

预习	操作记录	实验报告	总评成绩

《大学物理实验》课程实验报告

专业：实验人姓名：学号：

参加人姓名：

日期： 年 月 日 室温：相对湿度：

实验18 LED综合特性拓展实验

[实验前思考题]

1. 请阐述发光二极管的不同发光波长的原因。
2. 请简述发光二极管热阻的测试原理。

一、 实验目的：

1. 了解和掌握LED光通量与发光效率的概念及其测量方法
2. 了解色度参数概念及其计算方法，掌握LED光谱测试方法
3. 掌握LED结温、热阻的测试原理和方法

二、 仪器设备

1. LED电源I(恒流源) (BEM-5036)， 2. 照度计及探头，CHL 可见光/0.6m， (BEM-5409)， 3. 积分球， $\Phi 150\text{mm}$ ， (BEM-5216-15)， 4. 光纤光谱仪，波长范围：300-800nm (BEM-5216-15)， 5. 石英光纤，芯径600微米，长度1.5米 (BIM-6102)， 6. 钨灯光源II (BIM-6202)， 7. 程控脉冲电源，0-12V/20KHz (BEM-5037)， 8. 温控电源及温控箱，0-100 $^{\circ}\text{C}$ ， $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，12V， (BEM-5038)。

三、 部件简介

1. LED电源 I (恒流源) (0-50mA/500mA)

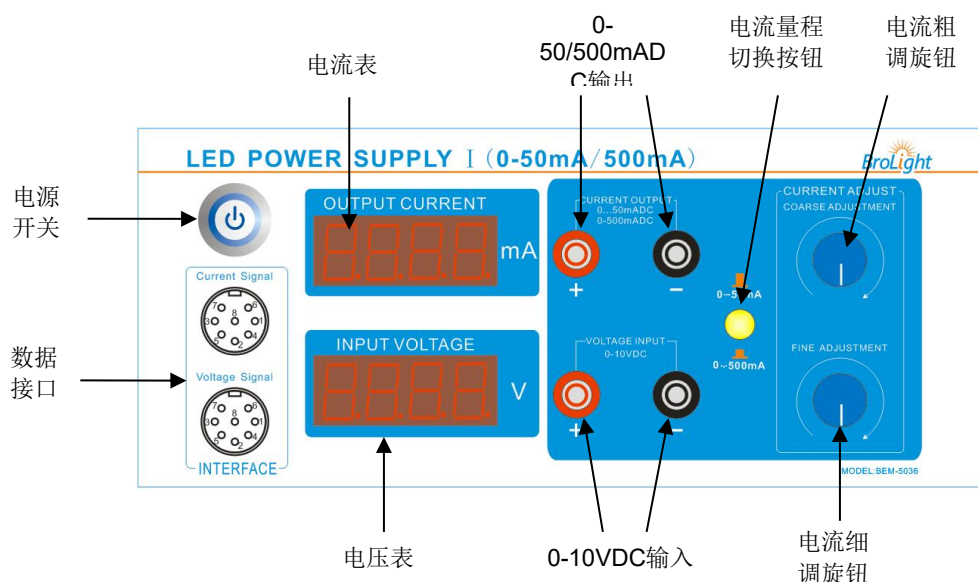


图1 LED电源 I

- 电源开关：设备的电源开和关选择。
- 数据接口：连接到数据采集器。
- 0-50/500mADC输出：输出0~50mA/500mADC电流。
- 0~10VDC输入：用来测量LED两端的电压。
- 电流量程切换按钮：设置恒流源输出电流量程范围（0~50mA/0~500mA）。
- 电流粗调旋钮：粗调输出电流大小。
- 电流细调旋钮：细调输出电流大小。

2. (程控) 脉冲电源

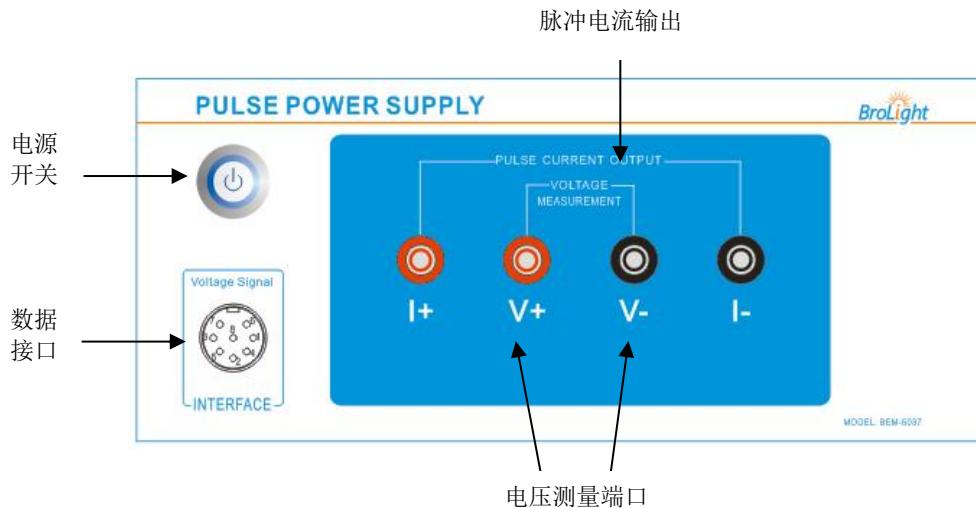


图2 (程控) 脉冲电源

- 电源开关：设备的电源开和关。
- 脉冲电流输出：输出 LED 的脉冲电流，5~50mA/50~500mA。
- 电压测量端口：LED 两端电压的测量。
- 数据接口：连接到数据采集器。
-

3. 温控电源

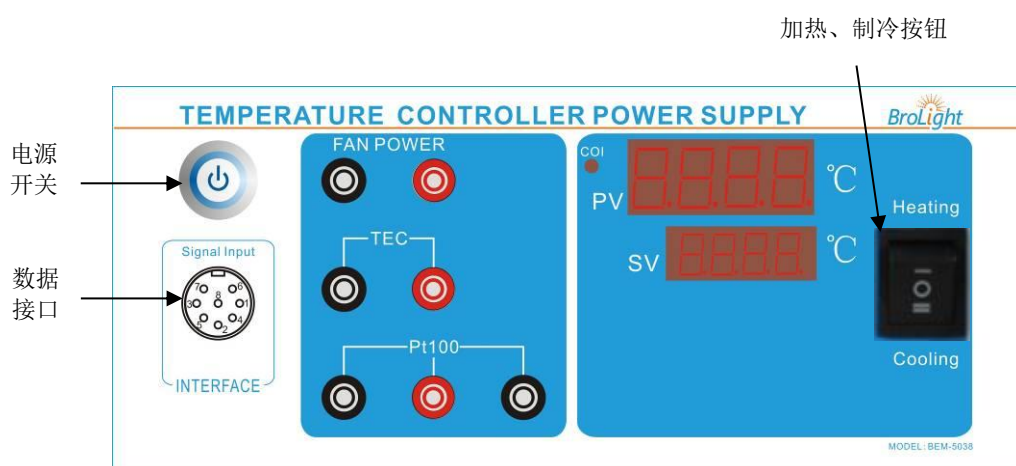


图3 温控电源

- 电源开关：设备的电源开和关。
- 数据接口：连接到数据采集器。

- 加热制冷按钮：用于控制加热/制冷块的工作状态，使温控系统达到设定温度。
- FAN POWER：温控系统的风扇驱动电源输出，DC12V，0.6A。
- TEC：加热/制冷模块驱动电源输出，DC12V，8.5A。
- Pt100：温度传感器端口。
- PV：当前温度值，0~100℃，精度±0.1℃
- SV：设定温度值，0~100℃，精度±0.1

