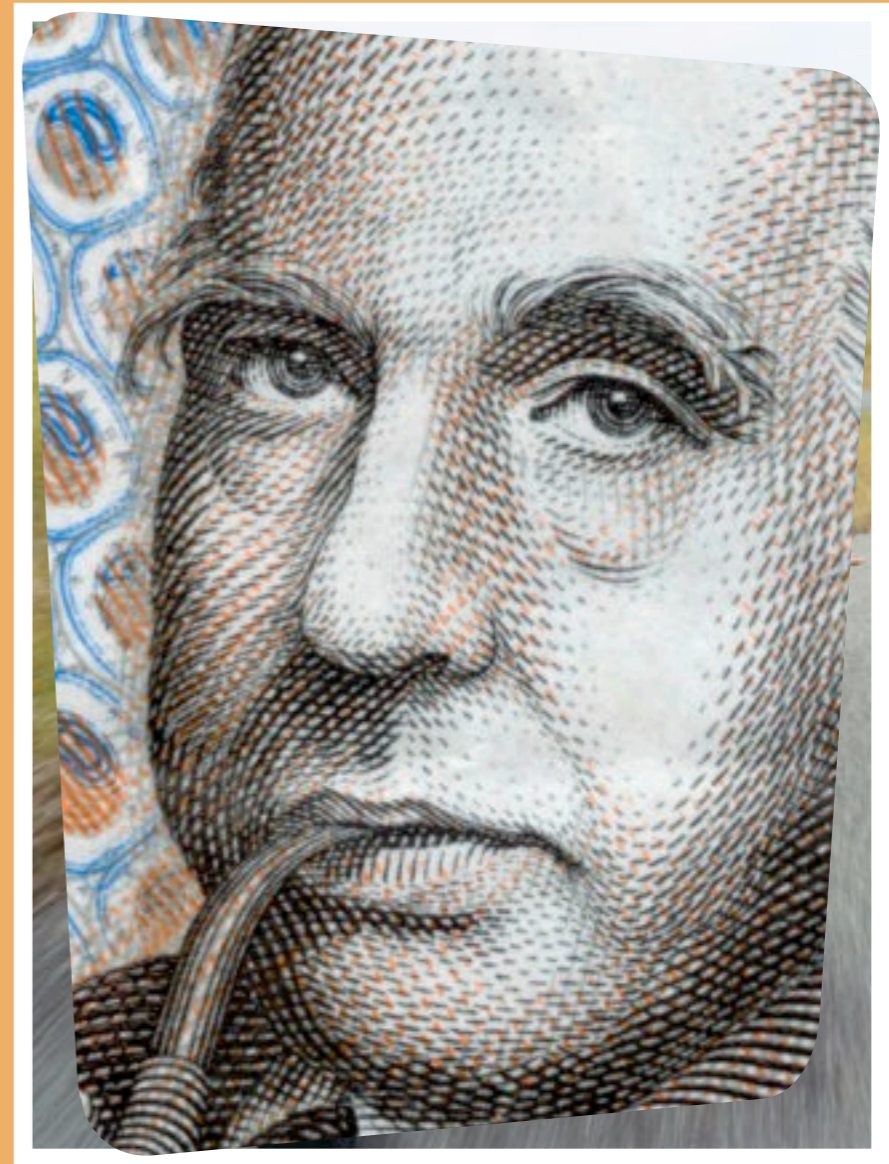


钠原子光谱的 测量与分析

08300720396

阎蓓蓓



☆ Outline

- 理论基础 → Na原子的能级结构
- 实验原理 → 平面光栅单色仪
- 实验现象 → 钠灯发射光谱
- 实验分析 → 能级分析





类氢原子的结构特征

对于氢原子

n 到 m 能级跃迁发射的光谱波数可表示为:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{hc}(E_m - E_n) = R\left(\frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

或写成:

$$\tilde{\nu} = T_m - T_n$$

对于钠原子:

核外11个电子, 其中 $1s^2 2s^2 2p^6$ 这10个电子形成稳定的满壳层结构, 与原子核共同形成原子实。另一个电子 $3s^1$ 为价电子, 决定了钠原子的化学和光谱特性。

价电子和原子实的相互作用, 表现为原子实的极化和价电子轨道贯穿原子实的作用, 导致氢原子和钠原子的能级结构有所不同。





钠原子能级结构

钠原子的光谱项可以表示为：

$$T_{nl} = \frac{R}{n^{*2}} = \frac{R}{(n - \Delta_l)^2} = \frac{R}{(n/Z_{\sigma}^*)^2} \quad \text{式中} \quad n^* = n - \Delta_l$$

量子数亏损是一个与**n**和**l**有关的量，在**n**不是很大的时候，可近似认为量子数亏损只与**l**有关。

钠原子的基态电子组态是**3s**，激发态可是是**3p**、**3d**、**4p**等电子组态，当价电子由较高能的激发态 (**n,l**) 跃迁到较低的能态 (**n',l'**) 时，发射的光谱波数满足：

$$\tilde{\nu} = T_{n'l'} - T_{nl} = \frac{R}{(n' - \Delta_{l'})^2} - \frac{R}{(n - \Delta_l)^2}$$

通过选择定则可以得到钠原子的四个线系：

主线系 (P 线系):	3S~nP, n=3, 4, 5, ...
漫线系 (D 线系):	3P~nD, n=3, 4, 5, ...
锐线系 (S 线系):	3P~nS, n=3, 4, 5, ...
基线系 (F 线系):	3D~nF, n=3, 4, 5, ...





钠原子光谱的双重结构

★ 电子自旋量子数为 $s = 1/2$ ，由于电子自旋与轨道运动的相互作用，产生了附加的能量，这个能量与 n 、 l 以及原子的总角动量量子数 j 有关，所以考虑自旋后，原子一个能级会分裂为不同能级。

★ 对于钠原子，只有一个价电子，不考虑电子实的角动量，总角动量就等于价电子的角动量

对于 **S** 轨道，即 $l = 0$ 的电子，轨道角动量为 **0**， j 只能取为 $1/2$ ，所以 **s** 谱项是单重能级。

对于 **P**、**D**、**F** 等轨道 ($l = 1, 2, 3$)， j 可取为 $l + 1/2$ 或 $l - 1/2$ ，相应的能级会分裂为双重能级。

分裂后的谱项表示为：

$$T_{nl, j=l+1/2} = \frac{R}{(n-\Delta l)^2} - \frac{l}{2} \xi_{nl} \quad T_{nl, j=l-1/2} = \frac{R}{(n-\Delta l)^2} + \frac{l+1}{2} \xi_{nl}$$

其中

$$\xi_{nl} = \frac{Ra^2 (Z_s^*)^4}{n^3 l (l+1/2) (l+1)}$$

分裂能级的波数差

$$\Delta \tilde{\nu} = (l+1/2) \xi_{nl} = \frac{Ra^2 (Z_s^*)^4}{n^3 l (l+1)}$$



钠原子的光谱



主线系：各谱线的波数可以用下式表示：

$$\nu = 3s - nP = \frac{R}{(3 - \mu_s)^2} - \frac{R}{(n - \mu_p)^2} \quad n=3,4,5\dots$$

是诸**P**能级 ($2P_{1/2,3/2}$) 到基态**3s**能级的跃迁辐射，**p**能级是双重能级，能量差随着主量子数增加而减少，**3S**能级是单能级，所以**主线系是双线结构**，其双线间的波数差越向短波方向越小。主线系的谱线，除**第一条（黄双线）**外，都在紫外区。

漫线系：由**D**到**P**间的跃迁所产生

$$\nu = 3P - nD = \frac{R}{(3 - \mu_p)^2} - \frac{R}{(n - \mu_d)^2} \quad n=3,4,5\dots$$

是诸**D**能级 $2D_{3/2,5/2}$ 到第一激发态 $3^2P_{1/2,3/2}$ 能级的跃迁辐射，按照选择定则， $\Delta J = 0$ 、，该线系为**三线结构**。随着**n**的增加，图左边两个跃迁的波长迅速靠近。而且强度相差很大，便成为一条漫散的谱

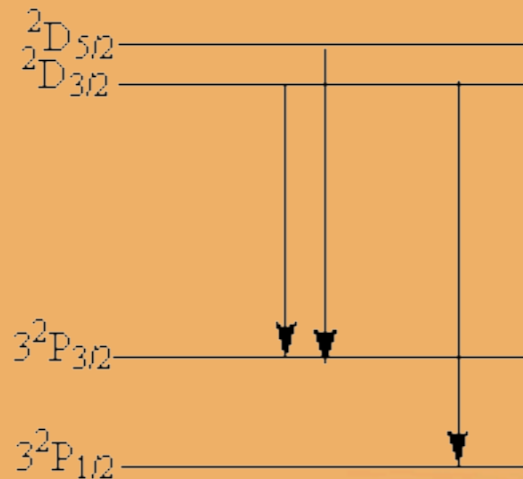
线，所以，漫散系的各谱线表现为**边缘模糊的双线**，双线间的波数基本不变，该线系除了第一条谱线 (8794.82\AA , 8183.30\AA) 落在红外区，大部分谱线都在可见光区。

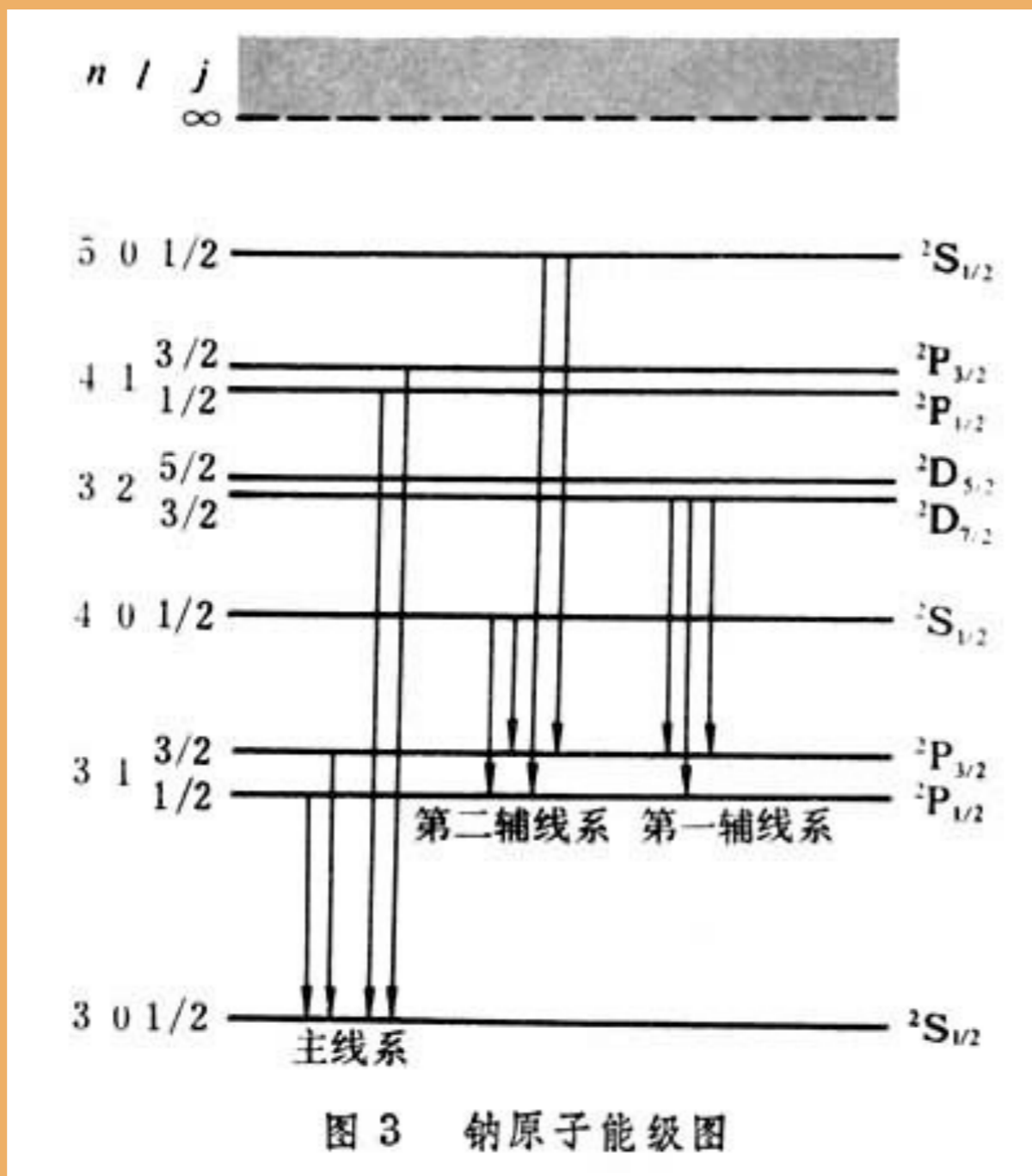
锐线系：(由 **s** 到 **p** 间的跃迁所产生)

$$\nu = 3P - nS = \frac{R}{(3 - \mu_p)^2} - \frac{R}{(n - \mu_s)^2} \quad n=4,5,6\dots$$

