

项目 4 距离测量与直线定向

知识目标

- ◎ 掌握距离测量的常用方法：钢尺量距、视距测量和光电测距。
- ◎ 掌握直线定向、标准方向及方位角的概念。
- ◎ 了解电子全站仪的光电测距原理。
- ◎ 掌握坐标方位角的计算方法。

能力目标

- ◎ 能利用钢尺量距的一般方法完成精度不低于 $1/3\ 000$ 的量距。
- ◎ 能利用经纬仪和水准仪视距测量功能完成精度不低于 $1/300$ 的量距。
- ◎ 会使用全站仪的测距功能。
- ◎ 会计算坐标方位角。

引言

距离测量是测量的基本工作之一。距离是指地面上两点的连线铅垂投影到水平面上的长度，亦称水平距离，简称平距。地面上高程不同的两点的连线长度称为倾斜距离，简称斜距。测量时要注意把斜距换算为平距。如果不加特别说明，“距离”即指水平距离。水平距离测量的方法很多，按所用测距工具的不同有钢（皮）尺量距、视距测量、光电测距、GPS 测量等。

钢尺量距是用钢卷尺沿地面直接丈量距离；视距测量是利用经纬仪或水准仪望远镜中的视距丝观测标尺按几何光学原理进行测距；光电测距是用仪器发射并接收电磁波，通过测量电磁波在待测距离上往返传播的时间或相位差解算出距离；GPS 测量是利用两台 GPS 接收机接收空间轨道上 4 颗以上卫星发射的精密测距信号，通过距离空间交会的方法解算出两台 GPS 接收机架设点的坐标，再通过坐标反算出两点之间的距离。本项目介绍前三种距离测量方法。

直线定向是指地面上两点连线垂直投影到水平面上的水平投影线与标准方向的关系，一般用方位角表示直线的方向，方位角是测量的重要概念，在计算点位坐标和测设数据时经常用到。

任务 4.1 钢(皮)尺量距

钢(皮)尺量距具有操作简便、携带方便、成本低的特点。钢尺量距精度较高,在工程测量中应用非常广泛;皮尺量距精度较低,主要应用于地图测绘。

4.1.1 钢(皮)尺量距工具

钢(皮)尺量距的主要工具是钢卷尺、皮卷尺,此外可能会用到标杆、测钎和垂球等辅助工具,精度要求较高时还会用到温度计和弹簧秤。

1. 皮尺

皮尺是用塑料或亚麻材料制成的带状尺,卷放在圆形盒内的称为盒装皮卷尺,如图 4-1(a)所示。长度有 5 m、20 m、30 m、50 m 等多种型号。常用皮尺整个尺长最小为 cm 刻划,并注记 m、dm。皮尺一般以尺环边作为零点,如图 4-2(a)所示。

皮尺的优点:皮尺性软,不易折断,不会生锈,不怕车碾压;皮尺的缺点:皮尺抗拉强度差,易产生拉伸变形,刻度精度低,因此量距精度低。

皮尺量距最高精度为 1/1 000。由于其量距精度低,一般应用于地图测绘。

2. 钢尺

钢尺是用薄钢片制成的带状尺,卷放在金属架或塑料架内的称为摇把式钢卷尺,如图 4-1(b)所示。钢尺的宽度约 10~15 mm,厚度约 0.4 mm,长度有 20 m、30 m、50 m 等几种。钢尺一般在表面镀有一层保护漆,以免生锈。钢尺整个尺长均有 mm 刻划,注记 m、dm 和 cm。

钢尺一般以尺的起点端的某一刻线作为零点,如图 4-2(b)所示。量距时要十分注意钢尺零点位置,以免出错。

钢尺的优点:钢尺抗拉强度高,不易产生拉伸变形,刻度精度高,因此量距精度高;钢尺的缺点:钢尺性脆,易折、易断、易生锈,出现折痕不易修复,会造成尺长误差而影响量距精度,因此使用时应避免扭折,防车碾压。

钢尺量距精度可达到 1/3 000 以上。由于其在短距离量距中使用方便,在土建工程中应用非常广泛。

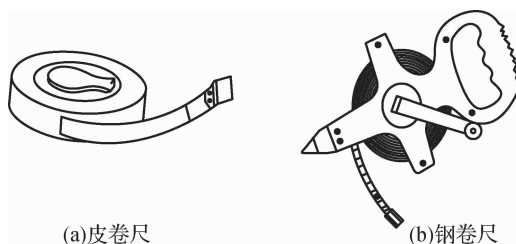


图 4-1 皮卷尺、钢卷尺

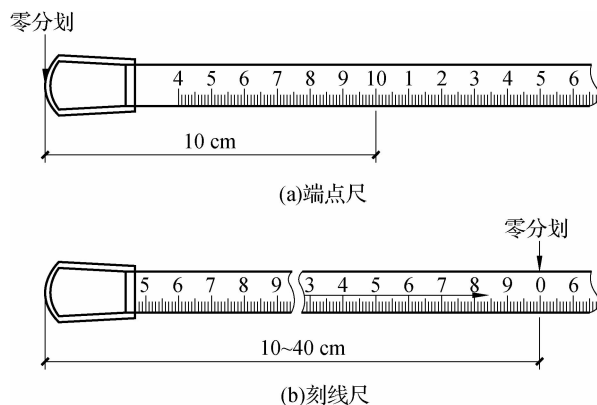


图 4-2 皮卷尺、钢卷尺的零点

3. 其他辅助工具

(1) 标杆。如图 4-3(a)所示,又名花杆,直径约 3 cm,长 2~3 m,杆身用油漆涂成红白相间,每节 20 cm,在距离丈量中,标杆主要用于皮尺量距分段点的定线。

(2) 测钎。如图 4-3(b)所示,由粗铁丝或细钢筋加工制成,长 30~40 cm,一般 6 根或 11 根为一组,测钎用于分段丈量时,标定每段尺端点位置和记录整尺段数,测钎主要用于钢尺量距分段点的定线。

(3) 垂球。用于在不平坦的地面直接测量水平距离时,将平拉的钢尺的端点投影到地面上。垂球主要用于斜坡地的平距丈量。

(4) 弹簧秤。如图 4-4(a)所示,用于对钢尺施加规定的拉力,避免因拉力太小或太大造成的量距误差。弹簧秤主要用于精密钢尺量距。

(5) 温度计。如图 4-4(b)所示,用于钢尺量距时测定温度,以便对钢尺长度进行温度改正,消除或减小因温度变化使尺长改变而造成的量距误差。温度计主要用于精密钢尺量距。

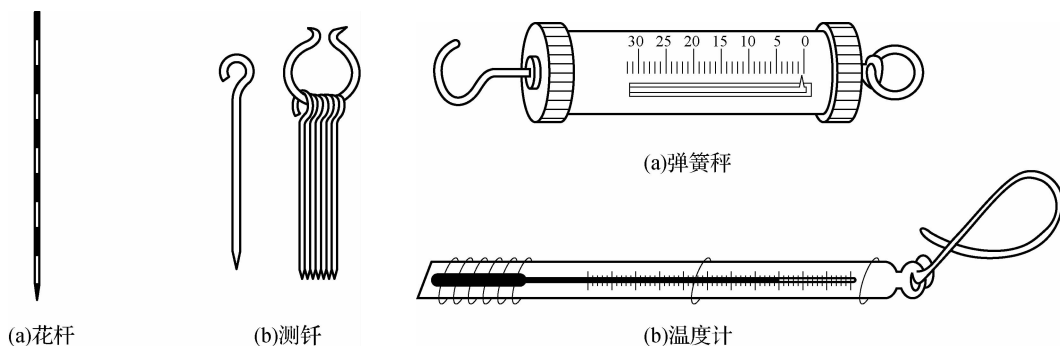


图 4-3 花杆和测钎

图 4-4 弹簧秤和温度计

4.1.2 直线定线

当地面两点间距离较远或起伏较大时,在距离丈量之前,需在地面两点连线的方向上定

出若干分段点的位置,以便分段量取,这项工作称为直线定线。

1. 目估定线

在普通精度量距中,可采用目估定线,使用皮尺量距。如图 4-5 所示, A、B 为地面上待测距离的两个端点,两点互相通视,要在 A、B 两点的直线上标出分段点 1、2 点。

