



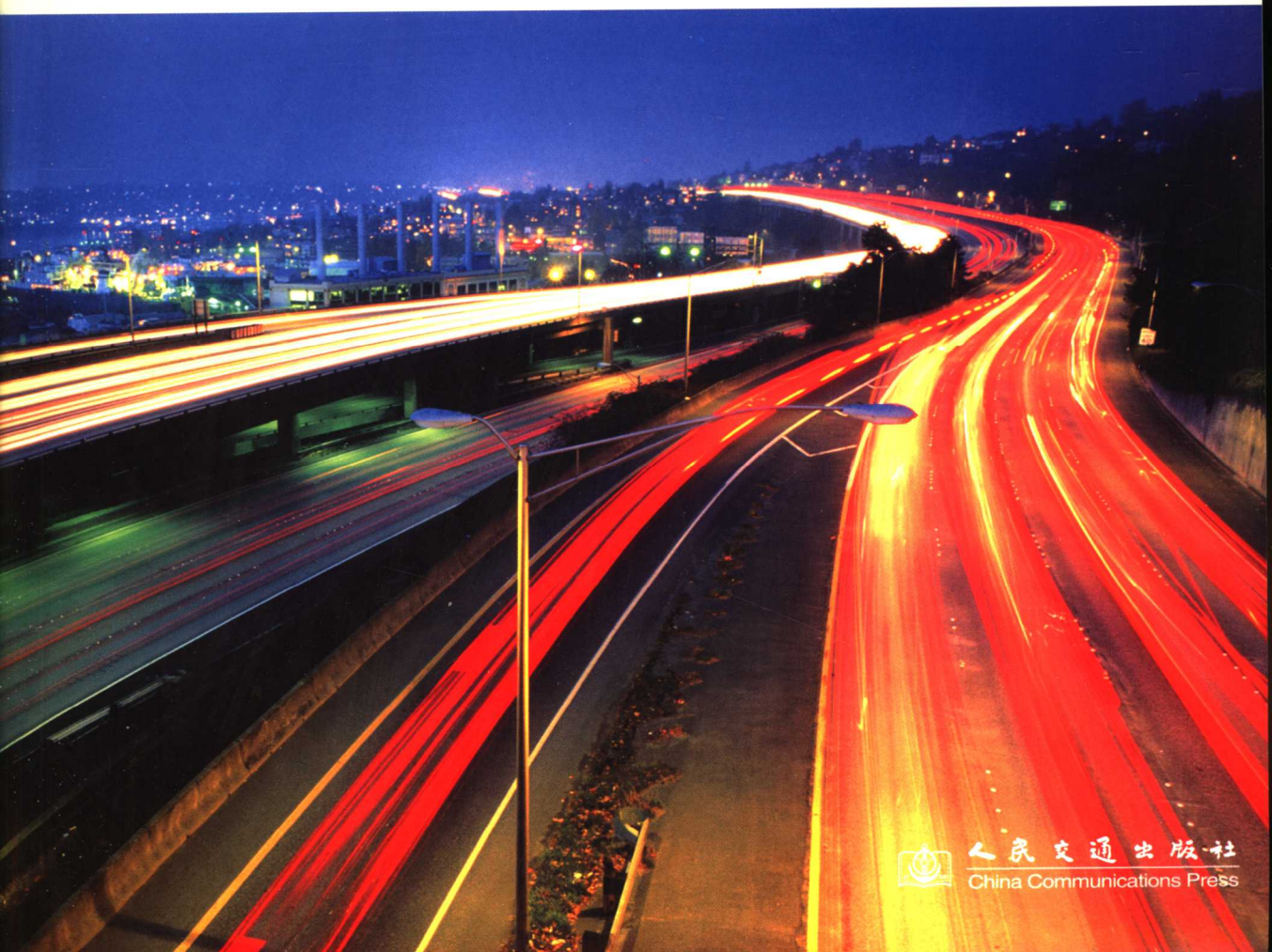
公路施工与养护专业用

# 公路工程测量

● 主 编 徐霄鹏

● 主 审 田福平

Gonglu Gongcheng Celiang



人民交通出版社  
China Communications Press

全国交通高级技工学校通用教材

Gonglu Gongcheng Celiang

# 公路工程测量

(公路施工与养护专业用)

徐霄鹏 主 编  
田福平 主 审

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书主要讲述公路工程测量的基本理论和常用测量方法。内容包括:绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差基本知识、控制测量地形图的测绘和应用、公路中线测量、路线纵横断面测量、全站仪与GPS测量、施工放样测量、桥梁和隧道施工测量等。

