



基础篇

模块 1 测量的基本知识

模块 2 水准测量

模块 3 角度测量

模块 4 距离测量与直线定向

模块 5 小区域控制测量

模块 6 地形图测绘与应用



模块 1 测量的基本知识



学习目标

- 了解建筑工程测量的基本任务。
- 理解地面点位的确定,掌握测量工作基准面的概念,掌握坐标、高程、高差的相关概念,掌握水平面代替水准面的限度。
- 理解测量的基本工作,明确测量工作的基本原则。
- 掌握误差的定义、分类、产生原因及衡量精度的指标,熟悉误差传播定律。

1.1 建筑工程测量的任务

测量是研究如何测定地面点的位置,将地球表面的各种地物、地貌及其他信息测绘成图,以及确定地球形状和大小的一门科学。按照应用范围分类,包括大地测量、摄影测量、海洋测量、工程测量和地图制图等。建筑工程测量属于工程测量的一部分。

建筑工程测量是研究利用测量仪器和工具,对建筑工程场地上地面点的位置进行测量和确定的学科,它的主要任务有以下几方面。

(1)建筑工程场地大比例尺地形图测绘。这项工作是指利用各种测量仪器和工具测量建筑工程场地上各种地物、地貌及其他信息,并按照一定比例尺和规范图示符号绘成图,作为规划设计的资料。

(2)建筑物的施工测量。这项工作是指利用测量仪器和工具将图纸上设计好的建筑物、构筑物的位置、形状在实地标定出来,作为施工的依据。

(3)建筑物的变形观测。在施工和使用期间,由于受各种因素影响,建筑物和构筑物都会发生一定的变形和沉降,因此,对于一些重要的建筑物和构筑物,要定期对其变形进行观测,以便及时掌握变形情况,确保工程安全。

各种工程建设以及工程建设的各个阶段都离不开测量工作。例如,在河道上修建水库时,首先应测绘坝址以上该流域的地形图,作为水文计算、地质勘探、经济调查等规划设计的依据;初步设计后,需测绘较详细的大比例尺地形图,作为大坝、涵闸、厂房等水工建筑物设计的依据;在施工过程中,需通过定位放线指导开挖、砌筑和设备安装;工程竣工时,需进行竣工测量,以检查工程质量是否符合设计要求;在工程的使用管理过程中,为了监视运行情况,确保工程安全,应定期对大坝进行变形观测等。由此可见,测量工作贯穿于工程建设的始终。作为一名工程技术人员,必须掌握必要的测量知识和技能,才能担负起工程勘测、规划设计、施工及管理等各项任务。

1.2 地面点位的确定

测量工作的基本任务是确定地面或空间点的位置。为了确定该点的位置,就必须有一个与它相对应的参考面,这个参考面就是测量工作的基准面——大地水准面。

1.2.1 测量工作的基准面

1. 水准面

任何一个静止的液体表面都叫做水准面。水准面是受地球重力影响而形成的,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面,并且是一个重力场的等位面。重力的方向线称为铅垂线,水准面处处与铅垂线垂直。水准面和铅垂线是测量工作所依据的基准面和基准线。

2. 大地水准面

地球是一个极其不规则的旋转球体,近似于椭球。地球表面高低起伏,有高山、丘陵、平原、盆地、海洋等。最高处珠穆朗玛峰高出海平面 8 844.43 m,最深处的马里亚纳海沟深达 11 022.0 m。地球看起来起伏变化非常之大,但是这种起伏变化与庞大的地球(半径约 6 371 km)比较起来是微不足道的。同时,就地球表面而言,海洋面积约占 71 %,陆地仅占 29 %,所以海平面所包围的形体基本上代表了地球的形状和大小。因此,人们设想有一个静止的海面向陆地延伸,由此形成一个包围地球的封闭的曲面,这个曲面称为大地水准面。由于受潮汐及风浪影响,海平面时高时低,所以取平均海平面作为大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体,大地体就代表了地球的形状和大小。

3. 参考椭球与水平面

地球内部物质分布不均匀,使得铅垂线方向产生不规则的变化,因此,大地水准面是一个有微小起伏的不规则曲面,如图 1-1 所示。在这个面上无法进行测量的计算工作,于是人们选择了一个与大地体形状和大小较为接近的旋转椭球来代替大地体,通过定位使旋转椭球与大地体的相对位置固定下来。这个形状和大小一定,并在地球上定位的旋转椭球称为参考椭球。参考椭球的表面是一个规则的数学曲面,它是测量计算和投影制图所依据的基准面。

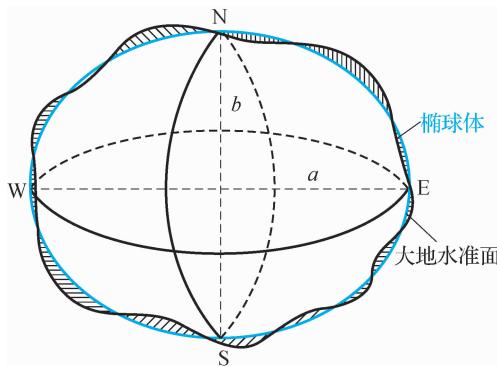


图 1-1 大地水准面与参考椭球

参考椭球的元素有长半径 a 、短半径 b 和扁率 α ($\alpha = \frac{a-b}{a}$)，只要知道其中两个元素即可确定参考椭球的形状和大小(通常采用 a 和 α 两个元素)。我国目前采用的参数是 $a=6\ 378\ 140\ m, \alpha=1:298.257$ 。

由于参考椭球的扁率很小，在普通测量中又近似地把大地体视作圆球体，其半径采用与参考椭球同体积的圆球半径，其值 $R=6\ 371\ km$ 。当测区范围较小时，又可以将该部分球面当成平面看待，即将水准面当成平面看待，称之为水平面。

1.2.2 地面点位置的表示方法

地面点的位置以坐标和高程来表示。表示地面点位置的坐标有大地坐标、高斯平面直角坐标、平面直角坐标。而高程则有绝对高程和相对高程。

1. 地面点的坐标

1) 大地坐标

如图 1-2 所示， O 为参考椭球的球心， NS 为椭球的旋转轴，通过该轴的平面称为子午面(如图中的 $NPMS$ 面)。子午面与参考椭球面的交线称为子午线，又称为经线，其中通过英国伦敦格林尼治天文台的子午面和子午线分别称为起始子午面和起始子午线。通过球心 O 且垂直于 NS 轴的平面称为赤道面(如图中的 WM_0ME 面)，赤道面与参考椭球面的交线称为赤道。

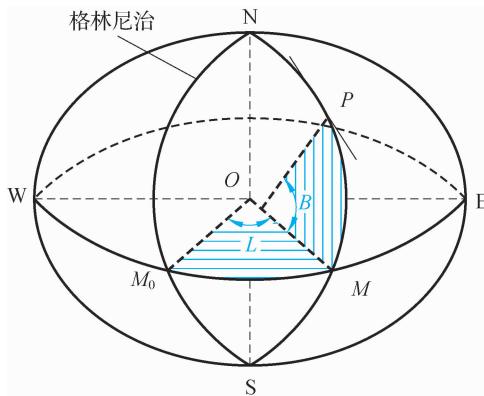


图 1-2 大地坐标示意图

大地经度 L 是指通过参考椭球面上某点的子午面与起始子午面的夹角。由起始子午面起，向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经，向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经，同一子午线上各点的大地经度相同。大地纬度 B 是指参考椭球面上某点的法线与赤道面的夹角。从赤道面起，向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬，向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。纬度相同的点的连线称为纬线，它平行于赤道。

地面上任一点都可以向参考椭球面作一条法线，通过该点的法线与参考椭球面的交点即为该地面点在参考椭球面上的投影。大地坐标，就是用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在参考椭球面上投影位置的坐标。

2) 高斯平面直角坐标

大地坐标的优点是对于整个地球有一个统一的坐标系统，用它来表示地面点的位置形

象直观,但它的观测和计算都比较复杂。实际应用中常需要把地面点投影到某个平面上,在我国大面积的地形图测绘采用高斯平面直角坐标系。这种坐标系由高斯创立,后经过了克吕格改进。它采用分带(以经差 6° 或 3° 为一带)投影的方法进行投影,将每一投影带展开成平面后,以中央子午线的投影为 x 轴、赤道投影为 y 轴建立平面直角坐标系。地面点在该坐标系内的坐标称为高斯平面直角坐标。

3) 平面直角坐标

当测量范围较小时,可在水平面上建立平面直角坐标系,从而将地面点在水平面上的投影位置用平面直角坐标表示。

如图 1-3 所示,在水平面上选定一点 O 作为坐标原点,建立平面直角坐标系。纵轴为 x 轴,与南北方向一致,向北为正,向南为负;横轴为 y 轴,与东西方向一致,向东为正,向西为负。将地面点 A 沿着铅垂线方向投影到该水平面上,则平面直角坐标 (x_A, y_A) 就表示 A 点在该水平面上的投影位置。如果坐标系的原点是任意假设的,则称为独立平面直角坐标系。为了不使坐标出现负值,对于独立测区,往往把坐标原点选在测区西南方向外延的适当位置。

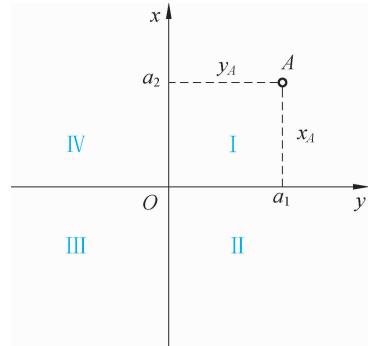


图 1-3 平面直角坐标系

注意 测量上采用的平面直角坐标系与数学中的平面直角坐标系从形式上看是不同的。测量用平面直角坐标系指北为正,指南为负,定义为 x 轴;指东为正,指西为负,定义为 y 轴。而数学上的平面直角坐标系(笛卡尔坐标系)的横轴为 x 轴,纵轴为 y 轴,象限逆时针编号。为了使数学上的三角函数计算公式可不加任何改变地直接应用于测量的计算中,测量坐标系中象限划分由逆时针变为顺时针,构成测量用平面直角坐标系。

2. 地面点的高程

1) 绝对高程

地面点沿铅垂线方向至大地水准面的距离称为绝对高程,亦称为海拔。如图 1-4 所示,地面点 A 和 B 的绝对高程分别为 H_A 和 H_B 。

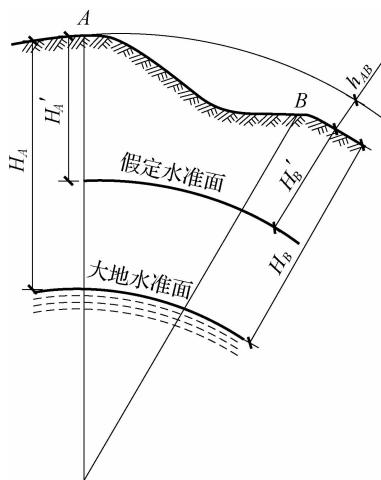


图 1-4 高程基准

我国规定以黄海平均海平面作为大地水准面。黄海平均海平面的位置,是青岛大港验潮站对潮汐观测井的水位进行长期观测而确定的。由于平均海平面不便于随时联测使用,故在青岛观象山建立了“中华人民共和国水准原点”,作为全国(台湾、海南岛除外)推算高程的依据。

2) 相对高程

地面上沿铅垂线方向至任意水准面的距离称为该点的相对高程,亦称为假定高程或标高。如图 1-4 所示,地面上 A 和 B 的相对高程分别为 H_A' 和 H_B' 。

3) 高差

在同一高程系统中,两个地面上点间的高程之差称为高差,以符号 h 表示。如图 1-4 所示,A、B 两点的高差为

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

注意 该公式应用时,A、B 两点的高程值不能颠倒,高差 h 的正负号代表实际地面的高低, h_{AB} 为正表示 A 点低、B 点高, h_{AB} 为负表示 A 点高、B 点低。高差方向相反时,其绝对值相等而符号相反,即 $h_{BA} = H_A - H_B = -h_{AB}$ 。

测量工作中,一般采用绝对高程,施工现场常常采用相对高程,即 $h_{AB} = H_B' - H_A'$ 。相对高程与绝对高程之间可以相互转换,其差值为大地水准面与假定水准面间的距离。

1.2.3 水平面代替水准面的限度

当测区范围较小时,为了简化投影计算,通常用水平面代替水准面,即以平面代替曲面。但当测区范围较大时,就必须顾及地球曲率的影响,因此需分析水平面代替大地水准面对距离、高程的影响,以便给出水平面代替水准面的范围限度。

1. 用水平面代替水准面对距离的影响

如图 1-5 所示,设地球是半径为 R 的圆球,P 为大地水准面,地面 P' 上 A、B 两点投影到大地水准面 P 上(a, b 点)的距离为弧长 S ,投影到水平面 P' 上(a', b' 点)的距离为 D ,显然两者之差即为用水平面代替水准面所产生的距离误差,设其为 ΔD ,则

$$\Delta D = D - S$$

式中, $D = R \tan \theta$, $S = R \theta$, θ 为弧长 S 所对应的圆心角,则有

$$\Delta D = D - S = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-2)$$

在小范围测区内 θ 角很小, $\tan \theta$ 可用级数展开,略去高次项,得

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

则式(1-2)可化简为

$$\Delta D = R[(\theta + \frac{1}{3} \theta^3) - \theta] = R \frac{\theta^3}{3} \quad (1-3)$$

而 $\theta = \frac{S}{R}$, $S \approx D$,代入式(1-3),则有

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

即

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

以地球半径 $R=6\ 371\text{ km}$ 和不同的 D 值代入公式(1-4)、公式(1-5),计算结果如表 1-1 所示。

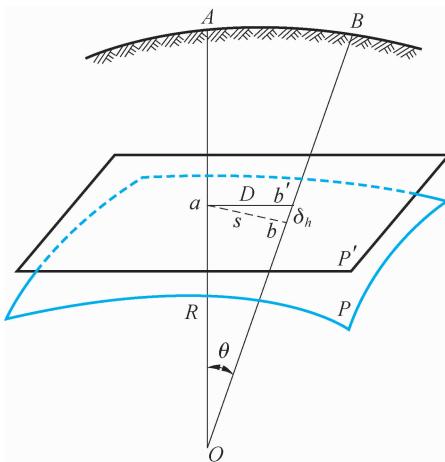


图 1-5 水平面代替水准面引起的误差示意图

表 1-1 水平面代替水准面对距离的影响

水平面距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{mm}$	距离相对误差 $\frac{\Delta D}{D}$
1	0.008	1/125 000 000
10	8.2	1/1 220 000
15	27.7	1/540 000
20	65.7	1/300 000
25	128.3	1/190 000

计算表明:两点相距 10 km 时,用平面代替曲面产生长度误差为 8.2 mm,相对误差为 1/1 220 000,其精度高于精密测距的精度(1/1 000 000)。所以在半径为 10 km 测区内,可以用水平面代替水准面,其产生的距离投影误差可以忽略不计。

2. 用水平面代替水准面对高程的影响

在图 1-5 中,用水平面代替大地水准面时产生高差误差,即 b, b' 点间距离 δ_h 。由图 1-5 可得

$$(R + \delta_h)^2 = R^2 + D^2$$

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

在分母中,因 δ_h 相对于 R 很小,可以略去,于是式(1-6)可写成

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

以 $R=6\ 371\text{ km}$ 和不同的 D 值代入式(1-7),算得相应的 δ_h 见表 1-2。

表 1-2 用水平面代替水准面对高程的影响

D/m	10	50	100	150	200	1 000
δ_h/mm	0.00	0.20	0.80	1.77	3.14	78.48

可以看出,用水平面代替水准面所产生的高程误差随着距离的平方的增加而增加,很快就达到了不能允许的程度。所以即便是距离很短,也不能忽视地球曲率对高程的影响,在观测过程中必须采取措施消除或减弱其影响。

1.3 测量工作概述

1.3.1 测量的基本工作

地面点的位置是用其坐标与高程来确定的。在实际测量工作中,地面点的坐标和高程一般不是直接测定的,而是间接测定的。通常是测出待定点与已知点(即坐标和高程值已确定的点)之间的几何关系,然后推算出待定点的坐标和高程。

如图 1-6 所示,若地面点 A 为已知点,欲确定地面点 B、C、D、E 在某一坐标系的位置,应先测定各点组成的多边形各边长度和邻边所夹水平角 β ,以及 AB 边与北向的夹角 α ,根据 A 点的坐标计算出 B、C、D、E 各点的坐标。如果再测定相邻点间的高差 h ,并推算出各点的高程 H_B, H_C, H_D, H_E ,地面点 B、C、D、E 的空间位置便完全确定了。

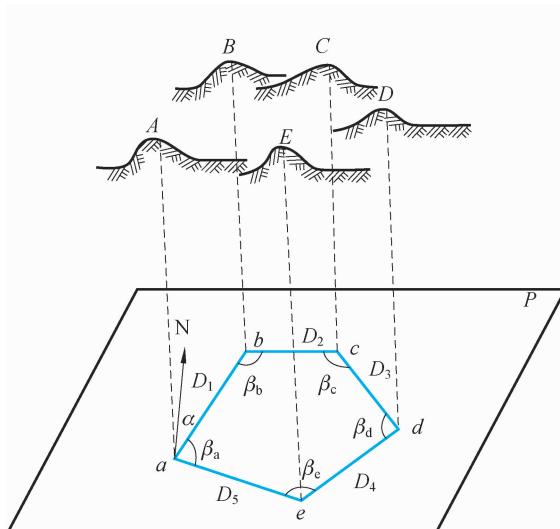


图 1-6 测量工作示意图

由此可见,水平距离、水平角和高差是确定地面点位的三个基本要素。角度测量、距离测量和高程测量是测量的三项基本工作。

1.3.2 测量工作的基本原则

无论是测绘地形还是建筑物的施工测量,都是在选定的已知点位上安置仪器,测定地面

点的位置。但是在一个选定的点位上施测整个测区所有的地面点，则十分困难，甚至是不可能的。如图 1-7 所示，在 A 点只能测绘 A 点附近的房屋、道路、地面起伏等地物、地貌，对于山的另一面或较远的地方就观测不到，因此必须先在整个测区范围内均匀选定若干数量的点作为控制点，如图中的 A、B、C、D、E、F 诸点，以控制整个测区。以较精密的仪器和精确的测量方法测定各个控制点的平面位置和高程（这项工作称为控制测量），然后分别以这些控制点为依据，测定点位附近地物、地貌的特征点（即碎部点）位置与高程（这项工作称为碎部测量）。

也就是说，测量工作在布局上应先考虑整体，再考虑局部；在工作步骤上应先进行控制测量，再进行碎部测量；在控制网布设时，应先布设高等级控制网，再在高等级控制网基础上加密布设较低等级控制网。

按照这种“先控制后碎部、从整体到局部、从高级到低级”的原则施测，由于建立了统一的控制系统，使整个测区各个局部都具有相同的误差分布或精度，能有效地避免测量误差逐点传递、逐渐积累。尤其对于大面积的分幅测图，不但为各图幅的同步作业提供了便利，同时也有效地保证了各个相邻图幅的拼接和使用。

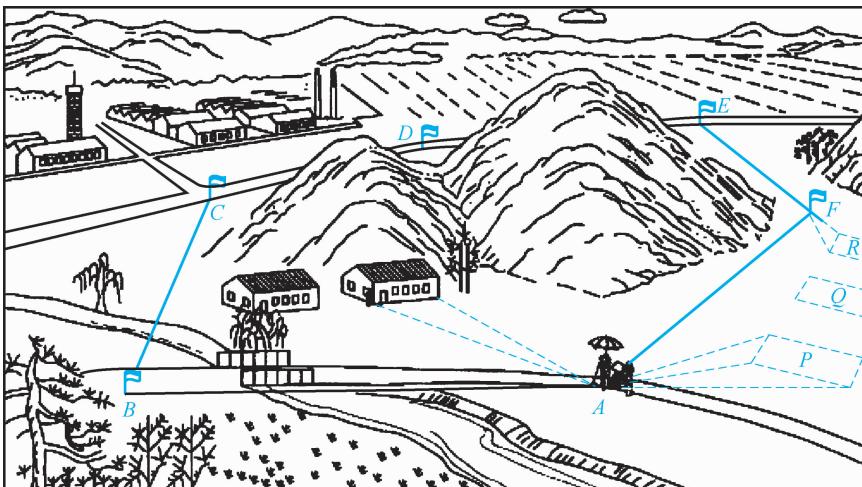


图 1-7 测量原则示意图

1.4 测量误差的基本知识

1.4.1 测量误差的定义

在测量工作中，当对同一物体进行多次观测时，无论测量仪器多么精密，观测多么仔细，这些观测值之间总是存在一定差异，或者其观测值不满足相应的理论关系。例如，对某一段距离丈量若干次，各观测值之间往往不一致；对一个三角形的三个内角进行观测，观测值之和往往不等于 180° 。这种现象在测量工作中普遍存在，究其原因是由于观测值中包含测量误差。

任何观测，客观上总是存在一个能反映其真正大小的数值，这个数值称为观测量的真值或理论值。然而，测量过程中的情况随时会发生变化，真值是不能准确得到的，所得到的观

测值总是与真值有一定的差异,这种差异在测量上称为误差,也称真误差,用 Δ 表示。

若用 L 表示观测值, X 表示真值,则真误差 Δ 为

$$\Delta=L-X \quad (1-8)$$

1.4.2 测量误差产生的原因

误差产生的原因是多种多样的,但由于任何观测值的获取都要具备人、仪器、外界环境这三种要素,所以测量误差产生的原因可归结为以下三方面。

(1) 仪器误差的影响。仪器误差的影响可分为两个方面来理解:一是仪器本身固有的误差给观测结果带来的影响,如用只有厘米分划的水准尺进行水准测量时,就很难保证在厘米以下的读数准确无误;二是仪器检校时的残余误差,如水准仪的视准轴与水准轴不平行而产生的 i 角误差等。

(2) 观测者的影响。由于观测者感觉器官的鉴别能力有一定的局限性,所以在仪器的安置、照准、读数等方面都会产生误差。同时,观测者的工作态度、精神状态和技术水平也对观测结果的质量有直接的影响。

(3) 外界环境的影响。观测时所处的外界条件,如温度、湿度、风力、大气折光等因素都会对观测结果直接产生影响。

仪器、观测者、外界环境是引起误差的主要因素,这三方面的因素综合起来称为观测条件。观测条件的好坏与观测结果的质量有着密切的联系。当观测条件好时,观测中产生的误差就可能相对小些,观测质量就会高些。反之,观测条件差时,观测质量就会低些。

总之,在测量中产生误差是不可避免的,但在客观条件允许的限度内,测量工作者可以而且必须确保观测结果具有较高的质量。

1.4.3 测量误差的分类

根据误差对观测结果影响的性质,可将误差分为系统误差和偶然误差两种。

1. 系统误差

在相同的观测条件下进行一系列的观测,如果误差在大小、符号上表现出系统性,即在观测过程中按一定的规律变化,或者为一常数,那么,这种误差就称为系统误差。例如,水准尺的刻划不准、水准仪的视准轴误差、温度对钢尺量距的误差、尺长误差等均属于系统误差。

系统误差具有累计性,对成果的影响较大,应当设法消除或减弱它的影响,以达到忽略不计的程度。一般采用的方法有两种:一是在观测的过程中采取一定的措施,二是在观测结果中加入改正数。

2. 偶然误差

在相同的观测条件下进行一系列的观测,如果误差在大小和符号上都表现出偶然性,即从表面看没有任何规律性,那么这种误差称为偶然误差,也称随机误差。观测时的照准误差、读数时的估读误差等都属于偶然误差。

在测量工作的整个过程中,除了上述两种性质的误差以外,还可能发生错误。错误大多是由工作中的粗心大意造成的,所以错误不算做观测误差。错误的存在不仅大大影响测量结果的可靠性,而且往往造成返工浪费,给工作带来难以估量的损失。因此,必须采取适

当的方法和措施,以保证观测结果中不存在错误。

偶然误差是不可避免的,在数据分析中,一般认为观测值中不含系统误差和错误,仅包含偶然误差,因此偶然误差是研究的主要对象。

1.4.4 偶然误差的特性

偶然误差就其单个来讲没有规律,但就大量误差的总体而言,则具有一定的统计规律性。并且随着观测次数的增多,这种统计规律性表现得更明显。例如,在相同的观测条件下对三角形的三个内角进行观测,因观测中存在误差,三角形内角和不等于 180° ,其差值称为闭合差,它是三角形内角之和的真误差,即

$$\Delta = (L_1 + L_2 + L_3) - 180^{\circ}$$

式中, L_1 、 L_2 、 L_3 是三角形三个内角的观测值。

在相同观测条件下,对某测区 781 个三角形的内角进行了观测,由上式计算得出三角形内角和的真误差 Δ ,按大小和符号统计其在一定区间内出现的个数,如表 1-3 所示。

表 1-3 三角形内角和的真误差统计表

误差区间	为负值的 Δ		为正值的 Δ	
	个数 μ	相对个数 $\frac{\mu}{n}$	个数 μ	相对个数 $\frac{\mu}{n}$
0.0"~0.5"	123	0.157	116	0.149
0.5"~1.0"	99	0.127	98	0.125
1.0"~1.5"	72	0.092	74	0.095
1.5"~2.0"	51	0.065	48	0.061
2.0"~2.5"	22	0.028	27	0.035
2.5"~3.0"	16	0.020	16	0.020
3.0"~3.5"	10	0.013	9	0.012
3.5"以上	0	0	0	0
总计	390	0.503	391	0.497

从表中可以看出:小误差比大误差的个数多,绝对值相同的正、负误差的个数大致相等,超过一定限值的误差不会出现。

当人们对更多的三角形进行观测,其结果显示出相同的规律。说明偶然误差具有如下特性。

- (1)有界性,即在一定的观测条件下,误差的绝对值不会超过一定的限值,或者说偶然误差的绝对值大于某个值的概率为零。
- (2)聚中性,即绝对值较小的误差比绝对值较大的误差出现的概率要大。
- (3)对称性,即绝对值相等的正、负误差出现的概率相等。
- (4)抵偿性,即偶然误差的数学期望或偶然误差的算术平均值的极限值为零。

