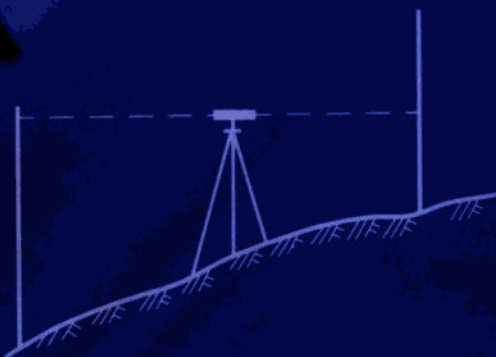


全国水利水电类高职高专统编教材

# 工程测量技术

靳祥升 主编



黄河水利出版社

全国水利水电类高职高专统编教材

# 工程测量技术

主 编 靳祥升

副主编 王启田 纪 勇

黄河水利出版社

## 内 容 提 要

本书是全国水利水电类高职高专统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的非测量专业《工程测量技术》教学大纲编写完成的。全书共分 14 章,主要内容包括:测量学的基本知识;测量仪器的使用;小区域控制测量;大比例尺地形图的测绘;地形图的应用;施工测量的基本方法;渠道测量、管道测量;道路与桥涵施工测量;建筑施工测量;水工建筑物的施工放样;测量误差的基本知识及 GPS 测量简介等。本书配有《工程测量技术实验指导与习题》(另册),包括实验和习题两大部分。本书主要供水利水电工程、农业水利技术、工程监理、水文水资源、给水排水、工业与民用建筑、道路与桥梁、工程地质、水文地质等专业的高职高专院校教学使用,也可供从事以上专业的技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程测量技术/靳祥升主编. —郑州:黄河水利出版社,2004.8(2005.11 重印)

全国水利水电类高职高专统编教材

ISBN 7-80621-822-X

I.工… II.靳… III.工程测量—高等学校:技术学校—教材 IV.TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 088058 号

---

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail: yrep@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:20.75

字数:480 千字

印数:5 101—9 100

版次:2004 年 8 月第 1 版

印次:2005 年 11 月第 2 次印刷

---

书号:ISBN 7-80621-822-X/TB·8

定价:32.00 元(全二册)

# 前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,以及由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,报水利部批准,用中央财政安排的“支持示范性职业技术学院建设”项目经费组织编写的水利水电类全国统编教材。

本书是在总结多年教学经验的基础上编写完成的,重点介绍了工程测量的基本理论和基本知识,并结合工程实际阐述了有关地形图和施工测量的基本方法。本教材有如下特点:

**通用性**——本教材基本适用于非测量专业的测量教学,各个专业根据专业的性质和教学要求对讲授内容进行选择。

**实用性**——按照高职高专教育应在理论教学的基础上以实用为主的教学原则,重点介绍实际作业的方法、步骤,达到学了就能运用的目的。

**先进性**——本教材根据最新测量规范编写,舍弃了陈旧的测量知识,增添了电子经纬仪、电子水准仪、全站仪、数字化测图、GPS 测量等测量新仪器和测量新技术的介绍。

**通俗性**——舍弃了繁琐的理论推证,列举了大量测量实例,使内容通俗易懂。

本书共分 14 章,第一章至第五章为基础部分,第六章至第十二章为应用部分,第十三章、第十四章为选学部分。

本书配有《工程测量技术实验指导与习题》(另册),分实验和习题两大部分,更有利于培养学生的动手操作能力,以及提高学生的理解能力和计算能力。

本书主要供水利水电工程、农业水利技术、工程监理、水文水资源、给水排水、工业与民用建筑、道路与桥梁、工程地质、水文地质等非测量专业的高职高专院校教学使用,也可供从事以上专业的技术人员参考。

本书由黄河水利职业技术学院靳祥升(第五、八章)、陈琳(第六、七章)、李聚方(第九、十章)、纪勇(第十三、十四章),山东水利职业学院王启田(第一、三章),安徽水利水电职业技术学院杨勇(第二、四章),山西水利职业技术学院王立国(第十一、十二章)编写。《工程测量技术实验指导与习题》由黄河水利职业技术学院靳祥升、赵杰编写。全书由靳祥升副教授设计、统稿,黄河水利职业技术学院周建郑、杨中华审稿。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

