

SHUILI GONGCHENG CELIANG

# 水利工程 测量

石雪冬 杨 波 主编  
王金玲 主审



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

SHUILI GONGCHENG CELIANG

# 水利工程测量

主 编 石雪冬 杨 波

副主编 张保民 陈树镇 李桂珍

参 编 徐卫卓 金 莹

主 审 王金玲



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书是水利工程测量专业教学改革配套教材, 主要内容包括测量的基础知识、地形图的认识与使用, 水准测量、角度测量、距离测量、导线测量、高程控制测量、地形图的测绘、渠道测量、全站仪的使用、水工建筑物和水库施工测量、水工建筑物的变形观测、工业与民用建筑施工测量、误差理论等。

本书可作为水利水电建筑工程专业及相关专业岗位人员的教材或参考书, 也可供水利工程技术人員学习和参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

水利工程测量/石雪冬, 杨波主编. —北京: 中国电力出版社, 2011. 5  
ISBN 978-7-5123-1680-5

I. ①水… II. ①石… ②杨… III. ①水利工程测量 IV. ①TV221

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 087155 号

中国电力出版社出版发行

北京市东城区北京站西街 19 号 100005 [http: //www. cepp. sgcc. com. cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn)

责任编辑: 王晓蕾 电话: 010-63412610

责任印制: 郭华清 责任校对: 常燕昆

北京市铁成印刷厂印刷·各地新华书店经售

2011 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·14.125 印张·343 千字 1 插页

定价: 36.00 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

**版权专有 翻印必究**

本社购书热线电话 (010-88386685)

# 前 言

水利水电建筑工程专业是广东省示范专业,是“广东省教育财政专项资金”项目,“水利工程测量”是水利水电建筑工程专业的核心课程之一。按照项目建设方案,“水利工程测量”课程的培养目标是培养水利行业的施工、管理、监理、测量的高级技能人才,使学生在掌握普通经纬仪、水准仪、全站仪的基础上能够从事库区地形图的测绘,渠道、道路的测量与施工,水工建筑物的变形观测,大坝的测量与施工,土方计算与工程造价,地形图上点的坐标测量,利用地形图确定水库汇水面积等。

笔者从2006年开始就致力于“水利工程测量”课程的教学改革探索,在课程的内容、教学方法、教学手段、考核方法和教学资源等方面都做了一定程度的改革与完善。“水利工程测量”在2007年被评为广东省省级精品课程。经过5年的教学实践,教学内容不断完善。本课程参考了水利工程建设的全过程,从初步设计到竣工所用到的测量原理与方法中提炼出五个工作任务用于日常的教学,这五个任务分别是:地形图的识读应用、库区地形测量、渠道测量、大坝施工放样、水工建筑物变形观测。教材的内容经过整合后会同以往教科书的内容在顺序上有所区别,同时,对现代测量中不用或少用的测量方法和手段的内容做了部分删减,一些内容放到了“知识链接”部分,供学生选读,并在个别章节中加入了案例。本书是根据课程改革方案和工学结合的基本思想编写的,注重水利工程测量的工程实际,体现行业对人才的需求,重点突出基本知识和基本技能的训练,体现“够用为度”的特点,同时考虑到土木类专业学生用书的需要,在上述五个工作任务之外加入了工业与民用建筑施工测量章节。误差理论不列入工作任务,单独列在最后一章。

本教材由广东水利电力职业技术学院石雪冬主持编写,由湖北水利水电职业技术学院王金玲主审。全书共14章,编写分工为:1~4章由石雪冬编写,第5章由扶余县职业技术中心李桂珍编写,第6、10、11章由广东省水利电力勘测设计研究院杨波编写,第7、8章由广东水利电力职业技术学院陈树镇编写,第9、12章由广东水利电力职业技术学院张保民编写,第13章由湖北水利水电职业技术学院徐卫卓编写,第14章由武汉理工大学华夏学院金莹编写。在教材的编写过程中课程团队的其他老师也给予了大力支持,广东水利电力职业技术学院黄微老师在本书编写的过程中也提供了部分素材,在此表示最诚挚的谢意。

