

# 4

## 项目 距离测量与直线定向



### 项目目标

#### 知识目标

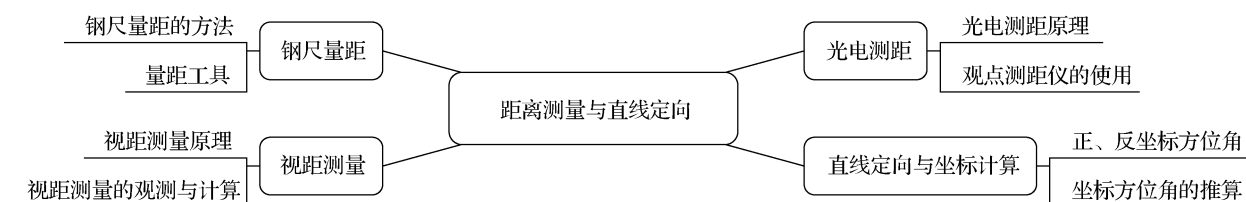
①掌握距离测量的方式与方法。②掌握三种方位角的概念；掌握坐标方位角的推算步骤。

#### 能力目标

①具备距离测量外业测量数据处理内业测量资料的能力。②掌握坐标方位角的推算流程及方法。③具有能够独立计算、推算坐标方位角的能力。



### 知识脉络图





## 任务 4.1 钢尺量距

### 任务引入

1. 你知道的量取距离的工具有哪些？量取距离的方法有哪些？
2. 钢尺量距的一般方法中的工具有哪些？与电子测距工具对比精密度怎么样？

### 4.1.1 距离测量方法

距离测量是指测量地面上两点连线长度的工作。通常需要测定的是水平距离，即两点连线投影在某水准面上的长度。它是确定地面点的平面位置的要素之一。

钢尺量距是距离测量的最基本方法，常用的丈量工具有钢尺和皮尺，钢尺量距工具简单，操作方便，适用于平坦地区的距离测量。

#### 1. 目估定线

目估定线适用于钢尺量距的一般方法。设  $A$ 、 $B$  两点互相通视，要在  $A$ 、 $B$  两点的直线上标出分段点 1、2 点。先在  $A$ 、 $B$  两点上竖立测杆，甲站在  $A$  点测杆后指挥乙左右移动测杆，直到甲从  $A$  点沿测杆的同一侧看至  $A$ 、2、 $B$  三支测杆在一条线上为止。同法可以定出直线上的其他各点。

#### 2. 经纬仪定线

当定线的精度要求较高时，可用经纬仪来进行定线。 $A$ 、 $B$  两点相互通视，将经纬仪安置在  $A$  点上，利用望远镜竖丝瞄准  $B$  点，制动照准部，望远镜上下转动，指挥在两点间某一点上的助手，左右移动测杆，直至测杆像为竖丝所平分。测杆尖即为所要定的点，同理可定出其他的点。

### 4.1.2 量距工具

钢尺量距的主要工具有钢尺、测钎、温度计、弹簧秤、小花杆。

钢尺是钢制的带尺，如图 4-1 所示。钢尺的基本分划为厘米，在每米及每分米处都有数字注记，适用于一般的距离测量。

有的钢尺在起点处至第一个 10 cm 间，甚至整个尺长内都刻有毫米分划，这种钢尺适用于精密距离测量；钢尺可卷入金属圆盒内，故又称钢卷尺。尺宽 10~15 mm，长度有 20 m、30 m 和 50 m 等几种；按零刻划位置不同有端点尺和刻线尺之分。端点尺是以尺的端部、金属拉环的最外端为零点。刻线尺是在尺身上某点刻出零点的位置。

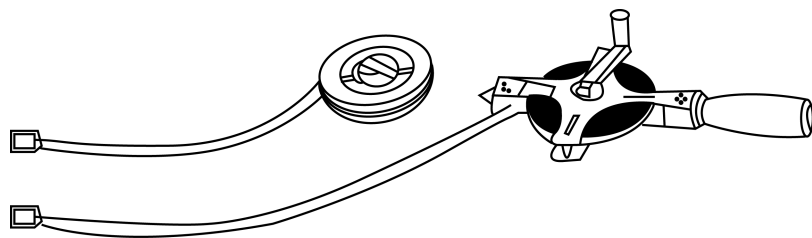


图 4-1 钢尺

测钎（图 4-2）：测钎主要用来标定各尺段端点的位置和计算丈量的尺段数。另外在精密量距中为使钢尺的拉力与标准拉力一致，还要用到弹簧秤（或拉力计），考虑到温度对钢尺热胀冷缩的影响，还应用温度计测量量距时的温度。

