

建筑科学研究报告

REPORT OF BUILDING RESEARCH

1984

No. 6—6

工业企业车间照明眩光评价方法及其限制标准的研究

Studies on the Glare Assessment Methods and Glare Limiting Standards for industrial Lighting Systems

中国建筑科学研究院

CHINA ACADEMY OF BUILDING RESEARCH

提 要

本文简要地介绍了研究建筑照明中不舒适眩光的目的和意义。给出了眩光评价的实验设备、实验条件和实验方法,以及得到眩光数学表达式的过程。用这些实验结果和数学表达式编制了计算眩光的诺模图。最后,用这些计算结果和现场调查数据推荐了眩光限制的国家标准,并给出了计算实例。

Studies on the Glare Assessment Methods and Glare Limiting Standards for Industrial Lighting Systems

Institute of Building Physics

Pang Yunfan Zhang Shaogang Peng Mingyuan

Peking Building Engineering Institute

Gao Lutai

Abstract

A brief account of the purpose and significance of research on discomfort glare in the building lighting is given. Testing equipments, the conditions and methods for experiments, and the process of obtaining mathematical expressions for glare evaluation will also be dealt with. A nomograph for calculating glare is made on the results of experiments and mathematical expressions. Finally a National Standard of Glare Limitation is recommended on the basis of the calculating results and field investigation data. An example of calculation will be given in this paper.

目 录

一、眩光的种类和研究眩光的意义·····	(1)
二、产生不舒适眩光的基本因素和不舒适眩光表达式·····	(2)
三、研究眩光的实验装置和条件·····	(2)
四、关于眩光评价的视觉分级·····	(3)
五、视觉的舒适与不舒适界限 (BCD) ·····	(4)
六、眩光常数公式的获得与分析·····	(7)
七、眩光限制的依据和对我国眩光限制标准的推荐·····	(10)
八、多光源的眩光及其计算实例·····	(15)

参考文献

工业企业车间照明眩光评价方法 及眩光限制标准的研究

中国建筑科学研究院物理所
北京建筑工程学院

庞蕴凡 张绍纲 彭明元
高履泰

一、眩光的种类和研究眩光的意义

眩光按其形成的方式可分为下列四种:

1.直接眩光 在视线上或视线附近有高亮度光源,如灯、窗等,形成难以忍受的强烈光线即直接眩光。一般所说的眩光即指这种眩光。

2.反射眩光 这种眩光是由光泽面反射出高亮度光源的像所形成的。但由于观察面的光泽度不同,光源的像的亮度也不同,光源像的大小也不同等。光泽表面的反射又可分为两种情况:

(1) 光泽的表面能够把高亮度光源的像清楚的反射出来,这种反射眩光的机理和效应与上述的直接眩光相似,因此很少专门论述。

(2) 光泽的表面反射出光源的亮度较低,不能清晰的看出光源的像,然而却产生对比度降低和色的变化,使能见度降低。这种现象再称为反射眩光就不太确切,因此美国照明学会首先称其为光幕反射(Veiling Reflection),在苏联称为模糊反射。光幕反射在许多情况下都存在,且不易发现。近几年,随着对照明质量的研究,光幕反射的研究也日益受到重视。

3.由对比度形成的眩光 我们知道,由于观察目标与其背景之间的对比度增加,能见度也增加。但是对比度太大也会产生眩光。在日常生活中像夜空中的霓虹灯就是这种例子。

4.由适应产生的眩光 从暗处急速到亮处时,虽然这种亮度还不致于形成眩光,但由于暗适应的眼睛不能马上适应亮的环境,所以感到有眩光,这是由于亮度在时间上急剧的变化所形成。

在国际照明委员会(CIE)的技术词汇里,把上述各种眩光从其视觉状态出发,又定义为减视眩光(失能眩光)和不舒适眩光。

由于眩光对人的生理和心理都有明显的危害,而且对劳动效率也有较大的影响,所以研究眩光有着十分重要的意义。研究眩光不但对保护人们的视觉健康有重要作用,而且可以提高劳动效率。

但是,眩光对劳动生产率的影响常常被照明技术工作者和生产管理人员所忽视。目前,我国许多工业企业的车间中仍然使用裸灯泡,即使使用灯罩,而从灯具保护角和悬挂高度来考虑也不尽合理,造成直接眩光,有时还存在反射眩光。其次车间内亮度分布

不均匀,特别是一般照明和混合照明比例太大。有些工厂只有局部照明,而无一般照明,以致工作背景极暗,即使遇到不太强烈的光线,也会引起不舒适眩光。在我国现行的照明标准中,虽然对于眩光限制有了一定的规定,但尚不完善,因而需要进一步调查研究,进行必要的科学实验,为修订照明标准提供科学依据。

二、产生不舒适眩光的基本因素和不舒适眩光表达式

不舒适眩光的产生主要与以下四个因素有关:眩光源的亮度 L_s ,眩光源的表现立体角 ω ,眩光源离开视线的仰角 θ 和眩光源所处的背景亮度 L_f (见图1)。

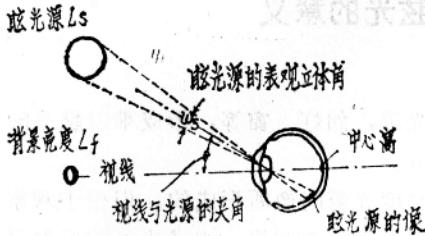


图1 影响眩光的因素

到目前为止,许多国家都通过实验找到了如下的眩光常数 G 与四个参数的关系式:

$$G = \frac{L_s^a \omega^b}{L_f^c P^d} \quad (1)$$

式中 L_s —眩光源亮度(cd/m^2);

ω —眩光源的表现立体角(sr 球面度);

L_f —背景亮度(cd/m^2)

