普通测量学

单位：山东省农业管理干部学院农管系
作者：房元勋
电话：0531-8117779，13156110662
Email:Fangyuanxun@eyou.com

课程简介

- 普通测量学是土地管理等专业的一门专业基础课；它的工作任务是通过一定的仪器和方法绘制地形图或者地籍图，为土地管理部门服务。
- 大家将要学到如下这些内容：测量的基本理论、水准/角度/距离测量的仪器和方法、控制测量、碎部测量、地形图的应用等
- 测量的应用范围非常广泛：建筑、道路、管线、电力……

本课程的特点

- 理论性强。特别是测量平差部分用到的数学知识较多
- 实践性强。
- 应用性强

课程进度表

序号	内容	学时	讲课	实验	习题
1	绪论	6	6		
2	水准测量	12	6	4	2
3	角度测量	10	6	4	
4	距离测量与直线定向	6	4	2	
5	误差的基本知识	6	4		2
6	小地区控制测量	14	8	4	2
7	地形图的基本知识	4	2	2	
8	大比例尺地形图测绘	6	4	2	
9	地形图的应用	4	3		1
10	测绘新技术	6	2	4	
11	课程实习	40		40	
12	机动	6			
合计		120			

第一章 绪论

- 1.1 测量学的定义、任务、分类
- 1.2 地面点位的确定
- 1.3 以水平面代替水准面的限度
- 1.4 测量工作概述

1.1 测量学的定义、任务、分类

- 1.1.1 测量学的定义
  - 早期的定义：研究地球的形状和大小，确定地面点的坐标的学科。
  - 当前的定义：研究三维空间中各种物体的形状、大小、位置、方向和其分布的学科。
- 1.1.2 测量学的任务
  - 测定
    - 把地面上的地物地貌测绘到地形图上
  - 测设
    - 把图纸上的设计放样到地面
- 1.1.3 测量学的分类

1.1.3 测量学的分类

- **天文测量学**：研究测定恒星的坐标，以及利用恒星确定观测点的坐标（经度、纬度等）的学科。
- **大地测量学**：研究测定地球的形状和大小及地球的重力场的测量方法、分布情况及其应用的学科。
- **地图制图学**：研究地图制图的理论和方法。
- **摄影测量学**：研究利用航天、航空、地面的摄影和遥感信息，进行测量的方法和理论的学科。
- **工程测量学**：研究测量和制图的理论和技术在工程建设中的应用。
- **测量仪器学**：研究测量仪器的制造、改进和创新的学科。
- **地形测量学**：研究将地球表面局部地区的地貌、地物测绘成地形图和编制地籍图的基本理论和方法。
- **海洋测绘学**：研究以海洋和陆地水域为对象所进行的测量和海图编制工作。

近年来，因人造地球卫星的发射和科学技术的发展，大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学

1.2 地面点位的确定

- 1.2.1 基本概念
- 1.2.2 确定地面点位的方法
  - 也就是测量坐标系的建立与选取

1.2.1 基本概念

- 地球的形状和大小
  - 一级近似：球体 R=6371km
  - 二级近似：椭球体　　a=6378140m
    b=6356755m
    α =1/298.257
- 水平面、水准面、大地水准面
  - 水平面
  - 水准面
  - 大地水准面：通过平均海水面并延伸通过大陆岛屿而形成的闭合的水准面。是测量工作的参考平面，所有的测量工作都是在其上进行的。

1.2.1 基本概念（续）

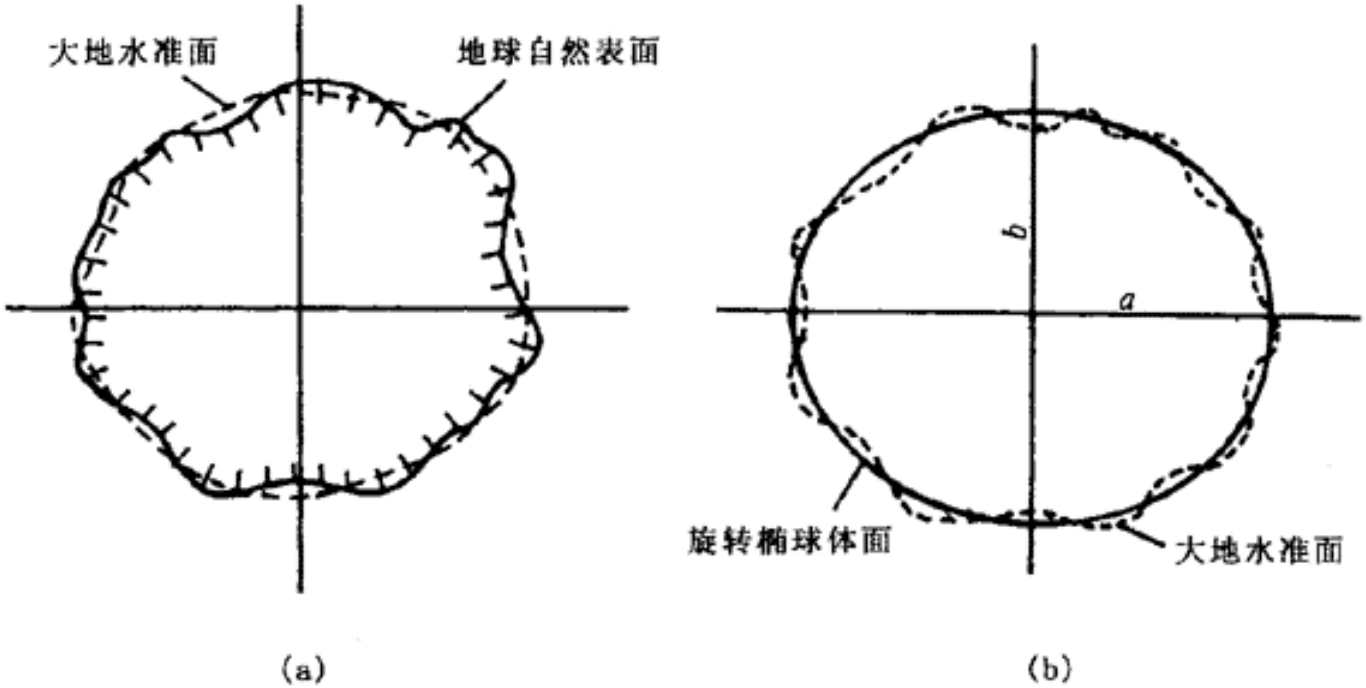


图 1-2　大地水准面与地球旋转椭球体面示意图

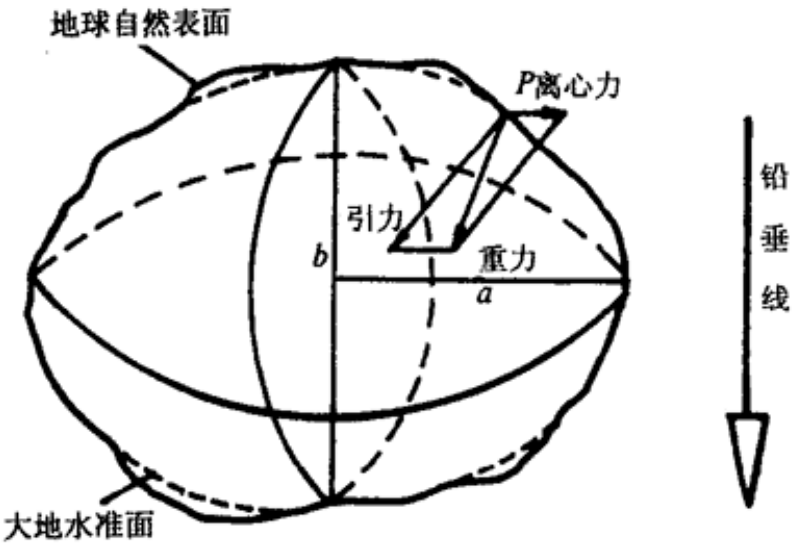


图 1-1　地球重力线

1.2.2 地面点位的确定

1.2.2.1高程系统

1.2.2.2坐标系统

1.2.2.1 高程系统

1) 高程的定义：地面点到大地水准面的铅垂距离；表示H
2) 分类：
   a) 绝对高程
   b) 相对高程H’
3) 高差：地面两点之间的高程差h

$h_{AB}=H_B-H_A=H_B'-H_A'$

$h_{BA}=H_A-H_B=H_A'-H_B'$

1.2.2.1 高程系统（续）

- 1954国家高程系统
- 1980国家高程系统

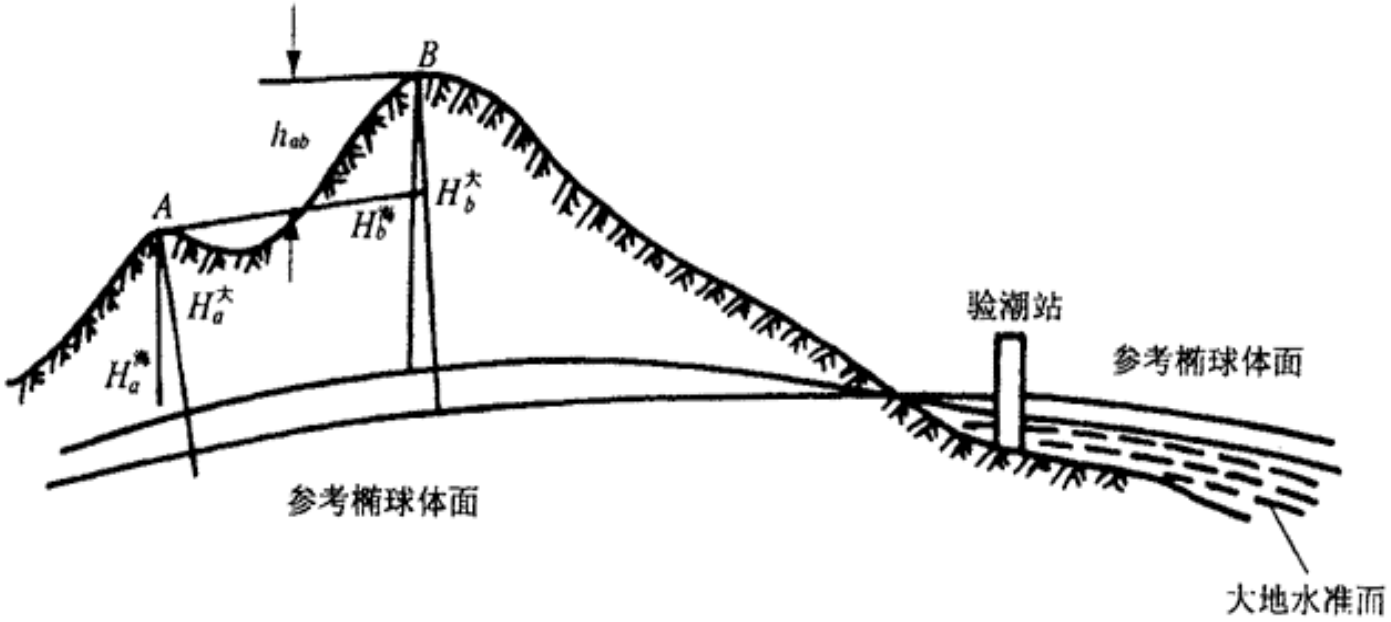


图 1-9　海拔高和大地高

1.2.2.2 坐标系统

- 1.2.2.2.1 地理坐标系
- 1.2.2.2.2 高斯坐标系
- 1.2.2.2.3 平面坐标系

1.2.2.2.1 地理坐标系

- 天文地理坐标系：测量（天文经纬度）的外业以铅垂线为准大地水准面和铅垂线是天文地理坐标系的主要面和线地面点的坐标是它沿铅垂线在大地水准面上投影点的经度和纬度
- 大地地理坐标系：大地地理坐标系是建立在地球椭球面上的坐标系，地球椭球面和法线是大地地理坐标系的主要面和线，地面点的大地坐标是它沿法线在地球椭球面上投影点的经度L和纬度B

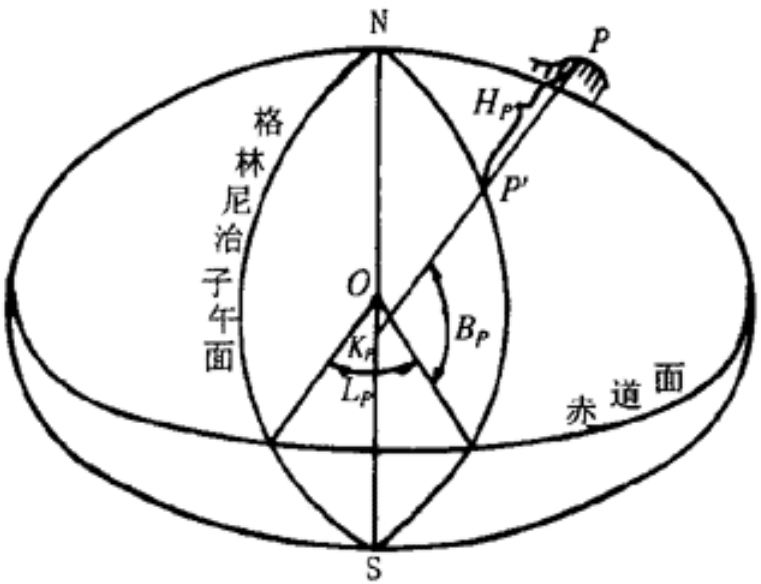


图 1-3　大地坐标系

1.2.2.2 高斯坐标系

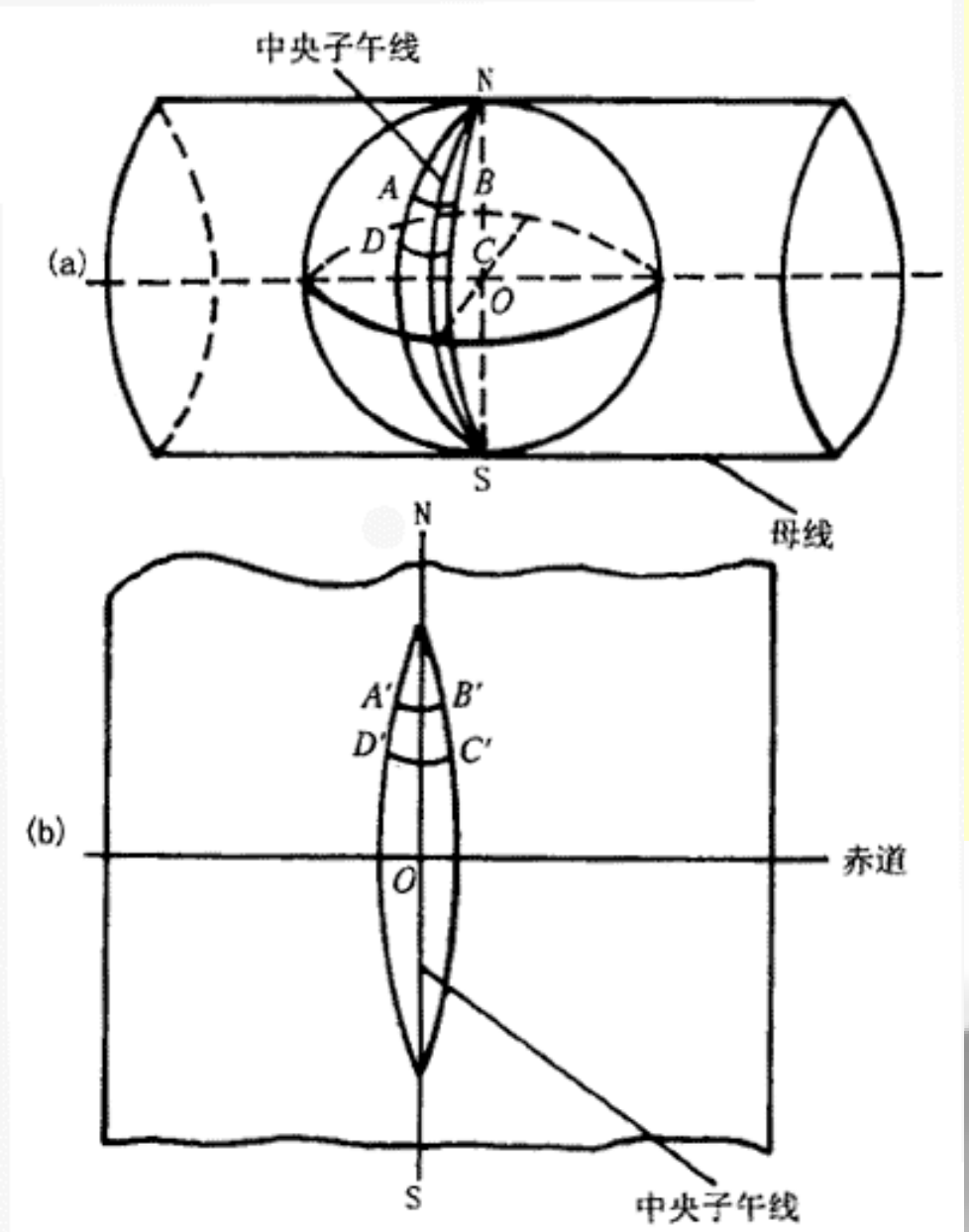


图 1-5 高斯投影

高斯投影

高斯坐标系（续）

高斯坐标系

将地球每隔3°或者6 °分成若干带进行高斯投影，以赤道为y轴，自西向东为正；以中央子午线为x轴，自南向北为正；并将x轴向左（西）平移500km，在y坐标之前加上带号而得到的坐标系。即：y=N*1000000+500000+y’

