

文章编号: 1005-4642(2025)02-0020-07

## 分光计调节实验中反射像位置的计算分析

倪 一, 陈勤妙

(华东理工大学 物理学院, 上海 200237)

**摘要:** 分光计调节的关键, 要求望远镜光轴与载物台均正交于分光计主轴, 常通过自准直法结合双面反射镜辅助进行. 实验操作中, 自准直光源的反射像位置能够反映望远镜光轴和载物台的倾斜状态, 但其中的联系较为复杂, 仅靠定性分析与归纳不易全面把握实验规律. 本文以望远镜和载物台的倾斜度为自变量, 以反射像位置为应变量, 建立反射像位置的函数关系, 并计算出了一定倾斜度范围内的所有反射像位置, 并以等高线图的形式呈现计算结果, 简单直观地展示了两面有像、单面有像和两面无像的调节方法及其工作机制的分析与解释, 为学生理解分光计的实验规律提供了新的视角.

**关键词:** 计算分析; 反射像; 分光计

**中图分类号:** O435

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.19655/j.cnki.1005-4642.2025.02.003

在实验教学中, 分光计除了进行实验测量<sup>[1-2]</sup>, 其调节也是重要的教学内容. 分光计的结构较为复杂, 操作步骤相对较多. 从分光计的调节及使用入手, 可以开展多方面、多层次的教学研究. 不论是实验整体操作流程的构思、局部的操作技巧与细节, 还是操作方法的内在机制、实验现象的规律, 对这些问题的思考, 不仅有助于实验教师更深入地理解实验、发掘实验, 而且还有益于培养学生研究问题、解决问题的能力.

教学中常把分光计的调节过程与要求分解成几个部分<sup>[3]</sup>. 其中, 调节望远镜光轴与载物台主轴相互正交最为关键, 也是学生感到困难的环节<sup>[4]</sup>. 双面反射镜是分光计调节常用的辅助工具, 将反射镜以合理的位置摆放在载物台上<sup>[5-6]</sup>, 转动载物台, 使双面镜的 2 个反射面依次朝向望远镜, 通过经典的减半逐步逼近法<sup>[2]</sup> (也称为各半调节法或渐进法) 可以高精度地完成相互正交的调节, 但是使用该方法的前提是双面镜两面有像, 而操作中却常出现仅单面有像甚至两面无像的情形. 由于反射像的位置同时受望远镜和载物台倾斜状态的影响, 而且两者的倾斜状态随机, 可能以各种角度相互组合, 若学生对其中的规律缺乏了

解, 就容易盲目操作, 即便在教师指导下完成操作, 也有可能处于“知其然, 而不知其所以然”的状态. 同样, 实验教师要设计出有效、简洁、合理的操作方法和技巧, 也必须全面了解反射像的实验现象及规律.

文献[6-8]分析了两面反射像的位置特征, 指出望远镜和载物台引起的反射像位置变化具有不同的模式. 文献[5, 9-12]归纳了望远镜和载物台的各种状态和反射像位置, 探索了不能形成两面有像的原因. 除了定性分析, 部分文献还为反射光路建立了数学模型, 开展了数学分析. 例如, 文献[13-14]分别对各半调节法的工作机制进行了数学推导. 文献[15]对基于各半调节法的改进方法进行了数学分析和解释. 文献[16-17]用不同的数学方法对望远镜和载物台倾斜的容许范围进行了研究. 文献[18]建立了反射像位置与望远镜倾斜角和反射面倾斜角的联系, 并用于证明调节的效果. 但是以上的数学推导较为粗糙, 没有说明推导过程中的近似条件. 本文的目的在于全面地分析反射像位置与望远镜和载物台倾斜状态之间的联系. 以反射像位置为应变量, 以望远镜和载物台的倾斜角为自变量, 建立三者之间的函数

**收稿日期:** 2024-07-15; **修改日期:** 2024-11-20

**作者简介:** 倪 一 (1979—), 男, 上海人, 华东理工大学物理学院讲师, 博士, 主要研究方向为光电检测与分析. E-mail: niyi@ecust.edu.cn

关系. 然后利用函数关系, 计算出相互正交位置附近所有倾斜状态下的反射像位置. 使用等高线图的形式显示计算结果, 呈现出反射镜两面有像、单面有像和两面无像的情况, 以图形化方式对粗调容许范围和一些操作方法的内在机制作出简单、直观的解释, 从新的视角对操作方法作出提示.

