

测 量 学

(第 2 版)

《测量学》编写组 编

林业专业用

全国中等林业学校教材

测 量 学

(第 2 版)

《测量学》编写组 编

林业专业用

中国林业出版社

第2版前言

本书是以林业部1990年颁发的全国中等林业学校林业专业(四年制)测量学教学大纲的内容为修订依据,并遵照编写教材应注意精选内容、深浅适度、加强应用、适当更新、顾及正确处理当前与长远的关系和反映现代化新技术等编写原则,由全国中等林校营林类专业教材委员会《测量学》编写组对原教材进行修订。书中对测量方面的基本理论、基本知识和基本技能作了较详细的叙述,削减并合并了一些章节,在章次顺序上也作了一定的调整,使之更符合由浅入深且和生产体系更相结合;增加了尺方程式的建立、角度观测中归心改正的原理、网状水准和网状导线的平差、图解后方交会中的试合法、采用计算法测设回头曲线以及电子测距仪和电子求积仪等内容;加强了测量精度中权的概念和测量误差理论在实际工作中的应用,识图知识和用图技术;简化了计算表格,提高了插图质量,并使用计算程序取代了繁琐的表算方法等。为了满足教学需要,还编写了部分用小号字体印刷的内容,供参考之用。

本书内容包括量距、定向、水准测量,各种测量仪器的使用和维修保养、测量误差理论知识;图根控制测量和地形测量;地形图的识别和应用以及林区公路的勘测设计和航空摄影测量。

在本书的修订过程中由南京林业学校杨德南担任主编,并修订第五、第六、第九章,四川林业学校钟家荣修订第二、第三、第七章及全书插图的绘制,齐齐哈尔林业学校任庆怀修订绪论、第一、第十章,浙江林业学校林鑫白修订第四、第八章,南京林业学校陈加林修订第十一章。1990年5月在南京林业学校召开了审稿会,参加审稿会的同志除修订人员外,还有南京林业学校王世平和张如宏,会后由广西林业学校陈惠祥(主审)同志对原稿作了审阅,最后由杨德南整理定稿。

由于编者水平有限,书中缺点、错误在所难免,谨请批评指正。

编者

1990年10月

第1版前言

本教材是根据1981年在大连召开的全国中等林校林业专业教材编审委员会制定的《测量学》教学大纲，在林业部教育司的领导与关怀下编写而成的，适用于林业专业。全书共分十六章，较详细地介绍了测量学的基本知识、基本理论及测量仪器的构造和使用。重点阐述有关罗盘仪及平面图的测绘；小面积大比例尺地形图测绘；国家基本图的应用；林区公路测量等内容。扼要地介绍了航空摄影测量的基本知识。为满足教学的需要，每章之后附有复习思考题。

本教材由广西壮族自治区林业学校陈惠祥（主编）编写第一、第三、第五、第七、第八、第十四章，南京林业学校杨德南（副主编）编写第六、第九、第十、第十三、第十六章，辽宁省林业学校赵德惠编写第二、第四、第十一、第十二、第十五章。1983年3月初稿完成后，油印成册，发至各兄弟院校广泛征求意见。

1983年7月在广西壮族自治区林业学校召开了审稿会议，由北京林学院韩熙春副教授主审，参加审稿的有南京林学院陶绍训、东北林学院黄定宇、山东省林业学校马继文、牡丹江林业学校谢壮武、安徽省黄山林业学校江海涛、四川省林业学校钟家荣、浙江省林业学校林鑫白等同志。

