

明视条件下人眼对低频 间断光的亮度感觉¹⁾

焦书兰 荆其诚

朴大植 陈遐举

中科院心理研究所, 北京 100012

中国计量科学研究院

摘 要

本实验是以异色亮度匹配方法,探索视觉系统对在明视觉水平上的低频、不同时间调制的单色光和白光的亮度感觉特性。结果发现,闪光刺激在临界频率以上作用于视觉系统所产生的亮度感觉是遵循塔耳玻特-普拉托定律。而对在临界频率以下亮暗比为4/1的间断单色光刺激所需的周期平均亮度低于恒定单色光所需的亮度幅度,这表明塔耳玻特(Talbot)定律不适用于低频、高亮暗比的间断单色光。仅适用于间断单色光刺激的亮暗比低于1,波长为650纳米的间断单色光。

关键词: 亮度感受性,亮度匹配,亮暗比,单色光

有关视觉系统对时间因素反应的研究,大部分探讨集中于时间感受性的课题上,它包括时间总和,时空掩蔽、闪光频率等方面的研究。这些研究着重于视觉系统对时间间断的刺激的分辨力及随时间变化而发生的刺激强度变化的觉察能力。另一方面研究视觉系统对时空调制的视觉刺激的反应变化。

本实验是以异色亮度匹配方法,探索视觉系统对在明视觉水平上的低频、不同时间调制单色光和白光的亮度感觉特性。这是一个新课题,直接与这方面研究有关的文献很少,只能借鉴以下的有关研究:闪光刺激在临界频率以上作用于视觉系统所产生的亮度感觉是遵循塔耳玻特-普拉托定律,对在临界频率以下的低频闪光刺激的亮度感觉,存在着“明度增强效应”的研究,这种亮度增强的效果是指变化频率在2Hz到20Hz范围内的闪光刺激看起来比按照平均能量估计的要明亮。这一现象是由Brücke^[1](1864)在观察黑白相间旋转圆盘时发现的,因此有时称为Brücke效应。Bartley^[2](1938)的研究结果认为在一定范围内亮度增强效果大小与Talbot亮度成反比,也就是说,光的亮暗比率越小,明度增强效应越大。Grüsser和Reidemeister^[3](1959)实验的结果与Bartley的结论相矛盾,他们发现当亮暗比小于1时,明度增强效果降低。

实验装置与方法

(一) **实验装置:** 实验装置为二路的光学系统,以氙灯为光源,一路是参照白光,另一路是双单色仪提供的单色光。白光与单色光形成圆形对分的Maxwell视场。系统与计算

1) 本文于1992年2月13日收到。

机连接,可进行半自动采样和测量,并按程序计算光谱光效率函数。为了满足本实验的需要,在两路上分别加装了固定转动周期($T=0.16s$ $f=6.25Hz$)电机带动不同角度开口的扇叶,以形成不同闪光期和闭光期(简称亮暗比)的单色光和白光两半视场。实验装置的示意图见图1。

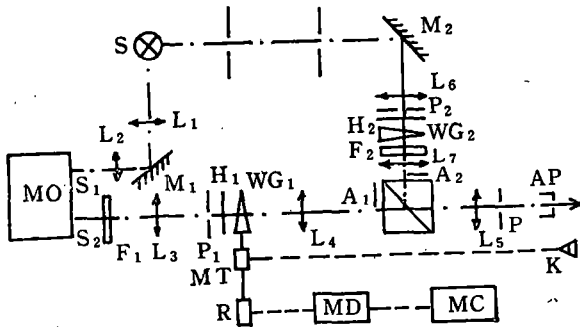


图1 实验装置示意图

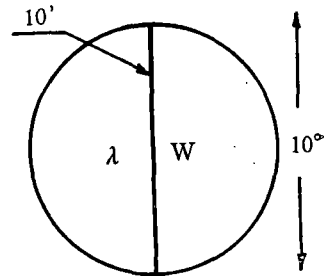


图2 Maxwell 视场示意图

图中S为氙灯光源,MO为光栅单色仪,S1和S2为入射和出射狭缝, L_1-L_6 为透镜, M_1 、 M_2 为平面镜, F_1 和 F_2 为中性滤光片, WG_1 和 WG_2 为中性光楔, p_1 、 p_2 、 p 为光栏,AP为人工瞳孔。K是控制电机正向或逆向转动的按键,MT是带动光楔WG移动的电, R是随电机转动的多圈精密线绕电阻器,MD为多用数字表,它测量电阻器的阻值,并以数字形式输入计算机MC。 A_1 、 A_2 为档板,用以造成视场两半间的黑色分界线。 SH_1 和 SH_2 为固定转动周期的扇叶。图2为被试看到的Maxwell视场的示意图,视场大小为 10° ,视场右半是参照白光,左半是单色光,中间是分界线。

