

不同书面阅读时长下照明对视疲劳和大脑唤醒水平的影响

郭西雅, 田津津, 胡志刚, 乔现玲, 李倩

(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要:目的 探究0~120 min阅读时间内,照度色温对视疲劳及大脑唤醒水平的影响。方法 在0~120 min阅读时间内,通过采集和分析被试在不同照度、色温组合下的眼动数据及阅读速度数据,研究阅读时间内照度和色温对视疲劳及大脑唤醒水平的影响。结论 60 min内随着照度和色温的增加,瞳孔直径变异系数减小,眨眼频率增高,照度增加时阅读速度无明显变化,色温增加则阅读速度加快。在60, 90, 120 min时,瞳孔直径变异系数和阅读速度变化明显,30 min内各因变量变化不明显。0~120 min阅读时间内,照度、色温对平均注视持续时间影响不显著。

关键词: 阅读时长; 照明; 视疲劳; 大脑唤醒水平; 眼动

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)04-0164-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.04.032

Impact of Illumination on Visual Fatigue and Brain Arousal during Written Variable Reading Times

GUO Xi-ya, TIAN Jin-jin, HU Zhi-gang, QIAO Xian-ling, LI Qian
(Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: It aims to explore the effect of illumination color temperature on visual fatigue and brain wake level during 0~120 min reading time. In the 0~120 min reading time, by collecting and analyzing the data of eye movement and reading speed in the lighting environment of combination of different illumination color temperature to study the effect on visual fatigue and brain arousal level from time, illumination and color temperature. With the increase of illumination and color temperature during 60 min, the pupil diameter variation coefficient is reduced, blink frequency increased. The increase in illumination has no significant effect on reading speed; Increasing color temperature can increase reading speed. In 60 min, 90 min, 120 min, the pupil diameter variation coefficient and reading speed change significantly, all dependent variables did not change significantly in 30 min. During 0~120 min, illumination and color temperature is not significant on the average fixation duration.

KEY WORDS: reading duration; mixed illumination; visual fatigue; brain arousal level; eye movement

照明作为人体视觉感知的必要条件,在阅读过程中对工作效率有着显著的影响。Winterbottom 和 Wilkins 发现 500 lux 下的阅读效率高于 300 lux 时的阅读效率^[1]。姚其等^[2]通过不同光照环境下的视觉绩效实验研究,得出合适的光照环境可以缓解视疲劳并提高视觉绩效。石路^[3]研究得出全频光源对调节人体体力负荷、脑力负荷,睡眠功能与自主神经调节具有明显的影响作用。严永红等^[4]认为随着色温与照度值

的增长,阅读工效呈下降趋势。BenedettoS 和 Pedrotti 等^[5]通过实验得出,在高屏幕亮度下阅读,眨眼次数的减少可反映出视疲劳程度的增加;处于更高水平的屏幕亮度或者环境照度中时,会提高机敏性和工作绩效。Rosenfield^[6]提到过强的灯光通常会引起眼干,这一症状可以通过观察眨眼频率的变化得到。郭伏^[7]指出,人眼能够适应的照度范围是 $10^3 \sim 10^5$ lux,照度从 10 lux 增加到 1000 lux 时视力可增加 70%。大量文

收稿日期: 2017-11-14

基金项目: 陕西省科学技术研究与发展计划项目(2016GY-253, 2016GY-258, 2015GY179)

作者简介: 郭西雅(1977—),女,陕西人,陕西科技大学副教授、硕士生导师,主要研究方向为应用人机工程学、工业设计创新服务平台等。

献表明，不同的照度和色温会对视疲劳症状和大脑的唤醒水平具有显著影响。已有研究发现，色温和照度的影响与阅读时长也有着一定的联系。姚华等^[8]得出 LED 光源短时间阅读对视功能影响不大，对泪膜稳定性有一定影响。本实验将研究在变化的时间中，通过对眼动及阅读速度数据的采集分析，发现照明对人体视疲劳和大脑唤醒水平的影响规律，为智能照明设备的开发提供理论依据。

1 实验

1.1 被试

邀请 12 名在校大学生为被试，男生女生各 6 名，年龄介于 20~25 岁。每个人对实验目的及预期结果均不知情，均拥有正常视力或矫正后视力正常且无生理或心理疾病，在开始实验之前未进行过视觉作业。