在本教材编写过程中，北京林学院测量学教研室、东北林学院测量学教研室、广西农学院林学院分院测量学教研室及有关单位提出了许多宝贵意见，在此一并致谢。

由于编者水平所限，教材中可能存在不少缺点和错误，谨请批评指正。

编者

1984年5月

目 录

绪 论	1
§ 1 测量学的任务及其在社会主义建设中的作用	1
§ 2 测量学的发展概况	2
§ 3 地面点位的确定	2
§ 4 用水平面代替水准面的限度	5
§ 5 平面图、地图、地形图	6
§ 6 比例尺	7
§ 7 测量工作概述	9
复习思考题	10
第一章 距离丈量	11
§ 1-1 地面上点的标志	11
§ 1-2 直线定线	12
§ 1-3 量距工具	13
§ 1-4 钢尺量距的方法	15
§ 1-5 钢尺的检定	19
复习思考题	20
第二章 直线定向及罗盘仪测量	21
§ 2-1 直线定向	21
§ 2-2 罗盘仪的构造	25
§ 2-3 用罗盘仪测定磁方位角	27
§ 2-4 罗盘仪的检验和校正	28
§ 2-5 用罗盘仪测绘平面图	30
复习思考题	35
第三章 水准测量	37
§ 3-1 高程测量的概念	37
§ 3-2 水准测量原理	38
§ 3-3 水准仪和水准尺	39
§ 3-4 水准测量的方法	43
§ 3-5 水准测量的精度要求及校核方法	47
§ 3-6 微倾水准仪的检验和校正	49
复习思考题	53
第四章 经纬仪及其使用	55
§ 4-1 水平角测量的概念	55
§ 4-2 光学经纬仪	55
§ 4-3 水平角的观测	61

§ 4-4 竖直角观测	64
§ 4-5 经纬仪的检验和校正	68
§ 4-6 水平角观测的误差简析	73
§ 4-7 视距测量	75
§ 4-8 光电测速仪	78
复习思考题	82
第五章 测量误差的基本知识	84
§ 5-1 观测误差	84
§ 5-2 衡量精度的标准	86
§ 5-3 误差传播定律	88
§ 5-4 算术平均值及其中误差	93
§ 5-5 带权平均值及其中误差	95
§ 5-6 应用误差理论进行水准网平差	101
复习思考题	108
第六章 图根控制测量	109
§ 6-1 平面控制测量概述	109
§ 6-2 经纬仪导线测量	110
§ 6-3 测角交会法加密图根点	130
§ 6-4 小三角测量	136
复习思考题	149
第七章 平板仪测量	151
§ 7-1 平板仪测量原理	151
§ 7-2 平板仪的构造	151
§ 7-3 平板仪的安置	154
§ 7-4 平板仪测量的方法	155
§ 7-5 平板仪的检验与校正	161
复习思考题	162
第八章 大比例尺地形图的测绘	163
§ 8-1 概述	163
§ 8-2 高斯-克吕格坐标系	163
§ 8-3 地形图的分幅和编号	168
§ 8-4 地物在地形图上的表示方法	171
§ 8-5 地貌在地形图上的表示方法	174
§ 8-6 测图前的准备	180
§ 8-7 地形测量	183
复习思考题	190
第九章 地形图的应用	192
§ 9-1 识别地形图的基本知识	192
§ 9-2 地形图应用的基本内容	198
§ 9-3 在工程建设中使用地形图的一些实例	200
§ 9-4 面积计算	208
复习思考题	219

第十章 林区公路测量	220
§ 10-1 概述	220
§ 10-2 选线	222
§ 10-3 中线测量	225
§ 10-4 圆曲线的测设	227
§ 10-5 路线纵断面水准测量	241
§ 10-6 纵断面图的绘制与纵向设计	244
§ 10-7 横断面测量与横断面图的绘制	247
§ 10-8 竖曲线	250
§ 10-9 路基设计	252
§ 10-10 土石方计算	256
§ 10-11 路基放样	257
复习思考题	258
第十一章 航空摄影测量	260
§ 11-1 概述	260
§ 11-2 航空摄影测量的基本知识	260
§ 11-3 航空摄影测量编制地形图的简要过程	270
§ 11-4 利用航空象片编制林业基本图的方法简介	271
§ 11-5 航空象片的判读	278
复习思考题	280
主要参考文献	281

绪 论

§ 1 测量学的任务及其在社会主义建设中的作用

测量学是一门研究如何测定地面点的平面位置和高程，将地球表面的地形测绘成图，以及确定地球的形状和大小的科学。根据研究范围和对象的不同，测量学产生了许多分支，大体可分为以下四类。

大地测量学 它是研究在大区域范围内如何建立大地控制网，测定地球形状、大小和地球重力的理论、技术与方法的科学。它必须考虑地球曲率的影响。大地测量学主要为专业性测量、地图的编制以及其它为研究地球有关的问题提供依据。由于科学技术的发展，测量内容已由常规的大地测量发展到人造地球卫星测量，测量的对象由地球表面扩展到太空星球，由静态发展到动态。