是诸 $2S_{1/2}$ 能级到第一激发态 $3^2P_{1/2,3/2}$ 能级的跃迁辐射，各谱线都是边缘清晰的双线结构，各双线的波数差相等，该线系除第一条谱线 (11404.2\AA , 11382.4\AA) 落在红外区，大部分谱线都在可见光区。

基线系也称作**伯格曼线系**(由 **F** 到 **D** 间的跃迁所产生)本实验暂不做研究。收敛与 814.5nm



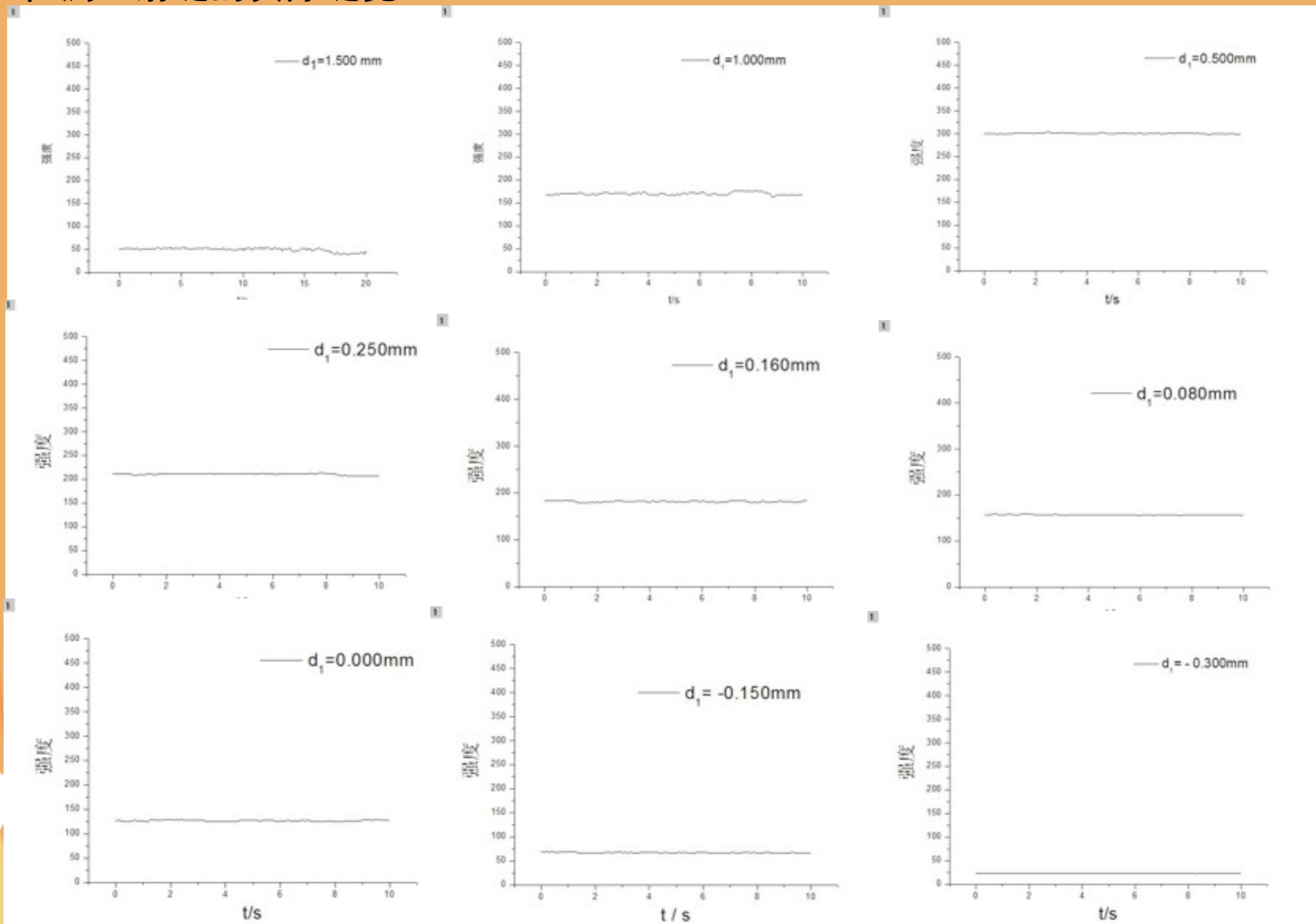


实验过程

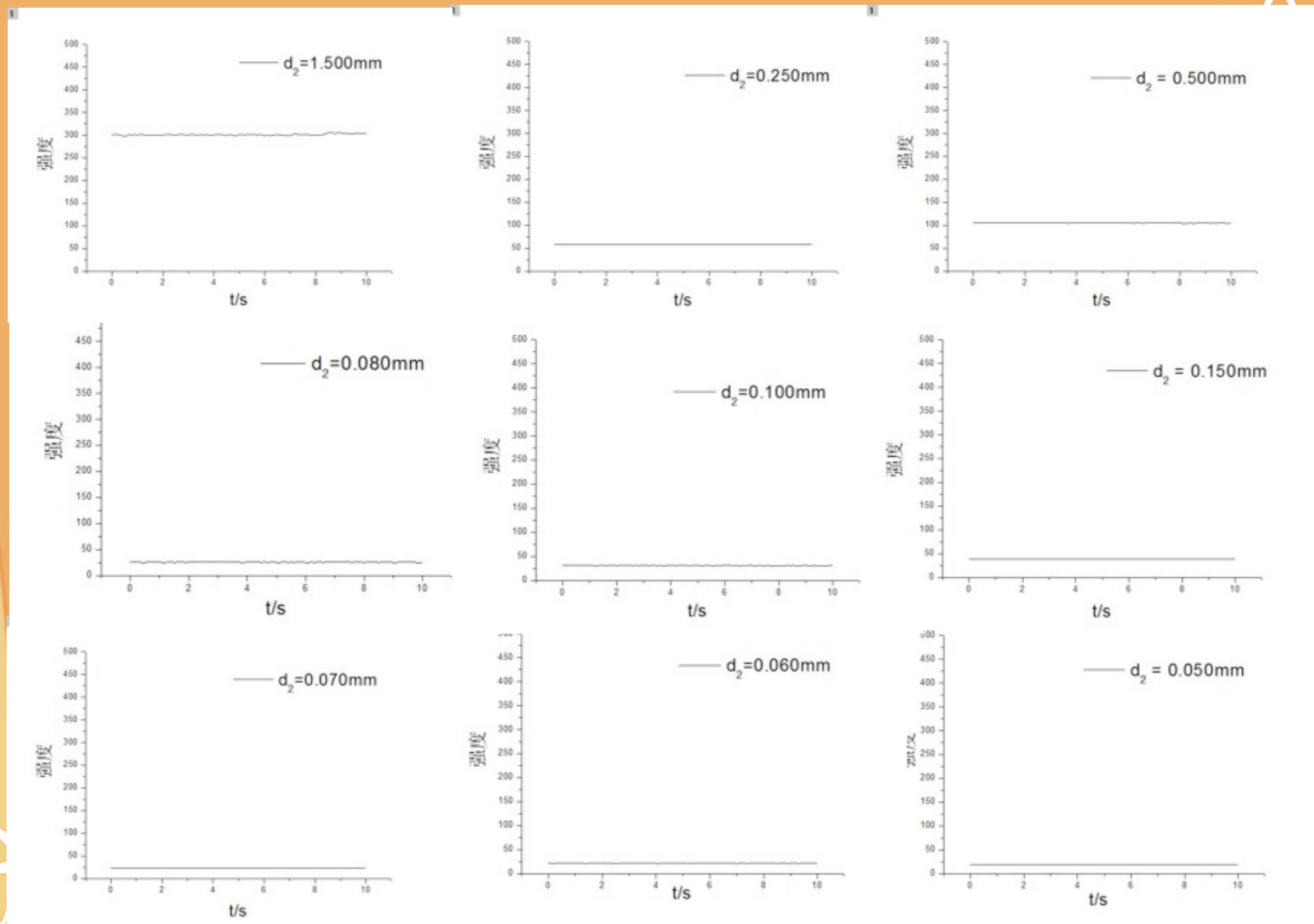


汞灯—平面光栅单色仪—电脑

