



工程 测绘 技术

梁勇 齐建国 主编

GONG CHENG CE HUI JI SHU

中国农业大学出版社

工程测绘技术

主 编	梁 勇	齐建国		
副主编	王有良	李希灿	邱健壮	高 伟
参 编	高祥伟	费鲜云	赵立中	

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程测绘技术/梁勇,齐建国主编. —北京:中国农业大学出版社,2000.8
ISBN 7-81066-268-6

I. 工… II. ①梁…②齐… III. 工程测量-高等-教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 39689 号

责任编辑:刘 军

封面设计:郑 川

出 版 中国农业大学出版社
发 行
经 销 新华书店
印 刷 山东省莱芜市印刷厂
版 次 2000 年 8 月第 1 版
印 次 2000 年 8 月第 1 次印刷
开 本 16 印张 18.125 452.4 千字
规 格 787×1 092
印 数 1~3 100
定 价 25.00 元

前 言

为了适应 21 世纪教学改革深入发展的需要和高校素质教育的要求,由山东农业大学测量教研室根据高校农、林、水、土建工程等专业的测量学教学大纲的要求编写此书。

本书重视基本理论,突出实践性教学环节,拓宽专业口径,充实了数字化成图、全站仪的应用、3S 技术等较多的测绘科学新技术。书中文字通俗易懂,公式推导严密,便于自学。除可作为有关专业的教材外,亦可供工程技术人员从事测绘工作的参考。

本书由梁勇、齐建国两位同志任主编,王有良、李希灿、邱健壮、高伟同志任副主编,参加编写的还有高祥伟、费鲜云、赵立中同志。

山东科技大学陶华学教授(博导)和山东农业大学陈子澜教授担任本书的审稿工作,他们对本书提出了宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促和编者的水平有限,缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2000 年 3 月

目 录

绪论	(1)
一、测绘科学的任务及发展概况	(1)
二、测绘技术在工程建设中的应用	(2)
三、地面点位置的确定	(2)
四、地球曲率对测绘工作的影响	(6)
五、测绘工作的基本概念	(7)
1 水准仪及水准测量	(8)
1.1 水准测量原理	(8)
1.2 水准测量的仪器和工具	(8)
1.3 水准仪的使用	(11)
1.4 普通水准测量	(12)
1.5 四等水准测量	(15)
1.6 水准测量观测成果的内业计算	(18)
1.7 线路水准测量	(19)
1.8 水准仪的检验与校正	(24)
1.9 水准测量误差的主要来源及消减方法	(26)
1.10 自动安平水准仪	(28)
2 经纬仪及角度测量	(32)
2.1 角度测量原理	(32)
2.2 光学经纬仪	(33)
2.3 经纬仪的基本操作	(38)
2.4 水平角测量	(41)
2.5 竖直角测量	(43)
2.6 经纬仪的检验与校正	(46)
2.7 水平角观测中误差的主要来源及消减方法	(50)
2.8 电子经纬仪简介	(52)
3 距离测量和直线定向	(56)
3.1 钢尺量距	(56)
3.2 视距测量	(59)
3.3 光电测距	(61)
3.4 直线定向	(65)
3.5 两点间的距离、方向与坐标的关系	(67)
4 测量误差理论	(69)
4.1 测量误差概述	(69)

4.2	衡量精度的标准	(72)
4.3	误差传播定律	(73)
4.4	观测值的算术平均值及其中误差	(77)
4.5	误差传播定律的应用	(80)
4.6	不等精度观测	(82)
5	小区域控制测量	(88)
5.1	概 述	(88)
5.2	导线测量	(90)
5.3	导线测量的坐标计算	(92)
5.4	交会定点	(97)
5.5	高程控制测量	(100)
6	地形图的测绘	(104)
6.1	地形图及其比例尺	(104)
6.2	地物、地貌在地形图上的表示方法	(105)
6.3	碎部测量	(111)
6.4	地形图的拼接、整饰和清绘	(120)
6.5	地形图的数字化	(122)
7	地形图的应用	(126)
7.1	地形图的分幅与编号	(126)
7.2	地形图的基本内容	(131)
7.3	地形图应用的基本内容	(133)
7.4	地形图在工程设计中的应用	(135)
8	施工放样的基本工作	(143)
8.1	施工放样的原则及精度要求	(143)
8.2	施工放样的基本工作	(143)
8.3	测设点位的几种方法	(145)
8.4	圆曲线的放样	(148)
9	全站仪及其应用	(153)
9.1	全站仪简介	(153)
9.2	全站仪的基本操作	(155)
9.3	全站仪在测绘工程中的应用	(156)
10	水利工程测量	(164)
10.1	渠道测量	(164)
10.2	土坝放样	(170)
10.3	水闸的施工放样	(175)
11	工业与民用建筑施工测量	(180)
11.1	概述	(180)
11.2	建筑场地的施工控制测量	(181)
11.3	民用建筑施工测量	(184)

