

实验 3.4 光学基本仪器与训练

实验 3.4.1 分光仪的调整及三棱镜顶角的测量

分光仪是光学测量中常用的基本仪器，它是用测角的方式进行光学测量，在光学实验中占有十分重要的地位。利用光的反射、折射、衍射和偏振原理，可以做许多与角度测量有关的光学实验。在分光仪上配上专用光学元件，还可以组成专用仪器。除此之外，分光仪还可以用作多种光学现象的观察，分光仪不仅用途广泛，而且构造精密，操作训练要求严格，了解分光仪的构造，学会调节使用分光仪是极为重要的。

【实验目的】

1. 了解分光仪的构造、作用和基本原理。
2. 学习分光仪的调节及使用方法。
3. 学会用分光仪测定三棱镜的顶角。

【实验仪器】

分光仪、平面反射镜、三棱镜、钠光灯等。

【实验原理】

1. 分光仪的结构原理

分光仪的型号很多，但构造大体相同，它主要由自准望远镜，载物平台，平行光管，读数装置四部分组成，其上的各个调节装置的名称和作用分别如图 3-28 所示及表 3-10 所列。图 3-28 是一种常用的分光仪结构图。

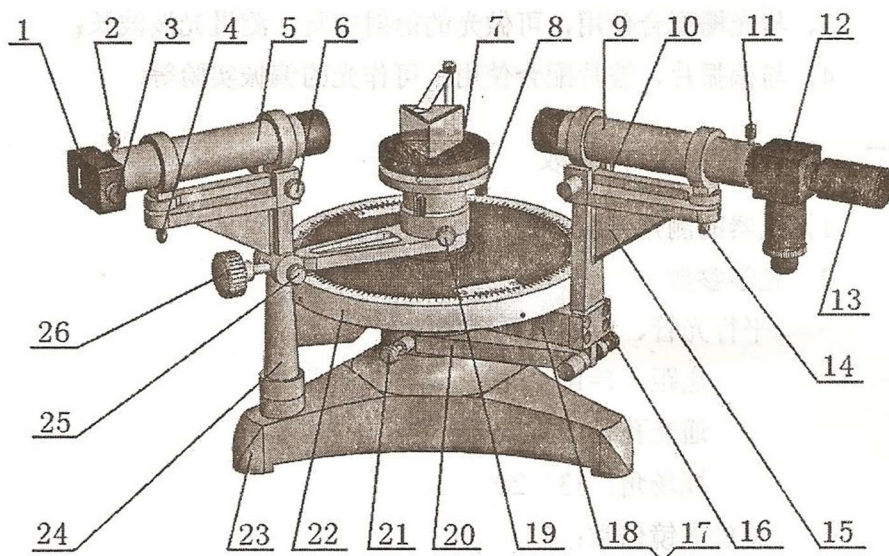


图 3-28 分光仪的结构

表 3-10 分光仪各调节装置的名称和作用

代 号	名 称	作 用
1	狭缝装置	产生狭缝并可调节狭缝宽度
2	狭缝装置固定螺钉	松开时, 前后拉动狭缝套管, 调节平行光, 调好后锁紧, 用来固定狭缝
3	狭缝宽度调节螺钉	调节狭缝宽度, 可在 0.02mm 至 2.00mm 间变化
4	平行光管的俯仰调节螺钉	调节平行光管的俯仰角度
5	平行光管	产生平行光
6	平行光管水平调节螺钉	水平方向上调节平行光管
7	载物台	放置光学元件
8	载物台调平螺钉 (共 3 只)	调节载物台台面水平
9	望远镜部件	观测经光学元件作用后的光线
10	望远镜的水平调节螺钉	调节望远镜的水平方向
11	叉丝套筒固定螺钉	松开时, 叉丝套筒可伸缩和转动 (望远镜调焦); 锁紧后固定叉丝
12	目镜组	观察读数
13	目镜调节手轮	调节目镜焦距, 使叉丝清晰
14	望远镜的光轴俯仰调节螺钉	调节望远镜的俯仰角度
15	支臂	
16	望远镜的微调螺钉	锁紧望远镜制动螺钉后, 可使望远镜作微小偏转
17	转座	
18	刻度盘与望远镜固联螺钉	锁紧后, 望远镜与刻度盘同时转动
19	载物台固定螺钉	松开时, 载物台可单独转动和升降; 锁紧后, 可使载物台与读数游标盘同步运动
20	制动架	
21	望远镜制动螺钉	锁紧望远镜
22	刻度盘	读数
23	底座	
24	立柱	
25	游标盘微调螺钉	锁紧 26 后, 调节 25 可使游标盘作小幅度转动
26	游标盘制动螺钉	锁紧 26 后, 25 才起作用

