建设中，测绘了各种大比例尺地形图并进行了大量的工程测量工作。我国测绘工作者，克服了重重艰难险阻，精确地测定了珠穆朗玛峰的高程（8848.13m）；在对青藏高原、地球南极等的综合考察，以及多次人造地球卫星的发射工作中，他们都作出了卓越的贡献。我国测绘仪器制造业，解放后发展也比较迅速，在短期内不仅研制成功和成批生产了各种普通测绘仪器，近年来国产的大地测量、电磁波测距和航空摄影测量仪器，不少已达到国外同类型仪器的先进水平。

在世界上，早在公元前18世纪，古埃及就进行过土地丈量。公元前六世纪，埃及人民在开凿尼罗河与红海之间的运河工程中已应用了测量技术。公元17世纪，哥白尼、伽利略、克普勒及牛顿等科学家的发现与发明，如望远镜、显微镜、水准器等光学和力学上的成就，以及三角学在测量上的应用；19世纪，德国人高斯提出的平均海面概念，以及在地图投影和按条件观测的三角测量整网平差理论等方面，都在测量科学中作出了重大贡献。20世纪20年代，航空摄影测量的发展与应用，开创了测绘工作的机械化时代。六十年代以来，由于近代光学、电子技术、人卫测量和航天技术的迅猛发展，为测量科学技术开辟了广阔的道路。测量学已由常规的地面测量发展到人卫空间测量。测量对象也由地球表面扩展到太空星球，由静态测绘发展到动态跟踪。当今在地震预报、海底资源勘探、海底电缆敷设、灾情的监视与调查、宇宙空间技术以及其它科学技术领域，都对测量学提出了超越常规作业标准的量测距离、方向和高程等方面的精度要求，从而更加丰富了测量学的内容。

由于我国建国初期的测绘科学技术水平起点低，又在发展的道路上受到各种因素的干扰，与国外先进水平相比，我国测绘科学技术水平还有很大差距。为此，我们必须发奋图强，为振兴中华和满足国民经济各部门的需要，以最快的速度建立我国现代化测绘体系，实现野外作业机械化与电子化，测量制图自动化，资料储存数字化与微型化，使测量学各学科逐步赶上和超过世界先进水平。

第三节 地形测量在社会主义建设中的作用

在社会主义经济建设中,凡资源勘察、工矿建设、城市规划、地质勘探、农田水利、公路及铁路选线与施工、飞机场的修建,乃至地震预测,科学考察等等,无不需地形测量工作。

煤矿建设有着一系列的程序,一般包括:地质勘探、煤矿设计与施工和煤矿生产三个阶段。在每一个阶段中,必须测绘有相应精度的地形图。地形测量是矿山测量工作的重要内容之一。

在煤矿地质勘探阶段,地形图是地质人员填绘煤层勘探成果的重要资料。在煤矿设计和施工阶段,由于煤矿是一种综合性的联合企业,建井、开拓、提升运输和选煤等工程,都需要有合理的布局,以满足煤矿生产活动在空间和时间上的合理关系,为此,作为主要依据的地形图是必不可少的。在煤矿生产阶段,为了及时反映出采掘空间井上下关系,也必须有准确而完整的矿区地形图。随着煤矿生产的发展,井上下各项工程都在不断地发生变化,因此,还必须不断修测和更新地形图,以解决采掘工程中的有关技术问题。

在社会主义国防建设方面,地形测量也起着重要作用。无论是进行各种国防工程建设,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,都需有准确的地形图作为依据。

我们伟大的社会主义祖国,幅员辽阔,江山如画。地形测量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。作为一个矿山测量工作者,我们一定要熟练掌握地形测量技术,为祖国实现四个现代化多做贡献。

矿山测量专业的学生学好地形测量课程更具有重要意义,因为该课程是一门重要的技术基础课。该课程中的许多基本概念、基本原理以及基本操作技能,是学习有关专业课程的基础,学好本课程能为专业课的学习创造良好的条件。应当指出,地形测量课程具有很强的实践性,在学习过程中要注意理论联系实际,认真参加实习,加强基本操作技能的训练。

复 习 题

1. 地形测量学主要的研究内容有哪些?
2. 地形测量在煤矿建设中有什么作用?

