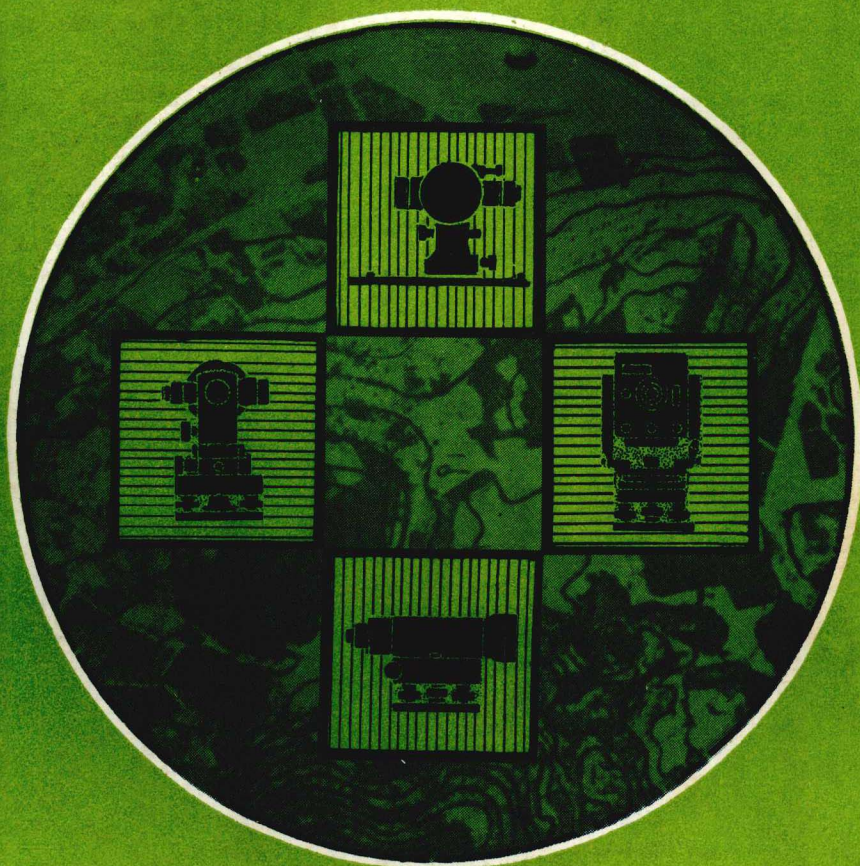


中等专业学校教材

地形测量学

李金如 毛启麟 章学信 编



地质出版社

中等专业学校教材

地形测量学

李金如 毛启麟 章学信 编

地质出版社

内 容 简 介

本书系地质矿产部中等地质学校地形测量专业（四年制）所用的教材。全书共十三章，内容可分为五个方面：测量学的基本知识；地形测量常用仪器——水准仪、经纬仪、平板仪的构造及原理、检查校正和使用方法，简要地介绍了视距仪器和短程电磁波测距仪；图根控制测量的理论和方法，其中较具体地介绍了袖珍电子计算器的应用；大比例尺平板仪地形测图的方法；误差理论基础知识和地形测量（主要是图根控制和地形图）的精度分析。

本书除作为地形测量专业教材外，可供其他有关专业师生以及测绘工作人员参考。

本书由蒋治鑫、钮绳武主审，经测绘教材编委会于1983年4月召开的审稿会议审稿，同意作为中等专业学校教材出版。

中等专业学校教材

地 形 测 量 学

李金如 毛启麟 章学信 编

责任编辑：邵 诚

地 质 学 社 出 版

（北京西四）

地 质 学 社 印 刷 厂 印 刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆印张：21³/₄ 字数：510,000

1984年11月北京第一版·1984年11月北京第一次印刷

印数：1—8,450 册 定价：3.55元

统一书号：13038·教182

前 言

本书系根据地质矿产部教育司制订的中等地质学校地形测量专业的《地形测量学》教学大纲编写的教材。我们认为作为中等专业学校的教材，应着重于阐述基本知识、基本理论和基本技能。而“三基”内容的选择应从本课程的科学性、系统性出发，并以是否适合我国情况为准绳。为此，我们对多年来本课程的教学情况和历次所编教材进行了分析和总结，并对我国测绘生产的现状及今后若干年内可能的发展趋势进行了估计，在此基础上对原有教材予以调整、充实和提高，编写成这本《地形测量学》。

鉴于目前袖珍电子计算器和短程电磁波测距仪在测量工作中已较普遍应用，所以本书中图根控制计算主要采用计算器计算。但考虑到六位对数表的应用也是地形测量工作者的一种基本知识及运算技能，因此，书中还保留了少量的对数运算方法。同样根据需要，简要地介绍了我国生产的短程红外测距仪和激光测距仪的原理和使用方法。

