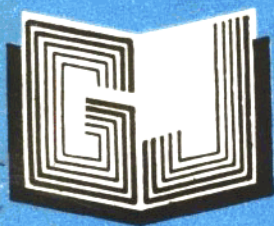


974630

W221.1
124323



高等学校教材

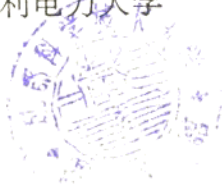


水利工程测量

第三版

河海大学
武汉水利电力大学

张慕良
叶泽荣 合编



974630

TV221.1
1243E3

TV221.1
1243E3

高等学校教材

水利工程测量

第三版

河海大学 张慕良
武汉水利电力大学 叶泽荣

合编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书是根据1989年水利部颁发的《一九九〇至一九九五高等学校水利水电专业本科、研究生教材选题和编审出版规划》而编写的高等学校教材。全书共分十五章。主要包括：测量仪器的使用及有关测量误差的基本知识；大比例尺地形测量（包括控制和碎部测量以及航空摄影测量的初步知识）及地形图的阅读和应用；施工测量的基本工作、大坝施工测量、隧洞测量、渠道测量及大坝外部变形观测等。

本书主要供水利水电工程建筑、农田水利工程、陆地水文、水电施工、工程地质、水文地质等专业教学使用，也可供从事水利水电工程的技术人员参考。

高 等 学 校 教 材

水 利 工 程 测 量

第 三 版

河 海 大 学 张慕良 合编
武汉水利电力大学 叶泽荣

水利电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

四季青印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 13.75印张 311千字

1979年6月第一版 1984年11月第二版

1994年6月第三版 1994年6月北京第七次印刷

印数 95731—106430 册

ISBN 7-120-01961-9/TV·721

定价 6.35 元

前 言

本教材根据高等学校水利水电类专业教育委员会测量课程教学组讨论的编写提纲，由河海大学、武汉水利电力学院共同进行编写。

水利工程测量课程是水利水电类专业的基础技术课。本教材着重阐述有关测量的基本理论和基本知识，并结合水利工程实际阐述有关地形测图和水利工程施工测量的基本方法。

本教材在原华东水利科学院张慕良主编的《水利工程测量》（第二版）的基础上，对精密仪器、新仪器及新技术如精密水准仪、电子经纬仪、红外测距仪、电子求积仪、地形测绘自动化系统以及水域测深定位测绘自动化系统等作了简要介绍，并增加了大坝施工测量、隧洞施工测量及大坝变形外部观测等内容。

计算技术的迅猛发展，计算机已在水利工程的各个领域（包括测绘）的生产实践中得到广泛应用。为配合学校计算机语言的教学，可根据各校情况和对学生的要求，结合本课程的有关计算问题，让学生自编程序上机计算，使学生在学習期间能不断运用，逐步掌握计算技术。

本教材由叶泽荣（第一、二、三、四章）、章书寿（第五章）、张慕良（第六、七、十一章）、蔡卜（第八、九、十章及附录）、夏良椿（第十二、十三、十四、十五章）编写，全书由张慕良统稿。西北农业大学沈君何副教授审稿。由于编者水平有限，热忱希望广大读者对书中缺点错误给予批评指正。

编 者

1992年12月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 水利工程测量的任务	1
第二节 地面上点位的确定	1
第三节 用水平面代替水准面的限度	4
第四节 测量工作的基本原则	6
第五节 测绘科学的发展概况	7
第二章 水准仪及水准测量	9
第一节 水准测量原理	9
第二节 水准仪及其使用	9
第三节 水准测量的一般方法和要求	13
第四节 水准路线闭合差的调整与高程计算	16
第五节 水准仪的检验和校正	18
第六节 水准测量误差产生的原因及消减方法	21
第七节 自动安平水准仪	23
第八节 精密水准仪	25
第三章 经纬仪及其使用	27
第一节 水平角测量原理	27
第二节 DJ ₆ 型光学经纬仪	27
第三节 DJ ₂ 型光学经纬仪	30
第四节 电子经纬仪	32
第五节 水平角测量	33
第六节 竖直角测量	37
第七节 经纬仪的检验和校正	39
第八节 经纬仪测量的误差及其消减方法	44
第四章 直线定向及距离测量	47
第一节 直线定向	47
第二节 距离丈量	49
第三节 视距测量	56
第四节 红外光电测距仪	59
第五章 观测误差的基本知识	66
第一节 测量误差的来源及其分类	66
第二节 偶然误差的特性	67
第三节 衡量精度的标准	69
第四节 观测值函数的中误差——误差传播定律	71
第五节 测量精度分析举例	75