1.4.5 衡量精度的指标

测量工作中,观测条件好,观测结果质量高,精度也高;反之,观测条件差,观测结果质量低,精度也低。在测量中总是用一定的数学指标来衡量观测值的精度。

1. 中误差

在相同的观测条件下,对某一未知量进行一系列的观测,其观测值的真误差分别为 Δ_1 , Δ_2 , \dots , Δ_n 。则,中误差定义为

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (1-9)$$

式中, $[\Delta\Delta] = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2$ 。

中误差是反映一组观测数据质量高低的一个统计指标,由式(1-9)可以看出中误差与真误差的关系。中误差的大小能反映观测值精度的高低,通常将中误差放在观测值后面表示观测值的精度,如 $\alpha = 56^\circ 12' 36'' \pm 6''$,表示该角的中误差为 $\pm 6''$ 。

2. 极限误差

判定观测误差必须要有一个标准,超过这个标准的误差就列入错误,相应的观测值应予剔除或返工重测,这个标准就是极限误差。所谓极限误差就是所允许的最大误差。由偶然误差的特性可知,在一定条件下,偶然误差不会超过一个界值,这个界值就是所说的极限误差。经计算误差出现在区间 $(-m, +m)$ 、 $(-2m, +2m)$ 、 $(-3m, +3m)$ 内的概率分别为68.3%、95.5%、99.7%。可见,大于三倍中误差的误差,其出现的概率只有0.3%,是小概率事件,在一次观测中,可认为是不可能发生的事件。因此,可规定三倍中误差为极限误差,即

$$\Delta_{\text{限}} = 3m \quad (1-10)$$

若对观测要求较严,也可规定两倍中误差为极限误差,即

$$\Delta_{\text{限}} = 2m \quad (1-11)$$

我国现行的作业规范中,以两倍中误差作为极限误差的较为普遍。

3. 相对误差

有时,单靠中误差还不能完全表达观测质量的好坏。例如,在同一观测条件下,用尺子丈量了两段距离,一段为500 m,一段为1 000 m,这两段距离的中误差均为2.0 cm,虽然两者中误差相同,但由于其距离长度不同,丈量的尺段数不同,就同一单位长度而言,两者精度并不相同。这种衡量单位观测值的精度叫做相对精度。相对精度包括相对真误差、相对中误差、相对极限误差,它们分别是真误差、中误差和极限误差与其观测值之比。如上述两段距离,前者的相对中误差为 $1/25\,000$,而后者则为 $1/50\,000$,显然,后者的单位长度的精度比前者高。

相对误差是个无名数,在测量中经常将分子化为1,分母化为整数N,即用 $1/N$ 表示。一般来说,当观测误差随着观测量的大小而变化时,用相对误差来描述其精度,此类观测量通常是长度或距离。

1.4.6 误差传播定律

在实际工作中,往往会遇到某些量的大小不是直接测定的,而是由观测值通过一定的函数关系计算出来的。例如,用水准测量测定两点间的高差 h ,是根据后视读数 a 和前视读数 b 按 $h = a - b$ 计算出来的。由于观测值 a 、 b 包含误差,因此高差 h 也必然存在误差。观测值的误差和函数的误差之间必定存在某种关系,阐述这种关系的定律称为误差传播定律。常见函数的误差分析如下。

1. 倍乘函数

设有函数

$$z = kx \quad (1-12)$$

式中, k 为没有误差的常数, x 为观测值。现用 Δ_x 和 Δ_z 分别表示 x 和 z 的真误差, 可知 Δ_x 和 Δ_z 的关系为

$$\Delta_z = k\Delta_x \quad (1-13)$$

设有一组同精度的观测值 x_1, x_2, \dots, x_n , 其真误差分别为 $\Delta_{x_1}, \Delta_{x_2}, \dots, \Delta_{x_n}$, 与其对应的中误差为 m_x 。由 Δ_{x_i} 所引起的 z 的一组误差 Δ_{z_i} 为

$$\Delta_{z_i} = k\Delta_{x_i} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1-14)$$

由中误差的定义公式(1-9), 得

$$m_x^2 = \frac{\Delta_{x_1}^2 + \Delta_{x_2}^2 + \dots + \Delta_{x_n}^2}{n}$$

$$m_z^2 = \frac{\Delta_{z_1}^2 + \Delta_{z_2}^2 + \dots + \Delta_{z_n}^2}{n} = \frac{k^2 \Delta_{x_1}^2 + k^2 \Delta_{x_2}^2 + \dots + k^2 \Delta_{x_n}^2}{n} = k^2 \left(\frac{\Delta_{x_1}^2 + \Delta_{x_2}^2 + \dots + \Delta_{x_n}^2}{n} \right)$$

则有

$$m_z^2 = k^2 m_x^2 \quad (1-15)$$

即

$$m_z = km_x \quad (1-16)$$

也就是说, 观测值与一常数的乘积的中误差, 等于观测值的中误差乘以该常数, 亦即其中误差仍然保持倍乘关系。

【例 1-1】 在 1:500 的地形图上, 量得 A、B 两点间的距离 $d = 46$ mm, 量测中误差 $m_d = 0.2$ mm, 求该两点实际距离及其中误差。

【解】 两点实际距离 $D = 500 d = 23$ (m)

由式(1-16)得两点实际中误差 $m_D = 500 m_d = 500 \times 0.2 = 100$ (mm) = 0.1 (m)

2. 和或差函数

设有函数

$$z = x \pm y \quad (1-17)$$

令函数及独立观测值的真误差分别为 $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ 。由式(1-17)可知, 当观测值 x 和 y 含有真误差时, 函数 z 的真误差为

$$\Delta_z = \Delta_x \pm \Delta_y \quad (1-18)$$

设对于 x, y 各有一组同精度的误差 $\Delta_{x_1}, \Delta_{x_2}, \dots, \Delta_{x_n}$ 和 $\Delta_{y_1}, \Delta_{y_2}, \dots, \Delta_{y_n}$ 。则由 x 及 y 所引起 z 的一组误差为

$$\Delta_{z_i} = \Delta_{x_i} \pm \Delta_{y_i} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1-19)$$

由中误差公式(1-9)可得

$$m_z^2 = m_x^2 + m_y^2 \quad (1-20)$$

也就是说, 两独立观测值代数和或差的方差, 等于这两个独立观测值方差之和。

由式(1-20)很容易推广到多个独立观测量值的代数和或差的函数情况。设函数为 $z = x_1 \pm x_2 \pm \dots \pm x_n$, 则

$$m_z^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2 \quad (1-21)$$

即多个观测值的代数和或差的方差,等于各个观测值方差之和。

特殊情况下,当观测值的精度相同时,设其中误差均为 m ,则

$$m_z^2 = nm^2 \quad (1-22)$$

即

$$m_z = \sqrt{n} \cdot m \quad (1-23)$$

【例 1-2】 用 30 m 长的钢尺丈量 120 m 的距离,当每尺量距中误差为 $\pm 5 \text{ mm}$ 时,全长的中误差为多少?

【解】 全长共需 4 个尺段丈量,则 $D = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$

由式(1-23)得全长中误差 $m_D = \pm 5 \times \sqrt{4} = \pm 10 \text{ (mm)}$

3. 线性函数

设有函数

$$z = k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_n x_n \quad (1-24)$$

其中, k_1, k_2, \dots, k_n 为常数,而 x_1, x_2, \dots, x_n 均为独立观测值,它们的中误差分别为 m_1, m_2, \dots, m_n 。由倍乘函数和和差函数的误差传播定律可得出其误差传播定律为

$$m_z^2 = k_1^2 m_1^2 + k_2^2 m_2^2 + \dots + k_n^2 m_n^2 \quad (1-25)$$

即常数与独立观测值乘积的代数和方差,等于各常数与相应的独立观测值乘积的方差之和。

【例 1-3】 用钢尺分五段测量某距离,得到各段距离及其相应的中误差如下,试求该距离 S 的中误差及相对中误差。

$$S_1 = 50.350 \text{ m} \pm 1.5 \text{ mm} \quad S_2 = 50.555 \text{ m} \pm 2.5 \text{ mm} \quad S_3 = 100.650 \text{ m} \pm 2.0 \text{ mm}$$

$$S_4 = 100.450 \text{ m} \pm 2.0 \text{ mm} \quad S_5 = 50.455 \text{ m} \pm 1.5 \text{ mm}$$

【解】 由题意可得 $S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 = 352.46 \text{ (m)}$

$$\begin{aligned} \text{由式(1-25)得 } m_S^2 &= k_1^2 m_1^2 + k_2^2 m_2^2 + k_3^2 m_3^2 + k_4^2 m_4^2 + k_5^2 m_5^2 \\ &= 1.5^2 + 2.5^2 + 2.0^2 + 2.0^2 + 1.5^2 = 18.75 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

S 的中误差为 $m_S = 4.33 \text{ (mm)}$

$$\text{其相对中误差为 } \frac{m_S}{S} = \frac{4.33}{352.460} = \frac{1}{81400} \approx \frac{1}{81000}$$



测试

思考练习

一、简答题

1. 建筑测量工作的基本任务是什么?
2. 什么是水准面、大地水准面和参考椭球面?
3. 测量工作的基准面和基准线是什么?
4. 测量中的平面直角坐标系和数学上的平面直角坐标系有哪些不同?
5. 什么是绝对高程(海拔)、相对高程和高差?
6. 确定地面点的位置必须进行的三项基本测量工作是什么?
7. 测量误差研究的对象是什么?
8. 举例说明系统误差与偶然误差的区别。

建筑工程测量

9. 偶然误差有哪些特性?
10. 什么叫中误差、极限误差和相对误差?

二、计算分析题

1. 已知 A 点的高程为 72.334 m, B 点到 A 点的高差为 -23.118 m, 那么 B 点的高程为多少?
2. 某地地面点的相对高程为 -15.32 m, 其对应的假定水准面的绝对高程为 72.65 m, 则该点的绝对高程是多少? 请绘出示意图。
3. 若一方向的观测中误差为 $\pm 6''$, 且每个角度都是作为两个方向之差求得的, 求六边形中六个内角和的中误差。

模块 2 水准测量



学习目标

- 理解水准测量的基本原理,掌握高差测量的计算方法。
- 掌握 DS₃ 型微倾式水准仪、自动安平水准仪、数字水准仪的构造特点。
- 掌握水准尺的特点及使用方法,掌握 DS₃ 型微倾式水准仪的使用方法。
- 掌握水准测量的数据处理,明确水准测量的误差来源。
- 掌握普通水准测量、四等水准测量的操作技能。

2.1 水准测量原理及方法

2.1.1 高程测量的基本知识

1. 高程测量的方法

确定地面点的位置,除确定地面点的平面坐标外,还要确定地面点的高程。确定地面点高程的工作称为高程测量。

高程测量根据所使用的仪器和测量原理的不同,可分为几何水准测量(简称水准测量)、三角高程测量、GPS 高程测量、气压高程测量、液体静力水准测量、摄影测量等。

(1) 水准测量,是根据水准仪提供的水平视线直接在水准标尺上读取读数,利用两个标尺读数确定两点间的高差,从而由已知点的高程推算未知点高程的方法。

(2) 三角高程测量,是通过测量已知点与未知点之间的垂直角与距离,计算未知点高程的方法。

(3) GPS 高程测量,是用 GPS 测量数据计算未知点高程的方法。

(4) 气压高程测量,是用气压测量仪器测量气压的变化,从而推算未知点高程的方法。

在以上所述的高程测量方法中,气压高程测量由于大气压力受气象变化的影响较大,其精度远远低于水准测量和三角高程测量的精度,因此只用于低精度的高程测量中。GPS 高程测量是一种新的测量方法,但它必须与高精度水准点联测才能求得高精度的高程。三角高程测量具有测定高差速度快、不受地形条件限制等优点,虽然精度低于水准测量,但却是高山地区高程测量的主要手段。水准测量精度高,特别适合精密工程和精度要求较高的测量,是高程控制测量的主要手段。

2. 高程基准与水准原点

高程基准是全国高程测量的起算依据,是建立高程系统和测量高程的基本依据。目前

我国采用的高程基准为 1985 年国家高程基准。

高程基准面就是地面点高程的统一起算面,由于被大地水准面所包围形成的大地体与整个地球最为接近,通常采用大地水准面作为高程基准面。

为了长期、牢固地表示高程基准面的位置,作为传递高程的起算点,必须建立一个长期稳固的水准点,作为全国水准测量的起算高程,这个固定点称为水准原点。1985 国家高程基准的水准原点高程为 72.260 m。

2.1.2 水准测量的原理

水准测量的基本原理是利用水准仪提供的水平视线,观测竖立在两点上的水准尺以测定两点间的高差,然后根据已知点的高程和测量的高差推算出未知点的高程。

如图 2-1 所示,在需要测定高差的 A、B 两点上分别竖立水准尺,在 A、B 两点的中点安置水准仪,水平视线在 A、B 两尺上的读数分别为 a 、 b ,则 A、B 两点的高差为

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

注意 该公式是根据在 A、B 两尺上的读数计算 A、B 两点的高差。

若水准测量是沿 AB 方向前进,则 A 点称为后视点,其竖立的标尺称为后视标尺,读数值 a 称为后视读数;B 点称为前视点,其竖立的标尺称为前视标尺,读数值 b 称为前视读数。因此,式(2-1)若用文字表达,则为两点间的高差等于后视读数减去前视读数。高差有正(+)和负(-),当 B 点高程比 A 点高时,前视读数 b 比后视读数 a 要小,高差为正;当 B 点比 A 点低时,前视读数 b 比后视读数 a 要大,高差为负。因此,水准测量的高差 h_{AB} 必须冠以“+”号或“-”号。

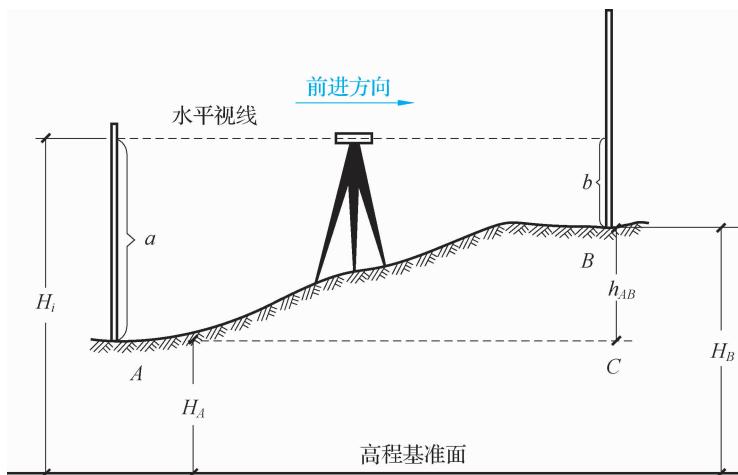


图 2-1 水准测量原理示意图

Q 想一想 式(2-1)与式(1-1)有什么区别? 假如一水准仪在一个测站读取 A、B、C 三根水准尺上的读数分别为 1.023 m、1.698 m、0.989 m,三根水准尺的立尺点高低次序是什么? h_{AB} 、 h_{AC} 、 h_{BA} 、 h_{CA} 、 h_{BC} 、 h_{CB} 的下标是什么意思? 它们具体的数值是多少?

显然,如果 A 点的高程 H_A 为已知,由式(1-1)则 B 点的高程为

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

A 点高程 H_A 加上后视读数 a 称为视线高程(简称视线高),用 H_i 表示。用 H_i 减去前视读数 b ,可求得 B 点的高程,即

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

$$H_B = H_i - b \quad (2-4)$$

采用式(2-2)求高程的方法,常称为高差法;采用式(2-4)求高程的方法,常称为视线高法。

注意 测量地面两点间的高差或点的高程,所依据的就是水准仪提供的水平视线和竖立铅垂的水准标尺。因此,水准仪视线水平和标尺竖直,是水准测量中要牢牢记住的操作要领。

2.1.3 水准测量的方法

在实际工作中,当 A 、 B 两点相距较远,或者高差较大,仅安置一次仪器不可能测得其间的高差时,必须在两点间分段连续安置仪器和竖立标尺,连续测定两标尺点间的高差,最后取其代数和,求得 A 、 B 两点间的高差,这种测量方法称为连续水准测量。

在测量过程中,高程已知的水准点称为已知点,未知点称为待定点。每安置一次仪器称为一个测站。除水准点外,其他用于传递高程的立尺点称为转点,转点是一系列临时过渡点。纳入水准路线的相邻两个水准点之间的线路称为测段,一条水准路线由若干个测段组成。

如图 2-2 所示,要测定 AB 之间的高差 h_{AB} ,在 A 、 B 之间增设 n 个测站,测得每站的高差。

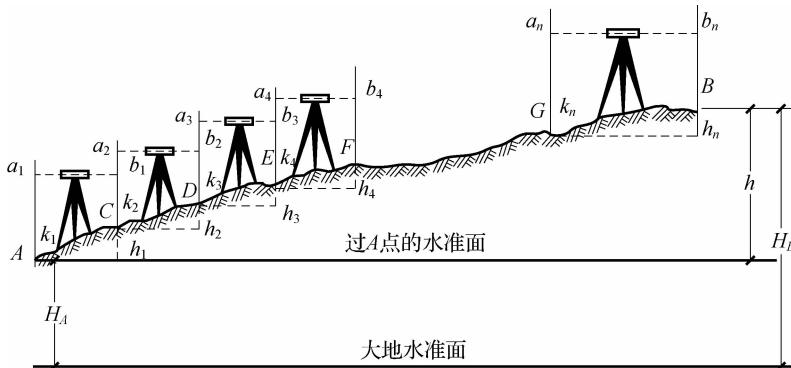


图 2-2 连续水准测量示意图

$$h_i = a_i - b_i \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

A 、 B 两点之间的高差为

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i = \sum_{i=1}^n (a_i - b_i)$$

则

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + \sum_{i=1}^n (a_i - b_i) \quad (2-5)$$

注意 如果有若干个待定点,可以按照这种方法逐点依次推求各点高程。在连续水准测量中,通常使用一对标尺。

2.1.4 水准路线的布设

水准路线布设的基本形式包括附合水准路线、闭合水准路线和支水准路线,以及由这些基本形式组合成的水准网,如图 2-3 和图 2-4 所示。

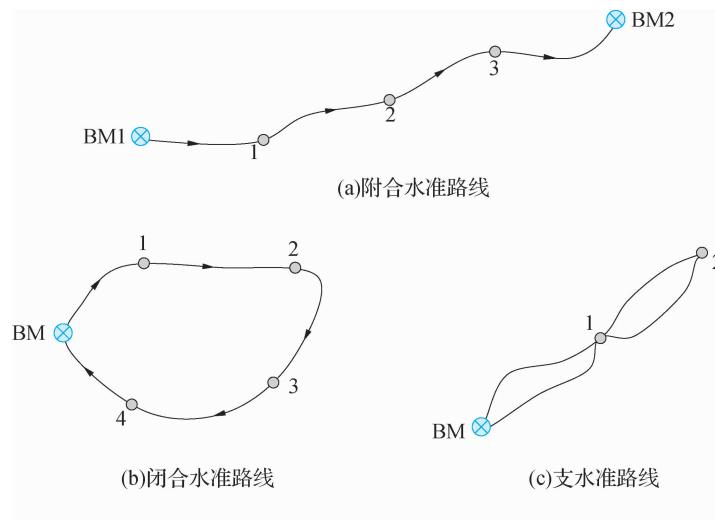


图 2-3 水准路线的基本布设形式

(1)附合水准路线。从一个已知高级水准点开始,沿一条路线进行施测,获取待定水准点的高程,最后附合到另一个已知的高级水准点上,这样的观测路线称为附合水准路线。

(2)闭合水准路线。从一已知高级水准点出发,沿一条路线进行施测,以测定待定水准点的高程,最后仍回到原来的已知点上,从而形成一个闭合环线,这样的观测路线称为闭合水准路线。

(3)支水准路线。从一个高级水准点出发,沿一条路线进行施测,以测定待定水准点的高程,其路线既不闭合又不附合,这样的观测路线形式称为支水准路线。

(4)水准网。若干条单一水准路线相互连接构成结点或网状形式,称为水准网。只有一个高级点的水准网称为独立水准网。有两个以上高级点的水准网称为附合水准网,如图 2-4 所示。

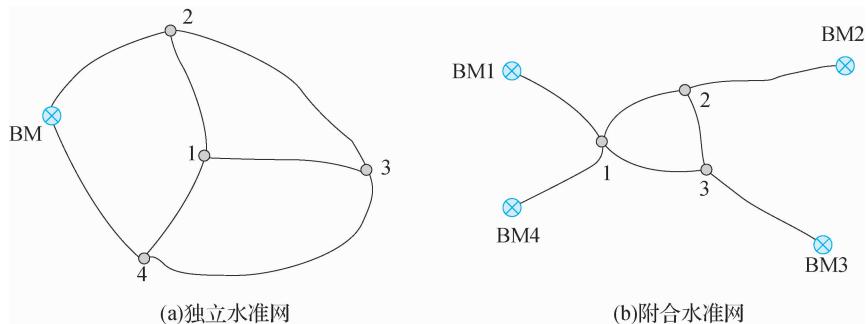


图 2-4 水准网布设形式

2.2 水准测量器具及使用

水准仪和水准标尺是水准测量的主要仪器和设备。水准仪有微倾水准仪、自动安平水准仪、激光水准仪和数字水准仪等。水准标尺有普通水准标尺和精密水准标尺等。

国产的水准仪系列有 DS₀₅、DS₁、DS₃、DS₁₀ 等型号, 其中, “D”和“S”分别为“大地测量”和“水准仪”的汉语拼音第一个字母; 05、1、3、10 等是以毫米为单位的每千米高差中数偶然中误差, 表示水准仪的精度等级。通常在书写时省略字母“D”, 直接写为 S₀₅、S₁、S₃、S₁₀ 等。

2.2.1 DS₃ 型微倾式水准仪的构造

DS₃ 型微倾式水准仪(如图 2-5 所示)主要由望远镜、水准器和基座组成。望远镜可绕仪器竖轴在水平方向旋转, 使用仪器时, 中心连接螺旋通过基座将仪器与三脚架头连接起来, 支承在三脚架上, 通过旋转基座上的脚螺旋, 使圆水准器气泡居中, 使仪器大致水平。三脚架可以伸缩、收张, 为观测员架设仪器提供方便。

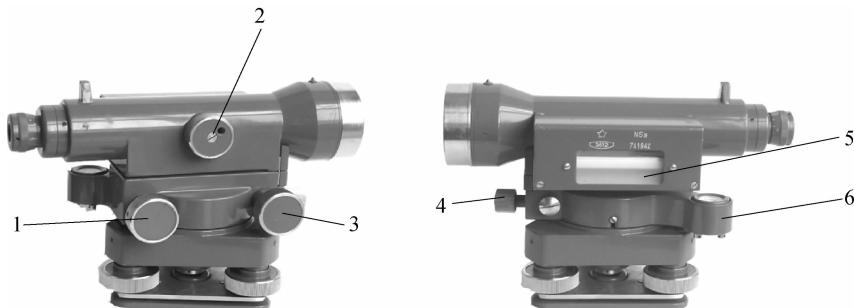


图 2-5 DS₃ 水准仪

1—微倾螺旋；2—物镜调焦螺旋；3—水平微动螺旋；4—照准部制动螺旋；
5—管水准器；6—圆水准器

1. 望远镜

望远镜由目镜、物镜、十字丝分划板、调焦(对光)螺旋、镜筒、照准器等组成。望远镜的作用是照准目标、提供一条瞄准目标的视线, 并将远处的目标放大, 提高瞄准和读数的精度。图 2-6 所示为目前常用的内对光望远镜。

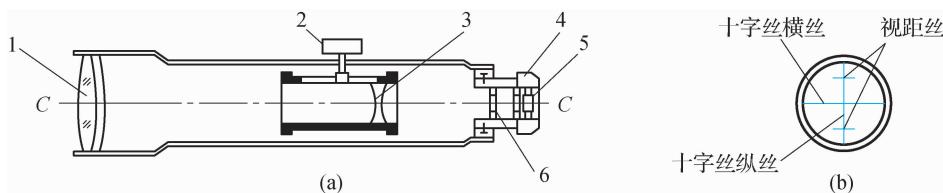


图 2-6 内对光望远镜

1—物镜；2—物镜调焦螺旋；3—物镜调焦透镜；4—目镜调焦螺旋；
5—目镜；6—十字丝分划板

如图 2-7 所示,根据几何光学原理可知,目标经过物镜及调焦透镜的作用,在十字丝分划板上形成一倒立缩小的实像,再经过目镜的作用,将倒立的实像和十字丝同时放大成虚像。此放大的虚像与用眼睛直接看到目标大小的比值即为望远镜的放大率,国产 DS₃ 型水准仪望远镜的放大率一般约为 30 倍。

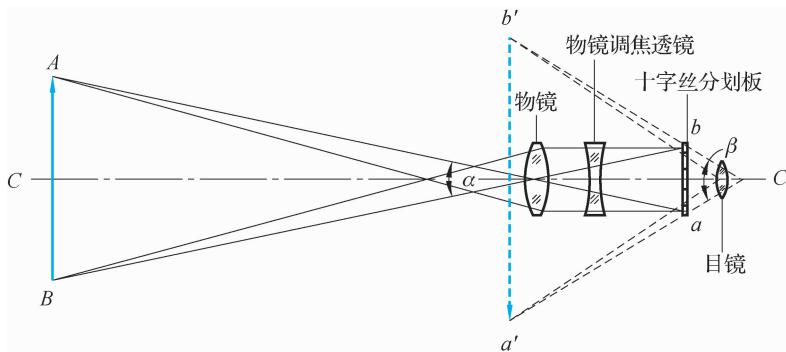


图 2-7 望远镜成像原理

为使仪器精确照准目标和读数,在物镜筒内光阑处安装了十字丝分划板。如图 2-6(b)所示,其上相互垂直的两条细线即为十字丝,其中竖直的一根称为纵丝(又称竖丝),中间的一根称为横丝(又称中丝、水平丝)。横丝上、下对称的两根短细线称为上、下丝,是用来测量距离的,又称为视距丝。