普通测量学 主要研究地球表面小区域内测绘工作的基本理论、技术、方法以及应用的科学。它把测区当作平面看待，不考虑地球曲率的影响。

摄影测量学 通过摄影象片，并对其进行处理、测量、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字形式的成果，以及关于环境的可靠信息的科学。根据摄影方式不同，又可分为地面、航空、水下以及航天四种摄影测量。

工程测量学 它是着重研究各种工程建设在勘测、设计、施工以及管理阶段所进行的各种测量工作。

本书虽定名为“测量学”，但主要内容属于普通测量学范畴。是介绍常规测量仪器的构造、使用与维修，地形图的测绘与应用以及部分与林业生产有关的工程测量等内容。

普通测量学的主要任务是：如何使用测量仪器和工具通过实地测量、计算将地球表面局部地区的地物和地貌的位置，用规定的图式并按一定的比例尺绘制成地形图，简称“测绘”；如将图上已设计好的各种工程位置、形状和大小准确地标定到地面上，作为施工的依据，简称“测设”，亦叫施工放样。

测绘科学在国民经济、国防建设以及科学研究等方面都起着非常重要的作用。例如，在国民经济建设中，无论是资源清查、交通运输、城乡建设以及地籍测量等，从工程一开始即需进行勘测、测绘不同比例尺的地形图，为规划设计提供必要的图面资料；在工程的设计阶段，要使用地形图进行总体规划和技术设计；在工程的施工阶段，要进行施工放样以及设备安装等测量；工程竣工后要进行验收测量。

在林业生产方面，如荒山荒地的调查，宜林地的造林规划设计，苗圃的布局与建立，农田防护林和水土保持林的营造；林区的开发，局场址的选定，森林资源清查，林区公路的勘测设计等，都需要用图、测图以及进行其它有关测量工作。总之，测绘工作是社会主义建设中不可缺少的一项基础工作，作为从事林业生产的技术人员，必须掌握必要的测绘理论知识和基本操作技能，才能更好地为林业生产服务。

§ 2 测量学的发展概况

测量学是一门古老的学科，它和其它科学一样，是随人类征服自然和改造自然的斗争中产生和发展起来的。

我国是世界文明古国之一，测绘科学在我国有着悠久的历史。早在远古时代，我国就观测了日、月和星，确定了一年的长短。公元前 21 世纪夏禹在治理黄河水患时，已发明了“准、绳、规、矩”四种测量工具和方法。到了战国时代，我国发明了指南针，这不仅促进了我国古代测绘事业的发展，而且从中世纪传入欧洲后，被世界各国广泛应用，至今仍是测定磁方位角的简便仪器。公元 3 世纪，我国的伟大制图学家裴秀创立了“制图六体”，它是世界上最早的制图规范。公元 724 年，在我国河南一带进行了子午线弧长测量。到了元代，郭守敬(1231—1316年)制定了测量全国的纬度计划，并测定了 27 个点的纬度。1708 年到 1718 年我国开展了全国性的地图编绘，并编制了“皇舆全图”，规模之大，史无前例。所有这些，都是我国测绘史上的伟大成就。

新中国成立后，我国测绘事业进入了一个崭新的发展阶段。建国后成立了国家测绘总局，各省、市也先后成立了有关的测绘机构；为了培养测绘专业人材，还建立了测绘院校，在全国范围内颁布了各种测量规范，建立了许多高精度的大地控制网、统一的坐标和高程系统。完成了各种比例尺地形图的测绘；测图方法也由以平板仪地形测量发展到以采用航测成图为主；在仪器制造方面，已从无到有，不仅能使常规仪器生产系列化，同时还能研制和生产各种高精度的测量仪器。总之，随着科学技术的发展，测绘工作正朝着测图自动化、计算电子化及测量资料数字化的方向前进，在不远的将来，我国测绘事业将会不断地取得更新的成就。

§ 3 地面点位的确定

从数学中知道，一点在空间的位置要根据三个量才能确定，在测量工作中，这三个量是用该点投影到基准面上的位置(即纵、横坐标)和该点到基准面上的垂直距离(即高程)来表示。因此，要确定点位，首要的是如何选择一个投影基准面。由于测量工作是在地球表面进行的，所以选择的基准面将直接与地球的形状和大小有关。

