

目 录

第一章 绪 论	(1—10)
第一节 测量学的任务及其在工程建设中的作用	(1)
第二节 地面点位的确定	(2)
第三节 测量工作概述	(9)
习题	(10)
第二章 水准测量	(11—34)
第一节 水准测量原理	(11)
第二节 水准测量的仪器和工具	(12)
第三节 水准测量的外业	(18)
第四节 影响水准测量精度的因素及注意事项	(21)
第五节 水准测量的计算	(24)
第六节 水准仪的检验与校正	(28)
第七节 自动安平水准仪及精密水准仪简介	(31)
习题	(33)
第三章 角度测量	(35—59)
第一节 角度测量原理	(35)
第二节 经纬仪的构造与使用	(36)
第三节 光学经纬仪的读数方法	(39)
第四节 水平角观测	(43)
第五节 竖角观测	(46)
第六节 经纬仪的检验与校正	(49)
第七节 角度测量误差及注意事项	(52)
第八节 电子经纬仪简介	(55)
习题	(59)
第四章 距离测量与直线定向	(60—82)

第一节	地面点的标定与直线定线	(60)
第二节	钢尺量距的一般方法	(62)
第三节	钢尺检定	(64)
第四节	钢尺量距的精密方法	(65)
第五节	视距测量	(68)
第六节	直线定向	(71)
第七节	光电测距仪简介	(76)
习题		(81)
第五章	小地区控制测量	(83—118)
第一节	控制测量概述	(83)
第二节	导线测量	(87)
第三节	导线测量的计算	(89)
第四节	经纬仪交会定点	(99)
第五节	高程控制测量	(102)
第六节	小三角测量	(107)
习题		(117)
第六章	小地区大比例尺地形图的测绘与应用	(119—153)
第一节	地形图的基本知识	(120)
第二节	地形图应用的基本知识	(132)
第三节	大比例尺地形图的测绘	(141)
第四节	增设测站点的方法	(149)
第五节	地形图的拼接、检查与整饰	(150)
习题		(152)
第七章	建筑施工测量	(154—188)
第一节	施工测量的基本工作	(154)
第二节	测设点位的基本方法	(158)
第三节	已知坡度线的测设	(161)
第四节	建筑场地的施工控制测量	(162)
第五节	民用建筑施工中的测量工作	(167)
第六节	高层建筑的施工测量	(171)
第七节	工业厂房的施工测量	(173)
第八节	烟囱的施工测量	(178)
第九节	建筑物的变形观测	(179)
第十节	竣工总平面图的编绘	(185)
习题		(186)

第八章 管线工程测量	(189—208)
第一节 管线选线及中线测量	(189)
第二节 管道纵断面测量	(193)
第三节 横断面测量	(196)
第四节 管道两旁地形图的测绘	(199)
第五节 管道施工测量	(200)
第六节 管道竣工测量	(206)
习题	(208)
第九章 地籍测量	(209—222)
第一节 地籍测量概述	(209)
第二节 地籍控制测量	(210)
第三节 地籍测量外业调查	(212)
第四节 地籍图及细部测绘	(217)
习题	(222)
第十章 测量误差基本知识	(223—237)
第一节 测量误差概述	(223)
第二节 衡量精度的标准	(226)
第三节 观测值的算术平均值	(228)
第四节 观测值的中误差	(229)
第五节 误差传播定律	(231)
习题	(236)
主要参考资料	(238)

绪 论

第一节 测量学的任务及其 在工程建设中的作用

测量学是研究确定地面点的位置,将地球表面的地形和其它信息测绘成图,以及确定地球的形状与大小的科学。按照研究的范围大小与服务的对象不同,测量学可分为大地测量、普通测量(地形测量)、摄影测量、工程测量等学科。

大地测量学的任务是研究和确定地球整体的形状和大小,研究地球的重力场和按一定坐标系建立国家统一的测量控制网,以满足测绘地形图和工程建设的需要。要解决大区域内的测量问题,必须考虑地球曲率的影响。近年来,由于人造卫星的发射和遥感技术的发展,大地测量又分为常规大地测量与卫星大地测量。

普通测量学的任务是研究局部地球表面的起伏形状和各种物体按一定比例测绘成地形图的理论与方法。普通测量学也称为地形测量学。由于地球的半径很大,在小区域内一般可以不考虑地球曲率的影响。目前,地形图常根据不同的目的与用途而包含不同的内容,构成各种专业图。例如,用于土地管理的地形图,就包含了土地的权属、宗地的面积与利用现状等信息,称为地籍图。其它还有地质、水利资源、农林等各种专业图。

摄影测量学的任务是利用摄影相片,通过室内处理、量测、判释和研究等绘制成地形图的一门测量学科。根据获得相片方法的不同,摄影测量又可分为地面摄影测量、航空摄影测量和卫星相片编图。

工程测量学主要是研究将测量学理论、技术与方法应用于各种工程建设的勘测设计、施工放样、竣工验收、运营管理等各阶段之中。它的主要任务可概括为测定与测设两个方面。测定是指使用各种测量仪器与工具,通过实地测量和计算,测绘出满足工程规划和设计需要的大比例尺地形图。测定也可称为地形图测绘。测设是指将图纸上已设计好的各种建筑物的位置,按照设计的要求在地面上标定出来并作为施工的依据,并对施工过程中和施工后所产生的变形进行监测。测设也称为建筑物放样。

在工程建设中,一切土建工程,如工业与民用建筑、地下工程、给水排水、管线敷设等等,都需要测量工作予以配合。在设计阶段,需要利用测量所得的各种比例尺地形图进行规划设

计、工程量估算和方案比较,以选出最经济、最合理的设计方案;为了保证设计意图的实现,在工程施工中要通过测量建立一系列的标志,以便将建筑物的平面位置和高程测设到实地,作为施工的依据;工程竣工后;为了满足使用、管理、维修和扩建的需要,还要把施工的成果,通过测量记录下来,编绘出竣工图纸和资料。对某些大型及重要的建筑物,还要进行变形观测,以保证其安全使用。