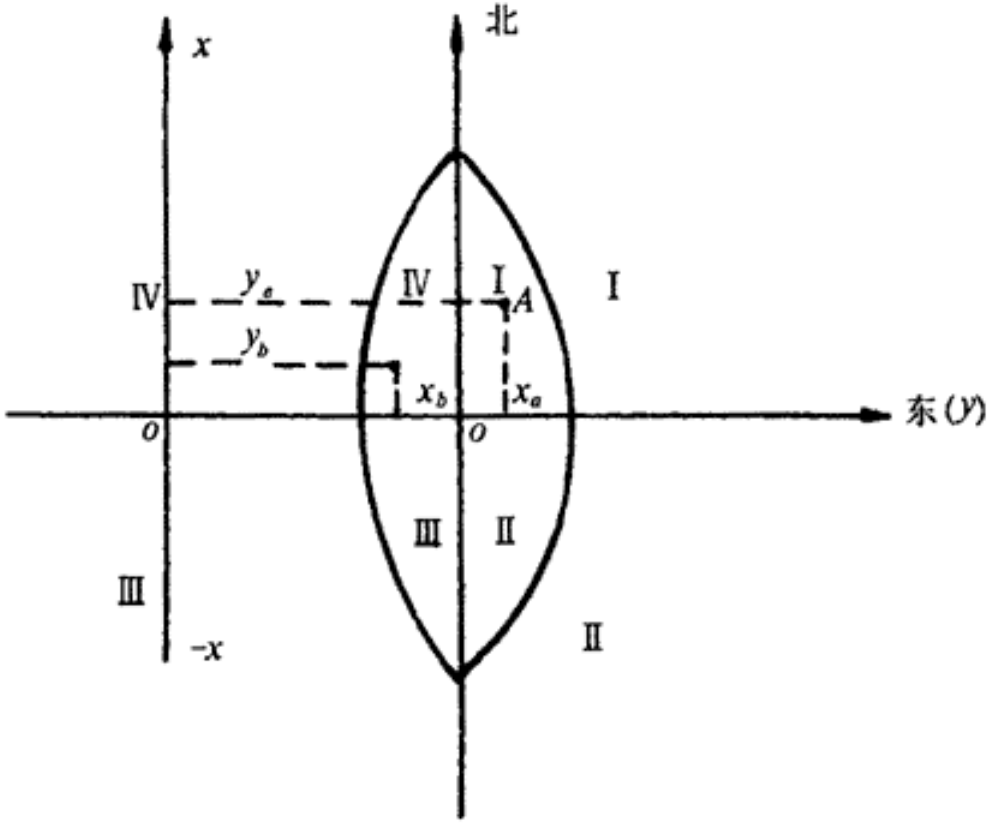


图 1-7　高斯平面直角坐标

1.2.2.3 平面坐标系

- 又称为“独立坐标系”。与数学坐标系之间的区别：
  - 坐标轴/象限
  - 角度

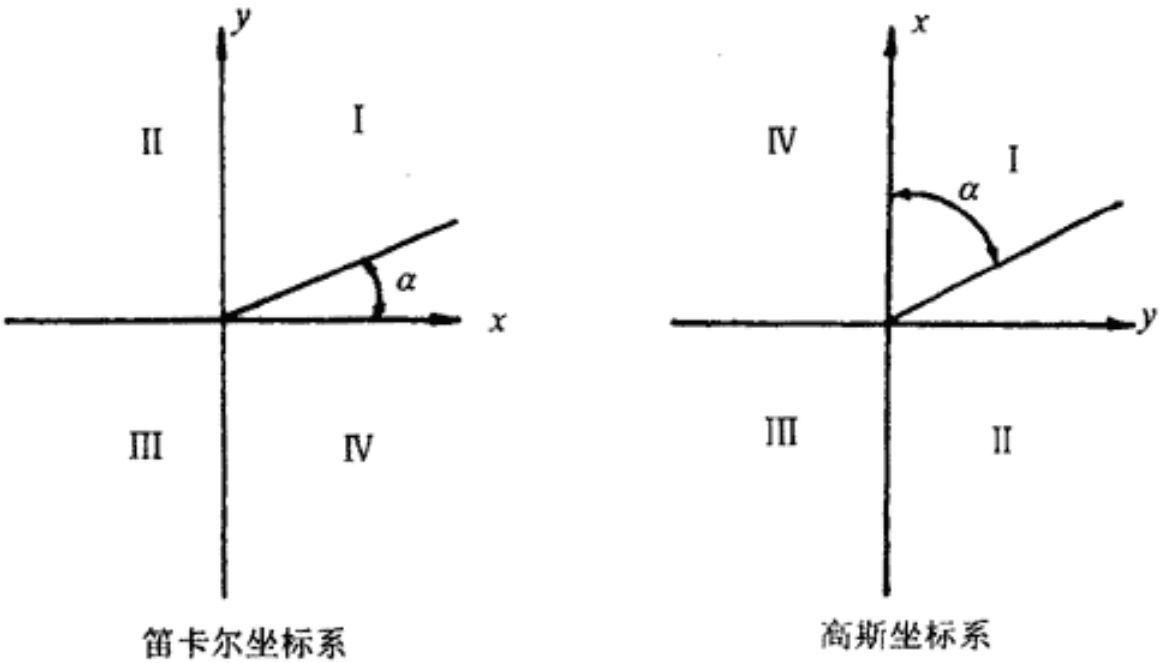


图 1-8　笛卡尔坐标和高斯直角坐标

1.3 以水平面代替水准面的限度

- 对距离的影响： $\Delta D=D^3/3R^2$
- 对高程的影响： $\Delta H=D^2/2R$
- 对角度的影响

在小区域中，对距离和角度的影响可以忽略；对高程的影响采用“中间法”消除。

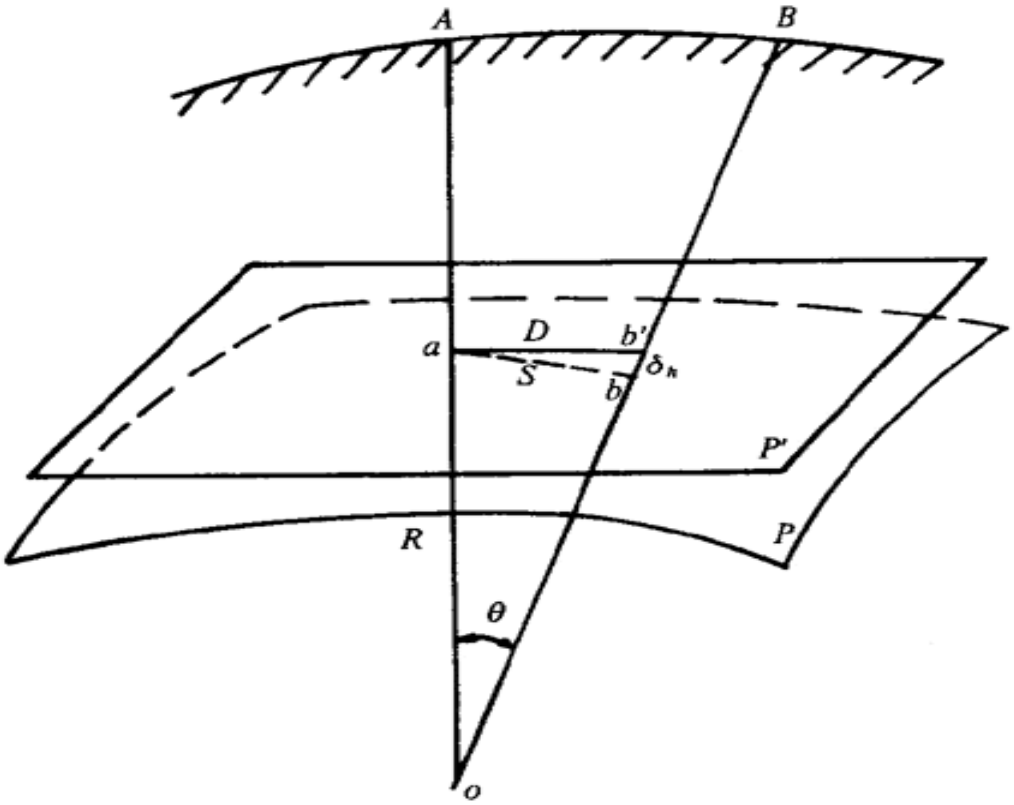
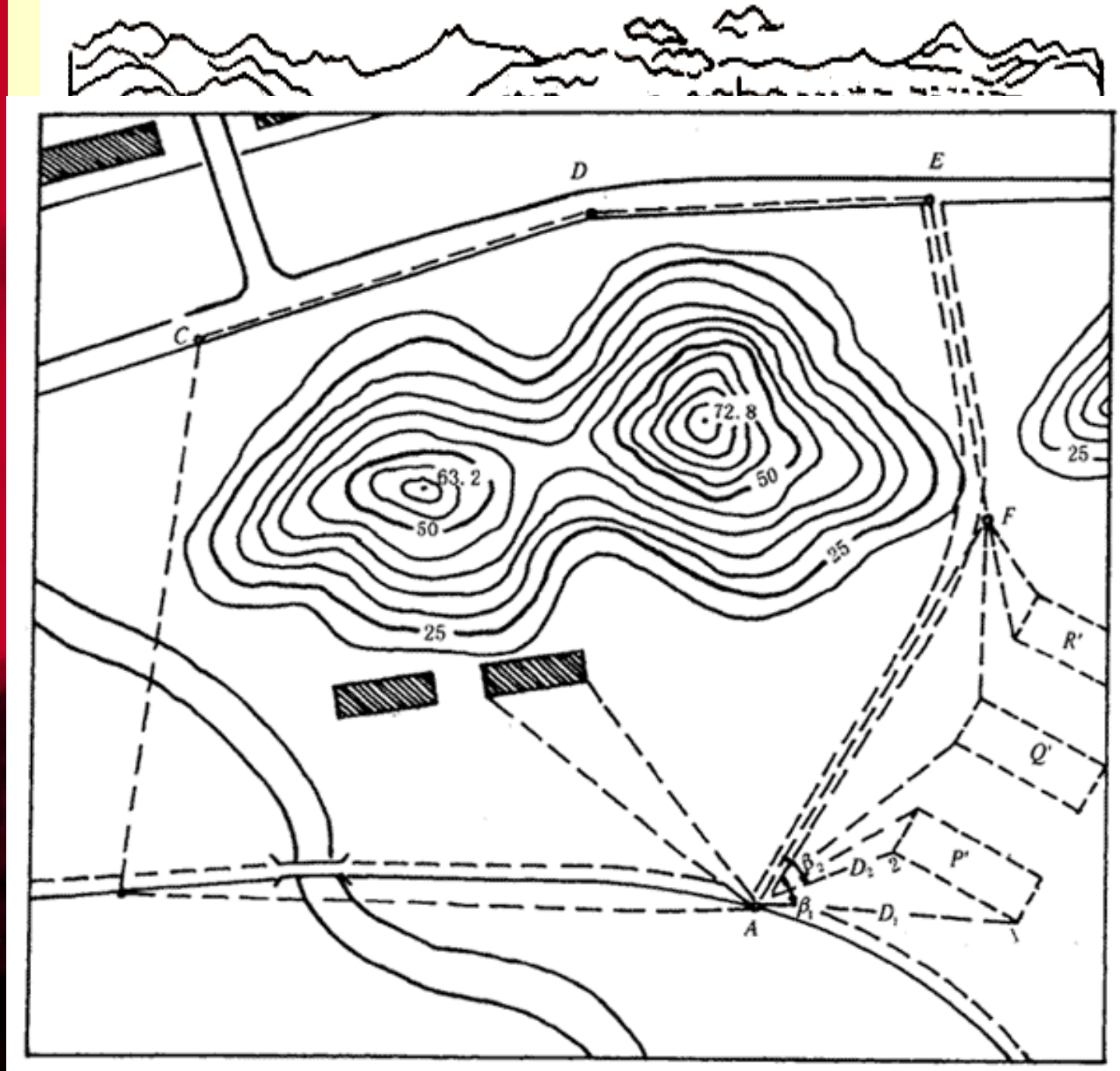


图 1-13　水平面代替水准面

1.4 测量工作概述

- 基本原则
  - 从整体到局部，先控制后碎部。
  - 前一步测量工作未作检核不进行下一步测量工作。
- 基本内容
  - 平角测量
  - 平距离测量
  - 高程测量
- 基本程序
  - 控制测量
  - 碎部测量

1.4 测量工作概述（续）



(b)

总结

- 回顾所学的内容
- 指出应用所学内容的方法
- 要求对培训进行反馈

主要参考资料

- 书籍
  - 《测量学》，合肥工业大学等合编，1993
  - 《建筑工程测量》，李生平，2003
  - 《工程测绘技术》，梁勇等，2000
  - 山东大学，测量学课件
  - 福州大学，测量学教学网站
  - 集美大学，测量学与地图学课件
- Internet资源
  - 国土资源部 http://www.mlr.gov.cn/
  - 国家测绘局 http://www.sbsm.gov.cn/
  - 中国测绘科学研究院 http://www.casm.ac.cn/
  - 武汉大学测绘学院 www.sgg.whu.edu.cn/
  - 南方测绘 http://www.southsurvey.com/
- 测量规范

普通测量学

单位：山东省农业管理干部学院农管系
作者：房元勋
电话：0531-8117779，13156110662
Email:Fangyuanxun@eyou.com

第二章 水准测量

- 2.1水准测量原理
- 2.2水准测量仪器和用具
- 2.3水准仪的使用
- 2.4水准测量的实施
- 2.5四等水准测量
- 2.6水准测量的内业计算
- 2.7水准仪的检验和校正
- 2.8水准测量误差与注意事项

2.1 水准测量原理

- 水准测量是利用一条水平视线，并借助水准尺，来测定地面两点间的高差，这样就可由已知点高程推算出未知点高程。
- 实质：定地面两点间的高差,然后通过已知点的高程,求出未知点的高程
- 方法
  - 高差法 $h_{AB}=a-b$ $H_B=H_A+h_{AB}$
  - 仪器高法(视线高法)
    $H_i=H_A+a$ $H_B=H_i-b$

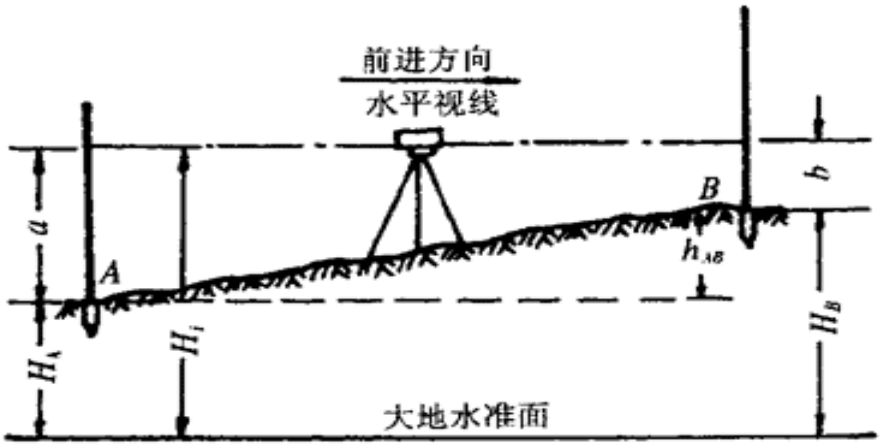


图 2-1　水准测量原理

2.2 水准测量仪器和用具

- DS3水准仪
  - 望远镜:其作用是瞄准目标并提供一条读数的视线。
  - 水准器—用来指示仪器竖轴是否垂直和视准轴是否水平的装置。
  - 基座:其作用是支撑仪器上部并连接脚架。
- 水准尺
- 尺垫

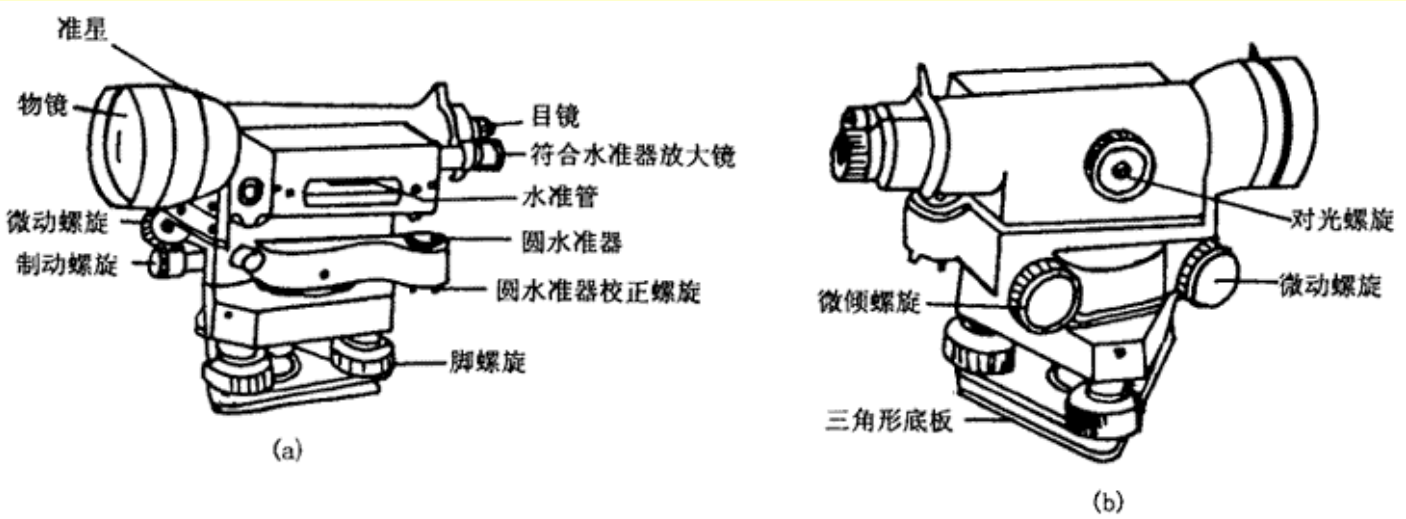


图 2-2 DS3 微倾式水准仪

2.2.1 DS水准仪-望远镜

- 望远镜:其作用是瞄准目标并提供一条读数的视线。
  - 望远镜主要由物镜、目镜、调焦透镜、十字丝分划板等部件构成。
  - 视准轴:十字丝中央交点与物镜光心的连线。
  - 望远镜的放大率:从望远镜内所看到的目标影像的视角与人眼直接观察该目标的视角之比。DS3型水准仪望远镜的放大率一般为28倍。

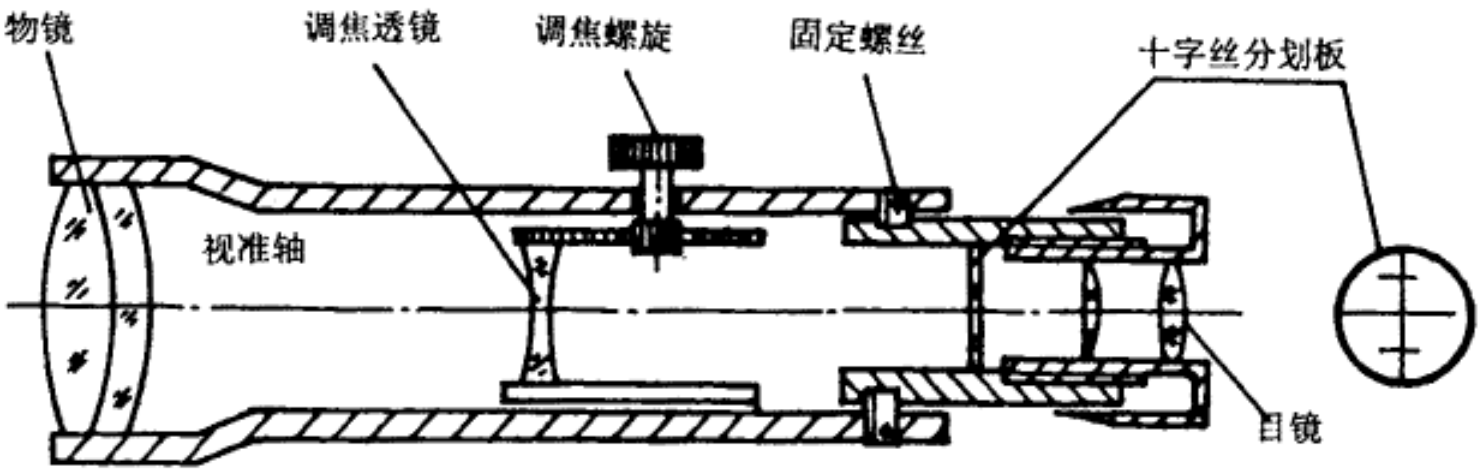
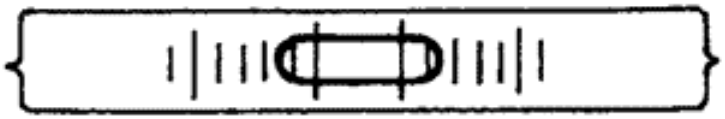


图 2-3　望远镜构造

2.2.1 DS水准仪-水准器

- 水准器—用来指示仪器竖轴是否垂直和视准轴是否水平的装置。
  - 水准器分划值——水准器上每2mm弧长所对的圆心角值τ。
  - 水准器有管水准器和圆水准器。
    - DS3型水准仪其水准器分划值分别为20“/2mm 和 8‘/2mm。
    - 水准管轴LL:过水准管零点所作水准管圆弧的切线。
    - 圆水准器轴L_0L_0:过圆水准器零点的球面法线。

