

文章编号:1007-2780(2010)03-0444-05

周围环境对人眼对比度敏感视觉特性的影响

姚军财¹, 申 静², 任亚杰¹, 何军峰¹, 谭 毅¹

(1. 陕西理工学院 物理系, 陕西 汉中 723000, E-mail: yjc4782334@yahoo. com. cn;
2. 陕西理工学院 计算机科学与技术系, 陕西 汉中 723000)

摘 要: 采用同一设置的阴极射线管显示器显示目标光栅, 测量了在暗室、3 种常见照明灯光和室内自然环境条件下的人眼对比度敏感视觉阈值, 获得了日常生活环境下的人眼对比度敏感函数, 测量结果与国外测量结果进行了比较和讨论, 全面地研究了人眼对比度敏感视觉特性受环境亮度的影响。
关 键 词: 对比度敏感; 环境亮度; 阴极射线管显示器; 空间频率
中图分类号: O432. 2; TP334 **文献标识码:** A

Effect of Ambience Luminance on Luminance Contrast Sensitivity of Human Vision System

YAO Jun-cai¹, SHEN Jing², REN Ya-jie¹, HE Jun-feng¹, TAN Yi¹

(1. *Department of Physics, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China, E-mail: yjc4782334@yahoo. com. cn;*
2. *Department of Computer Science and Technology, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China*)

Abstract: The contrast detection threshold under the darkroom, three kinds of common lamplights and the room natural environment are obtained by viewing the gratings displayed on a CRT with the same parameter. CSF of human vision system under daily life environment is obtained. Measurement results are compared with foreign previous ones. The effect of environment brightness on the contrast sensitivity of human vision system is studied.
Key words: contrast sensitivity; ambience luminance; cathode ray tube display; spatial frequency

1 引 言

随着计算机、网络和数字技术的发展, 显示器成为图像信息最主要的载体, 基于显示器的图像技术有着更广泛的应用, 而人眼视觉系统特性是图像显示、处理、理解等技术的理论基础, 所以, 用显示器测量和研究人眼对比度敏感特性有着重要的实际应用价值^[1-7]。
对比度敏感是描述视觉系统空间特性的主要

指标之一。对比度敏感函数(Contrast Sensitivity Functions, CSF)是反映不同条件下的对比度敏感即对比度觉察阈值的倒数与空间频率之间的关系。人眼对比度敏感数据的测量是一个心理物理学实验过程, 测量的准确程度受到多种因素影响, 如实验环境、显示仪器性能、测量仪器精度、实验方法、实验者等, 而实验环境是影响对比度敏感程度至关重要的因素^[1-7]。从 20 世纪 50 年代开始, 人们对亮度和色度对比度敏感的测量方法及其数

据的理论分析做了大量研究^[1-14]，但是其测量都是在暗室环境下进行的。近些年来，Cox, Webster, Norman 等人对实验环境对人眼对比度敏感的影响做了部分研究。Cox 和 Norman 通过用投影的方式显示目标光栅，在 6 种环境亮度条件下，对人眼对比度敏感函数进行了测量^[1]；Webster 在户外 3 种自然环境条件下对人眼对比度敏感函数进行了测量^[2]。结果表明，在不同环境下测量的对比度觉察阈值有较大的不同。但是，以上测量结果都是用不同的仪器研究了某一个别环境的影响，并没有统一采用同一台仪器和设置参数，其测量环境条件也不同于日常生活常见的环境条件；另外，以上测量均是采用光学装置产生条纹和精确控制条纹对比度，不仅实验系统设计复杂，且对比度控制也不方便。

本实验采用同一设置的阴极射线管(CRT)显示器显示目标光栅，测量了在暗室、3 种常见照明灯光和室内自然环境条件下的人眼对比度敏感觉察阈值，获得了日常生活环境下的人眼 CSF，全面地研究了人眼对比度敏感视觉特性受环境亮度的影响。

2 实验仪器和实验参数

2.1 实验器材及性能

(1) CRT 显示器：SONY-G520，53 cm (21 in)，已使用 2 年，约 4 500 h，基本保持新机状态；

(2) 图像采集卡：Matrox Millennium P650 10 bit 数字彩色显示型实时图像采集卡，该卡图像清晰、稳定；

(3) 屏幕亮度计(photometer)：北京师范大学光电仪器厂生产的 ST-86LA 型屏幕亮度计，测量范围为 0.01~19 990 cd/m²；

(4) 屏幕色度计(colorimeter)：美国 X-Rite 公司 Color Monitor optimizer。

2.2 实验参数及实验条件

2.2.1 实验参数

- (1) 条纹形状：矩形竖条纹；
- (2) 条纹大小：8.5 cm×8.5 cm；
- (3) 条纹视角：2.434 7°；
- (4) 条纹平均亮度：10, 60, 90 cd/m²；
- (5) 条纹空间频率：0.41, 0.82, 1.23, 1.97, 3.08, 3.79, 4.93, 7.04, 9.86, 16.43, 24.64 cpd (周/度)，共 11 个空间频率；

