

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



GONGCHENG CELIANG

工程测量

陆付民 李 利 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



GONGCHENG CELIANG

工程测量

主 编 陆付民 李 利
编 写 万瑞义 徐懋卿 陶光贵
易庆林 吴定洪 夏永忠
涂鹏飞
主 审 高德慈



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书共 16 章, 主要内容包括绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基本知识、小区域控制测量、地形图的基本知识、大比例尺地形图的测绘、地形图的应用、测设的基本工作、工业与民用建筑中的施工测量、大坝施工测量、输电线路设计测量、输电线路施工测量、变形观测、3S 技术简介。

本书可作为高等院校土木工程、水利水电工程、输电线路工程、建筑学、城市规划、环境工程、工程管理等专业工程测量课程的本科教材, 也可作为高职高专相关专业教材, 同时可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程测量/陆付民, 李利主编. —北京: 中国电力出版社, 2009.4 (2014.1 重印)

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-8448-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 010605 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://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 4 月第一版 2014 年 1 月北京第五次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 343 千字

定价 22.80 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

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



前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

本书在介绍传统测绘技术的基础上,力求反映新的测绘技术在工程中的基本应用,便于开阔学生的眼界。本书言简意赅、层次分明,具有较强的通用性。

本书由陆付民、李利主编。书中第一、二、六、十、十五、十六章由陆付民编写,第四、五章由李利编写,第三、七章由万瑞义编写,第十三、十四章由徐懋卿、陆付民编写,其余章节由陶光贵、易庆林、吴定洪、夏永忠、涂鹏飞编写,各章节最后由陆付民修改定稿。高德慈教授担任本书的主审。

本书在编写过程中,吸收了参考文献中有益思想和内容,在此,本书的全体编写人员对这些参考文献的作者表示诚挚的谢意!

希望使用本书的师生和其他读者能够提出宝贵的建议和意见,以便及时进行修订,使本书的质量得到进一步的提高。

编 者

2008年9月



目 录

前言

第一章 绪论

第一节 测量学的任务及其在工程建设中的作用

第二节 测量学发展概况

第三节 地面点位的确定

第四节 用水平面代替大地水准面的限度

第五节 测量工作概述

习题

第二章 水准测量

第一节 水准测量原理

第二节 水准测量的仪器和工具

第三节 水准仪的使用

第四节 水准测量的外业观测

第五节 水准测量的内业计算

第六节 微倾式水准仪的检验与校正

第七节 水准测量的误差分析

第八节 自动安平水准仪

第九节 精密水准仪与电子水准仪

习题

第三章 角度测量

第一节 水平角的测量原理

第二节 DJ6 型光学经纬仪

第三节 DJ2 型光学经纬仪

第四节 水平角测量方法

第五节 竖直角测量方法

第六节 经纬仪的检验与校正

第七节 角度测量的误差分析及注意事项

第八节 电子经纬仪

习题

第四章 距离测量与直线定向

第一节 钢尺量距

第二节 电磁波测距仪测距

第三节 直线定向

习题

第五章 测量误差的基本知识

第一节 概述

- 第二节 测量误差的种类
- 第三节 偶然误差的特性及其概率密度函数
- 第四节 衡量观测值精度的指标
- 第五节 误差传播定律
- 第六节 等精度直接观测值的最或是值
- 第七节 不等精度直接观测平差
- 习题

第六章 小区域控制测量

- 第一节 概述
- 第二节 导线测量
- 第三节 小三角测量
- 第四节 交会定点
- 第五节 三、四等水准测量
- 第六节 三角高程测量
- 习题

第七章 地形图的基本知识

- 第一节 地形图的比例尺
- 第二节 地形图的分幅和编号
- 第三节 地形图图外注记
- 第四节 地形图图式
- 习题

第八章 大比例尺地形图的测绘

- 第一节 测图前的准备工作
- 第二节 视距测量
- 第三节 碎部测量的方法
- 第四节 全站仪数字化测图简介
- 第五节 地形图的绘制
- 习题

第九章 地形图的应用

- 第一节 地形图的识读
- 第二节 地形图应用的基本内容
- 第三节 地形图在场地平整中的应用
- 第四节 地形图在水利工程规划设计中的应用
- 第五节 地形图上的面积量算
- 第六节 求积仪法
- 习题

