



中等职业教育规范教材

工程测量

常玉奎 金荣耀 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中等职业教育规范教材

工程测量

常玉奎 金荣耀 编
周克勤 李长利 审



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分 13 章, 教学时数按 70 学时分配, 其中含 20 学时的实验和习题课。

本书在内容上力求讲清概念、基本理论知识, 并在着重介绍工程测量各个阶段普遍采用的测量技术的基础上, 增加了电子经纬仪、电磁波测距仪和全站仪等现代测绘技术。

本书是中等职业学校水利水电工程专业、工民建专业、管理专业、造价专业教学用书, 也可作为成人技校的教材以及工程测量工取证培训用书, 还可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程测量 / 常玉奎, 金荣耀编. —北京: 中国水利水电出版社, 2007

中等职业教育规范教材

ISBN 978-7-5084-4827-5

I. 工… II. ①常…②金… III. 工程测量—专业学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 101942 号

书 名	中等职业教育规范教材 工程测量
作 者	常玉奎 金荣耀 编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 11.25 印张 267 千字
版 次	2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—2500 册
定 价	25.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

随着现代科学技术的迅速发展,全球定位系统(GPS)、遥感(RS)、地理信息系统(GIS)(简称3S)以及全站仪测量、数字化测图技术等重大测绘科技成就相继出现,传统的测绘学科发生了巨大变化,现代测绘科学面貌焕然一新。现代测绘科学应用范围和服务对象,正在不断地扩大到国家经济建设和社会可持续发展以及国防建设中与地球空间信息有关的各个领域,并且以惊人的社会、经济效益深受社会各行业的关注。快速应用测绘高新技术是当今工程建设的一大特色,工程类专业的测绘技术教学面临新的发展机遇和挑战。

全书共分13章,是多年在水利水电工程专业、工民建专业、管理专业、造价专业以及工程测量工取证培训中试用、修改、完善并最终得以出版。本书力求做到深入浅出、通俗易懂,在慎重删除了部分陈旧内容的前提下,仍保留了大量常规测量方法,保持了测绘学科的系统性和逻辑性。全书在内容上力求结合工程测量生产实际,同时也将现代测量领域最新科技成果、技术方法反映出来,并注重实际,以培养学生分析问题、解决问题的能力。本书可按70学时安排教学任务,其中包括20学时的实验与习题。书中增加了测量新技术、新仪器的介绍和使用,所涉及到的测量基本理论、基本概念、基本计算都有详细的论述和计算过程,同时也是工程技术人员很好的参考资料。

本书由北京水利水电学校常玉奎编写第1、2、3、4、5、6、11、12章,北京建筑工程学院金荣耀编写第7、8、9、10、13章,北京建筑工程学院陆立副教授修订第1章、第9章,周乐皆副教授修订第10章、第11章,全书由常玉奎统一审核定稿。编写过程中得到了北京水利水电学校汪玉龙副校长的大力支持,北京建筑工程学院测绘与城市空间信息学院周克勤副院长与北京水利水电学校李长利副校长审阅了全稿,在审稿过程中提出了很多宝贵的意见和建议,为提高教材的质量起了重要作用,在此表示感谢!

由于编者水平有限,难免有疏忽或错误,敬请各位读者批评指正。如有意见或建议请发邮件至:cyk1998@sina.com。

编 者

2007年6月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 建筑工程测量学的任务	1
第二节 地球的形状和大小	2
第三节 测量常用坐标系	4
第四节 测绘地形图的程序和测量工作的原则	5
第五节 用水平面代替水准面的限度	7
思考题与练习题	9
第二章 水准测量	10
第一节 水准测量原理	10
第二节 水准测量的仪器和工具	12
第三节 水准仪的使用	15
第四节 水准测量方法	16
第五节 水准测量路线内业计算	19
第六节 水准仪的检验与校正	23
第七节 自动安平水准仪、精密水准仪和数字水准仪	25
思考题与练习题	28
第三章 角度测量	30
第一节 角度测量原理	30
第二节 DJ ₆ 型光学经纬仪	31
第三节 DJ ₆ 型经纬仪的读数和使用	33
第四节 水平角测量方法	34
第五节 竖直角观测	38
第六节 经纬仪的检验	41
第七节 电子经纬仪的使用	44
思考题与练习题	47
第四章 距离测量与直线定向	49
第一节 钢尺量距的一般方法	49
第二节 钢尺量距的精密方法	52
第三节 视距测量	56

