

中等专业学校教材



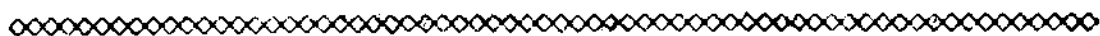
水利水电工程测量

第三版

湖南省水利水电学校 丁云庆 主编



中等专业学校教材



水利水电工程测量

(第三版)

湖南省水利水电学校 丁云庆 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本教材共分16章。第1~5章介绍测量基本知识和主要测量仪器的使用;第6~9章介绍控制测量,地形图的测绘和应用,航测的基本知识;第10~16章介绍施工放样的基本方法,渠道河道测量,水工建筑物的放样和淹没界桩的测设,工业和民用建筑测量,架空输电线路测量,建筑物的外部变形观测。

教材中第1~10章为各专业通用,第11~16章供有关专业选用。

本教材供水工、农水、水文、水保、工管、工民建、工程地质、水电站及电力设备等专业教学使用,也可供从事水利水电工程的有关技术人员参考。

中等专业学校教材

水利水电工程测量

(第三版)

湖南省水利水电学校 丁云庆 主编

*

中国水利水电出版社 出版
(原水利电力出版社)

(北京市三里河路6号 100044)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售

北京市兴怀印刷厂印刷

*

787mm×1092mm 16开本 16印张 360千字

1978年11月第1版 1985年8月第2版

1992年11月第3版 2006年8月第18次印刷

印数 239121—243120册

ISBN 7-80124-360-9

(原 ISBN 7-120-01621-0/TV·595)

定价 22.40 元

第一版前言

本书是根据 1978 年水利电力部开封教材编审会议讨论通过的《水利工程测量学》教学大纲编写的。

全书共分四篇十六章。介绍了地形测量的基本知识、基本理论、主要测量仪器工具及其操作和使用方法；结合中小型水利工程建设，还分别介绍了渠道、河道、平整土地、水工建筑物（闸、坝、隧洞）、电厂厂房和输电线路的测量工作。

本书由安徽水利电力学校任逢元同志主编。参加编写的有任逢元（第一至第十章）、广东省水利电力学校陈嵩（第十一至第十三章）、湖南省水利电力学校丁云庆（第十四至十六章及附录）等同志。黄河水利学校刘志章、彭锡鼎两同志主审。安徽水利电力学校赵伯熙、李世学两同志参加了审核工作。

在编写过程中，陕西省水利学校等兄弟学校提供了参考资料和宝贵意见，在此一并致谢。

希望各校师生及读者对本书存在的缺点和错误，提出意见和批评，以便修改。

编 者

一九七八年八月

第二版前言

本教材根据水利电力部 1981 年制订的水工、农水、水文和水电四个专业的教学大纲，参照水利部、电力工业部和国家测绘总局 1980 年颁发的《水利水电工程测量规范》的规定，对 1978 年出版的原教材进行全面修订编写而成。为了使教材更好地适应教学的需要，取得部教育司的同意，对教学大纲内容作了必要的增减。

考虑到中等专业学校的特点，在修订编写教材中，力求对测量的基本知识、基本理论和主要仪器工具的使用操作三方面有所加强，注意保持课程内容必要的系统性，并简要地介绍了有关内容的新技术。根据四个专业教学大纲的要求，本教材内容共分四篇十五章。

本教材由安徽水利电力学校任逢元同志主编，并编写了第一章至第十三章；湖南省水利学校丁云庆同志编写了第十四章和第十五章；山东省水利学校蒋裕民同志主审，东北水利水电学校王从悦同志参加了审稿。

1983 年 7 月在安徽水利电力学校召开的测量学课程组第一次教学研究会，全国有二十九所兄弟学校参加。会议着重介绍和讨论编写的修订初稿，对教材初稿提出了许多宝贵意见，这对进一步修改教材给予极大的帮助，在此表示衷心的感谢。

由于各学校教学设备条件不同，所以在经纬仪一章中，既介绍了游标经纬仪，又介绍了 DJ₆ 和 DJ₂ 型光学经纬仪；在控制测量计算中，既介绍了用对数计算，又介绍了用电子计算器计算。在教学中，各校可以根据教学设备的情况进行选讲。