第十章 测设的基本工作

- 第一节 水平距离、水平角、高程的测设
- 第二节 点的平面位置的测设
- 第三节 已知坡度直线的测设
- 第四节 圆曲线的测设
- 习题

第十一章 工业与民用建筑中的施工测量

第一节 工业厂区施工控制测量

第二节 厂房柱列轴线的测设和柱基施工测量

第三节 工业厂房预制构件的安装测量

第四节 民用建筑施工中的测量工作

第五节 高层建筑物及复杂民用建筑物的施工测量

习题

第十二章 大坝施工测量

第一节 土坝的控制测量

第二节 土坝清基开挖与坝体填筑的施工测量

第三节 混凝土坝的施工控制测量

第四节 混凝土坝清基开挖线的放样

第五节 混凝土重力坝的立模放样

习题

第十三章 输电线路设计测量

第一节 概述

第二节 线路的初勘测量

第三节 选线测量

第四节 定线测量

第五节 平断面测量

第六节 交叉跨越测量

第七节 杆塔定位测量

习题

第十四章 输电线路施工测量

第一节 线路复测

第二节 杆塔基础分坑测量

第三节 拉线坑位的测设

第四节 弧垂观测

习题

第十五章 变形观测

第一节 一般建筑物的变形观测

第二节 大坝变形观测

习题

第十六章 3S 技术简介

第一节 GPS 简介

第二节 RS 简介

第三节 GIS 简介

习题

参考文献



第一章 绪 论

第一节 测量学的任务及其在工程建设中的作用

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面点点位的科学,它的内容包括测定和测设两个部分。测定是指使用一定的测量仪器和工具,通过测量和计算,确定点的位置;或者以一些点的位置为基础,将这些点周围的地物和地貌用一定的符号按照一定的比例缩绘成地形图,供规划设计、经济建设、国防建设和科学研究使用。测设是指使用一定的测量仪器和工具将图纸上设计好的建筑物的位置标定到地面上,作为施工的依据。

按照研究范围和对象的不同,测量学分为以下三个主要分支学科。

大地测量学——研究地球的形状和大小,确定地球外部重力场,在大面积范围内建立高精度国家控制网,为地形测量和各种工程测量提供起算数据。按照测量手段的不同,大地测量学又分为常规大地测量学、卫星大地测量学及物理大地测量学。

摄影测量与遥感学——通过对摄影像片或遥感图像进行处理、量测,确定物体的形状、大小和位置并制成地形图。按获取影像的方式及遥感距离的不同,摄影测量与遥感学又分为地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天遥感测量学。

工程测量学——研究工程建设在设计、施工和管理各阶段中从事测量工作的理论、技术和方法。工程测量是测绘科学在国民经济和国防建设中的直接应用。按工程建设的程序分,工程测量分为规划设计阶段的测量、施工阶段的测量和竣工后运营管理阶段的测量。规划设计阶段的测量主要是测绘地形图,供规划和设计使用。施工阶段的测量主要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。竣工后运营管理阶段的测量,包括竣工测量以及为监视建筑物的安全状况所进行的变形观测。按工程测量所服务的对象分,工程测量分为建筑工程测量、水利工程测量、输电线路工程测量、公路工程测量、桥梁与隧道工程测量等。

在建筑工程中,施工之前,要进行土石方测量,以确定开挖的土石方量。场地平整后,需要测量人员将建筑物外廓轴线的交点标定到地面上作为施工的依据。施工过程中,需要进行建筑物的轴线投测和高程放样。对于高层建筑物及基础较差的建筑物,为了监视建筑物的安全,在施工过程及运营过程中,还要进行变形监测。

在水电工程中,修建水力发电厂时,需要测绘各种比例尺的地形图,当大坝坝顶的高程设计好以后,就可以根据相关比例尺的地形图,确定水库的淹没范围,并计算水库的库容。为了确定搬迁范围,需要测量人员将水库淹没线标定到实地。大坝施工前,需要测量人员将大坝的坝轴线及开挖边界标定到地面上作为施工的依据,大坝施工过程中,还要进行相关的施工放样,大坝竣工后,为了监视大坝的安全,还要进行大坝变形监测。

在输电线路工程中,需要在1:5万的地形图上标定出线路的路径,然后在实地初步选择线路路径。为了便于线路设计,需要测量人员进行平断面测量,并绘制平断面图。在杆塔施工过程中,需要进行杆塔定位测量及杆塔基础分坑测量。输电线路工程完工后,为了保证导线对地的距离满足要求,还需要进行导线弧垂观测。

此外,公路工程、桥梁与隧道工程、农林、地质、国防建设等领域都离不开测量工作。为此,人们往往将测量工作者称为工程建设的尖兵。

第二节 测量学发展概况

测量学是人们在了解自然、利用自然和改造自然的过程中发展起来的。公元前 27 世纪建设的埃及金字塔,其形状非常规则,这说明当时就有了测量的工具和方法。公元前 14 世纪,在幼发拉底河与尼罗河流域曾进行过土地边界的划分测量。

在我国,4000 多年前,夏禹治水曾利用简单的工具进行测量;战国时期,发明的指南针,至今仍被广泛应用;20 世纪 70 年代出土的长沙马王堆三号墓,在墓的陪葬品中发现了公元前 168 年古长沙国的地图,图上标注有山脉、河流、居民地、道路等要素。唐代南宫说于公元 724 年在河南境内丈量了 300km 的子午线弧长,开辟了世界子午线弧长丈量的先河。宋代沈括使用水平尺、罗盘仪进行了地形测量;元代的郭守敬拟定了全国纬度测量计划,并实测了 27 个点的纬度,同时测绘了黄河流域的地形图。清代康熙年间进行了全国范围的测绘工作。