11.4	工业厂房施工测量	(186)
11.5	高层建筑物的施工测量	(191)
11.6	管道工程施工测量	(193)
11.7	工程建筑物的变形观测	(199)
11.8	竣工总平面图的绘制	(204)
12	道路和桥梁工程测量	(207)
12.1	路桥工程测量概述	(207)
12.2	道路中线测量	(208)
12.3	道路立交匝道的测设	(210)
12.4	桥梁施工测量	(214)
12.5	竖曲线的测设	(215)
12.6	路基边桩与边坡的放样	(218)
12.7	隧道施工测量	(220)
12.8	高斯平面直角坐标换带计算	(222)
13	农林工程测量	(227)
13.1	罗盘仪及其应用	(227)
13.2	土地平整及田块合并测量	(232)
13.3	梯田规划和测量	(235)
13.4	苗木定植测量	(238)
14	地籍测量	(244)
14.1	地籍调查的内容和方法	(244)
14.2	土地权属调查	(245)
14.3	地籍测量	(252)
14.4	地籍图的绘制	(256)
14.5	面积量算、汇总、统计	(257)
14.6	变更地籍测量和成果检查验收	(261)
15	3S 技术及其应用	(263)
15.1	GPS 卫星测量及其在测绘工程中的应用	(263)
15.2	RS 技术及其应用	(268)
15.3	GIS 基本原理及其应用	(275)
15.4	3S 技术的综合应用	(281)

绪 论

一、测绘科学的任务及发展概况

测绘科学是研究地球的形状、大小以及测定地面点相对位置的一门应用科学。目的是为人们了解自然和改造自然服务。

根据其研究对象和应用范围的不同,测绘学科可分为以下几个主要分支学科:

地形测量学 研究地球表面小区域内测绘工作的基本理论、基本技术和方法的学科。由于范围较小,在研究过程中不考虑地球曲率的影响。也称为普通测量学。

大地测量学 研究整个地球或较大区域的测绘工作的理论和方法的学科。由于范围较大,在其研究过程中要顾及地球曲率的影响。分常规大地测量和卫星大地测量。

摄影测量学 利用摄影技术来研究地表物体的形状、大小及空间位置的学科。根据摄影平台不同,可分为地面摄影测量、航空摄影测量和航天摄影测量。

工程测量学 研究地形测量学的基本理论、方法和技术在工程建设中的应用,解决工程建设中的实际问题的学科。

制图学 研究利用测量的数据资料,编制、印刷、出版地图、地形图和专题图的理论和方法的学科。

随着电子计算机和信息技术的发展,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,形成了诸如地理信息系统等新型边缘学科。

本书主要介绍地形测量学中的测绘基本理论、基本方法以及工程测量学中有关施工测量的基本内容和技术,故称为“工程测绘技术”。

测绘科学的范围极广,就工程测绘技术而言,其主要任务有二:一是运用测量仪器和工具,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;二是将图纸上已设计好的建筑物测设于地面上。前者简称为测图,后者简称为放样。

测绘科学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科学。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。我国秦朝李冰父子修建的四川都江堰,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,测绘科学也随之发展。1492年欧洲哥伦布发现美洲新大陆,促进了航海事业的发展。从而对测绘科学提出了新的要求,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,测绘科学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,进一步完善了测绘科学的基本理论。

