

高等学校教材

数字测图技术的应用

Digital Mapping Technology and Application

梁勇 邱健壮 厉彦玲 编著



测绘出版社

高等学校教材

数字测图技术及应用

Digital Mapping Technology and Application

梁勇 邱健壮 厉彦玲 编著

测绘出版社

· 北京 ·

内容提要

本书首先介绍了测绘学科的形成与分类,然后系统地介绍了数字测图的基本理论、方法、仪器以及测量误差的基本知识,重点突出了全站仪和 GPS 技术在小区域控制测量、大比例尺数字测图和施工放样中的应用,强化了实践性教学环节。

本书可作为高等学校相关专业的通用教材,也可作为工科相关专业的专业基础课教材,并可供从事数字工程、地理信息系统、土地资源管理、水利水电工程等工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字测图技术及应用/梁勇,邱健壮,厉彦玲编著.

北京:测绘出版社,2009.2

ISBN 978-7-5030-1903-6

I. 数… II. ①梁…②邱…③厉… III. 数字化制图—高等学校—教材 IV. P283.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 014699 号

责任编辑 吴 芸

封面设计 李 伟

出版发行 测绘出版社

社 址 北京西城区复外三里河路 50 号

电 话 010-68512386 68531609

印 刷 北京建筑工业印刷厂

成品规格 184mm×260mm

字 数 300 千字

版 次 2009 年 2 月第 1 版

印 数 0001-3000

邮政编码 100045

网 址 www.sinomaps.com

经 销 新华书店

印 张 12

印 次 2009 年 2 月第 1 次印刷

定 价 24.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-1903-6

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

前 言

当今世界科技发展突飞猛进,数字地球、数字中国、数字城市、数字农业等数字工程浪潮席卷全球。数字化技术革命已成为提升各行各业和促进社会进步的动力。数字化地形图已成为各类数字工程的基石。为适应我国数字工程、经济建设和社会发展的需要,我们在参阅了国内外有关教材、专著和论文的基础上,结合教学、工程应用编写了本书。本书重点介绍了数字测图的基本理论、技术和应用,突出了全站仪和 GPS 技术在数字测图中的应用,强化了实践性教学环节。全书共分 6 章。第 1 章绪论和第 2 章测量的基本原理、方法和仪器由梁勇编写;第 3 章测量误差理论由厉彦玲编写;第 4 章小区域控制测量、第 5 章大比例尺地面数字测图和第 6 章地形图的应用和施工放样由邱健壮编写。全书由梁勇和邱健壮负责统稿。

本书可作为测绘工程、地理信息系统、空间信息与数字技术、土地资源管理、水利水电工程等本科专业和研究生的教学用书及其他相关本科专业的选修课用书,也可作为城市规划与管理、地理信息、测绘、土地规划与管理等行业科研人员和工程技术人员的参考用书。

本书在编著过程中,得到了武汉大学李德仁院士、万幼川教授,山东科技大学陶华学教授、崔先国教授、独自行教授等专家的指导、支持和鼓励,还得到了许多领导、老师和同行的指导和帮助,在此一并致谢!

由于时间仓促和编者水平有限,本书内容在选择深度和广度上可能存在不足,敬请读者多提宝贵意见!

编者

2008 年 9 月

目 录

第 1 章 绪 论	(1)
§ 1.1 测绘学科的形成与分类	(1)
§ 1.2 测绘技术的应用	(1)
§ 1.3 地面点位置的确定	(2)
§ 1.4 地球曲率对测绘工作的影响	(6)
§ 1.5 测绘工作的基本观测元素和基本原则	(7)
第 2 章 测量的基本原理、方法和仪器	(9)
§ 2.1 水准测量原理和水准仪	(9)
§ 2.2 普通水准测量	(14)
§ 2.3 线路水准测量	(20)
§ 2.4 角度测量原理和光学经纬仪	(25)
§ 2.5 角度测量	(30)
§ 2.6 距离测量	(38)
§ 2.7 全站仪工作原理与基本操作	(50)
§ 2.8 GPS 定位系统及其工作原理	(54)
§ 2.9 两点间的距离、方向与坐标的关系	(61)
第 3 章 测量误差理论	(66)
§ 3.1 测量误差概述	(66)
§ 3.2 衡量精度的标准	(69)
§ 3.3 误差传播定律	(70)
§ 3.4 观测值的算数平均值及其中误差	(74)
§ 3.5 误差传播定律的应用	(77)
§ 3.6 不等精度观测	(79)
第 4 章 小区域控制测量	(85)
§ 4.1 概述	(85)
§ 4.2 导线测量	(87)
§ 4.3 交会定点	(95)
§ 4.4 高程控制测量	(98)
第 5 章 大比例尺地面数字测图	(104)
§ 5.1 地形图及其比例尺	(104)

§ 5.2	地物、地貌在地形图上的表示方法·····	(107)
§ 5.3	碎部测量概述·····	(112)
§ 5.4	全站仪碎部测量·····	(118)
§ 5.5	GPS-RTK 碎部测量·····	(121)
§ 5.6	大比例尺数字成图·····	(128)
§ 5.7	电子平板测图·····	(151)
§ 5.8	数字化仪和扫描仪数字化成图·····	(154)
第 6 章	地形图的应用和施工放样·····	(159)
§ 6.1	地形图的分幅与编号·····	(159)
§ 6.2	地形图的辅助内容·····	(164)
§ 6.3	数字地形图的应用·····	(165)
§ 6.4	施工放样的基本知识·····	(171)
§ 6.5	全站仪施工放样·····	(179)
§ 6.6	GPS-RTK 施工放样·····	(182)
参考文献 ·····		(186)