中华人民共和国成立以后,我国的测绘事业有了很大的发展。建立和统一了全国的坐标系统和高程系统,建立了国家大地控制网、国家水准网、GPS 基准站,完成了国家基本图的测绘工作。在仪器制造方面,我们国家能够自主生产光学经纬仪、光学水准仪、光电测距仪、全站仪、激光水准仪、激光准直仪等仪器,为国家经济建设发挥了重要作用。

目前,电脑型全站仪配合丰富的软件,逐渐向全能型和智能化方向发展。带电动马达驱动和程序控制的全站仪结合激光、通信及 CCD 技术,可实现测量的全自动化,具有这种功能的全站仪称为测量机器人。测量机器人可自动寻找并精确照准目标,在 1s 内完成任一目标点的观测,测量机器人可广泛用于变形监测和施工测量。GPS 测量系统已逐渐成为一种通用的测量仪器,尤其是动态 GPS 测量系统,在地形测量和施工放样中得到广泛应用。将 GPS 接收机与全站仪或测量机器人连接在一起,称为超全站仪或超测量机器人,它将 GPS 的实时动态定位技术与全站仪灵活的 3 维极坐标测量技术完美结合起来,可实现无控制网的各种工程测量,大大减轻了测量人员的劳动强度,提高了测量工作的效率。

第三节 地面点位的确定

一、地球的形状和大小

测量工作一般是在地球表面上进行的,而地球的自然表面很不规则,有高山、峡谷、丘陵、平原、盆地和海洋。虽然陆地上最高的珠穆朗玛峰高出海水面 8 844.43m (2005 年测得的数据),海洋的最深处,位于太平洋西部的马里亚纳海沟,低于海水面 11 022m,两者相差不足 20km,这与地球的平均半径 6371km 相比显得微不足道。由于地球上海洋面积占整个地球表面积的 71%,因此人们往往将海水面所包围的形体近似看作地球的形体。

设想有一个静止的海水面,由这个静止的海水面所包围并向陆地和岛屿延伸形成的封闭曲面称为水准面,与水准面相切的平面称为水平面。水准面是一个处处与重力方向相垂直的连续曲面,由于地球内部质量分布不均匀,使得地球重力方向产生不规则的变化,因此,水准面是一个不规则的曲面。由于潮汐的影响,海水面有时上涨有时下落,因此水准面就有无

数个。人们往往在海滨设立验潮站,进行长期的水位观测,求出平均高度的海水面,称为平均海水面。与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面,大地水准面是水准面的特例,因此,大地水准面也是一个不规则的曲面。大地水准面是测量工作的基准面。

由于大地水准面是一个不规则的曲面,因此无法用数学式子加以描述,如果把地面点直接投影到大地水准面上将无法进行测量数据的计算及处理。为此,人们选择一个与大地水准面非常接近而且非常规则的曲面作为测量计算的基准面,这个基准面称为旋转椭球面,它是由椭圆 NWSE 绕其短轴 NS 旋转而形成的封闭曲面。旋转椭球面的形状和大小取决于长半径 a 、短半径 b ,或长半径 a 、扁率 $\alpha\left(\alpha=\frac{a-b}{a}\right)$ 。

a 、 b 或 α 称为旋转椭球面的元素,目前我国采用 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作为我们国家的旋转椭球面元素,取值为

$$a = 6\,378\,140\text{m}, \alpha = 1 : 298.257$$

旋转椭球面所包围的形体称为旋转椭球体,简称椭球体。

为了便于测量计算,一般在地面上选择一点作为大地原点,并确定它在旋转椭球面上的位置。图 1-1 所示为大地水准面与椭球体, P 为大地原点,令 P 点的铅垂线与旋转椭球面 P_0 点的法线重合,使过 P_0 点的旋转椭球面与大地水准面相切,并使整个国家范围内的旋转椭球面与大地水准面尽量接近,并且使旋转椭球面的短轴与地球的自转轴平行。于是,旋转椭球面与大地水准面的相对位置便确定下来了,这就是旋转椭球面的定位。我国于 1954 年将大地原点设在北京,与该大地原点所对应的坐标系称为 1954 年北京坐标系。后来根据大量的观测数据分析,发现 1954 年北京坐标系与我国的实际情况相差较大,于是,在 1980 年将大地原点设在陕西省泾阳县永乐镇,与该大地原点所对应的坐标系称为 1980 年国家大地坐标系。

