

光栅双单色仪中两光栅同步转动机构的调整

赵 善 政

一、光栅双单色仪的基本原理

光栅双单色仪由两个C—T型单色仪串联而成,它的波长扫描是靠一个步进电动机驱动一个正弦机构来实现的,利用莫尔条纹的原理进行波长数字显示。仪器具有分辨本领高,波长精度高,杂散辐射小,波段范围宽等特点。该仪器有两块光栅,还有两块可以更换其它波段的备有光栅。使用时两个单色仪要求严格同步,数字显示必须准确可靠。因此在装调中,需要全面仔细考虑各方面的因素,确立一套完整的、可靠的装调程序,才能达到仪器的精度要求。

本仪器的光学系统如图1所示:

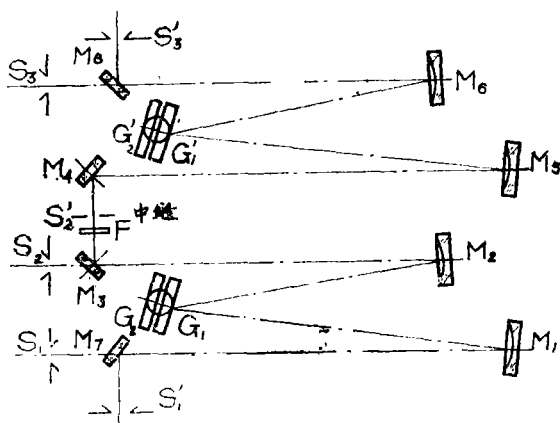


图 1

图中 S_1 、 S_2 、 S_3 分别是入缝、中缝、出缝。 G_1 、 G_1' 和 G_2 、 G_2' 为两组平面衍射光栅。 F 为滤光片,用来消除二级光谱和杂散光。 M_1 、 M_5 为准光镜。 M_2 、 M_6 为球面聚焦镜。 M_3 、 M_4 、 M_7 、 M_8 为改变光束方向的平面反射镜。 M_1 、 M_8 可插入光路或退出光路。用来适应各种不同的工作状态的需要。

仪器的分辨率	0.05nm
波长重复性	0.1nm
波长准确度	0.1nm
杂散光	10^{-6}
波长范围	0.25 μm ~2 μm (更换光栅可扩展到25 μm)
焦 距	500mm

两光栅的安装要稳固可靠,每组光栅座都安装在点、槽、面的典型结构中。因此,在更换每组光栅时,才能保证重复性好,定位精度高。两组光栅的转轴精度要求高,轴系晃动不超过4", 铰链间隙在2 μm 以内,杆长误差在5 μm 以内。

两光栅轴的同步转动靠一个平行四边形机构来实现，它直接影响两光栅轴转动的同步精度，即直接影响双单色仪的波长精度。因此，平行四边形机构的调整，是保证仪器波长精度的关键。

二、正弦机构及平行四边形

两光栅的同步转动，靠一个平行四边形机构来驱动一个正弦扫描机构，如图 2 所示。转动光栅，可以在出射狭缝处得到不同波长的单色光。为了实现波长线性指示，本仪器采用带有初始角的正弦扫描机构。此时从出缝射出的波长为：

$$\lambda = \frac{2d}{ml} \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot x = K \cdot x$$

- 式中 d —光栅常数
 m —衍射级次
 l —正弦杆长
 δ —入射与衍射光线夹角之半
 φ —零级光谱位置时正弦杆与丝杆垂线夹角（即初始角）
 x —丝杆（或丝母）从零级光谱位置起的移动量
 k —正弦机构波长比例尺

正弦机构从图 2 中可知：

$$\lambda = \frac{2d}{m} \cos \phi \frac{S}{L}$$

- 其中 θ —光栅从零级位置转过的角度
 ϕ —入射光与衍射光夹角之半
 S —扫描丝杆移动距离
 L —正弦杆长度

当光学系统和结构已定时 d 、 m 、 L 、 ϕ

均为常数，

$$\text{设 } K = \frac{2d}{m \cdot L} \cos \phi$$

故 $\lambda = KS$ ，即在出射狭缝得到的谱线波长与丝杆的移动成线性关系。

在光栅双单色仪中，采用的一种平行四边形机构，如图 3 所示，此种机构是由两组光栅轴，两组锥形轴，两组差动机构和波长杆构成的，当平行四边形改变角度时，光栅就在转轴上转动，实现扫描动作。而两组差动螺丝付分别装在长杆和短杆中，用来调整平行四边形对边等长之用。

