

第五章

角度、距离测量与全站仪



武汉大学

Wuhan University



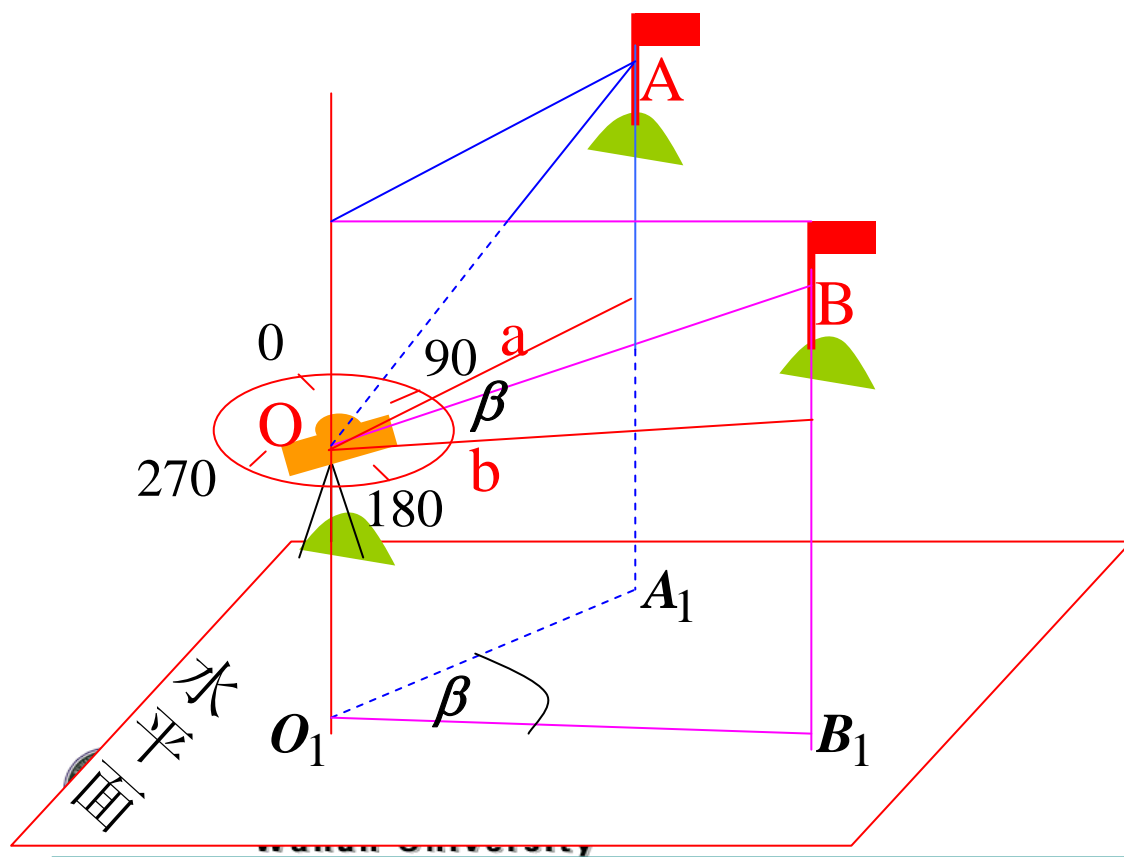
§ 5.1 角度测量原理

一、水平角测量原理

水平角：相交的两直线之间的夹角在水平面上的投影 ($0\sim 360^\circ$)。

$$\beta = b - a$$

仪器安置的高低及瞄准目标的高低不同部位对水平角的观测有无影响？



二、竖直角测量原理

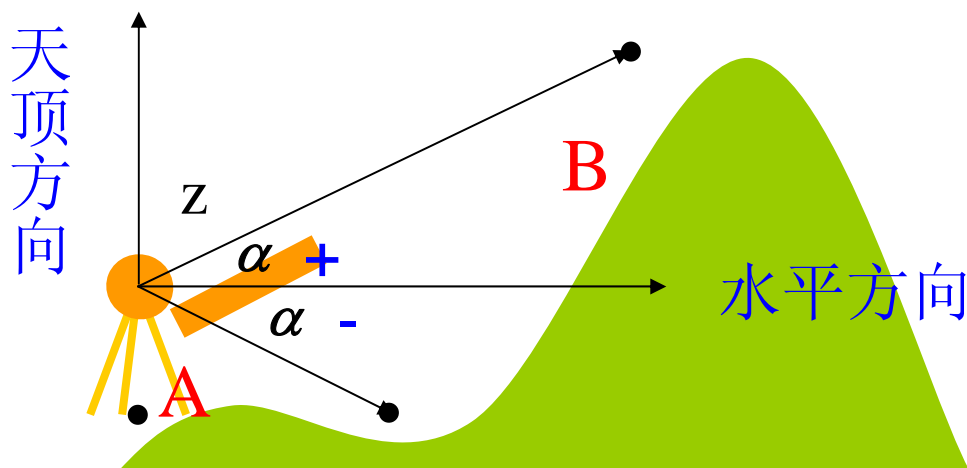
竖直角：同一竖直面内，目标方向线与一特定方向线之间的夹角，称为竖直角。

高度角：在同一竖直面内，目标方向和水平方向间的夹角（ $0 \sim \pm 90^\circ$ ）。

$$(0^\circ \leq z \leq 180^\circ)$$

天顶距：在同一竖直面内，目标方向与天顶方向所构成的角（ $0 \sim 180^\circ$ ）。

$$(0^\circ \leq |z| \leq 180^\circ)$$



竖角 α 与天顶距 Z 的关系为

$$\alpha = 90^\circ - Z$$

天顶距和高度角统称为**竖直角**。

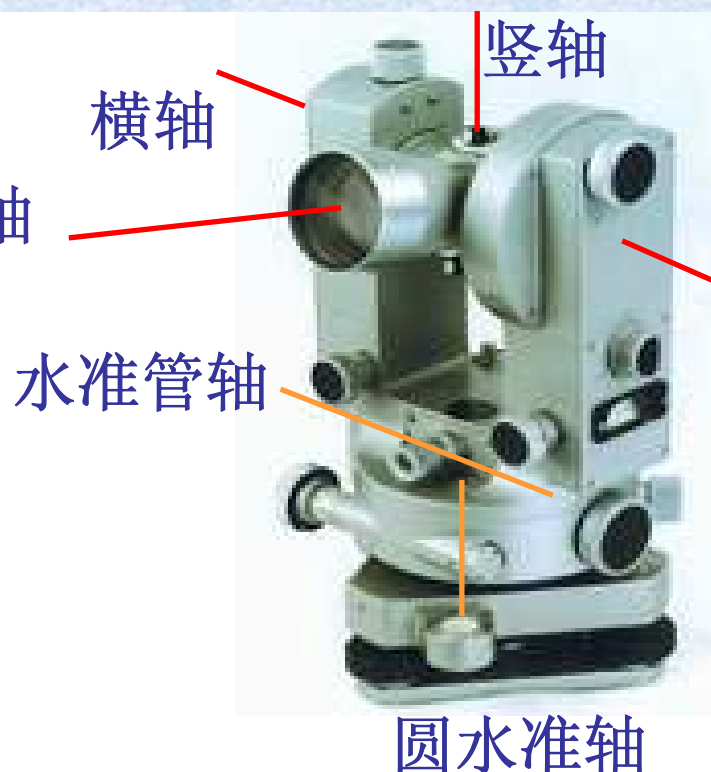
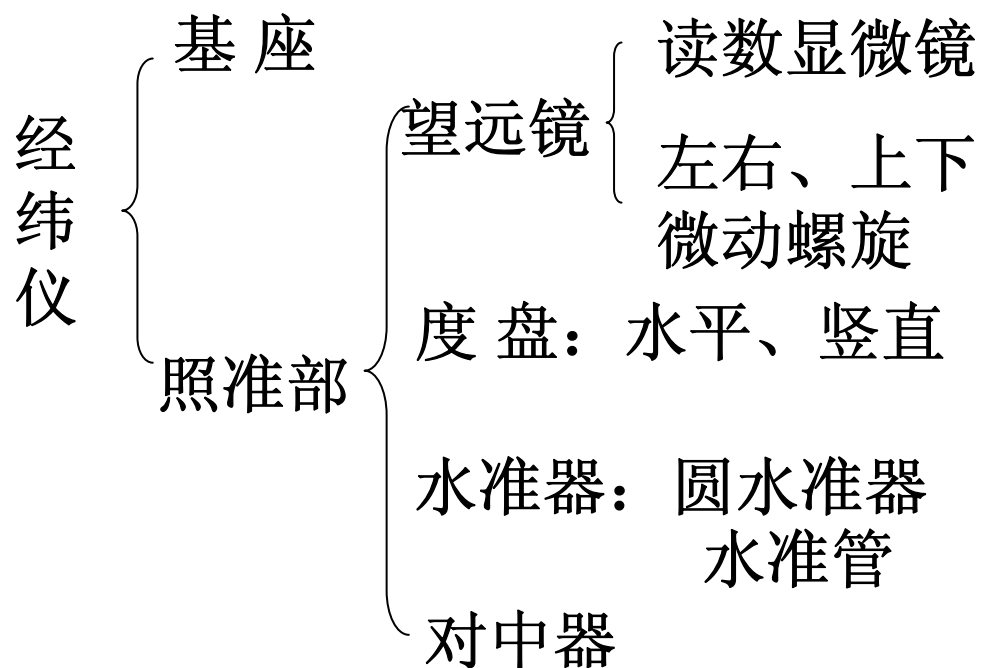
高度角,习惯上又称为**竖角**，也称为**垂直角**。