第六节 等精度观测的平差	76
第七节 不等精度观测的平差	79
第六章 平面控制测量	83
第一节 国家平面控制网和图根控制网	83
第二节 经纬仪导线测量	85
第三节 小三角测量	93
第四节 前方交会定点	99
第七章 高程控制测量	103
第一节 概述	103
第二节 三、四等水准测量	104
第三节 三角高程测量	106
第四节 光电测距三角高程测量	108
第八章 地形图的测绘	110
第一节 地形图的基本知识	110
第二节 测图前的准备工作	114
第三节 测量碎部点平面位置的基本方法	115
第四节 经纬仪测绘法	116
第五节 大平板仪测图	119
第六节 地形图的拼接、整饰、检查与验收	122
第七节 水下地形的测绘	123
第八节 地形测绘的自动化	127
第九章 地形图的应用	131
第一节 概述	131
第二节 高斯平面直角坐标	131
第三节 地形图的分幅和编号	133
第四节 地形图的选用	136
第五节 地形图应用的基本内容	139
第六节 地形图在水利工程规划设计工作中的应用	140
第七节 面积计算	142
第十章 航空摄影测量的基本知识	146
第一节 概述	146
第二节 航测成图的简要过程	146
第三节 航摄像片的基本知识	148
第四节 航摄像片的判读	151
第五节 像片的立体观察	153
第六节 航测资料在水利工程规划设计中的应用	154
第七节 卫星像片简介	155
第十一章 施工放样的基本工作	157
第一节 概述	157
第二节 施工控制网的布设	157
第三节 距离、水平角和高程的放样	159
第四节 测设放样点平面位置的基本方法	162

第五节	圆曲线的测设	163
第十二章	大坝施工测量	168
第一节	土坝的控制测量	168
第二节	土坝清基开挖与坝体填筑的施工测量	170
第三节	混凝土坝的施工控制测量	172
第四节	混凝土坝清基开挖线的放样	174
第五节	混凝土重力坝坝体的立模放样	175
第十三章	隧洞施工测量	179
第一节	概述	179
第二节	洞外控制测量	179
第三节	隧洞掘进中的测量工作	182
第四节	竖井和旁洞的测量	186
第十四章	渠道测量	189
第一节	渠道选线测量	189
第二节	中线测量	190
第三节	纵断面测量	192
第四节	横断面测量	194
第五节	土方计算	195
第六节	渠道边坡放样	198
第十五章	大坝变形外部观测	200
第一节	概述	200
第二节	视准线法观测水平位移	200
第三节	波带板激光衍射法观测水平位移	202
第四节	引张线法观测水平位移	203
第五节	前方交会法观测水平位移	204
第六节	挠度观测	206
第七节	垂直位移观测	207
附录		209
附录一	水准仪和经纬仪系列技术参数	209
附录二	严密平差概念	210

第一章 绪 论

第一节 水利工程测量的任务

测量学是研究地球及其表面各种形态的学科，主要任务是测定地球表面的点位和几何形状，并绘制成图，以及测定和研究地球的形状和大小。

随着科学技术的发展，测量学已发展为多个学科。

研究在地球表面大区域内建立国家大地控制网，测定地球形状大小和地球重力场的理论、技术和方法的学科，称为大地测量学。随着航天技术的发展，利用卫星从远距离对地面进行测量，形成了卫星大地测量学一门新兴的学科。