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,由空间技术和其它相关技术发展起来的 3S 技术在测绘科学中的不断应用使测绘科学从理论到手段都发生了根本变化,测绘生产任务也由传统的纸上或类似介质的地图编制、生产和更新发展到地理空间数据的采集、处理和管理。测绘科学的理论基础,测绘工程的技术体系,及其研究领域和学科目标正在发生深刻变化。美国政府高层提出的“数字地球”构想,引起了全球各方的关注,江泽民主席也提出了“数字中国”的构想。数字地球是对真实地球及其相关现象的多分辨率,统一性的三维数字化整体表达,要求全球多源数据无缝、无边的连接和整合,它要求全球采用统一的参考椭球模型和相应的地心坐标系,全球统一的高程基准,全球统一的重力测量基准,全球统一的地图投影系统。随着数字地球构想的实施,将会给测绘科学带来巨大发展的新机遇,现代测绘科学将以地球空间信息学的新面目立于地球科学之林,由于它的学科内涵发生了巨大变化,从 20 世纪 90 年代开始,国际上将测绘科学更改为一个新词——“地球空间信息学”,国际测绘联合会(IUSM)对“测绘科学”的定义也给了类似含义,足见,现代测绘科学本质上是一门关于地球空间信息的学科。现代测绘业已从单一国家事业逐渐转变为市场经济的产业,这无疑为测绘科学的发展注入了新的活力和扩大了发展空间,这是测绘科学发展史上一个有重要意义的历史性转变。

二、测绘技术在工程建设中的应用

测绘科学是一门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,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。

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、土地管理及土木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。

三、地面点位置的确定

(一) 地球的形状和大小

测绘工作的大部分是在地球表面上进行的,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 8 848.13 m(最新观测数据为 8 846.27 m),最深的马里亚纳海沟深达 11 022 m。从总体上看,海洋占整个地球表面积的 71%,陆地只占 29%。我们假设静止不动的海水面延伸穿过陆地和岛屿,包围整个地球,形成一闭合的曲面,这个闭合曲面称为水准面。如图 1 所示。水准面是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 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。目前我国采用 1975 年国际大地测量与地球物理

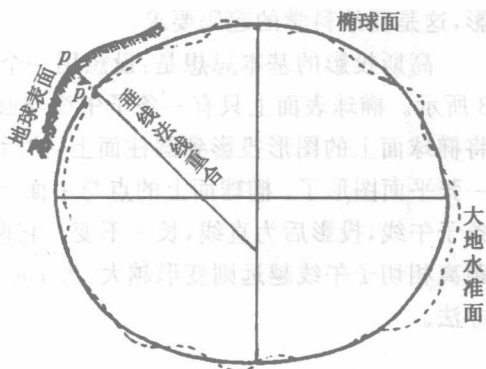


图 1

联合会通过并推荐的椭球元素,其值为:

$$a = 6\,378\,140\text{ m}$$

$$b = 6\,356\,755\text{ m}$$

$$e = 1 : 298.257$$

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,可以近似的将其当作一个圆球,取其半径为 $R = 6\,371\text{ km}$ 。

(二)地面点的坐标

测绘工作的根本任务是确定地面点的位置。地面点的位置通常用地理坐标和高程或者平面坐标和高程三个量来表示。由于基准面的不同,这三个量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 $0 \sim 180^\circ$ 称为东经,从首子午面向西 $0 \sim 180^\circ$ 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 $0 \sim 90^\circ$ 称为北纬,从赤道面向南 $0 \sim 90^\circ$ 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。

在我国天文大地网建立初期,经过与前苏联天文大地网联测,确定了一个临时性的坐标系,称为 1954 年北京坐标系。由于其有关定位参数与我国实际情况出入较大,国家测绘局根据我国实际情况建立了 1980 年国家大地坐标系,其原点设在陕西省泾阳县永乐镇。

(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,把地球表面上的点化算到平面上,称为地图投影。地图投影的方法很多,我国采用高斯横圆柱投影的方法来建立平面直角坐标系,称为高斯平面直角坐标。高斯投影的最大特点是等角投