1. 检测入射缝的实际缝宽。

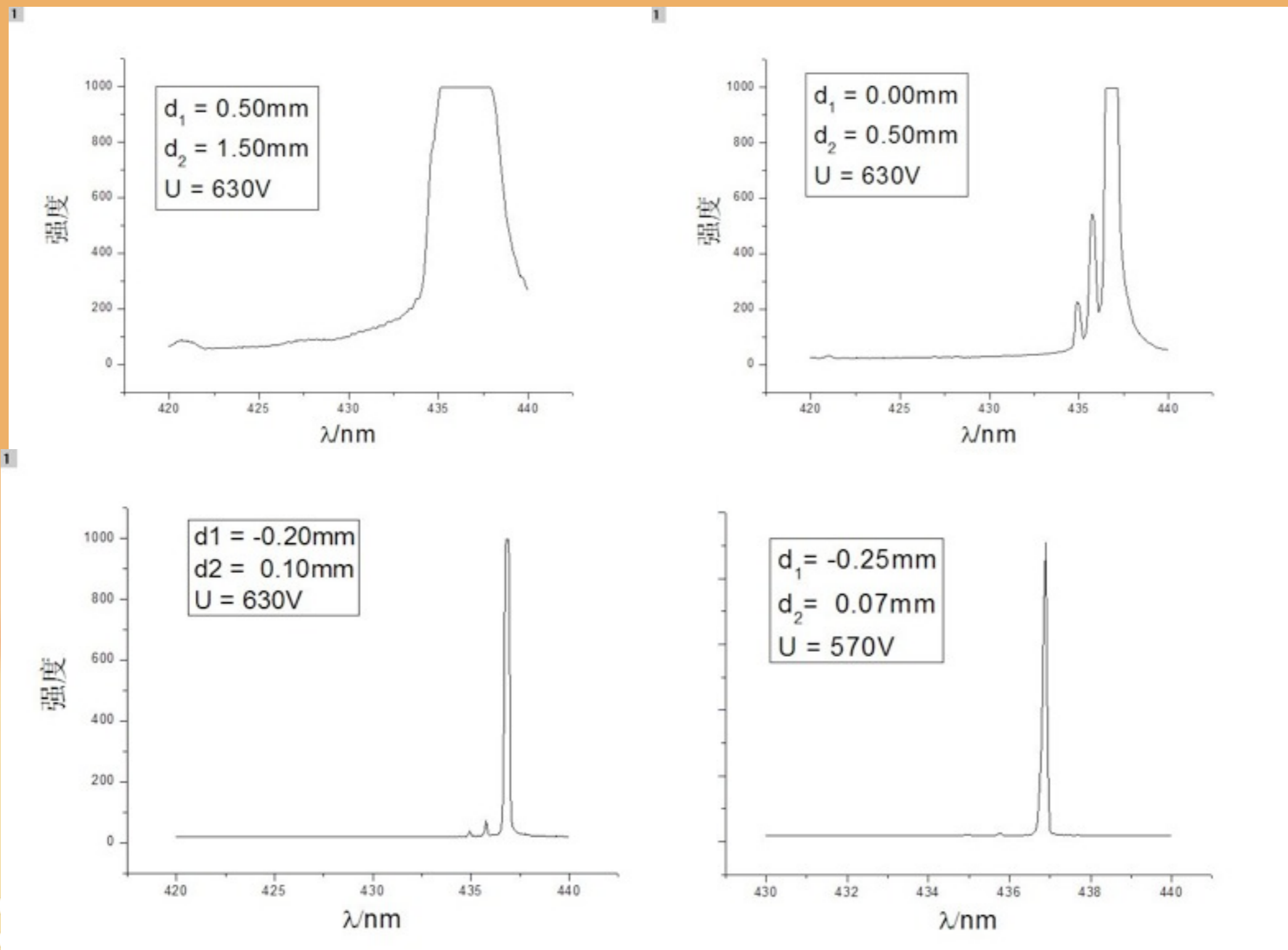


2.检测出射缝宽零点





3.调整缝宽



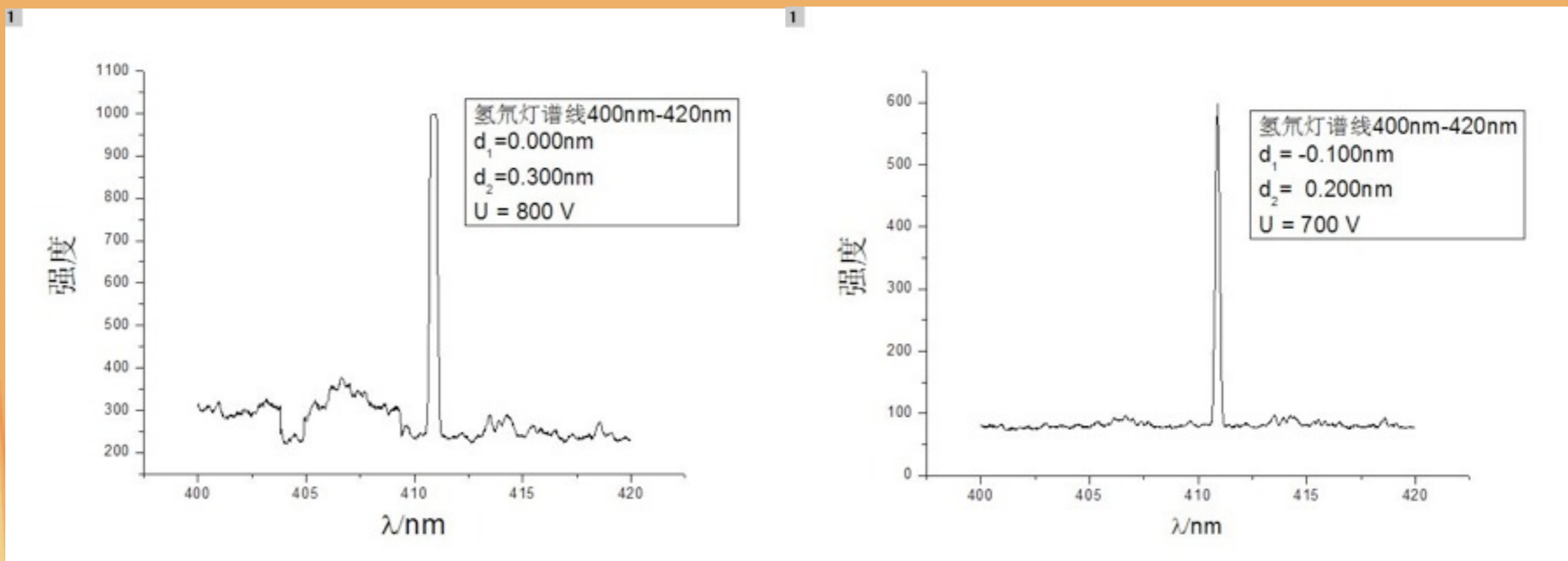


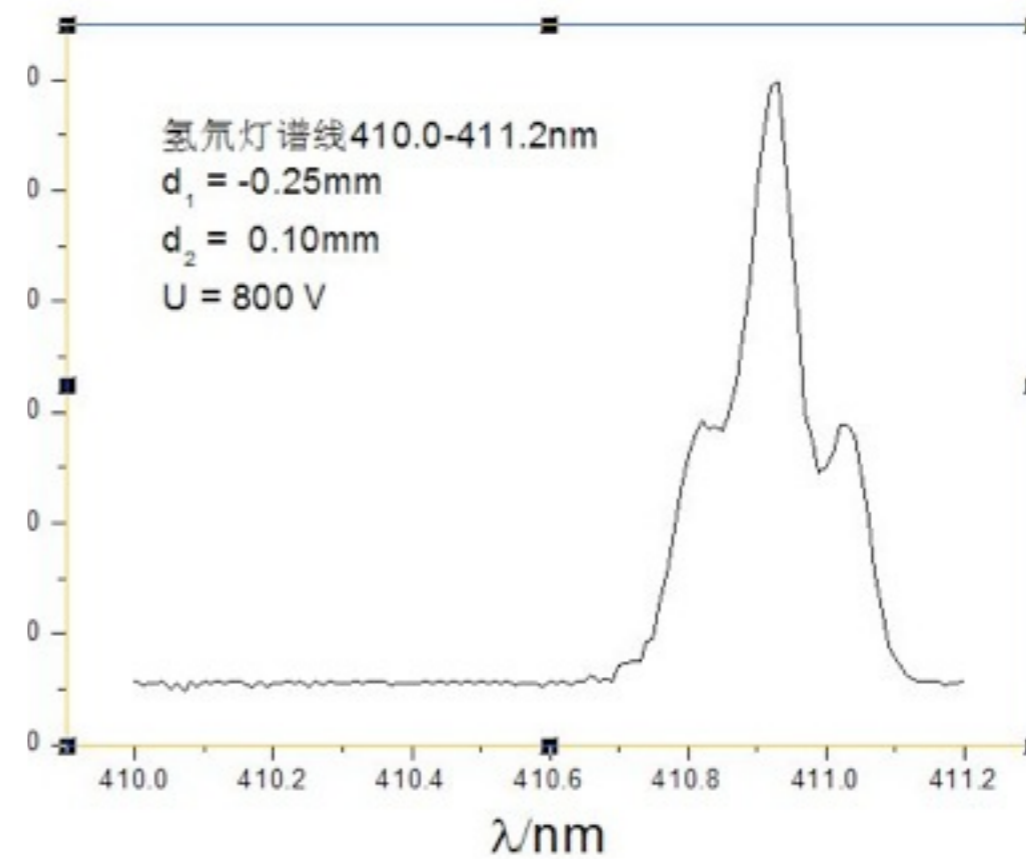
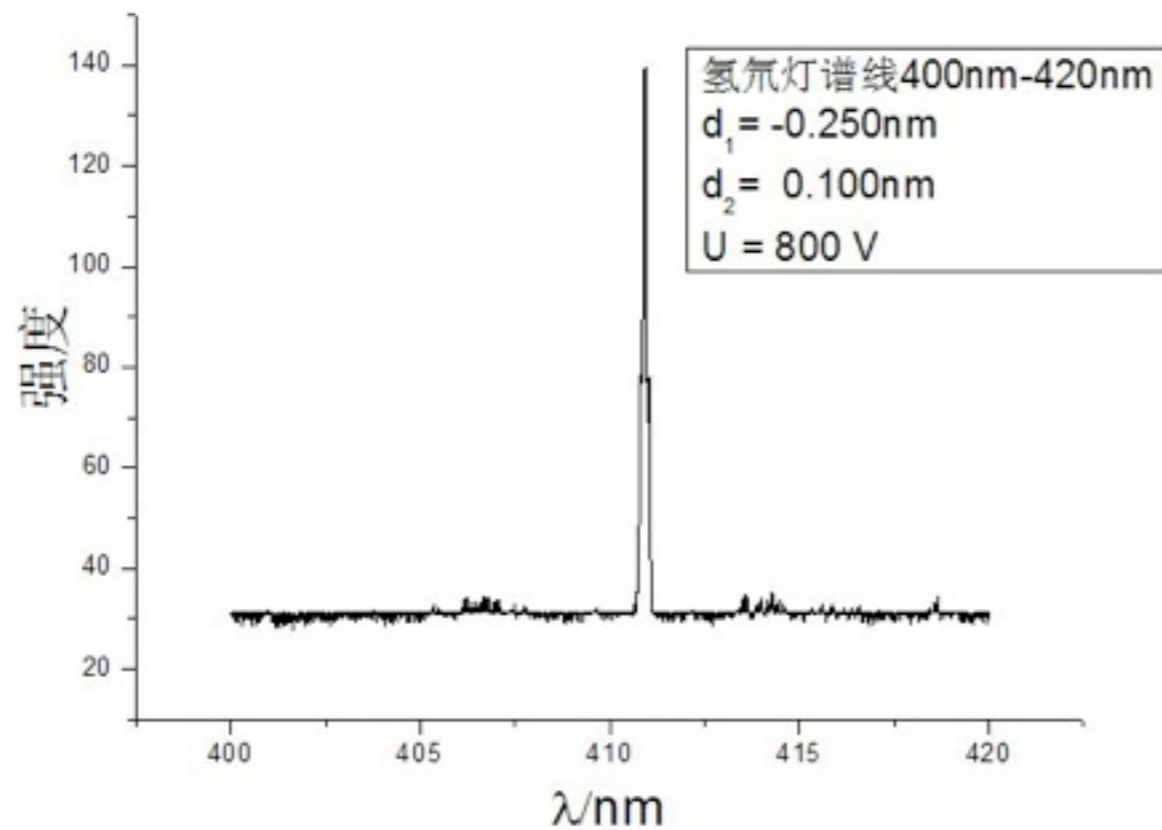
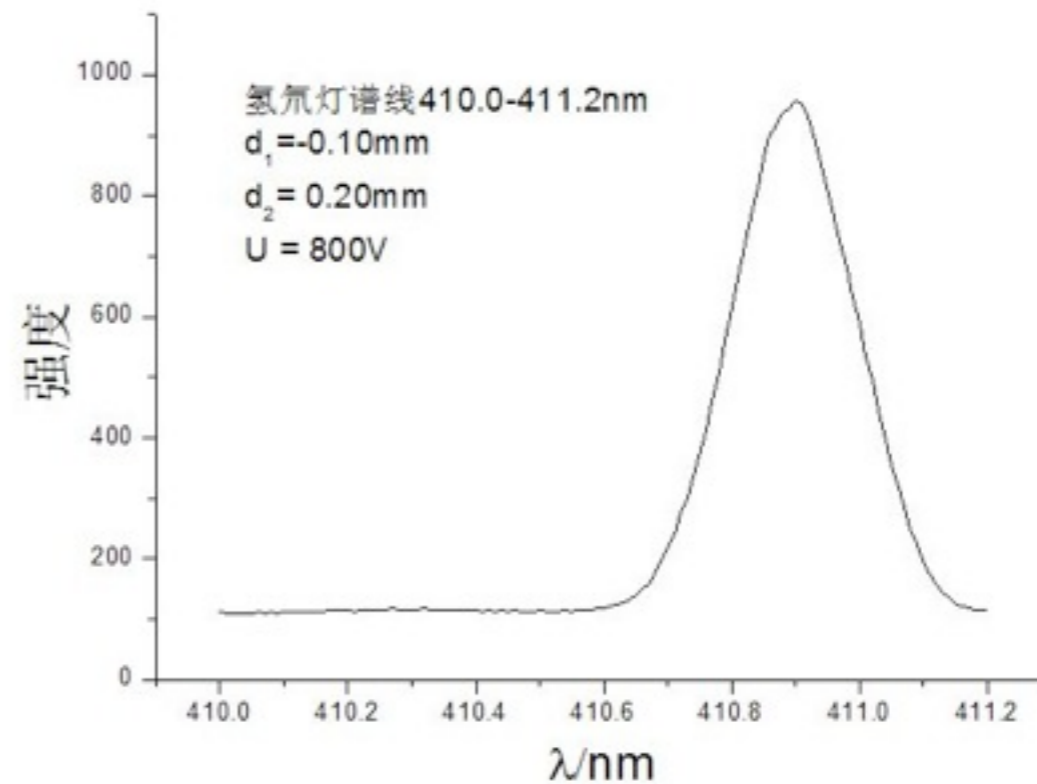
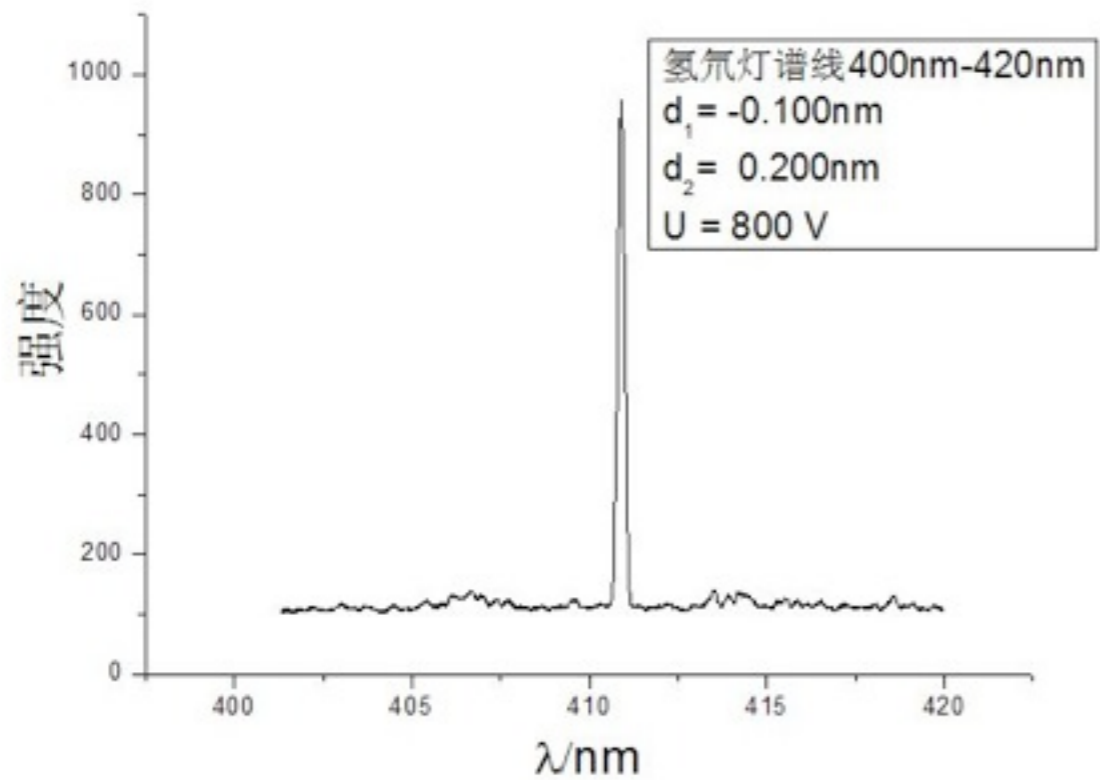
缝宽的调整是实验数据质量的关键

