

中等专业学校规划教材

地形测量学

(修订本)

侯湘浦 编著

煤炭工业出版社

中等专业学校规划教材

地形测量学

(修订本)

侯湘浦 编著

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书是煤炭工科中等专业学校煤矿测量专业使用的规划教材,它是在原版书的基础上修订而成。全书由绪论和十二章组成,第一至四章介绍地形测量基本知识和仪器使用基础技术;第五章阐述测量误差基础知识;第六至九章介绍图根平面和高程控制测量;第十至十二章介绍大比例尺地形图的测绘和应用。在书后有一附录,附录包括十三个 PC—E500 计算机地形测量常用程序。

本书也可作为其它工科中等专业学校、技工学校的测量专业,以及各类测量培训班相应课程的教材,并可供测绘工作者参考。

中等专业学校规划教材

地 形 测 量 学

(修 订 本)

侯 湘 浦 编 著

责任编辑:洪 钺

*

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京密云春雷印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 16¹/₄

字数 382 千字 印数 3,612—5,611

1996 年 11 月第 1 版 2006 年 1 月第 2 次印刷

ISBN 7-5020-1153-6/TD·17

社内编号 3921 定价 26.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

修 订 版 前 言

这本《地形测量学》是在1988年煤炭工业出版社出版的《地形测量》教材的基础上,为适应煤炭中等专业学校煤矿测量专业的教学需要,根据现行教学计划和教学大纲以及编著者近些年的教学经验,并汲取部分煤炭中专有关师生的意见修订而成的。本书仍保持了原版的基本结构,注意中专特色,理论联系实际,侧重地形测量学的基本理论、基本知识、基本方法的阐述及动手能力训练的有关内容。由于新制定的煤矿测量专业教学计划中,独立设置了航空摄影测量课程,故将原版书中的航空摄影测量基本知识一章删去。在编写中,还将原版书非重点章节中的某些冗杂的公式推导适当地进行了删节,给出了实用公式;对已发现的原版书中的不妥之处,均作了修订。在编写中还注意到本书内容与现行测量规范、标准的一致性。为强化测绘工程意识使教学与测绘生产任务相结合,本书充实了大比例尺地形测量成果的检查、验收与质量评定的内容。此外,还将原版书中的《PC—1500袖珍计算机图根控制测量程序》一章,修编为《PC—E500袖珍计算机地形测量常用程序》作为附录放在书后。附录包括十三个常用地形测量计算程序,根据需要可调用其中任何一个程序。

本书承蒙中国矿业大学编审洪铨老师作了审阅,并提出了许多很好的修改意见,在此表示感谢。

编著者恳请使用本教材的师生、测绘同行们,继续给予批评与指正,待下一次修订时改正。

编著者

1995年5月

目 录

绪论.....	1
第一节 测量学的概念及分类	1
第二节 测量学的发展概况	2
第三节 地形测量在社会主义建设中的作用	3
第一章 地形测量基本知识	4
第一节 地球的形状和大小	4
第二节 地面点位置的表示方法	6
第三节 用水平面代替水准面的限度	7
第四节 比例尺	9
第五节 平面直角坐标	10
第六节 直线定向	13
第七节 坐标计算原理	16
第八节 地形测量工作概念	19
第九节 地面点的标志	20
第十节 测量常用计量单位	21
第二章 水准仪及其使用.....	23
第一节 水准测量原理	23
第二节 水准测量的仪器和工具	24
第三节 望远镜及水准器	25
第四节 水准仪的使用	29
第五节 自动安平水准仪	30
第六节 水准测量的基本方法	32
第七节 水准仪的检验与校正	34
第八节 水准测量误差的产生原因及消减方法	38
第三章 经纬仪及角度测量	42
第一节 角度测量概念	42
第二节 光学经纬仪	42
第三节 水平角观测	46
第四节 竖盘结构与竖直角观测	51
第五节 J ₆ 级光学经纬仪的检验与校正	55
第六节 水平角观测误差的来源及消减方法	60
第四章 距离测量	64
第一节 钢尺量距工具与直线定线	64
第二节 钢尺量距的一般方法	66
第三节 钢尺的检定	68
第四节 较精确的钢尺量距方法	69
第五节 钢尺量距误差和注意事项	71
第六节 视距测量	72
第七节 红外光电测距	76