本实验白光亮度水平为 $32td$ (楚兰德)。被试控制按键,移动光楔 WG_1 ,改变单色光的亮度,以达到异色明度匹配。

(二) 测量方法: 采用异色亮度匹配方法,实验一对低频、不同时间调制单色光和稳定白光(亮度等于 $32td$)进行亮度匹配。实验二对稳定单色光与不同时间调制白光(每一独立闪光亮度等于 $32td$)进行亮度匹配。被试进入完全屏蔽的暗室,暗适应25分钟后,用嘴咬住预先制作好的牙印,调整其头部位置,使眼睛恰好处于人工瞳孔处。固定转动周期的扇叶控制单色光或白光的闪光期和闭光期之比(简称亮暗比),共采用五种亮暗比:1/19、2/18、4/16、8/12、16/4。在实验中以拉丁方设计随机呈现给被试。单色光波长变化范围是450纳米(nm)至650纳米,每隔50纳米为一数据点。在每一个数据点上进行三次亮度匹配,每次匹配时,被试控制按键K,移动光楔 WG_1 ,以改变单色光的亮度,直至达到与参照白光的亮度相匹配,此时被试发出信号,让主试取样,将电阻器数值输入计算机,每一波长点上按三次平均计算。光谱光效的计算公式为:

$$v(\lambda) = 10^{D(\lambda)} / E(\lambda)$$

其中 $E(\lambda)$ 是单色光的相对功率分布, $D(\lambda)$ 是光楔的密度。测量结果是相对值 $v(\lambda)$,即以白光亮度作为标准,进行间断光刺激与恒定光刺激之间的比较。

(三) 被试: 共六名男性大学生,色觉正常,平均年龄为20岁,视力为1.2—1.5。一半被试先作实验一,另一半被试先作实验二,然后互换。

实 验 一

本实验的目的是为了探讨视觉系统对低频间断单色光的亮度感觉。

(一) **实验方法:** 采用六种不同单色光刺激, 一种不为做时调的恒定单色光刺激, 另外 5 种是周期 $T = 0.16s (f = 6.25Hz)$, 它们的亮光期持续时间分别为 $8ms, 16ms, 32ms, 64ms, 128ms$, 其亮暗比为 $1/19, 2/18, 4/16, 8/12, 16/4$, 实验步骤如前所述, 在每一波长点上进行一次三次匹配, 取其平均值。

(二) **实验结果与讨论:** 结果见表 1、图 3。从图 3 可看到: (1) 单色间断光的亮暗

表 1 实验一的六名被试的平均结果

| 波长 (nm) | 单色光的亮暗比 | | | | | 恒 定 |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1/19 | 2/18 | 4/16 | 8/12 | 16/4 | |
| 450 | 2.045 | 2.549 | 2.767 | 2.841 | 2.846 | 2.462 |
| 500 | 2.379 | 2.769 | 3.059 | 3.189 | 3.265 | 3.061 |
| 550 | 2.578 | 2.953 | 3.142 | 3.219 | 3.475 | 3.380 |
| 600 | 2.402 | 2.733 | 2.972 | 3.092 | 3.345 | 3.151 |
| 650 | 1.964 | 2.331 | 2.642 | 2.646 | 2.829 | 2.644 |

比为 $16/4$ 时, 为了达到与稳定视场的参照白光亮度相匹配, 间断的单色光刺激所需要的周期平均亮度幅度低于恒定单色光所需的亮度幅度 (光效率函数 v/λ 是能量的倒数)。这