研究小区域内测绘地形图的基本理论、技术和方法的学科，称为地形测量学。

利用摄影像片测定物体的形状、大小和空间位置的方法，称为摄影测量。过去主要研究对象是地球表面，用以测绘地形图；现代则利用像片的信息容量高，显示能力客观细致等特点，广泛应用于其他领域，形成一个新的分支——非地形摄影测量。根据获取像片方式的不同，又分为航空摄影测量、地面摄影测量、航天摄影测量和水下摄影测量。

研究矿山、水利、道路、城市建设等各项工程建设在规划设计、施工和工程管理阶段所进行各种测量工作的学科，称为工程测量学。

研究地图及其制作理论、工艺和应用的学科，称为地图制图学，简称制图学。

水利工程测量是为水利工程建设服务的专门测量，属于工程测量学的范畴，它的主要任务如下。

(1) 为水利工程规划设计提供所需的地形资料。规划时需提供中、小比例尺地形图及有关信息，建筑物设计时要测绘大比例尺地形图。

(2) 施工阶段要将图上设计好的建筑物按其位置、大小测设于地面，以便据此施工，称为施工放样。

(3) 在施工过程中及工程建成后运行管理中，需要对建筑物的稳定性及变化情况进行监测——变形观测，确保工程安全。

由此可见，测量工作贯穿于工程建设的始终，作为一个水利工作者，必须掌握必要的测量科学知识和技能，才能担负起工程勘测、规划设计、施工及管理各项任务。

本课程在介绍测量基本知识的基础上，对小区域大比例尺地形测图，以及水利工程的施工放样和水工建筑物——大坝的变形外部观测的主要内容分别进行介绍。

第二节 地面上点位的确定

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。地物和地貌总称为地形。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。同样施工放样也是将设计图纸上建筑物轮廓的特征点测放到实地的。下面我们先研究地面点位置的表示方法，而后研究点与点之间的相互位置关系。

一、地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的，要确定地面点的位置，许多基本理论和数据都涉及地球的形体问题，因此首先对于地球的形状和大小要有一概略了解。众所周知，地球表面有高山、平原、海洋等起伏变化的地貌。虽陆地上最高的珠穆朗玛峰，高出海平面8848.13m，海洋最深处是太平洋西部的马里亚纳海沟，深达11022m，但因地球的半径约为6371 km，故地球表面的起伏相对于地球庞大的体积来说是极微小的。同时，整个地球表面上海洋面积约占71%，陆地仅占29%，所以海水面所包围的形体基本上表示了地球的形状。设想有一个静止的海水面，向陆地延伸形成一个封闭的曲面，这个曲面称为水准面。水准面上每一个点的铅垂线均与该点重力方向相重合。由于潮汐的影响，海水面有涨有落，水准面就有无数个，为此人们在海滨设立验潮站，进行长期观测，求出平均高度的海水面，称之为大地水准面。大地水准面和铅垂线是测量工作所依据的面和线，并经常会用到。

大地水准面所包围的形体，叫大地体。由于地球内部质量分布不均匀，使得垂线方向具有不规则的变化，因而大地水准面是一个有微小起伏不规则的曲面，这对于测量计算极不方便，因此人们选择一个与大地水准面非常接近的数学面——旋转椭球面，以它所围成的形体来代表地球的形状和大小。这个形体称为旋转椭球体，它是由椭圆NWSE绕其短轴NS旋转而成的形体（图1-1），其形状和大小取决于长半径（赤道半径） a 、短半径（旋转轴半径） b 和扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 。目前我国采用1975年第16届国际大地测量与地球物理协会联合推荐的数值，即