## 1 推导反射像位置的函数关系

### 1.1 自准直望远镜物镜的成像光路

按照自准直望远镜的结构, 十字形自准直光源与分划板位于同一平面. 当望远镜物镜调节到接收平行光的状态, 分划板到物镜的距离为焦距  $f$ , 简化光路如图 1 所示(图中省略了目镜, 仅画出物镜到分划板的部分). 分划板下部的白点代表光源, 其到分划板中央横线的距离为  $h_1$ . 光源发出的光通过物镜成为平行光出射, 平行光与光轴的夹角为  $\theta_1$ .  $\theta_1$  由物镜焦距  $f$  和光源位置  $h_1$  决定, 对于给定的分光计,  $h_1$  和  $\theta_1$  均为常量(总取正值). 在物镜前方放置反射镜, 将出射的平行光反射回来. 设反射光与光轴的夹角为  $\theta_2$ , 通过物镜成像在分划板上, 像到分划板中央横线的距离为  $h_2$ . 规定像在中央横线上时,  $\theta_2$  和  $h_2$  为正值, 反之为负值.

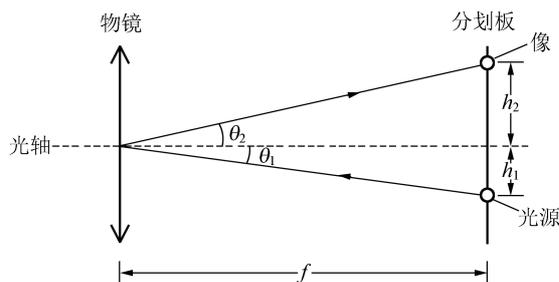


图 1 自准直望远镜物镜的成像光路

当望远镜光轴垂直于镜面时, 反射像位于标准位置, 此时  $\theta_2 = \theta_1$ ,  $h_2 = h_1$ . 本文用反射像的高度位置  $h_2$  与其标准位置的比值作为描述反射像位置的参量, 称为相对高度位置  $H$  (后文的反射像位置均指  $H$ ), 其表达式为

$$H = \frac{h_2}{h_1} = \frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1}. \quad (1)$$

显然, 当反射像在分划板中央横线的上方时,  $H$

为正值, 反之为负值.

### 1.2 双面镜镜面处的反射光路

双面镜镜面处的反射光路如图 2 所示(图中为侧面视角). 望远镜光轴与镜面法线的夹角为  $\beta$ , 并规定从法线向光轴为顺时针转动时,  $\beta$  为正值, 反之为负值. 从望远镜射出的平行光是反射镜面的入射光, 与望远镜光轴成固定的夹角  $\theta_1$ . 则入射光相对镜面的入射角为  $\beta + \theta_1$ . 由反射定律可知, 反射角  $\theta_r = \beta + \theta_1$ . 根据图 2 中的几何关系, 反射光与望远镜光轴的夹角可以表示为

$$\theta_2 = \theta_r + \beta = \theta_1 + 2\beta. \quad (2)$$

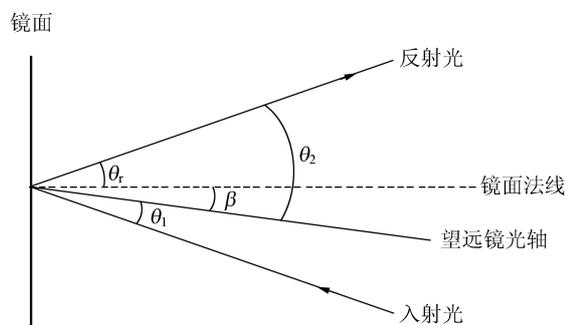


图 2 双面镜镜面处的反射光路

图 2 仅示意了望远镜光轴相对于镜面法线上仰的情况,  $\beta$  取正值. 不难验证, 若望远镜光轴相对于镜面法线下俯, 式(2)的表达式不变,  $\beta$  按照前文的规定取负值即可.