热忱希望广大师生和本教材的读者，对书中存在的缺点和错误，给予批评指正。

编 者

一九八四年二月

第三版前言

本书是根据1987年8月修订的中等专业学校水工、农水、水文、水保、工管、工民建、工程地质、水电站及电力设备等8个专业的测量教学大纲编写的教材。在编写过程中，总结和吸取了前两轮教材的经验，广泛征求了各水利、水电学校测量教师和某些水电勘测设计单位有关同志的意见，本着教学和生产相结合的原则，对教材内容和体系作了认真的选择和安排。编写时注意了以下几点：

(1) 有关名词、术语的定义和解释，以1981年上海辞书出版社出版的《测绘辞典》为依据，力求概念准确，文字简明；有关测量技术要求，以1982年水利电力出版社出版的《水利水电工程测量规范（规划设计阶段）》为标准，采取规范中适合一般情况的规定，以兼顾教学 and 实际作业的需要。

(2) 根据现代光学经纬仪的特点和广泛使用电子计算器的情况，对普通测量中的传统观测项目、记录计算表格和计算方法作了某些改进。其中最主要的是引入了天顶距的概念，将竖直角（高度角）观测改为天顶距观测，在视距测量以及三角高程测量中都采用天顶距进行计算。

(3) 考虑到开设测量课程时，学生一般还未学习泰勒级数，因此在讲述地球曲率对平距和高差的影响时，只用一般的代数知识；在讲述三角锁的近似平差时，用自然对数取微分导出近似平差的真数公式，不用级数展开的方法。

(4) 吸收了水利水电勘测单位一些成熟的测量经验和方法，介绍了当前已在这些单位广泛使用的某些新仪器和新技术，尽量使教材内容符合当前水利水电测量的实际情况和要求。

由于使用本教材的专业较多，除第一章至第十章为各专业的基本通用部分之外，其余六章可根据不同专业需要有选择地进行教学。

参加本书编写工作的有：贵州省水利电力学校冼志德（第五章、第十一章、第十二章），黄河水利学校黄德普（第二章、第七章、），辽宁省水利学校黄文义（第九章），成都水力发电学校李小白（第十四章），湖南省水利水电学校丁云庆担任主编并编写了其余各章。本书由黄河水利学校刘志章主审。

在本书编写过程中，湖南省水利电力勘测设计院测量队向雪涛高级工程师和湖南大学测量教研室主任林则政副教授就教材有关内容提出了宝贵意见，北京水利电力学校赵世雨讲师和湖南省水利水电学校测量教研组全体教师给予了热忱帮助，在此一并表示感谢！

希望使用本书的广大师生和有关技术人员，对书中存在的缺点和错误予以批评指正。

编 者

1991年1月

目 录

第三版前言	
第一版前言	
第二版前言	
第一章 绪 论	1
第一节 测量学的任务及其在水利水电建设中的作用	1
第二节 地面点位置的表示方法	2
第三节 用水平面代替水准面的范围	4
第四节 地形图的成图原理	5
第五节 测量工作概述	7
第二章 水准测量	9
第一节 水准测量的原理	9
第二节 水准测量的仪器和工具	10
第三节 水准仪的使用	13
第四节 普通水准测量	15
第五节 水准仪的检验和校正	19
第六节 水准测量的主要误差来源及其消减方法	22
第七节 自动安平水准仪和精密水准仪简介	24
第三章 角度测量	29
第一节 角度测量的概念	29
第二节 DJ ₆ 型光学经纬仪	30
第三节 经纬仪的使用	34
第四节 水平角观测	36
第五节 天顶距观测	39
第六节 经纬仪的检验和校正	41
第七节 角度测量的主要误差来源及其消减方法	45
第八节 DJ ₂ 型光学经纬仪简介	48
第四章 距离测量和直线定向	51
第一节 视距测量	51
第二节 距离丈量	54
第三节 红外测距	58
第四节 直线定向	62
第五节 距离、方向与地面点直角坐标的关系	64
第五章 测量误差的基本知识	67
第一节 测量误差概述	67
第二节 偶然误差的特性和算术平均值原理	68

