

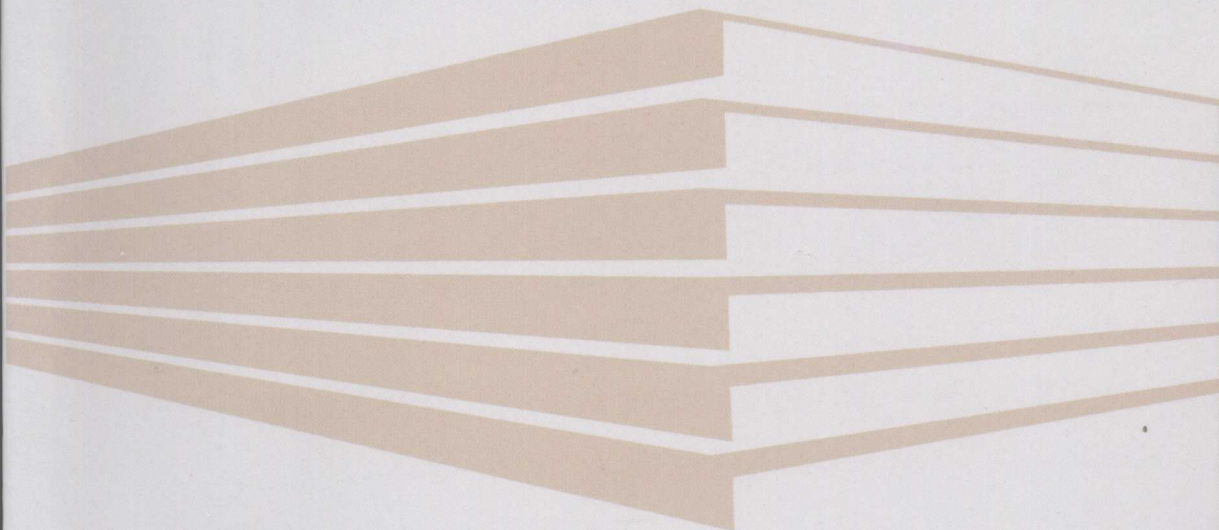


普通高等学校教材

# 建筑工程测量

JIANZHU GONGCHENG CELIANG

● 李沛鸿 曾宪珪 徐昌荣 主编



地质出版社

# 建筑工程测量

李沛鸿 曾宪珪 徐昌荣 主 编

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

本教材面向非测绘专业有关学生学习建筑工程测量内容而编写。作者从建筑工程测量学的基本知识入手,逐一介绍有关建筑工程测量的理论知识和相关内容。全书共十三章,分为三大部分:建筑工程测量的基本知识、基本理论及测量仪器的构造和使用方法;小地区控制测量及大比例尺地形图的测图、识图和用图;建筑施工测量的具体内容。本书体系结构合理、内容实用,能很好地满足有关学科的教学需求。

本书可作为高等学校工程管理、土木工程、安全工程、岩土工程、给排水、工程地质勘查、城市规划、房地产、采矿工程、地球物理勘查等相关专业的选用教材;也可供测绘类及非测绘类专业相关部门的技术人员参阅。

## 图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量 / 李沛鸿等主编. —北京:地质出版社,  
2007. 12

ISBN 978 - 7 - 116 - 05590 - 2

I. 建… II. 李… III. 建筑测量 - 高等学校 - 教材

IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 002219 号

---

责任编辑:王春庆

责任校对:韦海军

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324573 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zhs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 香河金鑫印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 13.75

字 数: 300 千字

印 数: 1—4000 册

版 次: 2007 年 12 月北京第 1 版 · 第 1 次印刷

定 价: 19.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 05590 - 2

---

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

# 前 言

为了适应工程建设日益发展的需要,适应普通高等学校非测绘类专业《建筑工程测量》课程的教学要求,编者根据高等学校非测绘类专业建筑工程测量的教学大纲,结合多年来的教学实践编写了本教材。全书共十三章,分为三大部分:第一部分(第一~五章)主要介绍了建筑工程测量的基本知识、基本理论,以及测量仪器的构造和使用方法;第二部分(第六~九章)介绍了小地区控制测量及大比例尺地形图的测图、识图和用图;第三部分(第十~十三章)为施工测量部分,详细介绍了建筑施工测量的全部内容。本书力求按照国家最新测量规范编写,尽量做到简明、扼要、实用,并大量介绍了测绘新技术。为了便于教学,每章之后附有复习题,并编写了相应的实习、实验指导书。

本书由江西理工大学李沛鸿、曾宪珪、徐昌荣、马大喜主编。参加编写的老师及分工为:李沛鸿(第九、十、十一、十二、十三章)、曾宪珪(第一、三、七、八章)、徐昌荣(第二、四、六章)、马大喜(第五章),本书的插图大多由冯自学绘制。

本书编写过程中,得到江西理工大学教务处、建筑与测绘学院院长刘小生教授及测绘教研室其他教师的大力支持和帮助;地质出版社领导及王春庆编辑对本书出版付出了大量辛勤劳动;本书由武汉大学测绘学院黄声享教授主审;在此,编者一并致以诚挚的谢意。由于业务水平所限,错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2007年8月

