

中国人眼光谱相对视亮度函数的研究

IV. 亮度级对光谱相对视亮度的影响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

本研究主要采用闪烁光度法得到四个亮度级上的相对视亮度曲线。以此为基准进而又作出了相应亮度级上最小可觉明度差别阈限曲线。所得结果表明随亮度级增高,光谱相对视亮度发生变化:在可见光谱中段,保持不变,两端降低。

一、问题提出

自从国际照明协会(C. I. E)在1931年正式制定标准观察者以来,视亮度函数 $V(\lambda)$ 得到了广泛地应用。据此发展起来的各种光度、色度仪器,使色亮度的定量变成现实。但是,一些年来,当人们在广泛强度范围内进行测量时,对于各亮度级上 $V(\lambda)$ 的不变性这种理论假设产生了怀疑。在18届C. I. E的会议上,所属视觉委员会(TC-14)主席J. A. S. Kinney就曾提出在不同条件下,包括不同亮度级,是否存在 $V(\lambda)$ 的误用问题⁽²⁾。

有关明度与光强之间的关系,常被简称为明度*函数,在心理物理学中,很早就是人们感兴趣的课题。S. S. Stevens, R. G. Hopkinson⁽³⁾, A. M. Mansden⁽⁴⁾ 等都已阐明一个白光的明度(B)与强度(ϕ)之间的心理物理函数表现出一种幂函数的形式

$$B = K\phi^{\beta}$$

自然,在这里,我们感兴趣的不仅是它们间存在着怎样一种心理物理关系,更重要的是其幂是否会随波长的不同发生变化。这个问题与上面所提出的,在本质上是同属一体。

已有的文献对所谈问题的回答是不一致的(这一点还要在本文的讨论部分细谈)。所以,我们将它列入到中国人眼光谱相对视亮度函数的研究系列是必要的。

二、方法和步骤

1. 闪烁亮度法:

其原理和仪器装备,实验步骤等可参见本系列研究中的另一篇报告⁽¹⁾。这里仅就变动之处,作一补充说明。

用作标准的恒定亮度白光,其光源是国产溴钨灯(向阳牌 12V, 100W)。藉助于对它

1) 本文于1979年2月15日收到。

* 明度是指主观的亮度感。在这里和视亮度同一。

的电压进行调节以产生四个数量级的亮度：3、30、300和3000尼特。用日制BM—2彩色辉度计测得。刺激光通过一个为1.8mm的人工瞳孔射入眼内，其相应网膜照度级为7.62、76.2、762和7620 td。

给定的单色光波长范围，从440nm到660nm。选作刺激光用的波长为：440、460、490、520、540、560、580、610、640和660nm。它们的宽度为5nm。

白光和单色光交替的速率，大致分为高低两组。高速率组30余周/秒，低速率组20余周/秒。高速率用于高亮度组。低速率用于低亮度组。

有一个亮度大致和标准光相同的适应白光，当实验序列(每个亮度级)改变时，它也作相应地变化。

受试者为七名色觉正常的人。年龄在19岁至45岁之间。均在本实验室做过若干次类似实验，有一定实验经验。

整个实验按亮度级分成四个序列。两次做完。每做完一个实验序列，休息一些时间继续实验。

2. 差别阈限法

所说的差别阈限，指的是对给定色光亮度的最小可觉差(J. N. D)。具体做法是，以波长的特定亮度做标准，然后，快速地给出亮度增量或减量，直到受试者刚好觉察出它们的亮度差别为止。为了便于确定J. N. D，事前，主试通过预试，找出几个细小的亮度梯级，包括从无法辨别到清楚可辨。给出每个刺激量之前，都先给以标准亮度作对照。当实验找出了各给定波长的一个增和减J. N. D之后，一个增减J. N. D所需要的能量，就可作为明度差别阈的尺度了。其它波长的相对明亮差别阈的函数，便可一一定义出来。

