

实验八 光学测角仪的调整与使用

光的反射定律和折射定律定量描述了光线在传播过程中发生偏折时角度间的相互关系。同时，光在传播过程中的衍射、散射等物理现象也都与角度有关。一些光学量如折射率、光波波长、衍射极大和极小位置等都可通过直接测量角度去确定。故在光学技术中，精确测量光线偏折的角度，具有十分重要的意义。

光学测角仪（又称分光计）是一种能精确测量角度的典型光学仪器，常用来测量折射率、光波波长、色散率和观测光谱等。由于该装置比较精密，操纵控制部件较多而复杂，故使用时必须按一定的规则严格调整，方能获得较高精度的测量结果。对于初学者来说，往往会感到一些困难，但只要调整、实验过程中，明确调整要求，注意观察现象，并努力运用已有的理论知识去分析、指导操作，一般也是能够掌握的。

光学测角仪的调整思想、方法与技巧，在光学仪器中有一定的代表性，学会对它的调节和使用，有助于掌握操作更为复杂的光学仪器。

【实验目的】

1. 了解光学测角仪的主要构造，正确掌握调整光学测角仪的要求和方法；
2. 测定三棱镜的顶角，观察三棱镜对汞灯的色散现象；
3. 测定玻璃三棱镜对各单色光的折射率。

【实验原理】

三棱镜如图 1 所示，是横截面为等腰三角形的柱体。AB 和 AC 是透光的光学表面，又称折射面，其夹角 α 称为三棱镜的顶角；BC 为毛玻璃面；称为三棱镜的底面。

1. 三棱镜顶角的测量

(1) 自准法测量三棱镜的顶角

图 2 是自准法测量三棱镜顶角的示意图。利用望远镜自身产生平行光，固定平台（或固定望远镜），转动望远镜光轴（或转动小平台），先使棱镜 AB 面反射的十字像落在分划板上“十”准线上部的交点上（即望远镜光轴与三棱镜 AB 面垂直），记下刻度盘对称游标的方位角读数 θ_1 、 θ_2 。然后再转动望远镜（或小平台）使 AC 面反射的十字像与“十”准线的上交点重合（即望远镜光轴与 AC 面垂直），记下读数 θ_1' 和 θ_2' （注意 θ_1 与 θ_1' 为同一游标上读得的望远镜方位角，而 θ_2 与 θ_2' 则为另一游标上读得的方位角），两次读数相减即得顶角 α 的补角。 $\alpha = 180^\circ - \varphi$ ，可以证明

$$\varphi = \frac{1}{2}(\varphi_1 + \varphi_2) = \frac{1}{2}[(\theta_1' - \theta_1) + (\theta_2' - \theta_2)] \quad (1)$$

(2) 反射法测量三棱镜的顶角

图 3 为反射法测量三棱镜顶角的示意图。将三棱镜放在载物台上，使平行光管射出的

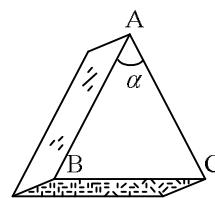


图 1 待测三棱镜

光束投射到棱镜的两个折射面上，从棱镜左面反射的光可将望远镜转至 I 处观察，使用望远镜微调螺丝，使“十”准线的中心垂直线对准反射狭缝像，从两个游标读出方位角读数 φ_1 和 φ_2 ，再将望远镜转至 II 处观测从棱镜左面反射的狭缝像，又可分别读得方位角读数 φ_1' 和 φ_2' 。由图 3 可知，三棱镜的顶角

$$\alpha = \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{4}[(\varphi_1' - \varphi_1) + (\varphi_2' - \varphi_2)] \quad (2)$$

