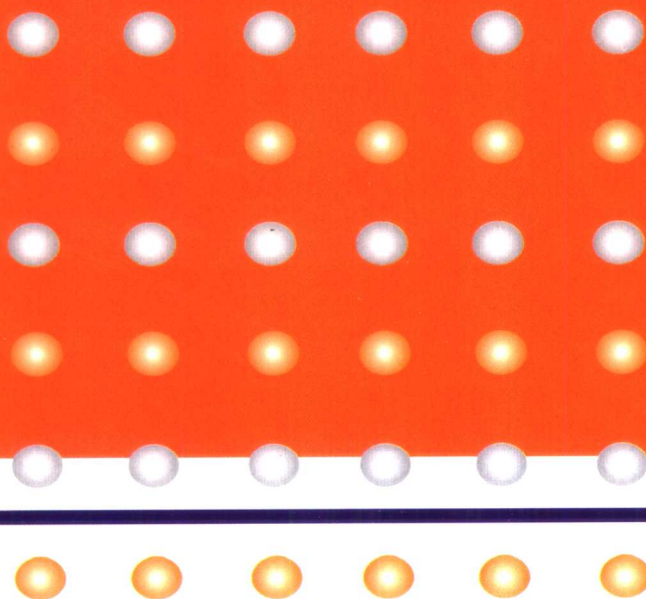


# 测量学

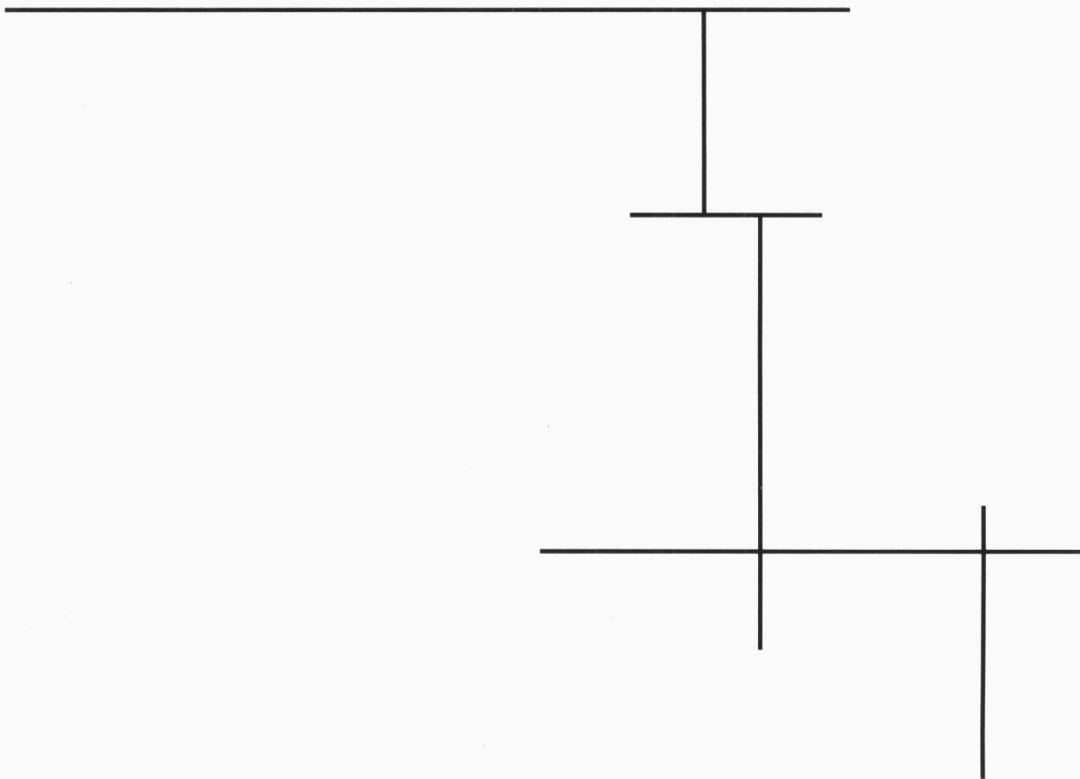
邓念武 主编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 测量学

邓念武 主编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)



## 内 容 提 要

本书共分十四章：第一章至第五章介绍测量学的基本概念、基本原理，测量仪器的构造、使用、检验和校正方法，以及测量误差的基本知识；第六章至第八章介绍小地区控制测量，大比例尺地形图的测绘，地形图的应用；第九章至第十三章介绍施工测量的基本工作，工业与民用建筑中的施工测量，隧洞测量，渠道测量，管道工程测量；第十四章简单介绍全球定位系统；在附录部分给出了水准仪和经纬仪系列的主要技术参数以及地形图图示。

本书前八章为普通测量学的基本知识，第九章至第十三章为工程测量的实用部分，可以供不同专业选学。本书可作为水利类、土建类专业本科生的教学用书，也可作为相关专业参考教材和供工程技术人员学习参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

测量学/邓念武主编. —北京：中国电力出版社，2004  
ISBN 7-5083-2340-8

I. 测... II. 邓... III. 测量学 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 052112 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京同江印刷厂印刷

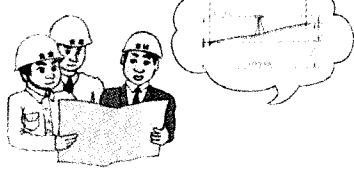
各地新华书店经售

\*

2004 年 8 月第一版      2004 年 8 月北京第一次印刷  
787 毫米 × 1092 毫米    16 开本    15.25 印张    335 千字  
印数 0001—3000 册      定价 24.00 元 (含记录簿)

