

适用于高等院校非测绘类专业

CELIANGXUE TONGYONG JICHU JIAOCHENG

测量学通用基础教程

汪金花 王健 张永彬 编著

(修订版)



测绘出版社

适用于高等院校非测绘类专业

测量学通用基础教程

CELIANGXUE TONGYONG JICHU JIAOCHENG

(修订版)

汪金花 王 健 张永彬 编著

测绘出版社

· 北京 ·

© 汪金花 王 健 张永彬 2011

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 简 介

全书内容分为两个模块:通用模块和方向模块。第一部分通用模块共九章,介绍测量学的基础知识、基本方法及仪器的使用。第二部分方向模块共六章,分别介绍测量方法在建筑施工、道桥工程、管线工程、地籍测绘、地质勘测工程、矿山工程中的应用。

本书可作为高等院校土建类、交通运输类、水利类、环境与安全类、地球物理学类、地质学类、地矿类等相关专业本专科的测量学教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

测量学通用基础教程/汪金花,王健,张永彬编著. —2版. —北京:测绘出版社, 2011. 8

ISBN 978-7-5030-2296-8

I. ①测… II. ①汪… ②王… ③张… III. ①测量学—高等学校—教材 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 166189 号

责任编辑	贾晓林	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍 李 艳
------	-----	------	-----	------	---------

出版发行 测绘出版社

地 址 北京市西城区三里河路 50 号

邮政编码 100045

电子信箱 smp@sinomaps.com

印 刷 北京金吉士印刷有限责任公司

成品规格 184mm×260mm

印 张 13.00

版 次 2011 年 8 月第 1 版

印 数 0001—3000

电 话 010—68531160(营销)

010—68531609(门市)

网 址 www.sinomaps.com

经 销 新华书店

字 数 315 千字

印 次 2011 年 8 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-2296-8/P·547

如有印装质量问题,请与我社联系调换。

修订版前言

本书是面向非测绘工程专业的一本“测量学”教材,适用于多个以“测量学”作为专业基础课的工科类或其他类专业,如采矿工程专业、资源勘查工程专业、土木工程专业、交通工程专业、土地资源管理专业等。

“测量学”课程有如下两个特点:一是测量学中两项最基本、最主要的内容是测绘和测设,其实质是“点位”的确定。从这个意义上来说,不同专业所学的测量学在基本原理上都是相同的。二是具体到不同的专业,在行业特点和应用方法上,又有较大差异。针对测量学课程的以上特点,结合很多开课院校“师资缺,学时少”的具体情况,本书采用了“模块化”的编写思想,将整个教学内容分成“通用模块”和“方向模块”,意在测量学教学中整合教学资源,与相关辅助教学资料配套,规范教学质量管理和教学过程管理。

本书共十五章。前九章为“通用模块”:第一章绪论概要介绍了测量学研究的对象和测绘基本理论;第二章水准测量,第三章角度测量,第四章距离测量,讲述了测量学三大外业的传统作业方法及仪器操作;第五章介绍了测量误差理论基础;第六章介绍了控制测量概念;第七章介绍了大比例尺地形图的测绘和应用;第八章介绍了测设(放样)的基本工作;第九章现代测绘技术与应用,介绍当前常用的角度、高差施测方法和常用仪器,以及 GPS 图根控制和数字测图方法。后六章为“方向模块”:第十章建筑施工测量,第十一章道桥工程测量,第十二章管线工程测量,第十三章地籍测量,第十四章地质勘探工程测量,第十五章矿山测量,分别介绍测量基本方法在建筑施工、道桥工程、管线工程、地籍测绘、地质勘测工程、矿山工程中的应用。供土建类、交通运输类、水利工程类、环境与安全类、石油地质类、地矿类等相关专业教学选用。不同专业测量教学根据所修专业的特点,选修前九章及“方向模块”的相关章节。

本书自第一版出版使用以来,由于其适用性受到多个院校的欢迎和采用。同时,在使用过程中,也发现了存在的一些问题,编者经认真研究并修改,历时一年,又迎来了本书的第二版。

由于编者水平有限,对书中的错误和不足之处,敬请专家、读者指正。

编者
2011年5月

第一版前言

测绘科学是一门很有特色的学科,作为空间数据基础设施建设的高技术产业,产业队伍规模相对较小,因而在我国本科教育中测绘专业很少。然而,测绘行业服务面却相当宽。我国 21 世纪议程的 62 个优先发展项目中,就有 42 个需要现代测绘这一空间数据基础设施产业支撑;测量学是测绘科学中的基础学科,应用更加广泛。目前,我国高等学校本科教育中,开设测量学的已有 5 个学科门类,17 个二级类中的 40 个专业。