4. 温控系统

内部结构图如下：

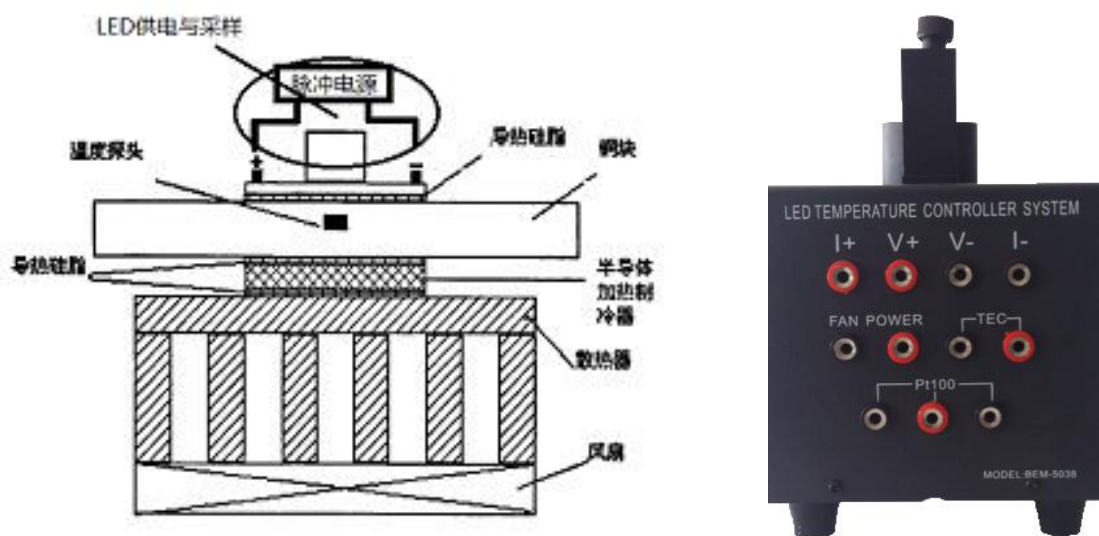


图4 温控系统

- 大功率照明白光LED的额定工作参数：1W/350mA
- PT100 铂电阻：-200±450℃，允许偏差：±0.15℃

5. 光源夹具

- 直插型 LED 光源夹具，正面 LED 插口，用于发光二极管的插装。
- 反面导线接口用于导线的连接



图5 正面LED接口

反面导线接口

6. 积分球



图6 积分球

- LED 光源夹具入口：开口尺寸与系统光源夹具外径 $\Phi 50\text{mm}$ 相匹配；
- 照度计探头入口：用于匹配照度计探头；
- 光纤入口：用于匹配光纤；
- 一个扩展口（背面），可用于插装辅助光源。各个入口都含配套的漫反射封闭盖，当进行光通量测量实验时，光源夹具入口和探头入口起作用，其他入口用漫反射盖进行封闭；
- 进行色度学实验时，光源夹具入口与光纤入口起作用，同样其他入口作封闭处理。

7、电源线、USB线的连接（适用于恒压源、恒流源、脉冲电源和温控电源）

若使用过程中保险丝损坏，可打开保险盒，更换保险丝。



图7 电源线等

注意：在您连接任何导线之前，请确认所有电源处于关闭状态，所有的电压、电流调节旋钮都应

逆时针旋到底。请使用正确的输入电压（AC200~240V）。

警告：只有在电源输出为0时（电源调节逆时针旋转到底），才可切换电源和实验仪的档位，更换LED组件以及开启、关闭电源，否则可能导致电源或仪器损坏。

实验一 测量电流与光通量的关系曲线

一、实验目的

- 1、掌握LED光通量与发光效率的概念及其测量方法。
- 2、了解LED光通量与发光效率随电流变化的规律，并对比分析不同发光颜色LED光通量随电流变化的响应异同以及发光效率随电流的变化规律。

二、实验原理

LED发射的辐射通量中能引起人眼视觉的那部分，称为光通量 Φ_v ，单位是流明(lm)，与辐射通量的概念类似，它是LED向整个空间在单位时间内发射的能引起人眼视觉的辐射通量。

有两种方法可以用于光通量的测量，积分球法和变角光度计法。变角光度计法是测量光通量的最精确的方法，但由于其耗时较长，所以一般用积分球法测量光通量。积分球是一个球形空腔，由内壁涂有均匀的白色漫反射层(硫酸钡或氧化镁)的球壳组装而成，被测LED置于空腔内。LED器件发射的光辐射经积分球壁的多次反射，使整个球壁上的光辐射均匀分布，可用一置于球壁上的探测器来测量这个与光通量成比例的光的照度。球和探测器组成的整体要进行校准，使之比较符合人眼的观测效果。

光通量为LED向各个方向发光的能量之和，它与工作电流直接有关。随着电流的增加，LED的光通量随之增大。发出可见光的LED的光通量单位为流明(lm)。光通量与芯片材料、封装工艺水平及外加恒流源大小也有关。测得发光二极管的光通量或者辐射通量后，就可以进一步经计算获得LED器件的发光效率或辐射效率。发光效率 $\eta_v = \Phi_v / (I_F V_F)$ ，其中 I_F 、 V_F 分别是发光二极管的正向电流和正向电压。

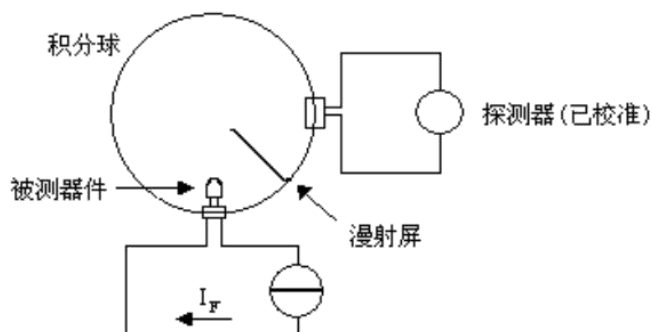


图1-1 积分球法测光通量

三、实验设备清单

序号	名称及规格参数	型号	数量
1	程控恒流电源，0-50/500mA	BEM-5036	1
2	照度计及探头，CHL 可见光/0.6m	BEM-5409	1
3	积分球， $\Phi 150\text{mm}$	BEM-5216-15	1
4	LED灯夹具及夹具支架， $\Phi 50\text{mm}$	BEM-5217	1
5	电源线	BC-100075	1
6	USB线	BC-100080	2
7	4mm香蕉插头导线 红色，800mm	BC-100084	2
8	4mm香蕉插头导线 黑色，800mm	BC-100083	2

四、 测量步骤：




图1-2 光通量测试实验搭建图


1、核对包含图1-2中所示实验部件。

将LED插装于夹具上，用4根实验导线连接好LED夹具电流端、电压端和恒流源电流输出端和电压输入端，并将变色片固定在夹具的前端，将LED夹具置于积分球内（如上图）。将照度计探头的保护盖拧下并置于积分球测试端，并将照度计连接头插于面板的B端口（1m）。（注意：放置探头时轻拿轻放，避免破坏积分球和探头！）（注意：LED的较长脚为正极，对应夹具的“+”端口）

2、将恒流源电流调节旋钮均逆时针旋转到底，连接电源导线，连接USB线到计算机USB端口，打开恒流源电源。然后用USB连接线将照度计连接到计算机的USB端口。

3、照度计量程的选择，具体做法为：按“Function”键，使得“1m”对应指示灯亮，打开电流源，将电流调至20mA（按实验最大电流范围来调节，原则上最大测量电流不要超过40mA），按“RANGE”键将量程调为“4”档，观察照度计是否溢出，溢出显示为“EEEE”，若溢出，再按“RANGE”键，依次将量程换为“3”“2”“1”，直至出现未溢出那一档量程为止，并将此档作为本次实验的照度计量程，然后将电流调节旋钮回调至最小，显示为0。

4、打开软件，将软件选为“光电测试实验”界面，选择“电流与光通量和电流与发光效率”实验，点击打开端口“”，端口标志变亮，说明恒流源及照度计都与计算机正常通信。（注：若打开端口失败，请检查USB线是否连接正确，或者关闭软件重新打开并再次尝试连接打开端口）

5、点击采集数据“”按钮，采集当前的电流、电压值与光通量值并显示到软件界面内，逐渐增大电流，电流步进间隔依实际测量的LED的工作电流而定（一般1mA）。采集每个测量电流与其对应照度计光通量值，直至电流达到最大为止（一般不超过40mA），最终完成LED的电流与光通量特性曲线的测量，导出并保存实验结果。

6、调节恒流源输出电流为零，依次更换红、绿、黄LED，在软件中点击“清空”实验界面，重复

步骤1~5，分别完成并保存白、红、绿、蓝四种LED的电流-光通量特性测试曲线。最后可在实验界面内导入前面所做的实验结果，进行对比分析（注意导入数据之前先点击“清空”按钮，清空当前界面内的数据）。

7、每一组LED的电流与光通量实验数据都可以换算成电流与发光效率的曲线，发光效率为光通量除以LED的功率（电压*电流）。具体方法为：在软件中的工具条上点击“坐标变换√”按钮，选择“光通量效率”，实验曲线就变换成了电流-发光效率的曲线。