在阐述地形测图作业问题时，根据教学大纲的要求，以大比例尺平板仪地形测图为主，同时也顾及了地形测量人员必须具有的中、小比例尺地形测图的若干基本知识。

为了使读者在今后的工作中在提高选择作业方法的能力方面具有较好的基础，本书对地形测量中有关作业的精度问题进行了较详细的阐述。

为了增强直观性，使学者容易领会课文，书中附有较多的插图。

本书由南京地质学校李金如同志主编，其中第五、七两章由毛启麟同志执笔，第十二、十三两章由章学信同志执笔。并经地质矿产部中等地质学校测绘类教材编审委员会钮绳武、蒋治鑫、孙文成三同志审阅，邵诚同志担任责任编辑。

在本书的编写和审稿过程中，地质矿产部中等地质学校测绘类教材编审委员会，南京地质学校、长春地质学校和昆明地质学校测量教研组的同志们，提出了许多宝贵的意见和建议，特此表示谢意。

希望使用本书的同志们提出宝贵的意见，以便再版时予以修正。

编 者

一九八三年十一月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 测量学的研究对象和任务.....	1
第二节 测绘工作在社会主义建设中的作用.....	2
第二章 测量学的基本知识	4
第一节 测量上常用的度量单位.....	4
第二节 地球形状和大小的概念.....	5
第三节 地图、平面图、地形图.....	7
第四节 比例尺.....	9
第五节 地形测量工作的概念.....	13
第三章 距离丈量 and 直线定向	16
第一节 地面点的标定及直线定线.....	16
第二节 丈量距离的工具.....	18
第三节 丈量距离的方法.....	20
第四节 钢卷尺的检定.....	23
第五节 长度计算.....	25
第六节 钢卷尺丈量长度时的误差.....	26
第七节 直线定向.....	28
第四章 水准测量	31
第一节 高程测量概述.....	31
第二节 水准测量的原理.....	32
第三节 望远镜.....	34
第四节 水准器.....	41
第五节 水准仪.....	44
第六节 水准标尺及尺垫.....	48
第七节 测量仪器的使用和维护.....	49
第八节 水准测量.....	50
第九节 图根水准路线的高程计算.....	55
第十节 水准仪的检查校正.....	58
第十一节 水准测量的误差来源.....	62
第五章 角度测量	65
第一节 角度测量的概念.....	65
第二节 J ₆ 型光学经纬仪.....	66
第三节 水平角观测.....	71
第四节 垂直角观测.....	77

第五节	经纬仪的检查校正	81
第六节	水平角观测误差的来源	85
第六章	解析图根控制测量	87
第一节	概述	87
第二节	经纬仪导线测量的外业工作	90
第三节	坐标计算的基本公式	94
第四节	EL-5002型电子计算器	97
第五节	经纬仪导线测量的内业计算	110
第六节	测角交会和图根三角锁(网)的外业工作	118
第七节	单三角形的计算	119
第八节	前方交会点的计算	122
第九节	侧方交会点的计算	123
第十节	后方交会点的计算	125
第十一节	线形锁的近似平差	136
第十二节	中点多边形的近似平差	153
第十三节	大地四边形的近似平差	158
第七章	三角高程测量	162
第一节	三角高程测量原理	162
第二节	独立交会高程点	164
第三节	多角高程导线	164
第八章	视距测量和电磁波测距	168
第一节	概述	168
第二节	定角视距测量的原理和公式	169
第三节	视距标尺	172
第四节	测定视距乘常数的方法	173
第五节	视距测量计算表	175
第六节	视距导线测量	180
第七节	定角视距的精度	183
第八节	光学楔镜视距仪	183
第九节	视差法测距	187
第十节	DCH—05短程红外测距仪	190
第十一节	激光测距仪	197
第九章	图解图根测量	200
第一节	大平板仪及其附件	200
第二节	小平板仪	203
第三节	平板仪的整置	203
第四节	大平板仪的检查校正	205
第五节	平板仪图解交会法	207
第六节	平板仪导线测量	213