第五章 测量误差基础知识	83
第一节 概述	83
第二节 测量误差的来源和分类	83
第三节 偶然误差的性质	84
第四节 评定精度的指标	86
第五节 误差传播定律——观测值函数中误差	88
第六节 算术平均值及其中误差	93
第七节 根据改正数确定观测值中误差	94
第八节 误差传播定律应用举例	96
第六章 图根导线测量	102
第一节 平面控制测量概述	102
第二节 图根导线种类及图根导线测量的外业工作	104
第三节 图根导线测量的内业工作	107
第四节 导线测量错误的检查方法	117
第七章 图根三角网测量	120
第一节 概述	120
第二节 图根三角网测量的外业工作	121
第三节 线形锁近似平差计算	121
第四节 中点多边形近似平差	129
第五节 大地四边形近似平差	133
第八章 解析交会测量	136
第一节 概述	136
第二节 单三角形计算	138
第三节 前方交会计算	139
第四节 侧方交会计算	141
第五节 后方交会计算	142
第六节 距离交会计算	147
第九章 图根高程测量	149
第一节 概述	149
第二节 图根水准路线的布设	150
第三节 图根水准测量的外业工作	151
第四节 图根水准测量的内业工作	153
第五节 三角高程测量	155
第十章 平板仪测量	161
第一节 平板仪测量原理	161
第二节 平板仪及其附件	161
第三节 小平板仪	164
第四节 平板仪的安置	164
第五节 平板仪图解交会	166
第六节 平板仪的检验与校正	167
第十一章 地形图的测绘	171
第一节 概述	171
第二节 地形图的分幅与编号	171
第三节 《高斯投影大比例尺图廓坐标表》的使用方法	176

第四节 地物在地形图上的表示方法	177
第五节 地貌在地形图上的表示方法	179
第六节 地形测图前的准备工作	183
第七节 地形测图的方法	187
第八节 地形测图的一般要求	194
第九节 地物的测绘	196
第十节 地貌的测绘	199
第十一节 增设补充测站点的方法	205
第十二节 地形图的拼接与整饰	207
第十三节 地形图的检查验收与质量评定	208
第十二章 地形图的应用	213
第一节 概述	213
第二节 地形图应用的基本内容	213
第三节 采煤工程中地形图的应用	216
第四节 地形图在土地整理中的应用	218
第五节 地形图上面积的测定	219
附录 PC—E500 袖珍计算机地形测量常用程序	224
一、坐标正算程序	224
二、坐标反算程序	225
三、视距碎部测量记录计算程序	226
四、支导线计算程序	227
五、单一闭(附)合导线计算程序	228
六、线形锁近似平差计算程序	231
七、中点多边形与大地四边形近似平差公用计算程序	235
八、后方交会计算程序	240
九、前方交会计算程序	242
十、侧方交会计算程序	244
十一、距离交会计算程序	245
十二、单一水准路线计算程序	247
十三、单一三角高程路线计算程序	248
主要参考文献	251

绪 论

第一节 测量学的概念及分类

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程,将地球表面的起伏形态与各种固定物体及其它信息测绘成图,并确定地球形状和大小的科学。测量学的任务是为地球和空间科学,为国家经济建设和国防建设提供有关资料,以推动生产与科技的发展。测量学又是测绘科学技术的总称,它所涉及的技术领域,按照研究范围与测量手段的不同,分为许多分支学科,这些学科主要有:

地形测量学 是研究地球表面较小区域内测绘地形图的基本理论、技术和方法的学科。主要内容包括:图根控制网的建立;碎部测量;普通测绘仪器的构造、性能、检验校正与使用;地形测量误差分析和观测值的数据处理;地形图的应用等。地形测量学是测量学的基础。

