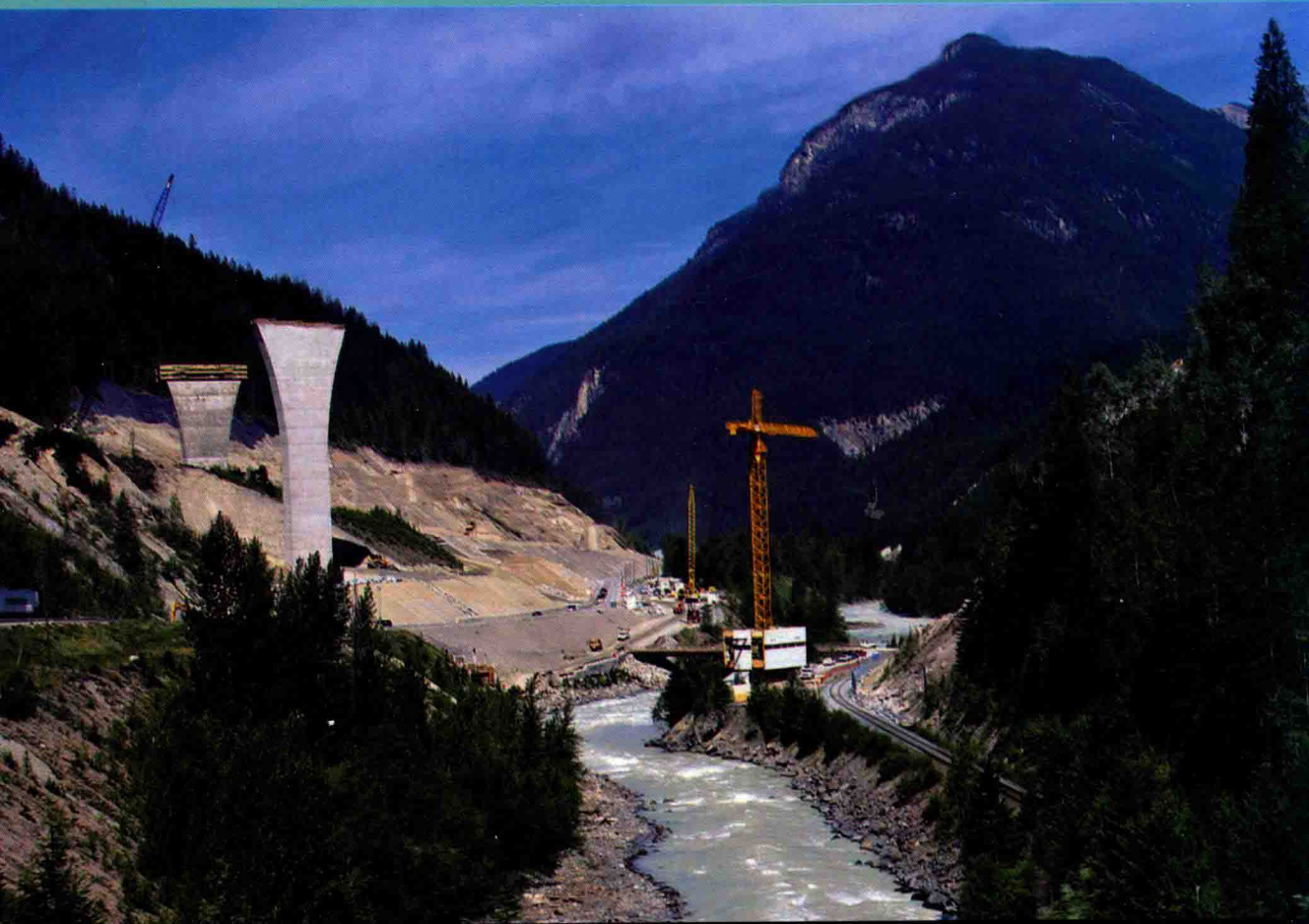


“十三五”普通高等教育规划教材



GONGCHENGCELIANG

# 工程测量

主 编 陈佰忠 樊文静



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

“十三五”普通高等教育规划教材

# 工 程 测 量

主 编 陈佰忠 樊文静  
副主编 王兴杰 高 珊  
霍如桃 赵 群  
主 审 张俊刚



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

## 内 容 提 要

本书共由 16 个项目组成,分别介绍了高程测量、角度测量、距离测量、全站仪的应用、直线方向的测量、测量误差理论、平面控制测量、高程控制测量、GPS 及其应用、地形测量、施工测量的基本工作、线路测量、桥梁施工测量、隧道施工测量、建筑工程测量以及高速铁路测量。本书可供高等学校应用型本科土木工程专业、工程管理专业使用,也可供其他相关专业或从事土木工程测量技术工作的人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程测量/陈佰忠,樊文静主编. —上海:同济大学出版社,2016.8

ISBN 978-7-5608-6516-4

I. ①工… II. ①陈… ②樊… III. ①工程测量—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 208763 号

---

“十三五”普通高等教育规划教材

## 工程测量

主编 陈佰忠 樊文静

责任编辑 陈佳蔚 责任校对 徐春莲 封面设计 潘向秦

---

出版发行 同济大学出版社 [www.tongjipress.com.cn](http://www.tongjipress.com.cn)  
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)  
经 销 全国各地新华书店  
印 刷 大丰科星印刷有限责任公司  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 23.5  
印 数 1—2 100  
字 数 587 000  
版 次 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5608-6516-4

