

一种高性能的光栅双单色仪

苗 春 安

近年来,由于激光拉曼光谱技术和同位素分离等工作的进展,对光栅单色仪提出了很高要求。为适应这类研究工作的需要,长春光机所研制了一种高性能的光栅双单色仪(图1)。该仪器具有波段范围宽、分辨率好、波长准确度高、杂散辐射小、自动化程度较高等特点,既可做双单色仪用,又能做单色仪用。它配上适当的辐射源、探测器等附件,可构成分光光度计、荧光光度计等各种光谱仪器,用以测量辐射源的光谱分布、探测器的光谱灵敏度、光栅的集光效率、发光材料和激光物质的光学特性等,尤其适于要求杂散辐射小的高精度测量,是物理、化学、激光、遥感、环保、计量等实验室的重要设备。

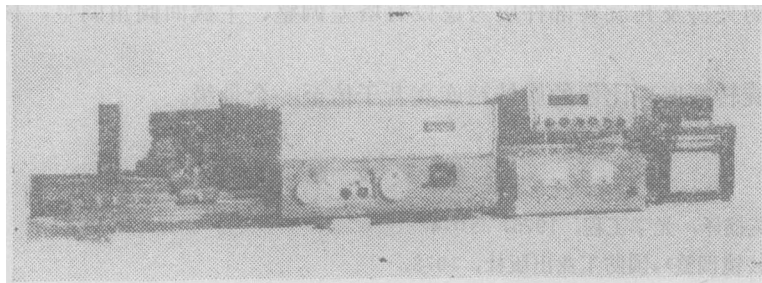


图1 仪器外形

一、仪器结构原理

本仪器由两个 C—T 型单色仪折叠串联而成,它包括光学系统、波长扫描及显示系统、双单色仪同步机构和电子学系统。质量优良的光学系统使仪器能得到较纯的单色辐射;精密的波长扫描机构保证仪器有较高的波长准确度和重复性;采用双单色仪和其它措施可使杂散辐射显著降低;数字显示和自动化给仪器操作带来许多方便。

1. 光学系统

如所周知,光栅单色仪的光学系统主要有四种基本类型^[1],即 Littrow 型、Ebert 型、Czerny—Turner 型和 Chupp—Grantz 型。为了兼顾仪器的成像质量、杂散辐射、结构安排和成本,我们采用由两个 C—T 型单色仪折叠串联而成的光路。两个单色仪之间的耦合可以有四种组合方式,它们的色散、彗差及放大率各不相同^[2]。当两个单色仪色散相加时,它们的彗差也加倍。要改善双单色仪的成像质量,必须对每个单色仪消彗差,使准直镜焦距 f_1 与聚焦物镜焦距 f_2 满足下式^[3]:

$$\frac{f_1}{f_2} = \left(\frac{\cos \alpha_0}{\cos \beta_0} \right)^{3/2} = M_1 \quad (1)$$

式中 α_0 ——光栅在平均波长(5000埃)处的入射角,

β_0 ——光栅在平均波长处的衍射角。

此时,单色仪在平均波长处的色差为零,在平均波长以外的色差减小为:

$$T_A = \frac{3HV^2}{32f_1^2} \left(\frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\beta} - \frac{\cos^2\alpha_0}{\cos^2\beta_0} \right) \left(\frac{\cos\beta_0}{\cos\alpha_0} \right)^{3/2} \cdot \cos^2\beta \quad (2)$$

式中 H ——准直镜的离轴高度,

V ——光栅宽度,

α ——光栅入射角,

β ——光栅衍射角。

我们选定仪器的名义焦距为500毫米,按

(1)式求得准直镜和聚焦物镜的子午焦距分别为582.92及498.22毫米。仪器的光学系统如图2所示。进入入射狭缝 S_1 的光线经准直镜 M_1 变为平行光,由光栅 G_1 色散,经聚焦物镜 M_2 、平面反射镜 M'_2 在中间狭缝 S'_2 处成象,利用平面反射镜 M'_3 将光路折叠并与第二个单色仪串联,经光栅 G'_1 第二次色散,在出射狭缝 S_3 处获得色散加倍、杂散辐射大大减小的单色辐射。这种系统入缝 S_1 与出缝 S_3 距离较远,便于安装各种实验设备。把反射镜 M'_3 及 M'_4 移入光路,可将入缝和出缝安置在 S'_1 及 S'_3 处,便于使用者机动。移走反射镜 M'_2 ,使用狭缝 S_2 ,可将双单色仪改为单单色仪。 G_2 和 G'_2 为供其它波段使用的光栅, F 为滤光片。