第四节 光电测距	58
第五节 直线定向	64
第六节 坐标正反算	67
思考题与练习题	69
第五章 测量误差的基本知识	71
第一节 测量误差概述	71
第二节 衡量观测值精度的指标	73
第三节 误差传播定律及其应用	74
第四节 等精度独立观测值的算术平均值及精度评定	77
思考题与练习题	79
第六章 控制测量	80
第一节 控制测量概述	80
第二节 导线测量外业工作	82
第三节 导线测量内业工作	84
第四节 三、四等水准测量	91
第五节 三角高程测量	93
思考题与练习题	95
第七章 大比例尺地形图测绘	97
第一节 地形图的比例尺	97
第二节 大比例尺地形图图式	99
第三节 地貌的表示方法	102
第四节 测图前的准备工作	105
第五节 大比例尺地形图的测绘方法	107
第六节 数字测图简介	111
思考题与练习题	112
第八章 地形图的应用	114
第一节 地形图应用的基本内容	114
第二节 地形图的面积量算	116
第三节 工程建设中地形图的应用	118
思考题与练习题	122
第九章 施工测设的基本方法	124
第一节 水平距离、水平角和高程的测设	124
第二节 点的平面位置的测设	127
第三节 已知坡度直线的测设	131
思考题与练习题	131
第十章 工业与民用建筑的施工测量	132

第一节	概述	132
第二节	建筑场地上的控制测量	133
第三节	民用建筑施工中的测量工作	136
第四节	工业厂房施工中的测量工作	139
第五节	高层建筑物的轴线投测和高程传递	142
第六节	建筑物变形观测	145
第七节	竣工总平面图的编绘	149
	思考题与练习题	150
第十一章	水利工程测量	151
第一节	土坝的控制测量	151
第二节	土坝清基开挖与坝体填筑的施工测量	153
第三节	混凝土坝的施工控制测量	154
第四节	混凝土坝清基开挖线的放样	155
第五节	混凝土重力坝坝体的立模放样	155
第六节	大坝安全监测简介	156
	思考题与练习题	156
第十二章	全站仪的使用	157
第一节	全站仪的构造与使用	157
第二节	角度测量	159
第三节	距离测量	160
第四节	坐标测量	162
第五节	全站仪点位测设	163
	思考题与练习题	164
第十三章	计算器在测量计算中的应用	165
第一节	计算角度之和	165
第二节	计算坐标增量	166
第三节	计算边长和方位角	166
第四节	计算坐标增量(用程序)	167
第五节	计算边长和方位角(用程序)	168
第六节	圆曲线要素计算	168
	思考题与练习题	170
参考文献		171