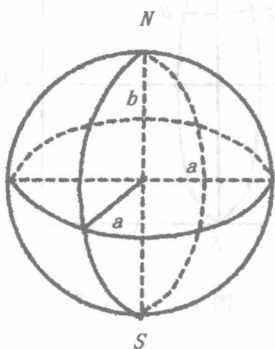


图 2

影,这是测绘科学的起码要求。

高斯投影的基本思想是:设想用一个大小合适的圆柱面,横套在参考椭球体的外面,如图 3 所示。椭球表面上只有一条子午线与圆柱面相切,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圆柱面上,然后将圆柱面沿过南北极的母线切开,并展成平面,就得一张平面图形了。椭球面上的点与平面上的点建立起一一对应的关系。如图 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则凹向相切的子午线,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。

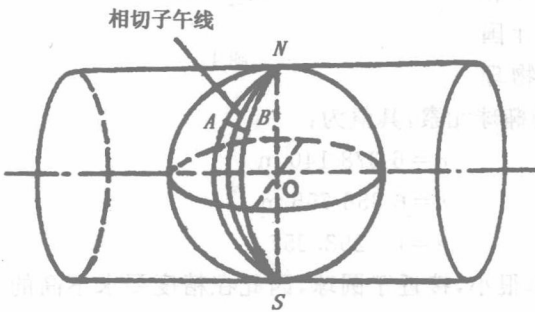


图 3

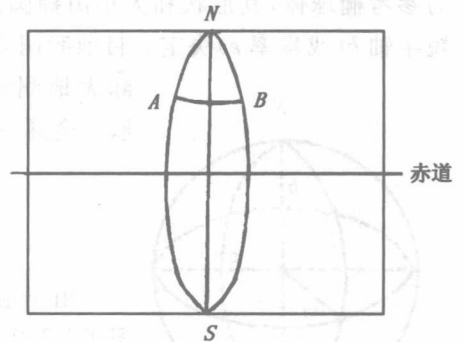


图 4

如图 5 所示,从首子午面开始,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、 $\dots$ 、60,位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线,如图,第一带的中央子午线的经度为 3° ,第二带为 9° ,以此类推,设带号为 N ,中央子午线的经度为 λ_0 ,则

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

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,如图 5 下半部分所示。 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 λ'_0 ,则

$$\lambda'_0 = 3N' \quad (2)$$

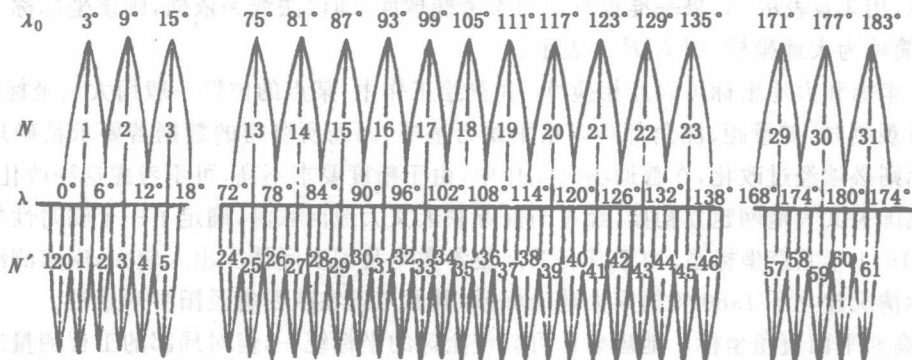


图 5

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 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,因此是世界上应用最广泛的坐标系。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,见图 6。同时,为了表明各点所在的投影带,还规定,在横坐标前加上所在的带号。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,该点位于赤道以北 4 008 441.664 m,在 3°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 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。

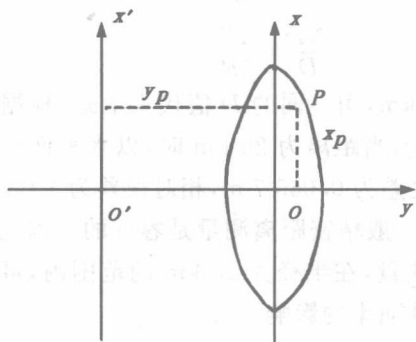


图 6

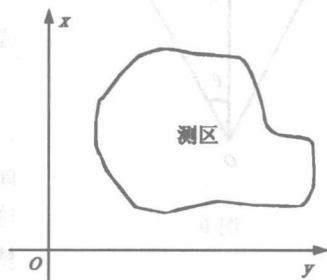


图 7

(三)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,简称高程或海拔。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。