$$a = 6378140 \text{ m}, \quad \alpha = 1:298.257$$

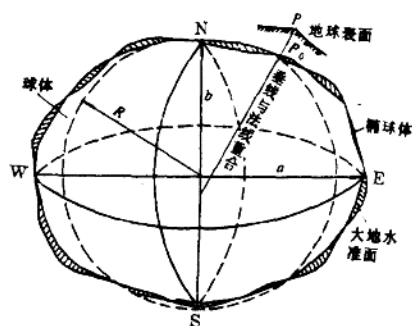


图 1-1 大地水准面与椭球体

后来根据新的测量数据，发现该坐标系与我国的实际情况相差较大，于1980年将坐标系原点设在陕西省泾阳县境内，称为1980年国家大地坐标系。

由于椭球体的扁率很小，在普通测量中又近似地把地球视作圆球体，其平均半径约为6371 km。当测区范围较小时，又可把球面视为平面，这些将在后面论述。

为了使测量成果化算到椭球面上，各国根据本国领土实际情况，采用与大地体接近的椭球体；同时选择地面上一点，称为大地基准点，亦称大地原点。确定它在椭球面上的位置，作为推算大地坐标的起算点。如图1-1所示，地面上选一点P为大地原点，令P的铅垂线与椭球面上相应P₀点的法线重合，并使这点的椭球面与大地水准面相切，而且使本国范围内的椭球面与大地水准面尽量接近。我国曾于1954年将大地原点设在北京，称1954年北京坐标系，

二、地面上点位的表示方法

确定地面上一点的空间位置,包括确定它在球面上的位置(以坐标表示)及其到大地水准面的垂直距离(即高程)。

(一) 坐标

1. 地理坐标

以经度和纬度表示地面点位置的,称地理坐标。如图1-2所示,N和S分别为地球北极和南极,NS为地球的自转轴。设球面上有任一点M,过M点和地球自转轴所构成的平面称M点的子午面,子午面与地球表面的交线称为子午线,又称经线。按照国际天文学会规定,通过英国格林尼治天文台的子午面称为起始子午面,以它作为计算经度的起点,向东从 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 称东经,向西从 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 称西经。M点的子午面与起始子午面之间的夹角 λ 即为M点的经度。M点的铅垂线与赤道平面之间的夹角 φ 即为M点的纬度。赤道以北从 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 称北纬,赤道以南从 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 称南纬。M点的经度和纬度已知,该点在地球表面上的投影位置即可确定。

2. 高斯平面直角坐标

地理坐标的优点是对于整个地球有一个统一的坐标系,多用于天文大地测量,但它的观测和计算都比较复杂。在我国大面积测绘地形图时,采用高斯平面直角坐标系,这种坐标系由高斯创议,经克吕格改进而得名。它采用分带(经差 6° 或 3° 划分为一带)投影的方法,每一投影带展开成平面,以中央子午线为纵轴 x ,赤道为横轴 y ,建立全国统一的平面直角坐标系。解决了地面点向椭球面投影并展绘于平面的问题,又满足了全国范围内地形图测绘的要求。其基本内容将在第九章中介绍。

3. 平面直角坐标

当测量的范围较小时(半径不大于10km的区域内),可把该部分的球面视为水平面,将地面点直接沿铅垂线方向投影于水平面上。如图1-3所示,以相互垂直的纵横轴建立平面直角坐标系。纵轴为 x 轴,与南北方向一致,以向北为正,向南为负。横轴为 y 轴,与东西方向一致,向东为正,向西为负。这样任一点平面位置可以其纵横坐标 x 、 y 表示,如坐标原点 O 是任意假定的,则为独立的平面直角坐标系。

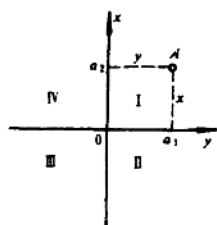


图 1-3 平面直角坐标

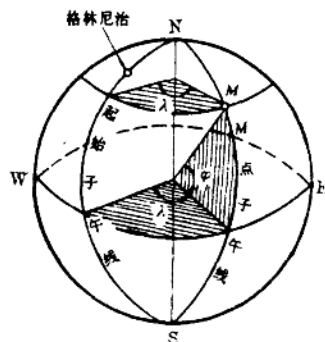


图 1-2 地理坐标

由于测量上所用的方向是从北方向(纵轴方向)起按顺时针方向以角度计值(象限也按顺时针编号)。因此,将数学上平面直角坐标系(角值从横轴正方向起按逆时针方向计值)的 x 和 y 轴互换后,数学上三角函数的计数公式可不加改变直接用于测量的计算中。