第二章 地形测量的基本知识

第一节 地球的形状和大小

地形测量是在地球表面上进行量测,再经过一系列的数学运算,最终绘制成地形图的。地形测量工作的许多问题与地球形状、大小有关。

一、地球的自然表面

地球表面是很不平坦的复杂曲面,它上面自然地分布着高山深谷、陆地海洋、丘陵平原等,呈现出高低起伏的状态。这样的实际地球表面称为地球的自然表面。

地球的自然表面不可能用某种数学公式表示出来,因此,在地球的自然表面上,进行测量的成果整理、计算与绘图,也将是不可能的。这就要求人们找一个与地球形状近似且又规则的曲面来代替地球的自然表面。

二、大地水准面

地球的自然表面上,海洋约占71%,陆地约占29%,海洋中最深的马里亚纳海沟深为11022m,陆地上最高的珠穆朗玛峰高出海水面8848.13m。这样的高低起伏,相对于庞大的、半径约为6371km的地球来说是微不足道的。因此,对于地球的形状,人们可以看成是一个被海水包围的球体。

设想有一个静止的海水面,延伸并穿过陆地而形成一个封闭的曲面,这个静止的海水面称为水准面。由于海水面有高潮位与低潮位的差别,所以设想为静止的海水面有无数多个。亦即水准面有无数多个,其中通过平均海水面的一个水准面称为大地水准面。

从物理学中知道,地球表面上任何物体同时受到地球引力和地球自转离心力的作用,这两种力的合力称为重力。重力作用的方向便是铅垂线的方向。海水面处于静止状态时,液面必与重力方向垂直。因此,水准面具有这样的特性:过水准面上任意点所作的铅垂线必与其曲面正交。

由于地球内部质量分布不均匀,使得大地水准面上各点受到地球吸引力有所不同,这样就引起各点的铅垂线产生不规则的变化,从而使大地水准面成为一个十分复杂而又不规则的曲面,在这样的曲面上进行的计算也是行不通的。为此,实际工作中要求我们选用一个与大地水准面相近似的几何面来代替它。

三、参考椭球体

牛顿根据万有引力定律研究地球的形状后认为,绕太阳旋转着的地球,当它的物质处于平衡状态时,地球表面必然是一个接近于圆而两极略扁的旋转体。测量上就选用一个与大地水准面非常接近,绕一椭圆短轴旋转而成的旋转椭球体来代替地球的形体,这种旋转椭球体称之为地球椭球(亦称地球椭圆体)。地球椭球表面是一个规则的几何面,这样就便于测量成果的计算和制图工作了。

地球椭球的形状和大小,只有在整个地球上进行联成一体天文大地测量和重力测量才能决定。有些国家为了便于测量成果和制图的处理,只好根据局部地区所进行的天文大

地测量和重力测量资料, 来确定适合本国领土范围的地球椭球的形状和大小, 一般称这样的地球椭球为参考椭球体, 如图2-1 a 所示。

参考椭球体面与大地水准面不完全一致, 有的地方稍高一些, 有的地方稍低一些。两个面之间的最大差异不超过 $\pm 100\text{m}$, 如图2-1 b 所示。

参考椭球体的大小, 由长半径 a 和短半径 b 或者由一个半径和扁率 $\alpha = (a - b) / a$ 来决定。 a 、 b 、 α 称为参考椭球体元素。

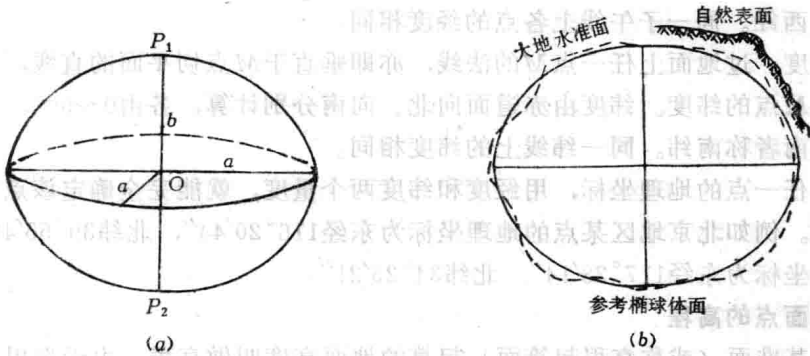


图 2-1

历史上, 许多测量学者曾分别测算出参考椭球体的元素值。我国解放后采用苏联克拉索夫斯基计算的元素值为:

$$a = 6378245\text{m}$$

$$b = 6356863\text{m}$$

$$\alpha = 1/298.3$$

由于参考椭球体的扁率很小, 在地形测量的计算中, 可把地球当作圆球对待, 取其三个半轴的平均值作为地球的半径, 即

$$R = (a + a + b) / 3 = 6371014.7\text{m}$$

实际上, 近似地取 6371km , 其精度也足以满足一般地形测量的要求。

第二节 地面点的地理坐标和高程

一、地理坐标

选定了参考椭球体以后, 就可以在它上面建立统一的坐标系, 用此统一的坐标系, 便可确定地面点的球面坐标。

地理坐标就是用经纬度来表示地面点的球面坐标, 坐标值都是角值。为了便于了解地理坐标, 必须先了解有关参考椭球体的点、线、面的概念。

地轴和两极 地球的数学形体是参考椭球体。地球的自转轴也就是参考椭球体的短轴, 该短轴即称为地轴。地轴与参考椭球体相交的两点 P_1 、 P_2 , 称为两极, P_1 为北极, P_2 为南极。如图2-2所示。

