

基于 python 计算标准照明体 D 的光谱分布曲线

(北京理工大学光电学院, 北京 100081)

摘要: 标准照明体和标准光源是光辐射测量标准化的概念。由于不同光谱辐射特性的光源或在其照射下表面的反射/透射光都会人眼的主观色感或者光敏材料的响应大小随之变化。因此,国际照明委员会推荐了标准照明体和标准光源,以避免使用不同光源所造成变化。本文基于 Python 程序设计,编写了可以根据相关色温计算光谱分布曲线的函数。

关键词 标准照明体; 程序设计; 光谱分布

中图分类号: TL929

文献标识码: A

Spectral distribution curves of the standard illumination body D were calculated based on python

(School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

Abstract: Standard lighting body and standard light source are the concept of optical radiation measurement standardization. The light source with different spectral radiation characteristics or the reflected / transmitted light on the exposed surface changes the subjective color sense of the human eye or the response size of the photosensitive material. Therefore, the International Lighting Committee has recommended the standard lighting body and the standard light source to avoid the changes caused by the use of different light sources. We wrote the function that can calculate the spectral distribution curve based on the relevant color temperature.

Key words: Standard illumination body; programming; spectral distribution

Classification number: TL929 **Reference code:** A

1 标准照明体光谱分布的计算公式推导

1.1 综述

标准照明体和标准光源是为使光辐射测量标准化而引入的概念。在纺织、印刷、摄影、造纸、食品等许多光辐射测量的应用部门,需要进行定量的辐射测量且结果可相互比较。然而,由于大多数光探测器人眼、光敏材料和光电探测元件)的光谱响应是波长的函数,故不同光谱辐射特性的光源或在其照射下表面的反射/透射光都会使光探测器的响应值、人眼的主观色感或者光敏材料的响应大小随之变化,例如日光下和灯光下人眼观看同一块色布的色感不同,灯光型彩色胶卷拍摄日光照射下的景物颜色失真,光电探测器接收辐射度量同而光谱能量分布不同的景物反射光输出信号不同等。因此,为避免使用不同光源所造成变化,国际照

明委员会推荐了光辐射度量和光度量测量上使用的标准照明体和标准光源。

标准照明体和标准光源不同,前者是规定光谱能量分布;而后者是一种实在的光源是规定了这种光源的基本特性以及光源的光谱能量分布与什么标准照明体匹配。一种标准照明体有可能只用一种光源就可实现,也有可能要用一种光源的若干标准滤光器的组合才能实现,甚至只能近似地实现。标准照明体应当有良好的现实代表性,即是现有大量光源辐照特性的典型代表。CIE 优先推荐相当于相关色温 5503 K、6504K 和 7504K 的 D 照明体作为代表日光的标准照明体。

1.2 相关物理量

(1) 相关色温 T_{cp}

色温是颜色温度的简称,有几种定义方法。在可见谱段内,当发射体和某温度的黑体有相同的颜色时,那么黑体温度就被称为发射体的色温,即色温是把光源用与人眼主观色度感觉一致的黑体温度的描述。然而,色温的概念也不仅限于人眼色觉上的一致,可扩展到任意波长,色的概念就是光谱能量分布。

根据色度学,色具有同色异谱的性质,即相同的颜色可由具有不同的光谱能量分布特性的光构成。因此,色温个能像分布温度那样近似说明光源的光谱能量分布特性,但对于具有不连续光谱的发射体或具有连续光谱但其光谱能量分布特性与黑体相差甚大的发射体,却可用色温来描述。

严格地说,任意光源的色只能说与某一温度黑体的色相近,不可能完全相同,所以更多的是用相关色温的概念。相关色温就是发射体和某温度的黑体有最相近的色时黑体的温度。

相关色温提供了用黑体色近似地描述光源色的可能性。

(2) 标准照明体色品坐标 x_D, y_D

CIE 色度学系统利用三刺激值定量描述颜色,将三刺激值的三维坐标系转换为二维平面坐标时,构成了色品图,色品图上颜色点的二维坐标为色品坐标。标准照明体 D 色品坐标计算公式如式 (1) (2)。

$$\begin{cases} x_D = -\frac{4.067 \times 10^9}{T_{cp}^3} + \frac{2.9678 \times 10^6}{T_{cp}^2} + \frac{0.09911 \times 10^3}{T_{cp}} + 0.244063, & T_{cp} \in [4000, 7000] \\ x_D = -\frac{2.0064 \times 10^9}{T_{cp}^3} + \frac{1.9018 \times 10^6}{T_{cp}^2} + \frac{0.24748 \times 10^3}{T_{cp}} + 0.23704, & T_{cp} \in [7000, 25000] \end{cases} \quad (1)$$

$$y_D = -3x_D^2 + 2.87x_D - 0.275 \quad (2)$$

(3) 相对光谱功率特征矢量

标准照明体 D 代表各时相日光的相对光谱功率分布,也叫作典型日光或重组日光。前人在 1963 年进行了两类实验:

① 对不同地区、不同时相的太阳光和天空光进行了 622 例光谱测定,测出了它们的光谱分布;

② 对日光进行视觉色度测量。

对实际光谱分布测量结果进行的特征矢量统计分析得出了一个数学模型,即式 (3) (4)

(5)，可以用来计算已知相关色温标准照明体 D 的相对光谱功率分布。

$$M_1 = \frac{-1.3515 - 1.7703x_D + 5.9114y_D}{0.0241 + 0.2562x_D - 0.7341y_D} \quad (3)$$

$$M_2 = \frac{0.03 - 31.4424x_D + 30.0717y_D}{0.0241 + 0.2562x_D - 0.7341y_D} \quad (4)$$

$$\overline{S(\lambda)} = \overline{S_0(\lambda)} + M_1 \overline{S_1(\lambda)} + M_2 \overline{S_2(\lambda)} \quad (5)$$

2 程序设计

2.1 程序结构

本程序由三部分组成。main.py 是主程序，mainwindow.py 以及 mainwindow.ui 是程序的界面设计，S0.py，S1.py，S2.py 是利用 array 记录了三个特征向量的值。

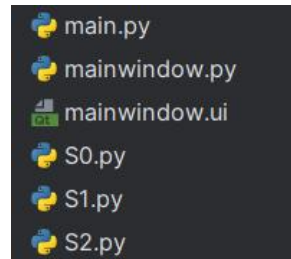


图 1 程序结构

Fig 1. Program Structure

利用 pyinstaller 库对程序进行了封装，如图 1 为封装前的项目文件。



图 2 封装程序

Fig 2. Canned program

如图 2 为 exe 程序，其中 internal 文件夹是运行程序所需的配置文件，应当和 exe 程序安放在同一目录下。

2.2 计算

```
def calculate(self,t, S0, S1, S2):
    if 4000 <= t <= 7000:
        x = -4.607 * pow(10, 9) / pow(t, 3) + 2.9678 * pow(10, 6) / pow(t, 2) + 0.09911 * pow(10, 3) / t + 0.244063
    elif 7000 <= t <= 25000:
        x = -2.0064 * pow(10, 9) / pow(t, 3) + 1.9018 * pow(10, 6) / pow(t, 2) + 0.24748 *
```

```

pow(10, 3) / t + 0.23704
y = -3*x * x + 2.87*x - 0.275
M1 = (-1.3515 - 1.7703*x+5.9114*y) / (0.0241 + 0.2562*x-0.7341*y)
M2 = (0.03 - 31.4424*x+30.0717*y) / (0.0241 + 0.2562*x-0.7341*y)
S = S0 + M1 * S1 + M2 * S2
return S

```

2.3 输出光谱分布曲线

```

def curve(self,S,t):
    plt.rcParams['font.sans-serif'] = ['SimHei'] # 用来正常显示中文标签
    plt.rcParams['axes.unicode_minus'] = False # 用来正常显示负号
    plt.figure(1)
    plt.title(f'{t}'+K 温度下 CIE 标准照明体 D 光谱分布') # 写上图题
    plt.xlabel('波长λ (nm)') # 为 x 轴命名为“x”
    plt.ylabel('相对辐射功率 (W)') # 为 y 轴命名为“y”
    plt.plot(np.arange(300, 840, 10), S)
    plt.show()
    self.output('光谱分布图像生成成功! ')

```

2.4 程序界面

```

def __init__(self):# 从 UI 定义中动态 创建一个相应的窗口对象
    # 注意：里面的控件对象也成为窗口对象的属性了
    # 比如 self.ui.button , self.ui.textEdit
    super().__init__()
    # 使用 ui 文件导入定义界面类
    self.ui = Ui_MainWindow()
    # 初始化界面
    self.ui.setupUi(self)

