

亮度对白光和色光临界融合 频率的影响¹⁾

马谋超 赫葆源 纪桂萍 许宗惠 陈永明

中国科学院心理研究所

摘 要

本实验研究了不同亮度级的光谱色光(440, 460, 540, 560, 640, 660nm)和白光的 CFF。结果表明: 除极高亮度(5087td)外, CFF 与 $\log I$ 的函数均呈线性关系。白光表现了最大的 CFF, 其图线斜率大于任何色光的图线斜率。可以见到: 亮度是 CFF 和 $\log I$ 之间关系的最重要的决定因素之一。在所用的色光中, 绿色不论在 CFF 绝对值或其图线斜率方面均高于光谱两端色光的相应数据。从而可以推断: 波长对 CFF 和 $\log I$ 之间关系的效应不可忽视。光谱两端色光曲线的差别明显, 而同色区内相邻色的曲线间差异则不显著, 这又一次说明波长的区别对 CFF 的意义重大。在某些亮度水平上白光 CFF 绝对值低于色光, 虽然在最高亮度级时其最大 CFF 值高于所有色光的相应数据。我们的研究结果再次提出, 有必要对 CIE $V(\lambda)$ 在某些条件下应用的适当性进行重新考虑。

我们曾在中国人眼光谱相对视亮度函数, 尤其是该系列研究Ⅳ的实验中^(1,2), 发现随着亮度级的增加, 光谱两端(红区和蓝区)与绿区相较, 感受性下降; 同时它们的幂是依波长而异的。这一结果和 Ferry-Porter 律*有些对立。Ferry-Porter 律认为闪烁临界频率(CFF)只和亮度有关, 波长对它并无影响。具体说, 随着亮度级增高, 色光和白光之间、这一色光与那一色光之间, CFF 没有差异。

本研究的目的在于通过对给定条件下 CFF 的测试, 进一步探索亮度级对视亮度(感受性)的影响。具体说, 我们前面的研究“中国人眼光谱相对视亮度函数研究Ⅳ, 亮度对光谱相对视亮度函数的影响”已经表明: 不同颜色的视亮度在不同亮度级上的变化情况是不同的⁽²⁾。传统上公认的光谱相对视亮度函数曲线 CIE(1931) $V(\lambda)$ 的理论假设, 认为这一曲线在不同亮度级上是不变的。所以至今在国际上明视光谱相对视亮度函数只有一条曲线, 即 CIE(1931) $V(\lambda)$, 不论亮度范围如何, 皆被认为适用。这是不切实际的。早在第 18 届 CIE 会议所属视觉委员会主席 J. A. S. Kinney 提出现在的 $V(\lambda)$ 标准曲线在各种不同条件之下是否有误用的问题, 并不是没有根据的。我们的上述研究更揭露了重新衡量

1) 本文于 1979 年 4 月收到。

* Ferry-Porter 律可用下式表达: $n = a \log' I + b$ 。n 即 CFF, $\log' I$ 为光照强度, 通常用亮度来替代, a 和 b 是常数, a 反映直线的斜率, b 代表其截距。

$V_{(λ)}$ 曲线使用范围是一项有关科学的至关重要的问题。因此,我们除在前面的研究中使用闪烁光度匹配法和差别阈限法探究过有关光谱相对视亮度函数对亮度级的依存性之外,在本研究中还采用闪烁临界融合频率为指标,进行测试,借以印证我们上项工作结果的可靠性,多方探索亮度与光谱相对视亮度之间的依存关系。

一、实验程序

本实验使用一台苏制 YM2 型单色仪,产生给定的刺激波长。色光通过一个带扇叶的圆盘,聚焦在被试的瞳孔上。扇叶形盘用一可调小电动机驱动,被试借旋转一个电位器加以控制。当圆盘旋转时,来自单色仪的色光被间断,形成了连续的闪烁。圆盘上扇叶表面熏有一薄层氧化镁。斜对着它 45° 角上安装的一个小钨丝灯,其灯光照在这个反射率很高的表面上,作为刺激的白光。在视野外,圆盘表面的另一处,由一个小光点照射,用来激发电转换器,产生与刺激光同步的电讯号,输入到一台多用的示波器上。记下电波周期并换算为闪光频率。仪器的其他装备部分见另文^[1]。