采用这种差动机构，能保证平行四边形对边不等差在 $2 \mu m$ 以内，这样才能实现两个单色仪的同步扫描。

两组光栅 G_1 、 G_2 在扫描过程中，必须严格同步如图 4 所示：

平行四边形铰链当四边形对边相等，又消除了两光栅轴幌动和铰链间隙，两光栅转动才能严格同步，为此平行四边形的长杆和短杆，就得做成能够微调。因为由于加工装调和计量等因素的影响，做到四边形对边完全相等，是很困难的。

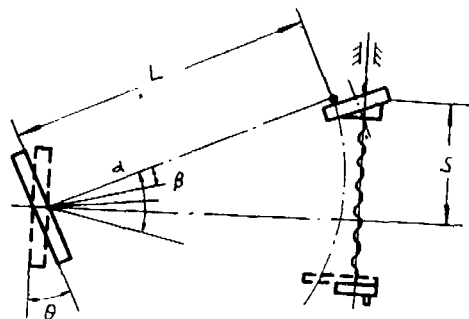


图 2

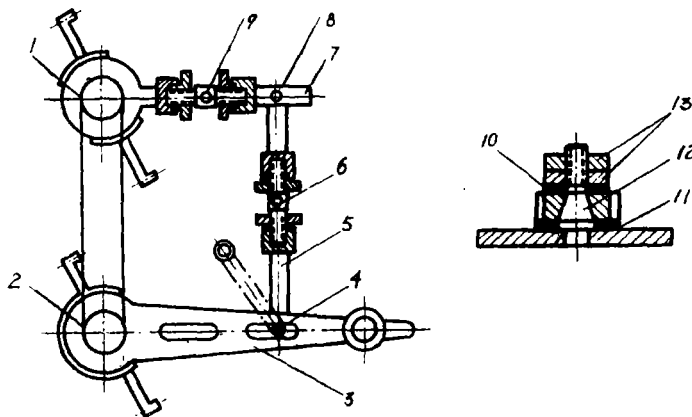


图 3

- 1 光栅轴 2 光栅轴 3 波长杆 4 锥形轴 5 长杆 6 叉动机构 7 短杆
8 锥形轴 9 叉动机构 10、11 垫片 12 锥轴 13 螺母

设短杆、长杆、波长杆及其误差分别为 a 、 b 、 L 、 Δa 、 Δb 、 ΔL 正弦杆从零级光谱起的转角为 θ ，正弦机构的初始角为 φ_1 ，则两光栅不同步误差为：

$$d\theta_3 = -\frac{\Delta b}{a} \left[\frac{1}{\cos(\theta - \varphi)} \right] - \frac{\Delta a}{a} \operatorname{tg}(\theta - \varphi)$$

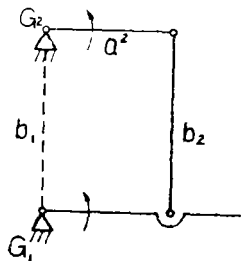


图 4

如果光栅轴系晃动小于 $4''$ ，铰链间隙小于 $2 \mu m$ ，长杆误差小于 $5 \mu m$ ，则两光栅的不同步精度，可控制在 $7''$ 以内，这对保证仪器的波长精度和重复性是必要的。为保证仪器波长准确度和波长的重复性，对平行四边形边长要求很高，在装调时，一般的测量工具是达不到精度的，装调和检测都很困难。因此，需要一种在调整过程中能随时测量两光栅轴同步精度。

一般说：用精密测角仪，分别测量两轴转角误差是不困难的，但在光栅双单色仪中，两光栅轴的转角较大，而测量精度又要达到秒级，大测量范围和高测量精度的矛盾，就是平行四边形机构检测装置的困难所在。特别是在调整四边形对边相等的同时，又能测量出光栅转角的同步精度是不容易做到的。

三、调整及测量

在装调前，制做两个调整台，如图 5 所示，将标准的多面体放在小座上，然后装上支撑套，用压帽压牢，再装到大座上，把拉簧用螺钉拉紧，再用三个螺钉支撑，这三个螺钉也是调整螺丝，调整它能使多面体反射面与准直仪垂直，垂直度在 $1'$ 以内，多面体调整后，分别固定在两光栅轴上。