五、实验结果：

1. 电流与光通量特性曲线

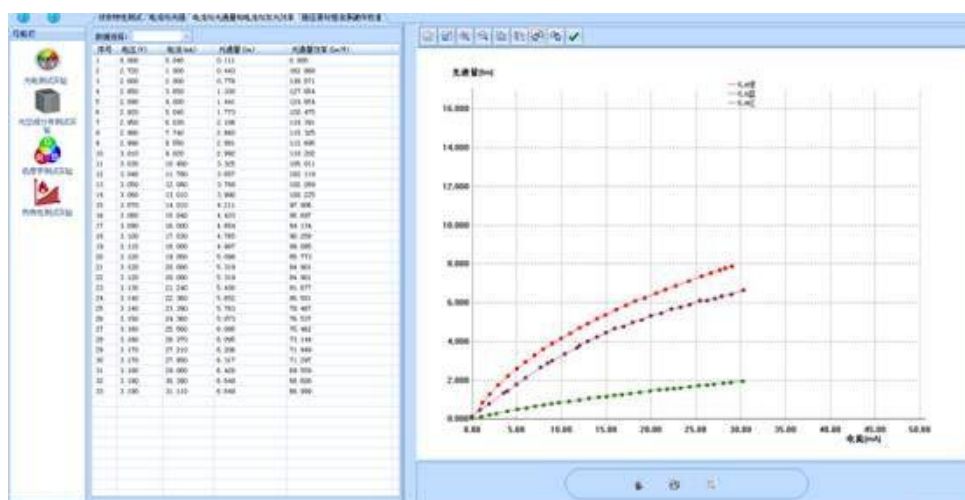


图1-3 实验效果图

2. 电流与发光效率特性曲线

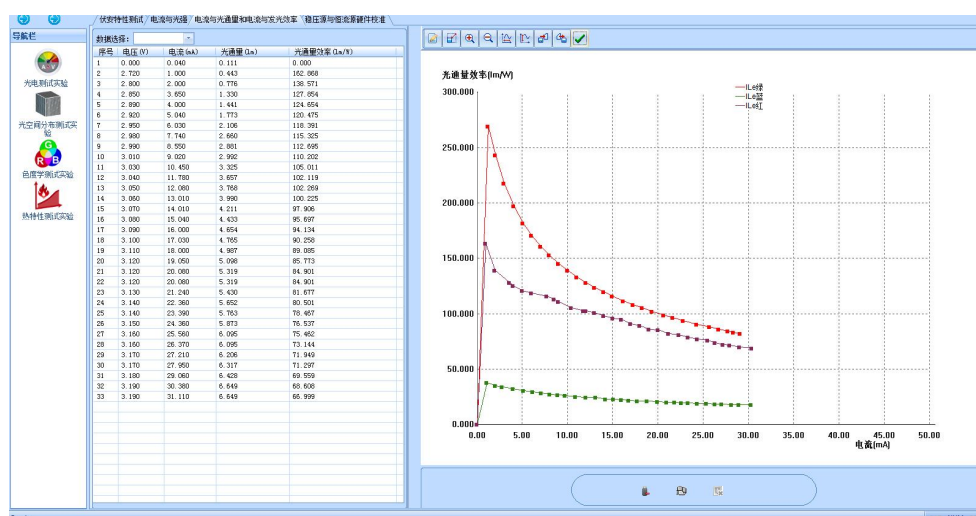


图1-4电流与发光效率特性曲线

六、分析：

- 1、光通量的概念？
- 2、表述本实验测量光通量的方法？
- 3、根据电流-光通量曲线，对比分析不同电流下，光通量的变化趋势？
- 4、根据电流-发光效率曲线，对比分析不同电流下，发光效率的变化趋势？
- 5、对比不同LED灯在不同电流下，分析其光通量、发光效率的异同，并解释其原因？

实验二 色度学实验模块（测量不同LED的色度学参数）

一、实验目的

- 1、掌握强度定标的意义及其定标方法。
- 2、了解常见色度参数的概念及其计算方法。
- 3、了解1931-xyz色度系统的表色方法。

二、实验原理

在色度研究中，常使用分光光谱测量法。在分光光谱法测量色度系统中，光谱仪是重要的组成部分。在该测量系统中使用具有光谱分辨率高的光栅光谱仪等进行色度测量。用光纤光谱仪测量发光二极管色度的实验装置示意图如图4-35-29所示。可调恒流源与LED连接，用电流调节旋钮调节输出电流使LED正常工作。光纤光谱仪的光纤探头插入积分球光纤接口，收集光谱信号。光纤光谱仪与计算机连接，测得的光源光谱功率由计算机进行数据处理，并计算得到色度坐标，从而计算出色温、显色指数等色度学参数。

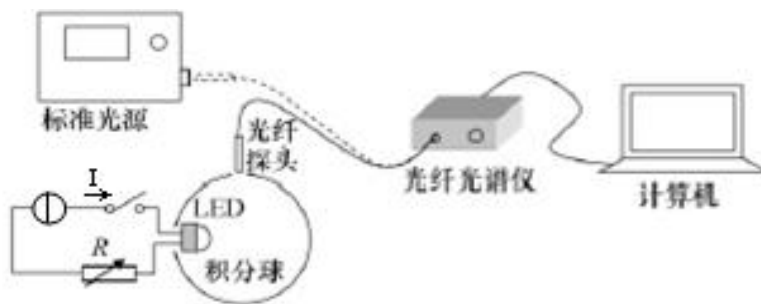


图2-1 LED色度学实验测量示意图

在色度学测量模块中最关键的一步是准确计算待测光源的相对光谱功率分布。由于光纤光谱仪测到的光谱分布是相对光谱功率分布，与理论上的存在一定的偏差。因此首先应对光谱功率分布进行强度定标。

三、强度定标步骤：

标准光源（卤素灯，色温2856K）用于光纤光谱仪的波长校准和强度校准。（1）用光纤光谱仪测出标准卤素灯的实际光谱功率分布 $P_{A,i}(\lambda)$ ；（2）利用普朗克公式计算出标准A光源（色温2856K）的理论光谱功率分布 $P_{r,i}(\lambda)$ ；（3）计算标准A光源理论光谱功率分布 $P_{r,i}(\lambda)$ 与实际测得的光谱功率分布 $P_{A,i}(\lambda)$ 的比值 $K_i(\lambda)$ ，该比值即为光纤光谱仪的强度校正系数。具体对比计算为公式（1）：

$$K_i(\lambda) = \frac{P_{r,i}(\lambda)}{P_{A,i}(\lambda)} \quad (1)$$

式中， $P_{A,i}(\lambda)$ 为标准A光源在该CCD探测器上实际采样的能量分布值， $P_{r,i}(\lambda)$ 为标准A光源已知 $T=2856K$ 色温下，利用普朗克公式 (2) 得到的理论能量曲线数据，

$$P_{r,i}(\lambda) = C_1 \lambda^{-5} (e^{C_2/\lambda T} - 1)^{-1} \quad (2)$$

式中， $C_1=3.7418 \times 10^{-16} W \cdot m^2$ 为第一辐射常数， $C_2=1.4388 \times 10^{-2} m \cdot K$ 为第二辐射常数， λ 为波长。则任意待测光源的光谱功率分布由公式 (3) 计算得到

$$P_{x,i}(\lambda) = K_i S_i(\lambda) \quad (3)$$

式中， $S_i(\lambda)$ 为待测光源在CCD探测器上的实际采样能量分布值。

四、名词解释：

色坐标是**色度学**的重要内容之一，光源的色坐标测量是研究光源特性的重要方法之一，它具有广泛的使用意义。色坐标测量的基本原理是根据光源的光谱分布由色坐标的基本规定进行计算而得出的。色坐标(chromaticity coordinate)，就是颜色的坐标，也叫表色系。现在常用的颜色坐标，**横轴**为 x ，纵轴为 y 。有了色坐标，可以在**色度图**上确定一个点，这个点精确表示了发光颜色，即：色坐标精确表示了颜色。因为色坐标有两个数字，又不直观，所以大家喜欢用**色温**来大概表示照明光源的发光颜色。NTSC(National Television Systems Committee)规定，标准红色色坐标为(0.67, 0.33)，标准绿色色坐标为(0.21, 0.71)，标准蓝色色坐标为(0.14, 0.08)，纯正的白光色坐标为(0.33, 0.33)。

色温：照明光学中用于定义光源颜色的一个物理量。即把某个**黑体**加热到一个温度，其发射的光的颜色与某个光源所发射的光的颜色相同时，这个黑体加热的温度称之为该光源的**颜色温度**，简称色温。其单位用“K”（开尔文）表示。

光源的颜色常用色温这一概念来表示。某个光源所发射的光的颜色，看起来与黑体在某一个温度下所发射的光颜色相同时，黑体的这个温度称为该光源的色温。在**黑体辐射**中，随着温度不同，光的颜色各不相同，黑体呈现由红—橙红—黄—黄白—白—蓝白的渐变过程。“**黑体**”的温度越高，光谱中蓝色的成份则越多，而红色的成份则越少。例如，白炽灯的光色是暖白色，其色温表示为2700K，而日光色荧光灯的色温表示方法则是6000K。

显色性和显色指数：光源对物体的显色能力称为**显色性**，是通过与同**色温**的参考或基准光源（**白炽灯**）下物体外观颜色的比较。光源的显色性影响着人眼所观察的物体颜色，显色性好的光源照明下物体颜色的失真就小。光所发射的光谱内容决定光源的光色，但同样光色可由许多、少数甚至仅仅两个单色的光波纵使而成，对各个颜色的显色性亦大不相同。相同光色的光源会有相异的光谱组成，光谱组成较广的光源较有可能提供较佳的显色品质。当光源光谱中很少或缺乏物体在基准光源下所反射的**主波**时，会使颜色产生明显的色差(color shift)。色差程度愈大，光源对该色的显色性愈差。显色指数系数(Kaufman)仍为目前定义光源显色性评价的普遍方法。**这里要强调一下，光源的色温和显色性之间没有必然的联系，因为具有不同光谱分布的光源可能有相同的色温，但是其显色性可能差别很大。**