测量学教学的特点:

1. 传统测量学主要有两个方面的工作:测绘和测设。这两方面工作的实质是“点位”的确定。从这个意义上来说,不同专业所学的测量学在原理本质上都是相同的。

2. 不同的专业,在原理的应用和方法上,又有着相当大的差异。

本书的编写面向多学科(非测绘类)开设测量学课程的综合类院校。前八章为“通用模块”(第一章,绪论;第二章,水准测量;第三章,角度测量;第四章,距离测量;第五章,测量误差理论基础;第六章,控制测量概念;第七章,大比例尺地形图的测绘和应用;第八章,测设的基本工作),构成测量学的基础,各专业共用。设置“通用模块”,旨在院校测绘学教学中整合教学资源,与教材配套的多媒体课件共享,规范教学质量管理和教学过程管理。后六章为“方向模块”(第九章,建筑施工测量;第十章,道桥工程测量;第十一章,管线工程测量;第十二章,地籍测绘;第十三章,地质勘测工程测量;第十四章,矿山测量),供土建类、交通运输类、水利类、环境与安全类、地球物理学类、地质学类、地矿类等相关专业教学选用。

本书前八章及“方向模块”中选修一章,总计约 70 教学学时。本书亦可作为专科、高等职业教育用书及工程技术人员参考用书。

本书承宋伟东教授、冯仲科教授审阅,在此谨致衷心的感谢!

由于编者水平有限,对书中的错误和不足之处,敬请专家、读者指正。

编者

2004 年 12 月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 测量学的任务与作用	1
§ 1-2 地球的形状与大小	2
§ 1-3 地面点位的确定	3
第二章 水准测量	8
§ 2-1 水准测量原理	8
§ 2-2 水准测量的仪器与工具	8
§ 2-3 水准仪的使用	13
§ 2-4 水准测量的作业	14
§ 2-5 水准测量误差	19
第三章 角度测量	21
§ 3-1 角度测量原理	21
§ 3-2 经纬仪的构造	21
§ 3-3 水平角观测方法	23
§ 3-4 竖直角观测方法	27
§ 3-5 水平角测量的误差	29
§ 3-6 直线定向	32
第四章 距离测量	35
§ 4-1 距离测量概述	35
§ 4-2 视距测量	35
§ 4-3 普通钢尺量距	37
§ 4-4 电磁波测距	40
第五章 测量误差理论基础	47
§ 5-1 测量误差概念	47
§ 5-2 偶然误差的特性	48
§ 5-3 评定精度的标准	50
§ 5-4 算术平均值及其中误差	51
§ 5-5 误差传播定律及应用	52

第六章 控制测量概念	55
§ 6-1 控制测量概述	55
§ 6-2 导线测量	58
§ 6-3 三角测量	65
§ 6-4 交会法测定点位	67
§ 6-5 高程控制测量	69
第七章 大比例尺地形图的测绘和应用	73
§ 7-1 地形图的基本知识	73
§ 7-2 地形图的符号	75
§ 7-3 大比例尺地形图的传统测图法	81
§ 7-4 地物、地貌的测绘	83
§ 7-5 地形图的分幅与编号	86
§ 7-6 地形图的应用	89
第八章 测设(放样)的基本工作	94
§ 8-1 测设水平距离	94
§ 8-2 测设水平角	94
§ 8-3 测设点的平面位置	95
§ 8-4 测设已知高程	97
§ 8-5 测设已知坡度线	98
第九章 现代测绘技术与应用	99
§ 9-1 现代水准测量	99
§ 9-2 全站仪	102
§ 9-3 全球导航卫星系统	105
§ 9-4 数字测图	109
第十章 建筑施工测量	114
§ 10-1 施工测量的特点	114
§ 10-2 建筑场地的施工控制测量	114
§ 10-3 工业与民用建筑中的施工测量	117
§ 10-4 高层建筑物施工测量	122
§ 10-5 竣工测量	124
§ 10-6 建筑物的变形观测	125
第十一章 道桥工程测量	130
§ 11-1 道路中线测量	130
§ 11-2 圆曲线测设	131

§ 11-3 纵、横断面图测量	134
§ 11-4 道路施工测量	138
§ 11-5 桥梁工程测量	141
第十二章 管线工程测量	145
§ 12-1 管线工程测量概述	145
§ 12-2 管道中线测量	145
§ 12-3 管道纵、横断面图测绘	147
§ 12-4 管道施工测量	151
§ 12-5 管道竣工测量	155
第十三章 地籍测量	157
§ 13-1 地籍测量概述	157
§ 13-2 地籍调查	158
§ 13-3 地籍图测绘	161
§ 13-4 地籍修测	164
第十四章 地质勘探工程测量	165
§ 14-1 勘探工程测量	165
§ 14-2 地质剖面测量	169
§ 14-3 地质填图测量	171
第十五章 矿山测量	173
§ 15-1 矿山测量概述	173
§ 15-2 联系测量	174
§ 15-3 井下控制测量	181
§ 15-4 巷道施工测量	185
§ 15-5 矿图	191
参考文献	198