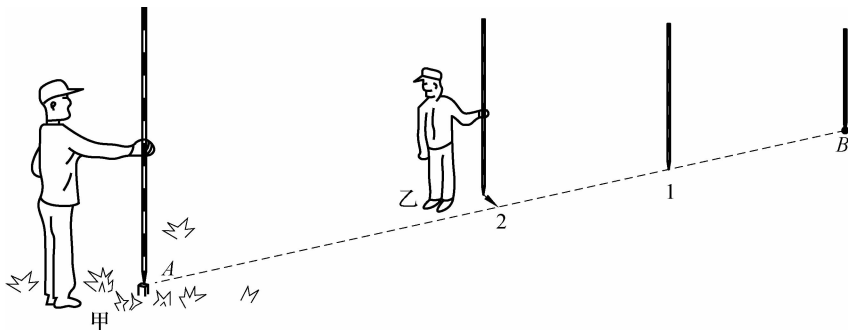


图 4-5 目估定线

(1)在 A、B 点上竖立标杆,测量员甲立于 A 点后 1~2 m 处,单眼目测标杆的同侧,由 A 瞄向 B,构成一视线。

(2)甲指挥乙持标杆于 1 点附近左右移动,直到三支标杆的同侧重合到一起。

(3)指挥乙将标杆或测钎竖直插在地上,得出 1 点。用同样方法 得出 2 点。

两点间定线,一般应由远到近,即先定 1 点,再定 2 点。定线也可与距离丈量同时进行。定线时,由于甲的视线位于上方,而量距时尺子贴近地面,因此所有标杆都应尽量保持垂直,且各标杆间距应小于一个整尺长。

2. 经纬仪定线

当直线定线精度要求较高时,可用经纬仪定线,使用钢尺量距。如图 4-6 所示,欲在 AB 线内精确定出 1、2 等点的位置。可由甲将经纬仪安置于 A 点,用望远镜纵丝照准 B 点,固定照准部水平制动螺旋。然后将望远镜向下俯视,用手势指挥乙移动测钎,当测钎与十字丝纵丝重合时,便在标杆的位置打下木桩,再根据十字丝在木桩上钉下铁钉,准确定出 1 点的位置。同理定出 2 点和其他各点的位置。

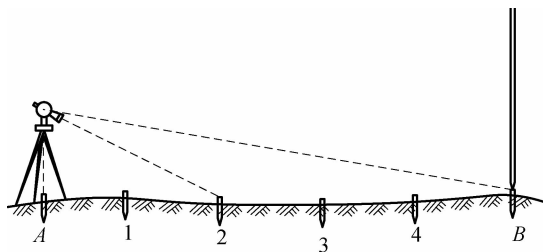


图 4-6 经纬仪定线

4.1.3 钢尺量距的一般方法

1. 平坦地面的距离丈量

在平坦地面上,可直接沿地面丈量水平距离。欲测 A 、 B 两点之间的水平距离 D ,其丈量工作可由经纬仪定线指挥人员、后尺手、前尺手三人配合操作进行。具体步骤如下。

(1)负责定线指挥人员在 A 点架设经纬仪,完成经纬仪的对中、整平。

(2)利用经纬仪纵丝照准 B 点,旋紧水平制动螺旋。

(3)往测。如图 4-7(a)所示,后尺手将钢尺零点一端对准 A 点。前尺手持钢尺末端和一束测钎沿 AB 线行至一尺段距离后停下。用经纬仪指挥前尺手将钢尺拉在 AB 直线上,待钢尺拉平、拉紧、拉稳后,前尺手喊“预备”,后尺手将钢尺零点对准 A 点后说“好”,前尺手立即将测钎对准钢尺末端分划插入地下得到 1 点,检核确保 1 点在 AB 连线上,且距 A 点为一整尺段(如果在水泥地面上丈量插不下测钎时,也可以用笔在地面上做记号,此时要注意记录整尺段数),即量完一个尺段。用同样方法由经纬仪指挥定线,从 A 点起向 B 点每 30 m 立一次测钎,直至 B 点,得到 n 段整尺,最后不足一整尺段的长度称为余长,用 q 表示。

(4)返测。如图 4-7(b)所示,为了检核丈量误差和提高成果精度,通常采用往返丈量进行比较,返测过程依旧由经纬仪指挥定线(经纬仪依旧架设在 A 点),从 B 点起向 A 点每 30 m 立一次测钎,直至 A 点,得到 n 段整尺,余长用 q' 表示。

则 A 、 B 两点间的水平距离 D 为

$$D_{\text{往}} = n \times l + q \quad (4-1)$$

$$D_{\text{返}} = n \times l + q' \quad (4-2)$$

式中, n 为整尺段数; l 为钢尺长度。

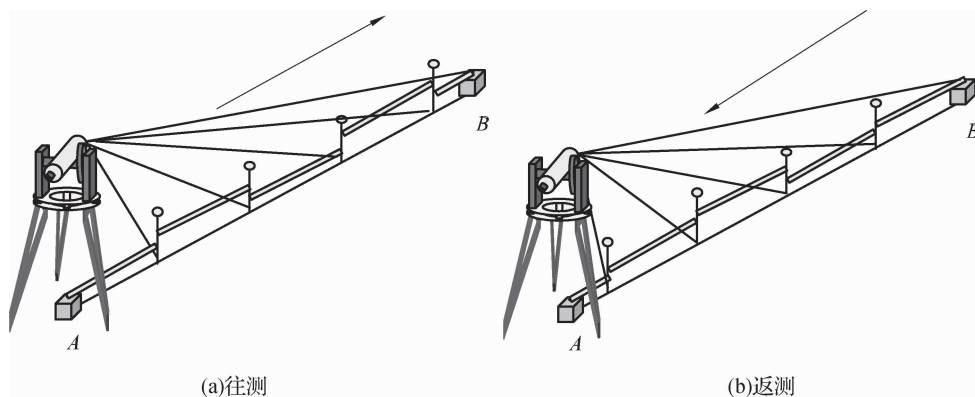


图 4-7 经纬仪定线钢尺量距

距离丈量的精度,一般用相对误差 K 表示,相对误差通常化为分子为 1 的分式

$$K = \frac{|D_{\text{往}} - D_{\text{返}}|}{D_{\text{平均}}} = \frac{1}{\frac{D_{\text{平均}}}{|D_{\text{往}} - D_{\text{返}}|}} \quad (4-3)$$

K 符合精度要求时,取往返丈量平均值作为丈量结果,即

$$D_{\text{平均}} = \frac{1}{2}(D_{\text{往}} + D_{\text{返}}) \quad (4-4)$$

钢尺量距一般方法的记录、计算及精度评定见表 4-1。

表 4-1 钢尺一般量距记录及成果计算

线段	尺段长 /m	往测			返测			往返差 /m	相对 精度	往返平均值 /m
		尺段数	余长数 /m	总长 /m	尺段数	余长数 /m	总长 /m			
AB	30	5	27.478	177.478	5	27.452	177.452	0.026	1/6 800	177.465
BC	50	2	46.935	146.935	2	46.971	146.971	0.036	1/4 080	146.953

表 4-1 中线段 AB 往测时总长为 177.478 m, 返测时总长为 177.452 m, 则往返平均值为 177.465 m, 量距相对精度为

$$K = \frac{|177.478 - 177.452|}{177.465} = \frac{0.026}{177.465} \approx \frac{1}{6\ 800}$$

相对误差分母愈大, 则 K 值愈小, 精度愈高; 反之, 精度愈低。在平坦地区, 钢尺量距一般方法的相对误差一般不应大于 1/3 000; 在量距较困难的地区, 其相对误差也不应大于 1/2 000。



测量课堂实训建议

本任务课程“任务 4.1 钢(皮)尺量距”课堂教学结束后, 可以安排一次测量课堂实训, 实训具体要求参照:

《建筑工程测量实训指导》

第二部分 测量课堂实训

实训九 钢尺量距

2. 倾斜地面的量距方法

1) 平量法

当地势不平坦但起伏不大时, 为了直接量取 A、B 两点间的水平距离, 可目估使钢尺水平, 由高处往低处丈量两次。如图 4-8 所示, 甲在 A 点指挥乙将钢尺拉在 AB 线上, 甲将钢尺零点对准 A 点, 乙将钢尺抬高, 并目估使钢尺水平, 然后用垂球线紧贴钢尺上某一整刻划线, 将垂球尖投入地面上, 用测钎插在垂球尖所指的 1 点处, 此时尺上垂球线对应读数即为 A_1 的水平距离 d_1 , 同法丈量其余各段, 直至 B 点。则有

$$D = \sum d_i \quad (4-5)$$

用同样的方法对该段进行两次丈量, 若精度符合要求, 则取其平均值作为最后结果。

2) 斜量法

如图 4-9 所示, 当地面倾斜坡度较大时, 可用钢尺量出 AB 的斜距 L , 然后用水准测量或其他方法测出 A、B 两点的高差 h 。当地面倾斜坡度较大时, 可用钢尺量出 AB 的斜距 L , 然后用水准测量或其他方法测出 A、B 两点的高差 h , 则

$$D = \sqrt{L^2 - h^2} \quad (4-6)$$

斜量法也需测量两次,符合精度要求时,取平均值作为最后结果。

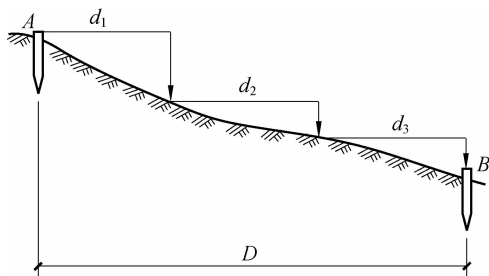


图 4-8 平量法

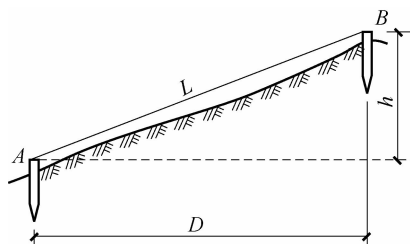


图 4-9 斜量法

4.1.4 钢尺量距的精密方法

钢尺量距的一般方法,精度最多只能达到 $1/5\ 000$ 。当量距精度要求较高时,例如:要求量距精度达到 $1/10\ 000$ 以上时,则应采用精密的量距方法,并对有关误差进行改正。精密量距的主要工具为:钢尺、弹簧秤和温度计等。其中钢尺必须经过检验,并得到其检定的尺长方程式。