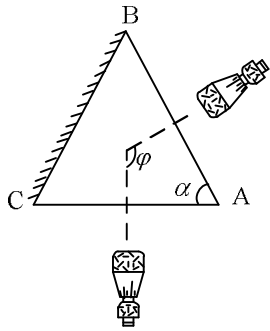


图 2 自准法测三棱镜顶角

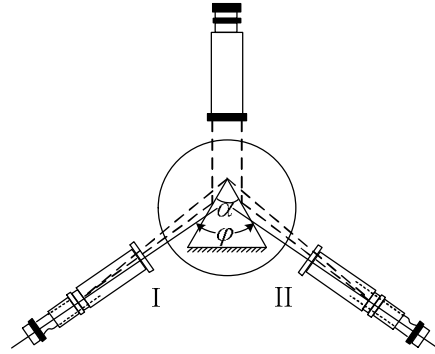


图 3 反射法测三棱镜顶角

2. 由各单色光的最小偏向角求折射率：
通过光的反射定律和折射定律可以求得折射率 n

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{\sin \frac{1}{2}(\delta_{\min} + \alpha)}{\sin \frac{1}{2}\alpha} \quad (3)$$

式中 i_1 , i_2 , δ_{\min} 分别为某一单色光的入射角、折射角和最小偏向角， α 则为三棱镜的顶角。

【实验内容】

光学测角仪在测量前，必须经过仔细调整。为保证入射光与刻度盘、载物平台相平行，使刻度盘上的读数能正确反映出光线的偏转角，调整光学测角仪时要求达到：望远镜调焦无穷远，能接受平行光；望远镜和平行光管共轴，并均与光学测角仪中心轴相垂直；平行光管出射平行光。

1. 调整光学测角仪至正常工作状态

(1) 熟悉光学测角仪的结构

仔细阅读附录，对照光学测角仪的结构图和实物。熟悉调整螺钉的位置及其作用。

(2) 目测粗调

为了准确测出角度，根据光学测角仪的工作条件，调

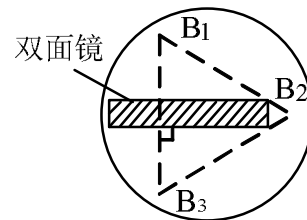


图 4 双面镜的放置

节望远镜和平行光管光轴与光学测角仪中心轴严格垂直。一般可先用目视法进行粗调。根据眼睛的粗略估计，调节望远镜和平行光管上的高低倾斜调节螺丝，使望远镜和平行光管光轴大致垂直于中心轴；调节载物台下的三个水平调节螺丝，使载物台面大致呈水平状态。

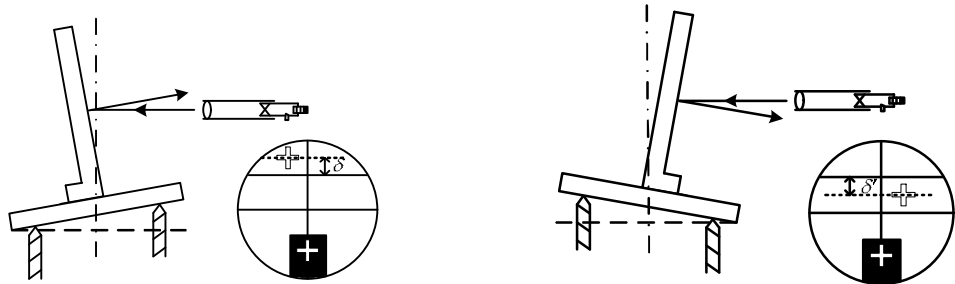
(3) 用自准法调整望远镜

(a) 点亮照明小灯，调节目镜与分划板间的距离，看清分划板上的“准线”和带有绿色的小十字窗口（目镜对分划板调焦）。

(b) 将双面镜放在载物台上（图 4），使双面镜的两反射面与望远镜大致垂直。轻缓地转动载物台，从侧面观察，判断从双面镜正、反两面反射的亮十字光线能否进入望远镜内。