一、地球的形状和大小

地球的形状近似一个球，它的自然表面是一个极其复杂而又不规则的曲面，有高山、丘陵、平地、凹地和海洋等，在大陆上，最高点珠穆朗玛峰高出平均海面 8848.13 m，在海洋中，最深点的马利亚纳海沟，低于平均海面 11034 m，两点高差近 2 万 m。由于地球表面不规则，它不可能用数学公式来表达，因此无法对它进行运算，所以在地球科学的领域中，必须寻找一个大小和形状都很接近地球的数学表面来代替它。

地球表面虽然起伏很大，但对于整个地球来说，还是微不足道的，又顾及到海洋占整个地球表面 71%，所以假定海水处于“完全”静止状态，把海面延伸到大陆之下所包围整个地球的表面，称为水准面。由于海水时高时低，故水准面有无数个，其中与平均海面垂

合的封闭曲面叫大地水准面。大地水准面虽然比地球的自然表面要规则得多，但是还不能用一个数学公式表示出来，为了便于测绘科学成果的计算，通常选择一个其大小和形状同大地水准面极为接近的旋转椭球来代替，即以椭圆的短轴(地轴)为轴旋转而成的椭球，称为地球椭球，如图1所示。地球椭球不仅与大地水准面非常接近，而且又能用数学公式进行表达，故用它代表地球的形状和大小。也称它为参考椭球，并以其表面为测量的基准面。它的大小和形状是由长半径 a 、短半径 b 和扁率($f = \frac{a-b}{a}$)三个元素所决定。

本世纪以来，曾有许多科学家先后测算出参考椭球的元素值，见表1。

表1 参考椭球元素

计 算 者	a (m)	b (m)	f
克拉索夫斯基(1940年苏联)	6 378 245	6 356 863	1:298.300
国际大地测量学会(1975年)	6 378 140	6 356 743	1:298.257
国际大地测量学会(1979年)	6 378 137	6 356 752	1:298.253

我国在建国初期，采用了苏联克拉索夫斯基椭球元素，并于1954年在北京建立了大地坐标原点，以此推算全国坐标，称为“1954年北京坐标系”；为了更适应我国实际情况，根据1975年国际大地测量协会推荐的椭球元素值，于1980年在西安又建立了新的大地原点。

从上面分析可知，旋转椭球的扁率很小，在普通测量学中所讨论的又是地球表面一个小区域的测绘工作，因此可取参考椭球的平均半径所得的圆球来代替参考椭球。设平均半径为 R ，则

$$R = \frac{a + a + b}{3} = 6371 \text{ km}$$

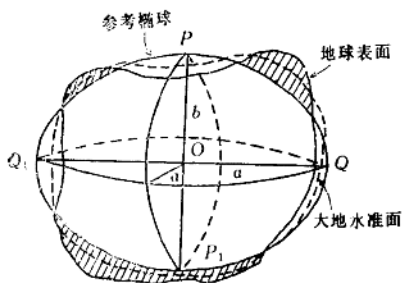


图1 参考椭球

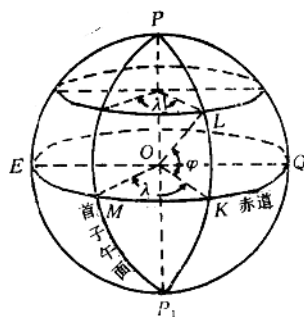


图2 地理坐标

二、地面点位的确定

(一) 地理坐标

如图2所示，纵轴 PP_1 为地球的自转轴，简称地轴；地轴的两端点称为地极，北者称北

极，南者称南极；地球的中心 O 叫地心，垂直于地轴并通过地心的平面叫赤道平面，赤道平面与球面的交线叫赤道；过 L 点并垂直于地轴的平面与球面的交线称为过 L 点的纬线；过 L 点并包括地轴的平面叫过 L 点的子午面，该面与球面的交线称为过 L 点的子午线；又称经线；过英国格林尼治天文台的子午面为首子午面，它与地球的交线称首子午线；过 L 点的子午面与首子午面的夹角 λ 叫做 L 点的经度，自首子午面向东或向西计算，在首子午以东者为东经，以西者为西经，其值各由 $0^\circ-180^\circ$ ；过 L 点的铅垂线（在 L 点的子午面内）与赤道平面的夹角 φ 称为 L 点的纬度，自赤道向北或向南计算，在赤道以北者为北纬，在南者为南纬，其值各由 $0^\circ-90^\circ$ 。