2.2.1 DS水准仪-水准器



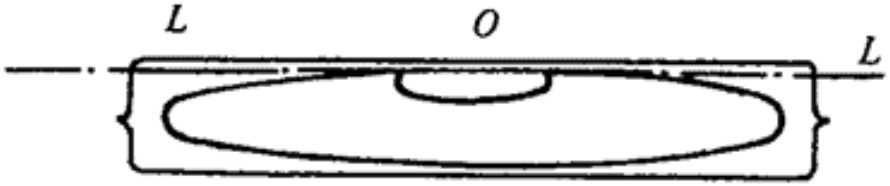


图 2-5　水准管

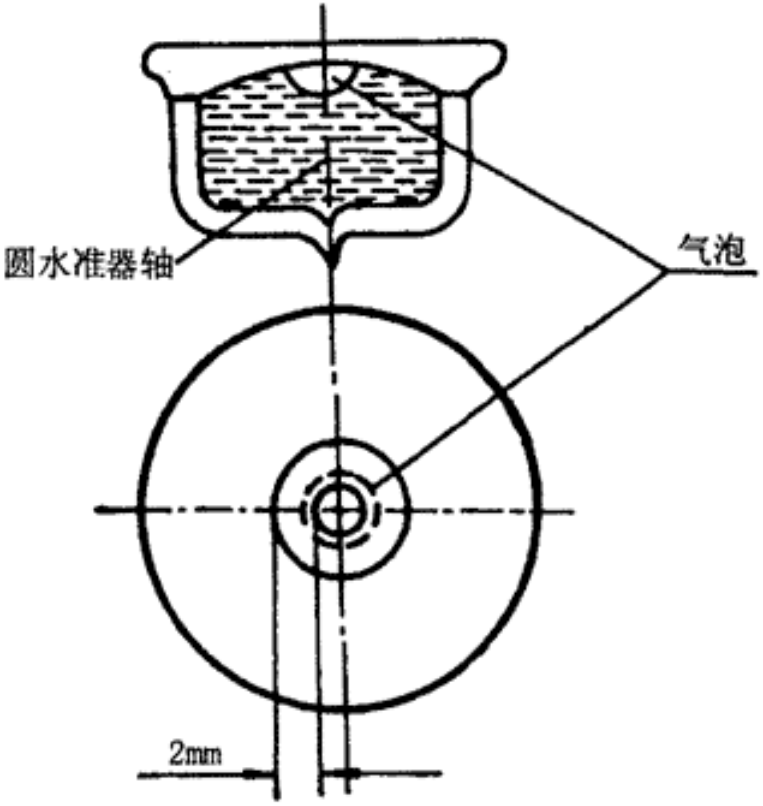


图 2-8　圆水准器

2.2.1 DS水准仪-水准器

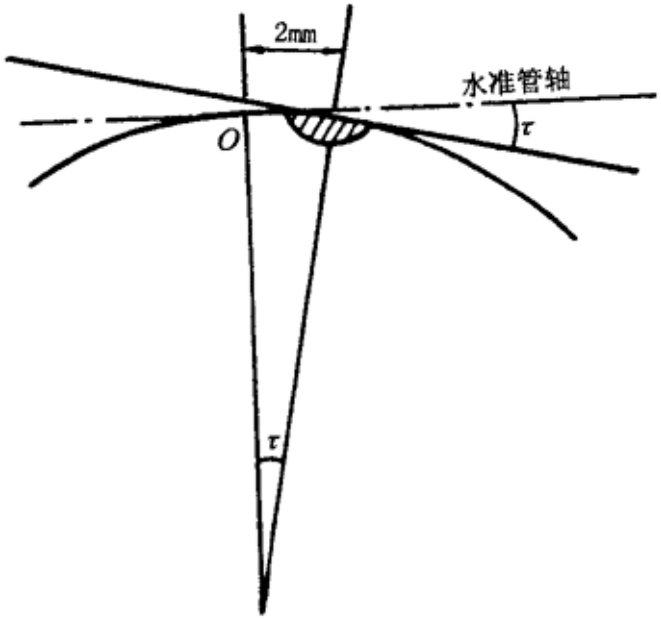


图 2-6　水准管分划值

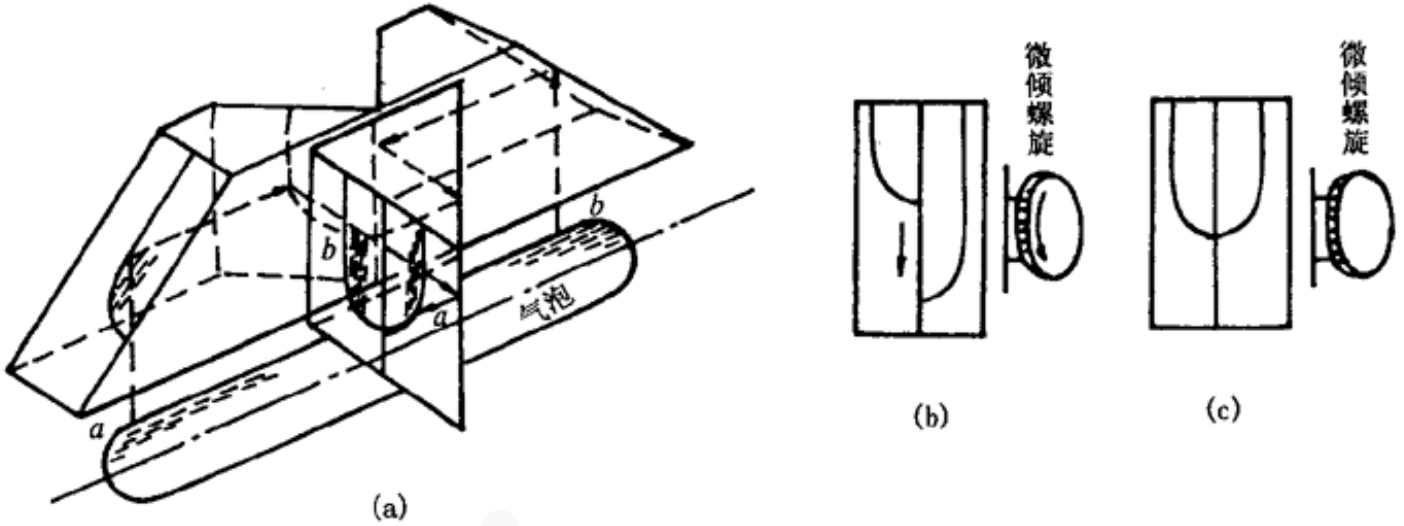


图 2-7　符合水准器

2.2.1 DS水准仪-基座

- 基座:其作用是支撑仪器上部并连接脚架。它主要由轴座、脚螺旋、底板和三角压板构成。

2.2.2 水准尺1

是水准测量时使用的有刻度的标尺。

- 双面尺、塔尺一般由优质木材制成，也有用玻璃钢或铝合金制作的。
- 双面尺多用于三、四等水准测量，长度有2m和3m两种。
- 双面尺的两面均有刻划，最小分划值一般为cm。一面为黑白相间，起点均为0；另一面为红白相间，起点不为0，而是一常数K，一对水准尺的K值一般相差0.1m：例如一根尺为4.687，则另一根尺常数为4.787。
- 塔尺用于等外水准测量，一般套接，展开后有3m和5m两种。

2.2.2 水准尺2

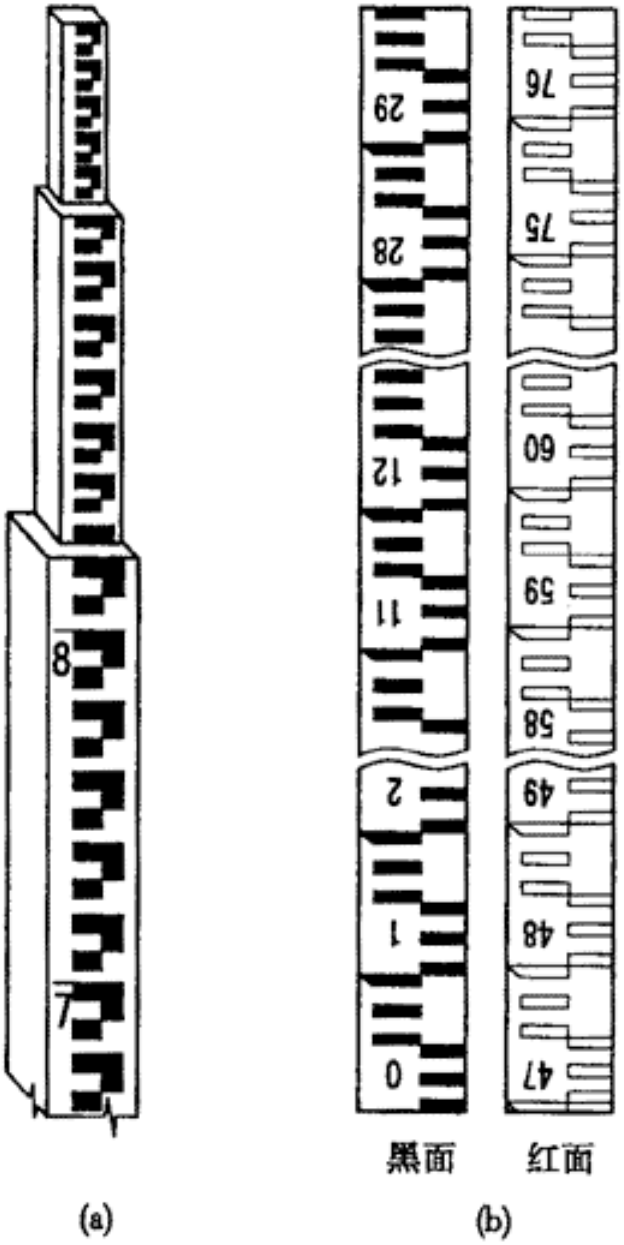


图 2-9　水准尺

2.2.3 尺垫

在转点处放置水准尺，以标定临时点的位置。它用生铁铸成，一般为三角形，中央有一突起的半球体，下方有三个支脚。用时将支脚牢固地插入土中，以防下沉，上方突起的半球形顶点作为竖立水准尺和标志转点之用。

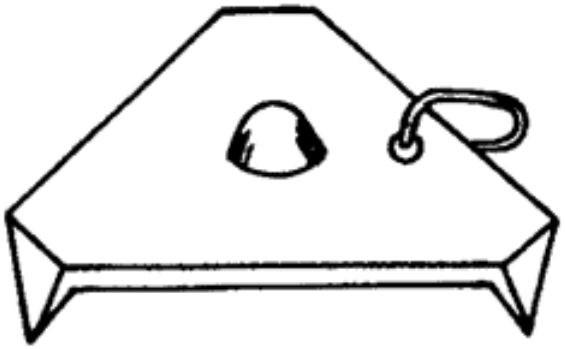


图 2-10　尺垫

2.3 水准仪的使用

- 一、安置水准仪
- 二、粗略整平
- 三、瞄准水准尺
- 四、精平与读数

2.3.1 安置水准仪

- 打开三脚架并使高度适中，目估使架头大致水平，检查脚架腿是否安置稳固，脚架伸缩螺旋是否拧紧，然后打开仪器箱取出水准仪，置于三脚架头上用连接螺旋将仪器牢固地固连在三脚架头上。

2.3.2 粗略整平

- 粗平是借助圆水准器的气泡居中，使仪器竖轴大致铅垂，从而视准轴粗略水平。在整平的过程中，气泡的移动方向与左手大拇指运动的方向一致。

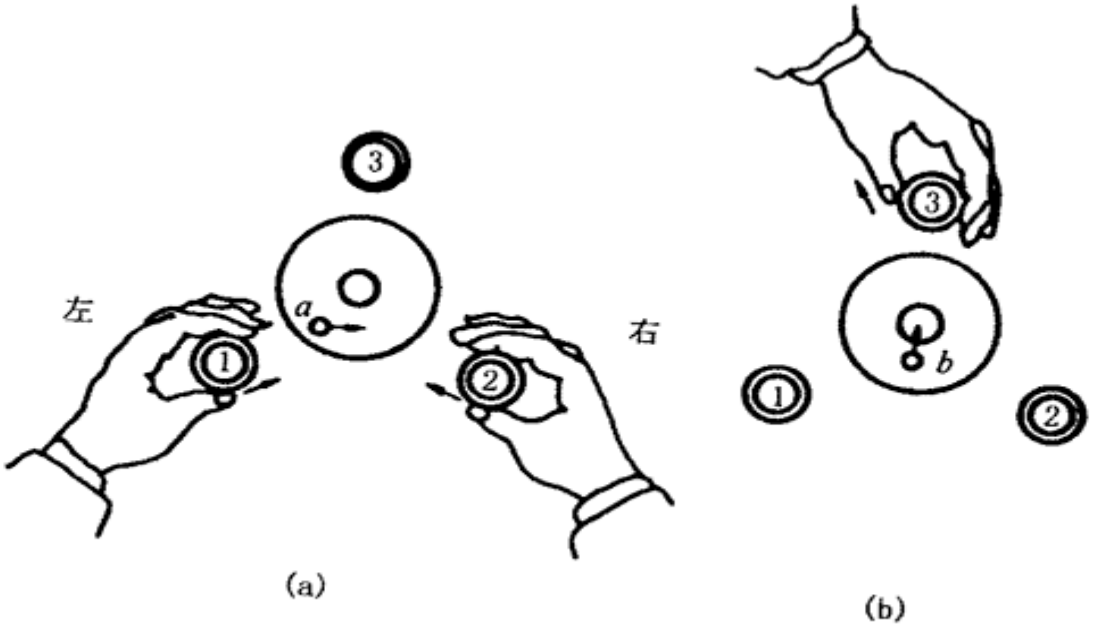


图 2-11　圆水准气泡整平

2.3.3 瞄准水准尺

- 首先进行目镜对光，即把望远镜对着明亮的背景，转动目镜对光螺旋，使十字丝清晰。再松开制动螺旋，转动望远镜，用望远镜筒上的照门和准星瞄准水准尺，拧紧制动螺旋。然后从望远镜中观察；转动物镜对光螺旋进行对光，使目标清晰，再转动微动螺旋，使竖丝对准水准尺。
- 当眼睛在目镜端上下微微移动时，若发现十字丝与目标影像有相对运动，这种现象称为视差。产生视差的原因是目标成像的平面和十字丝平面不重合。由于视差的存在会影响到读数的正确性，必须加以消除。消除的方法是重新仔细地进行物镜对光，直到眼睛上下移动，读数不变为止。此时，从目镜端见到十字丝与目标的像都十分清晰

2.3.4 精平与读数1

- 眼睛通过位于目镜左方的符合气泡观察窗看水准管气泡，右手转动微倾螺旋，使气泡两端的像吻合，即表示水准仪的视准轴已精确水平。这时，即可用十字丝的中丝在尺上 读数。现在的水准仪多采用倒像望远镜，因此读数时应从小往大，即从上往下读。先估读毫米数，然后报出全部读数。
- 精平和读数虽是两项不同的操作步骤，但在水准测量的实施过程中，却把两项操作视为一个整体；即精平后再读数，读数后还要检查管水准气泡是否完全符合。只有这样，才能取得准确的读数

2.3.4 精平与读数2

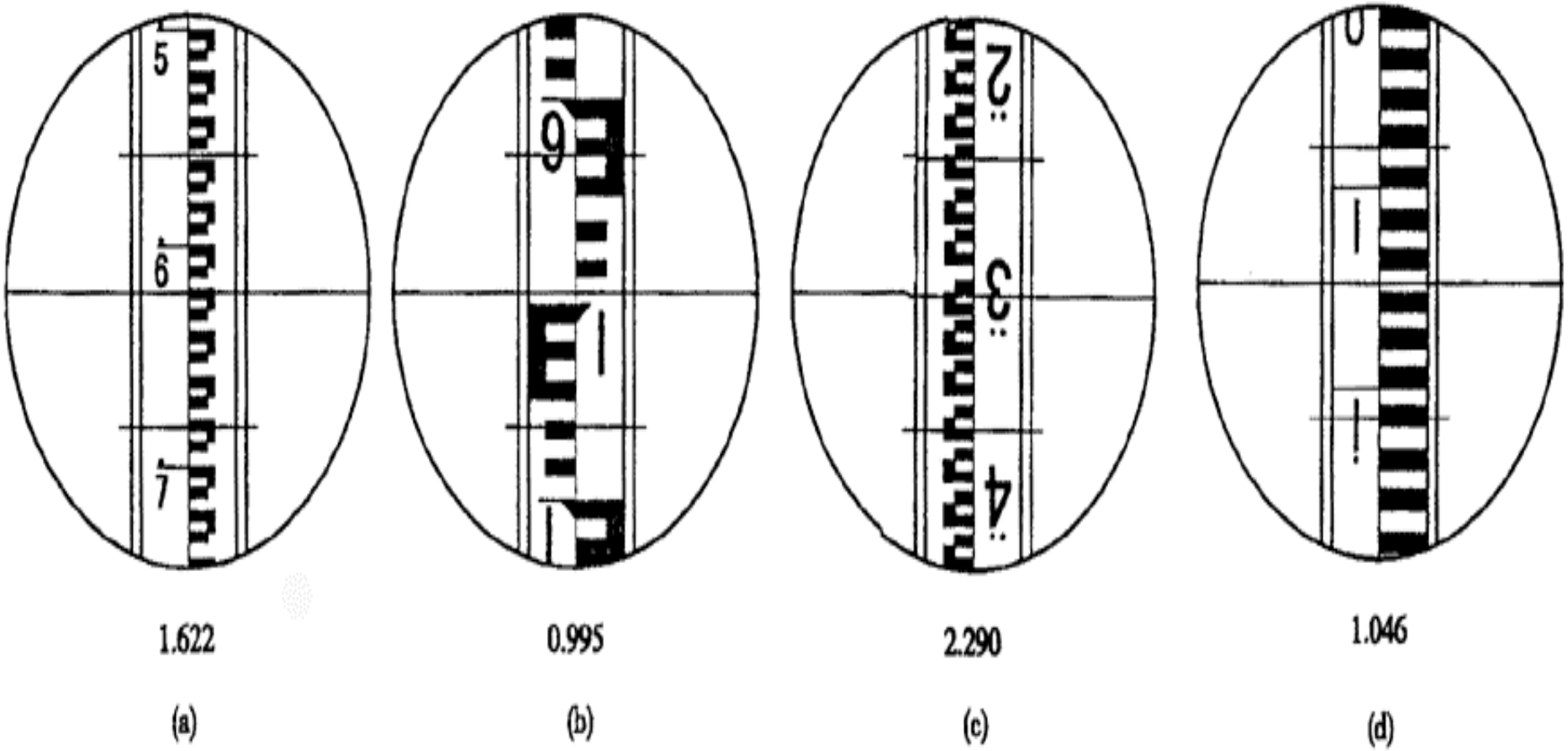


图 2-13　水准尺读数

2.4 水准测量的实施

- 水准点（Bench Mark）及水准测量路线形式
- 水准测量的实施
- 水准测量的检核

2.4.1 水准点

- 用水准测量方法测定的高程控制点称为水准点。水准点按其精度分为一、二、三、四等，按国家规范要求埋设永久性标石标志。
- 地形测量时需设置图根水准点，施工测量时需设置施工水准点，它们可采用临时性标志，如用木桩或道钉标示，或涂油漆标示。
- 简记BM,图上符号⊗

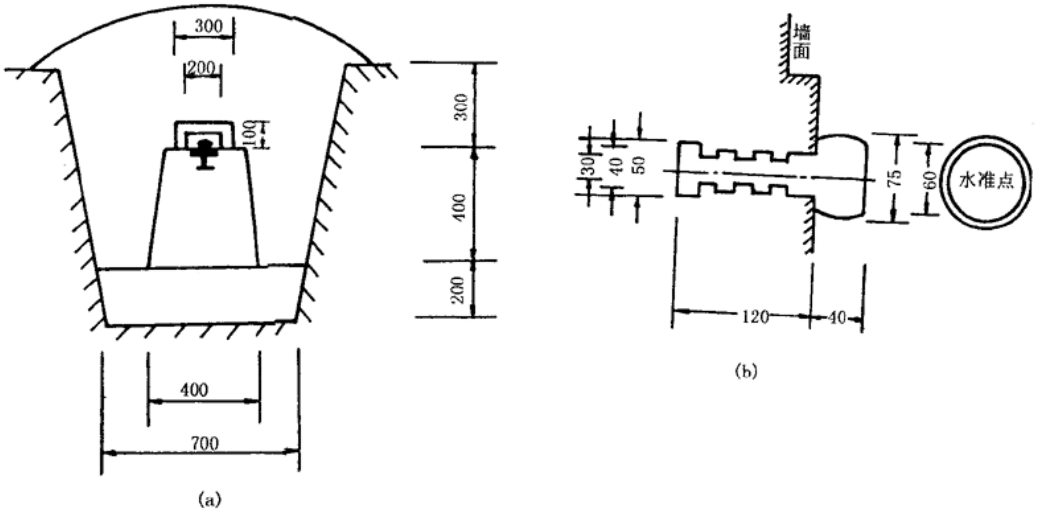


图 2-14　二、三等水准点标石埋设图(单位:mm)