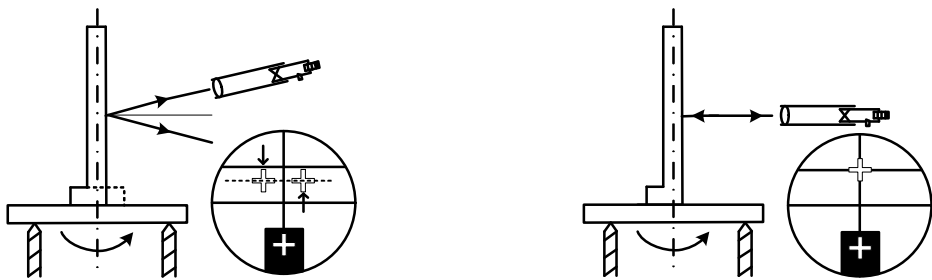
(c) 从望远镜的目镜中观察到亮十字像，前后移动目镜对望远镜调焦，使亮十字像成清晰像。再调准线与目镜间距离，使目镜中既能看清准线，又能看清亮十字像。注意准线与亮十字像之间有无视差，如有视差，则需反复调节，予以消除。

此时分划板平面、目镜焦平面、物镜焦平面重合在一起，望远镜已聚焦于无穷远（即平行光经物镜聚焦于分划板上），能接受平行光了。



(a) 望远镜光轴垂直于光学测角仪中心轴：
双面镜倾角太大无十字像或镜面微仰，十字像偏高。

(b) 望远镜光轴垂直于光学测角仪中心轴：
双面镜倾角太大无十字像或镜面微倾，十字像偏低。



(c) 双面镜镜面平行于光学测角仪中心轴：
望远镜倾（仰）角太大无十字像或倾（仰）角微小
有十字像，此时双面镜旋转 180° 前后两次十字像高
度不变。

(d) 双面镜镜面平行于光学测角仪中心轴：
望远镜光轴及双面镜法线均垂直于光学测角仪中心
轴时，前后两次十字像均与底板上叉丝“十”重合
（图示位置）。

图 5 光学测角仪调整示意图

(4) 调整望远镜光轴与光学测角仪中心轴相垂直

平行光管和望远镜的光轴各代表入射光和出射光的方向，为了测准角度，必须分别使

它们的光轴与刻度盘平行。刻度盘在制造时已垂直于光学测角仪中心轴，因此当望远镜与光学测角仪中心轴垂直时，就达到了与刻度盘平行的要求。

双面镜仍竖直置于载物台上，转动载物台，使望远镜分别对准双面镜的反射面。利用自准法可以分别观察到两个十字反射像。如果望远镜光轴与光学测角仪中心轴垂直，双面镜反射面又与中心轴平行的话，那么转动装有双面镜的载物台时，从望远镜中可以两次观察到由双面镜反射回来的十字像与底板上叉丝“十”完全重合（图 5-（d））。若望远镜光轴与光学测角仪中心轴不垂直，双面镜反射像必然不会同时与“十”准线的上交点重合，而是一个偏低，一个偏高，甚至只能看到一个十字反射像。这时需要认真分析，确定调节措施，切不可盲目乱调。重要的是必须先粗调：即先从望远镜外面目测，调节到从望远镜外能观察到两个十字反射像；然后再细调：从望远镜视场中观察，当无论以双面镜的哪一个反射面对准望远镜，均能观察到十字反射像时，分别调节望远镜方位和载物台平面，使准线与十字反射像重合。即转动载物台，使望远镜先对着双面镜的一个表面，若从望远镜中看到准线与十字反射像不重合，它们的交点在高低方面相差一段距离 δ ，此时调节望远镜倾斜度，使差距减小一半；再调节载物台螺丝，消除另一半距离使准线与十字反射像重合。然后将载物台旋转 180° ，使望远镜对着双面镜的另一面，采用同样方法调节，如此重复调整数次，直至转动载物台时，从双面镜前后两表面反射回来的十字像都能与准线重合为止。常称这种方法为逐次逼近各半调整法。