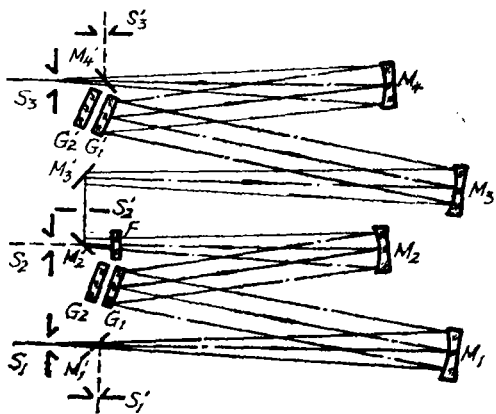


图2 光学系统

由于光栅的入射光束与衍射光束宽度不等,准直镜和聚焦物镜焦距不同,这种系统的放大率不为1。设狭缝及其在中缝、出缝处象的高和宽分别为 h_1, h_2, h_3 及 S_1, S_2, S_3 ,则单色仪和双单色仪的放大率分别为:

$$M_{h1} = \frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{\cos\beta_0}{\cos\alpha_0} \right)^{3/2} = 0.86 \quad (3)$$

$$M_{s1} = \frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{\cos\beta_0}{\cos\alpha_0} \right)^{3/2} \cdot \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} = 0.86 \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} \quad (4)$$

$$M_{h2} = \frac{h_3}{h_1} = \frac{\cos^2\beta_0}{\cos^2\alpha_0} = 0.73 \quad (5)$$

$$M_{s2} = \frac{S_3}{S_1} = \frac{\cos^2\beta_0}{\cos^2\alpha_0} \cdot \frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\beta} = 0.73 \frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\beta} \quad (6)$$

在高分辨率和低能量测量时必须注意按这些关系调节入缝和出缝。

如果按图2所示光路反向安排入缝和出缝,虽然也可以做到色散相加,但能量和色散却不如图2排列好。设光源按图2所示方向进入仪器的能量为 Φ_1 ,色散为 $(d\lambda/dl)_1$,按图2反向进入仪器的能量为 Φ_2 ,色散为 $(d\lambda/dl)_2$,假定两种排列在出缝处得到相同的光谱带宽,且光源充满入缝,可以证明

$$M_\phi = \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \left(\frac{\cos\alpha_0}{\cos\beta_0} \right)^{3/2} = 1.17 \quad (7)$$

$$M_1 = \left(\frac{d\lambda}{dl} \right)_1 / \left(\frac{d\lambda}{dl} \right)_2 = \left(\frac{\cos \alpha_0}{\cos \beta_0} \right)^{3/2} \cdot \frac{\cos^2 \beta}{\cos^2 \alpha} \quad (8)$$

按(8)式计算的结果列于表1。

表 1

λ (微米)	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1
M_1	1.08	1.03	0.94	0.85	0.81	0.69

由(7)式和表1可知,把长焦距 f_1 的反射镜 M_1 做为准直镜,短焦距 f_2 的反射镜 M_2 做为聚焦物镜(图2),进入仪器的能量较大,色散除在短波稍有损失外也较为有利。

2. 正弦扫描机构及波长显示

转动光栅可以在出射狭缝处得到不同波长的单色辐射。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,它能有较大的波长扫描范围,又可以使仪器排列较为紧凑。此时从出缝射出的波长为^[4]

$$\lambda = \frac{2d}{ml} \cos \varphi \cos \delta x = K \cdot x \quad (9)$$

- 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 ——零级光谱时正弦杆与丝杆垂线夹角(初始角),
 - x ——丝母从零级光谱位置起的移动量,
 - K ——正弦机构波长比例尺。

对于一定的光栅,波长比例尺 K 为常数,因此单色仪扫描波长值与丝母移动量成线性关系,可用丝母移动量来指示仪器的波长值。本仪器对1200线/毫米的光栅,波长比例尺为50埃/毫米。