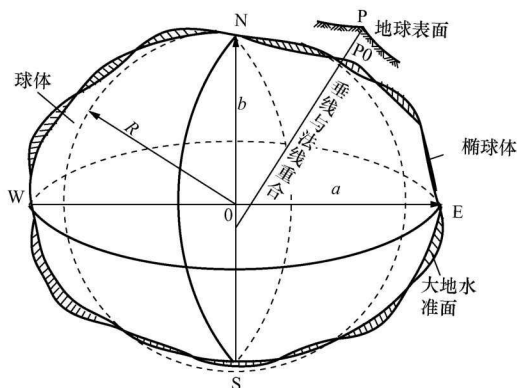


图 1-1 大地水准面与椭球体

由于旋转椭球面的扁率很小,在小区域的普通测量中,可以将地球或旋转椭球面看作球面,其平均半径 R 取值为 6371km 。测区面积比较小时,可以将球面看作水平面。

二、地面上点位的表示方法

地面上一点的位置一般用该点在某一投影面上的位置及该点到大地水准面的铅垂距离来表示。地面点在投影面上的位置称为坐标,地面点到大地水准面的铅垂距离称为高程。

(一) 坐标

1. 地理坐标

以经度和纬度表示地面点在投影面上的位置,称为地理坐标,如图 1-2 所示, N 和 S 分别为地球的北极和南极, NS 为地球的自转轴,设地面上某一点在球面上的投影为 M ,过 M 点和地球自转轴所构成的平面称为 M 点的子午面,子午面与球面的交线称为子午线,子午线也称经线。过英国格林尼治天文台的子午面称为起始子午面,起始子午面与球面的交线

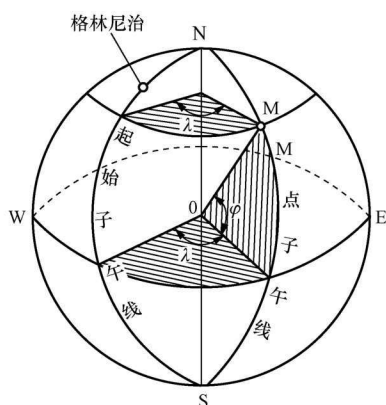


图 1-2 地理坐标

称为起始子午线。过地心 O 且垂直于 NS 的平面称为赤道面，赤道面与球面的交线称为赤道。过 M 点的子午面与起始子午面之间的夹角 λ ，称为 M 点的经度；从起始子午面起，向东从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经，向西从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。过 M 点的铅垂线与赤道面的夹角 φ 称为 M 点的纬度；从赤道面起，向北从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬，向南从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。经度和纬度一般用天文观测的方法确定。

2. 平面直角坐标

(1) 独立平面直角坐标。独立平面直角坐标也称假定平面直角坐标。当测区面积比较小时，可以将该范围内的球面看作水平面，将地面点沿铅垂线投影到水平面上。测量中采用的平面直角坐标如图 1-3 所示，规定南北方向为纵轴，并记为 x 轴， x 轴向北为正，向南为负；以东西方向为横轴，并记为 y 轴， y 轴向东为正，向西为负。地面上某点 P 的位置用 x_P ， y_P 表示。平面直角坐标中的象限按顺时针方向编号。平面直角坐标与数学上的坐标是不同的。数学上的坐标规定：横轴为 x 轴， x 轴向右为正，向左为负；纵轴为 y 轴， y 轴向上为正，向下为负；数学上的坐标象限按逆时针方向编号。之所以测量中采用的平面直角坐标与数学上的坐标不同，是因为测量中直线的方向是以纵轴的北端起，沿顺时针方向度量的，通过这样的规定，就可以方便地将数学上的有关公式原封不动地运用到测量中来。对于独立平面直角坐标，一般将坐标原点选在测区的西南角，这样就可以保证测区内各点的坐标均为正值。

(2) 高斯平面直角坐标。当测区面积比较大时，就不能将该范围内的球面看作水平面，也就是要顾及地球曲率的影响，如果将球面上的图形直接展开成平面，必然会产生破裂和变形。为了解决这个问题，就必须研究地图的投影。地图投影的方法比较多，最常用的投影有高斯投影、圆锥投影、中心投影。由于我们国家位于中纬度地区，因此，我们国家采用高斯投影比较合适。

1) 高斯投影的概念。如图 1-4 (a) 所示，设想有一个横圆柱面，将这个横圆柱面套到地球圆球上，并使横圆柱面的轴线通过地球圆球的中心，使地球的某一条子午线（称为中央子午线）与横圆柱面相切，将地球圆球中央子午线两侧的图形按照一定的投影关系投影到横圆柱面上，然后将横圆柱面沿过地球北极和南极的母线 TT' 及 KK' 切开，并将横圆柱面展开成平面，就得到投影面上的图形，这种投影称为高斯投影。高斯投影具有如下性质：