由于目前测距仪和全站仪的普遍使用,操作比精密钢尺量距简单且测距精度又高于精密钢尺量距,精密钢尺量距已经很少用到,这里就不再介绍。

4.1.5 钢尺量距误差及注意事项

1. 钢尺量距的误差

1) 尺长误差

如果钢尺的名义长度和实际长度不符,则产生尺长误差。尺长误差是积累的,丈量的距离越长,误差越大。因此新购置的钢尺必须经过检定,测出其尺长改正值。

2) 温度误差

钢尺的长度随温度而变化,当丈量时的温度与钢尺检定时标准温度不一致时,将产生温度误差。按照钢的膨胀系数计算,温度每变化 $1\ ^\circ\text{C}$,丈量距离为 $30\ \text{m}$ 时对距离影响为 $0.4\ \text{mm}$ 。

3) 钢尺倾斜和垂曲误差

在高低不平的地面上采用水平法量距时,钢尺不水平或中间下垂而成曲线时,都会使量得的长度比实际要大。因此丈量时必须注意钢尺水平,整尺段悬空时,中间应有人托住钢尺,否则会产生不容忽视的垂曲误差。

4) 定线误差

丈量时钢尺没有准确地放在所量距离的直线方向上,使所量距离不是直线而是一组折线,造成丈量结果偏大,这种误差称为定线误差。丈量 $30\ \text{m}$ 的距离,当偏离直线为 $0.25\ \text{m}$ 时,量距偏大 $1\ \text{mm}$ 。

5) 拉力误差

钢尺在丈量时所受拉力应与检定时所受的拉力相同。若拉力变化 68.6 kN, 尺长将改变 1/10 000。

6) 丈量误差

丈量时在地面上尺端点位置处插测钎不准, 前、后尺手配合不佳, 余长读数不准等都会引起丈量误差, 这种误差对丈量结果的影响可正可负, 大小不定。在丈量中要尽力做到对点准确, 配合协调。

2. 钢尺量距的注意事项

- (1) 钢尺须检定后才能使用, 精度要求高时进行尺长改正和温度改正。
- (2) 量距时拉钢尺要既平又稳, 拉力要符合要求, 采用斜拉法时要进行倾斜改正。
- (3) 注意钢尺零刻划线位置, 以免量错。
- (4) 读数应准确, 记录要清晰, 严禁涂改数据, 要防止 6 与 9 误读、10 和 4 误听。
- (5) 钢尺在路面上丈量时, 应防止人踩、车碾。钢尺卷结时不能硬拉, 必须解除卷结后再拉, 以免钢尺折断。
- (6) 量距结束后, 用软布擦去钢尺上的泥土和水, 以防止生锈。
- (7) 不准将钢尺沿地面拖拉, 以免磨损尺面分划。

任务 4.2 视距测量

经纬仪和水准仪等测量仪器的望远镜内十字丝分划板上刻制的上、下对称的两条短线, 称为视距丝。视距测量就是利用视距丝及标尺(水准尺), 根据几何光学和三角学原理, 同时测定两点间的水平距离和高差的一种方法。这种方法操作简便、迅速, 不受地面起伏限制, 但精度比较低, 一般为 1/300 ~ 1/500, 只可用于地形图碎部测量等精度要求不高的场合。

4.2.1 视距测量原理

1. 视线水平时的视距测量公式

1) 水平距离公式

如图 4-10 所示, AB 为待测距离, 在 A 点上安置经纬仪, B 点处竖立标尺, 置望远镜视线水平, 瞄准 B 点标尺, 此时视线垂直于标尺。尺上 M 、 N 点成像在视距丝上的 m 、 n 处, MN 的长度可由上、下视距丝读数之差求得。上、下视距丝读数之差称为尺间隔。

在图 4-10 中, l 为尺间隔, p 为视距丝间距, f 为物镜焦距, δ 为物镜至仪器中心的距离。由相似三角形 MNF 与 $m'n'F$ 可得

$$\frac{d}{l} = \frac{f}{p}$$

则

$$d = \frac{f}{p} l$$



由图看出

$$D = d + f + \delta$$

则

$$D = \frac{f}{p}l + f + \delta$$

令 $f/p = K, f + \delta = C$, 则有

$$D = Kl + C$$

式中, K 为视距乘常数; C 为视距加常数。

目前使用的内对光望远镜的视距常数, 设计时已使 $K = 100, C$ 接近于零, 故水平距离公式可写为

$$D = Kl = 100l \quad (4-7)$$

式中, l 为上、下视距丝读数之差。

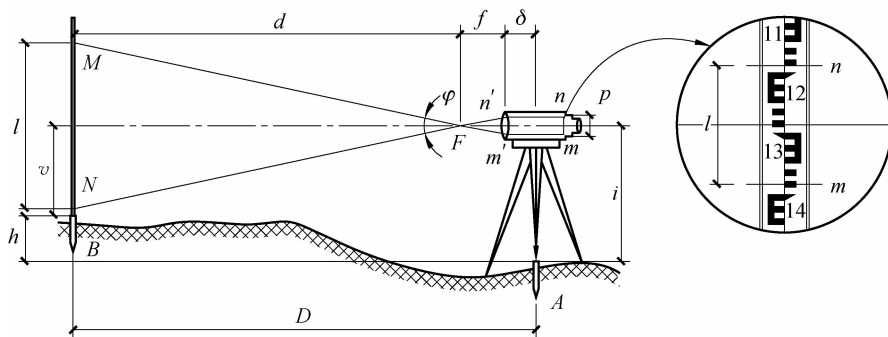


图 4-10 视线水平时的视距测量



拓展知识

水准仪视距测量用途

视线水平时的视距测量主要应用于水准仪视距。

应用原因: 水准仪观测视线均为水平视线。

应用目的: 在国家水准与工程水准的测量规范中对水准仪距前尺与后尺的水平距离差有限差要求, 如国家四等水准测量规定, 每测站水准仪距离前尺与后尺的水平距离差(前后视距差)小于 5 m, 前后视距累计差小于 10 m。因此为满足规范要求, 四等水准测量要求每测站必须对前后尺分别读取上、下视距丝读数, 并利用公式(4-7)计算出每测站水准仪距离前尺与后尺的水平距离, 从而计算出前后视距差与前后视距累计差, 若超限则移动水准仪位置重新测量。

2) 高差公式

在图 4-10 中, i 为地面标志到仪器望远镜中心线的高度, 可用尺子量取; v 为十字丝中丝在标尺上的读数, 称为目标高, h 为 A、B 两点间的高差。从图中可以看出高差公式为

$$h_{AB} = i - v \quad (4-8)$$

式中, i 为仪器高, 为仪器横轴至桩顶距离; v 为中丝读数, 为十字丝中丝在标尺上的读数。

2. 视线倾斜时的水平距离和高差公式

1) 水平距离公式

当地面起伏较大或通视条件较差时,必须使视线倾斜才能读取尺间隔。这时视距尺仍是竖直的,但视线与尺面不垂直,如图 4-11 所示,因而不能直接应用上述视距公式,需根据竖直角 α 和三角函数进行换算。