2004 年 7 月

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 测量学的基本知识</b> .....	(1)
第一节 测量学的任务和作用.....	(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限度.....	(5)
第四节 测量工作的基本原则.....	(7)
第五节 测量学的发展概况.....	(8)
<b>第二章 水准测量</b> .....	(9)
第一节 水准测量原理.....	(9)
第二节 水准仪和水准尺.....	(10)
第三节 水准仪的技术操作.....	(14)
第四节 水准测量的方法.....	(17)
第五节 水准仪的检验校正.....	(21)
第六节 水准测量误差来源及其影响.....	(25)
第七节 $S_3$ 级自动安平水准仪简介.....	(27)
第八节 电子水准仪简介.....	(29)
<b>第三章 角度测量</b> .....	(32)
第一节 角度测量的基本概念.....	(32)
第二节 $DJ_6$ 光学经纬仪.....	(33)
第三节 经纬仪的使用.....	(37)
第四节 水平角观测.....	(39)
第五节 竖直角测量.....	(42)
第六节 经纬仪的检验和校正.....	(47)
第七节 水平角观测误差来源及消减措施.....	(52)
第八节 电子经纬仪测角系统简介.....	(54)
<b>第四章 直线定向与距离测量</b> .....	(58)
第一节 直线定向.....	(58)
第二节 距离丈量.....	(61)
第三节 视距测量.....	(69)
第四节 坐标正反算.....	(73)
第五节 电磁波测距.....	(74)
第六节 全站型电子速测仪.....	(78)
<b>第五章 小区域控制测量</b> .....	(81)
第一节 控制测量概述.....	(81)

第二节	图根导线测量 .....	(84)
第三节	交会法测量 .....	(92)
第四节	四、五等水准测量 .....	(94)
第五节	三角高程测量 .....	(98)
<b>第六章</b>	<b>地形图的测绘</b> .....	<b>(104)</b>
第一节	地形图的基本知识 .....	(104)
第二节	地物的表示方法 .....	(106)
第三节	地貌的表示方法 .....	(109)
第四节	测图前的准备工作 .....	(113)
第五节	经纬仪测绘法 .....	(116)
第六节	平板仪测图 .....	(119)
第七节	地形图的拼接、整饰、检查和验收 .....	(123)
第八节	大比例尺数字测图 .....	(124)
<b>第七章</b>	<b>地形图的应用</b> .....	<b>(127)</b>
第一节	高斯平面直角坐标 .....	(127)
第二节	地形图的分幅与编号 .....	(129)
第三节	地形图的阅读 .....	(132)
第四节	地形图应用的基本内容 .....	(133)
第五节	地形图在工程规划中的应用 .....	(136)
第六节	面积量算 .....	(142)
<b>第八章</b>	<b>施工测量的基本方法</b> .....	<b>(151)</b>
第一节	施工测量概述 .....	(151)
第二节	施工控制网的布设 .....	(152)
第三节	施工放样的基本工作 .....	(154)
第四节	测设点位的基本方法 .....	(159)
第五节	坡度的测设方法 .....	(162)
<b>第九章</b>	<b>渠道测量与管道测量</b> .....	<b>(164)</b>
第一节	渠道测量与管道测量概述 .....	(164)
第二节	中线测量 .....	(164)
第三节	圆曲线测设 .....	(167)
第四节	纵横断面图测绘 .....	(172)
第五节	土方计算 .....	(178)
第六节	渠道边坡放样 .....	(180)
第七节	管道测量 .....	(180)
<b>第十章</b>	<b>道路与桥梁的施工放样</b> .....	<b>(186)</b>
第一节	导线复测与恢复中线测量 .....	(186)
第二节	公路竖曲线的测设 .....	(198)
第三节	路基、路面的施工测量 .....	(200)

第四节	桥梁施工测量·····	(206)
<b>第十一章</b>	<b>建筑施工测量·····</b>	<b>(212)</b>
第一节	建筑场地的施工控制测量·····	(212)
第二节	民用建筑施工测量·····	(215)
第三节	高层建筑物的轴线投测和高程传递·····	(220)
第四节	工业厂房施工测量·····	(222)
第五节	烟囱施工测量·····	(226)
第六节	竣工总平面图的编绘·····	(228)
<b>第十二章</b>	<b>水工建筑物的施工放样·····</b>	<b>(230)</b>
第一节	土坝的施工放样·····	(230)
第二节	水闸的施工放样·····	(238)
第三节	隧洞施工测量·····	(241)
<b>第十三章</b>	<b>测量误差的基本知识·····</b>	<b>(248)</b>
第一节	测量误差概述·····	(248)
第二节	偶然误差的特性·····	(249)
第三节	衡量精度的指标·····	(251)
第四节	误差传播定律·····	(252)
第五节	算术平均值及其观测值的中误差·····	(254)
<b>第十四章</b>	<b>GPS 测量简介·····</b>	<b>(258)</b>
第一节	GPS 测量·····	(258)
第二节	GPS 测量的实施·····	(260)
<b>参考文献</b>	·····	<b>(267)</b>