第一章 绪 论

本章学习要点

- 建筑工程测量的主要任务；
- 地球的形状与大小；
- 测绘地形图的原则；
- 确定地面点位的三要素；
- 用水平面代替水准面的限度。

第一节 建筑工程测量学的任务

一、测绘学的研究对象及其分类

测绘学是研究地球形状和大小以及确定地球表面物体的空间位置，并将这些空间位置信息进行处理、储存和管理的科学。

测绘学按照研究范围、研究对象及采用技术手段的不同，分为以下几个主要分支学科：

1. 大地测量学

研究地形的形状和大小，解决大范围地区的点位测定和地球重力场问题。由于人造地球卫星和空间技术的利用，大地测量又分为常规大地测量和卫星大地测量两种。

2. 地形测量学

不顾及地球曲率的影响，研究在地球表面局部区域内测绘地形图的理论、技术和方法的学科。

3. 摄影测量学

研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息，以确定其形状，大小和空间位置的学科。

4. 工程测量学

研究工程建设在规划设计、施工放样和运营管理各个阶段测量工作的理论技术和方法的学科。

5. 地图制图学

研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的学科。

本教材主要介绍地形测量学和工程测量学的基本知识。

二、建筑工程测量的主要任务

建筑工程测量是测绘学的一个组成部分。它是研究建筑工程在勘测设计、施工和运营管理阶段所进行的各种测量工作的理论、技术和方法的学科。它的主要任务是：



1. 测绘地形图（测定）

在工程设计的各个阶段，为了对建筑物的具体设计提供各种地形资料，需要在工程建筑地区进行地形图的测绘。由于这种测图是在较小范围内进行的，可以不顾及地球曲率的影响，将曲面当作平面处理。测量时只需按照一定的测量程序，测定一些主要的地面特征点和特征线，根据测图比例尺和国家规定的图式符号，就可将工程建筑区的形状和大小，地面的起伏状态和固定物体，缩小绘制成相似的图形。这种既能表示地物的平面位置，又能表示地貌变化的图，称为地形图。

2. 建筑物施工放样（测设）

在工程施工阶段，需要根据建筑物的设计图，按照设计要求，通过测量的定位放线，将建筑物的平面位置和高程标定到施工的作业面上，这种工作称为施工放样。放样工作，贯穿于施工的整个过程。

总之，测绘地形图是将地面上的地物、地貌的平面位置和高程测绘到图纸上；而施工放样则将图纸上的建筑物的平面位置和高程标定在地面上，其过程恰恰相反。

第二节 地球的形状和大小

一、地球的自然形体

测量工作是在地球表面进行的，所以首先需要研究地球的形状和大小。地球的自然表面有高山、丘陵、平原、海洋等起伏状态，是一个不规则的表面。就整个地球而言，海洋面积约占 71%，陆地面积约占 29%。世界上最高的山峰是珠穆朗玛峰，其高度为 8844.43m，最深的海沟马里亚纳深达 11022m。尽管地球表面有如此大的高差变化，但与地球半径 6371km 相比，这种起伏还是很小的。在地球表面进行测量工作所获得的距离、角度、高差的等成果，不可能在这样不规则的表面上进行数据处理和绘制地形图。因此，人们就要寻找一个理想几何体来代表地球的形状和大小。要求这个理想几何体与地球的自然形体十分接近，而又能用数学模型来表示。

二、大地体

1. 铅垂线

地球表面任一质点都同时受到两个作用力：其一是地球自转产生的离心力；其二是地球产生的引力。这两种力的合力称为重力（见图 1-1）。重力的作用线称为铅垂线（见图 1-2），是测量工作的一条重要基准线。在地球上任何一点悬挂一个垂球，其静止时所示的方向即为铅垂线的方向。

2. 水准面

自由静止状态的水面延伸而穿过陆地，包围整个地球，形成一个闭合曲面，称为水准面（见图 1-1）。由物理学知道，这个面是一个重力等位面，水准面上处处与铅垂线方向垂直。水面可高可低，故而水准面有无数多个。

3. 大地水准面

与平均海水面相吻合的水准面，称为大地水准面（见图 1-2）。它是测量工作的一个重要基准面。

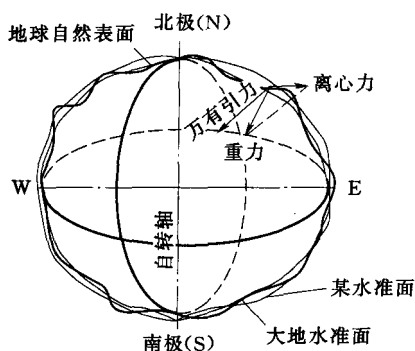


图 1-1 地球的自然表面

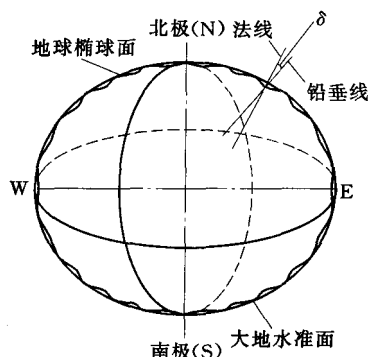


图 1-2 大地水准面

4. 大地体

大地水准面包围的形体称为大地体。大地体是十分接近地球的自然形体。由于地球内部的质量分布不均匀,使得大地体的表面是一个略有起伏变化的不规则曲面,它不能用数学模型来表示。

