



QUANGUO GAODENG
NONGYE YUANXIAO
JIAOCAI

全国高等农业院校教材

测量学

第二版

河北农业大学 主编

中国农业出版社

第 14 卷 第 4 期 2014 年 12 月 14 日



第 2 期

第 2 期

第 2 期

全国高等农业院校教材

测 量 学

第 二 版

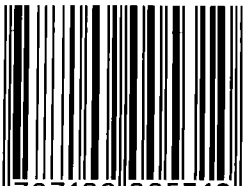
河北农业大学 主编

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学/河北农业大学主编. - 2 版. - 北京: 中国农
业出版社, 2000.5

ISBN 7-109-00531-3



9 787109 005310 >

前 言

《测量学》自1979年作为全国高等农业院校果树专业试用教材出版以来，蒙兄弟院校热情支持及使用，提出了许多宝贵意见。由于科学技术的发展，仪器设备的逐步更新，为了不断地提高教学水平，在农牧渔业部教育司的关怀下，于1982年冬广泛征求兄弟院校对原教材的意见，在此基础上拟了修订大纲，再次征求意见，在1983年秋修订的初稿完成后又征求了部分兄弟院校的意见，之后定稿。

这次的修订本，主要修订了如下内容：加强了第一章绪论的内容；对第三章水准测量作了补充，将第四章角度观测叙述重点改为6秒级光学经纬仪，以便适应我国当前的生产实际；第六章小地区控制测量增加了四等水准测量的内容，图根控制测量的技术规定均按1978年国家测绘局审定的1:1000, 1:2000, 1:5000地形测量规范为依据；对第八章地形图应用，增加了高斯投影概念及地形图的分幅与编号；对原书第十、十一章作了调整与合并，把平整土地测量单独列为一章。附录一，航空摄影测量基本知识作了一些补充；附录二，电磁波测距仪简介中将HGC-1型红外光电测距仪改换成DCH-2型相位式红外光电测距仪。修订本除保留了原书的特点之外，内容较原书更加充实，文字篇幅略有减少，对农类各专业使用有更大的适应性。

参加这次修订工作的（按章的顺序）有赵德熊、袁宏光、张可霞、梁玉坤、白信兆、周庆志、曾宪思、梁观伟。山东农业大学陈子澜副教授、华中农学院梁国光副教授对修订稿进行了认真的审阅，华南农学院、江苏农学院、广西农学院测量教研组对修订稿提出了许多宝贵的意见，给了我们很大的帮助，我们表示衷心感谢。由于我们水平有限，书中有不妥之处，望批评指正。

河北农业大学测量教研组

1984年5月

第一版前言

本教材按测量仪器的使用，测图，用图，专业应用的顺序安排章节，由浅入深，循序渐进。测量仪器以常用的基本仪器为主，考虑到当前农业部门的实际，游标经纬仪仍列入篇幅。同时，适当编入部分行之有效的简易仪器及其使用方法。在第五章（平板仪测量）编入小平板测绘平面图，是为地形图的测绘，打下控制到碎部的成图概念。此外，考虑到航测的广泛应用和学科的发展，本书附录中对航测像片的应用和电磁波测距作了简单介绍。在渠道及道路测量一章里，除了讲述基本测量方法，对果园规划中小渠道和道路设计的基本知识也作了简介。

鉴于我国幅员辽阔，自然条件差异较大，各地建园测量要求不完全一致，故在测图部分以地形图为主还是以平面图为主，各院校可视所在地区的具体情况而定。测图控制部分，各院校也可根据具体情况酌情选教解析法或图解法，相应的对经纬仪教学时数可适当增减。本书各章附有一定数量的复习题。

本书编写过程中，得到全国各地测绘仪器厂寄来不少资料和照片，给我们帮助很大。西南农学院、东北农学院、西北农学院、浙江农业大学、华南农学院、河南农学院均派人参加审稿；福建农学院、湖南农学院、广西农学院、安徽农学院、河南百泉农学院、河北林业专科学校均对书稿提供了宝贵意见。我们在此表示衷心的感谢。