第1章 绪 论

§ 1.1 测绘学科的形成与分类

测绘学科是人类长期以来改造自然、从事生产建设的经验总结,是一门古老而又年轻的学科。在远古时代,人类为了丈量土地、兴修水利,就已发明和使用了测量工具和方法。据历史记载,我国著名的夏禹治水所用的“准、绳、规、矩”,就是当时的测量工具。四川都江堰修建于2000多年前,那样宏伟的水利工程,若没有相当水平的测量工作,是不可能完成的。

随着社会生产力的发展,测绘学科也随之发展。1492年欧洲哥伦布发现美洲新大陆,促进了航海事业的发展。从而对测绘学科提出了新的要求,也激发了人们对制图学以及地球形状和大小的研究。

17世纪,人类发明了望远镜,扩大了测绘工作者的眼界,使测绘工作的仪器和方法有了很大的改进。随着测绘仪器和方法的不断完善,测绘学科的内容逐步得到充实和加深。

19世纪,德国数学家高斯,应用已有的或然率理论得出了依最小二乘法进行测量平差的方法,并著有横圆柱投影的学说,进一步完善了测绘学科的基本理论。

19世纪末20世纪初,摄影技术用于测绘领域,使测绘手段有了新的发展。

20世纪末,全球定位系统、地理信息系统和遥感技术(简称3S技术)使测绘学科从理论到技术都发生了根本变化,测绘生产任务也由传统的纸上地图编制、生产和更新发展到地理空间数据的采集、处理和管理。美国前副总统戈尔1998年提出了“数字地球”构想,引起了全球各方的关注,我国也提出了“数字中国”、“数字城市”的构想。随着数字地球构想的实施,将会给测绘学科带来巨大的发展机遇。

根据国务院学位委员会学科门类的划分,测绘学科属于国家一级学科,全称是“测绘科学与技术(学科代码:0816)”。根据其研究对象和应用范围的不同,在一级学科的基础上,又分为三个二级学科,分别是:大地测量学与测量工程(学科代码:081601)、摄影测量学与遥感(学科代码:081602)、地图制图学与地理信息工程(学科代码:081603)。支撑二级学科的本科专业主要是“测绘工程”。近几年,武汉大学相继新增两个本科专业,分别是遥感科学与技术和空间信息与数字化技术。随着计算机和通信技术的发展,测绘学科的各个分支学科开始由独立走向综合,并与地理学、信息学、管理学以及农业、工业、城市建设、环境监测等领域相互交叉渗透,形成新型边缘学科。

本书主要介绍测绘学科的基本概念、数字测图的基本原理、方法、技术和应用,培养学生的基本技能。

§ 1.2 测绘技术的应用

测绘技术是用途极为广泛的应用科学,如资源勘察、城市规划、农田水利建设、园林规划设

计、工业与民用建筑、交通及矿产开采等,都离不开测绘工作。尤其是土建类工程,测绘工作要贯穿于工程建设的全过程,如施工前的图纸测绘、施工中的标定放样、施工后的竣工验收以及工程运营中的变形监测等。而测量的精度与速度,也将直接影响工程的质量与进度。因此说测绘工作对于保证工程质量与安全运行有着十分重要的意义。

在国防建设中,测绘技术也具有特别重要的作用。国防工程修建需要测绘工作,作战时期,地形图更是指挥员不可缺少的作战资料。战略、战役布置,行军路线的选择,后勤供应站的设置等,都要以地形图为依据。尤其是近代导弹等长距离武器作战,若没有准确的测绘资料是无法想象的。

就一般工程建设而言,测绘技术的任务就是确定地面点的空间位置,细分又可以分为测图和放样。测图就是运用测绘仪器和工具,测量地面点的有关数据,并按一定的规律将地表形态及其信息绘制成图;放样则是将图纸上已设计好的建筑物测设于地面上。

总之,测绘技术在现代化建设中具有重要的作用。对于农业、林业、水利、土地管理及土建工程等有关专业的学生来说,掌握一定的测绘基本理论和基本操作技能,对于学习各自专业知识和以后的实际工作,都是非常必要和十分有益的。

§ 1.3 地面点位置的确定

1.3.1 地球的形状和大小

大部分的测绘工作是在地球表面进行的,所以我们首先来研究地球的形状和大小。地球的自然表面高低起伏,错综复杂,有高山、丘陵、平原、海洋、河流和湖泊等。最高的山峰珠穆朗玛峰高达 8 844.43 m(2005 年 5 月观测、10 月公布的最新数据),最深的马里亚纳海沟深达 11 034 m。从总体上看,海洋占整个地球表面积的 71%,陆地只占 29%。