根据前一部分，在四个亮度级上，用闪烁法所测定的平均结果，就给出了等明曲线所需要的实际能量。各波长的这一实际能量，便是测定差别阈时的特定亮度或称标准亮度。它保证所有给定波长的J. N. D的测试都处于等明水平，而避免了可能因不等明带来的麻烦。

同样，全部实验依亮度级分成四个序列。半天做两个序列，于一天内连续做完。考虑到适应的特性，亮度级总是从最低的开始，并且先适应十几分钟。

受试者是八名正常色觉者。年龄在19岁到25岁之间。

三、结 果

闪烁法在四个亮度级上所测的结果，画在图1上。差别阈的结果是图3。

从图1和图2中，明显可以看出：随着亮度级增高， $V(\lambda)$ 曲线变得狭窄了。

将上述两图作坐标转换，便可得到相应的明度和能量之间的心理物理关系。图3是图1转换得到的。图4是从图2转换的。这里，图3和图4的坐标是双对数的。给定的波长表现出直线，但是，它们的斜率并不相同。具体说在560nm及附近的540nm和580nm，直线呈水平状态；640nm和660nm斜率较陡。而蓝紫区因最高亮度点偏离直线很大，难以断定整个趋向。

为了查证蓝紫端的曲线走向，后来再做了进一步的测试。在本实验室中选择三位富有经验的工作人员充当受试者。每人每个波长作六次调整。为了消除连续调整可能造成

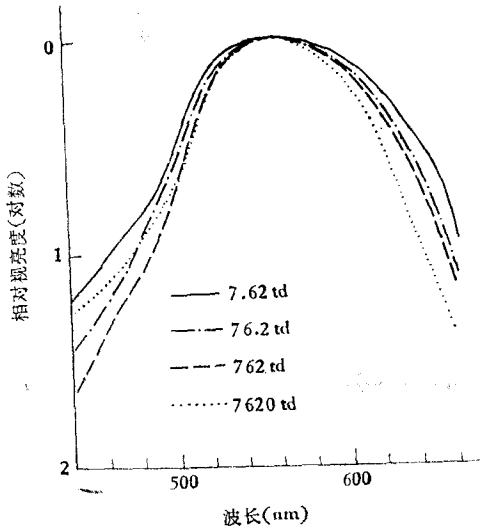


图 1 四种亮度级明度的光谱相对视亮度

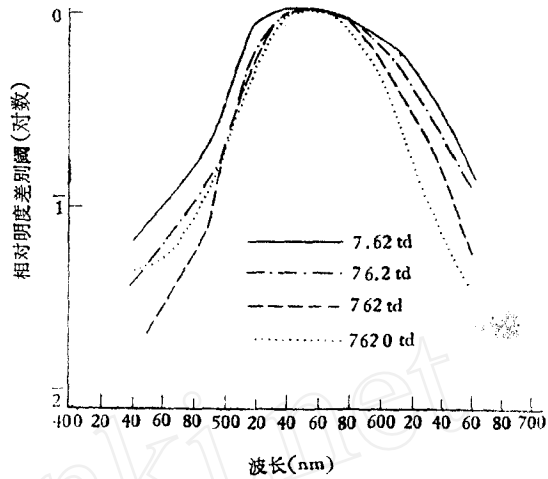


图 2 不同亮度级的相对明度差别阈限(作为波长的函数)比较

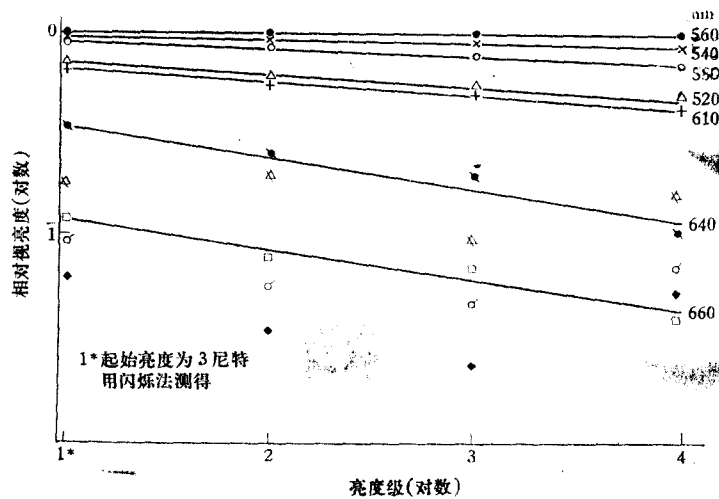


图 3 不同波长相对视亮度作为亮度级的函数

的意外误差,把各波长的六次调整分成两半穿插进行。结果表明蓝紫端的走向也表现出直线,如图 5 所示。

图 6 画出了本实验的七名受试者所得到的数据同五十名受试者的平均整体曲线^[1]相比较。它们的亮度级是相近的。从图中可见,本实验点和曲线是相当接近的。它们的一致性,似乎使我们更加有信心来探讨开头所提出的问题。