---

定 价 49.80 元

---

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

# 前 言

“工程测量”是交通土建类专业的主干课程之一。传统的工程测量内容是以光学测量仪器为基础的普通测量理论与方法为主,强调各行业的具体应用。随着全站仪、GPS 测量技术的普及,对传统的测量理论和测量方法构成了直接的挑战。为此,在同济大学出版社的大力支持下,黑龙江交通职业技术学院工程测量教学团队编写出版了这本《工程测量》项目化教材。

“工程测量”是一门实践性和理论性都很强的课程,本书较为系统地反映了铁路、公路、建筑工程各阶段测量工作的内容,实用性很强,注重深入浅出,理论联系实际。以工作任务为载体,逐步解决测量工作所必须掌握的专业知识和基本技能。本书为高等学校工程测量课程教学用书,也可作为相关专业工程技术人员的参考资料。

本书共计 16 个教学项目,介绍了水准、角度、距离及全站仪测量工作的基本内容和方法,介绍了误差及精度的概念和基本知识,介绍了控制测量、GPS 应用和施工测量、地形图测绘的基本内容和方法,还根据各专业的具体需要加入了专业测量内容。

本书由黑龙江交通职业技术学院陈佰忠、樊文静主编,由黑龙江交通职业技术学院铁道工程学院张俊刚院长主审。项目十二、项目十四、项目十五由陈佰忠编写;项目一、项目二由樊文静编写;绪论、项目四、项目十由霍如桃编写;项目三、项目五、项目六、项目十一由高珊编写;项目七、项目八、项目十六由赵群编写;项目九、项目十三由王兴杰编写。

本书在编写过程中得到了同济大学出版社、中铁上海工程局五公司、哈尔滨铁路局等单位的热心帮助和指导,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中如有不妥和疏漏,恳请读者批评指正。

编 者

2016 年 7 月

# 目 录

## 前言

|                      |    |
|----------------------|----|
| 绪论 .....             | 1  |
| 项目描述 .....           | 1  |
| 教学目标 .....           | 1  |
| 项目一 高程测量 .....       | 10 |
| 项目描述 .....           | 10 |
| 教学目标 .....           | 10 |
| 相关案例 .....           | 10 |
| 任务一 水准仪的操作 .....     | 10 |
| 任务二 用水准仪测未知点高程 ..... | 23 |
| 任务三 水准测量内业成果整理 ..... | 28 |
| 任务四 水准仪的检验与校正 .....  | 33 |
| 项目二 角度测量 .....       | 43 |
| 项目描述 .....           | 43 |
| 教学目标 .....           | 43 |
| 相关案例 .....           | 43 |
| 任务一 经纬仪的操作 .....     | 43 |
| 任务二 使用测回法测定水平角 ..... | 55 |
| 任务三 方向观测法测水平角 .....  | 58 |
| 任务四 竖直角测量 .....      | 60 |
| 任务五 经纬仪的检验和校正 .....  | 65 |
| 项目三 距离测量 .....       | 74 |
| 项目描述 .....           | 74 |
| 教学目标 .....           | 74 |
| 相关案例 .....           | 74 |
| 任务一 钢尺量距 .....       | 74 |
| 任务二 视距测量 .....       | 81 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 任务三 光电测距 .....            | 84         |
| <b>项目四 全站仪的应用 .....</b>   | <b>90</b>  |
| 项目描述 .....                | 90         |
| 教学目标 .....                | 90         |
| 相关案例 .....                | 90         |
| 任务一 用全站仪测量角度 .....        | 90         |
| 任务二 用全站仪测量距离 .....        | 96         |
| 任务三 用全站仪测量坐标 .....        | 98         |
| <b>项目五 直线方向的测量 .....</b>  | <b>106</b> |
| 项目描述 .....                | 106        |
| 教学目标 .....                | 106        |
| 相关案例 .....                | 106        |
| 任务一 直线定向 .....            | 106        |
| 任务二 其他方位角的确定 .....        | 114        |
| <b>项目六 测量误差理论 .....</b>   | <b>118</b> |
| 项目描述 .....                | 118        |
| 教学目标 .....                | 118        |
| 相关案例 .....                | 118        |
| 任务一 掌握观测误差概念 .....        | 118        |
| 任务二 衡量精度的标准 .....         | 121        |
| 任务三 误差传播定律 .....          | 123        |
| 任务四 算术平均值及其中误差 .....      | 127        |
| 任务五 加权平均值及其中误差 .....      | 129        |
| <b>项目七 平面控制测量 .....</b>   | <b>132</b> |
| 项目描述 .....                | 132        |
| 教学目标 .....                | 132        |
| 相关案例 .....                | 132        |
| 任务一 用导线测量方法进行平面控制测量 ..... | 133        |
| 任务二 导线测量内业计算 .....        | 138        |
| <b>项目八 高程控制测量 .....</b>   | <b>145</b> |
| 项目描述 .....                | 145        |
| 教学目标 .....                | 145        |
| 相关案例 .....                | 145        |
| 任务一 三、四等水准测量 .....        | 145        |