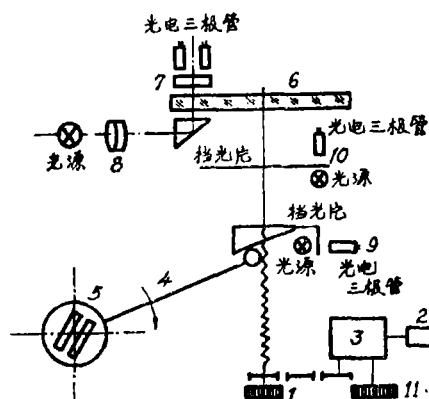


图3 正弦机构传动示意图

图3为正弦机构传动示意图,图4为仪器工作原理方框图。手轮1经正弦机构4转动光栅5进行手动扫描。步进电机2经齿轮箱3驱动正弦机构进行自动扫描。扫描控制按键决定步进电机正扫描、反扫描及停止。正弦机构上的触点控制步进电机正扫描至终点快速返回,至起点自动停止。机械变速可将齿轮箱速比改变十倍,电变速改变步进电机六种速度,使仪器从1~1000埃/分共有十二挡扫描速度。波长显示有两套系统:机械度盘显示和光电数字显示。齿轮箱输出轴上的度盘11给出波长粗读数(每格50埃),丝杆轴上的扫描手轮1给出波长精读数(每格0.2埃)。由于手轮直接装在丝杆轴上,丝杆丝母间消除间隙,因而手轮没有机械传动误差,读数准确可靠。缺点是不直观、较麻烦,故又设一套光电数字显示系统。装在丝杆轴上的计量光栅6圆周分布五百对黑白线条,它与装在附近的指示光栅7、照明系统8组成莫尔

条纹系统。扫描过程中计量光栅 6 旋转，莫尔条纹沿径向移动，由光电放大器给出两列脉宽相等、相位差四分之一周期的方波脉冲，经方向判别器和十进制可逆计数器而在数码管上显示出波长数值。计量光栅的采样间隔和计数器的波长显示格值为 0.1 埃。因为莫尔条纹系统只能计量波长的相对增量，不能识别正弦机构的绝对位置（波长绝对值），所以还要设置一套零位预置机构，预置精度好于 0.1 埃。随正弦丝杆移动的光电信号装置 9 产生一个宽脉冲给计数器，用以粗略识别正弦机构起始位置。随正弦丝杆转动的光电信号装置 10 产生一个窄脉冲给计数器，用以准确识别正弦机构起始位置。当两个零位预置信号同时加给计数器时，计数器自动按预置的起始波长开始计数。如果不是从零位开始计数，可用波长设置开关在任意波长位置按机械读数数值设置相应波长。

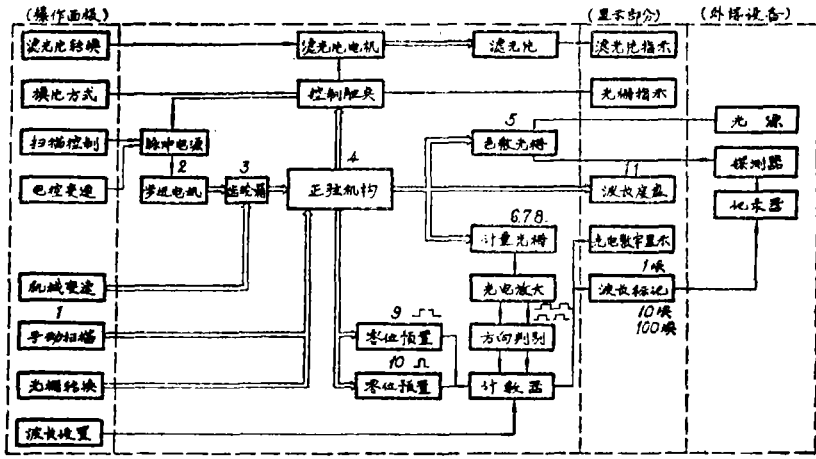


图 4 仪器工作原理方框图

当用记录器记录光谱曲线时，有专用电缆供给记录器波长标记信号，对 1200 线/毫米光栅，波长标记间隔为 1 埃、10 埃和 100 埃，分别给出短、中、长标记。

3. 光栅及滤光片转换

本仪器基本波段为 0.2~2 微米，在光栅台上背靠背安装两块光栅，通过正面光栅转换手轮可以直接转换光栅，而不要打开仪器上盖，同时指示灯指示哪一块光栅处于工作位置。

在基本波段外，仪器还可更换多块光栅，将工作波长延至中红外区（25 微米）。为便于更换光栅，光栅座采用点槽面结构，定位准确，更换方便。各波段所用光栅见表 2。

表 2

代 号	条/毫米	闪耀波长	波段范围
G_1	1200	3000 埃	2000—7000 埃
G_2	400	1.2 微米	0.7—2.5 微米
G_3	300	2.5 微米	2—5 微米
G_4	100	5—8 微米	2.5—12.5 微米
G_5	50	20 微米	12—25 微米
G_6	1200	5000 埃	3000—8000 埃