§ 5.2 经纬仪

一、经纬仪的基本构造及分类

(一)、基本构造

1、构造



竖轴：仪器的旋转轴；
横轴：望远镜的旋转轴；
视准轴：望远镜的十字丝中心与物镜中心的连线；
水准轴：水准管水准轴与圆水准器的水准轴。



武汉大学

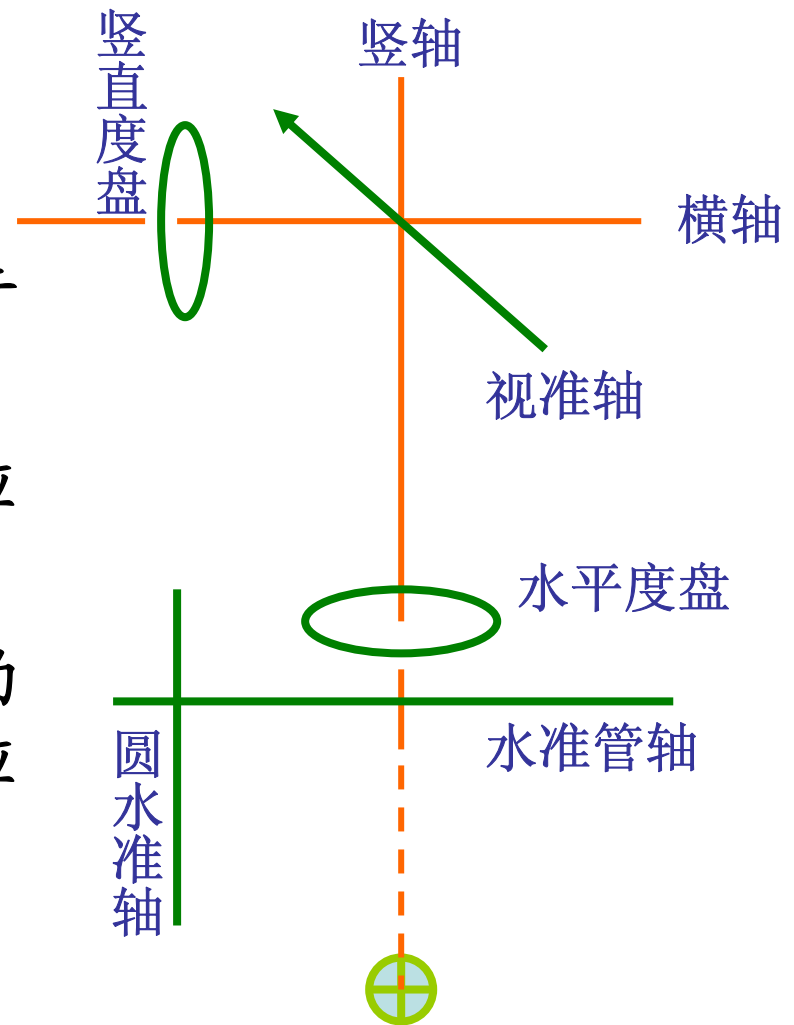
Wuhan University

§ 5.2 经纬仪

2、经纬仪的轴系关系：

经纬仪应满足的条件：

- **竖轴**必须**竖直**（水准管轴应垂直于竖轴）；
- **水平度盘**必须**水平**，其**分划中心**应在**竖轴上**（水平读盘垂直于竖轴）
- 望远镜上下转动时，视准轴形成的视准面必须是竖直平面（视准轴应垂直于横轴）
- 竖丝应垂直于横轴



武汉大学

Wuhan University



3. 经纬仪的分类

- 光学经纬仪： 光学玻璃度盘，采用光学法读数。
- 电子经纬仪： 电子度盘，电子法测角技术获取角值。

我国大地测量仪器的总代号为汉语拼音字母“D”，经纬仪代号为“J”。经纬仪的类型很多，我国经纬仪系列是按野外“一测回水平方向中误差”这一精度指标划分为DJ07、DJ1、DJ2、DJ6、DJ15五个等级。例如“DJ6”表示经纬仪野外“一测回水平方向中误差”不超过6″，简写为“J6”。



武汉大学

Wuhan University



二、光学经纬仪的读数设备

1、度盘

1) 水平度盘 — 水平角

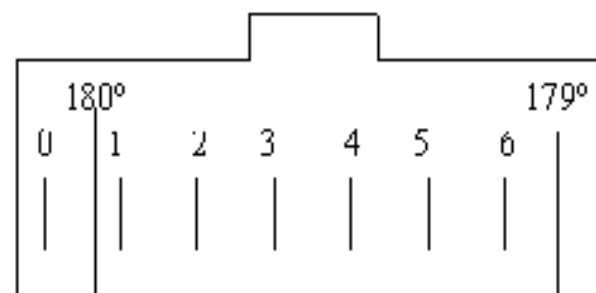
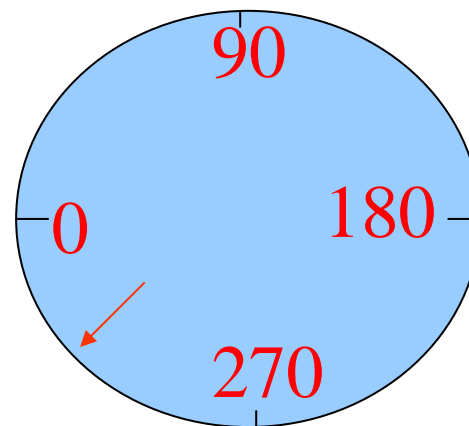
2) 竖直度盘 — 竖直角