(6) 显示器白场设置：D65 实测值 $x = 0.312\ 2, y = 0.329\ 2, Y = 100.36$ ，亮度调节范围为 0~176.8 cd/m²；

(7) 条纹背景：灰背景接近 D65 白场， $x = 0.313\ 3, y = 0.330\ 1, Y = 27.6\ \text{cd/m}^2$ 。

2.2.2 实验条件

(1) 暗室：墙壁标准灰的暗室，只有显示器屏幕产生的照度；

(2) 室内灯光环境：环境亮度为 25.6, 46.3, 61.3, 77.5, 117.2 cd/m²；

(3) 室内白天自然环境：环境亮度为 11.3~14.9 cd/m² 和 38.3~52.6 cd/m²；

(4) 实验者到显示屏距离：2 m；

(5) 测试者：男 17 人，女 4 人，年龄在 23~30 岁之间，视力正常或经过校正后都在 1.2 以上。

3 实验方法与实验结果

3.1 实验方法

人的视觉是基于物体表面亮度和色度的对比度来进行识别的，但是周围环境对人眼的识别有很大的影响^[9]。人类日常生活的周围环境一般有暗环境、灯光环境和自然光环境，实验将主要从这 3 个方面来讨论周围环境对人眼对比度敏感的影响。具体实验内容包括：

(1) 暗室环境下的人眼 CSF 的测量；

(2) 3 种灯光环境下的人眼 CSF 的测量；

(3) 两种自然光环境下的人眼 CSF 的测量。

人眼对比度觉察阈值的测量是根据人的视觉系统结构和韦伯定理，采用心理物理学测定阈值的方法进行测定的，即目标刚能为人眼觉察时所需要的最低调制度^[10]。实验采用明暗相间条纹的矩形波光栅作为观察目标，对于亮度光栅，对比度采用 Michelson 对比度定义^[5]：

$$C_L = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L} \tag{1}$$

其中： $L_{\max} = L + \Delta L$ 和 $L_{\min} = L - \Delta L$ 分别为光栅明暗条纹的亮度， $L = (L_{\max} + L_{\min})/2$ 为光栅的平均亮度。

实验采用显示器显示目标光栅来测量人眼对比度觉察阈值，需要达到以下要求：

- (1) 显示器可以实现的对比度要低于人眼对比度觉察阈值(观测距离为 1 m 时，最小阈值为 0.003^[10])；

(2)显示器显示条纹的亮度对比度的精确控制。

为了达到以上要求,实验中采取了以下措施:

(1)CRT 特性化预测产生约平均亮度所需要的 RGB 数字量(指 $R=G=B$);

(2)对 RGB 值左右间隔 1 亮度块进行实际测量;

(3)一般计算机所采用的三通道分别为 8 bit 的图像显示卡不能满足要求,在本实验中采用三通道分别为 10 bit 的显示卡,则 RGB 值间隔 1 之间可以显示 3 个值,这个小范围的显示亮度值采用线性插值的方法得到;

(4)保持光栅的平均亮度相同,任意两个亮度结合生成条纹。

结果表明,10 bit 显卡的 CRT 显示器可以实现亮度的最小对比度达到 0.002 2,完全可以满足测量人眼亮度对比度阈值的要求。

测定人眼对比度觉察阈值用心理物理学中的极限调整法。被测试者暗适应 30 min 后(每次测量时每人都必须要暗适应 30 min),在 2 m 处观察显示器显示的目标光栅。像场的平均亮度、目标光栅的对比度和空间频率分别通过预先做好的图片来进行自行调节。实验时,选取目标光栅的空间频率,被试者自行调节目标光栅的亮度和目标光栅的对比度以觉察目标,一次逐渐增大对比度到刚好能看见条纹,一次逐渐降低至条纹刚好看不见,取其平均为一次对比度觉察阈值。实验时对每个亮度测量 3 次,全过程重复测一次。求其平均值作为这一频率光栅在不同亮度下的对比度觉察阈值。通过对 21 位观测者的测量,获得以下结果。