2.4.2水准测量路线形式

- 闭合水准路线：从一高级水准点出发，经过测定沿线其它待定点高程，最后又回到原起始点的环形路线。
- 附合水准路线：从一高级水准点出发，经过测定沿线其它待定点高程，最后又附合到另一高级水准点的路线。
- 支水准路线：从一已知水准点出发，测定沿线其它待定点高程，不闭合也不附合，但为了校核必须往返测。
- 水准网：由多条单一水准路线相互连接构成的网状路线。

2.4.3 水准测量的实施

- 方法：当欲测的高程点距水准点较远或高差很大时，就需要连续多次安置仪器以测出两点的高差。为测A、B点高差，在AB线路上增加1、2、3、4等中间点，将AB高差分成若干个水准测站。其中间点仅起传递高程的作用，称为转点，简写为TP。转点无固定标志，无需算出高程。
- 分类：
  - 等外水准测量
  - 三、四等水准测量

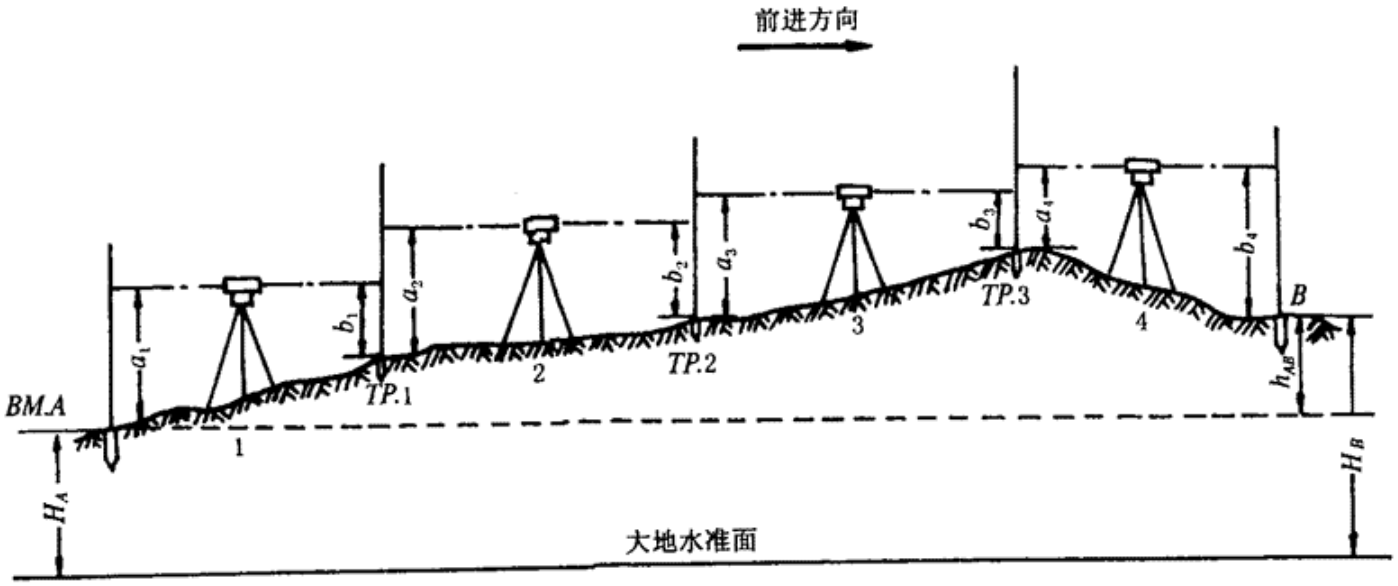


图 2-15　水准测量施测

2.4.3.1 等外水准测量1

- 精度适用于图根或一般工程测量。
- 在离已知水准点A适当距离处(一般不超过100m)选择转点1(编号ZD1或TP1)，安放尺垫，在A、1两点上分别竖立水准尺，在两点大致等距处安置水准仪，整平后瞄准后视点A，精平后读出后视读数为a_1；再瞄准前视点1，精平后读出前视读数为b_1，其高差计算如下，此为一个测站的观测，其它测站也如此观测，并记录观测数据填入水准测量手簿。

$$h_1=a_1-b_1,\ h_2=a_2-b_2,\ \ldots\ldots,\ h_n=a_n-b_n$$

$$\sum h=\sum a-\sum b$$

- 为提高精度，一般采用“变更仪器高”法或者“双面尺”法观测

2.4.3.1 等外水准测量2

测站	点号	水准尺读数		高差		高程	备注
		后视	前视	+	-		
1	BM.A	1. 467				27. 354m	已知
	TP.1		1. 124	0. 343			
2	TP.1	1. 885					
	TP.2		1. 674	0. 211			
3	TP.2	1. 869					
	TP.3		0. 943	0. 926			
4	TP.3	1. 367					
	B		1. 732		0. 365	28. 469m	
计算检核	Σ	Σa 6. 588 -5. 473 1. 115	Σb 5. 473	1. 480 -0. 365 1.115	0. 365	28. 469 -27. 354 1.115	

2.4.4 水准测量检核

- 测站检核
  - 变更仪器高/双面尺
  - 两次高差之差<=6mm
- 水准路线检核（高差闭合差）
  - 闭合水准路线

    $f_h = \Sigma h_{测}$
  - 附合水准路线

    $f_h = \Sigma h_{测} - (H_{终} - H_{始})$
  - 支水准路线

    $f_h = \Sigma h_{往测} + \Sigma h_{返}$

2.5 四等水准测量

精度适用于区域高程控制或施工控制测量。

- 主要技术指标
- 一个测站上的观测记录程序
- 测站检核与计算

2.5.1 主要技术指标1

等级	每公里高差中误差 mm	路线长度 km	水准仪的型号	水准尺	观测次数		往返较差附合或环线高差闭合差	
					与已知点联测	附合或环线	平地 mm	山地 mm
二	2	—	DS1 DiNi12	因瓦条码	往返各一次	往返各一次		—
三	6	≤50	DS1	因瓦	往返各一次	往一次		
			DS3	双面		往返各一次		
四	10	≤ 16	DS3	双面	往返各一次	往一次		
五	15	—	DS3	单面	往返各一次	往一次		
图根	—	—	DS3	单面	往返各一次	往一次		

2.5.1 主要技术指标2

等级	水准仪型号	前后视距不等差m		K+黑-红 mm	红黑面所测高差之差 mm	视线最长距离 m	中丝最小读数值 m
		d m	累积差∑d m				
二	DS1	≤1	≤3	≤0.5	≤0.7	≤50	≥0.5
三	DS1	≤3	≤6	≤1	≤1.5	≤100	≥0.3
	DS3			≤2	≤3	≤75	
四	DS3	≤5	≤10	≤3	≤5	≤80	≥0.2
五	DS3	大致相等		—	—	≤100	—

注：①二等水准视线长度小于20m时，其视线高度不应低于0.3m；

②三、四等水准采用变仪高法观测单面水准尺时，所测两次高差较差，应与黑面、红面所测高差之差的要求相同。

2.5.2 一个测站上的观测记录程序1

双面尺法一个测站上的观测顺序为（简称为后、前、前、后）：

- ①照准后视尺黑面，读取上、下、中丝读数；
- ②照准前视尺黑面，读取上、下、中丝读数；
- ③照准前视尺红面，读取中丝读数；
- ④照准后视尺红面，读取中丝读数（每次读数前，注意精平）。

总共观测记录8个数据。至此，观测程序完成，应立即进行测站计算，共计10个数据。检核无误后方可进行下一测站的工作。

2.5.2一个测站上的观测记录程序2

测站编号	点号	后尺 上丝 / 下丝	前尺 上丝 / 下丝	方向及尺号	水准尺读数 黑面	水准尺读数 红面	黑红面读数差 K+黑-红(mm)	高差中数(m)	备注
		后视距m d	前视距m Σd						
1	A	*1. 875*	*1. 728*	后K1	*1. 760*	*6. 447*	0		K1=
	|	*1. 646*	*1. 093*	前K2	*1. 209*	*5. 997*	-1		4. 687
	ZD1	22. 9	23. 5	后-前	+0. 551	+0. 450	+1		K2=
		-0. 6	-0. 6					+0. 5505	4. 787
2	ZD1	*1. 578*	*1. 457*	后K2	*1. 456*	*6. 243*	0		
	|	*1. 333*	*1. 225*	前K1	*1. 340*	*6. 028*	-1		
	ZD2	24. 5	23. 2	后-前	+0. 116	+0. 215	+1		
		+1. 3	+0. 7					+0. 1155	
3	ZD2	*0. 888*	*1. 979*	后K1	*0. 734*	*5. 421*	0		
	|	*0. 580*	*1. 670*	前K2	*1. 825*	*6. 611*	+1		
	ZD3	30. 8	30. 9	后-前	-1. 091	-1. 190	-1		
		-0. 1	+0. 6					-1. 0905	

<=±5m

<=±3mm

<=80m

<=±10m

<=±5mm

2.5.3测站计算与检核

每测站计算与校核如下：

- 1.视距计算
  - 后、前视距离为：100×（上丝-下丝），四等应小于80米；
  - 后、前视距差为：d = 后视距离 - 前视距离
  - 后、前视距差累积差为：∑d=前站d ＋ 本站d
- 2.同一水准尺红、黑面中丝读数差的校核
  - 同一水准尺红、黑面中丝读数之差，应等于该尺红、黑面的常数差K(4.687或4.787)，即红面中丝读数=黑面中丝读数 + K。
- 3. 黑、红面所测高差的计算与校核
  - 黑面高差=后视尺黑面中丝-前视尺黑面中丝
  - 红面高差=后视尺红面中丝-前视尺红面中丝
  - 检核：黑面高差=红面高差±0.100m，黑、红面所测高差之差四等应小于5mm。
  - **高差中数**等于黑面高差加上加减0.100m后的红面高差再除以 2。

2.6 水准测量的内业计算

- 1.高差闭合差的计算
- 2.高差闭合差的改正
- 3. 计算改正后高差
  - $h_i = h_i' + V_i$
- 4. 计算各点高程
  - $H_{未} = H_{已} + h_i$

2.6.1 高差闭合差的计算

水准路线的高差闭合差为：

$f_h = \sum h_{测} - \sum h_{理}$，

其应小于规定的容许数值，对于图根水准来说， $f_{h容} = \pm 40*sqrt(L)$（平地）

- 对于闭合水准路线：
  $\sum h_{理}=0$，则$f_h = \sum h_{测}$
- 对于附合水准路线：
  $\sum h_{理}=(H_{终} - H_{始})$，则
  $f_h = \sum h_{测} - (H_{终} - H_{始})$
- 对于支水准路线：则
  $f_h = |\sum h_{往}| - |\sum h_{返}|$

2.6.2 高差闭合差的改正

- 高差闭合差的改正是按与距离或与测站数成正比反符号分配到各测段高差中。第 i测段高差改正数按下式计算：

$$V_i = -f_h / L \times L_i \quad 或$$

$$V_i = -f_h / n \times n_i$$

2.6.3 实例

测点	测段长度 L(km)	实测高差 (m)	高差改正数 (m)	改正后高差 (m)	高程 (m)	备注
A					*56.345*	已知
	0.8	*+2.785*	-0.010	+2.775		
1					59.120	
	1.3	*-4.369*	-0.016	-4.385		
2					54.735	
	1.1	*+1.980*	-0.013	+1.967		
3					56.702	
	0.7	*+2.345*	-0.008	+2.337		
B					*59.039*	已知
Σ	3.9	+2.741	-0.047	+2.694		
辅助计算	$f_h=\sum h-(H_B-H_A)=2.741-(59.039-56.345)=+0.047$ $f_{h容}=\quad=\pm 79mm$ L=3.9km $-f_h/L=-1.2mm$					

2.7 水准仪的检验和校正

一、水准仪应满足的轴线条件

- ①圆水准器轴平行于仪器竖轴；
- ②十字丝横丝垂直于仪器竖轴；
- ③水准管轴平行于视准轴。

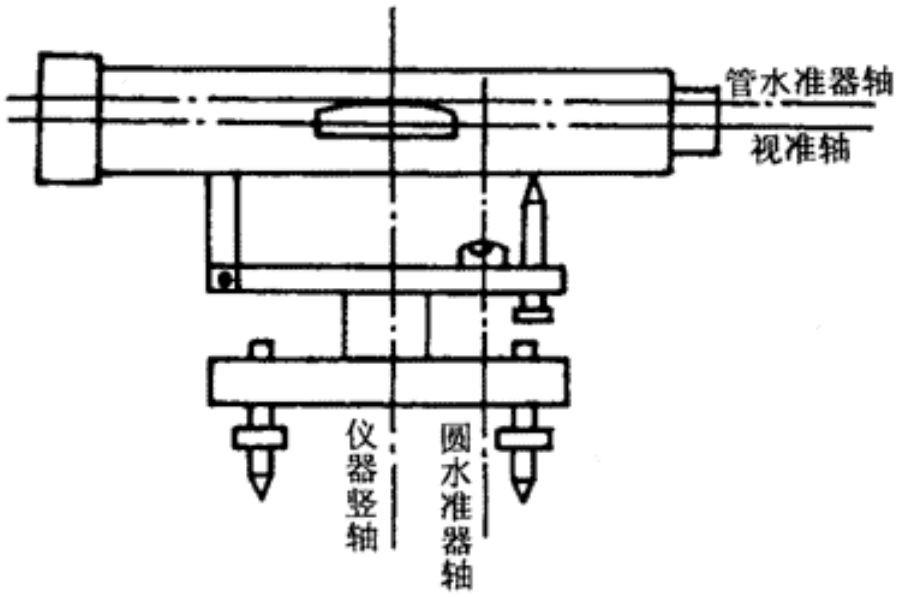


图 2-18　水准仪的主要轴线

2.7 水准仪的检验和校正

二、水准仪的检验与校正

- 1.圆水准器的检验与校正
  - **检验**：安置仪器后，用脚螺旋调节圆水准气泡居中。旋转照准部180°后，如气泡仍居中，则满足；否则需校正。
  - **校正**：用脚螺旋校正偏离长度的一半，再用圆水准器下面的三个校正螺丝校正另一半。反复检验与校正。
- 2.十字丝分划板的检验与校正
  - **检验**：用十字丝横丝对准一个点状目标，水平制动螺旋制动后，用微动螺旋使十字丝横丝左右移动，若点偏离，则需校正。
  - **校正**：打开目镜端护盖，松固定螺丝后，旋转十字丝分划板到正确位置。反复检验与校正。
- 3. 水准管的检验与校正
  - **检验**：在高差不大的相距约80米左右的地方固定A、B两点，用变仪高法或双面尺法精确测出两点高差；然后将仪器搬至距其中一点最近的地方，再测两点高差，若两次高差值大于5mm，则需校正。
  - **校正**：根据近尺读数和正确高差计算远尺正确读数，用微倾螺旋使远尺为正确读数后，此时水准管气泡偏离中心位置，调节水准管校正螺丝使气泡居中。

2.8 水准测量误差与注意事项

- 一、仪器误差
  - 1. 水准仪的误差——有视准轴与水准管轴不平行的误差，望远镜调焦时运行误差，可使前后视距相等加以消除。
  - 2. 水准尺误差——包括水准尺尺长误差、刻划误差及零点差等。一般可成对使用并使测站数为偶数站来减弱或消除其影响。
- 二、观测误差
  - 1.水准管气泡居中误差——其误差为
  - 2. 读数误差——与人眼分辨能力、望远镜放大率及视线长度有关。
  - 3. 水准尺倾斜误差——使读数增大，观测时须竖直尺，避免误差。
- 三、外界条件影响产生的误差
  - 1. 仪器升沉——采用“后、前、前、后”的观测次序或往返测取高差平均值可基本消除其影响。
  - 2. 尺垫升沉——往返测取高差平均值可基本消除其影响。
  - 3. 地球曲率与大气折光误差——使前后视距相等加以消除。
  - 4. 温度变化的影响——选择有利的观测时间；不使阳光直射水准器。

主要参考资料

- 书籍
  - 《测量学》，合肥工业大学等合编，1993
  - 《建筑工程测量》，李生平，2003
  - 《工程测绘技术》，梁勇等，2000
  - 山东大学，测量学课件
  - 福州大学，测量学教学网站
  - 集美大学，测量学与地图学课件
- Internet资源
  - 国土资源部 http://www.mlr.gov.cn/
  - 国家测绘局 http://www.sbsm.gov.cn/
  - 中国测绘科学研究院 http://www.casm.ac.cn/
  - 武汉大学测绘学院 www.sgg.whu.edu.cn/
  - 南方测绘 http://www.southsurvey.com/
- 测量规范

普通测量学

单位：山东省农业管理干部学院农管系
作者：房元勋
电话：0531-8117779，13156110662
Email:Fangyuanxun@eyou.com

第三章 角度测量

- 3.1 水平角和竖直角测量原理
- 3.2 DJ6光学经纬仪
- 3.3 经纬仪的使用
- 3.4 水平角测量
- 3.5 竖直角测量
- 3.6 经纬仪的检验和校正
- 3.7 角度测量误差与注意事项

3.1 水平角和竖直角测量原理1

- **水平角**是指相交的两条直线在同一水平面上的投影所夹的角度,或者说分别过两条直线所作的竖直面所夹的二面角。一般用β表示。

  其值范围：0～360°。

  水平角值为两个方向值之差。

  β =a-b

- **竖直角**是指在同一竖直面内，倾斜视线与水平方向线之间的夹角。一般用α表示。

  其值范围：0～±90°。仰角时为正，俯角为负。

  竖直角值也为两个方向值之差，但其中水平方向是固定的，为常数。

  α =目标读数-水平读书

3.1 水平角和竖直角测量原理2

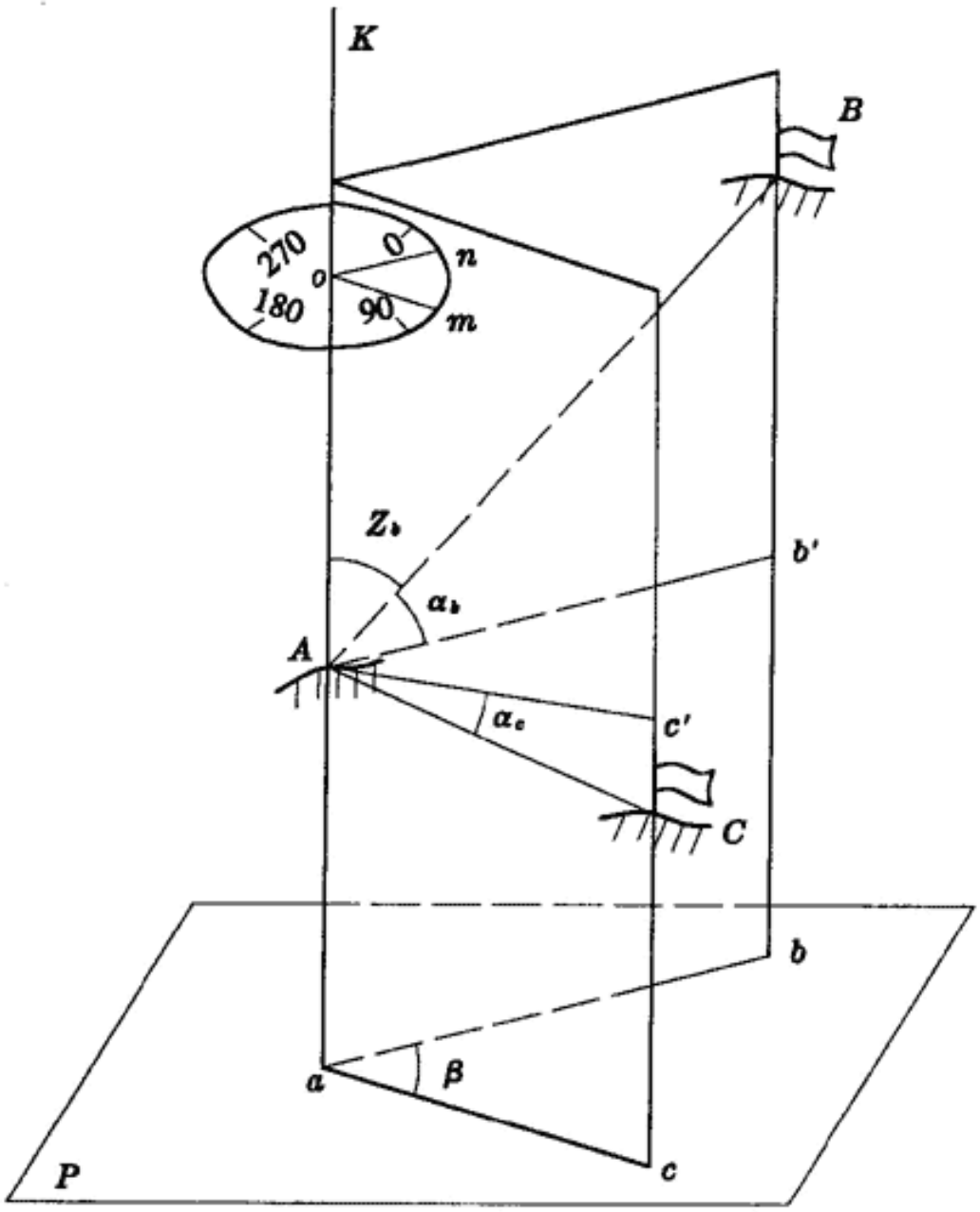


图 3-1　角度测量原理

3.2 DJ6光学经纬仪2

3.2 DJ6光学经纬仪1

- 基座——用于支撑仪器上部，连接三角架。
- 照准部——包括望远镜、水准器、照准部旋转轴、横轴、支架、光学读数装置及水平和竖直制动和微动螺旋等。
  - 1. 望远镜、水准器——同水准仪。
  - 2. 光学读数显微镜——从中可以看到水平和竖直度盘成像，读出读数。
  - 3. 照准部旋转轴、横轴——望远镜可以随照准部在水平方向360°旋转、绕横轴在竖直方向360°旋转。水平、竖直制动和微动螺旋可以控制其旋转。
- 度盘——有水平度盘和竖直度盘，皆由光学玻璃制成。
  - 水平度盘水平放置，照准部旋转时固定不动，可用度盘变换手轮配置其起始读数。竖直度盘竖直固定在横轴上，随望远镜一起转动。
- 读数装置——分微尺测微器，可直接由读数显微镜中看到水平和竖直度盘及分微尺的成像，并可直接读数，最小读数为0.1‘ 或 6“。