假设静止不动的海水面延伸穿过陆地和岛屿,形成一个包围整个地球的封闭曲面,我们将这个封闭曲面称为水准面。水准面是假设水在地球重力的作用下形成的静止闭合曲面,因此,水准面处处与铅垂线垂直。但因海水面是动态变化的,时高时低,所以水准面有无数个,测量上把通过平均海水面的水准面叫做大地水准面,作为确定高程的基准面。大地水准面所包围的形体叫做大地体。由于地球表面起伏不平 and 内部质量分布不均匀,引起铅垂方向不规则变化,所以大地水准面实际上是一个略有起伏的不规则曲面,无法用数学公式表示,如图 1-1 所示。

由于大地水准面无法用数学公式表达,为此,人们用一个可以用数学公式表示又很接近大地水准面的参考椭球面来代替它。如图 1-2 所示,参考椭球面是由一个椭圆绕其短轴旋转而形成的椭球面,参考椭球面所围成的球体称为参考椭球体,其形状和大小由椭圆的长半轴 a 和短半轴 b (或扁率 e) 决定。新中国成立以来,我国于 20 世纪 50 年代和 80 年代分别建立了 1954 北京坐标系和 1980 西安坐标系。1954 坐标系采用的是克拉索夫斯基椭球体。采用 1975 年国际大地测量与地球物理学联合会(IUGG)第十六届大会推荐的参考椭球参数,建立了 1980 西安坐标系。经国务院批准,根据《中华人民共和国测绘法》,我国自 2008 年 7 月 1 日起启用 2000 国家大地坐标系,2000 国家大地坐标系与现行国家大地坐标系转换、衔接的过渡期为 8 年至 10 年。此外,GPS 卫星定位采用的是美国国防部建立的 WGS-84 坐标系,采用的

椭球参数为 1979 年 IUGG 第十七届大会的推荐值。以上四个坐标系的椭球几何参数见表 1-1。

表 1-1 几种坐标系参考椭球的几何参数

坐标系	1954 北京坐标系	1980 西安坐标系	2000 国家大地坐标系	WGS-84 坐标系
长半轴/m	6 378 245	6 378 140	6 378 137	6 378 137
扁率	1/298.3	1/298.257	1/298.257 222 101	1/298.257 223 563

由于地球的扁率很小,接近于圆球,因此在精度要求不高的情况下,可以近似地将其当作一个圆球,取其半径为 $R=6\,371\text{ km}$ 。

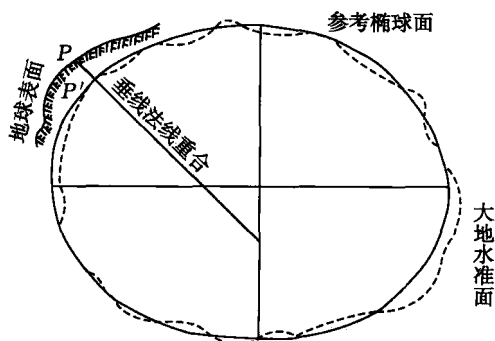


图 1-1 地球表面、大地水准面和参考椭球面

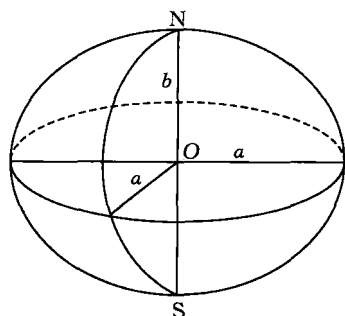


图 1-2 参考椭球

1.3.2 地面点的坐标

测绘工作的根本任务是确定地面点的空间位置。地面点的位置通常用地理坐标和高程或平面坐标和高程三个量来表示,也可以用空间三维坐标表示。由于坐标系的不同,地面点空间位置的表达形式也不尽一致。

1. 地理坐标

地面点的地理坐标是使用经纬度来表示的。过地面上某点的子午面与首子午面的夹角,称为该点的经度。经度从首子午面向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经,从首子午面向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。

过地面上某点的铅垂线(或者法线)与赤道面的夹角,称为该点的纬度,纬度从赤道面向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬,从赤道面向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。

如果基准投影面为大地水准面,即以铅垂线为依据,则该坐标称为天文地理坐标,简称为天文坐标,用 λ, φ 表示。如果基准投影面为参考椭球面,即以法线为依据,则该坐标称为大地地理坐标,简称为大地坐标,用 L, B 来表示。

天文坐标和大地坐标可以互相换算。在测绘工作中,某点的位置一般用大地坐标表示。但实际进行观测时,如量距、测角都是以铅垂线为基准,因而所测得的数据若要求精确地换算成大地坐标则必须经过改化,在普通测绘工作中,由于精度要求不高,可不考虑这种改化。

2. 高斯平面直角坐标

地理坐标可以使全球的坐标统一,但对局部的工程测量来说是不方便的。在工程建设中,测量计算和绘图多采用平面直角坐标,但球面是一个不可展的曲面,把地球表面上的点换算到平面上,称为地图投影。地图投影的方法很多,我国采用高斯等角横切圆柱投影的方法来建