子午面与子午线 过地轴的任一平面称子午面。子午面与参考椭球体面的交线称子午线, 又称经线。通过英国格林尼治天文台的子午面及子午线, 国际公认为首子午面和首子

午线。首子午面将地球分成东、西两个半球。所有子午线都是大小相同的椭圆。

赤道和纬线 过地球中心且与地轴垂直的平面称赤道面。赤道面与参考椭圆体面的交线称赤道。其它凡垂直于地轴的平面与参考椭圆体面的交线称纬线。赤道面将地球分为南、北两个半球。所有纬线在各自的半球内，是大小不同且互相平行的圆圈。地理坐标系，就是以首子午面和赤道面来作为起算面的。

点的经度 通过地面上任一点 M 的子午面与首子午面两者间的两面角 L ，称为该点 M 的经度。经度由首子午面向东、向西量度，各由零度到 180° 。在首子午面以东者称为东经，以西者称为西经。同一子午线上各点的经度相同。

点的纬度 过地面上任一点 M 的法线，亦即垂直于 M 点切平面的直线，与赤道面的交角 B ，称为 M 点的纬度。纬度由赤道面向北、向南分别计算，各由 $0\sim 90^\circ$ 。在赤道以北者称北纬，以南者称南纬。同一纬线上的纬度相同。

地面上任一点的地理坐标，用经度和纬度两个量度，就能完全确定该点在参考椭圆体面上的位置。例如北京地区某点的地理坐标为东经 $116^\circ 20' 44''$ ，北纬 $39^\circ 55' 48''$ ；徐州地区某点的地理坐标为东经 $117^\circ 28' 14''$ ，北纬 $34^\circ 25' 21''$ 。

二、地面点的高程

由高程基准面（或称高程起算面）起算的地面高度叫做高程。由于选用的基准面不同而有不同的高程系统。如图2-3所示，当以大地水准面为高程基准面时，叫做绝对高程，简称高程（又称标高或海拔）。图中， A 、 B 两点的绝对高程为 H_A 和 H_B 。当以某一任意水准面为基准面时，叫做相对高程，或称为假定高程。图中 A 、 B 两点的相对高程为 H'_A 和 H'_B 。

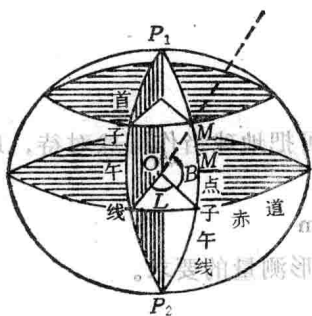


图 2-2

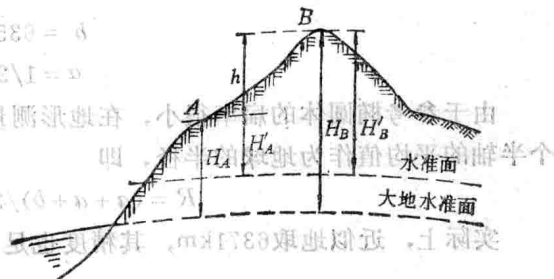


图 2-3

地面两点间的高程之差称高差。图中 B 点相对于 A 点的高差为

$$h = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (2-1)$$

我国是以1956年根据青岛验潮站所确定的黄海平均海水面，作为全国统一高程基准面，通常称做1956年黄海高程系统。

第三节 用水平面代替水准面的限度

在较小的地区内进行测量时，可以将椭圆体面或大地水准面近似地当作圆球面看待。但是如果先将地面点的空间位置投影到圆球面上，然后再将其投影位置描绘到平面图纸上，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,在不影响用图精度要求的条件下,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是会产生误差的,测量范围愈大,误差也就愈大,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

图2-4中, DAB 为水准面, 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

$$\Delta S = \overline{AC} - \widehat{AB} \quad (2-2)$$

其中 $\overline{AC} = R \tan \theta$, 若 θ 用度、分、秒制表示时, 则 $\theta = (\widehat{AB}/R) \rho''$ 。将 $R = 6371 \text{ km}$ 及 $\rho'' = 206265''$ 值代入, 通过计算可得表2-1结果。

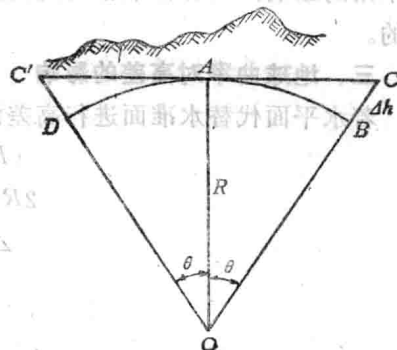


表 2-1 用水平面代替水准面对距离的影响

$\widehat{AB}$ km	ΔS cm	$\Delta S/\widehat{AB}$
10	0.82	1/1220000
25	12.83	1/200000
100	821.20	1/12000