# 目 次

## 前 言

|                         |      |
|-------------------------|------|
| 第一章 绪论                  | (1)  |
| 第一节 测量学与建筑工程测量概述        | (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 水平面代替水准面的限度         | (7)  |
| 第五节 测量工作概述              | (9)  |
| 第二章 水准测量                | (12) |
| 第一节 水准测量原理              | (12) |
| 第二节 $DS_3$ 型水准仪及其操作     | (14) |
| 第三节 普通水准测量及其成果整理        | (20) |
| 第四节 $DS_3$ 型水准仪的检验与校正   | (26) |
| 第五节 水准测量误差分析及注意事项       | (30) |
| 第六节 自动安平水准仪             | (32) |
| 第七节 精密水准仪简介             | (34) |
| 第三章 角度测量                | (38) |
| 第一节 角度测量原理              | (38) |
| 第二节 $DJ_6$ 型光学经纬仪及其操作   | (39) |
| 第三节 水平角观测               | (44) |
| 第四节 竖直角观测               | (48) |
| 第五节 $DJ_6$ 型光学经纬仪的检验与校正 | (51) |
| 第六节 水平角测量误差与注意事项        | (57) |
| 第七节 电子经纬仪简介             | (60) |
| 第四章 距离测量与直线定向           | (63) |
| 第一节 钢尺量距                | (63) |
| 第二节 光电测距仪               | (70) |
| 第三节 直线定向                | (73) |
| 第四节 用罗盘仪测定直线的磁方位角       | (76) |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| <b>第五章 测量误差的基本知识</b> | (78)  |
| 第一节 测量误差及其分类         | (78)  |
| 第二节 衡量精度的指标          | (81)  |
| 第三节 算术平均值及其中误差       | (83)  |
| 第四节 误差传播定律及其应用       | (87)  |
| 第五节 权的概念             | (89)  |
| <b>第六章 控制测量</b>      | (93)  |
| 第一节 概述               | (93)  |
| 第二节 导线测量外业           | (95)  |
| 第三节 导线测量的内业计算        | (97)  |
| 第四节 交会法定点            | (106) |
| 第五节 高程控制测量           | (110) |
| 第六节 全球定位系统 (GPS) 简介  | (115) |
| <b>第七章 地形图的基本知识</b>  | (119) |
| 第一节 地图、平面图和地形图       | (119) |
| 第二节 比例尺              | (120) |
| 第三节 图幅分幅、图名与图号       | (121) |
| 第四节 地形图图式            | (122) |
| 第五节 等高线              | (124) |
| <b>第八章 大比例尺地形图测绘</b> | (129) |
| 第一节 视距测量             | (129) |
| 第二节 测图前的准备工作         | (132) |
| 第三节 增设测站点的方法         | (133) |
| 第四节 碎部测量             | (134) |
| 第五节 等高线的勾绘           | (136) |
| 第六节 地形图的检查、清绘、拼接与整饰  | (137) |
| 第七节 数字测图简介           | (139) |
| <b>第九章 地形图的应用</b>    | (143) |
| 第一节 地形图的识读           | (143) |
| 第二节 地形图应用的基本内容       | (145) |
| 第三节 地形图上面积的量算        | (149) |
| 第四节 地形图上土方量的计算       | (151) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| <b>第十章 测设的基本工作</b> .....   | (157) |
| 第一节 已知水平距离、水平角和高程的测设 ..... | (157) |
| 第二节 点的平面位置的测设方法 .....      | (160) |
| 第三节 已知坡度线的测设 .....         | (162) |
| 第四节 曲线的测设 .....            | (163) |
| <b>第十一章 建筑施工测量</b> .....   | (170) |
| 第一节 概述 .....               | (170) |
| 第二节 施工控制测量 .....           | (171) |
| 第三节 民用建筑施工测量 .....         | (176) |
| 第四节 工业建筑施工测量 .....         | (186) |
| <b>第十二章 管道工程测量</b> .....   | (195) |
| 第一节 概述 .....               | (195) |
| 第二节 管道中线定位 .....           | (195) |
| 第三节 管道纵断面图的测绘 .....        | (196) |
| 第四节 管道横断面图的测绘 .....        | (199) |
| 第五节 面积和土方量计算 .....         | (201) |
| 第六节 管道施工测量 .....           | (202) |
| <b>第十三章 建筑物的变形观测</b> ..... | (205) |
| 第一节 变形观测概述 .....           | (205) |
| 第二节 建筑物的沉陷观测 .....         | (205) |
| 第三节 建筑物的倾斜观测 .....         | (209) |
| 第四节 建筑物的裂缝观测 .....         | (211) |
| 第五节 建筑物的水平位移观测 .....       | (212) |
| 第六节 竣工总平面图的编绘 .....        | (212) |
| <b>参考文献</b> .....          | (214) |

# 第一章 绪 论

## 内容提示

本章共分五节，主要介绍了测量学与建筑工程测量的任务和作用，地球的形状和大小，平面和高程测量的基准面，测量的坐标轴系、定位元素和定位方法，地球曲率的影响，最后，介绍了测量常用的计算单位。本章的重点内容是：建筑工程测量的定义和任务，大地水准面、地球椭球面、地理坐标、平面直角坐标、高斯-克吕格坐标、高程，测量的定位元素和原则，地球曲率对定位元素的影响，测量常用单位中的弧度计算。

## 第一节 测量学与建筑工程测量概述

### 一、测量学的任务及其作用

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面点位的科学。它的内容包括两部分，即测定和测设。测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，得到一系列测量数据或成果，将地球表面的地形缩绘成地形图，供经济建设、国防建设、规划设计及科学研究使用。测设（放样）是指用一定的测量方法和精度，把设计图纸上规划设计好的建（构）筑物的平面位置和高程标定在实地上，作为施工的依据。