第三节	衡量精度的标准	69
第四节	误差传播定律	71
第五节	算术平均值及其观测值的中误差	75
第六章	控制测量	78
第一节	控制测量的概念	78
第二节	经纬仪导线测量	81
第三节	经纬仪交会法测量	86
第四节	小三角测量	90
第五节	三、四等水准和五等水准测量	99
第六节	过河水准测量	102
第七节	三角高程测量	104
第八节	经纬仪视距导线的观测和记录	108
第七章	地形图的测绘	113
第一节	地物地貌在图上的表示方法	113
第二节	测图前的准备工作	118
第三节	经纬仪配量角器测图	122
第四节	平板仪测图	124
第五节	等高线的勾绘	126
第六节	地形图的拼接、整饰、检查与验收	127
第八章	航空摄影测量的基本知识	130
第一节	航空摄影及对航摄像片的基本要求	130
第二节	航摄像片与地形图的差别	132
第三节	航摄像片的判读	134
第四节	像对立体观察和高差量测原理	135
第五节	航测成图的一般过程	136
第九章	地形图的应用	140
第一节	概 述	140
第二节	高斯投影和高斯平面直角坐标	142
第三节	地形图的分幅和编号	144
第四节	地形图应用的基本内容	148
第五节	地形图在水利工程规划设计中的应用	149
第六节	面积量测	153
第十章	施工测设的基本方法	160
第一节	概 述	160
第二节	施工控制网的布设	160
第三节	基本测设工作	162
第四节	测设点位的基本方法	164
第五节	直线延长和直线中间定点	165
第六节	圆曲线的测设	167

第七节 坡度线的测设	170
第十一章 渠道测量	172
第一节 踏勘选线	172
第二节 中线测量	172
第三节 纵横断面测量	173
第四节 纵横断面图的绘制	176
第五节 土方计算	177
第六节 施工断面放样	179
第十二章 河道测量	181
第一节 概 述	181
第二节 水位测量	181
第三节 水深测量	182
第四节 河道纵横断面测量	185
第五节 水下地形测量	189
第十三章 水工建筑物的放样和淹没界桩的测设	192
第一节 重力坝的放样	192
第二节 拱坝的放样	197
第三节 水闸的放样	198
第四节 隧洞的放样	201
第五节 水库淹没界桩的测设	205
第十四章 工业与民用建筑测量	208
第一节 建筑场地施工控制网的建立	208
第二节 民用建筑物的施工放样	211
第三节 工业厂房的施工放样	216
第四节 烟囱(或水塔)的施工放样	219
第五节 竣工测量	220
第十五章 架空输电线路测量	222
第一节 架空输电线路的基本知识	222
第二节 路径方案的选择	224
第三节 定线测量	225
第四节 平断面测量	226
第五节 杆塔定位测量	230
第六节 线路施工测量	232
第十六章 建筑物的外部变形观测	239
第一节 概 述	239
第二节 垂直位移观测	239
第三节 水平位移观测	242
第四节 倾斜观测和裂缝观测	245
第五节 变形观测资料的整理	247

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务及其在水利水电建设中的作用

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程，将地球表面的地物、地貌及其他信息绘制成图，以及确定地球形状和大小的科学。随着生产的发展和科学技术的进步，测量学已分成多门独立的学科，各有不同的研究对象和工作任务。

1. 大地测量学 是研究在广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、技术与方法的学科。大地测量的主要任务是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精确的点位坐标、高程、距离、方位及有关重力情况，为研究地球形状、大小、地壳变形和地震预报等科学问题提供重要资料。

2. 地形测量学 是研究测绘地形图的基本理论、技术与方法的学科。地形测量的任务就是将地球表面的地物和地貌测绘成按一定比例尺和图式符号表示的地形图。

3. 摄影测量学 是研究如何利用摄影像片或辐射能的各种图像记录，以测定物体的形状、大小、位置和获取其他有关信息的学科。早先的摄影测量主要是根据从地面或飞机上摄取的地表像片进行量测调绘制成地形图。由于20世纪60年代以来遥感技术的发展，摄影方式和研究对象越来越多，摄影测量在许多科学领域得到广泛应用，它的任务已不只是测绘地形图了。

4. 工程测量学 是研究工程建设在规划设计、建筑施工和运行管理各个阶段进行各种测量工作的理论、技术和方法的学科。工程测量的任务包括建立测量控制网，提供规划设计所需的地形图、断面图和其他观测数据，进行施工放样和竣工测量，按照管理规范进行长期的安全监测工作。

以上各门学科，既自成系统又互相关联，只有密切配合才能更好地为我国的社会主义建设服务。

测量工作在水利水电建设中起着十分重要的作用。我国的水资源按人口平均是很少的，只有世界人均占有水量的四分之一；但因我国地域辽阔，水资源总量却居世界第6位，许多未能开发利用。为了合理开发和利用我国的水资源，治理水旱灾害，必须进一步发展水利事业，兴建水利工程。但是，水利工程的规划、设计、施工和运行管理各个阶段都离不开测量工作。例如为了在某河上修建水电站，首先必须根据地形图进行规划设计，选择坝址，从而进行水文计算、地质勘探、经济调查等工作，论证规划设计的可行性。坝址选定后，必须有较为详尽的大比例尺地形图作为坝体、厂房和其他水工建筑物设计布置的依据。在施工过程中，又要通过施工放样指导开挖、砌筑和设备安装。投入运行以后，还要进行变形观测，监视运转情况，确保工程安全。因此，从事水利水电建设的工程技术人员，应当具备测量学的基本知识和技能，把测量学作为必修的一门基础技术课程，学好有关水

