

模块 1 道路工程测量概论

学习目标

- 了解道路工程测量的主要任务,了解测量工作的基本原则和方法。
- 了解测量工作的基准面和基准线。
- 掌握地面点位的平面和高程的表示方法。

1.1 测量工作概述

1.1.1 测量的基本工作

测量工作的基本内容是确定地面点的位置,它有两方面的含义,一方面是将地面点的实际位置用坐标和高程表示出来,即测绘;另一方面是根据点位的设计坐标和高程将其在实地上的位置标定出来,即测设。要完成上述任务,必须用测量仪器通过一定的观测方法和手段测出已知点与未知点之间所构成的几何元素,才能由已知点导出未知点的位置。

点与点之间构成的几何元素有距离、角度和高差,这三个基本元素称之为测量定位三要素,因此距离测量、角度测量、高差测量是测量的基本工作。

1.1.2 测量工作的原则

在进行某项测量工作时,往往需要确定许多地面点的位置。假如从一个已知点出发逐点进行测量和推导,最后虽可得到欲测各点的位置,但这些点很可能是不正确的,因为前一点的测量误差将会传递到下一点,这样积累起来,最后误差可能超出允许的范围。因此测量工作必须依照一定的原则来防止测量误差的积累。

在实际测量工作中应遵循的原则是:在测量布局上要从整体到局部;在测量精度上要从高级到低级;在测量程序上要先控制后碎部。

“先控制后碎部”即在测区整体范围内选择一些有控制意义的点,首先把它们的坐标和高程精确地测定出来,然后以这些点作为已知点来确定其他地面点的位置。这些有控制意义的点组成了测区的测量骨干,称之为控制点。

采用上述原则进行测量,可以有效地控制误差的传递和积累,使整个测区的精度较为均匀和统一。

1.2 道路工程测量的任务和方法

测量学是测绘科学的重要组成部分,是研究地球的形状、大小,以及确定地球表面(含空中、地表、地下和海洋)物体的空间位置,并对这些空间位置的信息进行处理、储存、管理的科学。

测量学包括测绘和测设两部分内容。测绘是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算得到一系列测量数据,或把地球表面的地形缩绘成地形图。测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

测绘科学是一门既古老而又在不断发展的学科。按照研究范围和对象及采用技术的不同,测绘科学可以分为大地测量学、摄影测量学、地图制图学、工程测量学、地籍测量学,以及遥感测量学、地形测量学。而道路工程测量是工程测量学的重要组成部分,由于其面对的施工对象是公路、铁路等,因而在测量方法的处理上也有其特点。从广义上讲,道路工程测量是指为交通设施进行的平面定线和竖直定线测量。

道路工程测量贯穿于线路工程的规划设计、施工建设和运营管理三个阶段,呈现全线性的特点。在每一个阶段又必须为设计、施工、运营提供技术资料(各种测绘图件、工程测设与安装、变形监测等),以保证设计的可行性和精确性,指导和监督施工的正确性,保障运营管理的安全性。

道路工程测量包括路线勘测设计测量和公路施工测量两大部分。其中路线勘测设计测量包括中线测量、纵断面测量、横断面测量、地形图测量。公路施工测量的主要任务是将公路的设计位置按照设计与施工的要求测设到实地上,为施工提供依据,具体测量工作可分为公路施工前测量工作和施工过程中测量工作。

道路施工测量的方法既有其普遍的规律性,又有针对某些工程自身的特性,这主要是受施工的对象、内容、标准以及施工现场的条件等制约,因而在实际工作中要针对不同的条件采用不同的方法来完成任务。本书主要讲述道路工程测量中的一些常见问题及其处理方法,并针对不同性质的道路工程施工中的技术难点加以分析。

1.3 测量工作的基准面

1.3.1 水准面

任何一个静止的液体表面都叫作水准面。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。

1.3.2 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。地表最高处的珠穆朗玛峰海拔 8 844.43 m,海洋最深处的马里亚纳海沟

深达 11 034.0 m。地球表面看起来起伏变化非常大,但是这种起伏变化与庞大的地球(半径约为 6 371 km)相比是微不足道的。同时,就地球表面而言,海洋面积约占 71%,陆地面积仅占 29%,所以海水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水面向陆地延伸而形成包围地球的封闭的曲面,这个曲面称为大地水准面。因为受潮汐及风浪影响,海水面时高时低,所以取平均海水面作为大地水准面。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。

1.3.3 参考椭球与水平面

由于地球内部物质分布不均匀,致使铅垂线方向产生不规则变化,因而使大地水准面成为一个有微小起伏的不规则曲面,如图 1-1 所示。由于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,称为参考椭球面,它是测量计算和投影制图所依据的基准面。

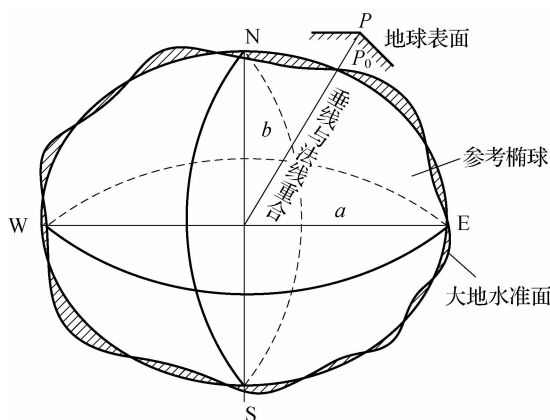


图 1-1 大地水准面与参考椭球

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 $a = 6\,378\,140\text{ m}$, $\alpha = 1 : 298.257$ 。

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,因此其半径采用与参考椭球同体积的圆球半径,其值 $R = 6\,371\text{ km}$ 。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。

1.4 地面点位的表示方法

1.4.1 地面点位的确定方法

设想将地面上高度不同的点分别沿铅垂线方向投影到大地水准面,得到相应的投影点,这些投影点分别表示地面点在球面上的相应位置。如果在测区中央作水平面与水准面相切,则地面点在水平面上也会有相应的投影点。

由此可见,地面点的空间位置可以用点在水准面或水平面上的投影位置及点到大地水准面的铅垂距离来表示。

1.4.2 地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程或海拔,简称高程,用 H 表示。它与地面点的坐标共同确定地面点的空间位置。如图 1-2 中地面点 A 、 B 的高程分别为 H_A 、 H_B 。

我国曾采用青岛验潮站 1950—1956 年的观测资料确定的黄海平均海水面作为高程起算面,称为“1956 年黄海高程系”,并在青岛观象山的一个山洞里建立了国家水准原点,其高程为 72.289 m。由于验潮资料不足等原因,我国自 1987 年启用“1985 年国家高程基准”,它是采用青岛大港验潮站 1952—1979 年的潮汐观测资料计算的平均海水面,依此推算的国家水准原点高程为 72.260 m。

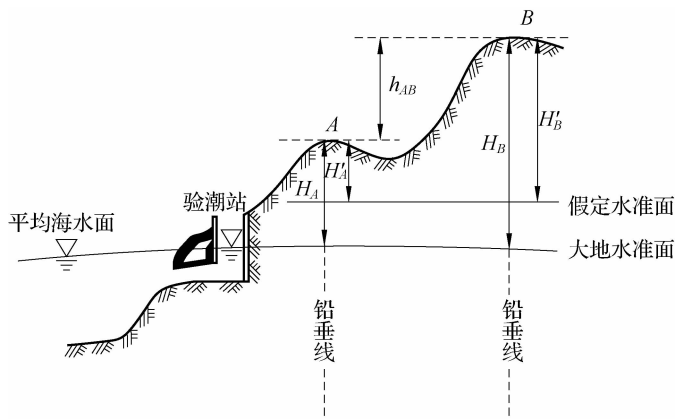


图 1-2 高程系统

当在局部地区进行高程测量时,也可以假定一个水准面为高程起算面。地面点到假定水准面的铅垂距离称为假定高程或相对高程。如图 1-2 所示, A 、 B 两点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。

地面上两点高程之差称为这两点的高差,用 h 表示。图 1-2 中 A 、 B 两点间的高差为:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-1)$$

B 、 A 两点间的高差为:

$$h_{BA} = H_A - H_B = H'_A - H'_B \quad (1-2)$$

可见:

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

1.4.3 地面点的坐标

地面点的坐标常用地理坐标、平面直角坐标或空间直角坐标来表示。

1. 地理坐标

地面点在球面上的位置常用经度和纬度来表示,称为地理坐标。因为我国位于东半球和北半球,所以各地的地理坐标都是东经和北纬。例如,北京的地理坐标为东经 $116^{\circ}28'$,北纬 $39^{\circ}54'$ 。

2. 平面直角坐标

地理坐标是球面坐标,若直接用于工程建设施工,会给很多计算和测量带来不便。为

此,须将球面坐标按一定的数学法则归算到平面上,即测量工作中所称的投影。我国采用的是高斯投影法。

1) 高斯平面直角坐标系

高斯投影是地球椭球体面正形投影于平面的一种数学转换过程,高斯投影法从首子午线自西向东开始,将地球按 6° 的经差分成 60 个带。在高斯投影中,离中央子午线越远,长度变形越大,当要求变形更小时,可采用 3° 带投影。

高斯平面直角坐标系的应用大大简化了测量计算工作,它把在椭球体面上的观测元素全部改化到高斯平面上进行计算,这在椭球体面上解算球面图形要简单得多。在公路工程测量中也经常应用高斯平面直角坐标,例如,高速公路的勘测设计和施工测量就是在高斯平面直角坐标系中进行的。

2) 独立平面直角坐标系

当测量的范围较小时,可以把该测区的球面当作平面看待,直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上,用平面直角坐标来表示它的投影位置,如图 1-3 所示。

测量上选用的平面直角坐标系规定纵坐标轴为 X 轴,表示南北方向,向北为正;横坐标轴为 Y 轴,表示东西方向,向东为正;坐标原点可假定,也可选在测区的已知点上;象限按顺时针方向编号。

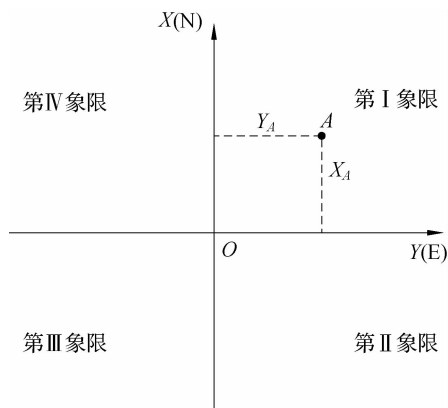


图 1-3 测量学上的独立平面直角坐标系

3. 空间直角坐标系

随着卫星定位技术的发展,采用空间直角坐标来表示空间一点的位置已在各个领域得到越来越多的应用。空间直角坐标系以地球的质心为原点 O , Z 轴指向地球的北极, X 轴指向格林尼治子午面与地球赤道的交点 E , 过 O 点与 XOZ 面垂直,按右手规则确定 Y 轴方向。

1.4.4 用水平面代替水准面的限度

当测区范围小,用水平面代替水准面所产生的误差在不超过测量误差的容许范围内时,可以用水平面代替水准面。但当测区范围较大时,是否容许这种代替,有必要加以讨论。为讨论方便,假定大地水准面为圆球面。

1. 以水平面代替水准面对距离的影响

如图 1-4 所示, A 、 B 、 C 是地面点,它们在大地上水准面上的投影点分别是 a 、 b 、 c ,用该区域

中心点的切平面代替大地水准面后,地面点在水平面上的投影点分别是 a' 、 b' 、 c' 。设 A 、 B 两点在大地水准面上的距离为 D ,在水平面上的距离为 D' ,两者之差 ΔD 即是用水平面代替水准面所引起的距离差异。将大地水准面近似地视为半径为 R 的球面,则有:

$$\Delta D = D' - D = R(\tan\theta - \theta) \quad (1-4)$$

将 $\tan\theta$ 按照级数展开,取其级数前两项带入式(1-4),得:

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

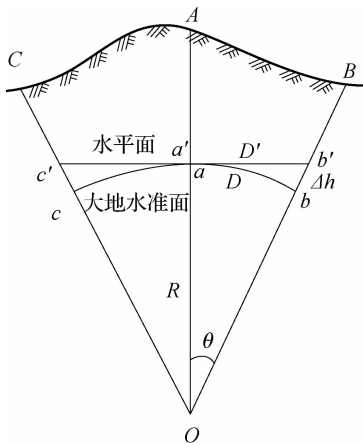


图 1-4 地球曲率的影响

取地球半径 $R=6\ 371\text{ km}$,以不同的距离 D 代入式(1-5),得到表 1-1 的结果。从表 1-1 中的结果可以看出,当 $D=10\text{ km}$ 时,所产生的相对误差为 $1:1\ 220\ 000$,在测量工作中,通常要求距离丈量的相对误差最高为 $1/1\ 000\ 000$,一般丈量要求为 $1/2\ 000\sim 1/4\ 000$ 。因此,在以 10 km 为半径的圆面积内进行距离测量时,可以把水准面当作水平面看待,而不须考虑地球曲率对距离的影响。

表 1-1 水平面代替水准面引起的距离误差和相对误差

D/km	10	20	30	40
$\Delta D/\text{cm}$	0.8	6.6	102.6	821.2
$\frac{\Delta D}{D}$	1/1 220 000	1/300 000	1/49 000	1/12 000

2. 以水平面代替水准面对高程的影响

如图 1-4 所示,地面点 B 的高程应是铅垂距离 bB ,用水平面代替水准面后, B 点的高程为 $b'B$,两者之差 Δh 即为对高程的影响,即:

$$\Delta h = bB - b'B = Ob' - Ob = R\sec\theta - R = R(\sec\theta - 1) \quad (1-6)$$

已知 $\sec\theta$ 按级数展开,仅取前两项代入式(1-6),可以得到:

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

用不同的距离代入式(1-7),便得到表 1-2 所列的结果。从表 1-2 中可以看出,用水平面代替水准面对高程的影响是很大的,距离为 0.2 km 时,就有 0.31 cm 的高程误差,这在高程

测量中是不允许的。因此,进行高程测量时,即使距离很短,也应用水准面作为测量的基准面,即应顾及地球曲率对高程的影响。

表 1-2 水平面代替水准面引起的高程误差

D/km	0.2	0.5	1	2	3	4	5
$\Delta h/\text{cm}$	0.31	2	8	31	71	125	196

思考与练习

1. 什么是水准面、大地水准面、参考椭球?
2. 什么是高程、假定高程?
3. 表示地面点的坐标系有哪些?
4. 测量坐标系与数学坐标系有哪些区别?
5. 测量工作所遵循的原则是什么?
6. 已知 A 点的高程为 498.521 m,测得 A 点到 B 点的高差为 -16.517 m,B 点的高程为多少?

模块2 水准测量

学习目标

- 了解水准测量的原理和水准仪的基本构造。
- 掌握水准仪的使用方法、水准测量的施测方法和内业计算。
- 了解水准仪的检验和校正方法。
- 了解水准测量的误差及影响。

2.1 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,通过读取竖立在两点上水准尺的读数,测定两点间的高差,从而由已知点高程推求未知高程。

如图 2-1 所示,欲测定 B 点的高程,需先测定 A 、 B 两点间的高差 h_{AB} 。为此,可在 A 、 B 两点上竖立水准尺,并在其间安置水准仪,利用水准仪的水平视线分别获得 A 、 B 两点水准尺上的读数 a 和 b ,求出两点间的高差为:

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

如果水准测量方向是由已知点 A 到待定点 B 进行的,则 A 点为后视点, a 为后视读数; B 点为前视点, b 为前视读数。 A 、 B 两点之间的高差等于后视读数减去前视读数。当读数 $a > b$ 时,高差为正值,说明 B 点高于 A 点;反之,当读数 $a < b$ 时,高差为负值,说明 B 点低于 A 点。

如果已知 A 点高程为 H_A 和测得高差为 h_{AB} ,则 B 点高程为:

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

以上利用高差计算高程的方法,称为高差法。

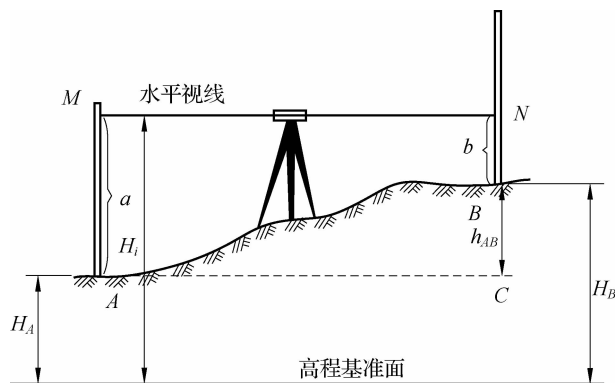


图 2-1 水准测量原理

由图 2-1 可知, B 点高程也可以通过仪器的视线高 H_i 计算, 即:

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

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

式(2-3)和式(2-4)用来计算 B 点高程的方法, 称为视线高程法。当需要安置一次仪器测多个前视点高程时, 利用视线高程法比较方便。

2.2 水准仪的认识和使用

2.2.1 微倾式水准仪的构造

最常见的水准仪是微倾式水准仪, 其构造如图 2-2 所示, 微倾式水准仪主要由望远镜、水准器和基座组成。水准仪的望远镜能绕仪器竖轴在水平方向上转动, 为了能精确地提供水平视线, 在仪器上安置了一个能使望远镜上下作微小运动的微倾螺旋, 所以称为微倾式水准仪。

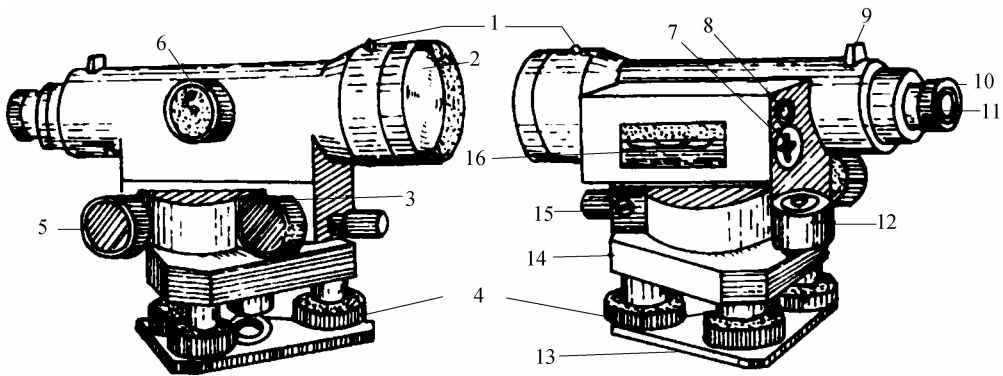


图 2-2 微倾式水准仪的构造

- 1—准星; 2—物镜; 3—微动螺旋; 4—脚螺旋; 5—微倾螺旋; 6—物镜对光螺旋; 7—校正螺丝;
8—符合水准器观测镜; 9—照门; 10—目镜对光螺旋; 11—目镜; 12—圆水准器;
13—连接板; 14—基座; 15—制动螺旋; 16—水准管

1. 望远镜

望远镜由物镜、目镜和十字丝分划板 3 个主要部件组成, 它的主要作用是瞄准远处的水准尺进行读数。十字丝分划板是在玻璃片上刻线后, 装在十字丝环上, 用 3 个或 4 个可转动的螺旋固定在望远镜筒上, 如图 2-3 所示。十字丝的上下两条短线称为视距丝, 上面的短线称上丝, 下面的短线称下丝。由上丝和下丝在标尺上的读数可求得仪器到标尺间的距离。十字丝的交点与物镜光心的连线称为视准轴。

为了控制望远镜的水平转动幅度, 在水准仪上装有一套制动和微动螺旋。当拧紧制动螺旋时, 望远镜就被固定, 此时可转动微动螺旋, 使望远镜在水平方向上做微小转动来精确照准目标, 当松开制动螺旋时, 微动就失去作用。有些仪器是靠摩擦制动的, 因此没有制动螺旋而只有微动螺旋。

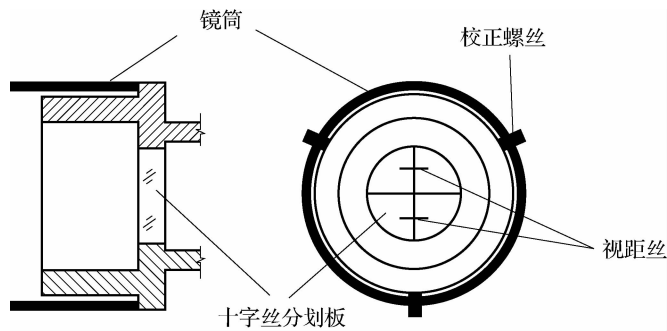


图 2-3 十字丝分划板平面图

2. 水准器

水准器的作用是把望远镜的视准轴安置到水平位置。水准器有圆水准器和管水准器两种。

圆水准器是一个玻璃圆盒，圆盒内装有化学液体，加热密封时留有气泡而成，如图 2-4 所示。圆水准器内表面是圆球面，中央画一小圆，其圆心称为圆水准器的零点，过此零点的法线称为圆水准器轴。当气泡中心与零点重合时，即为气泡居中。此时，圆水准轴线位于铅垂位置，也就是说水准仪竖轴处于铅垂位置，仪器达到基本水平状态。

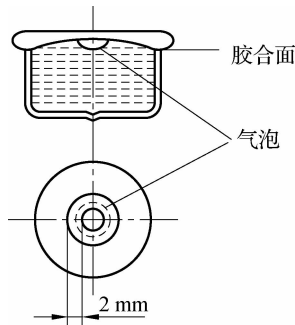


图 2-4 圆水准器

管水准器简称水准管，它是把玻璃管的纵向内壁磨成曲率半径很大的圆弧面，在管壁上刻上分划线，然后在管内装上酒精与乙醚的混合液，加热密封时留有气泡而成，如图 2-5 所示。

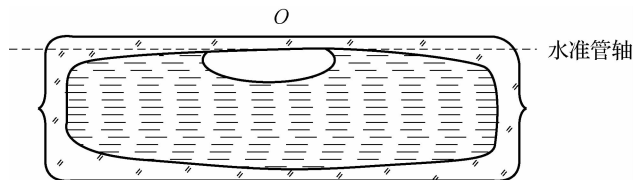


图 2-5 管水准器

水准管内壁的圆弧中心为水准管零点，过零点与内壁圆弧相切的直线称为水准管轴。当气泡两端与零点对称(即气泡居中)时，水准管轴处于水平位置，也就是水准仪的视准轴处

于水平位置。

符合式水准器是提高管水准器置平精度的一种装置。在水准管上方装有一组符合棱镜组,气泡两端的半影像经过折光反射后反映在望远镜旁的观测窗内,如果两端半影像重合,则表示水准管气泡已居中,否则就表示气泡没有居中。

由于符合式水准器通过符合棱镜组的折光反射把气泡偏移零点的距离放大一倍,因此较小的偏移也能被充分地反映出来,从而提高了置平精度。

3. 基座

基座主要由轴座、脚螺旋和连接板组成。仪器上部通过竖轴插入座内,由基座承托整个仪器,仪器用连接螺旋与三脚架连接。

2.2.2 水准尺和尺垫

水准尺是与水准仪配合进行水准测量的工具。水准尺分为直尺、折尺和塔尺。塔尺的最小分划有 5 mm 和 1 cm 两种,按材质分为木制、铝合金、玻璃钢塔尺。双面水准尺的分划,一面是黑白相间的,称为黑色面(主尺),黑面分划的起始数字为“0”;另一面是红白相间的,称为红色面(辅助尺),最小分划均为 1 cm,红面底部起始数字为一常数(4 487 mm、4 587 mm 或 4 687 mm、4 787 mm)。尺常数相差 100 mm 的两把水准尺称为一对水准尺,使用水准尺前一定要认清分划特点。

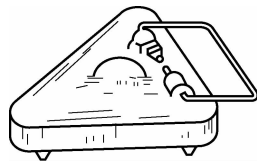


图 2-6 尺垫

尺垫是用来支承水准尺和传递高程的工具,如图 2-6 所示。

2.2.3 微倾式水准仪的技术操作

在水准仪的使用过程中,应首先打开三脚架,使架头大致水平、高度适中,踏实脚架尖后,将水准仪安放在架头上并拧紧中心螺旋。

水准仪的技术操作按四个步骤进行:粗平—照准—精平—读数。

1. 粗平

粗平就是通过调整脚螺旋使圆水准气泡居中,仪器竖轴处于铅垂位置,视线概略水平。具体做法是:首先用两手同时以相对方向分别转动任意两个脚螺旋,此时气泡移动的方向和左手大拇指的旋转方向相同,然后再转动第三个脚螺旋使气泡居中,如图 2-7 所示。如此反复进行,直至在任何位置水准气泡均位于分划圆圈内为止。