$P^d = P(\theta)$, 位置函数;

a 、 b 、 c 、 d —常数,不同国家有不同的数值。

各国关于眩光的表达式都有些差异,这一点较为容易理解,因为不舒适眩光要借助观察者的感觉紧张程度或不舒适程度来决定,这本身就有很大的主观性,同时观察者的感觉程度常常不是单值的决定于眩光的存在,还与周围其它因素有关。

本课题所进行的眩光研究,目的是通过实验找出眩光公式中的常数 a 、 b 、 c 、 d ,提出眩光表达式,并且应用在眩光限制标准中,以及用该表达式计算现场调查中的实例,为我国的眩光标准提供依据。

三、研究眩光的实验装置和条件

如上所述,眩光效应与背景亮度、眩光源亮度、眩光源大小、眩光源在视野中的位置以及其它一些因素有关。如何在实验室中呈现这些因素,建立怎样的实验装置,是我们进行眩光评价实验时要解决的问题。我们搜集了国内外眩光评价实验方面的文章,并对这些实验方案的优缺点进行了仔细的研究。

归纳这些实验方案可以看出,各国的实验方案共分三类:第一类是在实验室内进行单光源和多光源的眩光实验;第二类是缩尺模型的模拟实验;第三类是现场实际照明条件下的实验。结合我们的具体情况,我们选择了第一类的实验室内单光源的实验方案,辅现场照明的眩光实测和计算。实验方案如图2所示。

在一个长宽高各为 $6.8 \times 5.0 \times 3.2$ 米的房间内,安装一个均匀漫反射的白屏1,屏高 3.2 米,宽为 4.66 米,屏中心设有视标2,在视标的上方,屏上刻出不同大小和不同高

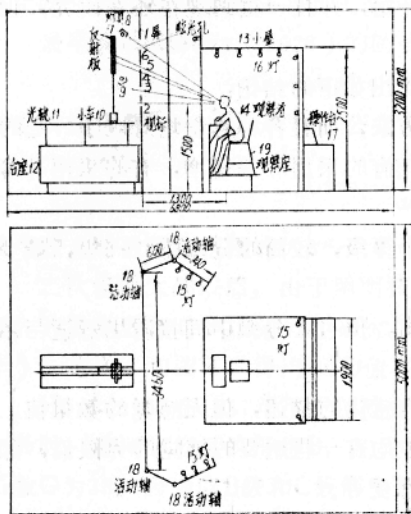


图2 实验设备图

- 1.屏, 2.视标 3,4,5,6.眩光源孔
7.漫射板 8,9.漫射板照明用光源 10.小车
11.光轨 12.台子 13.小木屋
14.试验人员 15.屏背景照明光源
16.小屋照明光源 17.操作台 18.活动轴
19.观察台座

度的眩光孔3、4、5和6。在眩光孔的后面设有与屏相同漫反射率的漫反射板7。板7被1000W的碘钨灯8、9照射。在板7上形成的高亮度反射到眩光孔里成为眩光源。漫射板7安装在小滑车10上,并能上下移动,在光轨11上水平滑动。光轨安放在台子12上。在屏的对面有一个三面墙壁围成的小室13。观察者14坐在观察台19上。屏用背景照明灯15和16照射。屏两侧的灯15可通过活动轴18改变位置。全部照明灯可以通过调压器改变光通量。还可以通过分路开关来调节背景亮度。主试者在操作台17前操作。

实验条件和实验方法如下:

(1) 背景亮度 亮度均匀的背景对被试者形成的视场角,上下各为 51° ,左右各为 $60^\circ \sim 80^\circ$ 。背景的亮度不均匀度为 $\pm 20\%$ 。国外的实验背景亮度范围最小为 1cd/m^2 ,高则为 243cd/m^2 。根据我国工

业照明现场现状,大部分车间的背景亮度为 10cd/m^2 以下,只有少数高精密车间背景亮度可在 10cd/m^2 以上。本实验取三个数量级的背景亮度,分别为1、10、 100cd/m^2 。

(2) 眩光源的立体角 国际上眩光源的立体角的研究范围为 $1.1 \times 10^{-3} \sim 2.5 \times 10^{-2}$ 球面度(sr)。根据我国工业照明所用光源尺寸,我们采用眩光源立体角的尺寸为 0.74×10^{-3} , 3×10^{-3} 和 10×10^{-3} 球面度(Sr)。

(3) 关于眩光源的亮度 国际上高者达到 $2.7 \times 10^4\text{cd/m}^2$,而本实验装置眩光源亮度可达 10^5cd/m^2 。

(4) 眩光源的位置 国际上研究眩光源与视线之间的夹角 θ 系在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 范围之内,而本实验采用的 θ 值为 0° , $3^\circ 51'$, 10° , $11^\circ 38'$, 20° 和 $23^\circ 57'$ 。

(5) 观察者(被试者) 各国试验时所采用的观察者人数不同,大致在4~50名范围内,多为青年人,从实验的精确度上看,选用更多的观察者好些,或选用少数观察者进行大量的实验也可以。结合我们的实际情况,实验中选择12名被试,男女各半,大多数为青年人,视力正常。

四、关于眩光评价的视觉分级

为了评价眩光是否存在及其存在程度,首先需对眩光的主观视觉进行分级,并要确定眩光的各种视感觉同眩光源亮度等参数之间的关系。一些学者对上述问题进行了一系列的研究,并提出了各自的眩光评价分级,最后建立了眩光感觉同眩光源亮度等参数

之间的定量关系。这个问题虽然自本世纪初就已开始,并且一直到现在还在研究,但目前在国际上尚无统一的分级标准。

对于分级方法,就所搜集的资料来看,可以得出如下的结论:

1.一些国家均建立自己的对眩光感觉的分级方法,而且各种感觉均对应于一定的感觉数量值。各级之间的级差,从设有眩光时标起,有的采用等差递增,有的采用非等差递增。

2.分级有简有繁,最早的分级最繁,计为12个等级,较简的分级为3~5级,最少的分级为2级。当前分级的发展趋势是由繁到简。

3.有的分级指出舒适界限,有的虽未直接指出,但可从分级中间看出舒适与不舒适界限的大致范围。

4.有一些方法,如日本的松田法,其分级虽有感觉的描述,但无感觉的数量值。

5.各种方法中均有一个共同特点,即其分级中均有一些重要的感觉的界限值,如刚刚感到有眩光,刚刚感到不舒适,刚刚感到不能忍受等。

6.眩光的视觉分级,虽然分的级数各不相同,但都是从无眩光到眩光不能忍受的最大眩光之间的视感觉变化。这个变化范围的研究,相当于视功能实验中识别机率 $P=0\%$ (完全看不见)到 $P=100\%$ (完全看得见)的时候的视觉阈限范围的研究。前者是照明质量方面的视觉阈限,后者是照明数量的视觉阈限。它们都应该符合心理物理学的一些规律。即符合韦伯—费希诺定律。至于韦伯常数应该定多少,这也是心理学家感兴趣并值得探讨的课题。

根据以上的规律,结合我国具体情况,我们认为:

1.在制定我国眩光的限制标准时,应得出各种照明条件下眩光源亮度对人们主观感觉的影响,而且还应将这一感觉分级作为制定眩光限制标准的依据。

2.分级的原则应使被试者较易区别各种主观感觉,以便使各种感觉程度与眩光常数有准确的对应关系。

因此,我们在实验中选择了三级评价指标,即“刚刚感到有眩光”,“刚刚感到不舒适”,“刚刚感到不能忍受”。

为了检查我们的评价尺度是否合理而有规律,我们也选择了背景变亮现象和背景变暗现象的观察评价。

评价结果说明,二套评价指标是合理的,评价结果是有规律的,并且是一致的。

五、视觉的舒适与不舒适界限(BCD)

上一节论述了眩光视觉分级问题,而且已经了解到不管怎样分级,这些级数都是从无眩光到眩光不能忍受时的范围之内。如我们研究识别机率从 $0\%—100\%$ 范围一样,在这个 $0\%—100\%$ 的范围内,或选取 $P=50\%$,或选取 70% ,或选取 95% 定为视觉阈限。那么,在眩光的视觉分级范围内,也要确定视觉阈限。因为研究的是不舒适眩光,所以就要确定舒适与不舒适界限(简称BCD)。

在不舒适眩光研究中,关于BCD的研究是一个很重要的问题。只有确定BCD,才能

确定眩光各个物理参数之间的关系,从而才能确定眩光常数公式。

最早在Holladay (1926) 的眩光试验中,由公式

$$G = \text{Log} L_s + 0.25 \text{Log} \omega - 0.3 \text{Log} L_f \quad (2)$$

确定眩光常数 $G=1.9$,从而由公式(2)得到下式:

$$L_s = \frac{78 L_f^{0.3}}{\omega^{0.25}} \quad (3)$$

整个眩光常数变化范围是0.3~2.8。

二次世界大战以后,由于照明技术的发展,迫切要求解决照明中的不舒适眩光问题。许多学者都对BCD进行了研究,最有代表性的是R·Hopkinson的实验研究(1957年),见图3和图4,得出BCD值在A、B、C和D四个感觉等级的B和C值之间。

Hopkinson在1957年用上图确定BCD时,采用熟练观察者,当感觉舒适的人数占85%时,刚刚不舒适的等级B,眩光系数达到G值为150,而刚刚可以接受的C,其眩光系数G为35。因为取B级和C级间为BCD,所以BCD值定为70,见图3。

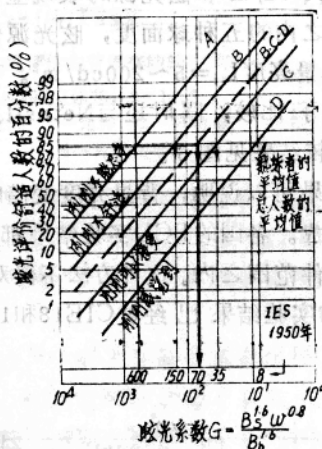


图3 舒适人数百分比与眩光系数关系
BCD值在B级和C级之间

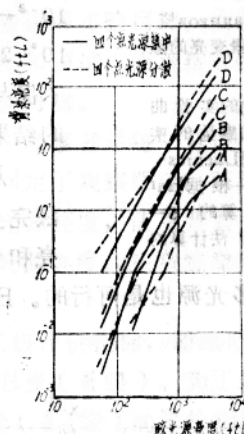


图4 眩光评价等级的比较

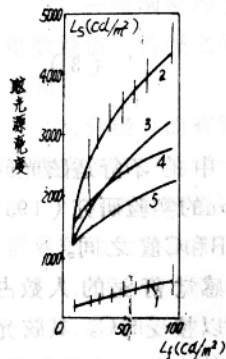
Hopkinson在1961年将眩光系数变为眩光指数GI。因此GI的变化范围为10—28,BCD时的GI值为19。

Guth在1963年提出的DGR(不舒适眩光值)变化范围为35—400,确定BCD的条件是DGR=120。总之,各个研究者都在从无眩光到眩光不能忍受的这个范围内,根据自己的实践经验而确定这个舒适与不舒适的心理物理界限。

BCD判断度是主观视感觉问题。但是能否较客观地判断,或者有些较客观依据的判断呢?Садиков(1959)提出了一个评价方法,叫做背景变亮和背景变暗现象感觉法。

此方法在试验开始时,使眩光源的亮度与背景亮度相同,然后逐渐增加眩光源的亮度,当亮度增加到一定程度时,观察者发现背景有些变亮,再继续增加眩光源的亮度达到一定程度时,观察者发现背景变暗。这时的眩光程度就达到了BCD的水平。Епанешников用此方法,请了七位观察者,对八种不同背景亮度的实验条件进行观察。其实验