现代最精密的距离测量容许误差为其长度的1/1000 000, 所以在半径为10km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, 因精度要求较低, 当测量范围半径在25km以内时, 也不须考虑地球曲率对水平距离的影响。

二、地球曲率对水平角的影响

由球面三角学公式推导, 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投影的各内角之和, 要大一个球面角超 ε , 其计算公式为

$$\varepsilon'' = \frac{P}{R^2} \rho'' \quad (2-3)$$

式中 P 为空间多边形在球面上投影的多边形面积, R 为地球半径。以不同的 P 值代入式中, 得表2-2:

表 2-2 用水平面代替水准面对水平角的影响

P km^2	ε''
10	0.05
100	0.51
200	1.02

可见, 当地球上面积在 100km^2 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, 才须考虑, 而一般的地形测量工作是毋须顾及的。

三、地球曲率对高差的影响

若水平面代替水准面进行高差测量, 由图2-4可知

$$\begin{aligned}(R + \Delta h)^2 &= R^2 + (AC)^2 \\ 2R \cdot \Delta h + (\Delta h)^2 &= (AC)^2 \\ \Delta h(2R + \Delta h) &= (AC)^2 \\ \Delta h &= \frac{(AC)^2}{2R + \Delta h} \quad (2-4)\end{aligned}$$

由地球曲率对水平距离的影响的分析可知, 水平距离 AC 与 $\widehat{AB}$ 相差很小, $\widehat{AB}$ 可以代替 AC 。此外式(2-4)中 Δh 与 R 相比较, Δh 可以忽略不计, 这样式(2-4)可写成

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

若以 $R = 6371\text{km}$ 和不同的 $\widehat{AB}$ 值代入上式, 可得表2-3:

表 2-3 用水平面代替水准面对高差的影响

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

由表可见, 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, 也应考虑地球曲率影响。

第四节 比例尺

地形图总是按一定比例缩绘而成的。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

$$\frac{1}{M} = \frac{l}{L} = \frac{1}{\frac{L}{l}} \quad (2-6)$$

地形图常用的比例尺有 $1/500$ 、 $1/1000$ 、 $1/2000$ 、 $1/5000$ 等。比例尺也可写成 $1:500$ 、 $1:1000$ 、 $1:2000$ 、 $1:5000$ 等。

按式(2-6)计算, 量得地面两点水平距离后, 若使用的比例尺已确定, 可化算出该

两点的图上长度。又若在某一比例尺的图上量得两点长度，可化算出该两点的地面实际水平长度。

比例尺的大小，是由分数值的大小来决定的。分母愈小，比例尺愈大；分母愈大，比例尺就愈小。在地形测量中，通常将地形图的比例尺分为三类：1:500、1:1000、1:2000和1:5000称为大比例尺；1:10000、1:25000、1:100000称为中比例尺；1:200000、1:500000、1:1000000则称为小比例尺。

煤炭工业工程所使用的地形图比例尺大都为大比例尺。本教材只研究大比例尺地形测量成图的有关内容。

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化算，很不方便。在实际测绘工作中，为减少这种化算，可用如图2-5所示的直线比例尺。该比例尺为1:2000。

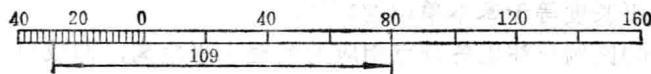


图 2-5

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) 先在图纸上绘一条直线，在该直线上截取若干个2cm或1cm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再分成20个或10个等分，然后在该基本单位的右分点上注记0，如图2-5所示。

(3) 自0点起，向左向右的各分点上，适当注记不同线段所代表的实际距离。

使用直线比例尺时，要用分规在地形图上量出某两点的距离，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。图2-5中为109m。

直线比例尺也可刻在三棱形的尺面上，每面刻有两种比例尺，如图2-6所示。

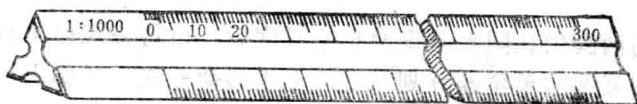


图 2-6

三、斜线比例尺

使用直线比例尺仅能读到基本单位的1/10，其1/100基本单位只能估读。为了能准确地读到1/100基本单位，通常采用斜线比例尺（又称复式比例尺）。斜线比例尺一般是刻在伸缩性很小的金属尺上。图2-7为1:1000斜线比例尺，其绘制方法如下：