立平面直角坐标系。高斯投影的最大特点是等角投影。

高斯投影的基本思想是:设想用一个大小合适的椭圆柱面,横套在参考椭球体的外面,如图 1-3 所示。椭球表面上只有一条子午线与椭圆柱面相切,在保持投影前后相应图形等角的条件下,将椭球面上的图形投影到椭圆柱面上,然后将椭圆柱面沿过南北极的母线切开,并展开成平面图形。椭球面上的点与平面上的点建立起一一对应的关系。如图 1-4 所示,相切的那条子午线,投影后为直线,长度不变。它两边的子午线投影后为凹向相切的子午线,长度变长,距离相切子午线越远则变形越大。为了限制长度变形在一定的范围之内,通常采用分带投影的办法。

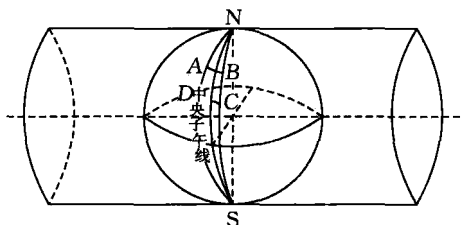


图 1-3 高斯投影原理

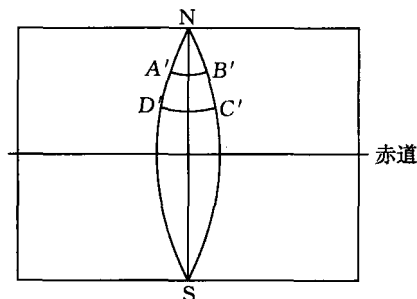


图 1-4 高斯投影特点

如图 1-5 所示,从首子午线开始,由西向东按经差 6° 进行分带,称为 6° 带。全球共分 60 个带,带号依次为 1, 2, ..., 60, 位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线,第一带的中央子午线经度为 3° , 第二带为 9° , 以此类推。设带号为 N , 中央子午线的经度为 L_0 , 则

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

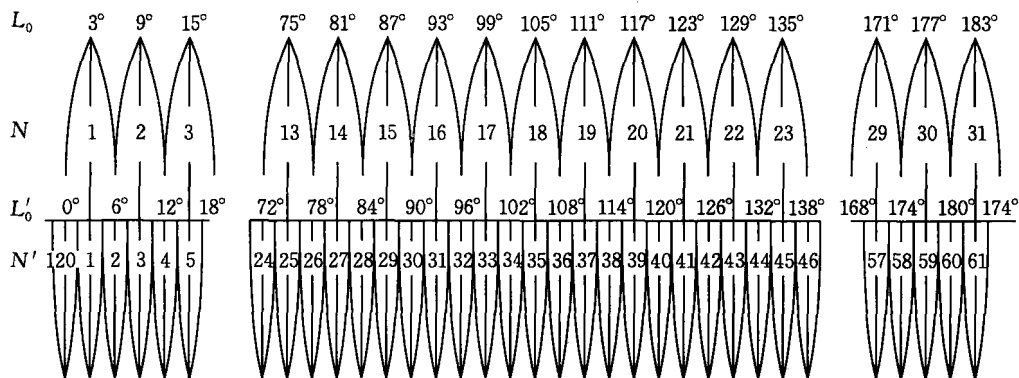


图 1-5 高斯投影分带图

对于某些大比例尺测图或有某些特殊要求的测量工作, 6° 带的边缘地区其长度变形不能满足精度要求时, 可以采取 3° 的投影带。 3° 带是从东经 $1^\circ 30'$ 开始, 每 3° 分为一带, 全球共分 120 个带。设 3° 带的带号为 N' , 中央子午线的经度为 L'_0 , 则

$$L'_0 = 3N' \quad (1-2)$$

需要说明, 以上两公式适用于东半球, 西半球则不同, 在此不再讨论。当投影时, 让每一带中央子午线与椭圆柱面相切, 单独投影。投影后展开在平面上, 中央子午线与赤道的投影为相互垂直的直线。以中央子午线的投影作为 x 轴(纵轴), 以赤道的投影作为 y 轴(横轴), 两轴的交点作为原点, 而建立一个平面直角坐标系, 称为高斯平面直角坐标系, 如图 1-6 所示。它既是

平面直角坐标系,又与大地坐标的经纬度发生联系,且是等角投影,因此是世界测绘行业应用最广泛的直角坐标系。由于我国领土全部位于北半球,因此, x 坐标均为正值, y 坐标有正有负,为了避免 y 坐标出现负值,规定每带中央子午线均西移 500 km,即在每带所有的 y 坐标值上加 500 km,如图 1-6 所示。同时,为了表明各点所在的投影带,还规定,在横坐标前冠以所在投影带的带号。例如,中国某点 P 的高斯平面直角坐标为

$$x_P = 4\,008\,441.664\text{ m}$$

$$y_P = 39\,510\,990.242\text{ m}$$

式中数值说明,该点在投影面位于赤道以北 4 008 441.664 m,在 3° 投影带的第 39 带的中央子午线以东 10 990.242 m。

3. 假定平面直角坐标

当测绘区域较小时,可以不考虑地球曲率的影响,把该地区的水准面当成平面看待。如果不能或者不需要采用高斯平面直角坐标系,我们可以假定一个平面直角坐标系来确定地面点的相对位置。如图 1-7 所示,坐标系的原点设在测区的西南边界外, x 轴方向尽量与北方向一致,也可以用罗盘仪测定某起始边的磁方位角,这样整个测区都落在第一象限内,纵横坐标都是正值,且图纸方向与现实符合较好,便于使用。需要注意一点,因为测量上的方位角是顺时针旋转的,与数学上正好相反,为了使数学公式完全应用于测量,我们规定测量上的平面直角坐标系纵轴为 x 轴,横轴为 y 轴,象限按顺时针排列。