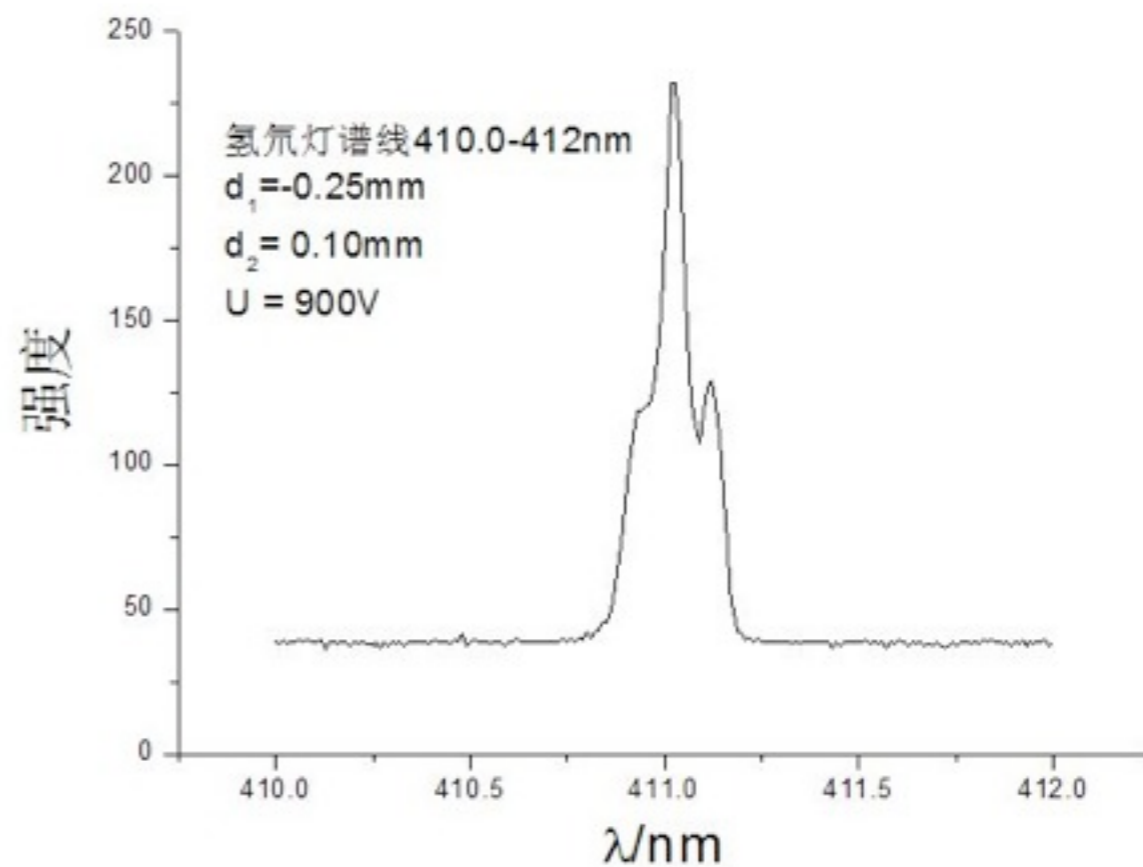
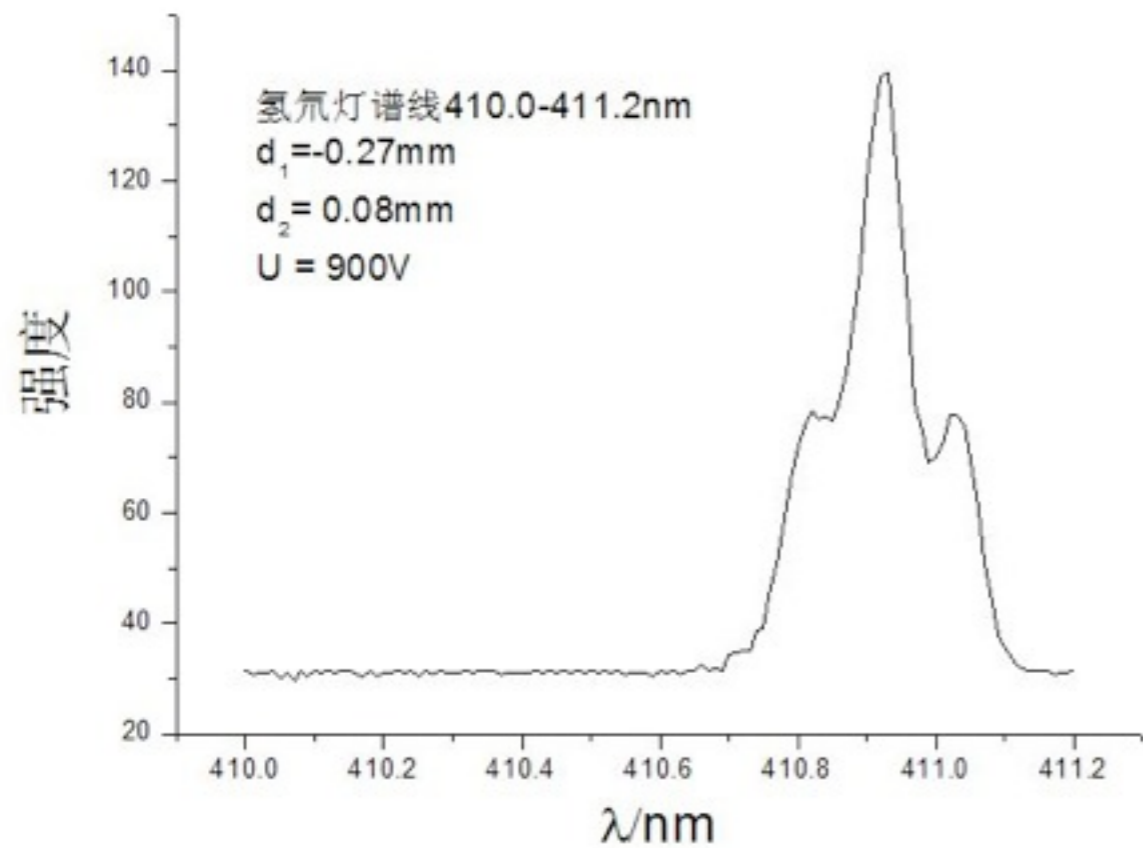
缝宽大：强度高，分辨率低