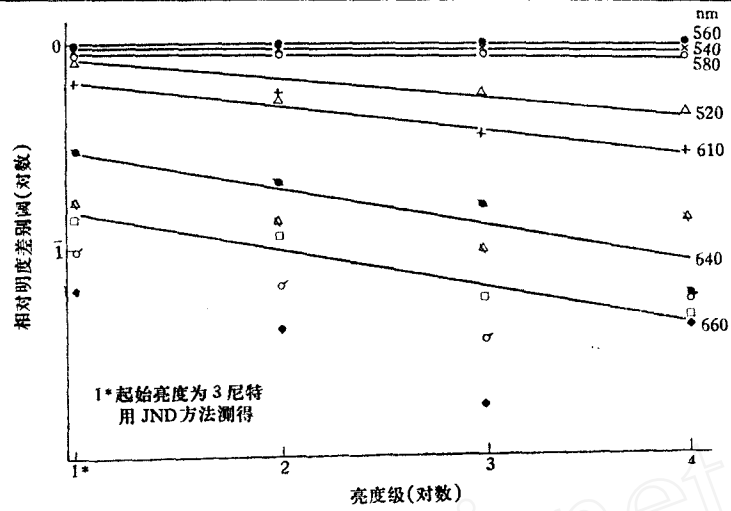


图 4 不同波长相对明度差别阈作为亮度级的函数

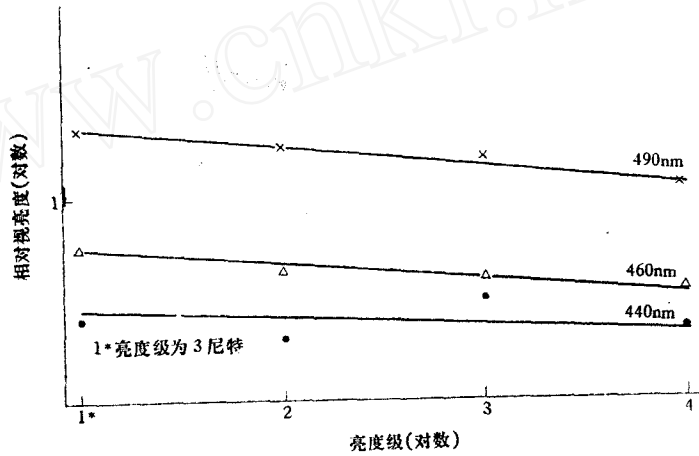


图 5 蓝紫区相对视亮度作为亮度级的函数

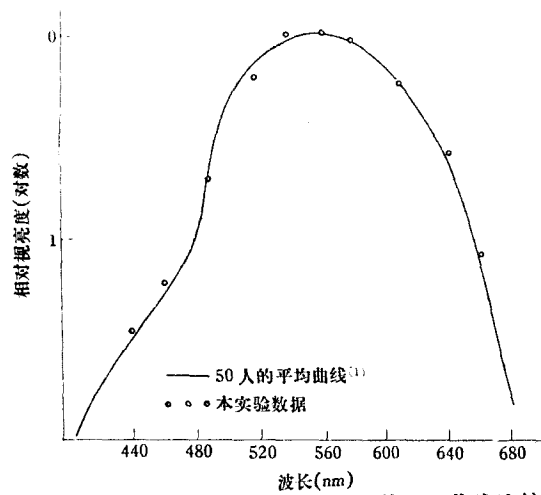


图 6 本实验结果与先前50人的平均V(λ)曲线比较

四、讨 论

前面已经说到明度函数 $B = K\phi^\beta$ 是和亮度级对 $V(\lambda)$ 影响的问题紧密相关。现在, 我们想象 $V(\lambda)$ 不随亮度的增减发生变化, 这时, 上述关系式就应当是无例外地适用于所有的波长, 而且, 各给定波长的 β 值均相等, 只有不同常数 K 反映着各波长本身的光谱感受性。但是, $V(\lambda)$ 随亮度增减发生变化时, 那么, 就可能反映在 β 值上起变化或者根本背离所述的幂函数形式。

图 1 和图 2 的结果告诉我们, 不同亮度级 $V(\lambda)$ 形状确已变化。这种变化由图 2、图 4 和图 5 表征出各波长明度和强度之间的心理物理关系在双对数坐标系中呈一条直线。其斜度各不相同。已有的数学知识指明, 双对数中的直线, 正是幂函数的对数展开。直线的斜率就是幂函数中的幂值。由此也就可以推断各给定波长的明度函数是一种幂函数。值得着重指明的是其幂值因不同波长而异。

Wilson^[7]、Decker^[8]、Onley^[9] 认为 $V(\lambda)$ 跟亮度级无关。这种说法与我们所得的主要结果是不相符合的。而 Sloan^[10]、Sperling & Lewis^[11]、Bornstein, -Marks^[12] 等人, 尽管各自采用的方法不同, 但所得到的趋向却和我们的共同。分析地说, 亮度增高导致对长波区(红)的感受性降低。