

RGB 配色实验报告

房杰 PB23061234

中国科学技术大学 信息科学技术学院 合肥 230026

实验负责人：代如成 上课老师：张洲

摘要：

通过探究红、绿、蓝三种 LED 光源的不同性质，组合并测量不同色光的光强，了解 RGB 三基色配色原理。

关键词：

RGB 配色；LED 光源；三基色

1. 引言

人眼所见的自然界的绝大多数颜色，都可以拆分成“红(R)、绿(G)、蓝(B)”三种独立颜色的组合，当每种颜色的含量变化时，所配成的颜色也会千变万化。独立颜色不能再分，被称为“三基色”。由于 LED 光源出色的成色效果，实验室中，常用红、绿、蓝三种 LED 光源进行配色实验。本文以控制变量法，探究了 RGB 配色原理。

2. 实验原理

2.1. RGB 配色原理

国际照明委员会 CIE(International Commission on Illumination)建立了一套界定和测量色彩的技术标准。规定红基色(R)的波长为 700nm，绿基色(G)的波长为 546.1nm，蓝基色(B)的波长为 435.8nm；三基色共同组成了 RGB 配色模型的基础；三基色的各自比例，直接影响了所形成颜色的色调和饱和度。

2.2. LED 工作原理

LED (Light Emitting Diode)，即半导体发光二极管，通电 LED 发出红、绿、蓝光，采用红、绿、蓝 LED 作为全彩光源的三基色，然后混合成全彩色的可见光，这种方法得到的白光有良好的显色性能、较宽的色温范围。首先要对 LED 进行选择。由色度图可知，红绿蓝三基色的色度坐标越靠近光谱轨迹的三个顶角，三基色的色度坐标所围成的三角形越大，所能得到的颜色就越丰富。LED 伏安特性是表征 LED 芯片 P-N 结性能的主要参数。LED 的伏安特性具有非线性和单向导电性，即外加正偏压时表现为低电阻，反之为高电阻，包括正向死区、

工作区、反向死区和击穿区。发光二极管发出光的颜色与半导体材料的禁带宽度 E_g 有关。
由能量守恒：

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = eE_g$$

得发光波长与 E_g 关系：

$$\lambda = \frac{hc}{eE_g} = \frac{1240}{E_g} nm$$

式中，禁带宽度 E_g 的单位为 eV，产生可见光的半导体材料的 E_g 应在 1.63~3.26eV 之间。

3. 实验内容

3.1. 实验器材

直流电源（3.0V）、三色 LED（负极管脚公用）、毫安表、数字万用表（只用电压档、欧姆档、二极管检测档）、硅光电池、电阻箱、白板、开关、导线、分压盒。

3.2. 实验方案设计

按实验要求，检查导线，电源是否正常；然后进行以下实验：

3.2.1. 测量不同颜色 LED 光源的伏安特性

- a. 按图 1 接线，在 $I \leq 100mA$ 内，分别测量红、绿、蓝 LED 的工作电流 I 与工作电压 U 的关系；

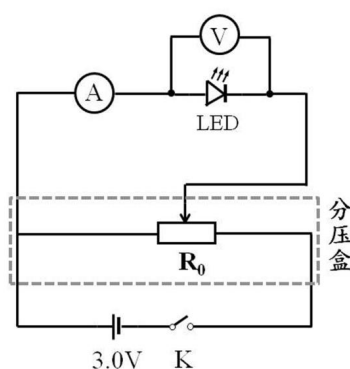


图 1 LED 伏安特性测量

- b. 绘制 LED 的正向 $I-U$ 特性曲线，并基于 $I-U$ 特性曲线，估算 LED 的发光中心波长。

3.2.2. 探究绿色 LED 的发光强度特性

- a. 按图 2 接线，调节分压盒，在工作电流 $I \leq 100\text{mA}$ 内，测量绿色 LED 的相对光强 L 与工作电流 I 数据；（ L 定义：LED 到光电池距离约为 20cm 时，光电池输出电压值。）