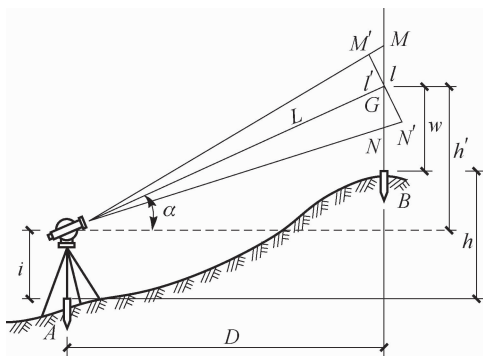


图 4-11 视线倾斜时的视距测量

由于图 4-11 中所示上下丝视线所夹的角度很小,可以将 $\angle GM'M$ 和 $\angle GN'N$ 近似地看成直角,并且可以证明 $\angle MGM'$ 和 $\angle NGN'$ 均等于 α ,则可以进行下列推导

$$M'N' = M'G + GN' = MG \cos \alpha + GN \cos \alpha = MN \cos \alpha$$

即

$$l' = l \cos \alpha$$

代入式(4-7)可推出斜距为

$$L = Kl \cos \alpha$$

再将斜距化算为水平距离得公式

$$D = Kl \cos^2 \alpha \quad (4-9)$$

式中, D 为水平距离; K 为视距常数(100); l 为上、下视距丝读数之差; α 为竖直角。

2) 高差公式

由图 4-11 可以看出,A、B 两点的高差 h 为

$$h = h' + i - v$$

式中, h' 为初算高差,由图中可以看出

$$h' = D \tan \alpha$$

故得高差计算公式为

$$h = \frac{1}{2} Kl \sin 2\alpha + i - v = D \tan \alpha + i - v \quad (4-10)$$

式中, K 为视距常数(100); i 为仪器高,即仪器横轴至桩顶距离; v 为中丝读数,即十字丝中丝在标尺上的读数; D 为 A 到 B 水平距离; α 为竖直角; l 为视距间隔,即上、下视距丝读数之差; h 为 A 到 B 的高差。



拓展知识

经纬仪视距测量用途

视线倾斜时的视距测量主要应用于经纬仪视距。



应用原因:经纬仪观测目标时视线均多为倾斜视线。

应用目的:在利用经纬仪进行地图测绘中要求对仪器距离目标点(图根点)的水平距离测量,但是测站点与目标点(图根点)往往有较大高差,因此不便于使用尺子量距,由于地图测绘对于距离丈量精度要求较低,因此经常采用视距测量获取水平距离,同时还可计算出目标点的高程。

【例 4-1】 如图 4-11 所示,在 A 点安置经纬仪,量取仪器高度($i=1.400\text{ m}$)。转动照准部和望远镜瞄准 B 点标尺,分别读取中丝、上丝、下丝读数($v=1.400\text{ m}$, $b=1.242\text{ m}$, $a=1.558\text{ m}$)。调整竖盘读数指标水准管气泡居中,读取竖盘读数(盘左: $L=93^{\circ}28'$)。

【解】 假定所用经纬仪竖直角计算公式为 $\alpha=90^{\circ}-L+\delta$,竖盘指标差 $\delta=+1'$ 。

尺间隔 $l=a-b=1.558-1.242=0.316\text{ m}$

竖直角 $\alpha=90^{\circ}-L+\delta=90^{\circ}-93^{\circ}28'+1'=-3^{\circ}27'$

水平距离 $D=Kl\cos^2\alpha=100\times 0.316\times \cos^2(-3^{\circ}27')=31.49\text{ m}$

高差 $h=D\tan\alpha+i-v=31.49\times \tan(-3^{\circ}27')+1.40-1.40=-1.90\text{ m}$

经纬仪视距数据记录见表 4-2。

表 4-2 视距测量手簿

测站:A		测站高程:112.67 m			仪器高:1.46 m			
目标点号	视距(KL) /m	中丝读数 /m	竖盘读数	竖直角	水平距离 /m	高差 /m	高程 /m	备注
1	32.6	2.48	87°42'	2°18'	32.55	0.29	112.96	
2	58.7	1.69	96°15'	-6°15'	58.00	-6.58	106.09	
3	89.4	2.17	88°51'	1°09'	89.36	1.08	113.75	

4.2.2 视距测量误差及注意事项

影响视距测量精度的因素有以下几方面。

1) 视距尺分划误差

视距尺分划若是系统性增大或减小,对视距测量将产生系统性误差。这个误差在仪器常数检测时将会反应在乘常数 K 上。若视距尺分划误差是偶然误差,对视距测量影响也是偶然性的。视距尺分划误差一般为 $\pm 0.5\text{ mm}$,引起的距离误差为 $m_d=K(\sqrt{2}\times 0.5)=0.071\text{ m}$ 。

2) 乘常数 K 不准确的误差

一般视距乘常数 $K=100$,但由于视距丝间隔有误差,视距尺有系统性误差,仪器检定有误差,会使 K 值不为 100。 K 值误差使视距测量产生系统误差。 K 值应在 100 ± 0.1 之内,否则应加以改正。

3) 竖直角测量误差

竖直角测量误差对视距测量有影响。根据视距测量公式,其影响为当 $\alpha=45^{\circ}$, $m_a=\pm 10''$,

$K_l = 100 \text{ m}$, $m_d \approx \pm 5 \text{ mm}$, 可见竖直角观测误差对视距测量影响不大。

4) 视距丝读数误差

视距丝读数误差是影响视距测量精度的重要因素,它与视距远近成正比,距离越远误差越大。所以视距测量中要根据测图对测量精度的要求限制最远视距。

5) 视距尺倾斜对视距测量的影响

视距测量公式是在视距尺严格与地面垂直条件下推导出来的。当标尺倾斜 1° , 竖直角为 30° 时,产生的视距相对误差可达 $1/100$ 。可见若视距尺倾斜时,对视距测量的影响不可忽视,特别是在山区,倾角大时更要注意,必要时可在视距尺上附加圆水准器。

6) 外界气象条件对视距测量的影响

(1) 大气折光的影响。视线穿过大气时会产生折射,其光程从直线变为曲线,造成误差。由于视线靠近地面时折光大,所以规定视线应高出地面 1 m 以上。

(2) 大气湍流的影响。空气的湍流使视距成像不稳定,造成视距误差。当视线接近地面或水面时这种现象更为严重。所以视线要高出地面 1 m 以上。除此以外,风和大气能见度对视距测量也会产生影响。风力过大,尺子会抖动,空气中灰尘和水汽会使视距尺成像不清晰,造成读数误差,所以应选择良好的天气进行测量。



测量课堂实训建议

本任务课程“任务 4.2 视距测量”课堂教学结束后,可以安排一次测量课堂实训,实训具体要求参照:

《建筑工程测量实训指导》

第二部分 测量课堂实训

实训十 视距测量

任务 4.3 光电测距

光电测距是以光电波作为载波的精密测距方式,在其测程范围内,能测量任何可通视两点间的距离,如高山之间、大河两岸等。光电测距与传统的钢尺量距和视距法测距相比,具有精度高、测程远、作业快、灵活方便、受气候和地形影响小等特点,是目前精密量距的主要方法。

4.3.1 电磁波测距技术发展简介

1948年,瑞典 AGA(阿嘎)公司[现更名为 Geotronics(捷创力)公司]研制成功了世界上第一台电磁波测距仪,它采用白炽灯发射的光波作载波,应用了大量的电子管元件,仪器相当笨重且功耗大。为避开白天太阳光对测距信号的干扰,只能在夜间作业,测距操作和计算都比较复杂。

1960年,世界上成功研制出了第一台红宝石激光器和第一台氦-氖激光器。1962年,砷化镓半导体激光器研制成功。与白炽灯相比,激光器的优点是发散角小,大气穿透力强,传

输的距离远,不受白天太阳光干扰,基本上可以全天候作业。1967年,AGA公司推出了世界上第一台商品化的激光测距仪AGA-8。该仪器采用5mw的氦-氖激光器作发光元件,白天测程为40km,夜间测程达60km,测距精度为5mm+1ppm,主机重量为23kg。

我国的武汉地震大队也于1969年研制成功了JCY-1型激光测距仪,1974年又研制并生产了JCY-2型激光测距仪。该仪器采用2.5mW的氦-氖激光器作发光元件,白天测程为20km,测距精度为5mm+1ppm,主机重量为16.3kg。

随着半导体技术的发展,从20世纪60年代末70年代初起,采用砷化镓发光二极管作为发光元件的红外测距仪逐渐在世界上流行起来。与激光测距仪比较,红外测距仪有体积小、重量轻、功耗小、测距快、自动化程度高等优点。但由于红外光的发散角比激光大,所以红外测距仪的测程一般小于15km。现在的红外测距仪已经和电子经纬仪及计算机软硬件制造在一起,形成了全站仪,并向着自动化、智能化和利用蓝牙技术实现测量数据的无线传输方向飞速发展。

电磁波测距仪按其所采用的载波可分为:①用微波段的无线电波作为载波的微波测距仪;②用激光作为载波的激光测距仪;③用红外光作为载波的红外测距仪。后两者又统称为光电测距仪。微波和激光测距仪多属于长程测距,测程可达60km,一般用于大地测量,而红外测距仪属于中、短程测距仪(测程为15km以下),一般用于小地区控制测量、地形测量、地籍测量和工程测量等。

4.3.2 光电测距原理

测距仪通过测定光波在两点间传播的时间计算距离,按此原理制作的以光波为载波的测距仪叫光电测距仪。

光电测距是一种物理测距的方法,光电测距仪根据测距原理不同可分脉冲法和相位法;按测程大小可分为远程、中程和短程测距仪三种,目前工程测量中使用较多的是相位式短程光电测距仪。