种现象也表现在单色间断光的亮暗比为 $4/16$ 和 $8/12$ 的 450 纳米和 500 纳米色域内。这说明 Talbort-plateau 定律: 闪烁光与连续光的明度相匹配时, 连续光的亮度与闪烁视野的平均亮度相同的规律不适用于上述条件下的低频间断光刺激。在低频条件下, 间断单色光的亮暗比为 $16/4$ 和 $4/16, 8/12$ 的 450 至 500 纳米色域内, 表现出 Brücke 的亮度增强效应较大。也就是说, 闪烁视场所产生的主观亮度高于恒定光视

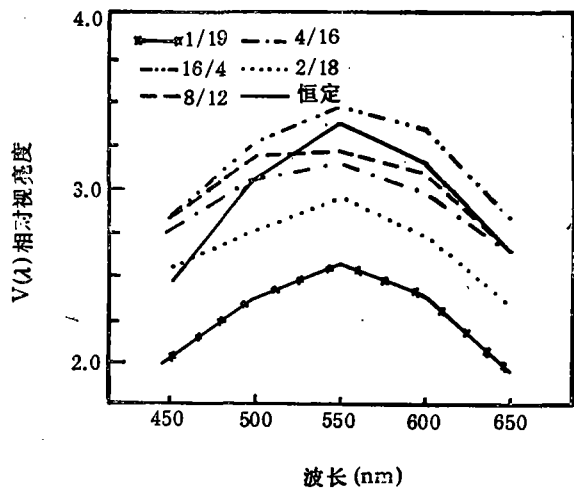


图 3 人眼对低频间断单色光的亮度感觉

场的主观亮度。这与 Bartley 的结果不一致, Bartley 认为在一定范围内明度增强效果大小与亮暗比有关, 亮暗比越小, 明度增强效果越大。本实验结果表现出随着亮暗比的增大、明度增强效应也大, 并且与波长有关。(2) 在长波 650 纳米色域内, 单色间断光刺激的亮暗比为 $4/16$ 和 $8/12$ 时, 与参照白光达到亮度匹配, 所需的周期平均的亮度幅度与恒定单色光近似等同。这可能表明在低频刺激下, Talbort-plateau 定律适用于 650 纳米长波区。(3) 间断单色光亮暗比为 $1/19$ 和 $2/18$, 与参照白光亮度匹配时, 比恒定单色光所需要的亮度幅度高。这一结果与 Grüse 和 Reidemeistes (1959) 的结果相类似, 亮暗比小于 1 时, 明度增强效应降低。

实 验 二

本实验的目的是为了探讨视觉系统对低频间断白光的亮度感觉特性。采用六种白光刺激,一种为恒定白光刺激,其亮度等于 32td。另五种是作不同时间调制的闪烁白光,它们的亮暗比与实验一的单色光亮暗比相同。不同亮暗比白光的周期平均亮度见表 2。

表 2 不同亮暗比白光的周期平均亮度值 (td)

| 亮暗比 | 1/19 | 2/18 | 4/16 | 8/12 | 16/4 | 恒定 |
|---------|------|------|------|------|------|----|
| 亮度值(td) | 1.6 | 3.2 | 6.4 | 12.8 | 25.6 | 32 |

(一) 实验方法: 方法与步骤同实验一,仍然是通过按键 K 移动光楔 WG_1 , 以改变单色光的亮度。

(二) 实验结果与讨论: 结果见表 3、图 4。

表 3 实验二的六名被试的平均结果

| 波长(nm) | 白光的亮暗比 | | | | | 恒 定 |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1/19 | 2/18 | 4/16 | 8/12 | 16/4 | |
| 450 | 3.439 | 3.224 | 3.032 | 2.650 | 2.644 | 2.506 |
| 500 | 4.015 | 3.790 | 3.461 | 3.160 | 2.976 | 3.016 |
| 550 | 4.254 | 4.000 | 3.669 | 3.318 | 3.293 | 3.226 |
| 600 | 4.168 | 3.835 | 3.487 | 3.168 | 3.224 | 3.133 |
| 650 | 3.607 | 3.244 | 3.009 | 2.820 | 2.898 | 2.750 |

