

# 孟塞尔颜色系统与人眼主观亮度的关系\*

刘伟奇 冯睿 周丰昆

(中国科学院长春光学精密机械研究所应用光学国家重点实验室 长春130022)

**摘要** 颜色亮度测量值与人眼主观亮度感受不一致的矛盾,在孟塞尔颜色体系中也明显地表现出来。这反映在孟塞尔等明度面上各种不同颜色的主观亮度并不相等。我们通过理论分析和主观亮度匹配实验,得出了孟塞尔等明度面颜色亮度与人眼主观亮度的对应关系。

**关键词** 颜色视亮度 异色视亮度匹配 孟塞尔颜色体系

## 1 对孟塞尔颜色体系的分析

孟塞尔颜色体系是基于人眼视觉特性建立起来的。它用一个三维空间的类似球体模型把各种表面色的三种基本特性:色调、明度、饱和度全部表示出来。在立体模型中的每一部位各代表一个特定颜色,并给予一定的标号。它是从心理学的角度,根据颜色的视知觉特点所制定的颜色分类和标定系统。

孟塞尔颜色体系中明度值等级可用两种视觉实验方法得出。一种方法是让观察者从两块中性色样中选出中间色,并以此类推,得出在视觉上等间距的由黑到白的均匀灰度系列。另一种方法是从黑色样开始,选出一块恰可察觉的灰色样,依此下去,直到白色样为止。从而得到了明度知觉等级 $V$ 与亮度因数 $Y$ 之间的非线性关系。这是符合人眼视觉特性的。然而,这种 $V$ 与 $Y$ 的非线性关系是建立在中性色的基础上的,它适合于中性色,是否也适合于等明度面的其它颜色呢?

在孟塞尔颜色体系中,等明度面上色调与彩度的确定是先测出大量具有相同亮度因数的各种颜色样品的 $x, y$ 色度坐标,然后用中央轴上的灰色样作为参照标准,选出那些视觉上与灰色有相同差别的各种颜色。这些选出的颜色都有相同的彩度。用上述方法选出的同一彩度圈上各种不同颜色即为不同的色调。我们在这里可以看出,等明度面实质上就是等亮度因数 $Y$ 面。

\* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期: 1998 - 03 - 05

修稿日期: 1998 - 05 - 11

而对于有着相等亮度因数  $Y$  的不同颜色, 人眼的主观亮度并不相等, 这也正是颜色亮度相加律失效的具体表现。为解决这一矛盾, 我们以孟塞尔颜色体系为实验系统, 选出不同的等明度面进行异色视亮度匹配, 找出人眼主观亮度与孟塞尔明度值及亮度因数的关系。按照同色异谱理论和人眼对颜色的感知只与色貌有关而与其光谱成分的组成无关的视觉特性, 则所得到的这种关系是普适的。

## 2 实 验

在孟塞尔颜色空间中, 为获得彩度较大的颜色样品, 我们选用该颜色体系中明度值不是太高, 也不是太低的4个中等明度面作为我们实验的各级等明度面。实验人员是经过颜色视觉实验训练, 并具有视觉心理物理实验能力的标准观察者。首先, 我们选择彩度最多的明度值为5的等明度面, 按不同色调、不同彩度铺展在以黑灰色为背景的实验台面上。通过主观亮度观察, 明显感觉到随彩度圈的向外扩展, 主观亮度也明显增强, 对不同的色调, 其规律是一致的。为了量化研究, 我们用不同明度的中性灰白色卡与不同彩度、不同色调的待测色样进行主观异色视亮度匹配, 如图1所示。从图1中可以看到, 对同一明度、同一色调的不同彩度按每2个彩度等级将M unsell 色卡与灰色卡并排摆放在一起。

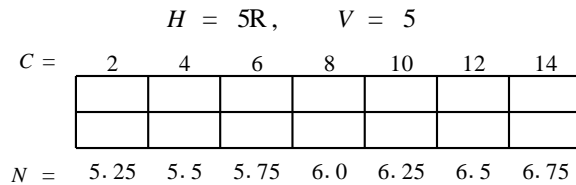


Fig 1 Hyterochromatic brightness matching

图1是色调  $H = 5R$ , 明度  $V = 5$ , 彩度  $C = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14$  的M unsell 色卡与中性灰匹配实验。用中性灰卡分别与不同彩度级次的色样进行主观异色视亮度匹配。对其它明度、色调的色样匹配按M unsell 色卡所能给出的最大彩度进行匹配。我们一共对明度值  $V = 2, 4, 5, 7$ , 色调为  $H = 5R, 5YR, 5Y, 5GY, 5G, 5BG, 5B, 5PB, 5P, 5PR$  等 184 个异色样品进行了主观异色视亮度匹配实验。其实验结果见表1。