三、地球椭球体

人们发现地球的自然形体十分接近一个旋转的椭球体(见图 1-3),旋转椭球体是一个长半轴 a 和短半轴 b 的椭圆,绕短半轴 b 旋转而成的几何体。它符合理想几何体的两个条件,用它来表示地球的形状和大小。地球椭球体的三个参数是长半轴 a ,短半轴 b ,扁率 f :

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (1-1)$$

在几何大地测量中地球椭球体的形状和大小一般用 a 、 f 来表示。

地球椭球体,可以用数学公式来表示:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (1-2)$$

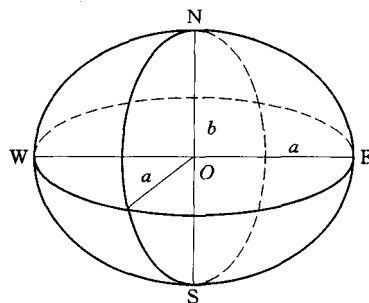


图 1-3 地球椭球体

几个世纪以来,许多国家曾分别计算出地球椭球体的参数值,表 1-1 为最近几次有代表性的测量成果。

表 1-1

地球椭球体的几何参数

椭球名称	年代	a (m)	f
克拉索夫斯基	1940	6378245	1 : 298.3
1975 年大地测量参考系统	1975	6378140	1 : 298.257
WGS-84 系统	1984	6378137	1 : 298.257223563

四、地球圆球

由于地球椭圆体的扁率很小,当测区面积不大时,在测量工作中可以把地球看成圆



球，其半径为 $R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6371\text{km}$ 。

第三节 测量常用坐标系

地面点的空间位置与一定的坐标系对应。在测量中常用的坐标系有独立平面直角坐标系、高斯平面直角坐标系、大地坐标系等。

一、独立平面直角坐标系

当测区面积较小时（如 100km^2 ），可以用测区中心点 C 的切平面来代替曲面（见图 1-4）。通过 C 点的子午线投影在切平面上，形成纵轴 X ，纵向北为正值；过 C 点垂直于 X 轴方向形成横轴 Y ，横轴向东为正。为了使测区内纵、横坐标都为正值，将坐标原点移至测区西南角，形成独立平面直角坐标系 XOY 。

与数学平面直角坐标系异同： X 轴与 Y 轴位置互换；象限排列顺序不同，独立平面直角坐标系象限按顺时针方向排列（见图 1-5）；数学计算公式相同。

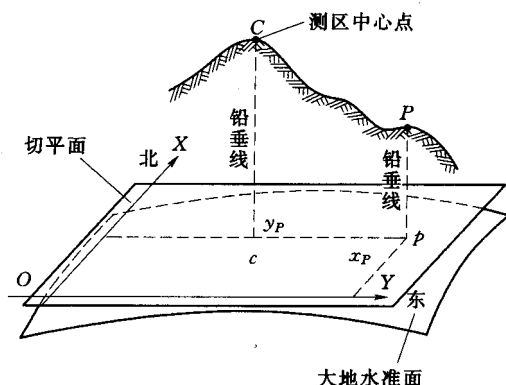


图 1-4 假定平面直角坐标系

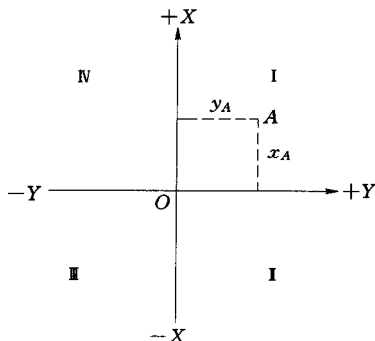


图 1-5 独立平面直角坐标系

二、高程系统

1. 绝对高程（海拔）

地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程，用 H 表示。

利用青岛验潮站 1953~1979 年的资料，建立了“1985 国家高程基准”。测定国家青岛市的观象山水准原点的高程为 72.260m。我国自 1987 年 5 月起开始采用 1985 国家高程基准作为高程起算的统一基准。