|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 任务二 三角高程测量 .....             | 151        |
| <b>项目九 GPS 及其使用 .....</b>    | <b>156</b> |
| 项目描述 .....                   | 156        |
| 教学目标 .....                   | 156        |
| 相关案例 .....                   | 156        |
| 任务一 通过 GPS 定位测量的平面控制测量 ..... | 157        |
| 任务二 RTK 碎部点数据采集 .....        | 184        |
| <b>项目十 地形测量 .....</b>        | <b>188</b> |
| 项目描述 .....                   | 188        |
| 教学目标 .....                   | 188        |
| 相关案例 .....                   | 188        |
| 任务一 识读地形图 .....              | 188        |
| 任务二 大比例尺数字地形图测绘 .....        | 195        |
| <b>项目十一 施工测量的基本工作 .....</b>  | <b>213</b> |
| 项目描述 .....                   | 213        |
| 教学目标 .....                   | 213        |
| 相关案例 .....                   | 213        |
| 任务一 测设已知水平距离 .....           | 213        |
| 任务二 测设已知水平角 .....            | 216        |
| 任务三 测设已知高程 .....             | 218        |
| 任务四 测设点的平面位置 .....           | 221        |
| 任务五 测设已知坡度线 .....            | 225        |
| <b>项目十二 线路测量 .....</b>       | <b>227</b> |
| 项目描述 .....                   | 227        |
| 教学目标 .....                   | 227        |
| 相关案例 .....                   | 227        |
| 任务一 线路中桩水准测量 .....           | 228        |
| 任务二 圆曲线测设 .....              | 245        |
| 任务三 利用坐标法进行加缓和曲线的曲线测设 .....  | 251        |
| 任务四 路基边坡放样 .....             | 268        |
| 任务五 既有线站场测量 .....            | 273        |
| <b>项目十三 桥梁施工测量 .....</b>     | <b>288</b> |
| 项目描述 .....                   | 288        |
| 教学目标 .....                   | 288        |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 相关案例 .....                 | 288        |
| 任务一 桥轴线长度所需精度的估算 .....     | 289        |
| 任务二 桥梁的平面和高程控制测量 .....     | 290        |
| 任务三 桥梁墩、台中心的测设 .....       | 292        |
| 任务四 墩台纵、横轴线的测设 .....       | 297        |
| 任务五 桥梁施工测量 .....           | 298        |
| <b>项目十四 隧道施工测量 .....</b>   | <b>301</b> |
| 项目描述 .....                 | 301        |
| 教学目标 .....                 | 301        |
| 相关案例 .....                 | 301        |
| 任务一 隧道控制测量 .....           | 302        |
| 任务二 隧道中线测量 .....           | 312        |
| <b>项目十五 建筑工程测量 .....</b>   | <b>321</b> |
| 项目描述 .....                 | 321        |
| 教学目标 .....                 | 321        |
| 相关案例 .....                 | 321        |
| 任务一 民用建筑物的定位测量 .....       | 322        |
| 任务二 民用建筑物细部放线测量 .....      | 328        |
| 任务三 民用建筑物基础施工测量 .....      | 330        |
| 任务四 民用建筑物墙体施工测量 .....      | 332        |
| 任务五 厂房控制网的建立 .....         | 334        |
| 任务六 柱基的测设 .....            | 337        |
| 任务七 厂房构建的安装测量 .....        | 338        |
| 任务八 烟囱、水塔施工测量 .....        | 342        |
| 任务九 建筑物的沉降观测 .....         | 344        |
| 任务十 建筑物的倾斜观测 .....         | 347        |
| 任务十一 建筑物的裂缝观测 .....        | 350        |
| 任务十二 建筑物的位移观测 .....        | 351        |
| <b>项目十六 高速铁路施工测量 .....</b> | <b>353</b> |
| 项目描述 .....                 | 353        |
| 教学目标 .....                 | 353        |
| 相关案例 .....                 | 353        |
| 任务一 CPⅢ网平面测量 .....         | 354        |
| 任务二 基于轨道的轨道板精调 .....       | 360        |
| <b>参考文献 .....</b>          | <b>367</b> |



# 绪 论

## 项目描述

工程测量是测量学的组成部分,它广泛应用于土木工程的勘测、设计、施工和管理的各个阶段。

## 教学目标

### 1. 能力目标

- 掌握测量常用的坐标系和高程
- 知道常规测量工作的主要内容和原则

### 2. 知识目标

- 了解工程测量的任务
- 掌握测量坐标系和高程系统
- 了解测量工作的主要内容
- 了解测量工作的原则

### 3. 素质目标

- 培养学生认真细心的态度
- 培养学生团队合作的精神
- 培养学生诚实守信的习惯

## 一、工程测量的内容和任务

### (一) 工程测量的内容和分类

测量学是研究获取反映地球形状、地球重力场、地球上自然和社会要素的位置、形状、空间关系、区域空间结构的数据的科学和技术。根据研究的具体对象及任务的不同,又将测量学分为大地测量学、地形测量学、工程测量学、摄影测量与遥感学、地图制图学、海洋测量学、全球卫星定位系统、遥感学以及地理信息系统。

工程测量学是研究在工程建设的设计、施工和管理各阶段中进行测量工作的理论、方法和技术。工程测量是测绘科学与技术 in 国民经济和国防建设中的直接应用,是综合性的应用测绘科学与技术。

按工程建设的进行程序,工程测量可分为规划设计阶段的测量,施工兴建阶段的测量和竣工后的运营管理阶段的测量。规划设计阶段的测量主要是提供地形资料。取得地形资料的方法是,在所建立的控制测量的基础上进行地面测图或航空摄影测量。施工兴建阶段的测量的主要任务是,按照设计要求在实地准确地标定建筑物各部分的平面位置和高程,作为施工与安装的依据。一般也要求先建立施工控制网,然后根据工程的要求进行各