地球表面上任一点的经度和纬度，叫做该点的地理坐标。例如某点的地理坐标为：东经 $116^\circ 28'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。

(二) 平面直角坐标

1. 假定平面直角坐标(又称任意坐标系) 在小区域内进行测量时，可将球面当作水平面看待，而不必考虑地球的曲率影响。测量时可将地面上的点沿铅垂线直接投影到水平面上，并用各点的平面直角坐标来表示其位置。这样无论在测量和计算上都较方便。

假定平面直角坐标系是这样建立的：即以过测区原点的子午线方向为坐标系的纵轴，以 x 表示；过原点的东西方向为坐标系的横轴，以 y 表示；它和数学上平面直角坐标系中的纵、横轴相反，且象限排列次序为顺时针，也和数学上相反，如图3所示；作这样的变换是因为测量学坐标系中的角度是以子午线方向开始，按顺时针方向旋转到某直线的夹角，而数学上则以横轴开始，按逆时针方向旋转计算的，作这样变换后，能使三角学中的公式在测量学中应用时能吻合起来；为了避免在测区内不出现负值坐标，一般将坐标原点设在测区的西南角外；建立坐标系后，测区内各点的位置都可用统一的坐标 (x, y) 来表示。

2. 高斯平面直角坐标 高斯平面直角坐标的建立方法将于§8-2详述。

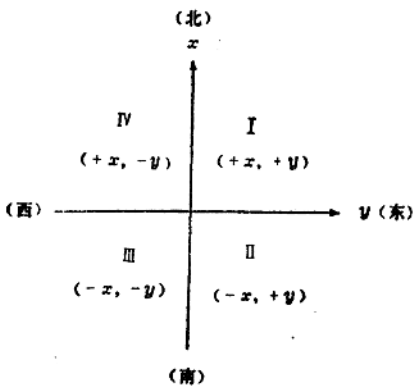


图3 平面直角坐标系

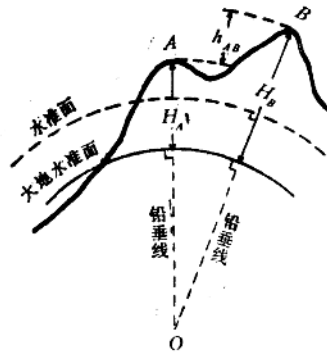


图4 高程和高差

(三) 点的高程

地面上一点的高程是指该点到大地水准面的垂直距离，此距离称为该点的绝对高程（或称海拔），以 H 表示。有时在个别地区，引用绝对高程有困难，为了工作方便而采用假定的水

准面作为高程起算的基准面，因此一点到假定水准面的垂直距离称为该点的相对高程（或称假定高程），如图4所示。

地面上两点高程之差叫高差，以 h 表示。如图4中 A 点高程为 H_A 、 B 点高程为 H_B ，则 B 点对于 A 点的高差为 $h_{AB} = H_B - H_A$ 。高差是相对的，其值有正有负，当 B 点低于 A 点时为负值，反之为正值。

为了统一全国的高程系统，在青岛海滨设立了验潮站，从1950—1956年对黄海水面的高低变化作了长时间的观测和记录，并求得这一时期内的平均值，作为我国计算绝对高程的基准面，其高程为零。为了便于使用和保存，在青岛建立了水准原点，并于1956年推算出该水准原点的高程为72.289 m，作为全国绝对高程的起算依据。凡以此基准面起算的高程称为“1956年黄海高程系”。

§ 4 用水平面代替水准面的限度

在小范围内进行测量工作时，可把投影面看成是水平面，至于在多大的范围内容许用水平面代替水准面，下面就其对距离和高程的影响进行分析。

一、用水平面代替水准面对距离的影响

设地面上 AB 在水平面和水准面上的投影分别为 t 和 d ，如图5。如果以 t 代替 d ，则其差数 $\Delta d = t - d$ ， Δd 为用水平面代替水准面所产生的距离误差。由图可以看出：

$$\begin{aligned} \Delta d &= t - d = R \cdot \operatorname{tg} \theta - R \theta \\ &= R(\operatorname{tg} \theta - \theta) \end{aligned} \quad (a)$$

由级数公式得

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

由于 θ 角很小，只取前二项代入 (a) 式得：

$$\Delta d = R \left(\theta + \frac{1}{3} \theta^3 - \theta \right) = \frac{1}{3} R \theta^3 \quad (b)$$