### 1.3 望远镜和镜面倾斜状态对反射的影响

分光计的游标盘平面与仪器主轴可以作为衡量望远镜与镜面倾斜状态的 2 个基准, 主轴总是垂直于游标盘, 如图 3 所示(图中为侧面视角). 设双面镜镜面与主轴的夹角为  $\alpha$ , 称为偏离角. 显然, 镜面法线与游标盘平面的夹角也是  $\alpha$ . 在正确放置双面反射镜的前提下, 镜面法线总是平行于载物台平面, 故  $\alpha$  反映了载物台相对于游标盘平面的倾斜状态<sup>[5-6]</sup>. 因此, 后文中不再区分镜面偏离角与载物台倾斜角的调节. 规定从主轴向镜面为顺时针转动时,  $\alpha$  为正值, 反之为负值.  $\alpha$  为正值时对应反射面前倾;  $\alpha$  为负值时, 对应反射面后仰. 设望远镜光轴与游标盘平面的夹角为  $\gamma$ , 称为俯仰角. 规定从游标盘平面向望远镜光轴为顺时针转动时,  $\gamma$  为正值, 反之为负值.  $\gamma$  为正值时称为上仰, 为负值时称为下俯.

从图 3(a)中的几何关系可知,

$$\beta = \gamma - \alpha. \quad (3)$$

图 3(a)显示的是镜面前倾时,  $\gamma$  和  $\beta$  均为正的情况. 容易检验, 若  $\beta$  或  $\gamma$  为负时, 式(3)也成立. 转动载物台, 使双面反射镜的另一面朝向望远镜, 则光路如图 3(b)所示. 从图 3(b)中的几何关系可知, 式(3)表达形式不变,  $\alpha$  取负值即可.

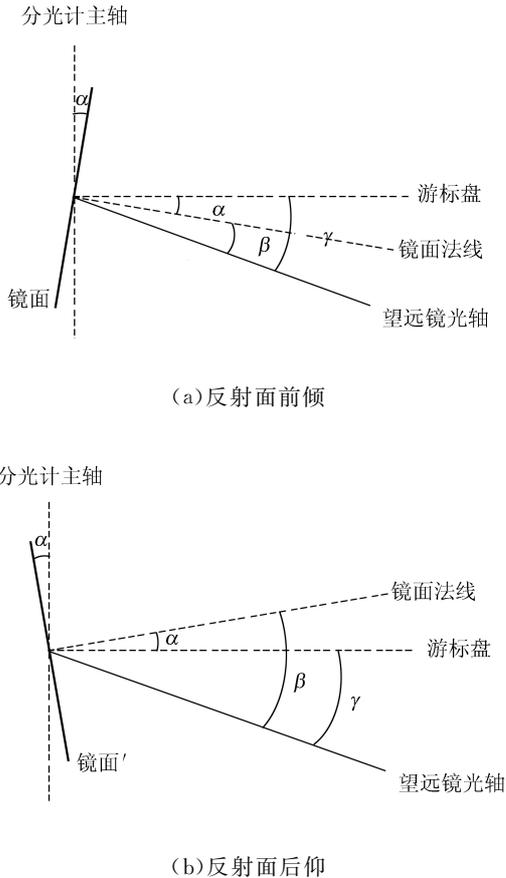


图 3 不同倾斜状态下,  $\beta$  与  $\alpha$  和  $\gamma$  之间的关系

结合式(1)~(3), 得到以  $\gamma$  和  $\alpha$  为自变量的反射像相对高度位置  $H$  的函数关系为

$$H = \frac{\tan [\theta_1 + 2(\gamma - \alpha)]}{\tan \theta_1}. \quad (4)$$

由式(4)可以计算出任意 1 组望远镜和双面镜的倾斜状态  $(\gamma, \alpha)$  产生的反射像的相对高度位置  $H$ .