● 在国防建设中,地形图除用于国防工程的设计施工和编制各种特种军用地图外,还是各级指挥员研究地形、拟定作战计划、部署兵力及指挥作战所不可缺少的重要资料。现在,在地震预报、海底资源勘探、近海油田钻探、地下电缆埋设、人造卫星的发射与回收、导弹的发射以及其他的科学研究等方面都需要测量工作的密切配合。

总之,测量工作在工程建设和科学研究中起着重要的作用,是工程建设中一个不可缺少的基本环节,是建设的尖兵和先行官,也是国家建设必需的一门应用科学。

本书总体上属于《普通测量学》的范畴,其中也包含了《工程测量学》的部分基本内容,它是工民建、管线、土地管理等专业的技术基础教材,不仅涉及了测量学的基本概念、基本理论和基本方法,也介绍了小地区大比例尺地形图的测绘与应用,以及相关工程的施工放样方法及地籍测量等内容。

第二节 地面点位的确定

一、地球的形状与大小

测量工作是在地球表面上进行的。地球的自然表面是起伏不平的,有高山、深谷、丘陵、平原、江河、湖海等等,地貌极其复杂。要描述这样一个复杂表面上各点的位置,必须选择一个基准面作为依据。由于地球表面上海洋面积约占地球总面积的 71%,陆地面积只占 29%,而最高的珠穆朗玛峰高出海面未超过 9km(8848.13m),最低的太平洋西部的马里亚纳海沟低于海面未超过 12km(11034m),这样的高低起伏,相对于地球庞大的体积来说是很微小的。于是人们把地球看作是一个被海水所包围的球体,设想海洋的水面在静止的状态下延伸穿过大陆和岛屿而形成一一个闭合的曲面。这个闭合曲面就叫做水准面(与水准面相切的平面称为水平面)。由于海水面有潮汐,时高时低,所以水准面有无数个,其中和平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体,通常用它代表地球的形状和大小。

由于地球的自转,地面上每个点都受到地球自转的离心力与地心引力两个力的作用。总的受力方向是这两个力所形成的合力,称为重力方向。重力方向也就是地面的铅垂线方向。而海水面在重力的作用下,形成处处与铅垂线相垂直的曲面。由于地球内部质量分布不均匀,使地球各处的引力大小不一致,致使重力方向会产生微小变化,使处处与铅垂线垂直的大地水准面的几何形状也产生微小起伏而变得没有规则。根据对人造卫星长期观测的结果分析,大地水准面是一个近乎梨形的球体(如图 1-1 中实线部分),其北极略为凸出,南极稍

稍扁平,但大地水准面同与它最逼近的椭球相比(图 1-1 中虚线部分),最大偏离不过几十米。

梨形地球表面是不适宜于作测量计算的,为适合测量工作的需要,于是选择一个与大地水准面非常接近且可以用数学公式表述的几何形体来代替大地体,称为参考椭圆柱体。参考椭圆柱体是一个与大地水准面十分吻合的椭圆绕其短轴旋转而得到的椭球,故亦称为旋转椭圆柱体,如图 1-2 所示。

参考椭圆柱体的大小由其长半径 a ,短半径 b 及扁率 α 所决定。 a, b, α 称为参考椭圆柱体元素。历史上,对椭圆柱体元素作过多次测算,目前,我国已决定采用 1975 年国际大地测量与地球物理联合会所推荐的参考椭圆柱体元素,即 $a=6378140\text{m}$, $b=6356755\text{m}$, $\alpha=(a-b)/a=1/298.257$ 。

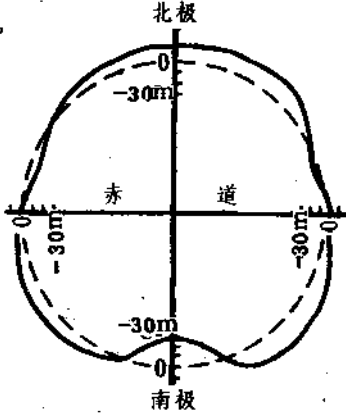


图 1-1

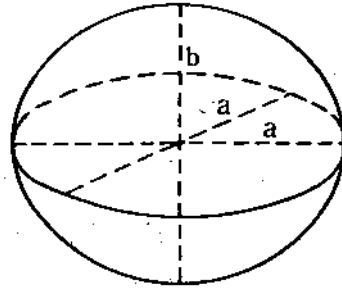


图 1-2

由上可知,大地水准面和旋转椭圆柱体面是不一致的,有的地方大地水准面高于旋转椭圆柱体面,有的地方大地水准面又低于旋转椭圆柱体面,但它们的差数最大不超过 $\pm 160\text{m}$,两极地方则不超过 $\pm 30\text{m}$ 。由于地球的半径很大,扁率很小,所以在普通测量中,可以把地球近似地看成为一个圆球,其平均曲率半径 $R=(a+a+b)/3=6371\text{km}$ 。

在进行大区域或高精度的测量时,应严格地在参考椭圆柱体面上进行各项运算;而处理小面积内普通测量中的测量问题,常常采用与铅垂线相垂直的大地水准面。因为铅垂线可用简单的方法获得。所以,以铅垂线和大地水准面作为测量工作所依据的基本线和面可以大大简化测量操作与计算。当需要顾及地球曲率影响时,把地球当作一个圆球,其精度是足够的。

二、确定地面点位的方法

地面上的各种地形、地物都是由一系列连续不断的特征点所组成,要确定地面上的图形位置,最基本的就是确定构成图形的地面特征点的位置。

如图 1-3,将地面点 A, B, C, D, E 沿着铅垂线方向投影到大地水准面上,得到 a, b, c, d, e 等点,则地面点的空间位置可以用 a, b, c, d, e 点在大地水准面上的坐标和 A, B, C, D, E 沿铅垂线到大地水准面的距离 H_A, H_B, H_C, H_D, H_E 来确定。