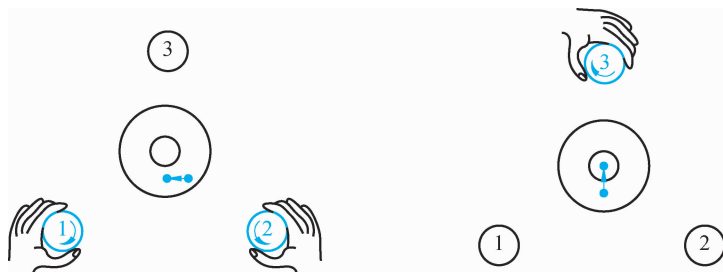


图 2-7 圆水准器气泡居中操作

2. 照准

照准就是用望远镜照准水准尺,清晰地看清目标和十字丝。其做法是:首先转动目镜对光螺旋使十字丝清晰;然后利用照门和准星瞄准水准尺,瞄准后要旋紧制动螺旋,转动物镜对光螺旋使尺像清晰;再转动微动螺旋,使十字丝的竖丝照准尺面中央。在上述操作过程中,由于目镜、物镜对光不精细,目标影像平面与十字丝平面未重合好,当眼睛靠近目镜上下微微晃动时,物像随着眼睛的晃动也上下移动,这就表明存在着视差。有视差就会影响照准和读数精度,如图 2-8(a)所示。消除视差的方法是仔细且反复交替地调节目镜和物镜的对光螺旋,使十字丝和目标影像共平面,且同时都十分清晰,如图 2-8(b)所示。

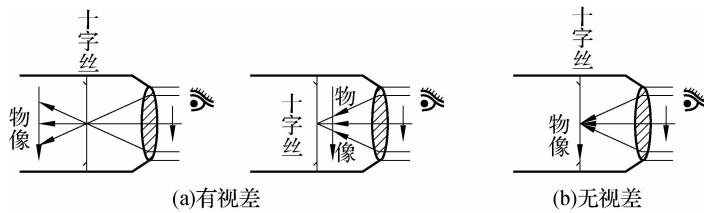


图 2-8 视差

3. 精平

精平就是转动微倾螺旋将水准管气泡居中,使视线精确水平,其做法是:慢慢转动微倾螺旋,使观察窗中符合水准气泡的影像符合。左侧影像移动的方向与右手大拇指的转动方向相同。由于气泡影像移动有惯性,在转动微倾螺旋时要慢、稳、轻。

必须指出的是:具有微倾螺旋的水准仪粗平后,竖轴不是严格铅垂的,当望远镜由一个目标(后视)转瞄到另一目标(前视)时,气泡不一定完全符合,必须重新精平,直到水准管气泡完全符合,才能读数。

4. 读数

读数就是在视线水平时用望远镜十字丝的横丝在尺上读数,如图 2-9 所示。读数前要认清水准尺的刻划特征,成像要清晰稳定。为了保证读数的准确性,读数时要按由小到大的方向,先估读毫米数,再读出米、分米、厘米数。读数前务必检查符合水准气泡影像是否符合,以保证在水平视线上读取数值。还要特别注意不要错读单位和发生漏零现象。

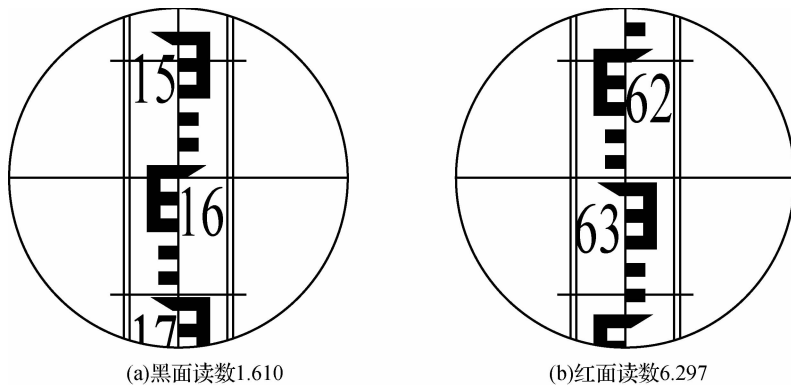


图 2-9 水准尺读数

2.2.4 自动安平水准仪的技术操作

用微倾式水准仪进行水准测量的关键操作是用水准管气泡居中来获得水平视线,因此,在读数前都要用微倾螺旋将水准管气泡居中,这对于提高水准测量的速度有很大的阻碍。自动安平水准仪就不需要水准管和微倾螺旋,只有一个圆水准器,安置仪器时,只要使圆水准器的气泡居中后,借助一种称为“补偿器”的特别装置,就可使视线自动处于水平状态。因此使用这种自动安平水准仪不仅操作简便,而且能大大缩短观测时间,也可对由于水准仪整置不当、地面有微小振动或脚架的不规则下沉等影响视线水平的因素作出迅速的调整,从而得到正确的读数值,提高水准测量的精度。

自动安平水准仪的技术操作程序分四步进行,即粗平—照准—检查—读数。其中粗平、照准、读数的方法和微倾式水准仪相同。

检查就是按动自动安平水准仪目镜下方的补偿控制按钮查看补偿器工作是否正常,在自动安平水准仪粗平后,也就是在概略置平的情况下,按动一次按钮,如果目标影像在视场中晃动,则说明补偿器工作正常,视线便可自动调整到水平位置。

2.3 水准测量的实施方法

2.3.1 水准点

用水准测量方法测定的达到一定精度的高程控制点,称为水准点(bench mark,简记为BM)。

为了统一全国的高程系统和满足各种测量的需要,测绘部门在全国各地埋设并测定了很多水准点。

国家等级水准点一般用石料或钢筋混凝土制成,深埋到地面冻结线以下,在标石的顶面设有用不锈钢或其他不易锈蚀材料制成的半球状标志;而有些水准点也可设置在稳定的墙脚上,称为墙上水准点,如图 2-10 所示。

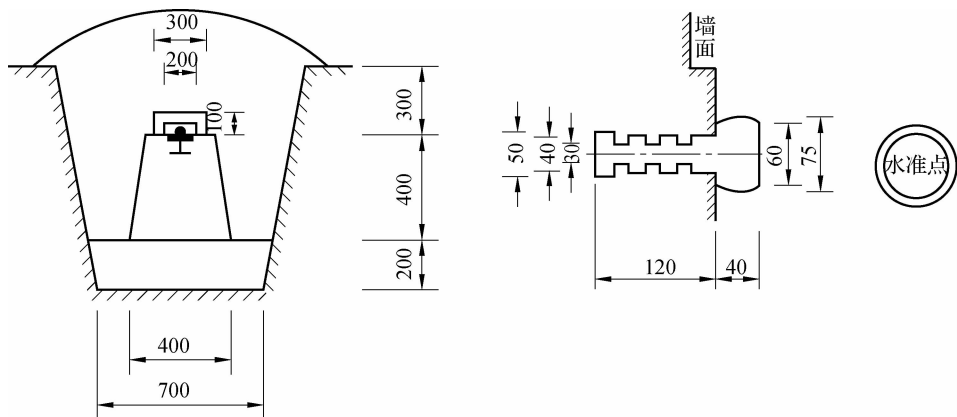


图 2-10 二、三等水准点标石埋设

水准点有永久性和临时性两种,永久性水准点一般用混凝土或钢筋混凝土制成,临时性的水准点可用地面上突出的坚硬岩石或用大木桩打入地下,桩顶钉以半球形铁钉。

埋设水准点后,应绘出水准点与附近固定建筑物或其他地物的关系图,在图上还要写明水准点的编号和高程,称为点之记,以便于日后寻找水准点的位置。在水准点编号的前面通常加 BM 字样,作为水准点的代号。

2.3.2 施测方法

当地面上两点之间距离较长或地面坡度较陡时,在水准测量实施时不可能只架一次仪器就可测出两点之间的高差,而要采取分段施测、中间加过渡点的方式。高程是依次由 ZD_1 、 ZD_2 等点传递过来的,这些传递高程的过渡点称为转点。转点既有前视读数又有后视读数,转点的选择将影响到水准测量的观测精度,因此转点要选在坚实、凸起、明显的位置,在一般土地上应放置尺垫。每站测量时水准仪应置于两水准尺中间,使前、后视的距离尽可能相等。观测步骤如下。

如图 2-11 所示,置水准仪于已知后视高程点 A 适当距离处,并选择好前视转点 ZD_1 ,将水准尺置于 A 点和 ZD_1 点上。将水准仪粗平后,先瞄准后视尺,消除视差。精平后读取后视读数值为 1.851 m,并记入等外水准测量记录表中,见表 2-1。转动望远镜照准前视尺,精平后,读取前视读数值为 1.268 m,并记录在表中,至此便完成了普通水准测量第一个测站的观测任务。

将仪器搬迁到第二站,把第一站的后视尺移到第二站的转点 ZD_2 上,把第一站的前视变成第二站的后视。按第一站的观测顺序进行观测与计算,以此类推,测至终点 B 。

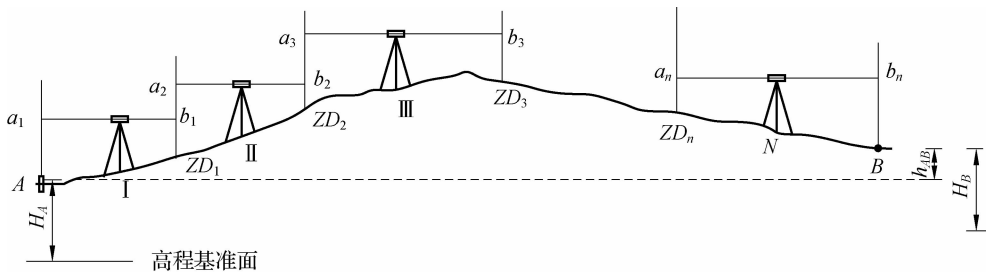


图 2-11 等外水准测量

先计算出各测站高差:

$$h_1 = a_1 - b_1$$

$$h_2 = a_2 - b_2$$

.....

$$h_n = a_n - b_n$$

将各式相加可得:

$$h_{AB} = \sum h = \sum a - \sum b \quad (2-5)$$

B 点高程为:

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

表 2-1 等外水准测量记录表

测点	标尺读数/m		高差/m		高程/m	备注
	后视	前视	+	-		
A	1.851		0.583		50.000	$H_A=50.000\text{ m}$
ZD ₁	1.425	1.268				
ZD ₂	0.863	0.672	0.753		51.336	
ZD ₃	1.219	1.581		0.718	50.618	
B		0.346	0.873		51.491	
∑	5.358	3.867	2.209	0.718	1.491	

为保证观测的精度和计算的准确性,在水准测量过程中,必须进行测站校核和计算校核,两种校核的方法分别如下。

(1)测站校核。水准测量的连续性很强,一个测站的误差或错误对整个水准测量成果都会造成影响。为了保证各个测站观测成果的正确性,可采用以下方法进行校核。

①变更仪器高法。在一个测站上用不同的仪器高度测出两次高差。测得第一次高差后,改变仪器高度(至少 10 cm),然后再测一次高差。当两次所测高差之差不大于 5 mm 时观测值符合要求,取其平均值作为最后结果;若大于 5 mm,则需要重测。

②双面尺法。本法是保持仪器高度不变,而用水准尺的红面和黑面高差进行校核。红、黑面高差之差也不能大于 5 mm。

(2)计算校核。计算校核是对记录表中每一页高差和高程计算进行的检核。计算校核的条件需满足以下等式:

$$\sum h = \sum a - \sum b = H_B - H_A \quad (2-6)$$

若等式成立,则说明高差和高程计算正确;否则说明计算有误。

2.3.3 成果校核

水准测量时,一般将已知水准点和待测水准点组成一条水准路线,其基本形式有附合水准路线、闭合水准路线和支水准路线,如图 2-12 所示。在水准测量的实施过程中,测站校核只能校核一测站上是否存在错误,计算校核只能发现每页计算是否有误。对于一条水准路线而言,测站校核和计算校核都不能发现立尺点变动的错误,更不能说明整个水准路线测量的精度是否符合要求。同时,由于受温度、风力、大气折光和水准尺下沉等外界条件的影响,以及水准仪和观测者本身因素的影响,测量不可避免地存在误差。这些误差很小,在一个测站上反映不明显,但是随着测站数的增多,误差积累,有时也会超过规定的限差。因此,还必须对整个水准路线的成果进行校核。