1. 脉冲法测距

用红外测距仪测定A、B两点间的距离D,在待测定一端安置测距仪,另一端安放反光镜,如图4-12所示。当测距仪发出光脉冲,经反光镜反射,回到测距仪。

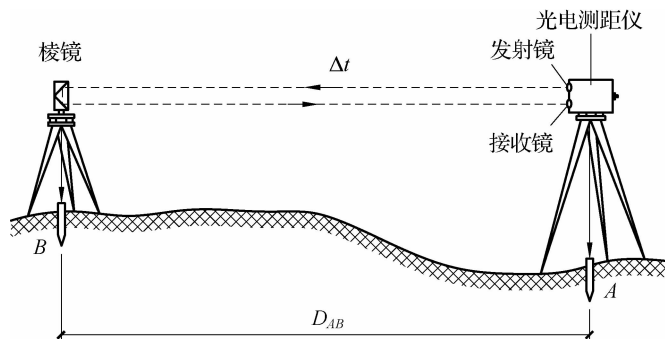


图4-12 脉冲法光电测距原理

若能测定光在距离D上往返传播时间,即测定反射光脉冲与接收光脉冲的时间差 Δt ,

则测距公式为

$$D = \frac{c_0}{2n_g} \Delta t \quad (4-11)$$

式中, c_0 为光在真空中的传播速度, 其值为 299 792 458 m/s; n_g 为光在大气中的传输折射率 (它与测距仪所用光源的波长, 测线上的气温 t 、气压 P 和湿度 e 有关)。

此公式为脉冲法测距公式。这种方法测定距离的精度取决于时间 Δt 的量测精度。如要达到 ± 1 cm 的测距精度, 时间量测精度应达到 6.7×10^{-11} s, 这对电子元件性能要求过高, 难以达到。所以一般脉冲法测距常用于激光雷达、微波雷达及宇宙探索等远距离测距上, 其测距精度为 0.5~1 m。

2. 相位法测距

通过测定相位差来测定距离, 称为相位法测距。在工程中使用的红外测距仪都采用相位法测距原理。它是通过测距仪发射的测量调制波在待测距离上往返传播所产生的相位变化 (载波相位差), 间接地确定传播时间 t , 进而求得待测距离 D 。

相位测距法的大致工作过程是: 测距仪在 A 站发射频率为 f 的调制光在待测距离上传播, 这种光射向测线另一端, 被 B 点反光镜反射后又回到 A 点, 被测距仪接收器接收, 所经过的时间为 Δt 。为便于说明, 将经反光镜 B 反射后回到 A 点的光波沿测线方向展开, 则调制光往返经过了 $2D$ 的路程, 如图 4-13 所示。

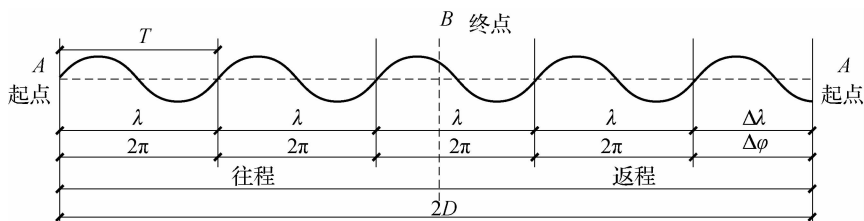


图 4-13 相位测距法原理

设调制光的角频率为 ω , 则调制光在测线上传播时的相位延迟角 φ 为

$$\varphi = \omega \cdot \Delta t = 2\pi f \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{\varphi}{2\pi f}$$

将 Δt 代入式 (4-11), 得

$$D = \frac{c_0}{2n_g f} \cdot \frac{\varphi}{2\pi} \quad (4-12)$$

从图 4-13 中可见, 相位 φ 还可以用相位的整周数 (2π) 的个数 N 和不足一个整周数的 $\Delta\varphi$ 来表示, 则

$$\varphi = N \times 2\pi + \Delta\varphi$$

将 φ 代入式 (4-11), 得相位法测距基本公式为

$$D = \frac{c_0}{2n_g f} \left(N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) = \frac{\lambda}{2} \left(N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) \quad (4-13)$$

式中, λ 为调制光的波长, $\lambda = \frac{c_0}{n_g f}$ 。



将该式与钢尺量距公式相比,有相像之处。 $\lambda/2$ 相当于尺长, N 为整尺段数, $\Delta\varphi/2\pi$ 为不足一整尺段的余长,令其为 ΔN 。因此我们称每 $\lambda/2$ 为一个“光尺”,令其为 L_s 。光尺长度计算公式为

$$L_s = \frac{\lambda}{2} = \frac{c_0}{2n_g f}$$

则

$$D = L_s(N + \Delta N) \quad (4-14)$$

式中, n_g 为大气折射率。

仪器在设计时,选定发射光源后,发射光源波长 λ 即定,然后确定一个标准温度 t 和标准气压 P ,这样可以求得仪器在确定的标准气压条件下的折射率 n_g 。而测距时的气温、气压、湿度与仪器设计时选用的标准温度、气压等不一致。所以在测距时还要测定测线的温度和气压,对所测距离进行气象改正。

测距仪对于相位 φ 的测定是采用将接收测线上返回的载波相位与机内固定的参考相位在相位计中比较。相位计只能分辨 $0 \sim 2\pi$ 之间的相位变化,即只能测出不足一个整周期的相位差 $\Delta\varphi$,而不能测出整周数 N 。例如,光尺为 10 m,只能测出小于 10 m 的距离;光尺为 1 000 m 则只能测出小于 1 000 m 的距离。由于仪器测相精度一般为 $1/1\ 000$,1 km 的测尺测量精度只有米级。测尺越长、精度越低。所以为了兼顾测程和精度,目前测距仪常采用多个调制频率(即 n 个测尺)进行测距。用短测尺(称为精尺)测定精确的小数。用长测尺(称为粗尺)测定距离的大数。将两者衔接起来,就解决了长距离测距数字直接显示的问题。

【例 4-2】 用短程相位式测距仪测距,仪器一般有两种调制频率,以 $\lambda_1/2=10$ m 作短光尺,以 $\lambda_2/2=10\ 000$ m 作长光尺,精测时 $\Delta N_1=0.487\ 3$,粗测时 $\Delta N_2=0.065\ 5$ 。

【解】 所测距离解算为

精测距离:4.873 m($0.487\ 3 \times 10$ m)

粗测距离:655 m($0.065\ 5 \times 10\ 000$ m)

最终距离: $D=654.873$ m

值得注意的是,粗测距离最后一位以精测距离首位为准。在实际仪器结构中,由精、粗测尺读数计算距离工作,可由仪器内部的逻辑电路自动完成并显示距离计算结果。

4.3.3 测距成果计算与精度指标

1. 测距成果计算

一般测距仪测定的是斜距,因而需对测试成果进行仪器常数改正、气象改正、倾斜改正等,最后求得水平距离。

1) 仪器常数改正

仪器常数有加常数和乘常数两项。对于加常数,由于发光管的发射面、接收面与仪器中心不一致,反光镜的等效反射面与反光镜中心不一致,内光路产生相位延迟及电子元件的相位延迟,使得测距仪测出的距离值与实际距离值不一致。此常数一般在仪器出厂时预置在仪器中,但是由于仪器在搬运过程中的震动、电子元件老化,常数还会变化,因此,还会有剩余加常数。这个常数要经过仪器检测求定,并对所测距离加以改正。需要注意的是不同型

号的测距仪其反光镜常数是不同的。若互换反光镜要经过加常数重新测试方可使用。

仪器的测尺长度与仪器振荡频率有关。仪器经过一段时间使用,晶体会老化,致使测距时仪器的晶振频率与设计时的频率有偏移,因此产生与测试距离成正比的系统误差。其比例因子称为乘常数。如晶振有 15 kHz 误差,会产生 10^{-6} 系统误差,使 1 km 的距离产生 1 mm 误差。此项误差也应通过检测求定,在所测距离中加以改正。

现代测距仪都具有设置仪器常数的功能,测距前预先设置常数,在仪器测距过程中自动改正。若测距前未设置常数,可按下式计算

$$\Delta D_K = K + RD \quad (4-15)$$

式中, K 为仪器加常数; R 为仪器乘常数。

2) 气象改正

仪器的测尺长度是在一定的气象条件下推算出来的。但是仪器在野外测量时气象参数与仪器标准气象元素不一致,因此使测距值产生系统误差。所以在测距时,应同时测定环境温度(读至 1°C),气压[读至 1 mmHg(133.3 Pa)]。利用仪器生产厂家提供的气象改正公式计算距离改正值。如某厂家测距仪气象改正公式为:

$$\Delta D_0 = 28.2 - \frac{0.029P}{1 + 0.0037t} \quad (4-16)$$

式中, P 为观测时气压,单位是 mbar(1 mbar = 10^2 Pa); t 为观测时温度,单位是 $^\circ\text{C}$; ΔD_0 为以 100 m 为单位时的改正值。