(一)地面点的高程

地面上某点沿铅垂线方向到大地水准面的距离叫该点的绝对高程,或称海拔。如图 1-4 中的 H_A, H_B 。我国采用青岛验潮站 1952 年至 1979 年推算的黄海平均海水面作为全国高程

的起算面,并在青岛建立高程基准点即水准原点,其高程为 72.260m,称为黄海高程或“1985 国家高程基准”。在局部地区,由于引测全国统一的黄海高程不方便,也可选定一个任意水准面作为局部地区高程的起算面。此起算面通常是假定某一点的高程数据而得到。从任意水准面起算的高程称为相对高程,如图 1-4 中 H'_A 、 H'_B 。

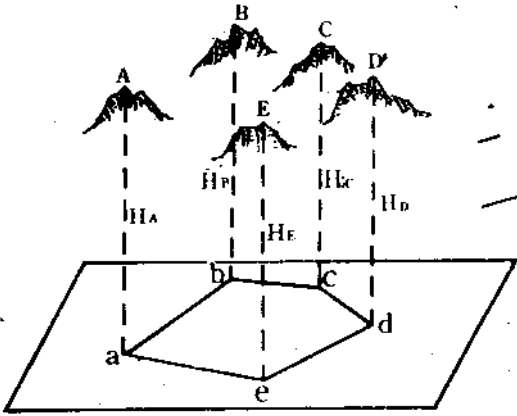


图 1-3

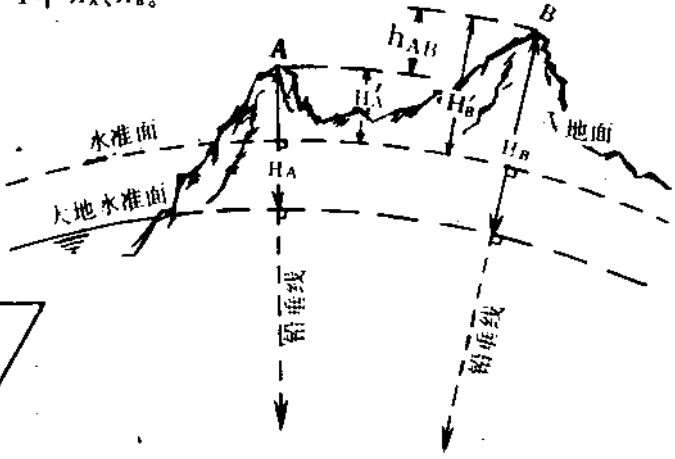


图 1-4

两地面点同一类高程之差称为高差。高差的大小与高程系统无关,如图 1-4 中 A、B 两点之间的高差为 h_{AB} ,它既等于 A、B 两点的绝对高程之差,也等于 A、B 两点的相对高程之差。即

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

(二)地面点的坐标

地面点在大地水准面上的位置可根据实际情况选用球面坐标或平面直角坐标来确定。

1. 球面坐标

在大区域内,从整个地球来考虑点的位置,可以采用球面坐标以经度 λ 和纬度 ϕ 表示。

如图 1-5 所示,B 点的经度 λ 是过 B 点的子午面 $NBB'S$ 与过格林威治天文台 G 点的首子午面 $NGQS$ 之间的夹角。其数值是由首子午面起分别向东、向西计算,各由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。在首子午面以东为东经,在首子午面以西为西经。

B 点的纬度 ϕ 是 B 点的铅垂线 BO 与赤道平面 $WQB'E$ 之间的夹角。其数值由赤道面分别向北、向南计算,各由 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。在赤道以北为北纬,赤道以南为南纬。例如,重庆某点的球面坐标为东经 $106^\circ 29' 28''$ 、北纬 $29^\circ 32' 37''$ 。

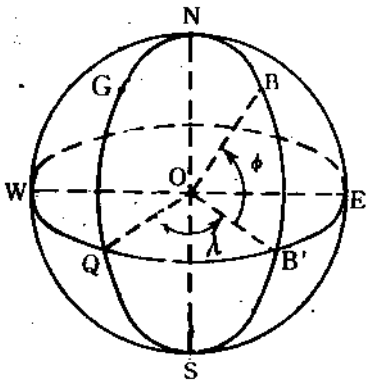


图 1-5

2. 平面直角坐标

用球面坐标表示地面点在球面上的位置比较形象,但要将球面上的点位描绘到平面图

纸上就必须采用某种投影的方法。在测量工作中,为了保持球面上的图形与平面上的图形相似,根据测区范围的大小不同可采用正射投影或“高斯投影”的方法,将球面上的点位按一定的规律描绘到平面上,而后用平面直角坐标来表示。

(1)高斯平面直角坐标系

高斯平面直角坐标是采用“等角横切圆柱投影”的方法建立的。它是将地球表面从起始子午线起,按经差每隔 6° 划分为一带,自西向东将整个地球划分为经差相等的 60 个投影带,依次编号为 1、2、3、...、60。然后分别把每个带中的经、纬线和地面点按等角投影的方法,投影到一个与该带中央子午线相切的横椭圆柱面上,然后将椭圆柱沿上下两条母线切开开展平,并在该投影面上建立平面直角坐标系来描述点的位置。

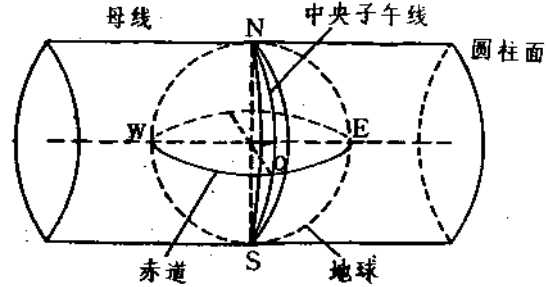


图 1-6

图 1-6 中 NOS 就是中央子午线,显然,这条子午线在椭圆柱面上的投影是一条直线,而且投影后长度没有变化,中央子午线两侧的其余子午线在投影后均为凹向中央子午线的曲线,其长度也随之发生变化。这些曲线以中央子午线为对称轴,离开中央子午线越远,其长度变形也就越大。如果将赤道平面扩大,使其与椭圆柱相交,则可得赤道平面在椭圆柱面上的投影,该投影也是一条直线,并且与中央子午线相垂直。而平行于赤道的其余纬线,投影后则均为凸向赤道的曲线,并以赤道为对称轴。如果将图 1-6 中的投影带展开,则得到如图 1-7 所示的高斯平面。