为消除光栅的高级光谱, 在基本波段装四块前截止滤光片。换片方式旋钮可选择转换滤光片的方式, 在自动挡, 扫描过程中能自动转换滤光片, 也能根据操作者的需要, 在规定程序之外手动控制滤光片的转换; 在手动挡, 只能手动控制滤光片的转换。滤光片指示灯可指示出滤光片的转换情况。

4. 双单色仪的同步

双单色仪的两块光栅 G_1 和 G_2 在扫描过程中必须严格同步, 即 $\alpha_1 = \alpha_2, \beta_1 = \beta_2$ 。第一个单色仪的光栅 G_1 由正弦机构驱动, 第二个单色仪的光栅 G_2 由和正弦杆 l 相连的平行四边形机构驱动 (图 5)。

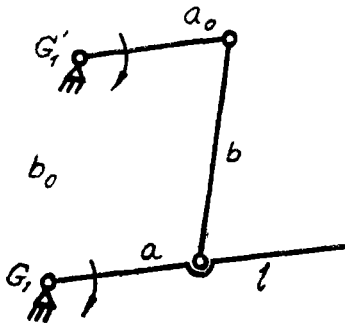


图 5 平行四边形机构示意图

如平行四边形对边杆长严格相等, 消除两光栅轴系幌动和铰链间隙, 则两光栅能严格同步转动。为此, 平行四边形杆长可微调。但由于加工、装调等因素, 四边形对边仍不可能完全相等, 设短边、长边杆长及其误差分别为 $a, b, \Delta a, \Delta b$, 正弦杆从零级光谱位置起的转角为 θ , 正弦机构的初始角为 φ , 则两光栅不同步误差为^[5]:

$$d\theta_2 = \frac{\Delta b}{a} \left[\frac{1}{\cos(\theta - \varphi)} \right] - \frac{\Delta a}{a} \operatorname{tg}(\theta - \varphi) \quad (10)$$

装调时光栅轴系幌动能控制在 $5''$ 以内, 铰链间隙在 2 微米以内, 杆长误差在 5 微米以内, 因此两光栅的不同步误差可控制在 $10''$ 以内, 这对保证仪器的波长准确度和重复性是必要的。

二、主要性能分析

1. 线色散和分辨率

单色仪及双单色仪的倒线色散分别为:

$$\frac{d\lambda}{dl_1} = \frac{d \cos \beta}{mf_2} \quad (11)$$

$$\frac{d\lambda}{dl_2} = \frac{d \cos \beta}{mf_2} \left/ \left(1 + \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \right) \right. \quad (12)$$

仪器的分辨率包括由衍射、象差、谱线弯曲等决定的光学分辨率和狭缝开启一定宽度时的有效分辨率以及受记录系统惯性影响的实际分辨率^[6]。

当光栅的实际分辨率是理论分辨率的 70% 时, 由衍射产生的半宽度为

$$\Delta \lambda_1 = \frac{\lambda}{0.7mN} \quad (13)$$

式中 N 为光栅总刻线数。

C-T 型单色仪的主要象差是球差、彗差和象散。球差已按 (1) 式校正。由于采用弯曲狭缝, 并将反射镜调焦在子午焦线处, 入缝子午象散线与出缝相切, 因而象散增宽对分辨率影响很小。此外狭缝弯曲在各波长都基本上得到补偿, 对分辨率的影响也可忽略不计^[7]。