缝宽小：强度小，分辨率高

调整方法：选取一个较小的波段扫描某一特定谱线，调整至谱线的高度和细锐度都比较理想。



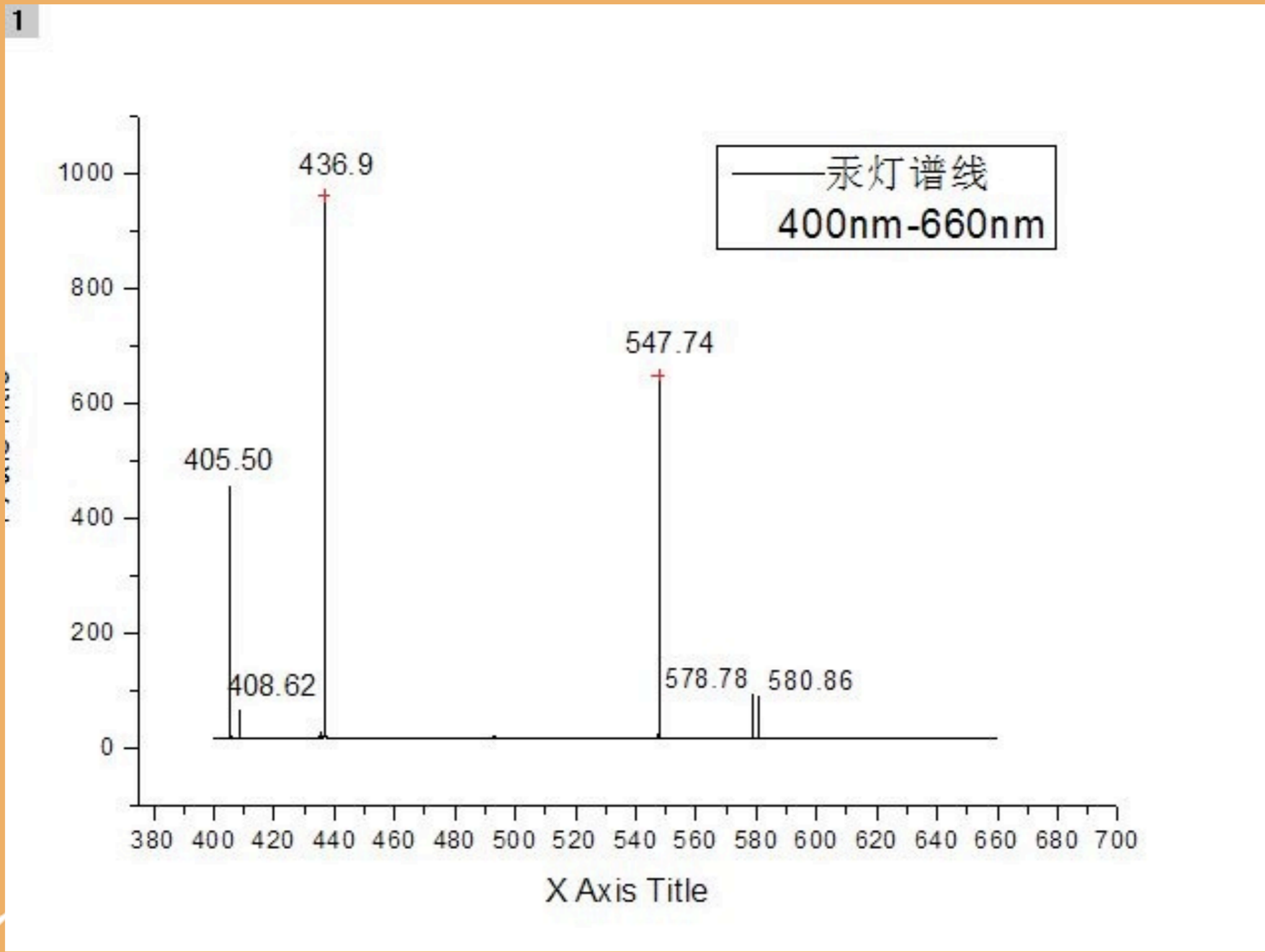


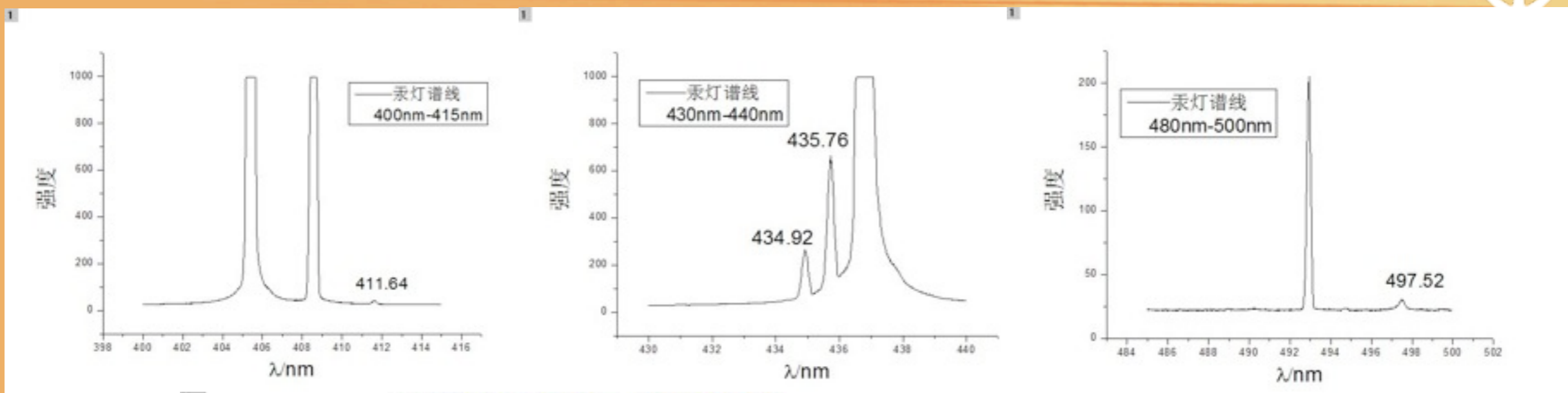


谱线应尽量细锐，但控制在量程内。
在此例子中，应让氢和氦的谱线清晰地分离。



4.汞光谱定标





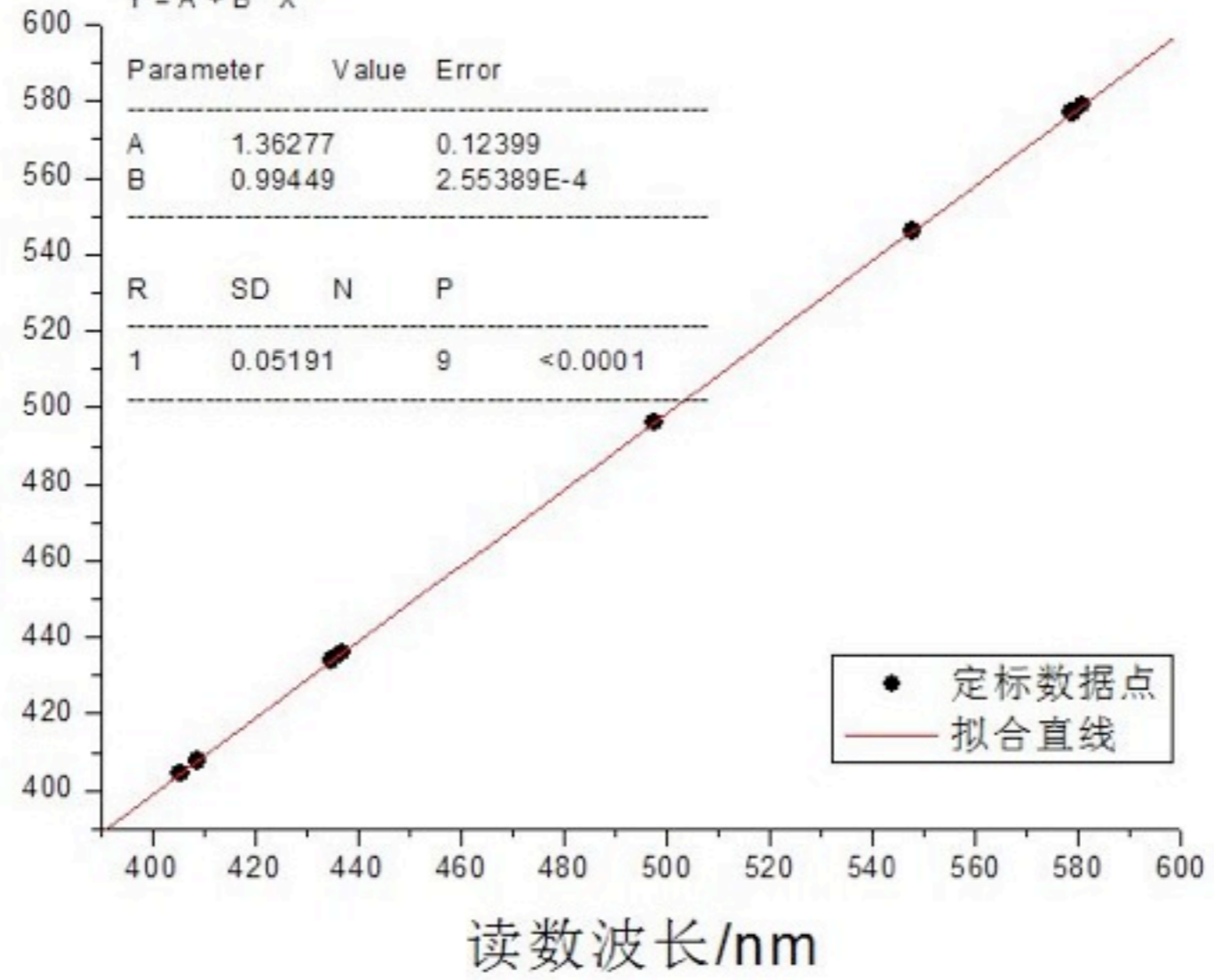
1

[2010/12/26 18:43 "/Graph 1" (2455556)]
 Linear Regression for Data1_B:
 $Y = A + B * X$