利水电工程测量的内容。

第二节 地面点位置的表示方法

一、测量工作的基准线和基准面

在立体解析几何中,空间一点 P 的位置,是用 x_P 、 y_P 、 z_P 三个坐标表示的(图1-1)。其中, x_P 、 y_P 是 P 点在 xOy 平面上投影点 P' 的直角坐标; z_P 是 P 点对 xOy 平面的高度,沿 P 点向 xOy 平面所作的垂线量取。由此可知:在立体解析几何中, xOy 平面及其垂线是确定空间一点位置的基准面和基准线。

测量上确定地面点位置的方法与立体解析几何相仿。测量工作采用的基准线是地面的铅垂线,即悬挂着的物体自然下垂的直线;采用的基准面是水准面,即水自然静止时的表面。水准面处处与铅垂线垂直。由于水位有高有低,水准面也有无数个,其中无潮汐和风浪等因素干扰的平均海水面称为大地水准面。水准面和大地水准面都是一个曲面,因为曲率半径很大,它们的一小部分可以当成平面,称为水平面。小范围的测量工作就以水平面作基准面。

由大地水准面穿过大陆和岛屿包围而成的椭圆形球状体称为大地体。因为海洋面积占地表总面积的71%,所以大地体的形状就代表着地球的基本形状(图1-2)。由于地球内部质量分布不匀,引起铅垂线方向不规则的变化,以致大地水准面不是一个规则的曲面,即大地体也不是一个规则的椭球体。为了测量计算和投影制图的方便,于是选用一个与大地体非常接近、可用数学式表达的旋转椭球体代替大地体;这个旋转椭球体称为参考椭球。大面积的测量工作就以参考椭球面作为基准面。

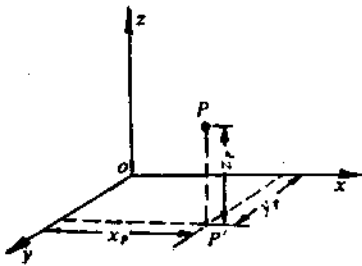


图 1-1 立体解析几何表示空间点位的方法

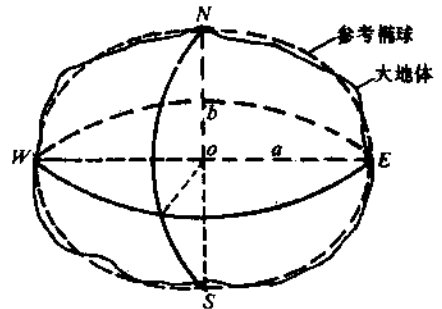


图 1-2 大地体和参考椭球

参考椭球的元素有长半径 a 、短半径 b 和扁率 α ,只要知道其中两个元素即可确定参考椭球的形状和大小;通常采用的是 a 和 α 两个元素。1979年国际大地测量与地球物理联合会第17次全体会议“第7号决议”推荐的数值为

$$a = 6378137 \text{ m}$$

$$\alpha = (a - b) / a = 1/298.257$$

因为参考椭球的扁率很小,有时可以近似地将它当成圆球,其半径采用与参考椭球体积相等的圆球半径: $R = 6371 \text{ km}$ 。

二、地面点的坐标

1. 大地坐标 用大地经度 L (或 λ)和大地纬度 B (或 φ)表示地面点在参考椭球面上投影位置的坐标,称为大地坐标。

在图1-3中, O 为参考椭球的球心, NS 为椭球旋转轴,通过该轴的平面称为子午面(如图中的 $NPM S$)。子午面与椭球面的交线称为子午线,又称经线;其中通过英国格林尼治天文台的子午面和子午线分别称为起始子午面和起始子午线。通过球心 O 且垂直于旋转轴 NS 的平面称为赤道面(如图中的 WM_0ME),赤道面与参考椭球面的交线称为赤道。通过椭球面上任一点 P 且与该点切平面垂直的直线 PK ,称为法线。地面上任一点都可向参考椭球面作一条法线,它与该点的铅垂线互不重合;铅垂线与法线的微小夹角(一般在 $5''$ 以内,最大不超过 $1'$),称为垂线偏差。地面点在参考椭球面上的投影,即通过该点的法线与参考椭球面的交点。