测量学包括大地测量学、普通测量学、摄影测量学、海洋测量学、工程测量学及地图制图学等分支。本教材主要介绍普通测量学及部分建筑工程测量的内容，以便能应用所学的建筑工程测量知识为其专业工作服务。

测量学是一门历史悠久的科学，早在几千年前，由于当时社会生产发展的需要，中国、埃及、希腊等国家的劳动人民就开始创造与运用测量工具进行测量。我国在古代就发明了指南针、浑天仪等测量仪器，为天文、航海及测绘地图作出了重要的贡献。随着人类社会需求和近代科学技术的发展，测绘技术已由常规的大地测量发展到空间卫星大地测量，由航空摄影测量发展到航天遥感技术的应用；测量对象由地球表面扩展到空间星球，由静态发展到动态；测量仪器已广泛趋向精密化、电子化和自动化。新中国成立 50 多年来，我国测绘事业得到了蓬勃发展，在天文大地测量、人造卫星大地测量、航空摄影与遥感、精密工程测量、近代平差计算、测量仪器研制及测绘人才培养等方面，都取得了令人鼓舞的成就。我国的测绘科学技术已居世界先进行列。

测量技术是了解自然、改造自然的重要手段，也是国民经济建设中一项基础性、前期和超前期的工作，应用广泛。它能为城镇规划、市政工程、土地与房地产开发、农业、防



灾、科研等方面提供各种比例尺的现状地形图或专用图和测绘资料；同时按照规划设计部门的要求，进行道路规划定线和拨地测量，以及市政工程、工业与民用建筑工程等建筑工程的勘察测量，直接为建设工程项目的设计与施工服务。在工程施工过程和运营管理阶段，对高层、大型建（构）筑物进行沉降、位移、倾斜等变形观测，以确保建（构）筑物的安全，并为建（构）筑物结构和地基基础的研究提供各种可靠的测量数据。所以，测量工作将直接关系到工程的质量和预期效益的实现，是我国现代化建设不可缺少的一项重要工作。随着测绘科技的发展以及新技术的研究开发与应用，必将为各个行业及时提供更多更好的信息服务与准确的、适用的测绘成果。

## 二、建筑工程测量的任务及其作用

建筑工程测量是研究工业与民用建筑的勘察、设计、施工和管理等阶段中所需进行的各种测量工作。它的任务是：

- 1) 利用各种测量仪器和工具测定地面点的相互位置，将地面的形状和大小按一定比例尺绘制成地形图等供规划设计之用。
- 2) 将拟建建筑物的位置和大小按设计图纸的要求测设在地面上以便施工，这种工作通常称为测设，又称施工放样或放线。
- 3) 竣工以后，为工程验收、扩建和改建提供可靠资料，需要进行竣工测量。有时为了鉴定建筑物的工程质量及监护建筑物的运营，或为建筑结构及地基基础科学研究提供资料，还要在施工过程和使用管理各阶段中对这些建筑物进行沉降、位移和倾斜等变形观测。

如上所述，测量工作实际上贯穿于建筑工程的全过程，其质量直接关系着工程建设的速度和质量。随着我国现代化建设事业的蓬勃发展，工程建设的速度和复杂程度越来越高，因而测量工作的精度和速度也要相应地不断提高。

## 第二节 地球的形状和大小

测绘工作是在地球的自然表面上进行的，而地球自然表面是极不平坦和不规则的，其中有高达 8844.43m 的珠穆朗玛峰，也有深至 11033m 的马里亚纳海沟，尽管它们高低起伏悬殊，但与半径为 6371km 的地球比较，还是可以忽略不计的。此外，地球表面海洋面积约占 71%，陆地面积仅占 29%。因此，人们设想以一个静止不动的水面延伸穿越陆地，形成一个闭合的曲面包围整个地球，这个闭合的曲面称为水准面。水准面可有无数个，其中通过平均海水面的一个水准面称为大地水准面，它是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体，称为大地体，如图 1-1 (a) 所示。

水准面是受地球重力影响而形成的，它的特点是水准面上任意一点的铅垂线（重力作用线）都垂直于该点的曲面。由于地球内部质量分布不均匀，引起地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化，致使大地水准面成为一个有微小起伏的复杂曲面，如图 1-1 (b) 所示。如果将地球表面的图形投影到这个复杂曲面上，对于地形制图或测量计算工作都是非常困难的，为此，人们经过几个世纪的观测和推算，选用一个既非常接近大地体、又能用数学模型表示的规则几何形体来作为地球的参考形状和大小，这个几何形体

是由一个椭圆 NWSE 绕其短轴 NS 旋转而成的形体,称为参考椭球体,如图 1-1 (c) 所示。决定参考椭球体形状和大小元素为椭圆的长半径  $a$ , 短半径  $b$  及扁率  $\alpha$ , 其关系式为