本书的内容体系尚属教学改革的尝试,由于编者的水平有限,不足之处在所难免,敬请广大读者对书中的缺点和问题提出宝贵意见,以便我们今后逐步完善。

编者

# 目 录

## 前言

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第1章 测量的基础知识                  | 1  |
| 1.1 测量的分类和应用                 | 1  |
| 1.2 地面点位的确定                  | 2  |
| 知识链接1 罗盘仪的构造与磁方位角的确定         | 8  |
| 知识链接2 陀螺经纬仪与直线真子午线方位角的确定     | 10 |
| 小结                           | 12 |
| 习题                           | 12 |
| 第2章 地形图的认识与使用                | 13 |
| 2.1 大比例尺地形图的识读               | 13 |
| 2.2 地形图的分幅与编号                | 17 |
| 2.3 地形图应用的基本内容               | 20 |
| 2.4 地形图在水利水电工程建设中的应用         | 21 |
| 2.5 在地形图上量测面积                | 23 |
| 小结                           | 29 |
| 习题                           | 29 |
| 第3章 水准测量                     | 30 |
| 3.1 水准测量原理                   | 30 |
| 3.2 水准测量的仪器、工具及其使用方法         | 31 |
| 3.3 水准测量的方法和要求               | 33 |
| 知识链接1 水准仪的检验和校正              | 39 |
| 知识链接2 自动安平水准仪及精密水准仪和数字水准仪简介  | 42 |
| 小结                           | 44 |
| 习题                           | 44 |
| 第4章 角度测量                     | 45 |
| 4.1 水平角测量原理                  | 45 |
| 4.2 DJ <sub>6</sub> 型光学经纬仪   | 45 |
| 4.3 DJ <sub>2</sub> 型光学经纬仪简介 | 47 |
| 4.4 水平角测量                    | 48 |
| 4.5 竖直角测量                    | 52 |
| 4.6 经纬仪角度测量的误差来源与消减方法        | 54 |
| 知识链接1 经纬仪的检验与校正              | 55 |
| 知识链接2 激光经纬仪简介                | 57 |
| 知识链接3 电子经纬仪简介                | 57 |
| 小结                           | 59 |
| 习题                           | 59 |
| 第5章 距离测量                     | 61 |
| 5.1 钢尺量距                     | 61 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 5.2 视距测量               | 63  |
| 知识链接 1 钢尺量距的精密方法       | 65  |
| 知识链接 2 光电测距仪简介         | 66  |
| 小结                     | 68  |
| 习题                     | 68  |
| <b>第 6 章 导线测量</b>      | 69  |
| 6.1 导线测量概述             | 69  |
| 6.2 导线测量的布设形式          | 69  |
| 6.3 导线测量的外业工作          | 70  |
| 6.4 导线测量的内业计算          | 76  |
| 6.5 导线实测案例             | 82  |
| 小结                     | 87  |
| 习题                     | 87  |
| <b>第 7 章 高程控制测量</b>    | 90  |
| 7.1 高程控制测量概述           | 90  |
| 7.2 水准测量               | 90  |
| 7.3 三角高程测量             | 93  |
| 小结                     | 95  |
| 习题                     | 96  |
| <b>第 8 章 地形图的测绘</b>    | 97  |
| 8.1 测图前的准备工作           | 97  |
| 8.2 地形图的测绘方法           | 99  |
| 8.3 地貌的测绘方法            | 106 |
| 8.4 地形图的拼接、整饰、检查、清绘和验收 | 110 |
| 8.5 数字化测图概述            | 111 |
| 小结                     | 114 |
| 习题                     | 115 |
| <b>第 9 章 渠道测量</b>      | 116 |
| 9.1 渠道选线测量             | 116 |
| 9.2 中线测量               | 118 |
| 9.3 纵断面测量              | 119 |
| 9.4 横断面测量              | 123 |
| 9.5 土方量计算              | 125 |
| 9.6 渠道边坡放样             | 127 |
| 小结                     | 129 |
| 习题                     | 129 |
| <b>第 10 章 全站仪的使用</b>   | 131 |
| 10.1 全站仪的概念            | 131 |
| 10.2 全站仪的组成            | 132 |
| 10.3 全站仪的分类            | 133 |
| 10.4 全站仪的原理            | 134 |

|               |                     |            |
|---------------|---------------------|------------|
| 10.5          | 全站仪的误差              | 136        |
| 10.6          | 全站仪使用注意事项           | 137        |
| 10.7          | 全站仪的使用              | 140        |
|               | 知识链接 全站仪的检验和校正      | 148        |
|               | 小结                  | 151        |
|               | 习题                  | 151        |
| <b>第 11 章</b> | <b>水工建筑物和水库施工测量</b> | <b>152</b> |
| 11.1          | 概述                  | 152        |
| 11.2          | 施工测量的基本工作           | 153        |
| 11.3          | 大坝施工测量              | 159        |
| 11.4          | 水闸施工测量              | 166        |
| 11.5          | 水库淹没界线测量            | 167        |
|               | 小结                  | 169        |
|               | 习题                  | 169        |
| <b>第 12 章</b> | <b>水工建筑物的变形观测</b>   | <b>171</b> |
| 12.1          | 概述                  | 171        |
| 12.2          | 水平位移观测              | 173        |
| 12.3          | 垂直位移观测              | 176        |
| 12.4          | 挠度观测                | 180        |
|               | 小结                  | 182        |
|               | 习题                  | 182        |
| <b>第 13 章</b> | <b>工业与民用建筑施工测量</b>  | <b>183</b> |
| 13.1          | 建筑场地施工控制测量          | 183        |
| 13.2          | 民用建筑施工测量            | 188        |
| 13.3          | 工业建筑施工测量            | 193        |
| 13.4          | 烟囱、水塔施工测量           | 197        |
| 13.5          | 竣工测量                | 199        |
|               | 小结                  | 200        |
|               | 习题                  | 200        |
| <b>第 14 章</b> | <b>误差理论</b>         | <b>202</b> |
| 14.1          | 测量误差基本知识            | 202        |
| 14.2          | 衡量精度的指标             | 204        |
| 14.3          | 误差传播定律              | 206        |
|               | 小结                  | 209        |
|               | 习题                  | 210        |
|               | 附录 《水利工程测量》课程教学标准   | 211        |
|               | 参考文献                | 217        |

# 第1章 测量的基础知识

## 1.1 测量的分类和应用

### 1.1.1 测量的分类

测量学是研究地球的形状和大小及空间点位的科学，它研究的对象是地球表面。测量学按具体的研究领域和应用范围可分为大地测量学、普通测量学、工程测量学、摄影测量学等。

#### 1. 大地测量学

研究大范围地区的控制测量和地形测量。由于人造卫星科学技术的发展，大地测量学又分为常规大地测量学与卫星大地测量学，后者是研究观测卫星确定地面点位，即GPS全球定位。

