

高等学校教材

水利工程测量

华东水利学院测量教研组编

水利电力出版社

高等学校教材

水利工程测量

华东水利学院测量教研组编

水利电力出版社

内 容 提 要

全书分三篇共十七章。第一篇介绍主要测量仪器的使用及有关测量误差的基本理论；第二篇介绍大比例尺地形测量(包括水下地形)，及地形图的阅读和应用；第三篇施工测量，包括基本工作，削、坝、隧洞、码头等水工建筑物的施工放样，大坝变形观测和河、渠道测量。前两篇为各专业通用，第三篇则供有关专业选用。

本书可供水利工程建筑、农田水利工程、陆地水文、海洋工程水文、水道港口、港口建筑等专业教学使用，也可供从事水利工程的技术人员参考。

高等学校教材

水利工程测量

华东水利学院测量教研组编

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 19 $\frac{1}{2}$ 印张 441千字

1979年6月第一版 1979年6月北京第一次印刷

印数 00001—16190册 每册 2.00元

书号 15143·3460

前 言

根据水利电力部1978年1月制订的水利类专业教材编审规划，3月在南京，由华东水利学院负责召集有十二所院校及生产单位参加的“水利工程测量”编写大纲讨论会，按照会上拟定的编写大纲，编写了这本书，作为水利类有关专业的试用教材。

本教材编写中力求对测量的基本概念、基本理论和基本操作有所加强，注意保持本学科必要的系统性，同时结合生产实践进行了必要的理论分析，并简要地介绍了国内外有关的测量新技术。

本教材由华东水利学院测量教研组集体编写，由张慕良、白忠良、沈传良、蔡卜四同志修改定稿。

由武汉水利电力学院测量教研组主审，参加审稿的有江苏省水利勘测设计院、清华大学、重庆建筑工程学院及江苏农学院等。审稿中提供了许多宝贵意见，为我们修改给予很大帮助，于此表示衷心的感谢。我们热忱希望广大师生及本书读者对书中缺点错误给予批评指正。

编 者

一九七八年十一月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
§ 1-1 测量学的任务及其在水利建设中的作用	1
§ 1-2 现代测量科学的发展概况	2
§ 1-3 地面点位置的确定	2
§ 1-4 地形图的成图原理	6
§ 1-5 测量工作的基本原则	8

第一篇 测量的基本工作

第二章 距离丈量及直线定向	10
§ 2-1 距离丈量	10
§ 2-2 直线定向	13
§ 2-3 距离、方向与地面点直角坐标的关系	17
第三章 水准仪及水准测量	19
§ 3-1 水准测量原理	19
§ 3-2 水准仪及水准尺	20
§ 3-3 望远镜及水准器	21
§ 3-4 水准仪的使用	23
§ 3-5 水准测量的一般方法和要求	25
§ 3-6 水准路线高差闭合差的调整和高程计算	27
§ 3-7 水准仪的检验与校正	29
§ 3-8 水准测量中产生误差的原因及其消除方法	32
§ 3-9 使用仪器时应注意的事项	34
§ 3-10 自动安平水准仪简介	34
第四章 经纬仪及其应用	37
§ 4-1 测量水平角的原理	37
§ 4-2 DJ ₆ 光学经纬仪	38
§ 4-3 DJ ₂ 光学经纬仪	41
§ 4-4 游标经纬仪的构造	44
§ 4-5 经纬仪的使用	46
§ 4-6 水平角测量	48
§ 4-7 竖直角测量	51
§ 4-8 视距测量	54
§ 4-9 经纬仪的检验和校正	58

§ 4-10	角度测量中产生误差的原因及其消除方法	64
第五章	测量误差的基本知识	67
§ 5-1	测量误差的来源及其分类	67
§ 5-2	算术平均值原理	68
§ 5-3	衡量精度的标准	69
§ 5-4	观测值函数的中误差	70
§ 5-5	测量精度分析举例	75
§ 5-6	算术平均值的中误差	79
§ 5-7	观测值的中误差	80
§ 5-8	不等精度观测	82