## 2 反射像位置计算及等高线图

当望远镜光轴与载物台都正交于分光计主轴时,  $\gamma = 0, \alpha = 0$ . 计算该位置附近的所有倾斜状态下的  $H$ , 并以等高线图的形式显示. 图 4 为  $\alpha =$

$-2^\circ \sim 2^\circ$  范围内的结果, 该倾斜范围涵盖了反射像位于望远镜视场中以及偏出视场的情形. 从图 4 中可以看出, 所有的等高线均是斜率为 1 的直线, 这是因为式(4)中的  $(\gamma - \alpha)$  在俯仰角和偏离角发生同方向等量变化时保持不变, 导致反射像位置也不变. 从等高线图的右下角到左上角, 数值单调增大, 表示反射像位置升高. 各条等高线看起来是等间隔的, 这是因为角度很小时, 角度的正切值近似等于该角度本身(弧度单位), 式(4)在小角度时, 可近似为

$$H \approx \frac{[\theta_1 + 2(\gamma - \alpha)]}{\theta_1} = 1 + \frac{2(\gamma - \alpha)}{\theta_1}, \quad (5)$$

即  $H$  与  $\gamma$  和  $\alpha$  呈线性关系.

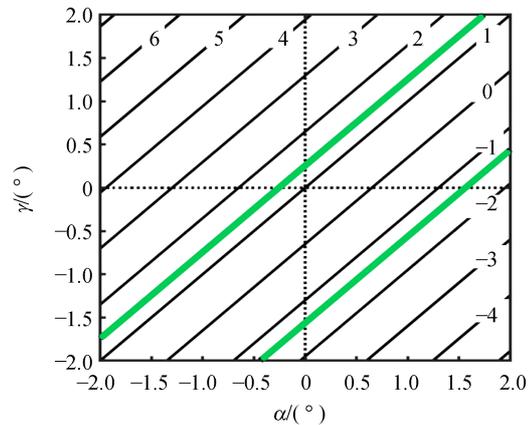


图 4 反射像位置的等高线图

图 4 中, 等高线 1, 0 和 -1 分别对应分划板的上横线、中央横线和自准直光源的高度. 2 条较粗的绿色等高线为  $\pm 1.4$  (数值 1.4 是通过分划板横线在视场中的位置估计的, 分划板上横线到中央横线的距离是 1 个单位长度, 由视场图像估计出视场边界到中央横线的距离为 1.4 个单位长度, 该数值的准确值由望远镜的结构参量决定, 在不同厂商的分光计中或有区别. 不过, 这个差异对后续的分析及其结论无影响.) 代表望远镜视场上、下边界的高度. 当反射像位置在 2 条绿线之间, 表示反射像可以出现在视场中, 反之则偏出视场. 位于等高线 1 上的点, 其横、纵坐标相同, 表示  $\gamma = \alpha$ , 即望远镜光轴垂直于镜面. 当等高线 1 过坐标系原点, 此时  $\gamma = \alpha = 0$ , 即望远镜和镜面不仅相互正交, 而且望远镜平行于游标盘平面, 镜面平行于分光计主轴. 原点所代表的光路状态即为

望远镜和载物台的调节目标。

等高线图上的任意点对应1组 $(\gamma, \alpha)$ 取值,代表望远镜和载物台的1种倾斜状态,可以称为状态点。调节望远镜 $(\gamma)$ 和载物台 $(\alpha)$ 的过程,就是将状态点移动到原点的过程。在等高线图上,状态点的移动只有2个方向,调节 $\gamma$ ,状态点沿平行于纵轴方向移动;调节 $\alpha$ ,状态点沿平行于横轴方向移动。状态点若要斜向移动,则望远镜和载物台必须各调1次。