# 第一章 测量学的基本知识

## 第一节 测量学的任务和作用

测量学是研究如何测定地面点的点位,将地球表面的各种地物、地貌及其他信息测绘成图,以及确定地球形状和大小的一门科学。

根据研究对象和工作任务的不同,测量学又分为大地测量学、地形测量学、摄影测量学、工程测量学等几门主要分支学科。

研究在地球表面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、技术和方法的学科称为大地测量学。大地测量的主要任务是为其他测量工作提供起算数据;为空间技术和军事用途提供控制基础;为研究地球形状、大小、地壳变形、地震预报等科学问题提供资料。

研究测绘地形图的理论、技术与方法的学科称为地形测量学。地形测量的任务就是将地球表面的地物、地貌及其他信息测绘成按一定比例尺和图式符号表示的地形图,以满足国民经济建设、国防建设、科学研究等各个方面的需要。

研究如何利用摄影像片来测定物体的形状、大小、位置和获取其他信息的学科称为摄影测量学。过去的摄影测量主要研究对象是地球表面,用于测绘地形图。随着遥感技术的迅速发展,摄影方式和研究对象越来越多,摄影测量在多种领域内都得到了广泛应用,它的任务已不只是局限于测绘地形图了。

研究矿山、道路、水利、军事、工业与民用建筑等工程建设在规划设计、建筑施工、运营管理各个阶段如何进行测量工作的理论、技术与方法的学科称为工程测量学。工程测量的任务就是提供规划设计所必需的地形图、断面图和其他观测数据,进行建筑物的施工放样和竣工测量,并进行长期的安全监测工作。

以上各门学科,既自成系统,又是密切联系、互相配合的。本课程主要讲述地形测量学和工程测量学的部分内容。着重介绍水利、道路、工业与民用建筑工程中常用测量仪器的构造与使用、大比例尺地形图的测绘方法和应用以及建筑物施工测量方法等方面的内容。

各种工程建设以及工程建设的各个阶段都离不开测量工作。比如在河道上修建水库时,首先应测绘坝址以上该流域的地形图,作为水文计算、地质勘探、经济调查等规划设计的依据;初步设计后,又要为大坝、涵闸、厂房等水工建筑物的设计测绘较详细的大比例尺地形图;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;工程竣工时,检查工程质量是否符合设计要求,还要进行竣工测量;在工程的使用管理过程中,为了监视运行情况,确保工程安全,应定期对大坝进行变形观测。由此可见,测量工作贯穿于工程建设的始终。作为一名工程技术人员,必须掌握必要的测量知识和技能,才能担负起工程勘测、规划设计、施工及管理等各项任务。



## 第二节 地面点位置的表示方法

确定地面点的位置必然要牵涉到地球的形体问题,因此下面首先来讨论一下地球的形状和大小,然后阐述地面点位置的表示方法。

### 一、地球的形状和大小

众所周知,地球表面是极其不规则的,有高山、丘陵、平原、盆地、海洋等起伏变化,陆地上最高处珠穆朗玛峰高出海平面 8 848.13m,海洋最深处的马利亚纳海沟深达 11 022m,看起来起伏变化非常之大,但是这种起伏变化和庞大的地球(半径约 6 371km)比较起来是微不足道的。同时,就地球表面而言,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代表了地球的形状和大小。于是设想有一个静止的海水面,向陆地延伸而形成一个封闭的曲面,这个曲面称为大地水准面(任何一个静止的液体表面都叫做水准面)。由于受太阳、月亮、地球三者引力的影响,出现潮汐,海水面时高时低,所以大地水准面很难确定,对不同的国家或地区来说,通过验潮,确定平均海水面,作为该国家或地区的大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体,大地体就代表了地球的形状和大小。

水准面的特性是处处与铅垂线(重力作用线)垂直。水准面和铅垂线是测量工作所依据的面和线,今后经常会用到。

由于地球内部物质分布不均匀,致使铅垂线方向产生不规则变化,因而使大地水准面成为一个有微小起伏的不规则曲面,如图 1-1 所示。在这个面上无法进行测量的计算工作,于是人们选择了一个与大地体形状和大小较为接近的旋转椭球来代替大地体,通过定位使旋转椭球与大地体的相对位置固定下来。选定了形状和大小并在地球上定位的旋转椭球称为参考椭球。参考椭球的表面是一个规则的数学曲面,它是测量计算和投影制图所依据的面。