根据可见光谱各色区的分布,本实验选定下列刺激波长: 440、460、540、560、640、660nm。波宽为 5nm。

实验使用五种亮度级 0.2、2、20、200 和 2000nit,相应于 0.5087, 5.087, 50.87, 508.7, 5087td。

为了让各色光和白光都处于同样的明度水平,在正式测定各刺激光的 CFF 值之前,用闪烁光度法将有色光和给定的不同亮度级的白光进行匹配,获得了各自的辐亮度标度。

不同亮度级的白光是通过钨丝灯的调压来实现的。它们的色温,分别为亮度级 I, 1000—1500K; II, 1969K; III, 2122K; IV, 2568K; V, 2742K。

被试为三名有经验的正常色觉者,均是本实验室的工作人员。

实验在每天上午进行。整个过程都是三名被试轮流看视,以避免连续观察产生视觉疲劳。为了不破坏适应状态,他们均在同一的适应光下受试或休息。

全部刺激光被分成若干序列。每一序列均由同色的两个波长组成。一个实验日做一个实验系列,三次做完全部序列。

二、结果

按照实验设计,要表征色光是否对 CFF 产生影响,只需将相同亮度级上的各刺激光(包括各色光和白光)的 CFF 值作一连线就可以了。本结果如图 1 所示。

它清楚表明连线并不呈水平状态。拿色光*来说,随着亮度级的增高,绿光与光谱两端的色光,其 CFF 值的差异变得明显了。白光的情形有些特殊,在较低的亮度级上,它低于任何色光,可在高亮度级上,它却高于其它色光了。它们最大值的顺序是: 白光最高,其