物镜光心和十字丝中心的连线称为望远镜的视准轴,如图 2-7 所示的轴线 CC。视准轴是水准仪进行水准测量的关键轴线,是用来瞄准和读数的视线。

2. 水准器

水准器是水准仪获得水平视线的重要部件,分为圆水准器和管水准器。

1) 圆水准器

圆水准器是由金属的圆柱形盒子与有机玻璃圆盖构成的,如图 2-8 所示。有机玻璃圆盖的内表面是圆球面,其半径为 0.5~2.0 m,盒内装酒精或乙醚。玻璃盖的中央有一小圆圈,其圆心即为圆水准器的零点,连接零点与球面球心的直线 L_0L_0 称为圆水准器轴,如图 2-9 所示。

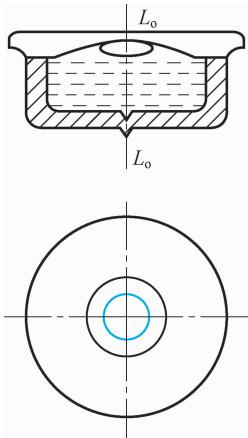


图 2-8 圆水准器

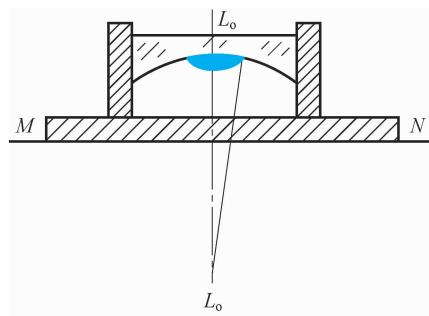


图 2-9 圆水准器轴

当圆水准器气泡的中心与水准器的零点重合时,则圆水准器轴即成竖直状态。在构造上圆水准器的轴线与外壳下表面正交,所以当圆水准器轴竖直时,外壳下表面 MN 处于水平位置。

由于圆水准器内表面的半径较短,所以用圆水准器来确定水平(或垂直)位置的精度较低。在实际工作中,常将圆水准器作为概略整平之用;精度要求较高的整平,则用管水准器来进行。

2) 管水准器

管水准器是用有机玻璃制成,其纵剖面方向的内表面为具有一定半径的圆弧,如图 2-10 所示。灵敏度高的水准器的圆弧半径约为 80~100 m,高精确的可达 200 m。封闭的管内有酒精、氯化钾或乙醚等液体,及一个恒处于最高位置的空间气泡(称为水准气泡)。

如图 2-10 所示,管水准器的中点 S 点称为水准管的零点,零点附近无分划,零点与圆弧相切的切线 LL' 称为水准管的水准轴。当气泡中点位于水准管的零点位置时,称气泡居中,水准轴处于水平位置。在管水准器上刻有 2 mm 间隔的分划线。分划线与中间的 S 点成对称状态,气泡中点的精确位置依气泡两端相对称的分划线位置确定。

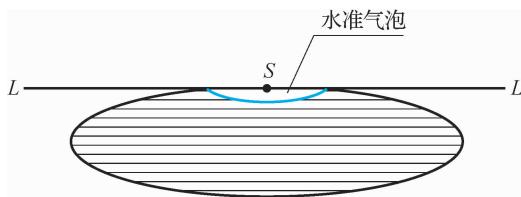


图 2-10 管水准器

气泡在水准器内快速度移动到最高点的能力称为灵敏度。水准器灵敏度的高低与水准器的分划值有关。水准器的分划值是指水准器上相邻两分划线(2 mm)间弧长所对应的圆心角值的大小,用 τ 表示,则有

$$\tau = \frac{2}{R} \cdot \rho \quad (2-6)$$

式中, τ 为水准管分划值($''$); R 为圆弧的曲率半径(mm); ρ 为弧度的秒值,即 1 弧度换算成的角度中的秒值, $\rho=206\ 265''$ 。

注意 分划值与灵敏度的关系为:分划值大,灵敏度低;分划值小,灵敏度高。但水准管气泡的灵敏度愈高,气泡愈不稳定,使气泡居中所需用的时间愈长。所以水准器的灵敏度应与仪器的性能相适应。DS₃ 型水准仪的圆水准器分划值为 $8'/2$ mm, 水准管分划值一般为 $20''/2$ mm。

为了提高水准器整平的精度,并便于观察,在水准管的上方安置一组棱镜,通过光学系统的反射和折射作用,把管气泡两端各一半的影像传递到望远镜内或目镜旁边的显微镜内,使观测者不移动位置便能看到水准器的影像。这种设置有棱镜组的水准器称为符合水准器。

3. 基座

基座的作用是支撑仪器的上部并与三脚架连接。它主要由轴座、脚螺旋、底板和三角压板构成。

2.2.2 水准尺与尺垫

1. 水准尺

水准标尺简称水准尺，是进行水准测量的工具，常用的水准尺有双面尺和塔尺两种。

(1) 双面尺，如图 2-11 所示，多用于三、四等水准测量，其长度有 2 m 和 3 m 两种，且两根尺为一对。尺的两面均有刻划，一面为红白相间，称红面尺；另一面为黑白相间，称黑面尺（也称主尺），两面的最小刻划均为 1 cm，并在分米处注字。每对双面水准尺的黑面起始数均为零，而红面尺底部的起始数分别为 4.687 m 和 4.787 m（两者的零点差为 0.1 m）。为了使水准尺更精确地处于竖直位置，多数水准尺的侧面装有圆水准器。

注意 双面水准标尺必须成对使用，观测时，特别是在读取中丝读数时应使水准标尺的圆水准器气泡居中。

(2) 塔尺，多用于等外水准测量，其长度有 2 m、3 m 和 5 m 等，用两节或多节套接在一起，尺的底部为零点，尺上黑白格相间，每格宽度为 1 cm，有的为 0.5 cm，每一米和分米处均有注记。

2. 尺垫

在进行水准测量时，为了减小水准尺下沉，保证测量精度，每根水准尺都附有一个尺垫，如图 2-12 所示，使用时先将尺垫牢固地踩入土中，再将标尺直立在尺垫的半球形的顶部。根据水准测量等级高低，尺垫的大小和重量有所不同。

注意 尺垫只用在转点上，已知点或待定点不能放尺垫。土质特别松软的地区应用尺桩进行测量。

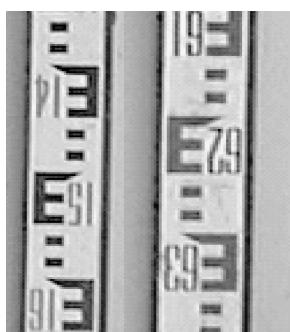


图 2-11 水准尺



图 2-12 尺桩、尺垫

2.2.3 水准仪操作方法

水准仪的使用包括水准仪的安置、粗略整平、瞄准和调焦、精确整平和读数五个步骤。

1. 安置水准仪

安置水准仪是将水准仪安装在可以伸缩的三脚架上并置于两观测点之间的步骤。首先打开三脚架并使高度适中,用目估法使架头大致水平并检查脚架是否牢固,然后打开仪器箱,用连接螺旋将水准仪连接在三脚架上。

2. 粗略整平

粗略整平简称粗平,是通过调节脚螺旋使圆水准器气泡居中,以达到仪器竖轴基本竖直、视准轴大致水平的目的,具体操作如下。

(1)松开水平制动螺旋,转动仪器,将圆水准器置于两个脚螺旋之间,如图 2-13(a)所示,当气泡中心偏离零点位于 A 处时,用两手同时相对(向内或向外)转动脚螺旋①和②,使气泡沿脚螺旋①和②连线的平行方向移至中间 B 处。

(2)转动脚螺旋③,如图 2-13(b)所示,使气泡由 B 处向中心移动,最终如图 2-13(c)所示,居于圆指标圈中。

提示 整平过程中,气泡移动的方向与左手大拇指运动的方向一致,与右手大拇指运动的方向相反。

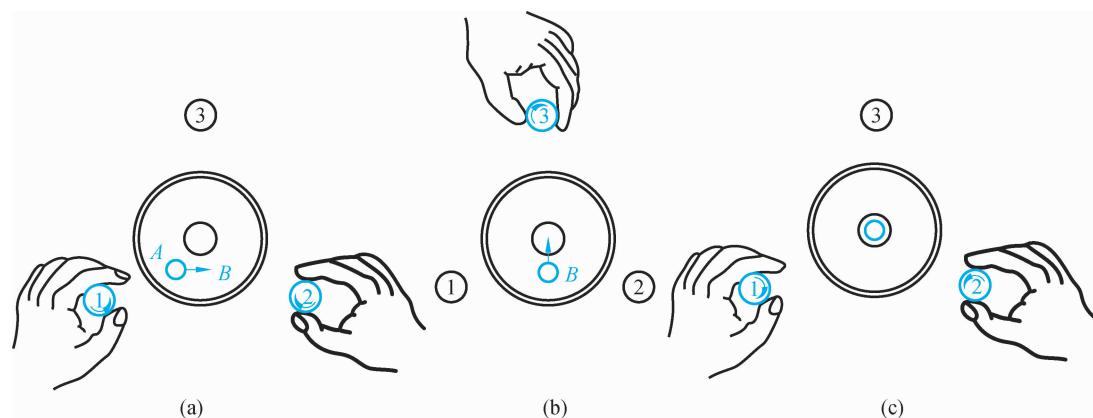


图 2-13 粗略整平

3. 瞄准和调焦

瞄准和调焦,是指用望远镜准确地照准目标。具体操作如下。

- (1)将望远镜对准明亮的背景,转动目镜使十字丝成像清晰。
- (2)松开制动螺旋,转动望远镜,利用望远镜筒上的缺口和准星粗略瞄准水准尺,旋紧水平制动螺旋。
- (3)转动物镜调焦螺旋,使水准尺成像清晰;然后转动水平微动螺旋,使十字丝纵丝照准水准尺中央,如图 2-14 所示。

(4)消除视差。当尺像与十字丝分划板平面不重合时,眼睛靠近目镜上下轻微移动,发现十字丝和目标影像有相对运动,这种现象称为视差。如图 2-15(a)、(b)所示,人眼位于中间位置时,十字丝交点 O 与目标的像 A 点重合;当眼睛略微向上

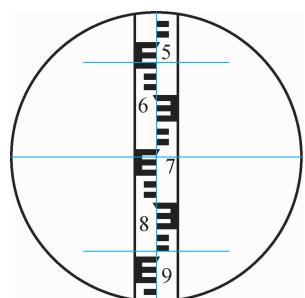


图 2-14 瞄准读数



时, O 点又与 B 点重合; 当眼睛略微向下时, O 点便与 C 点重合了。视差会带来读数误差, 观测中必须消除。消除视差的方法就是反复调节物镜、目镜调焦螺旋, 直至眼睛在任何位置观测十字丝所照准的读数始终清晰, 如图 2-15(c) 所示是没有视差的情况。

图文

瞄准和调焦的主要步骤及操作要点

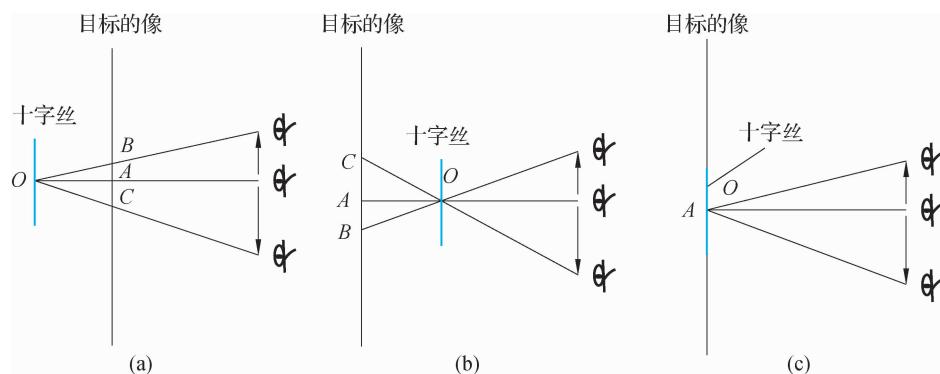


图 2-15 消除视差

4. 精确整平

精确整平简称精平, 是使望远镜的视线精确水平的步骤。微倾水准仪的水准管上部装有一组棱镜, 可将水准管气泡两端折射到镜管旁的符合水准观察窗内。若气泡两端的像不相符合, 如图 2-16(a) 所示, 说明视线不水平, 这时可用右手转动微倾螺旋使气泡两端的像符合为一抛物线形, 如图 2-16(b) 所示, 此时仪器便可提供一条水平视线, 以满足水准测量基本原理的要求。

提示 气泡左半部分的移动方向总与右手大拇指的方向相反。

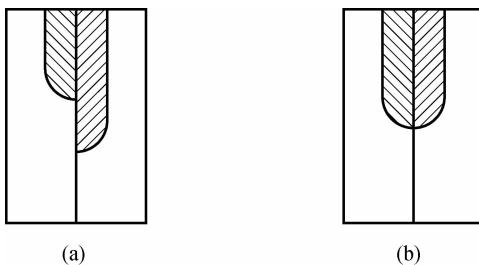


图 2-16 精确整平

5. 读数

符合水准器气泡居中后应立即用十字丝在水准尺上的读数。由于现在的水准仪多是倒像望远镜, 所以在尺上应由上而下进行读数, 先估读毫米数, 后读米、分米、厘米数。读数后再检查符合水准器气泡是否居中, 若不居中, 应再次精平, 重新读数。

注意 水准仪使用步骤一定要按上面顺序进行, 不能颠倒, 特别是读数前的符合水准器气泡的调整, 一定要在读数前进行。

2.3 普通水准测量

水准测量根据精度不同分为一、二、三、四等水准测量、等外水准测量等。一等水准测量精度最高,是建立国家高程控制网的骨干,同时也是研究地壳垂直位移及有关科学的主要依据。二等水准测量精度低于一等水准测量,是建立国家高程控制的基础。三、四等水准测量,其精度依次降低,直接为地形测图和各种工程建设服务。等外水准测量,通常被称为普通水准测量或图根水准测量,精度低于四等水准量,主要用于测定图根点的高程及用于一般性工程水准测量,是实际工作中最常见的测量高程工作。

普通水准测量包括拟定水准测量线路、选点埋石、观测、计算等工作,其主要技术要求见表2-1。

表2-1 普通水准测量的主要技术要求

等级	路线长度	水准仪	水准尺	视线长度	观测次数		往返较差、附合或环线闭合差	
					与已知点联测	附合或环线	平地	山地
等外	$\leq 5\text{ km}$	DS ₃	单面	100 m	往返各一次	往一次	$\pm 40\sqrt{L}\text{ mm}$	$\pm 12\sqrt{n}\text{ mm}$

注: L 为水准路线长度(km); n 为测站数。

 提示 较差是指若干次测量结果的差值。

1. 拟定水准路线

进行水准测量前必须先做技术设计,其目的在于从全局考虑,统筹安排,使整个水准测量任务有计划地顺利完成,此项工作的好坏将直接影响到水准测量的速度、质量及其相关的工程建设。因此,要求测量工作者在开展工作之前必须做好水准路线的拟定工作。

水准路线的拟定工作包括水准路线的选择和水准点位的确定。选择水准路线的基本要求是必须满足具体任务的需要,如施测国家三、四等水准测量,必须以高一等级的水准点为起始点,在高等级水准点基础上均匀地分布水准点的位置。不同等级的水准测量和不同性质的工程建设,其精度要求是不同的,因此拟定水准路线时应按规范要求进行。

拟定水准路线首先要收集现有的较小比例尺地形图,收集测区已有的水准测量资料,包括水准点的高程、精度、高程系统、施测年份及施测单位。设计人员还应亲自到现场勘察,核对地形图的正确性,了解水准点的现状,如是保存完好还是已被破坏。在此基础上根据任务要求确定如何合理使用已有资料,然后进行图上设计。一般说来,精度要求高的水准路线应该沿公路布设,精度要求较低的水准路线也应尽可能沿各类道路布设,此目的是使测量工作尽可能地在坚实的地面上进行,从而使仪器和标尺都能保持稳定。为了不多设测站,并保证足够的精度,还应使路线的坡度尽量小。拟定水准路线的同时应考虑水准点的位置。对于较大测区,如果水准路线布成网状,则应考虑数据处理的初步方案,以便内业工作顺利进行。

图上设计结束后,绘制一份水准路线布设图。图上按一定比例绘出水准路线、水准点的位置,注明水准路线的等级、水准点的编号。

2. 选点、埋石

水准路线拟定后,便可根据设计图到实地踏勘,选点和埋石。踏勘,就是到实地查看图上设计是否与实地相符;选点,就是选择水准点具体位置;埋石,就是进行水准点的标定工作。

水准点的选点要求是交通便利、土质坚硬、坡度较小且均匀等。

水准点按性质可分为临时性水准点和永久性水准点两大类。临时性水准点可选用固定的坚硬标志,或将大木桩打入地下作为标志。永久性水准点通常是标石,其又分为标准类型标石和普通标石两种。标准类型标石规格和埋设如图 2-17(a)所示,普通标石规格和埋设如图 2-17(b)所示。标石埋设工作最好是现场浇灌。

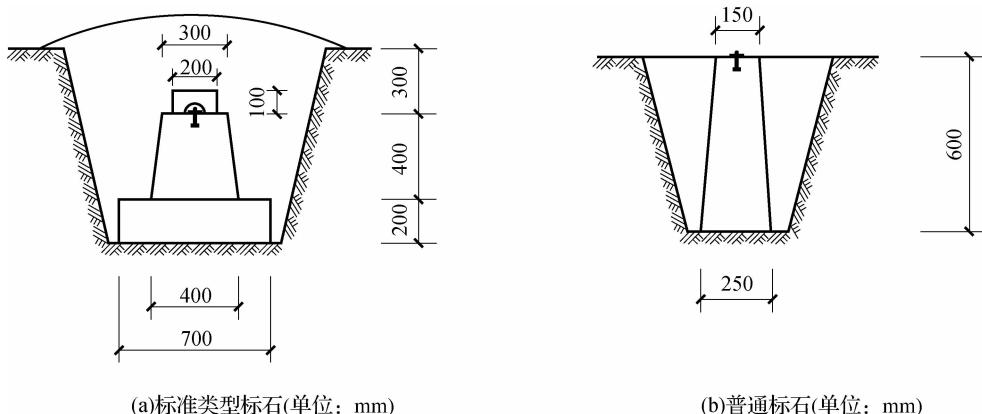


图 2-17 永久性水准点

3. 观测、记录

普通水准测量的外业观测程序如下。



视频

普通水准测量
外业观测主要
步骤演示

(1) 将水准尺立于已知高程的水准点上作为后视,水准仪置于施测路线附近合适的位置,在施测路线的前进方向上取与后视距大致相等的距离放置尺垫,当尺垫踩实后,将水准尺立在尺垫上作为前视尺。

(2) 观测员将仪器用圆水准器粗平之后瞄准后视标尺,用微倾螺旋将符合水准气泡精确居中,用中丝读后视读数,读至毫米,记录相应栏内。

(3) 掉转望远镜瞄准前视标尺,此时水准管气泡一般将会有少许偏离,将气泡居中,用中丝读前视读数。

(4) 记录员根据观测员的读数在手簿中记下相应数字,并立即计算高差。

以上为第一个测站的全部工作。第一站工作结束之后,记录员告诉后标尺员向前转移,并将仪器迁至第二测站。此时,第一测站的前视点便成为第二测站的后视点。按照相同的工作程序进行第二站的工作。依次沿水准路线方向施测,直至全部路线观测完为止。记录、计算见表 2-2。

表 2-2 普通水准测量记录手簿

测自 BM. A 至 BM. B _____ 年 _____ 月 _____ 日 观测者: _____ 记录者: _____

测站	测点	水准尺读数/mm		高差/m		高程/m	备注
		后视读数	前视读数	+	-		
1	BMA	1 453		0.580		132.815	
	TP1		0 873				
2	TP1	2 532		0.770			
	TP2		1 762				
3	TP2	1 372		1.337			
	TP3		0 035				
4	TP3	0 874		0.929			
	TP4		1 803				
5	TP4	1 020		0.564			
	BMB		1 584			134.009	
计算 检核	Σ	7 251	6 057	2.687	1.493		
		Σ _a - Σ _b = +1.194		Σ _h = +1.194		h _{AB} = H _B - H _A = +1.194	

4. 水准测量成果计算

水准测量外业结束后即可进行内业计算。计算前,必须对外业手簿进行检查,待没有错误方可进行成果计算。

1) 高差闭合差的计算

(1)附合水准路线。附合水准路线各段测得的高差总和 $\sum h_{\text{测}}$ 应等于两水准点的高程之差 $\sum h_{\text{理}}$ 。但是由于测量误差的影响,使得实测高差总和与其理论值之间有一个差值,这个差值称为附合水准路线的高差闭合差。

$$f_h = \sum h_{\text{测}} - \sum h_{\text{理}} = \sum h_{\text{测}} - (H_{\text{终}} - H_{\text{始}}) \quad (2-7)$$

式中, f_h 为高差闭合差; $\sum h_{\text{测}}$ 为实测高差总和; $H_{\text{终}}$ 为路线终点已知高程; $H_{\text{始}}$ 为路线起点已知高程。

(2)闭合水准路线。由于起点、终点均为同一水准点,因此高差总和的理论值应等于零,即 $\sum h_{\text{理}} = 0$ 。但是由于测量误差的存在,使得实测高差的总和不一定等于零,其值称为闭合水准路线的高差闭合差。

$$f_h = \sum h_{\text{测}} - \sum h_{\text{理}} = \sum h_{\text{测}} - 0$$

即

$$f_h = \sum h_{\text{测}} \quad (2-8)$$

(3)支水准路线。通过往返观测,得到往返测高差的总和 $\sum h_{\text{往}}$ 和 $\sum h_{\text{返}}$,理论上它们应大小相等,符号相反,即 $\sum h_{\text{理}} = 0$ 。但由于测量误差的影响,两者之间产生一个差值,这

个差值称为支水准路线的高差闭合差。

$$f_h = \sum h_{\text{测}} = \sum h_{\text{往}} + \sum h_{\text{返}} \quad (2-9)$$

注意 高差闭合差是衡量观测质量的精度指标,其产生的原因很多,但其数值必须在一定限值内。

2) 高差闭合差的调整和高程计算

(1) 高差闭合差的调整。当高差闭合差在允许值范围之内时,可进行闭合差的调整。附合或闭合水准路线高差闭合差分配的原则是将闭合差按距离或测站数成正比例反号改正到各测段的观测高差上。高差改正数按式(2-10)或式(2-11)计算。

$$V_i = -\frac{f_h}{\sum L} \cdot L_i \quad (2-10)$$

或

$$V_i = -\frac{f_h}{\sum n} \cdot n_i \quad (2-11)$$

式中, V_i 为测段高差的改正数; f_h 为高差闭合差; $\sum L$ 为水准路线总长度; L_i 为测段长度; $\sum n$ 为水准路线测站数总和; n_i 为测段测站数。

高差改正数的总和应与高差闭合差大小相等,符号相反,即

$$\sum V_i = -f_h \quad (2-12)$$

用式(2-12)可检核计算的正确性。

(2) 计算改正后的高差。对于附合或闭合水准路线,将各段高差观测值加上相应的高差改正数,可求出各段改正后的高差,即

$$h_i = h_{\text{测}} + V_i \quad (2-13)$$

对于支水准路线,当闭合差符合要求时,可按下式计算各段平均高差:

$$h = \frac{h_{\text{往}} - h_{\text{返}}}{2} \quad (2-14)$$

式中, h 为平均高差; $h_{\text{往}}$ 为往测高差; $h_{\text{返}}$ 为返测高差。

(3) 计算各点高程。根据改正后的高差,由起点高程逐一推算出其他各点的高程。最后一个已知点的推算高程应等于它的已知高程,以此检查计算是否正确。

【例 2-1】 某附合水准水准路线观测结果如图 2-18 所示,起始点 BMA 的高程 $H_A = 68.441$ m,终点 BMB 的高程 $H_B = 72.381$ m,试计算出各待定 1、2、3 点的高程。

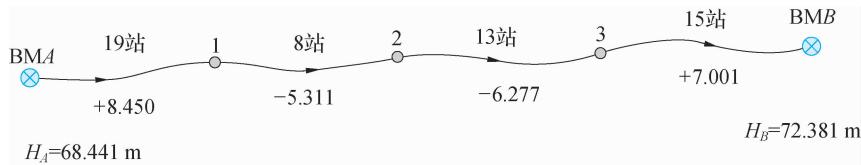


图 2-18 附合水准路线观测结果

【解】 (1) 高差闭合差的计算。

$$\sum h_{\text{测}} = 8.450 - 5.311 - 6.277 + 7.001 = 3.863(\text{m})$$

$$\sum h_{\text{理}} = (H_{\text{终}} - H_{\text{始}}) = (H_B - H_A) = 72.381 - 68.441 = 3.940 \text{ (m)}$$

$$f_h = \sum h_{\text{测}} - \sum h_{\text{理}} = 3.863 - 3.940 = -0.077 \text{ (m)} = -77 \text{ (mm)}$$

如图 2-18 所示, 测站数 $n = 19 + 8 + 13 + 15 = 55$, 则有

$$f_h \text{ 允许} = \pm 12 \sqrt{n} = \pm 12 \sqrt{55} = \pm 89 \text{ (mm)}$$

因为 $f_h < f_h \text{ 允许}$, 符合限差要求, 所以可以进行闭合差分配。

(2) 当高差闭合差在允许值范围之内时, 可进行闭合差的调整。

各段高差改正数按式(2-11)计算得

$$V_1 = +27 \text{ (mm)}, V_2 = +11 \text{ (mm)}, V_3 = +18 \text{ (mm)}, V_4 = +21 \text{ (mm)}$$