第二篇 地形测量

第六章	导线测量	86
§ 6-1	国家控制网及图根控制网的概念	86
§ 6-2	导线测量的外业工作	88
§ 6-3	导线点的坐标计算	90
§ 6-4	视差法测距	96
§ 6-5	视距导线	98
§ 6-6	红外光电测距	99
第七章	小三角测量及交会定点	103
§ 7-1	小三角测量的特点及其布置形式	103
§ 7-2	小三角测量的外业工作	103
§ 7-3	小三角锁的计算	107
§ 7-4	两端有基线的小三角锁的近似平差	109
§ 7-5	中心多边形的近似平差	111
§ 7-6	四边形的近似平差	114
§ 7-7	线形三角锁的计算	115
§ 7-8	经纬仪交会定点	122
§ 7-9	测量专用台式电子计算机	130
第八章	高程控制测量	134
§ 8-1	概述	134
§ 8-2	三、四等水准测量的实施	135
§ 8-3	三、四等水准测量的成果整理及高程计算	138
§ 8-4	过河水准测量	139
§ 8-5	三角高程测量	140
第九章	地形图的测绘	142
§ 9-1	地物、地貌的表示方法	142
§ 9-2	控制点的展绘	145
§ 9-3	测量碎部点平面位置的基本方法	146
§ 9-4	经纬仪测绘法	147

§ 9-5	大平板仪测图	150
§ 9-6	小平板仪和经纬仪(或水准仪)联合测图	153
§ 9-7	等高线的勾绘和地形图的拼接、整饰	154
第十章	水下地形测量	158
§ 10-1	概述	158
§ 10-2	控制网的布设和水位观测	159
§ 10-3	测深断面和测深点的布设	161
§ 10-4	测深工具	163
§ 10-5	前方交会法测深定位作业的实施	169
§ 10-6	六分仪	172
§ 10-7	后方交会法测深定位作业的实施	174
§ 10-8	内业	176
§ 10-9	无线电定位概述	179
第十一章	地形图的阅读和应用	182
§ 11-1	高斯平面直角坐标	183
§ 11-2	地形图的分幅和编号	184
§ 11-3	地形图阅读举例	187
§ 11-4	地形图应用的基本内容	187
§ 11-5	地形图在水利工程规划设计工作中的应用举例	191
§ 11-6	根据历年观测的航道图计算泥沙的冲淤量	193
§ 11-7	面积计算	200

第三篇 施 工 测 量

第十二章	施工测量的基本工作	206
§ 12-1	概述	206
§ 12-2	施工控制网的建立	206
§ 12-3	长度和角度的放样	209
§ 12-4	几种测设点位的方法	210
§ 12-5	圆曲线的放样	212
§ 12-6	高程放样	216
§ 12-7	坡度线的放样	218
第十三章	闸、坝的施工放样	219
§ 13-1	闸的施工放样	220
§ 13-2	混凝土重力坝的放样	224
§ 13-3	砌石拱坝的放样	228
§ 13-4	土坝的放样	232
§ 13-5	水电站厂房的放样	234
第十四章	隧洞的施工放样	237
§ 14-1	概述	237
§ 14-2	地面控制测量	238

§ 14-3	隧洞施工测量的准备工作	239
§ 14-4	隧洞掘进中的测量工作	241
§ 14-5	通过竖井的高程和方向传递	244
第十五章	码头的施工放样	247
§ 15-1	概述	247
§ 15-2	施工基线的布设	248
§ 15-3	直桩定位测量	249
§ 15-4	斜桩定位测量	253
§ 15-5	前方交会法打桩定位	260
§ 15-6	桩顶标高定位测量	262
§ 15-7	板梁安装和捣制的放样	264
§ 15-8	重力式码头的施工放样	266
第十六章	渠道与河道测量	271
§ 16-1	渠道的踏勘选线	271
§ 16-2	渠道的中线测量	271
§ 16-3	渠道的纵横断面测量	272
§ 16-4	渠道纵横断面图的绘制	275
§ 16-5	渠道的土方计算	277
§ 16-6	渠道的边坡放样	279
§ 16-7	河道测量	279
第十七章	大坝变形观测	285
§ 17-1	概述	285
§ 17-2	视准线法观测水平位移	286
§ 17-3	引张线法测定水平位移	289
§ 17-4	前方交会法测定水平位移	292
§ 17-5	沉陷观测	294
§ 17-6	观测资料的整理	296
附录		298
附录 1	激光准直仪	298
附录 2	激光地形仪	300
附录 3	地形图图式	301

第一章 绪 论

§ 1-1 测量学的任务及其在水利建设中的作用

测量学的任务包括两个方面:

(1) 测定整个地球或地球表面上局部区域的形状和大小

测定整个地球的形状和大小,可以给测绘工作中的计算和绘图提供必要的数据,还可用来研究地壳的升降、大陆的变迁、海岸的移动等。测定地球表面局部地区的形状和大小,绘制成图,可为工程建设的规划、设计和施工提供重要资料。