1.2 实验环境

实验空间为长 3m、宽 2m、高 4m 的房间内，使用专业遮光窗帘隔绝外界光环境对实验的影响。阅读材料被置于桌面上，被试可以根据自身阅读习惯调整座椅和文本距离以达到最舒适的阅读姿势，见图 1。实验光源为局部灯光，台灯采用照度 0~1000 lux、色温 2700~6500 K 无级调节的松下 LEDSQ-LD600 系列。严永红等^[4]对荧光灯作为光源与视觉作业绩效关系进行研究，证明 7000 了 K 下脑波活性最高，但疲倦感最强，疲劳消除最慢；3000 K 下大脑活性相对最低，但对放松和运动后体力恢复有利；5000 K 下最有活力、舒适度最高，是最适宜运动的光环境。本次实验选取照度值分别为 300，500，750 lux；色温值为 2700，4000，6500 K。照度和色温值变化均不连续。



图 1 实验环境及灯具使用场景

Fig.1 Experimental environment and lighting use scenarios

1.3 实验材料

实验文本幅面为 A4，宋体、小四号，平均字数为 2753.9 字，单倍行距。材料为截选自《霍金传》中的 18 篇中文短文，内容被试先前均未读过。为排

除实验材料顺序排列对实验结果的影响，实验中文章阅读顺序随机分布。总阅读时长为 120 min。

1.4 实验设备

使用眼动仪进行眼动数据的采集。卫旭俊等^[9]在研究不同照明条件下岸桥司机专注度时，采用眼动仪进行岸桥司机专注度指标的采集。PalinkoO 等^[10]采用眼动仪探究了照明对瞳孔直径的影响与视觉认知负荷的关联性。本次实验使用 Tobii X2-30 眼动仪采集眼动数据，主试使用电子计时器进行计时。

1.5 实验设计

实验前利用问卷调查对大学生阅读习惯进行调研，并统计出大学生单次阅读时长主要为 30，60，90，120 min。因此实验中阅读时长的划分主要以 30 min 为单位时段，阅读总时长 120 min（除去休息时间）。表 1 为实验变量与水平表，实验照度为 300，500，750 lux，实验色温为 2700，4000，6500 K，阅读时长为 30，60，90，120 min，其中照度均匀度 ≥ 0.7 ，显色指数 >80 。实验为重复测量单因素的三因素混合实验，实验计划见表 2。记录每个时间节点处被试所阅读的字数（忽略标点符号）。

表 1 变量与水平表
Tab.1 Variables and horizontal tables

水平	变量		
	照度/lux	色温/K	时长/min
1	300	2700	30
2	500	4000	60
3	750	6500	90
4			120

表 2 实验计划表
Tab.2 Experimental schedule

实验组	照度/lux	色温/K	时长/min
1	300	2700	30, 60, 90, 120
2	300	4000	30, 60, 90, 120
3	300	6500	30, 60, 90, 120
4	500	2700	30, 60, 90, 120
5	500	4000	30, 60, 90, 120
6	500	6500	30, 60, 90, 120
7	750	2700	30, 60, 90, 120
8	750	4000	30, 60, 90, 120
9	750	6500	30, 60, 90, 120

1.6 实验步骤

1) 照度与色温形成 9 组组合，每个被试将完成 9 次实验，每次实验间隔 2~3 天以保证被试达到最佳状态，9 次实验中照度色温组合顺序随机，每个被

试每次实验都会进行 0~120 min 的书面阅读。被试进入实验室之前,会进行 5 min 的光适应,主试会帮助被试熟悉实验流程;

2) 利用眼动仪实时采集眼动数据;

3) 在 30, 60, 90, 120 min 时间节点处,对被试阅读速度进行计算;

4) 每半个小时完成后,被试将会有 10 min 的休息时间,主试将会重新设置照度和色温值,按照相同方法进行下一阶段的测试。

1.7 因变量

参考 Benedetto S 等^[5]在实验中对视疲劳与唤醒水平指标的划分,本实验中基于视觉表现研究包括两组变量,视疲劳(眨眼、瞳孔直径)变化的检测和唤醒水平(注视、阅读速度)的检测。