参考椭球的元素有长半径  $a$ ,短半径  $b$  和偏率  $\alpha(\alpha = \frac{a-b}{a})$ ,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  $a$  和  $\alpha$  两个元素。我国过去采用的是克拉索夫斯基椭球( $a = 6\,378\,245\text{m}$ ,  $\alpha = 1:298.3$ ),由于该椭球的表面与我国大地水准面情况不相适应,故自 1980 年以后,采用国际大地测量与地球物理协会(IUGG)1975 年十六届大会推荐的椭球( $a = 6\,378\,140\text{m}$ ,  $\alpha = 1:298.257$ )。

新中国成立初期,鉴于当时的历史条件,我国以苏联选定的克拉索夫斯基椭球和普尔科夫天文台为大地原点的椭球定位为依据,利用苏联境内的三角锁与我国境内的绥芬河、呼玛、吉拉林等处三角锁联测,并平差了我国东北部三角网,得出北京基线网点的坐标,作为全国坐标起算基础,建立了我国的大地坐标系,称为“1954 年北京坐标系”。后来根据新的测量数据,发现该坐标系所选的参考椭球面与我国大地水准面相差较大,1980 年我国采用 IUGG 十六届大会推荐的椭球,大地原点设在陕西省泾阳县永乐镇,选取 922 个经纬度  $1^\circ \times 1^\circ$  的方格内点,列出弧度方程,在平方和为极小的条件下求解,对椭球定位求得

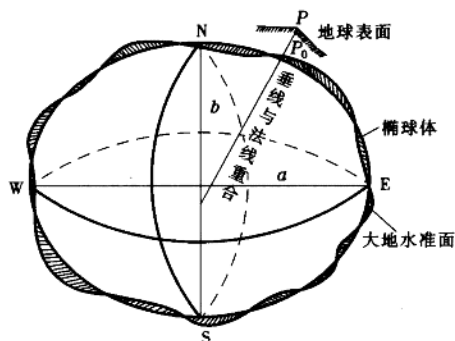


图 1-1 大地水准面与椭球体

约 5 万个一、二等导线及三角点的坐标,建立了我国自己的大地坐标系,称为“1980 年国家大地坐标系”。

由于参考椭球的扁率很小,在普通测量中又近似地把大地体视作圆球体,其半径采用与参考椭球同体积的圆球半径,其值  $R = 6\,371\text{km}$ 。当测区范围较小时,又可以将该部分球面当成平面看待,亦即将水准面当成平面看待,称之为水平面。

## 二、地面点位置的表示方法

地面点的位置以坐标和高程来进行表示。

### (一)地面点的坐标

#### 1. 大地坐标

用大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  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。

如图 1-2 所示,  $O$  为参考椭球的球心,  $NS$  为椭球的旋转轴,通过该轴的平面称为子

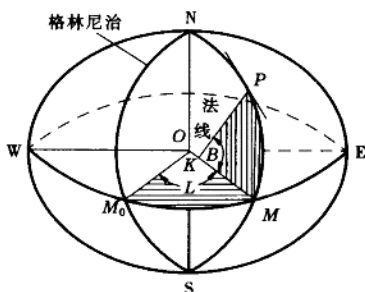


图 1-2 大地坐标

午面(如图中的  $NPMS$  面)。子午面与椭球面的交线称为子午线,又称为经线,其中通过英国伦敦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  $NS$  轴的平面称为赤道面(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  $P$  且与过  $P$  点切平面垂直的直线  $PK$ ,称为  $P$  点的法

线。地面上任一点都可以向参考椭球面作一条法线。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  $L$ ,即通过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  $0\sim 180^\circ$ 称为东经;向西  $0\sim 180^\circ$ 称为西经。同一子午线上各点的大地经度相同。

大地纬度  $B$ ,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  $0\sim 90^\circ$ 称为北纬;向南  $0\sim 90^\circ$ 称为南纬。纬度相同的点的连线称为纬线,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的方法确定。

## 2. 高斯平面直角坐标

大地坐标的优点是对于整个地球有一个统一的坐标系统,用它来表示地面点的位置形象直观。但它的观测和计算都比较复杂,而且实用上更多的则是需要把它投影到某个平面上来。

我国大面积的地形图测绘,采用高斯平面直角坐标系。这种坐标系由高斯创意,经克吕格改进而得名。它是采用分带(经差  $6^\circ$ 或  $3^\circ$ 为一带)投影的方法进行投影,将每一投影带经投影展开成平面后,以中央子午线的投影为  $x$ 轴,赤道投影为  $y$ 轴而建立的平面直角坐标系。地面点在该坐标系内的坐标称为高斯平面直角坐标。