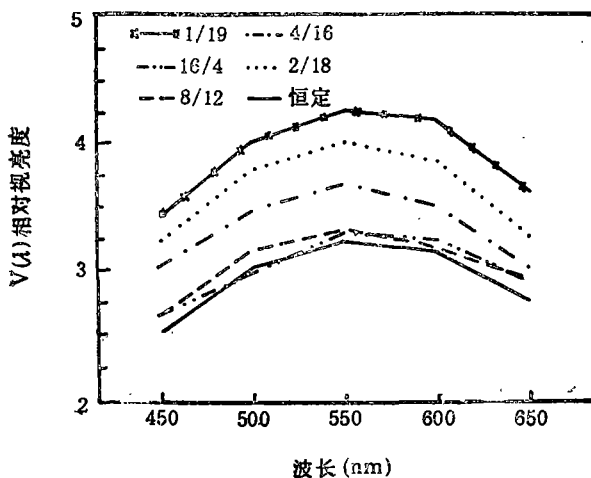


图 4 人眼对低频间断白光的亮度感觉

从图 4 可看到,随着白光亮暗比变小,也就是从亮暗比为 1/19 至 4/16,白光的周期平均亮度是成倍递增,单色光与相应的白光达到亮度匹配时,所需的亮度幅度也逐渐递增,但递增的幅度为 6% 到 10%,而且与波长无关,表现出了明度增强效应。当单色光与亮暗比为 8/12 的白光达到亮度匹配时,所需的单色光亮度幅度和恒定白光与单色光达到亮度匹配,所需单色光的亮度幅度近似相同。恒定白光的亮度是亮暗比为 8/12 的周期平均亮度的 1.5 倍,但二者所需单色光的亮度幅度只相差 1% 到 5%,它明显表现出 Brücke 效应。这一结果与实验一类似,表明人眼无论是对间断单色光还是对间断白光的亮度感觉,亮暗比为 8/12,都是一个关键的数据点,值得进一步研究。

小 结

当以白光作为标准,进行间断光与恒定光刺激之间比较时发现:

(1) 视觉系统对低频、间断单色光的亮度感觉与它们的亮暗比有关。进一步说,当单色光每一独立闪光持续的时间 T 和闪光之间黑暗期 TD 即 $T/TD = 16/4$ 时,为了达到与参照白光的亮度相匹配,间断单色光刺激所需的周期平均亮度低于恒定单色光所需的亮度幅度,而且与波长无关。同时当间断单色光的亮暗比 T/TD 为 $4/16$ 和 $8/12$,波长在 $450-500$ 纳米区域内,它所需的平均亮度幅度也低于恒定单色光所需的亮度。这表明 Talbort—plateau 定律不适用于上述条件。

(2) Talbort—plateau 定律适用于亮暗比 T/TD 为 $4/16$ 和 $8/12$,波长为 650 纳米的间断单色光。

(3) 实验一与实验二的结果均表明人眼无论对间断单色光还是间断白光的亮度感觉,亮暗比 $T/TD = 8/12$ 时是一个关键点。

参 考 文 献

- [1] Brücke (1864) 引自 Bartley, S. H. Subjective brightness in relation to flash rate and the light—dark ratio. *J. Experimental Psychology* 1938, 23, P315.
- [2] Bartley, S. H. Subjective brightness in relation to flash rate and the light—dark ratio. *J. Experimental Psychology* 1938, 23, P313—319.
- [3] Grüsser 和 Reidemeister (1959) 引自 Graham, C. H. (Ed) *Vision and Visual perception*. N. Y., John Wiley and Sons, 1965. p285—286.

PHOTOPIC BRIGHTNESS SENSITIVITY OF LOW FREQUENCY INTERMITTENT LIGHTS

Jiao Shulan Jing Qicheng

Institute of Psychology, The Chinese Academy of Sciences

Piao Dazhi Chen Xiaju

Chinese Academy of Metrologica Sinica

Abstract

Brightness match of a white light and a low frequency monochromatic light, one of which was time modulated and presented intermittently, was made by observers on a two-channel optical system. In order to match a constant white light, when the light/dark ratio of the monochromatic light was $16/4$, its average brightness was lower than a constant monochromatic light, independent of wavelength. This shows that the Talbort—Plateau law does not hold for low frequency high light/dark ratio intermittent monochromatic lights. The Talbort—Plateau law is effective for intermittent monochromatic lights of 650 nm, at low light/dark ratio ($4/16$ and $8/12$).

Key words: Brightness sensitivity, Monochromatic light, Light/dark ratio, Brightness match