第十章 大比例尺平板仪地形测图	216
第一节 概述.....	216
第二节 地形图的分幅与编号.....	216
第三节 高斯投影和平面直角坐标系.....	221
第四节 地形图的符号.....	224
第五节 地貌表示的方法.....	226
第六节 平板仪地形测图的准备工作.....	230
第七节 地形测图时的测站点.....	240
第八节 测定地形特征点的方法.....	241
第九节 大比例尺平板仪地形测图.....	243
第十节 地物的测绘.....	246
第十一节 地貌的测绘.....	252
第十二节 图边测图及原图的拼接、整饰.....	259
第十三节 原图的检查验收.....	260
第十一章 地形图的应用	262
第一节 地形图的野外应用.....	262
第二节 根据等高线确定高程和斜坡坡度.....	267
第三节 按图上已知方向绘断面图.....	269
第四节 在土地平整中地形图的应用.....	271
第五节 确定汇水面积.....	273
第十二章 测量误差理论基础	274
第一节 测量误差及其分类.....	274
第二节 偶然误差.....	275
第三节 衡量精度的标准.....	276
第四节 误差传播定律.....	279
第五节 算术平均值及其中误差.....	288
第六节 等精度观测值的中误差.....	290
第七节 同类量等精度双观测值的中误差.....	294
第八节 观测值的权.....	295
第九节 观测值函数的权.....	300
第十节 广义算术平均值及其中误差.....	302
第十一节 单位权中误差.....	304
第十三章 地形控制和地形图的精度	308
第一节 高程测量的精度.....	308
第二节 经纬仪导线测量的精度.....	314
第三节 测角交会点的精度.....	318
第四节 单三角形的精度.....	325
第五节 线形锁的精度.....	328
第六节 图解测站点的精度.....	330

第七节 碎部点平面位置的精度..... 335

第八节 地形图高程的精度..... 336

参考文献..... 340

第一章 绪 论

第一节 测量学的研究对象和任务

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程，将地球表面的起伏形态和各种固定物体测制成图，以及确定地球的形状和大小的科学。随着整个社会生产的发展，测绘业务也逐渐专门化，测量学亦随之分支，而成为各门独立学科。这些学科通常分为：

大地测量学 是研究在广大地面上建立国家大地控制网，精确地测定地球的形状和大小以及地球重力场的理论、技术和方法的学科。大地测量工作为其他测量工作提供起算数据，为空间科学技术和军事用途提供资料，并为研究地球形状、大小，地壳变形及地震预报等提供重要资料。

地形测量学 是研究测绘地形图的基本理论、技术和方法的学科。其任务是应用各种测量仪器或利用地面象片，将地球表面测绘成图。

摄影测量学 通过摄影象片和辐射能的各种图象记录手段，对其进行处理、量测、判释和研究，以测得物体的形状、大小和位置的模拟形式或数学形式的成果以及关于环境可靠信息的一门学科。其任务早先主要用以测绘地形图，而现在已愈来愈广泛地用于解决其他自然科学的问题。

工程测量学 是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。其任务是在城市规划、工业设计、农田水利、交通运输、地质勘探等不同规模和要求工程建设中，完成勘测设计、施工以及竣工后所需的各种各样的测量工作。

制图学 是研究地图及其制作的理论、工艺和应用的学科。其任务是利用已有的测量成果、成图，编制各种基本图和专业地图。完成地图复制和印刷出版工作。

上述几门学科，既自成系统，各有专务，又必需密切联系，相互配合，才能更好地为测绘事业服务。

测量学和其他科学一样，是在人类生产活动过程中产生和发展起来的，它是一门古老的科学。在世界上，早在纪元前十八世纪，古埃及就进行过土地丈量。纪元前六世纪，埃及人民在建设尼罗河与红海之间的运河及尼罗河灌溉系统之类的工程中，都应用了测量学的知识。公元七世纪，阿拉伯人将中国的指南针传入欧洲，对测量中的定向问题，作出了重要的贡献。公元十七世纪，哥白尼、加利略、克普勒及牛顿等科学家在科学上的发现与发明，如望远镜、显微镜和水准器等光学上和力学上的成就，以及三角学在测量上的应用，对于测量学的发展曾经作出了重大的贡献。十九世纪，德国人高斯，在地图投影和测量平差方面也作出了重大的贡献。二十世纪二十年代，航空摄影测量的应用，开始了测量工作的机械化时代。六十年代以来，由于近代光学、电子学、人卫摄影和航天技术的迅猛发展，为测量技术的机械化、自动化、电子化及数字化，不仅开辟了广阔的前景，而且在某些方面已将这些先进成果应用在测量工作中。采用多普勒卫星观测则为建立全球性大

规模大地控制网和全球性统一坐标系统提供了充分的可能性。利用遥感资料编制近海区域的海洋地图,以及电子计算机、电磁波(红外和激光)测距的广泛应用,显著地提高了测绘工作的效率,并大大减轻了作业中的繁重体力劳动。现代测量技术正处在一个革新和不断发展的新阶段。