有关高斯平面直角坐标系的问题将在第七章第一节中讨论。

## 3. 平面直角坐标

对于小范围的测区,以水平面作为投影面,地面点在水平面上的投影位置用平面直角坐标表示。

如图 1-3 所示,在水平面上选定一点  $O$  作为坐标原点,建立平面直角坐标系。纵轴为  $x$ 轴,与南北方向一致,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。将地面点  $A$  沿着铅垂线方向投影到该水平面上,则平面直角坐标  $x_A$ 、 $y_A$  就表示了  $A$  点在该水平面上的投影位置。如果坐标系的原点是任意假设的,则称为独立的平面直角坐标系。为了不使坐标出现负值,对于独立测区,往往把坐标原点选在测区西南角以外适当位置。

地面点的平面直角坐标,可以通过观测有关的角度和距离,通过计算的方法确定。

应当指出,测量上采用的平面直角坐标系与数学中的平面直角坐标系从形式上看是不同的。这是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的,而数学上的角值从横轴正方向起按逆时针方向计值,为了使数学上的三角函数计算公式可不加任何改变地直接应用于测量的计算中,因而将数学坐标系中的  $x$ 、 $y$  互换,象限划分由逆时针变为顺时针,构成测量中的平面直角坐标系。

## (二)地面点的高程

### 1. 绝对高程

地面点沿铅垂线方向至大地水准面的距离称为绝对高程,亦称为海拔。在图 1-4 中,地面点  $A$  和  $B$  的绝对高程分别为  $H_A$  和  $H_B$ 。

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,是青岛大港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”,作为全国(台湾、海南岛除外)推

算高程的依据。1956年,验潮站根据连续7年(1950~1956年)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,测得水准原点的高程为72.289m;按这个原点高程为基准去推算全国的高程,称为“1956年黄海高程系”。由于该高程系存在验潮时间过短、准确性较差的问题,后来验潮站又根据连续28年(1952~1979年)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,再次测得水准原点的高程为72.2604m;1985年决定启用这一新的原点高程作为全国推算高程的基准,并命名为“1985国家高程基准”。

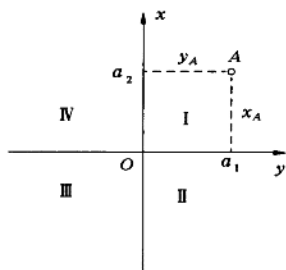


图 1-3 平面直角坐标

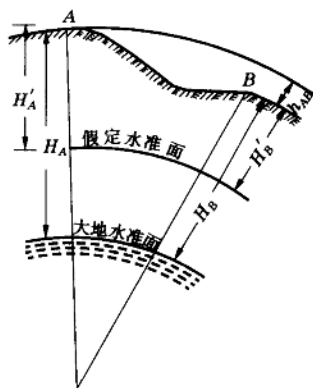


图 1-4 绝对高程与相对高程

## 2. 相对高程

地面点沿铅垂线方向至任意水准面的距离称为该点的相对高程,亦称为独立高程。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,以符号“ $h$ ”表示。图 1-4 中,A、B 两点的高差  $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$ 。

测量工作中,一般采用绝对高程,只有在偏僻地区,没有已知的绝对高程点可以引测时或相对独立的地区,才采用相对高程。

确定地面点的位置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,因而角度、距离、高程称为测量的基本元素。在后面的有关章节中,将详细介绍进行这三项工作的基本方法。

## 第三节 用水平面代替水准面的限度

前已述及当测区范围较小时,可以用水平面代替水准面,即以平面代替曲面。这样的替代可使测量的计算和绘图工作大为简化。但当测区范围较大时,就必须顾及地球曲率的影响,不能作这样的替代。那么多大范围内才允许用水平面代替水准面呢?下面就来讨论这个问题。