(1) 自准望远镜

望远镜可以绕仪器轴旋转, 并可以用望远镜制动螺钉 17 固定在某一位置上, 其位置可由读数装置 4 读得。旋紧固联螺钉 16, 望远镜和游标盘将会联在一起共同转动, 通过望远镜来判断光学现象, 通过游标盘与刻度盘的相对位移来确定望远镜转过的角度大小。

分光仪采用的是阿贝式自准直望远镜, 其结构如图 3-29 所示。分划板上紧贴一个直角三棱镜, 在棱镜的直角面上有一个被光源照亮(光源通过直角三棱镜的斜边平面反射面

照亮该面)的小绿“十”字，其中心位置与分划板上叉丝的上交点对称。

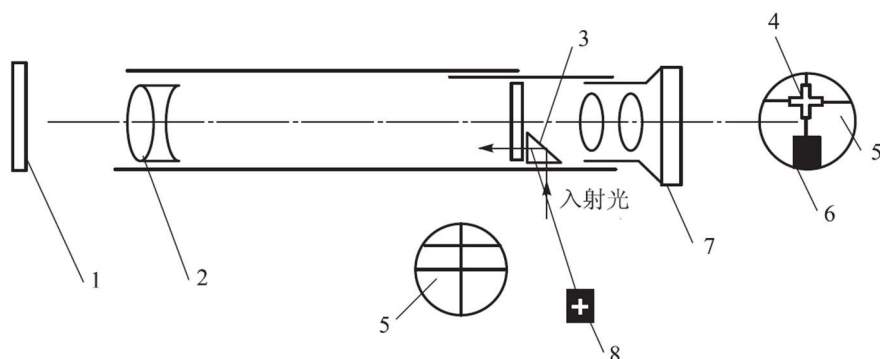


图 3-29 自准望远镜的结构

1—平面镜；2—物镜；3—小棱镜；4—十字叉丝反射像，5—分划板；
6—小棱镜；7—目镜；8—十字叉丝

（2）载物平台

它是用来放置光学元件的，可绕中心转轴转动，松开载物台固定螺钉 10，可使平台固定在所需要的高度。台下有三个调节螺钉 9，用以改变平台对铅直轴的倾斜度。

（3）平行光管

平行光管是用来获得平行光束的，它在分光仪上的位置是固定的。它的结构如图 3-30，调节狭缝调节螺钉 7 可使狭缝宽度连续变化。松开固定螺钉 8 可使狭缝体前后移动。狭缝体位于平行光管物镜的焦平面上，当狭缝被照亮时，光线便以平行光射出平行光管。

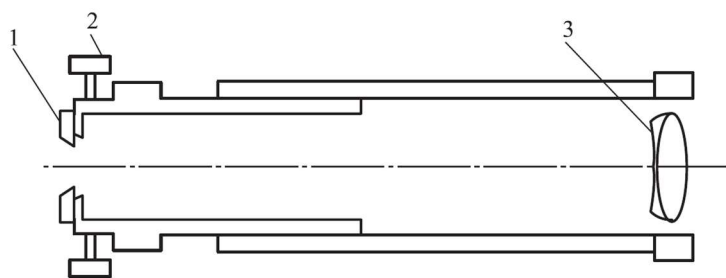


图 3-30 平行光管结构

1—狭缝；2—调缝宽螺丝；3—凸透镜

（4）读数装置

读数圆盘用来指示望远镜或载物台旋转的角度。它由刻度盘和游标盘组成。盘平面垂直于转轴，且可绕转轴旋转。刻度盘分为 360° 。最小刻度值为 $30'$ ，小于半度的值利用游标读出。游标上刻有 30 个分格，游标的最小分度值为 $1'$ （见图 3-31）。在轴对称方向上装有两个游标。测量时，取两游标窗口读数的平均值，就可以消除仪器的偏心误差（见附录）。