由式(2-13), 各段改正后高差为

$$h_1 = +8.450 + 0.027 = +8.477 \text{ (m)}$$

$$h_2 = -5.311 + 0.011 = -5.300 \text{ (m)}$$

$$h_3 = -6.277 + 0.018 = -6.259 \text{ (m)}$$

$$h_4 = +7.001 + 0.021 = +7.022 \text{ (m)}$$

(3) 根据公式 $H_i = H_{i-1} + h_i$ 得各点的高程。

$$H_1 = H_A + h_1 = 68.441 + 8.477 = 76.918 \text{ m}$$

$$H_2 = H_1 + h_2 = 76.918 + (-5.300) = 71.618 \text{ m}$$

$$H_3 = H_2 + h_3 = 71.618 + (-6.259) = 65.359 \text{ m}$$

$$H_{B\text{测}} = H_3 + h_4 = 65.359 + 7.022 = 72.381 \text{ m} = H_B$$

5. 水准测量的测站检核

为了确保每站观测高差的准确性, 提高水准测量的精度, 水准测量必须进行测站检核。

所谓的测站检核, 就是对每一站进行的检核。常用的测站检核方法主要有以下两种。

(1) 变动仪器高法。同一个测站上用不同的仪器高度测得两次高差, 并对两次的测量值进行检核。要求: 改变仪器高度应大于 10 cm, 两次所测高差之差不超过容许值(如等外水准测量容许值为 $\pm 6 \text{ mm}$), 取其平均值作为该测站最后结果, 否则必须重测。

(2) 双面尺法。分别对双面水准尺的黑面和红面进行观测, 利用前、后视的黑面和红面读数, 分别算出两个高差。如果两次所测高差之差不超过容许值, 取其平均值作为该测站最后结果, 否则必须重测。

6. 普通水准测量、记录、资料整理的注意事项

(1) 在水准点(已知点或待定点)上立尺时, 不得放尺垫。

(2) 水准尺应立直, 不能左右倾斜, 更不能前后俯仰。

(3) 在观测员未迁站之前, 后视点尺垫不能移动。

(4) 前后视距离应大致相等, 立尺时可用步丈量。

(5) 外业观测记录必须在编号、装订成册的手簿上进行。已编号的各页不得任意撕去, 记录中间不得留下空页或空格。

(6) 必须在现场用铅笔、签字笔直接将外业原始观测值和记事项目记录在手簿中, 记录的文字和数字应端正、整洁、清晰, 杜绝潦草模糊。

(7) 外业手簿中原始数据的修改以及观测结果作废时, 禁止擦拭、涂抹与刮补, 而应以横

建筑工程测量

线或斜线划去，并在本格内的上方写出正确数字和文字。除计算数据外，所有观测数据的修改和作废必须在备注栏内注明原因及重测结果记于何处。重测记录前需加“重测”二字。

在同一测站内不得有两个相关数字“连环更改”。例如，更改了标尺的黑面前两位读数后就不能再改同一标尺的红面前两位读数，否则就叫连环更改。有连环更改记录应立即废去重测。

对于尾数读数有错误（厘米和毫米读数）的记录，不论什么原因都不允许更改，而应将该测站的观测结果废去重测。

（8）有正、负意义的量在记录计算时都应带上“+”、“-”号，正号不能省略。中丝读数要求读记四位数，前后的零都要读记。

（9）作业人员应在手簿的相应栏内签名，并填注作业日期、开始及结束时刻、天气及观测情况和使用仪器型号等。

（10）作业手簿必须经过小组认真地检查（即记录员和观测员各检查一遍），确认合格后方可提交上一级检查验收。

2.4 四等水准测量

四等水准测量工作和普通水准工作大致相同，都需要经历拟定水准线路、选点、埋石、观测等程序，所不同的是四等水准测量必须使用双面尺法，且技术要求更为严格。

1. 技术要求

四等水准路线的观测应以测段为单位逐段进行。一个测段的观测，应从水准点开始连续设站，逐站观测。每站观测时，对已知点和待求高程的水准点，标尺应直接立在水准点标志中心，而在转点上应安放尺垫，将标尺立在尺垫上。四等水准测量的主要技术要求及每一测站观测的主要技术要求分别见表 2-3 和表 2-4。

表 2-3 四等水准测量的主要技术要求

等级	路线 长度	水准仪 型号	水准尺	观测次数		往返较差或闭合差		每千米高 差全中误差
				与已知点联测	附合或闭合	平地	山地	
四等	$\leqslant 16 \text{ km}$	DS ₃	双面	往返各一次	往一次	$\pm 20\sqrt{L} \text{ mm}$	$\pm 6\sqrt{n} \text{ mm}$	10 mm

注： L 为水准路线长度(km)； n 为测站数。

表 2-4 四等水准测量测站观测的主要技术要求

等级	前后视距	前后视距差	前后视距累积差	视线高度	红黑面读数差	红黑面高差之差
四等	$\leqslant 100 \text{ m}$	$\leqslant 3 \text{ m}$	$\leqslant 10 \text{ m}$	三丝能读数	$\leqslant 3 \text{ mm}$	$\leqslant 5 \text{ mm}$

2. 观测和记录

四等水准测量一般是用视距测量，即根据上下丝读数直接读取距离，观测顺序为后、后、前、前。水准路线为附合路线或闭合路线时采用单程测量。水准支线应进行往返测或单程双转点法观测。

提示 视距测量是利用视距丝装置及水准标尺，根据光学和几何学原理测定两点间距离的一种方法，视距测量距离等于上、下丝读数之差乘以 100 倍。

四等水准测量在一个测站的观测和记录步骤如下。

1)准备

首先概略测定前后视距离,调整仪器或者前视标尺,使前、后视距差符合要求。

2)观测后视标尺

直接在标尺上读后视距离,记录为表 2-5 所示手簿中的(12);读取标尺黑面中丝读数,记录为手簿中的(3);后视标尺翻面,读取红面中丝读数,记录为手簿中的(8)。

3)观测前视标尺

直接在标尺上读前视距离,记录为表 2-5 所示手簿中的(13);读取标尺黑面中丝读数,记录为手簿中的(4);后视标尺翻面,读取红面中丝读数,记录为手簿中的(7)。

注意 如果使用微倾式水准仪,在读取中丝读数时应当调节符合水准器使气泡影像符合。

表 2-5 四等水准测量手簿示例

测站编号	测点编号	后尺	下丝	前尺	下丝	方向及尺号	标尺读数/mm		$K + \text{黑} - \text{红}/\text{mm}$	高差中数/m	备注
			上丝		上丝		黑面	红面			
		后距		前距							
视距差 d/m		$\sum d/\text{m}$									
1	BM1 TP1	(1)	(5)	后	(3)	(8)	(10)				后视: No. 12: 4787 前视: No. 13: 4687
		(2)	(6)	前	(4)	(7)	(9)				
		(12)	(13)	后—前	(16)	(17)	(11)	(18)			
		(14)	(15)								
2	TP1 TP2			后 No. 12	1 384	6 171	0				后视: No. 12: 4787 前视: No. 13: 4687
				前 No. 13	0 551	5 239	-1				
		37.4	37.6	后—前	+0 833	+0 932	+1	+0.832 5			
		-0.2	-0.2								
3	TP2 TP3			后	1 934	6 621	0				后视: No. 12: 4787 前视: No. 13: 4687
				前	2 008	6 796	-1				
		37.4	37.5	后—前	-0 074	-0 175	+1	+0.074 5			
		-0.1	-0.3								
4	TP3 BM2			后	1 726	6 513	0				后视: No. 12: 4787 前视: No. 13: 4687
				前	1 866	6 554	-1				
		37.5	37.7	后—前	-0 140	-0 041	+1	+0.140 5			
		-0.2	-0.5								

3. 手簿的计算与检核

每个测站的观测、记录与计算应同时进行,以便及时发现和纠正错误。测站上的所有计算工作完成并且符合限差要求时方可迁站。测站上的计算项目有以下几项。

1) 前后视距差计算

$$\text{前后视距差(14)} = (12) - (13) \quad (2-15)$$

$$\text{前后视距差累积(15)} = \text{本站(14)} + \text{前站(15)} \quad (2-16)$$

2) 有关高差的计算及检核

$$\text{后视标尺红黑面读数差(10)} = K_1 + (3) - (8) \quad (2-17)$$

$$\text{前视标尺红黑面读数差(9)} = K_2 + (4) - (7) \quad (2-18)$$

式(2-17)与式(2-18)中, K_1 为后视标尺红面起点刻划, K_2 为前视标尺红面起点刻划。当 $K_1 = 4\ 687$ 时, $K_2 = 4\ 787$; 当 $K_1 = 4\ 787$ 时, $K_2 = 4\ 687$ 。

$$\text{黑面高差(16)} = (3) - (4) \quad (2-19)$$

$$\text{红面高差(17)} = (8) - (7) \quad (2-20)$$

$$\text{红黑面高差之差(11)} = (16) - (17) \pm 100 = (10) - (9) \quad (2-21)$$

$$\text{高差中数(18)} = [(16) + (17) \pm 100] / 2 \quad (2-22)$$

式(2-21)与式(2-22)中的“±”,当后视标尺红面起点刻划为 4 687 时,取“+”,否则取“-”。

4. 工作间歇

每天作业结束或因故需临时中断作业时,应尽量在水准点上结束;否则,应选择两个坚固可靠、光滑突出、便于放置标尺的固定地物(如桥墩、墓碑等)作为间歇点。间歇后应进行检测,检测结果与间歇前的高差互差不超过 5 mm 时即可起测。

当无法找到理想的固定地物作为间歇点时,可以在最后两个测站的转点处打入钉有圆帽铁钉的三个木桩作为间歇点。间歇后起测,首先检测最后测站的两个转点间的高差,如果间歇前、后两次高差之差不超过 5 mm,可由最后一个转点起测。如果超过 5 mm,则后退检测前一测站的两个转点,若间歇前后的高差较差小于 5 mm,则从第二个转点处起测;如仍然超限,再检测第一个与最后一个转点间的高差,如果满足要求,则说明第二个转点有变动,从最后一个转点起测;如果检测仍然超过限差,则说明三个转点中至少有两个被破坏,则应退至前一个水准点处开始测量。



测试

5. 高程计算

四等水准测量的高程计算原理与普通水准测量一样,同样须进行高程闭合差的计算与调整。只有当高程闭合差符合限差要求(见表 2-3)时,才可进行高程的计算,相应的计算公式参见 2.3 节。

2.5 水准仪的检验与校正

为了保证水准测量结果的正确可靠,应在作业前对水准仪进行检验,如不符合条件时,应送有资质的部门校正。在作业过程中还要定期进行检验。

2.5.1 水准仪应满足的几何条件

如图 2-19 所示,水准仪的主要轴线有四条:仪器的竖轴(VV)、圆水准器轴(L_oL_o)、水准管轴(LL)和望远镜的视准轴(CC)。根据水准测量的原理,水准仪必须能提供一条水平视线,才能正确地测出两点间的高差,因此,水准仪在结构上应满足一定的几何条件。

1. 水准仪应满足的主要条件

(1)水准管轴(LL)应与望远镜的视准轴(CC)平行。该条件若不满足,那么水准管气泡居中后,水准管轴已经水平而视准轴却未水平,不符合水准测量基本原理的要求。

(2)望远镜的视准轴(CC)不因调焦而变动位置。该条件是为满足第一个条件而提出的,如果望远镜在调焦时视准轴位置发生变动,就不能保证不同位置的视线都能够与固定不变的水准管轴平行,而望远镜的调焦在水准测量中是不可避免的,因此必须保证望远镜的视轴不因调焦而变动位置。

2. 水准仪应满足的次要条件

(1)圆水准器轴(L_oL_o)应与水准仪的竖轴(VV)平行。这是为了能迅速地整平好仪器,提高作业速度。因为满足此条件后,当圆水准器的气泡居中时,仪器的竖轴也基本处于铅垂状态,从而将仪器旋转至任何位置都使水准管的气泡居中。

(2)十字丝的横丝应当垂直于仪器的竖轴。满足此条件后,当仪器竖轴已经处于铅垂状态时,就不必严格用十字丝的交点面在水准尺上读数,可以用交点附近的横丝读数。

水准仪出厂时经过检验是满足上述关系的,但由于运输中的震动和长期使用的影响,各轴线的关系可能发生变化,因此作业之前必须对仪器进行检验校正。

2.5.2 圆水准器的检验与校正

1. 检验目的

圆水准器的检验目的是使圆水准器轴平行于仪器竖轴。

2. 检验原理

当圆水准器的气泡居中时,若竖轴 VV 与圆水准器轴 L_oL_o 平行,则将仪器旋转后,气泡仍能保证居中。若两轴线不平行,如图 2-20(a)所示,圆水准器轴 L_oL_o 与铅垂线重合,而竖轴 VV 则偏离铅垂线 α 角;那么将仪器旋转 180°后,如图 2-20(b)所示,圆水准器轴 L_oL_o 从竖轴 VV 右侧移至左侧,与铅垂线的夹角为 2α ,圆水准器气泡就偏离了中心位置(气泡偏离的弧长所对的中心角等于 2α)。

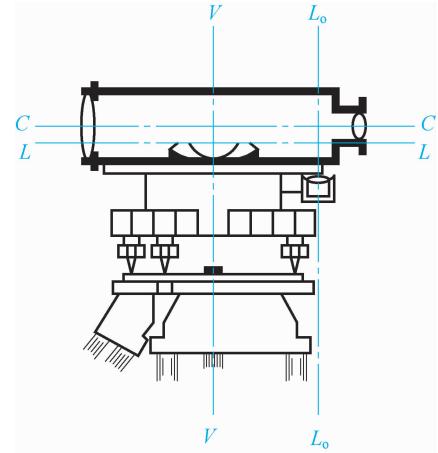


图 2-19 水准仪轴线关系

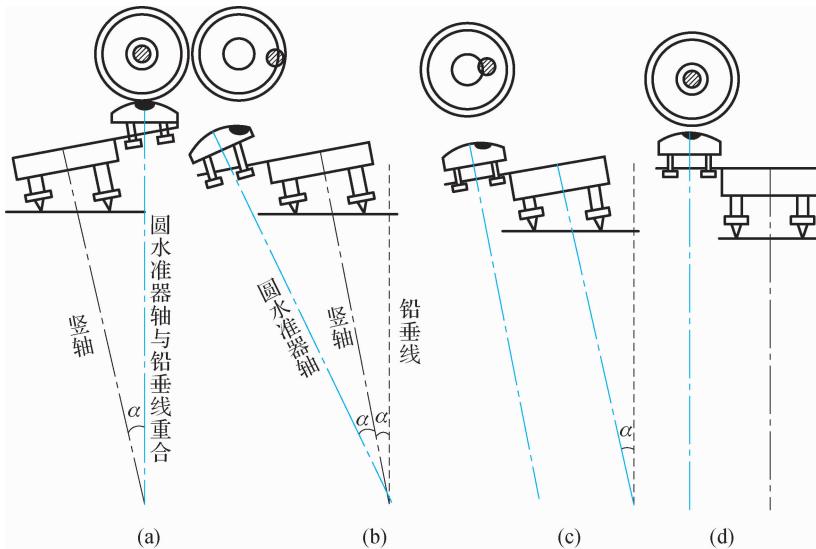


图 2-20 圆水准器轴平行于仪器轴的检验与校正

3. 检验方法

转动脚螺旋使圆水准器气泡居中,然后将仪器旋转 180° ,若气泡仍居中,说明圆水准器轴 L_oL_o 平行于仪器竖轴 VV ;若气泡偏离中心位置,说明这两轴不平行,需要校正。

4. 校正方法

如图 2-21 所示,用校正针拨动圆水准器下面的三个校正螺丝,使气泡中心向圆圈中心移动偏离值的一半,如图 2-20(c)所示,此时圆水准器轴与竖轴平行;再旋转脚螺旋使气泡居中,如图 2-20(d)所示,此时竖轴处于铅垂状态。校正工作须反复进行,直到仪器旋至任何位置气泡都居中为止。

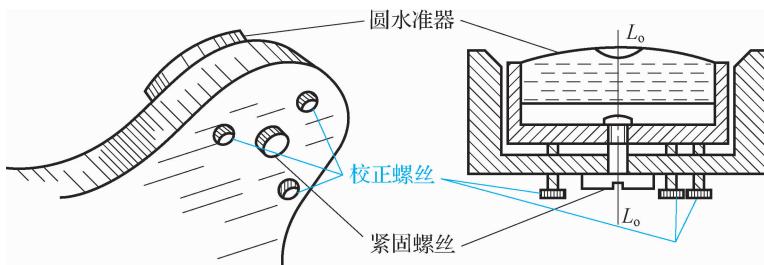


图 2-21 圆水准器校正装置

2.5.3 十字丝横丝的检验校正

1. 检验目的

十字丝横丝的检验目的是使十字丝横丝垂直于仪器的竖轴。

2. 检验原理

如果十字丝横丝不垂直于仪器的竖轴,当竖轴处于竖直位置时,十字丝横丝是不水平

的,横丝的不同部位在水准尺上的读数也就不相同。

3. 检验方法

仪器整平后,从望远镜视场内选择一个清晰的目标点,用十字丝交点照准目标点,拧紧制动螺旋。转动水平微动螺旋,若目标点始终沿横丝作相对移动,如图 2-22(a)、(b)所示,说明十字丝横丝垂直于竖轴;如果目标点偏离横丝,如图 2-22(c)、(d)所示,则表明十字丝横丝不垂直于竖轴,需要校正。

4. 校正方法

松开目镜座上的三个十字丝环固定螺丝(有的仪器须卸下十字丝环护罩),松开四个十字丝环压环螺丝,如图 2-23 所示。转动十字丝环,使横丝与目标点重合,再进行检验,直到目标点始终在横丝上相对移动为止,最后拧紧固定螺丝,有护罩的盖好护罩。

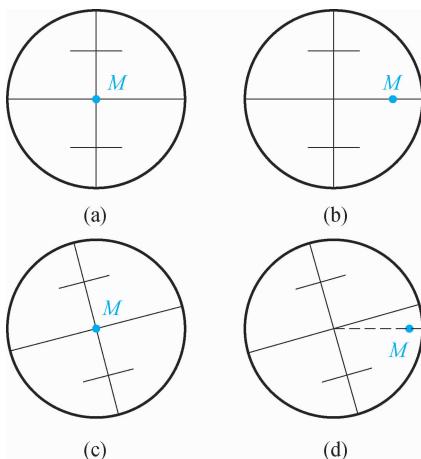


图 2-22 十字横丝的检验

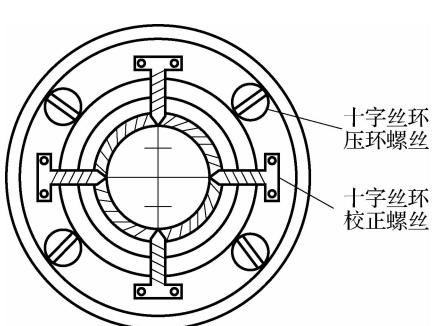


图 2-23 十字丝校正装置

2.5.4 水准管轴的检验校正

1. 检验目的

水准管轴的检验目的是使水准管轴平行于视准轴。

2. 检验原理

若水准管轴与视准轴不平行,会出现一个交角 i 。在地面上选定两固定点 A、B,将仪器安置在两点中间,测出正确高差 h_{AB} ,然后将仪器移近 A 点(或 B 点),再测高差 h_{AB}' 。若 $h_{AB} = h_{AB}'$,则水准管轴平行于视准轴,即 i 角为零;若 $h_{AB} \neq h_{AB}'$,则两轴不平行。

注意 由于 i 角的影响产生的读数误差称 i 角误差,此项检验也称 i 角检验。

3. 检验方法

如图 2-24(a)所示,在一平坦地面上选择相距 80~100 m 的两点 A、B,分别在 A、B 两点打入木桩,在木桩上竖立水准尺。将水准仪安置在 A、B 两点的中间,使前、后视距相等。精确整平仪器后,依次照准 A、B 两点上的水准尺读数,设读数分别为 a_1 和 b_1 ,因前、后视距相等,所以 i 角对前、后视读数的影响均为 x ,A、B 两点的高差为

$$h_1 = (a_1 - x) - (b_1 - x) = a_1 - b_1$$

因抵消了 i 角误差的影响, 所以由 a_1 、 b_1 算出的高差是正确高差。

将仪器移至离 B 点约 3 m 处, 如图 2-24 (b) 所示, 精确整平仪器后, 读取 B 尺读数 b_2 。由于仪器离 B 点很近, i 角对 b_2 的影响很小, b_2 可认为是正确读数。根据正确高差可求出 A 尺的正确读数为 $a_2' = h_1 + b_2$, 设 A 尺的实际读数为 a_2 , 若 $a_2' = a_2$, 说明满足条件。当 $a_2 > a_2'$ 时, 说明视准轴向上倾斜; 当 $a_2 < a_2'$ 时, 视准轴则向下倾斜。

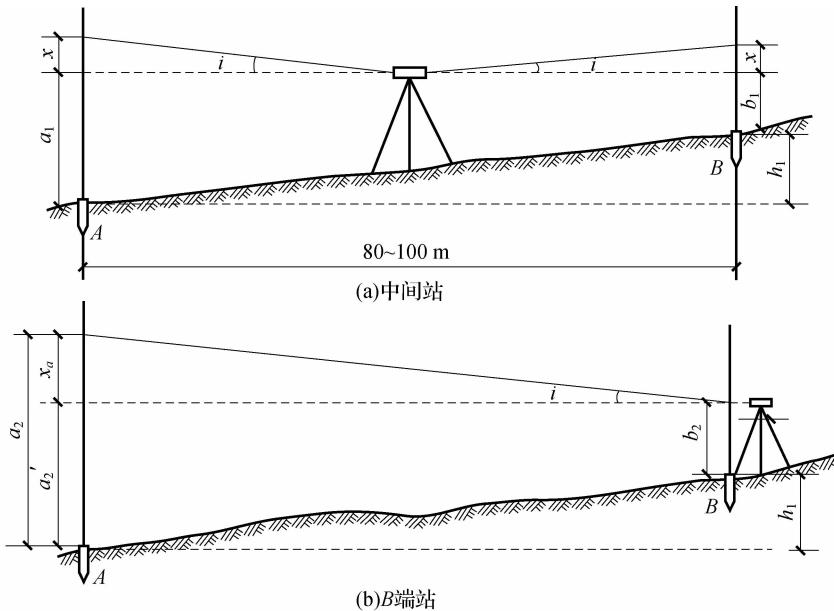


图 2-24 水准管轴平行于视准轴的检验

4. 校正方法

水准仪不动, 转动微倾螺旋使十字丝的横丝对准 A 尺上的正确读数 a_2' , 此时视准轴水平, 但水准管气泡偏离中心。用校正针先松开水准管的左右校正螺丝, 然后拨动上下校正螺丝, 使气泡居中。此项校正须反复进行, 符合要求后, 方可拧紧松开的校正螺丝。

提示 对于自动安平水准仪, 当 i 角误差不大时, 可用十字丝进行校正, 方法是: 水准仪照准 A 点上水准尺不动, 旋下十字丝环护罩, 微松左右两个十字丝环校正螺丝(如图 2-23 所示), 用校正针拨边上下两个十字丝环校正螺丝, 直至十字丝横丝照准正确读数 a_2' 为止。若 i 角误差较大, 利用上述方法不能完全校正时, 应交专业维修人员处理。

2.6 水准测量误差来源及分析

水准测量的误差包括仪器误差、外界条件和人的观测误差三类。

1. 仪器误差的影响

仪器误差主要指仪器 i 角误差。水准仪使用前虽然经过检验校正, 但不可能彻底消除 i 角误差, 因此, 在进行观测时, 尽量保持前后距离相等, 以此来消除 i 角误差。

2. 标尺误差

标尺误差有标尺的尺长误差、标尺零点差及标尺倾斜误差。

1) 标尺尺长误差

标尺的尺长误差就是标尺的实际长度和名义长度不一致而产生的误差。标尺的尺长误差属于系统误差,通常采用对标尺进行检验然后加改正数的方法消除。同时,由于尺长误差对高差的影响与高差有关,而采用往返测法测量时,所测得的高差符号相反,因此,采用往返测法测量,取其结果的中数,可以消除尺长误差的影响。

2) 标尺零点差

标尺零点差是标尺刻划的起点差。由于标尺制造的缺陷或者长期使用、磨损,一对标尺的零点差通常不会完全相等,其差值称为一对标尺的零点不等差,简称零点差。水准测量时两支标尺交替作为后视和前视,在一测段内,若每支标尺作为后视和前视的次数相等,即测站数为偶数时,可以抵消标尺零点差对高差的影响。

3) 标尺倾斜误差

标尺倾斜误差产生的原因有两个:一是测量时标尺水准器未严格居中,标尺倾斜;二是标尺的水准器本身的条件不满足,测量时即使标尺水准器气泡严格居中,标尺仍然倾斜。前者属于偶然误差,后者属于系统误差。标尺倾斜对高差的影响与标尺的倾斜程度以及高差的大小都有关,而且由于倾斜的情况较复杂,因此,只能通过检校标尺水准器使其满足要求,测量时注意使气泡居中才可能避免标尺倾斜误差。



图文
观测误差

3. 外界因素产生的影响

外界因素的影响主要包括地球曲率、大气折光、温度变化、仪器和尺垫升沉等的影响。

1) 地球曲率和大气折光的影响

地球曲率和大气折光都会对水准观测读数产生影响,通常将地球曲率和大气折光对一根水准尺读数的联合影响称为球气差。在作业中完全消除地球曲率和大气折光的影响是不可能的,只有在实际作业中严格遵守测量规范要求才能有效地减弱此影响。具体做法是使前、后视距离尽可能相等,使视线离地面有一定的高度,在坡度较大的地区作业时应当缩短距离等。