(2) 建筑物的放样

就是将图纸上设计好的建筑物位置,在地面上确定下来以便进行施工,因此又称施工放样。

随着测量科学的发展,测量学的分科也越来越细致,目前按研究的对象及任务的不同,可分为以下几个学科:

研究地球整体的形状和大小,解决在地球表面上大区域内进行精密测量工作的学科,称为大地测量学。

研究地球表面上局部地区的形状和大小,解决测绘小区域地形图的学科,称为地形测量学,也称普通测量学。

研究利用地面的摄影像片来调制成地形图的学科,称为摄影测量学。在地面上进行摄影的称为地面摄影测量;在空中进行摄影的称为航空摄影测量。

专门研究城镇、工矿、水利、交通等各项工程建设中的测量工作的学科,称为工程测量学。

本书研究的对象是水利工程建设中所需的地形测量和施工放样的有关内容。

进行任何一项水利工程建设,诸如河道治理、港口和码头的修建,拦河筑坝、修水库、建水闸,以及农田排灌系统的规划和设计等,都需要通过测量来获得有关地区的地形资料。例如在某一河道上游修建水库时,首先应有坝址以上该流域内的全部地形图,作为水文计算、地质勘探、经济调查等规划设计的依据。坝址选定后,又必须为设计水工建筑物测绘较为详尽的地形图。兴建时还要进行工程建筑物的施工放样。工程竣工时,检查工程质量是否符合设计要求,又需要进行竣工测量。建筑物建成后,在使用管理过程中,还要进行变形观测,以监视运行情况,确保工程安全。

又如,为了发展航运事业,保证船舶航行的安全,也需要通过测量,摸清江河两岸及河床的地形情况,从而对影响航行的航道进行整治,并修建安全停靠的港口和码头。

由此可见,在水利工程建设中测量工作贯串于规划、设计、施工和管理的各个阶段。作为一个水利技术人员必须懂得测量学的基本知识,能进行小区域大比例尺的地形测量工作,掌握阅读和应用地形图的基本知识,以及有关水利工程施工放样方面的基本方法。

§ 1-2 现代测量科学的发展概况

随着近代科学技术如电子学、物理光学、精密机械工艺、电子计算技术等的发展，测绘技术也得到了迅速的发展。六十年代激光技术的兴起，在测量仪器改革上有了显著的变化，光电测距发展很快，利用激光、红外线（砷化镓发光二极管）测距，不受天气的影响，无论白天黑夜或雾天都能进行测量，工程上适用的短程（1~2公里）红外光测距仪精度可达 ± 1.5 厘米，将逐步代替钢尺量距。目前，激光测距正在向自动化、数字化、小型化和一机多能的新水平前进。有的红外光测距仪配有小型电子计算机，在野外可迅速归算水平距离、高差、坐标增量，使室内计算工作现场化、自动化。

激光水准仪是一种新型的测量高程的仪器，它将氦-氖激光器装在自动安平水准仪上，并在有毫米刻划的尺子上装设两个光电池的探测器作为水准尺，进行测量地面上两点之间的高差。在工程上，还研制了一种激光水平仪，这种仪器能形成一个参考平面，以每秒10转的速度在水平面方向上旋转，可以同时获得几个点的高程，大大加快了工作速度，提高了工效。

在计算技术方面，电子计算机的应用，对计算方法产生很大影响，它可以进行大规模数据的严密平差，解决繁重的计算工作，既迅速又准确。为了适应野外测量工作的需要，测绘专用台式电子计算机具有速度快、精度高、操作简便、便利携带等特点，原始数据输入计算机后，可以在1~2秒钟内显示计算结果；我国生产的钟山DS-102台式测地计算机就是其中之一。

航空摄影测量将逐步代替野外地形测图工作。目前在利用地面摄影测量获得大比例尺地形图方面已取得了良好效果。近年来，近景摄影测量也得到很快发展，它用普通摄像机与电算技术配合，在小范围内可达到较高的精度，它将广泛地用于建筑物变形观测、波浪观测等测量工作中。

随着人造地球卫星的发射，二十多年来，航天技术有了飞跃的发展，利用卫星从远距离对地面进行测量工作，形成了卫星大地测量这一门新兴科学，不仅解决了常规大地测量中精度和时间的问题，同时还可解决洲际岛屿与大陆之间、岛屿与岛屿之间的联测问题，为大地测量提供了新技术。

