

文章编号: 1000-7032(2015)02-0237-05

## 不同光环境下暗适应及辨色能力的实验研究

余彬彬<sup>1</sup>, 金尚忠<sup>1\*</sup>, 朱伯明<sup>2</sup>, 陈建锋<sup>3</sup>

(1. 中国计量学院 光学与电子科技学院, 浙江 杭州 310018;

2. 宁波燎原灯具股份有限公司, 浙江 宁波 315408; 3. 慈溪中发灯饰有限公司, 浙江 宁波 315336)

**摘要:** 为了研究船舶驾驶舱内光环境和仪表指示仪器颜色之间的识别关系,进行了暗适应和颜色辨识能力实验,并对实验结果进行了分析。结合我国船舶工业中对光环境及暗适应的处理,得出船舶驾驶员在不同光环境下对颜色辨识能力的关系。通过实验,以人对颜色的主观识别能力和光环境变化作为衡量指标,发现在满足暗适应条件的同时,对提高暗适应能力的红色白炽灯进行掺白光改造,并且对仪表指示器外涂颜色的亮度加以规定,可以使船舶驾驶员有效减少对仪器仪表的误判和误操作。

**关键词:** 船舶照明; 视觉工效; 暗适应; 光环境

中图分类号: O439 文献标识码: A DOI: 10.3788/fgxb20153602.0237

## Experimental Research for The Ability of Color Discrimination and Dark Adaptation to Different Light Conditions

YU Bin-bin<sup>1</sup>, JIN Shang-zhong<sup>1\*</sup>, ZHU Bo-ming<sup>2</sup>, CHEN Jian-feng<sup>3</sup>

(1. Department of Optical and Electronic Technology, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China;

2. Ningbo Liaoyuan lighting Limited by Share Ltd., Ningbo 315408, China;

3. Cixi City in The Lighting Co., Ltd., Ningbo 315336, China)

\* Corresponding Author, E-mail: jinsz@cjl.u.edu.cn

**Abstract:** In order to research the relationship between the light environment of ship cockpit indicator and the colors of the instrumental equipment, we did the dark adoption and color discrimination experiments and analyzed the experimental results. According to the process of Chinese shipbuilding industry for light environment and dark adaptation, the rules for the ship pilots' sense of distinguishing color in different light environments were concluded based on the experiments and analysis. We set the subjective ability for color recognition and the changes of environmental light as the measurement indexes. The experimental results show that red + white LED is the most appropriate light source used in the ship cockpit, which can not only satisfy the dark-adapted conditions, but also improve the color recognition ability of the pilot. Therefore, the red incandescent lamp that is used in the ship cockpit to improve the dark adoption ability of the pilot should be mixed with white lamp to improve the color recognition ability of the pilot, and the brightness ( $L^*$ ) of the indicator instrument color should be ruled in the range of 50 – 80. In this way, the probability interpretation of instrumentation and error operation of ship pilots can be reduced efficiently.

**Key words:** ship lighting; visual ergonomics; dark adaptation; light environment

收稿日期: 2014-12-02; 修订日期: 2014-12-15

基金项目: 浙江省半导体照明重点科技创新团队(2010R50020)资助项目

## 1 引 言

照明是视觉感知的必要条件。据统计,人们与自然界接触中,约有 80%<sup>[1]</sup> 以上的信息是通过视觉获得的。照明条件的好坏直接影响视觉获得信息的效率与质量。照明与工作效率、工作质量、安全及人的舒适、视力和身体健康都有着重要的关系。照明条件是作业环境中的重要因素之一<sup>[2]</sup>。工作精细度和机械自动化程度越高,对照明的要求也越高。

船舶驾驶员在执行夜航任务时,首先要对信息进行感知和判断,然后进行船舶操纵。驾驶台在夜航时,可操纵部分主要包括:船舶主机操纵、舵机操纵、鸣笛、紧急停车、消除报警、试灯和调光等<sup>[3]</sup>。陆上生活习惯的影响,再加之工作环境明暗程度的频繁变换(如常看雷达荧光屏等),往往加剧了眼睛的疲劳程度。同时,人眼在夜间对颜色的分辨力较差,而多借助于物标的亮度来识别,常会把较明亮的物标误远为近;反之,又可把亮度较差的物标误近为远、误小为大。据某港航单位统计,近 10 年来,夜间重、特大海事事故占 70% 以上<sup>[4]</sup>,事故原因主要有以下几条<sup>[5]</sup>:(1)对于夜间观察环境,暗适应不充分;(2)船舶驾驶室受到光污染;(3)在夜间佩戴变色眼镜。