### 一、用水平面代替水准面对距离的影响

如图 1-5 所示,设地球是半径为  $R$  的圆球。地面上 A、B 两点投影到大地水准面上

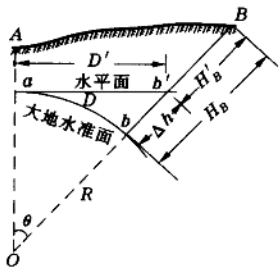


图 1-5 水平面与水准面的关系

的距离为弧长  $D$ , 投影到水平面上的距离为  $D'$ , 显然两者之差即为用水平面代替水准面所产生的距离误差, 设其为  $\Delta D$ , 则

$$\Delta D = D' - D = R \cdot \operatorname{tg} \theta - R \cdot \theta$$

式中:  $\theta$  为弧长  $D$  所对的圆心角。将  $\operatorname{tg} \theta$  用级数展开, 并取级数前两项, 得

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

因为  $\theta = \frac{D}{R}$ , 故

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

以  $R=6371\text{km}$  和不同的  $D$  值代入上式, 算得相应的  $\Delta D$  和  $\Delta D/D$  (相对误差) 值列在表 1-1。由表 1-1 可以看出, 距离为  $10\text{km}$  时, 产生的相对误差为  $1/120$  万, 小于目前最精密测距的允许误差  $1/100$  万。因此可以认为: 在半径为  $10\text{km}$  的区域, 地球曲率对水平距离的影响可以忽略不计。即可以把该部分水准面当作水平面看待, 在精度要求较低的测量工作中, 其半径可扩大到  $25\text{km}$ 。

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 $\Delta D(\text{mm})$	距离相对误差 $\Delta D/D$	高程误差 $\Delta h(\text{mm})$	距离 $D$	距离误差 $\Delta D(\text{mm})$	距离相对误差 $\Delta D/D$	高程误差 $\Delta h(\text{mm})$
100m	0.000 008	1/1 250 000 万	0.8	10km	8.2	1/120 万	7 850.0
1km	0.008	1/12 500 万	78.5	25km	128.3	1/19.5 万	49 050.0

## 二、用水平面代替水准面对高程的影响

在图 1-5 中, 从大地水准面起算, 地面点  $B$  的高程为  $H_B$ , 从水平面起算,  $B$  点的高程为  $H'_B$ , 显然其差值  $\Delta h$  即为用水平面代替水准面对高程所产生的影响。由图 1-5 可得

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

因  $D'$  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,  $\Delta h$  与  $2R$  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  $D$  值代入上式, 算得相应的  $\Delta h$  值列在表 1-1。从表中可以看出, 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, 很快就达到了不能允许的程度。所以即便是距离很短, 也不能忽视地球曲率对高程的影响, 在观测过程中必须采取措施, 消除或减弱其影响。

## 第四节 测量工作的基本原则

地形测图,通常是在选定的点位上安置仪器,测绘地物、地貌。但是在一个选定的点位上施测整个测区所有的地物、地貌,则是十分困难甚至是不可能的。如图 1-6 所示,在 A 点只能测绘 A 点附近的房屋、道路、地面起伏等地物地貌,对于山的另一面或较远的地方就观测不到,因此必须连续地逐个设站观测,而若干设站必须控制在统一的坐标系和高程系下。这就是说测量工作必须按照一定的原则进行。这个原则就是:“先整体后局部”、“先控制后碎部”、“高级控制低级”。

所谓“先整体后局部”、“先控制后碎部”,即布局上先考虑整体,再考虑局部;工作步骤是先进行控制测量,再进行碎部测量。在图 1-6 中,先在整个测区范围内均匀选定若干数量的点子,如图中的 A、B、C、D、E、F 诸点,以控制整个测区,这些点子称为控制点。选定的控制点按照一定方式联结成网形,称为控制网,图中为闭合多边形。以较精密的测量方法测定网中各个控制点的平面位置和高程,这项工作称为控制测量。然后分别以这些控制点为依据,测定点位附近地物、地貌的特征点(碎部点),并勾绘成图,这项工作称为碎部测量。