2) 温度变化

在野外测量时,太阳光的热辐射、地面温度的反射都会使大气温度发生变化,气温变化使仪器的各部件发生热胀冷缩,由于仪器各部件所处的位置不同,所以膨胀的程度也不均匀,这影响了仪器各轴线间的正常关系,从而对观测产生了影响。因此,测量时应当采取措施减弱温度的影响。例如,晴天时打伞,避免阳光直接照射仪器;不在每日温度变化较大的时段观测等。在高等级的精密水准测量中,还要求使刚从箱中取出的仪器与外界环境适应一段时间。

3) 仪器升沉误差

在水准测量过程中,由于仪器、脚架本身的重量及地面的反作用,仪器会产生轻微的下沉(或上升),因为前视、后视不可能同时读数,因此,仪器下沉(或上升)必将对高差产生影响。实际测量中按“后—前—前—后”的顺序观测,有利于减弱仪器升沉误差的影响。

4) 尺垫升沉误差

在仪器迁站,前视标尺转为后视标尺的过程中,尺垫可能发生下沉或上升。如果尺垫在迁站过程中下沉了,它总是使后视标尺的读数比实际值大,致使各测站所测高差都比实际值大,对整个水准路线的高差影响就呈现系统性。如采用往返测的观测方法,由于往返测所测得的高差符号相反,因此,在测量结果的中数上,尺垫下沉误差会得到一定程度的抵消和减弱。在具体的测量操作中,也应采取有效措施来减弱尺垫升沉误差的影响。例如,观测时将标尺提前半分钟按放在尺垫上,等它升沉缓慢时开始读数;迁站时应将转点上的标尺从尺垫上取下,在观测前半分钟再放上去,这样可以减少尺垫的升沉量,减小误差。

4. 观测误差的影响

观测误差主要有管水准器符合气泡的居中误差、调焦误差和标尺读数误差。

1) 气泡居中误差

以 DS₃ 水准仪为例,其管水准器气泡的分划值为 $20''/2\text{ mm}$,如果读数时管水准器气泡偏离 $1/5$ 格,对水准视线的影响约为 $4''$,如果仪器至标尺的距离为 100 m ,则对高差读数的影响达到 2 mm 。因此,观测前应认真检校仪器的管水准器,观测时应使符合水准器气泡严格符合,以减弱居中误差的影响。

2) 调焦误差

在前、后视观测过程中若反复调焦,会使仪器的 i 角发生变化,从而影响高差读数。因此,观测时应当避免在前、后视读数时反复调焦。规范规定“同一测站观测时不得两次调焦”。

3) 读数误差

读数误差主要是观测时的估读误差。估读的精度与测量时的视线长度、仪器十字丝的粗细、望远镜的放大倍率以及测量员的作业经验等有关。其中,影响最大的是视线长度,因此,测量规范对不同等级的水准测量规定了不同的最大视线长度,如四等水准测量的最大视线长度为 100 m 。

2.7 自动安平水准仪与数字水准仪

2.7.1 自动安平水准仪

1. 自动安平水准仪的特点

用微倾水准仪观测时,首先要使圆水准器气泡概略居中,然后再用微倾螺旋使管水准器气泡精确居中,这样才能获得精确的水平视线。微倾水准仪的管水准器气泡居中的操作费时、费力,管水准器灵敏度越高,用时就越多。而且随着观测时间的延长、外界条件的变化,居中的管水准器气泡也可能发生变化,从而使测量产生误差。自动安平水准仪就是为克服这些缺点而生产的。自动安平水准仪内部的自动安平机构可以自动补偿,使仪器视线水平,所以在观测时只须将圆水准器气泡居中,十字丝中丝读取的标尺读数即为水平视线的读数。自动安平水准仪不仅加快了作业速度,而且能自动补偿对于地面的微小振动、仪器下沉、风力以及温度变化等外界因素引起的视线微小倾斜,从而保证测量精度。

2. 自动安平的原理

如图 2-25 所示,照准轴水平时,照准轴指向标尺的 A 点,即 A 点的水平线与照准轴重合;当照准轴倾斜一个小角 α 时,照准轴指向标尺的 A' ,而来自 A 点过物镜中心的水平线不再落在十字丝的水平丝上。自动安平就是在仪器的照准轴倾斜时采取某种措施使通过物镜中心的水平光线仍然通过十字丝交点。

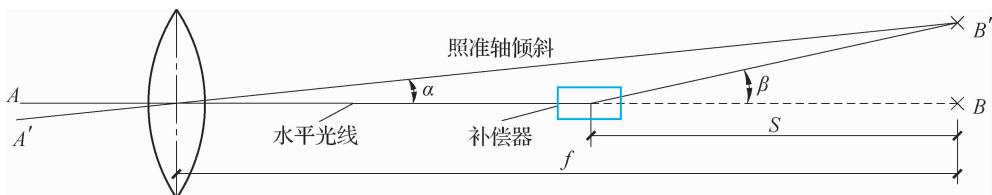


图 2-25 自动安平原理

通常有两种自动安平的方法。

(1)在光路中安置一个补偿器,在照准轴倾斜一个小角 α 时,使光线偏转一个 β 角,使来自 A 点过物镜中心的水平线落在十字丝的水平丝上。

(2)使十字丝移动到 B 处,从而使十字丝自动地与 A 点的水平线重合,以获得正确读数。

这两种方法都达到了改正照准轴倾斜偏移量的目的。第一种方法要使光线偏转,需要在光路中加入光学部件,故称为光学补偿。第二种方法则是用机械方法使十字丝在照准轴倾斜时自动移动,故称为机械补偿。常用的仪器多采用光学补偿,安装有光学补偿器。

2.7.2 数字水准仪

1. 数字水准仪的基本组成

与光学水准仪相同,数字水准仪也由仪器和标尺两大部分组成。仪器主机由望远镜系统、补偿器、分光棱镜、目镜系统、CCD 传感器、数据处理器、键盘、数据处理软件等组成,如图 2-26 所示为瑞士徕卡公司的 DNA03 数字水准仪。数字水准仪的标尺是条码标尺,条码标尺是由宽度相等或不等的黑白条码按一定的编码规则有序排列而成的。这些黑白条码的排列规则就是各仪器生产厂家的技术核心,各厂家的条码图案完全不同,更不能互换使用。如图 2-27 所示为徕卡公司的条码标尺。



图 2-26 徕卡 DNA03 数字水准仪

图 2-27 徕卡条码标尺

2. 数字水准仪的测量过程

数字水准仪自动测量的过程是：人工完成照准和调焦之后，标尺的条码影像光线到达望远镜中的分光镜，分光镜将该光线分离成红外光和可见光两部分，红外光传送到线阵探测器上进行标尺图像探测；可见光传到十字丝分化板上成像，供测量员目视观测。仪器的数据处理器通过对探测到的光源进行处理，就可以确定仪器的视线高度和仪器至标尺的距离，并在显示窗显示。如果使用传统的水准标尺，数字水准仪又可以当做普通的自动安平水准仪使用。

3. 数字水准仪自动读数原理

数字水准仪测量的基本原理，就是利用线阵探测器对标尺图像进行探测，自动解算出视线高度和仪器至标尺的距离。其关键技术就是条码设计与探测，从而形成自动显示读数。由于生产数字水准仪的各厂家采用不同的专利技术，测量标尺不同，采用的自动读数方法也不同，目前主要有四种：①瑞士徕卡公司使用的相关法；②德国蔡司公司使用的双相位码几何计算法；③日本拓普康公司使用的相位法；④日本索佳公司使用的双随机码的几何计算法。

4. 数字水准仪的特点

1) 数字水准仪的优点

与传统的光学水准仪相比，数字水准仪有以下优点。

(1) 测量效率高。因为仪器能自动读数，自动记录、检核、计算处理测量数据，并能将各种数据输入计算机进行后处理，实现了内外业一体化。

(2) 数字水准仪自动记录，因此不会出现读错、记错和计算错误，而且没有人为的读数误差。

(3) 测量精度高。视线高和视距读数都是采用多个条码的图像经过处理后取平均值得出来的，因此削弱了标尺分划误差的影响。多数仪器都有进行多次读数取平均值的功能，同时还可以削弱外界条件对测量的影响，如振动、大气扰动等。

(4) 测量速度快。由于读数、复述记录和现场计算的过程均可由仪器自动完成，人工只须照准、调焦和按键，因此可以大大提高观测速度，同时减轻劳动强度。

(5) 操作简单。由于仪器实现了读数和记录的自动化，并预存了大量测量和检核程序，在操作时还有实时提示，因此，测量人员可以很快掌握使用方法，即使不熟练的作业人员也能进行高精度测量。

(6) 自动改正测量误差。仪器可以对条码尺的分划误差、CCD 传感器的畸变、电子 i 角、大气折光等系统误差进行修正。

2) 数字水准仪的缺点

与光学水准仪相比，数字水准仪有以下的缺点。

(1) 数字水准仪只能使用配套的标尺测量，而对于光学水准仪，只要有准确的刻划线就能读数，因此可以使用自制的标尺，甚至是普通的钢尺。

(2) 数字水准仪要求要有一定的视场范围，在特殊情况下，如果水准仪只能在一个较窄

的狭缝中看见标尺时,就只能使用光学水准仪或数字、光学一体化的水准仪。

(3) 数字水准仪对环境要求高。由于数字水准仪是由 CCD 传感器来分辨标尺条码的图像进行电子读数,测量结果受制于 CCD 传感器的性能。CCD 传感器只能在有限的亮度范围内将图像转换为用于测量的有效电信号。因此,标尺上的亮度是很重要的,测量时要求标尺的亮度均匀、适中。



思考练习

一、简答题

- 简述水准仪的主要部件及各部件的作用。
- 水准测量时,要在哪些立尺点上放置尺垫?哪些立尺点上不能放置尺垫?
- 什么叫视差?产生视差的原因是什么?怎样消除视差?
- 圆水准器和管水准器在水准测量中各起什么作用?
- 水准测量时,前、后视距离相等可消除哪些误差?
- 水准仪有哪些轴线?它们之间应满足什么条件?
- 使用水准仪应注意哪些事项?
- 单一水准路线的布设形式有哪几种?其检核条件是什么?
- 检校 i 角的目的是什么?如何检校 i 角?
- 简述数字水准仪的特点及基本组成。

二、计算分析题

- 设 A 点为后视点,B 点为前视点,A 点高程为 86.338 m。当后视读数为 1.332 m,前视读数为 1.021 m 时,求 A、B 两点的高差,并绘图说明。
- 将图 2-28 中的水准测量观测数据填入记录手簿(参见表 2-5),计算出各点的高差及 B 点的高程,并检核。

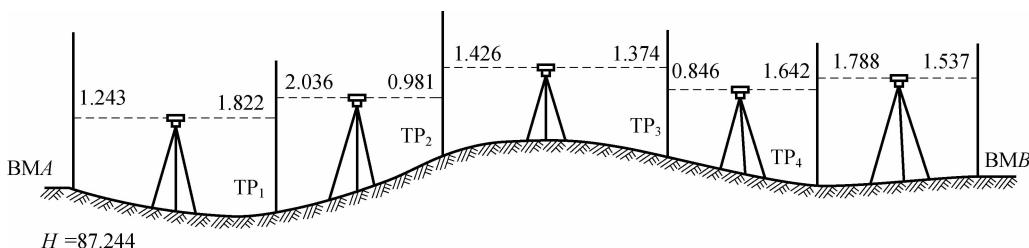


图 2-28 水准测量观测数据(单位:m)



实训 1 DS₃ 型水准仪的认识和使用

一、实训目标

- 了解 DS₃ 型水准仪各部件的名称及作用。
- 掌握水准仪的安置、粗平、瞄准、精平与读数。

二、计划与准备

- 学生分组:实验小组由 3~5 人组成,分别担任观测员、记录员、扶尺员,设组长 1 人。
- 仪器配置:每小组配备 DS₃ 水准仪 1 台、水准尺 2 根、尺垫 2 个、记录板(含记录簿) 1 块、记录表格 1 份、测伞 1 把、铅笔 1 根。
- 实训时间:2 学时。
- 实训场地:水准测量专用实训场。
- 任务内容与要求。

(1) 每人按安置、粗平、瞄准、精平、读数的步骤,练习观测竖立于高低不同地面的两根水准尺的读数,编号分别为 A、B,记录于水准仪认识使用观测记录表(见表 2-6)。

(2) 测量地面两点间的高差,判断地面点高低,分别用高差法、视线高法计算高程。

三、实施

1. 水准仪认识。

认识国产的 DS₃ 型普通微倾水准仪及仪器的主要部件名称(如图 2-5 所示)。

2. 水准仪使用。

(1) 安置水准仪和竖立标尺。竖立标尺时,要求先按尺垫,再竖立、扶稳标尺。

(2) 粗略整平。先转动两个脚螺旋,使圆水准器的水准气泡移向两脚螺旋的中间位置。再转动第三个脚螺旋,使气泡移到圆水准器的中心。操作熟练时,可以将上述步骤合二为一,同时进行。

(3) 瞄准后视标尺。瞄准工作要经历粗瞄、对光、精瞄的过程,同时应注意消除视差。瞄准时使望远镜十字丝的纵丝对准标尺的中央。用望远镜瞄准水准尺的步骤是:①目镜调焦,使十字丝最清晰;②放松制动螺旋,转动望远镜,通过望远镜上的缺口和准星初步瞄准水准尺,拧紧制动螺旋,进行物镜调焦,使水准尺分划十分清晰;③旋转微动螺旋,使水准尺像的一侧靠近十字丝纵丝(便于检查水准尺是否竖直);④眼睛略作上下移动,检查十字丝与水准尺分划像之间是否有相对移动(检查是否存在视差),如果存在视差,则重新进行目镜调焦与物镜调焦,以消除视差。

(4) 精确整平。转动微倾旋钮,观察符合气泡影像是否符合,实现望远镜视准轴精确整平。

(5) 读数和记录。

(6) 瞄准前视标尺。如一个测站的前、后视距基本相等,瞄准前视尺时不必重新进行物镜调焦(即物镜对光)。

(7) 精确整平,方法同步骤(4)。

(8) 读数、记录,方法同步骤(5)。

四、记录并提交成果

将观测的数据记入表格(见表2-6),并根据式(2-2)、式(2-4)进行计算。

表2-6 实训-水准仪认识使用观测记录表

测 站	测 点	后视中丝读数 /mm	前视中丝读数 /mm	高差 ($h=a-b$) /mm	后视高程	视线高 /m	前视高程 /m

五、注意事项

1. 将水准仪脚螺旋调到可上可下的中间位置,三脚架头应大致水平,将仪器安放在三脚架头上,必须旋紧连接螺旋,使连接牢固。
2. 转动脚螺旋使水准仪粗略整平,转动脚螺旋时要用“气泡移动的方向与左手拇指的旋转方向一致”的原则进行。
3. 瞄准目标必须消除视差;水准尺必须竖直;掌握标尺刻划规律,读数应按刻划顺序读取(不管上下,只管由小到大)。
4. 在水准尺上读数时,符合水准器中的气泡必须居中。精确整平时,微倾螺旋的转动方向与左侧半气泡影像的移动方向应一致。
5. 水准测量实施中,读完后视读数后,当望远镜转到另一个方向继续观测时,符合水准器气泡就会有微小的偏移,相互错开(错开距离小于1 cm)。因此,每次瞄准水准尺时,在读数前必须再次转动微倾螺旋,使气泡影像吻合后才能读数。
6. 后视与前视(或间视)读数之间切忌转动脚螺旋,只能调节微倾螺旋,从而保证同一个测站的视线高度是一致的,否则读取的前后视读数是不能用的。
7. 弄清一个测站的后视点、前视点、间视点、后视读数、前视读数、间视读数、视线高的概念,不要混淆。
8. 测量资料的记录要求。

建筑工程测量

- (1) 观测记录必须直接填在规定的表格上,不得用其他纸张记录再行转抄。
- (2) 所有记录与计算均用铅笔(2H 或 3H)记录。字体应端正清晰,字高应稍大于格子的一半,但不超过格子的 2/3。一旦记录中出现错误,便可在留出的空隙处对错误的数字进行更正。
- (3) 禁止擦拭、涂改与挖补。发现错误应在错误处用横线划去,将正确数字写在原数上方,不得使原字模糊不清。部分记录整体被淘汰时,可用斜线划去,保持被淘汰的数字仍然清晰。
- (4) 禁止连环划改。
- (5) 原始观测的厘米位与毫米位读数不准更改,应将该部分观测结果废去重测。
- (6) 记录数字时,应写全规定个数,水准测量以毫米为单位,记录字数为四个,如水准测量中读数 325 毫米,应记为 0325。

实训 2 普通水准测量

一、实训目标

1. 掌握普通水准测量的观测、记录、计算和校核方法。
2. 熟悉单一水准路线的布设形式。

二、计划与准备

1. 学生分组:实验小组由 3~5 人组成,分别担任观测员、记录员、扶尺员,设组长 1 人。
2. 仪器配置:每小组配备 DS₃ 水准仪 1 台、水准尺 2 根、尺垫 2 个、记录板(含记录簿) 1 块、记录表格 1 份、测伞 1 把、铅笔 1 根。
3. 实训时间:2 学时。
4. 实训场地:测绘单项技能训练实训场。
5. 任务内容与要求。
 - (1) 技术依据为《城市测量规范》。
 - (2) 每组布设一条四测段闭合水准路线,计算各待定点高程。
 - (3) 进行高差闭合差的计算与调整。
 - (4) 每人完成一个测段、两个测站的测量工作。

三、实施

1. 将水准尺立于已知高程的水准点上作为后视,水准仪置于施测路线附近合适的位置,在施测路线的前进方向上取仪器至后视大致相等的距离放置尺垫,竖立水准尺作为前视,注意视线长度不超过 100 m。
2. 瞄准后尺,精平后用中丝读取后视读数,掉转望远镜,瞄准前尺,精平后用中丝读取前视读数,分别记录、计算。
3. 迁至下一站,重复上述操作程序,直至全部路线施测完毕。
4. 根据已知点高程及各测站高差计算水准路线的高差闭合差,并检查高差闭合差是否超限(见表 2-1)。
5. 若高差闭合差在容许范围内,则对高差闭合差进行调整,计算各待定点的高程。

四、记录并提交成果

将观测数据记录于表 2-7。

表 2-7 实训-普通水准测量记录表

时间： 年 月 日		天气：		成像：		第 页	
仪器及编号：		观测者：		记录者：			
测站	测点	水准尺读数/mm		高差/m		高程/m	备注
		后视读数	前视读数	+	-		
1							
2							
3							
4							
5							
计算 检核		$\sum a - \sum b =$		$\sum h =$			

五、注意事项

- 每次读数前水准管气泡要严格居中。
- 注意用中丝读数，不要误读为上、下丝读数，读数时要消除视差。
- 后视尺垫在水准仪搬动前不得移动，仪器迁站时，前视尺垫不能移动。在已知高程点和待定高程点上不得放尺垫。
- 水准尺必须立直，不得前后左右倾斜。

实训 3 四等水准测量

一、实训目标

- 掌握四等水准测量的观测、记录、计算和校核方法。
- 熟悉四等水准测量的主要技术要求、水准路线的布设及闭合差的计算。

二、计划与准备

- 学生分组：实验小组由 3~5 人组成，分别担任观测员、记录员、扶尺员，设组长 1 人。
- 仪器配置：每小组配备 DS₃ 水准仪 1 台、水准尺 2 根、尺垫 2 个、记录板（含记录簿）1 块、记录表格 1 份、测伞 1 把、铅笔 1 根。
- 实训时间：2 学时。
- 实训场地：测绘单项技能训练实训场。
- 任务内容与要求。
(1) 技术依据为《城市测量规范》。

建筑工程测量

- (2) 每组布设一条四测段闭合水准路线,计算各待定点高程。
- (3) 进行高差闭合差的计算与调整。
- (4) 每人完成一个测段、两个测站的测量工作。

三、实施

选择一条闭合水准路线,按下列顺序逐站进行观测。

1. 照准后视尺黑面,精平后读取下丝、上丝、中丝读数。
2. 照准后视尺红面,精平后读取中丝读数。
3. 照准前视尺黑面,精平后读取下丝、上丝、中丝读数。
4. 照准前视尺红面,精平后读取中丝读数。

四、记录并提交成果

将观测数据记入表 2-8 中相应栏中,计算和校核要求如下。

1. 视线高度以三丝均能读数为准。
2. 视线长度不超过 100 m。
3. 前、后视距差不超过 ± 3 m, 视距累积差不超过 ± 10 m。
4. 红、黑面读数差不超过 ± 3 mm。
5. 红、黑面高差之差不超过 ± 5 mm。
6. 高差闭合差不超过 $\pm 20 \sqrt{L}$ mm, L 为水准路线的长度,以 km 为单位。

表 2-8 实训-四等水准测量记录表

时间: 年 月 日			天气:		成像:		第 页	
测 站 编 号	点 号	仪器及编号:	观测者:		记录者:			
		后尺	下丝	前尺	下丝	方向及 尺号	标尺读数/mm	K+黑 一红 /mm
			上丝		上丝		黑面	红面
		后距		前距				
						后		
						前		
						后—前		
						后		
						前		
						后—前		
						后		
						前		
						后—前		

K 为水准
尺常数

续表

测站 编号	点号	后尺	下丝	前尺	下丝	方向及 尺号	标尺读数/mm		K+黑 —红 /mm	高差 中数 /m	备注				
			上丝		上丝		黑面	红面							
		后距		前距											
		视距差 d/m		$\sum d/m$											
					后										
					前										
					后—前										
					后										
					前										
					后—前										
					后										
					前										
					后—前										

五、注意事项

- 观测过程中,记录员应及时进行测站计算检核,符合要求方可迁站,否则应重测。
- 仪器未迁站时,后视尺不得移动;仪器迁站时,前视尺不得移动。

模块 3 角度测量



学习目标

- 了解水平角、竖直角及天顶距的概念，掌握经纬仪测量角度的误差来源。
- 掌握测回法水平角观测的方法和方向法水平角观测的方法。
- 掌握竖直角的计算方法和竖盘指标差的概念及计算方法。
- 了解全站仪角度测量的原理，掌握全站仪角度测量的方法。
- 掌握消除或减弱角度测量误差的措施。

3.1 角度测量的基本知识

3.1.1 水平角测量原理

1. 水平角概念

水平角是指空间两条相交直线在某一水平面上垂直投影之间的夹角。如图 3-1 所示，地面上有高低不同的 A、B、C 三点。直线 BA、BC 在水平面 P 上的投影为 B_1A_1 与 B_1C_1 ，其夹角 $\angle A_1B_1C_1$ 即为 BA、BC 两相交直线的水平角，用 β 表示。水平角的范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

2. 水平角测量原理

为了测量 BA、BC 两相交直线水平角 β 的大小，可以在 B 点的上方某一高度水平放置一个有分划的圆盘，如图 3-1 所示，使其中心恰好位于过点 B 的铅垂线 BB_1 上。在度盘的中心上方，设置一个既可以水平转动又可以铅垂俯仰的望远镜照准装置。用望远镜分别照准 A、C 点，即可得到度盘上指标线处的读数 n 、 m 。假设圆盘的刻划按顺时针注记，则很容易得出水平角 β 等于 C 点目标读数 m 减去 A 点目标(也称为起始目标)读数 n 。即

$$\beta = m - n \quad (3-1)$$

想一想 ABC 的水平角与 CBA 的水平角是否一样？若不一样的话应如何计算？它们之间有什么关系？

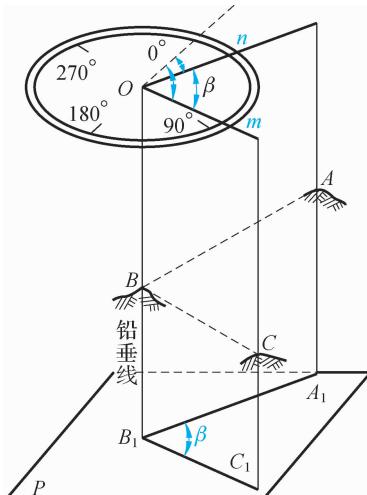


图 3-1 水平角示意图

3.1.2 坚直角测量原理

1. 坚直角的概念

坚直角是指在同一竖直面内,水平视线到空间直线间的夹角,亦称高度角或垂直角,一般用 α 表示。如图3-2所示,O点至地面目标A的坚直角 α_A 为视线OA与水平视线OO'的夹角。

当空间直线位于水平视线之上时,称为仰角, α 为正值;当空间直线位于水平视线之下时,称为俯角, α 为负值。所以,坚直角的范围为 $-90^\circ \sim +90^\circ$ 。

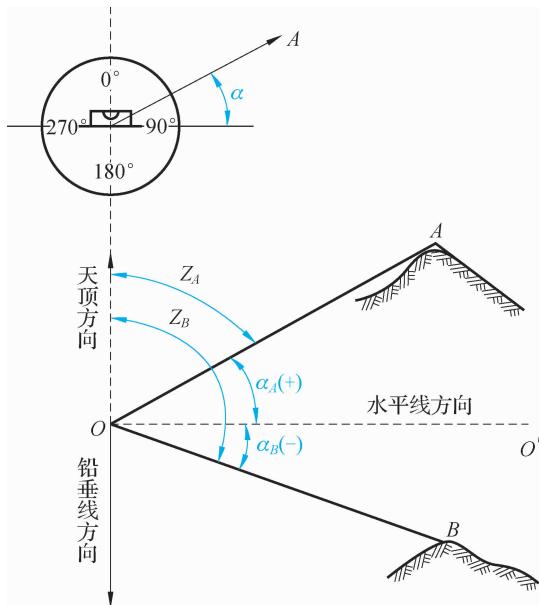


图3-2 坚直角

2. 天顶距

在重力的作用下,地面上每一点均有一条指向地心的铅垂线(即自由落体方向),铅垂线的反方向(指向天顶)称为该点的天顶方向。如图3-2所示,在竖直平面内从天顶方向到空间直线之间的夹角称为天顶距,一般用 Z 表示,其范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。则有 OA 直线方向的天顶距 Z 与坚直角 α 的关系为

$$\alpha = 90^\circ - Z \quad (3-2)$$

3. 坚直角测量原理

如图3-2所示,在望远镜照准装置的横轴一端安置一个均匀刻划的度盘,圆心与横轴重合,盘面铅垂, $0^\circ \sim 180^\circ$ 的直径方向与铅垂线同向,该度盘被称为坚直度盘;再于坚直度盘上设置一个与望远镜方向同步的读数指标线。这样,当望远镜照准目标A时,依指标线在坚直度盘上读取读数,该读数与水平位置的读数之差即为O点对于A点的坚直角 α 。