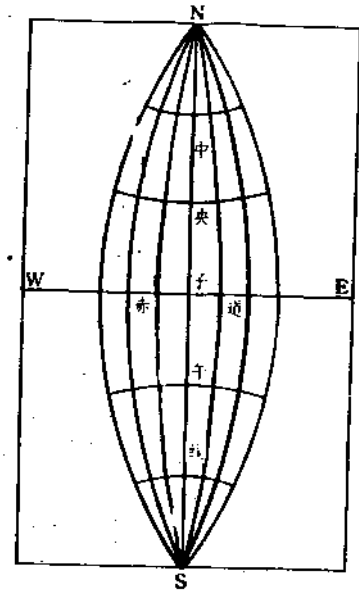


图 1-7

为了使长度和面积变形满足测图的精度要求,投影带必须限制在中央子午线两侧的一定范围之内,超出这个范围的部分就投影到相邻的另一个投影带中去。对于 6° 带投影而言,两条边界子午线之间的最大宽度(在赤道上)约为 667km,即该带离中央子午线最远不超过 334km。经投影后的线段长度将会产生七百分之一的误差,这对于中、小比例尺测图影响不算大,而对于大比例尺测图或精度要求较高的工程测量则是不能容许的。为此,应采用 3° 带投影甚至 1.5° 带投影来减小投影变形误差的影响。

将 60 个 6° 带从首子午开始,依此连续投影后便可得到整个地球的投影,如图 1-8 所示。各投影带的中央子午线的经度分别为 3° 、 9° 、 15° 、 21° 、...、 357° 。任意一带的中央子午线的经度可用公式计算为:

$$\lambda_0 = 6^\circ N - 3^\circ,$$

(式中 N 为投影带的号数)

3°带投影是从东经 1.5°开始,自西向东每隔 3°为一带,依次用 1、2、…、120 进行编号,即东经 1.5°~4.5°为第 1 带,4.5°~7.5°为第 2 带,顺序类推。它与 6°带的关系如图 1-8 所示。从图中可以看出,3°带中的奇数带的中央子午线与 6°带的中央子午线重合,而 3°带中的偶数带的中央子午线则与 6°带的边界子午线重合。3°带中任意一带的中央子午线的经度也可按公式计算为:

$$\lambda_0 = 3^\circ n \quad \text{式中 } n \text{ 为 } 3^\circ \text{ 带的带号。}$$

我国境内 6°带带号最西的一带为 13,最东的一带为 23,全国共 11 个 6°带。由此也可推算出我国境内 3°带的带号及带数。

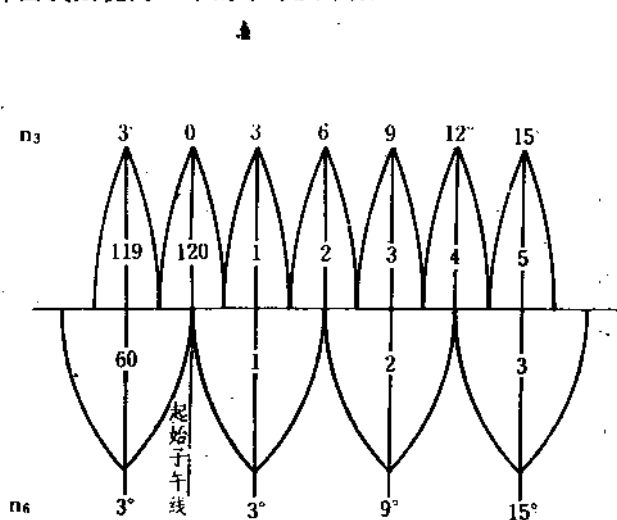


图 1-8

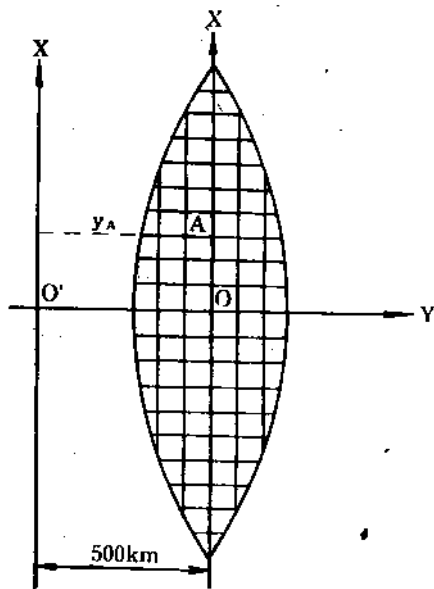


图 1-9

按上述方法投影后,在高斯平面上,中央子午线和赤道成为互相垂直的交线。测量上规定:取中央子午线为坐标纵轴,称为 X 轴;赤道则为横轴,称为 Y 轴;交点 O 为坐标原点。在本投影带内,作中央子午线的平行线为坐标纵线,作赤道的平行线为坐标横线,这样所构成的直角坐标系称为高斯平面直角坐标系。

高斯平面直角坐标系的纵坐标自赤道向北为正,向南为负;横坐标自中央子午线向东为正,向西为负。我国领土位于北半球,纵坐标均为正值,横坐标则有正有负。为了使横坐标不出现负值,于是规定在 6°带中,将坐标原点沿赤道向西移动 500km,使每带的中央子午线都给予 +500km 的横坐标值。