目前测距仪都具有设置气象参数的功能,在测距前设置气象参数,在测距过程中仪器自动进行气象改正。

3) 倾斜改正

测距仪测试结果经过前几项改正后的距离是测距仪几何中心到反光镜几何中心的斜距。要改算成平距还应进行倾斜改正。现代测距仪一般都与光学经纬仪或电子经纬仪组合,测距时可以同时测出竖直角 α ,或天顶距 z (天顶距是从天顶方向到目标方向的角度)。用下式计算平距 D 。

$$D = D_0 \sin z \quad (4-17)$$

2. 光电测距仪的精度指标

光电测距的误差有两部分,一部分与所测距离的长短无关,称为常误差(固定误差) a ,另一部分与距离的长度 D 成正比,称为比例误差,其比例系数为 b 。因此,光电测距的测距中误差 m_D (又称为测距仪的标称精度)。

测距仪器的标称精度按下式表示为

$$m_D = \pm(a + b \times 10^{-6} \times D) \quad (4-18)$$

式中, m_D 为测距中误差(mm); a 为标称精度中的固定误差(mm); b 为标称精度中的比例误差系数(mm/km,简称 ppm); D 为测距长度(km)。

例如,某测距仪的标称精度为 $\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$,即固定测距中误差 m_D 为 $\pm 3 \text{ mm}$,与距离成比例增大的测距中误差为 2 mm/km;若测距长度为 1 km,其测距中误差为 $3 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 5 \text{ mm}$,则该测距仪称为 $\pm 5 \text{ mm}$ 级仪器。

光电测距按精度可分为 I 级($m_D \leq 5 \text{ mm}$)、II 级($5 \text{ mm} < m_D \leq 10 \text{ mm}$)和 III 级($m_D > 10 \text{ mm}$),目前国内外生产的测距仪器一般是 5 mm 级或更高精度的仪器,一些旧的测距仪器

是10 mm 级仪器。

4.3.4 光电测距的误差及注意事项

1. 光电测距误差

光电测距误差的原因有:首先是仪器误差,主要是测距仪的调制频率误差和仪器的测相误差;其次是人为误差,这方面主要是仪器对中、反射棱镜对中时产生的误差;第三为外界条件的影响,主要是气象参数即大气温度和气压的影响。

2. 光电测距使用注意事项

- (1)气象条件对光电测距影响较大,微风的阴天是观测的良好时机。
- (2)测线应离开地面障碍物 1.3 m 以上,避免通过发热体和较宽水面的上空。
- (3)测线应避免有强电磁场干扰的地方,如测线不宜距变压器、高压线太近。
- (4)镜站的后面不应有反光镜和强光源等背景的干扰。
- (5)要严防阳光及其他强光直射接收物镜,避免损坏光电器件,阳光下作业应撑伞保护仪器。

4.3.5 全站仪

全站型电子速测仪是由电子测角、电子测距、电子计算和数据存储等单元组成的三维坐标测量系统,是能自动显示测量结果,能与外围设备交换信息的多功能测量仪器。由于仪器较完善地实现了测量和处理过程的电子一体化,所以人们通常称之为全站型电子速测仪(electronic total station)或简称全站仪。

1. 全站仪的分类

1) 组合式全站仪

组合式全站仪也称积木式全站仪,如图 4-14 所示,它是指电子经纬仪和测距仪可以分离使用,照准部与测距轴不共轴。作业时,测距仪安装在电子经纬仪上,相互之间用电缆实现数据通讯,作业结束后卸下分别装箱。这种仪器可根据作业精度要求,用户可以选择不同测角、测距设备进行组合,灵活性较好。目前这种组合式全站仪已经被淘汰,很少使用,市场上主要使用整体式全站仪。

2) 整体式全站仪

整体式全站仪也称集成式,如图 4-15 所示,它是将电子经纬仪和测距仪融为一体,共用一个光学望远镜,使用起来更方便。目前世界各仪器厂商生产出各种型号的整体式全站仪,而且品种越来越多,精度越来越高。常见的有日本(SOKKIA)SET 系列、拓普康(TOPOCON)GTS 系列、尼康(NIKON)DTM 系列、瑞士徕卡(LEICA)TPS 系列,以及我国生产的全站仪,如南方系列、苏一光系列和博飞系列全站仪等。随着计算机技术的不断发展与应用以及用户的特殊要求,出现了带内存、防水型、防爆型、电脑型、马达驱动型等等各种类型的全站仪,使得这一最常规的测量仪器越来越满足各项测绘工作的需求,发挥更大的作用。

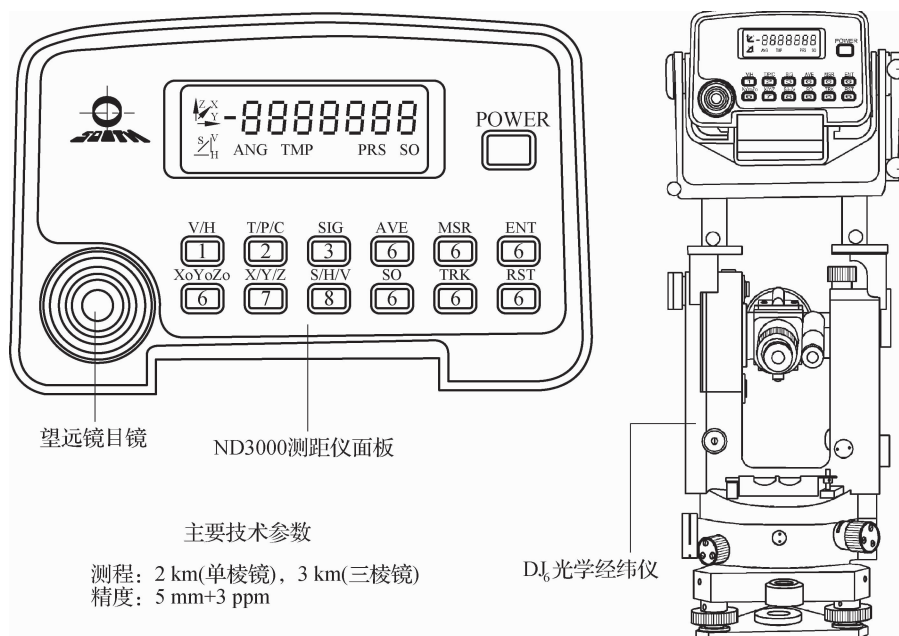


图 4-14 组合式全站仪

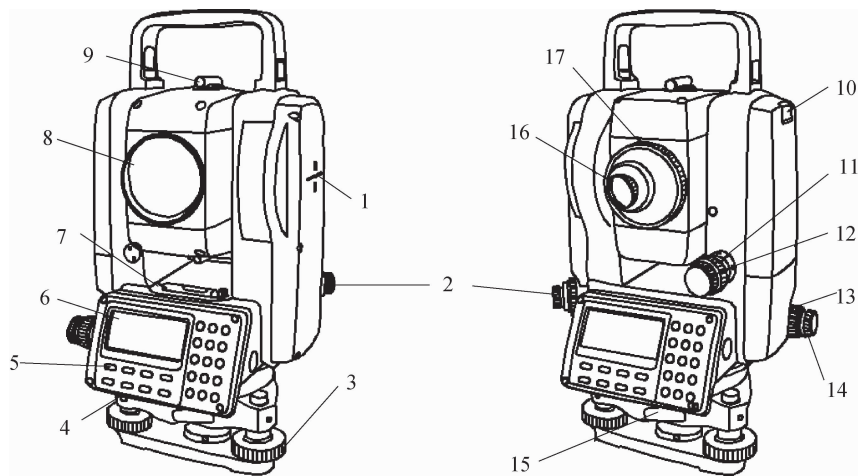


图 4-15 整体式全站仪

- 1—仪器高标志;2—光学对中器;3—基座脚螺旋;4—圆水准器;5—键盘;6—显示屏;
7—管水准器;8—物镜;9—粗瞄准器;10—电池锁紧杆;11—垂直制动螺旋;
12—垂直微动螺旋;13—水平制动螺旋;14—水平微动螺旋;
15—基座锁定钮;16—目镜;17—望远镜调焦螺旋

2. 全站仪的结构

全站仪由两大部分组成,通过两部分的有机结合,才能真正地体现“全站”功能,既能自动完成数据采集,又能自动处理数据,使整个测量过程工作有序、快速、准确地进行。



1) 全站仪的采集数据设备

主要有电子测角系统、电子测距系统、还有自动补偿设备等。

2) 全站仪的微处理器

微处理器是全站仪的核心装置,主要由中央处理器、只读存储器和输入、输出设备等构成,测量时,微处理器根据键盘或程序的指令控制各分系统的测量工作,进行必要的逻辑和数值运算以及数字存储、处理、管理、传输、显示等。