3.2 角度测量的仪器及使用

经纬仪是一种主要用于精确测量水平角和竖直角的仪器,包括游标经纬仪、光学经纬仪和电子经纬仪。经纬仪按精度系列可分为 DJ₀₇、DJ₁、DJ₂、DJ₆、DJ₁₅ 和 DJ₆₀ 六个级别,其中,“D”、“J”分别为“大地测量”和“经纬仪”的汉语拼音的第一个字母,下标数字表示仪器的精度,其含义为一测回测角中误差。

地形测量中最常用的是 DJ₂ 和 DJ₆ 经纬仪。DJ₂ 型经纬仪主要用于控制测量,DJ₆ 型则主要用于图根控制测量和碎部测量。两种经纬仪的结构大体相同,本书主要介绍 DJ₆ 型经纬仪的结构原理和使用方法。

3.2.1 DJ₆ 型光学经纬仪

光学经纬仪采用光学度盘,借助光学透镜和棱镜系统的折射或反射,使度盘上的分划线成像到望远镜旁的读数显微镜中。

1. 基本构造

各种型号的 DJ₆ 型光学经纬仪的基本构造大致相同,主要由照准部、水平度盘和基座三部分组成。国产 DJ₆ 型光学经纬仪外貌图及外部结构件名称如图 3-3 所示。

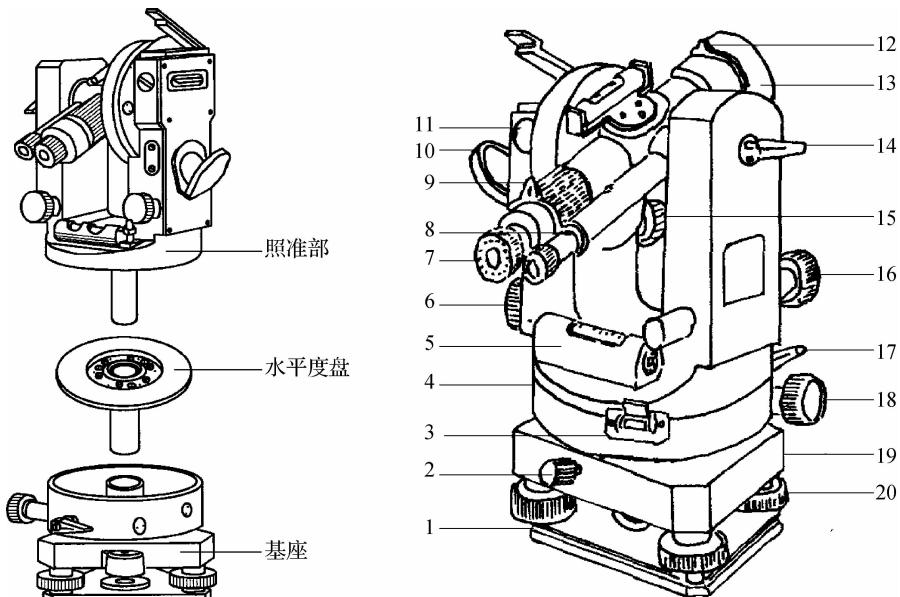


图 3-3 DJ₆ 型光学经纬仪

- 1—脚螺旋压板；2—轴套制动螺旋；3—度盘变换手轮；4—水平度盘外罩；5—照准部水准管；6—度盘读数微轮；
- 7—目镜调焦螺旋；8—度盘读数显微镜；9—物镜调焦螺旋；10—反光照明镜；11—竖直度盘水准管；
- 12—准星；13—物镜；14—望远镜制动螺旋；15—竖直度盘水准管微动螺旋；16—望远镜微动螺旋；
- 17—水平方向制动螺旋；18—水平方向微动螺旋；19—基座；20—脚螺旋

1) 照准部

照准部为经纬仪上部可转动的部分,由望远镜、竖直度盘、横轴、支架、竖轴、水平度盘水准器、读数显微镜及其光学读数系统等组成。

(1) 望远镜。望远镜用于精确瞄准目标,其放大倍率一般为20~40倍。

(2) 竖直度盘。竖直度盘用于观测竖直角。它是由光学玻璃制成的圆盘,安装在横轴的一端,并随望远镜一起转动。

(3) 竖轴。照准部的旋转轴即为仪器的竖轴,照准部可绕竖轴在水平方向旋转,并由水平制动螺旋和水平微动螺旋控制。

(4) 横轴。望远镜的旋转轴称为横轴,与竖轴垂直。望远镜通过横轴安装在支架上,通过调节望远镜制动螺旋和微动螺旋可使它绕横轴在竖直面内上下转动。

(5) 水准器。照准部上设有一个管水准器和一个圆水准器,与脚螺旋配合,用于整平仪器。和水准仪一样,圆水准器用于粗平,而管水准器则用于精平。

(6) 读数显微镜。主要用来精确读取水平度盘和竖直度盘读数。

2) 水平度盘

水平度盘是由光学玻璃制成的圆盘,其边缘按顺时针方向刻有 0° ~ 360° 的分划,用于测量水平角。

3) 基座

基座在仪器的最下部,是支撑整个仪器的底座。基座上安有三个脚螺旋和连接板。转动脚螺旋可使水平度盘水平。



图文
光学经纬仪基本构造

2. 读数方法

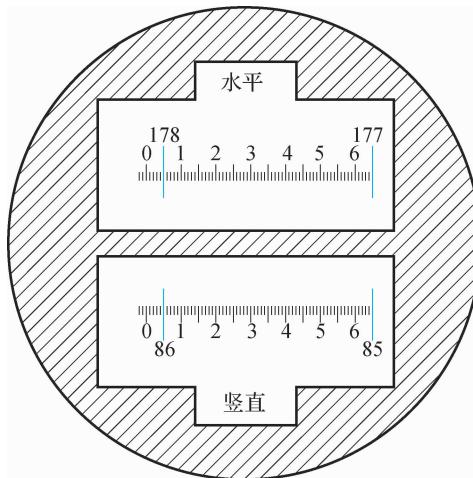
DJ₆型光学经纬仪的水平度盘和竖直度盘的分划线通过一系列的棱镜和透镜作用,成像于望远镜旁的读数显微镜内,观测者用读数显微镜读取读数。由于测微装置的不同,DJ₆型光学经纬仪的读数方法主要有分微尺测微器读数方法和单平板玻璃测微器读数方法两种。现代光学经纬仪主要采用分微尺测微器读数方法。

分微尺测微器是在显微镜读数窗与物镜上设置一个带有分微尺的分划板,度盘上的分划线经显微镜物镜放大后成像于分微尺上。分微尺 1° 的分划间隔长度正好等于度盘的一格,即 1° 的宽度。如图3-4所示是读数显微镜内看到的度盘和分微尺的影像,上面注有“水平”(或H)的窗口为水平度盘读数窗,下面注有“竖直”(或V)的窗口为竖直度盘读数窗,其中长线和大号数字为度盘上分划线影像及其注记,短线和小号数字为分微尺上的分划线及其注记。

读数窗内的分微尺分成60小格,每小格代表 $1'$,每10小格注有小号数字,表示 $10'$ 的倍数。因此,分微尺可直接读到 $1'$,估读到 $0.1'$ 。

分微尺上的0分划线是读数指标线,它所指的度盘上的位置就是应该读数的地方。如图3-4所示,水平度盘读数窗中分微尺上的0分划线已过 178° ,此时水平度盘的读数肯定比 178° 多一点,所多的数值要看0分划线到度盘 178° 分划线之间有多少个小格来确定,图3-4中所示的数值为 $05.0'$ (估读至 $0.1'$),因此,水平度盘整个读数为 $178^{\circ} + 05.0' = 178^{\circ}05.0'$,记录及计算时可写作 $178^{\circ}05'00''$ 。

同理,图3-4中竖直度盘整个读数为 $86^{\circ} + 05.0' = 86^{\circ}05.0'$,记录及计算时可写作 $86^{\circ}05'00''$ 。

图 3-4 DJ₆ 型经纬仪读数窗

在实际读数时,只要看哪根度盘分划线位于分微尺刻划线内,则读数中的度数就是此度盘分划线的注记数,读数中的分数就是这根分划线所指的分微尺上的数值。可见分微尺读数装置的作用就是读出小于度盘最小分划值(如 1°)的尾数值,它的读数精度受显微镜放大率与分微尺长度的限制。

3.2.2 经纬仪的使用

经纬仪的使用包括安置经纬仪、调焦和照准、读数及置数等基本操作。

1. 安置经纬仪

经纬仪安置包括对中和整平。对中的目的是使仪器的中心与测站点(标志中心)处于同一铅垂线上;整平的目的是使仪器的竖轴竖直,使水平度盘处于水平位置。

1) 对中

(1) 垂球法。把脚架腿伸开,长短适中,安在测站点上,使架头大致水平,架头的中心大致对准测站标志,并注意脚架高度适中。然后踩紧三脚架,将垂球挂在脚架中心螺旋的小钩上。稳定之后,检查垂球尖与标志中心的偏离程度。若偏差较大,应适当移动脚架,并注意保持移动之后脚架面仍概略水平。当偏差不大时(约3 cm以内),取出仪器,拧上中心固定螺旋,保留半圈丝不要拧紧;将仪器在脚架面上前后左右缓慢移动,使垂球尖在静止时能够精确对准标志中心,然后拧紧中心固定螺旋,对中完成。用垂球进行对中的误差一般可控制在3 mm以内。

(2) 光学对中器法。将脚架腿伸开,长短适中,保持脚架面概略水平,平移脚架的同时从光学对中器中观察地面情况,当地面标志点出现在视场中央附近时,停止移动,缓慢踩实脚架。旋转基座螺旋并观察地面标志点的移动情况,使对中器的十字丝中心对准地面标志点;若此时圆水准器不居中,松开脚架腿固定螺丝,适当调整三个脚架腿的长度,使圆水准器居中;经此调节后,若地面标志点略微偏离十字丝中心,则松开中心连接螺旋(不是完全松开),平行移动仪器使光学对中器与测站点标志完全重合。重复上述过程,直至地面点落于十字丝中心,同时圆水准器也处于居中状态,至此对中完成。利用光学对中器对

中较垂球法精度高,一般误差在1 mm左右,同时不受风力的影响,操作过程简单快速,因而应用普遍。

2) 整平

整平是借助照准部水准器完成的。一般先让圆水准器气泡居中,使仪器大致水平,然后利用管水准器进行精平。用管水准器精平时,先转动仪器的照准部,使照准部水准管平行于任意一对脚螺旋的连线,然后用两手同时以相反方向转动该两脚螺旋,使水准管气泡居中,如图3-5(a)所示;再将照准部转动90°,使水准管垂直于原两脚螺旋的连线,转动另一脚螺旋,使水准管气泡居中,如图3-5(b)所示。重复上述过程,直到在这两个方向气泡都居中为止。气泡居中误差一般不得大于一格。

注意 气泡移动方向与左手拇指移动方向一致。

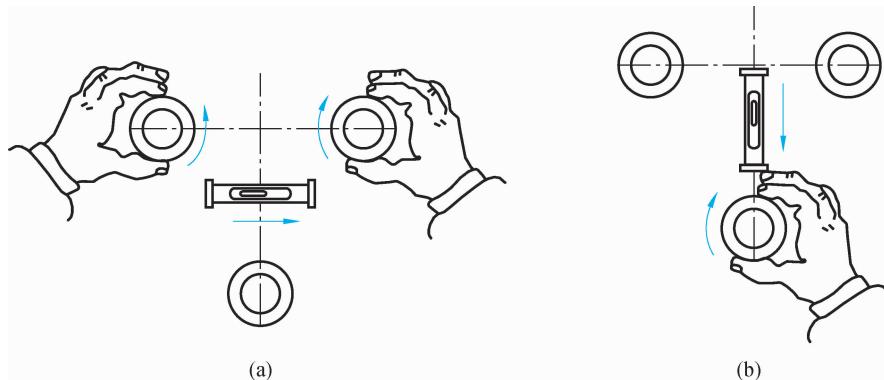


图3-5 经纬仪整平

2. 调焦

调焦包括目镜调焦和物镜调焦。物镜调焦的目的是使照准目标经物镜所成的实像落在十字丝板上;目镜调焦的目的是使十字丝和目标的像(即观测目标)均位于人眼的明视距离处,使目标的像和十字丝在视场内都很清晰,以利于精确照准目标。

在观测过程中,先进行目镜调焦,将望远镜对向天空或白墙,转动目镜调焦环,使十字丝最清晰(最黑)。由于各人眼睛明视距离不同,目镜调焦因人而异。然后进行物镜调焦,转动物镜调焦螺旋,使当前观测目标成像最清晰,同时将眼睛在目镜后上下左右移动,检查是否存在视差。若目标影像和十字丝影像没有相对移动,则说明调焦正确,没有视差;若观察到目标影像和十字丝影像相对移动,则说明调焦不正确,存在视差,需要通过反复调节目镜和物镜调焦螺旋予以消除。

3. 照准

照准目标就是用十字丝的中心部位照准目标,不同的角度测量所用的十字丝是不同的,但都是用接近十字丝中心的位置照准目标。

在水平角测量中,应用十字丝的纵丝(竖丝)照准目标,根据目标的大小和距离的远近,可以选择用单丝或双丝照准目标。当所照准的目标较粗时,常用单丝平分之,如图3-6(a);若照准的目标较细时,则常用双丝对称夹住目标,如图3-6(b)所示。当目标倾斜时,应照准目标的根部以减弱照准误差的影响。

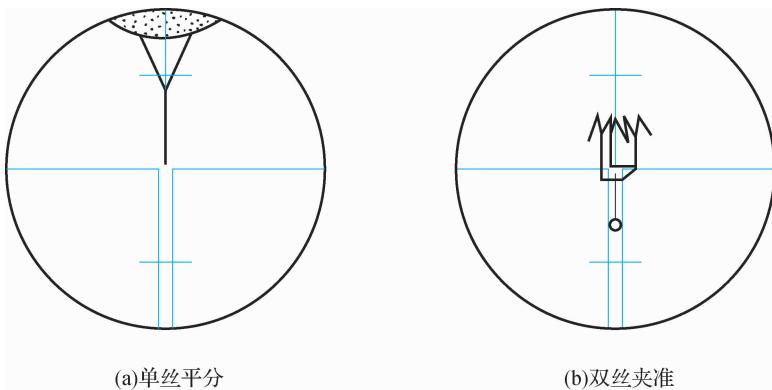


图 3-6 纵丝测水平角

进行竖直角测量时,应用十字丝的横丝(中丝)切准目标的顶部或特殊部位,在记录时一定要注记照准位置,如图 3-7 所示。

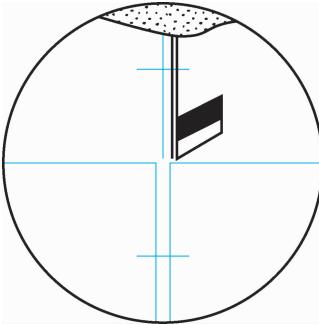


图 3-7 横丝测竖直角(中丝切准旗杆顶)

照准的具体操作方法是,松开照准部和望远镜的制动螺旋,转动照准部和望远镜,用瞄准器使望远镜大致照准目标,然后从镜内找到目标并使其移动到十字丝中心附近;固定照准部和望远镜制动螺旋,再旋转其微动螺旋,以准确照准目标的固定部位,从而读取水平角或竖直角数值。

4. 读数

读数前,先将反光照明镜张开成适当位置,将镜面朝向光源,使读数窗亮度均匀;调节读数显微镜目镜对光螺旋,使读数窗内分划线清晰。然后按前述的 DJ₆ 型光学经纬仪读数方法进行读数。

5. 置数

为了减弱度盘的刻划误差并使计算方便,在水平角观测时,通常规定某一方向的读数为零或某一预定值,因此须将其在度盘上的读数调整为 0° 或某一规定值,这一操作过程称为配置度盘或置数。

具体操作步骤为:当仪器整平后,用盘左照准目标;转动度盘变换手轮,使度盘读数调整至预定读数即可。为防止观测时碰动度盘变换手轮,度盘置数后应及时盖上护盖。

提示 所谓盘左(又称为正镜),就是当望远镜照准目标时,竖盘位于望远镜的左侧;同样,盘右(又称为倒镜)就是竖盘位于望远镜的右侧。

3.3 水平角观测

3.3.1 测回法

以盘左、盘右(即正、倒镜)分别观测两个方向之间水平角的方法,称为测回法。用盘左观测水平角时称为上半测回,用盘右观测水平角时称为下半测回,上半测回和下半测回合称一测回。

这种测角方法只适用于观测两个方向之间的单个角度。如图 3-8 所示,欲测出地面上 OA、OB 两方向间的水平角 β ,可先将经纬仪安置在角的顶点 O 上,进行对中、整平,并在 A、B 两点树立标杆或测钎作为照准标志,采用测回法观测一个测回的操作程序如下。

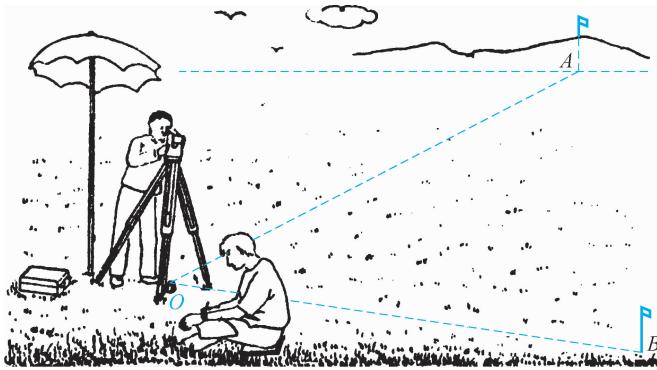


图 3-8 测回法观测水平角

(1)用盘左精确照准左边目标 A,将水平度盘置在 $0^{\circ}00'$ 或稍大的读数处(其目的是便于计算),读取水平度盘读数 $a_{左}$,记入观测手簿。顺时针方向旋转照准部,用同样方法照准右边目标 B,读取水平度盘读数 $b_{左}$,记入观测手簿。由此可算得上半测回的水平角值为

$$\beta_{左} = b_{左} - a_{左} \quad (3-3)$$

(2)倒转望远镜使盘左变为盘右,按上述方法先瞄准右边的目标 B,读取水平度盘读数 $b_{右}$,记入观测手簿。逆时针方向转动照准部,照准左边目标 A,读取水平度盘读数 $a_{右}$,记入观测手簿。由此可算得下半测回的水平角值为

$$\beta_{右} = b_{右} - a_{右} \quad (3-4)$$

测回法通常有两个限差:一是两个半测回的角值之差,即上半测回角值和下半测回角值之差,称为半测回角值较差;二是各测回角值较差,又称为测回差。不同的仪器有不同的规定限值,对于 DJ₆ 经纬仪,半测回角值较差 $\leq 36''$;各测回角值较差 $\leq 24''$ 。符合规定要求时,取其平均值作为一测回的观测结果。即一测回的水平角值为

$$\beta = \frac{1}{2} (\beta_{左} + \beta_{右}) \quad (3-5)$$

为了提高测角精度,同时削弱度盘分划误差的影响,角度观测往往需要进行几个测回,

各测回的观测方法相同,但起始方向置数不同。设需要观测的测回数为 n ,则各测回起始方向的度盘置数应按 $\frac{180^\circ}{n}$ 递增,即

$$m_i = \frac{180^\circ}{n}(i-1) \quad (3-6)$$

式中, n 为测回数; i 为测回序号; m_i 为第 i 测回的度盘置数。

例如,当需要观测三个测回时,即每个测回起始方向读数应配置在 $0^\circ 00'$ 、 $60^\circ 00'$ 、 $120^\circ 00'$ 或稍大的读数处。但应注意,不论观测多少个测回,第一测回的置数均应当为 0° 。当各测回观测角值较差不超过规定限差时,取各测回平均值作为最后结果。

测回法观测水平角的记录、计算格式见表 3-1。

表 3-1 测回法水平角观测记录手簿

测站	测回	竖盘位置	目标	水平度盘读数 ° ′ ″	半测回角值 ° ′ ″	一测回角值 ° ′ ″	各测回平均角值 ° ′ ″	备注		
O	1	左	A	0 02 24	81 12 12	81 12 06	81 12 08			
			B	81 14 36						
	2	右	B	261 14 36	81 12 00	81 12 09				
			A	180 02 36						

3.3.2 方向观测法

在一个测站上当观测方向有三个或三个以上时,可将这些方向合为一组,通过观测各个方向的方向值(水平度盘读数值),然后计算出相应角值,这种观测方法称为方向观测法。当方向数超过三个时,自起始方向起,观测完所有方向后,应再次观测起始方向,这种观测方法称为全圆方向观测法。方向观测法的记录手簿参见表 3-2,测量的限差要求见表 3-3。

1. 观测程序

如图 3-9 所示,欲观测 O 点到 A 、 B 、 C 、 D 各方向之间的水平角,可将经纬仪安置在 O 点上,进行对中、整平,并在 A 、 B 、 C 、 D 四点树立标杆或测钎作为照准标志,采用方向观测法观测一个测回的步骤如下。

(1)选定一个距离适中、目标清晰的方向 A 作为起始方向(又称为零方向),以盘左位置照准目标 A ,将水平度盘置在 $0^\circ 00'$ 或稍大的读数处,将读数记入表 3-2 所示的观测手簿的第 4 列。顺时针方向旋转照准部,依次照准目标 B 、 C 、 D ,将各方向的水平度盘读数依次记入表 3-2 的第 4 列。由于总方向数超过三个,最后还要顺时针回到起始方向 A ,读取水平度盘读数并记入表 3-2 的第 4 列,这一步称为归零,其目的是为了检查水平度盘的位置在观测过程中是否发生变动。上述全部工作叫做盘左半测回或上半测回。

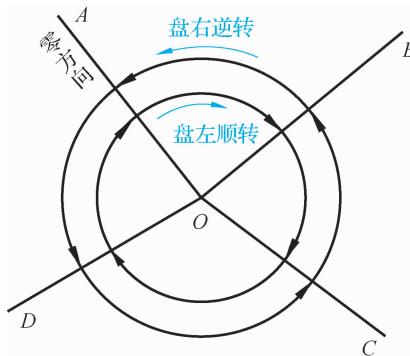


图 3-9 全圆方向观测法

(2)倒转望远镜,用盘右位置照准目标A,读数,记入表3-2的第5列,然后按逆时针方向依次照准目标D、C、B、A,读数,依次记入表3-2的第5列,此为盘右半测回或下半测回,在下半测回观测中又两次照准目标A,故称为下半测回归零。

上、下半测回合称一测回。同样,为了提高测角精度,可变换水平度盘位置观测几个测回,各测回变换起始方向度盘读数方法同测回法一样,即各测回起始方向仍应按 $\frac{180^\circ}{n}$ (n为测回数)的差值置数。

2. 数据处理

(1)计算半测回归零差。起始方向A的两次读数之差的绝对值称为半测回归零差,用 Δ 表示,则有 $\Delta_{\text{左}}$ 、 $\Delta_{\text{右}}$ 。归零差不应超过表3-3中的规定,如果归零差超限,应及时重测。

(2)计算两倍视准轴误差 $2c$ 值。同一方向上盘左盘右的读数之差,称为视准轴误差,简称 $2c$,即

$$2c = \text{盘左读数} - (\text{盘右读数} \pm 180^\circ) \quad (3-7)$$

式中,盘右读数大于 180° 时取“-”号,盘右读数小于 180° 时取“+”号。计算值填入表3-2的第6列中。 $2c$ 值变动的大小可以反映观测质量,一测回内各方向的 $2c$ 值不应超过表3-3中的规定,如果超限,应在原度盘位置重测。

提示 $2c$ 属于仪器误差,高度角一致时,同一台仪器的 $2c$ 值应当是个固定值。受测量精度要求及仪器本身条件等影响,目前仅对J₂以上级别经纬仪的 $2c$ 值有要求,对J₆级经纬仪的 $2c$ 值未作要求。

(3)计算平均读数。平均读数又称为各方向的方向值,计算时以盘左读数为准,将盘右读数加或减 180° 后,和盘左读数取平均值。即

$$\text{平均读数} = \frac{1}{2} [\text{盘左读数} + (\text{盘右读数} \pm 180^\circ)] \quad (3-8)$$

注意 起始方向有两个平均读数,应再取这两个平均读数的平均值,记录在3-2第7列相应单元格的上方,并加括号。

(4)计算一测回归零方向值。将各方向的平均读数减去起始方向的平均读数(即括号内的值),即得各方向的归零后的方向值,将数据记入表3-2的第8列。

(5)计算各测回归零方向值。多回观测时,若同一方向的各测回归零方向值之较差不超过表3-3中的规定,则取各测回归零方向值的平均值,作为该方向的最后结果,记入表3-2的第9列。

表3-2 方向观测法记录手簿

测站	测回数	目标	水平度盘读数		左-(右 ±180°) (2c) "	平均读数 左+(右±180°) 2 " . / " . / "	一测回归零 方向值 " . / " . / "	各测回归零 方向值 " . / " . / "	备注
			盘左 ° / ' / "	盘右 ° / ' / "					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
O	第1测回	A	0 02 22	180 02 10	+12	(0 02 19) 0 02 16	0 00 00	0 00 00	
		B	37 44 34	217 44 16	+18	37 44 25	37 42 06	37 42 11	
		C	110 29 16	290 29 10	+06	110 29 13	110 26 54	110 26 56	
		D	150 14 52	330 14 46	+06	150 14 49	150 12 30	150 12 26	
		A	0 02 28	180 02 16	+12	0 02 22			
		归零差	Δ左=06"	Δ右=06"					
O	第2测回	A	90 03 30	270 03 34	-04	(90 03 33) 90 03 32	0 00 00		
		B	127 45 52	307 45 46	+06	127 45 49	37 42 16		
		C	200 30 34	20 30 28	+06	200 30 31	110 26 58		
		D	240 15 52	60 15 58	-06	240 15 55	150 12 22		
		A	90 03 34	270 03 34	00	90 03 34			
		归零差	Δ左=04"	Δ右=00"					

