

光源市照明

译文集

第 3 卷 第 3 集

全国灯泡工业科技情报站

光源与照明

译文集

第3卷第3集

1986年

8月15日

出版

版

内 容

光 源

- 对由光源发光波形的工业频率
成份引起之闪烁的评价.....1
- 改善光通维持率的荧光灯.....21
- 1984年光源发展综述.....26
- 外壳内气体对高压钠灯性
能的影响.....49

测 光

- 奥斯兰—GEC新型自动光度
试验室.....58
- 测量光源光度和辐射度特性的
仪器.....105

照 明

- 由照度水准变化而引起颜色
布料亮度变化的实验和解析.....64
- 舞台灯光装璜.....83
- 植物工场的照明.....95

对由光源发光波形的工业电源频率 成分引起之闪烁的评价

一、前言

放电灯之类在用普通的工业电源点灯の場合，光源是用工业电源频率（50 或者 60 Hz）的 2 倍的频率反复进行发光。其结果不仅使人感到光源自身的闪烁，而且使那些高速运动的网球之类的视觉对象在人的眼前若隐若现（频闪效应）。

对这种闪烁的评价。人们大多着眼于光源的发光波形，而不是频闪效应。有人已提出了闪烁率（FI）以及百分比闪烁（FP）等等评价法。但是尽管这些评价数是相同的值，而且观察条件也相同，然而也存在着对光源自身的闪烁时而感觉到，时而又没有感觉到的状况。这就说明上述这些评价法未必和人的感觉相一致。另一方面，腰原等人在研究报告中认为，光源发光波形的低频成分是引起闪烁的重要因素。

我们根据腰原等人的理论而考虑到，光源的发光波形是一种畸变波。我们采用傅里叶级数抽出了发光频率的 $\frac{1}{2}$ ，也就是工业电源频率（50 或者 60 Hz）成分。通过实验而发现了由此得出的评价值和人的感觉非常一致。

二、闪烁的评价法

（一）百分比闪烁法

该方法是在图 1 所示的发光波形模式 $y(t)$ （实线）中，着眼于最大值 A 和最小值 D 的评价法。它由(1)式求出。

$$PF = \frac{A - D}{A + D} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

式中 PF 是百分比闪烁值, A 是最大值, D 是最小值。

现在如果假定 $y(t)$ 的一部分像图 1 中点线所示的那样进行变化, 即 B 值变化

到 $(B - \Delta b)$ 值,

C 值变化到 $(C +$

$\Delta c)$ 值, 而平均

值 (A_0) 不变,

那么这时的百分比

闪烁值由于 A 值以

及 D 值毫无变化,

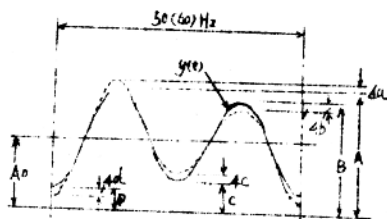


图 1. 光源发光波形模式

因此它也没有变化。这就是说在百分比闪烁法中不能够表示出上述这样的闪烁感觉的差异。

(二) 闪烁率法

闪烁率是指超过发光波形 $y(t)$ 的平均值的部分的积分值 (超过平均值的部分的面积) 和平均值 (发光部分的面积) 之比。它用(2)式求出。

$$FI = \frac{\text{面积 I}}{\text{面积 I} + \text{面积 II}} \dots\dots\dots(2)$$

式中面积 I 是超过平均值的部分的面积。面积 II 是在平均值以下的部分的面积, FI 是闪烁率。

现在如果假定 $y(t)$ 像图 1 中点线和点划线所示的那样进行变化, 即 A 值变化到 $(A + \Delta a)$ 值, B 值变化到 $(B - \Delta b)$ 值, C 值变化到 $(C + \Delta c)$ 值, D 值变化到 $(D - \Delta d)$ 值, 而平均值不变, 那么这时的闪烁率基本上没有变化。这就是说在闪烁率法中也不能够表示出由于 $y(t)$ 的变化而引起因闪烁感觉的差异。