版 权 专 有      翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)



# 前言

为了适应高等学校教学改革,顾及不同专业对《测量学》的要求,编者在原自编教材的基础上总结以往多年的教学实践经验,结合测绘领域的新技术和新方法编写了此书。全书紧紧抓住测量学的基本概念和基本原理进行展开阐述,在内容编写上力求做到由浅入深,由具体到一般,内容简明扼要,图文结合,通俗易懂。

本书分为三大部分,内容涵盖测量的基本工作和误差的基本知识、地形测量、施工测量等。其中第一部分包括第一章至第五章,本部分对测量仪器(水准仪、经纬仪、钢卷尺、罗盘仪、全站仪)的基本概念、基本原理、使用方法和误差来源进行了详细的介绍和分析;对测量误差的来源、中误差和误差传播定律进行了系统的阐述;使读者不仅懂得如何使用仪器,而且懂得为什么如此使用仪器。第二部分包括第六章到第八章。本部分主要讲述小地区控制测量、大比例尺地形图的测绘和地形图的应用。使读者理解如何将地面上的地物和地貌按照一定比例尺测绘到地形图上以及如何使用地形图,在本部分同时也介绍了全站仪数字测图方法;第三部分包括第九章到第十三章。本部分介绍了施工测量的基本工作后,针对不同专业的具体要求讲述了适合于不同专业的施工测量,可以供不同专业选学。

本书很注重测绘行业的新仪器、新技术和新方法的介绍。如数字水准仪、电子经纬仪和全站仪等仪器的原理和使用方法、电子地图的测绘和全球定位系统(GPS)的原理和使用等。

测量学是一门实践性很强的学科,本书很注重读者动手能力的培养,在学习本书的同时应加强对仪器的动手操作,为此还另外编写了测量学《习题和实验记录簿》供读者使用。

本书实用于水利水电工程、农田水利工程、水文水资源工程、港口航运工程、土木工程、建筑学、给排水工程、城市规划工程等专业作为测量学教程教材,也适用于相关专业工程技术人员学习参考。

本书由武汉大学水利水电学院邓念武担任主编,徐晖、邱福清、龚玉珍担任副主编。参加编写的人员有邓念武(第一、四、五、七、八、十一、十四章),徐晖(第二、九章),邱福清(第三、十章),龚玉珍(第六、十二章),张晓春(第十三章),全书由武汉大学王文兴教授主审。

由于我们水平有限,缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。



## 前言

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b>                 | 1  |
| > 第一节 测量学的任务及其在工程建设中的作用 ..... | 1  |
| > 第二节 地球的形状和大小 .....          | 2  |
| > 第三节 地面点位的确定 .....           | 3  |
| > 第四节 用水平面代替大地水准面的限度 .....    | 6  |
| > 第五节 测量工作的基本原则 .....         | 7  |
| > 第六节 测绘科学的发展概况 .....         | 9  |
| 复习思考题 .....                   | 10 |
| <b>第二章 水准测量</b>               | 11 |
| > 第一节 水准测量原理 .....            | 11 |
| > 第二节 DS3 型微倾式水准仪及其使用 .....   | 12 |
| > 第三节 水准测量的一般方法 .....         | 15 |
| > 第四节 水准路线闭合差的调整和高程计算 .....   | 18 |
| > 第五节 微倾式水准仪的检验和校正 .....      | 19 |
| > 第六节 水准测量的误差及其消减方法 .....     | 22 |
| > 第七节 自动安平水准仪 .....           | 24 |
| > 第八节 精密水准仪和电子水准仪 .....       | 26 |
| 复习思考题 .....                   | 28 |
| <b>第三章 角度测量</b>               | 30 |
| > 第一节 水平角测量原理 .....           | 30 |
| > 第二节 DJ6 型光学经纬仪 .....        | 30 |
| > 第三节 DJ2 型光学经纬仪 .....        | 32 |
| > 第四节 电子经纬仪 .....             | 34 |
| > 第五节 水平角测量 .....             | 35 |
| > 第六节 竖直角测量 .....             | 38 |
| > 第七节 经纬仪的检验和校正 .....         | 41 |
| > 第八节 经纬仪的测量误差及其消减方法 .....    | 45 |
| 复习思考题 .....                   | 48 |
| <b>第四章 距离测量和直线定向</b>          | 49 |
| > 第一节 距离丈量 .....              | 49 |

|                   |    |
|-------------------|----|
| > 第二节 视距测量 .....  | 54 |
| > 第三节 电磁波测距 ..... | 58 |
| > 第四节 全站仪简介 ..... | 60 |
| > 第五节 直线定向 .....  | 62 |
| 复习思考题 .....       | 65 |

---

## 第五章 测量误差的基本知识 67

---

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| > 第一节 测量误差的来源及其分类 .....       | 67 |
| > 第二节 偶然误差的特性及算术平均值原理 .....   | 68 |
| > 第三节 衡量精度的标准 .....           | 70 |
| > 第四节 观测值函数的中误差——误差传播定律 ..... | 72 |
| > 第五节 等精度直接平差 .....           | 76 |
| 复习思考题 .....                   | 79 |

---

## 第六章 小地区控制测量 80

---

|                     |    |
|---------------------|----|
| > 第一节 控制测量的概念 ..... | 80 |
| > 第二节 导线测量 .....    | 81 |
| > 第三节 小三角测量 .....   | 89 |
| > 第四节 高程控制测量 .....  | 93 |
| 复习思考题 .....         | 96 |