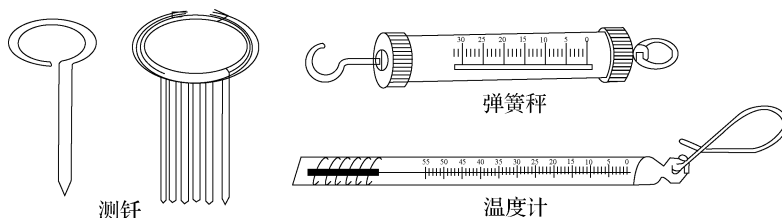


图 4-2 测钎、弹簧秤、温度计

标杆（图 4-3）主要用于标定目标的位置。

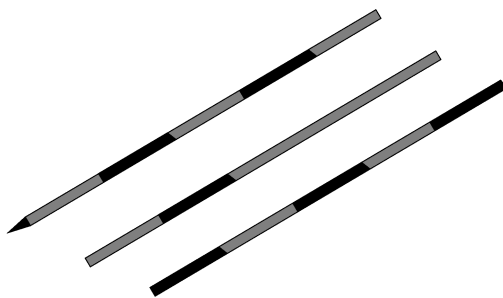


图 4-3 标杆



### 4.1.3 钢尺量距的一般方法

#### 1. 平坦地区的距离丈量

丈量前，先将待测距离的两个端点 A、B 用木桩（桩上钉一小钉）标志出来，然后在端点的外侧各立一标杆，清除直线上的障碍物后，即可开始丈量。丈量工作一般由两人进行。后尺手持尺的零端位于 A 点，并在 A 点上插一测钎。前尺手持尺的末端并携带一组测钎的其余 5 根（或 10 根），沿 AB 方向前进，行至一尺段处停下。后尺手以手势指挥前尺手将钢尺拉在 AB 直线方向上；后尺手以尺的零点对准

A点,当两人同时把钢尺拉紧、拉平和拉稳后,前尺手在尺的末端刻线处竖直地插下一测钎,得到点1,这样便量完了一个尺段。随之后尺手拔起A点上的测钎与前尺手共同举尺前进,同法量出第二尺段。为了防止丈量中发生错误及提高量距精度,距离要往、返丈量。上述为往测,返测时要重新进行定线,取往、返测距离的平均值作为丈量结果。

## 2. 倾斜地面的距离丈量

### (1) 平量法

沿倾斜地面丈量距离,当地势起伏不大时,可将钢尺拉平丈量,丈量由A点向B点进行,甲立于A点,指挥乙将尺拉在AB方向线上。甲将尺的零端对准A点,乙将尺子抬高,并且目估使尺子水平,然后用垂球尖将尺段的末端投于地面上,再插以插钎。若地面倾斜较大,将钢尺抬平有困难时,可将一尺段分成几段来平量,如图4-4所示。

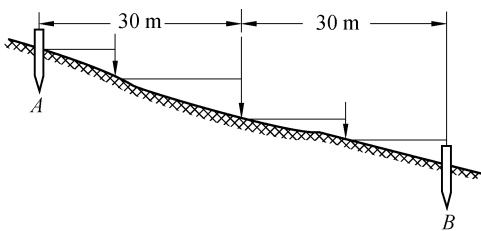


图4-4 平量法

### (2) 斜量法

当倾斜地面的坡度均匀时,可以沿着斜坡丈量出AB的斜距L,测出地面倾斜角,然后计算AB的水平距离D,如图4-5所示。

$$D = L \times \cos\alpha \quad (4-1)$$

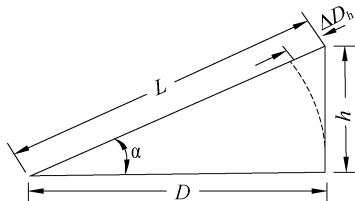


图4-5 斜量法

## 3. 相对误差

在平坦地面,钢尺沿地面丈量的结果可视为水平距离。为了防止丈量错误和提高量距的精度,需要往、返丈量,最后取平均值作为丈量结果。为衡量量距精度,一般用相对误差K来表示

$$K = \frac{|D_{往} - D_{返}|}{\frac{D_{往} + D_{返}}{2}} \quad (4-2)$$

在计算相对误差K时,一般化成分子为1的分式,相对误差的分母越大,说明量距的精度越高。钢尺量距平坦地面相对误差不应大于1/3 000,在困难地区相对误差不应大于1/1 000。如果量距的相对误差没有超过规定,可取往、返测距离的平均值作为两点间的水平距离。

例如,AB的往测距离为248.12 m,返测距离为248.17 m,则丈量的相对误差为

$$\begin{aligned} K &= |(248.12 - 248.17)| / [(248.12 + 248.17) / 2] \\ &= 1/4\ 963 \end{aligned}$$



## 4.1.4 钢尺量距的精密方法

当量距精度要求达到毫米级或相对误差更小时,需采用精密量距法,钢尺量距的精密方法相对误差可达到1/10 000以上。精密方法量距的钢尺必须经过检验,并得到其检定的尺长方程式。用检定过的钢尺量距结果要经过尺长改正、温度改正和倾斜改正才能得到实际距离。在目前的一般测量工作中,钢尺量距的精密方法使用较少,当两点之间距离较长或不便量距以及精度要求较高时,可以采用测距仪或者