本书将在有关章节及附录中简要地介绍上述部分新技术内容。

§ 1-3 地面点位置的确定

地球表面的形状是错综复杂的。地面上的道路、河流、房屋等称为地物；呈现的各种起伏状态，称为地貌，地物和地貌的综合称为地形。要把地形反映到图上，是通过测定地面上地物和地貌的一些特征点的相互位置来实现的。下面我们先研究地面点位置的表示方法，而后研究如何测定点与点之间的相互位置。

地面上任意一点的纬度，即通过该点的铅垂线与赤道面的交角，用 φ 表示。以赤道为基准，向北以 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为北纬，向南自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为南纬。例如北京的经度为东经 $116^\circ 28'$ ，纬度为北纬 $39^\circ 54'$ ，由此可在球面上确定北京的位置。

三、地面点的高程

从地面上一点沿铅垂线方向到大地水准面的距离，称为该点的绝对高程，也称海拔。图1-3中， MN 是大地水准面，则地面点 A 和 B 的绝对高程分别为 H_A 和 H_B 。绝对高程一般简称为高程。两点高程的差数 $h_{AB} = H_B - H_A$ ，叫做高差。从平行于 MN 面的任意水准面起算的高程，则称为相对高程或称假定高程。

我国于1956年以青岛黄海的平均海水面作为全国统一的高程起算面。

知道了地面上一点的经纬度及高程，就可以确定该点在球面上的位置。

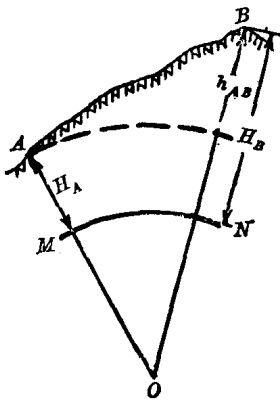


图 1-3

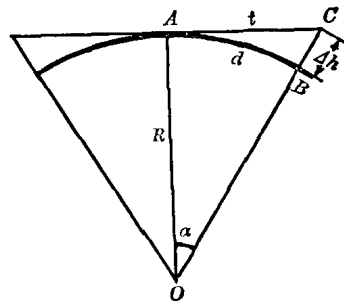


图 1-4

四、水平面代替水准面的限度

地球的形状近似为一个圆球，所以在地面上进行测量时应考虑球面的曲率。如果测量地区较小时，可用一个水平面来代替水准面。现将地球曲率对水平距离和高程的影响分析如下。

如图1-4所示，设地球是一半径为 R 的圆球，在球面上取任意两点 A 、 B ，两点间的距离为 d ，相当于弧长 d 的中心角为 α 。取切于 A 点的水平面代表地球表面，并延长半径 OB 与此面相交于 C 点，则切线 AC 的长度 t 将代替圆弧长度 d ， t 与 d 之差即为水平面代替水准面所产生的距离误差，设为 Δd ，则

$$\Delta d = t - d$$

因为

$$d = R\alpha \quad t = R \operatorname{tg}\alpha$$

故

$$\Delta d = R(\operatorname{tg}\alpha - \alpha)$$

将 $\operatorname{tg}\alpha$ 展开为级数，取前面两项，得：

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

以 $\alpha = \frac{d}{R}$ 代入上式，得

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

(1-1) 式中, R 用 6371 公里, 由不同的 d 值可以计算相应的 Δd ;

当 $d=10$ 公里时, $\Delta d \approx 1$ 厘米;

当 $d=25$ 公里时, $\Delta d \approx 13$ 厘米;

当 $d=100$ 公里时, $\Delta d \approx 820$ 厘米。

由此可见, 用切线 AC 代替 AB 弧, 在距离不到 10 公里时, 产生的最大误差约为 1 厘米, 这样的误差即使在地球表面上作精密的水平距离测量时, 也认为是可以允许的。所以, 在半径为 10 公里的小区域内, 地球曲率对于水平距离的影响可以略去不计。在精度要求较低的测量中, 则测量范围的半径可扩大到 25 公里。

下面再研究用水平面代替水准面时, 对高程的影响。

图 1-4 中, A 、 B 两点在同一个水准面上, 其高程应相等。由于 B 点投影到平面上为 C 点, C 与 B 之间的垂直距离为 Δh , 即水平面代替水准面所产生的高程影响。在图中可以看出, $\angle BAC = \frac{1}{2}\alpha$, 由于这个角很小, 所以 Δh 线段可看作是半径为 d 的弧线, 因此

$$\Delta h = \frac{1}{2}\alpha d$$

将 $\alpha = \frac{d}{R}$ 代入上式, 得

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

(1-2) 式中, 由不同的 d 值, 可以计算相应的 Δh

当 $d=0.1$ 公里时, $\Delta h=0.078$ 厘米;