到此时望远镜已调好，将望远镜倾斜螺丝固定！

图 5 中（a）、（b）及（c）分别是望远镜在调整过程中看到的 3 种特殊情况，调整时可以主要调节不垂直中心轴的部件，采用渐近法各半调节，能很快调至（d）状态。

（5）调整平行光管

用前面已调整好的望远镜调节平行光管。当平行光管射出平行光时，则狭缝成像于望远镜物镜的焦平面上，在望远镜中就能清楚地看到狭缝像，并与准线交点无视差。

（a）目测粗调至平行光管光轴大致与望远镜光轴相一致。

（b）打开狭缝，从望远镜中观察，同时调节平行光管狭缝与透镜间距离，直到看见清晰的狭缝像为止，然后调节缝宽使望远镜视场中的缝宽约为 1mm。

（c）调节平行光管的倾斜度，使狭缝中点与“十”准线的中心交点重合，缝长适当。这时平行光管与望远镜的光轴在同一水平面内，并与光学测角仪中心轴垂直。

（d）消除视差

视差就是观察者在观察时，稍稍移动头部，准线和像有相对移动现象。为了消除视差，可微微改变平行光管的狭缝与会聚透镜的相对位置；并稍微移动望远镜的目镜套筒及转动目镜，最后达到移动头部时，准线与像无相对移动为止。

2. 三棱镜顶角的测量

（1）三棱镜顶角平面的调整

将待测元件三棱镜放上载物台，以三棱镜的两个折射面代替双面镜的两个反射面，用已调好的望远镜进行自准法调节。为了便于调整，三棱镜在载物台上的位置可参考图 6。

调节载物台使棱镜的 AB 折射面对准望远镜，调节载物台螺丝 B_2 ，使“十”上交点与十字反射像重合程度接近一半（注意：此时望远镜已调好，只能调载物台螺丝）。再旋转载物台，使棱镜另一折射面 AC 正对望远镜，调到自准。反复校核几次，直到转动载物台时，两个折射面都达到自准为止。

(2) 自准法调整后, 用反射法测量三棱镜的顶角, 重复 6 次, 求出顶角的平均值, 计算不确定度并准确表示测量结果. 数据表格自拟.

3. 测量低压汞灯中各单色光的最小偏向角 (选作内容)

(1) 将棱镜置于载物圆台上, 光学测角仪的平行光管对准低压汞灯出射窗口, 使从平行光管中射出的光最强且均匀.

(2) 参看图 7, 观察光线偏向情况, 判断折射光线的出射方向. 先用眼睛沿光线可能的出射方向观察, 微微转动刻度圆盘, 带动载物台, 当观察到出射的彩色谱线时, 认定一种单色谱线, 再继续使刻度圆盘转动, 注意此单色谱线出射时所对应的偏向角的变化情况,

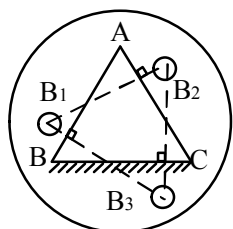


图 6 三棱镜放法

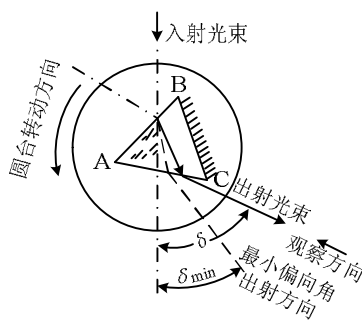


图 7 最小偏向角示意图

选择能使偏向角减小的方向缓慢转动载物圆台, 当看到该谱线移至某一位置后反向移动, 说明在逆转处即为最小偏向角的位置.

(3) 通过望远镜观察所认定的那条单色谱线并细心地重新观察载物台转动时, 该谱线的移动情形 (注意此时望远镜视场中的叉丝中心应能始终跟踪该谱线), 使该单色谱线刚好在望远镜视场的叉丝处发生逆转 (望远镜轴所在方位即是该单色谱线的最小偏向位置).

(4) 分别读出此时双游标上的方位角读数 θ 和 θ' .

(5) 依次测出汞灯光谱中的黄色、草绿、蓝色、紫色 4 种单色谱线的最小偏向角的方位角读数.

(6) 移去三棱镜, 将望远镜对准平行光管, 使望远镜叉丝对准狭缝中点, 读出两个游标的相应读数 θ_0 和 θ_0' .

(7) 按 $\delta_{\min} = [(\theta - \theta_0) + (\theta' - \theta_0')] / 2$, 计算最小偏向角 δ_{\min} . 重复测量 3 次, 算出 δ_{\min} 的平均值.

将测出的顶角 α 和最小偏向角 δ_{\min} 代入 (3) 式中, 求出各单色光的折射率.