全站仪进行测量。

钢尺量距的精密方法操作步骤如下。

## 1. 准备工作

包括清理场地、直线定线和测桩顶间高差。

### (1) 清理场地

在欲丈量的两点方向线上，清除影响丈量的障碍物，必要时适当平整场地，使钢尺在每一尺段中不致因地面障碍物而产生挠曲。

### (2) 直线定线

精密量距用经纬仪定线。如图 4-6 所示，安置经纬仪于 A 点，照准 B 点，固定照准部，沿 AB 方向用钢尺进行概量，按稍短于一尺段长的位置，由经纬仪指挥打下木桩。桩顶高出地面 10~20 cm，并在桩顶钉一小钉，使小钉在 AB 直线上；或在木桩顶上画十字线，使十字线其中的一条在 AB 直线上，小钉或十字线交点即为丈量时的标志。

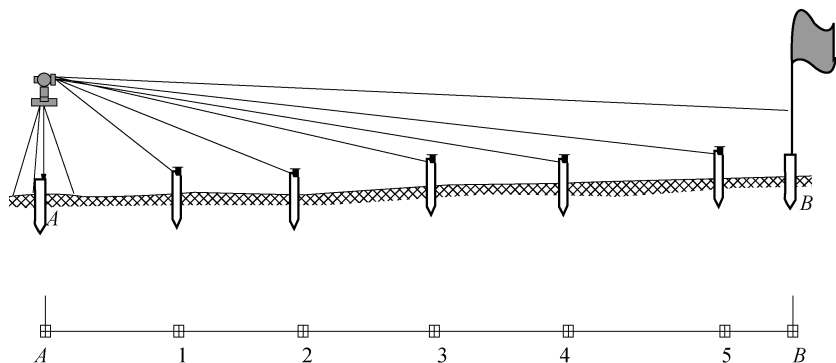


图 4-6 经纬仪定线

### (3) 测桩顶间高差

利用水准仪，用双面尺法或变换仪高法测出各相邻桩顶间高差。所测相邻桩顶间高差之差，一般不超过  $\pm 10$  mm，在限差内取其平均值作为相邻桩顶间的高差，以便将沿桩顶丈量的倾斜距离改算成水平距离。

## 2. 丈量方法

人员组成：两人拉尺，两人读数，一人测温度兼记录，共 5 人。

丈量时，后尺手挂弹簧秤于钢尺的零端，前尺手执尺子的末端，两人同时拉紧钢尺，把钢尺有刻划的一侧贴切于木桩顶十字线的交点，达到标准拉力时，由前尺手发出“预备”口令，两人拉稳尺子，当弹簧秤达到标准接力时，由后尺手喊“好”。在此瞬间，前、后读尺员同时读取读数，估读至 0.5 mm，记录员依次记入，并计算尺段长度。

前、后移动钢尺一段距离，同法再次丈量。每一尺段测三次，读三组读数，由三组读数算得的长度之差要求不超过 2 mm，否则应重测。如在限差之内，取三次结果的平均值，作为该尺段的观测结果。同时，每一尺段测量应记录温度一次，估读至 0.5℃。如此继续丈量至终点，即完成往测工作。

完成往测后，应立即进行返测。



### 3. 成果计算

将每一尺段丈量结果经过尺长改正、温度改正和倾斜改正改算成水平距离，并求总和，得到直线往测、返测的全长。往、返测较差符合精度要求后，取往、返测结果的平均值作为最后成果。

#### (1) 尺长方程

钢尺因刻划误差、使用中的变形、丈量时温度变化和拉力不同的影响，其实际长度往往不等于尺上所注的长度（名义长度）。因此，丈量前应对钢尺进行检定，求出在标准温度和标准拉力下的实际长度，以便对丈量结果加以改正。在一定的拉力下，以温度  $t$  为变量的函数式来表示尺长  $l_t$ ，称为尺长方程，其一般形式为

$$l_t = l_0 + \Delta l + \alpha(t - t_0)l_0 \quad (4-3)$$

式中  $l_t$  —— 钢尺在温度为  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 时的实际长度；

$l_0$  —— 钢尺的名义长度；

$\Delta l$  —— 尺长的改正数，即钢尺在温度为  $t_0$  时的改正数；

$\alpha$  —— 钢尺的膨胀系数，其值约为  $(1.16 \times 10^{-5} \sim 1.25 \times 10^{-5}) / 1^{\circ}\text{C}$ ；