种测量工作。竣工后的营运管理阶段的测量,包括竣工测量以及为监视工程安全状况的变形观测与维修养护等测量工作。

按工程测量所服务的工程种类,工程测量可分为建筑工程测量、线路测量、桥梁与隧道测量、矿山测量、城市测量和水利工程测量等。此外,还将用于大型设备的高精度定位和变形观测称为高精度工程测量;将摄影测量技术应用于工程建设称为工程摄影测量;而将以电子全站仪或地面摄影仪为传感器在电子计算机支持下的测量系统称为三维工业测量。

按工作性质的不同,工程测量可分为测定工作和测设工作。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,从而求出各类目标点的坐标,供经济建设、国防建设、规划设计及科学研究使用。测设是指使用测量仪器和工具,把图纸上规划设计好的建(构)筑物的位置信息,用一定的测量方法标定在实地上,作为施工的依据。

## (二) 工程测量的任务

以线路工程为例,铁路、公路在建造之前,为了确定一条最经济合理的路线,事先必须进行线路沿线的测量工作,将测量的成果绘制带状地形图,在地形图上进行线路设计,然后将设计路线的位置标定在地面上以便进行施工。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,对某些重要的建筑物在建成之后需要进行变形观测,以保证建筑物安全使用。

### 1. 规划设计阶段

规划设计阶段的任务是为规划、设计、开发提供相应的水文、定位等数据。该阶段的测量工作主要是测绘,即按一定的手段和方法,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,或把地球表面的地形缩绘成地形图。

### 2. 施工阶段

施工阶段的任务是按照工程设计文件的要求,把图纸上规划好的建筑物或设计数据标定在地面上,作为施工和安装的依据,该阶段的测量工作称为测设或放样。

### 3. 运营管理阶段

工程竣工后,为监视工程的状况,保证安全,需进行周期性的重复观测,即变形观测。

## 二、工程测量的研究对象和方法

### (一) 地球的形状和大小

测绘工作大多是在地球表面上进行的,测量基准的确定、测量成果的计算及处理都与地球的形状和大小有关。

1969年7月20日,美国宇宙飞船“阿波罗”11号的宇航员登上月球的时候,就看到了带蓝色的、浑圆的地球,犹如在地球上观月亮一样。科学家们根据以往资料和宇航员拍下的像片,认为最好把地球看作是一个“不规则的球体”。

地球的自然表面是很不规则的,有高山、深谷、丘陵、平原、江湖、海洋等,最高的珠穆朗玛峰高出海平面8848.13 m,最深的太平洋马里亚纳海沟低于海平面11022 m,其相对高差不足20 km,与地球的平均半径6371 km相比,是微不足道的,就整个地球表面而言,陆地面积仅占29%,而海洋面积占了71%。因此,我们可以设想地球的整体形状是被海水所包围的球体,即将一静止的海洋面扩展延伸,使其穿过大陆和岛屿,形成一个封闭的曲面,如

图 0-1 所示。静止的海水面称为水准面。由于海水受潮汐风浪等影响而时高时低,故水准面有无穷多个,其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面。由大地水准面所包围的形体称为大地体。通常用大地体来代表地球的真实形状和大小。

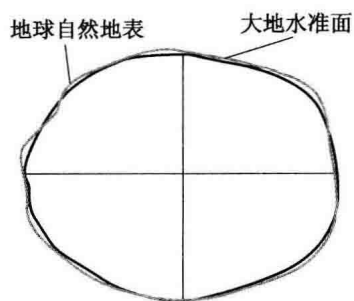


图 0-1 地球自然表面

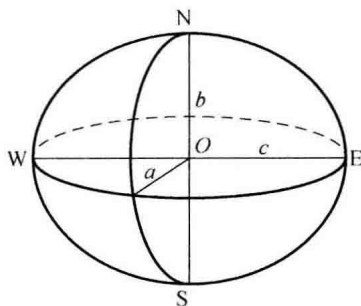


图 0-2 旋转椭球体

水准面的特性是处处与铅垂线相垂直。同一水准面上各点的重力位相等,故又将水准面称为重力等位面,它具有几何意义及物理意义。水准面和铅垂线就是实际测量工作所依据的面和线。

由于地球内部质量分布不均匀,致使地面上各点的铅垂线方向产生不规则变化,所以,大地水准面是一个不规则的、无法用数学式表述的曲面,在这样的面上是无法进行测量数据的计算及处理的。因此人们进一步设想,用一个与大地体非常接近的又能用数学式表述的规则球体即旋转椭球体来代表地球的形状。如图 0-2 所示,它是由椭圆 NESW 绕短轴 NS 旋转而成。

某一国家或地区为处理测量成果而采用与大地体的形状大小最接近,又适合本国或本地区要求的旋转椭球,这样的椭球体称为参考椭球体。确定参考椭球体与大地体之间的相对位置关系,称为椭球体定位。参考椭球体面只具有几何意义而无物理意义,它是严格意义上的测量计算基准面。

几个世纪以来,许多学者分别测算出了许多椭球体元素值,表 0-1 列出了几个著名的椭球体。我国的 1954 年北京坐标系采用的是克拉索夫斯基椭球,1980 年国家大地坐标系采用的是 1975 年国际椭球,而全球定位系统(GPS)采用的是 WGS-84 椭球。