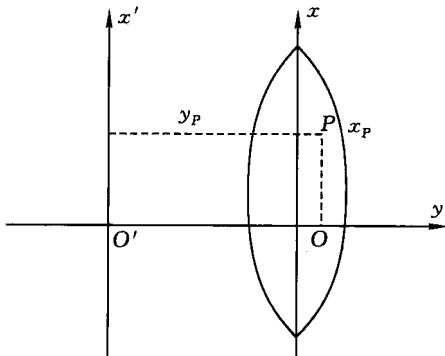


图 1-6 高斯平面直角坐标系

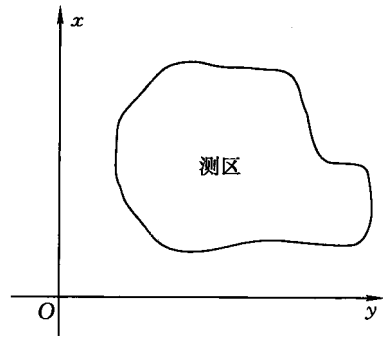


图 1-7 假定平面直角坐标系

4. 地心坐标系

“地心”是指地球的质心。地心坐标系包括地心空间直角坐标系和地心大地坐标系。地心空间直角坐标系用 (x_D, y_D, z_D) 表示地面点的空间位置。其几何定义是:坐标系的原点是地球的质心; z 轴指向协议地球北极方向, x 轴指向零度子午面和赤道的交点(经度零点), y 轴在赤道平面内和 z 轴, x 轴构成右手坐标系,如图 1-8 所示。由于地心空间直角坐标系不涉及椭球及其定位,所以地心空间直角坐标系是卫星大地测量中的一种常用坐标系。地心大地坐标系用大地经度 L ,大地纬度 B ,大地高 H 表示地面点的空间位置。大地经度和大地纬度的定义类似于地理坐标,所不同的是此时为参考椭球的子午面和法线,大地高是指过地面点法线到参考椭球面的距离,如图 1-9 所示。建立地心大地坐标系的椭球定位使地心与参考椭球的中心重合,例如上述的“2000 国家大地坐标系”和“WGS-84 坐标系”都属于地心坐标系,而 1954 北京坐标系和 1980 西安坐标系则属于参心(参考椭球中心)坐标系。当然地心坐标系也有相应的高斯平面直角坐标系。

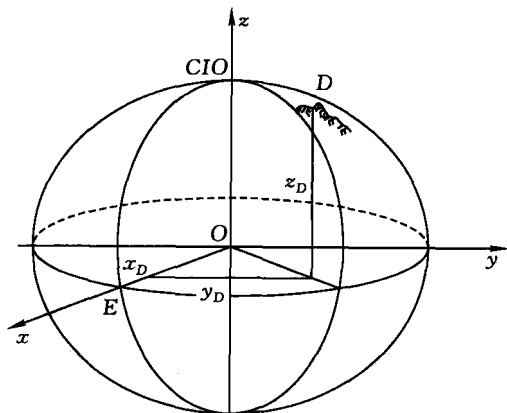


图 1-8 地心空间直角坐标系

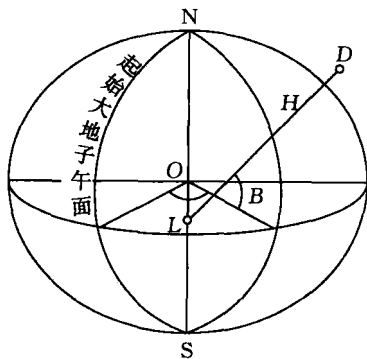


图 1-9 地心大地坐标系

1.3.3 地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程,也称标高或海拔。地面点到假定水准面的铅垂距离称为相对高程,也称假定高程。绝对高程是全国的统一高程系统,对于某些局部地区,联测统一高程尚有困难时,可采用相对高程。

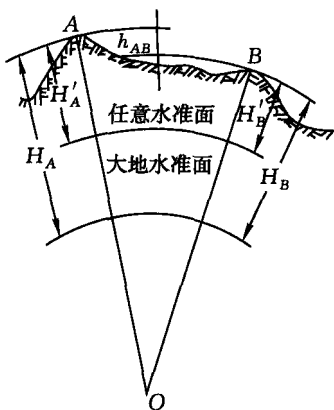


图 1-10 地面点的高程

地面点的高程通常用字母 H 表示,如图 1-10 中, A, B 两点的高程分别表示为 H_A, H_B 。地面上两点高程之差称为两点间的高差,通常用 h 表示。在图 1-10 中, A, B 两点高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A \quad (1-3)$$