【实验仪器】

光学测角仪, 双面镜, 低压汞灯 (连镇流器), 三棱镜, 照明小灯等.

【注意事项】

光学测角仪望远镜任一位置由读数装置 (双游标) 读出方位角值. 读数装置由刻度盘

与游标组成。刻度盘分为 360° ，最小刻度为半度 ($30'$)，小于半度则利用游标读数，游标上刻有 30 小格，故每一格刻度对应角度为 $1'$ ，角度游标读数的方法与游标卡尺相似(如附图 5 所示)。望远镜转过的角度，则是同一游标两次方位角读数之差。在测读计算过程中，由于望远镜可能位于任何方位，故必须注意望远镜转动过程中是否越过了刻度的零点。如越过了刻度零点，则必须按式 $\varphi = 360^\circ - |\theta_i' - \theta_i|$ 计算望远镜转角。例如当望远镜由位置 I 转到 II 时，双游标的读数分别如下表所示：

表 1 望远镜游标读数

望远镜位置	游标 (左)	游标 (右)
I	$\theta_1=175^\circ 45'$	$\theta_2=355^\circ 48'$
II	$\theta_1' =295^\circ 43'$	$\theta_2' =115^\circ 44'$

由左游标读数可得望远镜转角为： $\varphi_{左} = \theta_1' - \theta_1 = 119^\circ 58'$

由右游标读数可得望远镜转角为： $\varphi_{右} = 360^\circ - |\theta_2' - \theta_2| = 119^\circ 56'$

$\varphi_{右} \neq \varphi_{左}$ 说明有偏心差，故望远镜实际转角为

$$\varphi = \frac{1}{2}(\varphi_{左} + \varphi_{右}) = 119^\circ 57'$$

【预习题】

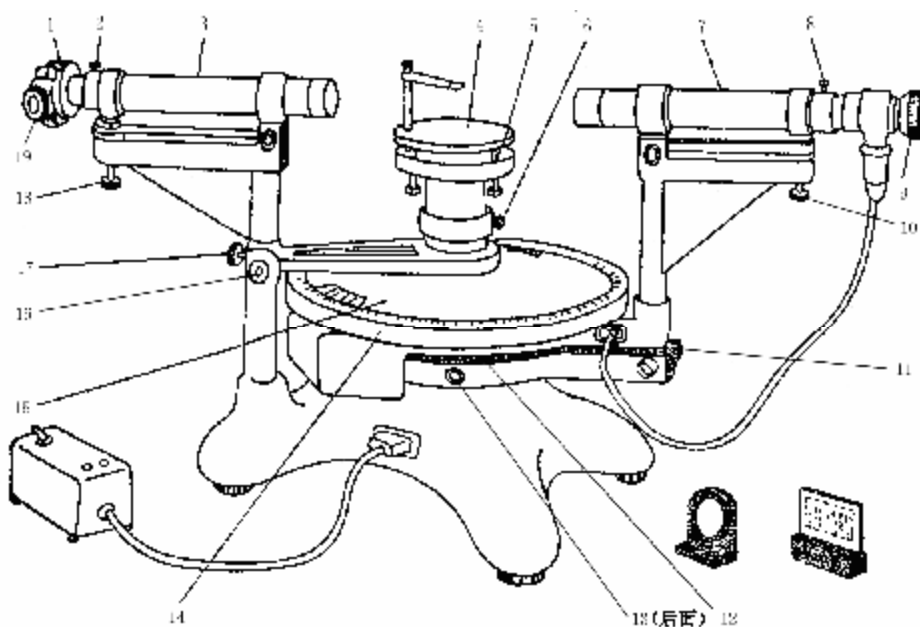
1. 光学测角仪由哪几个主要部件组成？它们的作用是什么？
2. 望远镜、平行光管、载物台、刻度盘之间相互关系是什么？简述调整要求？
3. 为什么利用自准法可以将望远镜调至接受平行光和垂直中心轴的正常工作状态？如何调整？
4. 调整望远镜光轴与光学测角仪中心相垂直中为什么要用各半调法？如何应用各半调法？