三 本文建议的评价法

一般来说,畸变交流能够用傅里叶级数展开,并能够用(8)式所示的时间的函数来表示。

$$\left. \begin{aligned}
 y(t) &= \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cdot \sin(n\omega t + \varphi_n) \\
 A_0 &= \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt \\
 A_n &= (a_n^2 + b_n^2)^{\frac{1}{2}} \\
 \tan \varphi_n &= a_n / b_n \\
 a_n &= \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cdot \cos n\omega t \cdot dt \\
 b_n &= \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cdot \sin n\omega t \cdot dt
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

式中: $\omega = 2\pi f$ $f = \frac{1}{T}$

我们将发光波形 $y(t)$ 的基谐波频率设定为工业电源频率的 $1/2$ ($f = 25 \text{ Hz}$ 或者 $f = 30 \text{ Hz}$ (注1)), 并根据其2次谐波 (50 或 60 Hz) 成分在整体中所占的比例研究出了评价闪烁的方法。我们把它称为“畸变波闪烁”, 并用(4)式来表示。

$$F(\text{Hz}) = \frac{A_2 / \sqrt{2}}{A_0} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

式中 A_0 是直流成分(平均值), A_2 是2次谐波(I频成分), $F(\text{Hz})$ 是畸变波闪烁值。

还有, (Hz) 部分表示工业电源频率, $A_2 / \sqrt{2}$ 表示2次谐波成分的有效值。

图2表示的是实际的光源发光波形和畸变波闪烁值。从图2可

以看出形状的变化和评价
 价值二者之间非常对应。
 如果畸变比图 2 (a)
 还要少的话,那么畸变
 波闪烁值就变得接近于
 0。发光波形就成为工
 业电源频率的 2 倍
 (100 或者 120
 Hz) 的正规形状。这
 如同在临界闪烁频率
 (CFF) 的研究中说
 明的那样,表示在人的
 眼睛中几乎不可能觉察
 到。

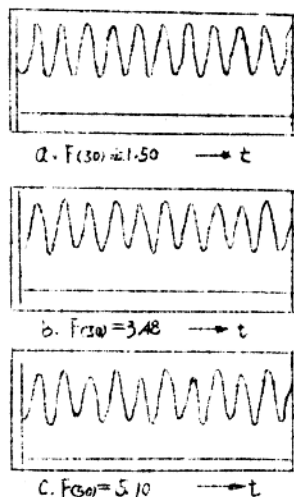


图 2. 发光波形和畸变波闪烁值

采用(5)式能够简易
 地计算出畸变波闪烁值。但是(5)式只有在如图 1 和图 2 中所示的那
 样,在电源波形的 1 个周期 (50 或者 60 Hz) 各产生 2 次的发
 光波形的最大值不相同才能适用。

$$F(\text{Hz}) = \frac{\sqrt{(A-B)^2 + (C-D)^2} \cdot \sqrt{2}}{(A+B+C+D)/4} \times 100 \quad \dots\dots(5)$$

另一方面,在 50 Hz 和 60 Hz 中的畸变波闪烁值,在发光
 波形和时间轴 (t) 是相似形的场合, $F(50) = F(60)$ 的关系成
 立。

三、实验

为了验证畸变波闪烁值和人的感觉量这二者之间是否存在相关关系，也就是说畸变波闪烁法是否妥当，我们进行了下述的实验。

实验时，我们参考了有关闪烁知觉的临界闪烁频率 (C F F) 的研究。临界闪烁频率的研究主要与频率有关，而我们的畸变波闪烁研究则与发光波形的畸变有关，在这一点上二者是不相同的。但是，我们认为在从知觉这一方面来研究由畸变波而产生的闪烁现象时，经过临界闪烁频率的研究而明了的视觉生理或者视觉心理是具有一定的参考价值的，因而将其要点表示如下：