自然光源色温		人工光源色温	
朝阳及夕阳	2000K	蜡烛及火光	1900K以下
日出后一小时阳光	3500K	家用钨丝灯	2900K
早晨及午后阳光	4300K	摄影用钨丝灯	3200K
平常白昼	5000-6000K	摄影用石英灯	3200K
晴天中午太阳	5400K	220 V 日光灯	3200-4000K
阴天	6000K以上	普通日光灯	4500-6000K
晴天时的阴影下	6000-7000K	HMI灯	5600K
雪地	7000-8500K	水银灯	5800K
蓝天无云的天空	10000K以上	电视萤光幕	5500-8000K

常见光源的色温及显色指数：

光源	色温（K）	显色指数（Ra）
白炽灯	2500-3086	92-99
白色荧光灯	3105-4050	55-88
高压汞灯	5690-3980	22-51
金属卤化物灯	4619-5200	53-72
短弧氙灯	6300-5550	95-97
三基色荧光灯	2700-6500	80-98

显色指数的等级及其应用：

显色指数（Ra）	等级	显色性	一般应用
90-100	1A	优良	需要色彩精确对比的场所
80-89	1B	良好	需要色彩正确判断的场所
60-79	2	普通	需要中等显色性的场所
40-59	3	一般	对显色性的要求较低，色差较小的场所
20-39	4	较差	对显色性无具体要求的场所

白炽灯的理论显色指数为100，但实际生活中的白炽灯种类繁多，应用也不同，所以其Ra值不是完全一致的。只能说是接近100，是显色性最好的灯具。

五、实验设备清单

序号	名称及规格参数	型号	数量
1	恒流电源I，0-50/500mA	BEM-5036	1
2	积分球，Φ150mm	BEM-5216-15	1
3	LED灯夹具及夹具支架，Φ50mm	BEM-5217	1
4	光纤光谱仪，波长范围：300-800	BIM-6001	1
5	石英光纤，芯径600微米，长度1.5米	BIM-6102	2
6	钨灯光源II，波长范围	BIM-6202	1
7	电源线	BC-100075	1
8	USB线	BC-100080	2
9	4mm香蕉插头导线 红色，800mm	BC-100084	2
10	4mm香蕉插头导线 黑色，800mm	BC-100083	2




图2-2 实验搭建

六、实验步骤

1、按照图4-35-30示意图搭建实验，首先是用光纤光谱仪测量标准光源的实际光谱能量分布。插上钨灯电源适配器，打开开关点亮钨灯，用光纤将钨灯光源连接到光谱仪的光纤入口处。

2、用USB线连接光谱仪到电脑（此时只允许有计算机与光谱仪相连接，其余用USB线连接的都需拔掉），打开软件，选择“色度学测试实验”的“标准A光源测量”界面，点击打开端口

“”，确认光谱仪与上位机软件通讯成功。若端口打开正常，此时在软件界面内会出现标准A光源的实际相对光谱功率分布曲线，调节软件上“积分时间”将该曲线显示在界面合适的位置，一定不能有溢出，一般积分时间设置100左右，强度达到3000-4000左右，如下图2-3（注：若打开端口失败，请检查USB线是否连接正确，或者关闭软件重新打开并再次尝试连接打开端口）

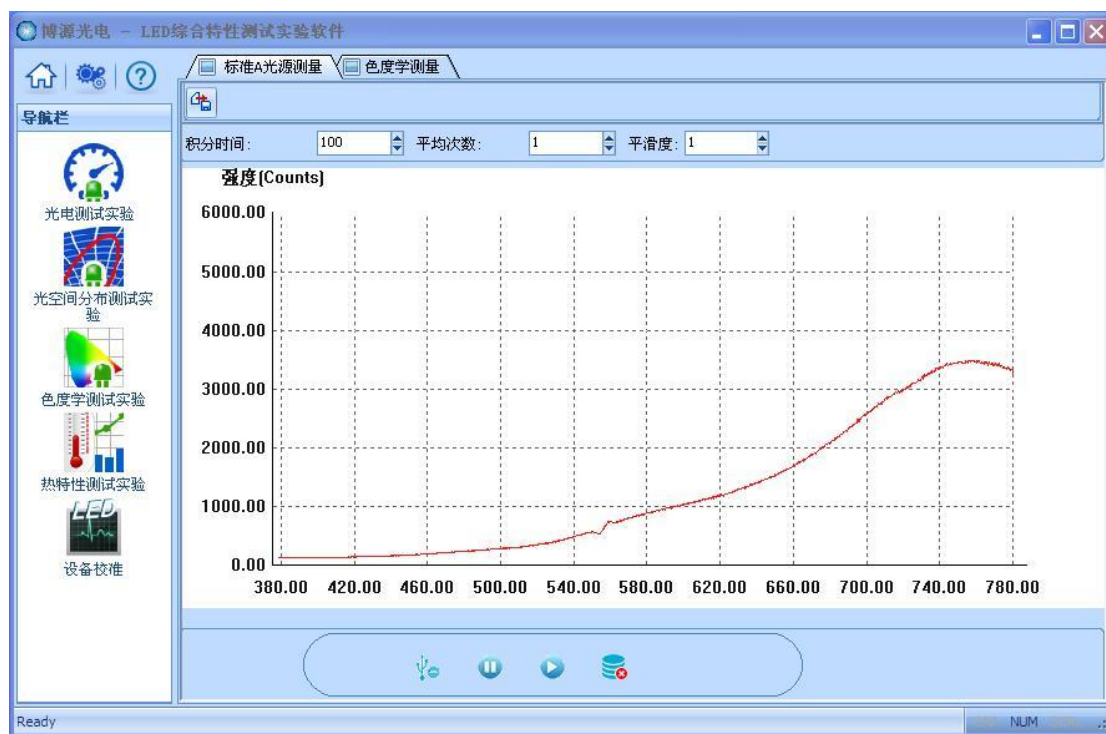






图2-3 标准钨灯光源相对光谱功率分布曲线

3、相对光谱功率分布曲线调整好以后（如图4-35-31），点击导出数据用以保存该曲线，再点击“”按钮，关闭当前测量。

4、软件切换到“色度学测量”界面，进行色度测量，打开光谱仪USB端口“”，点击采集数据“”，此时软件会弹出如下图Step1-Step7色度学参数计算方法，只需点击下一步直到完成即可。

Step1: 光谱响应系数 K_i 计算

Step2: 光谱功率分布计算

Step3: 色度坐标计算

Step4: 主波长计算

Step5: 色纯度计算

Step6: 色温计算

Step7: 显色指数计算

光谱响应系数公式: $K_i = P_{Ai}(\lambda) / P_{Ai}(\lambda)$ 其中:

- $P_{Ai}(\lambda)$ 为标准 A 光源在已知 $T=2856K$ 色温下, 利用普朗克公式 (1) 得到的能量曲线数据。

$$P_{Ai}(\lambda) = C_1 \lambda^{-5} (e^{C_2/\lambda T} - 1)^{-1} \quad (1)$$

式中 $C_1 = 3.7418 \times 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$ 为第一辐射常数。

$C_2 = 1.4338 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$ 为第二辐射常数, λ 为波长。

- $P_{Ai}(\lambda)$ 为标准 A 光源在该光谱仪 CCD 探测器上实际采样的能量分布值。

< 上一步(B) 下一步(N) > 取消

Step1: 光谱响应系数 K_i 计算

Step2: 光谱功率分布计算

Step3: 色度坐标计算

Step4: 主波长计算

Step5: 色纯度计算

Step6: 色温计算

Step7: 显色指数计算

任意待测光源的光谱功率分布公式为:

$$P_{Ai}(l) = K_i S_i(l)$$

其中:

- K_i 光谱响应系数。
- $S_i(l)$ 为待测光源在光谱的 CCD 探测器上实际采样能量分值。

< 上一步(B) 下一步(N) > 取消

Step1: 光谱响应系数 K_i 计算

Step2: 光谱功率分布计算

Step3: 色度坐标计算

Step4: 主波长计算

Step5: 色纯度计算

Step6: 色温计算

Step7: 显色指数计算

色坐标计算流程如下:

- 三刺激值公式如下: $X = K_m \int_{380}^{780} P_x(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$, $Y = K_m \int_{380}^{780} P_x(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$, $Z = K_m \int_{380}^{780} P_x(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$, 其中 $K_m = 683 \text{ lm/W}$, 为辐射量和光度量之间的比例系数; $P_x(\lambda)$ 为待测光源的相对光谱功率分布; \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} 为 CIE-1931 为光谱刺激值, 在国标^[7] 中查找。
- 色品坐标 x , y , z 的计算公式如下: $x = X/(X+Y+Z)$, $y = Y/(X+Y+Z)$, $z = Z/(X+Y+Z)$ 。
- CIE-1960 均匀色度坐标尺度 $u-v$ 计算公式如下:

$$u = 4X/(X+15Y+3Z) = 4x/(-2x+12y+3)$$

$$v = 6Y/(X+15Y+3Z) = 6y/(-2x+12y+3)$$

< 上一步(B) 下一步(N) > 取消

Step1: 光谱响应系数 k_i 计算

Step2: 光谱功率分布计算

Step3: 色度坐标计算

Step4: 主波长计算

Step5: 色纯度计算

Step6: 色温计算

Step7: 显色指数计算

主波长计算

主波长 λ_D 计算一般采用等能白光作为参考光，其坐标 $W_E(x_E, y_E: 0.333, 0.333)$ ，其流程如下：

1. 计算 $W_E(x_E, y_E)$ 与 CIEA1931 色品图各单色辐射轨迹坐标的斜率值，其中单色辐射轨迹坐标可直接在国标^[9]中查找。
2. 计算 $W_E(x_E, y_E)$ 与待测光源色品坐标的斜率值。
3. 根据 2.中计算得到的斜率值，在 1.中查找与之最接近的斜率值所对应的单色辐射轨迹坐标，该坐标所对应的波长即为该待测光源的主波长 λ_D 。

Step1: 光谱响应系数 k_i 计算

Step2: 光谱功率分布计算

Step3: 色度坐标计算

Step4: 主波长计算

Step5: 色纯度计算

Step6: 色温计算

Step7: 显色指数计算

色纯度计算

色纯度 P_e 表征光源光谱色接近光谱轨迹线的程度，纯度越高，即越接近色品图光谱轨迹线，其单色性越好，其流程如下：

1. $P_e = (y - y_E) / (y_D - y_E) = (x - x_E) / (x_D - x_E)$ ，其中 (x_E, y_E) 为等能白光 E 光源坐标； (x_D, y_D) 是所求主波长所对应的坐标； (x, y) 是待测光源的坐标值。

Step1: 光谱响应系数 k_i 计算

Step2: 光谱功率分布计算

Step3: 色度坐标计算

Step4: 主波长计算

Step5: 色纯度计算

Step6: 色温计算

Step7: 显色指数计算

色温计算

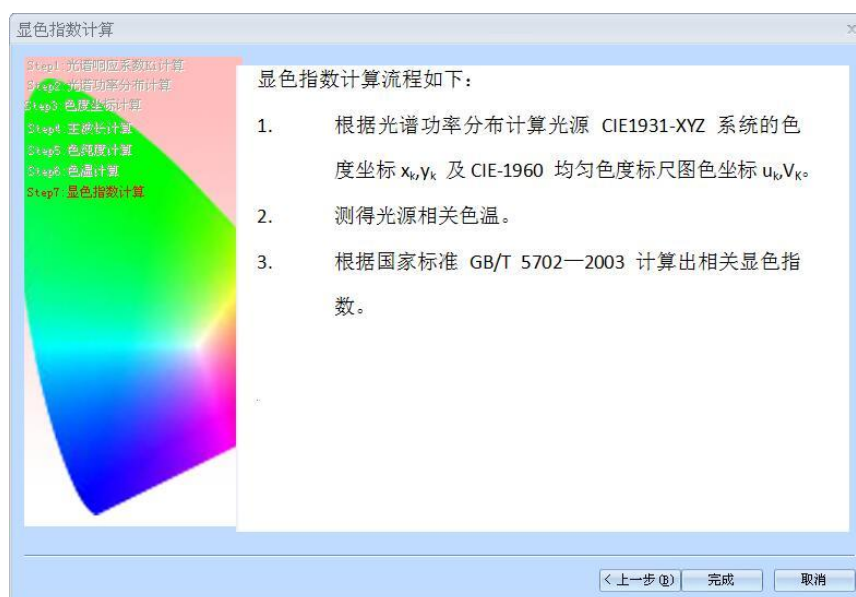
1950uCs 系统中黑体轨迹线的描绘

待测光源坐标 u_s, v_s

通过画垂线法，求等温线

等温线查表法

求得相关色温



上述计算结果有计算机软件自动计算得出，感兴趣的可以了解一下。

5、再次测量标准钨灯光源的实际相对光谱功率分布是否与理论的标准黑体辐射曲线是否重合，若两条功率分布曲线基本重合，如下图2-4所示，说明强度校准成功，也就是说此时我们用光纤光谱仪所测到的光源的功率分布曲线与理论功率分布曲线一致。接下去才可准确地测量不同LED的功率分布曲线，由此计算出不同LED的色度学参数。

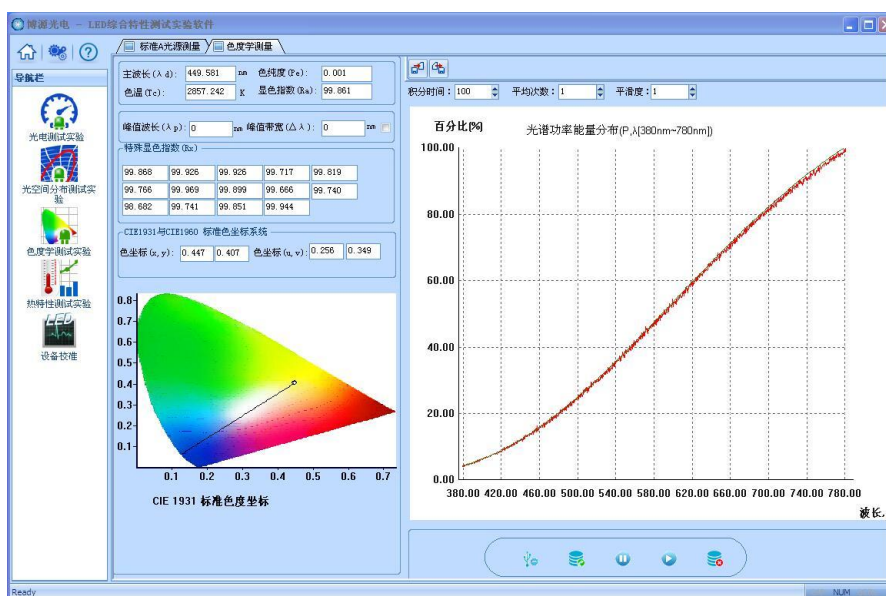


图2-4 理论的标准黑体辐射曲线与标准卤素灯的实际相对光谱功率分布曲线

6、保持色度测量软件界面不变，关闭标准钨灯。打开恒流源电源，将电流调节旋钮逆时针调到底。用4根实验导线连接LED夹具电流端、电压端和恒流源电流输出端、电压输入端，将待测LED正确地插在夹具上，并将变色片固定在夹具的前端，调节恒流源使LED正常工作，一般情况下将电流调至20mA，再将光源夹具固定在积分球光源入口处，用光纤将积分球出光测试口连接到光谱仪的光纤入口处，如图2-5所示。此时在软件界面内即可看到待测LED的光谱功率分布曲线，调整“积分时间”参数，一般设置为100（若LED光强较弱，可适当增加积分时间），如图2-6。在软件界面

