

光栅高分辨本领的测定

孙景椿

我室从美国宝雪龙公司进口了一块刻划面积为 256×128 毫米²，79 槽/毫米，闪耀角 $63^\circ 26'$ 的小阶梯光栅。说明书上给出该光栅分辨本领是理论值的 90%。为了实际检验它的分辨本领，用我们现有的 8 米埃伯特型光谱仪做了一些测定，现介绍如下：

一、检测方法

过去，我们一直采用半宽法测定光栅的低分辨本领。这种方法是对给定的光栅，直接测量单色光的衍射图样的强度分布，用它的半强度宽作为 $\Delta\lambda$ ，进而求出分辨本领。但是，用这种方法测高分辨本领是很困难的。它主要是因为：尽管使用了长焦距的光谱仪，衍射图样的宽度还是很小的。就拿我们所用的 8 米光谱仪来说，当波长为 5461 埃，在 65° 角时，衍射图样的宽度大约是 40.4 微米 0.0064 埃。这就要求用来检验的谱线的自然宽度较小，同时，还应尽量减小有限入射缝宽的影响。虽然如此，由于我们现在还没有能提供一套连续变化波长间隔、且等强度的双线装置，所以，目前我们仍只好尝试用半宽法测定光栅的高分辨本领。

二、实验条件分析

我们准备使用 8 米光谱仪，汞 198 同位素灯和国产电子干板及东德 OWOR 黄快板，通过照相测光法来进行。

对 8 米光谱仪，我们曾用 150×120 毫米² 的平面反射镜测定它能够检验出理论值 92% 的分辨本领。而我们要检验的光栅转角在高达 $63^\circ 26'$ 时，有效孔径宽只有 114 毫米。因此，可断定用这台仪器测出该光栅 90% 的理论分辨本领是完全可能的。

汞 198 同位素灯带有水冷装置，由于水冷可使其保持在 300K。在这一温度下，波长 5461 埃谱线的都卜勒宽度为 0.0047 埃，而波长 4358 埃为 0.0038 埃⁽¹⁾，它们均比现在所要测光栅的衍射图样宽度小，因此，用这种灯来测定也是可以的。

对拍谱用的干板，为了有足够的灵敏度，我们决定试用已有的电子干板和黄快板。

三、测定过程及结果

用照相测光法测定谱线半宽的过程是比较繁杂的。

首先，针对所测光栅，在光谱仪上要进行仔细的调焦，找出最佳焦距时的入射缝的位置。随后要选择合适的狭缝宽度、曝光时间及显影条件等。

开始我们取狭缝宽度等于理想光栅衍射图样的宽度为 $\frac{f}{A}\lambda$ ，这里 f ：光谱仪的焦距，

A : 光栅的有效孔径宽, λ : 波长。用这一入射缝宽在非相干光照明的情况下, 最大只能测出理论值82%的分辨本领⁽²⁾。在兰克的文章⁽²⁾中指出用 $\frac{1}{4} - \frac{f}{A}\lambda$ 的缝宽测出接近理论值的分辨本领。这就启发我们减小入射缝宽来测定。当缝宽为10微米, 曝光1小时, 我们测出了分辨本领为理论值的87%。对波长5461埃, 我们用12微米的缝宽, 曝光20分钟, 测出分辨本领为理论值的86%。

我们还企图再减小缝宽来获得更高的分辨本领, 但事与愿违。缝宽太小, 能量损失很大, 曝光时间增加, 测出的分辨本领反而下降。

现将测试结果列表如下:

波长 (埃)	4358		5461		
理想衍射图样宽 (微米)	30.5		40.4		
理论分辨本领 (10^4)	105		85		
入射缝宽 (微米)	30	10	40	12	10
实测谱线半宽 (微米)	43	35	65	47	68
(埃)	0.0058	0.0048	0.010	0.0075	0.011
实测分辨本领 (10^4)	74.5	91.6	53	73	50
占理论值百分比	71	87	62	86	59

从表中看出, 实测结果与被测光栅说明书中所给的理论值90%的分辨本领数据接近。同时也可看出, 我们所测分辨本领的最佳值是在入射缝宽为 $\frac{1}{3} - \frac{f}{A}\lambda$ 时得到的。

四、几点说明

1. 关于光栅的理论分辨本领

一般来讲, 光栅的理论分辨本领是在瑞利判据的基础上给出的, 阿贝准则是两个衍射图样合成的总光强分布曲线中, 凹陷处光强为最大值的98%⁽²⁾, 这样就使分辨本领比瑞利准则规定的提高了1.145倍。谱线半宽法则是理想衍射图样的半宽为 $0.86 - \frac{f}{A}\lambda$ ⁽³⁾, 因此用半宽法规定的理论分辨本领又是瑞利准则所规定的1.16倍。

一般情况下, 如不特殊指明, 我们都认为所说光栅理论分辨本领是瑞利准则规定的。但是, 不论用那一种方法测量, 结果与这一理论值比较还是可以的, 只不过使用半宽法或阿贝准则时, 有可能得出高于100%的理论值的分辨本领。知道这是由于选择不同标准所致就可以了, 问题在于要说明实测分辨本领的方法。

2. 存在问题

通过测量, 我们确实感到用谱线半宽法测量高分辨本领是困难的。主要困难是:

(1) 我们的光源谱线的自然宽度还不够窄。在300K下, 都卜勒宽度接近我们要测的线

宽，这对测量是不利的。

(2) 入射缝宽的影响较大。缝宽从 $0 \sim \frac{f}{A}\lambda$ 的范围中，狭缝开宽了，分辨本领低，开窄了，光强损失较多，拍谱时间长，外界振动影响增加，使测量变得困难。

(3) 光栅转角很大，色散值大，使谱线几何半宽的测量精度对测量结果影响较大。例如：对波长5461埃，谱线实际半宽为50微米时，其1微米的误差导致的分辨本领的误差，根据误差传递公式有：

$$\Delta R = \frac{5461 \text{埃}}{0.050^2 \text{毫米}^2 \times 0.16 \text{埃/毫米}} \times 0.001 \text{毫米} = 1.4 \times 10^4$$

(这里0.16埃/毫米，为光栅在该角度的线色散倒数)。由上式看出光谱象1微米的误差可使分辨本领产生 10^4 数量级的误差，而我们所用 MΦ—4 测微光度计是不能保证1微米的精度的。

鉴于上述几方面的原因，我们测定结果的精度是不够的。若想比较准确的测量，还应采用直接分辨谱线对的方法，只有这样才能彻底发挥长焦距光谱仪色散大，能把相近谱线分得开，便于测量的作用。

参 考 文 献

- [1] George W. Stroke, Encyclopedia of Physics, 1967, XXIX, 612.
- [2] D. H. Rank, J. N. Shearer, and Jean M. Bennett, J. O. S. A., 1955, 45, 9, 762.
- [3] George W. Stroke, Encyclopedia of Physics, 1967, XXIX, 534.