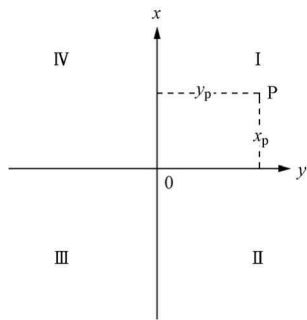


图 1-3 平面直角坐标

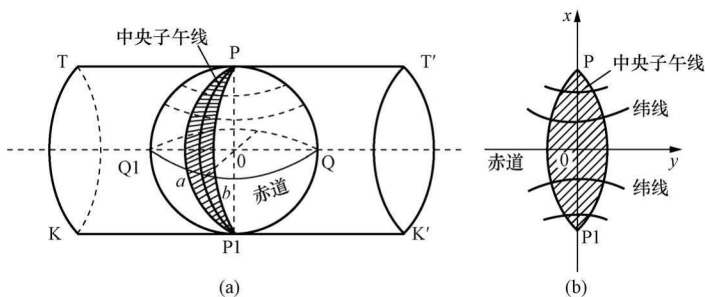


图 1-4 高斯投影的概念

(a) 高斯投影前；(b) 高斯投影后

①如图 1-4 (b) 所示, 中央子午线的投影为一条直线, 且投影前后长度不变, 其余经线的投影为凹向中央子午线投影的对称曲线。

②赤道的投影也是一条直线, 其余纬线的投影为凸向赤道投影的对称曲线。

③中央子午线的投影和赤道的投影相互垂直, 其他经线和纬线的投影仍保持相互垂直的关系, 也就是投影前后角度没有变形。因此, 高斯投影属于保角投影。

2) 高斯平面直角坐标的建立。高斯投影在投影前后, 角度没有变形, 投影以后, 除中央子午线的长度没有变形外, 其余的都有不同程度的变形, 而且离中央子午线越远, 其变形就越大, 为了限制这种变形, 往往采用分带投影的方法。

分带投影的方法有两种, 即 6° 投影带 (或简称 6° 带) 和 3° 投影带 (或简称 3° 带)。

图 1-5 所示的 6° 带是从起始子午线 (也称首子午线) 起, 自西向东每隔经度差 6° 将地球分为一带, 这样将地球均匀分为 60 带, 每一带的带号用数字 1~60 表示。每一带中央子午线的经度可计算为

$$\lambda_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1-1)$$

式中: N 为 6° 带的带号。

由于中央子午线的投影和赤道的投影相互垂直, 为此, 将中央子午线的投影作为纵轴 x , 将赤道的投影作为横轴 y , 以中央子午线投影和赤道投影的交点作为坐标原点, 这样就组成了高斯平面直角坐标, 如图 1-6 (a) 所示。由于我国位于北半球, 因此 x 坐标恒为正值, 而 y 坐标则有正有负, 为了避免 y 坐标出现负值, 因此将纵轴 x 向西平移 500km, 这样就可以保证每一投影带中各点的坐标都为正值, 如图 1-6 (b) 所示。为了区别某一个点位于哪一个投影带内, 所以在平移后的 y 坐标前面加上相应的带号。

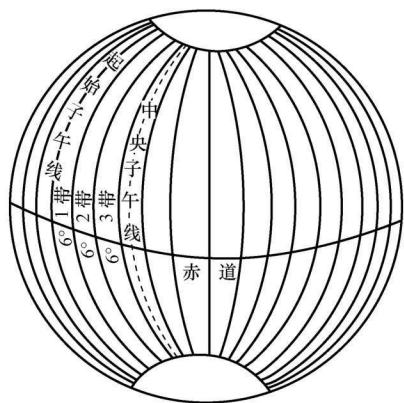


图 1-5 6° 带

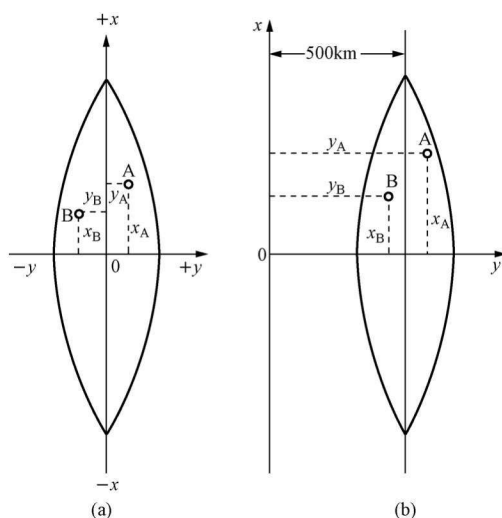


图 1-6 高斯平面直角坐标
(a) 纵轴平移前; (b) 纵轴平移后

在图 1-6 (a) 中, 设 $y_A = 37\ 685\text{m}$, $y_B = -34\ 250\text{m}$, 则将纵轴 x 向西平移 500km 后, $y_A = 500\ 000 + 37\ 685 = 537\ 685\text{m}$, $y_B = 500\ 000 - 34\ 250 = 465\ 750\text{m}$, 如图 1-6 (b) 所示。假设 A 点及 B 点位于第 22 个投影带内, 考虑到投影带的带号, 则 A 点和 B 点的横坐标分别