的左侧，可以得到该LED的色度学参数，如色温、主波长、峰值波长、带宽、显色指数等。（注意：LED的较长脚为正极，对应夹具的“+”端口）

实验结果：

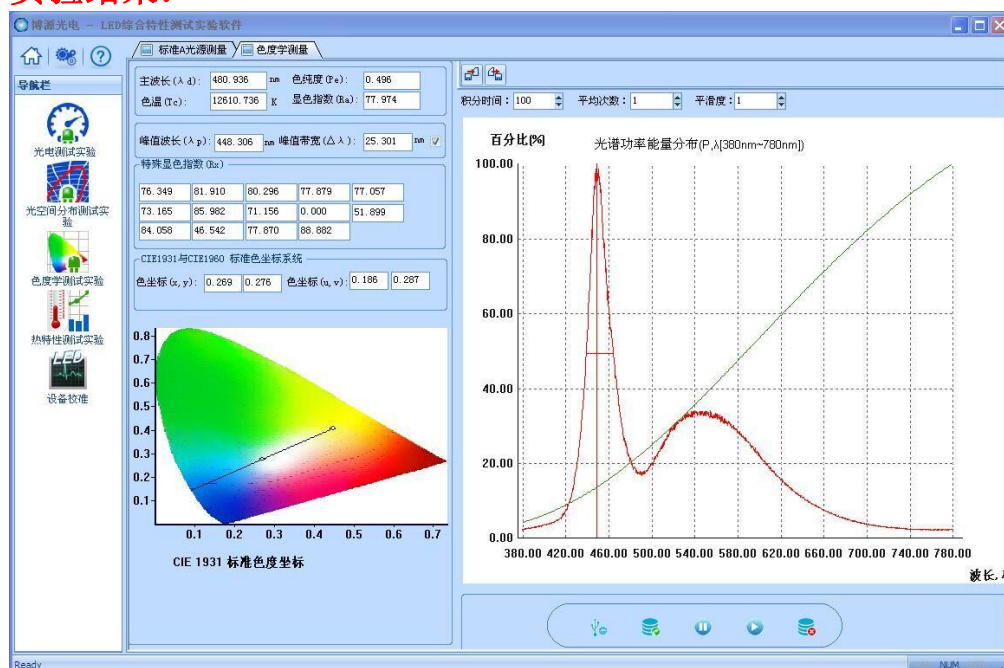


图2-5白光LED的光谱功率分布曲线与标准黑体辐射曲线对比图

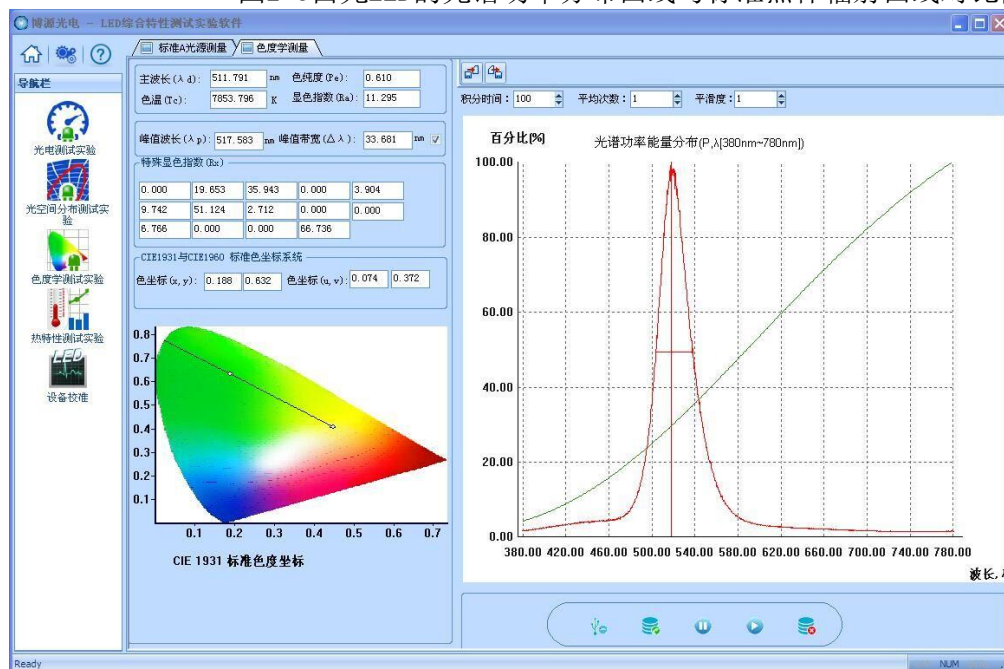


图2-6 绿光LED的光谱功率分布曲线与标准黑体辐射曲线对比图

分析：

- 1、表述强度校准原理？
- 2、峰值波长与主波长的区别？
- 3、什么是色温和显色指数？
- 4、根据不同 LED 灯的色坐标，观察其在色度图上的位置。
- 5、对比红、绿、蓝、白各色度参数，分析各色度参数异同的原因？

实验三 热特性测试实验

一、实验目的

- 1、测量LED器件的电压-温度关系特性，计算K系数，并理解K系数的意义及作用。
- 2、理解LED结温、热阻的概念，掌握一种测大功率贴片型LED结温、热阻的测量方法。

二、实验原理

(一) 结温、热阻的定义

当电流流过LED器件时，PN结的温度将上升，我们把PN结区的温度定义为LED的**结温**。通常被理解为LED芯片的温度，其形成是由于LED空穴、电子运动，一部分能量产生有效的光电效应，发出光子，另一部分是以发热的形式消耗掉，从而导致PN结区芯片发热，一般认为热损耗总共为70%-90%，我们这里认为损耗热量为80%。

在热平衡条件下，从LED芯片的P-N结（J点）到外壳（或主要散热部分）指定的参考点（常为与附加散热器接触的最佳点或部位）（C点），两者的温度差（ $T_J - T_C$ ）与该传热通道上耗散功率 P_J 之比值，称为**热阻**，用 $R_{th}(JC)$ 表示，它表征了LED的散热能力。

(二) 小电流K系数法结温测量原理

1 测量电压-温度系数K

将被测LED放置于控温设备中，使其稳定在一个低温值 T_{low} （一般取室温）的测试环境温度中，给定一个不能明显使其自加热的测试电流 I_M （可以忽略其产生的热量对LED结区的影响），快速点测此时LED的正向电压 V_{low} ，然后调节控温设备，使LED结温稳定到一个高温值 T_{high} ，测得同一 I_M 下LED的正向电压 V_{high} ，则系数K的计算公式如下：

$$K = \frac{V_{high} - V_{low}}{T_{high} - T_{low}} = \frac{\Delta V_F}{\Delta T}$$

2 电压法测结温热阻的测量

发光二极管正向压降与其PN结的温度成反向线性关系的特性，是电压法测结温热阻的理论依据，依据这个原理，通过测量LED在不同温度下所产生的正向压降差来间接测量LED的结温。显然，这个过程，PN结既是被测对象，同时也是温度传感器。该方法的测量电路原理如图：

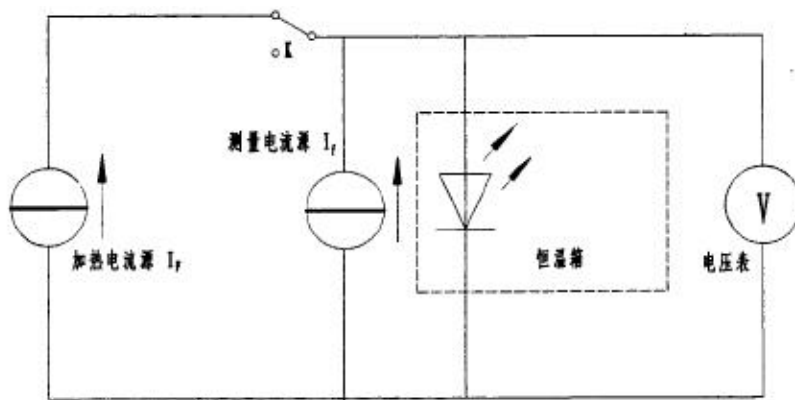


图3-1 K系数法测热阻结温原理图

测量可分为以下几个步骤：

- 1) 待测LED两端加正偏置测量电流 I_M ，测得正向压降 V_{F1} ；
- 2) 将加热电流 I_H （一般取LED的额定电流）替换 I_M ，并将之加到待测LED两端，加热一定时间直到LED芯片温度与散热器之间达到热平衡，测得正向压降 V_{F2} ，随之可计算得到耗散功率 $P_H = V_{F2} * I_H$ ；
- 3) 之后迅速用 I_M （ $< 50\mu s$ ）取代 I_H ，将之加到待测LED两端，测得正向压降为 V_{F0} 。

将测得的数据代入下式中：

$$\Delta V_F = |V_{F1} - V_{F0}| \quad (4)$$

可得到待测LED的结温：

$$T_J = T_{J0} + \Delta T_J = T_{J0} + \Delta V_F / K \quad (5)$$

根据热阻的定义公式，可计算得到待测LED的热阻：

$$R_{JX} = \frac{\Delta T_J}{P_H} = \frac{\Delta V_F / K}{\eta \times I_H \times V_H} \quad (6)$$

式中 $\eta = 80\%$ 。

三、实验设备清单

序号	名称及规格参数	型号	数量
1	程控脉冲电源，0-12V/20KHz	BEM-5037	1
2	温控电源及温控箱，0-100° C， $\pm 0.1^\circ$ C，12V	BEM-5038	1
3	电源线	BC-100075	2
4	USB线	BC-100080	2
5	4mm香蕉插头导线 红色，800mm	BC-100084	5
6	4mm香蕉插头导线 黑色，800mm	BC-100083	6

五、实验步骤：

（一）脉冲电源VT系数（纹波）的测量

该步骤的目的是为了选择正确的测试电流，LED导通时两端的波动电压 $\Delta V = |V - \bar{V}|$ 不能超过 $\pm 3\text{mV}$ ，避免在后面的测试中使用波动较大的电压给测量造成干扰。