* 在黑色光里,红色值为 650nm 和 670nm 的平均值;绿色值是 540nm 和 560nm 的平均值;蓝色值为 440nm 和 460nm 的平均值。

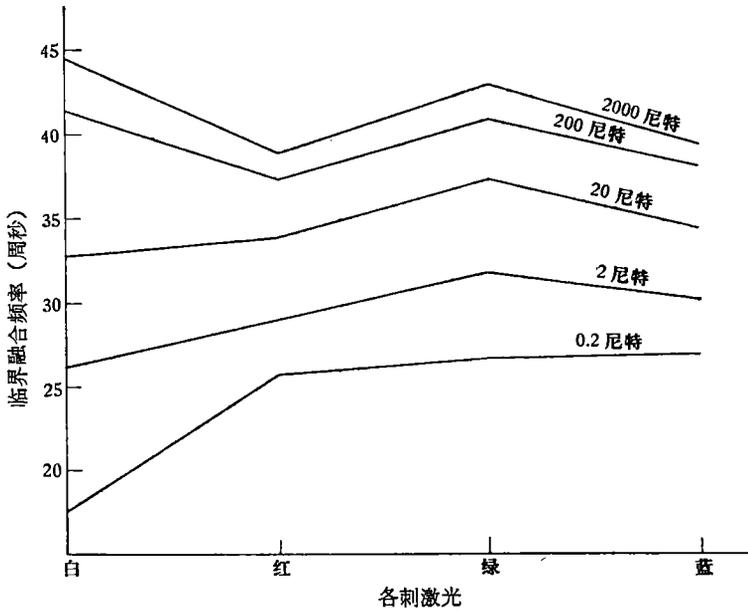


图 1 各刺激光在相同亮度级上的CFF值

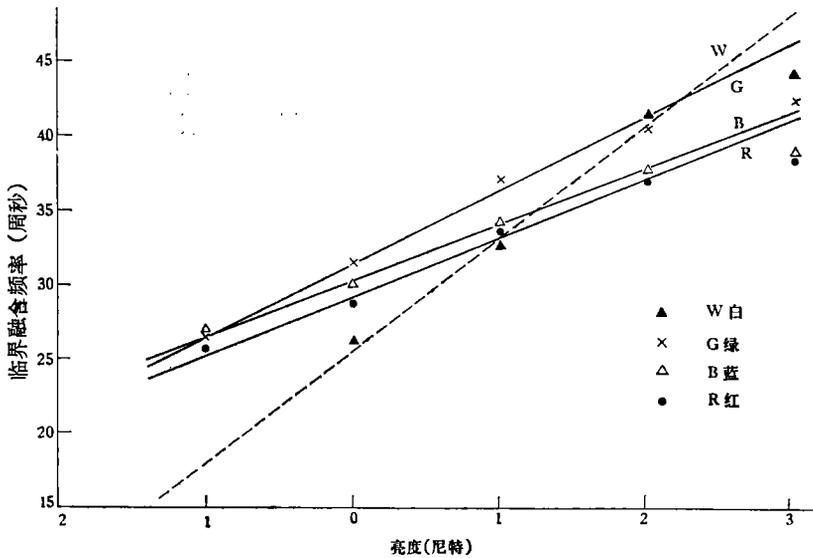


图 2 各刺激光的 CFF 和 log I 的函数关系

值为44.5, 绿光为42.8; 蓝光为39.2; 红光为38.8(单位周/秒)。

在图 1 的数据基础上, 把 CFF 值作为纵轴, log I 当成横轴, 进行座标改换, 画得图 2。

由图 2 可见, 用最小二乘法拟合的直线很好地穿过各实验点, 表征了它们的线性关系。

同时, 在最高亮度级上, 所有实验点都偏离了直线。在这些直线当中, 白光和色光的斜率有很大差异; 此外, 色光之间, 绿光的斜率也不同于光谱两端的色光的斜率。

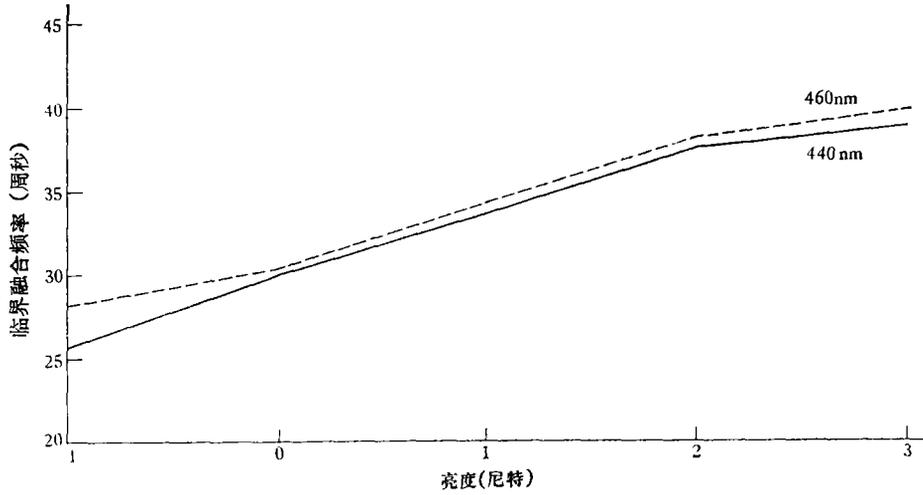


图 3 蓝色区中两种波长的 CFF 和 log I 的关系曲线

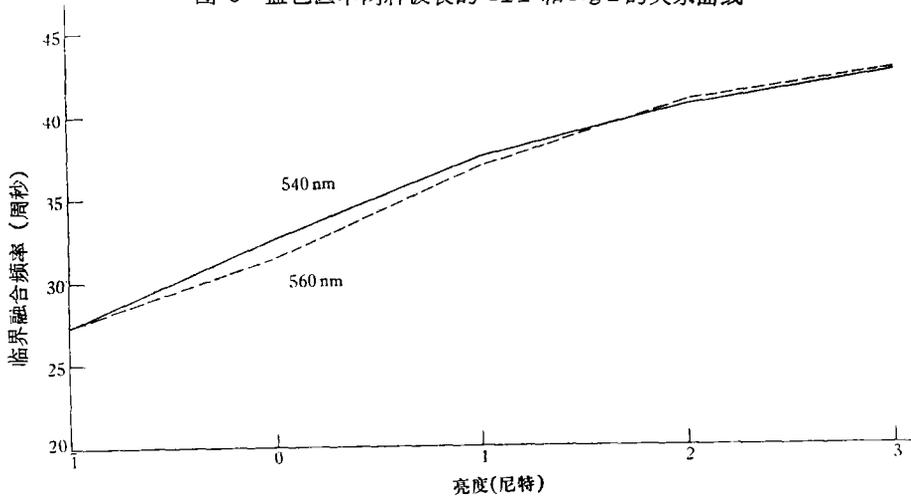


图 4 绿色区中两种波长的 CFF 和 log I 的关系曲线

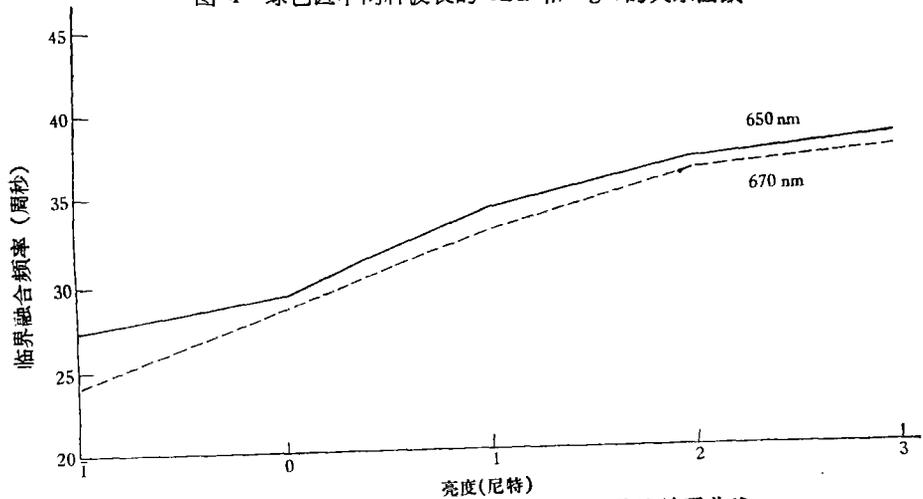


图 5 红色区中两种波长的 CFF 和 log I 的关系曲线