表3-3 方向观测法限差要求

限差项目	DJ ₂ 型	DJ ₆ 型
半测回归零差 Δ	12"	24"
同一测回 2c 互差	18"	—
各测回归零方向值之较差	12"	24"

3.3.3 水平角观测注意事项

(1)仪器高度要和观测者的身高相适应;三脚架要踩实,仪器与脚架连接要牢固;操作仪器时不要手扶三脚架,走动时要防止碰动脚架,使用各种螺旋时用力要适当。

(2)对中要认真、仔细。特别是对于边长较短的水平角观测,对中要求应更严格。

(3)严格整平仪器。当观测目标间高低相差较大时,更需注意仪器整平。

(4)观测目标要竖直,尽可能用十字丝中心部位瞄准目标(标杆或测钎)底部,并注意消除视差。

(5)有阳光照射时,要打伞遮光观测;一测回观测过程中,不得再调整照准部管水准器气泡;如气泡偏离中心超过1格,应重新整平仪器,重新观测;在成像不清晰的情况下,要停止观测。

(6)对于一切原始观测值和记事项目,必须现场记录在正式的外业手簿中,字迹要清楚、整齐、美观,不得涂改、擦改、重笔、转抄。手簿中各记事项目,每一测站或每一观测时间段的首末页都必须记载清楚,填写齐全。进行方向观测时,每站第一测回应记录所观测的方向序号、点名和照准目标,其余测回仅记录方向序号即可。

(7)在一个测站上,只有当观测结果全部计算、检查合格后方可迁站。

3.3.4 数据记录要求

(1)手簿项目填写齐全,不留空页,不撕页。

(2)记录数字字体正规,符合规定。

(3)读记错误的秒值不许改动,应重新观测。读记错误的度、分值,必须在现场更改,但同一方向盘左、盘右、半测回方向值三者不得同时更改两个相关数字,同一测站不得有两个相关数字连环更改,否则均应重测。

(4)凡更改错误,均应将错误数字、文字用横线整齐划去,在其上方写出正确数字或文字。原错误数字或文字应仍能看清,以便检查。需重测的方向或需重测的测回可用从左上角至右下角的斜线划去。凡划改的数字或划去的不合格结果,均应在备注栏内注明原因。需重测的方向或测回,应注明其重测结果所在页数。废站也应整齐划去并注明原因。

(5)补测或重测结果不得记录在测错的手簿页的前面。

3.4 竖直角观测

3.4.1 竖直度盘的结构与原理

经纬仪的竖直度盘(简称竖盘)垂直装在望远镜旋转轴(横轴)的一端,如图 3-10 所示。

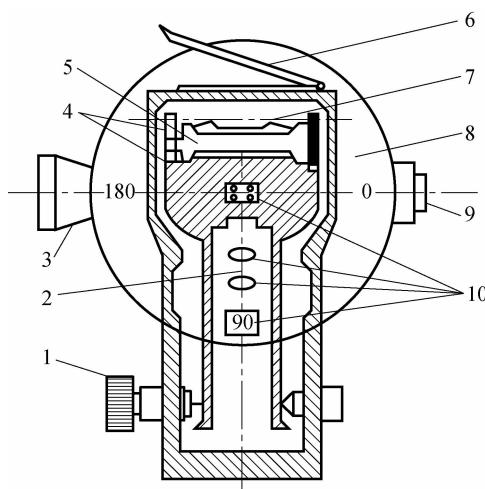


图 3-10 DJ₆ 光学经纬仪竖盘构造

1—指标水准管微动螺旋; 2—光具组光轴; 3—望远镜; 4—水准管校正螺丝; 5—指标水准管;

6—指标水准管反光镜; 7—指标水准管轴; 8—竖直度盘;

9—目镜; 10—光具组(透镜和棱镜)

横轴垂直于竖盘且过竖盘中心,当望远镜在竖直面内绕横轴转动时,竖盘随望远镜一起转动,竖盘的影像通过棱镜和透镜所组成的光具组,成像在读数显微镜的读数窗内。光具组的光轴和读数窗中测微尺的零分划线构成竖盘读数指标线,读数指标线相对于转动的度盘是固定不动的,因此,当转动望远镜照准高低不同的目标时,固定不动的指标线便可在转动的度盘上读到不同的读数。

光具组又和竖盘指标水准管相连,并且竖盘指标水准管轴和光具组光轴相垂直。当转动竖盘指标水准管微动螺旋时,读数指标线作微小移动;当竖盘指标水准管气泡居中时,读数指标线处于正确位置。因此,在进行竖直角观测时,每次读取竖盘读数之前,都必须先使竖盘指标水准管气泡居中。

竖直度盘分划与水平度盘相似,但其注记形式较多,对于 DJ₆ 型光学经纬仪,竖盘刻度通常有 0°~360°顺时针和逆时针注记两种形式(如图 3-11 所示)。当竖直度盘的构造线水平(视准轴水平),竖盘水准管气泡居中时,竖盘盘左位置竖盘指标正确读数为 90°;同理,当视线水平且竖盘水准管气泡居中时,竖盘盘右位置竖盘指标正确读数为 270°。

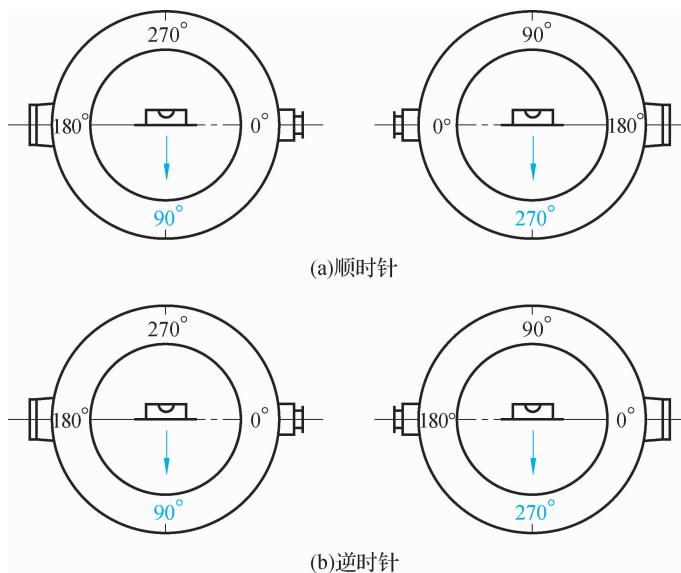


图 3-11 坚盘注记的形式

3.4.2 坚直角计算

坚直角是目标视线与水平视线之间的夹角,其计算与水平角计算原理一样,也应是两个方向线的竖盘读数之差。不过任何注记形式的竖盘,当视线水平时,不论是盘左还是盘右,其读数是个定值(90°的整倍数),所以测定坚角时实际只对视线指向的目标进行读数即可。

以顺时针竖盘注记形式为例,如图 3-12 所示,盘左、盘右水平视线的读数为定值 90°或 270°,当望远镜视线慢慢上扬,盘左时竖盘读数逐渐减少,盘右时竖盘读数逐渐增加。设 L 为盘左时视线照准目标时的读数,R 为盘右时视线照准目标时的读数,则盘左时测得的坚直角 $\alpha_{左}$ 为

$$\alpha_{左} = 90^{\circ} - L \quad (3-9)$$

盘右时测得的坚直角 $\alpha_{右}$ 为

$$\alpha_{右} = R - 270^\circ \quad (3-10)$$

由于竖盘读数 L 和 R 通常含有误差, $\alpha_{左}$ 和 $\alpha_{右}$ 不相等, 因此取二者的平均值为竖直角 α 的大小, 则

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_{左} + \alpha_{右}) = \frac{1}{2}[(R - L) - 180^\circ] \quad (3-11)$$

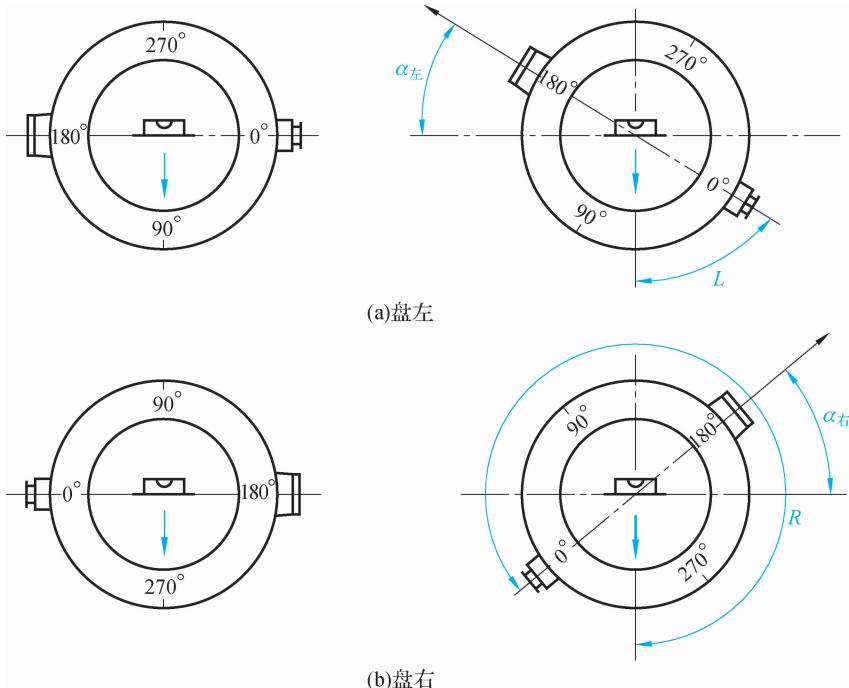


图 3-12 坚直角的计算

【例 3-1】 用如图 3-11 所示的经纬仪, 观测一高处目标, 盘左时读数为 $81^\circ 15' 42''$, 盘右时读数为 $278^\circ 44' 24''$, 计算竖直角的大小。

【解】 将盘左、盘右读数代入公式(3-11), 则

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{1}{2}(\alpha_{左} + \alpha_{右}) = \frac{1}{2}[(R - L) - 180^\circ] \\ &= \frac{1}{2}[(278^\circ 44' 24'' - 81^\circ 15' 42'') - 180^\circ] = +8^\circ 44' 21''\end{aligned}$$

对于逆时针分划注记的竖盘, 可以用同样的方法推算出竖直角的计算公式为

$$\alpha_{左} = L - 90^\circ \quad (3-12)$$

$$\alpha_{右} = 270^\circ - R \quad (3-13)$$

因此取二者的平均值为竖直角 α 的大小, 则

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_{左} + \alpha_{右}) = \frac{1}{2}[(L - R) + 180^\circ] \quad (3-14)$$

3.4.3 坚盘指标差

如式(3-9)所示的竖直角计算公式是在假定读数指标线位置正确的情况下得出的。但

在实际工作中,当望远镜视线水平且竖盘指标水准管气泡居中时,竖盘读数往往不是应有的常数,这是由于竖盘指标偏离了正确位置,使视线水平时的竖盘读数比该常数大了或小了一个数值,这个偏离值称为竖盘指标差,一般用 x 表示。

图3-13(a)所示为盘左位置,由于存在指标差,当望远镜照准目标时,读数大了一个 x 值,正确的竖直角为

$$\alpha_{\text{左}} = 90^\circ - (L - x) \quad (3-15)$$

同样,如图3-13(b)所示,在盘右位置用望远镜照准同一目标,读数仍然大了一个 x 值,则正确的竖直角值为

$$\alpha_{\text{右}} = (R - x) - 270^\circ \quad (3-16)$$

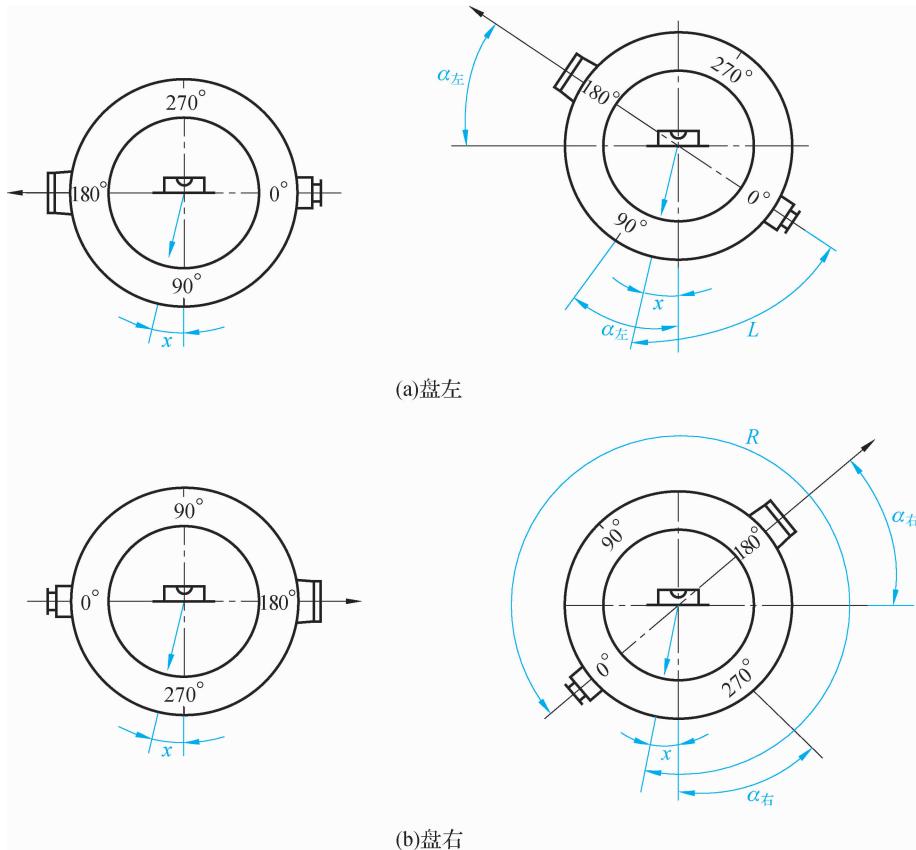


图3-13 坚盘指标差示意图

式(3-15)和式(3-16)相加,并除以2,得

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_{\text{左}} + \alpha_{\text{右}}) = \frac{1}{2}(R - L - 180^\circ) \quad (3-17)$$

由此可知,在测量竖直角时,用盘左、盘右观测取平均值的办法可以消除坚盘指标差的影响。

将式(3-15)和式(3-16)相减再除以2得坚盘指标差的计算公式为

$$x = \frac{1}{2}(\alpha_{\text{左}} - \alpha_{\text{右}}) = \frac{1}{2}(R + L - 360^\circ) \quad (3-18)$$

竖直角观测中,同一仪器观测各个方向的指标差应当相等,若不相等则是由于照准、整

平和读数存在误差所导致的。其中最大指标差和最小指标差之差称为指标差的变动范围，对于 DJ₆ 光学经纬仪，指标差的变动范围应不超过±25"(《城市测量规范》CJJ/T 8—2011)。

3.4.4 坚直角观测的操作步骤

(1) 在测站上安置仪器，进行对中、整平、量取仪器高(测站点标志顶端至仪器横轴的垂直距离)。

(2) 当仪器整平后，用盘左位置照准目标，固定照准部和望远镜，转动水平微动螺旋和坚直微动螺旋，使十字丝的中丝精确切准目标的特定部位，如图 3-7 所示。

(3) 旋转竖盘指标水准器微动螺旋，使其气泡居中，重新检查目标切准情况，确认无误后即可读数，记入手簿中相应位置(即表 3-4 第 6 列相应位置)。对于有自动安平补偿器的经纬仪，则无指标水准器，不需此项操作，观测时，切准目标后即可观测读数。

(4) 纵转望远镜，用盘右位置照准同一目标的同一特定部位，按(3)操作并读数，记入表 3-4 的第 6 列相应位置。

以上观测称为一测回。此观测法仅用十字丝的中丝照准目标，故称为中丝法。图根控制的坚直角观测，一般要求用中丝法观测两测回，且两个测回要分别进行，不得用两次读数的方法代替。

当一个测站上要观测多个目标时，可将 3~4 个目标作为一组，先观测本组所有目标的盘左，再纵转望远镜观测本组所有目标的盘右，将该数分别记入手簿相应栏内，这样可以减少纵转望远镜的次数，节约观测时间，但要防止记簿时记错位置。

对某一目标观测一测回结束后，即可计算其指标差 x ，记入表 3-4 的第 7 列；然后计算其坚直角 α 的大小，记入表 3-4 的第 8 列。当两个测回所测坚直角互差不超过限差规定(±24")时，取其平均值作为最后结果，记入表 3-4 的第 8 列。在一个测站上一次设站观测结束后，如果本站所有指标差互差不超过限差要求(±24")时，则本站坚直角观测合格，否则超限目标应重测。



测试

表 3-4 坚直角观测记录手簿

测站	仪器高 /m	目标	目标高 /m	竖盘位置	竖盘读数 ° ′ ″	指标差 ″	半测回 坚直角 ° ′ ″	一测回 坚直角 ° ′ ″	备注	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
O	1.56	A	2.64	左	81 48 36	+3	+8 11 24	+8 11 27		
				右	278 11 30		+8 11 30			
	B		2.82	左	96 26 42	+24	-6 26 42	-6 26 18		
				右	263 34 06		-6 25 54			

3.4.5 坚直角观测的注意事项

(1) 横丝切准目标的特定部位，要在观测手簿相应栏内注明或绘图表示，不能含糊不清或没有交代。同一目标必须切准同一部位。

(2) 盘左、盘右照准目标时，应使目标影像位于纵丝附近两侧的对称位置上，这样有利于

消除横丝不水平引起的误差。

(3)每次读数前必须使指标水准器气泡居中(对自动安平经纬仪则无此要求)。

(4)图根控制的竖直角观测时间段一般不予限制,但对于视线过长或通过江河湖海等水面时,应选择在中午前后进行观测,避免在日出前和日落后气差较大时观测。

(5)每次设站应及时量取仪器高和观测目标高,量至厘米,记入观测手簿相应栏内,并将量取观标高的特定部位在手簿相应栏内注明。

(6)记簿要求同水平角观测的记簿要求。

3.5 光学经纬仪的检验与校正

1. 经纬仪的主要轴线及应满足的条件

如图 3-14,光学经纬仪的主要轴线有:竖轴 VV , 水准管轴 LL , 横轴 HH , 视准轴 CC , 圆水准器轴 $L'L'$ 。在使用前,应对经纬仪进行检验与校正,以使这些轴线满足以下的条件。

(1)竖轴 VV 应垂直于水准管轴 LL ,从而应进行照准部水准管轴的检验与校正。

(2)横轴 HH 应垂直于十字丝竖丝,从而应进行十字丝竖丝的检验与校正。

(3)横轴 HH 应垂直于视准轴 CC ,从而应进行视准轴的检验与校正。

(4)横轴 HH 应垂直于竖轴 VV ,从而应进行横轴的检验与校正。

(5)竖盘指标差应为零,从而要进行指标差的检验与校正。

(6)光学垂线与竖轴 VV 重合,从而要进行光学对中器的检验与校正。

(7)圆水准轴 $L'L'$ 应于竖轴 VV 平行,从而应进行圆水准器的检验与校正。

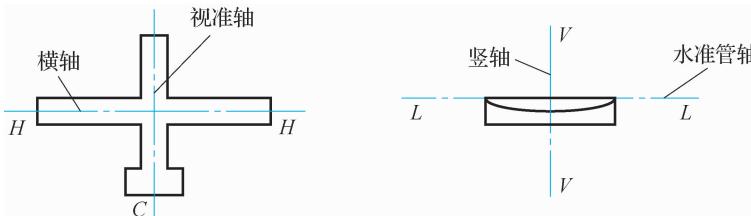


图 3-14 经纬仪的主要轴线及相对关系

2. 照准部水准管轴的检验与校正



(1)检验:用任意两脚螺旋使水准管气泡居中,然后将照准部旋转 180° ,若气泡偏离一格,则需校正。

(2)校正:用脚螺旋使气泡向中央移动一半后,再拨动水准管校正螺丝,使气泡居中。此时若圆水准器气泡不居中,则拨动圆水准器校正螺丝。

图文

照准部水准管轴垂直于竖轴的检验与校正

3. 十字丝竖丝的检验与校正

(1)检验:用十字丝交点对准一目标点,再转动望远镜微动螺旋,看目标点是否始终在竖丝上移动。

(2)校正:微松十字丝的四个压环螺丝,转动十字丝环,使目标点始终在竖丝上移动。

4. 视准轴的检验与校正

(1)检验:如图 3-15 所示,在平坦地面上选择一直线 AB ,约 $60\sim100$ m,在 AB 中点 O 点

安置仪器，并在B点垂直AB横放一小尺。盘左瞄准A，制动照准部，纵转望远镜，在B点小尺上读取 B_1 ；再用盘右瞄准A，同法在B点小尺上读取 B_2 。如果 B_1 与 B_2 两读数相同，说明视准轴垂直于横轴，如果 B_1 与 B_2 两读数不相同，由图3-15可知， $\angle B_1OB_2 = 4c$ （ c 为视准轴误差），由此算得

$$c = \frac{\Delta B}{4D_{OB}} \cdot \rho \quad (3-19)$$

式中， ΔB 为 B_1 与 B_2 的读数差； D_{OB} 为O点到B点的水平距离； ρ 为弧度秒值， $\rho=206^{\circ}265''$ 。

对于J₆型光学经纬仪，当 $c>1'$ 时须进行校正；对于J₂型光学经纬仪，当 $c>30''$ 时须进行校正。

(2)校正：拨动十字丝左右两个校正螺丝，使十字丝交点由 B_2 点移至 BB_2 中点 B_3 。

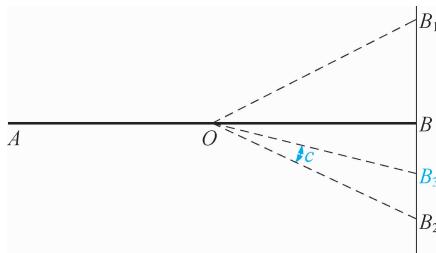


图3-15 视准轴的检验与校正

5. 横轴的检验与校正

(1)检验：如图3-16所示，在20~30 m处的墙上选一仰角大于30°的目标点P，先用盘左瞄准P点，放平望远镜，在墙上定出 P_1 点；再用盘右瞄准P点，放平望远镜，在墙上定出 P_2 点。如果 P_1 、 P_2 两点重合，说明横轴是水平的，横轴垂直于竖轴。如果 P_1 、 P_2 两点不重合，则说明横轴不水平，倾斜了一个角度 i ，则有

$$i = \frac{\Delta P}{2D \cdot \tan \alpha} \cdot \rho \quad (3-20)$$

式中， ΔP 为 P_1 、 P_2 的读数差； D 为仪器至墙的水平距离； α 为照准高点P的竖直角； ρ 为弧度秒值， $\rho=206^{\circ}265''$ 。

对于J₆型光学经纬仪，当 $i>20''$ 时须进行校正。

(2)校正：用十字丝交点瞄准 P_1P_2 的中点M，抬高望远镜，并打开横轴一端的护盖，调整支承横轴的偏心轴环，抬高或降低横轴一端，直至交点瞄准P点。此项校正一般由仪器检修人员进行。

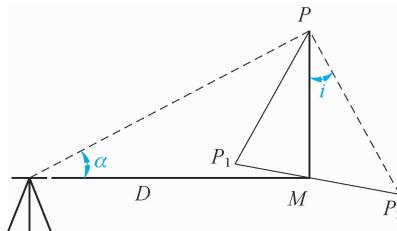


图3-16 横轴的检验与校正

6. 指标差的检验与校正

(1) 检验: 用盘左、盘右先后瞄准同一目标, 按式(3-18)计算指标差 x 。对于 J₆ 型光学经纬仪, 当 $x > 1'$ 时须进行校正; 对于 J₂ 型光学经纬仪, 当 $x > 30''$ 时须进行校正。

(2) 校正: 先计算出盘左或盘右的正确读数($R_o = R - x$ 或 $L_o = L - x$), 然后用指标水准管微动螺旋, 使中丝对准 R_o 或 L_o 读数的位置, 再用拨针使指标气泡居中。

7. 光学对中器的检验与校正

(1) 检验: 整平仪器后, 将刻划中心在地面上投下一点, 再旋转照准部, 每隔 120° 投下一点, 若三点不重合, 则需校正。

(2) 校正: 用拨针使刻划中心向三点的外接圆心移动一半。

8. 圆水准器的检验与校正

(1) 检验: 精平(水准管气泡居中)后, 若圆水准气泡不居中, 则需校正。

(2) 校正: 用圆水准气泡校正螺丝使其居中。

3.6 角度测量误差

3.6.1 仪器误差

1. 仪器制造不完善引起的误差

1) 照准部偏心差

照准部偏心差是指水平度盘的刻划中心与照准部的旋转中心不重合而产生的误差。当两中心不重合(即有照准部偏心差存在)时, 盘左、盘右瞄准同一方向目标时的读数与正确读数分别相差一个 δ_a 、 δ_b (如图 3-17 所示), δ_a 、 δ_b 绝对值相等并且符号相反。因此对于 DJ₆ 型光学经纬仪, 取同一方向盘左、盘右位置读数的平均值, 可以基本消除照准部偏心差的影响。对于 DJ₂ 型光学经纬仪, 因采用了对径符号读数装置, 可在读数时消除照准部偏心差的影响。