本书是全国交通高级技工学校公路施工与养护专业教学用书,也可供工程技术人员学习参考,或作为高级工、技师、高级技师培训的选用教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

公路工程测量 / 徐霄鹏主编. —北京:人民交通出版社, 2005.12

ISBN 7-114-05861-6

I. 公... II. 徐... III. 道路工程—勘测  
IV. U412.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第144874号

全国交通高级技工学校通用教材

书 名: 公路工程测量(公路施工与养护专业用)

著 作 者: 徐霄鹏

责任编辑: 曹延鹏

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 18.25

字 数: 456千

版 次: 2005年12月 第1版

印 次: 2005年12月 第1次印刷

书 号: ISBN 7-114-05861-6

印 数: 0001—3000册

定 价: 30.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

**交通职业教育教学指导委员会公路类（技工）学科委员会  
和交通技工教育研究会公路专业委员会**

---

柯爱琴 周以德 刘传贤

卞志强 严 军 朱小茹

高连生 毕经邦 姚为民

梁柱义 程兴新 张文才

易连英 蒋 斌 周萌芽



# 前言

## FOREWORD

为了适应交通新的跨越式发展,积极推进一体化教学改革,进一步加快高级技工学校公路类专业教材建设,交通职业教育教学指导委员会公路类(技工)学科委员会和交通技工教育研究会公路专业委员会组织制定了高级技工学校公路施工与养护和公路工程机械使用与维修两个专业的教学计划与教学大纲,并依此确定了教学改革和教材改革的模式。2004年3月启动教材的编写工作,2005年7月交稿。

本套教材用于培养公路类专业高级技工和技师,具有以下特点:

1. 教材内容与高级工等级标准、考核标准相衔接,适应现代化施工与养护的基本要求,教材全部采用最新的标准和规范,符合先进性、科学性和实用性的要求。
2. 教材编写满足理实一体化和模块式的教学方式,以操作技能为主,体现职业教育特色,使学生具备较高的实用技能。
3. 教材与作业、题库配套。各课程均编写了“习题集和答案”,汇成题库和题解,供学生做作业和练习,也可供命题参考。

本套教材由柯爱琴担任责任编委。

《公路工程测量》是全国交通高级技工学校公路施工与养护专业通用教材之一,内容包括:绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差基本知识、地形图的测绘和应用、公路中线测量、路线纵横断面测量、全站仪与GPS测量、施工放样测量、桥梁和隧道施工测量等。

参加本书编写工作的有:安徽省公路技工学校王学兰(编写单元一、二),北京市路政局技工学校翟兴旺(编写绪论,单元三、十一),山西交通高级技工学校崔宇峰(编写单元四、六、八、十二),甘肃交通职业技术学院马铭(编写单元五的课题一,单元九),山东公路高级技工学校徐霄鹏(编写单元五的课题二、三,单元七、十)。全书由徐霄鹏担任主编,内蒙古交通学校田福平担任主审。

本套教材在交通技工教育研究会理事长卢荣林的指导下进行,在编写过程中,得到了全国16个省市的交通技工学校领导的大力支持和帮助,共有60余名公路类专业教师参与了教材的编审工作,在此表示感谢。

由于我们的业务水平和教学经验有限,书中有不妥之处,恳切希望使用本书的教师和读者批评指正。

交通职业教育教学指导委员会公路类(技工)学科委员会  
交通技工教育研究会公路专业委员会

二〇〇五年八月

# 目 录

## CONTENTS

|                  |     |
|------------------|-----|
| 绪论               | 1   |
| 单元一 水准测量         | 8   |
| 课题一 水准测量的工具及使用   | 8   |
| 课题二 普通水准测量       | 15  |
| 课题三 水准仪检验与校正     | 23  |
| 单元二 角度测量         | 28  |
| 课题一 水平角测量        | 28  |
| 课题二 竖直角观测与视距测量   | 41  |
| 课题三 经纬仪的检验与校正    | 46  |
| 单元三 距离测量与直线定向    | 51  |
| 单元四 测量误差基本知识     | 62  |
| 单元五 控制测量         | 70  |
| 课题一 导线控制测量       | 70  |
| 课题二 小三角测量        | 94  |
| 课题三 高程控制测量       | 104 |
| 单元六 地形图的测绘和应用    | 113 |
| 课题一 地形图的测绘       | 113 |
| 课题二 地形图的应用       | 128 |
| 单元七 公路中线测量       | 135 |
| 课题一 公路测量基本技术内容   | 135 |
| 课题二 路线定线测量       | 136 |
| 课题三 圆曲线的测设       | 145 |
| 课题四 虚交、回头曲线与复曲线  | 155 |
| 课题五 缓和曲线的测设      | 164 |
| 单元八 路线纵横断面测量     | 172 |
| 课题一 公路纵断面测量      | 172 |
| 课题二 横断面测量        | 182 |
| 单元九 全站仪与 GPS 测量  | 189 |
| 课题一 全站仪及其基本操作    | 189 |
| 课题二 全站仪在公路工程中的应用 | 200 |
| 课题三 GPS 测量       | 214 |
| 单元十 施工放样测量       | 222 |