在同一实验序列中,同色的两个波长各自的 CFF 和 $\log I$ 的关系如图 3、图 4、图 5 所示。在图 3、图 4、图 5 中,同色的两种波长,其曲线走向很一致,彼此十分接近。

三、讨 论

本实验获得的基本事实表明, CFF 不仅是亮度的函数,同时,它也受波长的影响。这一结果同许多研究者的资料是一致的⁽³⁻⁵⁾。值得注意的是 Ferry 和 Porter,在作出以自己的名字命名的这条规律时,并不是没有看到光谱两端的色光同总的趋势有偏离,只不过将此归结为实验所允许的误差,而忽视了。后来, Hecht 和 Shlaer 在自己所获得的资料中,把明视范围的所有色点的 CFF 与 $\log I$ 的函数用一条直线表示出来,以证明其 CFF 和波长无关的见解⁽⁶⁾。这一结果曾产生了较大的影响,一直被人们引用。可是, Landis 重新整理分析了他的原始材料,发现在各个亮度级上,相同亮度上各点的连线并不呈水平状, 570nm 的 CFF 明显地高于其它各点。这一发现和我们的结果是一致的。因此,对于 Hecht 和 Shlaer 早先得出的结论,似应重新给予修正。

此外,本实验揭示了 Ferry-Porter 律的某种复杂含义。这就是白光相对于色光,在不同的亮度级上,似乎有不同的特征。在较低的亮度上,白光的 CFF 值远低于色光,而在较高的亮度上,则倒过来。对这个新发现,用通常所认为的白光是各色光的总合效应来解释是缺乏说服力的。Crozier 和 Wolf 对于自己得到的这一结果,即白光的 CFF 绝对值低于色光,提出白光可能表示对抗效应的某种总合⁽⁷⁾。这一说法,似乎对我们所说的“低亮度特征”有利,但却难以说明它的“高亮度特征”。看来,要有一个新的假设,才能说明这里新发现的事实。