由于参考椭球的扁率很小,在小区域的普通测量中可将地(椭)球看作圆球,其半径  $R = (a + a + b)/3 = 6\,371\text{ km}$ 。

表 0-1 常用的参考椭球

| 椭球名称      | 长半轴 $a/\text{m}$ | 短半轴 $b/\text{m}$ | 扁率 $\alpha$ | 计算年代和国家       | 备 注                |
|-----------|------------------|------------------|-------------|---------------|--------------------|
| 贝塞尔       | 6 377 397        | 6 356 079        | 1 : 299.152 | 1841 德国       |                    |
| 海福特       | 6 378 388        | 6 356 912        | 1 : 297.0   | 1910 美国       | 1942 年国际第一个推荐值     |
| 克拉索夫斯基    | 6 378 245        | 6 356 863        | 1 : 298.3   | 1940 前苏联      | 中国 1954 年北京坐标系采用   |
| 1975 国际椭球 | 6 378 140        | 6 356 755        | 1 : 298.257 | 1975 国际第三个推荐值 | 中国 1980 年国家大地坐标系采用 |

(续表)

| 椭球名称     | 长半轴 $a/m$ | 短半轴 $b/m$ | 扁率 $\alpha$ | 计算年代和国家               | 备 注              |
|----------|-----------|-----------|-------------|-----------------------|------------------|
| WGS-84   | 6 378 137 | 6 356 752 | 1 : 298.257 | 1979 国际第四个推荐值         | 美国 GPS 采用        |
| CGCS2000 | 6 378 137 | 6 356 752 | 1 : 298.257 | 2008 年 7 月 1 日起中国全面启用 | 称为“2000 国家大地坐标系” |

(二) 地面点位的表示方法

测量的实质是确定地面点的位置,地面点的位置需用坐标和高程三维量来确定。坐标表示地面点投影到基准面上的位置,高程表示地面点沿投影方向到基准面的距离。根据不同的需要可以采用不同的坐标系和高程系。

1. 坐标系

(1) 地理坐标系

当研究和测定整个地球的形状或进行大区域的测绘工作时,可用地理坐标来确定地面点的位置。地理坐标是一种球面坐标,视依据球体的不同而分为天文坐标和大地坐标。

① 天文坐标

以大地水准面为基准面,地面点沿铅垂线投影在该基准面上的位置,称为该点的天文坐标。该坐标用天文经度和天文纬度( $\lambda, \varphi$ )表示。

如图 0-3 所示,将大地体看作地球,NS 即为地球的自转轴,N 为北极,S 为南极,O 为地球体中心。包含地面点  $P$  的铅垂线且平行于地球自转轴的平面称为  $P$  点的天文子午面。天文子午面与地球表面的交线称为天文子午线,也称经线。而将通过英国格林尼治天文台埃里中星仪的子午面称为起始子午面,相应的子午线称为起始子午线或零子午线,并作为经度计量的起点。过点  $P$  的天文子午面与起始子午面所夹的两面角就称为  $P$  点的天文经度。用  $\lambda$  表示,其值为  $0^\circ \sim 180^\circ$ ,在本初子午线以东的叫东经,以西的叫西经。

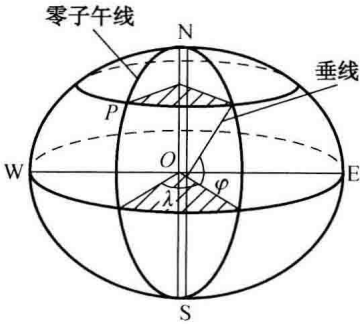


图 0-3 天文坐标

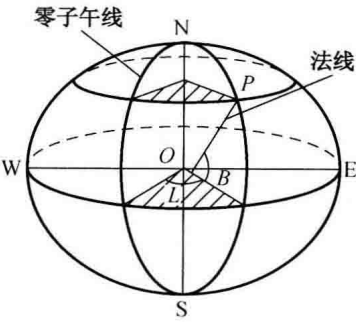


图 0-4 大地坐标

通过地球体中心  $O$  且垂直于地轴的平面称为赤道面。它是纬度计量的起始面。赤道面与地球表面的交线称为赤道。其他垂直于地轴的平面与地球表面的交线称为纬线。过  $P$  点的铅垂线与赤道面之间所夹的线面角就称为  $P$  点的天文纬度。用  $\varphi$  表示,其值为  $0^\circ \sim 90^\circ$ ,在赤道以北的叫北纬,以南的叫南纬。

② 大地坐标

以参考椭球面为基准面,地面点沿椭球面的法线投影在该基准面上的位置,称为该点

的大地坐标。该坐标用大地经度和大地纬度( $L, B$ )表示。

如图 0-4 所示,包含地面  $P$  点的法线且通过椭球旋转轴的平面称为  $P$  的大地子午面。过  $P$  点的大地子午面与起始大地子午面所夹的两面角就称为  $P$  点的大地经度。用  $L$  表示,其值分为东经  $0^\circ \sim 180^\circ$  和西经  $0^\circ \sim 180^\circ$ 。过  $P$  点的法线与椭球赤道面所夹的线面角就称为  $P$  点的大地纬度。用  $B$  表示,其值分为北纬  $0^\circ \sim 90^\circ$  和南纬  $0^\circ \sim 90^\circ$ 。我国 1954 年北京坐标系和 1980 年国家大地坐标系就是分别依据两个不同的椭球建立的大地坐标系。

大地坐标因所依据的椭球体面不具有物理意义,不能直接测得,只可通过计算得到。它与天文坐标有如下关系:

$$\begin{aligned} L &= \lambda - \frac{\eta}{\cos \varphi} \\ B &= \varphi - \xi \end{aligned} \quad (0-1)$$