### 3 用等高线图分析反射像位置及调节方法

#### 3.1 3种反射像情形的分布区域

利用等高线图的形式观察、分析不同反射像情形以及各种调节方法的影响。为了清晰起见,将图4用更简洁的方式画出,如图5所示。图中画出3条最关键的等高线,分别代表视场的上、下边界(2条绿粗线)和标准高度(分划板上横线)。当转动载物台使双面镜翻转 $180^\circ$ , $\alpha$ 数值不变、正负异号,在等高线图上表现出相对于纵轴对称。依据这一点,可用上、下视场边界的2条等高线,以及与之纵轴对称的2条斜虚线,将图5划分成3类区域。绿色实线与虚线围出 $45^\circ$ 倾斜的正方形区域A,代表两面有像的情形。因为自准直望远镜的光源位置低于光轴,所以区域A在横轴以下的面积更大。区域 $B_1$ 和 $B_2$ 代表单面有像的情形, $B_1'$ 和 $B_2'$ 代表单面有像时无像的那一面,区域C代表两面无像的情形。

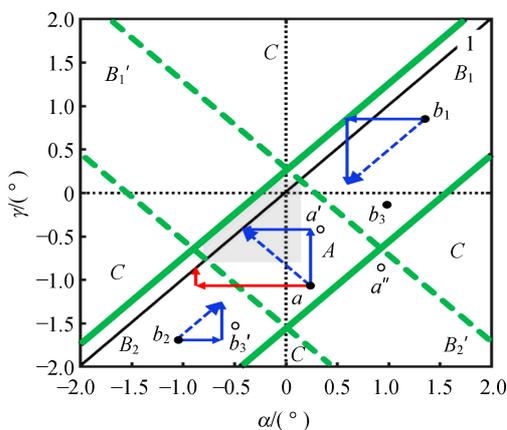


图5 等高线图分区与状态点的移动

#### 3.2 粗调的容许范围

文献[16-17]探讨了粗调的容许范围,其数学

过程较为繁琐。从图5可以直观地看到,粗调后状态点位于区域A,就能保证两面有像,区域A的边界即粗调的容许范围。容易看到, $\gamma$ 和 $\alpha$ 的容许范围相互牵制。按照图5的提示,望远镜适当下俯( $\gamma$ 略小于零),可以扩大 $\alpha$ 的容许范围。也就是说,粗调时令望远镜适当下俯,可降低载物台粗调的难度。

#### 3.3 两面有像的各半调节法

粗调后,两面有像的状态点如图5区域A中实心圆点a所示(点a可以在区域A的任意位置,其在图5中的位置主要考虑作图清晰,并不影响分析结论)。进一步细调,即将点a移动到原点的过程。按照各半调节法, $\gamma$ 和 $\alpha$ 各调节1次,且反射像的移动量相同,并使反射像到达分划板上横线。这个过程在图5上表现为从点a出发的2个首尾相连且等长的蓝色实线箭头,也等效为从点a出发到达等高线1的蓝色虚线箭头。图5中显示的是先调 $\gamma$ 后调 $\alpha$ 的路径,若是先调 $\alpha$ ,后调 $\gamma$ ,效果相同。

完成第1次各半调节后,翻转双面镜,在图5中表现为相对于纵轴对称,状态点a到达空心点 $a'$ 。由几何关系容易判断,点 $a'$ 在原点右下 $45^\circ$ 处。再做1次各半调节,就能从点 $a'$ 到达原点,完成调节。这就是文献[14]证明的标准各半调节只需2次就能完成。还可以看到,第1次调节即便不是标准的各半,只要能到达等高线1,翻转双面镜后,反射像位置点 $a'$ 仍然会在原点右下 $45^\circ$ ,再做1次各半调节即可完成调节。若第2次调节也不是标准的各半,则不能直接到达原点,但会趋向于原点,继续调节,可逐渐接近原点。