一九七八年七月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1—1 测量学的任务、分类及其在社会主义建设中的作用	1
§ 1—2 地球的形状与大小	2
§ 1—3 地面点位的表示方法	3
§ 1—4 水平面代替水准面的限度	5
§ 1—5 测量工作概述	6
§ 1—6 平面图、地形图、地图、断面图	9
§ 1—7 比例尺	9
§ 1—8 地形图图式	11
§ 1—9 测量误差与精度概述	15
第二章 直线丈量和直线定向	20
§ 2—1 直线丈量的概念	20
§ 2—2 直线定线和直线丈量	21
§ 2—3 直线丈量的误差来源及丈量时应注意事项	24
§ 2—4 直线定向的概念	25
§ 2—5 罗盘仪及其使用	27
第三章 水准测量	30
§ 3—1 概述	30
§ 3—2 水准测量原理	30
§ 3—3 水准测量仪器及工具	31
§ 3—4 普通水准测量的实施	36
§ 3—5 水准测量的校核方法和闭合差的调整	39
§ 3—6 水准仪的检验与校正	42
§ 3—7 水准测量的误差及注意事项	45
§ 3—8 自动安平水准仪简介	48
第四章 角度观测及视距测量	52
§ 4—1 角度测量的概念	52
§ 4—2 经纬仪的构造	53
§ 4—3 经纬仪的安置	53
§ 4—4 水平角观测	60
§ 4—5 竖直角观测	62
§ 4—6 经纬仪的检验与校正	65
§ 4—7 角度观测的误差及注意事项	69
§ 4—8 视距测量	72

第五章 平板仪测量	80
§ 5—1 平板仪测量的原理	80
§ 5—2 平板仪的构造	81
§ 5—3 平板仪的安置	83
§ 5—4 平板仪测定点位的基本方法	84
§ 5—5 平板仪的检验与校正	86
第六章 小地区控制测量	89
§ 6—1 控制测量概念	89
§ 6—2 经纬仪导线测量	91
§ 6—3 小三角测量	99
§ 6—4 图解导线网及图解三角网	108
§ 6—5 控制点高程的测定	111
第七章 地形测图	118
§ 7—1 地形与等高线	118
§ 7—2 测图前的准备工作	121
§ 7—3 平板仪加密控制点	123
§ 7—4 碎部测量	124
§ 7—5 地形图的拼接与整饰	128
§ 7—6 地形图的缩放与晒印	130
第八章 地形图的应用	134
§ 8—1 高斯投影的概念	134
§ 8—2 地形图的分幅与编号	135
§ 8—3 地形图的阅读	138
§ 8—4 地形图的一般应用	143
§ 8—5 地形图的野外应用	147
§ 8—6 在地形图上求面积	149
第九章 渠道及道路测量	155
§ 9—1 概述	155
§ 9—2 渠道选线及中线测量	155
§ 9—3 渠道纵断面水准测量	156
§ 9—4 横断面测量	159
§ 9—5 渠道纵断面图的绘制	160
§ 9—6 渠道横断面图的绘制	162
§ 9—7 盘山渠测量	166
§ 9—8 渠道土方计算及施工放样	168
§ 9—9 农用道路测量	170
第十章 平整土地测量	176
§ 10—1 平原地区土地平整方法	176
§ 10—2 山丘区修筑梯田的土地平整方法	181
第十一章 建园放样测量	191
§ 11—1 放样测量的基本工作	191

§ 11—2 平原地区建园放样	193
§ 11—3 山丘地区建园放样	195
附录一 航空摄影测量基本知识	197
附录二 电磁波测距简介	219

第一章 绪 论

§ 1—1 测量学的任务、分类及其在社会主义建设中的作用

一、测量学的任务

测量学是一门量度地球表面的应用科学。它的任务是：

1. 测定地球表面某一局部地区的形状、高低和大小，按一定的比例缩小绘制成图，以供各项生产和国防的需要。
2. 测定整个地球的形状及大小，作为测量计算和研究地壳升降、大陆变迁和海岸线移动等问题的依据。
3. 将各种工程建筑物的设计或农田、果园的规划设计测设于现场，此类工作称为放样。