---

## 第七章 大比例尺地形图的测绘 98

---

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| > 第一节 地形图的基本知识 .....     | 98  |
| > 第二节 测图前的准备工作 .....     | 104 |
| > 第三节 经纬仪测绘法测图 .....     | 105 |
| > 第四节 地形图的拼接、检查与整饰 ..... | 108 |
| > 第五节 全站仪数字化测图技术 .....   | 109 |
| 复习思考题 .....              | 111 |

---

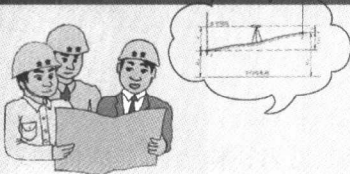
## 第八章 地形图的应用 112

---

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| > 第一节 地形图的识读 .....         | 112 |
| > 第二节 地形图应用的基本内容 .....     | 113 |
| > 第三节 地形图在工程规划设计中的应用 ..... | 115 |
| > 第四节 面积的测算 .....          | 120 |
| 复习思考题 .....                | 122 |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| <b>第九章 施工测量的基本工作</b>     | <b>123</b> |
| > 第一节 施工测量概述             | 123        |
| > 第二节 放样的基本测量工作          | 123        |
| > 第三节 点的平面位置放样           | 126        |
| > 第四节 直线坡度的放样            | 128        |
| 复习思考题                    | 129        |
| <b>第十章 工业与民用建筑中的施工测量</b> | <b>130</b> |
| > 第一节 工业厂区施工控制测量         | 130        |
| > 第二节 厂房柱列轴线的测设和柱基施工测量   | 135        |
| > 第三节 民用建筑施工中的测量工作       | 136        |
| > 第四节 建筑物的沉降观测与倾斜观测      | 139        |
| > 第五节 竣工总平面图的编绘          | 142        |
| 复习思考题                    | 143        |
| <b>第十一章 隧洞施工测量</b>       | <b>144</b> |
| > 第一节 洞外定线测量             | 144        |
| > 第二节 洞内定线及断面放样          | 147        |
| > 第三节 隧洞水准测量             | 148        |
| > 第四节 竖井传递开挖方向           | 149        |
| 复习思考题                    | 149        |
| <b>第十二章 渠道测量</b>         | <b>150</b> |
| > 第一节 渠道选线测量             | 150        |
| > 第二节 中线测量               | 151        |
| > 第三节 纵断面测量              | 152        |
| > 第四节 横断面测量              | 155        |
| > 第五节 土石方计算              | 157        |
| > 第六节 边坡桩的放样             | 158        |
| 复习思考题                    | 158        |
| <b>第十三章 管道工程测量</b>       | <b>159</b> |
| > 第一节 管道中线测量             | 159        |
| > 第二节 管道施工测量             | 161        |
| > 第三节 管道竣工测量             | 164        |

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| 复习思考题 .....                                  | 165        |
| <b>第十四章 全球定位系统简介</b> .....                   | <b>166</b> |
| >第一节 GPS 的组成 .....                           | 166        |
| >第二节 GPS 坐标系统和定位原理 .....                     | 168        |
| >第三节 GPS 测量的实施 .....                         | 171        |
| >第四节 GPS 的应用 .....                           | 174        |
| 复习思考题 .....                                  | 175        |
| 附录 I CASIO fx-4800P/4850P 可编程序计算器的使用方法 ..... | 176        |
| 附录 II 水准仪和经纬仪系列的主要技术参数 .....                 | 188        |
| 附录 III 地形图图示 .....                           | 189        |
| 测量实习纲要 .....                                 | 193        |
| 参考文献 .....                                   | 198        |



## 绪 论

## 第一节 测量学的任务及其在工程建设中的作用

测量学是测绘科学的重要组成部分,是研究地球的形状和大小以及确定地球表面(包括空中、地面和海底)点位关系,并对这些空间位置信息进行处理、存储和管理的一门科学。

根据研究对象和范围及采用技术的不同,测量学产生了许多分支科学:①大地测量学。它是研究地球表面上一个广大区域甚至整个地球的形状、大小、重力场及其变化,通过建立区域和全球三维控制网、重力网以及利用卫星测量、甚长基线干涉测量等方法测定地球各种动态的理论和技术的学科。在大地测量学中,必须考虑地球曲率的影响。近年来,由于人造地球卫星的发射及遥感技术的发展,大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。②普通测量学。它是研究地球自然表面上一个小区域内测绘工作的理论、技术和方法。由于地球半径很大,可以把这块球面视作平面看待而不考虑地球曲率的影响。③摄影测量学。它是研究利用电磁波传感器获取目标物的几何和物理信息,用以测定目标物的形状、大小、空间位置,判释其性质及相互关系,并用图形、图像和数字形式表达的理论和技术的学科。摄影测量学又可分为航天摄影测量学、航空摄影测量学、地面摄影测量学、水下摄影测量学。④地图制图学。它是研究地图的信息传输、空间认知、投影原理、制图综合和地图的设计、编制、复制以及建立地图数据库等的理论和技术的学科。⑤海洋测量学。它是研究海洋定位、测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布,以及编制各种海图的理论和技术的学科。⑥工程测量学。它是研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制测量、地形测绘、施工放样、变形监测以及建立相应信息系统的理论和技术的学科。

本教材主要介绍普通测量学和部分工程测量学的基本知识,主要分为两部分:①地形测图,也称测定,它是利用各种测量仪器和工具,将地面上局部区域的地物和地面起伏按一定的比例尺缩小测绘成地形图,为工程建设的规划、设计和施工服务;②施工放样,也称测设,将图纸上规划、设计好的建筑物位置、尺寸测设于地面,作为施工依据;在建筑物的施工过程中,测量工作还要与施工进度紧密配合,以保证施工质量。另外,对于一些大型、重要的建筑物和构筑物,在施工和使用过程中,还要进行变形观测,以确保建筑物的安全。