当 $d=1$ 公里时, $\Delta h=7.8$ 厘米;

当 $d=10$ 公里时, $\Delta h=780$ 厘米。

这说明了因地球曲率而产生的高程误差, 是随着距离的平方而增加的, 并且很快的达到了不可允许的数值。

水利工程中的高程测量必须有较高的精度, 在一般情况下一公里内不允许超过 1~2 厘米, 因此, 当测量地面点的高程时, 即使距离不大, 也必须顾及地球曲率对高程的影响。

五、地面点的平面位置

由上述讨论可知, 在小区域内, 可以用平面代替球面来确定地面点的平面位置。点在平面上的位置, 是用平面直角坐标来表示的。

平面直角坐标是由两条互相垂直的坐标轴 x 和 y 所构成 (图 1-5), 两轴的交点为坐标原点, 在测量上以 Ox 轴为纵轴, Oy 轴为横轴。地面上任一点 A 在平面上的位置, 是由该点到两坐标轴的垂距 Aa_1 及 Aa_2 来确定的。 Aa_1 为 A 点的纵坐标, 以 x 表示; Aa_2 为 A 点的横坐标, 以 y 表示。

通常坐标的纵轴 Ox 与南北方向一致, 指北者为正, 指南者为负; 坐标的横轴 Oy 与东西

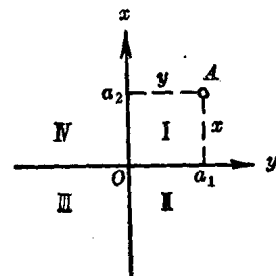


图 1-5

方向一致，指东者为正，指西者为负。

六、地面上点与点之间的关系

设 A 、 B 为地面上的两点(图1-6)，投影到水平面上的位置分别为 a 和 b 。如果 A 点的位置已知，要确定 B 点的位置，除了 B 点到 A 点之间的水平距离 D 必须知道外，还需要知道 B 点在 A 点的那一方向。图上 ab 的方向可用过 a 点的指北方向与 ab 的水平夹角 α 表示， α 角称为方位角(图1-6)，有了 D 和 α ， B 点在图上的平面位置 b 就可以确定了。如果还要确定 C 点在图上的位置 c ，则需测量 BC 的水平距离与 B 点上相邻两边的水平夹角 β 。

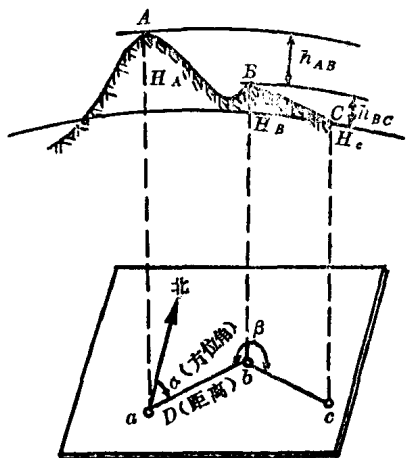


图 1-6

在图中还可以看出， A 点比 B 点高，而 B 点又比 C 点高，因此除平面位置以外，还要知道这些点的高低关系，即 A 、 B 、 C 三点的高程 H_A 、 H_B 和 H_C 或高差 h_{AB} 、 h_{BC} 。有了平面位置和高度，这些点的位置就完全确定了。

由此可知，研究点位关系，就是研究点与点之间的相对位置。距离、水平角及高程是确定相对位置的三个基本几何要素；距离测量、水平角测量与高程测量是测量的基本工作。

§ 1-4 地形图的成图原理

考虑到地球的曲率，用特殊的制图方法，将某一大区域或整个地球的图形描绘于平面图纸上，这种图称为地图。在小区域内，可将地球表面视为平面。如果将地面上地物的轮廓线，沿铅垂线方向投影到平面上，并按比例尺缩绘成相似的图形，这种图称为平面图。如果在图上，除表示地物的平面位置外，还表示地势的起伏状态(地貌)，这种图称为地形图。