图5中,点a的左侧还画了2个首尾相连但长度不等的红色实线箭头。此时,状态点虽然也到达等高线1,但是已超出区域A。接着翻转双面镜,状态点相对于纵轴对称,则到达空心点 $a''$ ,已不在视场范围内。通过几何关系可以看出,如果总是能保证标准的各半调节,状态点不会跑出区域A。但如果 $\gamma$ 和 $\alpha$ 的改变量不相等,就有丢失像的可能性。从图5中还可以看到,若状态点在区域A的五边形浅灰色区域内,无论是否保持标准的各半调节,都不会发生丢失像的问题。但是粗调后不能保证状态点必然位于该区域,所以运用各半调节时,应尽可能进行标准的各半调节。

### 3.4 两面有像的分别调节法

文献[7]提出了载物台优先调节法(等同于分别调节法<sup>[15]</sup>),在两面有像的基础上,先调节载物台使两面反射像重合,即到达相同高度后,再调节望远镜使反射像高度到达分划板上横线.该过程在图 5 中表现为先改变  $\alpha$ ,使状态点到达纵轴,然后改变  $\gamma$ ,状态点沿纵轴移动到原点.文献[7]指出这种方法可避免反射像被调出视场的问题.此特点在图 5 中非常容易被理解,先调载物台,使得状态点靠拢到纵轴,就总能保持在区域 A 中,不会发生丢失像的问题.

### 3.5 单面有像的调节提示

若状态点位于区域  $B_1$  或  $B_2$  中,需要将其移动到区域 A 中,然后再按照两面有像的情形进一步调节.图 5 中,分别位于区域  $B_1$  和  $B_2$  的状态点  $b_1$  和  $b_2$  的移动路径,提示了比较合理的调节方法.在这 2 个例子中,首尾相连且等长的实线箭头表示载物台和望远镜各调节 1 次,并且状态点的移动量相等.同时,反射像在载物台和望远镜各调节 1 次后回到原高度.如图 5 中虚线箭头示意的效果,因为状态点沿着原来的等高线向区域 A 靠近,所以很容易预测和判断状态点的变化.图 5 中, $b_2$  的实线箭头画得较短,代表调节量较小的情形.实际操作时,可以如  $b_1$  采用更大的调节量以提高效率.反射像在调节过程中可以移动到视场的上边界或下边界,这与文献[8]提到的“2 个边缘法”相似.但是“2 个边缘法”只是将状态点移动到视场边界,然后翻转双面镜寻找另一面的像.从等高线图不难看出,只有状态点足够接近区域 A 时,才能在移动到视场边界的同时进入区域 A.所以,载物台和望远镜各调节 1 次,反射像先到视场边界,再回到原高度,可使状态点移动得更远,也就更容易进入区域 A.若状态点如图 5 中  $b_1$  距离区域 A 较远,载物台和望远镜各调 1 次后,状态点仍未进入区域 A.此时,另一面还是没有像,就需要回到有像的一面,按照相同方法继续调节.从图 5 中还注意到,当状态点较为靠近区域 A(如  $b_3$  所示),如果采取“先到上边界,再回原高度”的方式,通过载物台和望远镜各调节 1 次后,状态点可能直接跨越区域 A,到达区域  $B_2$  中空心点  $b_3'$  的位置.这是因为  $b_3$  较为靠近下边界,如果采取“先到上边界”的方式,移动量过大.

显然,采取“先到下边界”的方式更合理.因此,为了使状态点有较大的移动量,同时又要避免移动量过大的风险,可在有像的一面观察反射像位置.以分划板中央横线为界,若反射像在视场上半区,应当采用“先到上边界”的方式,在下半区则用“先到下边界”的方式.