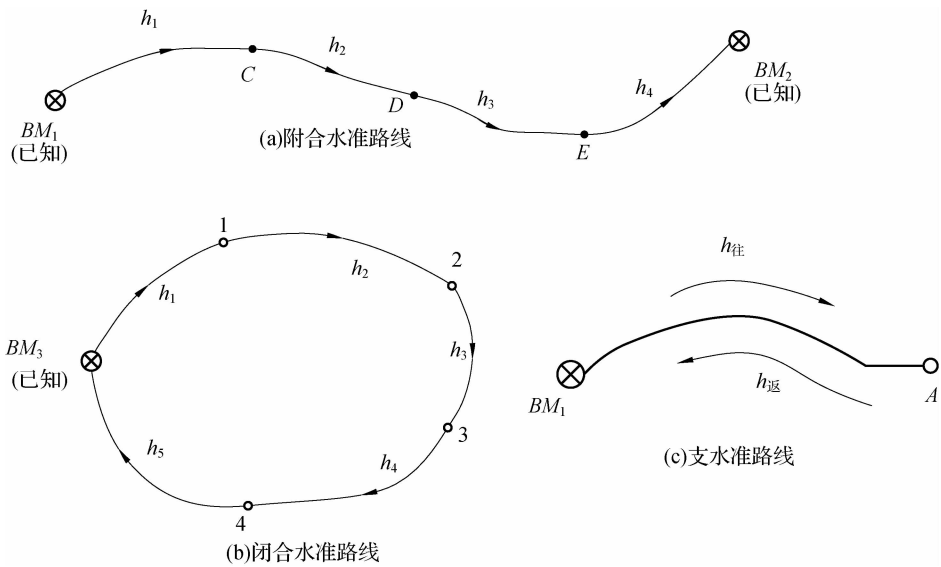


图 2-12 水准路线

1. 附合水准路线的成果校核

如图 2-12(a)所示,从一已知水准点 BM_1 出发,经过测量各测段的高差,求得沿线 C 、 D 、 E 待定点的高程,最后附合到另一已知水准点 BM_2 的路线,这种路线为附合水准路线。

理论上,附合水准路线中各待测高程点间高差的代数和应等于始、终两个已知水准点的高程之差,即:

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

如果不相等,两者之差称为高差闭合差,用 f_h 表示,即:

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

2. 闭合水准路线的成果校核

如图 2-12(b)所示,从一已知水准点 BM_3 出发,经过测量各测段的高差,求得沿线其他各点的高程,最后又闭合到 BM_3 上,称为一个闭合水准路线。显然闭合水准路线的高差在理论上总和等于零,即:

$$\sum h_{\text{理}} = 0 \quad (2-9)$$

但实际上总是会有误差,致使高差闭合差不等于零,则高差闭合差为:

$$f_h = \sum h_{\text{测}} \quad (2-10)$$

3. 支水准路线的成果校核

如图 2-12(c)所示,从一已知水准点 BM_1 出发,沿各待定点进行水准测量,既不附合到其他水准点上,也不自行闭合,这种水准路线称为支水准路线。支水准路线要进行往返观测,往测高差与返测高差值的代数和理论上应为零,并以此作为支水准路线测量正确性与否的检验条件。如不等于零,则高差闭合差为:

$$f_h = \sum h_{\text{往}} + \sum h_{\text{返}} \quad (2-11)$$

各种形式的水准测量,其高差闭合差均不应超过规定容许值,否则即认为水准测量结果不符合要求。高差闭合差容许值的大小与测量等级有关。《工程测量规范》(GB 50026—2007)中对不同等级的水准测量作出了高差闭合差容许值的规定。等外水准测量的高差闭合差容许值规定为:

$$\text{平地:} \quad f_{h容} = \pm 40 \sqrt{L} \text{ mm} \quad (2-12)$$

$$\text{山地:} \quad f_{h容} = \pm 12 \sqrt{n} \text{ mm} \quad (2-13)$$

式中, L 为水准路线长度,以千米计; n 为测站数。

2.4 水准测量内业计算

水准测量的外业测量数据,如果检核无误,满足了规定等级的精度要求,就可以进行内业成果计算。内业计算工作的主要内容是:调整高差闭合差,计算出各待定点的高程。以下分别介绍各种水准路线的内业计算方法。

2.4.1 附和水准路线的内业计算

某附和水准路线, A 、 B 为已知水准点, A 点高程为 65.376 m, B 点高程为 68.623 m,点 1、2、3 为待测水准点,各测段高差、测站数、距离如图 2-13 所示。

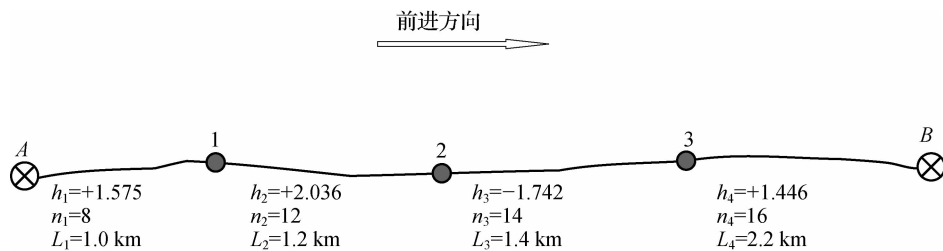


图 2-13 附和水准路线的内业计算

1. 闭合差计算

$$f_h = \sum h - (H_B - H_A) = 3.315 - (68.623 - 65.376) = +0.068 \text{ m}$$

因是平地,故闭合差容许值为:

$$f_{h容} = \pm 40 \sqrt{L} \text{ mm} = \pm 40 \sqrt{5.8} \text{ mm} = \pm 96 \text{ mm}$$

因 $|f_h| < |f_{h容}|$,故其精度符合要求。

2. 闭合差调整

对同一条水准路线,假设观测条件是相同的,则可认为每个测站产生误差的机会也相等。因此,高差闭合差调整的原则和方法是按与测段距离(或测站数)成正比,并反符号改正到各相应的高差上,得改正后的高差,即:

$$\left. \begin{aligned} \text{按距离: } v_i &= - \frac{f_h}{\sum L} \cdot L_i \\ \text{按测站数: } v_i &= - \frac{f_h}{\sum n} \cdot n_i \end{aligned} \right\} \quad (2-14)$$

改正后高差： $h_{\text{改}} = h_{\text{测}} + v_i$

式中， v_i 和 $h_{\text{改}}$ 为第 i 测段的高差改正数与改正后高差； $\sum n$ 和 $\sum L$ 为路线总测站数与总长度； n_i 和 L_i 为第 i 测段的测站数与长度。

附和水准测量成果计算见表 2-2。

表 2-2 附和水准测量成果计算

测 段	测 点	距离/km	实测高差/m	改正数/m	改正后的高差/m	高程/m	备 注
1	BM_A	1.0	+1.575	-0.012	+1.563	65.376	—
2	BM_1	1.2	+2.036	-0.014	+2.022	66.939	
3	BM_2	1.4	-1.742	-0.016	-1.758	68.961	
4	BM_3	2.2	+1.446	-0.026	+1.420	67.203	
\sum	BM_B	5.8	+3.315	-0.068	+3.247	68.623	
辅助计算	$f_h = +0.068 \text{ m}$ $f_{h容} = \pm 96 \text{ mm}$ $\sum L = 5.8 \text{ km}$ $-f_h / \sum L = -12 \text{ mm/km}$						

以第 1 和第 2 测段为例,测段改正数为:

$$v_1 = -\frac{f_h}{\sum L} \times L_1 = -(0.068/5.8) \times 1.0 = -0.012 \text{ m}$$

$$v_2 = -\frac{f_h}{\sum L} \times L_2 = -(0.068/5.8) \times 1.2 = -0.014 \text{ m}$$

检核： $\sum v = -f_h = -0.068 \text{ m}$

第 1 和第 2 测段改正后的高差为:

$$h_{1\text{改}} = h_{1\text{测}} + v_1 = +1.575 - 0.012 = +1.563 \text{ m}$$

$$h_{2\text{改}} = h_{2\text{测}} + v_2 = +2.036 - 0.014 = +2.022 \text{ m}$$

检核： $\sum h_{\text{改}} = H_B - H_A = +3.247 \text{ m}$

3. 高程的计算

根据检核过的改正后高差,由起点 A 开始,逐点推算各点高程,如:

$$H_1 = H_A + h_{1\text{改}} = 65.376 + 1.563 = 66.939 \text{ m}$$

$$H_2 = H_1 + h_{2\text{改}} = 66.939 + 2.022 = 68.961 \text{ m}$$

逐点计算,最后算得 B 点高程应与已知高程相等,否则说明计算有误。

2.4.2 闭合水准路线成果计算

闭合水准路线各测段高差代数和应等于零。如果不等于零,则其代数和即为闭合水准路线高差闭合差 f_h ,即： $f_h = \sum h_{\text{测}}$ 。当 $f_h < f_{h容}$ 时,可进行闭合水准路线的计算调整,其步骤与附和水准路线相同。

2.4.3 支水准路线成果计算

对于支水准路线取其往返测高差的平均值作为成果,高差的符号应以往测为准,最后推算出待测点的高程。

2.5 水准仪的检验与校正

2.5.1 水准仪的主要轴线及应满足的条件

如图 2-14 所示,水准仪的主要轴线有望远镜的视准轴 CC 、管水准轴 LL 、圆水准器轴 $L'L'$ 和仪器竖轴 VV 。

根据水准测量原理,微倾式水准仪各轴线间应具备的几何关系是:圆水准器轴应平行于仪器竖轴($L'L' // VV$);十字丝的横丝应垂直于仪器竖轴;水准管轴应平行于望远镜视准轴($LL // CC$)。

仪器在出厂前经严格检验,应满足以上轴系条件。但是由于仪器经长期使用和运输中受到震动等原因,可能造成某些部件松动,因此为了保证水准测量质量,在正式作业之前必须对水准仪进行检验与校正。

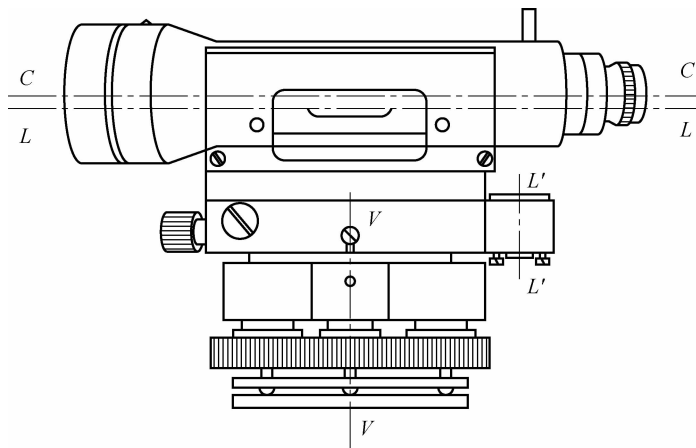


图 2-14 微倾式水准仪的主要轴线

2.5.2 水准仪主要部件的检验和校正

1. 圆水准器的检验与校正

目的:使圆水准器轴平行于仪器竖轴,即当圆水准器的气泡居中时,仪器的竖轴应处于铅垂状态。

检验方法:首先转动脚螺旋使圆水准气泡居中,然后将仪器旋转 180° 。如果气泡仍居中,说明两轴平行;如果气泡偏移了零点,说明两轴不平行,需校正。

校正方法:先拨动圆水准器的校正螺丝使气泡中点退回距零点偏离量的一半,如图 2-15 所示,然后转动脚螺旋使气泡居中。检验和校正应反复进行,直至仪器转到任何位置时圆水