大地测量学 是研究在广阔地域上建立国家大地控制网,测定地球形状、大小和地球重力场理论、技术与方法的学科。主要内容包括:各种边、角测量;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。大地测量所建立的国家大地控制网,为地形测量和大型工程测量提供平面和高程控制。大地测量工作作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。

摄影测量学 是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,从而确定地球表面形状和大小的学科。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。摄影测量的传统任务是利用摄影像片测绘各种比例尺的地形图,目前,1:5万至1:1万的国家基本图主要就是用摄影方法完成的。随着测量数据处理理论、计算机技术和摄影测量图像信息处理仪器的进步,摄影测量方法在大比例尺地形测量、各种工程测量等方面得到了广泛的应用。

工程测量学 是研究各种工程建设在勘察设计、施工安装和营运管理等阶段中各项测量工作的理论、技术与方法的学科。其主要任务是:建立为工程建设服务的工程控制网;测绘满足工程要求的大比例尺地形图;进行各种施工测量、安装测量、竣工测量;对某些建筑物、大坝、矿区地面沉陷进行变形观测等。工程测量按其工程建设的对象又分为矿山测量、城市测量、铁路工程测量、公路工程测量、水利测量、地质勘探测量、地籍测量、建筑测量与工业厂区施工安装测量等。煤矿测量属于矿山测量范畴。

地图制图学 是研究地图及其制作的理论、工艺和应用的学科。

海洋测量学 是研究测绘海岸、水体表面及海底自然与人工形态及其变化状况的理论、技术和方法的综合性学科。

上述几门分支学科,既自成系统,各有专务,又密切联系,互相配合。

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“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。我国测绘工作者在大型矿井、葛洲坝水利枢纽、长江大桥、宝成与成昆铁路、南极长城站、北京正负电子对撞机等工程中，作出了卓越的贡献。

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 6 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，都在测量科学的发展中起到了很大的作用。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。60 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。如今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。我国大地测量工作者近年来建立了全国卫星多普勒大地测量网，完成了西沙、南沙群岛与大陆的联测。此外，我国在全球卫星定位系统“GPS”，电磁波测距、遥感技术以及正射投影仪的应用等方面都取得了巨大进展。

1993年7月1日,我国历史上第一部测绘法律《中华人民共和国测绘法》正式施行,它标志着我国测绘工作走上了法制轨道,确定了测绘事业、各级测绘主管部门和广大测绘工作者的法律地位,它必将积极地促进我国测绘事业的发展。

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干扰,因此与国外先进测绘水平相比,我国的测绘技术在许多方面还有一定的差距。为此,我们必须发奋图强,为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、煤矿生产三个阶段。在每一个阶段中,必须测绘相应精度的地形图。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,因此提供各种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,幅员广大,地域辽阔。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,才能为祖国实现四个现代化多做贡献。

测量工作首先就是要客观、真实地测定各种需要的观测数据,为此,测量工作者要对工作极端负责,遵守职业道德,做到观测、计算和绘图步步有检核,不符合现行测绘技术规范要求的,必须推倒重来,保证测绘工作的高质量,否则将给国民经济建设造成损失。

矿山测量专业的学生学好地形测量学具有重要意义。本课程是一门专业技术基础课,具有重要的技术基础性质。其中的许多基本概念、基本原理及基本操作技能,是学习其它后续的专业课程的基础,学好本课程能为学好其它测量技术创造良好的条件。应当指出,地形测量学课程具有很强的实践性,在学习过程中务必要理论联系实际,认真参加各种实习和实践工作,加强测量技能的反复训练,为把自己培养成具有过硬的测绘技能的合格人才而努力。