(1) 临界闪烁频率随着检验光辉度的增高而上升 (Ferry-Poter 的法则)。

(2) 临界闪烁频率随着检验光的表观程度的增加而上升 (Grenit-Harper 的法则)。

(3) 临界闪烁频率根据视网膜位置不同而不一样。它根据不同的辉度以及表现程度而复杂地变化。

(4) 临界闪烁频率受到不同的人、年龄、疲劳程度以及应力等等的影晌。

(一) 装置

图3是评价实验中采用的装置。前面丙烯酸板发光部分的尺寸是900mm，受验者的位置在离开该发光面约300mm以内的中心。因而我们认为受验者视野的大半(半径约 55°)都在发光板面上，与视网膜有关的闪烁感觉的差异大体上能够消除。

发光板面的辉度调节方法是将日本人糊窗的纸。(产于英国 Kent 的)绘图纸、丙烯酸板(半乳白色)、冲孔金属板(根据孔的大小分两种)单独或者组合插入在调光板插入空格内。图4是没有

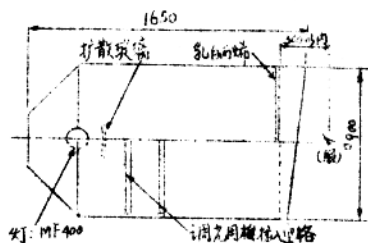


图3、评价实验用的装置

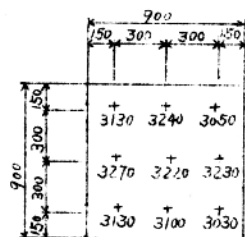


图4、评价实验用的装置。
前面发光板的辉度分布的一例，平均 3160 cd/m^2
最小/平均 $=0.96$ ，最大/最小 $=1.08$ (距离
2米遮光 1.0° 进行测定)

插入调光板时的发光面的辉度分布。在各调光阶段都能获得相同程度的均匀率。光源采用400W金属卤化物灯(MF 400，相关色温约3800K)，水平点灯。

图5所示的是实验中使用的点灯装置以及闪烁可变装置。该装置采用半导体开关元件(双向可控硅:图甲TH)，能够在电源电压的每个正负周期改变导通时间，并通过转动闪烁可变电位器

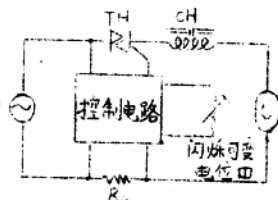


图5、闪烁可变装置的基本电路
能够使平均输出几乎不发生变化，而像图2所示那样使闪烁产生变化。可变范围用畸变波闪烁值表示为0~约18。

发光波形的测定以及
解析演算系统如图6所示。
由光电管进行的测光，是在图3所示的装置的背面
~0~

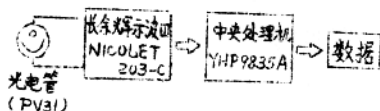


图6、测定以及解析演算系统

设置小孔，采用光源的直接光。这是因为如果采用从前面发光板出来的光，随着发光板面辉度的降低，长余辉示波器的灵敏度必须提高，因而会产生测量误差。取样是将1个周期设定为工业电源的2倍（ $1/25\text{ sec}$ ，或者 $1/30\text{ sec}$ ），再将该区间分割为200。畸变波闪烁值就是将这200个/周期的数据从长余辉示波器直接输入计算机，通过解析演算而求得。