第一章 绪 论

§ 1-1 测量学的任务与作用

测量学是采集、量测、处理、应用与地球和空间分布有关数据的一门科学。它的研究对象非常广泛,从地球的形状、大小至地球以外的空间,到地面上局部的面积和点位等。按照研究范围和对象的不同,测量学包括下面几个分支学科。

一、大地测量学

大地测量又可分为卫星大地测量、空间大地测量、几何大地测量(空间大地测量与几何大地测量又称为天文大地测量)、重力大地测量、海洋大地测量等。大地测量主要研究地球的形状与大小(精化水准面),地球的整体运动(地球的自转和极移等),地球的局部运动(板块运动和区域性地壳形变等),为地球表面(包括陆地和海洋)进行地表与地物测量提供定位控制。

大地测量为研究地球动态变化状态以及动力学机制提供理论依据;为研究海平面变化,保护人类生存环境,地震中长期预报提供依据和信息;为经济建设提供数据控制;为航空、航天、航海提供定轨、定位;为国防建设提高战略、战术武器的命中精度提供制导支持等。

二、摄影测量与遥感

摄影测量与遥感又可分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面立体摄影测量、遥感测量。摄影测量可以快速获取地球表面上地貌地物的影像,在通信技术、计算机技术支持下,实时地获取各种纸质和数字地图。利用遥感技术(电磁波、光波、热辐射等)快速获取地球表面、地球浅层、环境景象、天体等可传感目标的信息特征信号,应用于农业调查、土壤性质分析、植被分布、地下资源、气象、环境污染等调查以及自然灾害预测等。

三、普通测量学

研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科,是测量学的基础。主要研究内容有图根控制网的建立、地形图的测绘及一般工程的施工测量。具体工作有距离测量、角度测量、定向测量、高程测量、观测数据的处理和绘图等。

四、工程测量学

工程测量学主要研究有关城市建设、矿山工厂、水利水电、农林牧业、道路交通、地质矿产等领域的勘测设计、建设施工、竣工验收、生产经营、变形监测等方面的测绘工作。工程测量学是应用基本测量理论、技术、仪器设备,针对不同工程的特点,研究其具有特殊性的施工测绘方法。

此外,测量学还包括海洋测量学等。

对于一般工程建设而言,测量学的基本工作内容包括两个部分:测定和测设。测定是通过

使用专用仪器设备、采用一定的技术方法,将地貌地物转化成一系列的数据,经过处理后形成各种纸质地图或数字地图。测设则是测定的反过程,即把图上的规划或设计(例如构筑物的位置、图形)在地面上标定出来,作为建设施工的依据。

§ 1-2 地球的形状与大小

地球的形状,主要是指地球表面的几何形状。地球的自然表面极为复杂,有高山、丘陵、盆地、平原和海洋,所以人们习惯用平均海水面及其延伸到大陆内部所形成的大地水准面(图 1-1(a)、(b))代表地球的形状,这是因为大地水准面同地球表面的形状非常接近。大地水准面是一个处处与重力方向垂直的封闭曲面。重力的方向线又称铅垂线,是测量工作的基准线,而大地水准面则是测量工作的一个基准面。

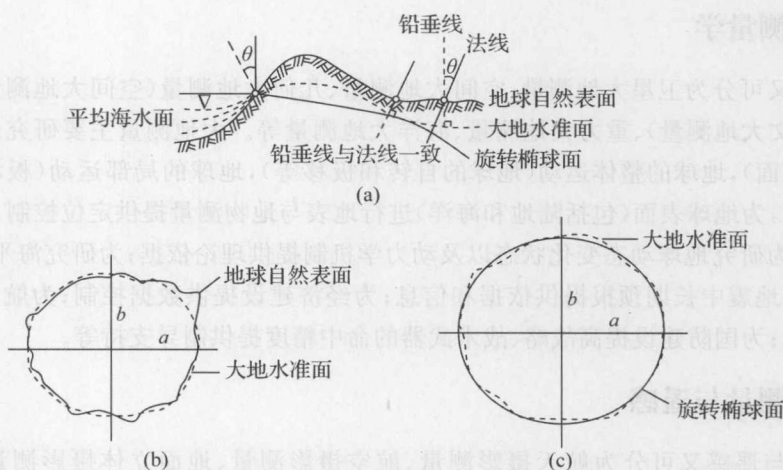


图 1-1 地球自然表面、大地水准面和旋转椭球

由于地球内部质量分布不均匀,引起铅垂线方向的变化,致使大地水准面成为一个复杂的曲面,人们无法在这个曲面上直接进行测绘和数据处理。但从力学角度看,地球是一个旋转的均质流体,其平衡状态是一个旋转椭球体,于是人们进一步利用一个合适的旋转椭球面来逼近大地水准面,如图 1-1(c)所示。