二、测量学的分类

测量学和其它学科一样，它的产生和发展始终都是由生产决定的。

起初，人类为了农业生产和灌溉的需要，要求量测地块的边界、形状、面积和高低。为了满足这一需要，逐步发展形成了普通测量学。普通测量学是根据将地球表面投影到平面的原理进行的。由于地球是个半径约为 6371 km、两极方向略扁的椭球体，因而普通测量仅适用于小面积地区。

随着生产力的不断发展，要求测量的地区也日益增大。当测量的区域大于半径为 10km 的范围时，若仍用普通测量的方法，就会出现较大的误差。只有顾及地球曲率的影响，才能妥善地解决大面积地区的测量问题。为此，逐步发展形成了大地测量学。

随着科学技术的发展，目前已广泛地应用航空摄影像片来测绘地形图，这就是航空摄影测量学。此外，在测量学的领域内还有专门为各种工程建设服务的工程测量学和研究地图编绘和复制的制图学。

近年来，光学和电子学的发展也为测量开辟了新的途径。目前，电磁波测距仪和电子计算机已普遍使用于测量工作中，利用卫星像片制作中、小比例尺影像地图的遥感技术也已投入实际应用。

本书为满足果树专业的需要，主要介绍普通测量学中的基本内容，其中包括基本测量仪器的构造和使用；距离、角度、高程的基本测量方法；小面积地区的测绘工作以及有关果园建立中的测量技术。

三、测量在社会主义建设中的作用

测量工作在社会主义生产建设的各个领域中以及国防上都有着十分重要的作用。

在工程建设方面,例如兴建工业企业、修筑铁路公路、开发矿山油田、建设城市乡镇、兴修水利工程等都需要测量成果作为设计和施工的依据。

在国防方面,修建军事工程、部署战役、指挥战斗等都需要使用详细准确的地形图。

在农业生产中,要大幅度提高产量,必须实行科学种田。为此,必须对耕地和可开垦荒地的面积大小、地形起伏、土壤类别、肥源和水源的分布等情况进行充分的了解,编制合理的种植计划。同时,还要进行大量的农田基本建设,合理地设置排、灌渠系和道路、林带,进行山、水、田、林、路综合规划治理,所有这些都必须以有关的测量资料作为依据。在规划设计完成后,还必须通过测量付诸实施。

在建立果园时,必须首先了解建园地区的地物、地貌、面积、植被、土壤和水源等情况,据以进行果园的规划与设计,而所有这些资料都可以从地形图和根据地形图绘制的土壤图上获得。较大果园的规划设计应在地形图上进行。在建园过程中,作业区的划分、梯田的开挖、等高线的测设、定植坑位的确定、以及平整土地、修建道路及渠道等,也都必须通过测量工作来实现。

由此可见,测量工作无论在工农业生产方面还是国防方面所处的地位都是十分重要的。

§ 1—2 地球的形状与大小

测量工作是在地球表面进行的,因此必须了解地球的形状与大小。地球的自然表面图是一个起伏不平的不规则曲面,其中71%为海水所覆盖,陆地面积仅占29%。若以平均海水面为准,陆地的最高处——我国与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰,高达8848.13 m。海底最深处——太平洋西部的马里亚纳海沟,深达11022 m。然而,这样的高山深谷在庞大的地球表面上却又是微不足道的。如果将它们和地球半径相比,它们分别仅占地球半径的 $\frac{1}{720}$

和 $\frac{1}{578}$ 。因此,我们在宏观上可以忽略这样的起伏,用一个向陆地内部延伸的静止海水面所

包围的形体来表示地球的形状。⁷⁴²这种静止的海水面称为水准面。随着静止海水面的高度不同,水准面可以有无数个。其中,与平均海水面一致的那一个称为大地水准面。

水准面的特性是处处与铅垂线垂直,即与重力方向垂直。而重力是地球引力与离心力的合力。由于地球引力与其内部物质的密度有关,随着地球各处内部物质的密度不同,其引力也不相等,因此导致各处重力方向的不规则性,而与重力方向垂直的大地水准面也就成为一个无法用数学公式表达的不规则曲面。这给实际应用带来了困难。为此,人们采用