每组光栅轴的一侧，各用一台精度为 $0.2''$ 的准直仪，如图 6 所示。在测量前，首先分别使两调整台的两块标准多面体的反射面与两光栅轴平行，使得两准直仪的光轴垂直于多面体的反射面。然后进行测量，方法是用准直仪 I 瞄准多面体中的一个反射面，找到自准象后，记下读数，此准直仪起监视作用。再用准直仪 II 找到第二个多面体的自准象，并用十字丝瞄

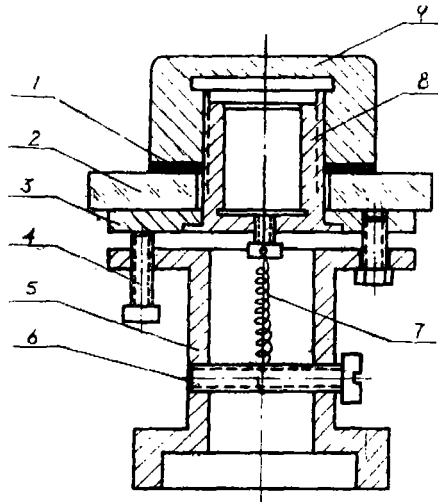


图5 调整台

1 垫片 2 多面体 3 小座 4 螺钉 5 大座 6 螺钉 7 拉簧 8 支撑套 9 压帽

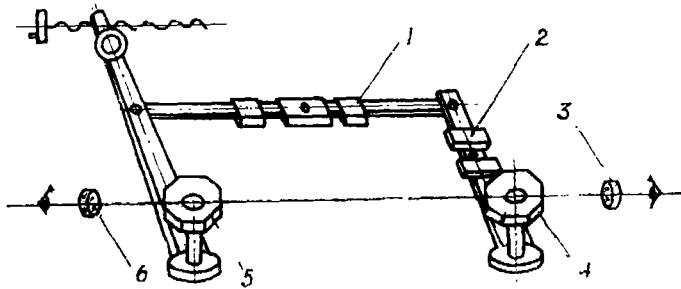


图 6

1 长杆 2 短杆 3 0.2''准直仪 I 4 多面体 I 5 多面体 II 6 0.2''准直仪 II

准，用读数鼓记下读数。然后移动平行四边形，光栅轴转动到多面体的第二个反射面，自准象移到准直仪 I 的视场中，与第一个反射面的自准象的位置完全重合。这时，在准直仪 II 的视场中，就可得出不同步的误差，接着再测下一点，以此类推，逐个测量，就可得到一组数据，也可以画出一条曲线，如图 7 所示。通过数据和曲线就可以看出不同步误差的大小。然后根据所测得数据的规律判断出需如何调整长、短杆。

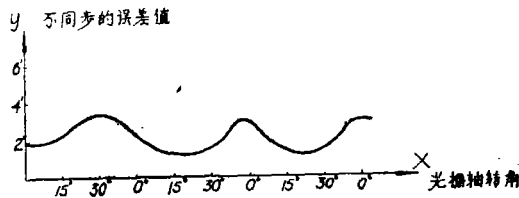


图 7 两光栅轴的误差曲线

标准多面体是24个面，相邻两个面的夹角为15°，而光栅转角范围为30°。因此利用三个反射面，即可测得光栅轴在0°、15°、30°三个位置的转角误差。用上面这种测量装置和检测方法，就解决了高精度，大测量范围的矛盾。在调整时，长杆和短杆要交错进行。用一专用工具来调整差动螺丝付。经多次调整，测得的规律是在测得的数据中，如果数据出现起伏，两端

大、中间小，或两端小、中间大，此时调整长杆较为灵敏。如果出现台阶式的数据，就是逐渐大或逐渐小，此时就应该调整短杆。在边调整边测量的过程中，发现调整短边灵敏。因此在产品投产时，已经改为短杆可调，长杆加工成固定长度。

在样机中，经过调整长杆、短杆，使其对边达到相等，满足了两光栅同步扫描的转角精度。从而保证了各波段的波长准确度和波长重复性。

影响两光栅轴同步的因素如下：

- 1) 滚珠轴承的精度
- 2) 平行四边形机构两锥形轴的转动精度
- 3) 平行四边形机构两锥形轴的舒适程度
- 4) 差动螺丝付的对研精度

如能满足上述几种精度要求，平行四边形机构调整起来就比较容易。否则，在装调测量时就很难达到 $5''$ 以内。

因为多面体角度误差约 $2''$ ，准直仪的示值误差 $0.2''$ ，读数误差 $0.1''$ ，所以整套测量装置的测量精度可优于 $3''$ ，满足了设计的要求。