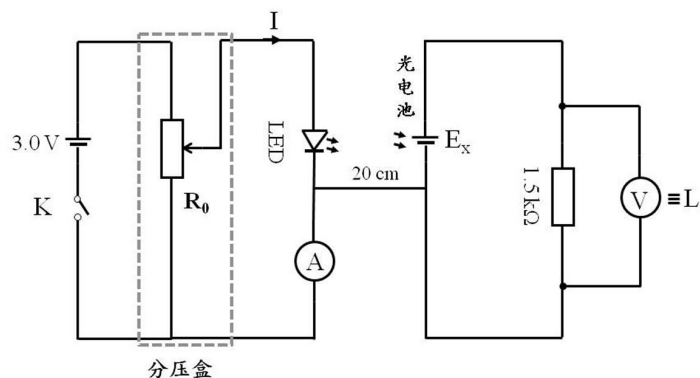


图 2 LED 发光强度测量

- b. 绘制 LED 的 L - I 特性曲线。

3.2.3. RGB 配色实验

- a. 按图 3 所示，将红、绿、蓝 LED 作为发光源模拟假想的 RGB 三基色，利用相加混合法配出指定色卡的颜色。调整白屏，使 3 个 LED 光斑在白屏上呈现同心圆。

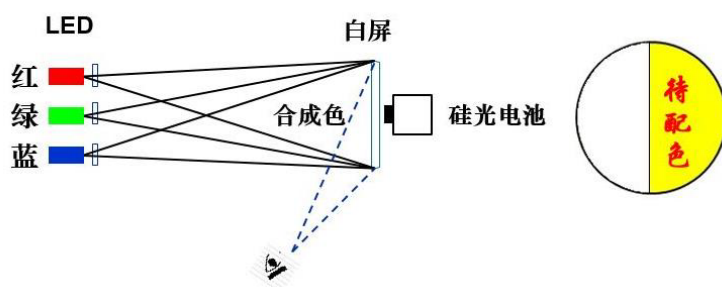


图 3 RGB 配色示意图

- b. 按图 4 接线，调节分压盒，分别采用两个 LED，在 $I \leq 100\text{mA}$ 内，配出标准色卡的黄色、青色、紫色，将光电池放置于白屏处，测量两个 LED 的及配色的相对光强 L ，算出两个基色的光强比。

（ L 定义：光电池输出电压值；提示：需扣除背景光强。）

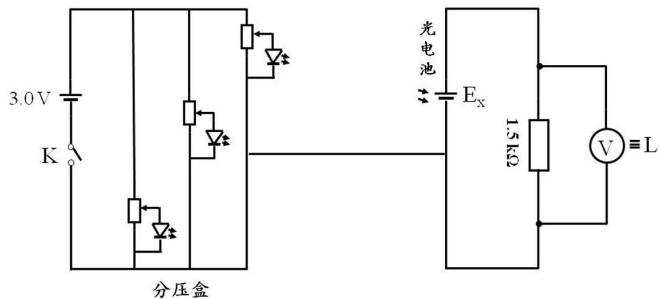


图 4 RGB 配色相对光强测量

- c. 按图 4 接线，调节分压盒，采用三个 LED，在 $I \leq 100\text{mA}$ 内，配出标准色卡的白色，将光电池放置于白屏处，测量三个 LED 的及配色的相对光强 L ，算出三个基色的光强比。（ L 定义：光电池输出电压值；提示：需扣除背景光强。）

3.2.4. 利用 RGB 配出颜料所画色彩

- a. 采用颜料创造一种色彩，颜料种类不限于红、绿、蓝三种颜色；
- b. 利用三基色 LED 光源配出创造的色彩，测量出基色光和混色光的相对光强，算出光强比值；
- c. 利用取色器得到该颜色的 RGB 数据并与测量结果比较。

3.3. 结束实验，整理仪器。

4. 实验结果与分析

4.1. 不同颜色 LED 光源的伏安特性测量原始数据及波长计算

4.1.1. 对于红色 LED 光源，有：

红 LED	I (mA)	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
	U (V)	1.731	1.758	1.775	1.792	1.804	1.814	1.825	1.834	1.841	1.851
	I (mA)	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0
	U (V)	1.857	1.865	1.872	1.880	1.886	1.893	1.900	1.907	1.914	1.920