在工农业和各类土木工程建设中,从勘测设计阶段到施工、竣工阶段,都需要进行大量的测绘工作,测绘工作贯穿于工程建设的各个阶段。例如在工程的勘测设计阶段,选择厂址坝址,进行总平面图的设计和选择管道渠道线路等,都需要测绘各种大比例尺的地形

图。在施工阶段,要将设计的建筑物的平面位置和高程在实地标定出来,作为施工的依据;待施工结束后,还要测绘竣工图,供日后扩建、改建和维修之用。另外,在工程的施工和使用过程中,还要对建筑物和构筑物的变形情况进行长期观测,掌握其变形规律,以确保建筑物和构筑物的安全和正常使用。由此可见,测量工作贯穿于工程建设的整个过程。因此,学习和掌握测量学的基本知识和技能是涉及工程建设各专业的一门技术基础课。

## 第二节 地球的形状和大小

地球的自然表面是一个不规则的曲面,有陆地和海洋。陆地上最高处是我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰,高出海平面 8848.13m;海洋最深处是太平洋西部的马里亚纳海沟,深达 11022m。这样的高低起伏相对于地球半径 6371km 而言,是可以忽略不计的。顾及到地球表面上的陆地面积约占 29%,而海洋面积约占 71%,地球总的形状可以认为是被海水面包围的球体。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,曲面上每一点的法线方向和铅垂线方向重合,这个静止的海水面称为水准面。但海水受潮汐影响,时涨时落,所以水准面有无数个,其中平均高度的水准面称为大地水准面,测量工作中常以大地水准面作为点位投影和计算点位高度的基准面。

由于地球内部质量分布不均匀,地面上各点所受的引力大小不同,从而使得地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化,因此大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面。如果将地面的点位投影到这个不规则的曲面上,是无法进行测量计算工作的。所以,在实际工作中,常选用一个能用数学方程表示并与大地水准面很接近的规则曲面,这样一个规则曲面就是旋转椭球面。旋转椭球面是绕椭圆的短轴旋转而成的椭球面(如图 1-1 所示),其大小可由长半径  $a$ 、短半径  $b$  和扁率  $\alpha$  ( $\alpha = \frac{a-b}{a}$ ) 来表示。我国目前采用 1975 年第 16 届国际大地测量与地球物理协会联合推荐的数值,即:  $a = 6378140\text{m}$ ,  $\alpha = \frac{1}{298.257}^\circ$ 。

地球的形状和大小确定后,还要确定大地水准面与椭球面的相对关系,才能将地面上的观测成果推算到椭球面上。如图 1-2 所示,在适当地面上选定一点  $P$  ( $P$  点称为大地

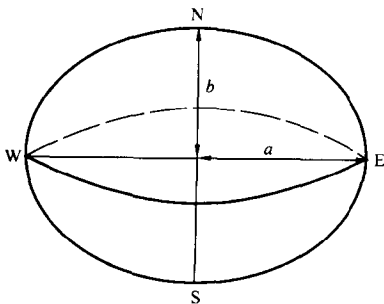


图 1-1 旋转椭球面

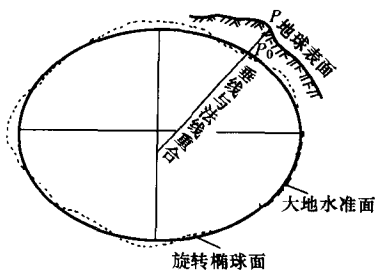


图 1-2 大地水准面和旋转椭球面

原点), 令  $P$  点的铅垂线与椭球面上相应  $P_0$  点的法线重合, 并使该点的椭球面与大地水准面相切, 而且使本国范围内的椭球面与大地水准面尽量接近。这项工作称为参考椭球面的定位。

我国于 1954 年建立了北京坐标系。后来根据最新测量数据, 发现北京坐标系的有关定位参数与我国实际情况出入较大, 在全国天文大地网整体平差后, 于 1980 年将坐标系的原点设在陕西省泾阳县境内, 根据该原点推算而得的坐标, 称为“1980 年国家大地坐标系”。

由于参考椭球面的扁率很小, 在普通测量中, 常把参考椭球面近似地作为球面看待, 其半径约为 6371km。当测区范围较小时, 又可把球面视为平面。

### 第三节 地面点位的确定

确定地面上一点的空间位置, 包括确定地面点在参考椭球面上的投影位置 (以坐标表示) 和该点到大地水准面的铅垂距离 (高程)。

#### 一、坐标

##### 1. 地理坐标

地面点在球面上的位置用经纬度表示, 称为地理坐标, 如图 1-3 所示。N 和 S 分别为地球北极和南极, NS 为地球的自转轴。设球面上有一点  $M$ , 过  $M$  点和地球自转轴所构成的平面称为  $M$  点的子午面, 子午面与地球表面的交线称为子午线, 又称经线。按照国际天文学会规定, 通过英国格林尼治天文台的子午面称为起始子午面, 以它作为计算经度的起点, 向东从  $0^\circ \sim 180^\circ$  称东经, 向西从  $0^\circ \sim 180^\circ$  称西经。 $M$  点的子午面与起始子午面之间的夹角  $\lambda$  即为  $M$  点的经度。过  $M$  点的铅垂线与赤道平面之间的夹角  $\varphi$  即为  $M$  点的纬度。赤道以北从  $0^\circ \sim 90^\circ$  称为北纬, 赤道以南从  $0^\circ \sim 90^\circ$  称为南纬。 $M$  点的经度和纬度已知, 该点在地球表面上的投影位置即可确定。