2. 相对（假定）高程

地面点到某一假定的水准面的铅垂距离称为相对高程，用 H' 表示。

3. 高差

地面两点的高程之差称为高差，用 h 来表示。由图 1-6 得：

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-3)$$

由此可见，两点高差与高程起算面无关。

同理

$$h_{BA} = H_A - H_B = -h_{AB} \quad (1-4)$$

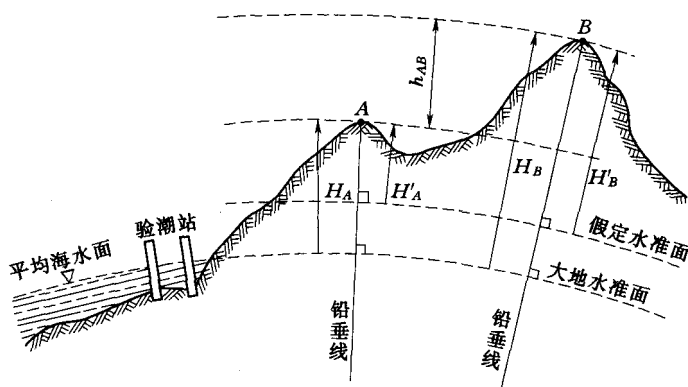


图 1-6 高程与高差的定义及其相互关系

从 A 点至 B 点两点间的高差 h_{AB} 和从 B 点至 A 点两点间的高差 h_{BA} 绝对值相等，符号相反。

第四节 测绘地形图的程序和测量工作的原则

进行测量工作，无论是测绘地形图或施工放样，要想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。如图 1-7 所示，在 A 点只能测绘附近的房屋、道路等的平面位置和高程，对于山的另一面或较远的地物、地貌就观测不到，因此必须连续逐个设站。所以测量工作必须按照一定的原则进行。

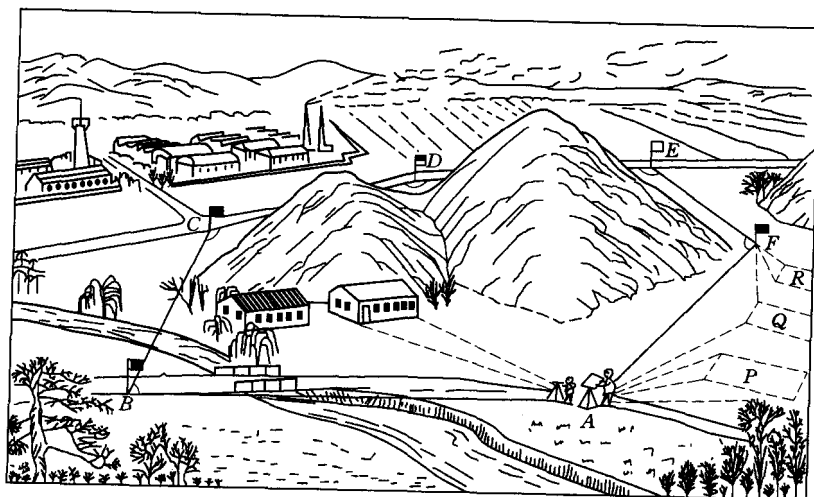


图 1-7 某地区地物地貌透视图

一、地形图

地形图是普通图的一种。按一定的比例尺，采用规定的符号和表示方法，表示地面的地物、地貌的平面位置与高程的正射投影图，称为地形图。



地球表面复杂多样的形体，归纳起来可分为地物、地貌两大类。地物是地面上天然或人工建筑形成的固定物体，它包括房屋、道路、桥梁、江河、湖泊等。地貌是地面上各种高低起伏的形态，它包括平原、丘陵、山地、深谷、悬崖峭壁等。

