

RGB三基色配色实验报告

少年班学院 小组1号 PB21000004 吴越 2022年5月16日

摘要

本次实验在于了解 LED 原理与特性，掌握 RGB 三基色原理。

- 对LED 的伏安特性的测量。
- 对LED 的发光波长的测量。
- 实践RGB 三基色配色实验。

背景介绍

- 简介：自然界中人眼所能观察到的绝大多数颜色，都可以由三种相互独立的基本颜色按一定的比例混合得到
- 标准：国际照明委员会 CIE (International Commission on Illumination) 建立一套界定和测量色彩的技术标准。CIE 规定了红基色 (R) 的波长为700 nm，绿基色 (R) 的波长为 546.1 nm，蓝基色的波长为 435.8 nm；
- 表示：CIE 色度图采用 x、y、z 作为假想的红 (R)、绿 (G)、蓝 (B) 三基色相对强度系数。对于任一种颜色， $x+y+z=1$ 。

第一部分 实验方法

1.实验名称

RGB 三基色配色研究

2.实验目的

了解 LED 原理与特性。掌握 RGB 三基色原理。

3.实验原理:

RGB三基色配色实验主要基于以下原理:

1. 三基色

自然界中人眼所能观察到的绝大多数颜色，都可以由三种相互独立的基本颜色按一定的比例混合得到；相反，自然界中的任意一种颜色又可以被分解为不同比例的相互独立的三种基色。所谓“相互独立”的三基色，是指三中基色中的任意一种颜色都不能由其他两种颜色混合产生，即三基色线性无关。

2.RGB混色

在 RGB 颜色模型中，红绿蓝三基色按照不同的比例相加合成混色称为相加混色。三基色之间的比例，直接决定混合色的色调和色饱和度，混合比例相同时，色调是相同的。图 1 为将三种不同亮度的基色光同时投射到一个表面上合成不同彩色。

- 红色+绿色=黄色
- 绿色+蓝色=青色
- 蓝色+红色=紫色
- 红色+绿色+蓝色=白色
- 红色+青色=白色
- 绿色+紫色=白色
- 蓝色+黄色=白色
- 改变三束光的强度，可得到各种常见的彩色光。

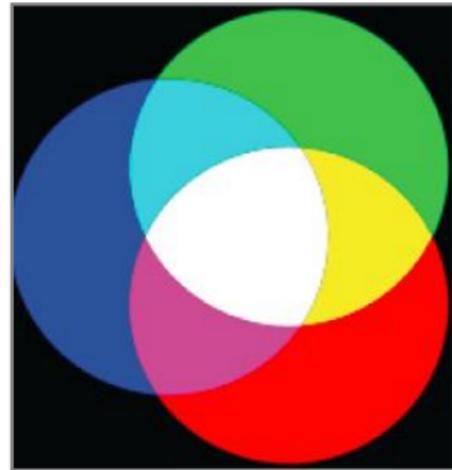


图 1 相加混色圆图

3.CIE 色度图

CIE 色度图采用 x , y , z 作为假想的红 (R)、绿 (G)、蓝 (B) 三基色相对强度系数。对于任一种颜色 $x+y+z=1$ 。由于 z 可以从 $x+y+z=1$ 导出，因此通常不考虑 z ，而用另外两个系数 x 和 y 表示颜色，并绘制以 x 和 y 为坐标的二维图形，相当于把 $x+y+z=1$ 平面投射到 (x, y) 平面，也就是 $z=0$ 的平面，这就是 CIE 色度图 (见图)。色度图中 x 表示红色分量， y 表示绿色分量，图中只表示了从 400 nm (紫色) 到 700 nm (红色) 之间的三基系数值，包含了所有的颜色数值。环绕在颜色空间边沿的颜色是光谱色，边界代表光谱色的最大饱和度，边界上的数字表示光谱色的波长，其轮廓包含所有的感知色调。所有图 1 相加混色圆图单色光都位于舌形曲线上，这条曲线就是单色轨迹，曲线旁标注的数字是单色 (或称光谱色) 光的波长值；自然界中各种实际颜色都位于这条闭合曲线内。