2、读数设备

1) 读数显微镜 — 放大度盘

上的读数

2) 测微器 — 精确量取小于度盘上的最小刻划的读数



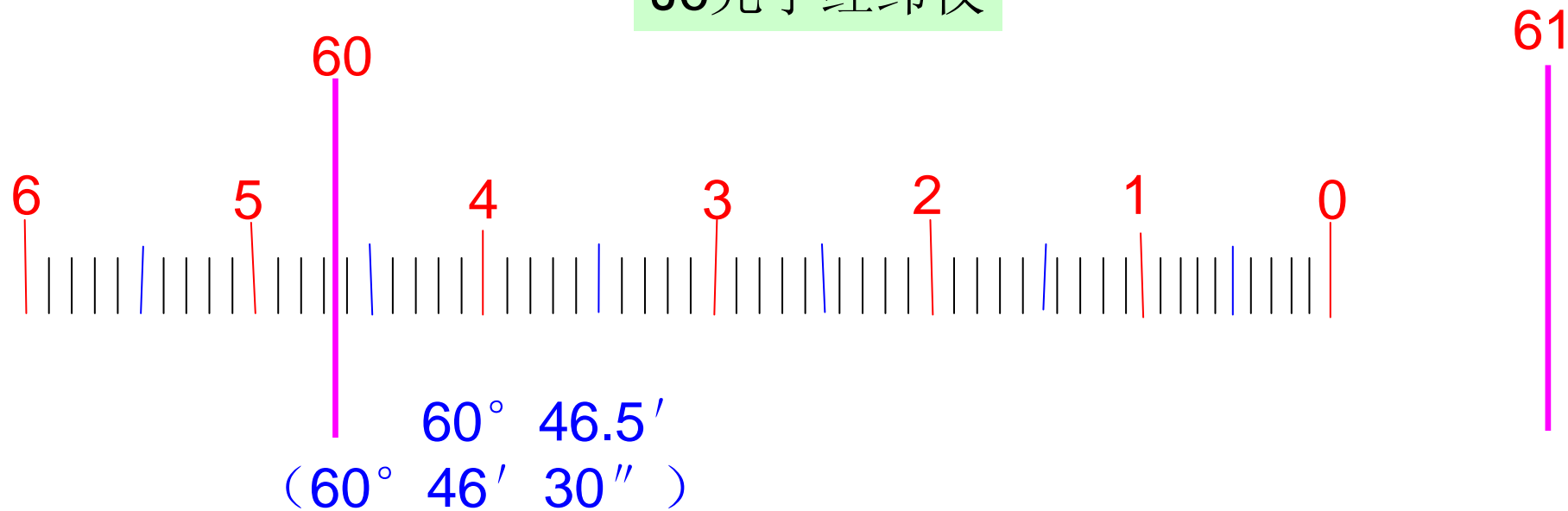
武汉大学

Wuhan University



3、分微尺读数装置

J6光学经纬仪



水平度盘

水平

—

H

竖直度盘

竖直

⊥

V



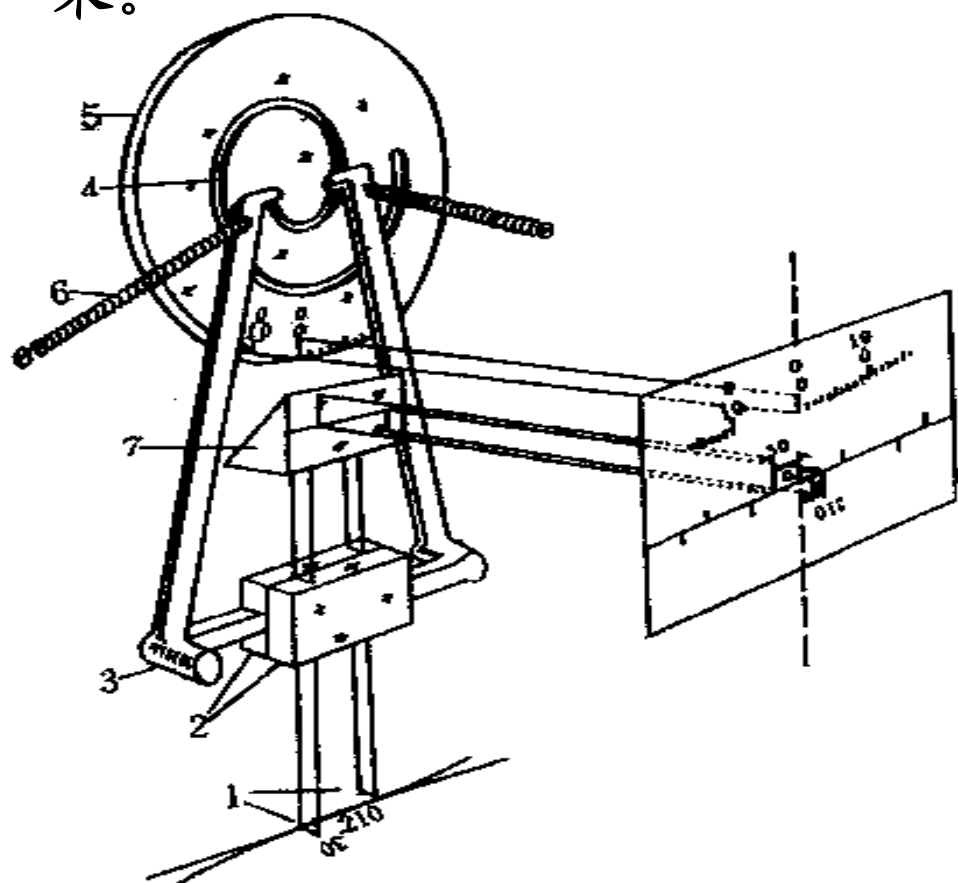
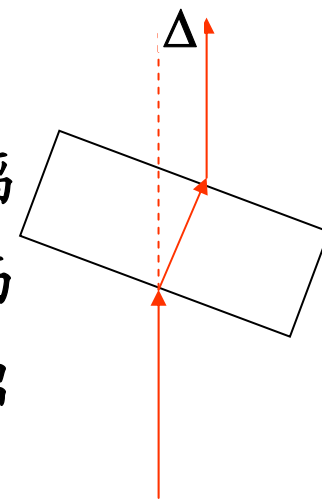
武汉大学

Wuhan University

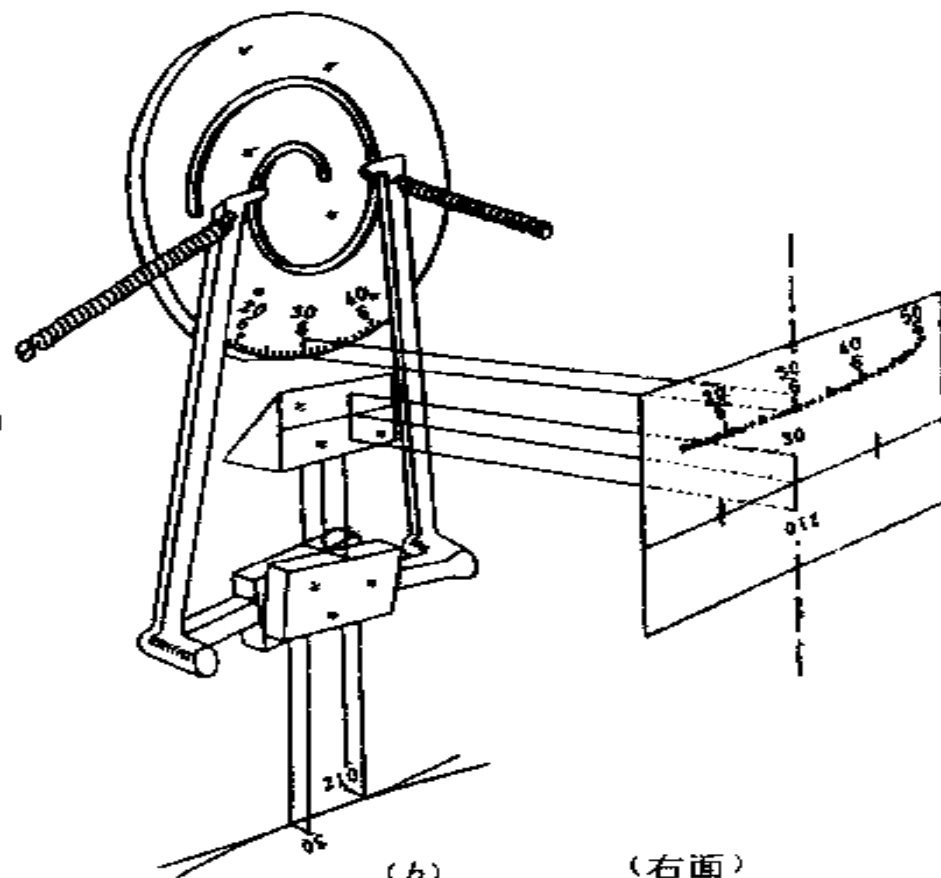


4、双平板玻璃光学测微器

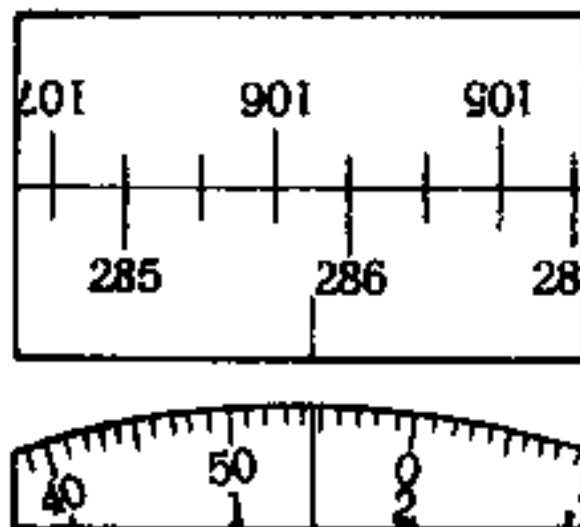
基本原理：转动测微手轮时，一对移动光楔或平板玻璃作等量相反方向运动可使度盘分划线影像作相向移动而彼此接合，这个移动量可在秒盘相应的转动量上显示出来。



(a) (左面)

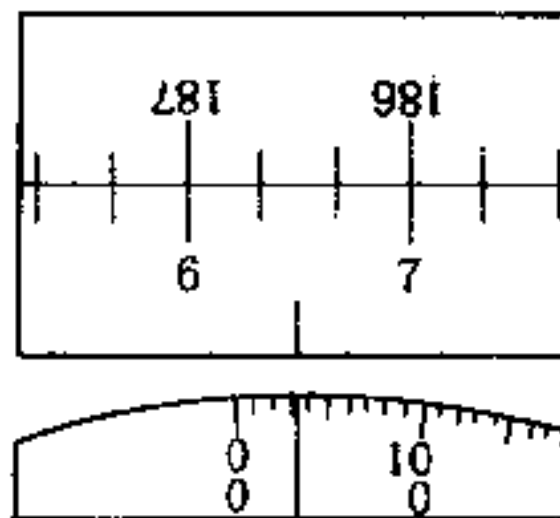


(b) (右面)



度盘读数 $285^{\circ} 50'$
 秒盘读数 $1' 54.5''$

 $285^{\circ} 51' 54.5''$
 (a)



度盘读数 $6^{\circ} 30'$
 秒盘读数 $0' 03.3''$

 $6^{\circ} 30' 03.3''$
 (b)

度盘最小分划 $20'$ ，转动测微手轮使度盘，对径分划影像重合。
 在度盘上读取整 $10'$ 。

$10'$ 对应600小格，最小分划 $1''$ ，不足 $10'$ 在秒盘上读取



武汉大学

Wuhan University



三、电子经纬仪

采用光电扫描度盘将角度值变为电信号，利用电子技术测角，最后再将电信号转换为角度值，使测角能自动显示、自动记录和自动传输数据，从而完成自动化测角的全过程，这种经纬仪称为电子经纬仪。



武汉大学

Wuhan University



1、电子经纬仪与光学经纬仪相比较:

仍具有**照准部**、**度盘**、**基座**及相应轴系的结构形式。望远镜、水准器、光学对中器及制、微动机构类似。无读数显微镜，增设电子显示窗和操作按键。

电子经纬仪和光学经纬仪的主要不同点：在于电子经纬仪采用了由**微处理器控制**的**光电扫描度盘**和**自动显示系统**。

根据光电扫描度盘取得电信号的方式不同，目前电子测角系统有：**编码度盘测角系统**、**光栅度盘测角系统**



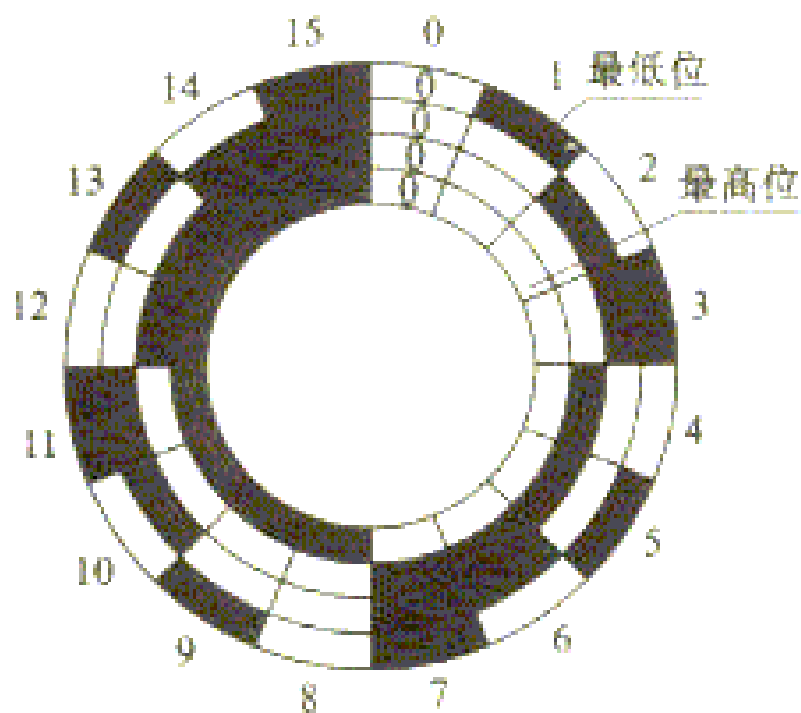
武汉大学

Wuhan University



2. 编码度盘测角系统

采用编码度盘及编码测微器的测角系统。



纯二进制编码度盘

码道： $n = 4$

区间： $s = 2^n = 16$

四码道度盘

每个方向都单值对应一个状态（编码输出），根据两区间的不同状态，便可测出该两区间的夹角。

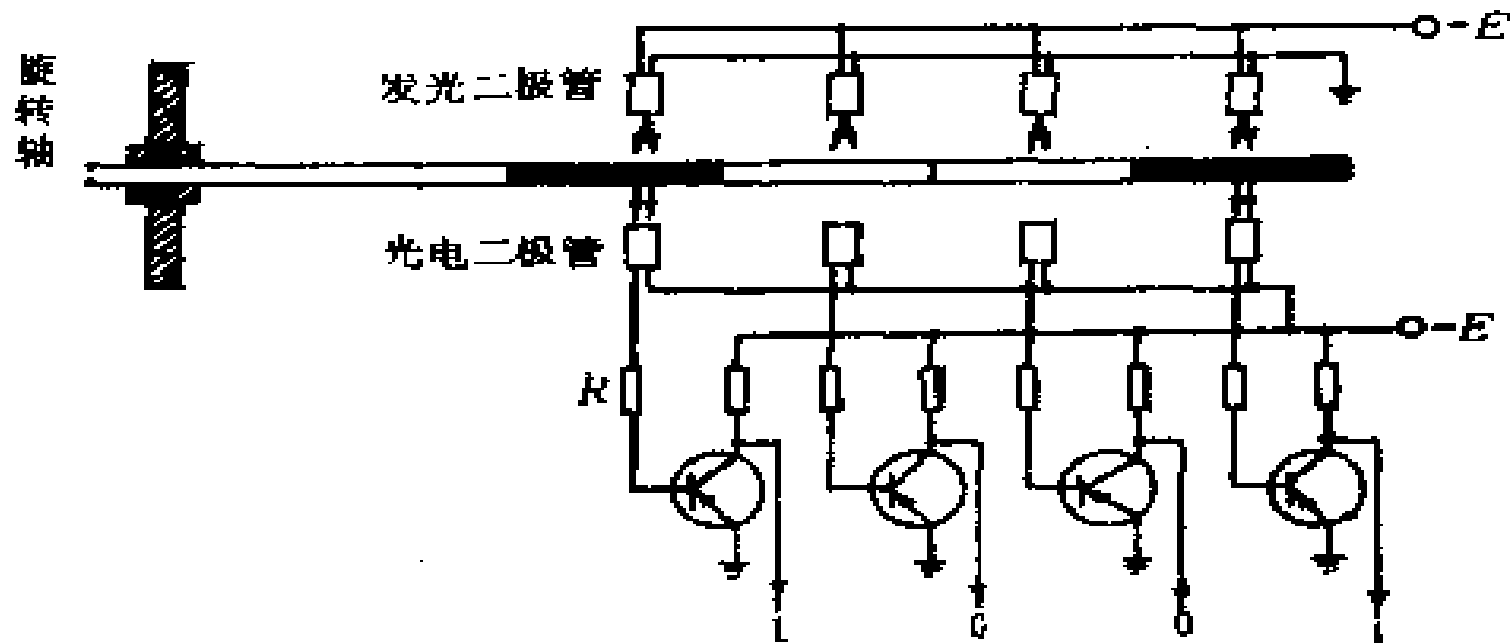
识别望远镜照准方向落在哪个区间是编码读盘测角的关键



武汉大学

Wuhan University





$$\text{角分辨率: } \delta = \frac{360^\circ}{s}$$

四码道度盘的角分辨率为 22.5°

不可能达到较高的测角精度



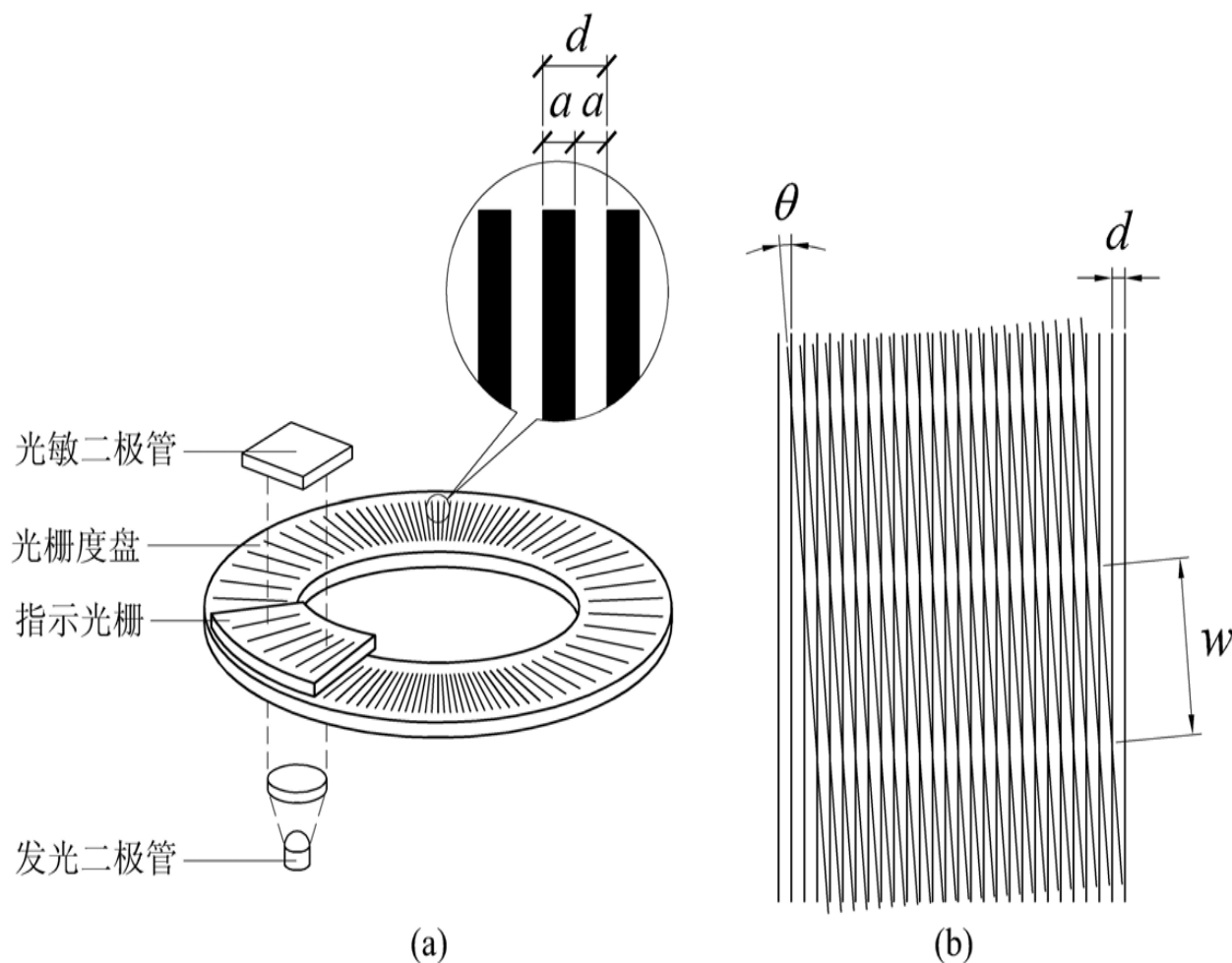
武汉大学

Wuhan University



3. 光栅度盘测角系统

在光学玻璃度盘的径向上均匀地刻制明暗相间的等角距细线条就构成光栅度盘。



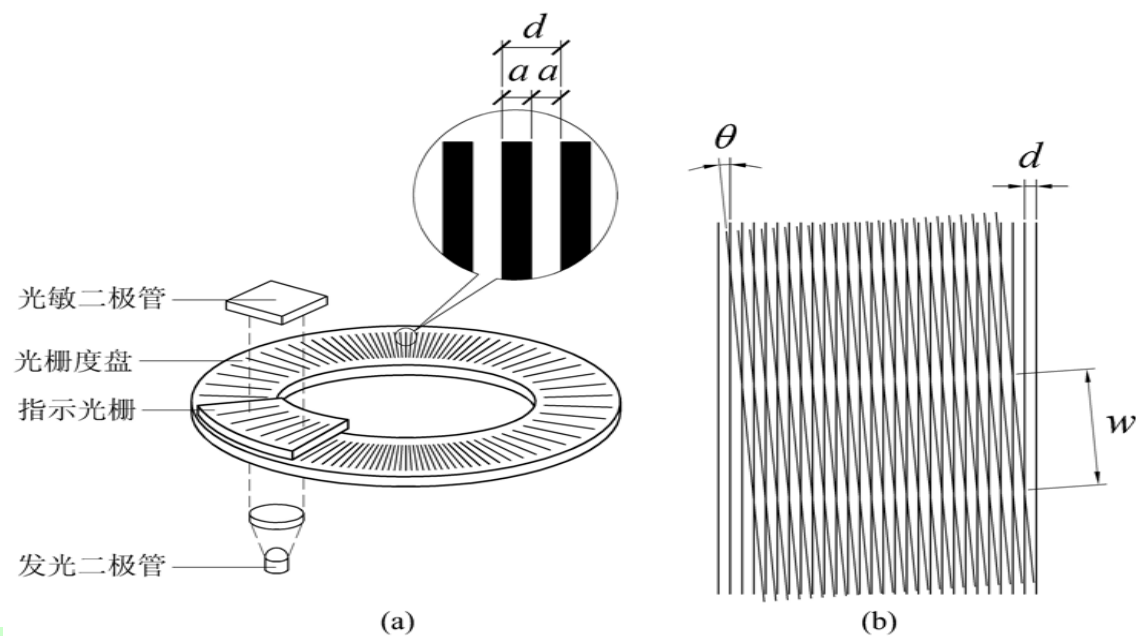
将密度相同的两块光栅重叠，并使它们的刻线相互倾斜一个很小的角度，这时就会产生明暗相间的条纹（莫尔条纹）。