□ 方法

实验 I 是根据下述的顺序用两眼观察进行的。

(1) 受验者坐在发出检验光的丙烯板（见图3）的前面，约每1分钟以适应该辉度。

(2) 首先进行练习。可使检验光的闪烁从最大变化到最小，闪烁根据图7的类别进行区分，一直练习到能够充分认识各个类别为止。

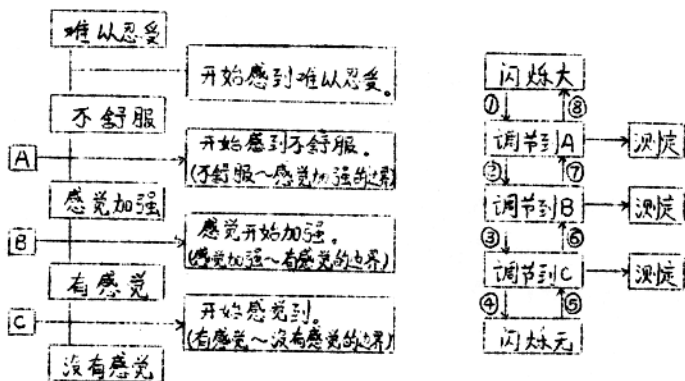


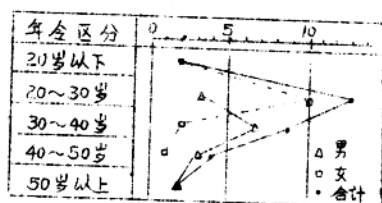
图8. 实验的顺序

图7. 实验的类别

(3)将图8所示的顺序作为1个周期。受验者自身调节闪烁的程度。一直调节到感觉与图7所示的各个类别相一致时为止。并测定各个类别的畸变波闪烁值。

(4)改变检验光的辉度，按同样的顺序进行实验。检验光的辉度分为下面7个等级。检验光(发光板面平均)辉度： 3160 、 1850 、 973 、 457 、 263 、 156 、 96.0 (cd/m^2)。

实验环境为不受检验光以外的光影响的暗室，电源为 $50\text{Hz}/200\text{V}$ 。受验者共有31名，其性别及年龄构成情况如图9所示。



男：16名，平均36.9岁；女：15名，平均25.9岁，
总平均31.5岁

图9、受验者的年龄构成

实验Ⅱ是以调查电源频率 60Hz 时的畸变波闪烁值和感觉量这二者之间的关系为目的。进行和实验Ⅰ相同的实验。

实验Ⅱ中受验者选择3名(男性34岁，35岁，39岁)，检验光辉度分为 $1850\text{cd}/\text{m}^2$ 和 $457\text{cd}/\text{m}^2$ 两个等级，在 50Hz 的场合和 60Hz 的场合各自按图8所示的实验顺序进行两个周期的实验。根据该实验取得就相同类别来说的 50Hz 以及 60Hz 的畸变波闪烁值的相关值，并推断 60Hz 时的感觉量。

四、结果

~8~

(一) 数据的分布

对于畸变波闪烁值的无论怎样的间隔（等差级数的、等比级数的以及其他）来说，由实验 I 得出的数据是否正规分布是非常重要的。我们对检验光辉度（7 个等级）和类别（3 个类别）共计 21 种采用等差级数尺度和等比级数（ $\log$ ）尺度这两种方法进行了整理。图 10 是在检验光辉度为 97.3 cd/m^2 ，类别为 A 的场合，用“满足类别的概率分布”所表示的一个例子。从图 10 可以知道，对等比级数（ $\log$ ）尺度来说可以认为是正规分布的。此外，对总计 21 种类的分布来说，标准偏差用 $\log$ 值表示是在 $0.117 \sim 0.288$ 之间。

(二) 和检验光辉度的相互关系

从实验 I 的数据来看，各个类别的畸变波闪烁值都随着检验光辉度（发光板面平均辉度）的增高而降低。

我们将 3 个类别的与检验光辉度相对应的畸变波闪烁值的平均值（概率 50%）根据不同性别在图 11 中用曲线表示出来。从图 11 中虽然也能看出存在着女性比男性更难以感觉到闪烁的倾向，但是从年龄的差别以及数据数来看，难以说明存在着明显的差别。

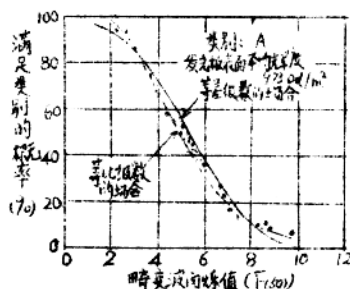


图 10 满足类别的概率分布

图 1 1、辉度和畸变波
闪烁值的相互关系
(性别)