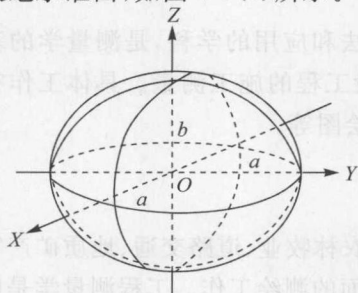


图 1-2 旋转椭球

旋转椭球面是一个数学表面。在直角坐标系 $O-XYZ$ (图 1-2)中,若椭圆长半轴为 a ,短半轴为 b ,则旋转椭球面标准方程为

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1 \quad (1-1)$$

地球的形状非常接近于一个旋转椭球,其长半轴 a 为 6 378 140 m,扁率 α 为 $1/298.257$,其表达式为

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-2)$$

在一般情况下,地面点上的铅垂线同旋转椭球面正交的法线是不平行的,两者之间的夹角称为垂线偏差,以 θ 表示,其值一般在 $10''$ 以内,见图 1-1(a)。

由于地球椭球的扁率很小,当测区面积不大时,可以把地球当做圆球来看待,其平均半径为 6 371 km。

§ 1-3 地面点位的确定

测量工作的根本任务是确定地面点的位置。确定地面点的空间位置,通常是求出该点的球面位置或投影在水平面上的平面位置(称为坐标),以及求出该点到大地水准面的铅垂距离(称为高程或标高),也就是确定地面点的坐标和高程。

一、地面点的坐标

地面点的坐标,根据实际情况,可选用下列三种坐标系中的一种来确定。

1. 地理坐标

地面点在球面上的位置是用经纬度表示的,称为地理坐标。地理坐标又按坐标所依据的基准线和基准面的不同以及求坐标方法的不同,可分为天文坐标和大地坐标两种。

1) 天文坐标

天文坐标又称天文地理坐标,是表示地面点在大地水准面上的位置,用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示,如图 1-3 所示。

地球的自转轴 NS 称为地轴。垂直于地轴的平面与球面的交线称为纬线,垂直于地轴的平面并通过球心 O 与球面相交的纬线称为赤道,经过 F 点的铅垂线和赤道平面的夹角,称为 F 点的纬度,常以 φ 表示。由于地球是椭球体,所以地面点的铅垂线不一定经过地球中心。纬度从赤道向北或向南自 $0^\circ \sim 90^\circ$,分别称为北纬或南纬。

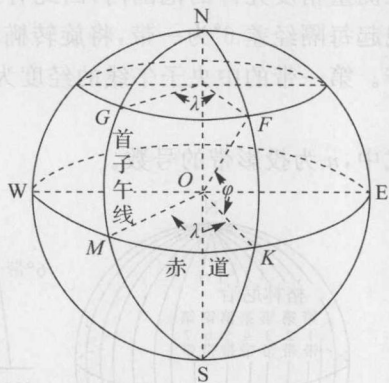


图 1-3 天文坐标

2) 大地坐标

大地坐标又称大地地理坐标,是表示地面点在旋转椭球面上的位置,用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。F 点的大地经度 L ,就是包含 F 点的子午面和首子午面所夹的二面角;F 点的大地纬度 B ,就是过 F 点的法线(与旋转椭球面垂直的线)与赤道面的交角。

天文经纬度是用天文测量的方法直接测定的,而大地经纬度是根据大地测量数据由椭球定位的数学关系推算而得。不同的椭球和定位方法得到不同的坐标系。目前我国同时使用着 1980 国家大地坐标系和 2000 国家大地坐标系。

2. 高斯平面直角坐标

大地坐标只能用来确定地面点在旋转椭球面上的位置,不能直接用来测图。测量上的计算,最好在平面上进行。大家知道,旋转椭球面是一个曲面,不能简单地展成平面,那么如何建立一个平面直角坐标系呢?我国采用高斯投影方法。

如图 1-4(a)所示,高斯投影就是设想将截面为椭圆的一个圆柱面横套在旋转椭球外面,并与旋转椭球面上某一条子午线(如 NOS)相切,同时使圆柱的轴位于赤道面内,并通过椭球中心,相切的子午线称为中央子午线。然后将中央子午线附近的旋转椭球面上的点、线投影到