#### 2. 普通测量学

研究地球表面局部区域的测绘工作，主要包括小区域控制测量、地形图测绘和一般工程测设。通常所称的测量学就是指普通测量学。

#### 3. 工程测量学

研究各种工程在规划设计、施工放样和运营中测量的理论和方法。

#### 4. 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，以确定物体的形状、大小和空间位置等信息的理论和方法。

测量学的任务是测定和测设。

测定：指将地球表面的地物和地貌按一定比例尺缩小绘到图纸上，形成地形图。

测设：指将在地形图上设计好的构筑物和建筑物在实地标定出来。

### 1.1.2 测量在水利行业的应用

测量在水利行业的应用主要是地形图的测绘、剖面图的测绘、水利施工及建筑物放样等。

#### 1. 地形图的测绘

地形图表示地球表面局部地区的地貌和地物。在水利测量中，地形图又分为库区地形图、流域面积图、坝址区地形图、堆料场地形图、河流（渠道）带状地形图等类别。

（1）库区地形图。在库区地形图的基础上可绘出水位库容曲线和水位面积曲线，以便于查出不同水位的水面面积和水库蓄水量，并确定水库淹没范围。

（2）流域面积图。在地形图的基础上勾画出河流的分水线，即为流域面积图。该图主要用于计算坝址以上集水面积，以便计算水库的来水量和来沙量。

（3）坝址区地形图。坝址区地形图是在地形图的基础上绘制而成的。该图主要供水库的整体布置、施工场地布置以及地勘工作和填绘地质图使用。

（4）堆料场地形图。堆料场地形图是在地形图的基础上配合地质资料而绘制的。该图主



要摸清库区料场的分布范围及其储量使用。

上述各类地形图的测绘实质上也是地形图在各种情况下的应用,所以水利测量的一大任务就是地形图的测绘。

## 2. 剖面图的测绘

剖面图可直观地反映地表面的形状和走势。无论是计算土方量还是进行土坝脚定线、清基边线的定线,都需要剖面图。剖面图分为纵剖面图和横剖面图。剖面图的获得可通过实地测绘和在地形图上绘制两种途径。当然,实地测绘的剖面图的精度较高。

## 3. 水利施工及建筑物放样

地形测量是把实地的形状、地物的位置和大小表示到图纸上;而放样工作,则恰恰相反,它是将图纸上设计好的点、线、面的位置反映到实地上。

(1) 土坝的施工放样。土坝的施工放样包括坝轴线放样、清基边线的放样、坝脚定线、边坡放样、放水涵洞(坝下埋管)放样和溢洪道放样等。

(2) 隧道定线。隧道一般是两头掘进,要准确对向贯通,必须进行隧道中心线及定坡线的定向,以指导掘进。

(3) 中心线及轴线放样。进行坝的施工及渠道施工等需测设轴线或中心线定位。

(4) 建筑物放样。建筑物放样就是将图上设计好的建筑物准确地在实地找出相应的位置。

无论哪一种放样,都要将图上有关的点、线、面位置相应地表示在实地后打上标志桩,以指导施工。

## 4. 变形观测

在水利工程的运行管理初期应对某些大型的、重要的建筑物进行定期的变形观测,这种变形主要表现为水平和竖直方向的位移。若变形超过一定的限度,工程质量就得不到保证,甚至出现事故,因此在水利工程建设中变形观测占有重要地位。

水利工程测量的工作任务可概括为两大类,一是测图,二是放样。

# 1.2 地面点位的确定

地面点是构成地球表面的最小单位。我们知道,地球表面是高低不平的,最高点位于我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰,根据 2005 年 10 月 9 日国家测绘总局公布的最新数据,其高程为 8844.43m,而位于太平洋西部的马里亚纳海沟深达 11 022m。表达地面点的位置应以空间三维坐标表示,即  $X$ 、 $Y$ 、 $H$ ,  $X$ 、 $Y$  表示点位的平面坐标,  $H$  表示点的高度。在测量中,通过测量水平角和水平距离,就可确定点的平面位置  $X$ 、 $Y$ ; 测量高度即可确定点的高程。因此水平角、水平距离、高程是确定地面点位置的三个基本要素。

## 1.2.1 平面位置

### 1. 基准面

基准面就是地面点高程的起算面,测量中常用有水准面和大地水准面。

(1) 水准面。测量工作是在地球表面进行的,而地球的自然表面上海洋约占 71%,陆地约占 29%,因此可以设想以一个无潮汐和无风浪影响的水平面作为高程的起算面。这个自然静止的海水面称为水准面。但实际这个水准面并不是绝对静止的,由于受潮汐和风浪影



响,水位时高时低,因此水准面有无数个。由于地球内部质量的不均匀而使地球表面各点的引力不均匀,地球引力方向与水平面处处垂直,所以水平面实际是一个非常复杂的曲面。

(2) 大地水准面。经过多年的观测,在无数个水准面当中求得一个平均高度的水准面,称为大地水准面,如图 1-1 所示。大地水准面所包围的椭球体称为大地体。由于大地水准面是个非常复杂的曲面,测量学中用与大地水准面非常近似的椭球面(参考椭球面)代替大地水准面,作为理论与计算的基准面,这样大大简化了计算工作。我国曾规定采用青岛验潮站求得的 1956 年黄海平均海水面作为全国统一高程基准面,其绝对高度为零。凡由此基准面起算的高程统称为“1956 年黄海高程系统”。我国为了建立统一的高程系统,在青岛验潮站附近埋设一特制的固定标志,并用精密水准测量方法与验潮站上所求出的平均海水面位置进行联测,测出的高程,作为全国高程的起算点,称为水准原点。1956 年的水准原点高程是 72.289m,经过 20 多年的重新观测,我国自 1987 年开始使用新的高程基准,称为“1985 年国家高程基准”,新的高程基准的水准原点高程是 72.260m,比原来系统的高程低 0.029m。