3.2 DJ6光学经纬仪3

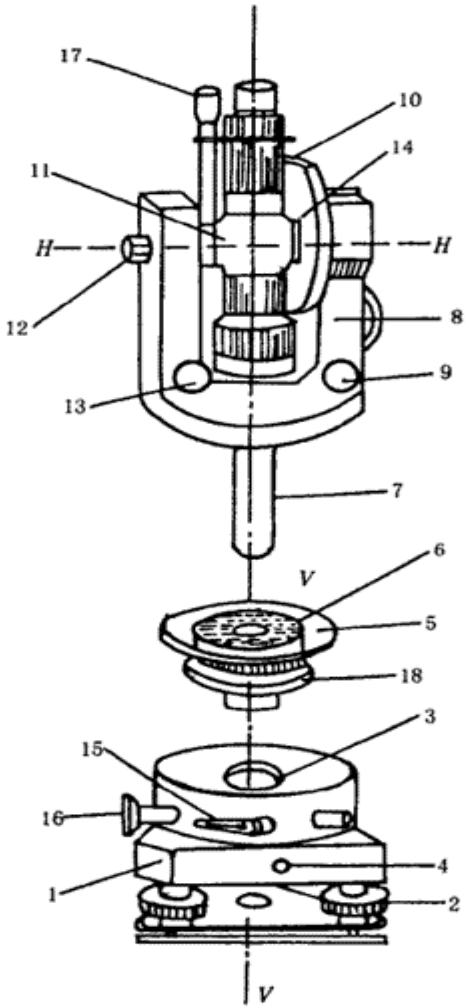


图 3-3　照准部、度盘、基座结构图

1—基座；2—脚螺旋；3—竖轴轴套；4—固定螺旋；5—水平度盘；6—度盘轴套；7—旋转轴；8—支架；9—竖盘水准管微动螺旋；10—望远镜；11—横轴；12—望远镜制动螺旋；13—望远镜微动螺旋；14—竖直度盘；15—水平制动螺旋；16—水平微动螺旋；17—光学读数显微镜；18—复测盘

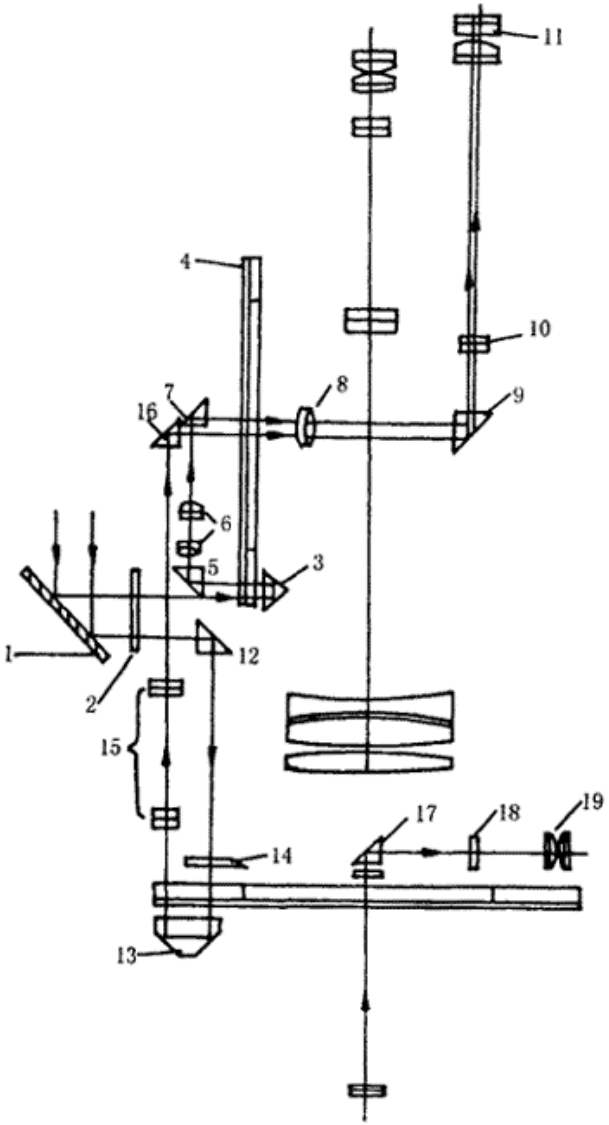


图 3-5　DJ6 型经纬仪光路图

1—反光镜；2—进光镜；3—折光棱镜；4—竖直度盘；5—直角折光棱镜；6—显微物镜；7—折射棱镜；8—读数窗；9—转像棱镜；10—读数物镜；11—读数目镜；12—折射棱镜；13—折光棱镜；14—聚光镜；15—显微物镜；16—折射棱镜；17—光学对点器折射棱镜；18、19—光学对点器物镜、目镜

3.2 DJ6光学经纬仪4

读数方法1

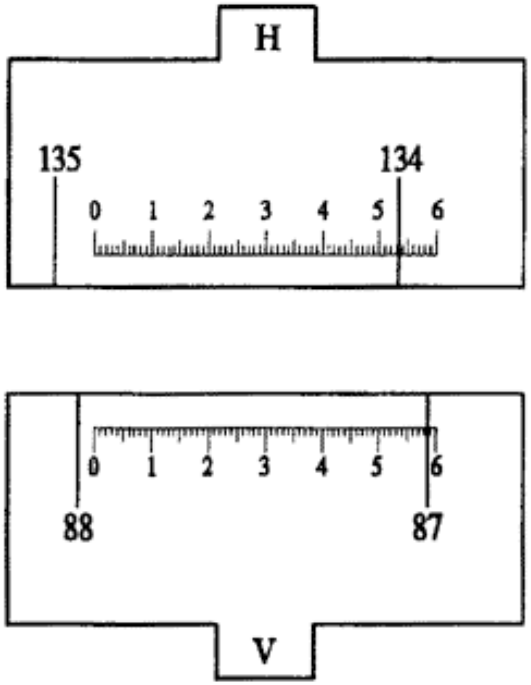


图 3-6　读数显微镜内度盘成像

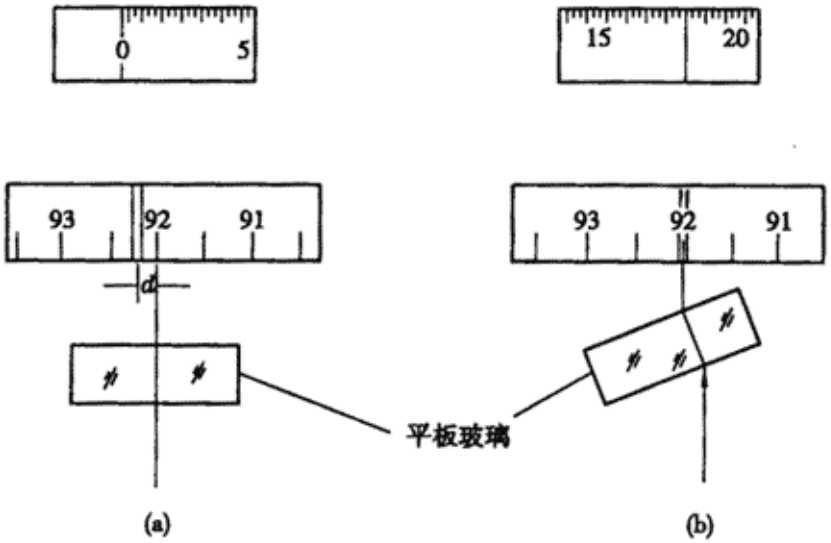


图 3-10　平行玻璃板测微器原理

3.2 DJ6光学经纬仪4 读数方法2

- 1．分微尺测微器及其读数方法

分微尺测微器的结构简单，读数方便，具有一定的读数精度，广泛应用于J6级光学经纬仪。国产J6级光学经纬仪，除北京红旗外，均采用这种装置。这类仪器的度盘分划度为1°，按顺时针方向注记。其读数设备是由一系列光学零件组成的 光学系统。

读数的主要设备为读数窗上的 分微尺，水平度盘与竖盘上1°的分划间隔，成象后与分微尺的全长相等。上面的窗格里是水平度盘及其分微尺的影象，下面的窗格里是竖盘和其分微尺的影象。分微尺分成60等分，格值1′，可估读到0.1′。读数时，以分微尺上的零线为指标。度数由落在分微尺上的度盘分划的注记读出，小于1′的数值，即分微尺零线至该度盘刻度线间的角值，由分微尺上读出。

3.2 DJ6光学经纬仪4

读数方法3

- 2．单平板玻璃测微器及其读数方法

采用单平板玻璃测微器读数的光学经纬仪有北京红旗Ⅱ型、瑞士Wild T1型等。单平板玻玻测微器主要由平板玻璃、测微尺、连接机构和测微轮组成。转动测微轮，通过齿轮带动平板玻璃和与之固连在一起的测微尺一起转动；测微尺和平板玻璃同步转动， 单平板玻璃测微器读数窗的影象:下面的窗格为水平度盘影象；中间的窗格为竖直度盘影象；上面较小的窗格为测微尺影象。度盘分划值为30′，测微尺的量程也为30′，将其分为90格，即测微尺最小分划值为20″，当度盘分划影象移动一个分划值(30′)时，测微尺也正好转动30′

3.3 经纬仪的使用1方法

- 对中：使仪器竖轴与地面标志点在同一铅垂线上。利用光学对点器对中。方法是按观测者身高调好三角架的高度，张开，使架头中心对准测站点并大致水平。将经纬仪安置在架头上，从光学对点器中观察测站点以及对点器标志圈是否清晰，不清晰调节清晰。移动角架，使地面标志点进入对点器标志圈中心。
- 整平：使经纬仪的竖轴铅垂，水平度盘水平。
  - 1. 先用伸缩脚架的方法调节圆水准气泡居中。
  - 2. 再调节脚螺旋使水准管气泡居中。操作步骤如下：先使水准管平行于任意两个脚螺旋，同时相对调节这两个脚螺旋使气泡居中；然后将照准部旋转90°，调节第三个脚螺旋使气泡居中。反复调节。
- 照准目标：调节十字丝清晰，然后再照准目标固定照准部，调节目标清晰并注意消除视差。观测水平角时用十字丝交点部分竖丝瞄准目标；观测竖直角时用十字丝横丝切准目标顶部。
- 读数：打开反光镜，由读数显微镜中看到水平和竖直度盘及分微尺的成像，若不清晰，可调节清晰后，读出水平度盘或竖直度盘以及测微尺上的读数。

3.3 经纬仪的使用2整平

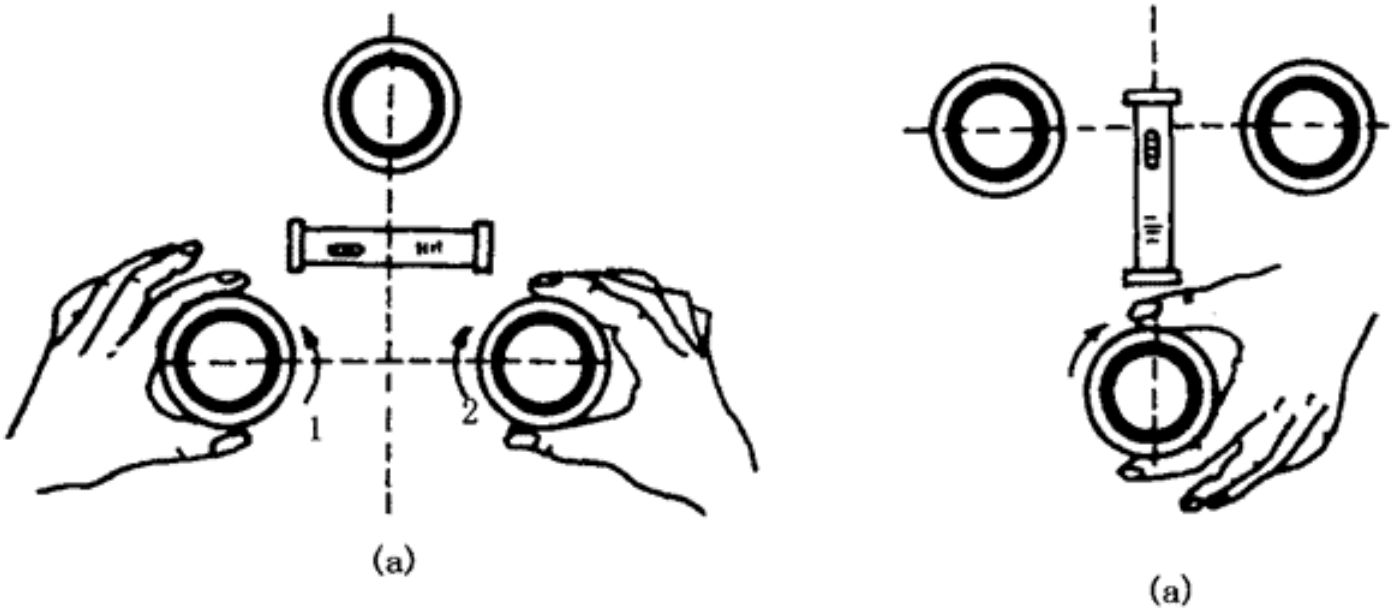


图 3-12　水准管气泡调整

3.3 经纬仪的使用3瞄准

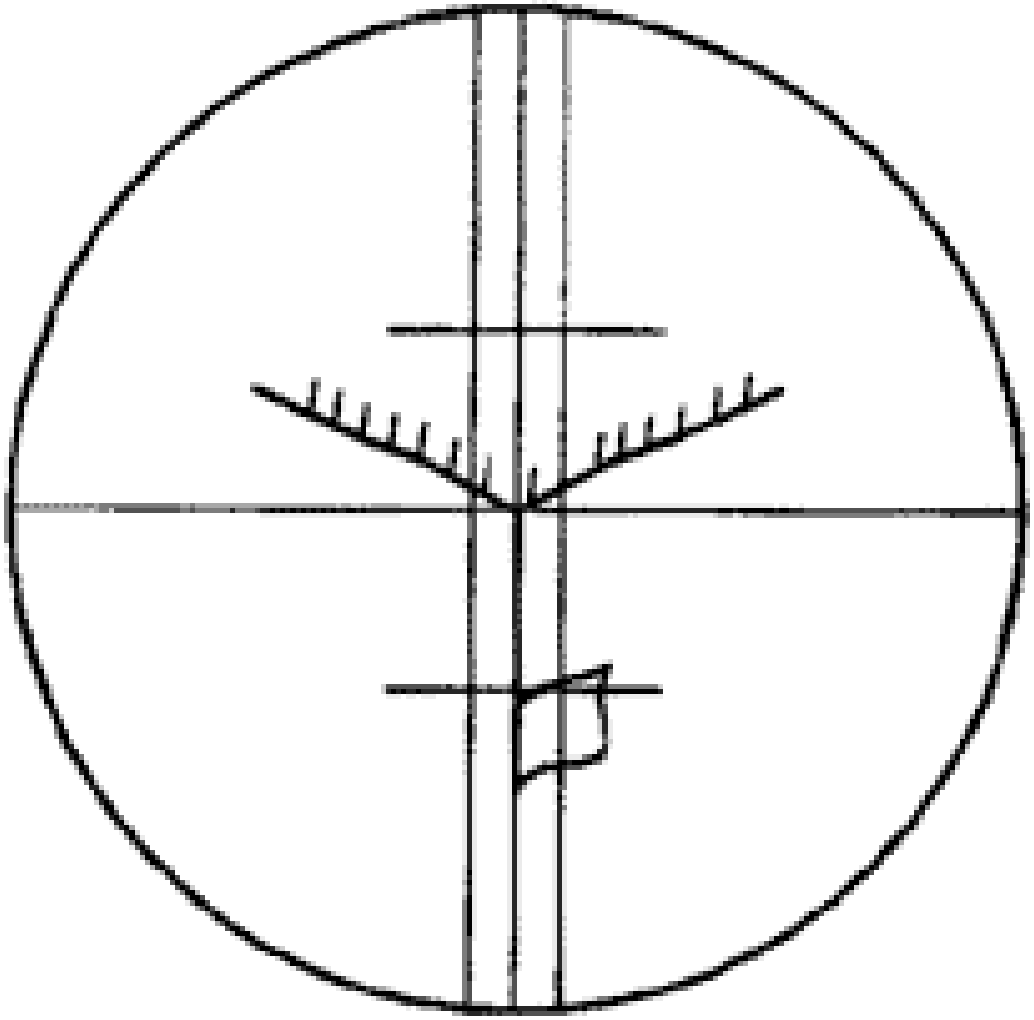


图 3-13　测水平角时瞄准目标

3.4 水平角测量

- 3.4.1测回法

  用于测量两个目标所构成的水平角

- 3.4.2方向法

  用于测量三个及其以上目标所构成的水平角

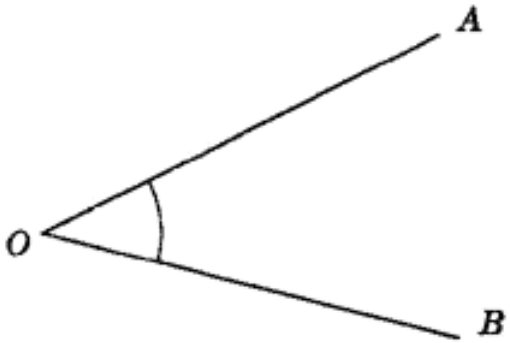


图 3-14　测回法测水平角

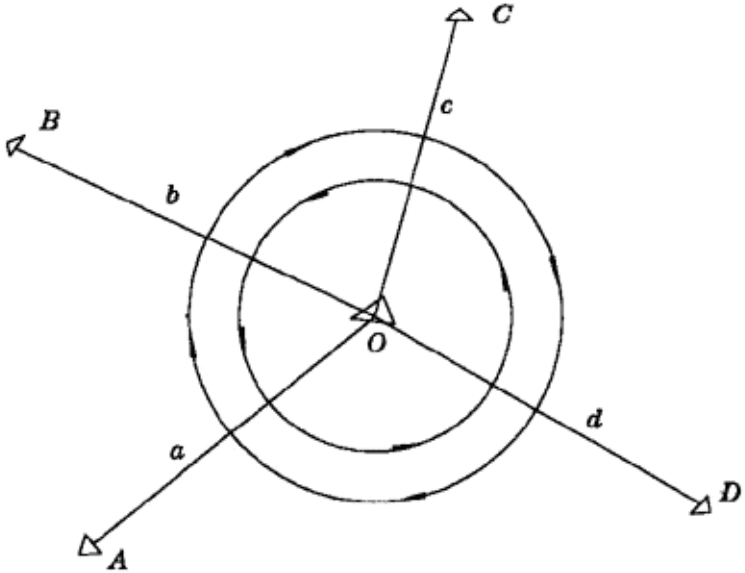


图 3-15　方向观测法

3.4.1 测回法1方法

- 在角顶O上安置经纬仪，对中整平
- 盘左测回
  - 先用盘左位置照准起始目标A，配度盘：转动度盘变换手轮配置读数为0°04′左右，然后读出读数a_L；
  - 顺时针转动照准部瞄准目标B，读数b_L；
- 盘右测回
  - 倒镜逆时针盘右照准目标B，读数b_R；
  - 逆时针转动照准部瞄准目标A读数a_L；
- 以上读数记入手簿中。
- 数据计算：

$$\beta_L = b_L - a_L$$

$$\beta_R = b_R - a_R$$

若 $\beta_L - \beta_R <= \pm 40''$,则 $\beta = (\beta_L + \beta_R)/2$

- 以上为一个测回观测，为提高精度，可按上述方法观测n个测回，但每测回盘左起始方向应按180°/n 配置度盘起始读数。

3.4.1 测回法2记录1

测站	目标	竖盘位置	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
1 O	A	左	0 12 12	71 56 36	71 56 33	71 56 36	
	B		72 08 48				
	A	右	180 12 00	71 56 30			
	B		252 08 30				
2 O	A	左	90 08 42	71 56 42	71 56 39		
	B		162 05 24				
	A	右	270 08 30	71 56 36			
	B		342 05 06				