例如，先读出望远镜在初位置 I 时的左右窗口读数分别记作 φ_1 、 φ_2 ，再读出望远镜在末位置 II 时的左右窗口读数分别记作 φ_1' 、 φ_2' 。

然后按下式取平均值，即望远镜在位置 I、II 之间的夹角 φ 。

$$\varphi = \frac{1}{2}[(\varphi_1 - \varphi'_1) + (\varphi_2 - \varphi'_2)]$$

注意当望远镜由位置 I 转向位置 II 过程中, 若某窗口的游标越过刻度盘的零点时, 则该窗口在为位置 II 的读数中加 360° , 再与位置 I 窗口读数相减。

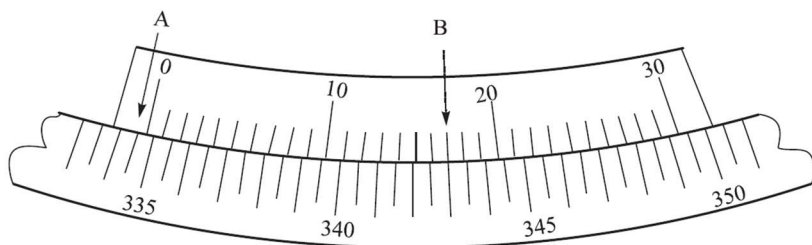


图 3-31 主刻度盘与游标盘

根据游标读数原理, φ 的读数应先读出游标上 0 刻线前主刻度尺的读数 A , 再读出游标上与主尺刻度对齐的游标刻线的读数 B , 则 $\varphi = A + B$ 。例如, 图 3-31 所示 $A = 334^\circ 30'$, 而游标盘上的第 17 格恰好与主刻度盘上的某一刻度线对齐, $B = 17'$, 则 $\varphi = A + B = 334^\circ 30' + 17' = 334^\circ 47'$ 。

2. 分光仪的调节

为了使分光仪处于工作状态, 首先要对分光仪进行调节。要求达到: 望远镜聚焦于无穷远处。平行光管和望远镜的光轴与仪器转轴相垂直, 平行光管产生平行光。调整前先用眼睛估计一下, 使各部分的位置大致符合上述要求, 然后再对各部分进行仔细调整。

(1) 调节望远镜

1) 目镜的调节: 目镜调节的目的是使眼睛通过目镜能很清晰地看到目镜中分划板上刻线。先调节调焦手轮 12, 一边调节一边从目镜中观察, 直至分划板刻线成像清晰。

2) 望远镜的调焦: 望远镜调焦的目的是将目镜分划板上的十字线调整到物镜焦平面上, 也就是望远镜聚焦无穷远。首先将变压器上的 6.3 V 电压接到目镜照明装置上, 打开电源, 将叉丝照亮。将双面反射平面镜置于载物台 3 上, 并使镜面处于任意两个调丝间连线的中垂面, 如图 3-32 中的 b 和 c , 只要调节 b 或 c , 就可以改变镜面对望远镜的倾斜度。使用目测判断, 尽可能使镜面垂直望远镜光轴, 然后慢慢地转动载物台, 先从望远镜外, 再从望远镜中找到从镜面反射回来的小绿“十”字像。如果找不到, 说明镜面的倾斜度不合适, 须仔细调节望远镜光轴俯仰调节螺钉 13 和水平调节螺钉 14 及载物台底部螺钉 9, 使得从双面反射镜的两个面反射的绿“十”字像都能进入望远镜内。找到绿“十”字像后, 调整望远镜焦距, 使绿“十”字清晰并与叉丝间无视差。此时说明望远镜已聚焦于无穷远处, 可以使平行光会聚在目镜分划板上。