为: $y_A = 22\,537\,685\text{m}$, $y_B = 22\,465\,750\text{m}$ 。

在高斯投影中, 离中央子午线愈远, 则投影长度的变形愈大, 当测绘大比例尺地形图时, 6° 带就不能满足相应的精度要求, 此时应采用 3° 带。

3° 带是从东经 $1^\circ30'$ 的子午线开始, 自西向东每隔经度差 3° 将地球分为一带, 这样将地球均匀分为 120 带, 每一带的带号用数字 1~120 表示。每一带中央子午线的经度可计算为

$$\lambda'_0 = 3^\circ N' \quad (1-2)$$

式中: N' 为 3° 带的带号。

(二) 高程

1. 绝对高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程, 绝对高程也称海拔。图 1-7 所示为高程及高差, 图中的 H_A 和 H_C 即为 A 点和 C 点的绝对高程。

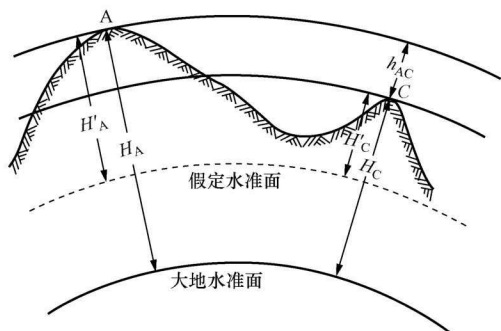


图 1-7 高程及高差

解放初期, 我国采用青岛验潮站 1950~1956 年观测成果推算的黄海平均海水面作为高程的零点, 由此建立的高程系统称为“1956 年黄海高程系”。由于“1956 年黄海高程系”所采用的验潮资料过短, 准确性较差, 后来采用青岛验潮站 1950~1979 年观测成果推算的黄海平均海水面作为高程的零点, 称为“1985 年国家高程基准”, 该高程系统于 1987 年开始启用。

2. 相对高程

地面点到任一水准面 (也称为假定水准面) 的铅垂距离称为相对高程, 相对高程也称假定高程, 图 1-7 中的 H'_A 及 H'_C 分别为相对于任一水准面的相对高程。

测量工作中, 一般采用绝对高程, 如果测区附近没有国家高程控制点时, 可以使用相对高程。

3. 高差

地面两点的高程差称为高差。高差与所选取的水准面的位置无关, 图 1-7 中的 h_{AC} 即为 A、C 两点的高差, 且 $h_{AC} = H_C - H_A = H'_C - H'_A$ 。

第四节 用水平面代替大地水准面的限度

如前所述, 当测区面积比较小时, 可以将该范围内的球面看作水平面, 这样就可以使测量计算和绘图工作大为简化。那么, 究竟在多大的范围内可以将球面看作水平面, 这就是本节要讨论的问题。

一、对距离的影响

如图 1-8 所示, A、B、C 为地面点, 它们在大地上水准面上的投影分别为 a、b、c, 过 a 点的切平面为水平面, A、B、C 在水平面上的投影分别为 a、b'、c', 设 A、B 两点在大地上水准面上投影的距离为 D , 在水平面上投影的距离为 D' , 两者之差即为用水平面代替大地水准面所引起的距离差异。

为了便于公式推导, 现将大地水准面看作半径为 R 的球面, 则有

$$\Delta D = D' - D = R(\operatorname{tg}\theta - \theta) \quad (1-3)$$

而 $\operatorname{tg}\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$, 由于 θ 值很小, 只取前两项代入式 (1-3), 则有

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

而 $\theta = \frac{D}{R}$, 则

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-4)$$

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-5)$$

将地球的平均半径 $R = 6371\text{km}$ 代入式 (1-4) 及式 (1-5), 取不同的距离 D , 便得到表 1-1 中所列数值。

表 1-1 用水平面代替大地水准面对距离的影响

D (km)	ΔD (cm)	$\Delta D/D$	D (km)	ΔD (cm)	$\Delta D/D$
1	0.08	1/12 500 万	50	102.6	1/4.9 万
10	0.8	1/120 万	100	821.2	1/1.2 万
20	6.6	1/30 万			

由表 1-1 可以看出, 当 $D = 10\text{km}$ 时, 用水平面代替大地水准面所引起的距离相对误差为 1/120 万, 对于精密量距, 这样的误差也是允许的, 因此, 在 10km 的范围内进行距离测量时, 可以将大地水准面作为水平面看待。对于精度要求较低的测量工程, 其范围可以适当放宽。