夹角越小，条纹越粗。条纹的亮度按正弦周期性变化。



若发光管、指示光栅、光电管的位置固定，当度盘随照准部转动时，发光管发出的光信号，通过莫尔条纹落到光电管上。

度盘每转动一条光栅，莫尔条纹移动一周期。莫尔条纹的光信号强度变化一周期，光电管输出的电流也变化一周期。



在照准目标的过程中，仪器的接收元件可累计出条纹的移动量，从而测出光栅的移动量，经转换得到角度值。

§ 5.3 角度观测方法

一、经纬仪的安置

er 1、对中——使仪器的中心和测站点的标志中心在同一铅垂线上。

er 2、整平——使仪器的竖轴竖直。即水平度盘水平。

用光学对中器进行对中和整平步骤：

1、粗对中 ——固定三脚架一条腿，移动两条腿；

2、精对中 ——调脚螺旋；

3、粗平 ——升降三脚架使圆水准器气泡居中；

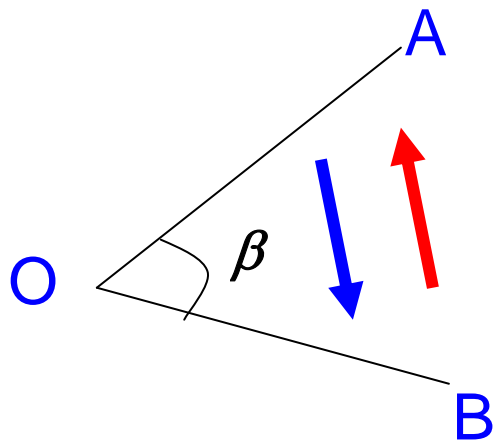
4、精平 ——调脚螺旋（首先，水准管平行两个脚螺旋方向，调该两个脚螺旋，使水准管气泡居中，旋转90度使水准管垂直该两个脚螺旋方向，调第三个脚螺旋，使水准管气泡居中。检查任何方向气泡居中。）

5、检查对中；

6、反复进行上述操作，直到对中和整平都满足要求。

二、水平角的观测方法

er 1、测回法



盘左：先瞄准左边的目标A读数 $a_{\text{左}}$
再瞄准右边的目标
读数 $b_{\text{左}}$

盘左半测回
或上半测回

盘右：先瞄准目标B读数 $b_{\text{右}}$
再瞄准目标A读数 $a_{\text{右}}$

盘右半测回
或下半测回

一
测
回

$$\beta_{\text{左}} = b_{\text{左}} - a_{\text{左}}$$

$$\beta_{\text{右}} = b_{\text{右}} - a_{\text{右}}$$

$$\beta = \frac{1}{2}(\beta_{\text{左}} + \beta_{\text{右}})$$

在不同的测回间，为了减小度盘刻划的误差，须配度盘

$$\frac{180^\circ}{n}$$

限差：1、两个半测回方向值之差；2、各测回方向值之差



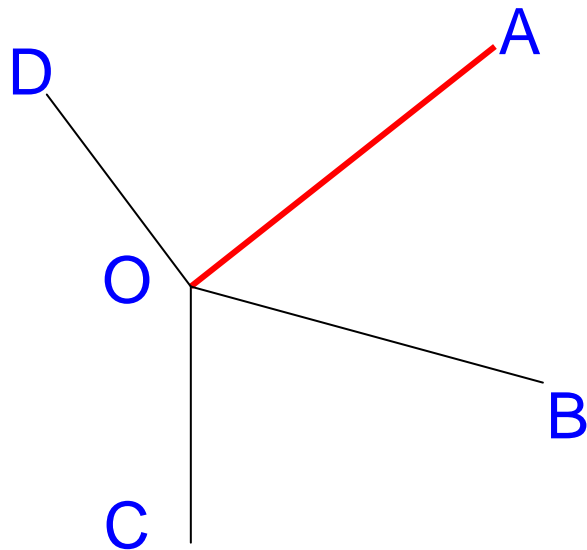
1、测回法记录表格

水平角观测手簿（测回法）

觇 点	读 数				半测回方 向	一测回 平均方向	各测回 平均方向	附 注
	盘 左		盘 右					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
第一测回	° ' "		° ' "		° ' "	° ' "	° ' "	
A	0 03 24		180 03 26		0 00 00	0 00 00	0 00 00	
B	79 20 30		259 20 48		79 17 06	79 17 09	79 17 12	
					12			
第二测回								
A	90 02 18		270 02 12		0 00 00	0 00 00		
B	169 19 36		349 19 24		79 17 18	79 17 15		
					12			

[返回](#)

2、方向观测法



盘左测回：先瞄准零方向A读数，顺时针依次瞄准B、C、D读数，再瞄准零方向归零读数。

盘右测回：先瞄准零方向A读数，逆时针依次瞄准D、C、B读数，再瞄准零方向归零读数。

一测回

在不同的测回间，为了减小度盘刻划的误差，须配度盘 $\frac{180^\circ}{n}$

限差：1、归零差；2、上、下半测回同一方向值之差；
3、各测回同一方向值之差



武汉大学

Wuhan University



二、水平角的观测方法

$$2C = L - (R \pm 180^\circ)$$

方向观测法的各项限差

经纬仪型号	光学测微器两次重合读数差	半测回归零差	一测回内2C较差	同一方向值各测回较差
DJ1	1	6	9	6
DJ2	3	8	13	9
DJ6	-	18	-	24



武汉大学

Wuhan University



2、方向法记录表格

全站仪专家网会员分享

水平角观测手簿（方向观测法）

作业日期: _____
 观测站: _____
 天气: _____
 观测日期: _____
 观测站: _____
 观测: _____
 观测日期: _____
 观测站: _____

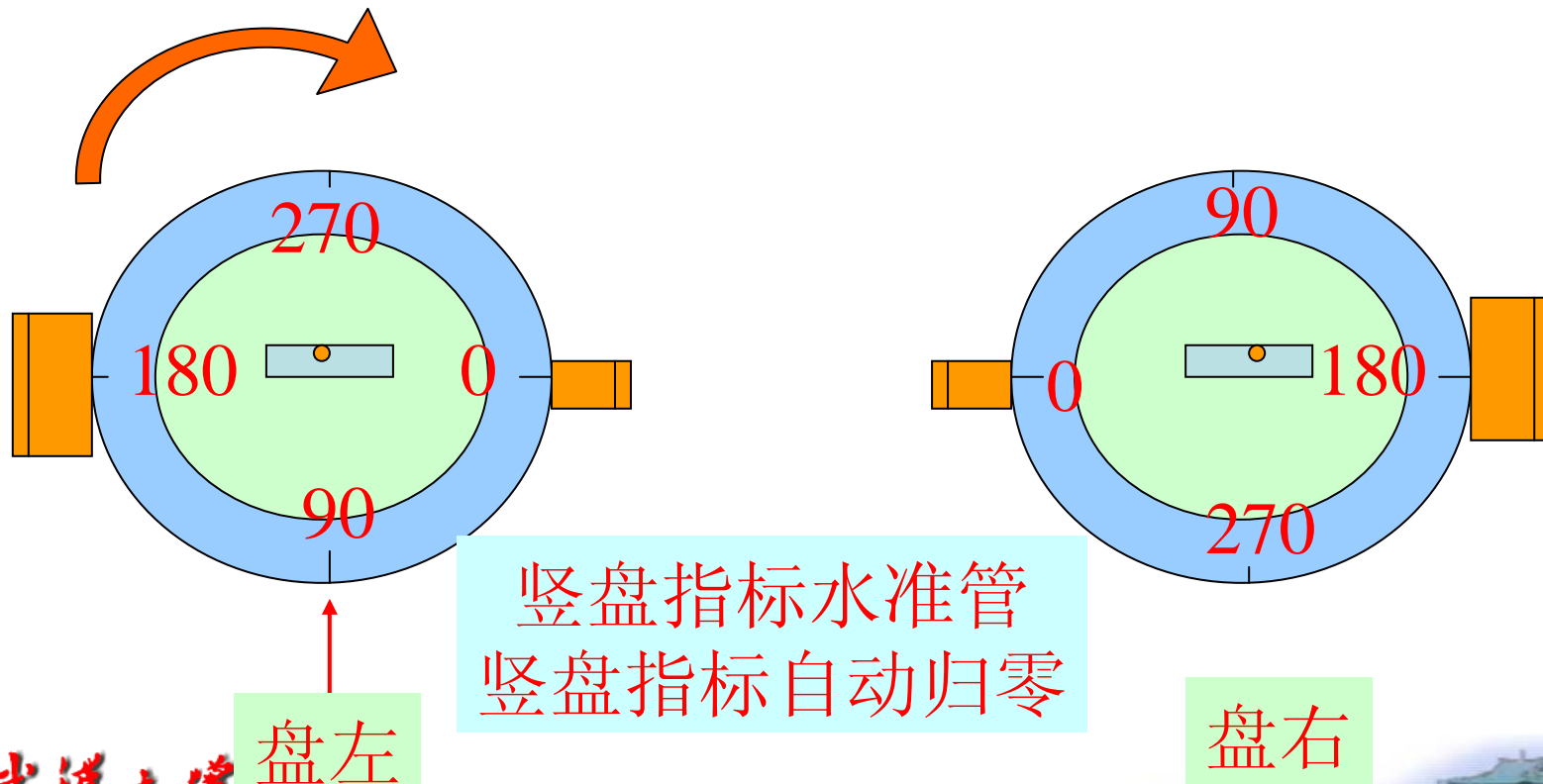
测 点	测 数				半测回方 向	一测回 平均方向	各测回 平均方向	附 注
	后 视		前 视					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
第一测回	
1	0 01	00	180 01	18	0 00 00	0 00 00	0 00 00	
6	91 54	06	271 54	00	91 52 54	91 52 48	91 52 46	
					42			
C	153 32	48	333 32	48	153 31 36	153 31 33	153 31 33	
					30			
D	214 06	12	34 06	06	214 05 00	214 04 54	214 04 57	
					04 48			
1	0 01	24	180 01	18				
第二测回		24		30				
1	90 01	12	270 01	24	0 00 00	0 00 00		
6	121 54	00	1 54	18	91 52 36	91 52 42		