条件是眩光源亮度 L_s 为 $80 \sim 10^4 \text{cd/m}^2$ ；眩光源的直径尺寸是 7.5cm ，眩光源仰角 $\theta = 10^\circ$ 背景亮度 $L_t = 2.5 \sim 90 \text{cd/m}^2$ 。实验结果见图5。



度背景亮
图5 根据Садиков资料背景变暗和背景变亮的感觉关系图

1—背景变亮感觉的实验曲线 2—背景变暗感觉的实验曲线 3—根据Luchies-Guth计算的 4—根据Harrison-Meaker计算的 5—根据Holladay方法计算的

图5说明了用Садиков的方法实验结果与Harrison-Meaker, Luckiesh-Guth和Holladay的实验结果是一致的，背景变亮感觉时的眩光源亮度值低于BCD的亮度值。说明背景变亮感觉出现在BCD之前。背景变暗感觉的眩光源亮度值高于或接近于BCD时的眩光源亮度值，说明背景变暗的感觉出现在BCD之后或在BCD附近。背景变暗感觉的这种明显的现象和规律，说明这种实验方法和评价指标是完全可行的。这种方法用来评价不舒适眩光的存在和BCD界限，对观察者来说是较为直观和有依据的。

为了研究这一评价指标的可靠性，Епанешников于1963年又全面地对这种方法进行研究。其实验条件是眩光源亮度 $L_s = 15 \sim 1.35 \times 10^4 \text{cd/m}^2$ ，眩光源的表现立体角在 $\omega = 10^{-2} \sim 3 \times 10^{-2}$ 球面度之内的五种球面度，眩光源仰角为 $\theta = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ 三种背景亮度 $L_t = 5 \sim 200 \text{cd/m}^2$ 。他的实验不仅与上述作者进行了比较，同时还与Netusil, Мешков的结果进行比较。比较结果见图6。

从图6的比较结果可以说明，背景亮度变暗的实验方法完全可行，而且可靠。各国的BCD实验结果都在背景变亮和变暗时的实验条件范围之内。这种方法不仅对单光源可行，而且对多光源也是可行的。Епанешников的实验结果已经被CIE18和19届大会所推荐。

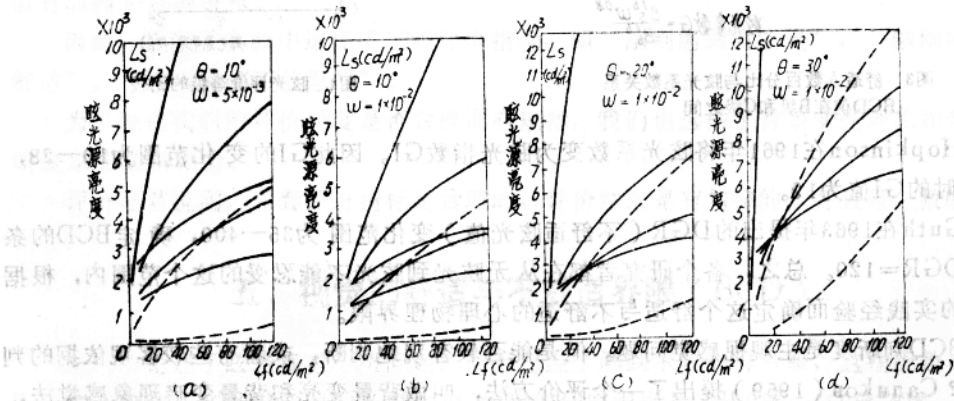


图6 $L_s = f(L_t)$ 对不同的立体角 ω 和不同位置时的实验和计算曲线

1—根据Мешков的计算 2—根据Netusil的计算
3—根据Harrison-Meaker的计算 4—根据Luchiesh-Guth的计算
5—根据Holladay的计算 6—背景变暗的感觉
7—背景变亮的感觉

Островский将这种方法应用于街道照明的眩光评价中，并将这种评价方法同时与四级主观评价结果进行比较，由于这种背景变暗感觉的评价有较明显的视觉现象，评价时有所依据，所以评价出明显的结果。只有6名观察者就够了。而四级主观评价法则选择24个人。实验结果见图7。从图可知，背景变暗感觉时的眩光源亮度值恰好就是BCD时眩光源亮度值。

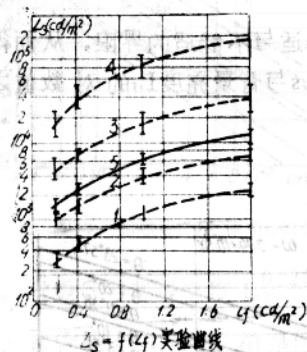


图7 主观评价和背景变暗的实际

$\omega = 1.5 \times 10^\circ$ 立体角; $\theta = 11.5$

1—刚刚感觉到 2—允许 3—不愉快 4—不允许 5—背景变暗

总之，关于不舒适眩光的评价，可以采用较为客观一些的、有较明显视觉现象的方法，即背景变暗的方法，这样就有一个较为一致的尺度评价眩光的存在程度和界限。

六、眩光常数公式的获得与分析

以上论述为眩光实验研究提供了基础。本节介绍我们从实验所获得的眩光常数公式。

实验前对观察者讲解实验目的、实验方法和注意事项，然后进行训练和预试，使观察者熟练地掌握实验方法，确保数据的可靠。

实验时，使每一观察者对每一背景亮度适应10分钟。观察者下唇固定在观察台座上的木托架上，从而固定了观察距离。观察者的视线是水平注视正前方的视标。试验时主试者控制和调节眩光源亮度，使与背景相同，然后慢慢增加眩光源亮度，让观察者用蜂鸣器报告对不同眩光源亮度的主观感觉程度，每一实验重复5~10次。