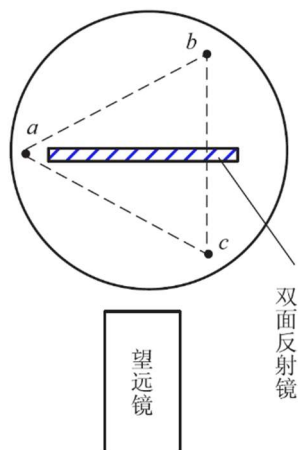


图 3-32 平面反射镜在载物台上的摆放位置

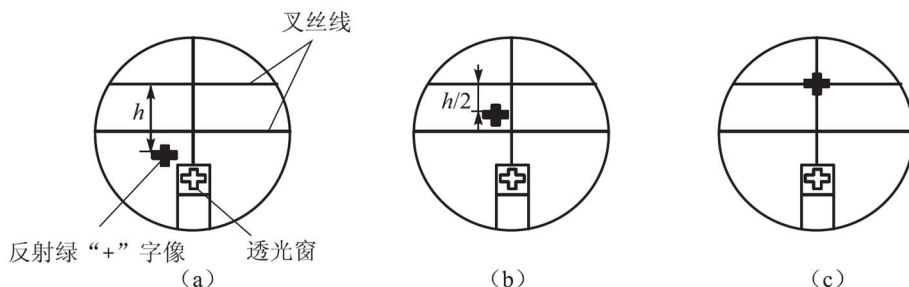


图 3-33 望远镜光轴垂直于仪器转轴调节示意图

3) 调节望远镜的光轴垂直仪器转轴

望远镜调好焦后，用望远镜制动螺钉 17 将望远镜固定。这时转动载物台，并调节载物台上调节螺钉 9 中的 b 和 c 及望远镜俯仰螺钉 13，以改变平台或望远镜的倾斜度，可使绿色的叉丝反射像与视场上部调整叉丝完全重合，这说明望远镜光轴和平面反射镜一个面垂直。要使望远镜光轴与载物台转轴垂直，必须使望远镜光轴同时垂直平面镜另一个反射面，一般说来当转动载物台使平面镜另一面对准望远镜时，望远镜视场中观察到的反射绿“十”字像和叉丝上交点又不重合了。一般采用渐近法(或称二分之一法)调节，若反射绿“十”字像与上部调整叉丝线距离为 h ，如图 3-33 (a)，先调载物台调节螺钉 9 使“十”字像接近上部叉丝水平线一半的距离 $h/2$ 如图 3-33 (b)，再调望远镜俯仰螺钉 13，调好剩下的一半距离，使“十”字像与上部叉丝的水平线重合，如图 3-33 (c)。转动载物台 180° ，对双面反射镜的另一面重复上述步骤进行调节，直到两个反射面反射的绿“十”字像都与上部叉丝水平线重合。此时望远镜光轴即与分光仪转轴互相垂直。

(2) 调节平行光管

用钠光灯照亮平行光管的狭缝，将已调好的望远镜转至对准平行光管的位置，并通过望远镜观察平行光管中狭缝的像，伸缩狭缝套筒调整狭缝位置，使其处于平行光管物镜的焦平面上。这时，在望远镜中可以清楚地看到狭缝，平行光管即发出平行光。调节狭缝方向使之与叉丝竖直线重合，锁紧螺钉 8。调节螺钉 5 使狭缝在望远镜视场中央，则平行光管光轴与望远镜光轴重合。

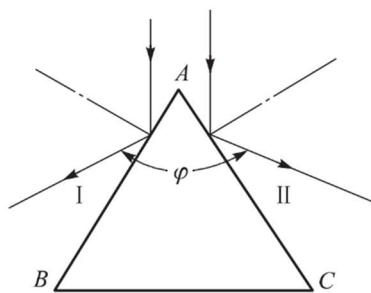


图 3-34 用平行光法测三棱镜顶角

3. 三棱镜顶角的测定

测定三棱镜顶角的方法有两种：平行光法（反射法）和自准法（法线法）。

(1) 用平行光法测三棱镜顶角

在上述调节工作完成之后，将待测棱镜顶角 A 正对平行光管，并接近载物台中心放置，如图 3-34 所示，锁紧望远镜与刻度盘固联螺钉 16，缓慢转动望远镜，记录望远镜在能看到经棱镜两反射面反射回来的狭缝像的位置 I、II 时的刻度盘两窗口的读数 θ_a 、 θ_b 和 θ'_a 、 θ'_b 。