3.2 实验结果

图 1 是在 3 种灯光环境下对 11 位观察者进行实验测试,得到的人眼对平均亮度为 60,90 cd/m² 光栅的对比度敏感与空间频率间的关系曲线,3 种灯光环境亮度分别为 46.3, 61.3, 117.2 cd/m²。

图 2 是在室内两种自然光环境下对 11 位观察者进行实验测试,得到的人眼对平均亮度为 60, 90 cd/m² 光栅的对比度敏感与空间频率间的关系曲线。室内两种自然光环境亮度分别为 11.3~14.9 cd/m² 和 38.3~52.6 cd/m²。

图 3 是在暗室环境下对 21 位观察者进行实

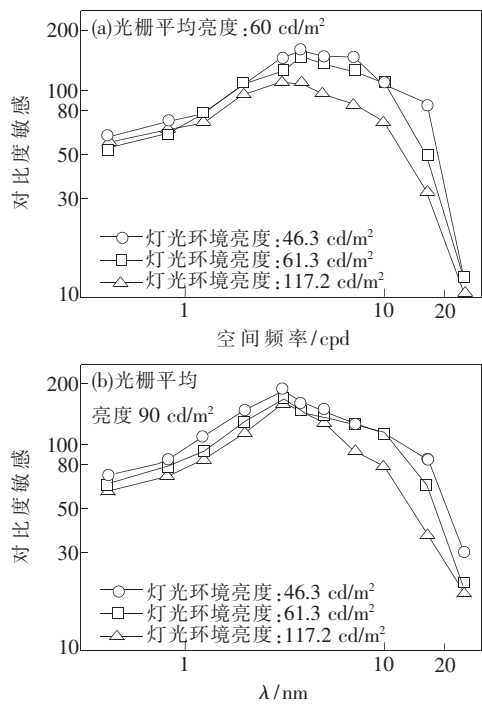


图 1 3 种灯光环境下人眼对平均亮度为 60, 90 cd/m² 光栅的对比度敏感测量结果。

Fig. 1 Contrast sensitivity of HSV on the grating of mean luminance of 60, 90 cd/m² measured under lamplights condition.

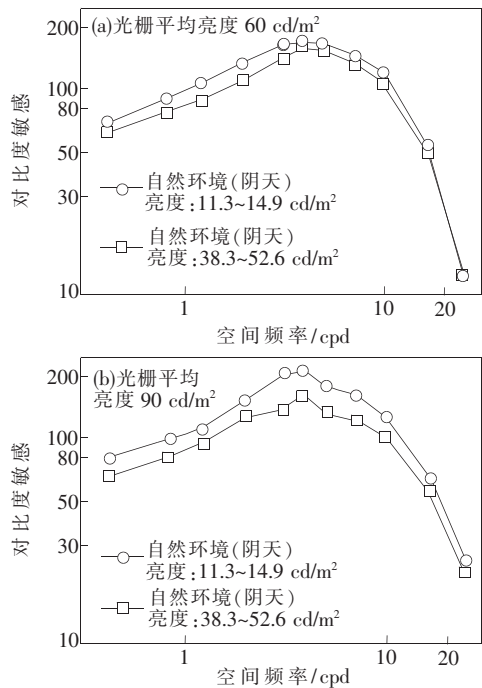


图 2 自然光环境下人眼对平均亮度为 60, 90 cd/m² 光栅的对比度敏感测量结果。

Fig. 2 Contrast sensitivity of HSV on the grating of mean luminance of 60, 90 cd/m² measured under natural condition.

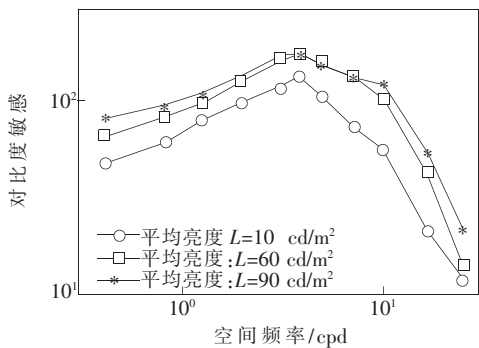


图 3 暗室环境下人眼对 3 种平均亮度光栅的对比度敏感测量结果

Fig. 3 Results of contrast sensitivity of HSV on the grating of three kinds of mean luminance measured under dark room