因为 $\theta = \frac{d}{R}$ ，以此式代入 (b) 得

$$\Delta d = \frac{d^3}{3R^2} \quad (1)$$

以 $R = 6371 \text{ km}$ 和不同的 d 值代入 (1) 式得出下表2各数值。

表 2 用水平面代替水准面的距离误差

$d(\text{km})$	$\Delta d(\text{cm})$	$\Delta d/d$
10	0.82	1:1220000
20	6.57	1:304000
50	102.65	1:48700

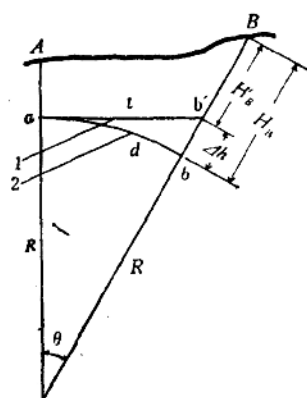


图 5 水平面代替水准面

由上表可以看出，距离为 10 km 时，用水平面代替水准面所引起的误差很小，仅在 1 cm

以内，所以在地形测量中测距时，可不考虑地球弯曲对距离的影响。

二、用水平面代替水准面对高程的影响

从图 5 中可知，由大地水准面起算地面点 B 的高程为 H_B ，由水平面起算的高程为 H'_B ，其差数 $\Delta h = H_B - H'_B$ 就是因地球弯曲而引起的影响。因

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

因 Δh 很小，故上式可以写成

$$t^2 = 2R \cdot \Delta h$$

则
$$\Delta h = \frac{t^2}{2R} \quad (2)$$

地球曲率对高程的影响如表 3，由表 3 可知，用水平面代替水准面时，对高程的影响是很大的，因此，即使距离较短，也要考虑地球曲率对高程的影响。

表 3 地球曲率对高程的影响

距离(km)	1	2	3	4	5
高程误差 Δh (cm)	8	31	71	126	196

§ 5 平面图、地图、地形图

测量工作的成果，一般都是用图把它明显准确地表示出来，以利于规划设计和施工使用。测绘各种图时，都是将地面上的各种物体(简称为地物)和地面高低起伏的形态(简称为地貌)，按一定的投影关系和统一规定的符号，在图纸上绘制成图的。

一、平面图

在进行测图时，当测区面积不大，可把球面当作水平面看待。如图 6 所示，如将地面上 $ABCDE$ 图形中的各点沿铅垂线方向投影到水平面(投影面)上，则在水平面上的图形 $A'B'C'D'E'$ 为地面图形 $ABCDE$ 的正射投影。将图形 $A'B'C'D'E'$ 按一定比例尺缩绘在图纸上得 $abcde$ ，则此图称地面上 $ABCDE$ 的平面图。图形 $abcde$ 与 $A'B'C'D'E'$ 成相似。

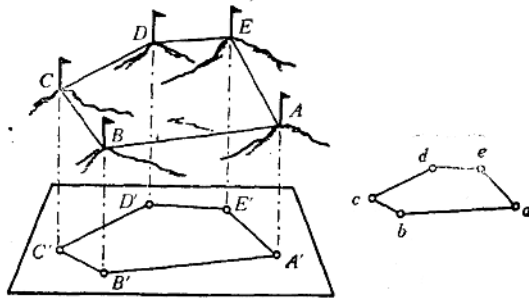


图 6 地面点在水平面上的投影

二、地 图

当测区范围很大，必须考虑地球曲率的影响，如仍采用正射投影的方法成图，其误差会

很大。为此，必须采用特殊的地图投影方法制图，这种图称为地图。

三、地形图

在图上不仅表示出地物的平面位置，同时还把地貌用规定的符号表示出来，这种图称为地形图。

§ 6 比例尺

一、比例尺的概念

无论是平面图、地形图、地图等都不可能将地球表面的形状和物体按真实大小描绘在图纸上，而必须用一定的比例缩小后，并按规定的图式在图纸上表示出来。比例尺就是图上某一线段长度 d 与地面上相应线段水平距离 D 之比值，并用下式表示：