人类视网膜中有两种不同的感光细胞:视杆细胞和视锥细胞。它们的功能相互独立,在不同的条件下工作,并产生不同的视觉<sup>[6]</sup>。暗适应是视网膜适应暗处或低光强度状态而出现的视敏感度增大的现象<sup>[7]</sup>。在黑暗的地方,人眼锥状细胞不工作,只有杆状细胞在起作用。杆状细胞中有视紫红质,在暗处它可以逐渐合成,对弱光敏感。在暗处 5 min 内,60% 的视紫红质就可以生成,约 30 min 即可全部生成<sup>[8]</sup>。当环境光亮度降低时,暗适应视觉灵敏度随之提高<sup>[9]</sup>。

船舶上的仪表仪器复杂,仪表判读方式也不尽相同,如带有镜面的电压、电流表,带有液晶屏幕的电子航海图,带有红、绿两色的舵角表,带有红光数码管的转速报警仪等,另外,船舶舱室相对封闭、船员作业任务强度大,这些情况有可能导致船员对仪表判读的准确性以及暗环境下的适应出现问题。因此,研究不同光环境下的人眼暗适应及辨色能力具有重要的意义。

## 2 实 验

受试者为 22 ~ 26 岁、大学以上文化程度的 50 名健康男女,无任何眼疾,矫正视力  $\geq 5.0$ <sup>[10]</sup>。

### 2.1 暗适应实验

实验在暗室进行。照明环境共有 15 种:色温为 1 700 ~ 1 900 K,照度 30, 40, 50 lx 的 LED 日光灯 3 种;色温为 2 200 ~ 2 500 K,照度 30, 40, 50 lx 的 LED 日光灯 3 种;色温为 3 000 K,照度 30, 40, 50 lx 的 LED 日光灯 3 种;蓝光 LED 和白光 LED 混光照度为 30, 40, 50 lx 的日光灯 3 种;红光 LED 和白光 LED 混光照度为 30, 40, 50 lx 的日光灯 3 种。测试平面照度均匀,上有 5 块形状与大小各不相同的物块。受试者在不同光环境下静坐 10 min 后,关闭环境光源,显示黑暗状态开始计时,以每个受试者可以清晰辨认测试平面上物块所用时间即为暗适应时间。

### 2.2 辨色实验

实验在暗室进行。8 组灯光作为实验光源,分别为 1 830 K 白光 LED、2 495 K 白光 LED、2 895 K 白光 LED、蓝光 LED、红光 LED、红光 + 白光 LED、蓝光 + 白光 LED、红光白炽灯。

以 15 枚在自然光下呈现不同颜色的色块作为参照。受试者视距为 20 cm,每个受试者在 8 种不同组合的灯光下辨别被随机打乱的 15 × 4 共 60 个色块的颜色,15 种色块颜色定义为:1. 深绿;2. 墨绿;3. 黄色;4. 湖蓝;5. 深蓝;6. 金黄;7. 果绿;8. 西瓜红;9. 红色;10. 橙色;11. 浅紫;12. 粉色;13. 宝蓝;14. 白色;15. 米色。15 种色块的 CIE  $L^* a^* b^*$  值如表 1 所示<sup>[11]</sup>。国际照明委员会(CIE)根据人眼的视觉系统对可见光的感知结果,在 1976 年,推荐了一种新的颜色空间及其相关色差公式,即 CIELAB(或  $L^* a^* b^*$ ) 颜色系统,现在已成为世界各国正式采纳、作为国际通用的测色标准。它适用于一切光源色或物体色的表示与计算。其中  $L^*$  为明度,  $a^*$ 、 $b^*$  为色度,  $+a^*$  方向为红色方向,  $-a^*$  方向为绿色方向,  $+b^*$  方向为黄色方向,  $-b^*$  方向为蓝色方向<sup>[12]</sup>。

让受试者对这 60 个色块进行颜色分辨,将同一种颜色的色块摆在一起,且使 15 类色块的摆放顺序与参照色块的摆放顺序一致。若同一类色块没有摆在一起或色块的摆放顺序与参照色块的摆