大地经度即参考椭球面上某点的子午面与起始子午面的夹角。由起始子午面起,向东由 $0^\circ \sim 180^\circ$,称为东经;向西由 $0^\circ \sim 180^\circ$,称为西经。同一子午面上各点的大地经度相同。

大地纬度即参考椭球面上某点的法线与赤道面的夹角。从赤道面起,向北由 $0^\circ \sim 90^\circ$,称为北纬;向南由 $0^\circ \sim 90^\circ$,称为南纬。纬度相同的各点连线称为纬线,它平行于赤道。

地面点的大地经度和大地纬度可以通过大地测量确定。

2. 平面直角坐标 以平面上两个互相垂直的线段长度 x 和 y 表示地面点位置的坐标,称为平面直角坐标。

在小范围进行测量工作时,可用水平面作为基准面,平面直角坐标系的原点以 o 表示(图1-4)。通过 o 点的南北方向线为 x 轴(纵轴),向北为正,向南为负;通过 o 点而垂直于 x 轴的东西方向线为 y 轴(横轴),向东为正,向西为负。象限次序按顺时针方向排列。为了避免测区内各点的坐标出现负值,通常将原点 o 选在测区西南角上,使地面各点都投影于第I象限内。如图1-4中,地面点 A 、 B 的位置分别用平面直角坐标 (x_A, y_A) 与 (x_B, y_B) 表示;该两点的坐标之差称为坐标增量,以 Δx 、 Δy 表示。坐标增量可以通过测量有关距离和角度进行计算求得。

在广大区域进行测量工作时,须以参考椭球面作为基准面,采用高斯平面直角坐标系(见第九章第二节)。如果已知某点的大地坐标,可以化算为高斯平面直角坐标。

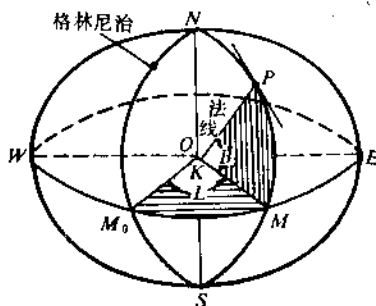


图 1-3 大地坐标

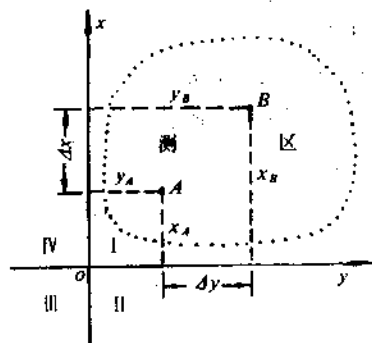


图 1-4 平面直角坐标

三、地面点的高程

地面点至大地水准面的铅垂距离称为绝对高程，又称海拔，一般用 H 表示。如图1-5，设 MN 为大地水准面， H_A 、 H_B 则分别为 A 、 B 两点的高程；两点高程之差称为高差，以 h 表示。

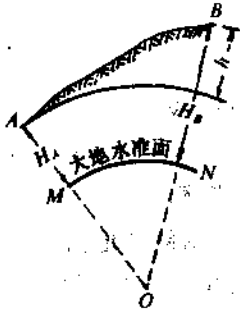


图 1-5 地面点的高程

我国规定以黄海平均海水面作为大地水准面。黄海平均海水面的位置，是青岛验潮站对潮汐观测井的水位进行长期观测确定的。由于平均海水面不便于随时联测使用，故在青岛观象山建立了“中华人民共和国水准原点”作为推算全国高程的依据。1956年，验潮站根据连续7年（1950～1956）的潮汐水位观测资料，第一次确定了黄海平均海水面的位置，测得水准原点高程为72.289m；按这个原点高程推算全国的高程，称为“1956年黄海高程系”。后来验潮站又根据连续28年（1952～1979）的潮汐水位观测资料，进一步确定了黄海平均海水面的精确位置，测得水准原点高程为72.2604m。1985年全国一等水准网布测协调组扩大会议，决定采用新确定的黄海平均海水面作为我国的高程起算面，并命名为“1985国家高程基准”，以原点的新高程推算全国的高程。1987年5月26日，国家测绘总局正式批准启用这一新的高程系统。