表 1 红色 LED 的伏安特性测量数据

使用 excel 分析，得到红色 LED 伏安特性曲线如图 5：

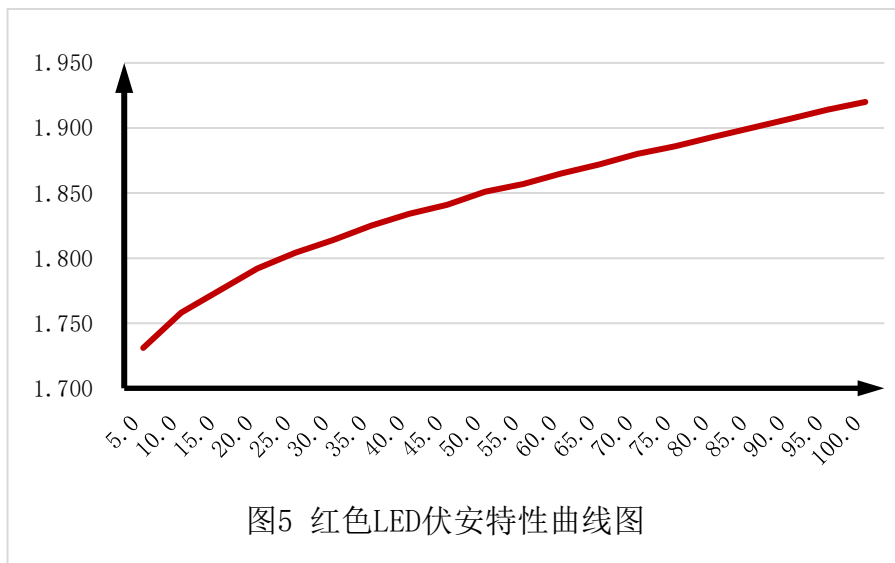
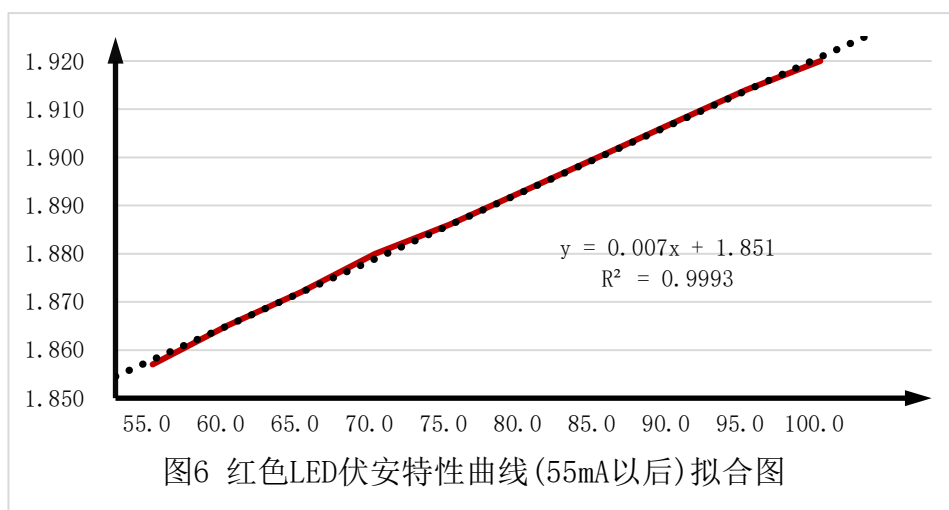