二、对高程的影响

如图 1-8 所示, 地面点 B 的高程为 Bb, 用水平面代替大地水准面后, B 点的高程变为 Bb', 两者之差 Δh 即为用水平面代替大地水准面所引起的高程误差。由图 1-8 知, $\angle b'ab = \frac{1}{2}\theta$, 由于 θ 值很小, 取 θ 的单位为 rad (弧度), 则

$$\Delta h = \frac{D\theta}{2} \quad (1-6)$$

而 $\theta = \frac{D}{R}$, 则有

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-7)$$

将不同的距离 D 代入式 (1-7), 便得到表 1-2 所列数值。

表 1-2 用水平面代替大地水准面对高程的影响

D (km)	0.2	0.5	1	2	3	4	5
Δh (cm)	0.31	2	8	31	71	125	196

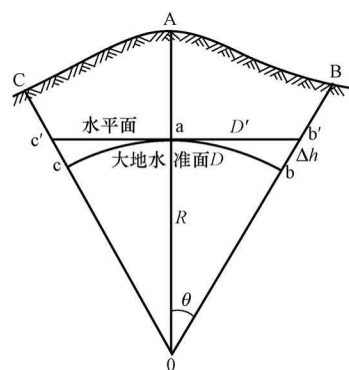


图 1-8 地球曲率对距离和高程的影响

由表 1-2 可以看出,用水平面代替大地水准面对高程的影响是相当大的,当距离为 0.2km 时,其误差就达到 0.31cm,即使对于一般的水准测量,这样的误差也是不允许的。因此,进行高程测量时,即使距离很短,也不能用水平面代替大地水准面,也就是说必须考虑地球曲率的影响。

第五节 测量工作概述

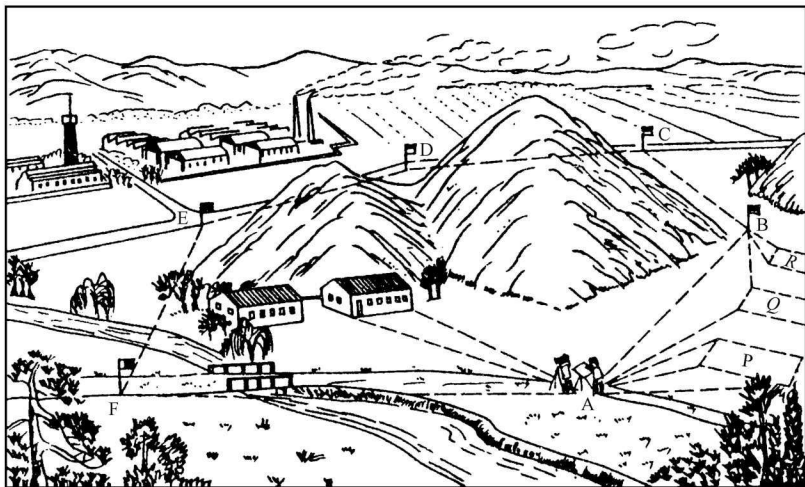
地球表面的形态复杂多样,但可以将它们分为两大类,即地物和地貌。地面上固定不动的物体称为地物,如房屋、道路、桥梁等。地面的高低起伏状态称为地貌,如山脊、山谷、鞍部等。地物和地貌总称为地形。

地形测量的实质是测量碎部点(地物和地貌的特征点)的平面位置和高程,然后将这些碎部点标注到图纸上,形成与实地相似的几何图形。如果从某一碎部点开始,逐点设站实测,测量误差必将随着碎部点数量的增多而逐渐积累,最后将达到不能容许的程度。为了保证测量精度满足工程要求,测量工作应遵循“先控制后碎部”,“从整体到局部”的原则。

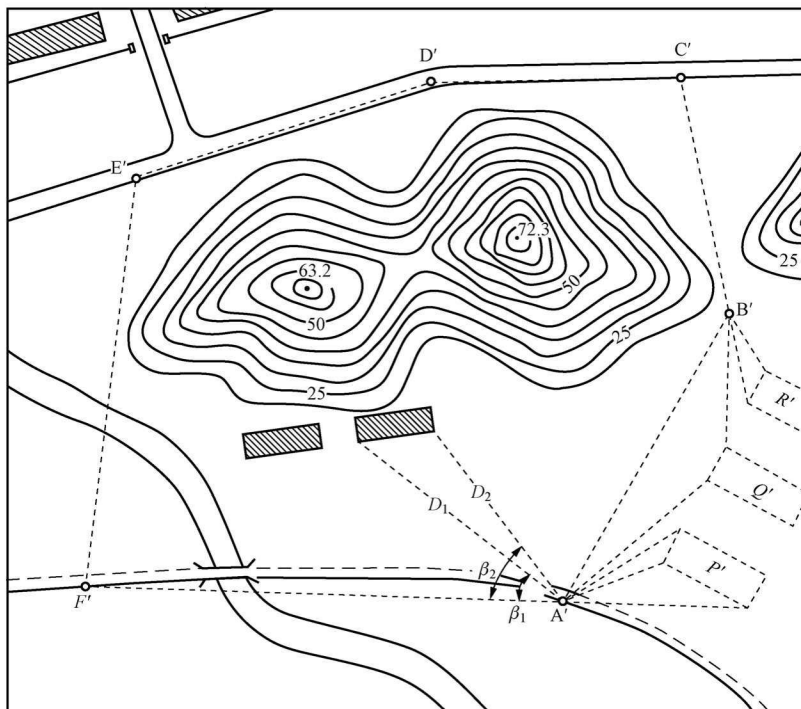
所谓“先控制后碎部”是指进行地形测量时,先在测区选择具有一定控制意义的点,称为控制点,如图 1-9 中的 A、B、C、D、E、F 点,然后将这些点连成一定的几何图形(图 1-9 中为闭合多边形),用精密方法测定这些点的平面位置和高程,再以这些点为基础,将周围碎部点的平面位置和高程测绘到图纸上,再将相关的碎部点连成一定的几何图形,形成与实地地形相似的几何图形,并根据碎部点的高程勾绘出地貌特征,生成地形图。