【思考题】

1. 用反射法测量三棱角顶角时，为什么必须将三棱角顶角 A 置于载物台中心附近？试作图说明之。
2. 作图说明，当望远镜未垂直中心轴或双面镜的反射面法线未垂直中心轴而进行调整时，每旋转双面镜 180° 一次，准线与十字反射像可能的相对位置及其变化规律。
3. 若光学测角仪测量角度的精度为 $1'$ ，试导出测量顶角 A、最小偏向角 δ_{\min} 及折射率 n 的误差公式，并估算测定 n 的精度。

【附录】

光学测角仪



- | | | | |
|------------------|------------------|-----------------|--------|
| 1-狭缝装置; | 2-狭缝装置锁紧螺钉; | 3-平行光管镜筒; | 4-载物台; |
| 5-载物台调平螺钉 (3 只); | 6-载物台锁紧螺钉; | 7-望远镜镜筒; | |
| 8-目镜筒锁紧螺钉; | 9-目镜视度调节手轮; | 10-望远镜光轴仰角调节螺钉; | |
| 11-望远镜方位微调螺钉; | 12-转座与度盘止动螺钉; | 13-望远镜止动螺钉; | |
| 14-度盘; | 15-游标盘; | 16-游标盘微调螺钉; | |
| 17-游标盘止动螺钉; | 18-平行光管光轴仰角调节螺钉; | 19-狭缝宽度调节手轮 | |

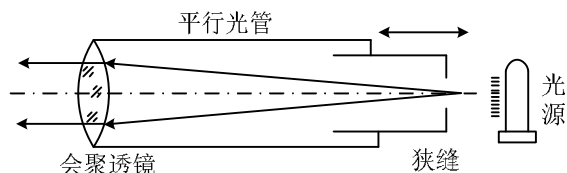
附图 1 JJY-1 型分光计外形图

光学测角仪又称分光计，是一种精密测量平行光线偏转角的光学仪器，它常被用于测量棱镜顶角、光波波长和观察光谱等。

1. 结构

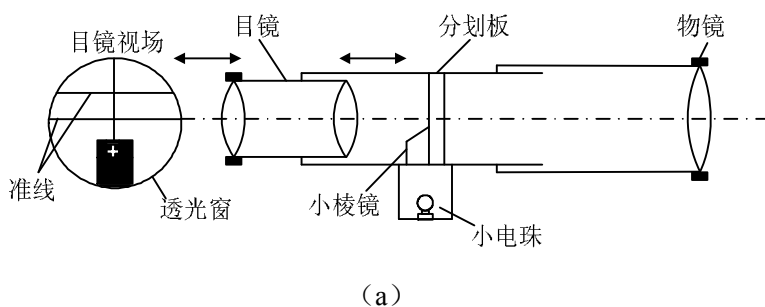
光学测角仪的型号很多，结构基本相同，都有四个部件组成：平行光管、自准直望远镜、载物小平台和读数装置（参阅附图 1）。分光计的下部是一个三脚底座，中心有一个竖轴，称为分光计的中心轴。现将 JJY-1 型分光计介绍如下：

(1) 平行光管。管的一端装有会聚透镜，另一端内插入一套筒，其末端为一宽度可调的狭缝。如附图 2 所示。当狭缝位于透镜的焦平面上时，就能使照在狭缝上的光经过透镜后成为平行光。

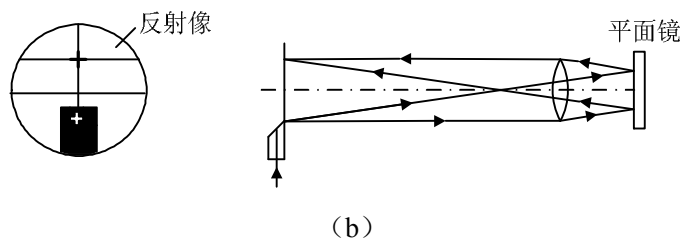


附图 2 平行光管

(2) 自准直望远镜(阿贝式). 阿贝式自准直望远镜与一般望远镜一样具有目镜、分划板几物镜三部分. 分划板上刻的是“十”形的准线, 在边上粘有一块 45° 全反射小棱镜, 其表面上涂了不透明薄膜, 薄膜上刻了一个空心十字窗口, 小电珠光从管侧射入后, 调节目镜前后位置, 可在望远镜目镜视场中看到附图 3-(a) 中所示的景象. 若在物镜前放一平面镜, 前后调节目镜(连同分划板)与物镜的间距, 使分划板位于物镜焦平面上时, 小电珠发出透过空心十字窗口的光经物镜后成平行光射于平面镜, 反射光经物镜后在分划板上形成十字窗口的像. 若平面镜镜面与望远镜光轴垂直, 此象将落在“十”准线上部的交叉点上, 如附图 3-(b) 所示.