新中国成立前,我国的高程系统很不统一。新中国成立后,根据青岛验潮站 1950—1956 年的观测资料,所推算黄海的平均海面(大地水准面)作为高程起算的基准面,其绝对高程为 0。凡由此基准起算的高程称为“1956 年黄海高程系”。并于山东省青岛市观象山上建立了“中华人民共和国水准原点”,经联测,1956 年黄海高程系的水准原点高程为 72.289 m。1985 年,我国又决定自 1987 年起采用青岛验潮站 1952—1979 年观测资料所推算的黄海平均海面作为我国高程起算的基准面,命名为“1985 国家高程基准”。根据这个基准推算,“中华人民共和国水准原点”的高程为 72.260 m。

§ 1.4 地球曲率对测绘工作的影响

水准面是一个曲面,曲面上的图形投影到平面上,总会产生一些变形。以下讨论以水平面代替水准面对距离和高程的影响,以便明确可以代替的范围,或必要时加以改正。

1.4.1 对距离的影响

在图 1-11 中, A, B 两点在水准面上投影的距离为 D , 在水平面上投影的距离为 D' , 设两者之差为 ΔD , 将水准面近似地看成半径为 R 的圆球面。则

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta$$

将 $\tan \theta$ 按麦可劳林公式, 在 O 点展开, 经推导可得

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

或

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

取 $R = 6\,371\text{ km}$, 用不同的 D 值代入上式, 根据计算结果可得出以下结论: 当距离为 20 km 时, 以水平面代替水准面所产生的距离之差为 0.0657 m , 相对误差为 $1:304\,000$ 。这样小的误差, 对一般精密距离测量是容许的。因此对一般精度要求的距离测量, 在半径为 20 km 的范围内, 可以以水平面代替水准面。半径大于 20 km , 则须考虑地球曲率的影响。

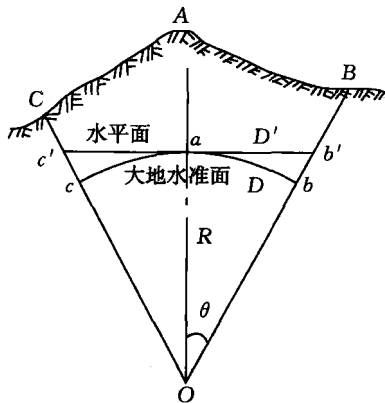


图 1-11 水平面替代水准面的影响

1.4.2 对高程的影响

在图 1-11 中, bb' 是由于水平面代替水准面对地面点高程所产生的误差, 用 Δh 表示, 也就是地球曲率对地面点高程产生的影响。根据勾股定理可知

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

经推导可得

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

取 $R = 6\,371\text{ km}$, 用不同的 D 值代入上式, 根据计算结果可得出以下结论: 当 D 取 100 m 时, Δh 为 0.0008 m ; 当 D 取 200 m 时, Δh 为 0.0031 m , 这个精度对于精密高程而言是不允许的, 因此在进行精密高程测量时, 不允许用水平面代替水准面。但对普通高程测量而言, 距离在 100 m 之内时, 可以不考虑地球曲率的影响。

§ 1.5 测绘工作的基本观测元素和基本原则

1.5.1 基本观测元素

在测绘工作中, 地面点的位置是由其坐标和高程来确定的, 而坐标和高程并不是直接观测的, 而是通过测定点与点之间的距离、角度和高差, 然后经过一系列的计算而得的。距离、角度和高差通常称之为测绘工作的三个基本观测元素。本书以后的章节将逐一介绍测定这三个基本元素所用的仪器和方法, 以及如何应用这三个观测元素计算地面点的坐标和高程。

1.5.2 测绘工作的基本原则

测绘工作是一个智力和体力相结合的高科技工作, 它必须遵循一定的程序和原则。根据理论研究和实践, 测绘工作要遵循以下主要原则: 在布局上要“由整体到局部”, 在精度上要“由高级到低级”, 在程序上要“先控制后碎部(细部)”, 另外还必须坚持“边测量边校核”的原则。

遵循以上工作原则, 既可以保证测区控制的整体精度, 又不至于使碎部测量误差积累而影

响整个测区。另一方面,做完整体控制后,把整个测区划分成若干局部,各个局部可以同时展开测图工作,从而加速工作进度,提高作业效率。

复 习 题

1. 测绘技术在工程建设中的基本任务是什么?细分为哪两项内容?
2. 在测绘工作中地面点的位置是如何表示的?
3. 什么是水准面、大地水准面、参考椭球面?
4. 水准面有何特性?测绘工作的高程基准面是什么?
5. 高斯平面直角坐标系和假定平面直角坐标系是如何建立的?
6. 已知某点的经度为东经 $118^{\circ}32'$,计算该点所在高斯投影 6° 和 3° 投影带的带号和中央子午线经度。
7. 中国某点的高斯平面直角坐标为(4 008 432.478,39 510 978.781),问该点所在投影带的带号是多少?中央子午线经度是多少?该点在高斯投影面内离赤道的距离是多少?该点位于中央子午线的东侧还是西侧?
8. 什么是绝对高程、相对高程和高差?
9. 测绘工作的基本观测元素是什么?测绘工作应遵循的基本原则有哪些?