$t_0$  —— 钢尺在检定时的温度，一般取  $20^{\circ}\text{C}$ ；

$t$  —— 钢尺量距时的温度。

#### (2) 尺段长度计算

根据尺长、温度改正和倾斜改正，计算尺段改正后的水平距离。

尺长改正：

$$\Delta l_d = \frac{\Delta l}{l_0} l \quad (4-4)$$

温度改正：

$$\Delta l_t = \alpha(t - t_0) l \quad (4-5)$$

倾斜改正：

$$\Delta l_h = -\frac{h^2}{2l} \quad (4-6)$$

尺段改正后的水平距离：

$$D = l + \Delta l_d + \Delta l_t + \Delta l_h \quad (4-7)$$

式中  $\Delta l_d$  —— 尺段的尺长改正数 (mm)；

$\Delta l_t$  —— 尺段的温度改正数 (mm)；

$\Delta l_h$  —— 尺段的倾斜改正数 (mm)；

$h$  —— 尺段两 endpoints 的高差 (m)；

$l$  —— 尺段的观测结果 (m)；

$D$  —— 尺段改正后的水平距离 (m)。



## 4.1.5 钢尺量距的误差

钢尺量距的误差产生的主要原因：尺长误差、定线误差、倾斜误差、拉力变化误差、温度变化误差、对点和投点误差等。

### 1. 尺长误差

钢尺出厂时，刻划间的尺长不标准产生的误差，精度较高的量距，钢尺必须经过检定才能使用。

## 2. 定线误差和倾斜误差

直线定线不准，偏离直线方向或丈量时目估钢尺不水平，使距离量长。因此用经纬仪定线，保证沿直线进行丈量。

## 3. 拉力变化误差

通常 30 m 钢尺的标准拉力为 98 N，丈量时拉力过大，钢尺伸长，会将距离量短，拉力过小，会将距离量长。因此丈量时的拉力应尽量接近标准拉力，但不要认为一定要把尺身拉直是合格的。精度要求较高时应使用拉力计施加标准拉力。

## 4. 温度变化误差

由于温度变化引起钢尺的伸长和缩短使量距产生误差。精度较高的量距应加温度改正。

## 5. 丈量本身的误差

丈量时钢尺端点不能准确对准地面点、读数凑整误差、插测钎不准的误差等。这些误差均属于偶然误差，量距时要认真仔细。

# 任务 4.2 视距测量

## 任务引入

1. 什么是视距？在测量工作中的作用？
2. 视距测量对读数有什么要求？
3. 视距测量主要涉及哪些仪器设备？

### 4.2.1 视距测量原理

视距测量原理如图 4-8 所示，欲测定 A、B 两点间的水平距离  $D$  及高差  $h$ ，可在 A 点安置经纬仪，B 点立视距尺，设望远镜视线水平，瞄准 B 点视距尺，此时视线与视距尺垂直。若尺上 M、N 点成像在十字丝分划板上的两根视距丝  $m$ 、 $n$  处，那么尺上 MN 的长度可由上、下视距丝读数之差求得，如图 4-7 所示。上、下丝视距读数之差称为视距间隔或尺间隔。

公式为

$$l = n - m$$
$$D = kl (\text{通常 } k = 100) \quad (4-8)$$

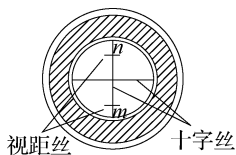


图 4-7 望远镜视距丝

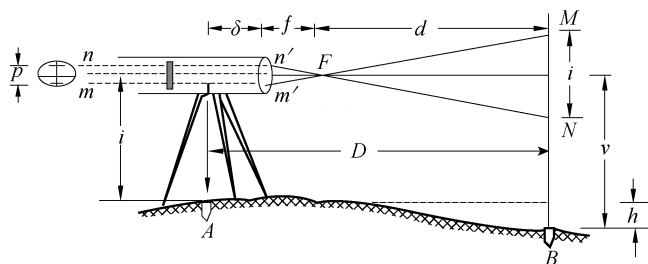


图 4-8 视线水平时的视距测量

同时,由图 4-8 可以看出, A、B 的高差

$$h = i - v \quad (4-9)$$

式中  $i$ ——仪器高,是桩顶到仪器横轴中心的高度;

$v$ ——瞄准高,是十字丝中丝在尺上的读数。



## 4.2.2 视距测量的观测与计算

视距测量是利用经纬仪、水准仪的望远镜内十字丝分划板上的视距丝在视距尺(水准尺)上读数,根据光学和几何学原理,同时测定仪器到地面点的水平距离和高差的一种方法。

视距测量具有操作简便、速度快、不受地面起伏变化的影响等优点,被广泛应用于碎部测量中。但其测距精度低,为  $1/200 \sim 1/300$ 。

视距测量的观测过程中,应分别读取上丝数据、中丝数据、下丝数据;然后使用式(4-7)、式(4-8)进行计算。



## 4.2.3 视距测量误差及注意事项

测量误差的产生:

(1) 读数误差:用视距丝在视距尺上读数的误差,与尺子最小分划的宽度、水平距离的远近和望远镜放大倍率等因素有关,因此读数误差的大小,视使用的仪器,作业条件而定。

(2) 垂直折光影响:视距尺不同部分的光线是通过不同密度的空气层到达望远镜的,越接近地面的光线受折光影响越显著。经验证明,当视线接近地面在视距尺上读数时,垂直折光引起的误差较大,并且这种误差与距离的平方成比例地增加。

(3) 视距尺倾斜所引起的误差:视距尺倾斜误差的影响与竖直角有关,尺身倾斜对视距精度的影响很大。

注意事项:

(1) 为减少垂直折光的影响,观测时应尽可能使视线离地面 1 m 以上。

(2) 作业时,要将视距尺竖直,并尽量采用带有水准器的视距尺。

(3) 要严格测定视距常数,扩值应在  $100 \pm 0.1$  之内,否则应加以改正。

(4) 视距尺一般应是厘米刻划的整体尺。如果使用塔尺应注意检查各节尺的接头是否准确。

(5) 要在成像稳定的情况下进行观测。

## 任务 4.3 光电测距

### 任务引入

1. 光电测距仪是什么？外形如何？与之前学习的什么测量工具作用相似呢？
2. 与钢尺测距对比，哪种方法精度高？

### 4.3.1 光电测距原理

长距离丈量是一项繁重的工作，劳动强度大，工作效率低，尤其是在山区或沼泽区，丈量工作更是困难。人们为了改变这种状况，于 20 世纪 50 年代研制成了光电测距仪。近年来，由于电子技术及微处理机的迅猛发展，各类光电测距仪竞相出现，已在测量工作中得到了普遍的应用。

电磁波测距按测程来分，有短程（<3 km）、中程（3~15 km）和远程（>15 km）之分。按测距精度来分，有 I 级（5 mm）、II 级（5~10 mm）和 III 级（>10 mm）。按载波来分，采用微波段的电磁波作为载波的称为微波测距仪；采用光波作为载波的称为光电测距仪。光电测距仪所使用的光源有激光光源和红外光源（普通光源已淘汰），采用红外线波段作为载波的称为红外测距仪。由于红外测距仪是以砷化镓（GaAs）发光二极管所发的荧光作为载波源，发出的红外线的强度能随注入电信号的强度而变化，因此它兼有载波源和调制器的双重功能。GaAs 发光二极管体积小、亮度高、功耗小、寿命长，且能连续发光，所以红外测距仪获得了更为迅速的发展。本节讨论的就是红外光电测距仪。

欲测定 A、B 两点间的距离 D，安置仪器于 A 点，安置反射镜于 B 点，如图 4-9 所示。仪器发射的光束由 A 至 B，经反射镜反射后又返回到仪器。设光速 c 为已知，如果光束在待测距离 D 上往返传播的时间  $t_{2D}$  为已知，则距离 D 可由下式求出

$$D = \frac{1}{2}ct_{2D} \quad (4-10)$$

测定  $t_{2D}$  的方法有下列两种：

#### (1) 脉冲式测距

由测距仪的发射系统发出光脉冲，经被测目标反射后，再由测距仪的接收系统接收，测出这一光脉冲往返所需时间间隔（ $t$ ）以求得测站与目标的距离 D。由于计数器的频率一般为 300 MHz（ $300 \times 10^6$  Hz），测距精度为 0.5 m，精度较低。

#### (2) 相位式测距

由测距仪的发射系统发出一种连续的调制光波，测出该调制光波在测线上往返传播所产生的相位

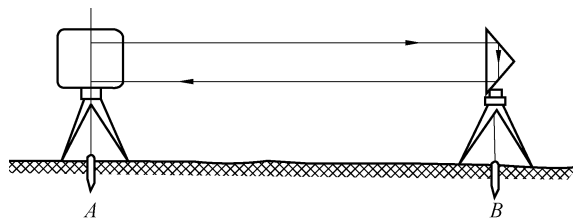


图 4-9 光电测距原理

移，以测定距离  $D$ 。红外光电测距仪一般都采用相位测距法。

在砷化镓 (GaAs) 发光二极管上加了频率为  $f$  的交变电压 (即注入交变电流) 后，它发出的光强就随注入的交变电流呈正弦变化，这种光称为调制光。测距仪在  $A$  点发出的调制光在待测距离上传播，经反射镜反射后被接收器所接收，然后用相位计将发射信号与接收信号进行相位比较，由显示器显出调制光在待测距离往、返传播所引起的相位移  $\varphi$ 。



### 4.3.2 光电测距仪的使用

#### 1. 安置仪器

先在测站上安置好经纬仪，对中、整平后，将测距仪主机安装在经纬仪支架上，用连接器固定螺丝锁紧，将电池插入主机底部、扣紧。在目标点安置反射棱镜，对中、整平，并使镜面朝向主机。

#### 2. 观测垂直角、气温和气压

用经纬仪十字丝横丝照准觇板中心，测出垂直角  $\alpha$ 。同时，观测和记录温度和气压计上的读数。观测垂直角、气温和气压，目的是对测距仪测量出的光电测距仪斜距进行倾斜改正、温度改正和气压改正，以得到正确的水平距离。

#### 3. 测距准备

按电源开关键 **[PWR]** 开机，主机自检并显示原设定的温度、气压和棱镜常数数值，自检通过后将显示“good”。

若修正原设定值，可按 **[TPC]** 键后输入温度、气压值或棱镜常数 (一般通过 **[ENT]** 键和数字键逐个输入)。一般情况下，只要使用同一类的反光镜，棱镜常数不变，而温度、气压每次观测均可能不同，需要重新设定。