于是主要由球差和残留彗差形成的弥散圆将决定系统的光学分辨率。设象差弥散圆半径为 r_0 , 出缝处相应的光谱半宽度为

$$\Delta \lambda_2 = \frac{d\lambda}{dl_2} r_0 \quad (14)$$

仪器的光学分辨极限为

$$\Delta\lambda_0 = \sqrt{\Delta\lambda_1^2 + \Delta\lambda_2^2} \quad (15)$$

实际工作中狭缝总要开启一定宽度，如入缝、出缝宽度分别按（6）式开启到 S_1 、 S_2 ，则狭缝光谱半宽度为

$$\Delta\lambda_s = \frac{d\lambda}{dl_2} S_2 \quad (16)$$

仪器的有效光谱宽度为

$$\Delta\lambda = \sqrt{\Delta\lambda_0^2 + \Delta\lambda_s^2} \quad (17)$$

如果是用记录器记录光谱曲线，还要考虑由记录系统时间常数 τ 和扫描速度 v 所造成的光谱增宽

$$\Delta\lambda_s = kv\tau \quad (18)$$

式中 k 为某一系数。在考察仪器本身的有效分辨率时，我们总是选择尽可能小的扫描速度，以使 $\Delta\lambda_s$ 一项可忽略。

由计算机算出本仪器的象差弥散圆半径 $r_0 = 0.04$ 毫米，通常取 $S_2 = r_0$ ，能量较小时可以取 $S_2 > r_0$ ，极少数情况下取 $S_2 < r_0$ 。按公式（4）、（6）、（11）~（17）算出的线色散、放大率和光谱带宽列于表3。由表3可见，仪器的分辨极限约为0.3埃，有效分辨带宽约0.4埃。如果光学系统调得非常好，仪器分辨宽度可优于0.2埃。

表 3

λ (微米)		0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1
$\frac{d\lambda}{dl_1}$ (埃/毫米)		16.02	15.7	11.85	15.72	13.01	11.37
	$\frac{d\lambda}{dl_2}$ (埃/毫米)	7.85	7.6	7.02	6.31	5.9	4.94
M_{S_1}		0.89	0.91	0.95	1	1.03	1.11
M_{S_2}		0.79	0.83	0.91	1	1.07	1.24
$\Delta\lambda_1$ (埃)		0.04	0.06	0.1	0.14	0.16	0.2
$\Delta\lambda_2$ (埃)		0.31	0.3	0.28	0.25	0.24	0.2
$\Delta\lambda_0$ (埃)		0.31	0.31	0.30	0.29	0.29	0.29
$\Delta\lambda_s$ (埃)	$S_2 = 0.02$	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.1
	$S_2 = 0.01$	0.31	0.3	0.28	0.25	0.24	0.2
	$S_2 = 0.1$	0.79	0.76	0.7	0.63	0.59	0.5
$\Delta\lambda$ (埃)	$S_2 = 0.02$	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31
	$S_2 = 0.04$	0.44	0.42	0.4	0.38	0.34	0.35
	$S_2 = 0.1$	0.85	0.82	0.76	0.69	0.66	0.58

2. 波长准确度

将波长扫描公式（9）分别对各自变量偏微分，把性质相同的项合并，得

$$d\lambda_1 = \frac{2d}{ml} \cos\delta \cos\varphi dx = K dx \quad (19)$$

$$d\lambda_2 = \lambda \left(\frac{d dt}{d} - \frac{d t t}{l} \right) = \lambda (\alpha_1 - \alpha_2) dt \quad (20)$$

$$d\lambda_3 = -\lambda \left(\frac{d l}{l} + \text{tg}\varphi d\varphi + \text{tg}\delta d\delta \right) \quad (21)$$

$$d\lambda_4 = \frac{2d}{m} \cos\delta (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) d\theta \quad (22)$$

式中 dx ——正弦丝杆传动误差,

α_1, α_2 ——正弦杆和光栅温度系数,

dt ——温度变化量,

dl ——正弦杆长度误差,

$d\varphi$ ——正弦机构初始角误差,

$d\delta$ ——反射镜角度调整误差。

整个前单色仪的波长误差为

$$d\lambda_{\text{前}} = \sqrt{d\lambda_1^2 + d\lambda_2^2 + d\lambda_3^2 + d\lambda_4^2} \quad (23)$$

对于双单色仪,除前述各项误差外,还包括由后单色仪反射镜角度调整误差 $d\delta_2$ 、光栅角度调整误差 $d\theta_1$ 及光栅不同步误差 $d\theta_3$ 等因素造成的波长误差

$$d\lambda_{\text{后}} = \sqrt{(\lambda_2 - \lambda_1)^2 \text{tg}^2\delta (d\delta_2)^2 + \left(\frac{2d}{m} \cos\delta \right)^2 (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)^2 (d\theta_1^2 + d\theta_3^2)} \quad (24)$$

式中 θ_1 及 θ_2 分别为最大、最小波长处的光栅转角。于是双单色仪的波长误差为

$$d\lambda_{\text{总}} = \sqrt{\left(\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} d\lambda_{\text{前}} \right)^2 + (d\lambda_{\text{后}})^2} \quad (25)$$