准气泡始终居中,即位于刻划圈内为止。

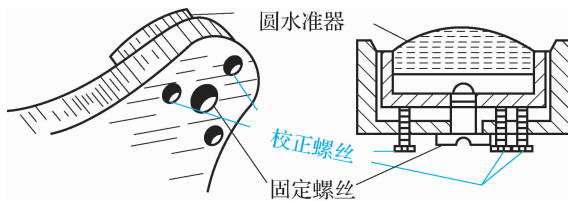


图 2-15 圆水准器的校正螺丝

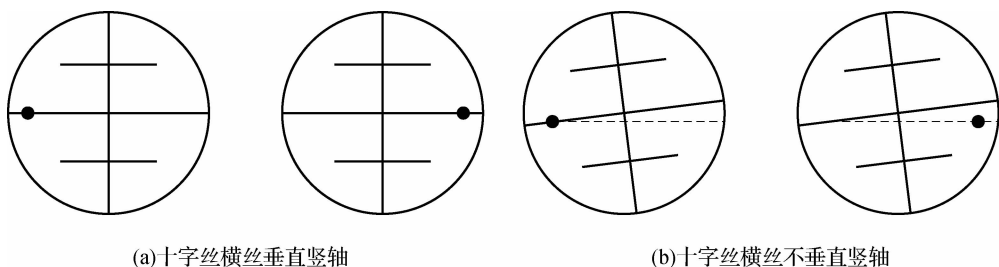
2. 十字丝横丝的检验与校正

目的:使十字丝横丝垂直于仪器的竖轴,即竖轴铅垂时,横丝应水平。

检验方法:整平仪器后,将横丝的一端对准一明显固定点,旋紧制动螺旋后再转动微动螺旋,如果该点始终在横丝上移动,说明十字丝横丝垂直于竖轴,如图 2-16(a)所示。

如果该点离开横丝,说明横丝不水平,需要校正,如图 2-16(b)所示。

校正方法:用螺丝刀松开十字丝环的三个固定螺丝,再转动十字丝环,调整偏移量,直到满足条件为止,最后拧紧该螺丝,上好外罩。



(a)十字丝横丝垂直竖轴

(b)十字丝横丝不垂直竖轴

图 2-16 十字丝检校原理

3. 管水准器的检验与校正

目的:使水准管轴平行于视准轴,即当管水准器气泡居中时,视准轴应处于水平状态。

检验方法:首先在平坦的地面上选择相距 100 m 左右的 A 点和 B 点,在两点放上尺垫或打入木桩,并竖立水准尺,如图 2-17 所示。然后将水准仪器安置在 A、B 两点的中间位置 C 处进行观测,假如水准管轴不平行于视准轴,视线在尺上的读数分别为 a_1 和 b_1 ,由于视线的倾斜而产生的读数误差均为 Δ ,则两点间的高差 h_{AB} 为:

$$h_{AB} = a_1 - b_1 \quad (2-15)$$

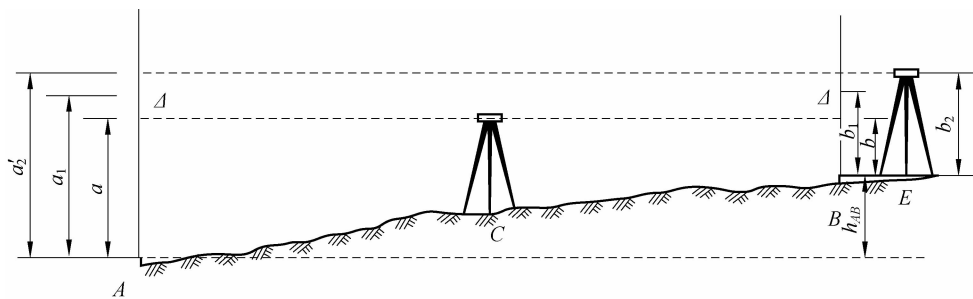


图 2-17 管水准器的检校原理

由图 2-17 可知, $a_1 = a + \Delta$, $b_1 = b + \Delta$, 代入(2-15)得:

$$h_{AB} = (a + \Delta) - (b + \Delta) = a - b \quad (2-16)$$

式(2-16)表明, 若将水准仪安置在两点中间进行观测, 便可消除由于视准轴不平行于水准管轴所产生的误差读数 Δ , 得到两点间的正确高差 h_{AB} 。

为了防止错误和提高观测精度, 一般应改变仪器高再观测两次, 若两次高差的误差小于 3 mm, 则取平均数作为正确高差 h_{AB} 。

再将水准仪安置在距 B 尺 2 m 左右的 E 处, 安置好仪器后, 先读取近尺 B 的读数 b_2 , 因仪器离 B 点很近, 故两轴不平行的误差可忽略不计。然后根据 b_2 和正确高差 h_{AB} 计算视线水平时在远尺 A 的正确读数 a'_2 。

$$a'_2 = b_2 + h_{AB} \quad (2-17)$$

用望远镜照准 A 点的水准尺, 若读数与 a'_2 相差小于 4 mm, 则说明水准管轴平行于视准轴, 否则应进行校正。

校正方法: 转动微倾螺旋使横丝对准 A 尺的正确读数 a'_2 , 此时视准轴已处于水平位置, 但由于两轴不平行, 使得水准管气泡偏离零点, 即气泡影像不符合。首先用拨针松开水准管左右的校正螺丝(水准管的校正螺丝在水准管的一端), 用校正针拨动水准管的上、下校正螺丝, 拨动时应先松后紧, 以免损坏螺丝, 直到气泡影像符合为止。

为了避免和减少因校正不完善而残留的误差影响, 在进行水准测量时, 一般要求前、后视距离应基本相等。

2.6 水准测量的误差及注意事项

2.6.1 仪器误差

1. 仪器校正后的残余误差

在水准测量前虽然对仪器进行了严格的检验和校正, 但是仍然会存在误差。由于这种误差大多数是系统性的, 因此可以在测量中采取一定的方法加以减弱或消除。例如, 水准管轴与视准轴不平行误差, 若在观测时注意前、后视距离相等, 则可消除或减弱此项的影响。

2. 水准尺误差

水准尺因为刻划不准确, 尺长变化、弯曲等影响, 必须经过检验才能使用。由于水准尺经长期使用而使底端磨损, 或在使用过程中沾上泥土, 这些都相当于改变了水准尺的零点位置, 称为水准尺零点误差。如果在测量过程中, 以两支水准尺交替作为后视尺和前视尺, 并使每一测段的测站为偶数, 则可消除此项误差。

2.6.2 观测误差

1. 视差影响

当视差存在时,十字丝平面与水准尺影像不重合,若眼睛观察的位置不同,会读出不同的读数,因此也会产生读数误差。

2. 读数误差

在水准尺上估读毫米数的误差与人眼的分辨能力、望远镜的放大倍率以及视线长度有关,为减少此项误差,在水准测量中常对放大倍数和视线长度作出规定。

3. 水准管气泡居中误差

水准管气泡居中误差会使视线偏离水平位置,从而带来读数误差。采用符合式水准器时,气泡居中精度可提高一倍,操作中应使气泡严格居中,并在气泡居中后立即读数。

4. 水准尺倾斜影响

水准尺无论向前还是向后倾斜,都将使尺上读数增大。误差的大小与在尺上的视线高度及尺子的倾斜程度有关。为减小此项误差,观测时立尺员要认真扶尺,对于装有圆水准器的水准尺,扶尺时应使气泡居中。

2.6.3 外界条件的影响

1. 仪器下沉

当水准仪安置在松软的地面时,仪器会产生下沉现象,由后视转为前视时,前视读数减小,从而引起误差。为减小此项误差的影响,应将测站选择在坚实的地面上,并将脚架踏实。此外,每测站可采用“前一后一后一前”的观测顺序,或者减少每一测站的观测时间,也可以削弱误差的影响。

2. 尺垫下沉

如果在转点处发生尺垫下沉,则会使下一站的后视读数增大,引起误差。因此转点应选择在土质坚硬处,并将尺垫踩实。此外,采用往返观测,取平均值的方法也可以削弱其影响。

3. 地球曲率及大气折光的影响

水准测量时,用水平视线代替大地水准面在水准尺上读数产生的影响为:

$$c = \frac{D^2}{2R} \quad (2-18)$$

式中, D 为仪器到水准尺的距离; R 为地球的平均半径。

由于大气折光,视线并非是水平线,而是一条曲线,曲线的曲率半径为地球半径的7倍,其折光量的大小对水准读数产生的影响为:

$$r = \frac{D^2}{2 \times 7R} \quad (2-19)$$

折光影响与地球曲率影响之和为:

$$f = c - r = 0.43 \frac{D^2}{R} \quad (2-20)$$

如果前视水准尺和后视水准尺到测站的距离相等,则通过高差计算可以消除或削弱这两项误差的影响。

4. 温度对仪器的影响

温度会引起仪器部件的胀缩,从而可能引起视准轴构件(物镜、十字丝和调焦镜)相对位置的变化,或者引起视准轴相对于水准管轴位置的变化。由于光学测量仪器是精密仪器,不大的位移量可能使轴线产生几秒偏差,从而使测量结果的误差增大。

温度的变化不仅引起大气折光的变化,而且当烈日照射水准管时,由于水准管本身和管内液体温度的升高,气泡会向着温度高的方向移动,影响仪器水平,产生气泡居中误差,因此观测时应注意撑伞遮阳。

思考与练习

1. 什么叫视准轴? 如何使视准轴水平?
2. 水准仪的技术操作分为哪几步?
3. 试述精平的具体作法,其目的是什么?
4. 附合水准路线、闭合水准路线、支水准路线的高差闭合差的计算公式各是什么?
5. 微倾式水准仪主要用来做哪几项检验? 其目的是什么?
6. 将仪器架设在两水准尺间等距离处可消除哪些误差?
7. 水准测量中,设后尺 A 的读数 $a=2.713\text{ m}$,前尺 B 的读数 $b=1.401\text{ m}$,已知 A 点高程为 15.000 m ,则视线高程为多少米?
8. 如图 2-18 所示,在水准点 BM_1 、 BM_2 之间进行水准测量,试将各站读数填入等外水准测量记录表中,并计算出 BM_2 的高程。

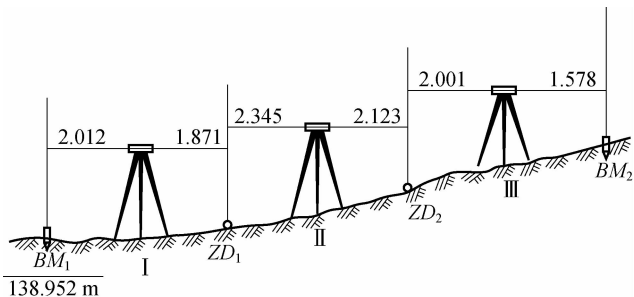


图 2-18 题 8 图

9. 图 2-19 为附合水准路线的观测结果,按测段路线长度调整高差闭合差,并进行高程计算。

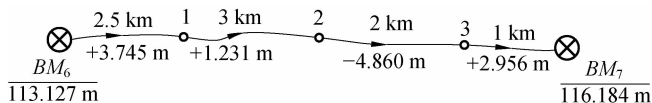


图 2-19 题 9 图

10. 图 2-20 为闭合水准路线的观测结果,按测站数调整高差闭合差并进行高程计算。

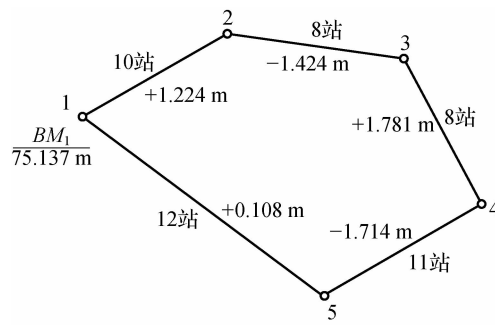


图 2-20 题 10 图

11. 在检验和校正水准管轴与视准轴是否平行时,将仪器安置在距 A 、 B 两点等距离处,得 A 尺读数 $a_1=1.573\text{ m}$, B 尺读数 $b_1=1.215\text{ m}$ 。将仪器搬至 A 尺附近,得 A 尺读数 $a_2=1.432\text{ m}$, B 尺读数 $b_2=1.066\text{ m}$,问:(1)视准轴是否平行于水准管轴?(2)当水准管气泡居中时,视线向上倾斜还是向下倾斜?如何校正?(3)若是自动安平水准仪,如何校正?