#### 4. 距离测量

调节主机照准轴水平调整手轮 (或经纬仪水平微动螺旋) 和主机俯仰微动螺旋，使测距仪望远镜精确瞄准棱镜中心。在显示“good”状态下，精确瞄准也可根据蜂鸣器声音来判断，信号越强声音越大，上下左右微动测距仪，使蜂鸣器的声音最大，便完成了精确瞄准，出现“\*”。

精确瞄准后，按 **[MSR]** 键，主机将测定并显示经温度、气压和棱镜常数改正后的斜距。在测量中，若光束受挡或大气抖动等，测量将暂被中断，此时“\*”消失，待光强正常后继续自动测量。若光束中断 30 秒，必须光强恢复后，再按 **[MSR]** 键重测。

斜距到平距的改算，一般在现场用测距仪进行，方法是：按 **[V/H]** 键后输入垂直角值，再按 **[SHV]** 键显示水平距离。连续按 **[SHV]** 键可依次显示斜距、平距和高差。

测距仪已很少单独使用，现代工程中一般采用将测距与测角功能融为一体的全站仪，全站仪的具体使用方法在“项目 7”中讲解。



### 4.3.3 光电测距误差及注意事项

光电测距误差主要有观测误差和环境误差两类。相关注意事项如下：

- (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) 测线应尽量离开地面障碍物 1.3 m 以上，避免通过发热体和较宽水面的上空。
- (3) 测线应避免强电磁场干扰的地方，例如，测线不宜接近变压器、高压线、信号发射塔等。
- (4) 镜站的后面不应有反光镜和其他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，避免光线经镜头聚焦进入机内，将部分元件烧坏，阳光下作业应撑伞保护仪器。

## 任务 4.4 直线定向

### 任务引入

1. 直线定向是什么呢？它与坐标计算有怎样的密切联系？
2. 工程测量中坐标象限划分与数学坐标系是否相同？

### 4.4.1 标准方向的分类

确定直线与标准方向之间的水平夹角，称为直线定向。标准方向分为三类，即真子午线方向、磁子午线方向、坐标纵轴方向。

#### 1. 真子午线方向

通过地球表面某点的真子午线的切线方向，称为该点的真子午线方向。真子午线方向可用天文测量方法测定。

#### 2. 磁子午线方向

磁子午线方向是在地球磁场作用下，磁针在某点自由静止时其轴线所指的方向。磁子午线方向可用罗盘仪测定。

#### 3. 坐标纵轴方向

在高斯平面直角坐标系中，坐标纵轴线方向就是地面点所在投影带的中央子午线方向。在同一投影带内，各点的坐标纵轴线方向是彼此平行的。

### 4.4.2 直线方向的表示方法

确定地面上两点之间的相对位置，除了需要测定两点之间的水平距离外，还需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。

直线方向的表示方法有方位角法和象限角法两种。

方位角又称为地平经度 [Azimuth (angle), Az]，方位角法是在平面上量度物体之间的角度差的方法之一，是从某点的指北方向线起，依顺时针方向到目标方向线之间的水平夹角，取值范围为  $0^\circ \sim 360^\circ$ 。



### 4.4.3 三种方位角之间的关系

由于每点都有真北、磁北和坐标纵线北三种不同的指北方向线，因此，从某点到某一目标，就有三种不同的方位角：

(1) 真方位角。某点指向北极的方向线叫真北方向线，而经线，也叫真子午线。由真子午线方向的北端起，顺时针量到直线间的夹角，称为该直线的真方位角，一般用  $A$  表示。通常在精密测量中使用。

(2) 磁方位角。地球是一个大磁体，地球的磁极位置是不断变化的，某点指向磁北极的方向线叫磁北方向线，也叫磁子午线。在地形图南、北图廓上的磁南、磁北两点间的直线，为该图的磁子午线。由磁子午线方向的北端起，顺时针量至直线间的夹角，称为该直线的磁方位角，用  $A_m$  表示。

(3) 坐标方位角。由坐标纵轴方向的北端起，顺时针量到直线间的夹角，称为该直线的坐标方位角，常简称为方位角，用  $\alpha$  表示，因测区内各点处的坐标纵轴方向都相互平行，工程中一般采用坐标方位角进行定向。

因标准方向选择的不同，使得一条直线有不同的方位角，如图 4-10 所示。过 1 点的真北方向与磁北方向之间的夹角称为磁偏角，用  $\delta$  表示。过 1 点的真北方向与坐标纵轴北方向之间的夹角称为子午线收敛角，用  $\gamma$  表示。