- 1、按照图3-2所示，将脉冲电源用导线对应连接到温控箱上，用USB线连接脉冲电源到计算机的USB 端口，开启脉冲电源开关。
- 2、打开LED软件，选择热特性测试实验，点击“VT系数测试”界面，打开USB端口“”，使其正常通讯。（注：若打开端口失败，请检查USB线是否连接正确，或者关闭软件重新打开并再次尝试连接打开端口）注意：连线按照电源面板上的文字一一对应，红色与红色相连接，黑色与黑色相连，切勿反接。
- 3、在软件界面内设置测试电流值，测试电流范围为1~50mA，一般选择10mA，15mA，20mA，25mA进行测试，然后点击采集数据“”按钮，观察LED结电压的波动情况，找到波动较小的测试电流范围。若需要改变电流继续测试，需点击“清空”当前的测试数据，然后再采集波动电压值。（此时只有脉冲电源与计算机相连，其余的都拔掉。）



图3-2 VT系数测试搭建图

五、实验结果：

1. VT测试，测试电流至少选取4个，以便K系数测试时使用，以下为采集的在波动允许范围内的结果：

测试电流设置为10mA时的电压波动情况：

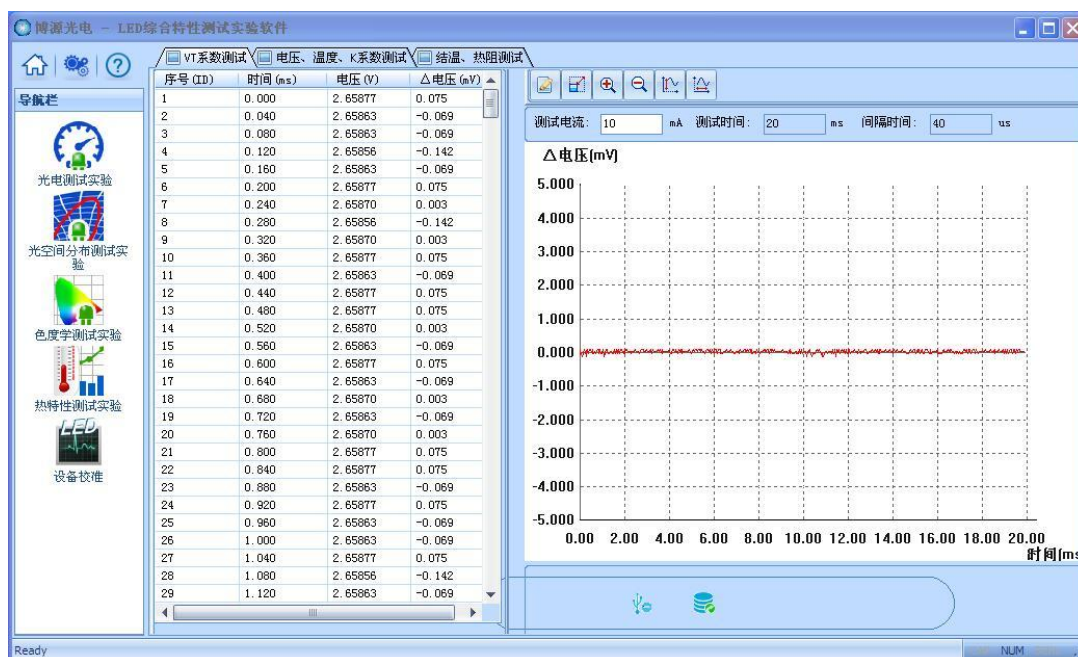


图3-3 测试电流设置为10mA时的电压波动情况

测试电流设置为20mA时的电压波动情况：

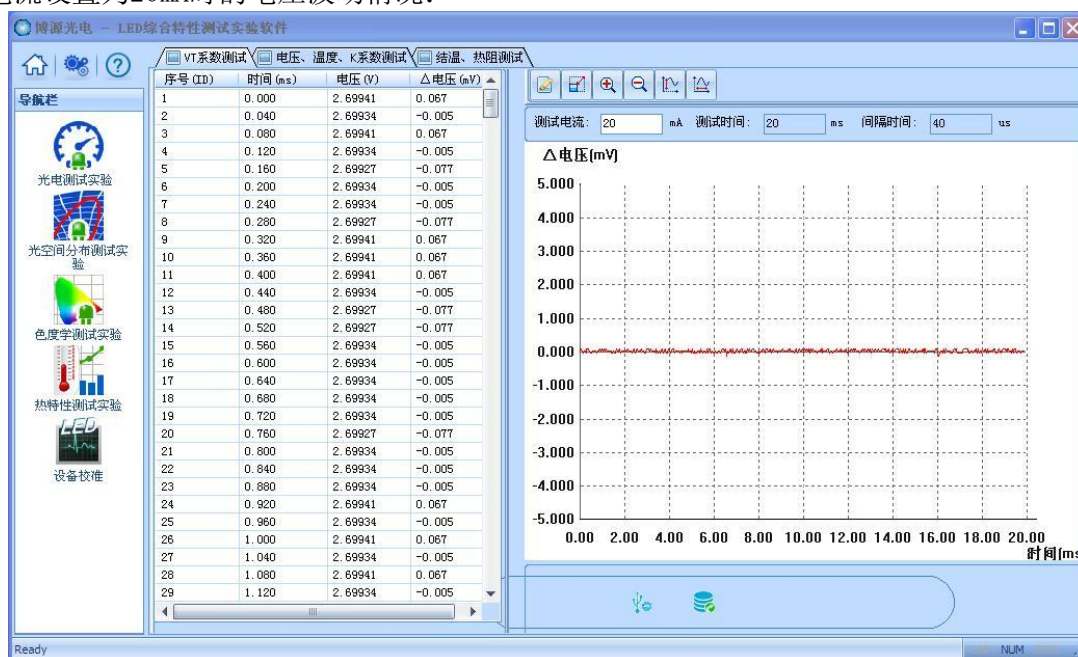


图3-4 测试电流设置为20mA时的电压波动情况

2. K系数的测量

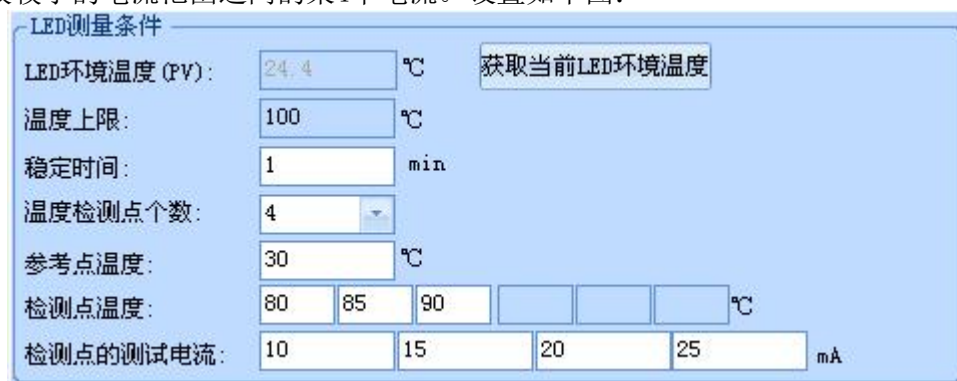
1、实验搭建如图4-35-39所示，此时需要脉冲电源与温控电源同时和计算机相连接。**注意：**连线按照电源面板上的文字一一对应，红色与红色相连接，黑色与黑色相连，切勿反接。

2、用USB线连接温控电源和脉冲电源到电脑，打开电源开关。

3、打开软件，选择热特性测试实验，点击“电压、温度、K系数测试”界面。打开USB端口“”，使其正常通讯。（注：若打开端口失败，请检查USB线是否连接正确，或者关闭软件重

新打开并再次尝试连接打开端口)

4、设置LED测量条件：点击“获取当前LED环境温度值”，温度上限默认为100℃，稳定时间通常设为1~3min，温度检测点个数范围为2~6，参考点温度不能超过50℃，参考点温度视环境温度而定，一般高于环境温度3℃即可，检测点温度应大于参考点温度50℃，测试电流范围为1~50mA，通常设为纹波较小的电流范围之间的某4个电流。设置如下图：



LED测量条件

LED环境温度 (PV): 24.4 °C 获取当前LED环境温度

温度上限: 100 °C

稳定时间: 1 min

温度检测点个数: 4


参考点温度: 30 °C

检测点温度: 80 85 90 °C

检测点的测试电流: 10 15 20 25 mA

图3-5 K系数测试设置条件

注：若当前LED环境温度（PV）高于需要设置的参考点温度时，将温控电源上的加热/制冷开关按到“Cooling”一端降温至参考点温度以下后，再进行下一步。

4、LED测量条件设置完成后，点击采集数据“”按钮，再将加热/制冷开关拨到“Heating”一端加热，当温度值到达参考点温度后，软件会倒计时需要稳定的时间，待时间达到温度稳定后，系统会弹出对话框提示采集各个测试电流下的电压温度值，只需点击确定即可。采集完毕后自动加热至下一个检测点温度，再次等到温度稳定后，同样的方法采集各个测试电流下的电压温度值。待数据采集完毕，点击“K系数计算”按钮，即可计算出每个测试电流下的K系数值。