横圆柱面上,如将旋转椭球面上的 M 点,投影到横圆柱面上得 m 点,再顺着过极点的母线,将圆柱面剪开,展成平面,图 1-4(b)所示,这个平面称为高斯投影平面。

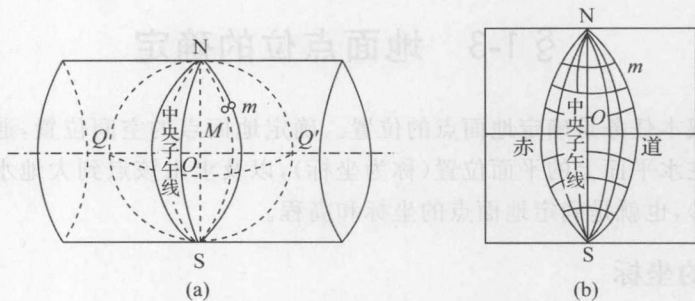


图 1-4 高斯投影

高斯投影平面上的中央子午线投影为直线且长度不变,其余的子午线均为凹向中央子午线的曲线,其长度大于投影前的长度,离中央子午线愈远长度变形愈大。为了将长度变形限制在测量精度允许的范围内,因此有投影带的划分,一般都采用 6° 分带法,即从格林尼治零子午线起每隔经差 6° 为一带,将旋转椭球面由西向东等分为 60 带,如图 1-5(a)所示, $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第一带。第一带的中央子午线的经度为 3° ,如图 1-5(b)所示,任意带中央子午线经度 L_0 为

$$L_0 = 6n - 3 \quad (1-3)$$

式中, n 为投影带的号数。

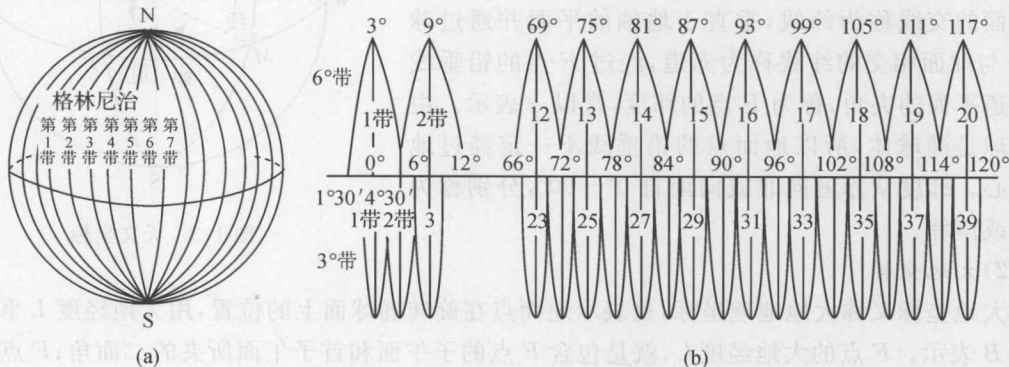


图 1-5 3° 分带与 6° 分带

每一投影带采用各自独立的高斯平面直角坐标系,见图 1-6(a)。

实践证明, 6° 带投影后,其边缘部分的变形能满足 $1:2.5$ 万或更小比例尺测图的精度。当进行 $1:1$ 万或更大比例尺测图时,要求投影变形更小,可用 3° 分带法(图 1-5(b))或 1.5° 分带法。 3° 分带法是从东经 $1^\circ 30'$ 起,每隔 3° 划分一带,全球共划分为 120 带,每带中央子午线经度 L_0 为

$$L_0 = 3n \quad (1-4)$$

测量上以每一带的中央子午线的投影为直角坐标系的纵轴 x ,向上为正,向下为负;以赤道的投影为直角坐标系的横轴 y ,向东为正,向西为负;两轴交点 O 为坐标原点,由于我国领土全部位于赤道以北,因此 x 值均为正值,而 y 值则有正有负,如图 1-6(a)所示, $y_A = +148\,680.54\text{ m}$,

$y_B = -134\,240.69\text{ m}$ 。为了避免出现负值,将每带的坐标原点向西移 500 km ,则每点的横坐标值均为正值,如图 1-6(b)所示, $y_A = 500\,000 + 148\,680.54 = 648\,680.54\text{ m}$, $y_B = 500\,000 - 134\,240.69 = 365\,759.31\text{ m}$ 。为了根据横坐标值就能确定某点位于哪一个 6° 带内,则在横坐标值前冠以带的编号。例如 A 点位于第 20 带内,则其横坐标值 y_A 为 $20\,648\,680.54\text{ m}$ 。