|             |                        |            |
|-------------|------------------------|------------|
| 课题一         | 施工放样的基本方法·····         | 222        |
| 课题二         | 路线中线的施工放样·····         | 229        |
| <b>单元十一</b> | <b>桥梁施工测量·····</b>     | <b>238</b> |
| 课题一         | 桥轴线长度的确定及控制测量·····     | 238        |
| 课题二         | 墩台中心定位及轴线测设·····       | 243        |
| 课题三         | 桥梁细部放样·····            | 251        |
| <b>单元十二</b> | <b>隧道测量·····</b>       | <b>256</b> |
| 课题一         | 洞外控制测量·····            | 256        |
| 课题二         | 洞内控制测量·····            | 262        |
| 课题三         | 隧道施工测量和竣工测量·····       | 268        |
| 课题四         | 隧道贯通精度的预计·····         | 273        |
| <b>附录</b>   | <b>测量中常用的度量单位·····</b> | <b>279</b> |
| <b>参考文献</b> | <b>·····</b>           | <b>281</b> |



## 绪 论

### 【知识目标】

1. 了解公路工程测量在公路建设中的作用;
2. 掌握用水平面代替水准面的限度;
3. 掌握基准面、确定点位的坐标系和点的高程等概念;
4. 掌握测量的基本原则。



### 公路工程测量在公路建设中的作用

#### 1. 测量学的分类

测量学是一门研究地球的形状、大小和确定地表(包括地面、空中、地下、海洋等)物体的几何形状以及位置的科学。按照研究的对象、采用的技术手段和应用的不同可分为以下几个学科。

##### 1) 大地测量学

大地测量学是研究地球的形状、大小以及在广阔地面上建立国家大地控制网的理论、技术和方法的科学,是整个测量学的基础理论学科。大地测量学又可分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

##### 2) 普通测量学

普通测量学是研究地球表面较小区域内测量的理论、技术和方法的科学。在测绘过程中不考虑地球曲率的影响,并可根据需要建立小区域的控制网,测绘时可以用平面代替地球曲面。普通测量学应用于测绘各种比例尺的地形图及进行一般的施工测量。

##### 3) 摄影测量学

摄影测量学是研究利用摄影或遥感技术确定物体的形状、大小及空间位置的科学。按摄影方式的不同,可分为航空摄影测量、地面摄影测量、航天摄影测量及水下摄影测量等。

##### 4) 工程测量学

工程测量学是研究各种工程建设在勘测设计、施工放样、竣工验收和运行管理各阶段中所进行的各种测量的理论、技术和方法的科学。根据研究对象的不同,可分为建筑工程测量、线路工程测量、桥涵隧道工程测量和矿山工程测量等。

##### 5) 海洋测量学

海洋测量学是研究地球表面水体(江、河、湖和海洋)、港口、航道及水下地貌等测量的理论、技术和方法的科学。



## 6) 地图制图学

地图制图学是研究利用测量成果制作各种地图的理论、原理、工艺技术和应用的科学。其研究内容包括地图编制、地图投影学、地图整饰及电子地图的制作与应用。

### 2. 测量工作在工程建设中的主要任务

#### 1) 测绘大比例尺地形图

把工程建设区域内的地貌和各种地物的几何形状及其空间位置按照规定的符号和比例尺绘制成图,并把工程建设所需的数据用数字表示出来,为规划设计提供依据。

#### 2) 施工放样和竣工测量

把图纸上设计的建(构)筑物按照设计要求在施工现场标定出来,为施工提供依据;在工程施工中进行各种施工测量以确保施工质量。工程竣工后进行竣工测量,为工程验收、日后扩建和维修管理提供资料。