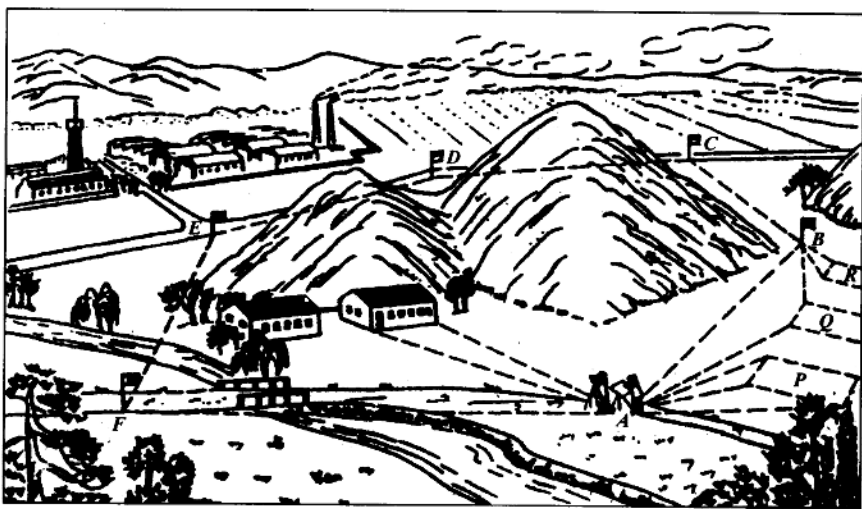


图 1-6 测图原则示意图

按照“先整体后局部”、“先控制后碎部”和“高级控制低级”的原则实施测图,由于建立了统一的控制系统,使整个测区各个局部都具有相同的误差分布或精度,尤其对于大面积的分幅测图,不但为各图幅的同步作业提供了便利,同时也有效地保证了各个相邻图幅的拼接和使用。

“先整体后局部”、“先控制后碎部”和“高级控制低级”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,然后根据控制点和放样数据来测设建筑物的细部点。

## 第五节 测量学的发展概况

测绘科学在我国具有悠久的历史。公元前 21 世纪,夏禹治水时,就发明和应用了“准、绳、规、矩”等测量工具和方法。春秋战国时期发明的指南针,至今仍在广泛使用。东汉张衡创造的“天球仪”,对天象作了形象和正确的表达,在天文测量史上留下了光辉的一页。公元 724 年唐代南宫说在今河南丈量了 300km 的子午线弧长,是世界上第一次的子午线弧长测量。宋代的沈括曾使用罗盘、水平尺进行了地形测量。元代郭守敬拟定了全国纬度测量计划并测定了 27 个点的纬度。清代康熙年间进行了全国测绘工作,出现了我国第一部实测的省级图集和国家图集。

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作用。1683 年法国进行了弧度测量,证明地球是两极略扁的椭球体。1794 年德国高斯创立的最小二乘法理论,对测量理论做出了宝贵贡献,至今仍是处理测量成果的理论基础。20 世纪初飞机的发明和使用,使航空摄影测量技术得到了迅速发展,大大减轻了野外测图的劳动强度。

新中国成立后,我国的测绘事业进入到一个蓬勃发展的新阶段。50 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,完成了覆盖全国大陆具有统一坐标系的中小比例尺地形图。进行了大量工程建设的测量工作,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,大大推动了测绘事业的发展。20 世纪 60 年代初激光红外技术的兴起,开辟了电磁波测距的新天地,目前各类电磁波测距仪在测量工作中得到了广泛应用。电子计算技术的出现,使计算技术得到了根本性变革,几十年来,电子计算机类型之多、更新之快、发展之迅速实属空前,用计算机实施测量计算,尤其对大规模的控制网严密平差既迅速,又准确,减轻了繁重的内业计算工作。十几年来制成的电子经纬仪,与电磁波测距仪、电子计算器和记录装置相配合,组成了全站型的电子速测仪,可以自动地记录和运算,迅速获得地面点的三维坐标,构成由外业测量到数据存储、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。随着航天技术和遥感技术的迅速发展,测量技术已由常规的大地测量发展到人造卫星大地测量,由航空摄影发展到航天遥感,测量对象已由单一的地球表面扩展到空间星体,由静态发展到动态。目前测量工作正在向着多领域、多品种、高精度、自动化、数字化的方向发展,以 GPS(全球定位系统)、GIS(地理信息系统)、RS(遥感技术)为核心的高科技时代已经到来。

总之,随着传统测绘技术走向数字化测绘技术,测量科学的服务面不断拓宽,与其他学科的互相渗透和交叉不断加强,新技术、新理论的引进和应用更加深入。因此,今后测量科学总的发展趋势为:测量数据采集和处理向一体化、实时化、数字化方向发展;测量仪器和技术向精密、自动化、智能化、信息化方向发展;测量产品向多样化、网络化、社会化方向发展。

## 第二章 水准测量

### 第一节 水准测量原理

测定地面点高程的经典方法一般有三种,即几何水准测量(简称水准测量)、三角高程测量(间接高程测量)和气压高程测量(物理高程测量),其中水准测量的精度较高,是测定地面点高程的一种主要方法。