由于高斯投影是按分带方法各自进行投影的,故每个 6°带都有自己的坐标纵轴和原点,为了表明某点的坐标是属于哪一个投影带,在加了 500km 后的横坐标值前再加上该带的带号。这样的横坐标就称为国家统一坐标,用 y 表示。如某点的横坐标可表示为:

$$y = \text{带号} + 500\text{km} + Y$$

式中 Y 为相对于该投影带中央子午线的横坐标值。

如图 1-9 所示第 20 带中 A 点的横坐标为 $Y_A = -74240\text{m}$,加上 500km 后为 425760m,再加上带号则 $y_A = 20 + 500000 - 74240 = 20425760\text{m}$ 。

(2) 假定平面直角坐标系

在小范围内(一般指以 10km 为半径的范围), 可把局部地球表面上的点位沿铅垂线方向以正射投影的原理投影到与测区中央相切的水平面上, 并以此水平面代替大地水准面。在该水平面假定一个直角坐标系, 用直角坐标来描述点的平面位置。

假定平面直角坐标系的建立方法, 一般是在测区西南角外选定一点为坐标原点, 以过原点的子午线方向为纵坐标轴, 过原点的东西方向(垂直于子午线方向)为横坐标轴。为了便于直接引用有关的数学公式, 测量上规定纵坐标轴为 X 轴、横坐标轴为 Y 轴, 并规定 X 轴向北为正、向南为负, Y 轴向东为正、向西为负。两坐标轴将平面分成四个象限, 象限的编号顺序自 +X、+Y 起按顺时针排列为 I、II、III、IV 四个象限, 相应的定向角也从纵轴北端顺时针方向量度, 如图 1-10(a) 所示。为了避免在测区内出现坐标负值, 原点坐标多定为一个足够大的数值。

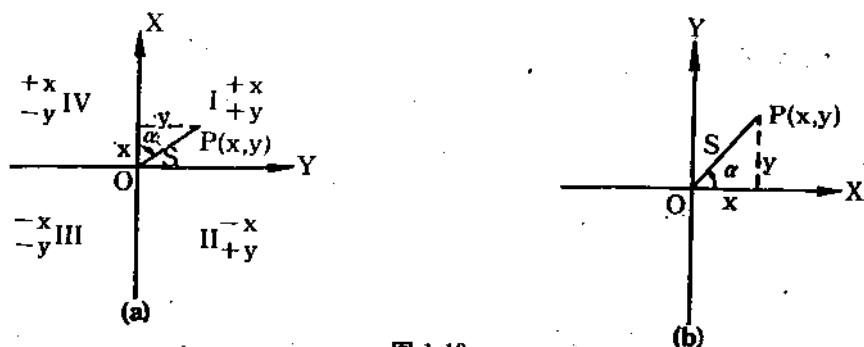


图 1-10

测量直角坐标系

数学直角坐标系

测量上取南北方向线为标准方向, 主要为了使定向方便, 如图 1-10(b) 中的 P 点, 在数学坐标系中的坐标计算式为:

$$x = S \cos \alpha$$

$$y = S \sin \alpha$$

这与 P 点在测量坐标系中的计算公式完全相同, 见图 1-10(a)。

直角坐标系建立后, 地面上各点的位置就可以用统一的坐标 (x, y) 表示。地面点位可用坐标值反映在图纸上, 图上的点位也可按坐标值准确地标定在地面上。

三、用水平面代替水准面的限度

所谓水平面, 就是与水准面相切并在切点处与铅垂线正交的平面。前已述及, 在普通测量工作中是将大地水准面近似地当成圆球看待的。若将地面点投影到圆球面上, 然后再投影描绘到平面的图纸上, 其计算和绘图的工作都是非常复杂的。在一定的范围内, 可以把水准面看成为水平面, 把地面点的测量结果直接描绘到水平面上, 在不影响用图精度要求的情况下, 将给工作带来很大方便。但是在多大的范围内可以用水平面来代替水准面, 则是我们必须讨论的问题。

(一) 地球曲率对水平距离的影响

当把地球看成一个圆球时, 如图 1-11 所示, A、B、C 是三个地面点, 它们在大地上水准面上

的投影是a、b、c,在过b点的水平面上的投影则是a'、b、c'。设B、C两点在大地水准面上的距离为S,在水平面上的距离为S',它们之间的差异ΔS就是地球曲率对水平距离的影响,即

$$\Delta S=S'-S$$

其中 $S'=R \cdot \text{tg}\theta$, $S=R \cdot \theta$

将tgθ按级数展开得

$$\text{tg}\theta=\theta+\frac{1}{3}\theta^3+\frac{2}{15}\theta^5+\cdots$$

取前两项代入 则得:

$$\Delta S=R(\frac{1}{3}\theta^3)$$

因θ角一般很小,故可略去五次方以上各项,

并以 $\theta=\frac{S}{R}$ 代入,则得:

$$\Delta S=\frac{1}{3} \cdot \frac{S^3}{R^2}$$

或 $\frac{\Delta S}{S}=\frac{1}{3}\left(\frac{S}{R}\right)^2$

取 R=6371km 时,则按不同的距离所得的ΔS 与 ΔS/S 如表 1-1 所示。

表 1-1

S(km)	ΔS(cm)	ΔS/S
10	0.82	1/1217689
25	12.83	1/194830
50	102.66	1/48707
100	821.23	1/12176

由上述计算可知,当距离为 10km 时,以水平面代替水准面所产生的距离误差为距离的一百二十万分之一,而现代最精密的距离丈量其容许误差约为其长度的一百万分之一。因此,在半径为 10km 的范围内,可以用水平面上的距离来代替水准面上的距离,也就是说,将沿圆弧丈量所得的距离作为水平距离其误差可忽略不计。

(二)地球曲率对高程的影响

从图 1-11 可以看出,地面点 C 的高程为 cC,用水平面代替水准面后,C 点的高程为 Cc',它们之间的差值 Δh 就是地球曲率对高程的影响,由图可得

$$\Delta h=cC-Cc'=C'O-CO$$

$$C'O=R \text{ Sec}\theta$$

$$CO=R$$

将 Sec θ 按级数展开为: $\text{Sec}\theta=1+\frac{1}{2!}\theta^2+\frac{5}{4!}\theta^4+\frac{61}{6!}\theta^6+\cdots$ 代入上式