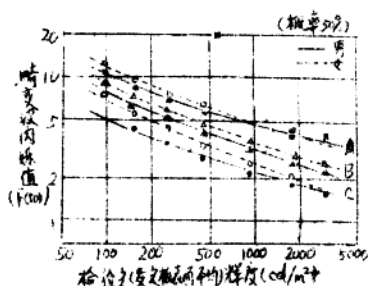


图 1 2 以及图 1 3 表示由受验者全体累计后的辉度和畸变波闪烁值的相互关系，各类别的概率是 50% 和 75%。所谓概率 75% 就是说，如果是概率为 75% 时的畸变波闪烁值，那么至少 75% 的人满足与该畸变波闪烁值相应的类别。

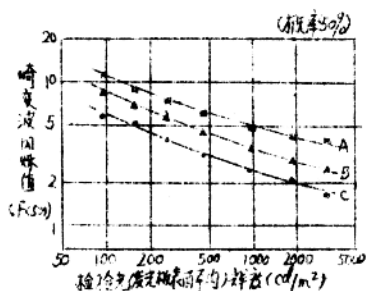


图 1 2、辉度和畸变波闪烁
值的相互关系 (概率
50%)

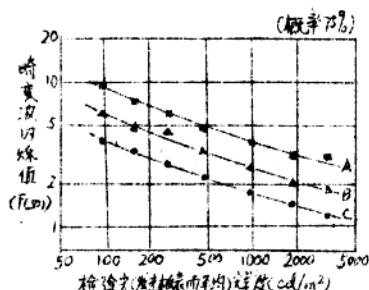


图 1 3、辉度和畸变波闪烁
值的相互关系 (概率
75%)

检验光辉度和畸变波闪烁值二者的相互关系非常适合于在将(6)式作为一般式的场合。

$$F(50) = a \cdot L^{-0.5} + b \dots\dots\dots(6)$$

式中 $F(50)$ 是 50 Hz 的畸变波闪烁值, L 是检验光的辉度 (发光板面平均辉度), a 、 b 是实验常数。

表 1 列出的是在将 L 作为 cd/m^2 时, 用最小自乘法求出的实验常数 a 、 b 以及相关系数 (r) 注②的值。图 1.1~图 1.3 中所示的回归曲线是根据(6)式以及表 1 而得出的。

表 1. 实验常数和相关系数

		实验常数 a	实验常数 b	相关系数 r
男 (概率 50%)	A	82.521	2.278	0.996
	B	68.774	1.105	0.998
	C	41.143	0.973	0.997
女 (概率 50%)	A	97.912	1.921	0.991
	B	76.930	1.235	0.999
	C	64.667	0.581	0.999
全体 (概率 50%)	A	89.992	2.105	0.994
	B	72.604	1.167	0.999
	C	51.513	0.810	0.999
全体 (概率 50%)	A	79.480	1.272	0.996
	B	53.393	0.845	0.996
	C	34.336	0.596	0.999

A: 开始感到不舒服 B: 感觉开始加强 C: 开始感觉到

我们认为，在实验状态中检验光的辉度与受验者的适应辉度大致相等，也就是说在本实验的辉度范围中，随着适应辉度的上升而能够识别很小的畸变波闪烁值。

一般来说，视觉功能随着适应辉度的上升而提高；临界闪烁频率随着检验光辉度的上升而提高。如果从上述两种现象来推断，我们认为就能够用畸变波闪烁值来表示闪烁的大小，也就是说，畸变波闪烁值越小，闪烁就越难以知觉。

(三) 类别的尺度化 (等间隔性)

实验类别 (图 7) 因为是序数尺度，所以为了作为等间隔性处理就必须采用系列范畴法变换成等间隔尺度。

实验 I 由于是对 3 个类别进行实施的，因此按照图 14 所示的向等间隔尺度变换的模式图进行。实验数据处理成为如表 2 所示那样的与刺激 (检验光辉度，畸变波闪烁值) 为一定时的类别相对应的数据

分布，并将其变换成

了概率。接着，在将

类别 A、B、C 之间

的距离作为 S_1 和

S_2 时，在假定实验

数据成正规分布的条

件下求出距离 S_1 和

S_2 ，然后得到了下

述的比例。

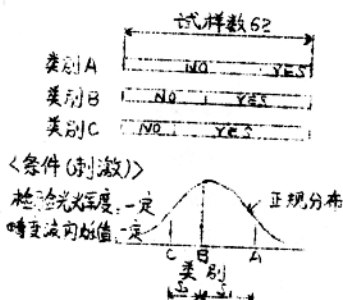


图 14. 类别的尺度模式

$$S_1 : S_2 = 1.00 : 0.94$$

由此我们认为，类别A、B、C的间隔大致为等间隔，并给出了表3所示的“闪烁的程度和评价尺度(M)。”