3. 独立平面直角坐标

当测量的区域较小时,可以把该测区的球面当做平面看待,直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上,用平面直角坐标(图 1-7)表示它的投影位置。将坐标原点选在测区西南角,使测区全部落在第一象限内,并以该地的子午线为 x 轴,向北为正, y 轴向东为正。测量上取南北线为标准方向,主要是为定向方便,而象限采取顺时针方向编号,这是与数学上的规定不同的,其目的是便于将数学上的三角函数和解析几何的公式直接应用于测量计算,不作任何改变。如地面上某点 A 的位置可用该点到横、纵坐标轴的垂直距离 x_A 和 y_A 表示。

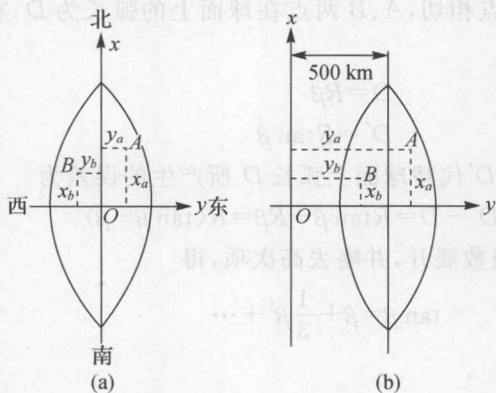


图 1-6 高斯平面直角坐标

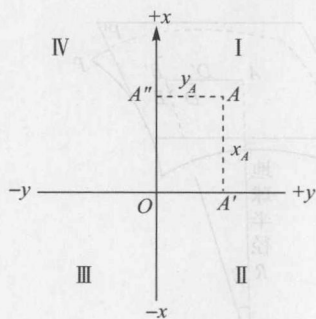


图 1-7 独立平面直角坐标

二、地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为绝对高程,又称海拔。如图 1-8 中的 A、B 两点的绝对高程为 H_A 和 H_B 。海水面由于受潮汐、风浪等影响,是个动态的曲面,它的高低时刻都在变化,通常是在海边设立验潮站,进行长期观测,取海水面的平均高度作为高程零点。通过该零点的大地水准面称为高程基准面(即高程起算面)。新中国成立后,我国曾采用从青岛验潮站求得的黄海平均海水面作为高程基准面,称为 1956 黄海高程系,并在青岛市观象山上建立水准原点,其高程为 72.289 m 。由于验潮资料不足等原因,我国自 1987 年启用 1985 国家高程基准,它是采用青岛验潮站 1953 年至 1979 年验潮资料计算确定的。依此推算的青岛国家水准原点高程为 72.260 m 。为了统一全国的高程系统,全国都应以新的原点高程为准。

在局部地区,也可以假设一个水准面作为高程起算面。地面点到假设水准面的铅垂距离,称为假设高程或相对高程。如图 1-8 中 A、B 点的相对高程分别为 H'_A 和 H'_B 。

地面两点高程之差称为高差,以 h 表示,如图 1-8 中 A、B

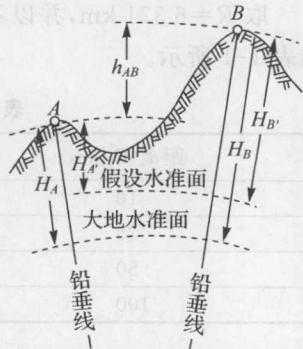


图 1-8 高程和高差

两点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H_B' - H_A' \quad (1-5)$$

三、水平面代替水准面的限度

对于众多的工程来说,图纸是平面的,而且要求平面图上地貌、地物是实地地貌、地物按比例缩小的相似形。然而水准面是不可展开的曲面,如果一定要将水准面展开成平面,则会发生变形。

下面分别讨论不考虑地球曲率,直接用水平面代替水准面时这种变形对平面距离和高程的影响,以便确定在允许的精度内(变形产生的误差可以忽略不计)以水平面直接代替水准面的限度。

1. 对距离的影响

如图 1-9 所示,设球面 P 与水平面 P' 在 A 点相切, A, B 两点在球面上的弧长为 D ,在水平面上的距离为 D' 则

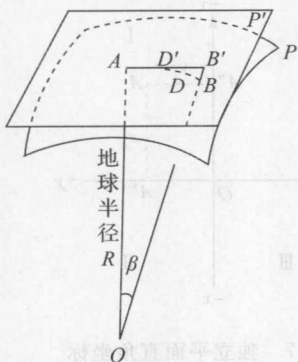


图 1-9 水平面代替水准面的影响

$$D = R\beta$$

$$D' = R \tan \beta$$

以水平长度 D' 代替球面上弧长 D 所产生的误差为

$$\Delta D = D' - D = R \tan \beta - R\beta = R(\tan \beta - \beta)$$

将 $\tan \beta$ 按级数展开,并略去高次项,得

$$\tan \beta = \beta + \frac{1}{3}\beta^3 + \dots$$

因而

$$\Delta D = R\left[\left(\beta + \frac{1}{3}\beta^3\right) - \beta\right] = R \cdot \frac{\beta^3}{3}$$