表 1 15 种标准色块的  $L^* a^* b^*$  值

Table 1  $L^* a^* b^*$  values of the 15 kinds of standard color pieces

Reference color	$L^*$	$a^*$	$b^*$
1	39.19	-27.39	20.4
2	27.89	-10.24	4.02
3	69.04	-5.24	62.51
4	66.36	-25.36	-6.34
5	60.95	-1.67	-20.05
6	55.29	18.62	57.81
7	79.62	-28.94	62.44
8	42.34	39.77	4.25
9	30.04	44.8	14.38
10	40.71	37.26	44.37
11	54.22	15.19	-20.18
12	66.55	17.06	-8.37
13	22.64	12.49	-35.85
14	73.2	-0.5	-6.22
15	72.05	0.19	5.51

放顺序不符,即为错误<sup>[13]</sup>。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 暗适应分析

50 名受试者在 15 组光环境下的平均暗适应时间如图 1 所示。从图中可以看出:

(1) 30 lx 照度下,受试者的暗适应水平在 3 000 K 色温达到最佳,说明在较低照度下,3 000 K 色温的白光暗适应能力高于较低色温;

(2) 40 lx 和 50 lx 照度下,受试者的暗适应水平在 1 700 ~ 1 900 K 色温达到最佳,随着色温

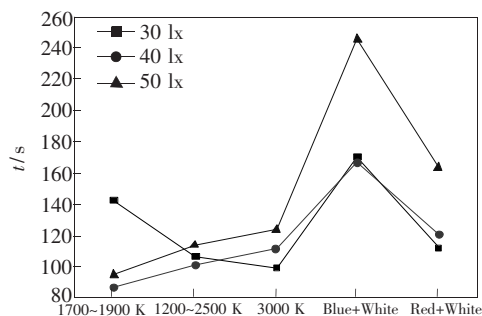


图 1 50 名受试者在 15 组光环境下的平均暗适应时间 Fig. 1 Mean dark adaptation time of 50 participants in 15 group light conditions

的升高,暗适应能力逐步减弱;

(3) 在掺蓝光的白光 LED 照明环境中,受试者的暗适应能力最差,并且随着色温的升高,其暗适应时间变长;

(4) 在掺红光的白光 LED 照明环境中,在 50 lx 照度下,受试者的暗适应时间最长。

#### 3.2 辨色能力分析

##### 3.2.1 色块在不同光照下的识别成功率

1 ~ 15 号色块在不同光环境下的识别成功率如图 2 所示,从图中可以看出:

(1) 在 1 830 K 白光和蓝光 LED 环境下,各个色块的识别成功率差异较大;

(2) 在 2 495 K 白光 LED、2 895 K 白光 LED、红光 + 白光 LED、蓝光 + 白光 LED 照射环境下,色块的识别成功率较高;

(3) 红光白炽灯和红光 LED 环境下的色块识别成功率较低。

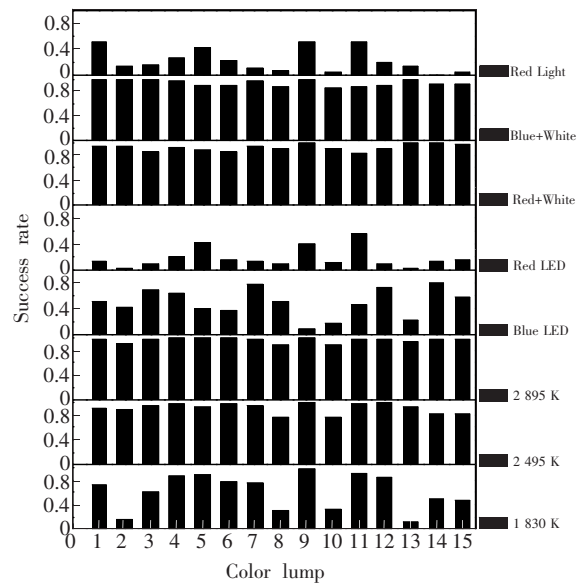


图 2 1 ~ 15 号色块在不同光环境下的识别成功率

Fig. 2 Recognition success rate of 1 - 15 color lumps under different light condition