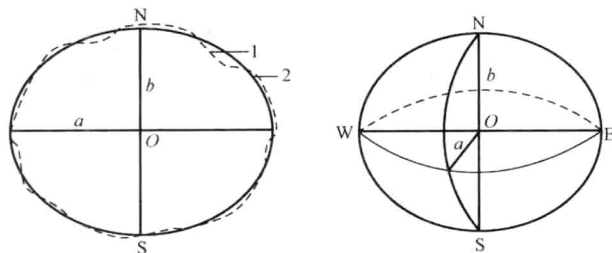


图 1-1 大地水准面

1—地球椭球面; 2—大地水准面

## 2. 地面点的坐标

测量学中常用的坐标有大地坐标、地心坐标、平面直角坐标。大地坐标是用大地经度和大地纬度表示的,常用于大地测量学当中。地心坐标系的原点设在椭球的中心,它与大地坐标系有一定的换算关系。在小地区的测量中,可将小区域的大地水准面看成水平面,地面点垂直投影在这个水平面上的位置可用平面直角坐标来表示。在水利工程测量中常用的坐标系为平面直角坐标系,这里仅就常用的平面直角坐标系介绍如下。

(1) 高斯平面直角坐标系。如果测量区域(简称测区)范围较大,就不能把大地水准面当做平面看待,必须采用适当的投影方法来解决这个问题。投影方法有多种,测量工作中通常采用的是高斯投影。为简单起见,把地球作为一个圆球看待,设想一个圆柱套在圆球外面,使圆柱的中心轴线通过圆球的中心,圆球面上一根子午线与圆柱相切,即这条子午线与圆柱重合。用这样的投影方法把地球分成若干范围不大的带进行投影,带的宽度一般分为经差  $6^\circ$ 、 $3^\circ$ 、 $1.5^\circ$  等几种,简称为  $6^\circ$  带、 $3^\circ$  带。取各带中间的一条子午线与圆柱相切,通常称为中央子午线。 $6^\circ$  带划分方法是:从首子午线(零子午线)开始,自西向东每隔  $6^\circ$  划为一带。以东半球为例,第一个  $6^\circ$  投影带的中央子午线是东经  $3^\circ$ ,第二带的中央子午线是东经  $9^\circ$ ,依次类推。对于  $3^\circ$  投影带来说,它从东经  $1^\circ 30'$  开始,每隔  $3^\circ$  为一个投影带,其第一带的中央子午线是东经  $3^\circ$ ,第二带的中央子午线是东经  $6^\circ$ ,依次类推,如图 1-2 所示。

中央子午线投影到圆柱上是一条直线,把这条直线作为平面直角坐标系的纵坐标轴即  $X$  轴;赤道面与圆柱的交线必然是与中央子午线垂直,将它作为平面直角坐标系的  $Y$  轴。将圆柱沿母线切开展平,在圆柱面上(即投影面上)形成两条互相正交的直线(图 1-3)。

这两条正交的直线相当于平面直角坐标系的纵横轴,这种坐标系称为高斯-克吕格坐标系,简称高斯坐标系,适用于大范围的测量工作。

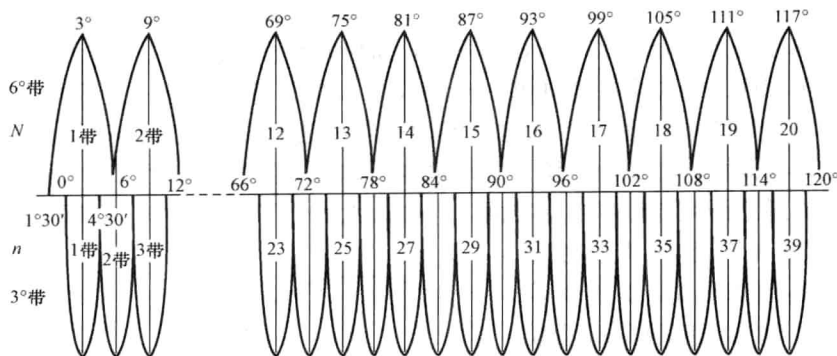


图 1-2 高斯投影带

我国位于北半球，故我国国土全部点位的  $X$  坐标值均为正值，而  $Y$  坐标值则有正有负 [图 1-4 (a)]。为了避免  $Y$  坐标值出现负值，我国规定将每带的坐标原点向西移 500km [图 1-4 (b)]。为了能正确区分某点所处投影带的位置，规定在横坐标  $Y$  值前加投影带号。如图 1-4 所示，图中 B 点位于高斯投影 6° 带，第 18 带号内 ( $N=18$ )，其实际横坐标值  $Y_b = -105\ 327.872\text{m}$ ，按照上述规定  $Y$  值应改写为  $Y_b = 18(-105\ 327.872 + 500\ 000) = 18\ 394\ 672.128\text{m}$ ；反之，从  $Y_b$  可以反求出该点的真正坐标，即  $Y_b = 394\ 672.128 - 500\ 000 = -105\ 327.872\ (\text{m})$ 。

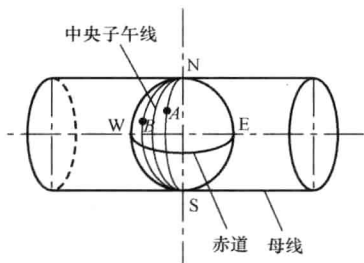


图 1-3 高斯投影

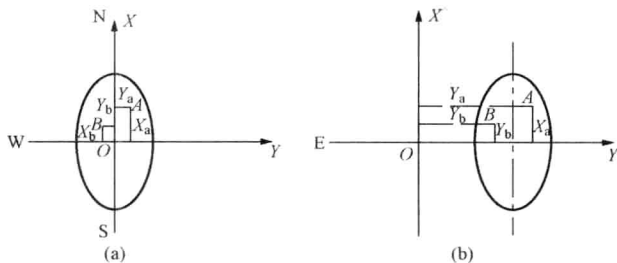


图 1-4 高斯平面直角坐标系

(2) 独立平面直角坐标。若测区范围较小 (如半径小于 10km)，可将该测区的大地水准面看成平面，直接将地面点沿铅垂方向投影到水平面上，用平面直角坐标系表示该点位置。在实际测量工作中，通常将独立平面直角坐标系的原点选在测区的西南角，使测区内的点的坐标均为正值。以北方向线为  $X$  轴正方向，与之垂直的东向为  $Y$  轴正方向 (图 1-5)。