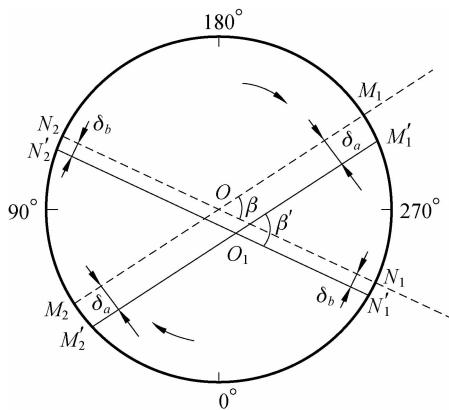


图 3-17 照准部偏心差对水平方向的影响

2) 度盘分划误差

度盘分划误差是由度盘刻划不均匀所造成的,在精密仪器制造工艺中,这项误差一般很小。在水平角精密测量时,为提高测角精度,可以多测几个测回,利用度盘位置变换手轮,在各测回之间变换度盘起始位置,使读数均匀分布在度盘各个位置,以减小其影响。

2. 仪器校正不完善引起的误差

1) 视准轴误差

视准轴误差是视准轴与横轴不垂直而造成的误差。但由于视准轴误差 c 在盘左、盘右位置时符号相反而数值相等,故用盘左、盘右位置观测取其平均值就可以消除视准轴误差的影响。

2) 横轴误差

横轴误差是指横轴不水平时所产生的微小倾角。但由于横轴不水平误差在盘左、盘右位置时符号相反而数值相等,故用盘左、盘右位置观测取平均值可以消除横轴不水平误差的影响。

3) 竖轴误差

当管水准器的水准轴与竖轴不正交时,即使气泡居中,竖轴也不在铅垂线方向上,这种竖轴偏离铅垂线的角度称为竖轴误差。同时,仪器在使用时没有严格整平也会产生竖轴误差。竖轴误差不能通过盘左、盘右读数取平均值的方法消除,只能在观测前认真检校照准部的管水准器,观测时认真整平仪器。如在观测过程中发现水准气泡偏离过大,则应及时检查原因,并重新置平仪器再进行观测,否则观测结果是不可靠的。

4) 竖盘指标差

竖盘指标差是由于竖盘指标线没有处于正确位置而引起的误差,其原因可能是竖盘指标水准管没有整平、气泡没有居中,也可能是经检校之后的残余误差,因此观测竖直角时,首先一定要调节竖盘指标水准管,使气泡居中。若此时竖盘指标线仍不在正确位置,如3.4节所述,可采用盘左、盘右观测取平均值的方法消除竖盘指标差。

上述四种误差中,视准轴误差、轴误差与竖轴误差三者合称为三轴误差,是仪器误差的重要组成部分。

3.6.2 观测误差

1. 对中误差

对中误差是指仪器中心没有置于测站点的铅垂线上所产生的误差。仪器对中不准确,使仪器中心偏离测站中心的位移称为偏心距,偏心距将使所观测的水平角值不准确。经研究得知,对中引起的水平角观测误差与偏心距成正比,并与测站到观测点的距离成反比。因此,在进行水平角观测时,仪器的对中误差不应超出相应规范规定的范围,特别是对短边的角度进行观测时,更应该精确对中。

2. 整平误差

若仪器未能精确整平或在观测过程中气泡不再居中,竖轴就会偏离铅直位置。此项误差的影响与观测目标时的竖直角大小有关,当观测目标与仪器视线大致同高时,影响较小。若观测目标的竖直角较大,则整平误差的影响明显增大,此时,应特别注意认真整平仪器。当发现水准管气泡偏离零点超过一格以上时,应重新整平仪器,重新观测。

3. 目标偏心误差

目标偏心误差是指实际瞄准的目标位置偏离地面标志点而产生的误差。目标偏心是由于目标点的标志倾斜引起的。在观测点上一般都会竖立标杆,当标杆倾斜而又瞄准其顶部时,标杆越长,瞄准点越高,则产生的方向值误差越大;另外,目标偏心对测角的影响与距离成反比,在距离较短时,应特别注意目标偏心。为了减少目标偏心对水平角观测的影响,观测时,标杆要准确而竖直地立在测点上,并且尽量瞄准标杆的底部。

4. 瞄准误差

引起误差的因素很多,如望远镜孔径的大小、分辨率、放大率、十字丝粗细等,人眼的分辨能力,目标的形状、大小、颜色、亮度和背景等,以及周围的环境、空气透明度、大气的湍流和温度等,其中望远镜放大率的影响最大。经计算,DJ₆型经纬仪的瞄准误差为 $\pm 2''$ ~ $\pm 2.4''$ 。所以,尽管观测者认真仔细地照准目标,但仍不可避免地存在照准误差,故此项误差无法消除,只能注意改善影响照准精度的各项因素,严格按要求进行照准操作,同时观测时应注意消除视差,调清十字丝,以此来减小瞄准误差的影响。

5. 读数误差

读数误差与读数设备、照明情况和观测者的经验有关。一般来说,主要取决于读数设备。对于DJ₆型光学经纬仪,估读误差不超过分划值的1/10,即不超过 $\pm 6''$ 。如果照明情况不佳,读数显微镜存在视差,以及读数不熟练,就会使估读误差增大。因此在观测中必须严格按照要求进行操作,使照明显得均匀,仔细地对读数显微镜调焦,准确估读,尽可能减小读数误差的影响。

3.6.3 外界条件的影响



图文
角度测量的注意事项

影响角度测量的外界因素很多,例如,大风、松软的土层会影响仪器的稳定,地面辐射热会影响大气稳定从而引起物像的跳动,空气的透明度会影响照准的精度,温度的变化会影响仪器的正常状态等。这些都会在不同程度上影响测角的精度,要想完全避免是不可能的,观测者只能采取必要措施,选择有利的观测条件和时间,使这些外界因素的影响程度降到最小,从而保证测角的精度。

3.7 全站仪角度测量简介



图文
全站仪的结构与原理

全站仪,即全站型电子速测仪,是一种集光、机、电为一体,具有测量水平角、垂直角、距离、高差、坐标等功能的测绘仪器。因其安置一次仪器就可完成该测站上全部测量工作,所以称之为全站仪。与光学经纬仪比较,全站仪将光学度盘换为光电扫描度盘,用自动记录和显示读数取代人工光学测微读数,使测角操作简单化,且可避免读数误差的产生。全站仪的自动记录、储存、计算以及数据通信功能,进一步提高了测量作业的自动化程度。

全站仪的水平度盘和竖直度盘及其读数装置是分别采用两个相同的光栅度盘(或编码盘)和读数传感器,根据测角精度可分为 $0.5''$ 、 $1''$ 、 $2''$ 、 $3''$ 、 $5''$ 、 $10''$ 等几个等级。

3.7.1 全站仪的基本功能

1. 角度测量

全站仪除具有一般经纬仪的水平角和竖直角测量功能外,还具有以下附加功能。

(1) 水平角设置:可进行任意值输入、任意方向置零、任意角值的锁定(照准部旋转时角值不变)、右角/左角的测量(照准部顺时针旋转时角值增大,照准部逆时针旋转时角值增大)、角度复测(按测量次数计算其平均值的模式)。

(2) 竖直角显示变换:可以天顶距、高度角、倾斜角、%坡度等方式显示竖直角。

(3) 角度单位变换:可以 360° 、 400 gon、 6400 mil 等方式显示角度。

(4) 角度自动补偿:全站仪使用电子水准器,可以从照准轴和水平轴两个方向来检测仪器倾斜值,具有补偿垂直轴误差、水平轴误差、照准轴误差、偏心误差等多项误差的功能。

2. 距离测量

全站仪具有电磁波测距仪的测距部,可以方便地测量平距、斜距和高差。

3. 三维坐标测量

对仪器进行必要的参数设定后,全站仪可直接测定点的三维坐标,如在地形测图等场合使用可大大提高作业效率。

3.7.2 全站仪测角原理

全站仪与光学经纬仪的外形和结构大体相同,在使用方法上也有许多相通之处,最主要的区别是全站仪采用了一套光电扫描度盘系统和自动显示系统,将角度值转化成数码,然后经译码显示在液晶屏幕上。

目前,电子测角有三种度盘形式,即编码度盘、光栅度盘和格区式度盘。下面分述其测角原理。

1. 编码度盘测角原理

编码度盘属于绝对式度盘,即度盘的每一个位置均可读出绝对的数值。

如图 3-18 所示为编码度盘。整个圆盘被均匀地分成 16 个扇形区间,每个扇形区间由里到外分成四个环带,称为四条码道。图中黑色部分表示透光区,白色部分表示不透光区。透光表示为二进制代码 1,不透光表示为 0。这样通过各区间的四个码道的透光和不透光即可由里向外读出四位二进制数来。码道与区间的对应关系见表 3-5。

这种度盘测量角度的关键在于识别照准方向所在的区间。如已知角度的起始方向在区间 1 内,某照准方向在区间 8 内,则中间所隔六个区间所对应的角度值即为该角的角值。

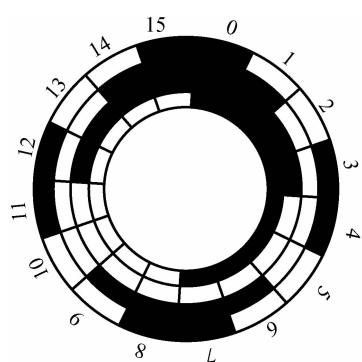


图 3-18 编码度盘

表 3-5 码道、区间对应表

区 间	二进制编码	角 值	区 间	二进制编码	角 值
0	0000	0°00'	8	1000	180°00'
1	0001	22°30'	9	1001	202°30'
2	0010	45°00'	10	1010	225°00'
3	0011	67°30'	11	1011	247°30'
4	0100	90°00'	12	1100	270°00'
5	0101	112°30'	13	1101	292°30'
6	0110	135°00'	14	1110	315°00'
7	0111	157°30'	15	1111	337°30'

上述的码盘有四个码道,区间为 16,其角度分辨率为 $360^\circ/16=22.5^\circ$,显然这样分辨率的码盘是不能在实际中应用的。要提高角度分辨率,必须缩小区间间隔;而要增加区间的状态数,就必须增加码道数。由于测角的度盘不能制作得太大,因此码道数就受到光电二极管尺寸的限制。单独利用编码度盘测角是很难达到很高精度的,所以在实际中,是用码道和各种细分法相结合进行读数。

2. 光栅度盘测角原理

在光学玻璃圆盘上全圆 360° 均匀而密集地刻划出许多径向刻线,构成等间隔的明暗条纹(即光栅),称作光栅度盘,如图 3-19 所示。通常光栅的刻线宽度与缝隙宽度相同,二者之和称为光栅的栅距。栅距所对应的圆心角即为栅距的分划值。如在光栅度盘上下对应位置安装照明器和光电接收管,光栅的刻线不透光但缝隙透光,即可把光信号转换为电信号。当照明器和接收管随照准部相对于光栅度盘转动时,由计数器计出转动所累计的栅距数,就可得到转动的角度值。

由于光栅度盘是累计计数的,所以这种系统常被称为增量式读数系统。

为了提高测角精度,在光栅测角系统采用了莫尔条纹技术,借以将栅距放大,再细分和计数。莫尔条纹技术原理如图 3-20 所示。用指示光栅(与光栅度盘具有相同密度和栅距的一段光栅)与光栅度盘以微小的间距重叠起来,并使两光栅刻线互成一微小的夹角 θ ,这时就会出现放大的明暗交替的条纹,这些条纹就是莫尔条纹,通过莫尔条纹即可将栅距 d 放大至 D 。

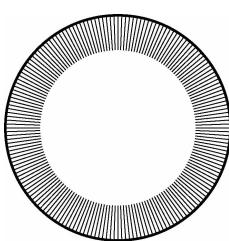


图 3-19 光栅度盘

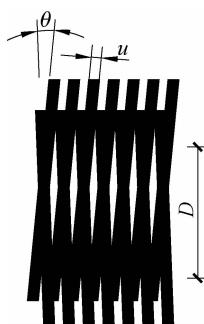


图 3-20 莫尔条纹

3. 格区式度盘动态测角原理

如图 3-21 所示,格区式度盘上刻有 1 024 个分划,每个分划间隔包括一条刻线和一个空隙(透光与不透光),其分划值为 φ_0 。度盘的内外缘上装有两个指示光栏: L_S 为固定光栏, L_R 为可动光栏。测角时,可动光栏 L_R 随照准部旋转, L_S 与 L_R 之间构成角度 φ ;度盘在马达带动下以一定速度旋转,其分划被光栏 L_S 与 L_R 扫描,系统计取两个光栏之间的分划数,从而求得角度值。如图 3-21 所示, $\varphi = n\varphi_0 + \Delta\varphi$,即 φ 角等于 n 个整周期 φ_0 与不足整周期的 $\Delta\varphi$ 之和。 n 与 $\Delta\varphi$ 分别由粗测和精测求得。

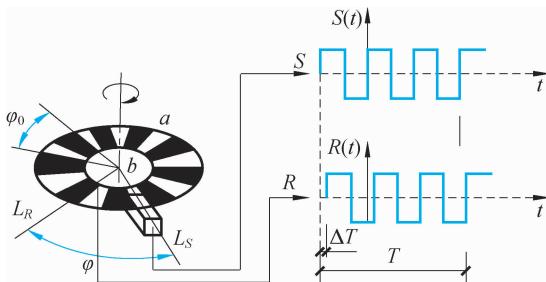


图 3-21 格区式度盘

提示 因为格区式度盘在测角时以一定速度旋转,所以这种系统也称为动态测角系统。

1) 粗测

在度盘同一径向的外缘和内缘上设有两个标记 a 和 b ,度盘旋转时,从标记 a 通过 L_S 时起,计数器开始计取整间隔 φ_0 的个数,当另一标记 b 通过 L_R 时计数器停止计数,此时计数器所得到的数值即为 φ_0 的个数 n 。

2) 精测

度盘转动时,通过光栏 L_S 与 L_R 分别产生两个信号 S 和 R , $\Delta\varphi$ 可通过 S 和 R 的相位关系求得。如果 L_S 与 L_R 处于同一位置,可相隔的角度是分划间隔 φ_0 的整倍数,则 S 和 R 同相,即二者相位差为零;如果 L_R 相对于 L_S 移动的间隔不是 φ_0 的整倍数,则分划通过 L_R 和分划通过 L_S 之间就存在着时间差 ΔT , $\Delta\varphi$ 可根据 ΔT 与周期 T_0 之比求得,即

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta T}{T_0} \varphi_0$$

式中, ΔT 为任意分划通过 L_S 之后,紧接着另一分划通过 L_R 所需的时间。

粗测和精测数据经微处理器处理后组合成完整的角值。

3.7.3 全站仪测角方法

全站仪的种类很多,目前常见的全站仪有美国的天宝系列、瑞士的徕卡 TC 系列、日本尼康的 DTM 系列、我国南方 NTS 系列等十多种品牌。各种全站仪的使用方法由自身的程序设计而定,使用前都必须认真地阅读仪器的使用说明书。本书以尼康 DTM-400 全站仪为例来介绍全站仪在测量中的应用。

1. 基本操作

1) 开机

按电源键开机,屏幕显示以前设置的温度和气压(如图 3-22 所示),上下转动望远镜进



图片
不同品牌的全站仪及其合作目标

进入基本测量状态界面(如图 3-23 所示)。



图 3-22 开机状态



图 3-23 基本测量状态(1/4)

2) 基本测量界面说明

在基本测量状态下,屏幕左上角“显示”二字说明全站仪所处状态,“1/4”表示目前显示的是基本测量状态下的 1/4 界面,按“显示”键依次显示基本测量状态下 2/4、3/4 和 4/4 界面,如图 3-24、图 3-25、图 3-26 所示。



图 3-24 基本测量状态(2/4)

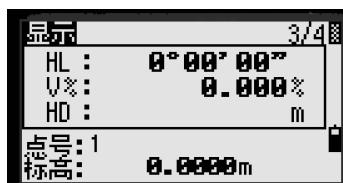


图 3-25 基本测量状态(3/4)



图 3-26 基本测量状态(4/4)

基本测量界面中各显示符号含义如下。

- HA: 水平角或方位角。
- VA: 垂直角或天顶距。
- SD: 斜距。
- VD: 垂距(高差)。
- HD: 平距。
- HL: 逆水平角。
- V%: 坡度比。
- X: X 坐标。Y: Y 坐标。Z: Z 坐标。
- 点号: 正在测量目标点的点号。
- 标高: 被测目标的高度(望远镜横丝所切棱镜处到地面的高度)。

3) 关机

在测量状态下,按电源键进入关机状态(如图 3-27 所示),按“回车”键关机,按“复位”键和“返回”键返回关机前状态,按“休眠”键进入休眠状态(如图 3-28 所示),按任意键退出休眠返回关机前状态。



图 3-27 关机状态



图 3-28 休眠状态

2. 角度测量

- (1) 在测站点安置仪器,开机进入基本测量模式。
- (2) 将仪器望远镜瞄准起始目标点。
- (3) 按“角度”键,全站仪显示角度测量界面(如图 3-29 所示);选择“置零”,将起始方向读数设置成零(如图 3-30 所示)。



图 3-29 角度测量界面

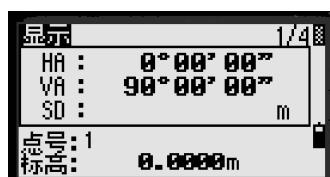


图 3-30 度盘置零

- (4) 将全站仪望远镜瞄准待测目标, 全站仪屏幕即显示所测角度。如图 3-31 所示, “HA:76°50'02”表示水平角为 $76^{\circ}50'02''$, “VA:89°12'56”表示视线的天顶距为 $89^{\circ}12'56''$ 。

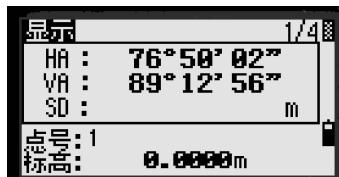


图 3-31 角度显示

在水平角测量时可以将起始方向读数设置成零,也可以将起始方向读数设置成所需的方向值。其方法是:在照准第一目标后,在基本测量模式下按“角度”键,显示角度测量界面(如图 3-29 所示);选择“输入”,随后显示角度输入界面(如图 3-32 所示);输入所需的方向值,如角度值为 $90^{\circ}03'06''$,输入 90.0306,按“回车”键确认(如图 3-33 所示)。



图 3-32 角度输入

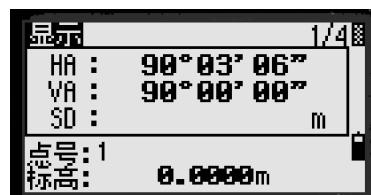


图 3-33 输入角度显示



思考练习

一、简答题

1. 什么是水平角? 什么是竖直角? 它们的取值范围各是多少?
2. DJ₆ 型光学经纬仪由哪几部分组成? 各部分有什么功能?
3. 在用经纬仪观测之前为什么要进行对中、整平? 如何对中、整平?
4. 试述测回法观测水平角的操作步骤。

5. 试述方向法观测水平角的操作步骤。
6. 竖直角观测时,在读取竖盘读数前一定要使竖盘指标水准管的气泡居中,为什么?
7. 什么是竖盘指标差? 如何消除竖盘指标差?
8. 角度观测有哪些误差影响? 如何消除或减弱这些误差的影响?
9. 试述使用全站仪测量水平角的操作步骤。
10. 简述全站仪的基本功能。

二、计算分析题

1. 完成表 3-6 中测回法观测水平角的计算。

表 3-6 习题-测回法水平角观测记录手簿

测站	测回	竖盘位置	目标	水平度盘读数 ° ′ ″	半测回角值 ° ′ ″	一测回角值 ° ′ ″	各测回平均角值 ° ′ ″	备注
<i>O</i>	1	左	A	0 00 06				
			B	78 48 54				
	2	右	B	258 49 06				
			A	180 00 36				
<i>O</i>	1	左	A	90 00 12				
			B	168 49 06				
	2	右	B	348 49 12				
			A	270 00 30				

2. 已知在 *B* 点上安置经纬仪按测回法观测 *A*、*C* 两个方向间的水平角, 盘左位置先照准 *A* 点, 后照准 *C* 点, 水平度盘的读数为 $6^{\circ}23'30''$ 和 $95^{\circ}48'00''$; 盘右位置照准 *C* 点, 后照准 *A* 点, 水平度盘的读数分别为 $275^{\circ}48'18''$ 和 $186^{\circ}23'18''$, 试将上述数据记录在表 3-7 中, 并计算该测回角值。

表 3-7 习题-测回法水平角观测记录手簿

测站	测回	竖盘位置	目标	水平度盘读数 ° ′ ″	半测回角值 ° ′ ″	一测回角值 ° ′ ″	各测回平均角值 ° ′ ″	备注

3. 完成表 3-8 中方向法观测水平角的计算。

表 3-8 习题-方向观测法记录手簿

测站	测回数	目标	水平度盘读数		左-(右 ±180°) (2c) "	平均读数 左+(右±180°) 2 " . / " "	一测回归零 方向值 . / " "	各测回归零 方向值 . / " "	备注
			盘左 . / " "	盘右 . / " "					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
O	第1测回	A	180 02 36	0 02 36					
		B	250 23 42	70 23 36					
		C	48 19 30	228 19 24					
		D	74 17 54	254 17 54					
		A	180 02 36	0 02 30					
		归零差							
O	第2测回	A	90 03 12	270 03 12					
		B	160 24 06	340 23 54					
		C	318 20 00	138 19 54					
		D	344 18 30	168 18 24					
		A	90 03 18	270 03 12					
		归零差							

4. 完成 3-9 表中竖直角观测的计算。

表 3-9 习题-竖直角观测记录手簿

测站	目标	竖直位置	竖直读数 . / " "	半测回竖直角 . / " "	指标差 "	一测回竖直角 . / " "	备注
O	A	左	72 18 18				
		右	287 42 00				
	B	左	96 32 48				
		右	263 27 30				

5. 用 DJ₆ 型光学经纬仪观测某一目标, 盘左竖直度盘读数为 71°45'24", 该仪器竖盘(盘左)注记如上题表 3-9 中所示, 测得竖盘指标差 $x=+24''$, 试求该目标正确的竖直角为多少。



实训 4 经纬仪的认识与使用

一、实训目标

1. 了解 DJ₆ 型光学经纬仪基本构造及主要部件的名称和作用。

2. 掌握经纬仪的基本操作方法——对中、整平、瞄准、读数。

二、计划与准备

1. 学生分组：小组由 4 人组成，分别担任观测员、记录员、棱镜员，设组长 1 人。
2. 仪器配置：DJ₆型光学经纬仪 1 台、三脚架 1 个、记录板 1 块、测钎 1 根、记录表格若干。
3. 实训时间：4 学时。
4. 实训场地：测绘单项技能训练实训场。
5. 任务内容与要求。
 - (1) 技术依据为《城市测量规范》。
 - (2) 认识经纬仪。
 - (3) 掌握经纬仪的安置方法，并进行读数练习。

三、实施

在指定的地面上安置经纬仪作为测站点，瞄准测钎或觇牌，进行水平角观测的读数练习。

1. 对中

经纬仪对中的目的是把仪器的中心安置在通过测站点的铅垂线上。对中时，将脚架腿伸开，长短适中，保持脚架面概略水平，平移脚架同时从光学对中器中观察地面情况，当地面标志点出现在视场中央附近时，停止移动，缓慢踩实脚架。旋转基座螺旋并观察地面标志点的移动情况，使对点器的十字丝中心对准地面标志点（此时圆水准器不居中）。松开脚架腿固定螺丝，适当调整三个脚架腿的长度，使圆水准器居中，此时地面标志点略微偏离十字丝中心，稍微松开中心连接螺旋，平行移动仪器使光学对点器与测站点标志完全重合，重复上述过程直至地面点落于十字丝中心，同时圆水准器也处于居中状态。

2. 整平

整平的目的是使仪器的竖轴竖直，使水平度盘处于水平位置。整平时一般先让圆气泡居中，使仪器大致水平，然后利用管水准器进行精平。用管水准器精平时，先转动照准部，使度盘水准管与一对脚螺旋相平行，按左手拇指规则转动脚螺旋，使气泡居中；然后将照准部旋转约 90°，仍按左手拇指规则旋转另一脚螺旋，使气泡居中。重复以上步骤，使照准部转到任何位置时水准管气泡的偏离不超过 1~2 格。

3. 瞄准

松开照准部上的水平制动螺旋，用望远镜上的瞄准器对准目标，使之位于望远镜的视场内，旋紧望远镜制动螺旋和水平制动螺旋。目镜调焦，使十字丝清晰；物镜调焦，使目标像清晰，消除视差（与水准仪操作相同）。旋转望远镜微动螺旋，使目标像的高低适中；旋转水平微动螺旋，使目标像被十字丝的单根纵丝平分或被双根纵丝夹在中央，完成水平方向的瞄准。

4. 读数

调整度盘照明镜的位置，使读数窗亮度适当；旋转度盘读数镜的目镜，使度盘分划清晰。DJ₆ 型经纬仪一般采用分微尺读数，估读至 0.1'，并化为秒数，将水平度盘的读数记入表 3-10。

5. 其他练习

(1) 盘左、盘右进行观测的练习。松开望远镜制动螺旋，纵转望远镜从盘左转为盘右（或

相反),进行瞄准目标和读数的练习。

(2) 改变水平度盘位置的练习。拧紧水平制动螺旋，打开保护盖，转动度盘变换手轮，从度盘读数镜中观察水平度盘读数的变化情况，并试对准某一整数度数，如 $0^{\circ}00'00''$, $90^{\circ}00'00''$ 等，最后盖好保护盖。

四、记录并提交成果

练习水平度盘读数并将结果记录在表 3-10 中。

表 3-10 实训-水平度盘读数练习

实训 5 测回法观测水平角

一、实训目标

1. 进一步熟悉 DJ₆ 型经纬仪的基本构造和使用方法。
 2. 掌握用 DJ₆ 型经纬仪进行测回法水平角观测的操作、记录和计算方法。

二、计划与准备

1. 学生分组:小组由 4 人组成,分别担任观测员、记录员、棱镜员,设组长 1 人。
 2. 仪器配置:DJ₆ 型光学经纬仪 1 台、三脚架 1 个、记录板 1 块、测钎 2 根、记录表格若干。