中国是世界上历史悠久的文明古国之一,测量学在我国历史上也有其光辉的一页。相传早在纪元前二十一世纪夏禹治水时,就已采用了准、绳、规、矩这些简单的测量工具。在二千多年前的《管子》一书中,已有关于地图作用的论述。在长沙马王堆汉墓中出土的文物中,有纪元前二世纪制作的《地形图》,《驻军图》和《城邑图》,这些图件证实了古书上有关论述的可靠性,它们是当今世界上能保存下来的最早的地图。公元一世纪,汉人张衡制成了较准确的天文测量仪器——浑天仪。公元三世纪,晋人裴秀编绘了《禹贡地域图》和《地形方丈图》,并总结了制图经验,提出编绘地图的原则,称为制图六体,即道里(距离)、准望(方向)、高下(地形起伏)、方邪(地物形状)、迂直(河流、道路的曲直)、分率(比例尺)。公元724年曾在河南的滑县到上蔡一带,直接丈量了300公里长的子午线弧长,并用日圭观测太阳照射物体的阴影以定纬度,这是我国第一次用弧度测量的方法确定地球的形状和大小。在公元十三世纪和十八世纪初,我国都进行过较大规模的大地测量工作。并在十八世纪初根据大地测量成果编制了全国地图。

自1840年起直到解放前的近百年来历史,是中国人民遭受帝国主义、封建主义、官僚资本主义凌辱欺压的历史。反动统治严重地阻碍了我国生产力的发展,测绘事业也处于极端落后和停滞的状况。虽然也建立了测绘机构,创办了测绘学校,进行了一些测量工作。但成效甚小,成果、成图的质量不高。

1949年中华人民共和国成立后,我国测绘事业得到了迅速的发展。1950年中国人民解放军总参谋部测绘局成立。同时各大军区分别建立了测绘学校。1952年清华大学等六所高等院校设置了测量专业,积极培养测绘技术人材。1956年建立了全国统一的测绘机构——国家测绘总局,管理全国性的测绘业务事宜。在建国后的十年内,基本上完成了全国范围建立大地控制网的工作,同时施测了大量的国家基本地形图。在治理淮河、黄河、根治黄河及长江流域规划等的勘测、设计工作中,测绘了各种比例尺的地形图。在进行工矿、农田、水利、城市、交通等各项经济建设中,有关部门也进行了大量的工程测量并测制了大比例尺地形图。在科学考察活动中,我国测量工作者和有关科学工作者协同努力,克服了各种艰难险阻,精确地测定了珠穆朗玛峰的高度(8848^m.13),并对青、藏地区进行了较全面的综合科学考察。我国的测绘仪器制造业也相应地得到了发展,在较短的时间内,研制了普通的测绘仪器、航测仪器和某些较精密仪器,有的已达到国外同类型仪器的水平。测绘科学的研究工作也在有计划的进行并取得一定的成绩。

测绘事业虽然在发展的道路上遭受过这样那样的破坏,但毕竟是前进中的挫折。在建设繁荣富强的社会主义祖国的伟大而艰巨的事业中,测绘工作有着极其重要的地位和作用,测绘事业必将随着实现四个现代化的进程得到不断的发展和进步。

第二节 测绘工作在社会主义建设中的作用

我国幅员广大,辽阔的土地,需要我们去描绘和规划;丰富的地下矿藏,天然的海

洋资源，要靠我们去勘察、开发和利用；当世界上还存在着侵略者和破坏者的时候，美好河山，现代化的建设以及人民的幸福生活就需要我们去保卫。总之，在建设和保卫祖国的伟大事业中，测绘工作的意义和作用是十分巨大的。

在地质、采矿事业中，当普查和勘探金属和非金属矿产时，地图是地质人员填绘勘探成果的重要资料。当实施开采计划、兴建各种矿井和采矿企业时，必须有精确的地图，为此要进行专门的测量工作。

在农业和林业的建设中，正确地进行土地整理及森林的建设与经营，改良土壤、整理土地、开垦荒地以及实现许多旨在发展农业和林业的其他措施时，不仅需要利用地图和地形图，更需要进行精确的测量工作。

在交通运输业中，当修建铁路、公路、通航运河及其附属建筑工程时，初步敷设方案，要根据地形图来拟定。在勘察、设计和施工的各个阶段都要进行测量工作。

在水利建设工程中，如新安江水电站和葛洲坝综合水利枢纽工程，在进行这种规模相当巨大的工程建设时，首先要根据详细的地形图作初步设计，然后进行勘察、施工。测量工作应在勘察过程中为工程设计提供原始资料，在施工过程中，应保证正确地将设计转移到实地上。即使工程已经建成并交付使用后，仍然需要进行精确的测量工作，以观察和发现工程中所产生的变形、下沉和偏移，提出准确的资料。