##### 3.2.2 色块在不同色温白光 LED 下的识别成功率

受试者分别在 1 830, 2 495, 2 895 K 白光 LED 照射环境下进行试验,不同色块在不同色温的白光 LED 下的识别成功率如图 3 所示。从图中可以看出:

(1) 第 8、10、13 色块被成功识别的概率较低,第 9、11 色块的成功率一直很高,即在白光 LED 环境下,色块的识别与  $+b^*$  量(即黄色分量)

关系不密切;

(2)  $L^*$  值在 50 ~ 70 范围内的色块的正确识别率较高;

(3) 对于低色温白光,随着白光色温的升高,识别色块的成功率也在增加;

(4) 不同色块间被成功识别的概率相对不变,不会随着色温的升高而增加。

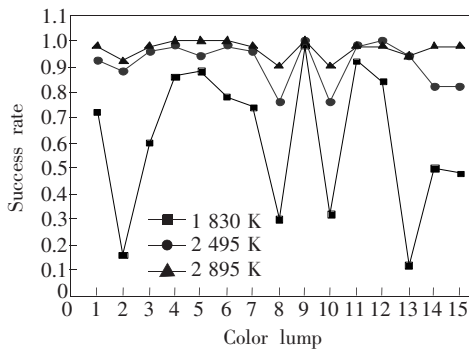


图 3 不同色块在不同色温白光 LED 下的识别成功率

Fig. 3 Recognition success rates of different color lump under different color temperature of white LED

### 3.2.3 色块在特种光照下的识别成功率

在蓝光 LED 和红光 LED 照明下,色块的识别成功率如图 4 所示。从图中可以看出:蓝光 LED 下的色块识别成功率总体高于红光 LED;在蓝光 LED 下, $L^*$  值在 60 ~ 80 范围的色块的正确识别率较高。

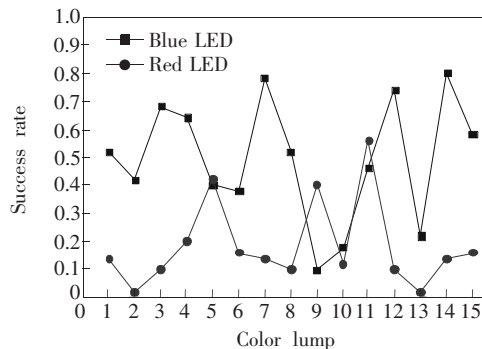


图 4 蓝光 LED 和红光 LED 照明下的色块识别成功率

Fig. 4 Color recognition success rate of different color lump under different blue LED and red LED light

### 3.2.4 色块在混合光下的识别成功率

当蓝光 LED 混合白光和红光 LED 混合白光时,色块的识别成功率如图 5 所示。这两种混合光都令测试者具有较好的颜色分辨能力。

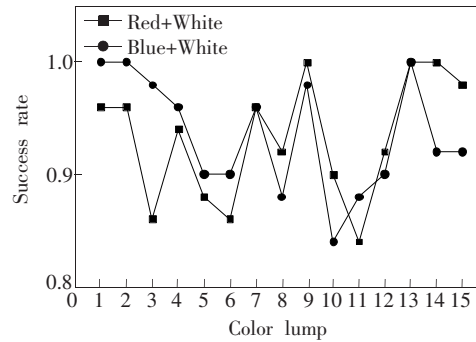


图 5 混合光下色块识别成功率

Fig. 5 Color recognition success rate of different color lump under mixed light

### 3.2.5 船舱暗适应应用红光白炽灯下色块识别成功率

当船舶夜航时,为了满足暗适应的要求,需要增加红光白炽灯作为补充。在该条件下,色块的识别成功率如图 6 所示。从图中可以看出:在满足暗适应的同时,对颜色的辨识能力降低了。红光白炽灯与红光 LED 环境下的颜色辨识能力相当,但劣于红色 LED 混合白光的条件。

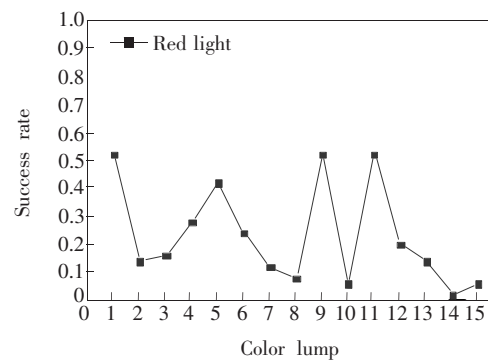


图 6 色块在船舶夜航时的识别成功率

Fig. 6 Color recognition success rate under red incandescent lamp

## 4 结 论

研究了在不同环境光下,在满足暗适应能力的同时,人眼对颜色的识别能力,得出以下结论:

(1) 当被照物体颜色  $L^*$  亮度在 50 ~ 80 范围内时,人眼可以较好地分辨颜色;

(2) 在掺蓝光的白光 LED 照射下,受试者的辨色能力较好,但是相对应的暗适应能力受到了较大影响,并且照度越高,其暗适应能力越差;

(3) 在掺红光的白光 LED 照射下,虽然暗适应的时间在一定程度上比红光有所延长,但是取

得了较好的辨色效果;

(4)船舶使用的为满足暗适应需求的红色白炽灯,对颜色的分辨有很大的干扰,增加了船舶驾驶员误判误读的风险;

(5)当色温在 2 500 ~ 3 000 K 之间、照度为 40 lx 左右时,受试者既可以取得较好的辨色能

力,同时也有较强的暗适应能力;

(6)为满足暗适应的基本条件同时使人眼有良好的辨色能力,光源宜选取掺白光的红光 LED。

**致谢:**感谢宁波燎原灯具股份有限公司和慈溪中发灯饰有限公司提供的灯具及参数等的帮助。

#### 参 考 文 献:

- [ 1 ] Yang B. Cockpit Lighting Environment Design and Visual Ergonomics Research [ D]. Shanghai: Fudan University, 2011 (in Chinese).
- [ 2 ] Ning F. Study and work efficiency of coal mine underground lighting conditions [ J]. *Coal Eng.* (煤炭工程), 2013, 45(9):109-111 (in English).
- [ 3 ] Xu X L. Study on The Influence of Visual Characteristics of Ship Driving Behavior [ D]. WuHan: Wuhan University of Technology, 2012 (in Chinese).
- [ 4 ] Wang X J. Analysis on the safety of ship navigation [ J]. *Shipping Management* (水运管理), 2001(12):30-33 (in Chinese).
- [ 5 ] Wynn T, Howarth P A, Kunze B R. Night-time lookout duty: The role of ambient light levels and dark adaptation [ J]. *J. Navigation*, 2012, 65(4):589-602.
- [ 6 ] Tipton D A. A review of vision physiology [ J]. *Aviat. Space Envir. MD.*, 1984, 55(2):145-149.
- [ 7 ] Lu Y H, Wang Y R, Jin S Z, et al. Influence of different wavelength blue LED on human optical biorhythm effect [ J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2013, 34(8):1061-1065 (in Chinese).
- [ 8 ] Luo H P, Lin P W, Xie C Q. The effect of age on the ability of dark adaptation of crew [ J]. *Chin. Community Doctors* (中国社区医师), 2012, 14(20):353-354 (in Chinese).
- [ 9 ] Barlow H B. Dark adaptation: A new hypothesis [ J]. *Vision Res.*, 1964, 4(1):47-58.
- [ 10 ] Zhu Z X, Yan L Y. Study on short term dark adaptation of different color temperature white light and red instrument lighting [ J]. *Chin. J. Appl. Psycho.* (应用心理学), 1990(4):17-22.
- [ 11 ] Yao J C. Color image compression technology based on chromatic on aberration [ J]. *Chin. J. Liq. Cryst. Disp.* (液晶与显示), 2012, 27(3):391-395 (in Chinese).
- [ 12 ] Wang H Z. Study of Color Vision Discrimination Characteristics and Color-difference Evaluation [ D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009 (in Chinese).
- [ 13 ] Zhu Z X, Xu Y J. Color discrimination under different lightings [ J]. *Acta Psycho. Sinica*, 1982, 2:211-217.



余彬彬(1991-),男,浙江平阳人,硕士研究生,2013年于中国计量学院获得学士学位,主要从事光生物效应方面的研究。

E-mail: pai3\_14@yeah.net



金尚忠(1963-),男,浙江象山人,教授,2005年于浙江大学获得博士学位,主要从事LED照明、光谱分析与检测方面的研究。

E-mail: jinsz@cjl.u.edu.cn