返回



三、竖直角观测

竖盘是和望远镜固连在一起的。注记的形式多为盘左顺时针。



武汉大学

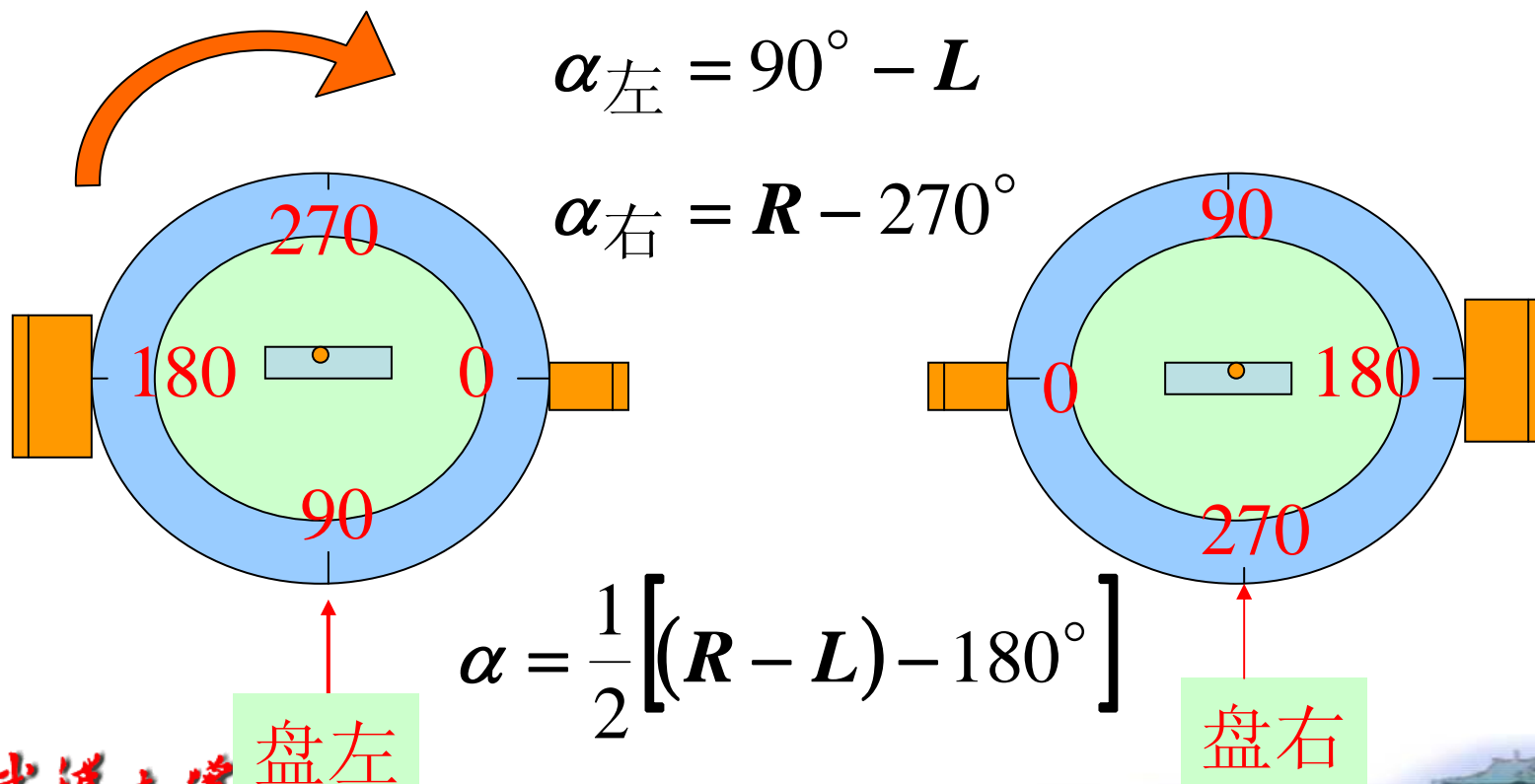
Wuhan University

盘左

盘右



1、竖角的计算公式：



武汉大学

Wuhan University

盘右

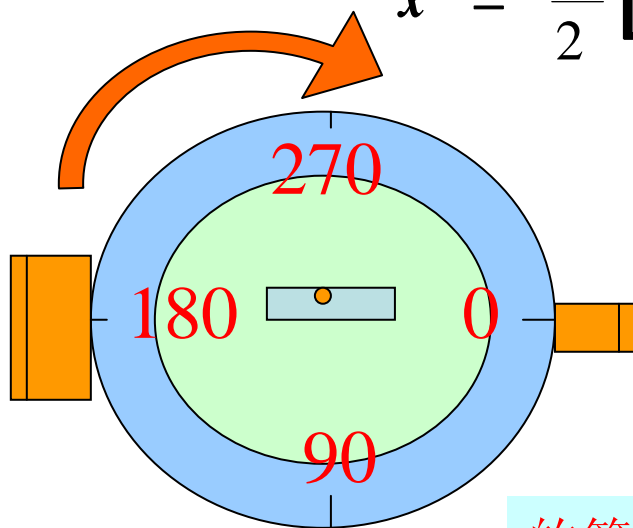
2、竖盘指标差

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

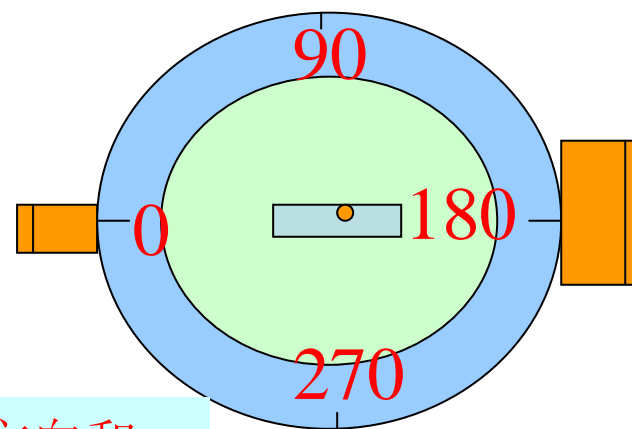
$$\alpha_{\text{右}} = (R - x) - 270^\circ$$

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

$$x = \frac{1}{2}[(L + R) - 360^\circ]$$



盘左



盘右

x 的符号：所偏的方向和注记的方向一致，则为正。反之为负。



武汉大学

Wuhan University



3、竖角观测方法

- 1、在测站上安置好仪器，对中、整平。
- 2、盘左位置瞄准目标，使十字丝切于目标某一位置，读出或量取目标高。
- 3、转动竖盘指标水准管微动螺旋，使竖盘水准管气泡居中，读取竖盘盘左读数。
- 4、盘右的位置照准原目标位置，读取盘右竖盘读数。（竖盘指标水准管气泡居中）



武汉大学

Wuhan University



测站点	仪器高(m)	觇点	觇标高(m)	竖盘位置	竖盘读数	指标差	半测回竖角	一测回竖角	照准觇标位置图
					° ' ''		° ' ''	° ' ''	
No 4	1.43	九峰山	4.10	左	59 20 30	15	30 39 30	30 39 45	觇标顶
				右	300 40 00		30 40 00		
		葛岭	4.40	左	71 44 12	12	18 15 48	18 16 00	觇标顶
				右	288 16 12		18 16 12		
		王家湾	3.82	左	124 03 42	18	-34 03 42	-34 03 24	觇标顶
				右	235 56 54		-34 03 06		



武汉大学

Wuhan University



4、竖盘指标自动归零装置

由于仪器整平不够完善，仪器的竖轴有残余的倾斜。为了克服由此产生的竖盘读数误差，必须使竖盘指标水准管气泡居中。当水准管气泡居中时，指标就处于正确位置。然而每次读数时都必须使数盘指标水准管气泡严格居中是十分费时的，因此有的光学经纬仪其数盘指标采用了自动归零装置。