地面点至任一水准面的铅垂距离称为相对高程或假定高程。在引测绝对高程有困难的地方，可以假定一个水准原点高程作为推算其他各点高程的依据，称为假定高程系。

在表示地面点位置的平面直角坐标 (x, y) 和高程 (H) 中，坐标 (x, y) 须通过观测有关角度和距离进行计算求得，故角度、距离和高程是确定地面点位置的三个基本要素。

在表示地面点位置的平面直角坐标 (x, y) 和高程 (H) 中，坐标 (x, y) 须通过观测有关角度和距离进行计算求得，故角度、距离和高程是确定地面点位置的三个基本要素。

第三节 用水平面代替水准面的范围

如前所述：当测量范围较小时，允许用水平面代替水准面作为基准面，即以地面点在平面上的投影代替它们在大地上水准面上的投影。但这样代替以后对测量究竟有何影响，在什么样的范围内允许这样做呢？下面讨论这个问题。为简便起见，假定大地水准面为一球面，其半径为 R 。

一、用水平面代替水准面对距离的影响

如图1-6所示：地面点 A 、 B 在水平面上的投影距离为切线长 $ab' = D'$ ，在大地水准面上的投影距离为弧长 $\widehat{ab} = D$ ；两者之差即为水平面代替水准面所产生的距离误差，设为 ΔD ，则

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - D$$

$$\text{而} \quad \theta \approx \frac{D}{R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$\text{故} \quad \Delta D = R \tan \frac{D \cdot 180^\circ}{\pi R} - D \quad (1-1)$$

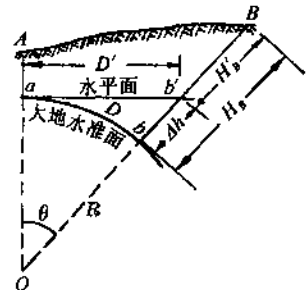


图 1-6 水平面和水准面的关系

以 $R = 6371 \text{ km}$ 和不同的 D 值代入式 (1-1), 算得相应的 ΔD 如表 1-1 所列。

由表列数值可见: 在 10 km 范围内, 用水平直线 (切线) 长代替弧长所产生的最大误差小于 1 cm 。这样的误差即使在地面上作精密的距离测量也是允许的, 因此, 在半径为 10 km 的范围内, 可以用水平面代替水准面。进行一般地形测量时, 测量范围的半径可扩大到 25 km 。

二、用水平面代替水准面对高程的影响

在图 1-6 中: 从大地水准面起算, 地面点 B 的高程为 H_B ; 从水平面 ab' 起算, 则 B 点高程为 H'_B 。其差 Δh 即为用水平面代替水准面所产生的高程误差, 亦即地球曲率对高程的影响。由图 1-6 可得

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2$$

因为 D' 与 D 相差甚小, 以 D 代替 D' , 由上式解得

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R + \Delta h}$$

在分母中, Δh 和 $2R$ 比较可以忽略不计, 于是上式可写成

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

以 $R = 6371 \text{ km}$ 和不同的 D 值代入式 (1-2), 算得相应的 Δh 值如表 1-2 所列。

表 1-2 中数值说明, 用水平面代替水准面所产生的高程误差, 随着距离的平方而增加, 很快就达到不能允许的程度。为了求得正确的高程, 即使距离很短, 也应设法消除它的影响。

表 1-1 水平面代替水准面对距离的影响

$D \text{ (km)}$	$\Delta D \text{ (cm)}$	$\Delta D/D$
10	0.8	1/1250000
25	12.8	1/195000
50	102.6	1/48700
100	821.3	1/12200

表 1-2 水平面代替水准面对高程的影响

$D \text{ (km)}$	$\Delta h \text{ (cm)}$
0.1	0.08
1	7.8
10	784.8

第四节 地形图的成图原理

地形图是按一定比例尺和图式符号表示地物、地貌的平面位置和高程的正射投影图。

在较小区域内, 以水平面代替水准面, 将地面上的各类固定物体 (地物), 如房屋、道路、河渠、森林等的轮廓线, 沿铅垂线方向正射投影到水平面上, 再按一定的比例缩绘成相似的图形, 这种图称为平面图。在平面图上, 只反映地物的平面位置, 不反映地物的高度和地表起伏状态。如果图上不仅表示地物的平面位置, 而且表示地球表面的起伏状态 (地貌), 如山脉、丘陵、平原、盆地等, 这种图就是地形图。