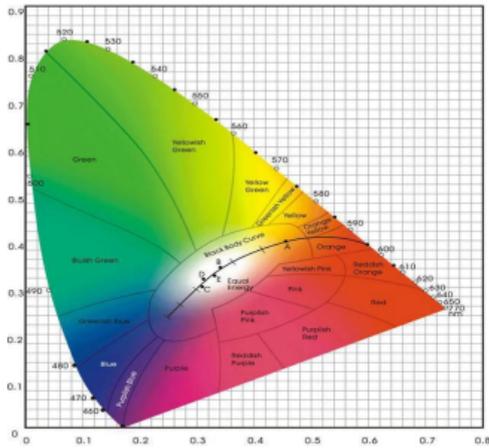


图2 CIE 色度图

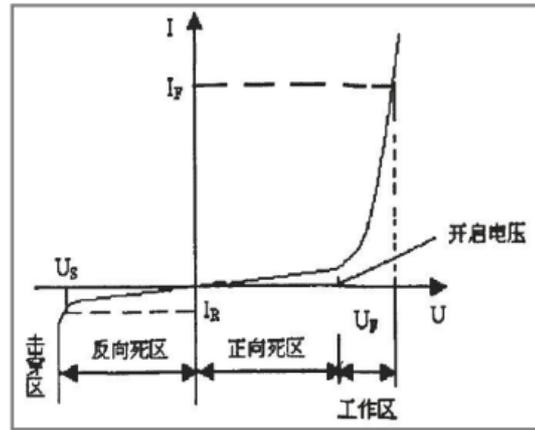


图3 LED 伏安特性曲线

4.LED工作原理

LED (Light Emitting Diode) 是一种半导体发光二极管，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，如图 3 所示，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 1.63~3.26 eV 之间。

4.实验仪器

直流电源（取 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

5.实验步骤：

1. 按实验要求，检查导线，电源是否正常。
2. 按下图接线，调节分压盒，在 $I < 100mA$ 内，对每种颜色的二极管测量 20 组 U-I 数据。

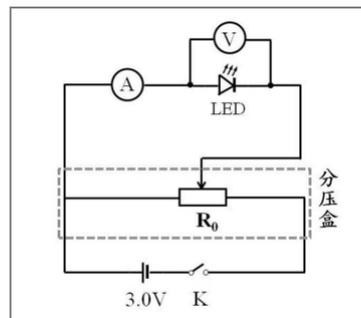


图5 LED 伏安特性测量

3. 基于 I-U 特性曲线，估算 LED 的发光中心波长。
4. 按下图所示，将红、绿、蓝 LED 作为发光当作假想的 RGB 三基色，相加混合法配出指定色卡的颜色。调整白屏，使 3 个 LED 光斑在白屏上呈同心圆。

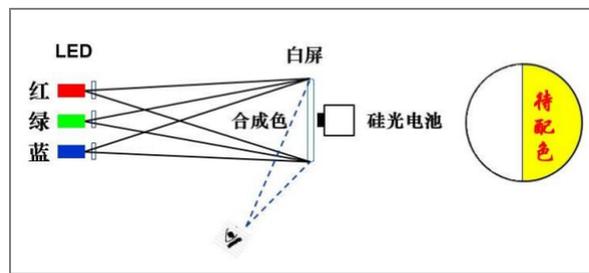


图 7 RGB 配色示意图

(1)按下图接线，调整分压盒，分别采用两个LED，在 $I \leq 100\text{mA}$ 内，配出标准卡的黄色、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 ，给出两个基色的光强比。

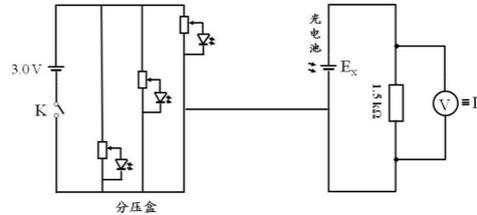


图 8 RGB 配色相对光强测量

(2) 保持接线不变，调整分压盒，采用三个LED，在 $I \leq 100\text{mA}$ 内，配出标准卡的白色，将光电池放置于白屏处，测量三个LED及配色的相对光强 L ，给出三个基色的光强比。