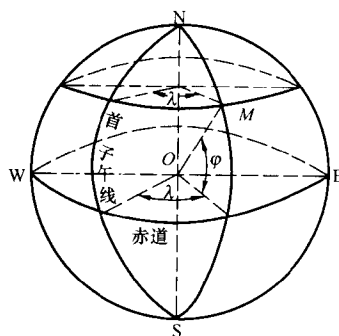


图 1-3 地理坐标

##### 2. 高斯平面直角坐标

当测区范围较大时, 如果将它的球面部分展成平面, 必然产生皱纹或裂缝, 使图形发生变形。为此, 必须采用适当的投影方法, 建立一个平面直角坐标系, 以使变形限制在误差容许范围之内, 既能保证地形图的精度, 又便于工作。测量工作中, 通常采用高斯横圆柱投影的方法来建立平面直角坐标系。

高斯横圆柱投影的特点是在很小的范围内, 将球面上图形投影到平面上后, 图形的角度不变, 即投影前后的形状是相似的, 为简单起见, 把地球作为一个圆球看待。其投影的方法是: 设想把一个平面卷成一个横圆柱, 套在圆球外面, 使横圆柱的轴心通过圆球的中心, 并使横圆柱与球面上的一根中央子午线 NOS 相切 (如图 1-4 所示), 将球面上的图

形投影到横圆柱面上，然后将横圆柱面沿南北极的  $TT'$  和  $KK'$  切开并展开成平面，即可得投影到平面上相应的图形。此时，中央子午线长度保持不变，赤道与中央子午线为相互垂直的直线（如图 1-5 所示）。

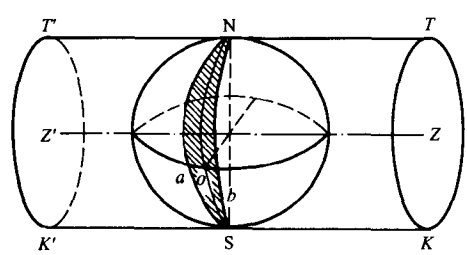


图 1-4 横圆柱投影

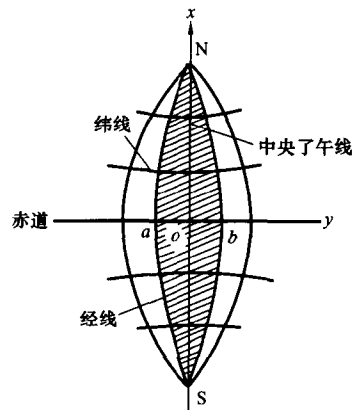


图 1-5 高斯投影展开图

高斯投影平面上的中央子午线长度没有变形，而离中央子午线愈远，变形就愈大。为了使变形限制在允许范围内，可把地球按经线分成若干较小的带进行投影，带的宽度一般依经差分为  $6^\circ$  或  $3^\circ$ 。

$6^\circ$ 带是从格林威治子午线算起，格林威治子午线的经度为  $0^\circ$ ，自西向东，经度每  $6^\circ$  为一带，中间的一条子午线，即是该带的中央子午线。从图 1-6 可以看出，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  $9^\circ$ ，依此类推，把地球分成 60 个  $6^\circ$  带。而  $3^\circ$ 带是从东经  $1^\circ 30'$  开始，每隔  $3^\circ$  为一带，第一带的中央子午线是  $3^\circ$ ，第二带的中央子午线是  $6^\circ$ ，依此类推，把地球分成 120 个  $3^\circ$  带。在  $6^\circ$  带中，赤道处的宽度约为

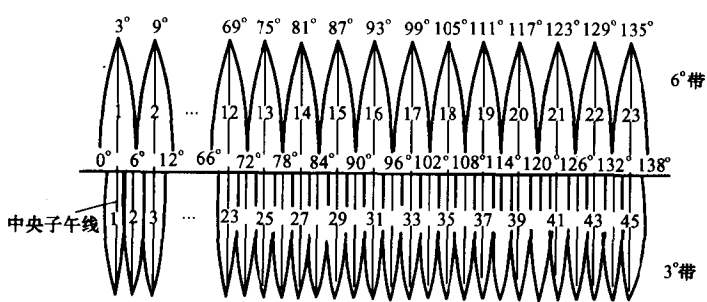


图 1-6  $6^\circ$ 、 $3^\circ$ 带投影

660km，自赤道向两极其宽度逐渐减小。如以离开中央子午线的距离为 300km 计，其边缘部分的相对误差为  $\frac{1}{890}$ ，能满足 1:25000 或更小比例尺测图的精度要求。对于 1:10000 或更大比例尺测图，则需采用  $3^\circ$ 带。

每一带中央子午线的投影为平面直角坐标系的纵轴  $x$ ，所以也把中央子午线称为轴子午线，向上为正，向下为负；赤道的投影为平面直角坐标系的横轴  $y$ ，向东为正，向西为负，两轴的交点  $O$  为坐标原点（见图 1-5）。这种坐标系是由高斯提出，后经克吕格改