单面有像的调节还存在的困难有:仅从反射像在望远镜视场中的高度,无法区分和判断区域  $B_1$  和  $B_2$ .当状态点在区域  $B_1$  中(如  $b_1$  所示),“先到上边界”应当搭配“先横后竖”的路径,也就是“先载物台,后望远镜”的调节顺序,才能使状态点靠近区域 A.若调节顺序相反,状态点反而会远离区域 A.同理,“先到下边界”必须搭配“先竖后横”.而当状态点在区域  $B_2$  中(如  $b_2$  所示),操作顺序则相反.从操作规范性的角度来说,最好结合其他方法或辅助工具获取载物台和望远镜倾斜状态的信息,预先判断出状态点所处区域.从图 5 可以看到, $\alpha$  为正值,有像的一面必在区域  $B_1$ ,反之则在区域  $B_2$ .一旦完成判断,从图 5 很容易推断出正确的操作路径.如果缺少实验条件,无法获知载物台的倾斜信息,就只能用试错的方式,任意选用操作顺序,使状态点向某一方向移动.在有像的一面完成载物台和望远镜的调节,然后翻转双面镜,查看是否有像.若有,则达到两面有像区域;若无,则回到有像的一面,重复以上操作.经过数次重复后,如果仍然无法达到两面有像区域,或者发现载物台已有明显倾斜,表明状态点可能向着远离区域 A 的方向移动.此时,只需调换载物台和望远镜的调节顺序,其他步骤不变,重复操作即可.试错的操作过程有些繁琐,需要实验者保持耐心并细致调节.从图 5 可以看到,上述操作方法保证状态点始终在同一等高线上移动,所以不会丢失“单面有像”的状态.

### 3.6 两面无像的情况

若状态点在区域 C 中,需要将其移动到区域 A 中.因为区域 A 比较小,也可以先移动到  $B_1$  或  $B_2$ ,然后再按照 3.5 节的方法移动到区域 A 中.两面无像时,视场中没有任何可依据的现象,所以需要从其他途径获取望远镜和载物台倾斜状态的信息<sup>[3,19]</sup>,或在调节方法中限定其倾斜状态<sup>[20-21]</sup>,或通过对倾斜状态的“扫描”来“搜索”反射像<sup>[17,20,22]</sup>.

综上,从等高线图的角度归纳了避免两面无像,即至少单面有像的粗略条件.从图5可见,至少单面有像的区域为 $A, B$ 和 $B'$ ,他们共同组成形似 $X$ 的区域,该区域的特征是横坐标(或其绝对值)与纵坐标(或其绝对值)接近.代表的光路特点是,双面镜的一面与望远镜光轴接近垂直.

#### 4 结束语

载物台和望远镜的调节是分光计调节的关键环节.借助双面反射镜,望远镜自准直光源的反射像位置能够体现载物台和望远镜的倾斜状态.全面分析反射像位置与望远镜和载物台倾斜状态之间的联系与规律,有助于学生深入理解分光计的结构及其操作方法.本文以反射像的高度为应变量,以望远镜光轴的俯仰角和镜面的偏离角(与载物台的倾斜角始终保持一致)为自变量,建立了函数关系,计算望远镜俯仰角和镜面偏离角在标准位置附近( $\pm 2^\circ$ 以内)可形成的所有反射像的位置,并以等高线图的形式显示规律.通过等高线图,分析了反射像位置的区域分布、粗调容许范围、两面有像和单面有像时的调节方法及其工作机制、避免两面无像的条件.本文从实验现象(反射像高度)入手,分析了分光计状态(载物台和望远镜倾斜状态)的影响因素,有利于加深学生对分光计调节的工作机制的理解,为分析分光计的实验现象与操作方法提供了新的视角.