加工可以保证正弦丝杆传动误差(包括丝杆螺距误差、丝母附加转角误差等)不大于 0.008 毫米,仪器工作温度为 $20^\circ \pm 5^\circ\text{C}$,如果杆长调整精度在 0.01 毫米左右,光栅角度调整误差控制在 $10''$ 以内,则前单色仪的波长误差可好于 0.6 埃。后单色仪的反射镜角度调整误差约为 $2'$,光栅角度调整误差和不同步误差分别控制在 $10''$ 以内,则双单色仪的波长误差可好于 0.8 埃,再考虑到波长重复性,整台仪器的波长准确度可在 1 埃以内。

3. 波长重复性

波长重复性主要由正弦扫描机构的偶然误差如丝杆轴向窜动 dx_1 、光栅轴系重复性 $d\theta_4$ 、光栅台定位重复性 $d\theta_5$ 及光栅安装重复性 $d\theta_6$ 等决定

$$d\lambda'_{\text{前}} = \sqrt{(K dx_1)^2 + \left(\frac{2d}{m} \cos\delta \right)^2 (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)^2 (d\theta_4^2 + d\theta_5^2 + d\theta_6^2)} \quad (26)$$

双单色仪的波长重复性还与平行四边形机构重复性 $d\theta_7$ 及后单色仪光栅安装重复性 $d\theta_8$ 有关

$$d\lambda'_{\text{总}} = \sqrt{\left(\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} d\lambda'_{\text{前}} \right)^2 + \left(\frac{2d}{m} \cos\delta \right)^2 (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)^2 (d\theta_7^2 + d\theta_8^2)} \quad (27)$$

如 $dx_1 = 0.004$ 毫米, $d\theta_4 = d\theta_5 = d\theta_7 = 5''$, $d\theta_6 = d\theta_8 = 10''$,则整台仪器波长重复性可好于

0.5埃。

4. 扫描速度

已知正弦机构波长比例尺 $K = 50$ 埃/毫米，步进电机步距角 $b = 1.5^\circ$ ，齿轮箱减速比 $z_1 = 12.5$ ， $z_2 = 125$ ，步进电机脉冲频率 f 和波长扫描速度 v (埃/分) 间的关系为

$$v = Kfb/6z \quad (28)$$

仪器的十二挡扫描速度见表 4。

表 4

v	10	20	150	250	500	1000	(赫)
z							
125	1	2	15	25	50	100	(埃/分)
12.5	10	20	150	250	500	1000	(埃/分)

5. 杂散辐射

单色仪是用以获得窄带(单色)辐射的光学装置。然而在白光照明时它除了输出选定波长上一定通带的辐射外，还输出少量波长在该通带以外的辐射；或者用单色辐射输入时，除在选定的该波长通带上有辐射输出外，还有少量单色辐射散布在其它波长上。这种在选定波长通带以外的少量辐射与选定波长辐射之比称为单色仪的杂散辐射。

光栅单色仪中杂散辐射来源很多，如由光栅级次重叠产生的高级光谱；由光栅制造缺陷产生的罗兰鬼线、赖曼鬼线及光栅散射光；由光学元件表面疵病、灰尘及其它机械零件造成的散射；由光学系统多重色散产生的杂散辐射等。

本仪器采用前截止滤光片消除叠级；对光栅鬼线、光学零件表面光洁度及清洁程度都提出较高要求；仪器整体布局采用双层结构，所有机械传动系统及光电元件均安装在底板之下，光学系统装在底板之上，同时仪器内壁涂有反射系数极低的消光材料以减少杂散辐射来源。至于多重色散，一般单色仪设计时都按 Cary 原理确定反射镜离轴角，以克服多重色散。本仪器由于采用双单色仪，有中间狭缝和挡光板，可以不考虑多重色散问题。这时反射镜离轴角由 14° 减小到 9.6° ，使仪器结构紧凑，象差减小，而杂散辐射却可以比单个单色仪显著下降。当然，仪器做单色仪使用时，要增加一块消除短波多重色散的滤光片^[8]。

三、结 果

为了考察仪器的实际性能，我们用 EMI9659QB 光电倍增管和硫化铅探测器，后接 FS—J1 型锁相放大器和 XWX—2042 自动平衡记录仪及 PZ 8 数字电压表，光源经 800 周/秒调制，检测了仪器的各项指标，结果如下：

1. 波段范围：0.2~2 微米（更换光栅和滤光片可扩展至 25 微米）；
2. 分辨率：好于 0.2 埃（图 6）；
3. 波长准确度： ± 0.5 埃（紫外、可见区），2 埃（近红外区），0.005 微米（红外区）；
4. 波长重复性： ± 0.25 埃（紫外、可见区），1 埃（近红外区），0.0025 微米（红外区）；
5. 杂散辐射： 4×10^{-7} （在 6328 ± 20 埃，带宽 3.5 埃）， 3×10^{-6} （在 3700 埃，带宽 21 埃，W