```



图 3 程序界面

Fig 3. Program interface

图 3 为程序界面，在用户输入相关色温后，按下“生成曲线”按钮，即可绘出对应光谱分布曲线，同时输出框打印出“光谱分布图像生成成功”字样。

此后按下“D55、D65、D75 光谱分布曲线”按钮可得到三种标准照明体的光谱分布曲线，可以与之前的结果进行比较。

3 结果与结论讨论

3.1 计算结果样例

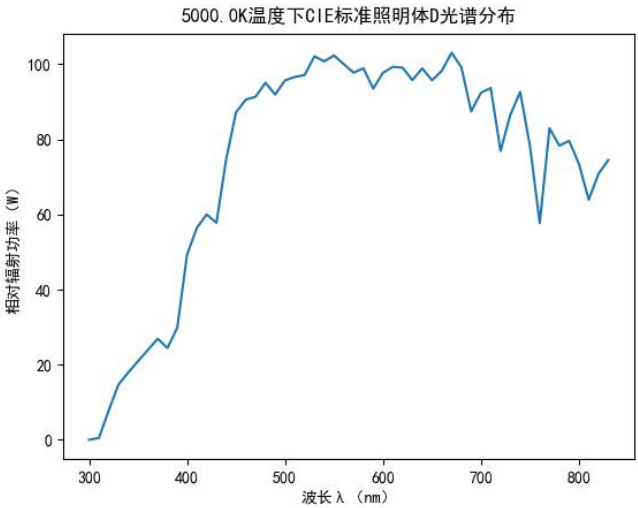


图 4 5000K 下标准照明体 D 的光谱分布曲线

Fig 4. Spectral distribution profile of the standard illumination body D at 5000K

如图 4，输入相关色温 5000K 时，可得到对应光谱分布曲线。

3.2 结果讨论

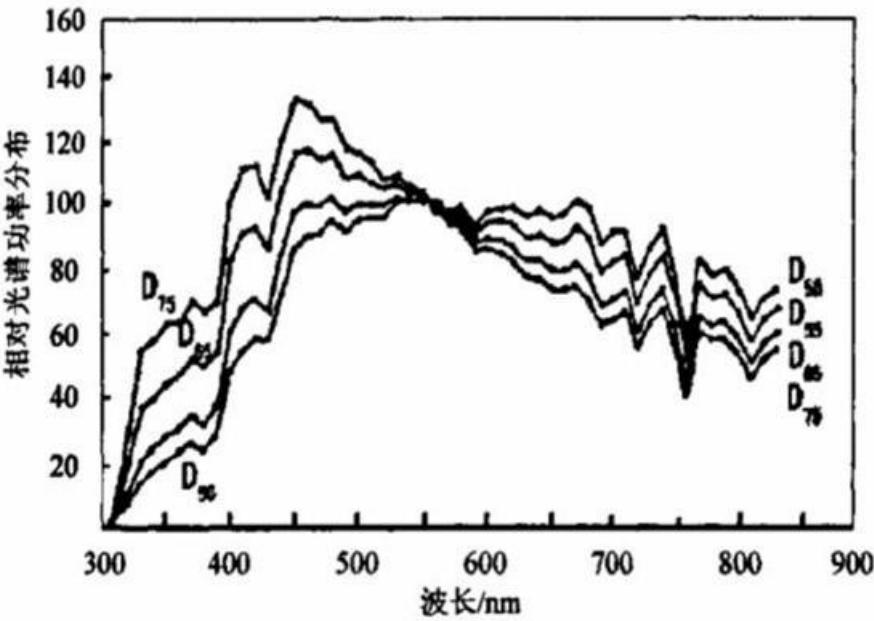


图 5 CIE 推荐的标准照明体光谱分布

Fig 5. Standard illumination bulk spectral distribution recommended by CIE

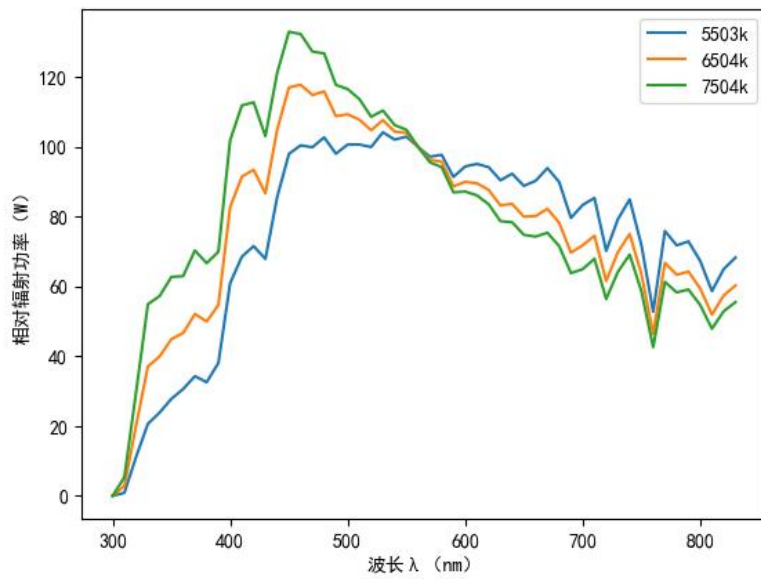


图 6 计算结果

Fig 6. computing result; value; result

由图 5 图 6 所示的光谱分布曲线可见，计算结果和实际光谱分布吻合，色温升高，极值向短波偏移。

参考文献：

[1]金伟其、王霞等.辐射度、光度与色度及其测量[M].北京：北京理工大学出版社，2016.