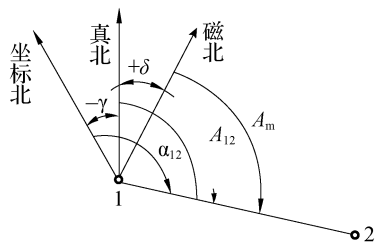


图 4-10 三种方位角之间的关系

$\delta$  和  $\gamma$  的符号规定相同：当磁北方向或坐标纵轴北方向在真北方向东侧时， $\delta$  和  $\gamma$  的符号为“+”；当磁北方向或坐标纵轴北方向在真北方向西侧时， $\delta$  和  $\gamma$  的符号为“-”。同一直线的三种方位角之间的关系为

$$A = A_m + \delta \quad (4-11)$$

$$A = \alpha + \gamma \quad (4-12)$$

$$\alpha = A_m - \gamma + \delta \quad (4-13)$$



### 4.4.4 正、反坐标方位角

如图 4-11 所示，每条直线段都有两个端点，若直线段从起点 1 到终点 2 为直线的前进方向，则在起点 1 处的坐标方位角  $\alpha_{12}$  称为直线 12 的正方位角，在终点 2 处的坐标方位角  $\alpha_{21}$  称为直线 12 的反方位角。 $\alpha_{反} = \alpha_{正} \pm 180^\circ$ ，式中，当  $\alpha_{正} < 180^\circ$  时，上式用加  $180^\circ$ ；当  $\alpha_{正} > 180^\circ$  时，上式用减  $180^\circ$ 。

以  $A$  为起点、 $B$  为终点的直线  $AB$  的坐标方位角  $\alpha_{AB}$ ，称为直线  $AB$  的坐标方位角。而直线  $BA$  的坐标方位角  $\alpha_{BA}$ ，称为直线  $AB$  的反坐标方位角。由此可以看出正、反坐标方位角间的关系为

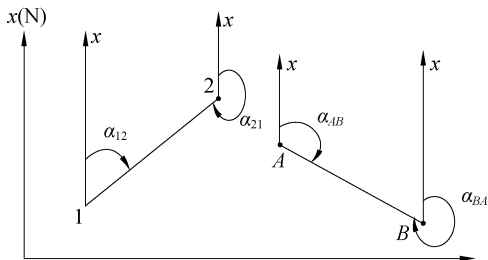


图 4-11 正、反坐标方位角

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BA} \pm 180^\circ \quad (4-14)$$



## 4.4.5 坐标方位角的推算

在实际工作中并不需要测定每条直线的坐标方位角，而是通过与已知坐标方位角的直线连测后，推算出各直线的坐标方位角。如图4-12所示，已知直线12的坐标方位角 $\alpha_{12}$ ，观测了水平角 $\beta_2$ 和 $\beta_3$ ，要求推算直线23和直线34的坐标方位角。

因 $\beta_2$ 在推算路线前进方向的右侧，该转折角称为右角； $\beta_3$ 在左侧，称为左角。从而可归纳出推算坐标方位角的一般公式为

$$\alpha_{34} = \alpha_{32} + \beta_3 = \alpha_{23} + 180^\circ + \beta_3 \quad (4-15)$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{21} - \beta_2 = \alpha_{12} + 180^\circ - \beta_2 \quad (4-16)$$

即

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + 180^\circ - \beta_{右} \quad (4-17)$$

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + 180^\circ + \beta_{左} \quad (4-18)$$

计算中，如果 $\alpha_{前} > 360^\circ$ ，应自动减去 $360^\circ$ ；如果 $\alpha_{前} < 0^\circ$ ，则自动加上 $360^\circ$ 。

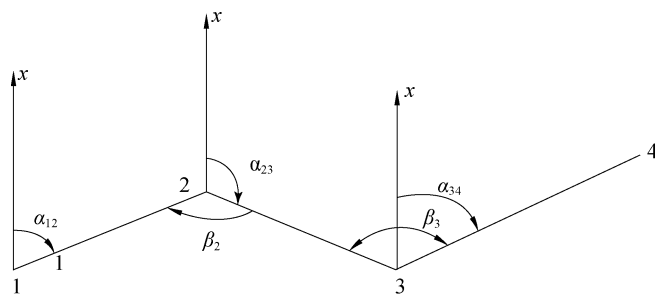


图4-12 坐标方位角的推算

### 1. 象限角

由坐标纵轴的北端或南端起，沿顺时针或逆时针方向量至直线的锐角，称为该直线的象限角，用 $R$ 表示，其角值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。直线 $O_1$ 、 $O_2$ 、 $O_3$ 和 $O_4$ 的象限角分别为北东 $R_{O_1}$ 、南东 $R_{O_2}$ 、南西 $R_{O_3}$ 和北西 $R_{O_4}$ ，如图4-13所示。