所谓自动归零装置，即当经纬仪有微量的倾斜时，这种装置会自动的调整光路使读数微水准管气泡居中时的正确读数。



武汉大学

Wuhan University



§ 5.4 水平角观测的误差和精度

一、水平角观测的误差

- 1、仪器误差
- 2、对中误差
- 3、目标偏心误差
- 4、照准误差与读数误差
- 5、外界条件的影响



武汉大学

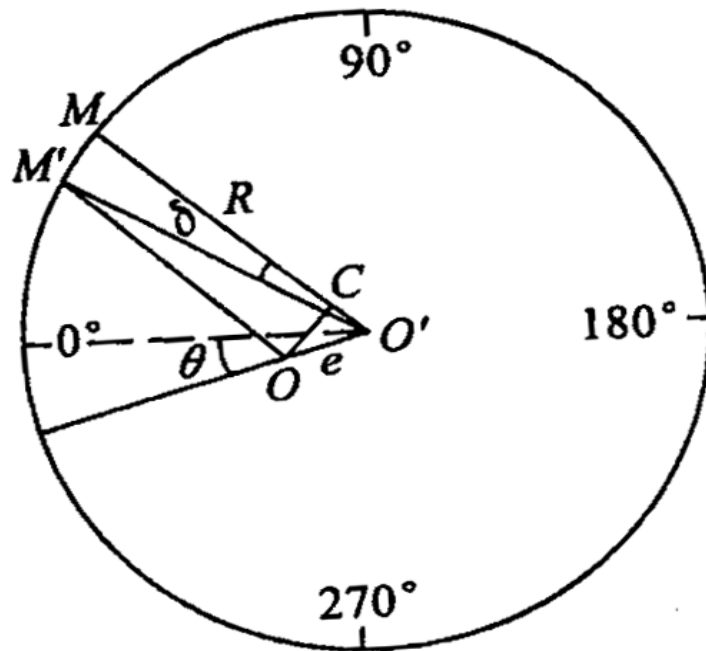
Wuhan University



1. 仪器误差

1) **水平度盘偏心误差**：是指水平度盘分划中心与照准部旋转中心不重合，称为水平度盘偏心。

水平度盘偏心对水平度盘读数的影响可采用**盘左盘右观测取平均值**的方法来消除或减弱其影响。



$$\delta = \frac{e}{R} g \rho \sin(M + \theta)$$

$$\sin(M + \theta) = -\sin(180^\circ + M + \theta)$$

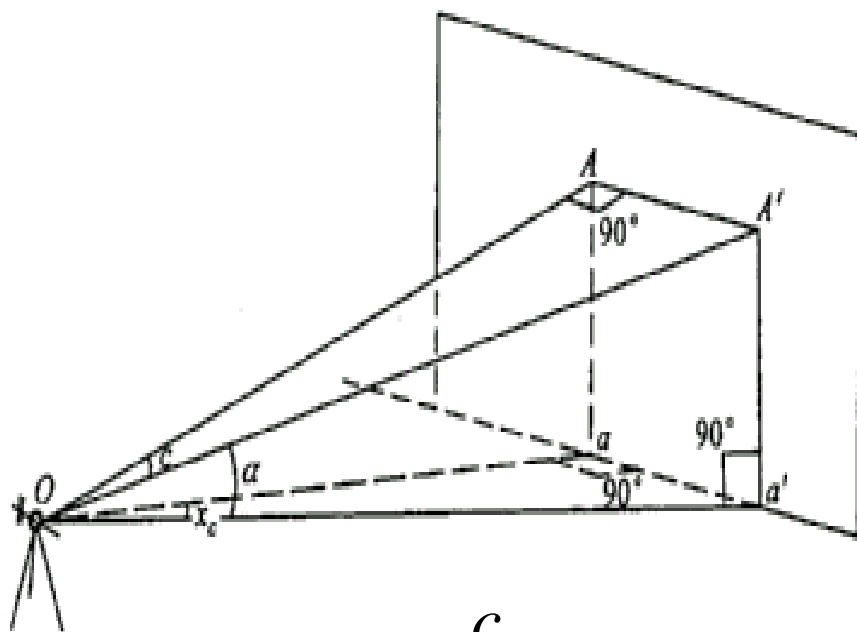


武汉大学

Wuhan University



2) 视准轴误差：视准轴不垂直于横轴



$$x_c = \frac{c}{\cos \alpha}$$

一般规定盘左时视准轴物镜向左偏斜的 c 值为正，向右偏斜为负，则对于同一目标，若盘左观测时为正（负），则盘右观测时即为负（正），而 α 值不变，故盘左、盘右的 x_c 值的绝对值相等而符号相反。

所以，取盘左、盘右读数的中数，可消除视准轴误差的影响。

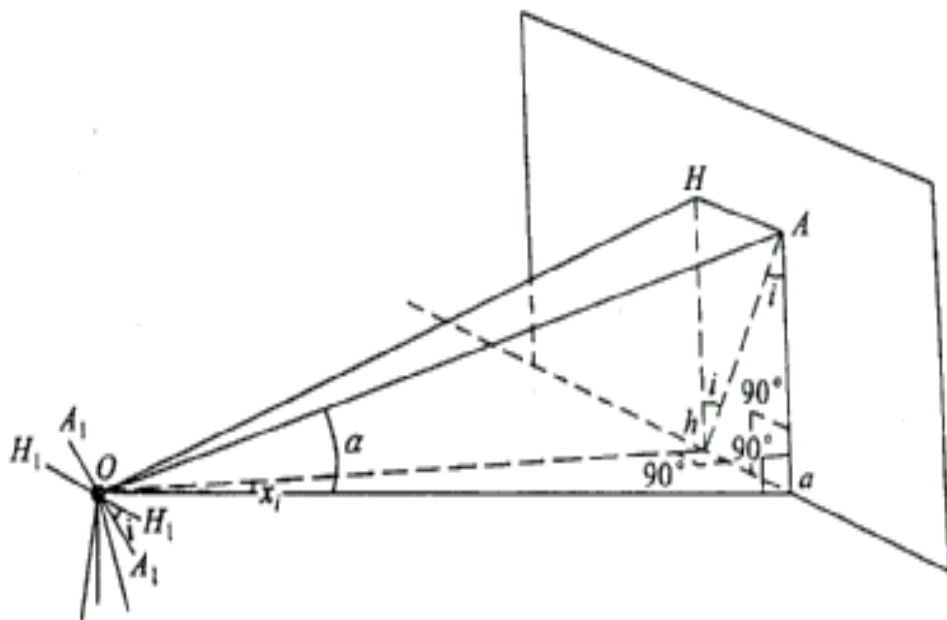


武汉大学

Wuhan University



3) 横轴倾斜误差：横轴不垂直于竖轴所产生的误差。



规定盘左时横轴左端低于另一端时的*i*角为正，高于另一端时为负，则在竖轴是竖直的情况下，因横轴不垂直于竖轴所引起的横轴倾斜，盘左观测时为正（负），则盘右观测时即为负（正），而 α 值不变，故盘左、盘右的 x_i 值的绝对值相等而符号相反。

$$x_i = i \cdot \tan \alpha$$

所以，取盘左、盘右读数的中数，可消除视准轴误差的影响。

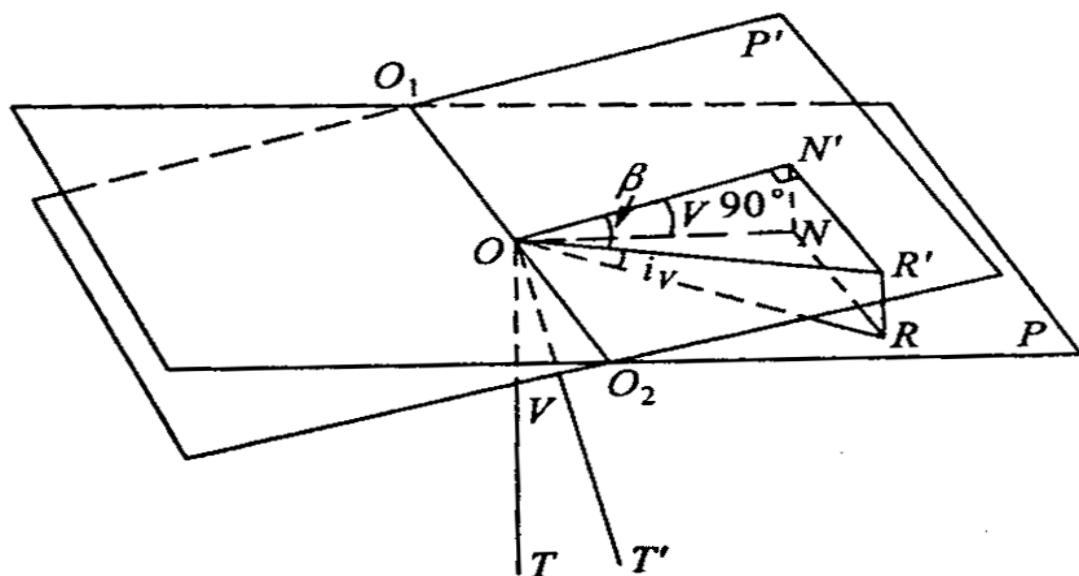


武汉大学

Wuhan University



4) **竖轴倾斜误差**：若视准轴与横轴垂直，横轴垂直于竖轴，而竖轴与照准部水准管轴已垂直，仅由于仪器未严格整平而使竖轴不在竖直位置，竖轴偏离铅垂线一微小角度，这就是竖轴倾斜误差。