将 $\beta = \frac{D}{R}$ 代入上式,得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-6)$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2 \quad (1-7)$$

取 $R = 6371 \text{ km}$,并以不同的 D 值代入上式,则可得出距离误差 ΔD 和相对误差 $\Delta D/D$,如表 1-1 所示。

表 1-1 水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{cm}$	相对误差 $\Delta D/D$
10	0.8	1/1 250 000
25	12.8	1/200 000
50	102.6	1/49 000
100	821.2	1/12 000

由表 1-1 可知,当距离为 10 km 时,以平面代替曲面所产生的距离相对误差为 1:125 万,这样小的误差,就是在地面上进行最精密的距离测量也是容许的。因此,在半径为 10 km 的范

围内,即面积约 320 km² 内,以水平面代替水准面所产生的距离误差可忽略不计。当精度要求较低时,还可以将测量范围的半径扩大到 25 km,即面积约为 2 000 km²。

2. 对高程的影响

在图 1-9 中,A、B 两点在同一水准面上,其高程应相等。B 点投影到水平面上得 B'点,则 BB'即为水平面代替水准面所产生的高程误差,或称为地球曲率的影响。

设 $BB'=\Delta h$,则有

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

变换得

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

式中,用 D 代替 D',同时 Δh 与 2R 相比可忽略不计,则有

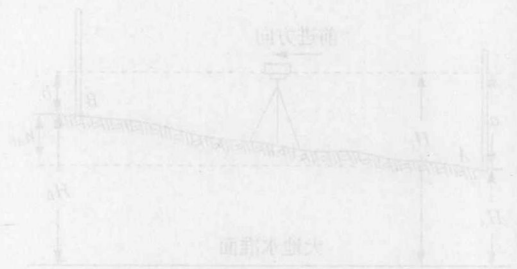
$$\Delta h=\frac{D^2}{2R} \tag{1-8}$$

以不同的距离 D 代入式(1-8),则得相应的高程误差值,如表 1-2 所示。

表 1-2 水平面代替水准面高程误差

D/km	0.1	0.5	1	2	3	4	5	10
Δh /cm	0.08	2	8	31	71	125	196	785

由表 1-2 可知,以水平面代替水准面,当距离为 1 km 时,高差误差就有 8 cm。因此,当进行高程测量时,即使距离很短也必须顾及地球曲率的影响。



第二章 水准测量

测量地面上各点高程的工作,称为高程测量。根据所使用的测量方法及仪器的不同,高程测量分为水准测量、三角高程测量和气压高程测量。水准测量是高程测量中最基本并且精度较高的一种方法,用于建立国家高程控制网,并在工程勘测和施工测量中被广泛采用。本章主要介绍水准测量。

§ 2-1 水准测量原理

水准测量的实质是测定两点之间的高程之差——高差,然后由已知点高程及已知点与未知点间的高差求出未知点高程。

设 A 点高程 H_A 已知, B 点为高程待定点,通过水准测量测出 A、B 两点之间的高差 h_{AB} , 则可按下式求出 B 点高程,即

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-1)$$

为测出 A、B 两点之间的高差,可在 A、B 两点上分别竖立有刻划的尺子——水准尺,并在 A、B 点之间安置一架能提供水平视线的仪器——水准仪。根据仪器的水平视线,在 A 点尺上读数,设为 a ;在 B 点尺上读数,设为 b ,则 A、B 点的高差为

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

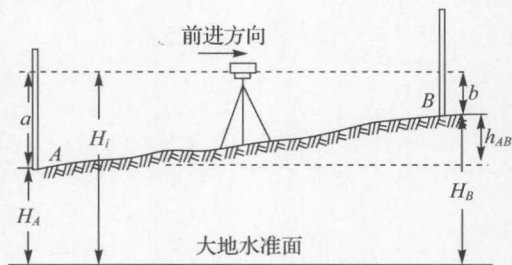


图 2-1 水准测量原理

如果水准测量是由 A 到 B 进行的,如图 2-1 中的箭头所示,由于 A 点为已知高程点,故 A 点尺(后尺)上读数 a 称为后视读数, B 点为欲求高程的点, B 点尺(前尺)上读数 b 为前视读数,则高差等于后视读数减去前视读数。当 $a > b$ 时,高差为正,反之则为负。