(二) 高程

1. 绝对高程

地面点沿垂线方向至大地水准面的距离称为绝对高程或称海拔。在图1-4中,地面点A和B的绝对高程分别为 H_A 和 H_B 。过去我

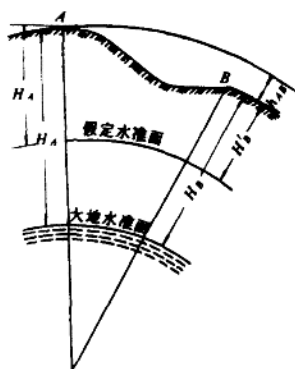


图 1-4 绝对高程与相对高程

国采用青岛验潮站1950~1956年观测成果求得的黄海平均海水面作为高程的零点,称为“1956年黄海高程系”。后经复查,发现该高程系验潮资料过短,准确性较差,改用青岛验潮站1950~1979年的观测资料重新推算,并命名为“1985年国家高程基准”。国家水准原点设于青岛市观象山,作为我国高程测量的依据。它的高程是以“1985年国家高程基准”所定的平均海水面为零点测算而得,废止了原来“1956年黄海高程系”的高程。

2. 相对高程

地面点沿铅垂线方向至任意假定的水准面的距离称为该点的相对高程,亦称假定高程。在图1-4中,地面点A和B的相对高程分别为 H'_A 和 H'_B 。两点高程之差称为高差。如图1-4中, A、B点的高差 $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$ 。

在测量工作中,一般采用绝对高程,只有在偏僻地区,附近没有已知的绝对高程点可引测时,才采用相对高程。

三、地面点的相互位置关系及测量的基本工作

高低不一的地面点,是沿铅垂线方向投影到水平面上,而后缩绘到图纸上。因此,研究地面点相互位置的关系,可分别研究点与点之间的平面位置和高程位置的关系。

设A、B、C为地面上的三点(图1-5),投影到水平面上的位置分别为a、b、c。如果A点的位置已知,要确定B点的位置,除B点到A点在水平面上距离 D_{AB} (水平距离)必须知道外,还需要知道B点在A点的哪一方向。图上ab的方向可用通过a点的指北方向与ab的夹角(水平角) α 表示, α 角称为方位角,有 D_{AB} 和 α ,B点在图上的位置b就可以确定。如果还要确定C点在图上的位置c,则需要测量BC在水平面的距离 D_{BC} 及b点上相邻两边的水平夹角 β 。

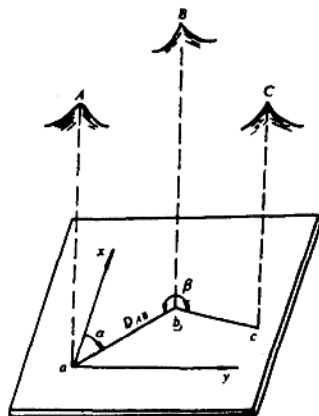


图 1-5 地面点的相对位置

在图中还可以看出,A、B、C点的高程不同,除平面位置外,还要知道它们的高低关系,即A、B、C三点的高程 H_A 、 H_B 、 H_C 或 h_{AB} 、 h_{BC} ,这样这些点的位置就完全确定了。

由此可知,水平距离、水平角及高程是确定地面点相对位置的三个基本几何要素。测量地面点的水平距离、水平角及高程是测量的基本工作。

第三节 用水平面代替水准面的限度

如前所述,地球的体形可视为旋转椭球体,在普通测量中,当测区面积不大时,又可将球面视为平面,亦即以水平面代替水准面,使计算和绘图工作大为简化,但是多大范围

内才允许用水平面代替球面呢？下面我们来讨论这个问题。

一、地球曲率对水平距离的影响

如图1-6所示，设地面上有 A' 、 B' 两点，它们投影到球面的位置为 A 、 B ，如把水平面代替水准面，则该两点在水平面上的投影位置为 A 、 C 。这样以平面上的距离 AC （ t ）代替球面上的距离 AB （ d ），则产生的误差为