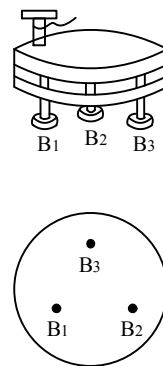


(a)



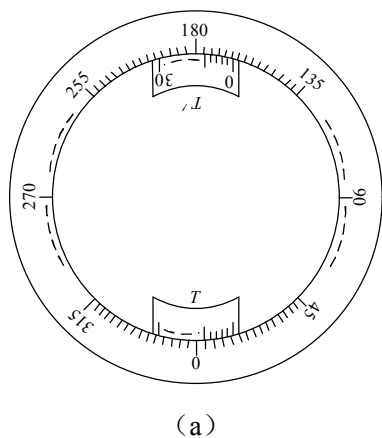
(b)

附图 3 自准望远镜

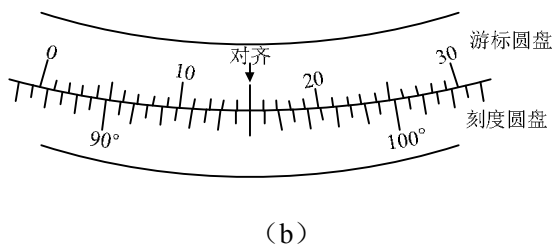


附图 4 载物台

(3) 载物小平台. 载物小平台用以放置待测物体, 台上有一弹簧压片夹, 用以夹紧物体, 台下有三个螺丝 B_1 、 B_2 、 B_3 , 可调节平台水平, 如附图 4 所示.



(a)



(b)

附图 5 读数装置

(4) 读数装置. 读数装置由刻度圆盘和沿圆盘边相隔 180° 对称安置的两个游标 T 、 T' 组成, 如附图 5 所示. 刻度圆盘分成 360° , 最小分度为半度 ($30'$), 小于半度的读数, 利用游标读出. 游标上有 30 格, 故游标上的读数单位为 $1'$. 角游标读数方法与一般游标相同. 如附图 5 所示的位置, 其读数为

$$87^\circ (30' + 15') = 87^\circ 45'$$

两个游标对称放置, 是为了消除刻度盘中心与分光计中心轴线之间的偏心差, 测量时, 要同时记下两游标所示的读数.

由于仪器中心轴和度盘刻度中心在制造及装配时, 不可能完全重合, 且轴套之间也总存在间隙, 故望远镜的实际转角 φ 与刻度盘读数窗上读得的角度 θ 不尽一致, 如附图 6 所示. 图中, O 为转轴中心, O' 为度盘刻度中心, φ 为望远镜实际转角, θ_1 及 θ_2 分别为从游标读数窗口读出的角度值. 这种测角仪器的“偏心差”上一种系统误差一般通过安置在转轴直径上的两个对称的游标读数窗来消除. 显然, 从附图 6 所示的几何关系可知

$$\varphi + \angle 1 = \theta_1 + \angle 2,$$

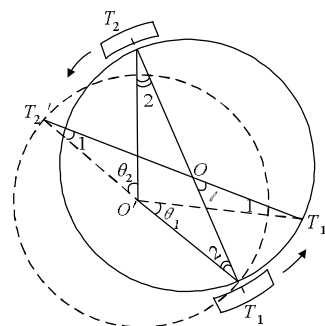
$$\varphi + \angle 2 = \theta_2 + \angle 1,$$

两式相加得

$$2\varphi + (\angle 2 + \angle 1) = \theta_1 + \theta_2 + (\angle 1 + \angle 2)$$