#### 参考文献:

- [1] 杨之昌,马世红.漫谈教学用分光计[J].物理实验,2007,27(2):40-41,45.
- [2] 张兆奎,缪连元,张立,等.大学物理实验[M].北京:高等教育出版社,2016:118-130.
- [3] 许飞,罗锻斌.分光计调节实验中的教学方法探讨[J].大学物理实验,2013,26(4):35-36.
- [4] 李伟,潘玲珠,李桂霞,等.分光计调节难点剖析[J].实验科学与技术,2008,6(3):27-28,73.
- [5] 唐笑,周贤菊,相国涛,等.图解分光计的光路调整[J].大学物理实验,2018,31(6):35-38.
- [6] 高海林,高扬.分光计的调节技巧[J].实验室科学,2008(6):143-145.
- [7] 孙存英,王宇兴,王锦辉,等.载物台优先调节的分光计调节方案探讨[J].大学物理实验,2020,33(6):11-13.
- [8] 周翔宇,周艳明.对称法调节分光计[J].实验技术与管理,2012,29(10):71-73.
- [9] 何丽.快速调节分光计的有效方法[J].实验科学与技术,2009,7(3):29-30,147.
- [10] 张玉梅,王雪琴.分光计实验中望远镜的快速调节方法:台先镜后法[J].物理与工程,2008,18(6):11-12,24.
- [11] 李伟,潘玲珠,李桂霞,等.分光计调节难点剖析[J].实验科学与技术,2008,6(3):27-28,73.
- [12] 杨百愚,冯大毅.分光计调整实验中望远镜的调整技巧[J].大学物理,2005,24(4):45-47,50.
- [13] 叶丽军,许富洋,范晓珍.分光计调节途径优化的理论探讨[J].实验科学与技术,2014,12(1):125-127.
- [14] 王琪琨.分光计各半调整法的理论探讨[J].物理实验,1999,19(2):45-46.
- [15] 贾虎.分光计的一种新调节方法及仪器的改进[J].物理与工程,2009,19(5):27-32.
- [16] 赵万霖,李菊芳,江凤益.分光计粗调遗留偏角的允许限度与分离偏角自准法[J].物理实验,1997,17(3):136-138.
- [17] 谢银月.分光计调整方法的改进[J].物理与工程,2010,20(4):36-37,48.
- [18] 曾仲宁,牟俊侠,陈鹰南.关于分光计调整方法的分析[J].大学物理实验,1999,12(2):23-26.
- [19] 石延梅.三位水平法快速调节分光计[J].大学物理实验,2015,28(2):53-54.
- [20] 祁玲敏,韩太坤,贺言,等.分光计调节中的难点分析及调节方法的改进[J].大学物理实验,2019,32(3):21-24.
- [21] 陈丽娜,朱伟玲.分光仪的双极限快速调节法[J].物理通报,2013(1):60-62.
- [22] 许飞,朱江转.分光计快速调节方法探讨[J].物理与工程,2016,26(1):55-57.

## Calculation and analysis of reflected image positions in spectrometer experiments

NI Yi, CHEN Qinmiao

(School of Physics, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

**Abstract:** The key to adjusting a spectrometer lies in ensuring that the telescope axis and the specimen stage are both perpendicular to the main axis of the spectrometer. This is typically achieved by combining the autocollimation method with a double-faced mirror. In experimental operations, the reflected image positions from the autocollimation light source reflects the inclination state of the telescope axis and specimen stage. However, their relationship is complex, making it challenging to fully grasp experimental laws through qualitative analysis alone. In this paper, the inclination angles of the telescope and specimen stage were treated as independent variables, while the position of the reflected image served as the dependent variable. The dependence of the image position on the inclination angle was established, and all possible positions within a specific inclination range were calculated and visualized as a contour map. This provided an intuitive illustration of adjustment methods when images appear on both sides, one side, or neither side, along with an analysis of the working mechanisms. This approach provided students with a new perspective for understanding the experimental principles of spectrometers.

**Key words:** computational analysis; reflected images; spectrometer

[编辑:龙玉梅]

(上接 19 页)

## Innovative applications of laser gyroscope technology ——From basic principles to practical exploration of measuring the Earth' rotation

LUO Jian, OUYANG Jianming, HE Yanlan, PENG Gang

(College of Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** To enhance the innovativeness, advanced level, and cutting-edge nature of university physics experiment courses, we conducted an initial exploration of the teaching application of the laser gyroscope in university physics experiments. The core working principles of the laser gyroscope were introduced, covering the Sagnac effect, signal reading and analysis, and dither bias technology. Using the physical experiment apparatus formed mainly by a laser gyroscope, we vividly demonstrated the working state and output signals of the device, measured the scale factor, and accurately determined Earth's rotational angular velocity. This led to the development of the laser gyroscope experiment focusing on the core content of Sagnac effect's observation and Earth's rotational angular velocity measurement.

**Key words:** laser gyroscope; Sagnac effect; Earth' rotational angular velocity

[编辑:龙玉梅]