图5 红色LED伏安特性曲线图

取 55mA 及之后的数据进行拟合，得：



其中拟合直线方程为：

$$y = 0.007x + 1.851, R^2 = 0.9993.$$

则计算得红光波长约为：

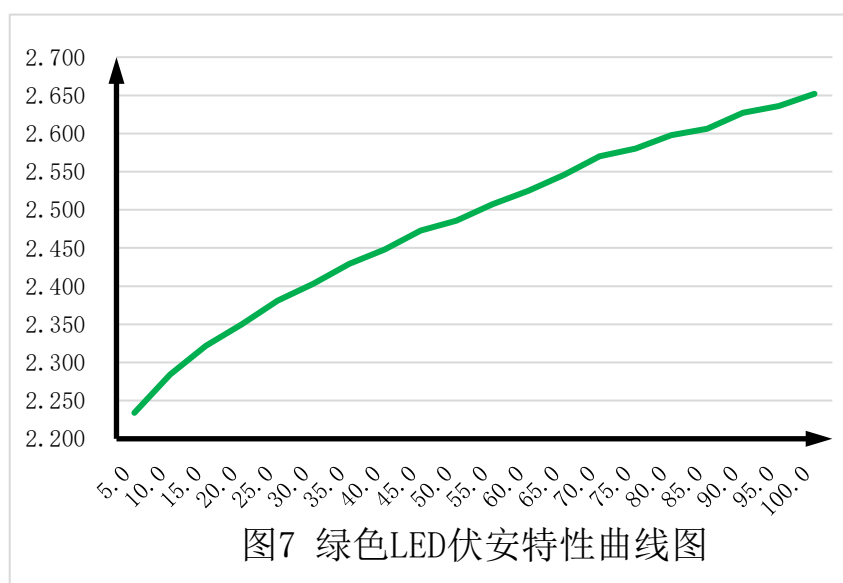
$$\lambda_{\text{红}} = \frac{hc}{eE_g} = \frac{1240}{1.851} = 669.9nm.$$

4.1.2. 对于绿色 LED 光源，有：

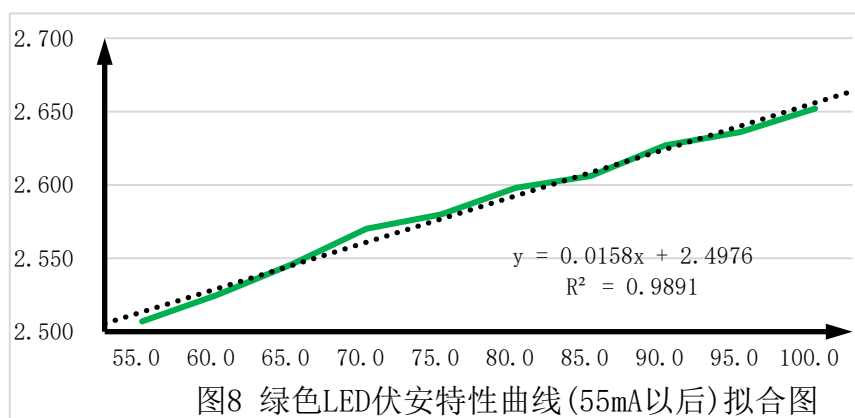
绿 LED	I (mA)	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
	U (V)	2.234	2.284	2.322	2.350	2.381	2.403	2.429	2.448	2.473	2.486
	I (mA)	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0
	U (V)	2.507	2.525	2.546	2.570	2.580	2.598	2.606	2.627	2.636	2.652

表 2 绿色 LED 的伏安特性测量数据

使用 excel 分析，得到绿色 LED 伏安特性曲线如图 7：



取 55mA 及之后的数据进行拟合，得：



其中拟合直线方程为：

$$y = 0.0158x + 2.4976, R^2 = 0.9891.$$

则计算得绿光波长约为：

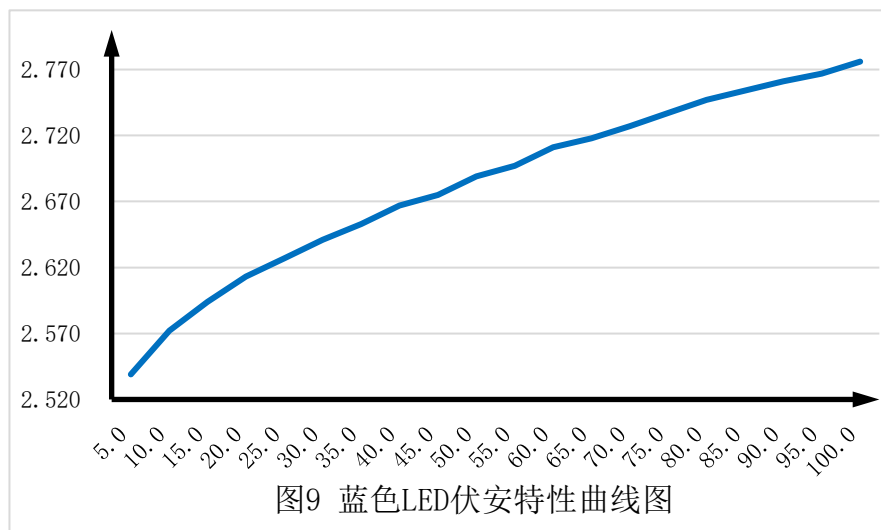
$$\lambda_{\text{绿}} = \frac{hc}{eE_g} = \frac{1240}{2.4976} = 496.5\text{nm}.$$