#### 3) 变形观测

对于一些重要建(构)筑物,在施工和运营期间,定期进行变形观测,以了解建(构)筑物的变形规律,监视其安全施工和运营。

由此可见,测量工作贯穿于工程建设的全过程,其工作质量直接关系到工程建设的速度和质量。

### 3. 公路工程测量在公路建设中的作用

公路工程测量是测量学的一个重要的组成部分,它在公路工程建设的各个阶段都起了重要的作用。

#### 1) 勘测设计阶段

在勘测设计阶段,主要是根据测量得到的数据资料进行路线选线,并进行路线的详细测设,以便为路线设计提供准确、详细的外业资料。

当路线跨越河流时,在拟设置桥梁之处,测绘河流两岸的地形图,测定桥轴线的长度以及桥位处的河床断面,为桥梁设计方案的选择及结构设计提供必要的数

据。当路线穿越高山采用隧道工程时,测绘隧址处地形图,并测定隧道的轴线、洞口、竖井等的位置,为隧道设计提供必要的数

#### 2) 施工阶段

在施工阶段,首先是将设计图纸中表征路线、桥涵和隧道的各项几何元素,按规定的精度,采用先进的方法准确无误地测设于实地,以及在工程施工过程中,经常通过各种不同的测量来检查工程的进度和质量。

#### 3) 竣工阶段

工程竣工后,主要用测量来检查竣工情况,即进行竣工验收,编绘竣工图纸,以满足公路工程的使用、管理、维修以至扩建的需要。

#### 4) 运营阶段

在投入使用后的运营阶段,工程测量的作用是进行一些常规检查和定期进行变形观测,以确保道路、桥梁和隧道等构造物的安全使用。

综合以上可以看出,在道路、桥梁、隧道的勘测设计、施工、竣工及养护维修的各个阶段都离不开测量技术,都需要利用测量提供的资料和图纸进行规划设计,并通过测量来配合各项工



程的施工,以保证设计意图正确执行。

## 平面直角坐标系和点的高程

### 1. 地面点的定位体系

#### 1) 基准面

测量工作是在地球表面上进行的,然而地球的自然表面起伏不平,既有高山深谷又有湖泊海洋,这就给测量工作带来了许多困难。为了使测量工作能够按照一定的技术标准进行,就需要有一个能够确定地面点位和计算高程的基准面。

就整个地球来讲,由于海洋的面积占据了地球表面的 71%,所以在确定基准面时,可以假想在某一瞬时海洋面处于静止状态,并设想把静止不动的海平面向陆地延伸,这时便形成一个闭合的曲面,我们把这个曲面称为水准面。与水准面相切的平面则称为水平面。由于静止的水面都是水准面,所以水准面可以有无数个,我们把其中通过平均海水面的那个水准面称为大地水准面。由大地水准面所围成的几何形体称为大地体。水准面的特点是面上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面。大地水准面就是测量工作的基准面。

由于地球内部质量分布不均匀,引起地面各点铅垂线方向的变化没有一定的几何规则,以致大地水准面的形状相当复杂,是一个不规则的曲面。为便于计算和制图,测量学上就选用一个与大地水准面非常接近而又规则的数学曲面来代替大地水准面,如图 0-0-1 所示。这个数学形体是椭圆  $PQP_1E$  绕其短轴  $PP_1$  旋转而成的旋转椭球体,又称地球椭球体,测量学上就把这个与大地体很接近的旋转椭球体作为地球的参考形状和大小,称为参考椭球,其大小和形状通常用长半径  $a$  短半径  $b$  和扁率  $\alpha$  来表示。目前,中国采用了 1979 年第 17 届国际大地测量与地球物理联合会的推荐值:

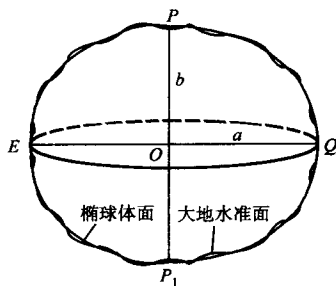


图 0-0-1

$$a = 6378.137\text{km}$$

$$b = 6356.752\text{km}$$

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.257}$$

在测量学的有关计算中,为了在精度许可的条件下便于计算,可把地球近似地看成圆球体,并取地球半径的近似值为  $R = \frac{2a+b}{3} \approx 6371\text{km}$ ,此值已能满足一般工程测量的精度要求。

#### 2) 确定点位的坐标系

确定地球上某一点的位置,就是要求出它对于大地水准面的关系。在测量工作中通常是用该点在大地水准面上的投影位置和该点沿铅垂方向到大地水准面的距离来确定。确定某点的投影位置则用到坐标系。

##### (1) 地理坐标

当研究整个地球的形状或进行大区域的测量工作时,可采用球面坐标系统。球面坐标系统是用经度和纬度来表示的,称为地理坐标。



图 0-0-2

通过地面上某一点的子午面和首子午面所夹的角,称为经度,以  $\lambda$  表示,以首子午线经度为  $0^\circ$ ,向东  $0^\circ \sim 180^\circ$  为东经、向西  $0^\circ \sim 180^\circ$  为西经。通过该点的铅垂线和赤道平面所夹的角度称为该点的纬度,以  $\varphi$  表示,以赤道纬度为  $0^\circ$ ,向北  $0^\circ \sim 90^\circ$  称为北纬,向南  $0^\circ \sim 90^\circ$  称为南纬。例如北京的地理坐标为:东经  $116^\circ 28'$