Table 1 Experiment result

$V = 2$											
5R/CN2	5YR/CN2	5Y/CN2	5GY/CN2	5G/CN2	5BG/CN2	5B/CN2	5PB/CN2	5P/CN2	5RP/CN2		
2	2.25	2	2.25	1	2.0	1	2.0	2	2.25	2	2.25
4	2.5	4	2.5	2	2.25	2	2.5	4	2.5	4	2.5
6	2.75							6	2.75	6	2.75
8	3.0							8	3.0	8	3.0

$V = 4$

5R/CN4	5YR/CN4	5Y/CN4	5GY/CN4	5G/CN4	5BG/CN4	5B/CN4	5PB/CN4	5P/CN4	5RP/CN4
2 4.25	2 4.25	2 4.25	2 4.25	2 4.25	2 4.25	2 4.25	2 4.25	2 4.25	2 4.25
4 4.5	4 4.5	4 4.5	4 4.5	4 4.5	4 4.5	4 4.5	4 4.5	4 4.5	4 4.5
6 4.75	6 4.75	6 4.75	6 4.75	6 4.75	6 4.75	6 4.75	6 4.75	6 4.75	6 4.75
8 5.0	8 5.0		8 5.0	8 5.0	8 5.0	8 5.0	8 5.0	8 5.0	8 5.0
10 5.25	10 5.25			10 5.25			10 5.25	10 5.25	10 5.25
12 5.5	12 5.5						12 5.5	12 5.5	12 5.5
14 5.75									

$V = 5$

5R/CN5	5YR/CN5	5Y/CN5	5GY/CN5	5G/CN5	5BG/CN5	5B/CN5	5PB/CN5	5P/CN5	5RP/CN5
2 5.25	2 5.25	2 5.25	2 5.25	2 5.25	2 5.25	2 5.25	2 5.25	2 5.25	2 5.25
4 5.5	4 5.5	4 5.5	4 5.5	4 5.5	4 5.5	4 5.5	4 5.5	4 5.5	4 5.5
6 5.75	6 5.75	6 5.75	6 5.75	6 5.75	6 5.75	6 5.75	6 5.75	6 5.75	6 5.75
8 6.0	8 6.0	8 6.0	8 6.0	8 6.0	8 6.0	8 6.0	8 6.0	8 6.0	8 6.0
10 6.25	10 6.25		10 6.25	10 6.25	10 6.25	10 6.25	10 6.25	10 6.25	10 6.25
12 6.5	12 6.5					12 6.5		12 6.5	
14 6.75									

$V = 7$

5R/CN7	5YR/CN7	5Y/CN7	5GY/CN7	5G/CN7	5BG/CN7	5B/CN7	5PB/CN7	5P/CN7	5RP/CN7
2 7.25	2 7.25	2 7.25	2 7.25	2 7.25	2 7.25	2 7.25	2 7.25	2 7.25	2 7.25
4 7.5	4 7.5	4 7.5	4 7.5	4 7.5	4 7.5	4 7.5	4 7.5	4 7.5	4 7.5
6 7.75	6 7.75	6 7.75	6 7.75	6 7.75	6 7.75	6 7.75	6 7.75	6 7.75	6 7.75
8 8.0	8 8.0	8 8.0	8 8.0	8 8.0	8 8.0	8 8.0	8 8.0	8 8.0	8 8.0
10 8.25	10 8.25	10 8.25	10 8.25	10 8.25					10 8.25
	12 8.5	12 8.5	12 8.5						
	14 8.75								