(1) 中央处理器。由微处理器对获取的斜距、水平角、竖直角、视准轴误差、指标差、棱镜常数、气温、气压等信息进行处理,获得各种改正后的数据。

(2) 只读存储器。在只读存储器中固化了一些常用的测量程序,如坐标测量、导线测量、放样测量、后方交会等,只要进入相应的测量程序模式,输入已知数据,便可依据程序进行测量,获取观测数据,并解算出相应的测量结果。

(3) 输入、输出设备。通过输入、输出设备可以与计算机交互通讯,将测量数据直接传输给计算机,在软件的支持下,进行计算、编辑和绘图。测量作业所需要的已知数据也可以从计算机输入全站仪,可以实现整个测量作业的高度自动化。

3. 全站仪反光棱镜组

与整体式全站仪配套使用的反光棱镜与觇牌如图 4-16 所示,由于整体式全站仪的望远镜视准轴与测距发射接收光轴是同轴的,故反光棱镜中心与觇牌中心一致。对中杆棱镜组的对中杆与两条铝脚架一起构成简便的三脚架系统,操作灵活方便,在低等级控制测量和施工放线测量中应用广泛。在精度要求不很高时,还可拆去其两条铝脚架,单独使用一根对中杆,携带和使用更加方便。

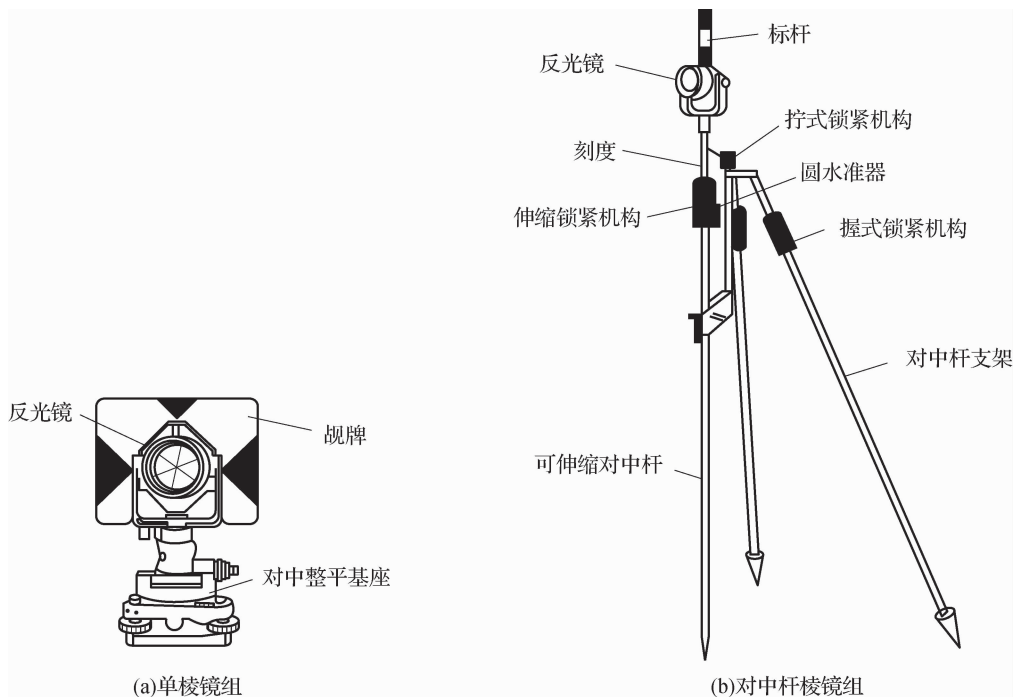


图 4-16 全站仪反光棱镜组

4. 全站仪的主要特点

(1)可在一个测站上同时进行角度测量、距离测量、高差测量、坐标测量和放样测量。

(2)可以通过传输接口把野外采集的数据终端与计算机、绘图机连接起来,再配以数据处理软件和绘图软件,可实现测图的自动化。

(3)全站仪内部有双轴补偿器,可自动测量仪器竖轴和水平轴的倾斜误差,并对角度观测值加以改正。

全站仪的种类很多,各种仪器的使用方式由自身的程序设计而定。不同型号的全站仪的使用方法大体上是相同的,但也有一些差别。学习使用全站仪,需要认真阅读使用说明书,熟悉键盘以及操作指令,才能正确用好仪器。有关全站仪的详细使用方法见《建筑工程测量实训指导》中的附录 1。

任务 4.4 直线定向

确定地面两点在平面上的相对位置,除了测定两点之间的距离外,还应确定两点所连直线的方向。一条直线的方向是根据某一标准方向来确定的。确定直线与标准方向之间的关系称为直线定向。

4.4.1 标准方向

测量工作中常用真子午线方向、磁子午线方向或坐标纵轴(坐标 X 轴)方向作为直线定向的标准方向。

1. 真子午线方向

过地球南北极的平面与地球表面的交线叫真子午线(真北方向)。通过地球某点的真子午线的切线方向称为该点的真子午线方向。指向北方的一端叫真北方向,如图 4-17(a)所示。真子午线方向用天文测量方法或陀螺经纬仪测定。地面上各点的真子午线方向是互相不平行的。

2. 磁子午线方向

磁子午线方向(磁北方向)是磁针在地球磁场的作用下自由静止时磁针轴线所指的方向,指向北端的方向称为磁北方向,如图 4-17(a)所示,可用罗盘仪测定。

3. 坐标纵轴方向

在测量工作中通常采用高斯平面直角坐标或独立平面直角坐标确定地面点的位置,因此,取坐标纵轴(X 轴)方向(轴北方向)作为直线定向的标准方向,如图 4-17(b)所示。高斯平面直角坐标系中的坐标纵轴是高斯投影带中的中央子午线的平行线;独立平面直角坐标系中的坐标纵轴,可以由假定获得。

4.4.2 表示直线方向的方法

在测量工作中,常采用方位角或象限角表示直线的方向。

1. 方位角

如图 4-17(c)所示,由标准方向的北端起顺时针方向量到某直线的夹角称为该直线的方位角,方位角的变化范围是 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 。由于标准方向有真北、磁北和轴北之分,因此对应的方位角分别称为真方位角(用 A 表示)、磁方位角(用 A_m 表示)和坐标方位角(用 α 表示)。为了标明直线的方向,通常在方位角的右下方标注直线的起终点。如 α_{12} 表示直线 1 到 2 的坐标方位角,直线的起点是 1,终点是 2。

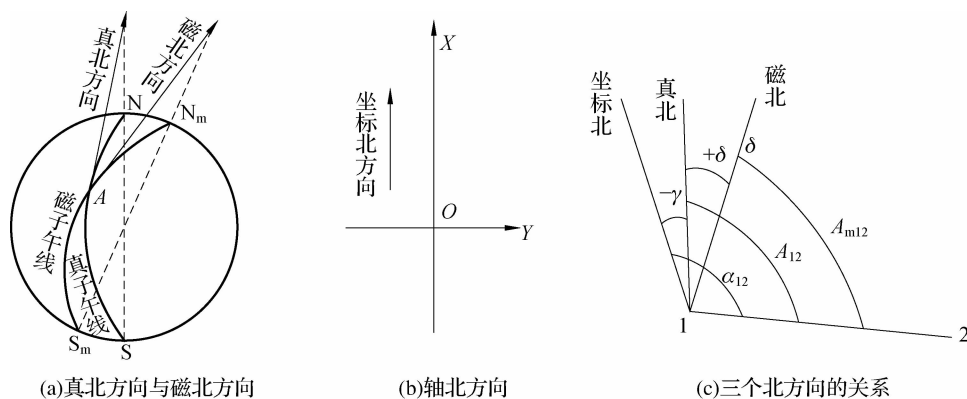


图 4-17 三个北方向及其关系

由于地球的南北两极与地球的南北两磁极不重合,所以地面上同一点的真子午线方向与磁子午线方向是不一致的,两者之间的夹角称为磁偏角,用 δ 表示。地球上不同地点的磁偏角并不相同,我国磁偏角的变化大约在 -10° 到 $+6^{\circ}$ 之间。过同一点的真子午线方向与坐标轴方向的夹角称为子午线收敛角,用 γ 表示。规定磁子午线北端或坐标纵轴方向偏于真子午线东侧时, δ 和 γ 为正;偏于西侧时, δ 和 γ 为负。不同点的 δ 、 γ 值一般是不相同的。由图 4-17(c)可知,直线的三种方位角之间的关系为

$$A = A_m + \delta$$

$$A = \alpha + \gamma$$

$$\alpha = A_m + \delta - \gamma$$

测量工作中,一般采用坐标方位角 α 表示直线方向。如图 4-18(a)所示,直线 O_1 、 O_2 、 O_3 、 O_4 的坐标方位角分别为 α_{O_1} 、 α_{O_2} 、 α_{O_3} 、 α_{O_4} 。