模块3 角度测量

学习目标

- 了解角度测量的基本原理。
- 了解光学经纬仪的基本检验和校正方法,掌握其构造和作用。
- 了解角度测量误差及注意事项,掌握水平角和竖直角测量方法。

3.1 水平角和竖直角测量原理

3.1.1 水平角的测量原理

地面上两条直线之间的夹角在水平面上的投影称为水平角。如图 3-1 所示, A 、 B 、 O 为地面上的任意点,通过 OA 和 OB 直线各作一垂直面,并把 OA 和 OB 分别投影到水平投影面上,其投影线 Oa' 和 Ob' 的夹角 $\angle a'Ob'$ 就是 $\angle AOB$ 的水平角 β 。

地面点 A 、 B 、 O 三点并不在同一个水平面上,因此, OA 直线与 OB 直线的夹角并不是水平角。要想获得水平角 $\angle AOB$,应在 $\angle AOB$ 的顶点 O 的铅垂线方向上安置一个带有水平度盘的测角仪器,这个水平度盘即相当于水平面。地面上 OA 直线与 OB 直线投影到水平度盘上的读数分别为 a 、 b ,其夹角为 $\angle aOb$,就是 $\angle AOB$ 的水平角 β 。则水平角 β 为:

$$\beta = b - a \quad (3-1)$$

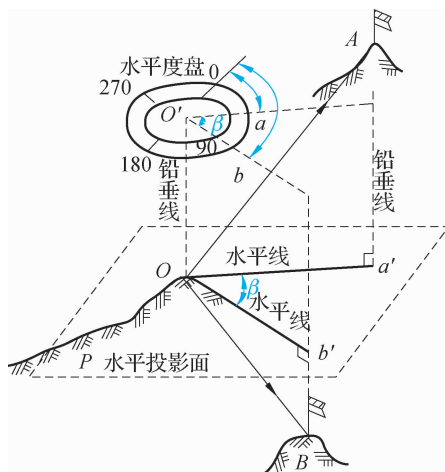


图 3-1 水平角的测量原理

3.1.2 竖直角测量原理

在同一竖直面内视线和水平线之间的夹角称为竖直角或垂直角。如图 3-2 所示, 视线在水平线之上称为仰角, 符号为正; 视线在水平线之下称为俯角, 符号为负。

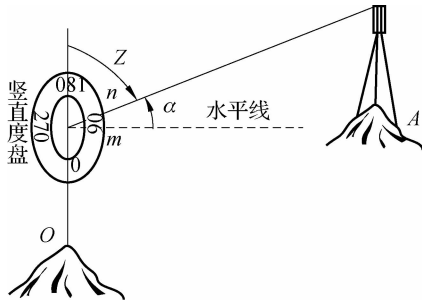


图 3-2 竖直角测量原理

如果在测站点 O 上安置一个带有竖直度盘的测角仪器, 其竖盘中心通过水平视线, 设照准目标点 A 时视线的读数为 n , 水平视线的读数为 m , 则竖直角 α 为:

$$\alpha = n - m \quad (3-2)$$

竖直角也可以用天顶距的形式来表示, 天顶距即为地面点的垂线方向与观测视线的夹角。设在观测的 OA 方向的天顶距为 Z , 竖直角为 α , 故天顶距与竖直角的关系为:

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

3.2 光学经纬仪

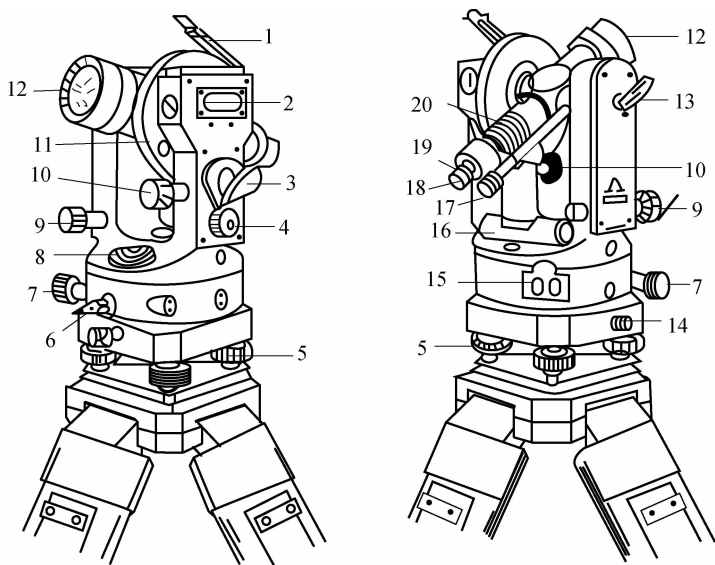
光学经纬仪是能够测定水平角和竖直角的仪器, 在测量上广泛使用。光学经纬仪按精度等级可分为 DJ_1 、 DJ_2 、 DJ_6 等多个等级, 代号中“D”和“J”分别为“大地测量”与“经纬仪”的汉语拼音的第一个字母; 下标的数字是以秒为单位的精度指标, 数字越小, 其精度越高。工程上广泛使用的是 DJ_2 型和 DJ_6 型。经纬仪因精度等级的不同或生产厂家的不同, 其具体部件的结构可能不尽相同, 但它们的基本构造是一样的。

3.2.1 DJ_6 型经纬仪结构

图 3-3 为我国某光学仪器厂生产的 DJ_6 型光学经纬仪, 它主要由照准部(包括望远镜、竖直度盘、水准器、读数设备)、水平度盘、基座三部分组成。

1. 望远镜

望远镜是用来照准远方目标的, 其构造和水准仪望远镜的构造基本相同。望远镜和横轴固连在一起放在支架上, 并要求其视准轴垂直于横轴, 当横轴水平时, 望远镜绕横轴旋转的视准面是一个铅垂面。为了控制望远镜的俯仰程度, 在照准部外壳上还设置有一套望远镜制动和微动螺旋。在照准部外壳上还设置有一套水平制动和微动螺旋, 以控制水平方向的转动。当拧紧望远镜或照准部的制动螺旋后, 转动微动螺旋, 望远镜或照准部才能作微小的转动。

图 3-3 DJ₆ 型光学经纬仪的构造

- 1—指标水准管反光镜；2—指标水准管；3—度盘反光镜；4—测微轮；5—脚螺旋；6—水平制动螺旋；
7—水平微动螺旋；8—圆水准器；9—望远镜微动螺旋；10—指标水准管微动螺旋；11—竖盘；
12—物镜；13—望远镜制动螺旋；14—轴座固定螺旋；15—度盘离合器；16—水准管；
17—读数显微镜；18—目镜；19—目镜对光螺旋；20—物镜对光螺旋

2. 竖直度盘

竖直度盘固定在横轴的一端，当望远镜转动时，竖盘也随之转动，用以观测竖直角。目前光学经纬仪普遍采用竖盘自动归零装置，其既加快了观测速度又提高了观测精度。

3. 水准器

照准部上的管水准器用于精确整平仪器，圆水准器用于概略整平仪器。

4. 读数设备

我国制造的 DJ₆ 型光学经纬仪采用分微尺读数设备，它把度盘和分微尺的影像通过一系列透镜的放大和棱镜的折射反映到读数显微镜内进行读数，如图 3-4 所示。度盘上两分划线所对的圆心角称为度盘分划值。

在读数显微镜内所见到的长刻划线和大号数字是度盘分划线及其注记，短刻划线和小号数字是分微尺的分划线及其注记。分微尺的长度等于度盘 1° 的分划长度，分微尺分成 6 大格，每大格又分成 10 小格，每小格格值为 $1'$ ，可估读到 $0.1'$ 。分微尺的 0° 分划线是其指标线，它所指度盘上的位置与度盘分划线所截的分微尺长度就是分微尺读数值。为了直接读出小数值，应使分微尺注数增大方向与度盘注数方向相反。读数时，先以在分微尺上的度盘分划线为准读取度数，而后读取该度盘分划线与分微尺指标线之间的分微尺读数的分数，并估读到 $0.1'$ ，即得整个读数值。在图 3-4 中水平度盘读数为 $180^\circ 06.4'$ ，即 $180^\circ 06' 24''$ ；竖直度盘读数为 $75^\circ 57.2'$ ，即 $75^\circ 57' 12''$ 。

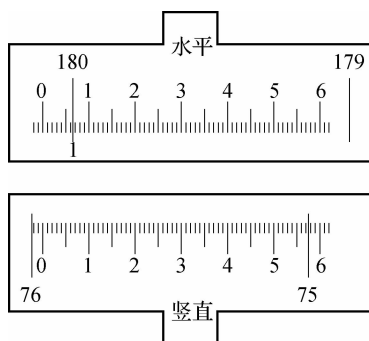


图 3-4 DJ₆ 型光学经纬仪读数窗

5. 水平度盘

水平度盘是用光学玻璃制成的圆盘,在盘上按顺时针方向从 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 刻有等角度的分划线。相邻两分划线的格值为 1° 。度盘固定在轴套上,轴套套在轴座上。水平度盘和照准部两者之间的转动关系由离合器扳手或度盘变换手轮控制。

6. 基座

基座是支撑仪器的底座。基座上有三个脚螺旋,转动脚螺旋可使照准部水准管气泡居中,从而使水平度盘水平。基座和三脚架头用中心螺旋连接,可将仪器固定在三脚架上。光学经纬仪装有直角棱镜光学对中器,其具有精确度高的优点。

此外,DJ₆型光学经纬仪还配有水平度盘拨盘手轮装置,用以配置水平度盘的任一读数。

3.2.2 DJ₂ 型经纬仪结构

DJ₂型光学经纬仪的构造,除轴系和读数设备外基本上和DJ₆型光学经纬仪相同,下面着重介绍不同之处。

1. 水平度盘变换手轮

水平度盘变换手轮的作用是变换水平度盘的初始位置。在进行水平角观测时,根据测角需要对起始方向进行观测,可先拨开手轮的护盖,再转动该手轮,把水平度盘的读数值配置为所规定的读数。

2. 换像手轮

在读数显微镜内一次只能看到水平度盘或竖直度盘的影像,若要读取水平度盘的读数,要转动换像手轮,使轮上指标红线呈水平状态,并打开水平度盘反光镜,此时显微镜成水平度盘的影像。若打开竖直度盘反光镜,转动换像手轮,使轮上指标线竖直,则可看到竖直度盘影像。

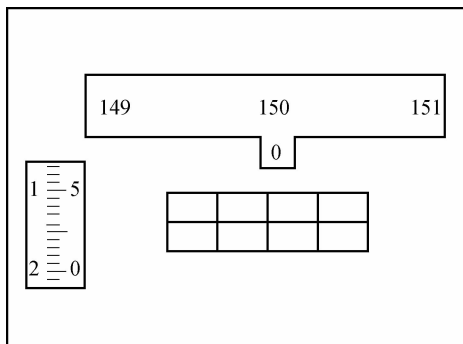
3. 测微手轮

每次读数时需转测微手轮使中间窗口的分划线上下重合。

4. 半数字化的读数方法

DJ₂型光学经纬仪采用了半数字化的读数方法,使读数更为方便,不易出错。如图 3-5

所示,中间窗口为度盘对径分划影像,没有注记,上面窗口为度和整 $10'$ 的注记,用小方框标记欲读的整 $10'$ 数,左边窗口的左侧数字为分,右侧数字为 $10''$,每小格为 $1''$,读数时转动测微手轮使中间窗口的分划线上下重合,从上窗口读得 $150^\circ 00'$,左边窗口读得 $1' 54''$,全部读数为 $150^\circ 01' 54''$ 。



上窗读数: $150^\circ 00'$

小窗读数: $01' 54''$

全部读数: $150^\circ 01' 54''$

图 3-5 DJ₂ 型光学经纬仪读数窗

3.3 经纬仪的使用

当进行角度测量时,要将经纬仪正确安置在测站点上,经纬仪的使用包括对中、整平、瞄准和读数四项基本操作。对中和整平是仪器的安置工作,瞄准和读数是观测工作。对中的目的是使仪器的中心与测站点的标准中心在同一铅垂线上,整平的目的是使仪器的竖轴垂直,即水平度盘处于水平位置。