5. 结束实验，整理仪器。

第二部分 结果和分析

1. LED 的伏安特性测量

所测得U-I数据如下表所示：

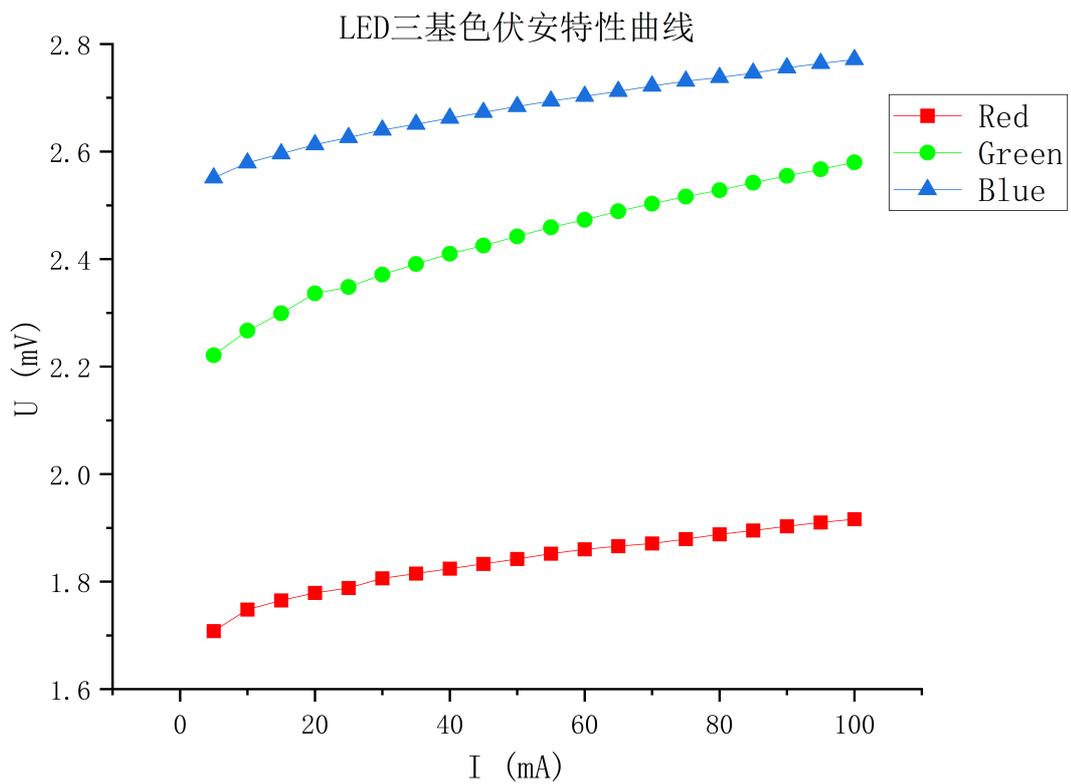
表1 LED 的伏安特性测量

I/mA	Red U/mV	Green U/mV	Blue U/mV
5	1.708	2.221	2.551
10	1.748	2.267	2.579
15	1.765	2.299	2.596
20	1.779	2.336	2.613
25	1.788	2.348	2.626
30	1.806	2.371	2.64
35	1.815	2.391	2.651
40	1.824	2.41	2.662
45	1.833	2.425	2.673
50	1.842	2.442	2.684
55	1.852	2.459	2.694
60	1.86	2.473	2.703

I/mA	Red U/mV	Green U/mV	Blue U/mV
65	1.866	2.489	2.712
70	1.871	2.503	2.722
75	1.879	2.516	2.731
80	1.888	2.528	2.738
85	1.895	2.542	2.746
90	1.903	2.555	2.756
95	1.91	2.567	2.764
100	1.916	2.58	2.771

(其中万用表选择 20V 量程, 电流表选用 100mA 量程)

使用origin分析, 得伏安曲线如下:



分析图像以及数据可知, LED电压U随电流I增加而增加, 且增加到一定程度后, U与I呈现线性增长的关系。

2.LED 的发光波长测量

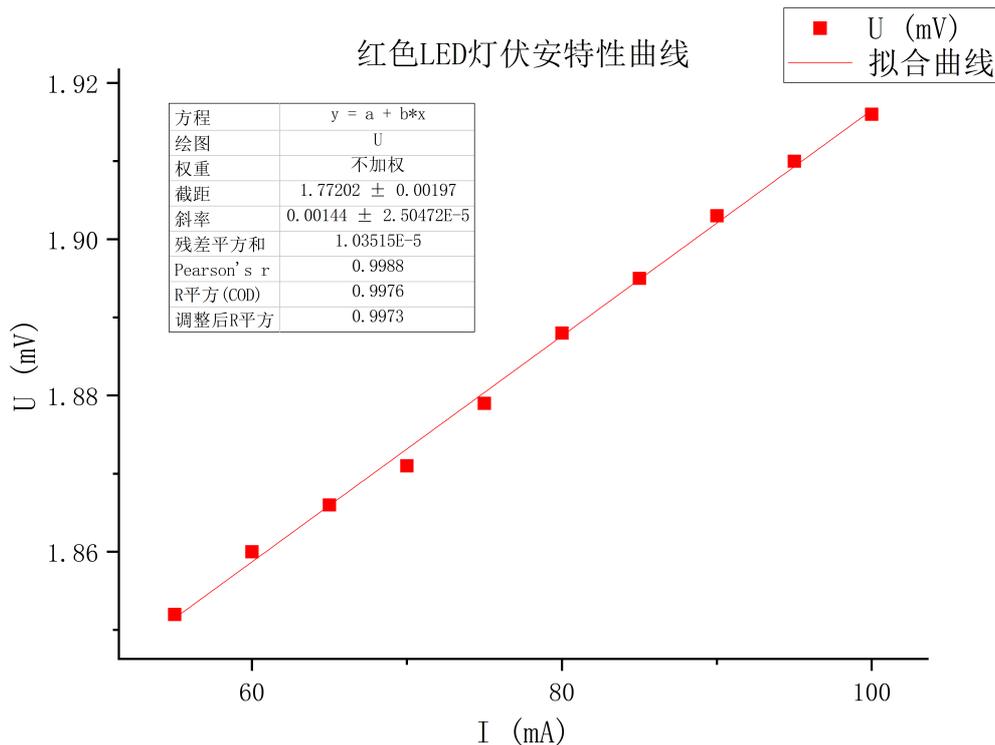
由实验原理中发光波长与 E_g 关系:

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

其中 $E_g = U_F \cdot e$, 带入数据即可计算得到波长。

对接近线性关系的数据用origin作线性拟合，计算拟合直线与电压轴交点得到 U_F 。

对红色二极管，取 55mA 及之后的数据拟合得：

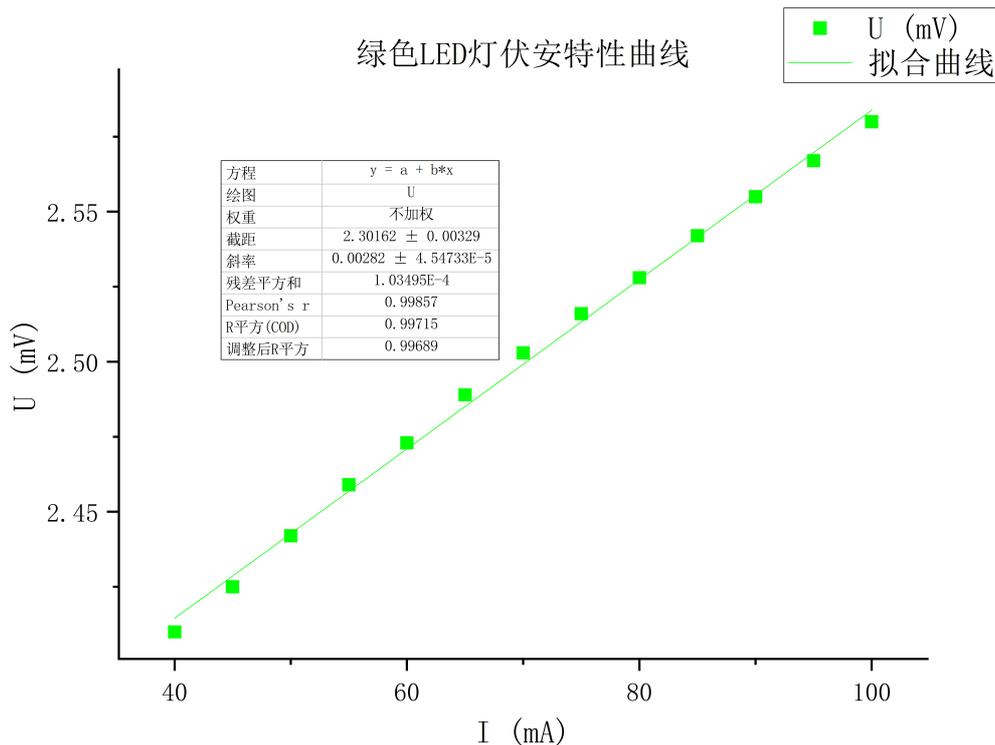


拟合结果为： $y = 0.00144x + 1.77202, R = 0.9988$

故计算得红光波长约为：

$$\lambda_{\text{绿}} = \frac{1242}{1.77202} \approx 699.77\text{nm}$$

对绿色二极管，取 40mA 及之后的数据拟合得：

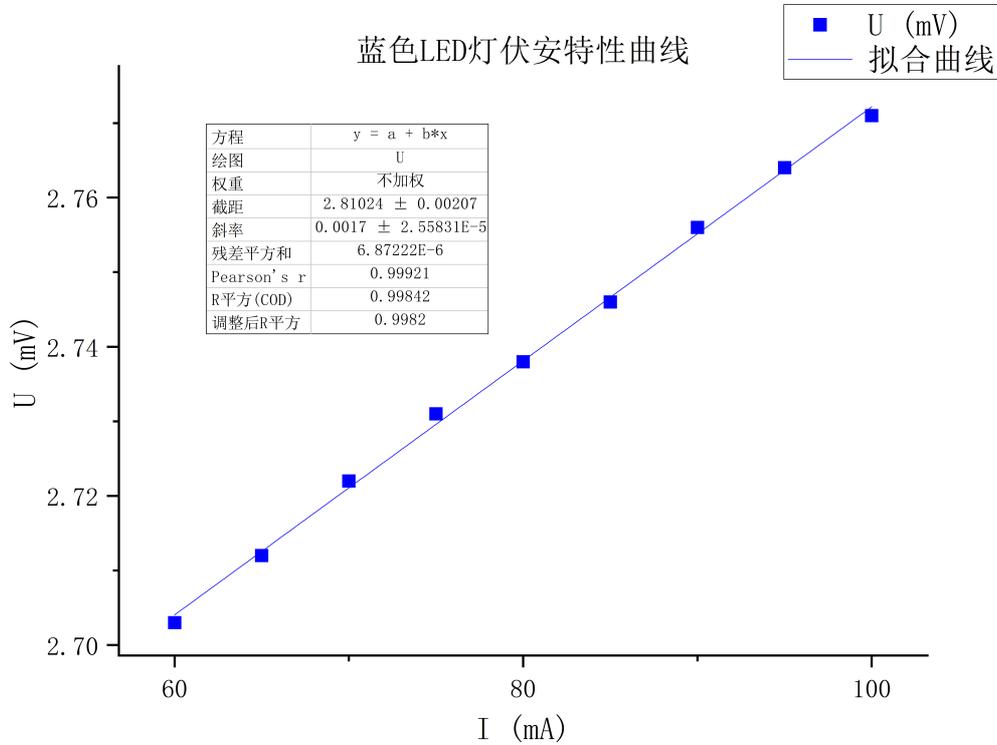


$$y = 0.00282x + 2.30162, R = 0.99857$$

故计算得绿光波长约为:

$$\lambda_{绿} = \frac{1240}{2.30162} \approx 538.75nm$$

对蓝色二极管, 取 60mA 及之后的数据拟合得



拟合结果为: $y = 0.0017x + 2.81024, R = 0.99921$

故计算得蓝光波长约为

$$\lambda_{蓝} = \frac{1240}{2.81024} \approx 441.24nm$$

3. RGB 配色实验

(1) 配出标准卡的黄色、青色、紫色, 测量两个LED的及配色的相对光强L如下表所示:

背景光强为: $0.04mV$ (使用200mV量程)

表2 配色及相对光强L表

配色	L黄/mV	L绿/mV	L红/mV
黄色	14.63	7.12	8.41
	L青/mV	L蓝/mV	L绿/mV
青色	16.95	6.84	10.15
	L紫/mV	L红/mV	L蓝/mV
紫色	17.61	7.01	10.58

扣除背景光强后计算结果如下表:

配色	黄色	青色	紫色
光强比	L绿:L红=0.847:1	L蓝:L绿=0.674:1	L红:L蓝=0.663:1

(2) 配出标准卡的白色光，测量三个 LED 的及配色的相对光强L如下表所示：

	L总/mV	L红/mV	L绿/mV	L蓝/mV
白色	80.65	24.89	47.78	8.02

扣除背景光强后计算得配比为： $L_{红} : L_{绿} : L_{蓝} = 3.124 : 5.982 : 1$

(3) 配出用颜料自配色（橙色），测量使用红绿 LED 灯配色的及配色的相对光强L如下表所示：

配色	L橙/mV	L绿/mV	L红/mV
橙色	21.57	2.94	18.65

扣除背景光强后计算得： $L_{绿} : L_{红} = 0.156 : 1$

误差分析

根据分析，在实验过程中主要以下三个方面引起误差：

1. 光照强度方面：

- (1) 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。
- (2) 调整硅光电池与光源之间的距离时存在一定误差，导致光照强度有误差。
- (3) 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。

2. 电路方面：

- (1) 使用毫安表判断电流，不能保证完全精确，存在一定误差。
- (2) 暗伏安特性测量时为电流表采用外接法，由于分压导致电流测量值会偏大。
- (3) 实验中电路电流不稳定，读数时有波动，给读数带来误差。

3. 配色方面

- (1) 配色时依靠人的主观感受，存在偏差较大。
- (2) 外界光照会影响人对配色颜色的判断。
- (3) 人对不同颜色敏感程度不同（对绿色最敏感），也会带来一定偏差。

实验讨论：

通过RGB配色实验，我：

- (1) 了解了RGB配色的基本原理，LED灯的工作原理等。
- (2) 掌握了RGB配色的基本方法和规范，加深了对其的理解。
- (3) 实践了使用多种电路仪器（分压盒等）设计，连接电路的基本能力。
- (4) 提高了对实验电路错误的排查，处理能力，加强了实践能力。
- (5) 提升了其他与试验相关的能力。

第三部分 思考题

Q1: 什么叫人眼的视敏特性? 用什么函数度量?

答:

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。

(1) 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 λ 光的敏感程度, 称为视敏函数, 即: $K(\lambda) = 1/P(\lambda)$ 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。

(2) 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。

在明亮条件下, 人眼对555nm黄绿光有最高的灵敏度

$$V(\lambda) = K(\lambda) / K(555) = P(555) / P(\lambda)$$

在暗视觉条件下, 人眼对507nm的光有最高的灵敏度

$$V(\lambda) = K'(\lambda) / K'(507) = P'(507) / P'(\lambda)$$

Q2: 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?

答:

由于甲乙光三基色RGB光强比例相同, 归一化后在CIE色度图中的位置相同, 故在人的视觉上颜色相同。

但乙光各光光强高于甲, 故给人视觉上乙光比甲光更明亮。

Q3: 色光混合及色料混合的基本规律? 色料三原色的补色分别是什么颜色?

答:

(1) **1. 色光混合:** 是利用加法混合, 两种以上的光混合在一起, 光亮度会提高, 混合色的光的总亮度等于相混各色光亮度之和。色光混合中, 三原色是朱红、翠绿、蓝紫。混色的基本规律为:

$$\begin{aligned} \text{朱红光} + \text{翠绿光} &= \text{黄色光} \\ \text{翠绿光} + \text{蓝紫光} &= \text{蓝色光} \\ \text{蓝紫光} + \text{朱红光} &= \text{紫红色光} \end{aligned}$$

黄色光、蓝色光、紫色光为间色光。

如果只通过两种色光混合就能产生白色光, 那么这两种光就是互为补色。例如: 朱红色光与蓝色光; 翠绿色光与紫色光; 蓝紫色光与黄色光。

2. 色料混合: 是利用减法混合白色光线透过有色滤光片之后, 一部分光线被反射而吸收其余的光线, 减少掉一部分辐射功率, 最后透过的光是两次减光的结果, 这样的色彩混合称为减法混合。一般说来, 透明性强的染料, 混合后具有明显的减光作用。色光混合中, 三原色是朱红、翠绿、蓝紫。混色的基本规律为:

$$\begin{aligned} \text{红色} + \text{蓝色} &= \text{紫色} \\ \text{黄色} + \text{红色} &= \text{橙色} \\ \text{黄色} + \text{蓝色} &= \text{绿色} \end{aligned}$$

(2) 在色料混合中, 如果两种颜色能产生灰色或黑色, 这两种色就是互补色。三原色按一定的比例相混, 所得的色可以是黑色或黑灰色。在减法混合中, 加法混合的三原色正是减法混合的三原色的补色, 即:

红 (品红) 的补色为翠绿

黄 (淡黄) 的补色为蓝紫

蓝 (天蓝) 的补色为朱红