### (2) 独立平面直角坐标

当测区范围较小时可将大地水准面看作平面,可在该面上建立平面直角坐标系,如图0-0-3所示。地面点在大地上水准面上的投影位置就可以用平面直角坐标系中的坐标值来确定。

独立平面直角坐标是在平面上由两条互相垂直的轴线组成的,其交点  $O$  为坐标原点,并规定南、北方向的纵轴作为  $X$  轴,自坐标原点向北为正,向南为负;东、西方向的横轴作为  $Y$  轴,自坐标原点向东为正,向西为负;坐标象限从北方向按顺时针方向编号。点的平面位置可由点到纵横坐标轴的垂直距离来确定。图中  $N$  点的坐标是以  $N$  点到纵横坐标轴的垂直距离  $NN''$  和  $NN'$  来表示的。 $NN''$  是  $N$  点的纵坐标,用  $X_N$  表示; $NN'$  是  $N$  点的横坐标,用  $Y_N$  表示。

测量上的平面直角坐标系与数学上的平面直角坐标系的坐标轴的规定不同,因为测量工作中规定所有直线的方向都是从纵轴北端顺时针方向量度的,这样规定既不改变数学公式,又便于测量上的方向和坐标计算。

## 2. 点的高程

高程是指地面上任意一点到水准面的铅垂距离。高程可分为相对高程和绝对高程,如图 0-0-4 所示。

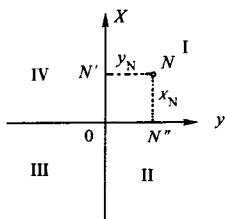


图 0-0-3

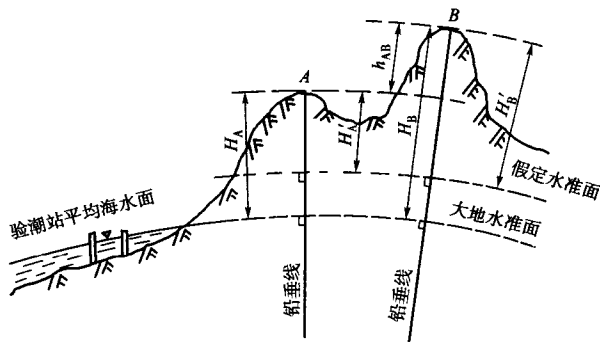


图 0-0-4

相对高程是指地面上一点到假定水准面的铅垂距离,又称假定高程。



绝对高程是指地面上一点到大地水准面的铅垂距离,又称为海拔。

目前中国采用的是“1985 国家高程基准”。这个大地水准面是以青岛验潮站 1952 年至 1979 年所测定的黄海平均海面作为全国高程的统一起算面,并推得青岛水准原点的高程为 72.260m,全国各地的高程则以它为基准进行测算。1987 年 9 月以前使用的是“1956 国家高程基准”,其青岛水准原点的高程为 72.289m。

高差是指两点高程之差。在图 0-0-4 中, $A$ 、 $B$  两点的绝对高程为  $H_A$ 、 $H_B$ ,两点的相对高程为  $H'_A$ 、 $H'_B$ ,则  $A$ 、 $B$  两点的高差为

$$A、B \text{ 两点的绝对高差为: } h_{AB} = H_B - H_A \quad (0-0-1)$$

$$A、B \text{ 两点的相对高差为: } h'_{AB} = H'_B - H'_A \quad (0-0-2)$$

$$\text{由图 0-0-4 可以看出} \quad h_{AB} = h'_{AB}$$

### 测量的基本原则

#### 1. 测量的基本工作

测量工作的基本内容是确定地面点的位置,它有两方面的含义:一方面是通过测量工作将地面点的实际位置用坐标和高程表示出来;另一方面是根据地面点的设计坐标和设计高程将其在实地上的位置标定出来。要完成上述任务,通常是首先确定未知点与已知点之间的几何位置关系,然后再推算出未知点的坐标和高程。如图 0-0-5 所示, $a$ 、 $b$ 、 $c$  为地