进，故通常称其为高斯—克吕格坐标。

由于我国领土全部位于北半球，纵坐标值均为正值，而横坐标值有正、有负，为了避免出现负值，规定将每一带的坐标原点西移 500km（见图 1-7），即每带的坐标原点  $x = 0$ ， $y = 500\text{km}$ ，同时将该点所在的投影带带号加在横坐标前。例如某点的坐标  $x = 6048075\text{m}$ ， $y = 19385530\text{m}$ ，则说明该点位于赤道以北 6048075m 处，第 19 投影带，中央子午线以西 114470m（ $385530\text{m} - 500000\text{m} = -114470\text{m}$ ）。

用高斯平面直角坐标来表示地面点位，其计算相当繁杂，它一般适用于大范围的测量工作。

### 3. 平面直角坐标

当测区范围较小时（半径不超过 10km），可把该部分球面视作平面，即直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上（见图 1-8），用平面直角坐标表示它的投影位置。平面直角坐标系（见图 1-9）的原点为  $O$ ，测量上所用的平面直角坐标与数学中的有所不同：测量上的南北方向线为  $x$  轴，东西方向线为  $y$  轴，如地面上的一点  $a$  的纵横坐标分别为  $x_a$  和  $y_a$ ；而象限 I、II、III、IV 按顺时针方向排列。分析表明：数学中的三角函数可以不加改变地直接应用在测量计算中。

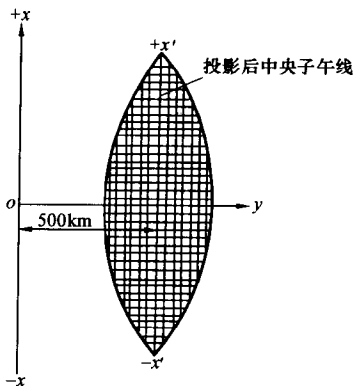


图 1-7 坐标纵轴西移

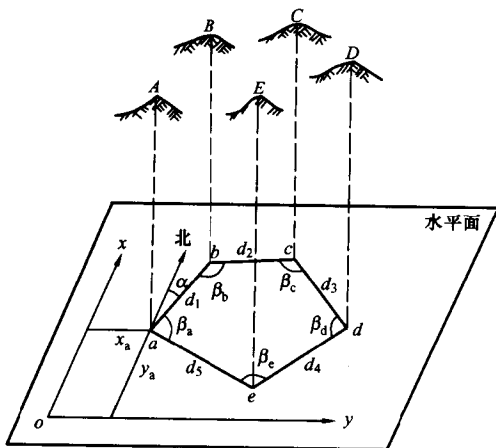


图 1-8 水平面投影

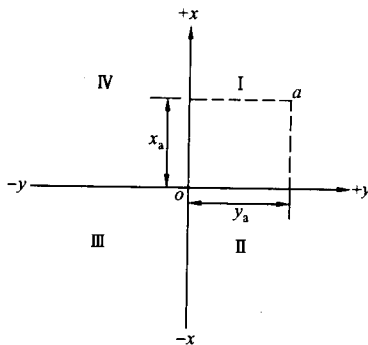


图 1-9 平面直角坐标

## 二、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该点的绝对高程或海拔，以  $H$  表示。如图 1-10 所示，地面点  $A$  和  $B$  的绝对高程分别为  $H_A$  和  $H_B$ 。

### 2. 相对高程

地面点沿铅垂线方向至某一假定水准面的距离称为该点的相对高程，亦称假定高程，

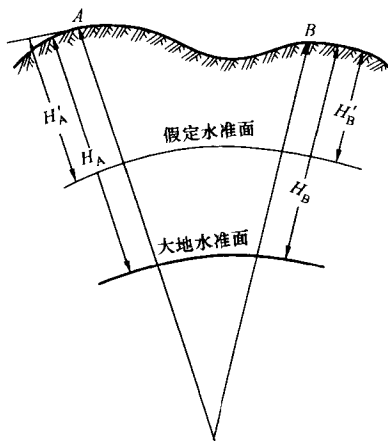


图 1-10 高程示意图

以  $H'$  表示。在图 1-10 中, 地面点  $A$  和  $B$  的相对高程分别为  $H'_A$  和  $H'_B$ 。

建国后, 我国所采用的高程基准是以青岛验潮站 1950~1956 年观测求得的黄海平均海水面作为高程基准面, 称为“1956 年黄海高程系”。但由于验潮时段短, 资料不足等原因, 在 1987 年我国启用了“1985 年国家高程基准”, 它是采用青岛验潮站 1950~1979 年的验潮资料计算确定的。

为了便于全国使用统一规定的高程基准面, 在青岛市观象山洞内建立了水准原点, 其高程为 72.260m (原根据“1956 年黄海高程系”推算的该水准原点的高程为 72.289m)。全国统一布设的国家高程控制点 (称水准点) 都是以新的原点高程为准推算的。

在局部地区或个别独立工程, 可选取某一水准面为起算面。即首先确定某个固定点高程, 然后以此固定点为基准, 测量其他各点高程。

#### 第四节 用水平面代替大地水准面的限度

在普通测量中, 当测区范围较小时, 常以水平面代替大地水准面, 这样可使绘图和计算工作大为简化。下面我们来讨论在多大的测区范围内才容许用水平面代替大地水准面的问题。