第一章 地形测量基本知识

第一节 地球的形状和大小

地形测量的工作任务，是在地球表面上进行量测，然后经过一系列的数学运算和描绘工作，最终绘制成一张地形图。地形测量工作的许多问题与地球的形状和大小有关。

一、地球的自然表面

地球表面是一个很不平坦的复杂曲面，它上面分布着高山深谷、陆地海洋、丘陵平原等等，呈现出高低起伏的形态。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来概括和表达。因此，在地球的自然表面上进行测量工作所获得的长度、角度等成果，很难在这样不规则的自然表面上进行数据处理和准确地绘制出地形图。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

地球表面的总面积为 $510,038,042\text{km}^2$ ，其中海洋约占 71%，陆地约占 29%。陆地上最高的珠穆朗玛峰高出海水面 8846.27m，而与其高度相差不多的也是极少数，大部分陆地比海水面高不了多少。陆地上即使有大的高低起伏，但相对于庞大的、半径约为 6371km 的地球来说是微不足道的。因此，人们可以把地球总的形状看作是被海水包围的球体。宇航观察表明，从太空中看地球，是一片令人神迷的蓝色球体。人们从宏观的角度说，地球是个大水球。

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。由于海水面有不同的高度，所以设想静止的海水面有无数多个，亦即水准面有无数多个，其中特定的、通过平均海水面的那个水准面，称为大地水准面。由大地水准面所包围的地球形体，称为大地体。

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，海水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成正交。铅垂线是测量工作的一种基准线；大地水准面则是测量工作的一种基准面。

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的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，从而使大地水准面有微小起伏，产生不规则的变化，在这样的曲面上进行计算也是不理想的。为此，就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、地球椭球面

经过长期的科学研究，人们逐步认识到大地球体与一个以椭圆的短轴为旋转轴的旋转椭球十分逼近，该球称之为地球椭球，它的球体表面称之为地球椭球面，这样的表面就可方

便地用数学公式来表达。在测量工作中,可将地球椭球面作为表示地面点投影位置的基准面。地球椭球如图 1—1 所示。

地球椭球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数不超过 $\pm 150\text{m}$,在地球两极不超过 $\pm 30\text{m}$ 。地球的自然表面、大地水准面、地球椭球面三者的关系示意如图 1—2。

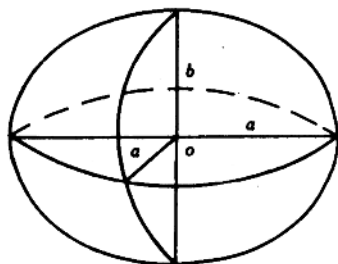


图 1—1 地球椭球

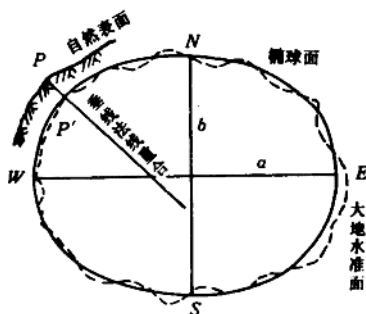


图 1—2 自然表面、大地水准面与地球椭球面

地球的形状既然可以用地球椭球来概括和表达,则地球椭球的大小就可用下述几个参数来确定:

长半径	a
短半径	b
扁率	$\alpha = (a - b) / a$

为确定这些参数的大小,人们经过了几个世纪的努力,特别是自人造卫星等先进技术应用以来,其值愈来愈精确。我国目前采用的参数值为

$$\begin{aligned} a &= 6378140\text{m} \\ b &= 6356755.3\text{m} \\ \alpha &= 1 : 298.257 \end{aligned}$$

由于地球的扁率很小,在地形测量所研究的范围内,可以近似地将地球当作圆球来对待,取其半径为

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

地球的形状确定后,还需进一步确定大地体与地球椭球的相对位置关系,这样才能将水准面或大地水准面上的实际测量成果化算到地球椭球上来进行计算。如图 1—2 所示,设想在某个国家的地面上选择适当的一点 P ,在过 P 点的铅垂线上大地体与地球椭球相切于 P' 点,此时,大地水准面的铅垂线与椭球体 P' 点处的法线相重合。选择这样的 P' 点时,还要满足使地球椭球的短轴与大地体的地轴相平行,且椭球面与这个国家领土内的大地水准面之差距尽量小等条件。这样,地球椭球与大地体的相互关系便固定下来了,这项工作称为椭球定位。定了位的地球椭球又称参考椭球。我国已进行了椭球定位工作,建立了大地原点,该点设在陕西省西安市西北方向的泾阳县境内,简称西安原点。椭球定位后,地面点投影到参考椭球面上的位置与投影到大地水准面上的位置,一般来说是有微小差别的。严