灯, NaNO_2 溶液);

6. 扫描速度: 1~1000埃/分(十二档);

7. 其它: 波长显示格值 0.1 埃(对1200条/毫米光栅), 波长标记间隔1、10、100埃(对1200条/毫米光栅)。

还用本仪器测试了 $\text{TbP}_5\text{O}_{14}$ 、 $\text{EuP}_5\text{O}_{11}$ 、 $\text{NdP}_5\text{O}_{11}$ 、 YAG_2Nd 、 $\text{ErP}_5\text{O}_{14}$ 及 $\text{HOP}_5\text{O}_{14}$ 五种稀土激光晶体材料在可见和近红外区的荧光光谱。仪器可以很容易记录出具有复杂光谱精细结构, 强度相差比较悬殊的全部荧光峰群, 谱线清晰, 质量很好。特别是 $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$ 在1.28~1.4微米 Nd^{3+} 荧光峰群非常明显(图7)。而且仪器还首次测出了 $\text{HOP}_5\text{O}_{14}$ 中 HO^{8+} 在2微米附近的荧光光谱, 过去在其它几种仪器上曾多次测量, 均未测出。

本仪器主要性能与法国HRD、美国82-02及日本ASI-50D等仪器相近。但杂散辐射一项, 因测试条件不尽相同, 难以比较。我们采用美国材料试验协会(ASTM)规定的方法^[9], 测试条件与Pye Unicam SP8-250型(内装全息光栅双单色器)及日立340型(内装棱镜-光栅双单色器)完全相同, 它们的杂散辐射分别为 1×10^{-6} 及 2×10^{-6} 本仪器杂散辐射与它们接近。

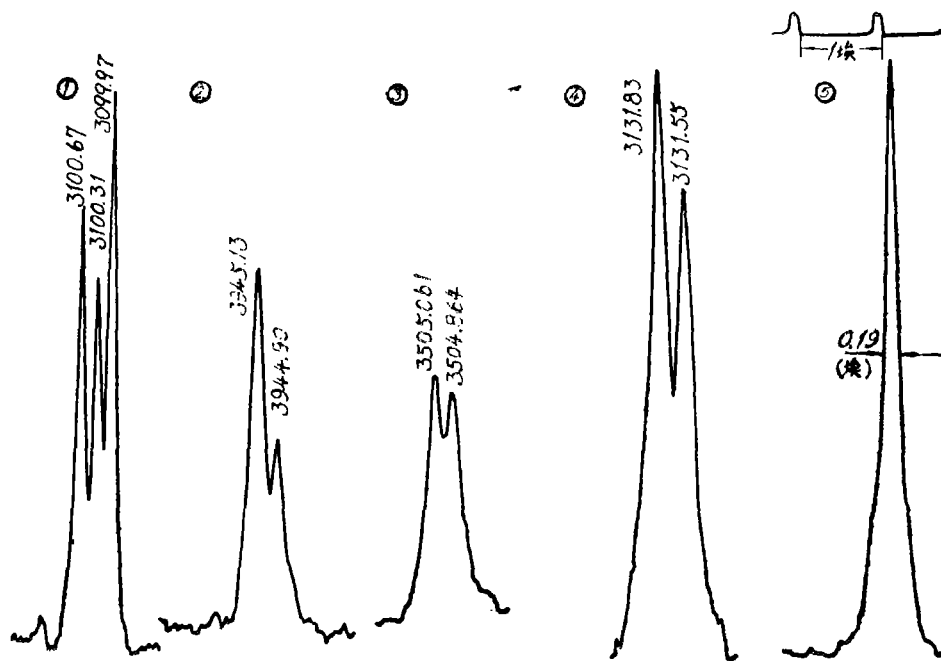


图6 分辨率曲线

① 铁三线光谱, 光栅1200条/毫米, 闪耀波长3000埃, 入缝0.015毫米, 出缝0.015毫米, 扫描速度2埃/分, 纸速20毫米/分, 探测器EMI9659QB, 高压1000伏, 放大器300微伏/3, 时间常数0.1秒, 记录器10伏, 灯电流2.4毫安, 谱线间隔0.34埃;

② 铁双线光谱, 入缝0.015毫米, 出缝0.025毫米, 扫描速度1埃/分, 时间常数1秒, 记录器5伏, 其余条件同①, 谱线间隔0.23埃;