3.3.1 仪器的安置

1. 对中

对中的目的是使仪器的中心与测站的标志中心位于同一铅垂线上。对中方法如下。

(1)将仪器安置于测站点上,三个脚螺旋调至中间位置,架头大致水平。使光学对中器大致位于测站点上,将三脚架踩牢。

(2)旋转光学对中器的目镜,看清分划板上的圆圈,拉或推动对中目镜使测站点影像清晰。

(3)移动脚架或旋转脚螺旋使光学对中器精确对准测站点。

2. 整平

整平的目的是使仪器的竖轴铅垂,水平度盘水平。其方法如下。

(1)伸缩脚架使圆水准气泡居中。

(2)使水准管气泡居中。操作时,先使水准管平行于两脚螺旋的连线,如图 3-6(a)所示,两手同时向内(或向外)旋转两个脚螺旋使气泡居中,气泡移动的方向和左手大拇指转动的

方向相同;然后将仪器绕竖轴旋转 90° ,如图 3-6(b)所示,旋转另一个脚螺旋使气泡居中。按上述方法反复进行,直至仪器旋转到任何位置时水准管气泡都居中为止。

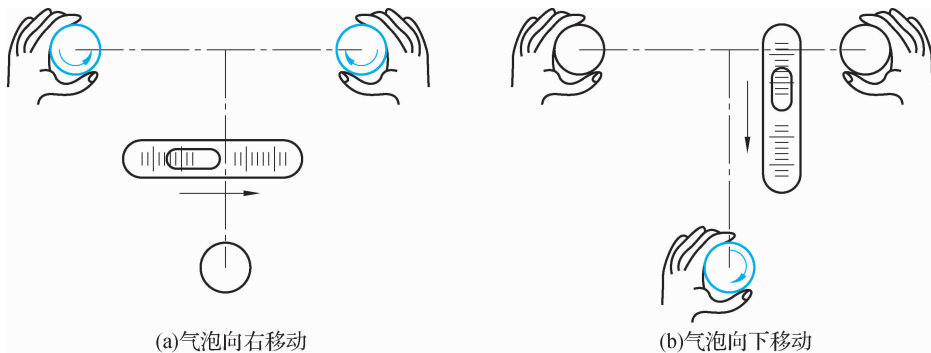


图 3-6 经纬仪水准管气泡居中操作

上述两步技术操作称为经纬仪的安置工作。整平完成后要检查对中情况。如果光学对中器分划圈不在测站点上,应先松开连接螺旋,在架头上平移仪器,使分划圈对准测站点,再伸缩脚架整平气泡,然后转动脚螺旋使水准气泡居中。由于对中、整平两项工作相互影响,因此应反复进行对中、整平切换工作,直至仪器整平后光学对中器分划圈对准测站点为止。

3.3.2 调焦和瞄准

经纬仪安置好后,用望远镜瞄准目标,首先将望远镜照准远处,调节对光螺旋使十字丝清晰;然后旋松望远镜和照准部制动螺旋,用望远镜的光学瞄准器照准目标。转动物镜对光螺旋使目标影像清晰;而后旋紧望远镜和照准部的制动螺旋,通过旋转望远镜和照准部的微动螺旋使十字丝交点对准目标,并观察有无视差。如有视差,应予以消除,具体方法与水准仪相同,即仔细转动物镜对光螺旋,直至尺像与十字丝平面重合为止。

3.3.3 读数

打开读数反光镜,调节视场亮度,转动读数显微镜对光螺旋,使读数窗影像清晰可见。读数时,除分微尺型直接读数外,凡在支架上装有测微轮的,均应先转动测微轮,使中间窗口对径分划线重合后方能读数,最后将度盘读数和分微尺读数或测微尺读数相加所得的结果才是最终的读数。

3.4 水平角的测量

水平角观测的方法一般根据目标的多少、测角精度的要求和施测时使用的仪器来确定,常用的观测方法有测回法和方向法两种。

3.4.1 测回法

在水平角观测中,为发现错误并提高测角精度,一般要在盘左和盘右两个位置进行观测。当观测者对着望远镜的目镜,竖盘在望远镜的左边时称为盘左位置,又称正镜;竖盘在

望远镜的右边时称为盘右位置,又称倒镜。采用测回法观测水平角的操作步骤如下。

设 O 为测站点, A 、 B 为观测目标, $\angle AOB$ 为观测角,如图 3-7 所示。先在 O 点安置仪器,进行整平、对中,然后按以下步骤进行观测。

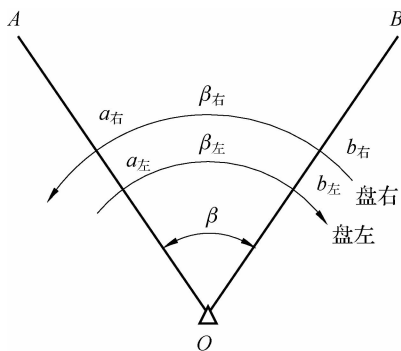


图 3-7 测回法观测水平角

(1) 盘左位置。先照准左方目标,即后视点 A ,读数为 $a_{左}$,并记入测回法测角记录表中,见表 3-1。然后顺时针转动照准部照准右方目标,即前视点 B ,读取水平度盘读数为 $b_{左}$,并记入记录表中。以上称为上半测回,其观测角值为:

$$\beta_{左} = b_{左} - a_{左} \tag{3-4}$$

(2) 盘右位置。先照准右方目标,即前视点 B ,读取水平度盘读数 $b_{右}$,并记入记录表中,再逆时针转动照准部照准左方目标,即后视点 A ,读取水平度盘读数为 $a_{右}$,并记入记录表中,则得下半测回角值为:

$$\beta_{右} = b_{右} - a_{右} \tag{3-5}$$

(3) 上、下半测回合起来称为一测回。一般规定,用 DJ_6 型光学经纬仪进行观测,上、下半测回角值之差不超过 $40''$ 时,可取其平均值作为一测回的角值,即:

$$\beta = \frac{1}{2}(\beta_{左} + \beta_{右}) \tag{3-6}$$

用测回法观测水平角时,一般在盘左位置时使起始方向(即左目标)的水平度盘读数配置为略大于 0° 的度数。 DJ_6 型经纬仪的配数方法为:在盘左位置瞄准左目标后,水平制动,拨动水平度盘拨盘手轮使水平度盘读数略大于零即可,见表 3-1 中的 $0^\circ 01' 24''$ 。

表 3-1 测回法测角记录

测站	盘位	目标	水平度盘读数 ° ' "	水平角		备注
				半测回角 ° ' "	测回角 ° ' "	
O	左	A	0 01 24	60 49 06	60 49 03	
		B	60 50 30			
	右	A	180 01 30	60 49 00		
		B	240 50 30			

3.4.2 方向观测法

如要观测 3 个及以上的方向时,则应采用方向观测法进行观测。

如图 3-8 所示,若测站上有 5 个待测方向 A、B、C、D、E,则需选择其中的一个方向(如 A)作为起始方向(亦称零方向),在盘左位置,从起始方向 A 开始,按顺时针方向依次照准 A、B、C、D、E,并读取度盘读数,此为上半测回;然后纵转望远镜,在盘右位置按逆时针方向旋转照准部,从最后一个方向 E 开始,依次照准 E、D、C、B、A 并读数,此为下半测回。上、下半测回合为一测回。这种观测方法就叫作方向观测法,简称“方向法”。

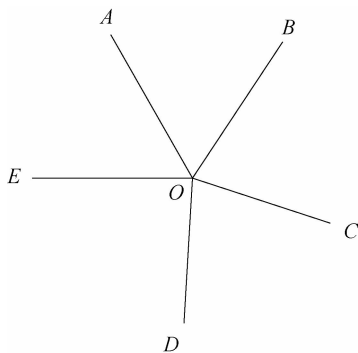


图 3-8 方向法观测水平角

如果在上半测回照准最后一个方向 E 之后继续按顺时针方向旋转照准部,重新照准零方向 A 并读数;下半测回也从零方向 A 开始,依次照准 A、E、D、C、B、A,并进行读数,这种在每半测回中都从零方向开始照准部旋转一整周再闭合到零方向上的操作称为归零。通常把进行归零的方向观测法称为全圆方向法。习惯上把方向观测法和全圆方向法统称为方向观测法或方向法。当观测方向多于 3 个时,应采用全圆方向法。

为了提高测量精度,有时需要观测若干个测回,但是为了减少度盘分划误差的影响,在各测回间应进行水平度盘的配置,按测回数 n 将度盘位置依次变换为 $180^\circ/n$ 。例如,观测 3 个测回,则各测回的起始读数应按 60° 递增,即分别设置成略大于 0° 、 60° 、 120° 。

3.5 竖直角的测量

3.5.1 竖直度盘的构造

竖直度盘垂直固定在望远镜旋转轴的一端,随望远镜的转动而转动。竖直度盘的刻划与水平度盘基本相同,但其注记因仪器构造的不同分为顺时针和逆时针两种形式,如图 3-9 所示。

目前光学经纬仪普遍采用竖盘指标自动归零补偿器装置代替传统竖盘指标水准管,其作用是消除仪器整平后的剩余误差给竖盘读数带来的影响。使用时,在仪器整平后按一下按钮,竖盘刻线(读数窗中)互相摆开,然后缓慢回复到初始位置。

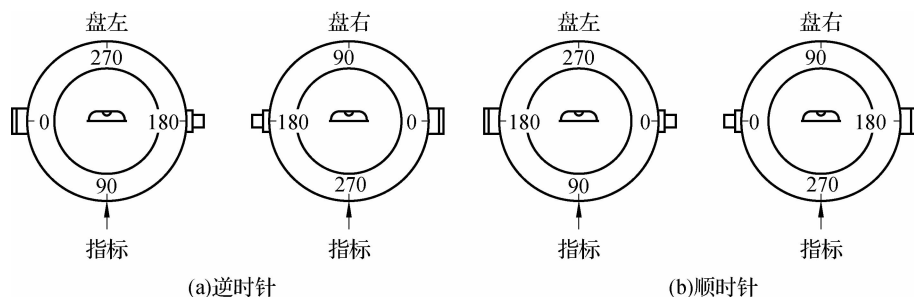


图 3-9 经纬仪竖直角盘注记的形式

竖直角计算公式是根据竖盘读数指标线处于正确位置时推导出来的。即当视准轴水平时,竖盘指标线所指读数应为 90° 的倍数,称为始读数。但当指标线所指的读数比始读数增大或减小一个角值 X (竖盘指标差) 时,可以通过盘左盘右观测取平均值予以抵消。

3.5.2 竖直角度的计算与观测

1. 竖直角度的计算

当经纬仪在测站上安置好后,首先应依据竖盘的注记形式推导出测定竖直角度的计算公式,其具体做法如下。

(1) 在盘左位置把望远镜大致置于水平,这时竖盘读数值约为 90° (若置盘右位置,约为 270°),这个读数称为始读数。

(2) 慢慢仰起望远镜物镜,观测竖盘读数(盘左时记作 L ,盘右时记作 R),并将结果与始读数相比,看是增加还是减少。

(3) 以盘左为例,若 $L > 90^\circ$,则竖直角度的计算公式为:

$$\alpha_{\text{左}} = L - 90^\circ \quad (3-7)$$

$$\alpha_{\text{右}} = 270^\circ - R \quad (3-8)$$

若 $L < 90^\circ$,则竖直角度的计算公式为:

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

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

平均竖直角为:

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

竖盘指标差的计算公式为:

$$X = \frac{(\alpha_{\text{左}} - \alpha_{\text{右}})}{2} = \frac{L + R - 360^\circ}{2} \quad (3-12)$$

在测站上安置仪器后,应先确定竖直角度的计算公式,目前经纬仪多采用天顶式顺时针注记,当望远镜视线水平,竖盘指标水准管气泡居中时,盘左位置,视线水平读数为 90° ,望远镜上仰,读数减小时,采用式(3-7)和式(3-8)计算竖直角;盘右位置,视线水平时读数为 270° ,当望远镜上仰,读数增大时,采用式(3-9)和式(3-10)计算竖直角。

2. 竖直角度的观测

在测站上安置仪器后,用下述方法测定竖直角。

(1) 盘左位置。瞄准目标后,用十字丝横丝卡准目标的固定位置,打开竖盘自动归零按钮,读取竖盘读数 L ,并记入竖直角观测记录表中,见表 3-2。用所推导好的竖直角计算公式计算出盘左时的竖直角,上述观测称为上半测回观测。