我们先研究地物的投影。地物的轮廓线一般是直线或曲线，而曲线又可看作是许多短的直线段所组成。如图1-7中的一栋房子，只要把四个屋角1、2、3、4，投影到水平面 P 上得1'、2'、3'、4'四点，把这四点连接起来，就得到这栋房子在水平面上的位置。同样，11至15点是一段道路上的转折点，把它们投影到水平面上，连接起来就构成了道路的图形。

我们再研究地貌的投影。为了便于说明，以一个山头为例(图1-7)，设想这个山头被水全部淹没，水面切山头于最高一点(称山顶)，它的高程设为50米。若水下降5米，水面与山头相交一条高程为45米的交线。若水面继续下降到高程为40米、35米及30米，同样可得到高程分别为40米、35米及30米的三条交线。把顶点和交线都垂直投影到水平面 P 上，就得到一点和四根闭合曲线，这些曲线称为等高线，注明高程后，就可在平面上显示出山头的形状。

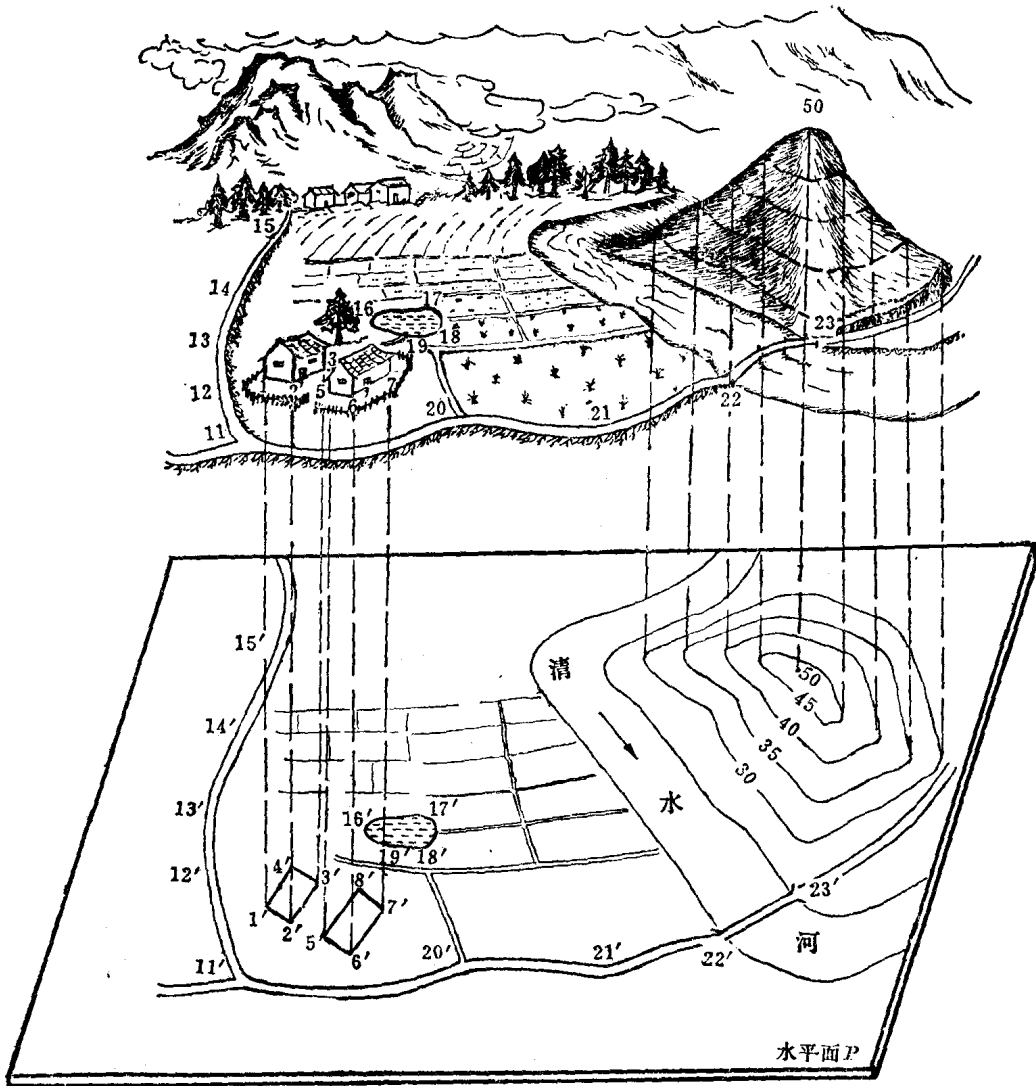


图 1-7

投影到水平面上的地物及地貌，应按比例尺缩绘于图上，成为一张地形图。图上的长度与实地上长度之比称为比例尺。例如，实地量出的水平长度为500米，画到图上的长度为1米，那么这张图的比例尺为 $1/500$ ，也可写成 $1:500$ 。