Parameter	Value	Error
A	1.36277	0.12399
B	0.99449	2.55389E-4

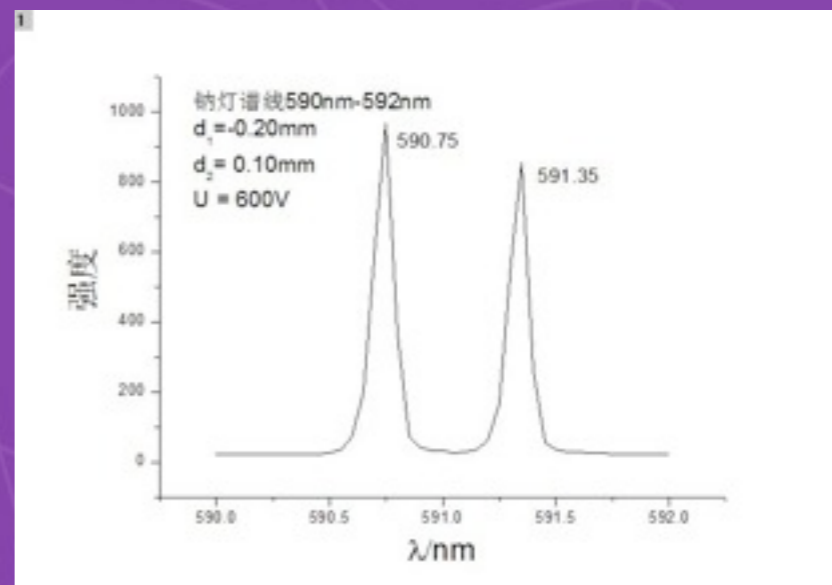
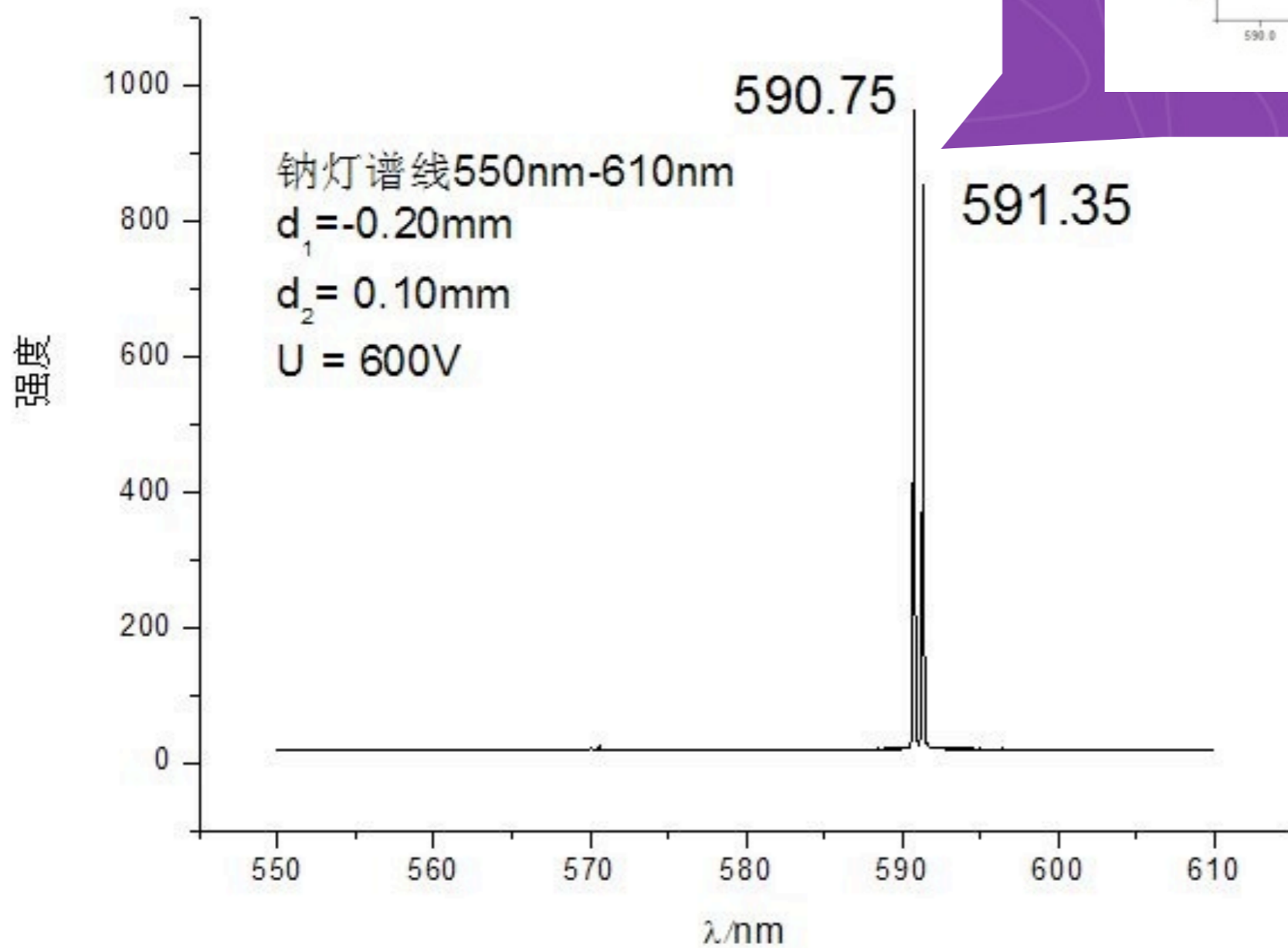
R	SD	N	P
1	0.05191	9	<0.0001

实际波长/nm

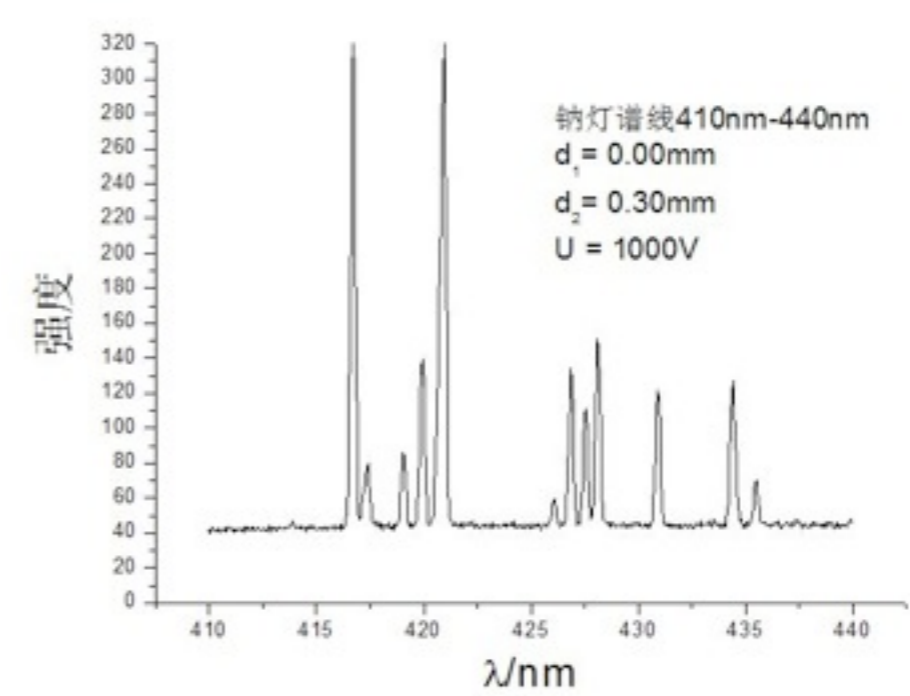
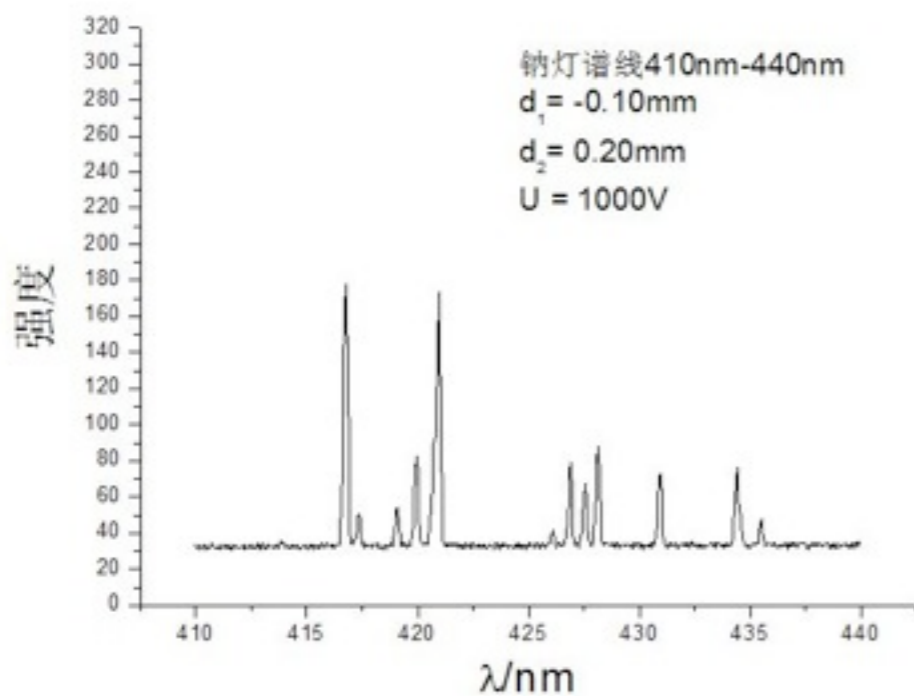
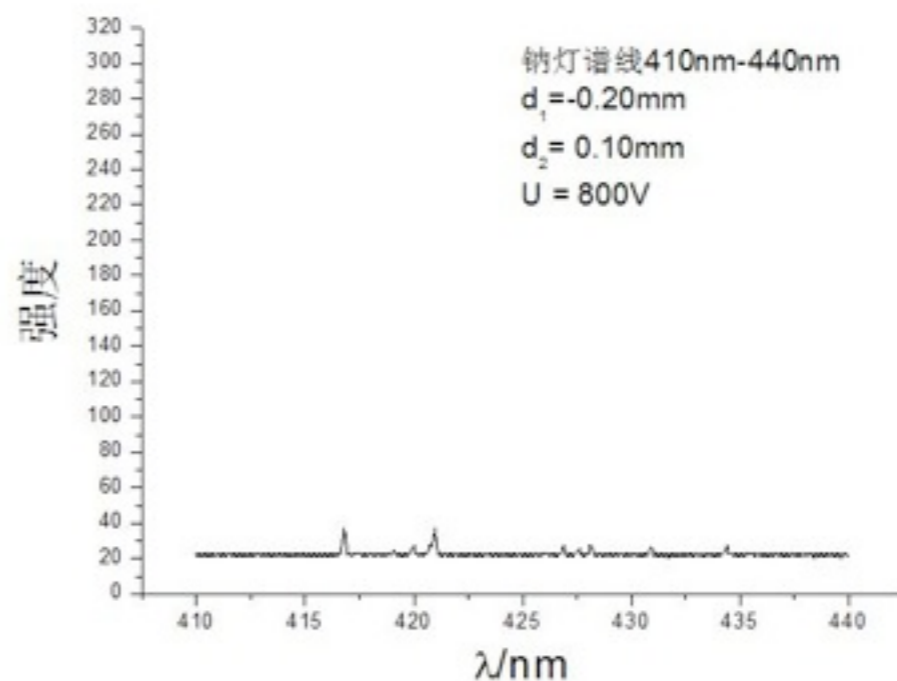
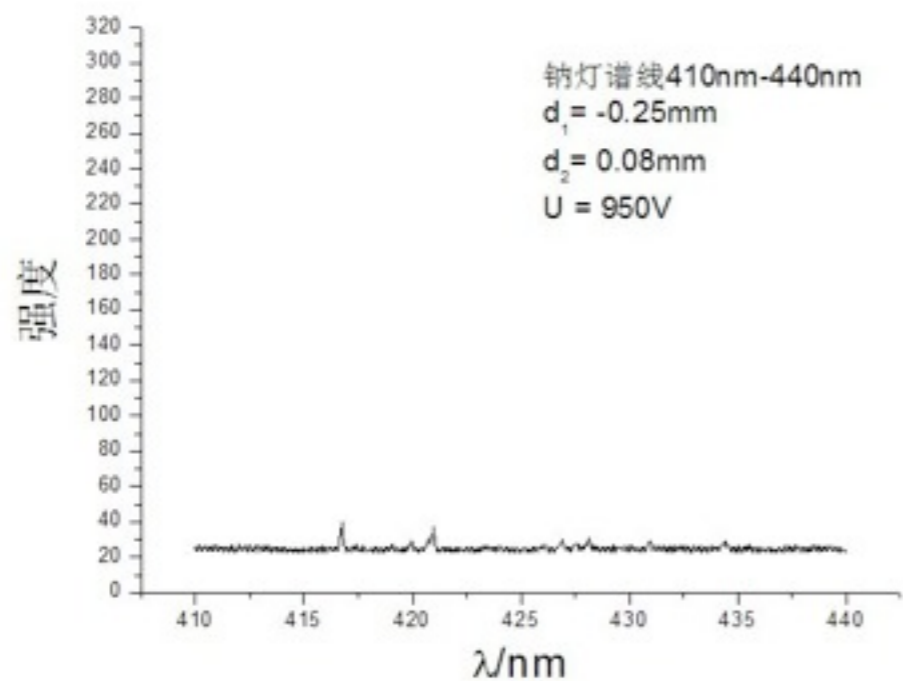