验测试,得到的人眼对 3 种平均亮度光栅的对比度敏感与空间频率间的关系曲线,3 种平均亮度分别为 10, 60, 90 cd/m^2 。

对比分析图 1、图 2 和图 3 的测量结果可以发现,曲线的形状、变化趋势基本一致,但也存在较大的不同,主要表现在:

(1)对应相同的频率,在暗室、室内自然环境和灯光条件下的人眼对比度敏感值依次减小。

(2)空间频率处在中间时,3 种灯光环境下和室内自然环境下的对比度敏感值波动较大,环境亮度影响较大;处在两端时,波动较小,环境亮度影响较小,且 3 种灯光环境下的对比度敏感值波动程度比室内自然环境下的更厉害。

(3)空间频率在 3.08, 3.79, 4.93, 7.04 cpd (周/度)时,暗室条件下的人眼对平均亮度为 60 cd/m^2 和 90 cd/m^2 目标光栅的敏感值几乎相同;但在灯光环境下和室内自然环境下,人眼对平均亮度为 90 cd/m^2 的目标光栅的敏感值明显比 60 cd/m^2 的大。其原因主要有以下几点:

①灯光或自然光下观察图片时,显示屏对外界光有反射作用,使人眼感觉到图片变亮,使式(1)中的 L_{max} 和 L_{min} 都增加,但是, L_{max} 和 L_{min} 的差值保持不变,则实际的图片对比度比没有灯光或自然光反射下的对比度(即暗室条件下测得的对比度)要小,而实际的对比度觉察阈值不可能得到,只能按照预先做好的图片的对比度值来计;而且实验表明,观看环境亮度越大,图片的反射越强,觉察阈值越大,对比度敏感值越小。

②结合前人的研究^[1-10],同一环境下,人眼对比度觉察阈值随着平均亮度的增加有所减小,但因平均亮度的增加而减小的对比度觉察阈值在一定程度上补偿了受环境光反射影响增加的阈值,且整个阈值仍比暗室环境下的要大。

③从实验的观测过程中发现,环境亮度越大,明暗条纹均发白,条纹的对比度变得越模糊,对比度觉察阈值就会变大;且同等亮度的自然光比日光灯柔和,在室内人眼易接受;自然光环境亮度与光栅背景亮度 27.6 cd/m^2 接近,在实验观测过程中,人眼感觉到的受刺激程度不大;所以,整体上比在灯光环境下的对比度敏感值波动相对较小。

④根据前人研究的结果^[1-10],人眼对空间频率为 5 cpd 附近的目标最敏感,即人眼对中间频率光栅敏感程度高,对高频和低频敏感程度较低,所以人眼对中间频率光栅的敏感值波动大,而对高频和低频的波动小。

4 讨 论

到目前为止,用显示器对人眼对比度敏感的测量和研究还比较少。近年来, Cox, Webster, Norman 等人对实验环境对人眼对比度敏感的影响做了部分研究^[1-7],图 4 是其采用光学方法以正弦条纹作为目标光栅观测不同灯光环境亮度条件下人眼对比度敏感的实验结果^[1]。

本实验选择人眼较敏感的空间频率 1.23, 3.79, 16.4 cpd 做成平均亮度为 60 cd/m^2 的光栅,用灯光控制和改变环境亮度,环境亮度为:25.6, 46.3, 61.3, 77.5, 117.2 cd/m^2 ,得到对比度敏感与环境亮度间的关系曲线,如图 5 所示。对比分析图 4 和图 5,可以发现两者的实验结果基本一

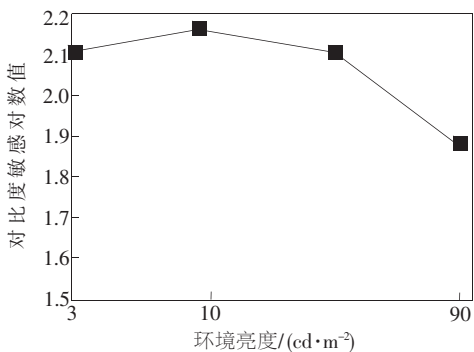


图 4 Cox 等人测量得到的对比度敏感随环境亮度变化的实验结果

Fig. 4 Contrast sensitivity of HSV changed with surrounding luminance measured by Cox