测图比例尺的大小，按比值决定。测图比例尺越大，显示的地物地貌详细，地形图的精度就越高。例如，实地上2米的长度，绘到比例尺 $1:1000$ 的图上为2毫米，绘到比例尺 $1:10000$ 的图上为0.2毫米，显然 $1:1000$ 比例尺的图就可以比 $1:10000$ 比例尺的图测绘得更为精确、详细。

水利工程规划、设计时常用的地形图，其比例尺有 $1:1000$ 、 $1:2000$ 、 $1:5000$ 、 $1:10000$ 、 $1:25000$ 和 $1:50000$ 等几种，其中比例尺大于 $1:10000$ 的地形图称为大比例尺地形图。

从投影缩绘成图的过程中可以看到，地物的位置可以由构成地物轮廓线的一些点子来

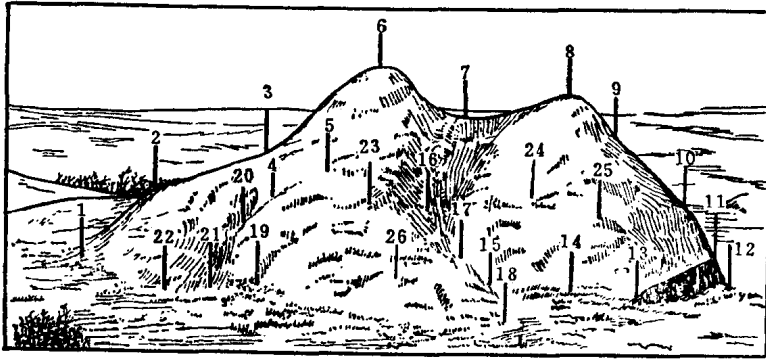


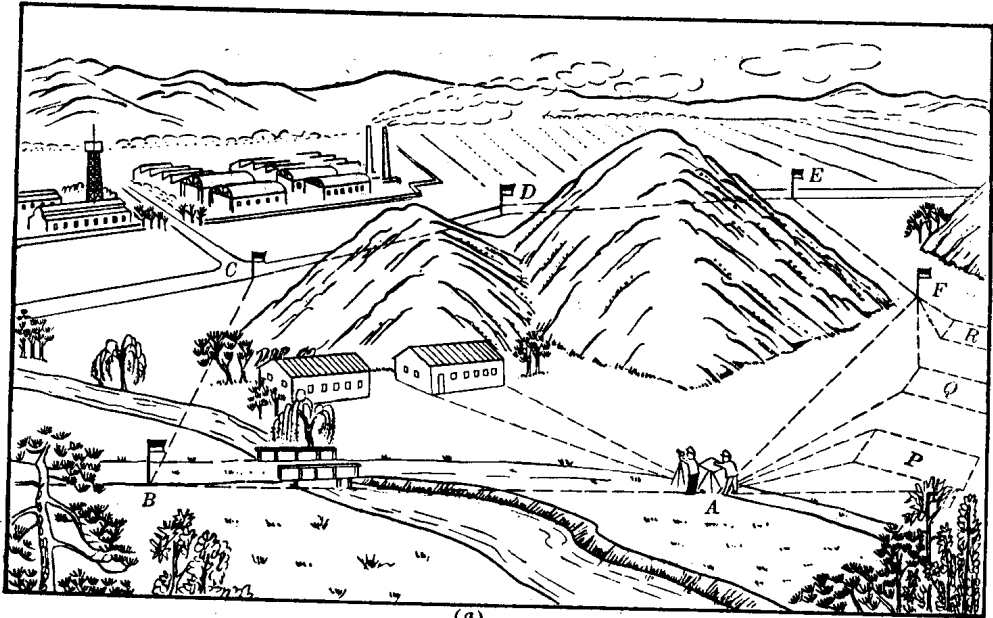
图 1-8

确定。地貌也是由控制它形状的一系列特征点如山头的最高点、方向和坡度的变换点、山脚转折点、洼地的最低点等（图1-8中的1、2、3……等点）来确定。所有这些点称为地形特征点，测定它们的位置，就能反映出地面的情况。