格地说,地面点的投影面应取参考椭球面,但在实际测量工作中,仍以大地水准面为基准面。当要求测量成果不须十分严密时,就不必化算到参考椭球面上去,这就简化了测量计算工作。

第二节 地面点位置的表示方法

研究地面点的空间位置,数学上采用投影的方法来解决。在测量工作中,地面点的空间位置,通常用该点在基准面上的投影位置和该点沿投影方向到基准面的距离来表示。

一、地面点的大地坐标

确定了参考椭球以后,就可以它作基准面建立统一的坐标系,用此统一的坐标系,就可确定地面点的位置。

大地坐标是用大地经度与大地纬度来表示地面点在参考椭球面上的投影位置的。坐标值都是角值。为了便于了解大地坐标,首先须了解参考椭球上的点、线和面的概念(见图1-3)。

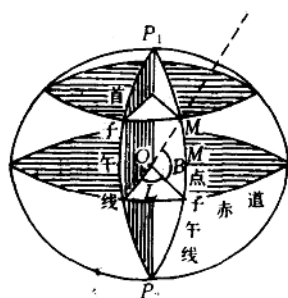


图1-3 大地坐标

地轴和两极 椭球的短轴 P_1P_2 称为地轴,又称椭球旋转轴。地轴与参考椭球面相交的两点 P_1 、 P_2 ,称为两极, P_1 为北极, P_2 为南极。

子午面与子午线 过地轴的任一平面称为子午面。子午面与参考椭球面的交线称子午线,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。

赤道与纬线 过地球中心且与地轴垂直的平面称赤道面。赤道面与参考椭球面的交线称赤道。其它凡垂直于地轴的平面与参考椭球面的交线称纬线。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大小不同且互相平行。

大地坐标系,就是以参考椭球的首子午面和赤道面来作为起算面的,它组成了大地坐标系。

点的大地经度 通过地面任一点 M 的子午面与首子午面间的两面角 L ,称为该点 M 的大地经度。经度由首子午面向东、向西量度,各由零度至 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。我国位于首子午线以东,各地大地经度皆为东经。

点的大地纬度 过地面上任一点 M 的法线,即通过该点与参考椭球面垂直的线,与赤道面的交角 B ,称为 M 点的大地纬度。纬度由赤道面向北、向南分别计算,各由 0° 至 90° 。在赤道面以北者称北纬,以南者称南纬。同一纬线上的纬度相同。我国位于赤道面以北,各地纬度均为北纬。

若测算出地面上任一点的大地经度 L 和大地纬度 B ,则该点在参考椭球上的投影位置就确定了。例如徐州地区某点的大地经度为东经 $117^\circ 28' 14''$,大地纬度为北纬 $34^\circ 25' 21''$ 。

上述经纬度是以参考椭球面及其法线为依据而建立的。还有一种是以大地水准面及其铅垂线为依据,用地理经度、地理纬度确定地面上任一点在大地水准面上的位置而建立的坐标系,称为地理坐标系。地理经纬度通常用 λ 、 φ 表示。同一点的大地经纬度与地理经纬

度相差一般很小。在地形图上使用的经纬度是指大地经纬度。

地理经纬度是用天文测量的方法直接测定的,而大地经纬度则是根据一个起始大地点的大地坐标,再按大地测量所得的观测数据推算而得的。这个起始的大地点通常称为大地原点,大地原点的起算数据,是根据定位的参考椭球而确定的。我国是以西安大地原点为起算点,并由此建立了适合我国使用的大地坐标系。该坐标系称为“1980年国家大地坐标系”。建国初期,我国曾采用“1954年北京坐标系”,这种坐标系目前还在国内不少地区使用。