一个与大地水准面非常接近的旋转椭圆体作为地球形体，供作测量、制图的依据。这种旋转椭圆体称为参考椭圆体。如图 1—1 所示，参考椭圆体为由长半径 a 、短半径 b 构成的椭圆绕短轴 NS 旋转而成。各国测量工作者曾多次对参考椭圆体的基本元素进行了测量与计算。目前，我国采用的参考椭圆体的基本元素为：

长半径 $a = 6378.245 \text{ km}$

短半径 $b = 6356.863 \text{ km}$

$$\text{扁率} \quad \alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.3}$$

由于参考椭圆体的扁率很小，在普通测量范围内可将它看作圆球，其半径为：

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

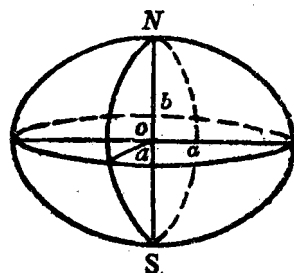


图 1—1

§ 1—3 地面点位的表示方法

测量工作的实质就是测定地面点的位置，而地面点的位置是由三个量来确定的，其中两个量为地理坐标的经度 λ 与纬度 φ ，或平面直角坐标的纵坐标 X 与横坐标 Y ，第三个量为高程。

一、地理坐标

地面点在球面上的绝对位置是用地理坐标，即经度与纬度来表示的。

在图 1—2 中， NS 为地球自转轴， P 为任一地面点。过 P 点及 NS 所作的平面称为子午面。子午面与地球表面的交线称为子午线，即经线。以通过英国伦敦格林尼治天文台的子午面为首子午面，首子午面与过 P 点子午面间的夹角即为 P 点的经度，以 λ 表示。经度自首子午面向东计，由 0° 至 180° ，称为东经；自首子午面向西计，由 0° 至 180° ，称为西经。因此，在经度前必须冠以“东经”或“西经”字样。同一经线上各点的经度相等。

过地球中心 O 所作垂直于自转轴 NS 的平面称为赤道面，它与地球表面的交线，称为赤道。与赤道面平行的平面与地球表面的交线，称为纬线。赤道面为纬度的起算面。 P 点的法线 PO 与赤道面的夹角，即为 P 点的纬度，以 φ 表示。纬度自赤道面向北计，由 0°

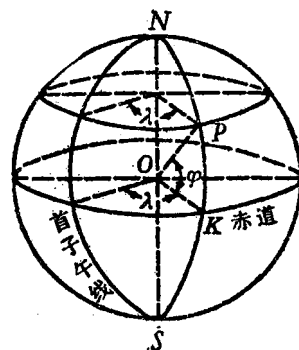


图 1—2

至 90° ，称为北纬。自赤道面向南计，由 0° 至 90° ，称为南纬。因此，在纬度前必须冠以“北纬”或“南纬”字样。同一纬线上各点的纬度相等。

二、平面直角坐标

在普通测量中，地面点在平面上的相对位置是用平面直角坐标表示的。和数学中相仿，测量中的平面直角坐标系也是由相互垂直的两坐标轴组成，两轴的交点为座标原点，两轴将圆周分为四个象限。由于测量中表示方向的角度是按顺时针方向计算的，因此测量中的象限顺序，也按顺时针方向排列，这与数学中相反。同时，两坐标轴的名称也与数学相反，以纵轴为X，横轴为Y（图1—3）。这样，三角公式就可以不加任何改变地应用于测量计算中。