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

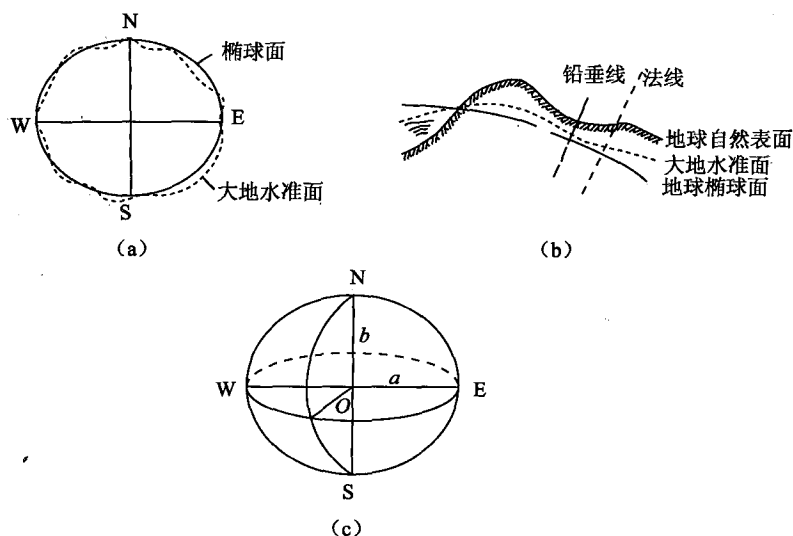


图 1-1 大地水准面与参考椭球体

我国目前采用的参考椭球体元素为: 长半径  $a = 6378140\text{m}$ , 短半径  $b = 6356755\text{m}$ , 扁率  $\alpha = 1/298.257$ , 并以陕西省泾阳县永乐镇某点为大地原点, 进行了参考椭球体定位, 由此建立了新的全国统一坐标系, 即目前使用的“1980 年国家大地测量坐标系”。

由于参考椭球体的扁率  $\alpha$  很小, 当测区面积不大时, 可以把地球当作圆球来看待, 其圆球半径  $R = \frac{1}{3}(2a + b)$ ,  $R$  的近似值可取  $6371\text{km}$ 。

### 第三节 地面点位的确定

测量工作的实质是确定地面点的位置, 而地面点的位置通常需要用三个量表示, 即该点的平面 (或球面) 坐标以及该点的高程。因此, 必须首先了解测量的坐标系统和高程系统。

#### 一、坐标系统

坐标系统是用来确定地面点在参考椭球面或投影在水平面上的位置。表示地面点位在球面或平面上的位置, 通常有下列三种坐标系统。

##### 1. 地理坐标

地面点在椭球面 (大地水准面) 上的位置用经度和纬度表示的, 称为地理坐标。按

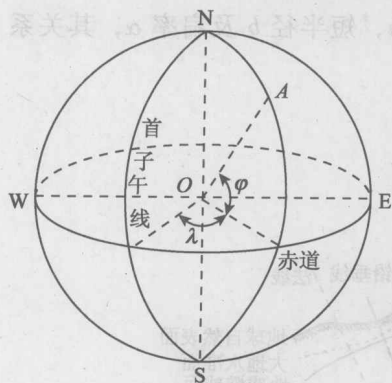


图 1-2 天文地理坐标

照基准面和基准线及求算坐标方法的不同，地理坐标又可分为天文地理坐标（简称为天文坐标）和大地地理坐标（简称为大地坐标）两种。图 1-2 所示为天文地理坐标，它用天文经度  $\lambda$  和天文纬度  $\varphi$  表示地面点  $A$  在大地水准面上的位置。天文经度和天文纬度是用天文测量的方法直接测定的。大地坐标是用大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  表示地面点在地球椭球面上的位置。大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  是根据大地测量所得数据推算得到的。

经度是从首子午线（首子午面）向东或向西自  $0^\circ$  起算至  $180^\circ$ ，向东者为东经，向西者为西经；纬度是从赤道（赤道面）向北或向南自  $0^\circ$  起算至  $90^\circ$ ，分别称为北纬和南纬。我国的国土范围位于北半球及东半球，经度为东经，纬度为北纬。例如江西省赣州市江西理工大学

某点的大地坐标为东经  $L = 114^\circ 55' 20.22''$ ，北纬  $B = 25^\circ 51' 26.17''$ ；北京市某点的大地坐标为东经  $116^\circ 28'$ ，北纬  $39^\circ 54'$ 。

## 2. 高斯平面直角坐标

上述地理坐标只能确定地面点在大地水准面或地球椭球面上的位置，不能直接用来测图。测量上的计算和绘图最好是在平面上进行，而地球椭球面是一个曲面，不能简单地展开成平面，那么如何建立一个平面直角坐标系呢？我国是采用高斯投影来实现的。

高斯投影首先是将地球按经线分为若干带，称为投影带。它从首子午线（零子午线）开始，自西向东每隔  $6^\circ$  划为一带，每带均有统一编排的带号，用  $N$  表示，位于各投影带中央的子午线称为中央子午线 ( $L_0$ )，也可由东经  $1^\circ 30'$  开始，自西向东每隔  $3^\circ$  划为一带，其带号用  $n$  表示，如图 1-3 所示。我国国土所属范围位于  $6^\circ$  带投影的第 13 带至第 23 带，即带号  $N = 13 \sim 23$ 。相应地，在  $3^\circ$  带中位于第 24 带至第 46 带，即带号  $n = 24 \sim 46$ 。