2. 象限角

由标准方向北端或南端起,顺时针或逆时针方向量到某直线所夹的水平锐角,称为该直线的象限角,并注记象限,通常用 R 表示,角值为 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。如图 4-18(b)所示,直线 O_1 、 O_2 、 O_3 、 O_4 的象限角分别为北东 R_{O_1} 、南东 R_{O_2} 、南西 R_{O_3} 、北西 R_{O_4} 。象限角也有真象限角、磁象限角和坐标象限角之分。测量工作中一般采用坐标象限角。坐标象限角与坐标方位角之间的换算关系见表 4-3。

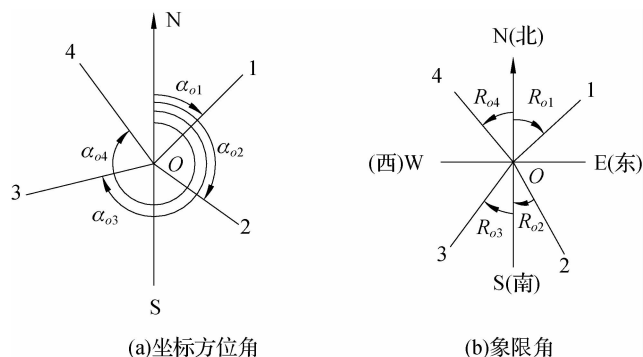


图 4-18 坐标方位角和象限角

表 4-3 坐标方位角与坐标象限角的换算关系

直线方向	由坐标方位角推算坐标象限角	由坐标象限角推算坐标方位角
北东(NE),第 I 象限	$R = \alpha$	$\alpha = R$
南东(SE),第 II 象限	$R = 180^\circ - \alpha$	$\alpha = 180^\circ - R$
南西(SW),第 III 象限	$R = \alpha - 180^\circ$	$\alpha = 180^\circ + R$
北西(NW),第 IV 象限	$R = 360^\circ - \alpha$	$\alpha = 360^\circ - R$

4.4.3 方位角的计算

1. 正、反坐标方位角的推算

直线是有向线段,如图 4-19 所示,直线 12 的坐标方位角为 α_{12} ,直线 21 的坐标方位角为 α_{21} ,如果把 α_{12} 称为直线 12 的正方位角,则 α_{21} 便称为直线 12 的反方位角,反之也一样。一般在测量工作中常以直线的前进方向为正方向,反之称为反方向。在同一平面直角坐标系中,由于各点的纵坐标轴方向彼此平行,因此正、反坐标方位角应相差 180° ,即

$$\alpha_{\text{反}} = \alpha_{\text{正}} \pm 180^\circ \quad (4-19)$$

式中,当 $\alpha_{\text{正}} < 180^\circ$ 时,上式用 $+180^\circ$;当 $\alpha_{\text{正}} > 180^\circ$ 时,上式用 -180° 。

如图 4-19 所示, $\alpha_{12} = \alpha_{21} - 180^\circ$, $\alpha_{21} = \alpha_{12} + 180^\circ$ 。

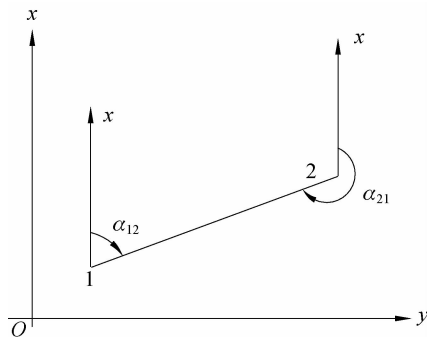


图 4-19 正、反坐标方位角



2. 坐标方位角的推算

实际工作中,为了得到多条直线的坐标方位角,把这些直线首尾相接,依次观测各接点处两条直线之间的转折角,若已知第一条直线的坐标方位角,便可根据依次推算出其他各条直线的坐标方位角。

如图 4-20 所示,已知直线 12 的方位角 α_{12} ,若用经纬仪观测了 2 点的右角(测量前进方向右侧的水平角) $\beta_{2右}$,可用式(4-20)推算出直线 23 的坐标方位角 α_{23} ;若用经纬仪观测了 3 点的左角(测量前进方向左侧的水平角) $\beta_{3左}$,则可用式(4-21)推算出直线 34 的坐标方位角 α_{34} 。

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} \pm 180^\circ - \beta_{右} \quad (4-20)$$

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} \pm 180^\circ + \beta_{左} \quad (4-21)$$

式中, $\alpha_{前}$ 指上一条直线的坐标方位角; $\alpha_{后}$ 指下一条直线的坐标方位角。

如果计算的结果 $\alpha_{前}$ 大于 360° ,应减去 360° ;如果计算的结果 $\alpha_{前}$ 为负值,则加上 360° 。

【例 4-3】 如图 4-20 所示,已知 $\alpha_{12} = 50^\circ$,且观测 $\beta_2 = 110^\circ$, $\beta_3 = 100^\circ$,试求 α_{23} 、 α_{34} 。

【解】 由于 β_2 为右折角,所以可以使用式(4-19)由 α_{12} 推算 α_{23} ,即

$$\alpha_{23} = \alpha_{12} + 180^\circ - \beta_2 = 50^\circ + 180^\circ - 110^\circ = 120^\circ$$

由于 β_3 为左折角,所以可以使用式(4-20)由 α_{23} 推算 α_{34} ,即

$$\alpha_{34} = \alpha_{23} - 180^\circ + \beta_3 = 120^\circ - 180^\circ + 100^\circ = 40^\circ$$

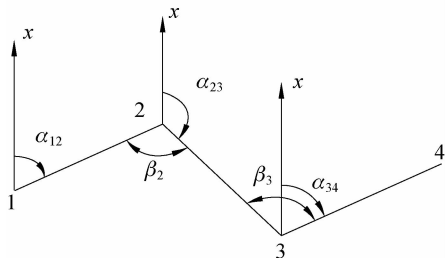


图 4-20 坐标方位角推算

项目小结

1. 距离测量

(1)地面两点的连线铅垂投影到水平面上的长度称为水平距离,简称平距;地面上高程不同的两点的连线长度称为倾斜距离,简称斜距。距离测量的目的就是为测算平距。

(2)距离测量的常用方法有:钢(皮)尺量距、视距测量和光电测距。

(3)为了检核丈量错误和提高成果精度,通常采用往返丈量进行比较,即相对误差表示,符合精度要求时,取往返丈量平均值作为丈量结果。

2. 直线定向

(1)直线定向的概念。一条直线的方向是根据某一标准方向来确定的。确定直线与标准方向之间的关系称为直线定向。

(2)坐标方位角推算。若已知第一条直线的坐标方位角,便可依次推算出其他各条相连

直线的坐标方位角。

(3) 三种方位角。真方位角、磁方位角、坐标方位角。

思考与练习

1. 钢尺量距有哪些误差?
2. 视距测量的原理是什么?
3. 用钢尺量得 AB 、 CD 两段距离为: $D_{AB往} = 126.885 \text{ m}$, $D_{AB返} = 126.837 \text{ m}$, $D_{CD往} = 204.576 \text{ m}$, $D_{CD返} = 204.624 \text{ m}$ 。这两段距离的相对误差各为多少? 哪段精度高?
4. 设竖角计算公式为 $\alpha = 90^\circ - L$, 试计算表 4-4 中视距测量各栏数据。

表 4-4 视距测量记录表

测站: B		测站高程: 82.893 m		仪器高: 1.42 m				
点号	视距 (K_l) /m	中丝读数 /m	竖盘读数	竖直角	水平距离 /m	高差 /m	高程 /m	备注
1	48.8	3.84	$85^\circ 12'$					
2	32.7	0.89	$99^\circ 45'$					
3	86.4	2.23	$78^\circ 41'$					

5. 如图 4-21 所示, $\alpha_{12} = 236^\circ$, 五边形各内角分别为 $\beta_1 = 76^\circ$, $\beta_2 = 129^\circ$, $\beta_3 = 80^\circ$, $\beta_4 = 135^\circ$, $\beta_5 = 120^\circ$, 求其他各边的坐标方位角。

6. 如图 4-22 所示, $\alpha_{AB} = 76^\circ$, $\beta_1 = 96^\circ$, $\beta_2 = 79^\circ$, $\beta_3 = 82^\circ$, 求 α_{B1} 、 α_{B2} 、 α_{B3} 。

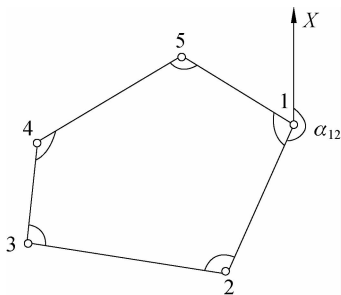


图 4-21 五边形求坐标方位角

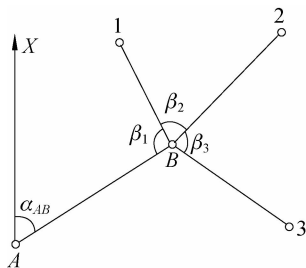


图 4-22 方位角求解