$$\Delta d = t - d = R \operatorname{tg} a - R a \quad (1-1)$$

式中 R ——地球半径（= 6371 km）；

a ——弧长 d 所对圆心角。

将 $\operatorname{tg} a$ 用级数展开，并取级数前两项，得

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

因为 $a = \frac{d}{R}$ ，故

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

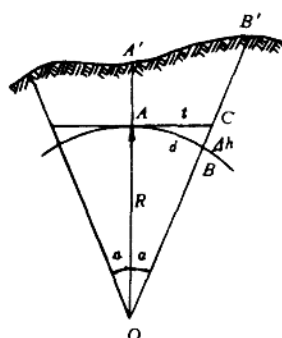


图 1-6 用水平面代替水准面

以不同的 d 值代入上式，算得相应的 Δd 和 $\frac{\Delta d}{d}$ 值列在表1-1，由表中可看出，距离为10 km时，产生的相对误差为 $\frac{1}{120万}$ ，小于目前最精密距离丈量的允许误差 $\frac{1}{100万}$ ，因此可认为，在半径为10 km的区域，地球曲率对水平距离的影响可以忽略不计，即可把该部分球面当作水平面看待。在精度要求较低的测量工作中，其半径可扩大到25 km。

表 1-1 地球曲率对水平距离和高程的影响

距 离 d	距离误差 Δd (mm)	距离相对误差 $\Delta d/d$	高程误差 Δh (mm)	距 离 d	距离误差 Δd (mm)	距离相对误差 $\Delta d/d$	高程误差 Δh (mm)
100m	0.000008	1/1250000万	0.8	10 km	8.2	1/120万	7850.0
1 km	0.008	1/12 500 万	78.5	25 km	128.3	1/19.5万	49050.0

二、地球曲率对高程的影响

在图1-6中， A 、 B 两点在同一水准面上，其高程相等。但如把平面代替球面，则 B' 点投影到水平面上为 C 点，这时在高程方面产生的误差为 Δh ，从图中可以看出， $\angle CAB = \frac{a}{2}$ ，因该角很小，以弧度表示，则

$$\Delta h = d \cdot \frac{a}{2} \quad (1-4)$$

因

$$a = \frac{d}{R}$$

故

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

以不同的距离 d 代入上式，算得相应的 Δh 值列在表1-1。从表中可以看出，当距离为100 m时，在高程方面的误差就接近1 mm，这对高程测量来说，其影响是很大的，所以尽

管距离很短，也不能忽视地球曲率对高程的影响。

第四节 测量工作的基本原则

进行测量工作，无论是测绘地形图或施工放样，要在某一点上测绘该地区所有的地物和地貌或测设建筑物的全部细部是不可能的。例如如图1-7(a)所示，在A点只能测绘附近



图 1-7 测图原则示意图

的房屋、道路等的平面位置和高程，对于山的另一面或较远的地物就观测不到，因此，必须连续地逐个设站观测。所以测量工作必须按照一定的原则进行，这就是在布局上“由整体到局部”；在工作步骤上“先控制后碎部”。即先进行控制测量，然后进行碎部测量。

控制测量包括平面控制测量和高程控制测量，如图1-7(a)，先在测区内部设A、B、C、D、E、F等控制点连成控制网（图中为闭合多边形），用较精密的方法测定这些点的平面位置和高程，以控制整个测区，并依一定比例尺将它们缩绘到图纸上，然后以控制点为依据进行碎部测量，即在各控制点上测量附近的屋角、道路中心线和河岸线的转折点，以及地貌的特征点（山脊线、山谷线的起点终点、地貌方向及坡度变化点等），对照实地情况，按一定符号，描绘成图。

对于建筑物的施工放样，也必须遵循“由整体到局部”、“先控制后碎部”的原则。先在施工地区布设施工控制网，控制整个建筑物的施工放样。然后在设计图纸上算出建筑物（如图1-7(b)中虚线所示的P'、Q'、R'）的细部点（轮廓点）到控制点的水平距离、水平角及细部点高程（称为放样数据），再到实地将细部点的位置定出，据此施工。

从上可以看出，由于控制点的位置比较正确，由它量测的碎部点，都是彼此独立的，即使有差错，只对局部有些影响（可以在现场经过校核，发现并改正）不会影响全局。同时由于建立了统一的控制网，可以划分几部分，由几个作业小组同时进行碎部测量，加快测量速度。