第2章 测量的基本原理、方法和仪器

§ 2.1 水准测量原理和水准仪

高程是确定地面点相对位置的基本要素之一。测定地面点高程的工作叫高程测量。根据所用仪器不同,高程测量的方法可分为水准测量、三角高程测量和气压高程测量等。水准测量是最常用和精度较高的高程测量方法,本节主要介绍水准测量以及水准测量中常用的 DS3 型水准仪。

2.1.1 水准测量原理

水准测量的原理是:根据已知点高程,利用水准仪提供的水平视线,测量已知点和未知点间的高差,从而推算出未知点的高程。简单地说,就是测高差算高程。

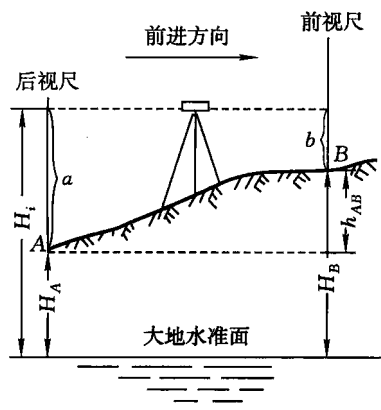


图 2-1 水准测量原理

如图 2-1 所示,假定 A 点为已知点,其高程为 H_A ,要测量 B 点高程,先在 A, B 两点上各立一根带有刻划的尺子(水准尺),并在 A, B 两点间安置一台能提供水平视线的水准仪,通过观测就可计算 B 点高程,具体步骤如下。

1. 测量 A, B 两点间的高差

设水平视线在 A, B 尺上的读数分别为 a, b ,从图上可知 A, B 间高差为

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

如果测量工作是从 A 点向 B 点进行的,则称 A 点为后视点, B 点为前视点,读数 a, b 分别称为后视读数和前视读数。如果 $h_{AB} > 0$, 即 $a > b$ 时,说明 B 点高于 A 点,反之, B 点低于 A 点。

2. 计算高程

由于 A 点高程 H_A 已知,根据所测高差 h_{AB} ,可用高差法计算 B 点高程

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

式中,后视点高程 H_A 与后视读数 a 的代数和就是视线高程,用 H_i 表示,则 B 点高程还可用视线高法计算

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

视线高法只需安置一次仪器就可测出多个前视点的高程,此法常用于工程测量中。

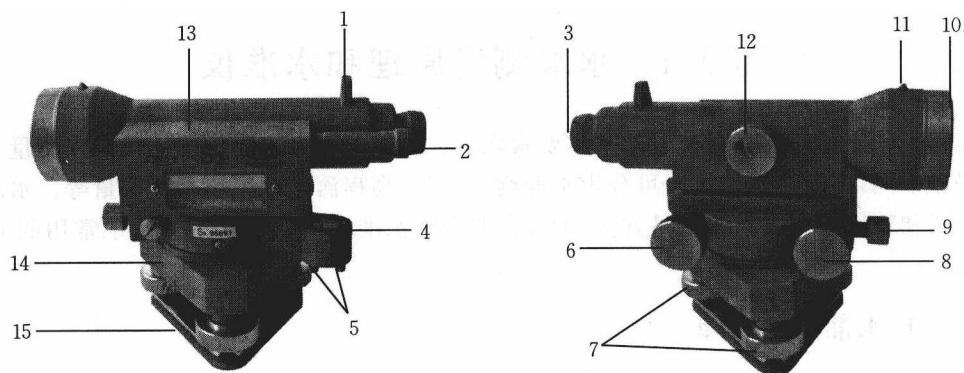
2.1.2 水准测量的仪器和工具

水准测量使用的仪器和工具有:水准仪、水准尺和尺垫。我国制造的水准仪器按精度不同,可分为 DS05、DS1、DS3、DS10 及 DS20 五个等级。字母 D 和 S 分别为“大地测量”和“水准

仪”汉语拼音的第一个字母,其后面的数字代表仪器的测量精度,如“3”代表该仪器测量1 km高差中误差为3 mm。本节着重介绍工程建设中常用的DS3型微倾水准仪和其他常用测量工具。

1. 水准仪的结构

图2-2为国产DS3型微倾水准仪,它主要由望远镜、水准器和基座三部分组成。



1. 瞄准器; 2. 水准气泡观测窗; 3. 目镜; 4. 圆水准器; 5. 圆水准器校正螺旋; 6. 微倾螺旋;
7. 脚螺旋; 8. 水平微动螺旋; 9. 水平制动螺旋; 10. 物镜; 11. 准星; 12. 调焦螺旋;
13. 管水准盒; 14. 基座; 15. 连接压板

图2-2 DS3型微倾水准仪

(1) 望远镜

望远镜的主要作用是使人们看清远处目标,并提供读数用的水平视线。望远镜由物镜、调焦透镜、目镜和十字丝分划板等组成。

图2-3为望远镜成像原理图,目标经过物镜形成一个倒立的实像,望远镜内安置一个调焦透镜,通过转动调焦螺旋改变调焦透镜的位置,可使远近不同目标的像都能清晰地落在十字丝分划板上。目镜的作用是将十字丝和目标像同时放大,十字丝的作用是提供精确瞄准目标的标准。

如图2-3所示,十字丝由一条水平位置的横丝(中丝)、一条竖直位置的竖丝和上下两条短视距丝(用来测定距离)构成,横丝和竖丝互相垂直,十字丝中心与物镜光心的连线叫视准轴。