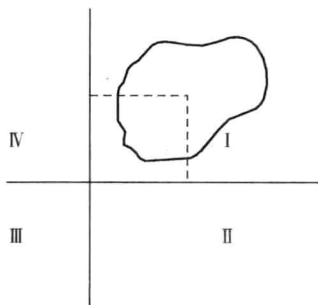


图 1-5 独立平面直角坐标系

### 1.2.2 地面点高程

何谓地面点高程？地面点到基准面的铅垂距离称为点的高程。地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程，又称为海拔，用  $H$  表示。因此，大地水准面的绝对高程等于零。在局部地区引用绝对高程有困难时，也可选定任意一个水准面作为高程的起算面。地面点到任意水准面的铅垂距离称为假定高程或相对高程，用  $H'$  表示 (图 1-6)。

两个地面点间的高程差称为高差，用  $h$  表示。图 1-6 中，地面点 A 与 B 之间的高差为

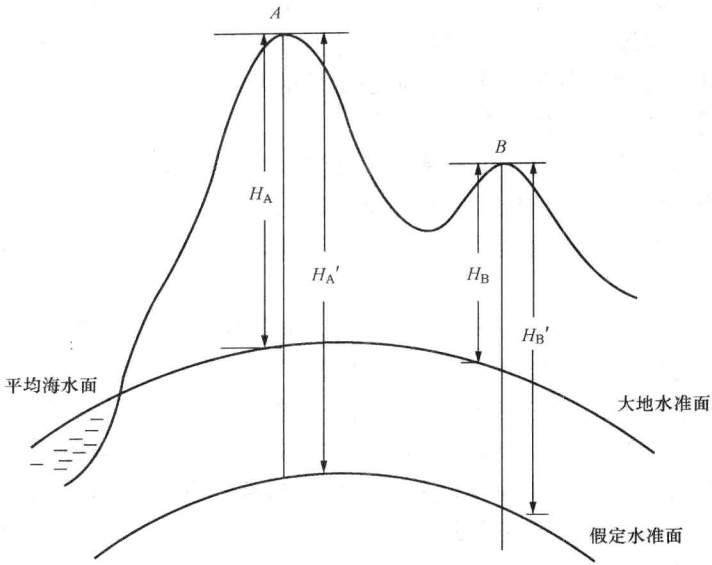


图 1-6 地面点的高程

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \tag{1-1}$$

由此可见，高差的大小与高程的起算面无关。

### 1.2.3 用水平面代替水准面对水平距离和高程的影响

前面讲过，小范围内测量时允许把该测区的水准面看成水平面，但随着测区面积的增大，由此产生的误差也增大，本节着重讨论用水平面代替水准面对水平距离和高程的影响。

#### 1. 对水平距离的影响

如图 1-7 所示，地面上有 A、B 两点，分别将其投影到水平面和大地水准面上。水平面上的投影长度为  $ab' = D'$ ，大地水准面上的投影为弧长  $ab = D$ ，二者之间的差值  $\Delta D$  即为用水平面代替水准面所产生的投影误差。根据理论公式  $\Delta D = D^3/3R^2$  ( $R = 6371\text{km}$ ) 可计算得到：当距离等于 10km 时误差为 0.82cm，目前最精密的测量方法也允许有这样的误差存在。因此，在半径 10km 的范围内测量，水平面代替水准面对水平距离产生的误差是可以忽略不计的。

#### 2. 对高程的影响

从图 1-7 可知，用水平面代替水准面所得 B 点高程为  $Bb'$  间的铅垂距离，B 点的真实高程为  $Bb$  间的铅垂距离，两段距离之差即为对高程的影响所带来的误差  $\Delta h$ 。根据理论公式  $\Delta h = D^2/2R$  ( $R = 6371\text{km}$ ) 可计算得：当距离为 1km 时高程误差 7.8cm。误差与距离的平方成正比，这在测量上是不允许的。因此，在高程测量中即使距离很短时也要考虑这一影响，采用适当的方法消减。

### 1.2.4 测量的基本工作及原则

#### 1. 测量的基本工作

测量的主要目的是确定点与点之间的相对位置，即确

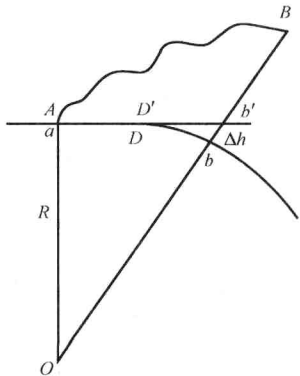


图 1-7 对水平距离和高程的影响

定点的平面位置和高程位置。在实际工作中常常不是直接测定点的坐标值和高程，而是观测点与点之间的距离、角度和高程差。因此，高差、角度和距离是确定地面点位置的三个基本要素，而高程测量、角度观测和距离丈量则是测量的基本工作。