式中,  $\eta$  为过同一地面点的垂线与法线的夹角在东西方向上的垂线偏差分量;  $\xi$  为在南北方向上的垂线偏差分量。

## (2) 平面直角坐标系

在实际测量工作中,若用以角度为度量单位的球面坐标来表示地面点的位置是不方便的,通常是采用平面直角坐标。测量工作中所用的平面直角坐标与数学上的直角坐标基本相同,只是测量工作以  $x$  轴为纵轴,一般表示南北方向,以  $y$  轴为横轴,一般表示东西方向,象限为顺时针编号,直线的方向都是从纵轴北端按顺时针方向度量的,如图 0-5 所示。这样的规定,使数学中的三角公式在测量坐标系中完全适用。

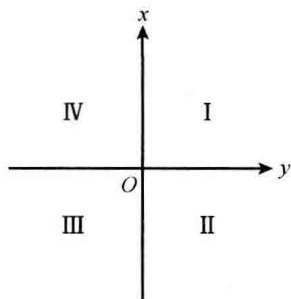


图 0-5 测量平面直角坐标系

### ① 独立测区的平面直角坐标

当测区的范围较小,能够忽略该区地球曲率的影响而将其当作平面看待时,可在此平面上建立独立的直角坐标系。一般选定子午线方向为纵轴,即  $x$  轴,原点设在测区的西南角,以避免坐标出现负值。测区内任一地面点用坐标( $x, y$ )来表示,它们与本地区统一坐标系没有必然的联系而为独立的平面直角坐标系。如有必要可通过与国家坐标系联测而纳入统一坐标系。经过估算,在面积为  $300 \text{ km}^2$  的多边形范围内,可以忽略地球曲率影响而建立独立的平面直角坐标系,当测量精度要求较低时,这个范围还可以扩大数倍。

### ② 高斯平面直角坐标

当测区范围较大时,要建立平面坐标系,就不能忽略地球曲率的影响,为了解决球面与平面这对矛盾,则必须采用地图投影的方法将球面上的大地坐标转换为平面直角坐标。目前我国采用的是高斯投影。高斯投影是由德国数学家、测量学家高斯提出的一种横轴等角切椭圆柱投影,该投影解决了将椭球面转换为平面的问题。从几何意义上看,就是假设一个椭圆柱横套在地球椭球体外并与椭球面上的某一条子午线相切,这条相切的子午线称为中央子午线。假想在椭球体中心放置一个光源,通过光线将椭球面上一定范围内的物像映射到椭圆柱的内表面上,然后将椭圆柱面沿一条母线剪开并展成平面,即获得投影后的平面图形,如图 0-6 所示。

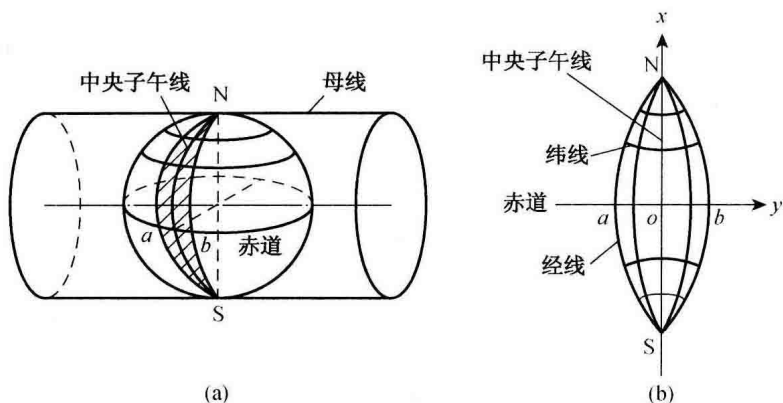


图 0-6 高斯投影概念

该投影的经纬线图形有以下特点：

- a. 投影后的中央子午线为直线,无长度变化。其余的经线投影为凹向中央子午线的对称曲线,长度较球面上的相应经线略长。
- b. 赤道的投影也为一直线,并与中央子午线正交。其余的纬线投影为凸向赤道的对称曲线。
- c. 经纬线投影后仍然保持相互垂直的关系,说明投影后的角度无变形。

高斯投影没有角度变形,但有长度变形和面积变形,离中央子午线越远,变形就越大,为了对变形加以控制,测量中采用限制投影区域的办法,即将投影区域限制在中央子午线两侧一定的范围,这就是所谓的分带投影,如图 0-7 所示。投影带一般分为  $6^\circ$  带和  $3^\circ$  带两种,如图 0-8 所示。

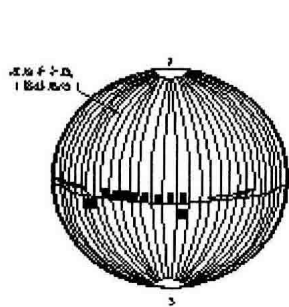


图 0-7 投影分带

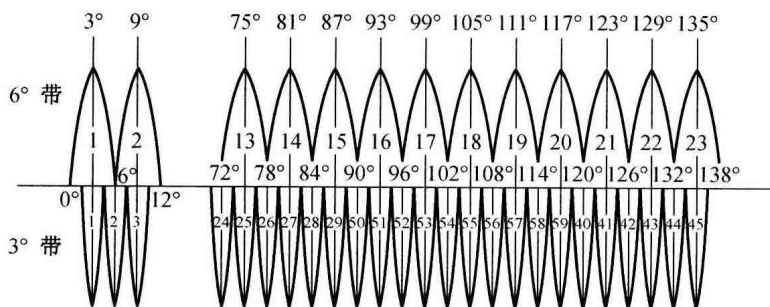


图 0-8  $6^\circ$ 带和  $3^\circ$ 带投影

$6^\circ$ 带投影是从英国格林尼治起始子午线开始,自西向东,每隔经差  $6^\circ$  分为一带,将地球分成 60 个带,其编号分别为 1, 2, ..., 60。每带的中央子午线经度可用下式计算:

$$L_6 = (6n - 3)^\circ \quad (0-2)$$

式中, $n$  为  $6^\circ$  带的带号。 $6^\circ$  带的最大变形在赤道与投影带最外一条经线的交点上,长度变形为 0.14%,面积变形为 0.27%。