4.1.3. 对于蓝色 LED 光源，有：

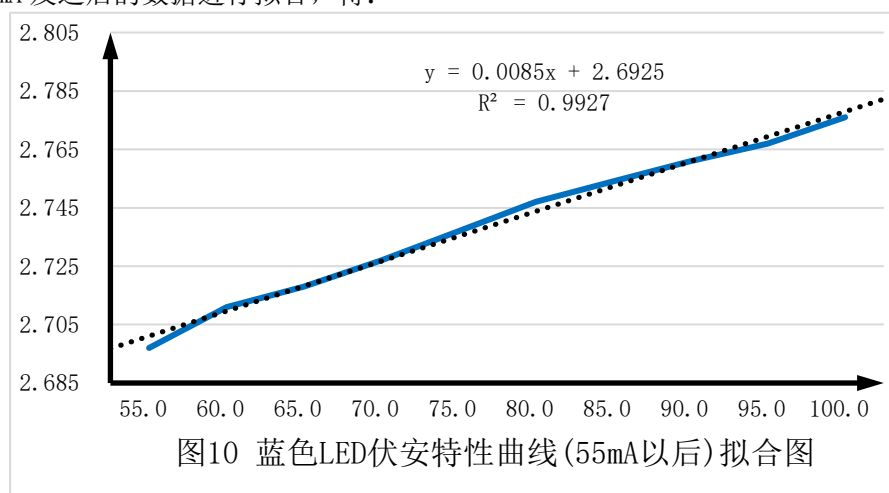
I (mA)	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
U (V)	2.539	2.572	2.594	2.613	2.627	2.641	2.653	2.667	2.675	2.689
I (mA)	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0
U (V)	2.697	2.711	2.718	2.727	2.737	2.747	2.754	2.761	2.767	2.776