六、实验结果：

下图是K系数测试实验结果：

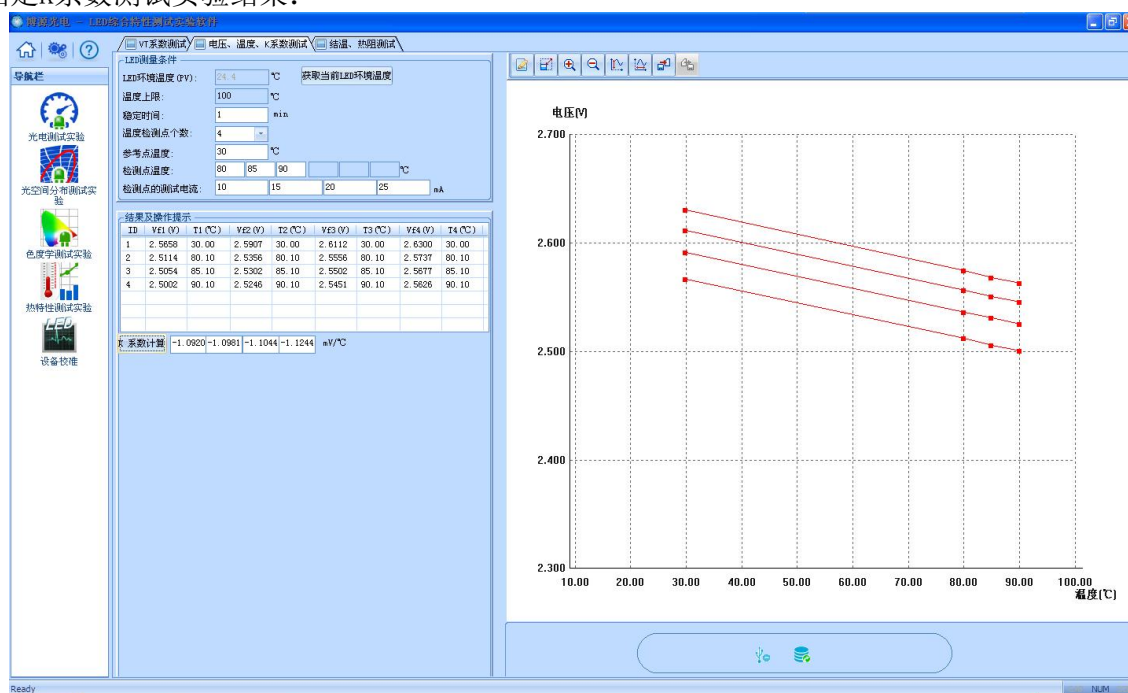

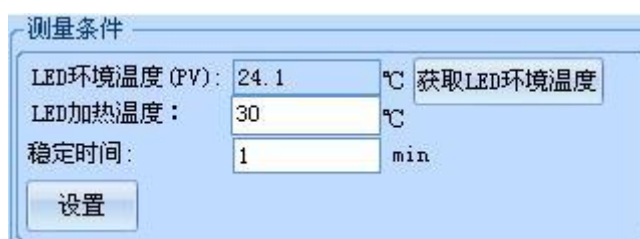


图3-6 K系数测试实验结果

测试电流 (mA)	10	15	20	25
K系数 (mV/°C)	-1.0920	-1.0981	-1.1044	-1.1244

(三) 结温、热阻测量

- 1、实验搭建如图图4-35-39所示，此时需要脉冲电源与温控电源同时和计算机相连接。**注意：连线按照电源面板上的文字一一对应，红色与红色相连接，黑色与黑色相连，切勿反接。**
- 2、用USB线连接温控电源和脉冲电源到电脑，打开电源开关。
- 3、打开软件，选择热特性测试实验，点击“结温、热阻测试”界面。打开USB端口“”，使其正常通讯。（注：若打开端口失败，请检查USB线是否连接正确，或者关闭软件重新打开并再次尝试连接打开端口）
- 4、设置测量条件：如果当前温度较高，需要将温控电源上的加热/制冷开关按到Cooling一端，使其冷却至室温，并稳定一段时间后点击“获取当前LED环境温度值”。设置LED加热温度（设置必须要高于环境温度，但是不能超过60°C），稳定时间通常设为1~3min。测量条件设置完成后，点击其下方的“设置”按钮。



测量条件

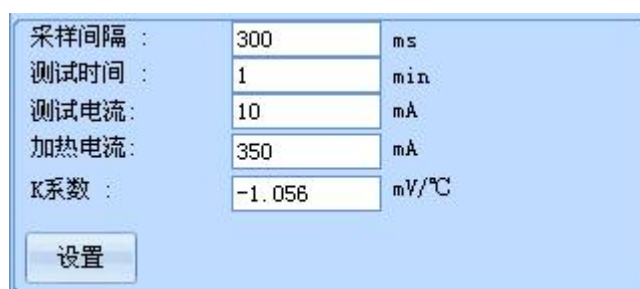
LED环境温度 (PV): 24.1 °C 获取LED环境温度

LED加热温度: 30 °C

稳定时间: 1 min

设置

5. 设置测试电流电压K系数：采样间隔一般设置300ms，测试时间为1min，测试电流可以设置为上一个实验（K系数测量）的检测点的测试电流，一般是10mA，加热电流可以设置为100-500mA，一般设置为350mA，K系数设置需要参照上一个实验（K系数测量）获得的数值进行设置，全部设置完成后，点击下方“设置”按钮，如下图。



采样间隔: 300 ms


测试时间: 1 min

测试电流: 10 mA

加热电流: 350 mA

K系数: -1.056 mV/°C

设置

6. 全部设置完成后，点击采集数据“”按钮，并将温控电源上的加热/制冷开关按到Heating一端加热，当温度值到达设定的加热温度后，软件会倒计时需要稳定的时间，待时间达到温度稳定后，系统会自动测试LED升温加热的电压与时间曲线，最后得出稳态结温和稳态热阻。

实验结果

下图是结温热阻实验结果：

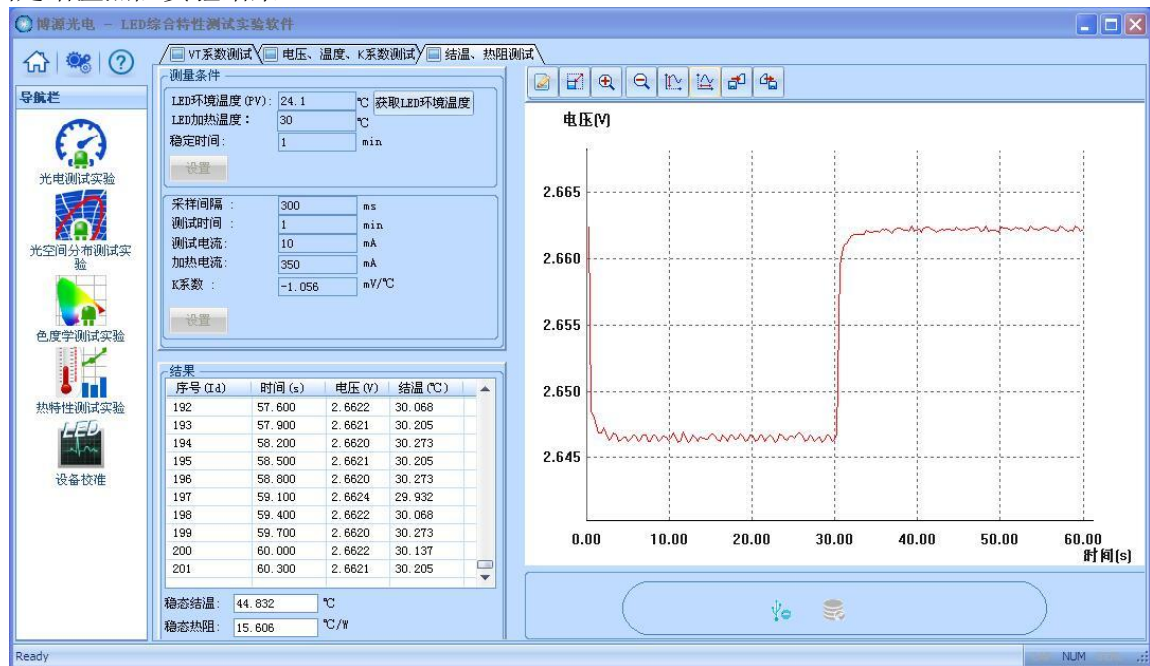


图3-7 结温热阻实验结果

实验分析：

根据测得的实验结果分析是如何计算出结温的？在软件界面中找到 V_{F1} 、 V_{F0} 的值，用以下公式验证稳态时的结温是否与软件计算一致？并计算出热阻值。

$$\Delta V_F = |V_{F1} - V_{F0}|$$

$$T_J = T_{J0} + \Delta T_J = T_{J0} + \Delta V_F / K$$