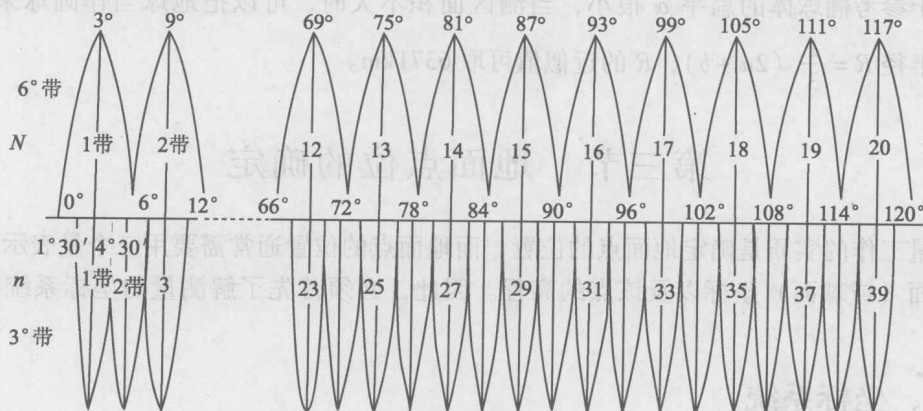


图 1-3 投影分带与  $6^\circ$  ( $3^\circ$ ) 带

$6^\circ$  带中央子午线经度  $L_0 = 6N - 3$ ， $3^\circ$  带中央子午线经度  $L'_0 = 3n$ 。例如，南京市某点的经度为东经  $118^\circ 47'$ 。它属于  $6^\circ$  带第 20 号带，即  $N = \frac{118^\circ 47' + 3^\circ}{6^\circ} = 20$ （四舍五入取整数

值), 相应  $6^\circ$  带中央子午线经度  $L_0 = 6N - 3 = 6 \times 20 - 3 = 117^\circ$ ; 它属于  $3^\circ$  带第 40 号带, 即  $n = \frac{118^\circ 47'}{3^\circ} = 40$  (四舍五入取整数值), 相应  $3^\circ$  带中央子午线  $L'_0 = 3n = 3 \times 40 = 120^\circ$ 。

设想把一个圆柱体套在椭球外面, 使圆柱体的轴心通过椭球的中心, 并与椭球面上某投影带的中央子午线相切, 然后将中央子午线附近 (即本带东西边缘子午线构成的范围) 的椭球面上的点、线投影到圆柱面上, 如图 1-4 所示。再沿着过南北极的母线将圆柱面剪开, 并展开为平面, 这个平面称为高斯投影平面。在高斯投影平面上, 中央子午线和赤道的投影是两条相互垂直的直线。我们规定中央子午线的投影为高斯平面直角坐标系的  $X$  轴,

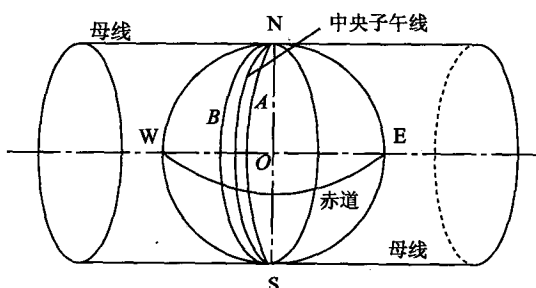


图 1-4 高斯平面直角坐标的投影

赤道的投影为高斯平面直角坐标系的  $Y$  轴, 两轴交点  $O$  为坐标原点, 并令  $X$  轴上原点以北为正,  $Y$  轴上原点以东为正, 由此建立了高斯平面直角坐标系, 如图 1-5 (a) 所示。

在图 1-5 (a) 中, 地面点  $A, B$  在高斯平面上的位置, 可用高斯平面直角坐标  $x, y$  来表示。

由于我国国土全部位于北半球 (赤道以北), 故我国国土上全部点位的  $x$  坐标值均为正值, 而  $y$  坐标值则有正有负。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, 如图 1-5 (b) 所示。由于各投影带上的坐标系是采用相对独立的高斯平面直角坐标系, 为了能正确区分某点所处的位置, 规定在横坐标  $y$  值前面冠以投影带带号, 这样得到的坐标称为  $y$  坐标的通用值。例如, 图 1-5 (a) 中  $B$  点位于高斯投影带第 20 带内 ( $N=20$ ), 其横坐标的自然值  $y = -113424.690\text{m}$ , 按照上述规定  $y$  坐标的通用值为  $y_b = 20 + (-113424.690 + 500000) = 20386575.310$ , 对比反之, 人们从这个  $y_b$  值中可以知道, 该点是位于  $6^\circ$  投影的第 20 带, 其横坐标的自然值  $y = 386575.310 - 500000 = -113424.690\text{m}$ 。

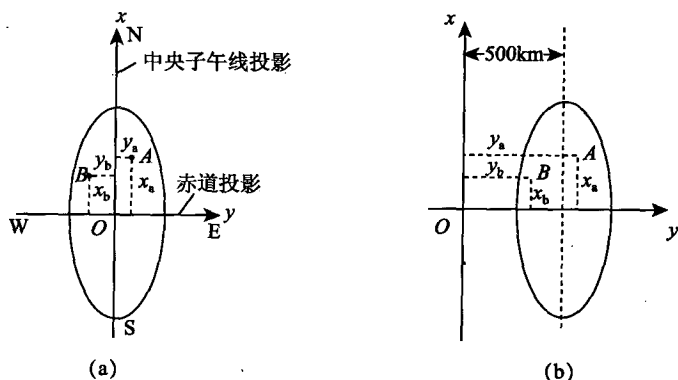


图 1-5 高斯平面直角坐标

高斯投影是正形投影，一般只需将椭球面上的方向、距离等观测值经高斯投影的方向改化和距离改化后，归化为高斯投影平面上的相应观测值，然后在高斯平面坐标系内进行平差计算，从而求得地面点位在高斯平面直角坐标系内的坐标。