地面点的高程通常用字母 H 表示,如图 8 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 8 中, A 、 B 两点高差为

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

解放前,我国的高程系统很不统一。解放后,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。并于山东省青岛市附近建立了“中华人民共和国水准原点”,经联测,1956 年黄海高程系的原点高程为 72.289 m。1985 年,我国又决定自 1987 年起采用青岛潮站 1953~1979 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 年国家高程基准”。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。

四、地球曲率对测绘工作的影响

水准面是一个曲面,曲线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。

(一)对距离的影响

在图 9 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 , 将水准面近似的看成半径为 R 的圆球面。则

$$\Delta D = D' - D$$

经推导可得

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

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 0.065 7 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, 则必须考虑地球曲率的影响。

(二)对高程的影响

在图 9 中, Δh 是由于水平面代替水准面对地面点高程所产生的误差, 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

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

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 0.000 8 m; 当 D 取 200 m 时, Δh 为 0.003 1 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。

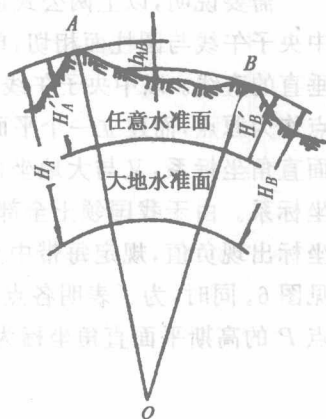


图 8

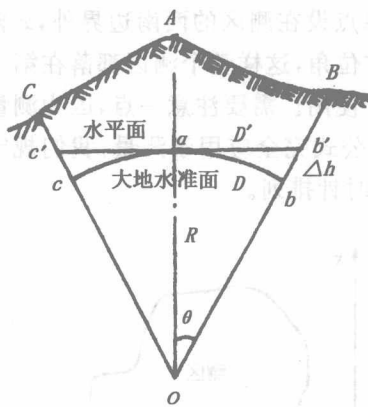


图 9

五、测绘工作的基本概念

(一)基本观测元素

我们已经知道,地面点的位置是由地面点的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。

(二)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:即在布局上要“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“边工作边校核”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,又不致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. 测绘科学的研究对象是什么?
2. 什么是测图和放样?
3. 什么是水准面、大地水准面、参考椭球面?
4. 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?
5. 什么是绝对高程、相对高程和高差?
6. 测绘工作应遵循哪些原则?其目的是什么?

1 水准仪及水准测量

高程是确定地面点相对位置的三个基本要素之一。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。水准测量是最常用和精度较高的高程测量方法,本章主要介绍水准测量以及水准测量中常用的 DS₃ 型水准仪。

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。

如图 1-1 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 a 、 b ,从图上可知 A、B 间高差为:

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

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。A、B 两点间高差等于后视读数 a 减去前视读数 b 。当 B 点高于 A 点(即 $a > b$)时,高差为正,反之高差为负。

(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:

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

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:

$$H_B = H_i - b = (H_A + a) - b \quad (1-3)$$

视线高法只需安置一次仪器就可测出多个前视点的高程。此法常用于施工测量中。

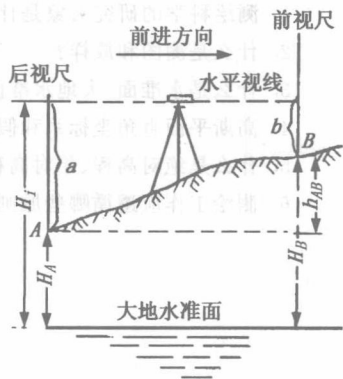


图 1-1 水准测量原理

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 DS_{0.5}、DS₁、DS₃、DS₁₀、及 DS₂₀ 五个等级。本节着重介绍工程建设中常用的 DS₃ 型微倾水准仪和其它常用测量工具。