地表的起伏状态只用正射投影不能清楚地表现出来, 必须采用正射投影加注高程的方

法来表示。如图1-7中的山丘,假想用—个水平面 H 去切割它,可以在山坡上得到一条形状不规则的曲线(切痕),这条曲线上各点的高程都相等,称为等高线。如果用一组高差相等的水平面去切割它,就可以得到一组高程不同的等高线。按一定的比例画出这些等高线的正射投影,并注明每条等高线的高程,就能清楚地表现整个山丘的形状和高度。这种用正射投影加注高程表示地貌的方法,称为标高投影法。

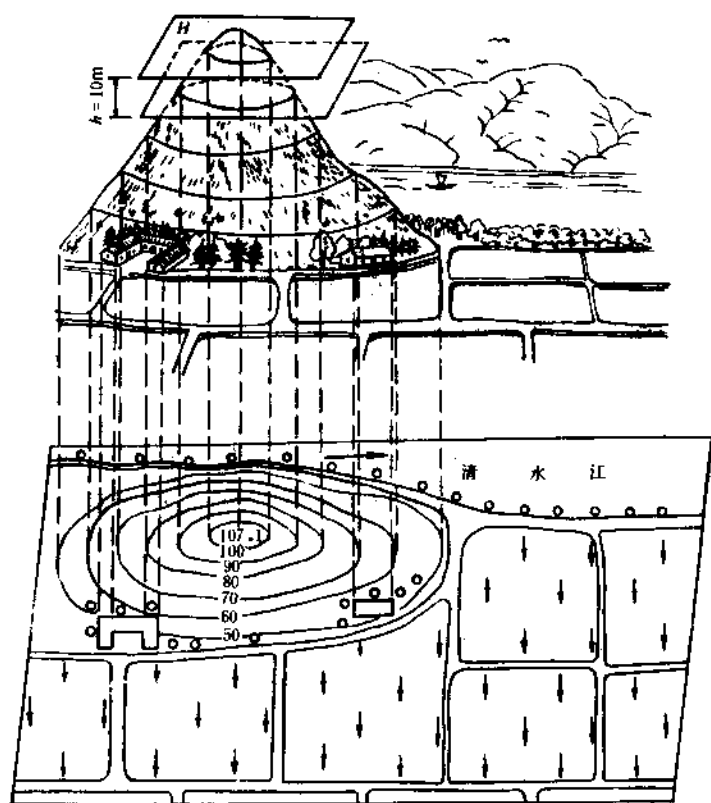


图 1-7 地形图的成图原理

地形图上的地物和地貌,都是根据它们在水平面上的投影按一定比例缩小绘制的。地面上相邻两点在水平面上的投影距离称为水平距离或平距。图上两点间的距离与其实际平距之比称为比例尺,通常以分子为1的形式表示。例如实地200 m的平距,画到图上为0.4 m,则该图的比例尺为1:500(或称1:5百的图)。采用多大的比例尺来测绘地形图,须根据用图的目的和要求来决定。由于正常人的眼睛只能分辨图上0.1 mm的长度,因此地形图上0.1 mm长度所表示的实地平距被称为比例尺精度。根据比例尺精度,可以确定地面多大的物体在图上能以相似图形表示,多大的物体只能画成一个点、一条线或根本无法表示。同时,如果规定了图上应该表示的地面线段精度,即可根据比例尺精度确定测图比例尺。例如,要求在图上表示的地面线段精度达到0.2 m,则测图比例尺应不小于1:2千。因为

$$\frac{\text{图上长}}{\text{实地长}} = \frac{0.1 \text{ m}}{0.2 \text{ m}} = 1:2000$$

在水利工程中常用的地形图比例尺有1:5百、1:1千、1:2千、1:5千、1:1万、1:2.5万、1:5万等几种，其中1:5百~1:5千的地形图通常称为大比例尺地形图。

从投影缩绘成图的过程可以看到：地物的形状和位置可以由构成地物轮廓线的一些点来确定；地貌可以由一系列坡度和方向的变换点来确定。所有这些点称为地物、地貌的特征点，又称碎部点。测定它们的平面位置和高程，就能绘出反映地面情况的地形图。

对于广大地区或整个地球，须以参考椭球面代替大地水准面，将地面点沿法线方向投影到参考椭球面上，再将参考椭球面用数学解析方法展开成平面，按一定比例尺缩绘成图；这种图称为地图。地图和地形图比较，不但投影方法不同，而且图上反映的内容也有很大差别。由于地图描绘的区域非常广阔，而版面的大小又受到一定限制，只能采用较小的比例尺有选择地表示地球表面的若干现象；同时，因为参考椭球面是不可展开的曲面，无论采用什么数学方法将其转换为平面，都会产生变形。我国出版的分省地图册和世界地图册，在它的“前言”中都说明了投影转换的方法，根据所用投影方法的特点，可以得知从图上量取距离、角度和面积时，将存在多大的变形误差。