二、地面点的高程

由高程基准面起算的地面高度叫高程。由于选用的基准面不同而有不同的高程系统。如图1-4所示,当以大地水准面为高程的基准面时,称绝对高程,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作为基准面时,称相对高程,或称为假定高程,如图中A、B两点 H'_A 、 H'_B 为相对高程。

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

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

我国的绝对高程是以青岛验潮站1950~1956年观测成果,推算的黄海平均海水面作为全国高程起算基准面,称为“1956年黄海高程系”。为了稳固地表示高程基准面位置,我国于1956年在青岛建立了一个与黄海平均海水面相联系的水准原点,称为青岛水准原点,测得其高程为72.289m。全国布测的国家各等级水准点的高程,都是以青岛水准原点为准而引测确定的。由于当时验潮资料不足等原因,该高程系统存有统计方面的错误。因此我国自1987年启用“1985年国家高程基准”,该基准将新的青岛水准原点的高程72.260m作为统一全国的高程系统,全国都应以此新的青岛水准原点高程值为准。

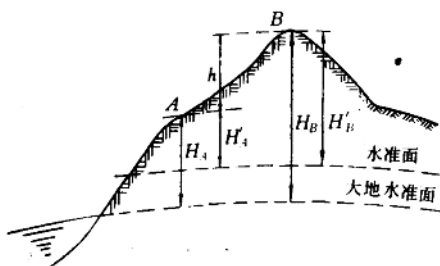


图1-4 地面点的高程

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,可将参考椭球近似地当作圆球看待。但是如果先将地面点的位置投影到圆球上,然后再将其描绘到平面图纸上,其计算和绘图工作都将是很困难的。如果在一定范围内,用水平面代替水准面,将地面点直接投影到平面上,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,误差也会愈大,故有必要分析一下其允许的范围有多大。下面从地球曲率对水平距离、水平角和高差三方面的影响进行分析。

一、地球曲率对水平距离的影响

图1-5中,假定大地水准面作为一个圆球来分析。设地面点A、B、C在圆球上的投影为a、b、c点,若以该区域中心点a相切的水平面代替球面,则地面点A、B、C在水平面上的投影为a、b'、c'点。

设地面上两点A、B在大地水准面上的距离为D,在水平面上的距离为d,两者之差 ΔD

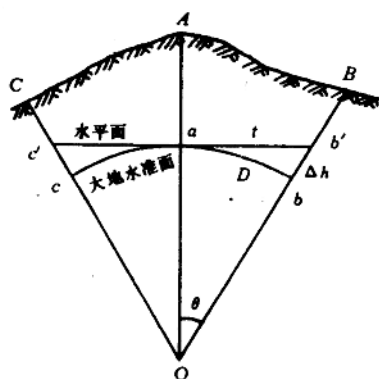


图 1—5 水平面代替水准面的影响

即为用水平面代替大地水准面所引起的距离误差

$$\Delta D = ab' - \widehat{ab} = t - D \quad (1-2)$$

其中 $t = R \cdot \lg \theta$, R 取 6371km, 将 $\theta = D/R$ 以弧度值代入, 通过计算可得表 1—1 所示结果。

由表 1—1 可知, 当球面上的距离 $D = 10\text{km}$ 时, 以平面代替大地水准面所产生的相对误差为 1:122 万, 而目前最精密的测距相对误差也才为百万分之一。所以, 一般来说, 在半径为 10km 的范围内进行地形测量, 不必考虑地球曲率对距离的影响, 可把水准面当成水平面看待。

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

$$\epsilon'' = \frac{P}{R^2} \rho'' \quad (1-3)$$

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 1—2。

表 1—1 用水平面代替水准面对距离的影响

$D(\text{km})$	$\Delta D \text{ (cm)}$	相对误差 $\Delta D/D$
10	0.82	1/1220000
25	12.83	1/200000
100	821.20	1/12200