### 3. 独立平面直角坐标

当测量范围较小时（如半径不大于 10km 的范围），可以将该测区的球面看作平面，

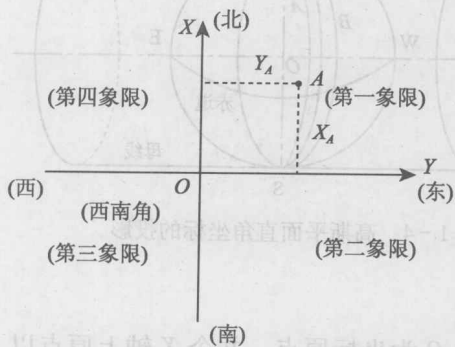


图 1-6 独立平面直角坐标

直接将地面点沿铅垂线方向投影到水平面上，用平面直角坐标来表示该点的投影位置。在实际测量中，一般将坐标原点选在测区的西南角，使测区内的点位坐标均为正值（第一象限），并以该测区中部的子午线（或磁子午线）的投影为 X 轴，向北为正，与之相垂直的为 Y 轴，向东为正，由此建立该测区的独立平面直角坐标系，如图 1-6 所示。

上述三种坐标系统之间也是相互联系的，例如地理坐标与高斯平面直角坐标之间可以互相换算，独立平面直角坐标也可与高斯平面直角坐标（国家统一坐标系）之间连测和换算。它们都是以不同的方式来表示地面点的平面位置。

## 二、高程系统

新中国成立以后，我国曾以青岛验潮站多年观测资料求得黄海平均海水面作为我国的大地水准面（高程基准面），由此建立了“1956 年黄海高程系”，并在青岛市观象山上建立了国家水准原点，水准原点高程  $H = 72.289\text{m}$ 。以后，随着几十年来验潮站观测资料的积累与计算，更加精确地确定了黄海平均海水面，称为“1985 国家高程基准”，此时测定的国家水准原点高程  $H = 72.260\text{m}$ 。根据国家测绘总局国测发 [1987] 198 号文件通告，此后全国都应“1985 国家高程基准”作为统一的国家高程系统。现在仍在使用的“1956 年黄海高程系”及其他高程系统（如吴淞高程系统）均应统一到“1985 国家高程基准”的高程系统上。在实际测量中，特别要注意高程系统的统一。

所谓地面点的高程（绝对高程或海拔）就是地面点到大地水准面的铅垂距离，一般用  $H$  表示，如图 1-7 所示。图中地面点  $A, B$  的高程分别为  $H_A, H_B$ 。

在个别的局部测区，若远离已知国家高程控制点，为便于施工，也可以假设一个高程起算面（即假定水准面），这时地面点到假定水准面的铅垂距离，称为该点的假定高程或相对高程。如图 1-7 中  $A, B$  两点的相对高程为  $H'_A, H'_B$ 。

地面上两点间的高程之差，称为高差，一般用  $h$  表示。图 1-7 中  $A, B$  两点间高差  $h_{AB}$  为

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

式中： $h$  的下标表示高差的起终点，如下标  $AB$  表示  $A$  点至  $B$  点的高差。高差有正有负，为正时表示终点高于起点，反之则表示终点低于起点。上式也表明两点间高差与高程起算面无关。

综上所述，当通过测量与计算，求得表示地面点位置的三个量，即  $X, Y, H$  或  $L$ ,

$B, H$ , 那么地面点的空间位置也就可以确定了。

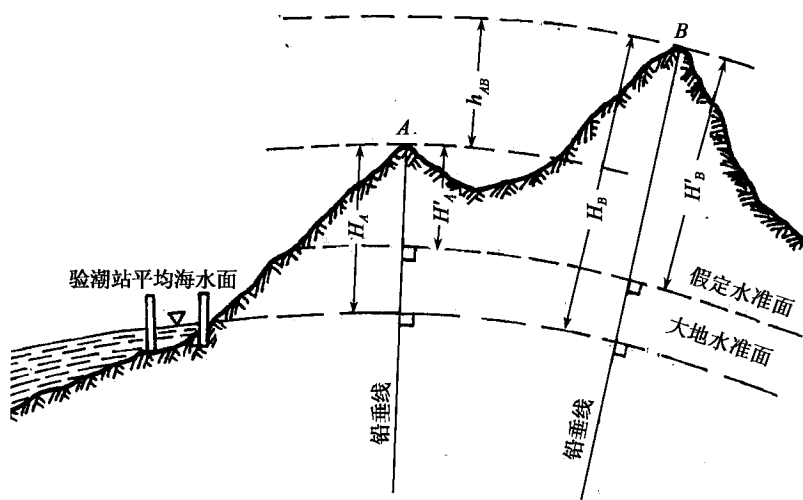


图 1-7 高程和高差

#### 第四节 水平面代替水准面的限度

在普通测量工作中是将大地水准面近似地看作圆球面, 将地面点投影到圆球面上, 然后再投影到平面图纸上描绘; 显然这是很复杂的工作。实际测量工作中, 在一定的精度要求和测区面积不大的情况下, 往往以水平面代替水准面, 即把较小一部分地球表面上的点投影到水平面上来决定其位置, 这样可以简化计算和绘图工作。