第五节 测量工作概述

为了将地物、地貌测绘到图纸上，必须测定它们的一些特征点的平面位置和高程。由于各种因素的影响，测量结果总会含有误差。如果我们从某一点开始，一点接一点连续测量下去，所测点子越多，误差累积越大，最后图上所绘地物、地貌的相关位置可能与实地位置不相符合。因而必须采取有效措施防止误差过量累积。此外，如果测区范围较大，不能按规定比例尺在一张图纸上绘出整个测区时，还必须划分为若干图幅，分幅进行测绘；为了使分幅测绘的地形图能够互相拼合成一整体，需要具有同样精度的统一坐标系统和高程系统。因此，在测量规范中确立了“先整体后局部”、“先控制后碎部”的作业原则，即必须先在整个测区内均匀地布设一些点子作为骨架，这些点称为控制点；用较精密的仪器和测量方法统一测定这些控制点的平面位置和高程，使每个图幅都较均匀地分布有一定数量的这种已知坐标和高程的控制点，然后再分幅进行碎部测量。

在图1-8中，A、B、C、D、E各点就是在测区内选定的控制点，这些点构成一个闭合多边形。用较精密的仪器和观测方法，可以测得比较精确的水平距离、水平角（即多边形各相邻边在水平面上的投影之间的夹角，见第三章第一节）以及各点的高程。因为这些控制点所构成的图形有一定的几何条件，可以首先检查测量结果是否存在错误；如果没有错误，又符合测量精度要求，可以通过计算求得这些点的坐标。根据坐标将这些控制点展绘到图板上，再分别在这些控制点上去测绘邻近的碎部点，误差便不会超限累积。同时，在一个测区划分为若干图幅的情况下，当各图幅都有了一定数量的控制点之后，就可分别由几个作业组同时进行碎部测量。因此，整个测图工作总是分为控制测量和碎部测量两个阶段。

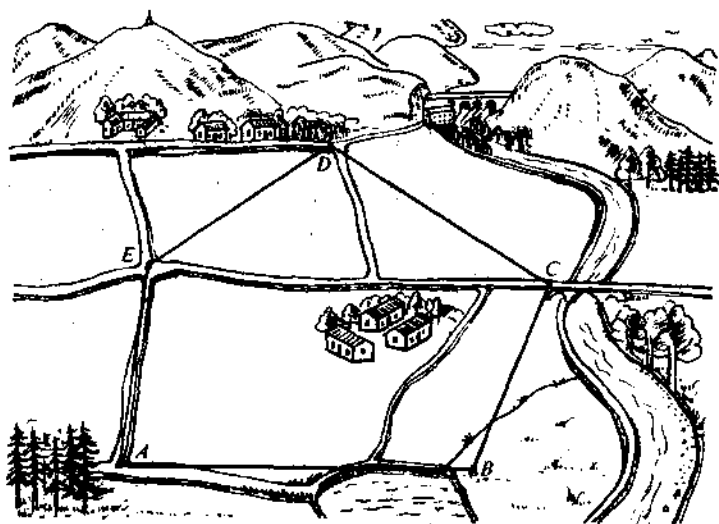


图 1-8 测图控制点的布设

“先整体后局部”、“先控制后碎部”的原则同样适用于施工测量。为了将图上设计的建筑物放样到实地去，应当先建立施工测量控制网，然后再根据控制点来测设建筑物的轮廓线、细部尺寸和高程。

无论是确定控制点还是碎部点的平面位置和高程，都必须进行三项基本测量工作，即：角度测量、距离测量和高程测量。在后面的有关章节中，将详细介绍进行这三项工作所使用的仪器工具和观测计算方法。

习 题

1. 工程测量的主要任务是什么？
2. 水准面、大地水准面和参考椭球面有何区别？
3. 测量上的平面直角坐标和数学上的平面直角坐标有何异同？
4. 什么叫绝对高程和相对高程？
5. 在什么范围内可将水平面代替水准面？在这个范围内地球曲率对高程还有什么影响？
6. 地形图和地图有何区别？
7. 什么叫比例尺和比例尺精度？1:500和1:2000的比例尺精度各为多少？
8. 测绘工作的基本原则是什么？为什么必须遵循这样的原则？
9. 确定地面点位置的要素是什么？要做哪些基本测量工作？