在城市建设中，科学的规划和整理居民地，城市的扩充与改建计划，建设城市交通路线，敷设地下管线，兴建地下铁道等，都必须有地形图和地图，并进行专门的测量工作。

测绘工作在国防方面也是不可缺少的，人们形象地把地形图称作“军人的眼睛”、“指挥员的参谋”。在现代的战争中，研究地形、制定作战计划，指挥各兵种、军种的联合作战以及发射远程炮弹和导弹等等，都需要各种类型的地形图，并进行精密的测量工作。

综上所述，可知测绘工作在经济和国防建设方面有着多么重大的意义和作用。随着国家各方面建设工作愈来愈规模愈巨大的发展趋势，测绘工作在国家建设事业中所承担的任务也就愈来愈大。人们把测量工作称作社会主义建设事业的“尖兵”，这是对测绘事业最崇高的评价。

第二章 测量学的基本知识

第一节 测量上常用的度量单位

要量测某量（长度、角度等）的大小，就需要有相应的度量单位。这些度量单位有的是经国际会议制定的，有的则是根据各国自己的习惯制定的。

测量学中常用的是长度、角度、面积等度量单位，其他如重量、温度、时间等度量单位用得不多。下面分别介绍测量上常用的三种度量单位。

一、长度单位

自1959年起，我国采用了国际公制为基本计量制度。其长度单位为米。考虑到我国人民的习惯，制定了与国际公制有联系的市制，配合使用。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 米 (m)} &= 10 \text{ 分米 (dm)} = 100 \text{ 厘米 (cm)} = 1000 \text{ 毫米 (mm)} \\ &= 10000 \text{ 丝米 (dmm)} = 100000 \text{ 忽米 (cmm)} = 1000000 \text{ 微米 (}\mu\text{)} \\ &= 10000000 \text{ 毫微米 (m}\mu\text{)} \end{aligned}$$

$$1000 \text{ 米} = 1 \text{ 公里 (可写为一千米或1km)}$$

$$1 \text{ 米} = 3 \text{ 市尺}$$

$$1 \text{ 公里} = 2 \text{ 市里}$$

$$1 \text{ 市里} = 1500 \text{ 市尺}$$

$$1 \text{ 市尺} = 10 \text{ 市寸} = 100 \text{ 市分} = 1000 \text{ 市厘}$$

二、角度单位

我国采用的角度单位为六十进位制的度（主单位）。即将一个圆周角等分为360格，每格称为1度（°）。

$$1 \text{ 度 (}^\circ\text{)} = 60 \text{ 分 (')}.$$

$$1 \text{ 分 (')} = 60 \text{ 秒 (')}.$$

有些国外制造的仪器上采用百进位制的度称为新度。即将一个圆周角等分为400格，每格称为1度（g）。

$$1 \text{ 度 (g)} = 100 \text{ 分 (c)}.$$

$$1 \text{ 分 (c)} = 100 \text{ 秒 (cc)}.$$

测量计算工作中，在推导公式和进行运算时，对较小的角度经常需要用另一种度量角度的单位，即用与半径等长的弧所对的圆心角作为量角的单位，称为“弧度制”。

如果圆周上一段弧长 $\widehat{MM'}$ 与该圆半径 OM 的长度相等，则此时 $\widehat{MM'}$ 所对圆心角 α 的大小就叫做1弧度。通常以 ρ 表示。即

$$\alpha = \frac{\widehat{MM'}}{\widehat{CM}} = 1$$

因为圆的周长是 $2\pi R$ ，所以一个圆周角的弧度值是： $\frac{2\pi R}{R} = 2\pi$ ，平角是 π ，直角是 $\frac{\pi}{2}$ 等等。这样角的度数与弧度的换算关系式是：

$$180^\circ = \pi \text{ 弧度}$$

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ 弧度} \approx 0.0174533 \text{ 弧度}$$

反之

$$1 \text{ 弧度 } (\rho^\circ) = \frac{180^\circ}{\pi} = 57^\circ 17' 44'' \approx 57.3^\circ$$

$$(\rho') = 3437.747' \approx 3438'$$

$$(\rho'') = 206264.8'' \approx 206265''$$

三、面积单位

我国采用的面积主单位是平方米 (m^2)。大面积可用平方公里 (km^2)、公顷 (ha)、公亩 (a)。农业上习惯用市亩作面积单位。

$$1 \text{ 平方公里} = 100 \text{ 公顷} = 1000000 \text{ 平方米} = 1500 \text{ 市亩}$$

$$1 \text{ 公顷} = 100 \text{ 公亩} = 10000 \text{ 平方米} = 15 \text{ 市亩}$$

$$1 \text{ 公亩} = 100 \text{ 平方米} = 0.15 \text{ 市亩}$$

第二节 地球形状和大小的概念

研究地球的形状和大小是测量学的任务之一，而地形测量的任务则是将地球表面测绘成地形图。因此，对地球的形状和大小应有一个明确的概念。

整个地球究竟是一个什么形状？应怎样来表述它？这是自然科学的极重要的问题之一。但是，虽然经过长期的测定和研究，直到现在还不可能作出完善准确的结论，这是仍需进一步探讨的重要课题。