##### 一、地球曲率对水平距离的影响

如图 1-11 所示, 设地面上有  $A'$ 、 $B'$  两点。它们投影到球面的位置分别为  $A$ 、 $B$ ,  $AB$  圆弧的长度为  $d$ , 其所对的圆心角为  $\alpha$ , 地球半径为  $R$ 。现用切于  $A$  点的水平面代替球面 (为讨论问题简单, 可将大地水准面视为球面), 地面上  $A'$ 、 $B'$  两点在水平面上的投影位置分别为  $A$ 、 $C$ , 其长度为  $t$ , 如以水平面上的距离  $l$  代替球面上的距离  $d$ , 则两者的差异即为距离方面所产生的误差  $\Delta d$ , 由图 1-11 得

$$\Delta d = t - d = R \tan \alpha - R \alpha \quad (1-1)$$

将  $\tan \alpha$  按级数展开, 因  $\alpha$  角值很小, 可只取前两项, 上式变为

$$\Delta d = R \alpha + \frac{1}{3} R \alpha^3 - R \alpha = \frac{1}{3} R \alpha^3$$

因为

$$\alpha = \frac{d}{R}$$

故

$$\Delta d = \frac{d^3}{3R^2}$$

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{d^2}{3R^2}$$

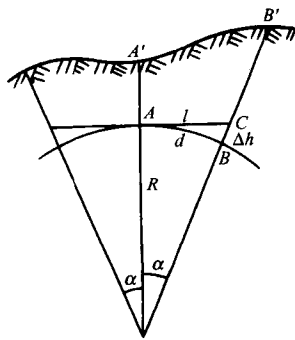


图 1-11 水平面代替大地水准面对水平距离和高程的影响

取  $R = 6371\text{km}$ ，以不同的  $d$  值代入式 (1-2) 有

$$\text{当 } d = 1\text{km 时} \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{1}{12177 \times 10^4}$$

$$\text{当 } d = 10\text{km 时} \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{1}{122 \times 10^4}$$

$$\text{当 } d = 20\text{km 时} \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{1}{30 \times 10^4}$$

由以上计算可以看出，距离为  $10\text{km}$  时，所产生的相对误差小于目前最精密距离丈量时的容许相对误差  $\frac{1}{100 \times 10^4}$ 。由此得出结论：在半径为  $10\text{km}$  的范围内，地球曲率对水平距离的影响可以忽略不计，即可把该部分球面当作水平面。

## 二、地球曲率对高程的影响

在图 1-11 中，地面点  $B'$  的高程为铅垂距离  $B'B$ ，如以水平面代替球面， $B'$  的高程为铅垂距离  $B'C$ ，两者之差即为高程方面产生的误差  $\Delta h$ ，由图 1-11 中可以看出， $\angle CAB = \frac{\alpha}{2}$ ，因该角很小，以弧度表示，则有  $\Delta h = d \times \frac{\alpha}{2}$

$$\text{因} \quad \alpha = \frac{d}{R}$$

$$\text{故} \quad \Delta h = \frac{d^2}{2R} \quad (1-3)$$

以不同的  $d$  值代入式 (1-3)，则

$$\text{当 } d = 1\text{km 时} \quad \Delta h = 78.5\text{mm}$$

$$\text{当 } d = 0.1\text{km 时} \quad \Delta h = 0.8\text{mm}$$

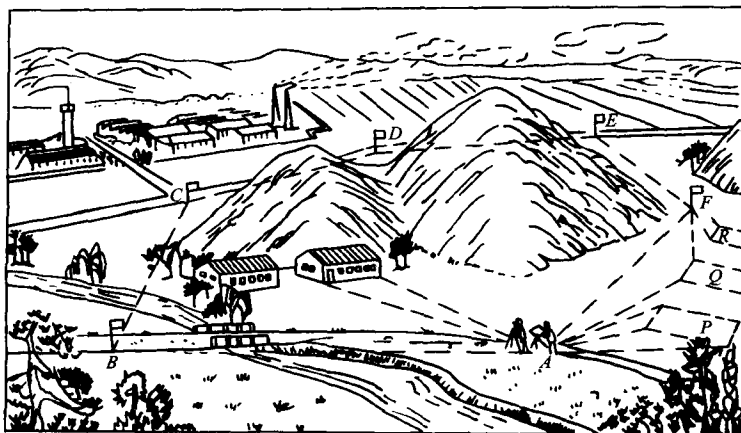
以上计算表明：当距离为  $0.1\text{km}$  时，在高程方面的误差就接近  $1\text{mm}$ ，这对高程测量的影响是很大的，所以尽管距离很短，地球曲率对高程的影响是必须予以考虑的。

## 第五节 测量工作的基本原则

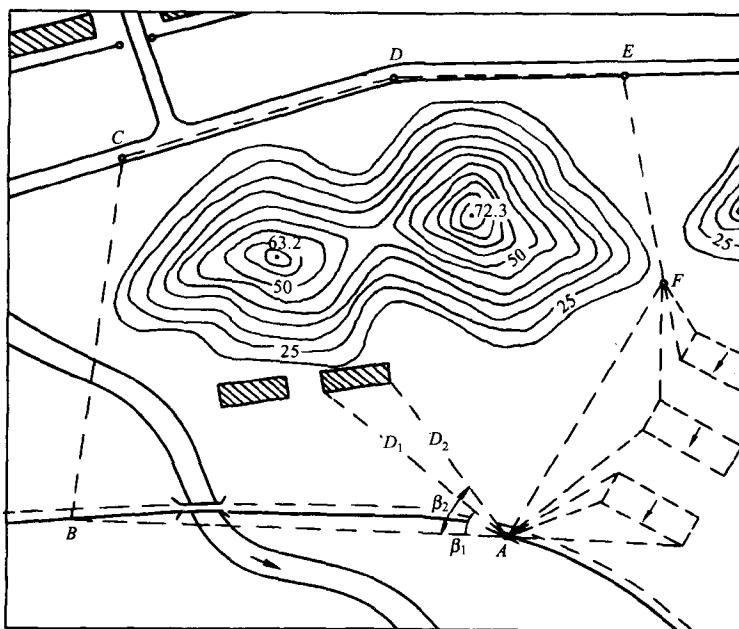
地球表面的形态是复杂多样的，但主要可分为地物和地貌两大类。所谓地物，是指地面上的固定物体，如房屋、道路、河流等；所谓地貌，是指地面高低起伏的形态，如高山、平地、谷地等。在普通测量中，以水平面作为投影面，地面上各空间点都是采用正射投影并按比例缩小测绘到图纸上的。因此，测图的关键是测定一些地面点的空间位置，这样才能确定点与点之间的相对关系。