表 3 蓝色 LED 的伏安特性测量数据

使用 excel 分析，得到蓝色 LED 伏安特性曲线如图 9：



取 55mA 及之后的数据进行拟合，得：



其中拟合直线方程为：

$$y = 0.0085x + 2.6925, R^2 = 0.9927.$$

则计算得蓝光波长约为：

$$\lambda_{\text{蓝}} = \frac{hc}{eE_g} = \frac{1240}{2.6925} = 460.5\text{nm}.$$

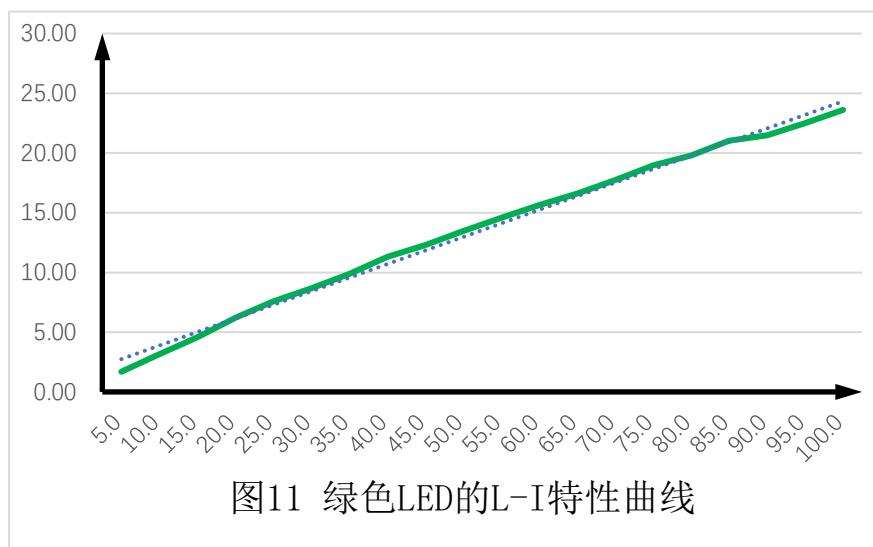
4.2. LED 的发光强度特性测量原始数据及分析

对于绿色 LED 光源，有绿色 LED 的相对光强 L 与工作电流 I 数据如下：

绿 LED	I (mA)	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
	L (mV)	1.69	3.16	4.58	6.22	7.57	8.68	9.89	11.29	12.28	13.48
	I (mA)	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0
	L (mV)	14.56	15.63	16.60	17.73	18.96	19.80	21.02	21.49	22.50	23.61

表 4 绿色 LED 的光强特性测量数据

使用 excel 分析，得到绿色 LED 光强特性曲线如图 11：



由图知，绿色 LED 的相对光强 L 与工作电流 I 成线性相关。

4.3. RGB 配色实验数据及分析

实验时，测得背景光强为：

$L_{背} = 0.145mV$.

4.3.1. 配出标准比色卡的黄色、青色、紫色，测量两个 LED 及配色的相对光强 L 和扣除背景光强后的计算结果如下表所示：

配色	光强			扣除背景光强后计算结果
黄色	L 绿/mV	L 红/mV	L 黄/mV	L 绿:L 红=0.572
	27.92	48.72	76.35	
青色	L 蓝/mV	L 绿/mV	L 青/mV	L 绿:L 蓝=0.472
	58.69	27.79	86.11	
紫色	L 红/mV	L 蓝/mV	L 紫/mV	L 蓝:L 红=2.953
	48.42	142.70	187.80	

4.3.2. 配出标准比色卡的白色，测量三个 LED 及配色的相对光强 L 和扣除背景光强后的计算结果如下表所示：

白色	L 红/mV	L 蓝/mV	L 绿/mV	L 白/mV	扣除背景光强后计算结果
	29.36	52.68	27.65	109.85	L 绿:L 红:L 蓝=1:1.062:1.910

4.4. 利用 RGB 配出颜料所画色彩

利用颜料涂色如下：



图 12 颜料涂色图

4.4.1. 利用红、绿、蓝三种 LED 光源配出此颜色的光强及比值如下：

待测颜色	L 红/mV	L 蓝/mV	L 绿/mV	L 测/mV	扣除背景光强后计算结果
	45.381	0	2.416	47.701	L 绿:L 红:L 蓝=1:19.919:0