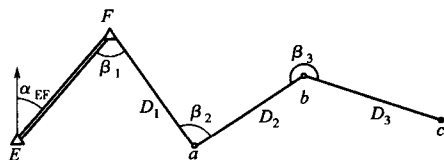


图 0-0-5

面点在水平面上的投影位置,若要确定这三点的坐标和高程,则应首先测定相邻点间的距离  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ ,水平角  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$  和高差  $h_{Fa}$ 、 $h_{ab}$ 、 $h_{bc}$ ,然后再根据已知点  $E$ 、 $F$  的坐标及高程来推算  $a$ 、 $b$ 、 $c$  各点的坐标和高程。

由此可见,距离、角度、高差是确定地面点位置的三个基本元素,而距离测量、角度测量、高差测量是测量的基本工作。

#### 2. 测量工作的原则和方法

在进行某项测量工作时,往往需要确定许多地面点的位置。假如从一个已知点出发,逐点进行测量和推导,这样将会使测量误差逐渐累积。这是因为测量中不论采用什么样的仪器和方法,测量成果中都会包含有误差,若用上述的方法测量,前一点的测量误差将会传递到下一点,最后虽然可得到欲测各点的位置,但是由于误差的积累,最后其精度可能达不到允许的要求。因此测量工作必须依照一定的原则和方法进行,以防止测量误差的积累,保证测量的精度。

在实际测量工作中遵循的原则是“从整体到局部,由高级到低级,先控制后碎部”。也就是首先在测区整体范围内选择一些有“控制”意义的点,把它们的坐标和高程精确地测定出来,然后再以这些控制点作为已知点来测定其他地面点(碎部点),即“先控制后碎部”。这种测量方法可以减少测量误差的积累,使整个测区的精度较为均匀和统一,而且可以同时多个控制点上同时进行测量,以加快测量进度。



#### 四 用水平面代替水准面的限度

在进行小测区的测量时,可以用水平面来代替大地水准面。为了使这种代替不超过测量误差的容许范围,则需要研究在多大的范围内才允许用水平面代替水准面。

为叙述方便,近似地认为大地水准面是圆球面,其半径为  $R=6371\text{km}$ 。在图 0-0-6 中,  $A、B、C$  为地球自然表面上的点,把它们投影到大地水准面上,得到  $a、b$  和  $c$  点。若将此三点再投影到以区域中心点  $A$  为中心的大地水准面的切平面上(即  $A$  点的水平面),得到  $a'、b'$  和  $c'$  点。

##### 1. 水平距离的变化及许可范围

由图 0-0-6 可知,用水平面上的长度  $D'$  代替大地水准面上的弧长  $D$  所产生的误差为

$$\begin{aligned}\Delta D &= D' - D = R \tan \theta - R \theta \\ &= R(\tan \theta - \theta)\end{aligned}$$

因为  $\tan \theta \approx \theta + \frac{\theta^3}{3}$  ( $\tan \theta$  的级数展开式,因  $\theta$  角很小,已略去其高次项),所以  $\Delta D \approx$

$R\left(\theta + \frac{\theta^3}{3} - \theta\right)$ ,以  $\theta = \frac{D}{R}$  代入上式,则

$$\Delta D \approx \frac{D^3}{3R^2} \quad (0-0-3)$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} \approx \frac{D^2}{3R^2} \quad (0-0-4)$$

上式中  $\frac{\Delta D}{D}$  通常称为相对误差,相对误差通常以分子为 1 的分式表示。若以  $R=6371\text{km}$  和不同的  $D$  值代入上式右边,即可得到各对应的距离误差与该距离之比值。当  $D$  分别等于  $50\text{km}$ 、 $20\text{km}$ 、 $10\text{km}$  和  $5\text{km}$  时,距离误差分别为  $102.7\text{cm}$ 、 $6.6\text{cm}$ 、 $0.8\text{cm}$  和  $0.1\text{cm}$ ,相对误差分别为  $1/48700$ 、 $1/304000$ 、 $1/1220000$  和  $1/4870000$ ,可见,当  $D=10\text{km}$  时,距离误差为  $0.8\text{cm}$ ,相对误差为  $1/1220000$ ,这在最精密的距离丈量中也是允许的,因而在半径为  $10\text{km}$  的范围内用水平面代替水准面产生的距离误差可以忽略不计,即可以不考虑地球曲率对距离的影响。

##### 2. 高程的变化及许可范围

在图 0-0-6 中,  $B$  点对水平面的高程为  $Bb'$ ,对水准面的高程为  $Bb$ ,则用水平面代替水准面产生的高程误差为  $\Delta h = b'b$ , 于是

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

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

上式分母中,  $\Delta h$  与  $2R$  相比可以忽略不计,再以  $D$  代替分子中的  $D'$ ,则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (0-0-5)$$