上述的白光“亮度特征”,在另一方面,反映了色光机制在加工过程中的某些变化。这一点已得到我们先前工作的证明⁽²⁾。问题在于,这种变化发生在感受器、通道,还是皮层? Estevez 和 Spekrijse 说,绿色和红色锥体系统只可能在吸收光谱上有区别,而两者的神经联系则是相同的⁽⁸⁾。彻底解决这个问题,也许还需要更多的证据。

关于 CFF 的个体差异问题。Tee 曾报道过在同一亮度级上,被试间的 CFF 之差,最大可到 25%⁽⁹⁾。可是,我们的结果说明差异很小。个体差异最大时是 9.27%。其原因也许是某些非实验参数受到控制。预试中,我们发现同一被试的实验结果,上午、下午波动甚大。这显然同被试视觉疲劳程度有关。另外,在安排实验序列上,是以亮度级还是以同色的两个波长来组成,也是一个重要的原因。如果全部实验按亮度级分作若干序列,那么,在实验中,不同色光势必受到后象的干扰。同时,由于相同色光人为地分割成若干次实验,可以想象,最后总合时必然产生较大的波动。预试使我们信服,把同色光的两个波长结合在一个序列里,在各亮度级上连续进行测试,准确性是令人满意的。

参 考 文 献

- [1] 赫葆源等: 中国人眼光谱相对视亮度函数研究 心理学报 1, 1979
- [2] 马谋超等: 中国人眼光谱相对视亮度函数 IV 亮度对光谱相对视亮度函数的影响 心理学报 2, 1981
- [3] Allen, F.: *Phil. Mag.* 38, 8, 5, 1919
- [4] Landis, C.: *Physiol. Rev.* 34, 266, 1954

- (5) Giorgi, A.: *J. Opt. Soc. Amer.* 53, 480—486, 1963
(6) Hecht, S. and Schlaer, S.: *J. Gen. Physiol.* 19, 965—979, 1936
(7) Crozier and Wolf: *J. Gen. Physiol.* 25, 293—328, 1941d, 27, 287—313, 1943
(8) Estevez, O. and Spekreijse, H.: *Vision Res.* 14, 1974
(9) Tice, F. G.: *Psychol. Bull.*: 38, 691, 1941
(10) Kinney, J. A. S.: CIE, TC—14 Vision, 1975

INFLUENCE OF THE LUMINANCE ON THE CRITICAL FUSION FREQUENCY FOR THE ACHROMATIC AND CHROMATIC LIGHT

Ma Mou-chao, He Bao-yuan et al
(*Institute of Psychology, Academia Sinica*)

Abstract

The present study examined the critical flicker fusion (CFF) of spectral lights and white light at different luminance levels. Flicker was produced by intercepting a beam of light with a sector disk driven by a variable speed motor. Six wavelengths were used, i. e. 440, 460, 540, 560, 640 and 660 nm. CFF thresholds were determined with three subjects of normal color vision.

The results indicated (1) the relation of CFF to $\log I$ or to luminance levels (Ferry-Porter law), for a given range of luminance, is a linear one, except at the highest luminance level (5087td). White light showed CFF max and the slope for the curve relating CFF to $\log I$ was larger than that of each of the colored lights. It was shown that luminance is one of the most important determinants for the relation between CFF and $\log I$. (2) Among colored lights used, green is higher than those at the extreme ends of the spectrum for either absolute values of CFF or the slope described above. Based on these results, we may infer that the effect of wavelength on the relation between CFF and $\log I$ is not negligible. (3) While the difference of curves described above between middle wavelength and extremes of the spectrum is rather obvious, the difference between the curves of adjacent wavelengths of the same hue is not apparent. It seems that the influence of wavelength separations on CFF is negligible. (4) Under some luminance levels absolute values of CFF are lower for white light than those for colored lights, but the CFF max for white light mentioned is greater than those of all the wavelengths used under highest luminance levels. Our findings once more suggest the reconsideration of the appropriateness of the application of CIE $V(\lambda)$ under certain conditions.