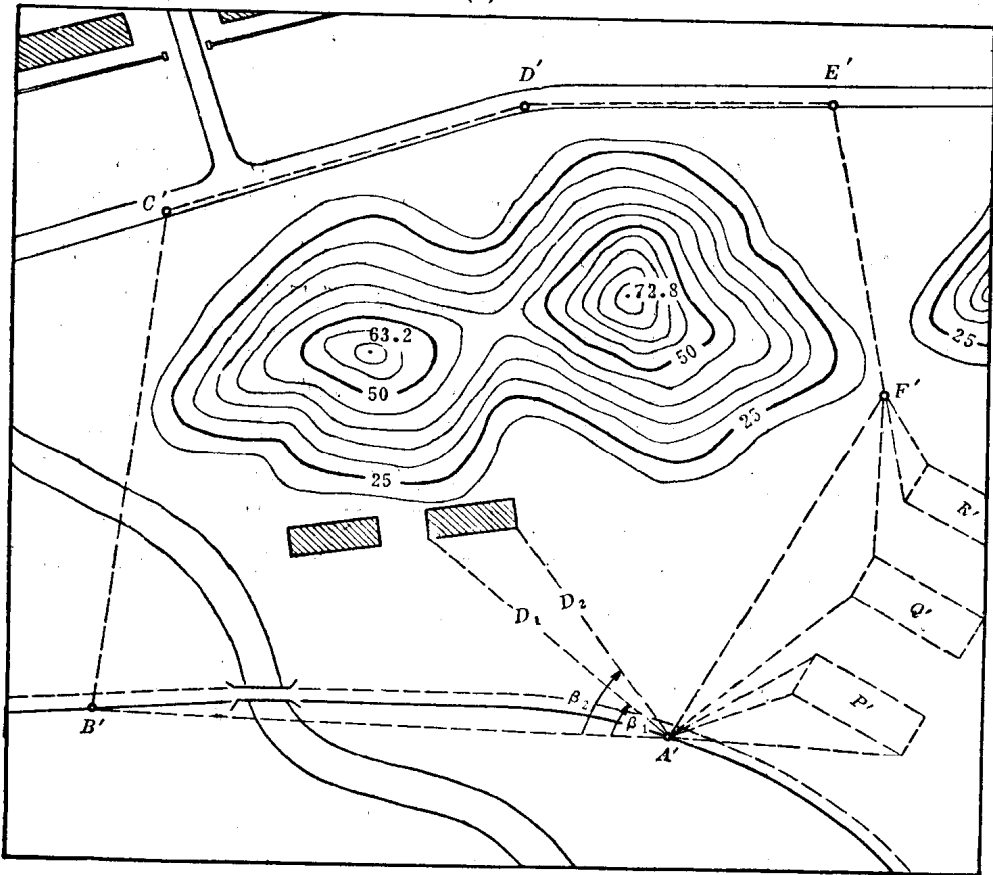
§ 1-5 测量工作的基本原则

进行测量工作，例如测量某一地区的地形图时，如果测区范围很小，只要在测区内选择一点，安置测绘仪器（这一点称为测站），通过距离、水平角、高程等测量工作，测定它四周地形特征点的位置，缩绘于纸上，便可参照实地地形描绘出一张地形图。如果测区较大，不至一个测站，则可根据第一测站，通过距离、水平角、高程等测量工作测定第二测站的位置，这样一个测站接着一个测站地进行下去，在每个测站上，测定其周围的地形，从而把测区内的全部地形测完。但由于各测站上测量距离、水平角、高程时都有误差，且一站一站逐点积累，致使误差达到不能允许的程度，最后就不能得到一张合乎精度要求的地形图。因此，测量工作和其他工作一样，必须事先有一个全盘计划，先抓整体，而后解决局部问题，即必须遵循“先整体后局部”的原则来组织实施测量工作。

因此进行地形测量时，首先在测区范围内选定若干控制点作为骨干，组成控制网，如图1-9中选择A、B、C、D、E、F等点，组成一个闭合多边形。通过精密的距离、水平角和高程等测量，按照控制网图形的几何条件，进行某些必要的计算，精确地求出这些控制点的平面位置和高程，并将点位展绘在图上，然后再以这些控制点作为测站来测绘地形。前者测定控制点位置的工作称为控制测量，后者测绘地形的工作称为碎部测量。由于控制点的位置比较准确，在每个控制点上测绘地形的误差只影响局部，不致影响整个测区。这就是“先整体后局部”、“先控制后碎部”的测量工作原则。



(a)



(b)

图 1-9