#### 一、水准测量原理

水准测量的原理是利用仪器提供的水平视线,测定出地面两点间的高差,然后,根据已知点的高程推算出待定点的高程。

如图 2-1 所示,已知 A 点高程  $H_A$ , 欲求 B 点的高程  $H_B$ , 可在 A、B 两点的中间安置一台能提供水平视线的仪器——水准仪, 并分别在 A、B 两点上竖立带有刻划的标尺——水准尺, 当水准仪视线水平时, 依次照准 A、B 两点上的水准尺并读数。若沿 AB 方向测量, 则规定 A 为后视点, 其标尺读数  $a$  称为后视读数; B 为前视点, 其标尺读数  $b$  称为前视读数。根据几何学中平行线的性质可知, A 点到 B 点的高差或 B 点相对于 A 点的高差为

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

显然, 地面上两点间的高差等于后视读数减去前视读数。由式(2-1)知, 当后视读数  $a$  大于前视读数  $b$  时,  $h_{AB}$  值为正, 说明 B 点高于 A 点; 反之, 则 A 点高于 B 点,  $h_{AB}$  为负值。

待定点 B 的高程为

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

在工程测量中还有一种应用比较广泛的计算方法: 由视线高程计算 B 点高程。由图 2-1 可知, A 点的高程加上后视读数等于水准仪的视线高程, 简称视线高, 设为  $H_i$ , 即

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

则 B 点的高程等于视线高减去前视读数, 即

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

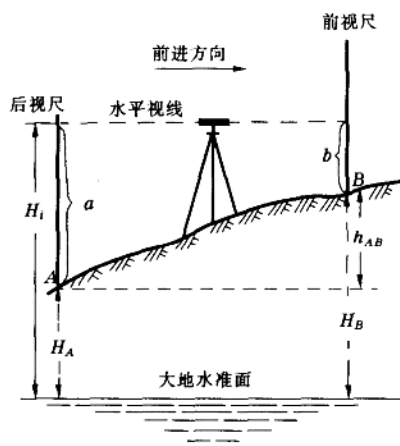


图 2-1 水准测量原理



## 二、转点、测站

在实际工作中,已知点到待定点之间往往距离较远或高差较大,仅安置一次仪器不可能测得它们的高差。如图 2-2 所示,设已知点 A 的高程为  $H_A$ ,要测定距 A 点较远的一点

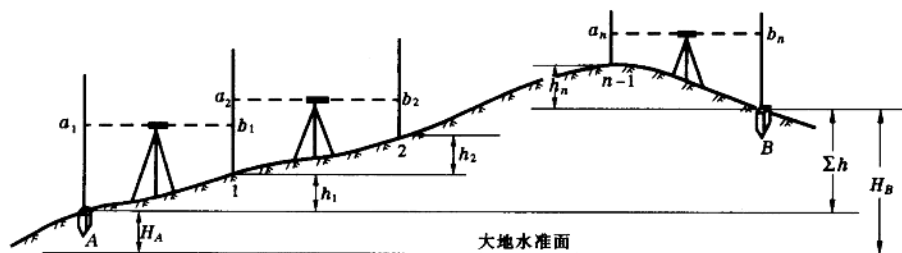


图 2-2 复合水准测量

B 的高程,必须在 A、B 两点之间连续设置若干次仪器以及若干个临时性的立尺点,观测时,每安置一次仪器观测两点间的高差,称为一个测站;作为传递高程的临时立尺点 1, 2, ..., n-1 称为转点。各测站的高差为

$$h_1 = a_1 - b_1$$

$$h_2 = a_2 - b_2$$

⋮

$$h_n = a_n - b_n$$

因此 A、B 两点间的高差为

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + \cdots + h_n = \sum h \quad (2-5)$$

或写成

$$\begin{aligned} h_{AB} &= (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) + \cdots + (a_n - b_n) \\ &= \sum_1^n a_i - \sum_1^n b_i \end{aligned} \quad (2-6)$$

在实际作业时,可先将各站算出的高差求和得出 A、B 两点的高差  $h_{AB}$ ,再用式 (2-6),即后视读数之和  $\sum_1^n a_i$  减去前视读数之和  $\sum_1^n b_i$ ,计算高差  $h_{AB}$ ,检核计算是否正确。

这种连续多次设站测定高差,最后取各站高差代数和求得 A、B 两点间高差的方法,称为复合水准测量或连续水准测量。

## 第二节 水准仪和水准尺

水准仪的类型很多,我国按其精度指标划分为  $DS_{05}$ 、 $DS_1$ 、 $DS_3$  和  $DS_{10}$  四个等级,D 和 S 分别为“大地测量”和“水准仪”汉语拼音的第一个字母,而表示水准仪精度指标的 05、1、3、10 等指每公里往返测高差中数的偶然中误差分别不超过 0.5mm、1mm、3mm、10mm。一般可省略“D”只写“S”,工程中常用的是  $S_3$  型水准仪。