地形是地物和地貌的总称。

二、地形图的测绘程序和原则

地形图的测绘程序通常分为两步：第一步为控制测量，第二步为碎部测量，如图1-8所示。

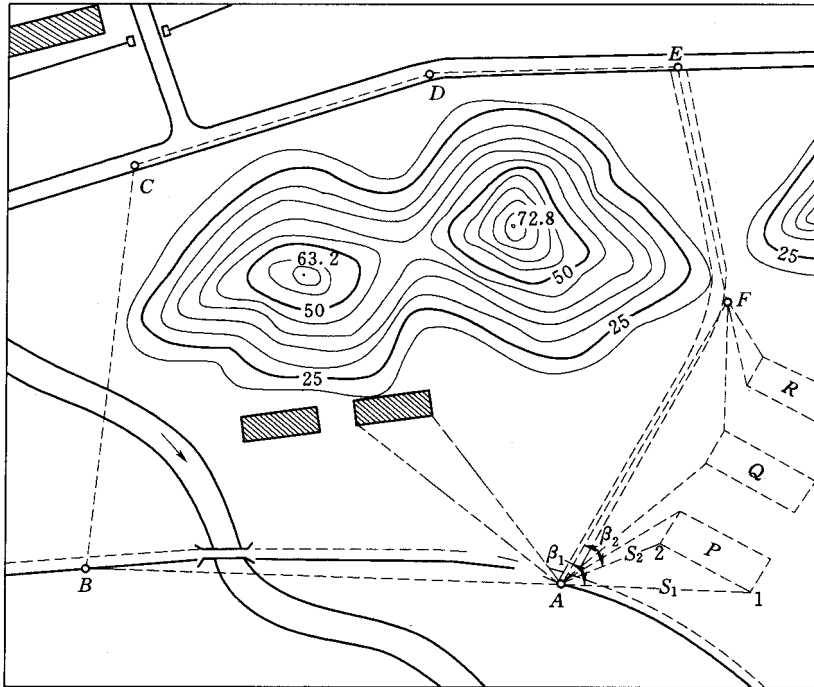


图 1-8 某地区地形图

首先在整个测区内选择若干具有控制意义的点 A、B、C、……称为控制点，用较精密的仪器和较严密的方法，测定各控制点间水平距 D 、水平角 β 和高差 h ，精确地计算各控制点的坐标和高程。这些测量工作称为控制测量。

然后，根据控制点，用较低精度的仪器和一般方法，来测定碎部点，即地物地貌特征点的坐标和高程，这些测量工作称为碎部测量。

总之，在测量的布局上，是“由整体到局部”，在测量次序上是“先控制后碎部”，在测量的精度上是“从高级到低级”，这是测量工作应遵循的一个基本原则。

另外，从上述可知，当控制测量有误差，以其为基础的碎部测量也会有误差；碎部测量有误差，使地形图也就有误差。因此，要求测量工作必须有严格的检核工作，故“步步有检核”是测量工作应遵循的又一个原则。

三、确定地面点位的三要素

在实际工作中，确定地面点位时，往往不能直接测定它们的坐标和高程，而是先在已



知坐标和高程的点上架设仪器测出水平角、水平距和高差，然后再计算地面点的坐标和高程。如图 1-9，A、B 是两个已知平面控制点，如果测定水平角 $\angle BAP = \beta$ ，水平距离 D_{AP} ，就可以计算 P 点坐标。同样 A 是一个已知高程的控制点，如果测定 AP 的高差 h_{AP} ，就可以计算 P 点的高程（见图 1-10）。