$3^\circ$  投影带是在  $6^\circ$  带的基础上划分的。每  $3^\circ$  为一带,共 120 带,其中央子午线在奇数带时与  $6^\circ$  带中央子午线重合,每带的中央子午线经度可用下式计算:



$$L_3 = 3^\circ n' \quad (0-3)$$

式中,  $n'$  为  $3^\circ$  带的带号。 $3^\circ$  带的边缘最大变形现缩小为长度 0.04%, 面积 0.14%。

我国领土位于东经  $72^\circ$ — $136^\circ$  之间, 共包括了 11 个  $6^\circ$  投影带, 即 13—23 带; 22 个  $3^\circ$  投影带, 即 24—45 带。成都位于  $6^\circ$  带的第 18 带, 中央子午线经度为  $105^\circ$ 。

通过高斯投影, 将中央子午线的投影作为纵坐标轴, 用  $x$  表示, 将赤道的投影作为横坐标轴, 用  $y$  表示, 两轴的交点作为坐标原点, 由此构成的平面直角坐标系称为高斯平面直角坐标系, 如图 0-9 所示。对应于每一个投影带, 就有一个独立的高斯平面直角坐标系, 区分各带坐标系则利用相应投影带的带号。

在每一投影带内,  $y$  坐标值有正有负, 这对计算和使用均不方便, 为了使  $y$  坐标都为正值, 故将纵坐标轴向西平移 500 km (半个投影带的最大宽度不超过 500 km), 并在  $y$  坐标前加上投影带的带号。如图 0-9 中的 A 点位于 18 投影带, 其自然坐标为  $x=3\,395\,451\text{ m}$ ,  $y=-82\,261\text{ m}$ , 它在 18 带中的高斯通用坐标则为  $X=3\,395\,451\text{ m}$ ,  $Y=18\,417\,739\text{ m}$ 。

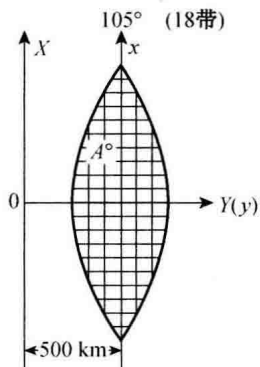


图 0-9 高斯平面直角坐标

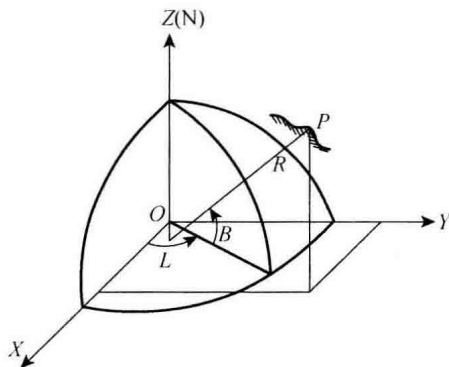


图 0-10 空间直角坐标系

### (3) 地心坐标系

卫星大地测量是利用空中卫星的位置来确定地面点的位置。由于卫星围绕地球质心运动, 所以卫星大地测量中需采用地心坐标系。

地心空间直角坐标系: 坐标系原点  $O$  与地球质心重合,  $Z$  轴指向地球北极,  $X$  轴指向格林尼治平子午面与地球赤道的交点  $E$ ,  $Y$  轴垂直于  $XOZ$  平面构成右手坐标系, 如图 0-10 所示。

地心大地坐标系: 椭球体中心与地球质心重合, 椭球短轴与地球自转轴相合, 大地经度  $L$  为过地面点的椭球子午面与格林尼治平子午面的夹角, 大地纬度  $B$  为过地面点的法线与椭球赤道面的夹角, 大地高  $H$  为地面点沿法线至椭球面的距离。

于是, 任一地面  $P$  点在地心坐标系中的坐标, 可表示为  $(X, Y, Z)$  或  $(L, B, H)$ 。二者之间有一定的换算关系。美国的全球定位系统 (GPS) 用的 WGS-84 坐标以及我国的 2000 国家大地坐标系就属这类坐标。

## 2. 高程

### (1) 地面点高程表示

#### ① 绝对高程 (海拔)

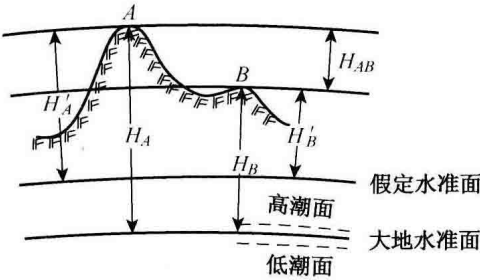


图 0-11 地面点的高程

在一般的测量工作中都以大地水准面作为高程起算的基准面。因此,地面任一点沿铅垂线方向到大地水准面的距离就称为该点的绝对高程或海拔,简称高程,用  $H$  表示。如图 0-11 所示,图中的  $H_A, H_B$  分别表示地面上  $A, B$  两点的高程。

### ② 相对高程(假定高程)

当测区附近暂没有国家高程点可联测时,也可临时假定一个水准面作为该区的高程起算面。地面点沿铅垂线至假定水准面的距离,称为该点的相对高程或假定高程。如图 0-11 中的  $H'_A, H'_B$  分别