所谓“从整体到局部”是指进行施工放样时,与地形测量类似,先在施工区布设施工控制网,求出施工控制网点的平面坐标和高程,再以这些点为基础,测设建筑物、构筑物的平面位置和高程。

要确定控制点的平面坐标和高程及进行地形测量和施工放样时,往往需要进行水平角、距离和高差的测量,因此水平角测量、距离测量、高差测量称为测量的基本工作,而水平角、距离、高差为确定地面点相对位置的三个基本几何要素。



(a)



(b)

图 1-9 地形测量的原则

(a) 实地地形；(b) 实地地形对应的地形图

习 题

- 1-1 测量学的任务是什么？测量学在工程建设中有什么作用？
- 1-2 什么是水准面、大地水准面？水准面有什么特点？在测量工作中，大地水准面有什么作用？
- 1-3 什么是绝对高程、相对高程、高差？高差与水准面的位置有无关系？
- 1-4 测量中采用的平面直角坐标与数学上的坐标有什么区别？
- 1-5 高斯平面直角坐标是怎样建立的？
- 1-6 地面上某点的经度为东经 $116^{\circ}28'$ ，试计算它在 6° 带和 3° 带中的带号，并计算出相应 6° 带和 3° 带中央子午线的经度。
- 1-7 用水平面代替大地水准面对距离和高程有什么影响？
- 1-8 测量工作的原则是什么？
- 1-9 确定地面点相对位置的三个基本几何要素是什么？
- 1-10 测量的基本工作有哪些？



第二章 水准测量

测定地面点高程的工作称为高程测量。高程测量的方法包括水准测量、三角高程测量及 GPS 测量等方法。其中水准测量是高程测量中最为常见且精度较高的一种方法。

第一节 水准测量原理

水准测量是利用仪器提供的水平视线测定地面上两点之间的高差，推求某点高程的方法。如图 2-1 所示，设 A 点的高程为 H_A ，现在要确定 B 点的高程，此时我们可以在 A 点和 B 点之间安置一台能够提供水平视线的仪器——水准仪，然后在 A 点和 B 点安置带有刻划的尺子——水准尺，假设 A 点水准尺上的读数为 a ，B 点水准尺上的读数为 b ，则 A、B 两点间的高差为

$$h_{AB} = a - b \quad (2-1)$$

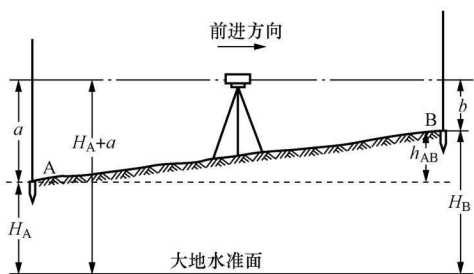


图 2-1 水准测量原理

由于水准测量是由 A 点朝 B 点方向进行的，因此 A 点称为后视点，B 点称为前视点，后视点 A 上的水准尺称为后视尺，前视点 B 上的水准尺称为前视尺，后视尺上的读数 a 称为后视读数，前视尺上的读数 b 称为前视读数，因此，两点间的高差等于后视读数减前视读数。如果后视读数大于前视读数，则高差为正值，反之，高差为负值。

由于 A 点的高程为 H_A ，则 B 点的高程为

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

由于水平视线的高程 $H_i = H_A + a$ ，则

$$H_B = H_i - b \quad (2-3)$$

式 (2-3) 在横断面测量及土石方测量中用得比较多。

第二节 水准测量的仪器和工具

水准测量的仪器为水准仪，水准测量的工具为水准尺和尺垫。

水准仪按精度分，分为 DS05、DS1、DS3、DS10 型几个等级；按制造材料分，分为光学水准仪和电子水准仪。各种光学水准仪的构造及使用方法大同小异，其中 DS3 型水准仪在一般的工程测量中用得比较多，本节主要介绍微倾式 DS3 水准仪的构造和使用方法。

一、微倾式 DS3 型水准仪的构造

微倾式 DS3 型水准仪由望远镜、水准器及基座三大部分组成，其基本构造如图 2-2 所示。