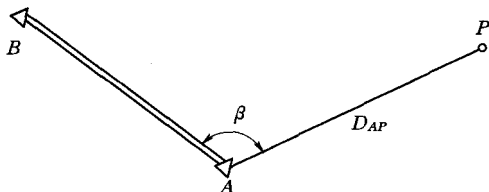


图 1-9 点的坐标测定

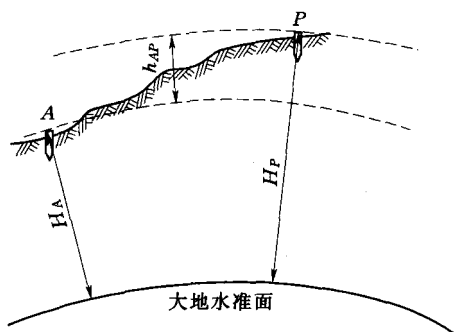


图 1-10 点的高程测定

由此可见，距离、角度和高差是测定地面点位的三个基本要素。

第五节 用水平面代替水准面的限度

测区面积小，地球曲率对测量结果影响则小。当地球曲率的影响小于测量误差时，才允许用水平面来代替水准面，而不考虑地球曲率的影响。现在来讨论用水平面代替水准面范围大小的限度。

一、地球曲率对水平距离的影响

如图 1-11，AB 投影在大地水准面上是弧形长 S ，投影在水平面上直线长度为 D ，两者之差 $\Delta S = D - S$ ，即是用水平面代替水准面所引起的距离误差。将大地水准面近似地看成半径为 R 的球面，圆弧 S 所对圆心角为 θ ，则有

$$\Delta S = D - S = R(\tan\theta - \theta)$$

$\because \tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$ ，因 θ 角很小，只取前两项

代入上式，得 $\Delta S = R\left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta\right)$

$$\because \theta = \frac{S}{R} \quad \therefore \Delta S = \frac{S^3}{3R^2} \quad (1-5)$$

$$\text{或} \quad \frac{\Delta S}{S} = \frac{S^2}{3R^2} \quad (1-6)$$

式中 $\frac{\Delta S}{S}$ ——相对差数，用 $1/M$ 形式表示， M 取整数。

地球半径 $R = 6371\text{km}$ ，以不同距离代入式 (1-6)，式 (1-7) 得到表 1-2 中数据。

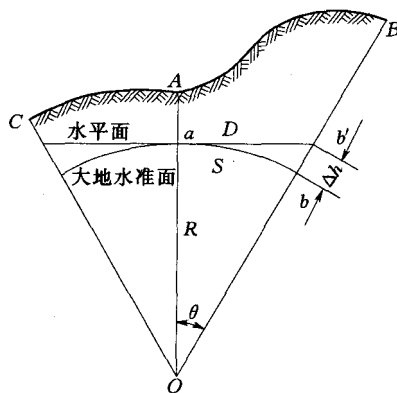


图 1-11 用水平面代替水准面对距离和高程的影响



表 1-2 用水平面代替水准面引起的距离误差

S (km)	ΔS (mm)	$\Delta S/S$
5	1.0	1 : 4900000
10	8.2	1 : 1220000
20	65.7	1 : 300000

二、地球曲率对水平角的影响

地球上一个多边形投影在大地水准面上得到球面多边形, 其内角和为 $\sum \beta_{球}$; 投影在水平面上, 得到一个平面多边形, 其内角和为 $\sum \beta_{平}$ 。由球面三角学知道

$$\sum \beta_{球} = \sum \beta_{平} + \epsilon \quad (1-7)$$

式中 ϵ ——球面角超, 单位为 ($''$), 计算公式为

$$\epsilon = \rho \frac{P}{R^2} \quad (1-8)$$

式中 P ——球面多边形的面积;

R ——地球半径;

ρ ——1 弧度的秒数 ($''$), 其值是 206265 $''$ 。

用不同的面积代入, 把求出的球面角超列入表 1-3 中, 由上述计算可知, 当面积为 100km² 时, 用水平面代替水准面, 所产生的角度误差为 0.51 $''$, 这种误差只有精密工程测量中才需要考虑。故此可得结论: 在面积为 100km² 的范围内进行水平角测量时, 可以不必考虑地球曲率的影响。