$\beta_L - \beta_R <= \pm 40''$

3.4.1 测回法2记录2

测回法测角记录　　表 3-1

日期：2000 年 3 月 25 日　　天气：晴　　仪器：DJ6-65

观测者：王涛　　记录：蓝天

测　站	竖盘位置	目　标	度盘读数	半测回角值	一测回角值	各测回平均角值	备　注
第一测回 O	左	A	0°12′.2	71°56′.6	71°56′.6	71°56′.6	
		B	72°08′.8				
	右	A	180°12′.0	71°56′.5			
		B	252°08′.5				
第二测回 O	左	A	90°08′.7	71°56′.7	71°56′.6		
		B	162°05′.4				
	右	A	270°08′.5	71°56′.6			
		B	342°05′.1				

3.4.2 方向法-方法

- 若观测目标ABCD，先用盘左顺时针转动依次照准A→B→C → D→A；
- 再盘右逆时针转动照准部依次瞄准目标A→D → C →B→A。

以上读数也依次记入手簿中。以上也为一个测回观测，每测回盘左起始方向也应按180°/n 配置度盘起始读数。

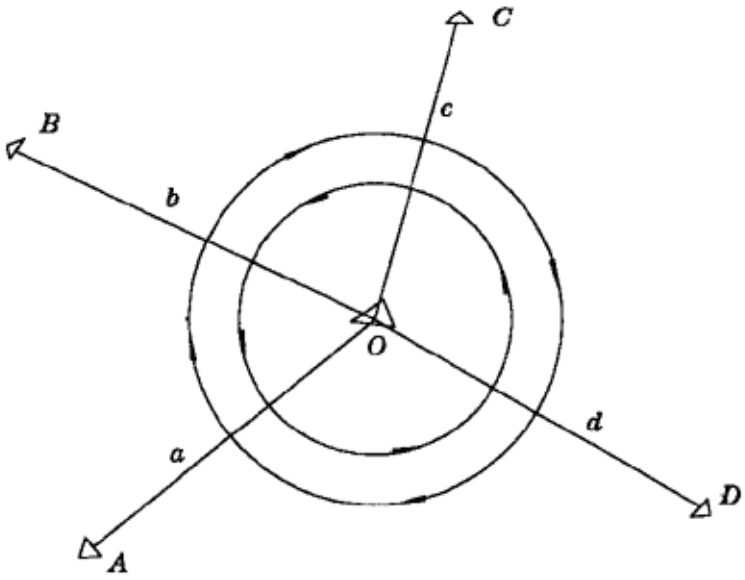


图 3-15 方向观测法

3.4.2 方向法-记录计算

测站	目标	水平度盘读数 盘左 ° ′ ″	水平度盘读数 盘右 ° ′ ″	2C ″	平均方向值 ° ′ ″	归零方向值 ° ′ ″	各测回平均方向值 ° ′ ″	备注
1	A	0 02 00	180 02 10	-10	(0 02 06) 0 02 05	0 00 00	0 00 00	
	B	52 33 40	232 33 40	0	52 33 40	52 31 34	52 31 37	
O	C	91 21 20	271 21 30	-10	91 21 25	91 19 19	91 19 22	
	D	138 42 30	318 42 50	-20	138 42 40	138 40 34	138 40 40	
	A	0 02 00	180 02 12	-12	0 02 06			
2	A	90 01 20	270 01 30	-10	(90 01 20) 90 01 25	0 00 00		
	B	142 33 00	322 33 00	0	142 33 00	52 31 40		
O	C	181 20 40	1 20 50	-10	181 20 45	91 19 25		
	D	228 42 00	48 42 10	-10	228 42 05	138 40 45		
	A	90 01 10	270 01 20	-10	90 01 15			

3.5 竖直角测量1

- 一、竖盘结构

  因为组成竖直角的水平视线方向固定，所以当视线水平时，竖盘读数是常数。竖盘安置在横轴上望远镜一侧，当望远镜转动时，竖盘转动但指示读数的指标固定。指标与竖盘指标水准管连在一起，当视线水平、气泡居中时，竖盘读数为90°或270°。

- 二、竖直角观测与计算
  - ①在角顶O上安置经纬仪，对中整平后，盘左位置照准目标顶端，调竖盘指标水准管气泡居中，读数L；
  - ②盘右照准目标，调竖盘指标水准管气泡居中，读数R；以上读数记入手簿中。

    以上为一个测回观测，为提高精度，可按上述方法观测n个测回。
  - ③ 计算竖直角：$\alpha_L = 90° - L$　　$\alpha_R = R - 270°$

    $\alpha = (\alpha_L + \alpha_R)/2$

- 三、竖直度盘指标差——当视线水平、竖盘指标水准管气泡居中时，竖盘指标不指向正确位置，而是有一差值x，其为指标差。其计算公式为：

$$x = \frac{\alpha_R - \alpha_L}{2}$$

3.5 竖直角测量2

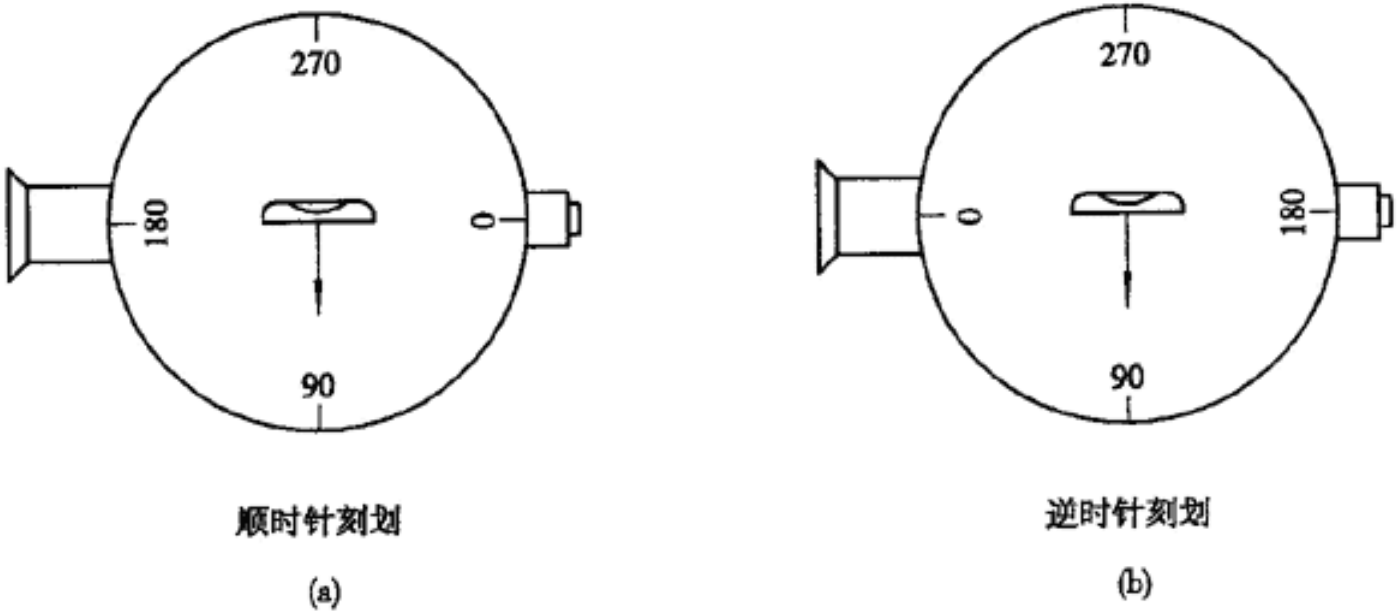


图 3-17　不同刻划的竖盘

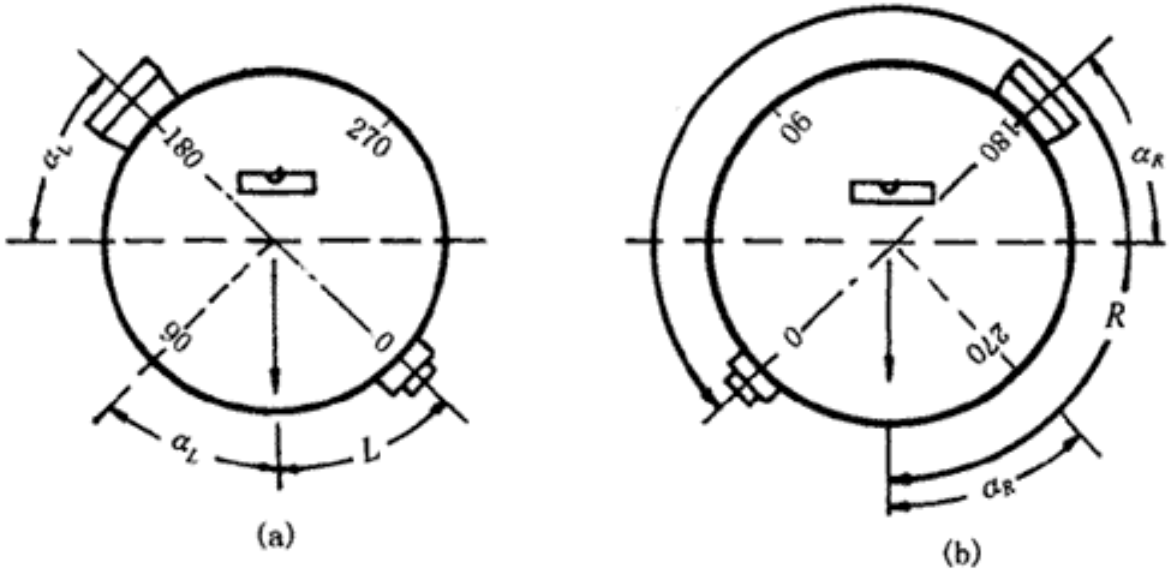


图 3-19　竖直角测量

(a)盘左位置；(b)盘右位置；

3.5 竖直角观测记录手簿

测站	测点	竖盘位置	竖盘读数 ° ′ ″	竖直角 ° ′ ″	竖直角平均值 ° ′ ″	指标差 ″	备注
O	M	左	72 23 30	+17 36 30	+17 36 15	-15	竖盘为顺时针注记
	M	右	287 36 00	+17 36 00			
	N	左	95 21 48	-5 21 48	-5 22 06	-15	
	N	右	264 37 42	-5 22 18			

3.6 经纬仪的检验和校正

- 一、经纬仪应满足的轴线条件
- 二、经纬仪的检验与校正

3.6.1经纬仪应满足的轴线条件

- 1.水准管轴垂直于竖轴；
- 2. 十字丝竖丝垂直于横轴；
- 3. 横轴垂直于竖轴；
- 4. 视准轴垂直于横轴

3.6.2经纬仪的检验与校正

1

- 照准部水准管的检验与校正
  - 1.检验：将仪器整平后，将照准部旋转180º，气泡仍居中，说明条件满足。若气泡偏离量超过一格，应进行校正。
  - 2. 校正：先用脚螺旋校正偏离量的一半，再用校正针拨动水准管校正螺丝使气泡居中。反复检验校正。
- 十字丝竖丝垂直于横轴的检验与校正
  - 1.检验：用十字丝中点精确瞄准一点状目标，固定竖直制动螺旋后，用微动螺旋使望远镜上、下移动。若点沿竖丝移动，则满足条件，否则需校正。
  - 2. 校正：打开目镜护盖，松开十字丝分划板固定螺丝，旋转十字丝分划板到正确位置后，再旋紧固定螺丝，盖上护盖。反复检验校正。

3.6.2 经纬仪的检验与校正

- 视准轴垂直于横轴的检验与校正
  - 1.检验：选择高差不大相距约60米的A、B两点，在其中点安置仪器， A点设标志， B点横放一根直尺，并使A点、 B尺和仪器的高度大致相同。盘左瞄准A点，固定照准部，纵转望远镜，在B尺读数为B_1。盘右操作读数为B_2 。若B_1与B_2重合，则满足条件，否则计算视准误差$c= \rho \cdot B_1B_2/4D$，若c＞60″时应进行校正。
  - 2. 校正：盘右位置保持B尺不动，在B尺上定出B_3点，使$B_2B_3 = B_1B_2/4$，用校正针拨十字丝校正螺丝，一松一紧，平移十字丝分划板，直到十字丝交点与B_3点重合，最后旋紧螺丝。反复检验校正。
- 横轴垂直于竖轴的检验与校正
  - 1.检验：在距墙30米处安置仪器，盘左瞄准墙上一个明显高点P，仰角应大于30°。固定照准部，将望远镜大致放平。在墙上标出十字丝中点所对位置P_1；盘右同法标出P_2。若P_1与P_2重合则满足条件，否则当横轴误差为i ＞20″时需校正。
  - 2. 校正：找出P_1与P_2的中点P_Z，打开支架护盖，旋转支架内的校正螺丝，使横轴一端抬高或降低，使十字丝交点与P_Z重合。此项校正应由专门机构进行。