第五节 测绘科学的发展概况

测绘科学在我国有着悠久的历史，远在4000多年前，夏禹治水就利用简单的工具进行了测量。春秋战国时期发明的指南针，至今仍在广泛地使用。东汉张衡创造了世界上第一架地震仪——候风地动仪，他所创造的天球仪正确地表示了天象，在天文测量史上留下了光辉的一页。唐代南宫说于公元724年在现今河南省丈量了300km的子午线弧长，是世界上第一次子午线弧长测量。宋代沈括使用水平尺、罗盘进行了地形测量。元代郭守敬拟定了全国纬度测量计划并测定了27点的纬度。清代康熙年间进行了全国测绘工作。总之，几千年来我国劳动人民对世界科学文化的发展做出过卓越的贡献。

在世界上，17世纪初望远镜的发明和应用，对测量技术的发展起了很大的促进作用。1683年法国进行了弧度测量，证明地球是两级略扁的椭球体。1794年德国高斯提出最小二乘法理论，以后又提出横圆柱投影学说，对测量理论作出了宝贵贡献。1903年飞机的发明，促进了航空摄影测量技术的发展，大大减轻了野外测图的劳动强度。

新中国成立后，我国的测绘科学进入了一个蓬勃发展的新阶段，40多年来取得了不少成就。在全国范围内测定了统一的大地控制网，完成了大量不同比例尺的地形图，进行了大量的工程建设测量工作，并制造了各种类型的经纬仪、水准仪以及许多精密的测绘仪器。

新的科学技术的发展，大大推动了测绘科学的发展。60年代初期激光技术的兴起，对测量仪器的变革起了很大推动作用，出现了各种激光测距仪和激光准直仪。目前适用于工程测量的短程光电测距仪，测程在3km以内，精度可达 $\pm 1 \sim \pm 20 \text{ mm}$ 。自1950年制造了自

动安平水准仪后，水准测量又向机车化方向发展。除了航空摄影测量外，随着人造卫星的发射和遥感技术的发展，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新的学科，并通过遥感资料监视自然界的變化，进行自然环境、自然资源的调查。测量对象由传统的测定地球表面扩展到空间星球，由静态发展到动态。电子计算技术的发展，对测量工作是一个很大的推动，利用电子计算机可以迅速准确地进行大规模的严密平差，减轻繁重的内业计算。近10年来，制成电子经纬仪，与光电测距仪、电子计算器和记录装置相配合，组成全站型电子速测仪，可以自动记录和运算，迅速获得地面点的三维坐标，构成由外业测量至数据储存、计算机处理乃至打印与绘图的自动化流程，大大加快了工作速度。目前的测量工作正向着多领域、多品种、高精度、自动化、数字化、资料储存微型化等方面的发展。本书将在有关章节，介绍上述部分新技术。

第二章 水准仪及水准测量

高程是确定地面点位置的一个要素。高程测量的方法有水准测量和三角高程测量，水准测量是精密测定高程的主要方法。

第一节 水准测量原理

水准测量是利用能提供水平视线的仪器，测定地面点间的高差，推算高程的一种方法。

图2-1中，已知A点的高程为 H_A ，要测定B点的高程 H_B 。在A、B两点间安置一架能提供水平视线的仪器——水准仪，并在A、B两点上分别竖立水准尺，利用水平视线读出A点尺上的读数 a 及B点尺上的读数 b ，由图可知A、B两点的高差为

$$h_{AB} = a - b \quad (2-1)$$

测量是由已知点向未知点方向前进的，即由A(后)→B(前)，A点为后视点， a 为后视读数；B为前视点， b 为前视读数； h_{AB} 为未知点B对已知点A的高差，它总是等于后视读数减去前视读数。高差为正时，表明B点高于A点，反之则B点低于A点。