地球的自然表面为海洋和陆地，是一个十分复杂的不规则的表面。据推算，海洋表面约占地球表面积的71%，而陆地约占29%。陆地表面虽然有高低起伏，但最高的珠穆朗玛峰，海拔也不过8848.13米，而与珠峰高度相差不多的山峰也是很少的，大部分陆地比一般海平面高不了多少，所以陆地上的高低起伏差别，相对于地球的体积来说是极微小的。因此我们可以设想用一个均衡的海洋面来代表地球的表面。即将一静止的（不受潮汐、波浪的影响）平衡状态的海洋面扩展延伸，穿过整个大陆和岛屿的下面。这个假定的海洋面是一个没有皱纹和棱角的、连续的封闭曲面，它处处与重力方向垂直，这个表面称为大地水准面。大地水准面所包围的形体叫做大地体，通常用大地体来代表地球的一般形状。

长期的测量和研究结果表明，地球是一个沿赤道稍微膨大而两极略为扁平的椭球（地球自转的结果）。现在根据卫星大地测量的资料分析，进一步确定大地体是北极地区稍许凸

出（仅约20米），而南极地区稍许凹进的略显梨形的椭球。

任何一个静止的水面，都是水准面，因而水准面可以有无数多个，其中与平均海面一致且包围地球的水准面就是大地水准面。或者说，大地水准面在海洋上是用平均海面表述的。

由于地球表面起伏不平及地球内部质量分布的不均匀。因此，地球的引力并不是处处一致的，亦即各点上铅垂线方向有不同的变化，所以大地水准面也是一个无法用简单的数学公式表述的不规则曲面。在这个不规则的表面上是无法进行各种测量计算的。为了适合于测量工作的需要，我们就以一个和大地体非常接近的有规则表面的数学形体即旋转椭球体（地球椭球体）来代替大地体，并且将它作为测量工作中实际应用的地球形状。经定位后的旋转椭球体叫做参考椭球体。

旋转椭球体的形状和大小，是由它的长半径（轴） a 和短半径 b 轴所决定的；也可以由任一半径和扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 来决定。如图2.1所示。

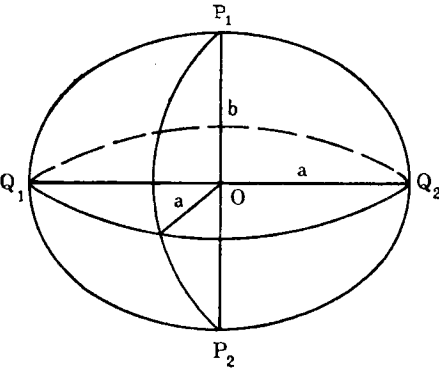


图 2.1 地球形状和大小

上述半径 a 、 b 和扁率 α 叫做旋转椭球体元素。

很早以来，测绘和科研工作者，对地球的形状和大小就不断地进行了测定和研究。二十世纪六十年代以后，根据全球人卫观测资料，国际上也陆续地推算得一些新的椭球体参数。测定旋转椭球体元素，是一项具有国际性和长期性的科研工作。随着空间技术的不断发展和完善，各国之间观测资料的交流和综合应用的发展，测定和推算的结果无疑将日趋精确。表2.1列举了几个有代表性的测定结果，以供参考。

表 2.1

年代和国家	推算者	长半轴 a (米)	短半轴 b (米)	扁率 α
1880 法国	德兰布尔	6375653	6356564	1 : 334
1841 德国	白塞尔	6377397	6356079	1 : 299.2
1880 英国	克拉克	6378249	6356515	1 : 293.5
1909 美国	海福特	6378388	6356912	1 : 297
1940 苏联	克拉索夫斯基	6378245	6356863	1 : 298.3
1979	国际大地测量协会	6378137		1 : 298.257

我国测绘科技工作者，采用我国长期观测的大量资料和数据，正在推求更适合于我国情况的参考椭球体元素。可以预料，不久以后，将应用我国自己推算的椭球体元素。由于历史所形成的原因，我国目前仍采用克拉索夫斯基参考椭球体元素。