$$\frac{1}{M} = \frac{d}{D} \quad (3)$$

比例尺是用分子为 1 的分数式表示， M 为比例尺分母，表示缩小的倍数。

根据比例尺，便可按图上长度求出相应地面的水平距离，同样，根据地面上量出的水平距离可求出在图上的相应长度，即

$$D = M \cdot d \quad (4)$$

$$d = \frac{D}{M} \quad (5)$$

例 1：在 1:5000 的地形图上，量得图上两点间的长度为 4.2 cm，则其实地水平距离为：

$$D = M \cdot d = 5000 \times 4.2 = 210 \text{ m}$$

例 2：量得地面上两点间的水平距离为 250 m，绘在 1:2000 的地形图上，其相应图上长度为：

$$d = \frac{D}{M} = \frac{250}{2000} = 12.5 \text{ cm}$$

比例尺的大小，取决于分数值的大小，即分母愈大，比例尺愈小，反之亦然。

二、比例尺种类

(一) 数字比例尺

数字比例尺是以分子为 1 的分式来表示的，如 $\frac{1}{500}$ 、 $\frac{1}{1000}$ 、 $\frac{1}{2000}$ 、 $\frac{1}{5000}$ ……也可写成 1:500、1:1000、1:2000、1:5000 这样的形式。

(二) 直线比例尺(又称图示比例尺)

为了减少由于图纸伸缩引起的误差，并能直接进行图上与相应实地水平距离的换算，常在图上规定的位置绘制与该图比例尺相一致的直线比例尺，如图 7。直线比例尺是根据数字比例尺绘制的，绘制方法如下：

1. 先在图上绘一条直线(单线或双线)，以 1 cm 或 2 cm 为基本单位，将直线分成若干等分；

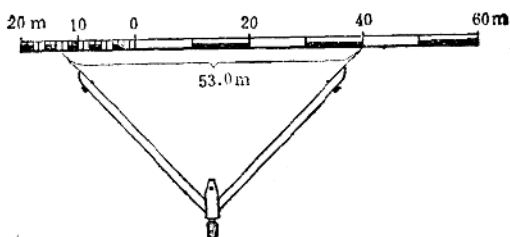


图 7 直线比例尺及其使用

2. 将左端的一格再等分为毫米小格，并在小格与大格的分界处注以 0；
3. 自 0 分划线向左、右在各分点上均注记不同线段所代表的实地水平距离。

直线比例尺的应用，如图 7 所示，先张开分规两脚尖，对准图上两点，然后移置于直线比例尺上，使右脚尖对准 0 分划右边某一整分划线上，使左脚尖处于 0 分划左边的毫米小格内，根据右脚尖读取整分划读数，左脚尖读取小数，取两者之和即为所量线段相应的实地水平距离。如图中的水平距离为 53.0 m。

直线比例尺也可刻在三棱尺上，如图 8 所示。一般三棱尺共有三个面，每面刻有两种比例尺。使用时，按尺面左端所标明的数字比例尺找到所需尺面即可应用。

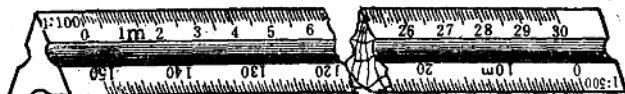


图 8 三棱比例尺

三、比例尺的精度

人眼分辨两点间的距离，一般不能小于 0.1 mm，间距小于 0.1 mm 的两点，只能看成一个点。因此，地面上小于 $0.1 \times M$ mm 的长度在图上就无法画出，故以图上 0.1 mm 长度所代表的实地水平距离，称为比例尺精度。

表 4 比例尺精度

测图比例尺	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
比例尺精度(m)	0.05	0.10	0.20	0.50

表 4 是几种不同比例尺的精度。

由上表可知，比例尺愈大，则在图上反映实地情况就愈详细，反之，愈简略。根据比例尺精度，在测图中可解决两个方面的问题：在碎部测量中量距时应准确的程度；根据预定的量距精度要求，可确定所采用比例尺的大小。例如，测绘 1:2000 比例尺地形图时，实地量距精度只要达到 0.2 m 即可，小于 0.2 m，在图上已无法绘画；若要求在图上能显示 0.5 m 的精度，则所用测图比例尺不应小于 1:5000。