表 1-3 水平面代替水准面引起的角度误差

P (km ²)	ϵ ($''$)
50	0.25
100	0.51
200	1.02

三、地球曲率对高程的影响

如图 1-11 所示, 以水平面作为基准面 a 与 b' 同高; 以大地水准面为基准面 a 与 b 同高。两者之差为 Δh 即为对高程的影响

$$\Delta h = ob' - ob = R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1) \quad (1-9)$$

$\sec \theta = 1 + \frac{\theta^2}{2} + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$, 而且 θ 角度很小, 取前两项代入式 (1-11) 得

$$\Delta h = R \left(1 + \frac{\theta^2}{2} - 1 \right) = \frac{R\theta^2}{2} = \frac{(R\theta)^2}{2R} = \frac{S^2}{2R} \quad (1-10)$$

表 1-4 用平面代替水准面对高程的影响

S (km)	Δh (mm)
10	7848
5	1962
1	78
0.5	20
0.2	3

用不同的距离代入, 计算出 Δh 列入表 1-4 中。

从表 1-4 中可以看出, 用水平面代替水准面对高程的影响很大。当距离为 0.2km 时, $\Delta h = 3\text{mm}$, 这种误差在高程测量中是不允许的。因此可得出结论: 即使在很短的距离上进行高程测量时, 也必须考虑地球曲率的影响。



思考题与练习题

1. 建筑工程测量的主要任务是什么?
2. 什么是测量工作的基准面和基准线?
3. 什么是点的绝对高程和相对高程? 各举一例说明。
4. 测量工作应遵循哪些原则? 为什么?
5. 确定地面点位的三个要素是什么?
6. 圆形的测区半径为 7km, 面积约 154km^2 。在该测区内进行测量工作时, 用水平面来代替水准面, 则对水平距离、水平角和高程的影响 ΔS 、 $\Delta S/S$ 、 ϵ 、 Δh 分别为多少?



第二章 水准测量

本章学习要点

- 水准测量的原理；
- DS₃ 水准仪的构造及使用；
- 水准测量的施测方法及成果整理；
- 水准仪的检验与校正；
- 自动安平水准仪、精密水准仪和数字水准仪的使用。

第一节 水准测量原理

水准测量的原理是利用水准仪提供的一条水平视线，对竖立在地面上两点的水准尺进行读数，得到地面上两点之间的高差，然后根据已知点的高程，推算出另一个点的高程。如图 2-1 所示，已知 A 点的高程为 H_A ，求 B 点高程 H_B 的方法如下：

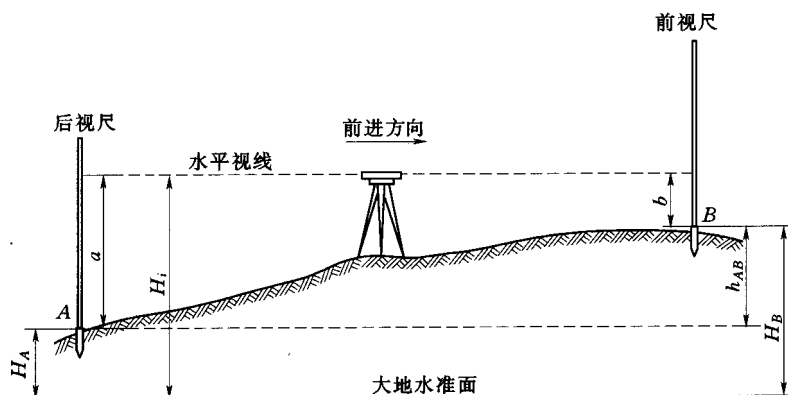


图 2-1 水准测量原理

1. 高差法

AB 中间安置水准仪，AB 两点立水准尺，利用水准仪提供水平视线在后视点 A 尺上读数为 a —后视读数，在前视点 B 尺上读数为 b —前视读数。

由图得

$$a = b + h_{AB}$$

∴

$$h_{AB} = a - b$$

(2-1)

∴

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + a - b$$

(2-2)

高差法适用于测定一个前视点的高程。

h_{AB} 详解：