表 3-2 竖直角观测记录表

测站	目标	盘位	竖盘读数 / ° ' "	半测回竖直角 / ° ' "	指标差 / "	一测回竖直角 / ° ' "	备注
O	M	左	59 29 48	+30 30 12	-12	+30 30 00	竖盘为天顶式顺时针注记
		右	300 29 48	+30 29 48			
	N	左	93 18 40	-3 18 40	-13	-3 18 53	
		右	266 40 54	-3 19 06			

(2) 盘右位置。仍照准原目标,读取竖盘读数,并记入记录表中。用所推导好的竖直角计算公式计算出盘右时的竖直角,称为下半测回观测。上、下半测回合称一测回。

3.6 经纬仪的检验与校正

3.6.1 经纬仪的主要轴线及应满足的条件

为了保证测角的精度,经纬仪的主要部件及轴系应满足的几何条件为:照准部水准管轴应垂直于仪器竖轴($LL \perp VV$);十字丝竖丝应垂直于横轴;视准轴应垂直于横轴($CC \perp HH$);横轴应垂直于仪器竖轴($HH \perp VV$);竖盘指标差应为零;光学对中器的视准轴应与仪器竖轴重合,如图 3-10 所示。

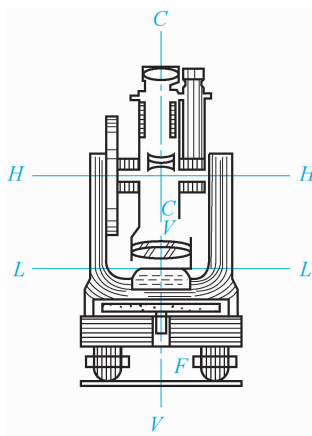


图 3-10 经纬仪的主要轴线

3.6.2 经纬仪主要部件的检验和校正

由于仪器经过长期外业使用或长途运输及外界影响等,会使各轴线的几何关系发生变化,因此在使用前必须对仪器进行检验和校正。

1. 照准部水准管的检校

目的:当照准部水准管气泡居中时,应使水平度盘水平,竖轴铅垂。

检验方法:将仪器安置好后,先使照准部水准管平行于一对脚螺旋的连线,转动这对脚螺旋使气泡居中;再将照准部旋转 180° ,若气泡仍居中,说明条件满足,即水准管轴垂直于仪器竖轴,否则应进行校正。

校正方法:转动平行于水准管的两个脚螺旋使气泡退回偏离零点的格数的一半,再用拨针拨动水准管的校正螺丝,使气泡居中。

2. 十字丝竖丝的检校

目的:使十字丝竖丝垂直横轴。当横轴居于水平位置时,竖丝处于铅垂位置。

检验方法:用十字丝竖丝的一端精确瞄准远处某点,固定水平制动螺旋和望远镜的制动螺旋,慢慢转动望远镜的微动螺旋。如果目标不离开竖丝,说明此项条件满足,即十字丝竖丝垂直于横轴,否则需要校正。

校正方法:要使竖丝铅垂,就要转动十字丝板座或整个目镜部分。十字丝板座和仪器连接的结构如图 3-11 所示,校正时,首先旋松固定螺丝,转动十字丝板座,直至竖丝铅垂,然后再旋紧固定螺丝。

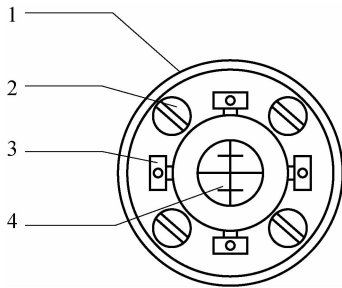


图 3-11 十字丝板座和仪器连接的结构

1—镜筒;2—压环固定螺丝;3—十字丝校正螺丝;4—十字丝分划板

3. 视准轴的检校

目的:使望远镜的视准轴垂直于横轴。视准轴不垂直于横轴的倾角 c 称为视准轴误差,也称为 $2c$ 误差,它是由于十字丝交点的位置不正确而产生的。

检验方法:选与视准轴近于水平的一点作为照准目标,盘左照准目标的读数为 $\alpha_{左}$,盘右再照准原目标的读数为 $\alpha_{右}$,如 $\alpha_{左}$ 与 $\alpha_{右}$ 的差值不等于 180° ,则表明视准轴不垂直于横轴,应进行视准轴校正。

校正方法:以盘右位置读数为准,计算两次读数的平均数 α 。首先转动水平微动螺旋将度盘读数值配置为读数 α ,此时视准轴偏离了原照准的目标,然后拨动十字丝校正螺丝,直至使视准轴再照准原目标为止,即视准轴与横轴相垂直。

4. 横轴的检校

目的:使横轴垂直于仪器竖轴。

检验方法:将仪器安置在一个清晰的高目标附近,其仰角为 30° 左右。盘左位置照准高目标 M 点,固定水平制动螺旋,将望远镜大致放平,在墙上或横放的尺上标出 m_1 点,如图 3-12 所示。纵转望远镜,盘右位置仍然照准 M 点,放平望远镜,在墙上标出 m_2 点。如果 m_1 和 m_2 重合,则说明此条件满足,即横轴垂直于仪器竖轴,否则需要进行校正。

校正方法:此项校正一般应由厂家或专业仪器修理人员进行。

5. 竖盘指标水准管的检校

目的:使竖盘指标差 X 为零,指标处于正确的位置。

检验方法:安置经纬仪于测站上,用望远镜在盘左、盘右两个位置观测同一目标,当竖盘指标水准管气泡居中时,分别读取竖盘读数,计算出指标差。如果指标差超过限差,则须校正。

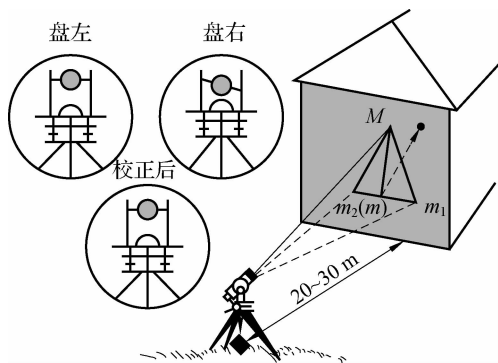


图 3-12 经纬仪横轴的检验

校正方法:求得正确的竖直角后,不改变望远镜在盘右所照准的目标位置,转动竖盘指标水准管微动螺旋,根据竖盘刻划注记形式,在竖盘上配置相应的盘右读数,此时竖盘指标水准管气泡必然不居中,只需用拨针拨动竖盘指标水准管上、下校正螺丝使气泡居中即可。对带补偿器的经纬仪仅需调节补偿装置。

6. 光学对中器的检校

目的:使光学对中器视准轴与仪器竖轴重合。

检验方法:

(1)装置在照准部上的光学对中器的检验。精确地安置经纬仪,首先在脚架中央的地面上放一张白纸,由光学对中器的目镜观测,将光学对中器分划板的刻划中心标记于纸上,然后水平旋转照准部,每隔 120° 用同样的方法在白纸上作出标记点,如三点重合,则说明此条件满足,否则需要进行校正。

(2)装置在基座上的光学对中器的检验。将仪器侧放在特制的夹具上,照准部固定不动,但基座可自由旋转,在距离仪器不小于 2 m 的墙壁上钉贴一张白纸,用上述同样的方法转动基座,每隔 120° 在白纸上作出一标记点,若三点不重合,则需要校正。

校正方法:白纸上的三点构成误差三角形,绘出误差三角形外接圆的圆心。由于仪器的类型不同,因此校正部位也不同。有的校正转向直角棱镜,有的校正分划板,有的两者均可校正。校正时均须通过拨动对点器上相应的校正螺丝调整目标偏离量的一半,并反复 $1\sim 2$ 次,直到照准部转到任何位置观测时目标都在中心圈以内为止。

注意 光学经纬仪这 6 项检验校正的顺序不能颠倒,而且照准部水准管轴垂直于仪器竖轴的检校是其他项目检验与校正的基础,这一条件不满足,其他几项检验与校正就不能正确进行。另外,竖轴不铅垂对测角的影响不能用盘左、盘右两个位置观测加以消除,所以此项检验与校正也是主要的项目。其他几项,在一般情况下有的对测角影响不大,有的可通过盘左、盘右两个位置观测来消除其对测角的影响,因此是次要的检校项目。

3.7 角度测量的误差及注意事项

由于多种原因,任何测量结果中都不可避免地会有误差,影响测量误差的因素可分为三

类:仪器误差、观测误差、外界条件的影响。

3.7.1 仪器误差

仪器误差包括两方面:一方面是仪器检查不完善所引起的残余误差,如视准轴不垂直横轴,以及横轴不垂直竖轴等;另一方面是由于仪器制造加工不完善引起的误差,如度盘偏心差、度盘刻划误差等。

(1)视准轴不垂直横轴的误差。视准轴不垂直横轴的误差,也称为视准差,其对水平方向观测值的影响为 $2c$,可以通过盘左、盘右两个位置观测取平均值来消除。

(2)横轴不垂直竖轴的误差。横轴不垂直竖轴的误差也称为支架误差,与视准差一样,可以通过盘左、盘右两个位置观测取平均值来消除。

(3)竖轴倾斜误差。竖轴倾斜误差是由水准管轴垂直仪器竖轴的校正不完善而引起的,不能用盘左、盘右两个位置观测取平均值的方法消除。这种残差的影响与视线竖直角的正切成正比,因此要特别注意水准管轴垂直竖轴的检验和校正。

(4)度盘偏心误差。度盘偏心误差是由度盘加工不完善及安装不完善引起的,可以通过盘左、盘右两个位置观测取平均值来消除。

(5)度盘刻划误差。度盘刻划误差是由于度盘的刻划不完善引起的,这项误差比较小,可通过多测回变换度盘起始位置读数的方法来消除。

3.7.2 观测误差

由于操作仪器时不够细心以及眼睛分辨率及仪器性能的客观限制,在观测中不可避免地会存在误差。

(1)测站偏心误差。测角时,若经纬仪对中有误差,将使仪器中心与测站点不在同一铅垂线上,造成测角误差。当观测目标较近或者水平角接近 180° 时,应特别注意仪器对中。

(2)目标偏心误差。造成目标偏心误差的原因是观测标志与地面点未在同一铅垂线上,致使视线偏移,其影响类似于测站偏心。目标偏心距愈大,误差也愈大。在目标点较近时,观测标志应尽可能使用垂球,并仔细瞄准,尽量瞄准目标底部。

(3)照准及读数误差。照准目标时应仔细操作,用单丝切取目标中央,或用双丝夹中目标,并认真估读。

3.7.3 外界条件的影响

观测是在一定的条件下进行的,外界条件对观测质量会有直接的影响,如松软的土壤和大风影响仪器的稳定,日晒和温度变化影响水准管气泡的运动,大气层受地面热辐射的影响会引起目标影像的跳动等,这些都会给观测结果带来误差。因此,要选择目标成像清晰稳定的有利时间进行观测,设法克服或避开不利条件的影响,以提高观测成果的质量。



思考与练习

1. 经纬仪的技术操作包括哪些?
2. 试述经纬仪对中、整平的步骤。
3. 叙述用测回法观测水平角的观测程序。

道路工程测量

4. 试述光学经纬仪观测竖直角的操作步骤。
5. 经纬仪有哪些主要轴线？它们之间应满足怎样的几何关系？为什么必须满足这些几何关系？
6. 观测水平角时采用盘左、盘右观测方法可以消除哪些误差对测角的影响？
7. 用测回法观测水平角，其观测数据见表 3-3，试计算各测回角值。

表 3-3 题 7 表

测站	盘位	目标	水平度盘读数 / ° ' "	水平角		备注
				半测回水平角 / ° ' "	测回值 / ° ' "	
O	左	A	00 00 12			
		B	304 40 30			
	右	A	180 00 48			
		B	124 40 54			
M	左	C	00 01 10			
		D	60 40 20			
	右	C	180 02 40			
		D	240 41 40			

8. 在 O 点架设经纬仪，观测 M、N 两点，其竖盘读数见表 3-4，试完成剩余计算。

表 3-4 题 8 表

测站	目标	盘位	竖盘读数 / ° ' "	半测回竖直角 / ° ' "	指标差 / "	一测回竖直角 / ° ' "	备注
O	M	左	69 17 24				竖盘为天顶式 顺时针注记
		右	290 41 54				
	N	左	98 35 48				
		右	261 23 40				