### 3 结论与分析

通过上面的实验结果可以看出, 颜色的主观亮度随着彩度的增加而增加, 且满足线性关系, 它与色调和明度变化无关。按上述实验结果可得出明度  $V$  修正公式和亮度  $Y$  修正公式。明度修正公式:

$$V_s = V + \frac{\Delta V}{\Delta C} C \quad (1)$$

其中  $V_s$  为修正后的主观明度,  $V, C$  分别为 Munsell 系统的明度值和彩度值,  $\Delta V$  和  $\Delta C$  分别为 Munsell 颜色体系中明度间隔和彩度间隔。在我们的实验中  $\Delta V = 0.25$ ,  $\Delta C = 2$ 。所以(1)可以写成:

$$V_s = V + 0.125C \quad (2)$$

在 Munsell 系统中, 明度  $V$  与亮度因数  $Y$  满足公式

$$V = 116 \left( \frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16 \quad (3)$$

或

$$Y = \left( \frac{V + 16}{116} \right)^3 \times Y_0 \quad (4)$$

其中  $Y_0$  为白物体色刺激亮度因数, 白物体色刺激是以完全漫反射体为代表, 其  $Y_0 = 100$ 。由(2)式和(4)式可得主观亮度修正公式:

$$Y_s = \left( \frac{V_s + 16}{116} \right)^3 \times Y_0 \quad (5)$$

$$Y_s = \left( \frac{V + 0.125C + 16}{116} \right)^3 \times 100 \quad (6)$$

下面就以上结果和公式给以说明和分析: 整个实验是基于Munsell颜色系统完成的。该系统的最大特点是颜色空间变量的变化是线性的, 色调和彩度的变化符合人眼视觉特性。从我们的实验结果来看, 每一级彩度的变化引起视觉亮度的变化也是线性的。我们所得到的如此简单的线性公式, 正是基于Munsell颜色体系的结果。然而该公式中明度变量  $V$  和彩度变量  $C$  与  $XYZ$  系统中的色度变量  $(x, y, Y)$  却不能用简单的数学表达式来描述。若将公式(6)的变量  $V$  和  $C$  换成  $(x, y)$  则公式将非常复杂。这说明, 描述颜色亮度的  $Y$  值与人眼亮度感受存在着较复杂的非线性关系, 而在Munsell颜色系统中描述明度的  $V$  值却与人眼亮度感受存在着简单的线性关系。尽管是简单的线性关系,  $V$  值也不等于人眼的亮度感受, 这正是Munsell颜色系统不完善的地方。

另外, Munsell颜色系统中彩度的确定是通过表面色样由观察者主观评价逐一确定的, 而对于那些色饱和度极高的光谱色, 无法做出相应的表面色, 因此也就给不出高饱和度色样的彩度值。对这部分高饱和度颜色, 明度随彩度的变化是否仍能符合上面公式还有待于进一步的研究。因此上面的公式适用于饱和度不是极高的表面色。

通过上面的讨论可以看出, Munsell颜色系统虽然是建立在人眼视觉实验基础上的, 但它的等明度面与视觉主观亮度并不一致。其原因在于它的等明度面的选取采用了等亮度因数, 而亮度因数是测量亮度相对参考白板的测量亮度的归一值, 它是一个按颜色亮度相加律得到的, 与人眼视亮度不完全相符合的物理量。我们通过对Munsell等明度面主观亮度匹配, 得到符合人眼视觉特性主观等明度面。

### 参 考 文 献

- 1 Zhou Fengkun, Liu Weiqi, Chen Shufang et al The Study on Additivity Failures in Hyterochromatic brightness matching Proceedings of the First Pacific Asian Lighting Conference, Shanghai, China, 1989, 103~ 108
- 2 荆其诚, 焦书兰等. 色度学, 北京: 科学出版社, 1979, 193~ 216

## The Relation Between Munsell Color System and Visual Perception Brightness

L U Wei-Q i FEN G Rui ZHOU Feng-Kun

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

On the equal lightness ( $V$ ) section of Munsell color system, there is a obviously contradiction between visual perception brightness and lightness. To solve the problem, the present study has made a through analysis for Munsell color system and the relation between the lightness value ( $V$ ), the luminance factor ( $Y$ ) and human subjective brightness has been established through the heterochromatic brightness matching experiment.

**Key words:** Visual perception brightness, Heterochromatic brightness matching, Munsell color system

**刘伟奇** 男, 1958年生, 1988年7月于长春光学精密机械研究所研究生毕业, 获硕士学位。多年从事颜色光学的研究。先后在国家自然科学基金项目“物体色与荧屏色主观评价差异的研究”和“异色视亮度相加律失效性研究”中获中科院自然科学二等奖和自然科学三等奖。