表 1—2 用水平面代替水准面对水平角的影响

$P \text{ (km}^2\text{)}$	ϵ''
10	0.05
100	0.51
200	1.02

由表 1—2 可知, 当地球上面积在 100km^2 时, 球面角超也不过 $0.51''$, 这种因水准面曲率对水平角的影响, 在一般地形测量中是不予考虑的。

三、地球曲率对高差的影响

若以水平面代替水准面进行高差测量时, 由图 1—5 可看出

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + t^2$$

$$\Delta h = \frac{t^2}{2R + \Delta h} \quad (1-4)$$

由地球曲率对水平距离的影响分析可知, D 与 t 相差很小, 可用 D 代替 t 。此外, 式 (1—4) 中, 分母 Δh 与 R 值比较, Δh 值可忽略不计。这样式 (1—4) 可写成

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

以不同的距离代入上式, 分别算出地球曲率与高差的影响值, 如表 1—3 所列。由表可见, 地球曲率对高差的影响是很大的, 即使在较短的距离内, 也应考虑其影响。

表 1-3 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

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，有数字比例尺和直线比例尺。

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

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

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(1-6)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。

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1-6所示的直线比例尺。该比例尺为1:2000。

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：

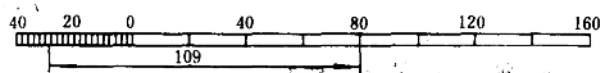


图 1-6 直线比例尺

(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1-6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 1—6 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 1—7 所示。



图 1—7 三棱比例尺

地形图的比例尺，按比例分数值的大小分为大、中、小三类比例尺。1:500 至 1:5000 通常指大比例尺；1:1 万至 1:5 万为中比例尺；小于 1:10 万的比例尺为小比例尺。

本教材只讨论大比例尺地形测量的有关内容。

三、比例尺精度

人们用肉眼能分辨出图上的最小距离是 0.1mm。就是说，小于 0.1mm 的线段，实际上已不能绘到图上。因此，地形图上 0.1mm 所代表的实际长度，称为比例尺精度。

若以 ϵ 表示比例尺精度， M 表示地形图比例尺，则

$$\epsilon = 0.1\text{mm} \times M \quad (1-7)$$

用上式可算出不同比例尺的精度，列于表 1—4。

表 1—4 比例尺精度

比例尺	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
比例尺精度(m)	0.05	0.1	0.2	0.5

讨论比例尺精度的意义在于：

(1) 当测图比例尺确定之后，可推算出测定距离时应准确到什么程度；

(2) 为使某种尺寸的物体和地面形态都能在图上表示出来，可按要求确定应该选用多大比例尺。

例如，测绘 1:2000 比例尺的地形图，地面测距精度只需达 0.2m，因为量测再准确，在图上也表示不出来。又若要求在图上能表示出 0.5m 的实际长度，则可选取比例尺精度等于 0.5m，即须选用的比例尺不小于 1/5000。

第五节 平面直角坐标

一、独立平面直角坐标系

本章第三节已经讨论，当测区较小时（如半径不大于 10km 的范围），可用测区水平面代替水准面。既然把投影面看作平面，地面点在投影平面上的位置就可以用平面直角坐标来确定。这种平面直角坐标如图 1—8 所示，规定南北方向为纵轴，并记为 x 轴； x 轴向北为正，向南为负。以东西方向为横轴，并记为 y 轴； y 轴向东为正，向西为负。为了避免使坐标值出现负号，建立这种坐标系时，可将其坐标原点选择在测区的西南角（图 1—9）。坐标系中的象限，是按顺时针方向编号，与数学上通常用的平面直角坐标有所不同，其目的是便于将数学中的公式直接应用到测量计算中去。

这种平面直角坐标之所以称作独立平面直角坐标系，主要是为区别于全国统一使用的高斯平面直角坐标系。