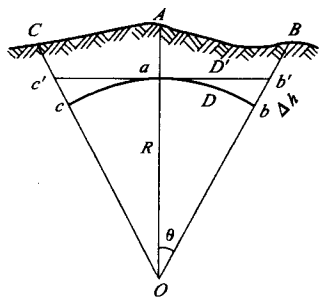


图 0-0-6



当  $D$  分别为 0.2km、1km 和 2km 时,代入式(0-0-5),求得相应的  $\Delta h$  分别为 3mm、8cm 和 31cm。可见,用水平面代替水准面对高程的影响在较小范围内也不能忽略,因此在高程测量中即使是距离很短也必须考虑地球曲率对高程的影响,也即地面点的高程一定要从大地水准面起算。



## 单元一 水准测量

### 【知识目标】

1. 掌握水准测量的基本原理;
2. 了解水准测量的路线;
3. 熟练掌握水准测量成果的整理方法。

### 【能力目标】

1. 掌握水准仪的构造和使用方法;
2. 能够熟练地进行水准测量;
3. 能够对水准仪进行检验与校正;
4. 具备分析和处理水准测量误差的能力;
5. 掌握水准测量的注意事项。

## 课题一 水准测量的工具及使用

### 一、水准测量的基本原理

水准测量的原理就是利用水准仪提供的一条水平视线并借助水准尺来测定地面两点间的高差,根据测得的高差再由已知点的高程推算出未知点的高程。

如图 1-1-1 所示,  $A$ 、 $B$  为地面上两点,已知  $A$  点的高程为  $H_A$ ,欲求  $B$  点的高程  $H_B$ ,其测量步骤如下:

(1) 安置水准仪于  $A$ 、 $B$  两点之间,并在  $A$ 、 $B$  两点上分别竖立水准尺。

(2) 调整水准仪于精确水平状态,然后分别照准  $A$ 、 $B$  两点上的水准尺,并在  $A$ 、 $B$  两水准尺上读取  $a$ 、 $b$  读数。

(3) 计算  $A$ 、 $B$  两点间的高差  $h_{AB}$ 。由图可知

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

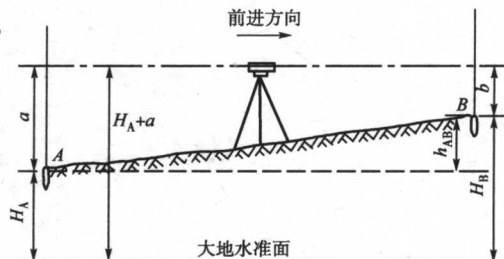


图 1-1-1



式中: $a$ ——已知高程点上的水准尺的读数,称为后视读数;

$b$ ——未知高程点上的水准尺的读数,称为前视读数;

当 $a > b$ 时, $h_{AB}$ 为正值,表示 $B$ 点高于 $A$ 点;

当 $a < b$ 时, $h_{AB}$ 为负值,表示 $B$ 点低于 $A$ 点。

(4)由测得的高差和已知点 $A$ 的高程,计算未知点 $B$ 点的高程

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (1-1-2)$$

在实际工作中,也可先求出水准仪的视线高,再计算 $b$ 点高程。即

$$\text{水准仪视线高为: } H_i = H_A + a \quad (1-1-3)$$

$$B \text{ 点高程为: } H_B = H_i - b \quad (1-1-4)$$

水准测量是测定地面点高程的最精确的方法,也是工程测量中最常用的方法。

## 二、水准仪的构造和使用

水准仪是水准测量的仪器,按照水准仪精度的不同可分为 $DS_{0.5}$ 、 $DS_1$ 、 $DS_3$ 和 $DS_{10}$ 四个等级,其中 $D$ 和 $S$ 分别代表大地测量和水准仪,0.5、1、3、10是指该仪器水准测量时每公里往、返测得的高差中数的偶然中误差值,以 $mm$ 计。 $DS_3$ 型水准仪是工程中常用的仪器。