这一点早期的研究者们, 诸如 Ives^[13]、Dow^[14] 和 Gallissot^[15] 等都曾作过描述, 并取名为逆朴金耶效应("Inverse Purkinje effect")。后来, Jaggi^[16]、Giongi^[17] 以及 Thomson^[18] 陆续作了表证。诚然, Giongi 和 Thomson 的结果, 在长波区和我们的一致, 可是, 短波区(兰紫)则不然。而 Jainski^[19] 的曲线正好与之倒过来。Bedford, Wyszecki^[20] 的曲线在短波区似乎也和我们的不一致。

所产生的不一致, 也许可以部分地归结于对某些基本概念的看法。Guth, Donley, Marrocco^[21] 认为, 明度和由此决定的光谱感受性是通过两种不同系统来实现的, 即: 拮抗的与非拮抗的加工。闪烁法, 他们认为一般并非由拮抗加工来实现。因此, 即便承认闪烁的光谱感受性, 随亮度不同发生变化, 也不等于说明明度光谱感受性就如此(或者两者都发生变化, 却方式不同)。考虑到这一见解, 以及制定 C. I. E(1931) 标准观察者时曾使用闪烁光谱感受性材料这一历史事实, 我们认为本实验所采用的两种测试途径及其得到的一致结果, 似乎是有说服力的。

众所周知, C. I. E(1931) $V(\lambda)$ 曲线是以光谱感受性(明视)的不变性作其假设而广泛得到应用的。现在看来, 这种假设的有效性是值得怀疑的。18 届 C. I. E 所属视觉委员会主席 Kinney 提出现存的 $V(\lambda)$ 标准曲线在各种不同条件下是否有误用的问题, 并不难找到根据。当然如何合适地确定一个有效应用范围是有待进一步商量解决的。

最后, 似乎有必要对图 1 和图 2 中蓝紫区所出现的情形作些说明。联系到实验进程中, 受试者在做该实验序列时所表现出的为难和缺乏自信心, 我们有更多的理由采取一些补充的实际步骤去作进一步查证。最终的结果, 使我们倾向于把先前的这些情形归结于实验误差。