则得: $\Delta h=R(\text{Sec}\theta-1)=R(\frac{1}{2}\theta^2+\frac{5}{24}\theta^4+\cdots)$

同理,略去四次方以上各项并考虑到 $\theta=\frac{S}{R}$,则

$$\Delta h=\frac{S^2}{2R}$$

以不同距离代入上式计算,则

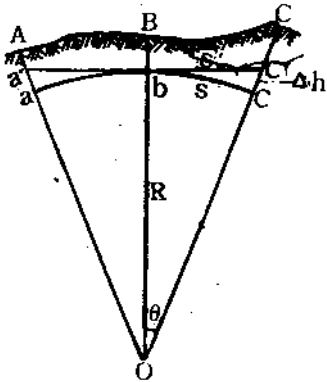


图 1-11

当	$S=10\text{km}$ 时	$\Delta h=7.8\text{m}$
	$S=1\text{km}$ 时	$\Delta h=78\text{mm}$
	$S=0.1\text{km}$ 时	$\Delta h=0.78\text{mm}$

上述计算表明,地球曲率的影响对高程而言,即使在很短的距离内,也是不能忽视的。

第三节 测量工作概述

一、测量工作的基本原则

无论是地形图的测绘,还是建筑物的测设,其工作的本质都是测定地面上一些具有代表性的点的位置(包括平面位置和高程),这些有代表性的点称为“特征点”。测定特征点的工作包括“外业”测量和“内业”计算与绘图两部分。通常把需要测量的地区称为“测区”,当测区范围较大时,测图工作必须在统一布局下,分成若干局部同时或先后施测,然后再将各局部拼接成为一个整体。为了控制和减少测量过程中所产生的误差不致积累过大,必须首先在整个测区内选定一些有控制意义的点(称为控制点),组成测区的骨干并使其互相连结成一定的几何图形(称为测量控制网),然后以较高的精度测定这个控制网的边、角关系,以确定控制点的坐标(称为控制测量)。在此基础上,再以控制点为基础测定各局部点的点位。即以控制点为准,分别测定其附近的特征点的点位(称为碎部测量)。这样的工作原则上通常称为“先整体后局部,先控制后碎部”的原则。这样,一方面由于控制网的作用,可以保证测区的整体精度,不致使碎部测量的误差累积过大而影响全测区;另一方面,还可以根据控制网把整个测区划分成若干个局部,同时开展几个工作面施测碎部,提高工效,缩短工期。

此外,为了确保控制点相对位置的正确性,测量工作中还必须重视检核工作,在对前一步的测量工作没有进行检核之前,不能进行后一步的测量工作,这也是测量工作必须遵循的一个原则。

二、测定地面点位的三项基本测量工作

前已述及,将地面点沿铅垂线方向投影到测量基准面上,然后用三维坐标 X, Y, H 表示其空间位置,这就是确定点位的基本方法。 X

地面点的坐标和高程,在实际工作中并不是直接测定的,而是通过测量地面点的相互关系,经过推算得到的。如图1-12所示,设地面上有1、2、3、4、…、 n 点,若已知1点的坐标(x_1, y_1),通过测量水平角 $\alpha, \beta_2, \beta_3, \dots$ 和水平距离 $s_1, s_2, \dots$ 就可以应用几何关系推算出2、3、…点的坐标,同理,

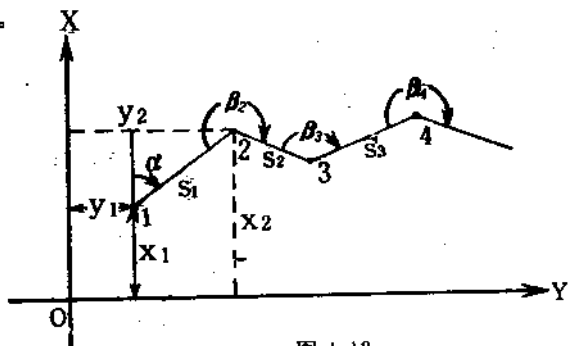


图 1-12

如果知道1点的高程,又测得了各相邻点之间的高差,就可以推算出2、3、…点的高程。所以,水平角、水平距离、高差就是确定地面点点位的三项基本观测量,测定这三个基本观测量就是测量工作的基本内容。

三、对测量工作者的基本要求

测量工作是一项精心细致的工作,稍一不慎就可能产生错误。一旦发生错误,如果未能及时发现纠正,则会影响下一步工作,甚至影响整个测量的成果,造成工程进度的推迟或返工浪费,给国家建设带来损失,所以在测量中绝对不允许错误,测量人员必须坚持严肃认真的科学态度。

为了保证测量成果的质量,测量工作必须做到测、算工作步步有检核,不符合技术规定的成果一定要查清原因,返工重测,以保证有足够的精度。此外,测量人员还要主动了解工程进展情况,以适应工程建设对测量工作的要求。

测量工作都是以组、队的组织形式集体进行的,故应发扬集体主义精神,做到紧密配合,协调团结把工作做好。

测量工作是一项比较艰苦的工作,无论是野外勘测,还是施工现场的测量,常常是白天外业,晚上计算制图,故要求测量人员必须有为革命事业不怕劳累和连续作战的作风。

测量仪器对测量人员来说,如同战士的枪支一样,必须加倍爱护,不论是贵重的光学仪器,还是一般的测量工具,都是测量工作必不可少的生产工具,每一个测量人员都必须从思想上重视和爱护,并在行动上养成正确使用仪器与器材的良好习惯。

测量记录和测绘图纸,是外业工作的成果,是评定观测质量的基本依据,因此,必须认真做好记录工作,做到内容真实、完整,书写清楚、整洁,要保持记录的“原始性”,不能随意擦拭、涂改或誊抄。

测量标志是测量工作的重要依据,必须做好标志的设置工作,力求坚固持久,并要做好标志的保护工作。

习 题

1. 测量学的研究对象是什么?普通测量与大地测量有什么区别?
2. 测定和测设有何区别?
3. 何谓水准面、大地水准面?它有什么特性?
4. 什么叫高程、绝对高程和相对高程?
5. 假定平面直角坐标系是怎样建立的?它与数学上的平面直角坐标系有何不同之处?
6. 用水平面代替水准面对距离和高程各有什么影响?
7. 测量工作的原则是什么?
8. 确定地面点位要进行哪些测量工作?