测量工作按其性质可分为外业和内业两种。

外业工作的内容包括应用测量仪器和工具在测区内测绘地面点的相对位置，或者把已设计的建筑或构筑物的轴线按设计位置在地面上测设出来。

内业工作则是将外业观测的结果加以整理、计算，并绘制成图，以便于使用。

## 2. 测量工作的原则

测量工作的基本原则应该是：从整体到局部，先控制后碎部（细部）。

为了测定测区地面上各点的相对位置，要将房子、道路、耕地、山丘、树林地带等碎部测绘于图上，其做法如下：首先在测区内选定一些控制点如 A、B、C、…、M，将这些点连接成多边形或三角形等图形，以构成控制网，用较准确的方法和较精密的仪器测定控制点之间的距离、角度以及各点的高程差，并通过内业计算来确定这些点的平面位置和高程位置，然后根据控制点位置来确定其附近的碎部点（房子、道路、山岭、耕地等）的位置，这就是所谓的“先控制后碎部”的测量方法，如图 1-8 所示。这样做可以提高控制点位置的准确度，并使精度比较均衡。这不但可以减少碎部测量的误差的累积，而且可以分组，同时在各控制点上进行碎部测量，以加速工作、提高效率。

### 1.2.5 直线定向

在测量中，为了确定点与点之间的相对位置，仅仅知道两点间的距离是不够的，还需知道这两点的连线的方向。测量学中，一条直线不仅有长短，还有方向，其方向是根据标准方向确定的。确定一条直线与标准方向的关系称为直线定向。测量学中常用的标准方向为三北方向，即真子午线方向、磁子午线方向和坐标纵轴方向。

#### 1. 三北方向

(1) 真子午线方向。通过地面一点指向地球南北两极的方向就称为该点的真子午线方向。

(2) 磁子午线方向。在地面点上放置磁针，磁针静止时所指的方向即为磁子午线方向。

由于地球两磁极与其南北两极并不重合，地面上任意点的真子午线与磁子线方向是不一致的，两方向间的夹角称为磁偏角。磁子午线北端在真子午线以东称为东偏，磁偏角取“+”；以西为西偏，取“-”，如图 1-9 所示。



图 1-8 先控制后碎部

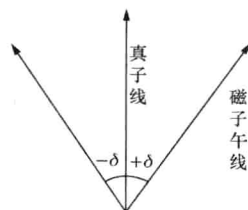


图 1-9 磁偏角

(3) 坐标纵轴方向。即平面直角坐标的 Y 轴方向。

#### 2. 方位角、象限角及其相互关系

在测量学中，一条直线的方向是用方位角或象限角来表示的。

(1) 方位角。从标准方向的北端顺时针量到该直线的水平夹角称为该直线的方位角，用

$\alpha$  表示，直线的方位角有三种，即真方位角、磁方位角和坐标方位角。

- 1) 真方位角。从真子午线方向的北端起，顺时针量到该直线的水平夹角称为该直线的真方位角，用  $A$  表示。
- 2) 磁方位角。从磁子午线方向的北端起，顺时针量到该直线的水平夹角，称为该直线的磁方位角，用  $A_m$  表示。
- 3) 坐标方位角。从坐标纵轴方向的北端起，顺时针量到该直线的水平夹角，称为该直线的坐标方位角，用  $\alpha$  表示。

在测量学中，表达一条直线不仅要有大小而且要有方向性。如图 1-10 所示，以  $A$  为起点， $B$  为终点的直线称为直线  $AB$ ，其方位角在图上表现为：从直线起点作一标准方向线，顺时针量到直线  $AB$  的水平夹角  $\alpha_{AB}$  为其方位角。反过来，直线  $BA$  的方位角就是从起点  $B$  作一标准方向线，顺时针量到  $BA$  的水平夹角，为  $\alpha_{BA}$ 。从图 1-10 中可以看出  $\alpha_{AB}$  与  $\alpha_{BA}$  之间的关系为

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ$$

(1-2)

我们称  $\alpha_{AB}$  与  $\alpha_{BA}$  互为正、反坐标方位角。需注意的是，在本书中如无特别说明  $\alpha$  指的是坐标方位角。

(2) 象限角。有时为了方便，我们也用象限角表示直线的方向。所谓象限角，指的是从标准方向的北端或南端起，顺时针或逆时针量至该直线的锐角，用  $R$  表示，取值范围为  $0^\circ \sim 90^\circ$ 。如图 1-11 所示为四个不同象限的象限角。因为象限角值相同的直线在四个象限都有，为了区别不同象限，常常在角值前加象限名称。例如北东  $R_{OA}$ 、南东  $R_{OB}$ 、南西  $R_{OC}$ 、北西  $R_{OD}$ 。

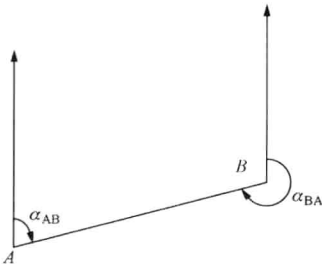


图 1-10 正反坐标方位角

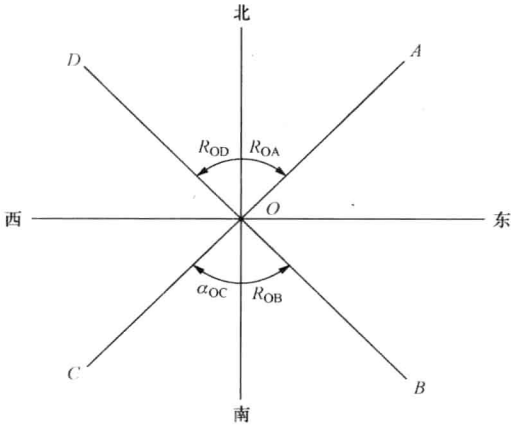


图 1-11 象限角

(3) 坐标方位角与象限角的换算关系。在计算中常常会碰到方位角与象限角之间的换算问题，不难看到象限角与方位角之间的关系，见表 1-1。

表 1-1 方位角与象限角之间的关系

| 象限      | $\alpha \rightarrow R$   | $R \rightarrow \alpha$   | 象限       | $\alpha \rightarrow R$   | $R \rightarrow \alpha$   |
|---------|--------------------------|--------------------------|----------|--------------------------|--------------------------|
| I (北东)  | $R = \alpha$             | $\alpha = R$             | III (南西) | $R = \alpha - 180^\circ$ | $\alpha = 180^\circ + R$ |
| II (南东) | $R = 180^\circ - \alpha$ | $\alpha = 180^\circ - R$ | IV (北西)  | $R = 360^\circ - \alpha$ | $\alpha = 360^\circ - R$ |