任一地面点A的平面位置，可由该点至纵、横坐标轴的垂距x、y来确定。

通常座标纵轴X指向南北。以座标原点为准，令纵轴指北为正、指南为负；横轴指东为正、指西为负。

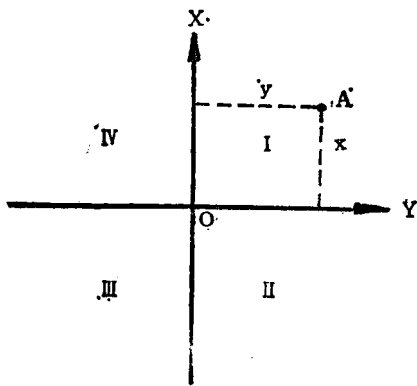


图 1—3

三、高 程

高程的表示方法有两种：绝对高程与相对高程。

地面点至大地水准面的垂直距离，称为绝对高程或海拔，如图1—4中 H_A 、 H_B 。绝对高程可使全国处于统一的高程系统中。我国规定以青岛验潮站求得的1956年黄海平均海水面为全国的高程起算面。所以，我国的统一高程系统称为1956年黄海高程系。



图 1—4

地面点至任一假定水准面的垂直距离，称为相对高程或假定高程，如图1—4中 H_A' 、 H_B' 。相对高程只适用于局部地区。

两地面点的高程之差，称为高差，即分别通过该两点的两个水准面间的垂直距离。图1—4中，A、B两点间的高差为

$$h = H_B - H_A = H_B' - H_A'$$

由上式可见，随A、B两点高程的大小不同，高差值可正可负。

§ 1—4 水平面代替水准面的限度

如前所述，在普通测量范围内，可以将大地水准面看作球面。但是，在实际工作中，当测区面积不大时，往往以直接水平面代替水准面，即把很小一部分地球表面上的点投影到水平面上来确定其位置。这必然要产生误差。然而，只要这种误差在测量与制图误差的容许范围内，其影响就可以忽略不计。

下面首先探讨用水平面代替水准面对距离和高程的影响，进而得出用水平面代替水准面的限度。

一、对距离的影响

图 1—5 中，A、B 为地面点，它们在大地上水准面上的投影分别为 a、b。若过 a 点作大地水准面的切平面，即得过 a 点的水平面。A、B 在水平面上的投影分别为 a、b'。显然，A、B 两点在大地水准面上投影的距离 $\widehat{ab}$ ，与在水平面上投影的距离 ab' 是不相等的。设 $\widehat{ab}$ 为 D， ab' 为 D'，其差值 Δd 即为水平面代替水准面的距离误差。则

$$\Delta d = D' - D = R \tan \theta - R \theta = R (\tan \theta - \theta) \quad (1-1)$$

$$\text{因} \quad \tan \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3 + \frac{2}{15} \theta^5 + \dots$$

由于 θ 角很小，故仅取前二项代入 (1-1) 式，

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

$$\text{而} \quad \theta = \frac{D}{R}$$

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

以地球半径 $R = 6371$ 公里和不同的距离 D 代入上式，可得表 1—1 的结果。

表 1—1

D (km)	Δd (cm)
10	1.0
25	12.8
50	102.0
100	814.0

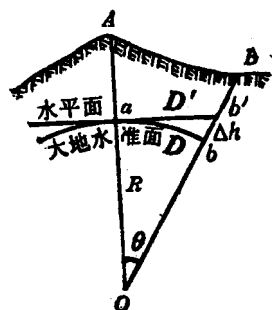


图 1—5

由表 1—1 可见, 当距离为 10 km 时, 其误差仅为 1 cm。这样的误差, 即使是最精密的测量工作也是容许的。因此, 在地面上半径为 10 km 的范围内, 用水平面代替水准面所产生的距离误差、对测量结果没有实际影响。在一般测量工作中, 即使在半径为 25 km 的范围内, 用水平面代替水准面的距离误差也可忽略不计。

二、对高程的影响

图 1—5 中, B 点的高程应为 B 点与大地水准面的垂距 Bb。若用水平面代替水准面, 则 B 点高程变为 Bb', 二者之差 Δh 即为水平面代替水准面的高程误差。

$$\begin{aligned}\Delta h &= Bb - Bb' = ob' - ob \\ &= R \sec \theta - R = R (\sec \theta - 1)\end{aligned}\quad (1-3)$$