从理论上讲, 将极小部分的水准面 (曲面) 当作水平面也是要产生变形的, 它也会对测量观测值 (如距离、高差等) 带来影响。但是由于测量和制图本身会有不可避免的误差, 当这种影响不超过测量和制图本身的误差范围时, 认为用水平面代替水准面是可以的, 而且是合理的。本节主要讨论用水平面代替水准面对距离和高差的影响 (或称地球曲率的影响), 以便给出限制水平面代替水准面的限度。

##### 1. 对距离的影响

如图 1-8 所示, 设球面 (水准面) 与水平面在  $a$  点相切,  $a, b$  两点在球面上的弧长为  $D$ , 在水平面上的距离 (水平距离) 为  $D'$ , 即

$$D = R \cdot \theta \quad D' = R \cdot \tan \theta$$

式中:  $R$ ——球面  $P$  的半径;

$\theta$ ——弧长  $D$  所对的角度。

以水平面上距离  $D'$  代替球面上的弧长  $D$  所产生的误差为  $\Delta D$ , 则

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-1)$$

将 (1-1) 式中  $\tan \theta$  按级数展开, 并略去高次项, 得

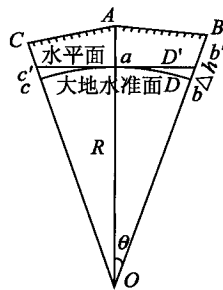


图 1-8 水平面代替水准面的影响



$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3 + \frac{2}{15} \theta^5 + \dots$$

因此 
$$\Delta D = R \left[ \left( \theta + \frac{1}{3} \theta^3 + \frac{2}{15} \theta^5 + \dots \right) - \theta \right] \approx R \cdot \frac{1}{3} \theta^3$$

以  $\theta = \frac{D}{R}$  代入上式，得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \tag{1-2}$$

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

若取地球平均曲率半径  $R = 6371\text{km}$ ，并以不同的  $D$  值代入 (1-2) 式或 (1-3) 式，则可得出距离误差  $\Delta D$  和相应的相对误差  $\Delta D/D$ ，如表 1-1 所列。

表 1-1 水平面代替水准面的距离误差和相对误差

| 距离 $D/\text{km}$ | 距离误差 $\Delta D/\text{mm}$ | 相对误差 $\Delta D/D$ |
|------------------|---------------------------|-------------------|
| 10               | 8                         | 1/1220000         |
| 25               | 128                       | 1/200000          |
| 50               | 1026                      | 1/49000           |
| 100              | 8212                      | 1/12000           |

由表 1-1 可知，当距离为 10km 时，用水平面代替水准面（球面）所产生的距离相对误差为 1/1220000，目前最精密的距离测量相对误差为 1/100 万。因此，可以认为在半径为 10km 的范围内，用水平面代替水准面所产生的距离误差可忽略不计，也就是可不考虑地球曲率对距离的影响。当精度要求较低时，还可以将测量范围的半径扩大到 25km。

## 2. 对高差的影响

在图 1-8 中， $a, b$  两点在同一球面（水准面）上，其高程应相等（即高差为零）。 $b$  点投影到水平面上得  $b'$  点，则  $bb'$  即为水平面代替水准面产生的高差误差。

设  $bb' = \Delta h$ ，则  $(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2$

即

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

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

式中可以用  $D$  代替  $D'$ ，同时  $\Delta h$  与  $2R$  相比可略去不计，则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \tag{1-4}$$

以不同的  $D$  代入 (1-4) 式，取  $R = 6371\text{km}$ ，则得相应的高差误差值，如表 1-2 所列。

表 1-2 水平面代替水准面的高差误差

| 距离 $D/\text{km}$     | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 1  | 2   | 5    | 10   |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|------|------|
| $\Delta h/\text{mm}$ | 0.8 | 3   | 7   | 13  | 20  | 78 | 314 | 1962 | 7848 |

由表 1-2 可知, 用水平面代替水准面, 在 1km 的距离上高差误差就有 78mm, 即使距离为 0.1km 时, 高差误差也有 0.8mm。所以, 在进行水准 (高程) 测量时, 即使很短的距离都应考虑地球曲率对高差的影响, 也就是说, 应当用水准面作为测量的基准面。

## 第五节 测量工作概述

测量工作的主要任务是测绘地形图和施工放样, 本节扼要介绍测图和放样的基本过程, 为学习后面各章建立起初步的概念。

### 一、测量工作的基本原则

测绘学科将地球表面复杂多样的物体和形态分为地物和地貌两大类。地面上固定性的或有明显边界的物体, 如河流、房屋、道路、湖泊等称为地物; 而地面高低起伏的形态, 如山岭、谷地和陡崖等称为地貌。地物和地貌统称为地形。

测绘地形图或放样建筑物位置时, 要在某一个点上测绘出该测区全部地形或者放样出建筑物的全部位置是不可能的。如图 1-9 (a) 中所示  $A$  点, 在该点只能测绘附近的地形或放样附近的建筑物的位置 (如图中建筑物  $P$ ), 对于位于山后面的部分以及较远的地形就观测不到。因此, 需要在若干点 (站) 上分区施测, 最后将各分区地形拼接成一幅完整的地形图, 如图 1-9 (b) 所示。施工放样也是如此。但是, 任何测量工作都不可避免地会产生误差, 故每点 (站) 上的测量都应采取一定的程序和方法, 遵循测量的基本原则, 以防误差积累, 保证测绘成果的质量。