故
$$2\varphi = \theta_1 + \theta_2$$

$$\varphi = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$



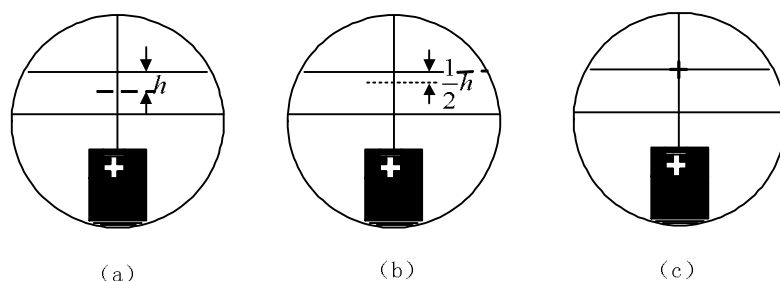
附图 6 偏心差的示意及消除

2. 调整要求和方法

正式使用光学测角仪前, 必须按下列程序进行调整:

(1) 目测粗调. 要使平行光管出射的平行光束、即狭缝光束能被望远镜接收和测出偏转角, 必须将望远镜光轴和平行光管调至始终垂直于仪器中心轴的状态. 调整时, 先用眼睛从仪器侧面观察粗调至望远镜光轴、平行光管光轴和载物台面均大致垂直于仪器中心轴^①, 且均指向轴心为止.

(2) 调整望远镜能接受平行光, 并准确地与仪器中心轴垂直. 先改变目镜与分划板之间的距离, 使目镜视场中能清晰地看清“十”准线, 然后调节目镜(连同分划板)与物镜间距, 是分划板为与物镜焦平面上, 此时视场中可同时看清“十”准线及“+”字反射像, (且使两者无视差), 此时望远镜即已能接收和对准平行光线了. 至于望远镜轴与中心轴是否垂直, 则可根据反射“+”字像与“十”准线上交点在垂直方向上错开的情形进行判断和调整. 由于调整时双面镜总是放在载物台上, 因此只要转动载物台使双面镜随同转动, 反射“+”字像也将随着发生相应的移动. 若当载物台转过 180° 后, 准线上与“+”字反射像错开位置发生了变化, 甚至根本看不到反射像, 则说明需要进一步细调. “十”准线上交



附图 7 自准法调整望远镜

点与十字反射像在垂直方向上错开的原因是望远镜轴或双面镜反射面的法线未垂直中心轴。在双面镜旋转 180° 前、后均能看到准线及“+”字反射像，但它们又相互错开的情况下，即可先调节望远镜轴的倾斜程度以消除错开距离的一半 $h/2$ ，而另一半则可调节载物台的倾斜度来消除，使“+”字反射像落在“+”准线的上交点上（附图 7）。反复进行调整直至载物台每转过 180° ，反射“+”字像都与准线上部交点重合为止。此时即可认为望远镜光轴已垂直于中心轴了。固定望远镜倾斜紧定螺丝，并以此作为以后调节其他部分的基准。

（3）调整平行光管产生平行光，并垂直于仪器中心轴。以已调好的望远镜为基准，首先从侧面和俯视两个方向用目测法把平行光管轴大致调节到与望远镜光轴相一致；再打开平行光管上的狭缝，从望远镜中进行观察，同时调节平行光管上的调节手轮，看清狭缝像，此时狭缝位于透镜的焦平面上，产生平行光；然后调节缝宽约为 1 mm 和缝长适当；最后调节平行光管的倾斜度，使狭缝中点与准线中心相重合，这时平行光管与望远镜共轴，并与中心轴垂直。

（4）调整待测件。完成上述步骤后，光学测角仪已达到可进行测量的状态，但在实际测量中还需对待测对象进行调整。如精确测定三棱镜顶角，还应对棱镜的方向进行调整。因棱镜的顶角是指垂直于折射棱边的平面（主截面）的角度（二面角），它不一定与棱镜底面上的角相等。所以，必须调整载物台面的倾斜度，使棱镜的主截面平行于度盘平面，或使两个折射面的法线均垂直于仪器的中心轴。