从亮度级与光谱相对视亮度的相关, 也许可以作如下推论: 如果把 $V(\lambda)$ 看作是三种锥体细胞的总合结果, 那么, 它们的相互作用或者说它们对亮度的贡献是随着不同亮度级发生变化的。如果是这样, 其机制就值得深入探讨了。

五、结 论

本实验采用了闪烁光度法和差别阈限法,测定了各给定波长在四种亮度级上的光谱相对视亮度函数。结果表明光谱相对视亮度函数,随亮度级增高,曲线形状变得狭窄。据此可推断明度和光强之间存在幂函数关系;其幂依波长而发生变化。

参 考 文 献

- [1] 陈永明等(1979)“中国人眼光谱相对视亮度函数的研究 I. 明视函数”心理学报第 2 期
- [2] Kinney, J. A. S(1975) CIE TC-1.4 “Vision”引自山中俊夫,照明学会杂志,昭和51年,第60卷,第11号, 596—599页。
- [3] Stevens, S. S.; (1955) Acta Psycho, V. 11 P. 120
- [4] Stevens, S. S.; (1958) J. O. S. A. V. 48 P. 287
- [5] Hopkinson, R. G.; (1956) Nature V. 178 1065
- [6] Mansden, A. M.; (1970) Lighting Res. Techno. V. 2 n. 1 P. 10—1
- [7] Wilson, B. C.; (1964). Doctoral Dissertation New York University 引自D. H. Krantz in“Handbook of Sensory Physio.” V. V11/4 edited by D. Jameson and L. M. Hurvich
- [8] Decker, T. A.; Doctoral dissertation Brown University 引自6, “Sensory Processes”
- [9] Onley, J. W.; (1960) Science V. 132 P1668—1670
- [10] Sloan, L. L.; (1928) Psycho. Monographs V. 38 Whole n. 173 引自L. E. Manks “Sensory processes” 1974 P. 65—67
- [11] Spenling, H. G, Lewis, W. G.; (1959) J. O. S. A V. 49 P983—989
- [12] Bornstein, M. H, Manks, L. E; (1972) Vision Res, V. 12 P2023—2033
- [13] Ives, (1912) Phil Mag 24引自 Y. Le Grwnd (1968) “Light, Colour and Vision” (1968) P126
- [14] Dew; (1906) Phil Mag V. 12,120 引自同上
- [15] Gallissot; (1910) C. R. Ac. Sc. V. 150, 594引自同上
- [16] Jaggi; (1939) Helv. Phys Acta V. 12,77引自同上 P. 125
- [17] Giorgi; (1963) J. O. S. A V. 53,480
- [18] Thomson, L.L.; (1947) J. Physio. V. 106 P. 368—377
- [19] Jainski; (1938) Diss Tech Hochschule (Berlin)引自 18, “Light Colour and Vision”
- [20] Redford, R.E., Wyszecski, G. W.; (1958) J. O. S. A. V. 48 P. 406—411
- [21] Guth, S. L.; Donley N, T. & Marrocco R. T.; (1969) Vision Res. V. 9 P. 537—576

A SERIAL STUDY ON THE RELATIVE SPECTRAL LUMINOSITY AMONG CHINESE PEOPLE(Ⅳ)

— INFLUENCE OF THE LUMINANCE LEVELS ON THE RELATIVE SPECTRAL LUMINOSITY

Ma Mou-chao, He Bao-yuan et al.

(Institute of Psychology, Academia Sinica)

This work was undertaken by using the flicker method and JND Technique. Luminosity curves under the conditions of 4 luminance levels (correspond to 7.62, 76.2, 762 and 7620 td) have been obtained. The results show that the $V(\lambda)$ curves become slender when the luminosity rises, that is, as the luminance levels increase, the sensitivity to the two ends of the visible spectrum decreases while that to the middle of the spectrum holds relatively invariable.