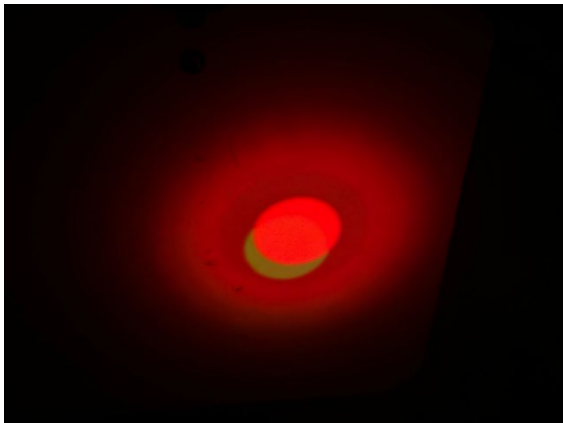


图 13 LED 配色图

4.4.2. 由 windows 画图软件测得该颜色为#F03E02，RGB 为红 240，绿 62，蓝 2，三色比为

$$L_{\text{绿}}:L_{\text{红}}:L_{\text{蓝}} = 1:3.87:0.$$

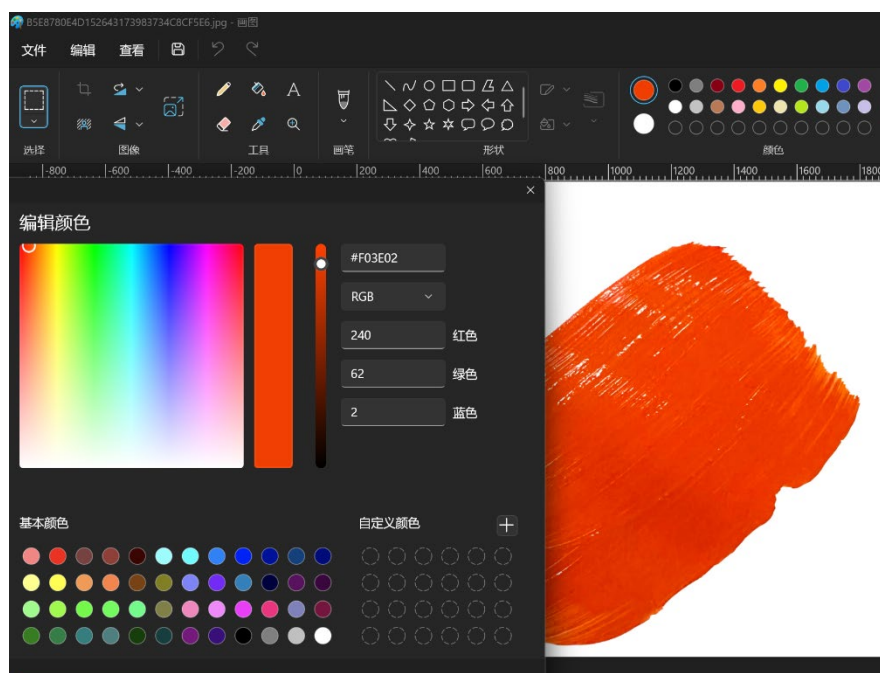


图 14 windows 画图软件截图界面

4.4.3. 误差分析

对比得实验结果与实际误差较大，推测可能原因如下：

- 环境光强在实验中容易受外界光照干扰有波动，存在一定误差；
- 难以保证导轨与电源前端、硅光电池光敏面与 LED 灯光线完全垂直；
- 使用毫安表判断电流，不能保证完全精确，存在一定误差；
- 配色时依靠人的主观感受，存在偏差较大，且外界光照会影响人对配色颜色的判断；
- 人眼对不同颜色敏感程度不同（对绿色最敏感）。

5. 思考题

5.1. 什么叫人眼的视敏特性？用什么函数度量？

人眼的视敏特性是指人眼对不同波长的光具有不同的灵敏度的特性。视敏特性常用视敏函数来表示。

a. 视敏函数

定义：为确定人眼对不同波长光的敏感程度，假定存在一个“标准观察者”，用不同的单色光源发光，由“标准观察者”的眼睛观看，当观察者观察这些单色光源获得相同的亮度感觉时，测量此时各不同的单色光源的辐射功率 $P(\lambda)$ 。 $P(\lambda)$ 越大，

说明人眼对该波长的光越不敏感； $P(\lambda)$ 越小，说明人眼对该波长的光越敏感。辐射功率的倒数来衡量人眼对波长光的敏感程度，称为视敏函数，即：

$$K(\lambda) = \frac{1}{P(\lambda)}.$$

式中， $P(\lambda)$ 为辐射功率。 $K(\lambda)$ 越大，说明人眼对该波长的光越敏感。

- b. 相对视敏函数：通常把任意波长光的视敏函数与最大视敏函数的比值称为相对视敏函数。

5.2. 甲光 R:G:B 为 1:2:3；乙光 R:G:B 为 2:4:6，甲光和乙光有什么区别？

由于甲乙光三基色 RGB 光强比例相同，故在人眼上的视觉颜色相同。但由于乙光总光强高于甲光总光强，所以整体上乙光比甲光更明亮。

6. 结论

- 6.1. LED 的伏安特性曲线在电流超过一定值后随电流呈线性增长，通过拟合曲线的截距可以求出该光源的波长；
- 6.2. 通过 LED 的电流越大，光强越强；
- 6.3. 自然界中的颜色都可以用红色(R)、绿色(G)、蓝色(B)三原色合成；改变三种颜色的比值可以合成不同的颜色。

7. 参考文献

实验讲义-配色实验 B，2024 年 6 月.