### 1. $DS_3$ 型水准仪的构造

$DS_3$ 型水准仪主要由望远镜、水准器和基座三部分组成,图1-1-2为我国生产的 $DS_3$ 型微倾式水准仪。



图 1-1-2

### 1) 望远镜

望远镜的主要作用是使测量者能看清远处的目标,并能提供一条照准目标读数用的视线。

图1-1-3是 $DS_3$ 型微倾式水准仪上的望远镜的构造略图,它主要由物镜、目镜、对光透镜和十字丝分划板组成。

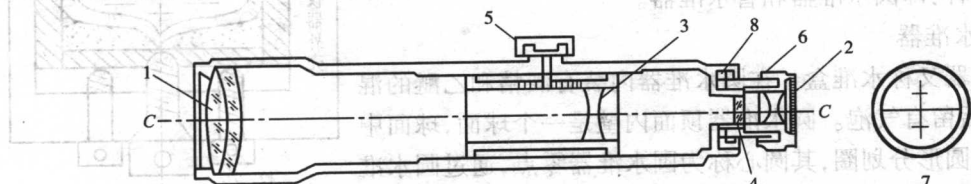


图 1-1-3

1-物镜;2-目镜;3-对光凹透镜;4-十字丝分划板;5-物镜对光螺旋;6-目镜对光螺旋;7-十字丝放大像;8-分划板座止头螺旋



图 1-1-4 是望远镜的构造原理图。观测的目标  $AB$  经过物镜后形成一个倒立而缩小的实像  $ab$ , 移动对光凸透镜可使不同距离的目标均能成像在十字丝平面上。目镜的作用是放大, 人眼经过目镜去观察, 便可看清同时放大的十字丝和目标影像  $a_1b_1$ 。十字丝的作用是提供照准目标的指标线。

为了提高望远镜成像的质量, 物镜、对光透镜和目镜都是由多块透镜组合而成。从望远镜内所看到的目标影像的视角与肉眼直接观察该目标的视角之比, 称为望远镜的放大率, 也就是人眼通过目镜看到的像的大小与人眼直接看到目标大小之比, 它是鉴别望远镜质量的主要指标之一, 反映了望远镜的分辨能力。DS<sub>3</sub> 型水准仪望远镜放大率一般为 28 倍。

十字丝是在玻璃板上画线后, 装在十字丝环上, 再通过校正螺丝固定在望远镜镜筒上。十字丝的构造和形式如图 1-1-5 所示。

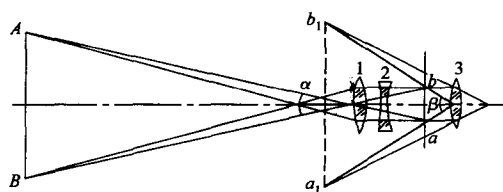


图 1-1-4

1-凸透镜;2-凹透镜;3-凸透镜

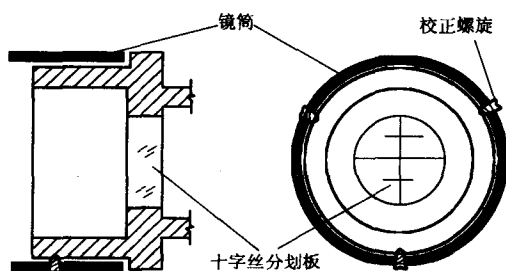


图 1-1-5

在十字丝分划板上刻有两条互相垂直的长线, 竖直的一条称为竖丝, 横的一条称为中丝, 中丝是瞄准目标和读取读数用的。在中丝的上下方分别刻有两条互相平行的短线, 称为视距丝, 可用来测量距离, 上面的短线称为上丝, 下面的短线称为下丝。十字丝中央交点和物镜光心的连线称为视准轴。

为了控制望远镜的水平转动以使视准轴方便的精确对准目标, 在水准仪上一般都装有一套制动螺旋和水平微动螺旋。当拧紧制动螺旋时, 望远镜在水平方向不能转动, 此时如果转动水平微动螺旋, 可使望远镜做微小转动, 以便于精确照准目标。当制动螺旋松开时, 微动螺旋就失去作用了。

微倾螺旋可使望远镜连同管水准器作微量的倾斜, 从而使视线精确水平。

## 2) 水准器

水准器是用来标志竖轴是否铅垂、视线是否水平的装置。水准器有两种: 即圆水准器和管水准器。

### (1) 圆水准器

圆水准器又称水准盒。在圆水准器内装有酒精和乙醚的混合液, 密封后留有气泡。圆水准器顶面内壁是一个球面, 球面中心刻有一个圆形分划圈, 其圆心称为圆水准器零点, 通过圆水准器球面零点的法线称为圆水准器轴线。当气泡居中时, 圆水准器轴线就处于铅垂位置, 如图 1-1-6 所示。

当圆水准器气泡中心偏离零点 2mm 时, 圆水准器轴线相应

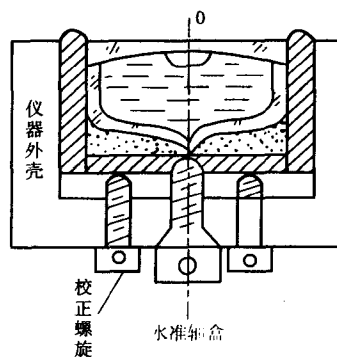


图 1-1-6