本实验为了便于观察者容易区别，采用简化的三级评价指标，即刚刚感到有眩光（I级）、刚刚感到不舒适（II级）、刚刚感到不能忍受（III级）。为了进行比较，本实验还采用了背景变亮感觉（I'级）和背景变暗感觉（II'级）的评价指标。

实验中采用递增系列最小变化法逐渐增加眩光源的亮度作为刺激。第一个实验中让观察者用蜂鸣器报告主观视觉的三个等级。在第二个实验中，实验开始时，使该光源的亮度与背景亮度相同。然后逐渐增加眩光源的亮度。当眩光源的亮度增加到一定程度时，观察者感到背景有些变亮，使人感到很舒适，再继续增加眩光源的亮度时，当你感到有眩光存在，很不舒适，这时觉得眼前一片发暗，即背景有些变暗。当上述二种视觉现象出现时，观察者用蜂鸣器报告。这时主试者记下所对应的眩光源亮度值。

实验结果按下式计算标准误差：

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (L_{si} - \bar{L}_s)^2}{n-1}$$

式中 L_{si} —第 i 次报告的眩光源亮度值 (cd/m^2)

$\bar{L}_s$ —观察者所回答的眩光源亮度平均值 (cd/m^2)

n —观察者回答的次数。

如果某一次所报告的数值与算术平均值的偏差大于26时,这个数值就认为是不准确的。

图8是眩光源表现立体角 $\omega=0.74 \times 10^{-3}$ 球面度,仰角 $\theta=23^{\circ}57'$ 的条件下,眩光源亮度与背景亮度的关系图。由图可知,实验一中的三级评价指标中的I和II级与实验二中的二级评价指标中的I'和II'级是一致的。由此可知,采用任何一种评价指标都是可行的。

在本实验中采用实验一中的第II级作为眩光感觉的舒适与不舒适的界限,从而得到在本实验研究的参变量范围内,当BCD时的眩光源亮度 L_s 与背景亮度 L_f 的对数值之间是线性关系,见图9。

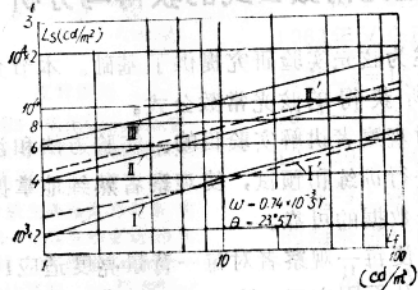


图8 两种实验评价指标比较图

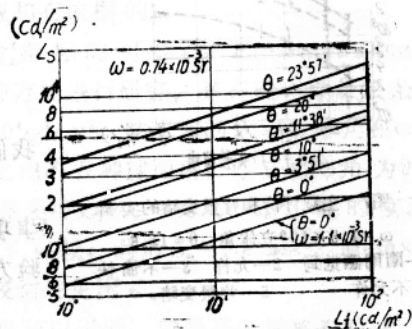


图9 眩光源亮度与背景亮度的关系

从图9的关系曲线,可以得出下列关系式:

$$\text{Log } L_s = C \text{Log } L_f + \text{Log } C_1 \quad (5)$$

式中 C ——这一束直线的斜率;

C_1 ——与眩光源表现立体角 ω ,仰角 θ 有关的函数

通过方程(5)得到 $C=0.28$ 。因此得到眩光源亮度 L_s 与背景亮度 L_f 的关系式

$$L_s = C_1 L_f^{0.28} \quad (6)$$

并且当 $\omega=1.1 \times 10^{-3} \text{sr}$, $\theta=0^{\circ}$ 时,方程(6)可写成:

$$L_s = 590 L_f^{0.28} \quad (7)$$

下面计算 C_1 与 ω 的关系。从式(6)可知, C_1 即 $L_f=1 \text{cd/m}^2$ 时的眩光源亮度值。为此再作出 $\omega=3 \times 10^{-3}$ 和 10×10^{-3} 球面度的眩光BCD实验,实验结果见图10,从图10可以得到下式

$$\text{Log } C_1 = -b \text{Log } \omega + \text{Log } C_2 \quad (8)$$

式中 b ——这一束直线的斜率;

C_2 ——与眩光源位置 θ 有关的函数。

从式(8)可以计算出 $b=0.63$ 。

因为 C_2 是 θ 的函数,所以假设

$$C_2 = GP(\theta) \quad (9)$$

式中 $P(\theta)$ 为眩光源的位置函数, G 为眩光常数。因此方程(6)可以写成

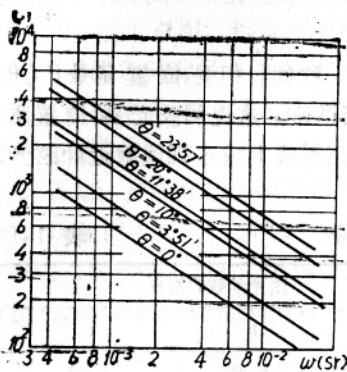


图10 常数 C_1 与立体角 ω 的关系

的。常数 G 与背景亮度 $L_f^{0.28}$ 成反比例,即背景亮度越高,眩光作用越小。此规律也与国际上其它公式相一致。但是国际上的常数 C 均在 $0.30 \sim 0.66$ 范围内,见表1。本实验常数 $C=0.28$,说明在眩光的BCD条件下,眩光源亮度随着背景亮度的增加而增加得缓慢,见图12。