水准测量

测定地面点高程的工作,叫做高程测量。高程测量因所使用的仪器和施测的方法不同而分为水准测量、三角高程测量和气压高程测量。其中水准测量是测定地面点高程的主要方法,工程上应用也最为广泛。本章主要介绍水准测量的有关问题,三角高程测量将在后面的章节中介绍。

第一节 水准测量原理

水准测量主要是利用水准仪提供的水平视线,配合立在地面点上的标尺读数,直接测定地面上两点之间的高差,然后根据其中一点的高程推算出另一点的高程。

如图 2-1 中,已知地面点 A 的高程为 H_A ,需要测定地面点 B 的高程 H_B 。如果我们能够求出 B 点对于 A 点的高差 h_{AB} ,就能求出 B 点的高程。水准测量的方法是在 A、B 两点间安置一台能提供水平视线的水准仪,在 A、B 两点上竖立标尺(也称水准尺或塔尺),利用水准仪

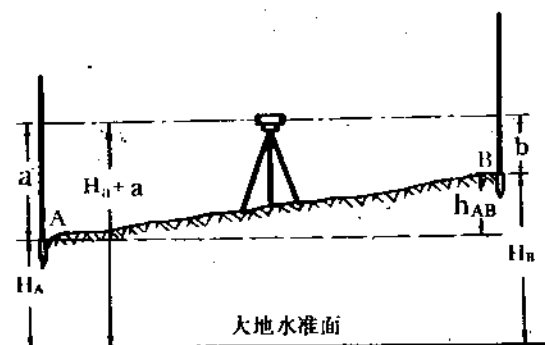


图 2-1

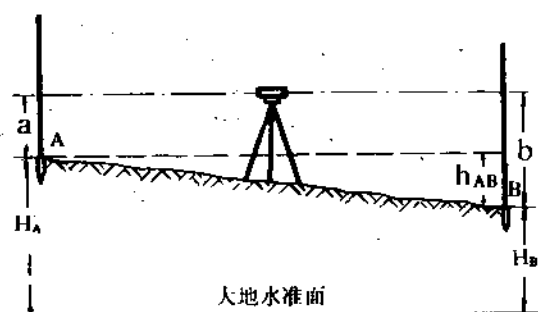


图 2-2

提供的水平视线,分别在 A、B 两尺上读出读数 a 、 b ,由图 2-1 和图 2-2 可知,A、B 两点之间的高差则为:

$$h_{AB} = a - b$$

设水准测量的前进方向是从 A 到 B, 则规定 A 点为后视点, B 点为前视点; 后视点标尺上的读数 a 称为后视读数, 前视点标尺上的读数 b 称为前视读数。由上式可知, 后视读数 a 减去前视读数 b 即为两点的高差 h_{AB} 。

高差的符号有正、有负, 当前视读数 b 比后视读数 a 要小时, 则说明 B 点比 A 点高 (图 2-1), 按 $h_{AB} = a - b$ 算出的高差即为正; 当 B 点比 A 点低时 (如图 2-2 所示), 则算出的高差 h_{AB} 即为负。

知道了 A、B 两点的高差 h_{AB} , 就可以根据 A 点的高程 H_A 计算 B 点的高程 H_B 。计算公式如下:

$$H_B = H_A + h_{AB}$$

上述计算高程的方法称为高差法。

从图 2-1 还可以看出, A 点的高程 (H_A) 加上后视读数 (a), 即可得到视线的高程 (H_i)。在高程测量中, 视线高也称为仪器高。仪器高 H_i 减去前视读数 b , 也可得到 B 点的高程 H_B , 这种计算高程的方法, 称为仪器高法或视线高法。

$$\text{由前式 } H_B = H_A + h_{AB} = H_A + a - b$$

$$\text{令 } H_i = H_A + a$$

$$\text{则 } H_B = H_i - b$$

当仪器安置在一个地方, 根据一个已知高程的后视点去测几个前视点的高程时, 用这种方法计算各前视点的高程, 要比分别计算出各点的高差再去求高程的方法简便得多。

以上两种测定高程的方法可分别用于线路水准测量和面积水准测量。

第二节 水准测量的仪器与工具

一、水准仪

(一) 水准仪的构造

水准仪的主要功能是使视线水平, 配合水准尺 (或塔尺), 按照水准测量原理测定两点之间的高差, 然后根据一点的已知高程推算出另一点的高程。

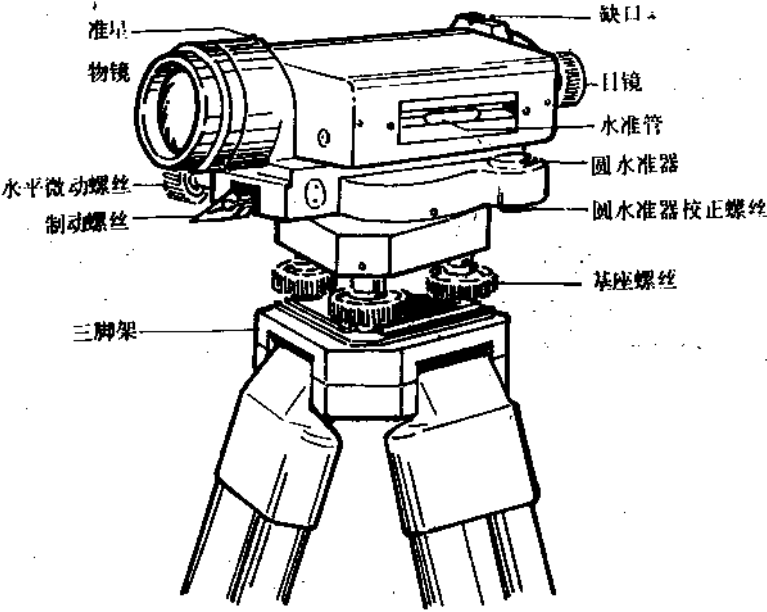
我国生产的水准仪系列型号, 按所能达到的精度指标不同可分为 S_{05} 、 S_1 、 S_3 、 S_{10} 等型, 其中以 S_{05} 所能达到的精度最高, 用于高精度的高程测量。在普通工程水准测量中多使用 S_{10} 、 S_3 型水准仪 (如图 2-3), S_3 水准仪的主要构造可分为望远镜、水准器和基座三部分。