3.6.2经纬仪的检验与校正

3

- 竖轴指标差的检验和校正
- 光学对中器的检验校正

3.6.2 经纬仪的检验与校正

4

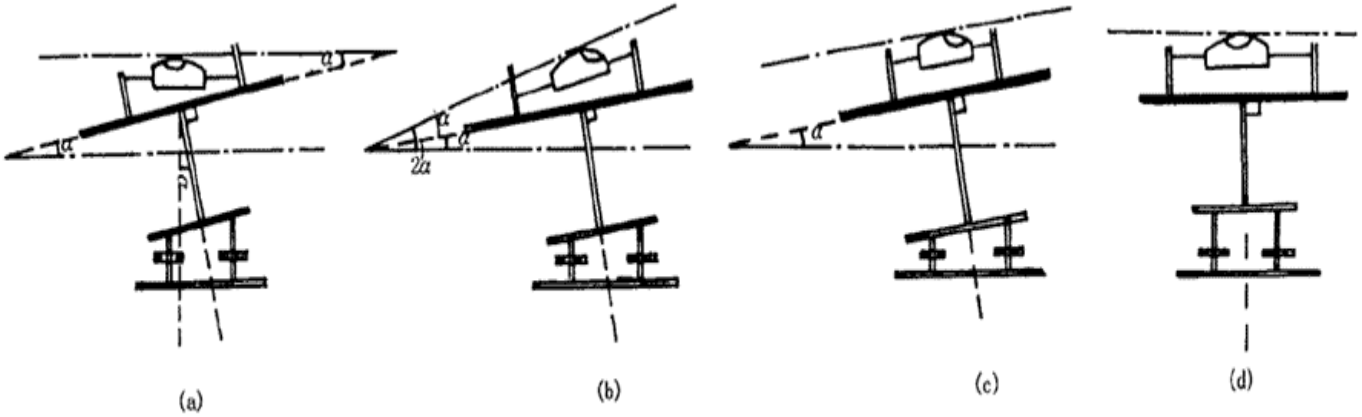


图 3-21 照准部水准管轴检校

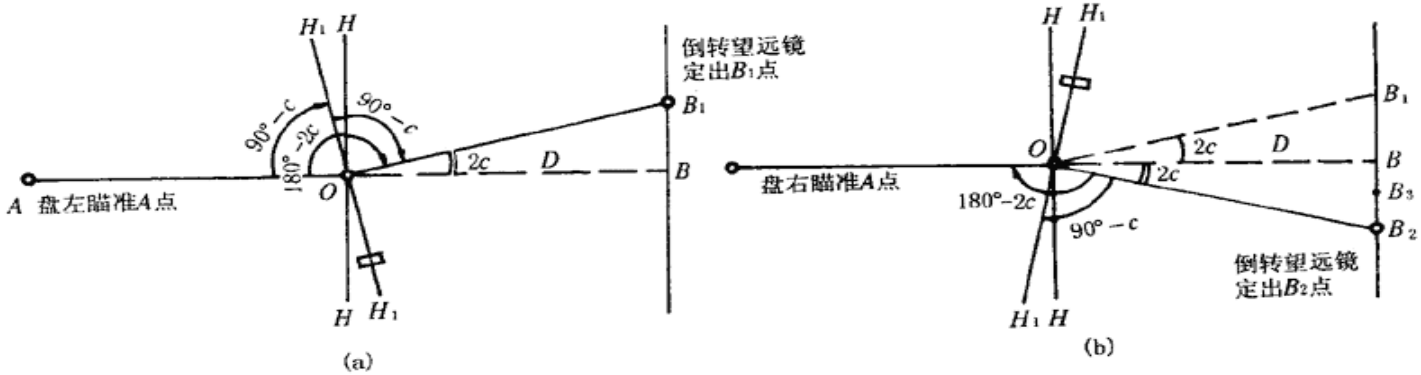


图 3-23 视准轴检验

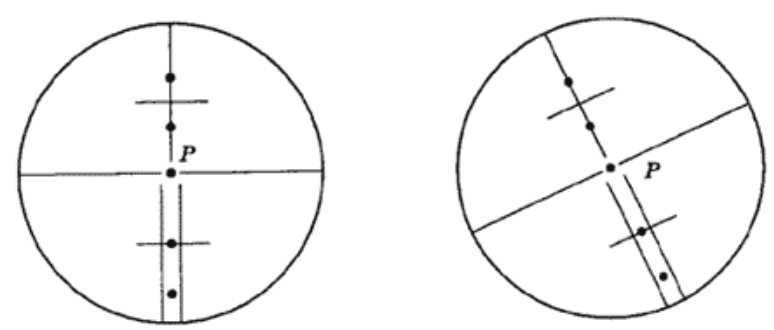


图 3-22 十字丝竖丝检验

3.6.2经纬仪的检验与校正

5

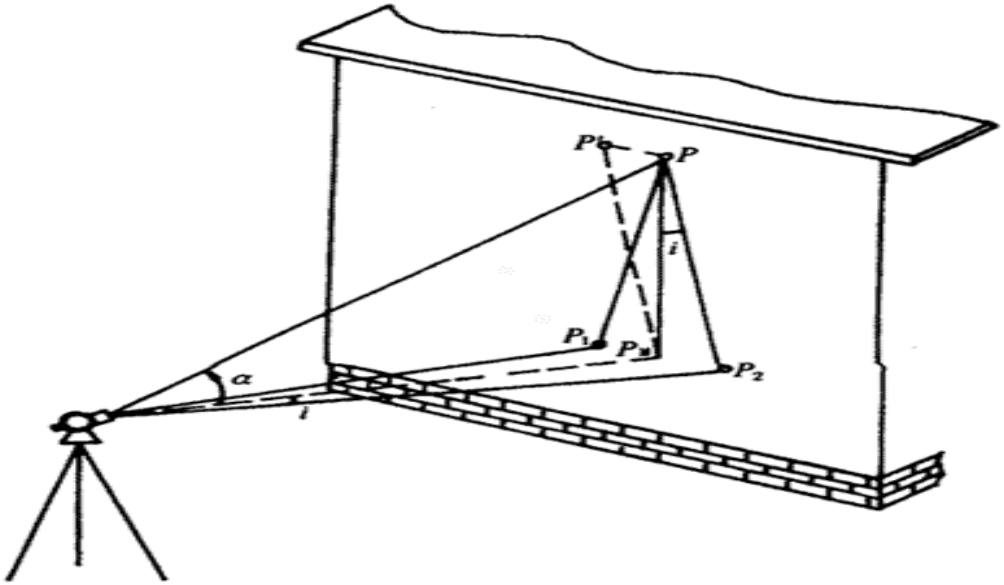


图 3-25　横轴检验

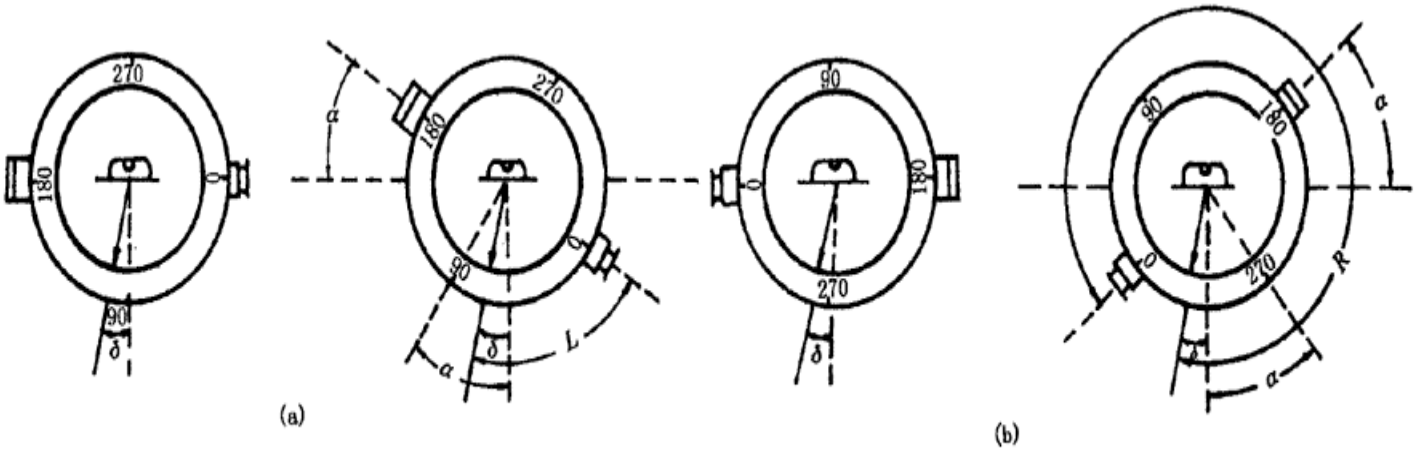


图 3-26　竖盘指标差

(a)盘左位置；(b)盘右位置

3.7 角度测量误差与注意事项

- 一、角度测量误差分析
  - 1.仪器误差：水平角测量时有照准部偏心误差、视准误差、横轴误差，它们可盘左盘右观测取平均值消除；还有度盘刻划不均匀误差，可采用配置度盘读数的方法减弱其影响；竖轴倾斜误差无法采用观测方法减弱或消除，应严格检校水准管和仔细整平。竖直角测量时有竖盘指标差，盘左盘右观测取平均值可消除。
  - 2.观测误差：有对中误差，其可采取强制归心或加改正数的方法消除；目标偏心误差，尽量瞄准目标底部，计算改正数；照准误差，是偶然误差；读数误差，取决于仪器读数设备。
  - 3.外界条件的影响
    - 应选择微风多云、空气清晰度好、大气湍流不严重的条件下观测。
- 二、角度观测注意事项

安置仪器高度适中，转动照准部及使用各种螺旋时，用力要轻；若观测目标高度相差较大，特别要注意整平仪器；消除视差，瞄准目标底部；按观测顺序记录读数，注意检查限差，超限应重测；一测回内不能重新整平，如需重新整平，可在测回之间进行。

主要参考资料

- 书籍
  - 《测量学》，合肥工业大学等合编，1993
  - 《建筑工程测量》，李生平，2003
  - 《工程测绘技术》，梁勇等，2000
  - 山东大学，测量学课件
  - 福州大学，测量学教学网站
  - 集美大学，测量学与地图学课件
- Internet资源
  - 国土资源部 http://www.mlr.gov.cn/
  - 国家测绘局 http://www.sbsm.gov.cn/
  - 中国测绘科学研究院 http://www.casm.ac.cn/
  - 武汉大学测绘学院 www.sgg.whu.edu.cn/
  - 南方测绘 http://www.southsurvey.com/
- 测量规范

普通测量学

单位：山东省农业管理干部学院农管系
作者：房元勋
电话：0531-8117779，13156110662
Email:Fangyuanxun@eyou.com

第四章 距离测量 1

- 测量距离是测量的基本工作之一，所谓距离是指两点间的水平长度。如果测得的是倾 斜距离，还必须改算为水平距离。按照所用仪器、工具的不同， 测量距离的方法有
  - 钢尺直接量距
  - 光电测距仪测距
  - 光学视距法测距等
- 测量直线的距离和方向，是测量的基本工作之一。距离和方向是确定地面点平面未知的基本量之一。测量距离的方法有钢尺和光电测距。要求学生掌握以上两种测距方法，并可以测定直线的方向。

第四章 距离测量2

- 4.1 钢尺量距
- 4.2 普通视距测量
- 4.3 光电测距
- 4.4 钢尺量距误差及其注意事项
- 4.5 直线定向

4.1 钢尺量距

- 4.1.1 钢尺量距的工具
- 4.1.2 钢尺量距的直线定线
- 4.1.3 一般钢尺量距的实施
- 4.1.4 精密钢尺量距的实施

4.1.1 钢尺量距的工具

1

- 钢尺
  - 钢尺是钢制的带尺，常用钢尺宽10mm，厚0.2mm；长度有20m、30m及50m几种，卷放在圆形盒内或金属架上。钢尺的基本分划为厘米，在每米及每分米处有数字注记。一般钢尺在起点处一分米内刻有毫米分划；有的钢尺，整个尺长内都刻有毫米分划。
  - 由于尺的零点位置的不同，有 端点尺和刻线尺的区别。 端点尺是以尺的最外端作为尺的零点，当从建筑物墙边开始丈量时使用很方便。刻线尺是以尺前端的一刻线作为尺的零点。
- 其他工具
  - 测钎：测钎用粗铁丝制成，用来标志所量尺段的起、迄点和计算已量过的整尺段数。
  - 花杆：标杆长2-3m，直径3-4cm，杆上涂以20cm间隔的红、白漆，以便远处清晰可见，用于标定直线 。
  - 垂球：垂球用来投点 。
  - 弹簧秤：控制拉力
  - 温度计：测定温度

4.1.1 钢尺量距的工具

2

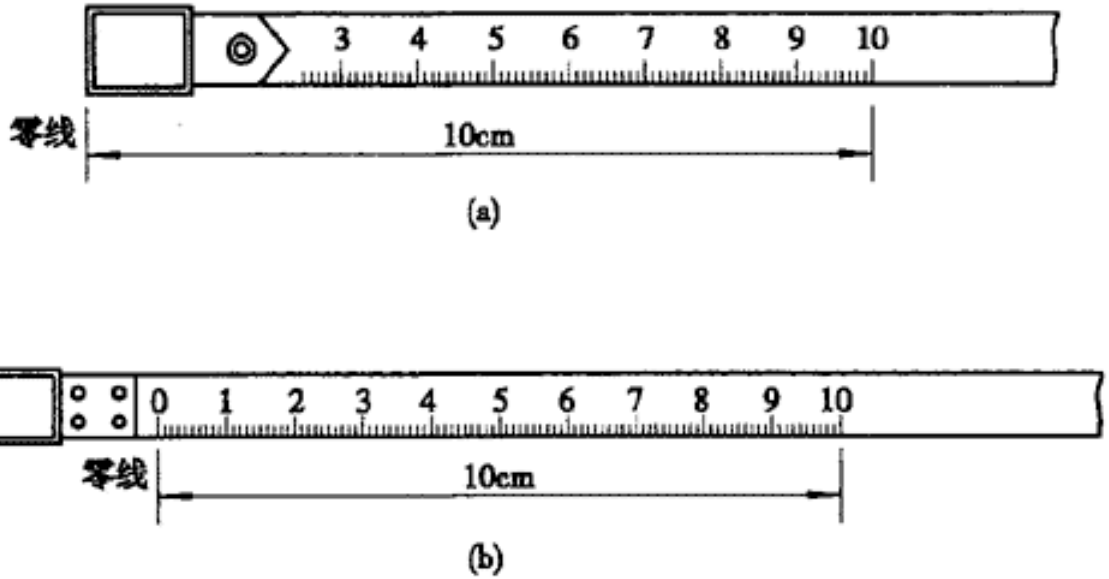


图 4-1 钢尺

4.1.2 钢尺量距的直线定线

- 当所测距离较长或地势起伏较大时，为使量距方便，可分段丈量。为使所量线段在同一直线上，须进行直线定线，即在直线上标定若干点，使这些点在同一直线上。
- 钢尺量距的直线定线直线定线的方法有目估定线和经纬仪定线。经纬仪定线适用于精密量距时。

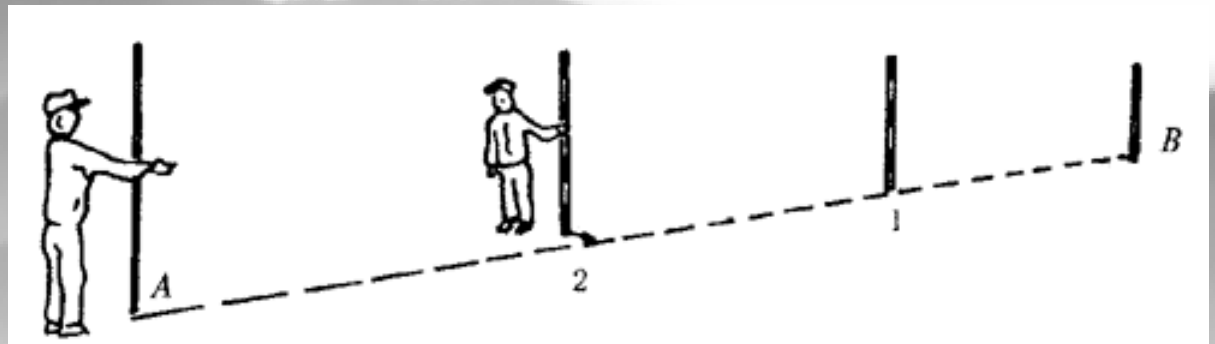


图 4-2　直线定线

4.1.3 一般钢尺量距的实施

- 4.1.3.1平坦地区的距离丈量
- 4.1.3.2倾斜地面的距离丈量
  - 4.1.3.2.1平量法 当地面起伏不大时
  - 4.1.3.2.2斜量法 当倾斜地面坡度均匀时

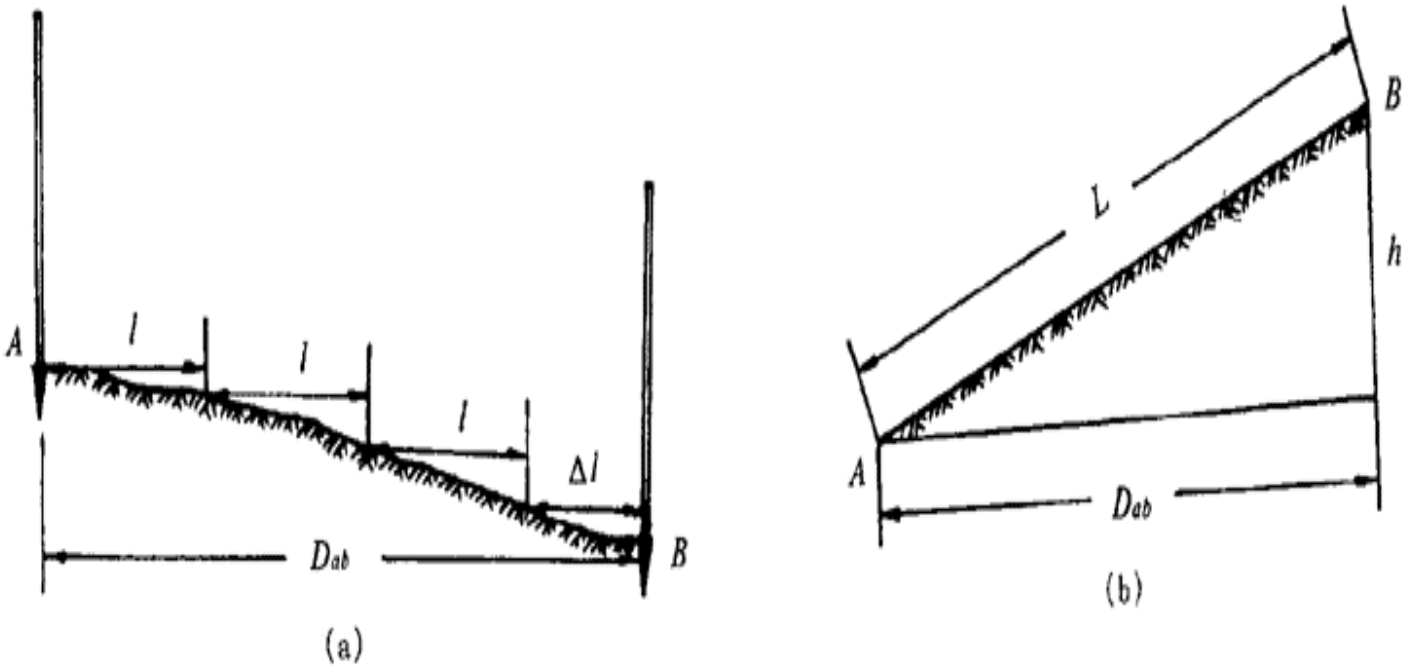


图 4-3 倾斜地面距离丈量

4.1.3.1 平坦地区的距离丈量

- 采用整尺法量距。当直线距离大于一个整尺段时，先用目估法标定出略小于一个整尺段的线段。然后一个尺段一个尺段的丈量，最后量出小于一个整尺段的长度，假若一个尺段长为l，则所量水平距离为：$D=nl+\Delta l$。为了提高精度，应往、返丈量取平均值。返测时应重新定线。
- 量距精度以相对误差表示，通常化为分子为1的分式形式,其值应小于1/3000。

4.1.4 精密钢尺量距的实施1方法

- 当量距精度要求在1/10000以上时，要用精密量距法。
- 步骤
  - 精密量距前应先清理场地
  - 用钢尺概量、经纬仪定线定出略小于一整尺段的长度，并做好标记。
  - 然后用检定过的钢尺用弹簧秤加标准拉力，丈量每一线段长度。丈量同时应测出钢尺温度或现场温度
  - 并用水准仪往返测测量每一线段两端点的高差。

4.1.4 精密钢尺量距的实施2-数据处理

- 精密量距成果应加尺长改正、温度改正和高差（倾斜）改正。
  - 1.尺长改正----钢尺名义长度 l_0一般不等于实际长度，每测段应加入尺长改正。在标准拉力、标准温度下钢尺实际长度为l‘，其差值Δl为整尺段的尺长改正，即 $\Delta l = l' - l_0$，任一长度l尺长改正公式为：
    - $\Delta l_d = \Delta l / l_0 \cdot l$
  - 2.温度改正—-受温度变化影响，钢尺长度会伸缩。当量距时温度t与检定时温度t_0不一致时，要进行温度改正，其计算公式为：
    - $\Delta l_t = \alpha \ (t - t_0)\ l$

    式中： α 为钢尺膨胀系数，为0.0000125/℃。
  - 3.倾斜改正—-设沿地面量斜距为l，测得高差为h，将l改算成水平距离，要加倾斜改正数，其计算公式为：
    - $\Delta l_h = d - l = -h^2/2l$
- 综上所述，每一测段改正后的水平距离为：
  - $d = l + \Delta l_d + \Delta l_t + \Delta l_h$

4.2 普通视距测量

- 原理：利用望远镜内的视距装置配合视距尺，根据几何光学和三角测量原理，同时测定距离和高差的方法。其精度较低，为1/200 ~1/300，只适用于碎部测量。
- 计算公式如下：
  水平距离为：$D=Kl\cos^2\alpha$
  高差为：$h=D\,tg\,\alpha+i-s$，
  i：仪器高；
  α：为竖直角值。
  - 如视线水平时
    $D=Kl$，$h=i-s$
- 视距测量方法：在测站A点安置仪器，在测点B放置水准尺，盘左瞄准水准尺，使竖盘指标水准管气泡居中后，依次读出竖盘读数、上下中丝读数，依据上述公式计算水平距离和高差。

4.3 光电测距

- 原理：利用仪器发射电磁波测量其在被测距离上往返所用的时间，从而测量出距离，其公式为：D=½ c t，按其测距原理有脉冲法和相位法测距两种。相位法测距精度较高。
- 测距仪分类：有微波测距仪、激光测距仪和红外测距仪。有短程(＜3km)、中程(3~15km)和远程(＞15km)之分。

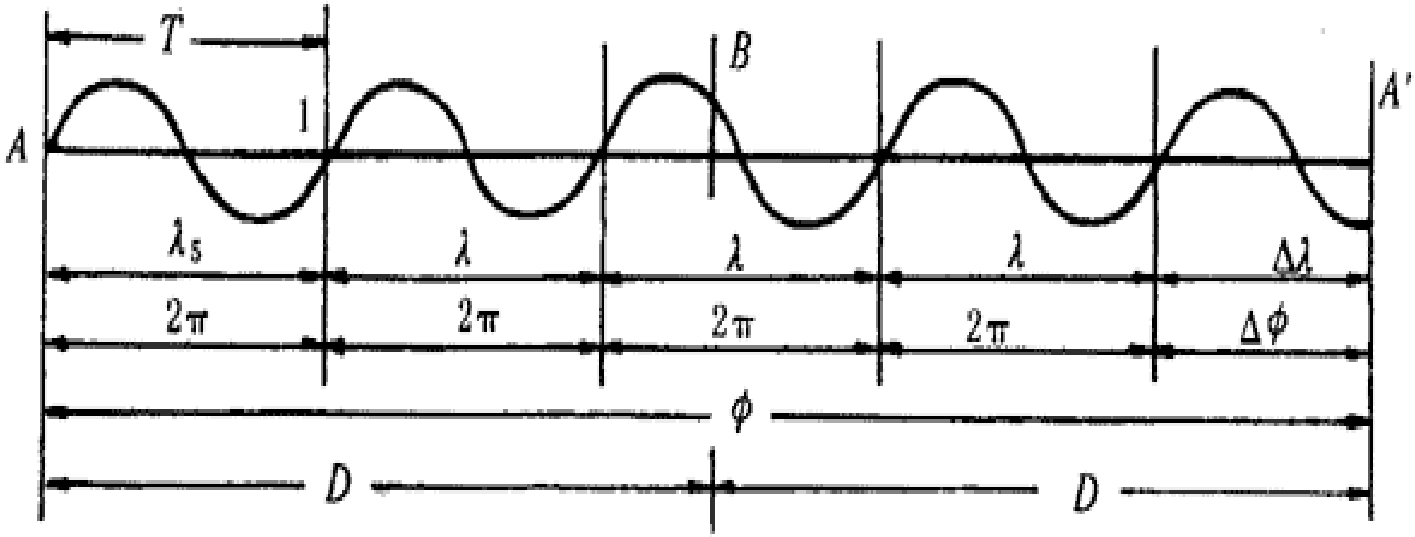


图 4-11　相位法测距

4.4 钢尺量距误差及其注意事项1

- 一、定线误差
- 二、尺长误差
  - 钢尺必须经过检定以求得其尺长改正数。尺长误差具有系统积累性，它与所量距离成正比。精密量距时，钢尺虽经捡定并在丈量结果中进行了尺长改正，其成果中仍存在尺长误差，因为一般尺长检定方法只能达到0.5mm左右的精度。一般量距时可不作尺长改正；
- 三、温度误差
  - 由于用温度计测量温度，测定的是空气的温度，而不是尺于本身的温度，在夏季阳光曝晒下，此两者温度之差可大于5°C。因此，量距宜在阴天进行，并要设法测定钢尺本身的温度。