§ 7 测量工作概述

一、确定点位的三要素

如前所述，测量工作的实质是确定地面点的位置。但在实际工作中，很难直接测出点的平面直角坐标 x 、 y 和高程 H ，而是必须通过实地测量出有关点位关系的基本元素，再经内业计算求出。如图 9 所示，I、II 是已知高程和坐标的两个已知点， a 、 b 为地面点在水平面上的投影，只要在实地测得水平距离 D_1 和 D_2 ，水平角 β_1 和 β_2 以及高差 h_{1a} 和 h_{ab} ，经内业计算即可得出 a 、 b 两点的坐标和高程。由此可知，地面点位置关系是要通过距离、角度和高差这三个基本元素才能确定，所以距离、角度和高差是确定点位的三要素，也是测量的基本工作。

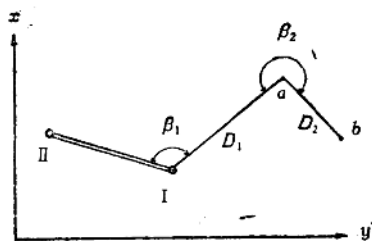


图 9 地面点间的位置关系

二、测量工作的基本原则

在测量工作中，误差是不可避免的，有时甚至出现错误。在测图过程中，如果从一点开始逐点累推施测，不加任何控制和检核，这样前一点的误差必然会传及到后一点，误差会积累起来，最后可能达到不可容许的程度。因此，测量工作必须遵守一定的程序和原则进行，即“从整体到局部”、“由高精度到低精度”、“先控制后碎部”的程序和原则进行。

例如，当接受一项测图任务后，首先根据整个测区具体情况和测量工作要求，在测区内选定若干个控制点，把这些点连接起来组成控制网，再用精密的方法把这些点的平面位置和高程测出来，组成测区的骨干，这叫控制测量，如图 10 中的 A、B、C、D 等点，称为控制点。再根据各个控制点测定附近的碎部点（即地物、地貌的特征点），称为碎部测量。最后绘制成地形图，如图 10 中的下半部分。

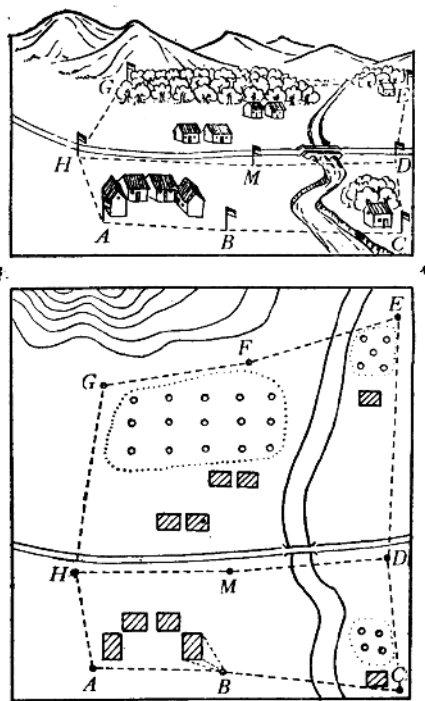


图 10 测图程序

三、对测量工作者的基本要求

测绘工作者是社会主义建设的尖兵，测绘工作贯穿各项工程的始终，并直接影响工程建设的质量和速度。在测量过程中，任何粗心大意都会给工程建设带来不应有的损失。因此，测量工作人员必须做到或注意：在外业观测和内业计算中应有严格的校核措施，发现错误或不符精度要求的观测数据，要查明原因，返工重测，决不能随意涂改、伪造数据；工作上要能吃苦耐劳和团结互助；测量记录是评定精度的依据，要认真记录，内容要真实、完善、规范、清楚，要保持记录的原始性；测量标志是测量工作的重要依据，要做好标志的设置工作，并应妥善保护；在操作精密仪器时应严格按照操作规程进行，要定期检修和妥善保养（参阅实习指导书的有关部分）。

复习思考题

1. 解释下列名词

水准面，大地水准面，相对高程，绝对高程，正射投影，比例尺，比例尺精度，地形图。

2. 地面点的位置是怎样确定的？确定地面点位要做哪些方面的基本测量工作？

3. 在 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:25000 各种比例尺的地形图上都量出 1 cm 的线段，其相应实地水平距离各是多少米？比例尺的精度各是多少？

4. 用水平面代替水准面对高程和距离有何影响？

5. 任意直角坐标系是怎样建立的？

6. 测量工作必须遵循什么原则？