无论盘左盘右照准同一目标， β 均相同，即 x_v 的符号不变，故盘左盘右的平均值不能消除竖轴倾斜误差对水平方向的影响。

$$i_v = V \cdot \cos \beta$$

$$x_v = V \cdot \cos \beta \cdot \tan \alpha$$

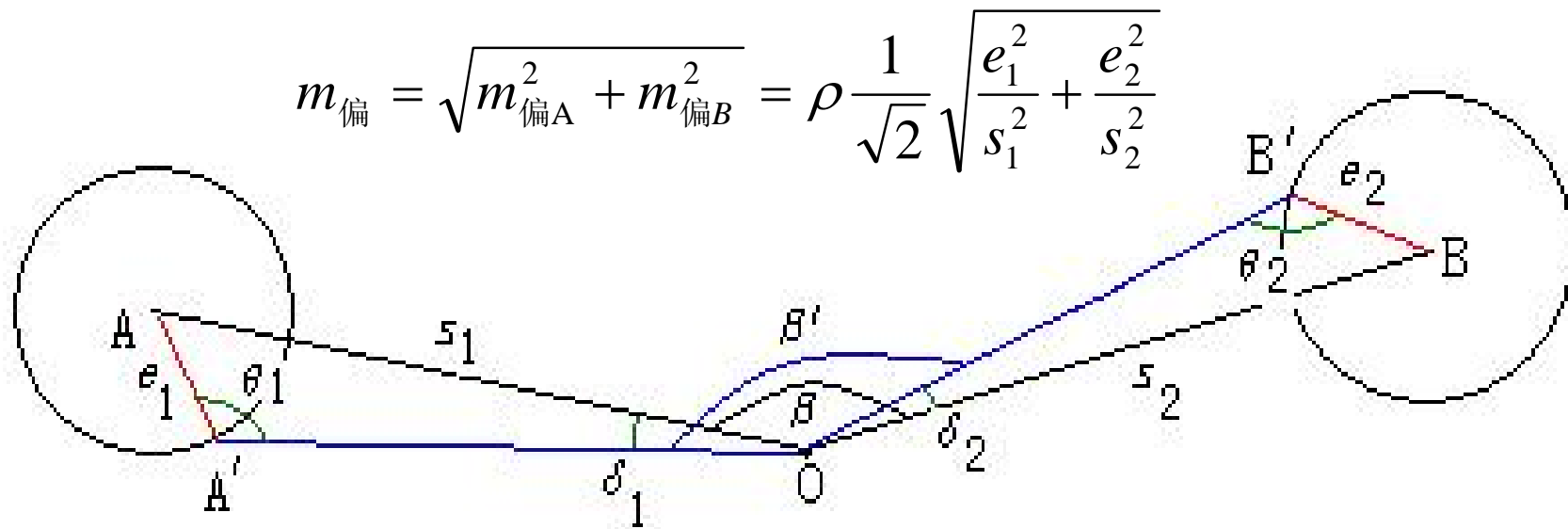


武汉大学

Wuhan University



3. **目标偏心误差**：目标偏心是指目标点上竖立的标志中心（如测钎、花杆、标牌等）与地面点标志中心不在同一铅垂线上。



A、B为标志实际中心，
A'、B' 为照准的中心，
 β 为正确的角度，
 β' 为观测的角度。

目标偏心误差对水平角的影响与测站至目标的距离 s_1 和 s_2 有关，距离越短，影响越大。



武汉大学

Wuhan University



4. 照准误差与读数误差

影响照准精度的主要因素有：

- 望远镜的放大率，
- 目标与照准标志的形状和大小、
- 目标影象的亮度和清晰度
- 人眼的判别能力等。

观测时，应注意消除视差，正确完成照准操作。



武汉大学

Wuhan University



读数误差与读数设备、照明情况和观测者的技术熟练程度都有关。

一般来讲，读数误差主要取决于仪器的读数设备。

对于用分微尺读数装置的J6光学经纬仪，一般认为估读的极限误差为分微尺格值的十分之一，即可以不超过 $6''$ 。

如果照明情况不佳，显微镜目镜未正确调焦以及观测者的技术不熟练，则读数误差会更大。



武汉大学

Wuhan University



5. 外界条件的影响

外界条件影响的因素很多,主要有:

- (1) 大风会影响仪器和标杆的稳定,
- (2) 温度变化会影响仪器的正常状态, 如改变视准轴位置.
- (3) 大气折光可导致视线改变方向, 地面辐射热又会加剧大气折光的影响。
- (4) 大气的透明度会影响照准精度, 如雾气使目标成象模糊。
- (5) 地面坚实与否会影响仪器的稳定。



武汉大学

Wuhan University



二、水平角观测的精度

J6光学经纬仪

$$m_{1\text{方}} = \pm 6''$$

一测回角值的中误差 $m_{1\text{角}} = m_{1\text{方}} \sqrt{2} = \pm 6'' \sqrt{2} = \pm 8.5''$

半测回方向值的中误差 $m_{\text{半方}} = m_{1\text{方}} \sqrt{2} = \pm 6'' \sqrt{2} = \pm 8.5''$

归零差的中误差

$$m_{\text{归零}} = m_{\text{半方}} \sqrt{2} = \pm 8.5'' \sqrt{2} = \pm 12''$$

$$\Delta_{\text{限}} = 2m = \pm 24''$$

同一方向各测回较差

$$m_{1\text{方}d} = m_{1\text{方}} \sqrt{2} = \pm 6'' \sqrt{2} = \pm 8.5''$$

$$\Delta'_{\text{限}} = \pm 17''$$



武汉大学

Wuhan University

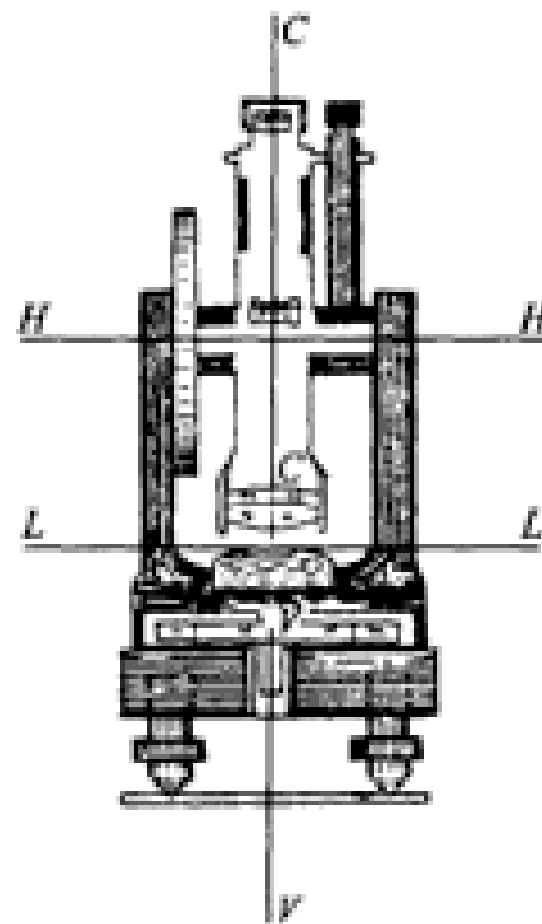


§ 5.5 经纬仪的检验和校正

一、经纬仪主要轴线间应满足的条件

1. 经纬仪上的主要轴线有：

- (1) 仪器的旋转轴VV(简称竖轴);
- (2) 望远镜的旋转轴HH(简称横轴);
- (3) 望远镜的视准轴CC;
- (4) 照准部水准管轴LL。



武汉大学

Wuhan University

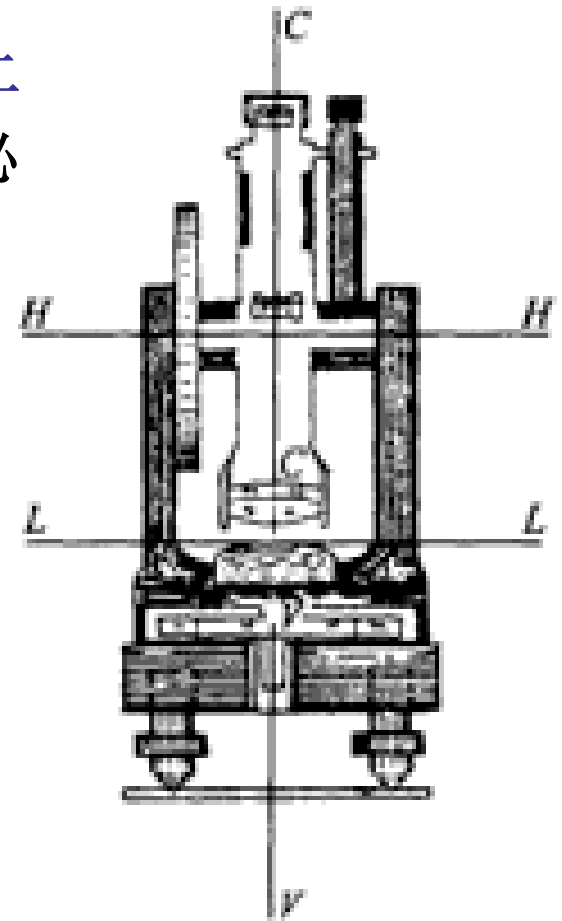


2. 经纬仪在水平角观测时应满足的条件

- ①竖轴必须竖直；
- ②水平度盘必须水平，其分划中心应在竖轴上
- ③望远镜上下转动时，视准轴形成的视准面必须是竖直平面

3. 经纬仪应满足的条件

- ①照准部水准管轴应垂直于竖轴；
- ②视准轴应垂直于横轴；
- ③横轴应垂直于竖轴；
- ④十字丝竖丝应垂直于横轴；
- ⑤竖盘指标差在限差范围内。



二、经纬仪的常规检验和校正

以J6光学经纬仪为例，需进行检验和校正的项目有如下几项：

1. 照准部水准管轴应垂直于竖轴的检验和校正；
2. 十字丝竖丝应垂直于横轴的检验和校正；
3. 视准轴应垂直于横轴的检验和校正；
4. 横轴应垂直于竖轴的检验和校正；
5. 竖盘指标差的检验和校正；
6. 光学对中器的检验和校正。



武汉大学

Wuhan University