4.4 钢尺量距误差及其注意事项2

- 四、拉力误差
  - 钢尺具有弹性，会因受拉而伸长。量距时，如果拉力不等于标准拉力，钢尺的长度就会产生变化。精密量距时，用弹簧秤控制标准拉力，一般量距时拉力要均匀，不要或大或小。
- 五、尺子不水平的误差
  - 钢尺一般量距时，如果钢尺不水平，总是使所量距离偏大。精密量距时，测出尺段两端点的高差，进行倾斜改正。用普通水准测量的方法是容易达到的。

4.4 钢尺量距误差及其注意事项3

- 六、钢尺垂曲和反曲的误差
  - 钢尺悬空丈量时，中间下垂，称为垂曲。故在钢尺检定时，应按悬空与水平两种情况分别检定，得出相应的尺长方程式，按实际情况采用相应的尺长方程式进行成果整理，这项误差可以不计。
  - 在凹凸不平的地面量距时，凸起部分将使钢尺产生上凸现象，称为反曲。设在尺段中 部凸起0．5m，由此而产生的距离误差，这是不能允许的。应将钢尺拉平丈量。

4.4 钢尺量距误差及其注意事项4

- 七、丈量本身的误差
  - 它包括钢尺刻划对点的误差、插测钎的误差及钢尺读数误差等。这些误差是由人的感官能力所限而产生，误差有正有负，在丈量结果中可以互相抵消一部分，但仍是量距工作的一项主要误差来源。

综上所述，精密量距时，除经纬仪定线、用弹簧秤控制拉力外，还需进行尺长、温度和斜改正。而一般量距可不考虑上述各项改正。但当尺长改正数较大或丈量时的温度与标准温度之差大于8℃时进行单项改正，此类误差用——根尺往返丈量发现不了。另外尺子拉平不容易做到，丈量时可以手持一悬挂垂球，抬高或降低尺子的一端，尺上读数最小的位置就是尺子水平时的位置，并用垂球进行投点及对点。

4.5 直线定向

确定地面上两点之间的相对位置，仅知道两点之间的水平距离是不够的，还必须确定此直线与标准方向之间的水平夹角。确定直线与标准方向之间的水平角度称为直线定向。

- 4.5.1 标准方向的种类
- 4.5.2 方位角
- 4.5.3 标准方向之间的关系
- 4.5.4 正、反坐标方位角
- 4.5.5坐标方位角的推算

4.5.1 标准方向的种类

- 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。用天文测量方法或用陀螺经纬仪测定。
- 2.磁子午线方向—通过地球表面某点的磁子午线的切线方向。磁子午线方向可用罗盘仪测定。
- 3.坐标纵轴方向—高斯投影中每带的中央子午线的投影方向。

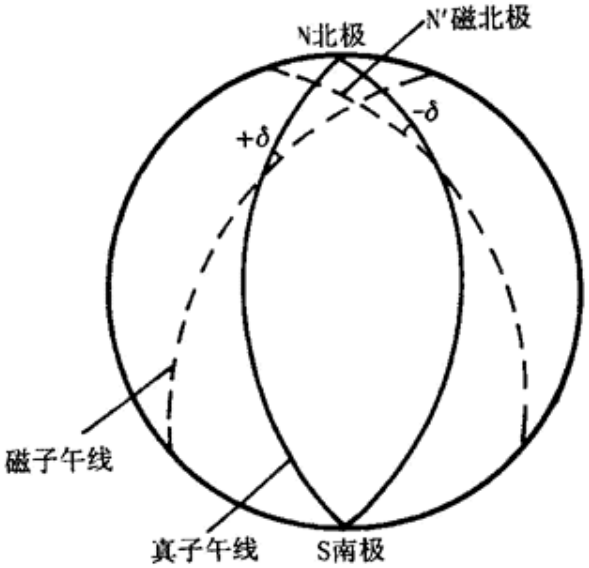


图 6-5　真子午线与磁子午线

4.5.2 方位角

- 由标准方向的北端起，顺时针量至某直线的夹角。其值范围为0~360°，有真方位角、磁方位角和坐标方位角。

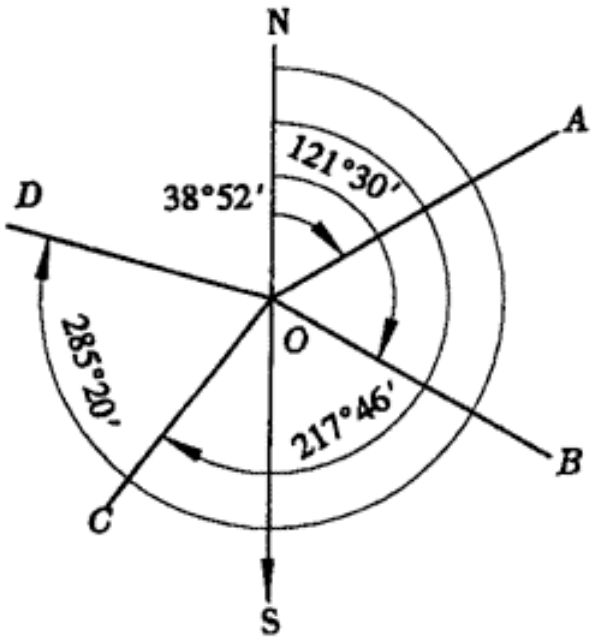


图 6-7　方位角

4.5.3 标准方向之间的关系

- 1.磁偏角：过地球上某点的真子午线与磁子午线之间的夹角，以真子午线方向为准，磁子午线东偏为正，西偏为负，即 $A=A_m \pm \delta$ 。
- 2.子午线收敛角：过地球上某点的真子午线与中央子午线之间的夹角，以真子午线方向为准，中央子午线东偏为正，西偏为负，即 $A=\alpha_{12} \pm \gamma$ 。

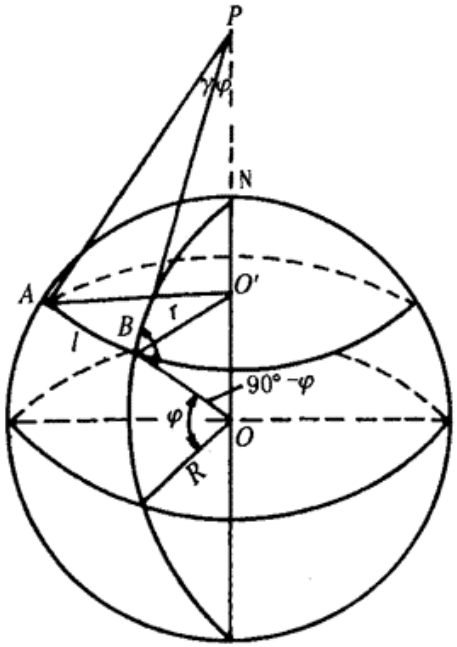


图 6-6　子午线收敛角

4.5.4 正、反坐标方位角

- 直线AB的坐标方位角为 α_{AB}，直线BA的坐标方位角为 α_{BA},
- 其关系为： $\alpha_{AB} = \alpha_{BA} \pm 180°$ (各点的坐标纵轴方向互相平行，但各点的真子午线与磁子午线方向则没有此特殊关系)。

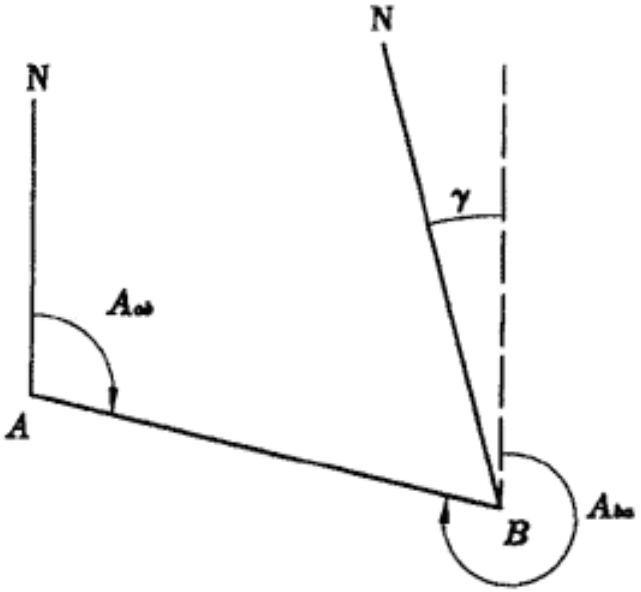


图 6-8　正、反方位角

4.5.5 坐标方位角的推算

- α 前= α 后+180° +β 左（适用于测左角）
- α 前= α 后+180° -β 右（适用于测右角）

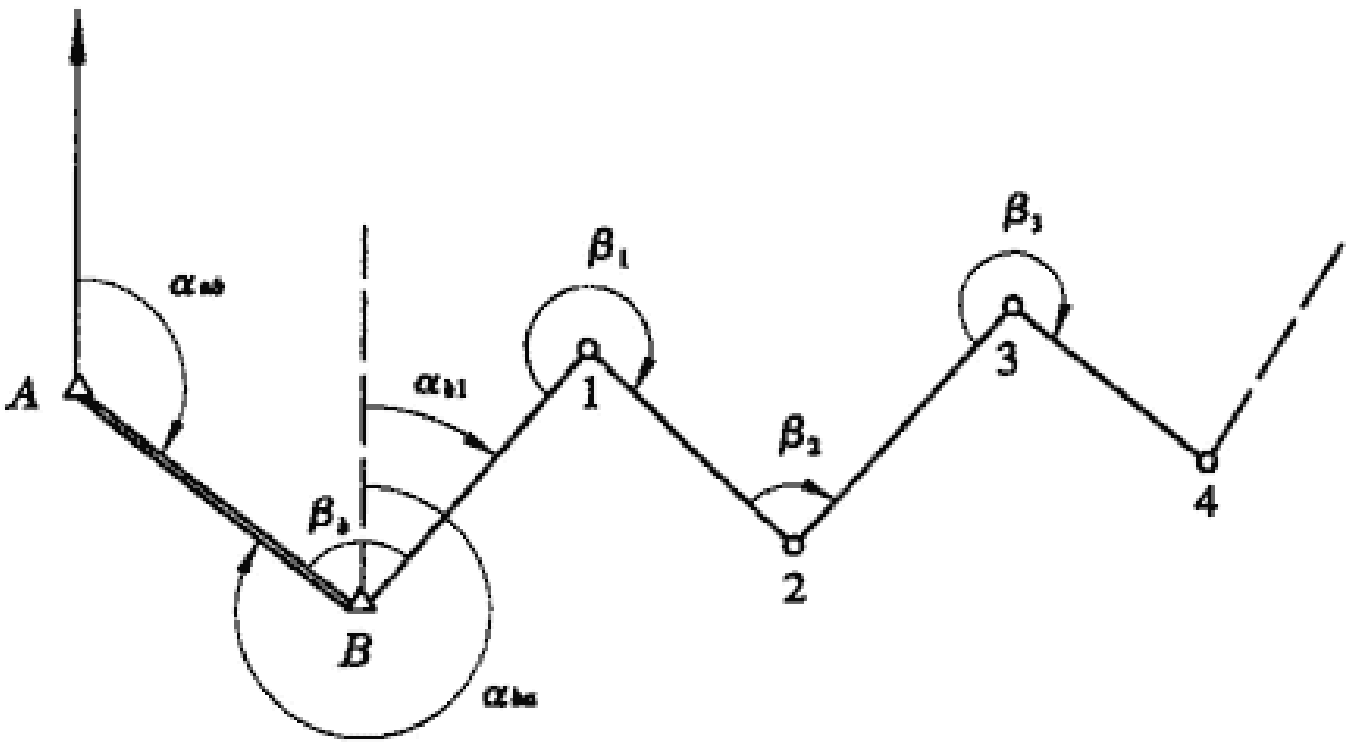


图 6-9　方位角计算

主要参考资料

- 书籍
  - 《测量学》，合肥工业大学等合编，1993
  - 《建筑工程测量》，李生平，2003
  - 《工程测绘技术》，梁勇等，2000
  - 山东大学，测量学课件
  - 福州大学，测量学教学网站
  - 集美大学，测量学与地图学课件
- Internet资源
  - 国土资源部 http://www.mlr.gov.cn/
  - 国家测绘局 http://www.sbsm.gov.cn/
  - 中国测绘科学研究院 http://www.casm.ac.cn/
  - 武汉大学测绘学院 www.sgg.whu.edu.cn/
  - 南方测绘 http://www.southsurvey.com/
- 测量规范

普通测量学

单位：山东省农业管理干部学院农管系
作者：房元勋
电话：0531-8117779，13156110662
Email:Fangyuanxun@eyou.com

第五章 测量误差基本知识

- 5.1 测量误差概述
- 5.2 衡量精度的标准
- 5.3 误差传播定律
- 5.4 算术平均值及其中误差
- 5.5 用观测值的改正数计算中误差

5.1 测量误差概述

测量工作中，尽管观测者按照规定的操作要求认真进行观测，但在同一量的各观测值之间，或在各观测值与其理论值之间仍存在差异。例如，对某一三角形的三个内角进行观测，其和不等于180°；又如所测闭合水准路线的高差闭合差不等于零等，这说明观测值中包含有观测误差。研究观测误差的来源及其规律，采取各种措施消除或减小其误差影响，是测量工作者的一项主要任务。

- 5.1.1 测量误差产生的原因
- 5.1.2 测量误差的分类及特性

5.1.1 测量误差产生的原因1

- 测量仪器
  - 每种仪器有一定限度的精密程度，因而观测值的精确度也必然受到一定的限度。同时仪器本身在设计、制造、安装、校正等方面也存在一定的误差，如钢尺的刻划误差、度盘的偏心等。
- 观测者
  - 由于观测者感觉器官鉴别能力有一定的局限性，在仪器安置、照准、读数等方面都产生误差。同时观测者的技术水平、工作态度及状态都对测量成果的质量有直接影响。
- 外界条件
  - 观测时所处的外界条件，如温度、湿度、大气折光等因素都会对观测结果产生一定的影响。外界条件发生变化，观测成果将随之变化。

5.1.1 测量误差产生的原因2

- 仪器、观测者和外界环境统称为观测条件
  - 观测条件相同的称为等精度观测
  - 观测条件不同的称为非等精度观测

5.1.2 测量误差的分类及特性=系统误差

系统误差

- 在相同的观测条件下作一系列观测，若误差的大小及符号表现出系统性，或按一定的规律变化，那么这类误差称为系统误差。
- 特性
  - 等值性
  - 累加性
  - 同号性
- 消除或者减弱方法
  - 计算改正
  - 合适的观测方法
    - 中间法
    - 盘坐盘右取平均值
  - 对仪器进行检验和校正

5.1.2 测量误差的分类及特性=偶然误差

偶然误差

- 在相同的观测条件下，对某量进行多次观测，若误差在数值和符号上均不相同或从表面看没有规律性，即为偶然误差。
- 特性
  - 有界性：在一定的观测条件下，多次观测值产生的偶然误差不会超过一定的限值；
  - 单峰性：绝对值较小的误差比绝对值较大的误差出现的频率大；
  - 对称性：绝对值相等的正负误差出现的频率相等；
  - 抵偿性：当观测次数无限增大时，偶然误差的算术平均值取近于零。
- 消除或者减弱的方法：平差处理

5.2 衡量精度的标准

观测值中所包含的偶然误差的大小说明了观测精度的高低。偶然误差又称为真误差，其值为某量的观测值与其真值的差值，即

$$\Delta_i = l_i - X$$

- 5.2.1平均误差：
- 5.2.2中误差：
- 5.2.3允许误差：
- 5.2.4相对误差：

5.2.1 平均误差

- 可以取真误差绝对值的平均值来衡量观测值的精度。

$$\theta = \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + \Lambda + |\Delta_n|}{n} = \frac{[|\Delta|]}{n}$$

5.2.2 中误差

- 取真误差平方和的平均值的平方根来衡量观测值的精度。
- 当真值未知时，用观测值的改正数计算

$$m = \pm\sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$$

$$m = \pm\sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$$

5.2.3 允许误差

- 取中误差的两倍或三倍作为允许（极限）误差。

$$\Delta_{允} = 2\,m \quad 或 \quad \Delta_{允} = 3\,m$$

5.2.4 相对误差

- 当误差大小与观测值本身有关时，应用相对误差表示。其值是中误差的绝对值与观测值的比值，以分子为1的分数形式表示

5.3 误差传播定律1

设有一般函数Z=f (x_1, x_2, … , x_n)。其中： x_1, x_2, … , x_n是相互独立的观测值，其中误差分别为m_1, m_2, m_3 … , m_n。当x_1, x_2, … , x_n 的真误差分别为 Δ x_1, Δ x_2, … , Δ x_n时，函数Z的真误差为 Δ z。对函数求偏导，并用 Δ z代替dz ，用 Δ x代替dx 。即得

$$\Delta z = \frac{\partial z}{\partial x_1}\Delta x_1 + \frac{\partial z}{\partial x_2}\Delta x_2 + \Lambda + \frac{\partial z}{\partial x_n}\Delta x_n$$

对上式用误差传播定律得

$$m_z^2 = \left(\frac{\partial z}{\partial x_1}\right)^2 m_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x_2}\right)^2 m_{x_{21}}^2 + \Lambda + \left(\frac{\partial z}{\partial x_n}\right)^2 m_{x_n}^2$$

5.3 误差传播定律2

- 5.3.1 倍数函数
  - 函数形式：$Z=k\,x$
  - 误差传播公式：$m_Z=k\,m_x$
- 5.3.2 和差函数
  - 函数形式：$Z=x_1 \pm x_2 \pm \ldots \pm x_n$
  - 误差传播公式：
    - $m_Z= m_1 +m_2 + \ldots +m_n$
- 5.3.3 一般线性函数
  - 函数形式：$Z= k_1x_1 \pm k_2x_2 \pm \ldots \pm k_nx_n$
  - 误差传播公式：
    - $m_Z^2= (k_1m_1)^2+ (k_2m_2)^2 + \ldots (+k_nm_n)^2$

5.4 算术平均值

- 算术平均值：对某量进行多次观测后取算术平均值。
- 算术平均值中误差

$$x = \frac{l_1 + l_2 + \Lambda + l_n}{n} = \frac{[l]}{n}$$

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

5.5 用观测值改正数计算中误差

$$m = \pm\sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$$

5.5 用观测值改正数计算中误差=实例

次序	观测值m	v mm	[vv]	计算
1	119.913	+5	25	L=119.918
2	119.918	0	0	
3	119.925	-7	49	$m=\pm\sqrt{\frac{118}{6-1}}=\pm4.9mm$
4	119.920	-2	4	
5	119.912	+6	36	$m_L=\frac{m}{\sqrt{6}}=\pm2.0mm$
6	119.920	-2	4	
Σ		0	118	

主要参考资料

- 书籍
  - 《测量学》，合肥工业大学等合编，1993
  - 《建筑工程测量》，李生平，2003
  - 《工程测绘技术》，梁勇等，2000
- Internet资源
  - 国土资源部 http://www.mlr.gov.cn/
  - 国家测绘局 http://www.sbsm.gov.cn/
  - 中国测绘科学研究院 http://www.casm.ac.cn/
  - 武汉大学测绘学院 www.sgg.whu.edu.cn/
  - 南方测绘 http://www.southsurvey.com/
  - 山东大学，测量学课件
  - 福州大学，测量学教学网站
  - 集美大学，测量学与地图学课件
- 测量规范