表2、与类别相对应的数据分布(一例)

检验 光辉度	畸变波闪烁 类别	值	< 2	< 4	< 6	< 8	< 10
1850 cd/m ²	A		6	25	47	56	62
	B		15	45	57	62	—
	C		28	54	61	—	—
	其它		34	8	1	0	0
457 cd/m ²	A		0	8	27	44	61
	B		2	24	48	57	62
	C		12	39	54	62	—
	其他		50	23	8	0	0
156 cd/m ²	A		0	0	9	15	46
	B		2	4	20	34	57
	C		5	18	34	45	62
	其他		57	44	28	17	0

注：1、表示刺激一定时，满足各类别的个数(图14中所示的YES的个数)。

2、“其它”这一项，表示不满足类别C的个数(图14中所示的类别C的NO的个数)。

表3、闪烁的程度和评价尺度

评价尺度	闪烁的程度
—	没有感觉
2	开始感觉到
—	有感觉
4	感觉开始加强
—	感觉加强
6	开始感到不舒服
—	不舒服
—	开始感到难以忍受
—	难以忍受

四) 和评价尺度的相互关系

图15所示的是在检验光的辉度一定时, 闪烁评价尺度(表3)和畸变波闪烁值二者相关的例子。这在将(7)式作为一般式时, 得到了非常良好的相关关系。

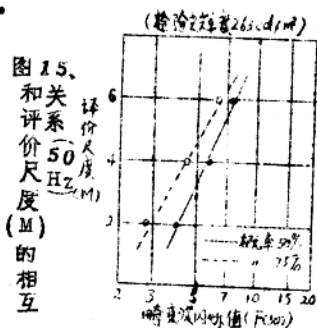
$$M = K_1 \cdot \log(F(50)) + K_2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中M是闪烁评价尺度,

$F(50)$ 是50 Hz 畸变波闪烁值, K_1 和 K_2 是实验常数。

图15的实验常数和相关系数在概率为50%时, $K_1 = 14.682$,

~14~



$K_2 = -6.994$, $r = 0.996$, 在概率为 75%, $K_1 = 10.902$, $K_2 = -2.782$, $r = 0.992$ (用最小自乘法)。

(7)式和Ferry-Porter的法则或者Granit-Harper的法则的一般式是相同的。在这里可以说“随着畸变波闪烁值的增加, 闪烁评价尺度增加, 闪烁变大”。这也就说明了在本实验所采用的辉度范围中, 畸变波闪烁值能够用来表示因光源发光波形的畸变而引起的闪烁的程度。

(五) 50 Hz 和 60 Hz 的相互关系

实验 II 是以求解 50 Hz 的畸变波闪烁值和 60 Hz 的畸变波闪烁值的相互关系, 并推断和 50 Hz 时的感觉量等价的 60 Hz 的畸变波闪烁值为目的而进行的。此时的发光波形除了时间轴不同以外, 大体为相似形。

我们将实验 II 中各个受验者在各个类别、检验光辉度以及频率下得到的数据加工成了平均值, 将其在图 16 中表示出来并用最小自乘法求出了 50 Hz 和 60 Hz 的相互关系。

一般来说: 闪烁随着频率的增高而变得难以知觉。本实验的结果也显示了相同的倾向, 如(8)式所示的那样, 大致获得了线性关系 ($r = 0.962$)。

$$F(60) = 1.725F(50) + 0.706 \dots \dots \dots (8)$$

式中 $F(60)$ 是 60 Hz 畸变波闪烁值, $F(50)$ 是 50 Hz 畸变波闪烁值。

通过上述分析, 我们认为用(8)式能够大致预测 60 Hz 时的闪烁的感觉量。