式(2-1)和式(2-2)是直接利用高差 h_{AB} 计算 B 点高程的,称为高差法。

还可通过仪器的视线高 H_i 计算 B 点的高程,即

$$\left. \begin{aligned} H_i &= H_A + a \\ H_B &= H_i - b \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

式(2-3)是利用仪器视线高 H_i 计算 B 点高程的,称为仪器高法。

当需要通过很多站的观测,即通过建立水准路线求得较远处某点的高程时,采用高差法;若安置一次仪器需要测出多个点的高程时(如抄平工作),仪器高法更方便一些。

§ 2-2 水准测量的仪器与工具

水准测量使用的仪器为水准仪,工具主要为水准尺和尺垫。

我国对大地测量仪器规定的总代号为“D”，水准仪的代号为“S”，即取汉语拼音的第一个字母，连接起来即为“DS”，通常可省略“D”而只写“S”。按仪器的精度（即仪器所能达到的每千米水准测量往返测高差中误差，以毫米计）划分，可分为 S05、S2、S3 和 S10 等不同精度系列。水准仪按其结构又分为微倾式水准仪和自动安平水准仪。目前，我国工程测量一般使用的是 S3 微倾式水准仪和自动安平水准仪。因此，本节着重介绍此类仪器。

一、水准仪

1. S3 微倾式水准仪

根据水准测量的原理，水准仪的主要作用是提供一条水平视线，并能照准水准尺进行读数。因此，水准仪主要由望远镜、水准器及基座三部分构成。图 2-2 所示是我国生产的 S3 微倾式水准仪。

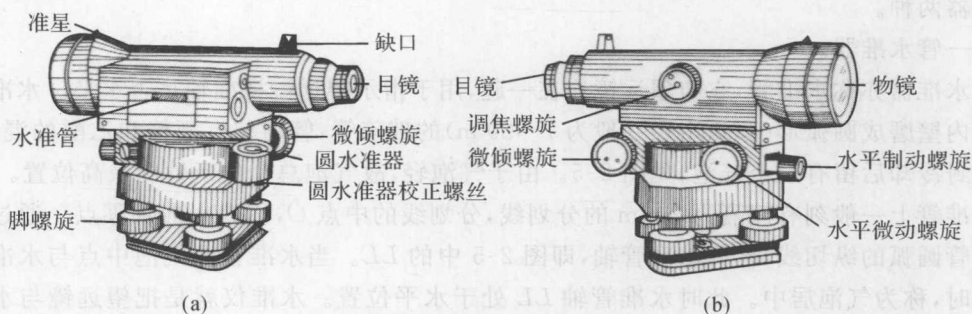


图 2-2 微倾式水准仪

1) 望远镜及其成像原理

图 2-3 所示是 S3 水准仪望远镜的构造图。望远镜主要由物镜、目镜、对光凹透镜和十字丝分划板所组成。物镜的作用是将所照准的目标成像在十字丝面上形成一个倒立的缩小的实像。它由凸透镜或复合透镜组成。目镜的作用是将物镜所成的实像连同十字丝的影像放大成虚像。此时该实像与目镜之间的距离应小于目镜的焦距。由于目镜也是一个凸透镜，所以能得到放大的虚像。十字丝分划板是用于准确瞄准目标和读数。在十字丝分划板上刻有两条相互垂直的长线，竖直的一条称为竖丝，横的中间一条称为中丝。在中丝的上下还有对称的两根短横丝（上丝和下丝），用来测定距离，称为视距丝。十字丝大多刻在玻璃片上，玻璃片安装在分划板座上，分划板座由止头螺丝固定。

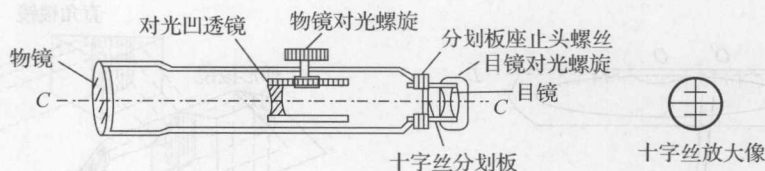


图 2-3 望远镜构成

十字丝交点与等效物镜（物镜与调焦透镜共同作用）光心的连线，称为视准轴（图 2-3 中的 CC）。水准测量是在视准轴水平时，用十字丝的中丝截取水准尺上的读数。

图 2-4 所示为望远镜成像原理图。目标 AB 经过物镜后形成一个倒立且缩小的实像 ab，移动对光透镜可使不同距离的目标均能成像在十字丝平面上。再通过目镜的作用，便可看到