5. 钠黄双线的检测

1

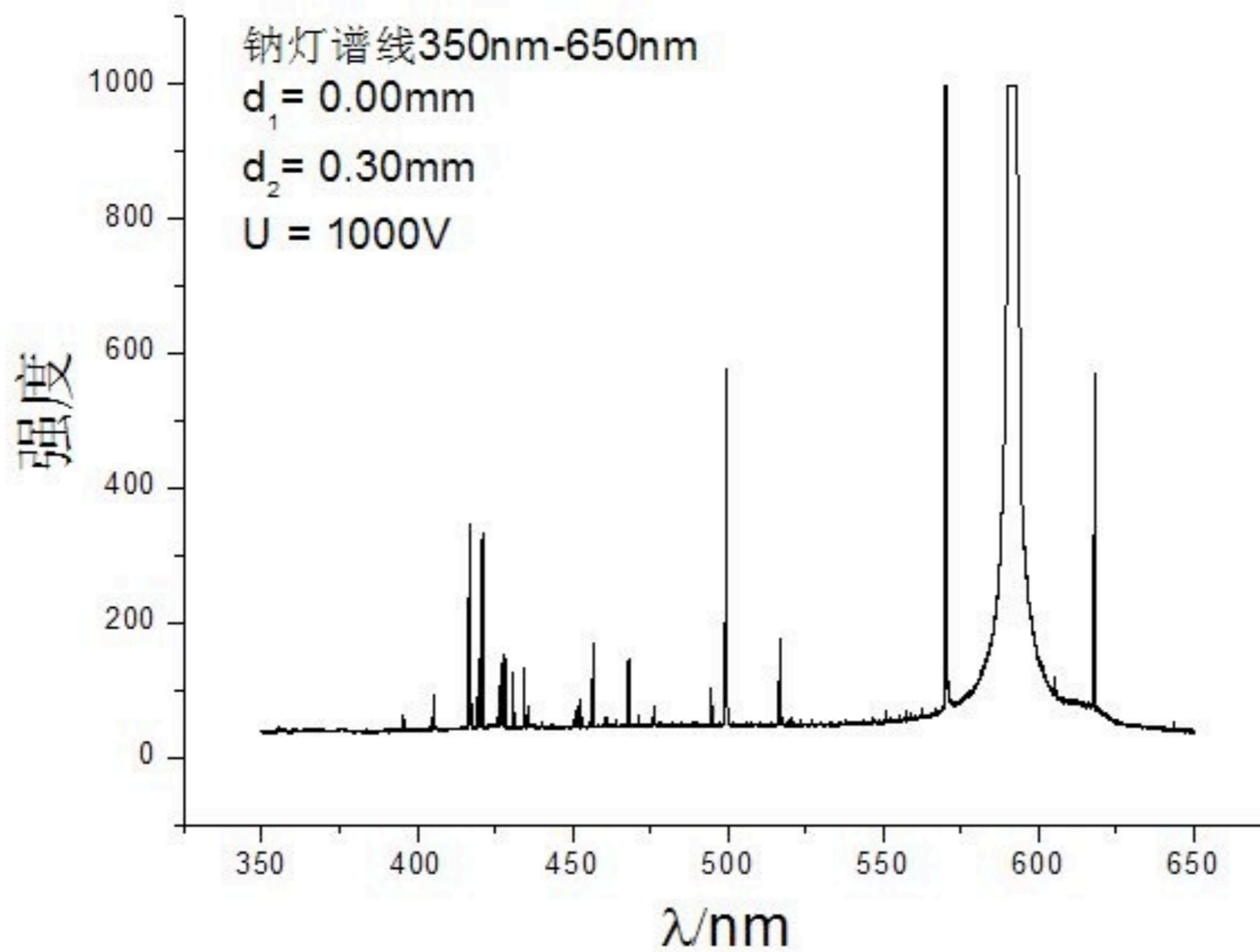


6.Na光谱检测前的缝宽调整

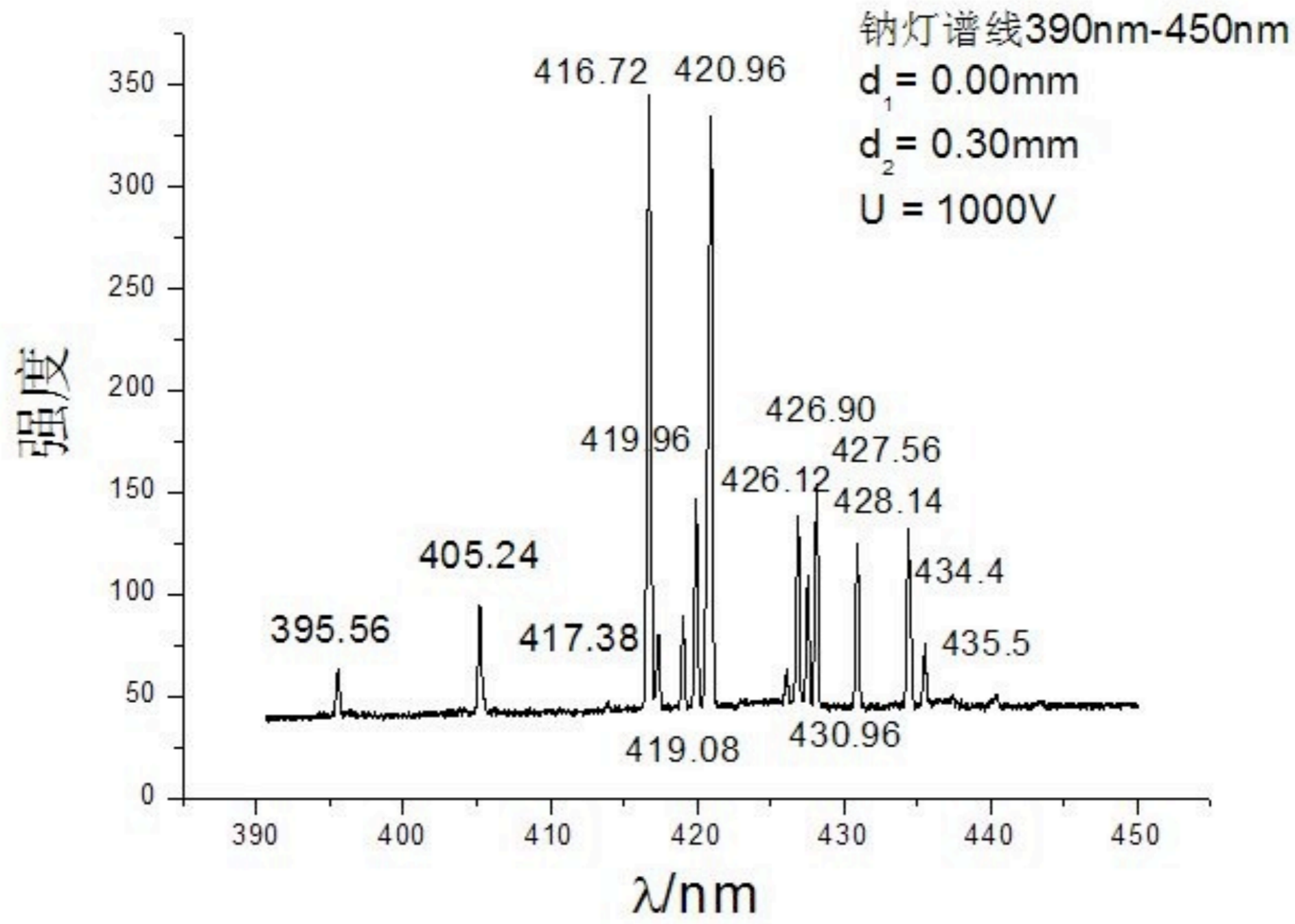


7. 钠光谱检测

1

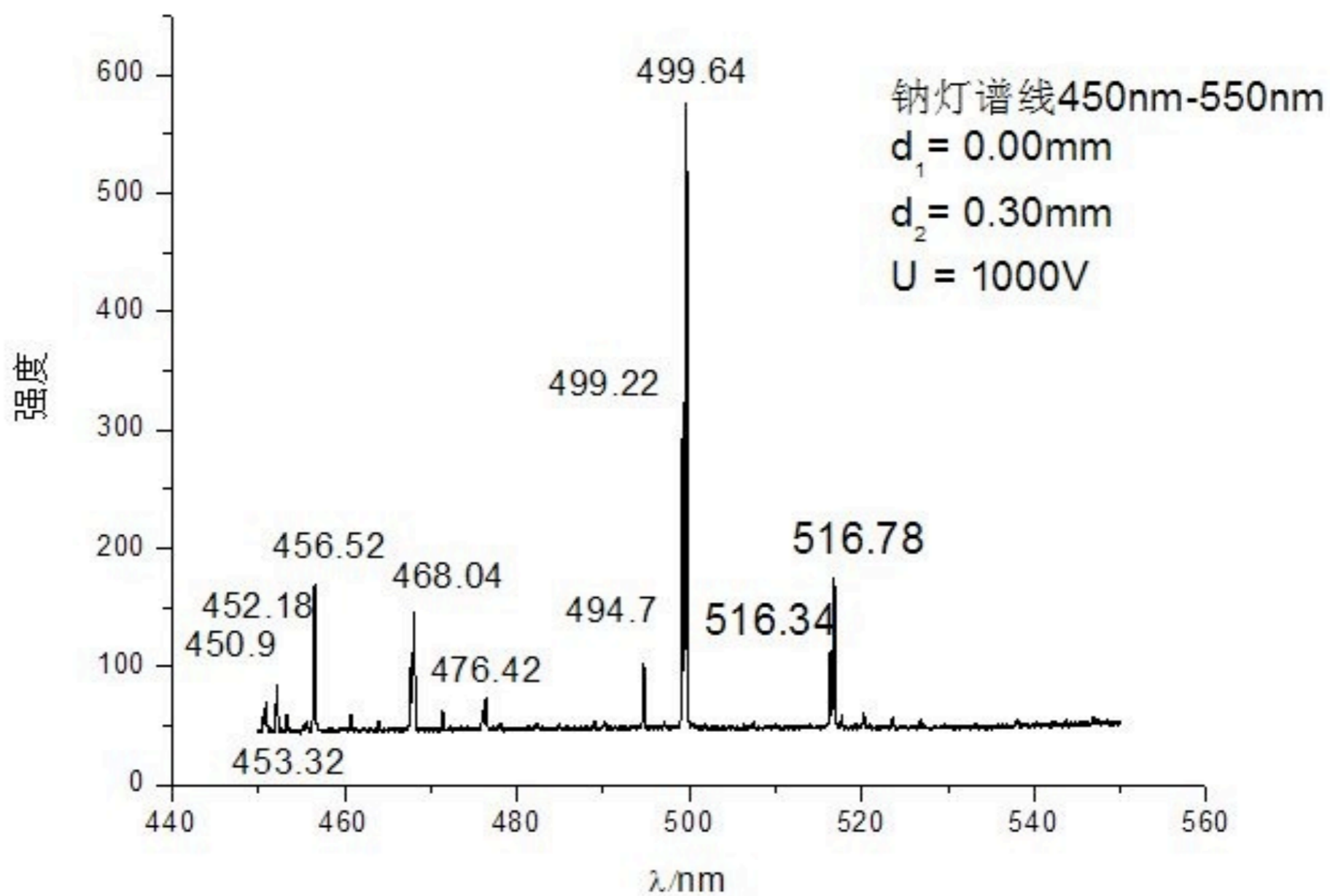


1



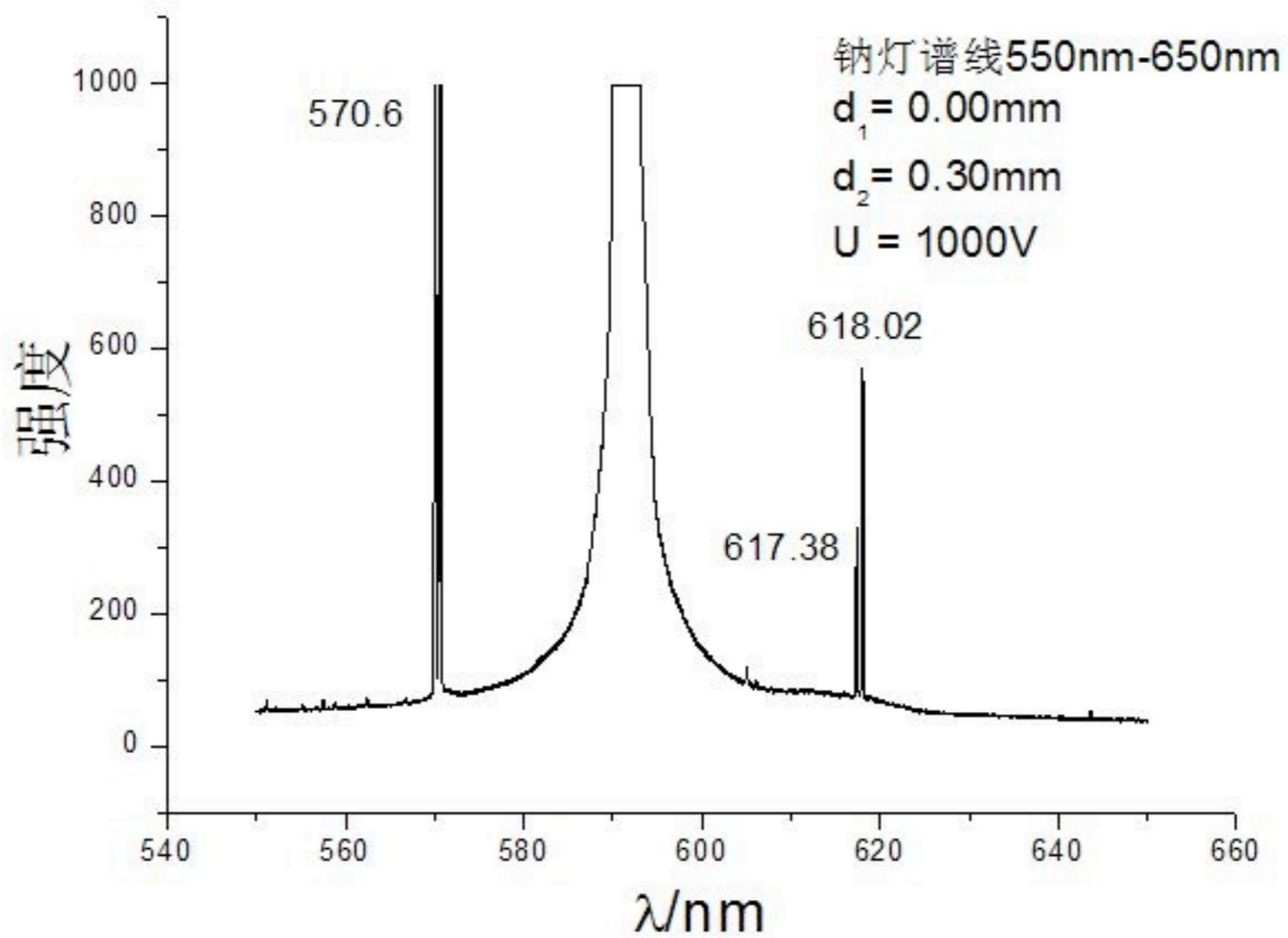


1





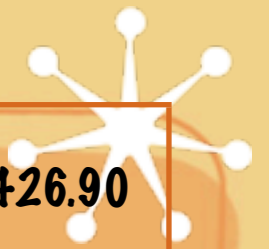
1





	主线系	第二辅线系	第一辅线系	基线系
1	589.30	1139.46	818.95	1846.36
2	330.31	615.79	568.54	1267.76
3	285.34	515.14	498.18	
4	268.08	475.06	466.73	
5	259.43	454.48	449.64	





测量波长 / nm	395.56	405.24	416.72	417.38	419.08	419.96	420.96	426.12	426.90
修正波长 / nm	394.60	404.32	415.62	416.40	418.16	418.98	419.97	425.17	425.95
强度	62.8	93.5	345.3	80.3	89.4	147.0	334.3	63.0	138.5
线系	汞蒸汽		锐线系 3p-17s或3p-18s		漫线系 3p-13d或3p-14d				
测量波长 / nm	427.56	428.14	430.96	434.4	435.5	450.9	452.18	453.32	455.62
修正波长 / nm	426.67	427.23	430.01	433.50	434.59	449.93	451.24	452.38	454.75
强度	109.6	153.8	124.1	132.6	75.5	69.4	84.5	59.3	53.0
线系	漫线系 3p-10d			锐线系 3p-10s		漫线系 3p-7n			





测量波长/nm	456.52	460.80	463.96	468.04	471.40	476.42	494.7	499.22	499.64