则按公式求出顶角 A

$$A = \frac{1}{2}\varphi = \frac{1}{4}(|\theta'_a - \theta_a| + |\theta'_b - \theta_b|)$$

(2) 用自准法测三棱镜顶角

如图 3-35 所示, 将三棱镜置于载物台中央, 转动望远镜对准 AB 面。利用自准直原理, 调整望远镜调节螺钉 13 和 14, 及微调螺钉 15, 使分划板上部叉丝与亮“十”字像重合, 从而使望远镜光轴垂直于 AB 面, 读出角度值 θ_a 和 θ_b , 再将望远镜对准 AC 面, 使望远镜光轴垂直于 AC 面, 读出角度值 θ'_a 和 θ'_b , 由图 3-35 中光路和几何关系可知, 望远镜转过的角度

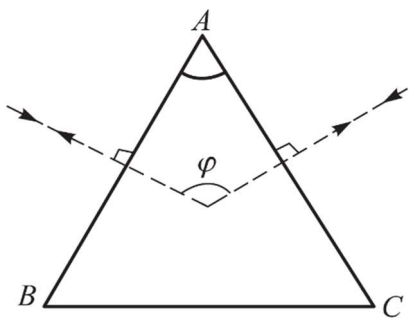


图 3-35 用自准直法测三棱镜顶角

$$\varphi = \frac{1}{2}(|\theta_a - \theta'_a| + |\theta_b - \theta'_b|)$$

三棱镜顶角

$$A = 180^\circ - \varphi$$

在计算望远镜转过的角度时, 同样要注意是否经过了刻度盘零点。

【实验内容】

1. 根据分光仪的结构原理和调整方法调整分光仪, 使其进入准备工作状态。
2. 用平行光法测三棱镜顶角。重复测量多次, 计算三棱镜顶角及标准偏差, 写出结果表达式。
3. 用自准法测三棱镜顶角 (选做)。

【思考题】

1. 分光仪主要由哪几部分组成? 各部分作用是什么?
2. 分光仪调节好的具体要求是什么? 调节的原理是什么? 怎样才能调节好?

【附录】 关于读数盘双游标的说明

如图 3-36 所示, 大圆为刻度盘, 其圆心为 O , 小圆圆心为 O' , 为仪器转轴中心。设初始位置两角游标零刻度线分别指着刻度盘上的 A 、 B 两点, 转过角后指着 A' 、 B' 两点 (相应角坐标由 θ_1 、 θ_2 变为 θ'_1 、 θ'_2)。

由图 3-36 可见 $\angle AOA' = \theta'_1 - \theta_1 = \varphi_1$, $\angle BOB' = \theta'_2 - \theta_2 = \varphi_2$

由于偏心导致 $\varphi \neq \varphi_1 \neq \varphi_2$ 。

由图中可见, $\triangle AOB$ 和 $\triangle A'O'B'$ 均为等腰三角形, 其底角分别为 α_1 和 α_2 , 根据外角定理可知

$$\varphi + \alpha_1 = \angle ACA' = \varphi_1 + \alpha_2$$

$$\varphi + \alpha_2 = \angle BCB' = \varphi_2 + \alpha_1$$

$$2\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$$

$$\text{即 } \varphi = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$

故双游标读数消除了偏心差。

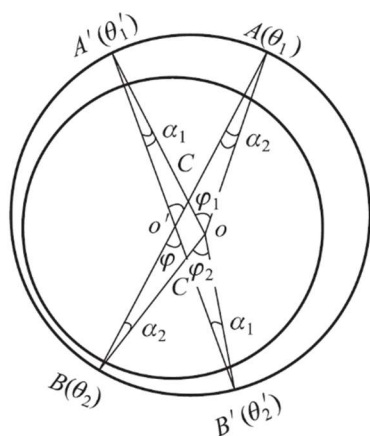


图 3-36 双游标消除偏心差