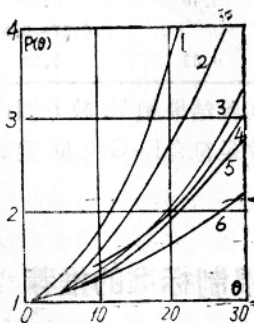


图11 眩光源位置函数的比较

- 1—本实验 (1980)
- 2—Harrison-Meaker (1947)
- 3—Luckiesh-Guth (1949)
- 4—佐佐木, 室井 (1979)
- 5—Епанешников (1963)
- 6—Netusil (1959)

$$G = \frac{L_s \omega^{0.63}}{L_f^{0.28} P(\theta)} \quad (10)$$

采用 $\theta=0^\circ$ 时, $P(\theta)=1$, 由此可以决定眩光常数。将常数 G 代入方程(10)可以计算眩光源的位置函数 $P(\theta)$, 计算结果如图11中曲线1。

到此为止, 由实验求得眩光常数公式中的 $a=1$ 、 $b=0.63$ 、 $C=0.28$ 、 $P^d=P(\theta)$ 。

讨论分析:

眩光常数 G 与眩光源亮度 L_s 的一次幂成正比, 表明眩光作用随眩光源亮度同样程度的增加。这种关系与国际上其它眩光公式是一致的。

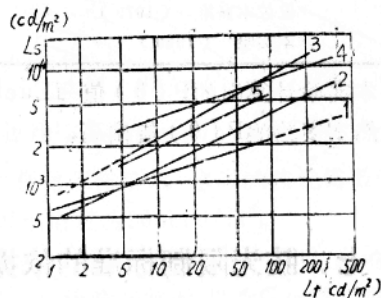


图12 眩光源BCD亮度与背景亮度关系的比较

1. 本实验 (1980)
[$\theta=0^\circ$ $\omega=1.1 \times 10^{-3}$ 球面度]
2. Luckiesh-Guth (1949)
[$\theta=0^\circ$ $\omega=1.1 \times 10^{-3}$ 球面度]
3. Епанешников (1963)
[$\theta=0^\circ$ $\omega=1.0 \times 10^{-3}$ 球面度]
4. 长南市川 (1966)
[$\theta=0^\circ$ $\omega=1.1 \times 10^{-3}$ 球面度]
5. 佐佐木室井 (1979)
[$\theta=0^\circ$ $\omega=1.1 \times 10^{-3}$ 球面度]

图12说明, 当背景亮度为 1 cd/m^2 时, 本实验能忍受的眩光源亮度值稍大于Luckiesh-Guth的实验值。而当背景亮度为 100 cd/m^2 时, 本实验能忍受的眩光源亮度值就低于其它国家的数值, 即高背景亮度的条件下, 我们不能忍受较高的眩光源亮度。

眩光作用与眩光源的表现立体角 ω 成正比例, 这与国际上是一致的。但常数 $b=0.63$, 比国际上的眩光公式中的 b 值偏高, 见表1。其它国家的常数 b 在 $0.25 \sim 0.50$ 之

间。 b 值较高说明眩光作用随眩光源表现立体角 ω 的增加而迅速增加,即我们不适应较大面积的光源的眩光作用。

眩光作用与 $P(\theta)$ 成反比例。这一关系是与国际上一致的。但是位置函数 $P(\theta)$ 值随 θ 角的增加而增加得较快,这时眩光作用下降得也较迅速。这说明眩光源位置离开视线较远一些时,眩光作用立刻下降许多。因此,只有在视线上或在视线附近的眩光源的眩光作用对我们才较明显。

各国眩光公式中幂指数比较表

表 1

研究 者	眩光参数的指数		
	a	b	c
1 Holladay (1926)	1	0.25	0.30
2 Luckiesh-Guth (1949)	1	0.33	0.44
3 Harrison-Meaker (1947)	1	0.50	0.30
4 市川宏, 长南常男 (1966)	1		0.33
5 Netusil (1956)	1	0.40	0.50
6 Hopkinson (1940)	~ 1	0.50	0.62
7 Vermuelen (1951)	1	0.30	0.60
8 Arndt, Bodmann, Meck	1	0.33	0.66
9 Yepaneshnikov (1963)	1	0.50	0.50
10 CIE 3.1.1.2.会议 (1959)		0.40	0.60
11 佐佐木嘉雄 (1979)			0.57~0.60
12 本实验 (1980)	1	0.63	0.28

将本实验计算出的 $P(\theta)$ 值与Luckiesh-Guth等人的实验结果相比较(图11)可知,显然本实验的 $P(\theta)$ 值偏高,但可以认为此 $P(\theta)$ 函数是符合L-G的位置函数规律的。

七、眩光限制标准的依据和对我国眩光限制标准的推荐

根据眩光常数公式,能够制定出眩光限制标准。应用不同的方法制定出眩光限制标准,并已编制在各国的照明设计标准中,例如CIE和澳大利亚限制眩光的亮度值,西德等欧洲国家作出限制亮度图表,称为亮度曲线法(LC法)。英国和苏联等国家用规定眩光指数值来限制眩光,称为眩光指数法。这些方法实质上都是对眩光公式的灵活应用,只是所采用的具体办法不同而已。

在编制我国眩光限制标准中,我们认为直接限制眩光的亮度值更便于实际应用。因此,下面采用作图法求出眩光源的亮度值。

根据实验结果可以得到,当 θ 角为某一常数时, $P(\theta)$ 值为一常数。这一点从位置指数图上也可以看到。因此,我们可以作一个综合图,将 C_1 与 ω 关系图10上的纵座标换成为 $L_s/P(\theta)$ 值。该图的总座标本来就是 $L_1=1\text{cd}/\text{m}^2$ 时的眩光源亮度值 L_s 。因此,这一组直线就变成了一条直线。即 $\theta=0^\circ$ 时的直线。要想求得眩光源的亮度 L_s 值,只要在图13上查得 $\theta=0^\circ$, $L_1=1\text{cd}/\text{m}^2$ 直线上的纵座标 $L_s/P(\theta)$ 值,乘以 $P(\theta)$ 函数值,就可以得到任意 θ 角条件下的眩光源亮度值。