修正波长/nm	455.52	459.76	462.74	467.01	470.24	475.31	493.6	498.13	498.49
强度	62.8	60.1	54.5	146.8	62.3	74.5	101.8	322.3	575.6
线系								漫线系 3p-5d	
测量波长/nm	516.34	526.78	570.6	617.38	618.02				
修正波长/nm	515.31	525.52	569.18	616.20	617.01				
强度	98.9	163.2	966	281.7	596.2				
线系			漫线系 3p-4d	锐线系 3p-5s					





确定谱线的依据：按照玻尔兹曼分布，并将跃迁几率看作常数，可知道随着n的增加，每个线系中谱线的强度应按指数规律减少。在长波中取几条谱线以其强度作为标定，可有效分辨出其他谱线的性质。

主线系：

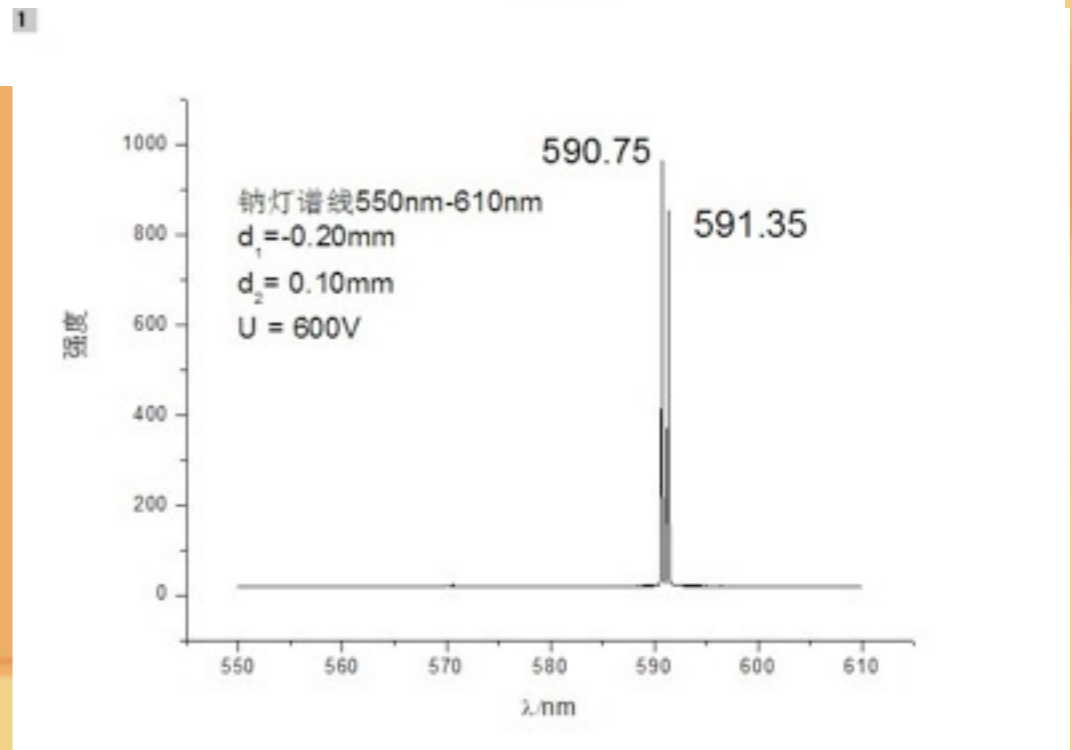
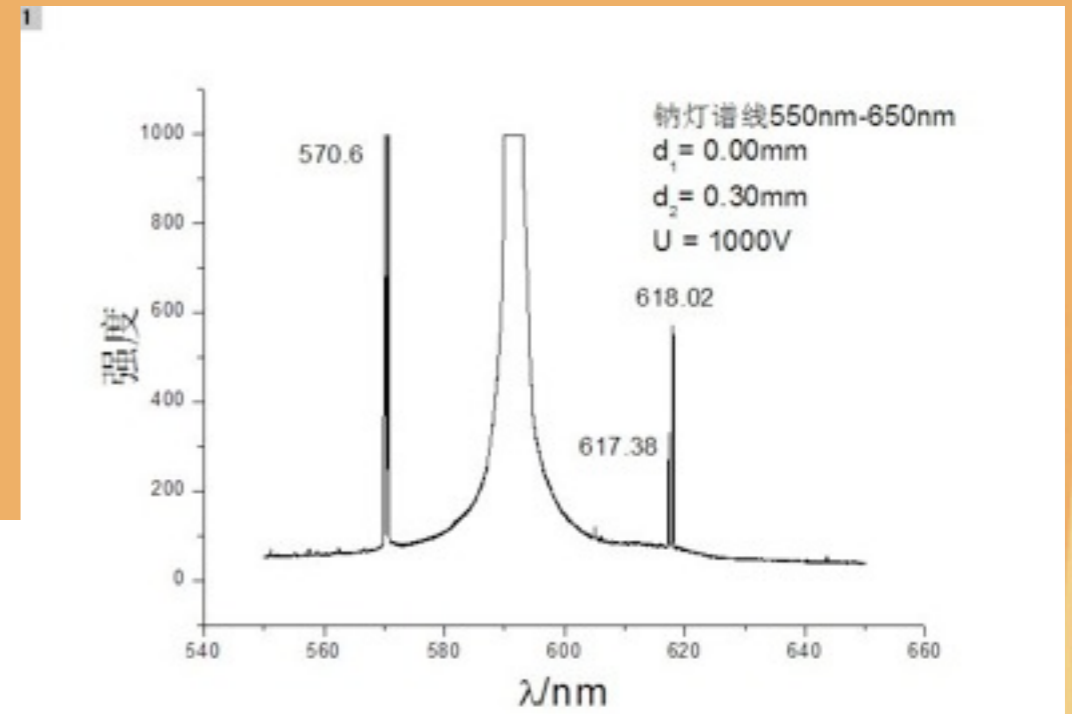
$$\frac{I_{PA}}{I_{PB}} = \frac{g_{3/2}}{g_{1/2}} = \frac{2 \times \frac{3}{2} + 1}{2 \times \frac{1}{2} + 1} = \frac{2}{1}$$

漫线系：

$$\frac{I_{DB}}{I_{DA} + I_{DC}} = \frac{g_{5/2}}{g_{3/2}} = \frac{2 \times \frac{5}{2} + 1}{2 \times \frac{3}{2} + 1} = \frac{6}{4}$$

锐线系：

$$\frac{I_{SA}}{I_{SB}} = \frac{g_{1/2}}{g_{3/2}} = \frac{2 \times \frac{1}{2} + 1}{2 \times \frac{3}{2} + 1} = \frac{1}{2}$$





实验结果

- 得出钠的四个线系中一部分谱线，证实了能级的双重结构。可以定量的测量出能级分裂的波数差，通过查表法算出量子缺。
- 可以定量地测量不同谱线的强度，可借此研究原子的能级分布和跃迁几率，但精确度有待提高。





谢谢!