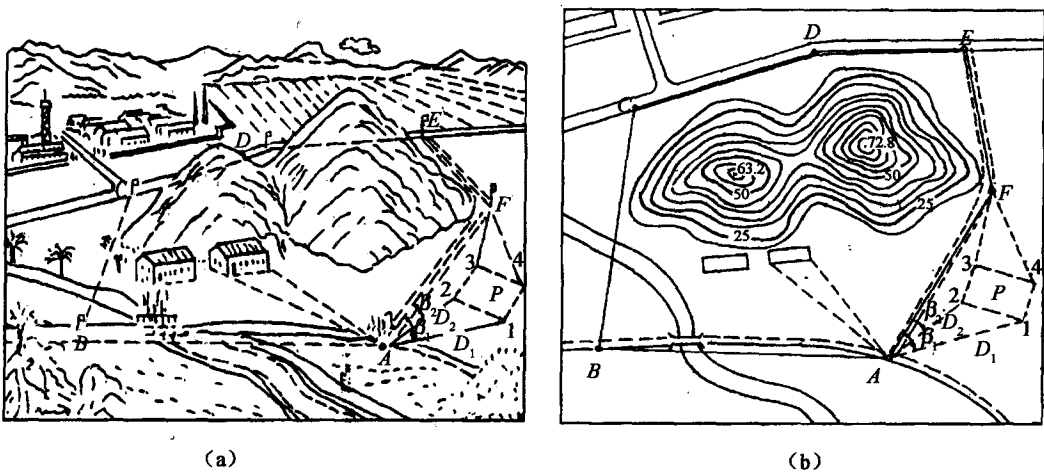


图 1-9 地形和地形图示意



因此,在实际测量工作中应当遵守以下基本原则:

- 1) 在测量布局上,应遵循“由整体到局部”的原则;在测量精度上,应遵循“由高级到低级”的原则;在测量程序上,应遵循“先控制后碎部”的原则。
- 2) 在测量过程中,应遵循“随时检查,杜绝错误”的原则。

## 二、控制测量的概念

遵循“先控制后碎部”的测量原则,先用较高的精度测定测区内若干个具有控制意义的点的平面位置(坐标)和高程,作为测绘地形图或施工放样的依据,这一步工作称为控制测量,控制测量分为平面控制测量和高程控制测量。平面控制测量的形式有导线测量、三角测量及交会定点等,其目的是确定测区中一系列控制点的坐标  $X, Y$ ; 高程控制测量的形式有水准测量、光电测距三角高程测量等,其目的是测定各控制点间的高差,从而求出各控制点高程,如图 1-9 (a) 所示的测区,图中  $A, B, C, D, E, F$  为平面控制点,由这一系列控制点连结而成的几何网形,称为平面控制网,图 1-9 (a) 的控制网为导线形式。通过导线测量(包括测角度、量距离等)和计算,求得  $A, B, C, D, E, F$  等控制点的坐标  $X, Y$  值。同时,由测区内某一已知高程的水准点开始,经过  $A, B, C, D, E, F$  等控制点构成闭合水准路线,进行水准测量和计算,从而求得这些控制点的高程  $H$ 。

## 三、碎部测量的概念

测定地物和地貌特征点位置的工作称为碎部测量。碎部测量是以控制点为依据,测定控制点至碎部点(地形特征点)之间的水平距离、高差及其相对于某一已知方向的角度来确定碎部点的位置,然后按一定的比例尺将这些碎部点位展绘在图纸或计算机屏幕上。测定了一定数量的碎部点后,参照实地绘制地形图,如图 1-9 (b) 所示。图上表示的道路、桥梁及房屋等为地物,是用规定的图式符号绘出的。图中央部分的一组闭合曲线表示实地测区内两座相连接的山头及其高低起伏的形态,这些闭合曲线称为等高线。用等高线表示地貌是最常用的方法,其原理参见第七章。

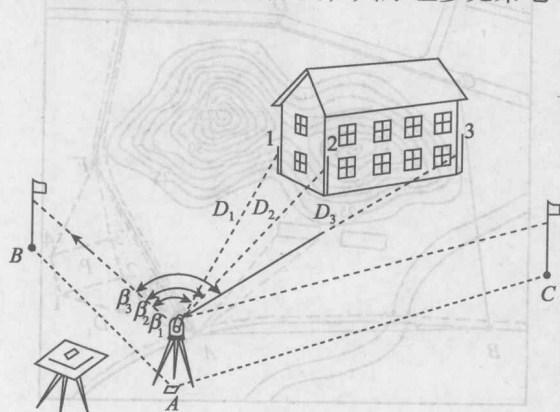


图 1-10 经纬仪测绘法

常规的碎部测量常用平板仪测绘法或经纬仪测绘法。图 1-10 所示为用经纬仪测绘法进行碎部测量,在控制点  $A$  上安置经纬仪,以另一控制点  $B$  定向,然后依次瞄准在房屋角点 1, 2, 3 处竖立的标尺,读得相应角度  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  及距离  $D_1, D_2, D_3$ 。根据角度和距离在图板的图纸上用量角器和直尺按比例尺标绘出房屋角 1, 2, 3 点的平面位置,同时,根据测量数据求得这些碎部点的高程,并把它标注在碎部点位置的右侧。