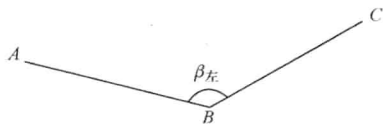


图 1-12 坐标方位角的推算

的方位角为

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + \beta_{左} - 180^\circ \quad (1-3)$$

图 1-12 中  $\beta_{左}$  表示角度在推算方向 (也叫前进方向) 的左侧, 称为左角;  $\beta_{右}$  表示角度在推算方向右侧, 称为右角。在测量计算中, 我们总结出如下方位角通用计算公式, 即

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + \beta_{左} \pm 180^\circ \quad (1-4)$$

或

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} - \beta_{右} \pm 180^\circ \quad (1-5)$$

式中  $\alpha_{前}$  ——前一条直线的方位角;

$\alpha_{后}$  ——后一条直线的方位角。

使用上述公式应注意: 当计算出的  $\alpha_{前}$  大于  $360^\circ$ , 则减去  $360^\circ$ ; 当前两项之和 (或差) 大于  $180^\circ$  时, 则式 (1-4)、式 (1-5) 取 “-” 号; 当前两项之和 (或差) 小于  $180^\circ$  时则取 “+” 号。

**【例 1-1】** 如图 1-13 所示, 测得  $\alpha_{AB} = 32^\circ 43'$ , 转折角分别为  $\beta_B = 73^\circ 45' 24''$ ,  $\beta_C = 23^\circ 36' 12''$ , 求 BC、CD 的方位角并计算其象限角。

**解** 因为已知  $\alpha_{AB}$ , 所以推算顺序应是直线 AB、BC、CD, 所测量的夹角均是左角, 因此应用式 (1-4) 计算各边的方位角。

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + \beta_B \pm 180 = 32^\circ 43' + 73^\circ 45' 24'' + 180^\circ = 286^\circ 28' 24''$$

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + \beta_C \pm 180 = 286^\circ 28' 24'' + 23^\circ 36' 12'' - 180^\circ = 130^\circ 04' 36''$$

由计算结果可知直线 BC 在第四象限, 直线 CD 在第二象限, 由换算关系得

$$R_{BC} = 360^\circ - \alpha_{BC} = \text{北西 } 73^\circ 31' 36''$$

$$R_{CD} = 180^\circ - \alpha_{CD} = \text{南东 } 49^\circ 55' 24''$$

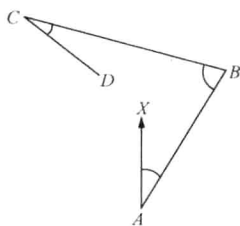


图 1-13 [例 1-1] 图



## 知识链接 1

### 罗盘仪的构造与磁方位角的确定

在独立小测区通常没有已知方向的直线, 在这种情况下就必须用罗盘仪测定一条直线的磁方位角来代替直线的坐标方位角, 以此为依据, 推算其他直线的坐标方位角。下面简单介绍罗盘仪的结构和磁方位角的测量方法。

#### 一、罗盘仪的构造

罗盘仪主要由磁针、刻度盘和照准设备组成, 如图 1-14 所示。

##### 1. 磁针

磁针可以绕其顶针自由转动, 当磁针静止时指向地球南北两极。为了区别南极和北极, 一般磁针北极涂成黑色。为了避免磁针南北两极所受磁力不等而带来的不平衡, 通常在磁针南端绕铜丝。





## 2. 刻度盘

刻度盘有两种形式,如图1-15所示:一种叫方位罗盘,它的度盘是从 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 按逆时针注记的,所测量的角为磁方位角,如图1-15(a)所示;另一种叫象限罗盘,它把度盘分为四个象限,由对称的两个零度开始逆时针或顺时针注记到 $90^{\circ}$ ,如图1-15(b)所示。