测图工作需要测定很多碎部点（包括地物点和地貌点）的平面位置和高程。如从某一碎部点开始，逐点施测，测量误差必将随着测量点数的增加而积累增大，最后达到不可容许的程度。因此，实际测量工作中常遵循“从整体到局部”的原则，采用“先控制后碎部”的测量程序。“从整体到局部”的原则是指测量工作的布局而言；而“先控制后碎部”的程序是指测量工作的先后顺序。

“先控制后碎部”的程序是：见图 1-12，在测区内先选择一些有控制意义的点，如  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  等点作为控制点，用较精密的方法测定这些点的平面位置和高程。



(a)



(b)

图 1-12 实物图和地形图

(a) 实物图；(b) 地形图

然后根据这些控制点施测其周围的碎部点。采用这种“先控制后碎部”的测量程序，由于碎部点的位置都是从各控制点测定的，所以测量误差不会从一个碎部点传递到另一个碎部点。同时由于建立了统一的控制网，把碎部测量划分成几部分进行，可以加快测量进度。

对于建筑物的施工放样，也是遵循从整体到局部的原则。即首先在施工场地选定一些有控制意义的点，用精密测量的方法测定这些控制点的位置，建立施工控制网；然后利用控制点将设计在图纸上的建筑物测设于地面，称为建筑物的细部放样。

综上所述，无论是控制测量、碎部测量还是施工放样，其实质都是确定地面点的位

置，而地面点间的相互位置关系是以水平角（方向）、距离和高差来确定的，因此，高程测量、水平角测量和距离测量是测量学的基本内容，测高程、测角和测距是测量的基本工作，观测、计算和绘图是测量工作的基本技能。

## 第六节 测绘科学的发展概况

测绘科学和其他科学一样，是由生产的需要而发生，随着生产的发展而发展的。我国是世界文明古国之一，测绘科学在我国有着悠久的历史。远在 4000 多年前，夏禹治水时，就应用简单的工具进行测量。公元 3 世纪，我国伟大的制图学家裴秀，创立了“制图六体”，此六体即是：道里（距离）、准望（方向）、高下（地势起伏）、方邪（地物形状）、遇直（河流、道路的曲直）、分率（比例尺），这是世界上最早的制图规范。春秋战国时，我国发明了指南针，促进了测量技术的发展，这是我国对于世界测量技术的伟大贡献。公元 724 年，太史监南宫说曾在河南北起滑县，经开封、许昌，南到上蔡，直接丈量了长达 300km 的子午线弧长，这是我国第一次用弧度测量的方法，测定地球的形状和大小，也是世界上最早的一次子午线弧长测量。元代郭守敬拟定了全国纬度测量计划，共实测了 27 个点的纬度。清代康熙年间进行了大规模的大地测量工作，并在此基础上进行了全国范围的地形测量，最后制成“皇舆全览图”，这是世界上完成全国地形图最早的国家之一。

在国外，17 世纪初测量学在欧洲得到较大发展。1617 年荷兰人斯纳留斯首次进行了三角测量。1608 年荷兰的汉斯发明了望远镜，随后被应用到测量仪器上，使测绘科学产生了巨大变革。随着第一次产业革命的兴起，测量的理论和方法不断得到发展。1687 年牛顿发表了万有引力，提出了地球是一个旋转椭球体。1794 年高斯提出的最小二乘法理论，以及随后提出了精确的横圆柱投影，对测绘科学理论的发展起到了重要的推动作用。在 19 世纪中许多国家都进行了全国地形测量。20 世纪初随着飞机的出现和摄影测量理论的发展，产生了航空摄影测量，给测绘科学又一次带来巨大的变革。

20 世纪 50 年代起，电子学、计算机、电磁波技术和空间技术的兴起，使测绘科学又得到新的发展。如自动安平水准仪、电磁波测距仪、电子经纬仪、电子全站仪、陀螺经纬仪、GPS 接收机等新型测绘仪器的不断出现，以及电子计算机、遥感技术、惯性测量、卫星大地测量和近景摄影测量等新技术的应用，使测绘科学发展到了一个新的阶段，并正向自动化、数字化的方向继续前进。

近几十年，我国测绘事业有了很大发展。建立和统一了全国坐标系统和高程系统；建立了遍及全国的大地控制网、国家水准网、基本重力网和卫星多普勒网；完成了国家大地网和水准网的整体平差、国家基本图的测绘工作；完成了珠穆朗玛峰和南极长城站的地理位置和高程测量；配合国民经济建设进行了大量的测绘工作，例如进行了南京长江大桥、葛洲坝水电站、三峡水电站、宝山钢铁厂、北京正负电子对撞机等工程的精确放样和设备安装测量。在测绘仪器制造方面，现在不仅能生产系列的光学测量仪器，还研制成功各种测程的光电测距仪、卫星激光测距仪和数字摄影测量系统等先进仪器设备。在测绘人才培养方面，已培养出各类测绘技术人员数万名，大大提高了我国测绘科技水平。近年来，