根据1979年国际大地测量和地球物理协会的第四个推荐值，采用的基本大地数据，如上表所列。

由上述可知，地球的自然表面、大地水准面和参考椭球体面三者的关系如图2.2所示。

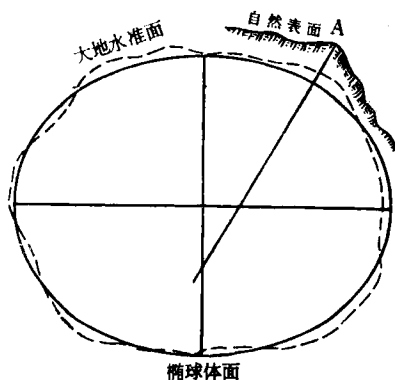


图 2.2 自然表面、大地水准面和椭球体面

可以看出，大地水准面和参考椭球面是不一致的，有的地方大地水准面高于椭球面，有的地方则低于椭球面，但其差数最大不超过 ± 150 米，而在两极则不超过 ± 30 米。

由于旋转椭球体的扁率（约 $\frac{1}{300}$ ）极小，因此在地形测量工作中，可以近似地把地球作为圆球看待，其半径则采用与椭球体等体积的圆球半径，即

$$R = \sqrt[3]{ba^2} \approx 6371 \text{ 公里}$$

第三节 地图、平面图、地形图

当进行大区域、高精度测量工作时，应严格地基于参考椭球面上进行各项运算。而处理地形测量学中一切需要考虑地球曲率的问题时，则可以把地球当作圆球，其精度对于实用目的是足够的。

在地形测量中，当测区的面积不大时，还可以进一步把地球表面的个别部分当作平面，即将一部分水准面当作水平面，其所得结果也能满足精度要求的。现在需要研究的问题是，在多大的范围内这样的简化是适宜的。

如图 2.3(a) 所示，设球心为 O ，半径为 R 的一部分球面为水准面。过水准面上任一

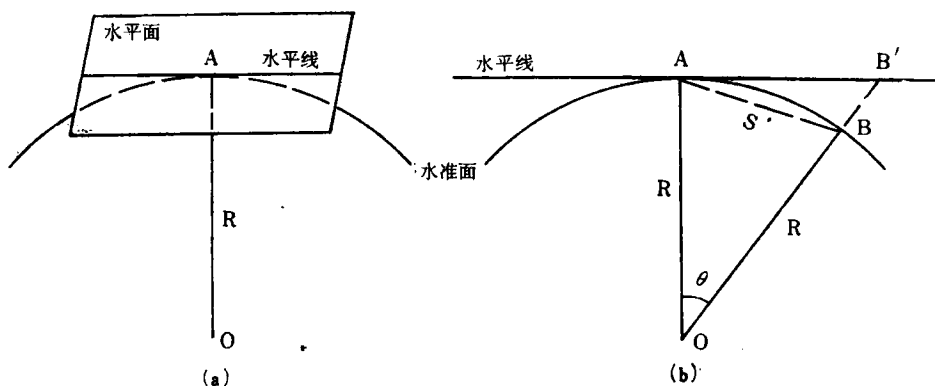


图 2.3 地球曲率对长度的影响

点 A 作水准面的切平面，该平面叫做过 A 点的水平面。水平面上过 A 点的任意直线叫做过 A 点的水平线。

在图2.3(b)中， $A、B$ 为水准面上的两点， $\widehat{AB}$ 所对的圆心角为 θ 。延长 OB 与水平面的交点为 B' 。

由图可得：

$$\begin{aligned} AB' &= R \cdot \operatorname{tg} \theta \\ \widehat{AB} &= R \cdot \theta \end{aligned}$$

则两者的长度之差为

$$\begin{aligned} \Delta S &= AB' - \widehat{AB} = R \cdot \operatorname{tg} \theta - R \cdot \theta \\ &= R(\operatorname{tg} \theta - \theta) \end{aligned}$$

上式经过数学变换，并设 $\widehat{AB} = S$ ，最后可得

$$\Delta S = \frac{S^3}{3R^2} \tag{2.1}$$

(2.1) 式即为长度误差的计算公式。 ΔS 就是以水平面代替水准面时长度所产生的误差。若 $R=6371$ 公里，依上式可得表2.2。

表 2.2

距 离 S (公里)	10	50	100
长度误差 ΔS (厘米)	1	103	821
相对误差 $\Delta S / S$	1/1000000	1/49000	1/12000