1.2.1 水准仪

图 1-2 为国产 DS₃ 型微倾水准仪,它主要由望远镜、水准器和基座 3 部分组成。

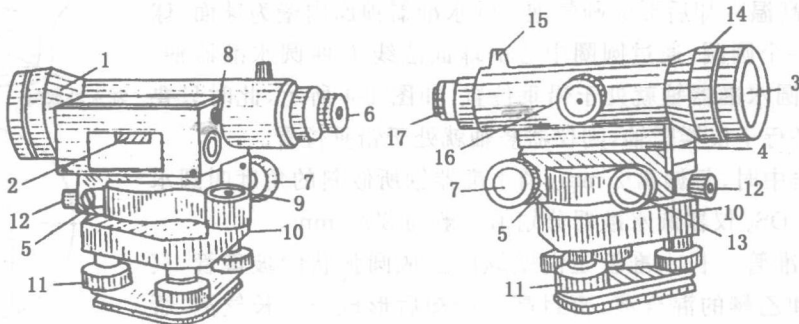


图 1-2 DS₃ 型微倾水准仪

1. 望远镜;2. 符合水准器;3. 物镜;4. 连接簧片;5. 支架;6. 目镜;7. 微倾螺旋;
8. 符合水准气泡观察孔;9. 圆水准器;10. 基座;11. 脚螺旋;12. 制动螺旋;13. 微动螺旋;
14. 准星;15. 照门;16. 物镜调焦螺旋;17. 目镜调焦螺旋

1.2.1.1 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 1-3 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。

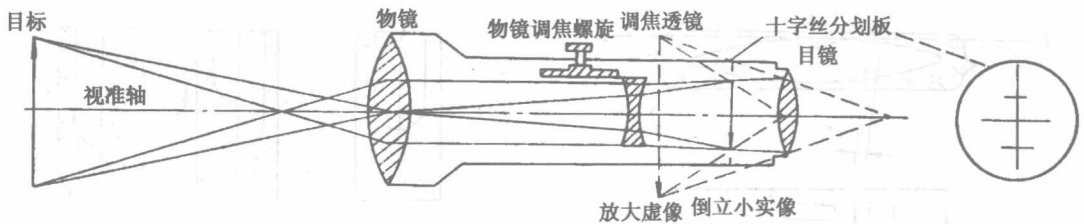


图 1-3 望远镜成像原理

如图 1-3 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。

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 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。

1.2.1.2 水准器

水准器有圆水准器和长水准管两种,其主要作用是用来粗平仪器和使视线水平。

(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 L' 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 1-4 所示,此时只要圆水准器轴平行于仪器竖轴,则仪器竖轴就处于铅垂位置。

气泡不居中时,每偏离 2 mm,圆水准器轴所倾斜的角度叫圆水准器分划值。DS₃ 仪器圆水准器分划值一般为 $8'/2\text{ mm}$ 。

(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。过长水准管零点的切线 LL 为长水准管轴,如图 1-5 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,而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,两个半泡影就符合在一起,如图 1-6(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 1-6(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。

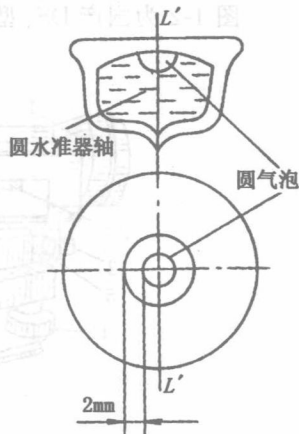


图 1-4 圆水准器

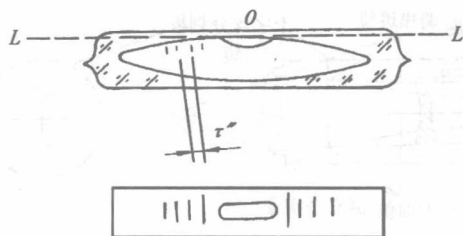


图 1-5 长水准管

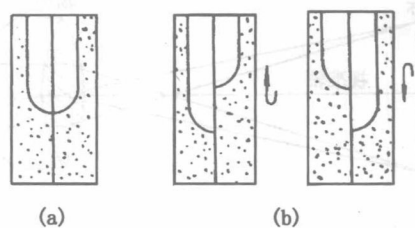


图 1-6 符合水准器

(a) 气泡已居中; (b) 气泡未居中

微倾螺旋的作用是在水准仪接近水平时,通过抬高或降低望远镜的一端,使符合气泡符合,从而使水准仪视线精确水平。

1.2.1.3 基座

基座主要由轴座、脚螺旋和连接螺旋组成。轴座用来支承仪器上部,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。