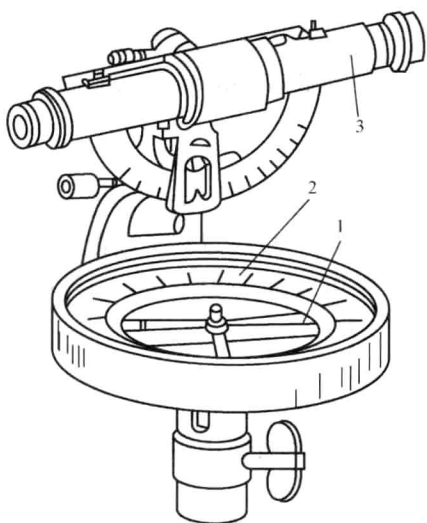


图1-14 罗盘仪

1—磁针; 2—度盘; 3—望远镜

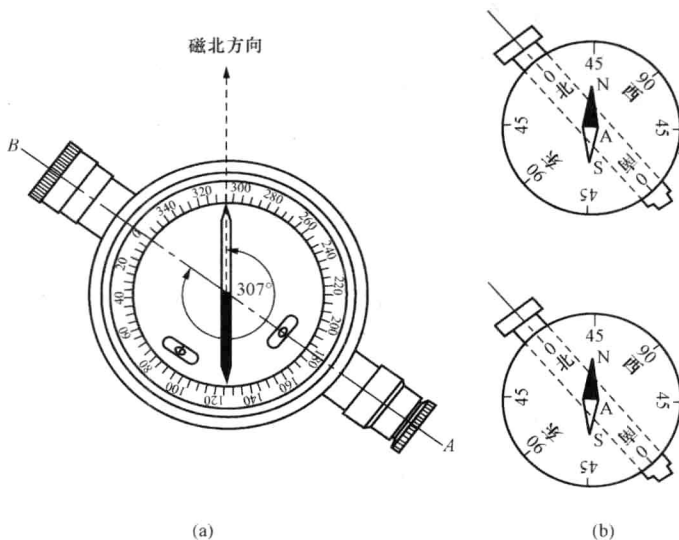


图1-15 刻度盘

(a) 方位罗盘; (b) 象限罗盘

## 3. 照准设备

照准设备是望远镜,它与度盘一起绕度盘中心轴转动,因为当磁针静止时指向地球南北极,所以望远镜瞄准不同的方向时磁针在度盘上的读数不同。利用这个特点,罗盘仪可以测量出磁方位角。

## 二、磁方位角的测定

如图1-16所示,欲测量直线AB的磁方位角,测量步骤如下:

(1) 在直线的一端安置罗盘仪,对中、整平,在直线的另一端放标杆。

(2) 用望远镜瞄准标杆,当磁针静止时读出磁针北端的读数,即为直线AB的方位角。

(3) 将罗盘仪安置在直线的另一端,测出直线BA的磁方位角进行校核。根据正反方位角的关系,两次测得的读数应相差 $180^{\circ}$ 。

注意:为了保证测量精度,属铁质的器具(例如测钎、钢尺、铁栅栏等)应远离罗盘仪,并避免在产生磁场的地区使用罗盘仪。

在控制测量或碎部测量的外业或内业工作中都有可能发生错误,小错误影响成果质量,严重的错误则造成返工浪费,延误工期。为了避免出错,每项工作应该小心谨慎,并须进行必要的检查和校核。



图1-16 磁方位角的测定





## 知识链接 2

### 陀螺经纬仪与直线真子午线方位角的确定

#### 一、陀螺经纬仪

如图 1-17 是国产 JT15 陀螺经纬仪, 使用它测定地面任一点的真子午线方向的精度可以达到  $\pm 15''$ 。陀螺经纬仪由 DJ<sub>6</sub> 经纬仪和陀螺仪组成, 陀螺仪安装在 DJ<sub>6</sub> 经纬仪上的连接支架上, 陀螺仪由摆动系统、观察系统和锁紧限幅机构组成。

##### 1. 摆动系统

摆动系统包括悬吊带 16、导线 15、转子(马达) 10、转子底盘 7 等, 它们是整个陀螺仪的灵敏部件。转子要求运转平稳, 重心要通过悬吊带的对称轴, 可以通过转子底盘上的六个螺钉进行调节。悬吊带采用特种合金材料制成, 断面尺寸为  $0.56\text{mm} \times 0.03\text{mm}$ , 拉断力为 2.4kg, 实际荷重为 0.78kg。

##### 2. 观测系统

观测系统是用来观察摆动系统的工作情况的。照明灯泡 13 将灵敏部件上的双线光标 12 照亮, 通过成像透镜组 19 使双线光标成像在分划板 18 上, 以便在观察窗中观察。

##### 3. 锁紧限幅机构

锁紧限幅机构包括凸轮 4、限幅盘 5、转子底盘 7、锁紧圈 8, 用凸轮 4 使限幅盘沿导向轴 3 向上滑动, 使限幅盘 5 托起转子的底盘, 靠在与支架连接的锁紧圈 8 上。限幅盘上的三块泡沫塑料垫板 6 在下放转子部分时能起到缓冲和摩擦限幅的作用。

#### 二、陀螺经纬仪的操作方法

陀螺仪转子的额定旋转速度大于等于  $21\ 500\text{r/min}$ , 可以形成很大的内力矩, 如果操作不正确则很容易毁坏仪器, 因此正确使用陀螺仪非常重要。

在需要测定真子午线方向的点上安置好经纬仪后, 应按下列步骤操作陀螺经纬仪:

(1) 粗定向: 将仪器附带的罗盘仪安装在支架上的定位盘 20 上, 旋转经纬仪照准部, 使视线方向指向近似的真子午线北方向 (误差  $\pm 1^\circ \sim \pm 2^\circ$ ), 将经纬仪的水平微动螺旋旋至行程的中间位置, 制动照准部, 取下罗盘仪。

(2) 安置陀螺仪: 将陀螺仪安装到支架上的定位盘 20 上, 旋紧固连螺环 21, 接好电源线, 打开电源开关, 启动陀螺转子, 信号灯亮, 当其转速达到额定转速后 (大约需要 3min) 信号灯熄灭 (有些仪器是信号灯颜色改变, 具体参见仪器使用手册)。缓慢旋松锁紧机构, 将摆动系统平稳放下, 在陀螺仪的观察窗中观察陀螺的进动方向和速度。如果陀螺的进动速度很慢, 就可以开始进行观测, 观测方法有逆转点法和中天法。

(3) 观测完成后, 要先旋紧锁紧机构, 将摆动系统托起, 才能关闭电源, 拔掉电源线。待陀螺仪转子完全停止转动以后才允许卸下陀螺仪装箱。

#### 三、陀螺经纬仪的观测方法——逆转点法

陀螺仪转轴在东、西两处的反转位置称为逆转点。

逆转点法的实质就是通过旋转经纬仪的水平微动螺旋, 在陀螺仪的观察窗中, 用零线指标线 22 跟踪双线光标影像 23, 当摆动系统到达逆转点时, 在经纬仪读数窗中读取水平度盘读数 (称为逆转点读数)。摆动系统到达逆转点并稍作停留后将开始向真子午线方向摆动,