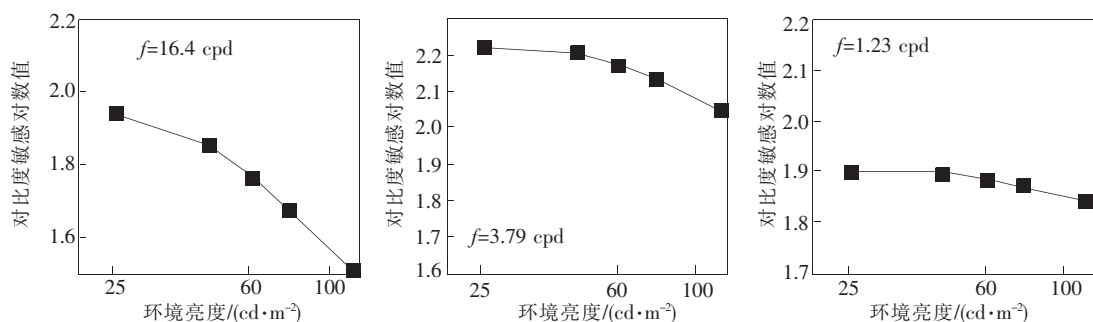


图 5 人眼对空间频率为 1.23,3.79,16.4 cpd 光栅的对比度敏感随灯光环境亮度变化的关系曲线。

Fig. 5 Contrast sensitivity of HSV with the grating of spatial frequencies of 1.23,3.79,16.4 cpd changed with lamp-lights surrounding luminance.

致,但是对比度敏感值稍有不同,主要的原因可能在于:

(1)空间频率不同,人眼的敏感程度就不同,但是 Cox 等人的报道中没有给出对应的频率。

(2)Cox 等人的实验采用投影的图片作为观测目标,用不同亮度的灯光照射改变环境亮度的方法来进行测量和研究;而本实验是采用显示器显示目标光栅。

5 结 论

通过采用同一设置的阴极射线管显示器显示

目标光栅,测量了在暗室、3 种常见照明灯灯光和室内自然环境条件下的人眼对比度敏感视觉阈值,获得了日常生活环境下的人眼对比度敏感函数,研究了环境亮度对人眼对比度敏感视觉特性的影响。将测量结果与国外测量结果进行了比较和讨论,表明本实验结果更全面地反映了环境亮度对人眼对比度敏感视觉的影响情况。对于环境对人眼对比度敏感的影响,因为涉及到人的生理和心理视觉等多方面的因素,所以其研究是非常复杂的,到目前为止,尚没有详细的相关报道,但是这方面的研究具有重大的理论和应用价值。

参 考 文 献:

- [1] Cox Michael J, Norman Joanne H, Norman Peter. The effect of surround luminance on measurements of contrast sensitivity [J]. *Ophthal. Physiol. Opt.*, 1999, 19(5):401-414.
- [2] Webster Michael A. Contrast sensitivity under natural states of adaptation [J]. *SPIE*, 1999, 3644:58-70.
- [3] Petrov Yury. Luminance correlations define human sensitivity to contrast resolution in natural images [J]. *J. Opt. Soc. Am. A.*, 2005, 22(4):587-592.
- [4] Mullen Kathy T. The contrast sensitivity of human color vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings [J]. *J. Phys.*, 1985, 359: 381-400.
- [5] Eva M V, Juan L N, Jose A G. Changes in contrast thresholds with mean luminance for chromatic and luminance gratings: A reexamination of the transition from the Devries-Rose to Weber regions [J]. *Col. Res. Appl.*, 2004, 29(3):177-180.
- [6] 周燕,金伟其. 人眼视觉的传递特性及模型[J]. *光学技术*,2002,28(1):57-61.
- [7] 姚军财,申静,何军锋,等. 基于 CRT 显示器的人眼对比度敏感测量[J]. *液晶与显示*,2008, 23(6):788-792.
- [8] 汤顺青. 色度学 [M]. 北京:北京理工大学出版社, 1990.
- [9] 束越新. 颜色光学基础理论 [M]. 山东:山东科学技术出版社, 1981.
- [10] 邓述移,徐智敏,杜连芳 等. 人眼调制传递函数 [J]. *兵工学报*, 1982, (2) :24-33.
- [11] 廖宁放, 窦柳明, 吴文敏, 等. 粉末涂料电脑配色的人工神经网络模型[J]. *光学技术*,2005, 31(1):133-135.
- [12] Berns Roy S. Methods for characterizing CRT displays[J]. *Displays*, 1996, 16(4):173-182.
- [13] 张显斗,徐海松,王勇. 彩色显示器亮度和对比度的最优化设置[J]. *光电子·激光*,2007, 18 (4):407-410.
- [14] Berns Roy S. A generic approach to color modeling [J]. *Color Res. Appl.*, 1997, 22(5):318-32.