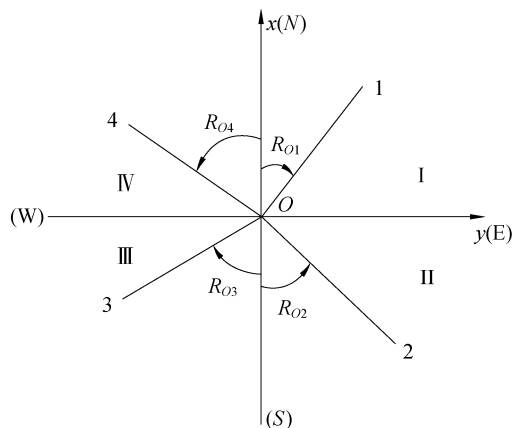


图4-13 象限角

### 2. 坐标方位角与象限角的换算关系

由图4-14可以看出坐标方位角 $\alpha$ 与象限角 $R$ 的换算关系：

在第I象限， $R = \alpha$ ； 在第II象限， $R = 180^\circ - \alpha$ ；

在第III象限， $R = \alpha - 180^\circ$ ；在第IV象限， $R = 360^\circ - \alpha$ 。

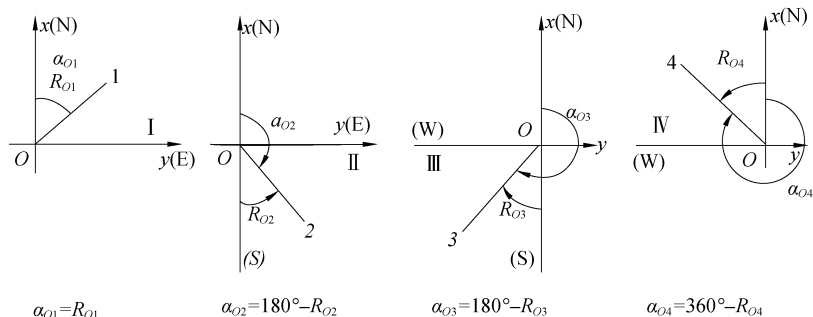


图4-14 坐标方位角与象限角的关系



表 4-1 不同象限坐标增量的符号

坐标方位角 $\alpha_{AB}$ 及其所在象限	$\Delta x_{AB}$ 之符号	$\Delta y_{AB}$ 之符号
$0^\circ \sim 90^\circ$ (第一象限)	+	+
$90^\circ \sim 180^\circ$ (第二象限)	-	+
$180^\circ \sim 270^\circ$ (第三象限)	-	-
$270^\circ \sim 360^\circ$ (第四象限)	+	-



## 知识拓展

### 陀螺仪简介

陀螺仪是用高速回转体的动量矩敏感壳体相对惯性空间绕正交于自转轴的一个或两个轴的角运动检测装置。利用其他原理制成的角运动检测装置起同样功能的也称为陀螺仪。

陀螺仪的原理就是：一个旋转物体的旋转轴所指的方向在不受外力影响时，是不会改变的。人们根据这个原理，用它来保持方向，制造出来的东西就叫做陀螺仪。陀螺仪在工作时要给它一个力，使它快速旋转起来，一般能达到每分钟几十万转，可以工作很长时间。然后用多种方法读取轴所指示的方向，并自动将数据信号传给控制系统。

陀螺仪器最早是用于航海导航，但随着科学技术的发展，它在航空和航天事业中也得到广泛的应用。陀螺仪器不仅可以作为指示仪表，而更重要的是它可以作为自动控制系统中的一个敏感元件，即可作为信号传感器。根据需要，陀螺仪器能提供准确的方位、水平、位置、速度和加速度等信号，以便驾驶员或用自动导航仪来控制飞机、舰船或航天飞机等航行体按一定的航线飞行，而在导弹、卫星运载器或空间探测火箭等航行体的制导中，则直接利用这些信号完成航行体的姿态控制和轨道控制。作为稳定器，陀螺仪器能使列车在单轨上行驶，能减小船舶在风浪中的摇摆，能使安装在飞机或卫星上的照相机相对地面稳定等。作为精密测试仪器，陀螺仪器能够为地面设施、矿山隧道、地下铁路、石油钻探以及导弹发射井等提供准确的方位基准。由此可见，陀螺仪的应用范围是相当广泛的，它在现代化的国防建设和国民经济建设中均占重要的地位。

## 思考与练习

### 1. 简答题

(1) 什么叫真方位角？什么叫磁方位角？什么叫坐标方位角？

- (2) 简析直线定向注意事项。
- (3) 简析方位角推算的步骤及相关注意事项。

## 2. 计算题

- (1) 五边形的各内角如图 4-15 所示，1~2 边的坐标方位角为  $30^\circ$ ，计算其他各边的坐标方位角。

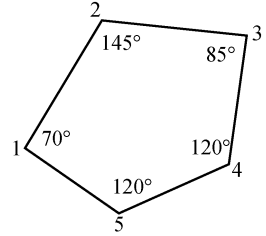


图 4-15 计算题 1

- (2) 已知 1~2 边的坐标方位角为  $65^\circ$ ，求 2~3 边的正坐标方位角及 3~4 边的反坐标方位角，如图 4-16 所示。

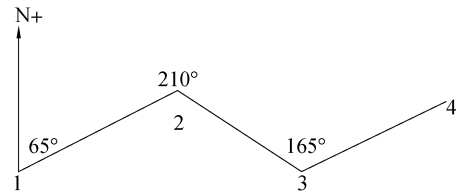


图 4-16 计算题 2