③ 铁双线光谱, 入缝0.02毫米, 出缝0.02毫米, 其余条件同②, 谱线间隔0.197埃;

④ 汞双线光谱, 时间常数0.3秒, 其余条件同①, 谱线间隔0.28埃;

⑤ 汞线半宽度, 波长3341.48埃, 缝高1毫米, 扫描速度1埃/分, 时间常数1秒, 波长标记1埃, 其余条件同①, 半宽度0.19埃。

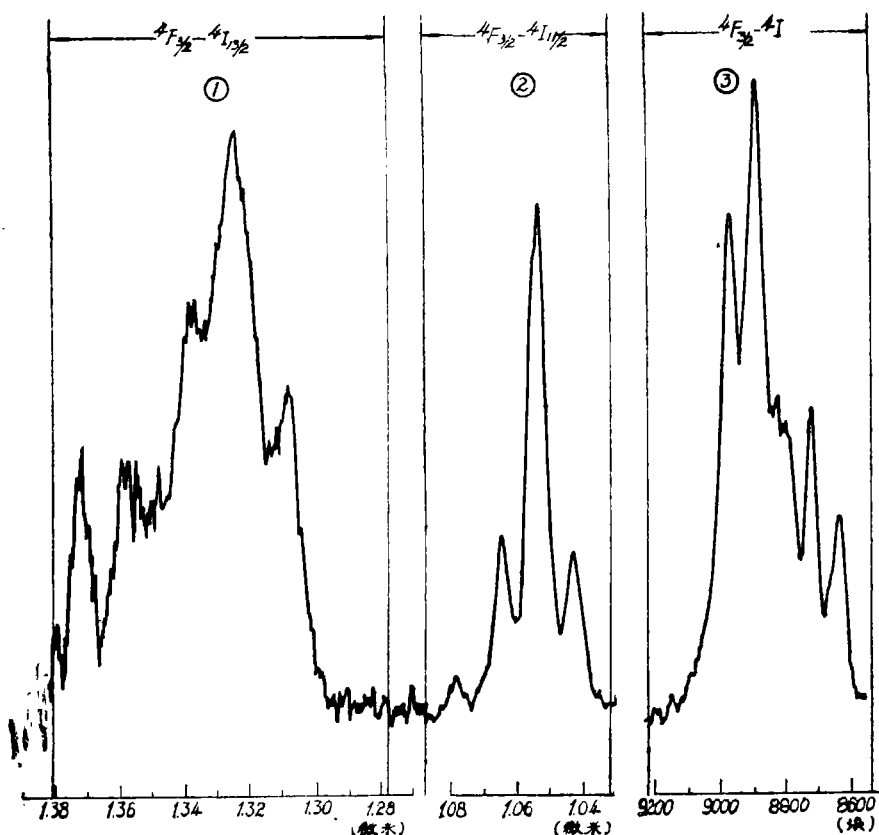


图7 $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$ 的荧光光谱

- ① 光栅400条/毫米，闪耀波长1.2微米，入缝2毫米，出缝2毫米，探测器PbS，增益250微伏，时间常数10秒；
- ② 入缝0.3毫米，出缝0.3毫米，中缝1毫米，探测器 $\Phi\Theta\text{V}-22$ ，高压1000伏，增益1毫伏，其余同①；
- ③ 同①。

在研制过程中也发现仪器存在某些不足，如光栅轴系结构复杂，给加工装调带来不便，数字显示部分也有待改进的地方。

参加本仪器设计工作的还有史光辉、王恩坤、胡永文、李长志、苏桂霞等同志。

参 考 文 献

- [1] V. L. Chupp, P. C. Grantz; Appl. Opt. 1969, 8, 925.
- [2] M. V. R. K. Murty; Appl. Opt. 1972, 11, 1637.
- [3] A. B. Shafer, et at; JOSA. 1964, 54, 879.
- [4] 嶋村辉郎; 分光研究, 1977, 26, 29.
- [5] С. Т. Цуккерман; Точные Механизмы, Оборонгиз (1941).
- [6] . 唐九华; 光学机械, 1976, 2, 7.

- [7] J. E. Stewart; Infrared Spectroscopy Experimental Methods and Techniques, New York (1970).
- [8] J. K. Priblam, C. M. Penchina; Appl. Opt. 1968, 10, 2005.
- [9] R. J. Francis; Stray Light, Silica Coating and Master Holographic Gratings, Pye Unicam Ltd., Cambridge, England (1981).