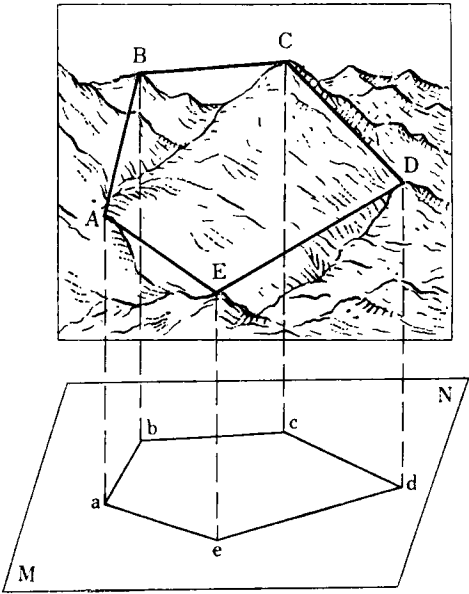


图 2.4 垂直投影

由表2.2可以看出，当地球表面上长度为10公里时，用水平面代替水准面所产生的长度误差小于直线长度的 $1/1000000$ 。而现代最精密的距离测量，其误差也达到 $1/1000000$ 。所以在地形测量中，当测区面积不超过100平方公里时，一般不考虑地球弯曲对长度的影响，其原因就在这里。此外，地球弯曲对角度测量和高程测量也产生影响，其具体情况将在以后有关章节中讨论。

在地形测量中，要把地球表面上高低起伏的形状和固定物体测绘在平面图纸上，需要采用投影的方法。常用的投影方法是垂直投影和中心投影。

如图2.4，设多边形 $ABCDE$ 为一空间图形。在测区中心作一水平面 MN ，然后从多边形的各顶点向水平面作垂线，这些相互平行的垂线与水平面的交点（垂足）分别是 $a、b、$

c 、 d 、 e 称为相应地面点的垂直投影（也称正射投影）。直线 ab 、 bc ……称为相应空间 AB 直线、 BC ……的垂直投影。平面多边形 $abcde$ 就是空间多边形 $ABCDE$ 的垂直投影。

由垂直投影可知，只有当空间直线平行于投影平面（水平面）时，其在投影面上的长度，与相应直线的长度相等。否则，空间直线在投影面上的长度总是小于该直线的长度。

如图2.5所示，若任取一点 S （称为投影中心，一般可任意选择），并将其与空间多边形的各顶点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 分别连接，这些直线与平面 PQ 相交，则交点 a 、 b 、 c 、 d 、 e 称为相应点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 的中心投影。直线 ab 、 bc ……称为相应直线 AB 、 BC ……的中心投影。而平面多边形 $abcde$ 称为空间多边形的中心投影。

中心投影是拍摄象片的原理，当利用拍摄的象片测绘地形图时，需要一个把中心投影变为垂直投影的转换过程。

当测区面积不大，将这部分水准面当作水平面，而不考虑地球曲率的影响，采用垂直投影的方法，并按一定的比例把地面上的形态、物体缩小而相似地展绘到平面上，所得到的这种图称为平面图。

如果地区的面积很大，这时就不能把大范围的水准面当作水平面，而应顾及到地球曲率的影响，并采用能满足某一种成图要求的地图投影方法，按一定的比例将球面上的形态、物体投影展绘到平面上，这种缩小的有某种变形的图称为地图。地图上的图形虽然都有一定的变形，但是这种投影变形，我们可以通过选用不同的地图投影方法加以适当的限制。

如果图上不仅表示出各种地物的平面位置，而且表示出地面高低起伏的形态，这种图称为地形图。

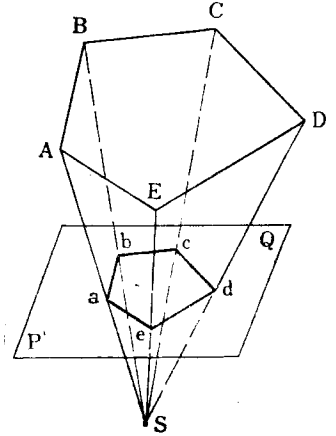


图 2.5 中心投影

第四节 比例尺

将地球表面某一地区的形状、大小以及地面上各种物体测绘在图纸上，不可能按其实际的大小来表示，必须缩小一定的倍数来描绘。图上一直线的长度 l 与地面上相应直线的水平长度 L 之比，称为图的比例尺。一般用 $1/L$ 来表示。

按照表示方法不同，比例尺一般分为两类：

一、数字比例尺

为了应用和计算方便，比例关系通常以分子为1，分母为10的整倍数的分数形式来表示。依上述比例尺的定义，则有

$$\frac{l}{L} = \frac{1}{M} \quad (2.2)$$

(2.2) 式中的 $1/M$ 就称为数字比例尺。比例尺的分母 M ，反映了地面水平长度应缩小的倍数。

地形图中常用的数字比例尺有 $1/500$ 、 $1/1000$ 、 $1/2000$ 、 $1/5000$ 、 $1/10000$ 、 $1/25000$ 、