为地面上  $A, B$  两点的假定高程。

### (2) 高程基准

#### ① 1956 黄海高程系统

我国规定以 1950—1956 年间青岛验潮站多年记录的黄海平均海水面作为我国的大地水准面,由此建立的高程系统称为“1956 年黄海高程系”。其水准原点的高程为 72.289 m。

#### ② 1985 黄海高程系统

新的国家高程基准面是根据青岛验潮站 1952—1979 年间的验潮资料计算确定的,依此基准面建立的高程系统称为“1985 国家高程基准”,并于 1987 年开始启用。其水准原点的高程为 72.260 m。

地面上两点之间的高程之差称为高差,用  $h$  表示。例如,  $A$  点至  $B$  点的高差可写为

$$h = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (0-4)$$

由上式可知,高差有正、有负,并用下标注明其方向。在土木建筑工程中,又将绝对高程和相对高程统称为标高。

## 三、测量工作的程序和原则

测量工作的基本任务是要确定地面点的几何位置。确定地面点的几何位置需要进行一些测量的基本工作,为了保证测量成果的精度及质量需遵循一定的测量原则。

### 1. 测量的基本工作

如图 0-12 所示,  $A, B, C, D, E$  为地面上高低不同的一系列的点,构成空间多边形  $ABCDE$ ,图下方为水平面。从  $A, B, C, D, E$  分别向水平面作铅垂线,这些垂线的垂足在水平面上构成多边形  $abcde$ 。水平面上各点就是空间相应各点的正射投影;水平面上多边形的各边就是各空间斜边的正射投影;水平面上的角就是包含空间两斜边的两面角在水平面上的投影。地形图就是将地面点正射投影到水平面上后再按一定的比例尺缩绘至图纸上而成的。由此看出,地形图上各点之间的相对位置是由水平距离  $D$ 、水平角  $\beta$  和高差  $h$  决定的。若已知其中一点的坐标  $(x, y)$  和过该点的标准方向及该点高程  $H$ ,则可借助  $D, \beta$  和  $h$  将其他点的坐标和高程算

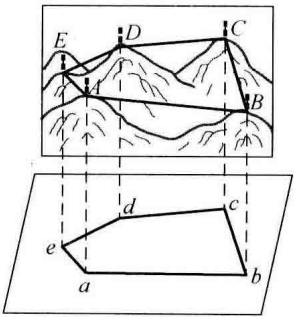


图 0-12 测量的基本工作

出。因此,不论进行何种测量工作,在实地要测量的基本要素都是:

- (1) 距离(水平距离或斜距);
- (2) 角度(水平角和竖直角);
- (3) 直线的方向;
- (4) 高程(高差)。

## 2. 测量工作的原则

测量工作必须遵循基本原则是“从整体到局部”“先控制后碎部”“边工作边检核”。

(1) “从整体到局部,先控制后碎部”的原则(图 0-13)

无论是测绘地形图还是施工放样,在测量过程中,为了减少误差的累积,保证测区内所测点的必要精度,首先应在测区内选择若干对整体具有控制作用的点,组成控制网,采用高精度的测量仪器和精密的测量方法,确定控制点的位置,然后以控制点为测站进行碎部测量。这样,不仅可以很好地限制误差的积累,而且可以通过控制测量,将测区划分为若干个小区,同时展开几个工作面施测碎部,加快测量进度。

### (2) “边工作边检核”的原则

测量工作有内业和外业之分。为了确定地面点的位置,利用测量仪器和工具在现场进行测角、量距和测高差等测量工作,称为外业工作。将外业观测数据、资料在室内进行整理、计算和绘图等工作,称为内业工作。测量成果的质量取决于外业,但外业又要通过内业才能得出成果。为了防

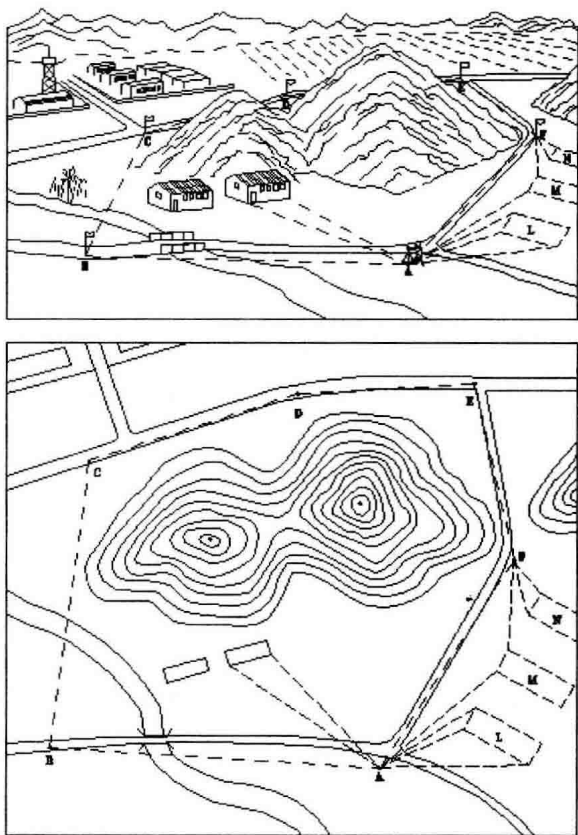


图 0-13 控制测量与碎部测量

止出现错误,不论外业或内业,都必须坚持“边工作边检核”的原则,这样才能保证测量成果的质量和较高的工作效率。