因
$$\sec \theta = 1 + \frac{\theta^2}{2} + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$$

由于 θ 很小, 故取其前两项代入 (1—3) 式, 顾及 $\theta = \frac{D}{R}$, 得

$$\Delta h = R \left(1 + \frac{\theta^2}{2} - 1 \right) = \frac{1}{2} R \theta^2 = \frac{D^2}{2R} \quad (1-4)$$

以 $R = 6371$ 公里和不同的 D 值代入 (1—4) 式, 所得结果列于表 1—2。

表 1—2

D (km)	0.1	0.2	0.5	1	2	3	4	5
Δh (cm)	0.078	0.31	2	8	31	71	125	196

由表 1—2 可见, 用水平面代替水准面对高程的影响是很大的。当距离为 200m 时, 高程误差为 0.31 cm。这样的误差, 即使在一般的高程测量中, 也是不容忽视的。因此, 在高程测量时, 即使距离不大, 也应顾及地球曲率对高程的影响。

§ 1—5 测量工作概述

一、测量的基本问题

如前所述, 测量工作的目的, 一般说来, 就是测定地球表面某一局部地区的形状与大小, 并绘制成图。地球表面所包含的内容是多种多样的, 但总的说来, 可分为地物和地貌两大类。地物是指地面上天然或人工形成的固定物体, 如房屋、道路、河流、沟渠和林木等。地貌是指地表面高低起伏的形状, 如山岭、洼地、河谷、平原等。

地面上地物和地貌的形状是非常复杂的, 如何将它们测绘到图上去呢? 下面通过两个例子来分析这个问题。

图1—6是一栋房屋的平面图形,它是由表示房屋轮廓的一些折线组成的。如果能确定1、2、3、4各转折点在图上的平面位置,这栋房屋在图上的位置也就确定了。由于地物的平面图形总是由其轮廓线构成的,因而不论其复杂与否,只要确定了其轮廓转折点的位置,该地物的位置也就完全确定了。

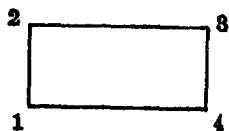


图1—6

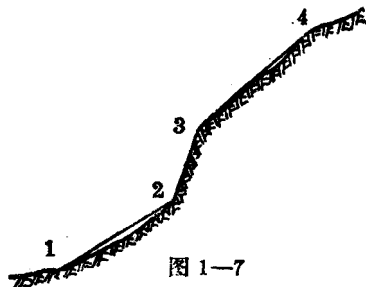


图1—7

图1—7为一山坡地形,其地形变化的情况可用地面坡度变化点1、2、3、4各点所组成的线段来表示。因为各段内的坡度是一致的,所以只要把1、2、3、4各点的高程和平面位置确定后,地形变化的基本情况也就反映出来了。

上述两例中的1、2、3、4点,分别称为地物特征点和地貌特征点。

两例说明了一个共同的实质:无论地物和地貌的形状多么复杂,它们总是由一些特征点构成的,只要在图上测绘出这些特征点的位置,地面上的地物和地貌就可以得到正确的反映。因此,测量的基本问题就是测定地面点的位置。地面点的位置包括平面位置和高程。

二、测量的基本工作

为了确定地面点的平面位置,需要进行哪些测量工作呢?

在半径小于25 km的范围内,由于不考虑地球曲率的影响,地面点的平面位置就是它们沿铅垂线方向在水平面上投影的位置。图1—8中,地面点A、B、C、D的水平投影a、b、c、d就是它们的平面位置。如果丈量出各点间的水平距离 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 ,测出水平角(详见§4—1) β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 以及起始边ab与标准方向(通常为指北方向)间的夹角 α ,则a、b、c、d各点在图上的位置即可完全确定。因此,为了确定地面点的平面位置,必须测量水平距离和水平角。