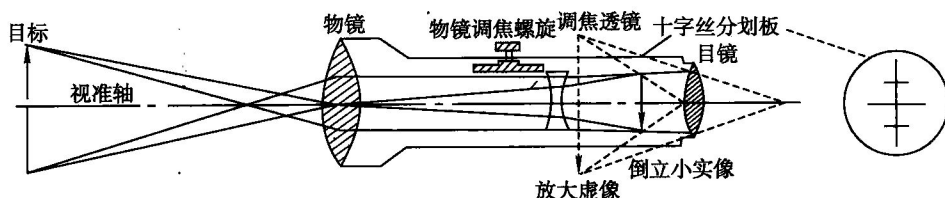


图2-3 望远镜成像原理

人眼通过目镜看到的目标像的视角与不通过望远镜看到目标的视角之比叫望远镜的放大倍数,DS3型微倾水准仪望远镜的放大倍数一般 ≥ 30 倍。

为控制望远镜的左右转动,水准仪上都安装了一套制动水平和微动装置。当拧紧制动螺旋后,望远镜就不能转动,如要做微小转动,可以通过旋转水平微动螺旋进行调整,用以精确瞄准目标。制动螺旋拧松后,微动螺旋就不起作用。为方便瞄准目标,望远镜上还安置了准星与照门作为寻找目标的依据。

(2) 水准器

水准器有圆水准器和管水准器两种,管水准器又称长水准管。圆水准器装在基座上,供粗略整平之用;管水准器装在望远镜旁,供精确整平视准轴之用。

1) 圆水准器

圆水准器用玻璃制成,其内装有酒精和乙醚的混合液,密封高温冷却后形成圆气泡。圆水准器顶面内壁为球面,球面中心刻有一个圆圈,通过圆圈中心的球面法线 LL' 叫圆水准器轴。气泡居中时,圆水准器轴就处于铅垂位置,如图 2-4 所示,此时只要圆水准器轴平行仪器竖轴,仪器竖轴就处于铅垂位置。

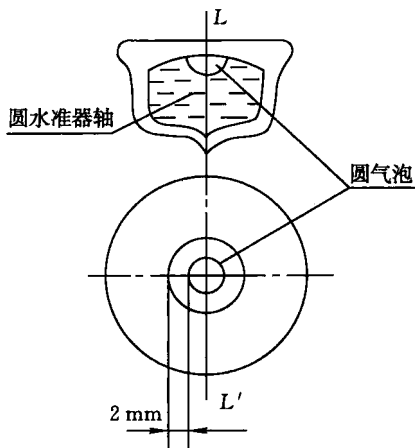


图 2-4 圆水准器

当气泡偏离中心 2 mm 时,所对应的圆心角大小就是圆水准器的分划值。DS3 仪器圆水准器的分划值一般为 $8'/2 \text{ mm}$ 。

2) 长水准管

长水准管是内壁纵向磨成圆弧状的玻璃管,其内装有酒精和乙醚的混合液,密封高温冷却后形成一个长气泡,管上对称刻有间隔为 2 mm 的分划线,长水准管内壁圆弧中心点为长水准管的零点。过长水准管零点纵向圆弧的切线方向 LL' 为水准管轴,如图 2-5 所示。当气泡居中时,长水准管轴水平,此时若 LL' 平行于视准轴,则视准轴也水平。

长水准管每 2 mm 弧长所对应的圆心角叫水准管分划值 τ 。DS3 仪器的长水准管分划值一般为 $20''/2 \text{ mm}$,比圆水准器精度高。因此,圆水准器一般只用于粗略整平仪器,长水准管用于精确整平视线。

为了提高气泡居中精度,便于观测,在长水管上方装有一组棱镜,将长水准管气泡两端泡头的一半影像反射到目镜旁边的气泡观察孔中。当气泡居中时,两个半泡影就吻合在一起,如图 2-6(a) 所示;若两个半气泡互相错开则表明长水准管气泡不居中,如图 2-6(b) 所示,此时通过旋转微倾螺旋可使气泡(即两个半气泡)符合。测量上将这种带有符合棱镜的水准器叫符合水准器。

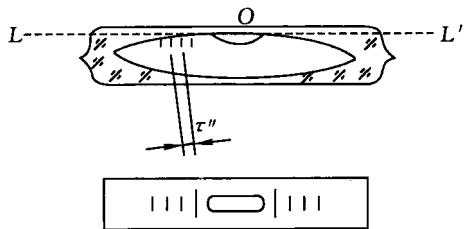


图 2-5 长水准管

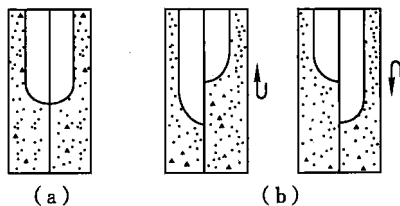


图 2-6 符合水准器

(3) 基座

基座主要由轴座、脚螺旋和连接螺旋组成。轴座用来支撑仪器上部,连接螺旋用来连接仪器与三脚架,通过调节脚螺旋可使圆水准气泡居中,从而整平仪器。

(4) 水准仪应满足的几何条件

从以上介绍可以看出,水准仪主要有四条轴线:视准轴 CC' 、水准管轴 LL' 、圆水准器轴