水准仪上的望远镜和水准器就是为了提供水平视线这个目的设置的, 基座则是支承仪器的底座。下面分别介绍望远镜和水准器等的构造和作用。

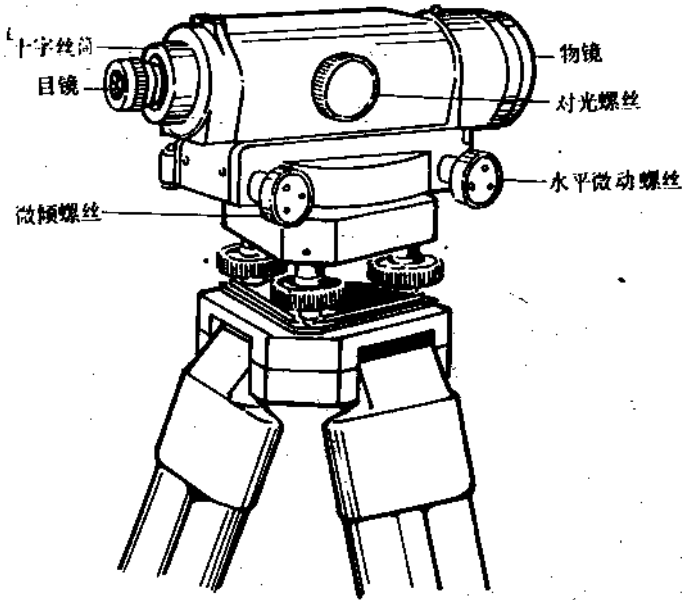
1. 望远镜

望远镜是瞄准远处目标并对标尺进行读数的器件, 它主要是由物镜、对光透镜及对光螺

丝、十字丝分划板、目镜四部分组成。图 2-4 是内对光望远镜的构造示意图。当转动对光螺丝进行对光时，物镜和目镜之间的相对位置保持不变，而只是对光透镜在望远镜筒内沿光轴方



(a)



(b)

图 2-3

向前后移动,以使影象清晰。还有一种外对光望远镜,它是改变物镜和目镜之间的相对位置来对光的。目前的测量仪器多采用内对光望远镜。十字丝分划板上的十字丝刻划如图 2-5 所示,其中上下两条短横丝为视距丝,用于测定仪器至标尺之间的距离,参见第四章第五节。

望远镜中十字丝交点和物镜光心的连线称为视准轴(即通常所说的视线)。当视线轴的延长线通过目标时就是一般所说的瞄准。

(1)望远镜的性能

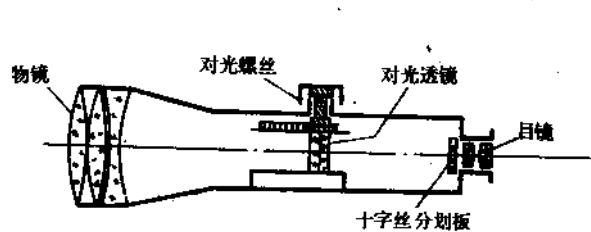


图 2-4

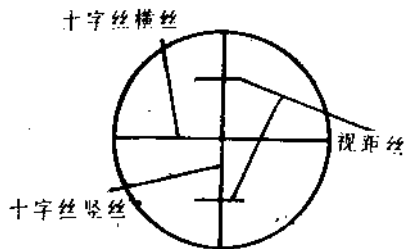


图 2-5

望远镜质量的好坏,直接影响到测量成果的精度,望远镜的质量主要反映在以下几个方面:

①放大率——望远镜的放大率是指从望远镜内看到的物体的影象与由眼睛直接看到该物体的象的比例关系。如图 2-6 所示,从望远镜内看到的物体的象所对的视角为 β ,直接观测到的物体的视角为 α ,则该望远镜的放大率 V 为:

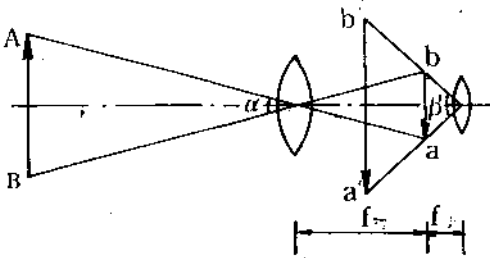


图 2-6

$$V = \frac{\beta}{\alpha}$$

由图可知,望远镜的放大率也可用物镜焦距 f_o 和目镜焦距 f_e 之比来表示,即

$$V = \frac{f_o}{f_e}$$

我国 S₃ 水准仪的放大率不小于 28 倍。

②分辨率——望远镜的分辨率是指望远镜对微小物体的分辨能力,通常用望远镜所能分辨的最小视角表示。一般认为,正常人的眼睛在较好的照明条件下,极限分辨角在 60"左右,通过望远镜放大 V 倍后,则望远镜的分辨角可以近似地表示为

$$\varphi'' \approx \frac{60''}{V}$$

(2)望远镜的使用

用望远镜瞄准目标的操作步骤如下:

①目镜对光 把望远镜对向明亮的背景(如白墙、天空等等),转动目镜,使十字丝刻划(图 2-5)呈象十分清晰。

②概略瞄准 松开望远镜的制动螺丝,使用镜筒上方的准星和缺口瞄准目标,尔后再拧