平面位置只能说明地面点在平面上的相互关系,要完全确定地面点在三度

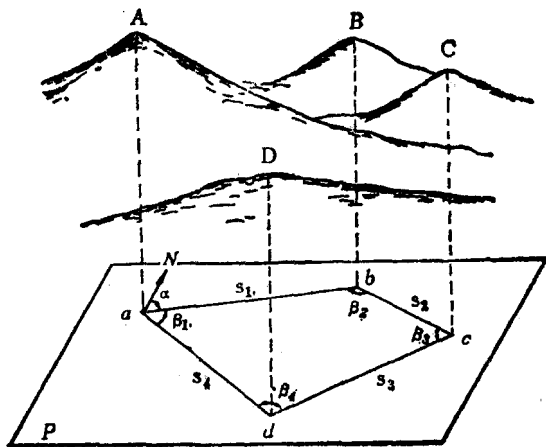


图1—8

空间内的位置，还必须测定它的高程。

综上所述，为了确定地面点的位置，必须进行距离、角度和高程三要素的测量工作，这就是测量的基本工作。

三、测量的基本原则

为了将整个测区的地物和地貌正确地测绘在图纸上，防止测量误差的积累，确保测量精度，测量工作必须按照下列程序进行：

首先，在整个测区内，按一定的密度，选定一些具有控制意义的地面点，作为全面测量的依据。这些点称为控制点，如图 1—9 中 A、B、C、D、E 点。控制点的位置，必须采用精密的仪器和方法测定，使它具有较高等级的精确程度，以保证下一步工作的顺利进行。这部分测量工作，称为控制测量。

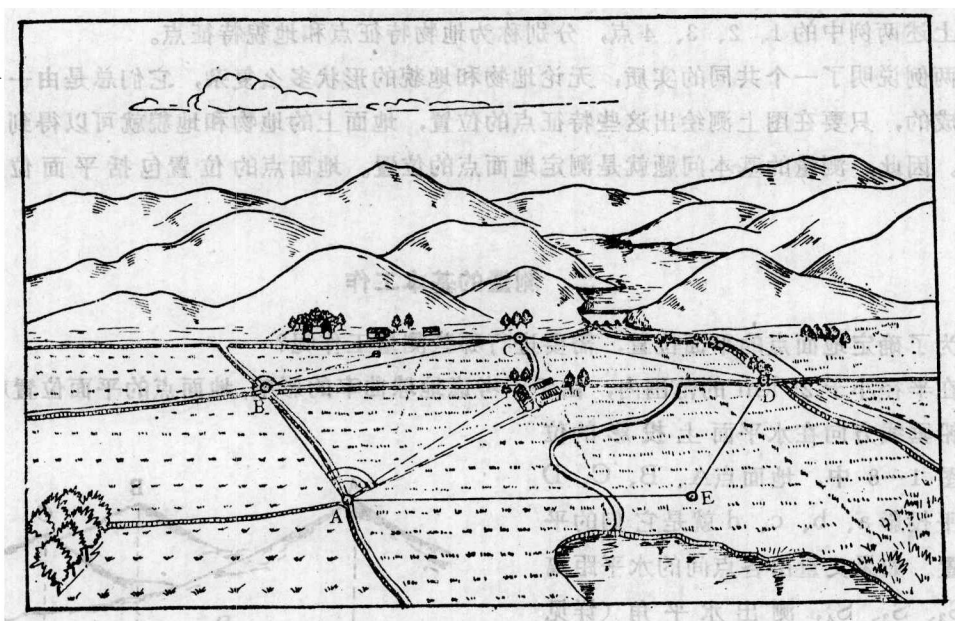


图 1—9

各控制点在图上的位置确定后，即可依次在每个控制点上安置仪器，以较低级的精度，测绘其周围的地物和地貌，直至测完整个测区。这部分测量工作，称为碎部测量。

由此可见，贯穿整个测量工作的基本原则是：工作范围上“由整体到局部”；工作性质上“由控制到碎部”；精度要求上“由高级到低级”。

测量工作还有外业与内业之分。在测区内进行的实地勘察、选择控制点以及测定距离、角度和高程等工作，称为外业。根据野外测量的成果，在室内进行整理、计算和绘图等工作，称为内业。