用同样的方法也可以得到背景亮度 L_b 为 2cd/m^2 , 5cd/m^2 …… 100cd/m^2 时的 $L_s/P(\theta)$ 与 ω 的关系图, 将这些结果画在同一个图内, 就得到了图13的一组直线图。从而也可以得到任何背景亮度条件下, 任何 θ 角时的眩光源亮度值。

从图13中查得 $L_s/P(\theta)$ 值后, 要在图14中再查得 $P(\theta)$ 函数值, 就可以计算出眩光源的亮度值。

例如, 荧光灯的表现立体角按 $\omega = 1.9 \times 10^{-3}$ 球面度考虑。在背景亮度为 10cd/m^2 时, 从图13中查得 $L_s/P(\theta) = 800$ 。当 $\gamma = 70^\circ$, 即 $\theta = 20^\circ$ 时, 在图14的右上角可看到 $y/w = 0$, $H_e/W = \arctg 20^\circ = 0.36$ 。于是, 在图14中可查得 $P(\theta) = 4$, 所以眩光源亮度值 $L_s = 4 \times 800 = 3200\text{cd/m}^2$ 。

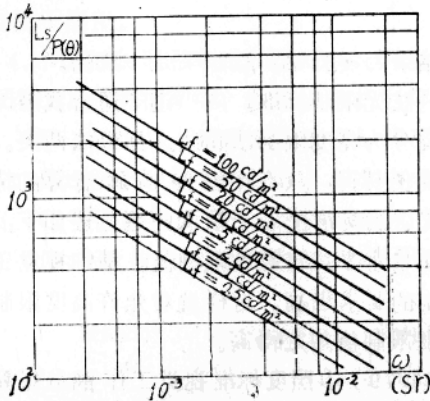


图13 计算眩光源亮度的解析图

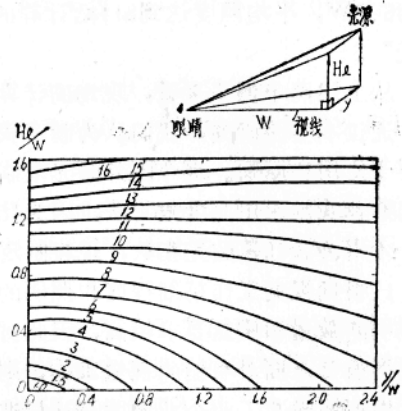


图14 眩光的位置指数 $P(\theta)$ 图(本实验)(1980)

将此条件下的眩光源亮度作为对一级眩光的视觉工作要求, 这时的眩光常数 $G = 8$, 眩光感觉为BCD条件。因此, 一级眩光的亮度限制值定为 3000cd/m^2 。

其它等级的眩光常数, 则按Weber比例常数 $\gamma = 2$ 增加, 因此, 二级眩光的眩光常数定为 $G = 16$, 眩光感觉定为不舒适。依此类推, 三级眩光常数定为 $G = 32$, 眩光感觉为刚刚不能忍受。

一般情况下, 高压汞灯都用在三级眩光的视觉工作中, 高压汞灯的表现立体角按 $\omega = 0.18 \times 10^{-3}$ 球面度考虑, 背景亮度定为 1cd/m^2 时, 从图13上查得眩光源的亮度限制值应为 29000cd/m^2 , 因此, 三级眩光亮度限制值定为 30000cd/m^2 , 见表2。

从表2看到, 本研究推荐的最低亮度限制值定为 3000cd/m^2 , 这与我国大部分荧光灯灯具的平均亮度值是相适应的。据统计, 我国大部分荧光灯灯具在 $\gamma = 70^\circ$ 角处的亮度值范围为 $1400 \sim 4400\text{cd/m}^2$, 平均为 2930cd/m^2 。因此, 本研究推荐的标准将要求改进和淘汰一部分荧光灯灯具。

与国外比较, CIE室内照明指南规定的最小亮度限制值为 1100cd/m^2 , 澳大利亚眩光限制标准中规定的最小亮度限制值为 1500cd/m^2 。本研究推荐的最低亮度限制值比上述两个标准的要求略低一些。

表2中限制的最高亮度值为 30000cd/m^2 。据统计在11种高压汞灯和高压钠灯灯具中, 在 $\gamma = 70^\circ$ 角处的亮度范围为 $18000 \sim 55000\text{cd/m}^2$, 大部分亮度在 30000cd/m^2 以下,

按本研究推荐的亮度限制要求,应该改进和淘汰一部分灯具。另外,还有几种卤钨灯灯具,如果在厂房内使用,也必须改进。与CIE室内照明指南中规定的 $\gamma=65^\circ$,Ⅲ级粗糙视觉工作时 $L_s=38000\text{cd/m}^2$)相比较,这个值还不算太高。

为了了解我国工业企业车间照明眩光的现状,我们对北京地区的一些工厂进行了调查实测。实测调查的内容分为两个方面,即测量、计算和评价。计算结果,如北京日化三厂包装车间,在 $36\times 15\text{m}^2$ 的车间内安装简易工厂罩的 $2\times 40\text{W}$ 荧光灯具28套,安装高度为3.9米,单位面积耗电量为4.15W,平均照度达到108lx,计算的眩光常数为 $G=17$ 。主观评价结果为“刚刚感到不舒适”。又如北京第二汽车厂大冲车间,在 $60\times 24\text{m}^2$ 的车间内安装在450W(自镇流)深照型高压汞灯21套,安装高度为10m,单位面积用电量为6.9W,平均照度达到81lx,计算的眩光指数为 $G=34$,主观评价结果为“刚刚不能忍受”。

从上述两个例子来看,现场的计算和评价结果与实验室实验结果是一致的。

通过本实验研究,我们认为制定我国照明的眩光限制标准,应当遵守适合我国国情和便于使用的原则。现今国外眩光限制系统主要分为亮度限制法和眩光指数法两类。本研究推荐我国采用亮度限制法,因为此法比较简便易行,只有在需要精确计算的情况下,才用公式计算眩光指数,现将制定我国眩光限制标准的若干技术问题分述如下:

1.根据视觉工作精细程度和照明的数量及质量水平规定亮度限制值。精细视觉工作对照明的数量和质量要求较高,因此对眩光限制的要求也高。这样就对允许高度限制值规定得很低,而对粗糙的视觉工作,则允许亮度限制值规定得高。

根据我国《工业企业照明设计标准》(TJ34-79)中照度标准视觉工作的分级划分眩光标准如表2所示三级:一级为一般照明的照度在 $200\sim 75\text{lx}$,这一级视觉工作的要求高,包括照度标准的Ⅱ—Ⅳ级;二级是一般照明照度为 $50\sim 30\text{lx}$,属于一般的视觉工作,包括照度标准的Ⅴ级和Ⅵ级;三级是一般照明为 20lx 以下的,属于较粗糙的视觉工作,包括照度标准Ⅶ级以下的各等级。

眩 光 亮 度 限 制 表 表 2

眩光 分级	照度标准		眩光常数	亮度限制值 (cd/m^2) $\gamma=70^\circ$
	视觉分级	照度(lx)		
一	Ⅱ~Ⅳ	$200\sim 75$	8	3000
二	Ⅴ~Ⅵ	$50\sim 30$	16	10000
三	Ⅶ以下	20以下	32	30000

按照照度标准值进行照度计算和现场调查的结果,初步确定三级背景亮度,分别为10、5和 1cd/m^2 ,相应的眩光常数和亮度限制值一并列于表2的右侧。

2.亮度限制值的等级可按下列数值分级:1、1.5、2、3、5、7.5、10、15、20和30 kcd/m^2 ,各级之间的差为1.33~1.5倍,与《工业企业照明设计标准》中各级间的照度级差倍数相同。

3.规定灯具与下垂线成 $\gamma=70^\circ$ 处的亮度限制值。《CIE室内照明指南》和澳大利亚的《AS·1680~1979规范》中规定出 γ 角为4种,即 55° 、 65° 、 75° 和 85° 处的光源亮度值。但本研究却建议规定一种角度的光源亮度值,只要查出所用灯具的亮度分布曲线,

即可了解是否满足眩光限制的要求。如果规定四种角度的亮度限制值,那么要找到四个角度均适合于亮度限制要求的灯具也是有一定困难的。本研究建议规定 $\gamma=70^\circ$ 角处的亮度限制值,其原因有四:

(1) 从本研究的实验室实验可知,当眩光源位于 $\theta=20^\circ$ ($\theta=90^\circ-\gamma$) 仰角以上时,眩光作用明显下降;

(2) 根据西德Bodmann和D.Fischer的实验研究,当 $\gamma=75^\circ$ 时,眩光不起作用。

(3) 便于设计人员使用,可从灯具的配光曲线直接查出 $\gamma=70^\circ$ 方向的亮度值,便可确定该灯具是否满足眩光限制的要求;

(4) 澳大利亚1957年标准规定 $\gamma=70^\circ$ 处的亮度,其后1976年标准改为规定四个角度的亮度值,而1980年澳大利亚的J、C、Lowson又认为规定 $\gamma=70^\circ$ 的亮度仍然合适,更加便于使用。

4. 不分细长型和非细长型灯具,只规定 C_0 平面上的 $\gamma=70^\circ$ 角处的亮度值。

在CIE照明指南中,规定出细长型灯具和非细长型灯具。所谓细长型灯具是指长宽比大于2:1的灯具。根据我国的实际情况,荧光灯属于细长型灯具,而白炽灯、高压汞灯等灯具均属于非细长型灯具。标准中只建议规定 C_0 平面内的 $\gamma=70^\circ$ 角的亮度限制值,是因为 C_0 平面的亮度最大。例如荧光灯灯具,如果满足 C_0 平面的眩光限制要求时,则 C_{90} 平面的亮度值也就满足要求,参见图15。

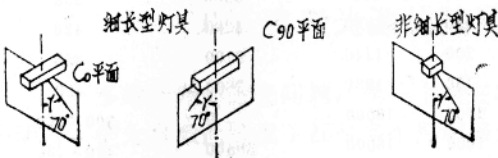


图15 灯具 C_0 平面和 C_{90} 平面的位置

限制值不论对亮侧面灯具或是暗侧面灯具均能满足要求,即暗侧面灯具满足此要求时,亮侧面灯具也一定能满足。

6. 在工业企业常用的灯具中, $\gamma=70^\circ$ 的亮度值可从附表中查出。在设计各种等级的视觉工作照明时,可根据表2的亮度值选择合理的灯具。对于截光型灯具,除满足上述的亮度限制要求外,还应用保护角的大小来限制眩光。

规定灯具所需要的保护角,主要取决于以下因素:

1. 视觉工作的精细程度及其所要求的照度水平;
2. 灯具的平均亮度;
3. 灯的光通量;
4. 照明器的悬挂高度。

为了便于与表2统一,视觉工作也分为三级。由于我国灯具的平均亮度没有超过 500 kcd/m^2 的,最大亮度只有 55 kcd/m^2 ,所以本研究推荐只分为两种情况来限制保护角。

由光通量一览表(表3)可知,我国常用光源的光通量大部分为 30000 lm ,而且效率低于国外同类光源,只有 2 kW 卤钨灯和 400 W 高压钠灯稍大于 30000 lm ,而且这些灯很

5. 不分亮侧面和暗侧面的灯具。

在CIE室内照明指南中规定有亮侧面灯具和暗侧面灯具。暗侧面灯具是指在水平方向看灯具时发光面投影面高度小于 0.03 m ,或者亮度小于 750 cd/m^2 的灯具。本研究推荐的亮度