计算高程的方法有两种：一是由高差计算高程，即

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-2)$$

二是由仪器的视线高程计算高程。由图可知，A点的高程加后视读数就是仪器的视线高程，用 H_I 表示，即

$$H_I = H_A + a \quad (2-3)$$

由此得B点的高程为

$$H_B = H_I - b = H_A + a - b \quad (2-4)$$

后一种计算方法在工程测量中应用比较广泛。

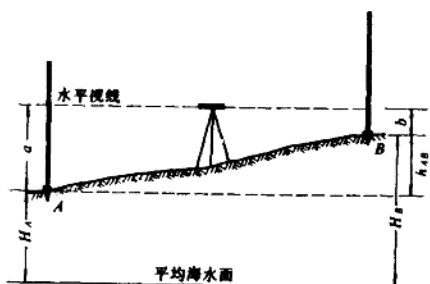


图 2-1 水准测量原理

第二节 水准仪及其使用

水准仪是为水准测量提供水平视线的仪器。

一、DS₃型水准仪的构造

我国对水准仪按其精度从高到低分为DS₀₅、DS₁、DS₃和DS₁₀四个等级（各等级的技术参数参阅附录一），其中DS₀₅和DS₁型用于精密水准测量，DS₃和DS₁₀型用于普通水

准测量。本节主要介绍DS₃型水准仪（图2-2）。

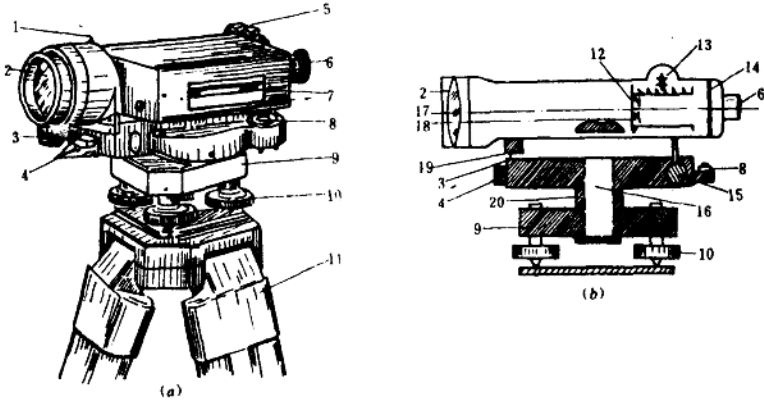


图 2-2 DS₃型水准仪

(a)外形图；(b)构造图

- 1—准星；2—物镜；3—微动螺旋；4—制动螺旋；5—缺口；6—目镜；
7—水准管；8—圆水准器；9—基座；10—脚螺旋；11—三脚架；12—对光
透镜；13—对光螺旋；14—十字丝分划板；15—微倾螺旋；16—竖轴；17—视
准轴；18—水准管轴；19—微倾轴；20—轴套

DS₃型水准仪由望远镜、水准器及基座三个主要部分组成。仪器通过基座与三脚架连接，支承在三脚架上，基座装有三个脚螺旋，用以粗略整平仪器。望远镜旁装有一个管水准器，转动望远镜微倾螺旋，可使望远镜作微小的上下俯仰，管水准器也随之上下俯仰，当管水准器中气泡居中，此时望远镜视线水平。仪器在水平方向的转动，是由水平制动螺旋和微动螺旋控制的。下面对望远镜和水准器作较为详细的介绍。

(一) 望远镜

望远镜由物镜、对光透镜、十字丝分划板和目镜等部分组成。如图2-3，根据几何光学原理可知，目标经过物镜及对光透镜的作用，在十字丝附近成一倒立实像，由于目标离望远镜的远近不同，借转动对光螺旋令对光透镜在镜筒内前后移动，即可使其实像恰好落在十字丝平面上，再经过目镜的作用，将倒立的实像和十字丝同时放大，这时倒立的实像成为倒立而放大的虚像。其放大的虚像与用眼睛直接看到目标大小的比值，即为望远镜的放大率 V 。国产DS₃型水准仪望远镜的放大率一般约为30倍。

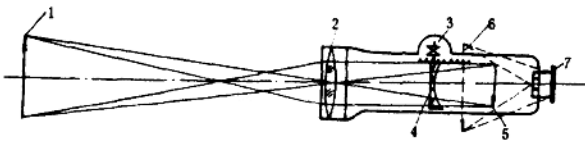


图 2-3 望远镜构造

- 1—目标；2—物镜；3—对光螺旋；4—对光凹透镜；
5—倒立实像；6—放大虚像；7—目镜