1.7.1 视疲劳

眨眼指的是眼睑的快速闭合和打开。Benedetto S^[5]等指出眨眼是评定视疲劳和困倦的显著指标。BlehmC 等^[11]研究认为,亮度增加时眨眼次数会减少,眨眼次数的降低会减少泪液分泌,使眼角膜摩擦力增大,从而引起眼干症。在本次实验中,用眨眼频率(即每分钟的眨眼次数)来作为眨眼活动的参数值。Benedetto S 等^[12]提出当平均单次眨眼持续时间低于 80 ms 或是高于 500 ms 时,表示被试处于晕厥或困倦状态,该数据将被作为错误数据剔除。

Beatty J^[13]提出人类的瞳孔会随着光强的增加而收缩,相反在弱光条件下会扩张。Honda S^[14]指出瞳孔直径的变动也可反映出唤醒水平的变化,即唤醒水

平降低时瞳孔直径尺寸也会相应减小。本次实验中通过分析瞳孔直径变异系数推测视觉作业的负荷大小,瞳孔直径变异系数越小,视疲劳程度越小。

1.7.2 唤醒水平

注视是指目光固定维持在一个位置。JustM A^[15]等研究表明,对比度以及分辨率等物理特性会影响注视的持续时间和速度。Benedetto S 等^[5]认为,注视可以作为反映唤醒水平变化的指标。本次实验用平均注视时间描述注视行为,指每 10 min 注视行为持续时间。

Knoblauch K 等^[16]发现,较高的亮度和对比度(通过提高唤醒水平)有助于阅读速度的提高。本文中 30 min 对被试阅读速度进行一次统计计算,所得结果为平均阅读速度。计算公式如下:

阅读速度=阅读字数/时间 (1)

2 结果与分析

统计阅读速度和 Tobii 眼动仪与同步分析软件 Ergolab 记录的实验数据,进行异常值剔除,将数据录入 SPSS 中进行统计分析。该实验为重复测量单因素的 3 因素混合设计实验,对数据进行重复测量方差分析,显著性水平为 0.05,对于被试内变量阅读时长因素,采用 Harman 单因素法检验本研究中的共同方法偏差,对于两个因变量析出的第一个主因子贡献率分别为 39.375 与 42.154,不存在可以解释大部分变异的方法学因子,故不存在共同方法偏差^[17]。描述性统计结果见表 3。

表 3 描述性统计
Tab.3 Descriptive statistics

	照度/lux			色温/K			时长/min			
	300	500	700	2700	4000	6500	30	60	90	120
瞳孔直径	0.061	0.053	0.049	0.046	0.059	0.044	0.041	0.051	0.057	0.058
变异系数	(0.037)	(0.036)	(0.016)	(0.029)	(0.028)	(0.021)	(0.026)	(0.030)	(0.026)	(0.037)
眨眼频率/ (次·s ⁻¹)	26.606 (7.664)	21.219 (8.791)	19.379 (7.963)	22.108 (7.235)	18.909 (9.083)	26.091 (8.463)	23.218 (8.882)	23.416 (7.662)	21.573 (8.543)	21.127 (7.201)
阅读速度/ (字·min ⁻¹)	419.123 (135.056)	439.098 (126.068)	419.422 (133.273)	435.354 (120.419)	443.168 (138.139)	398.434 (137.140)	389.555 (125.425)	426.789 (137.562)	462.347 (127.204)	425.719 (135.535)
平均注视 持续时间/s	0.731 (0.457)	2.230 (0.763)	1.405 (0.627)	2.423 (0.577)	1.201 (0.743)	0.905 (0.324)	1.023 (0.560)	1.012 (0.545)	1.039 (0.471)	2.673 (0.670)

注:括号内数据为平均值

2.1 视疲劳结果分析

方差分析结果显示,对因变量瞳孔直径变异系数,阅读时长的主效应显著($F=12.074, p<0.05$),照度的主效应显著($F=5.602, p<0.05$),色温的主效应显著($F=5.139, p<0.05$)。时长与照度的交互效应显著($F=5.470, p<0.05$),时长与色温的交互效应显

著($F=6.381, p<0.05$),时长、照度和色温 3 个因素的交互效应也显著($F=5.602, p<0.05$)。对因变量眨眼频率,时长主效应显著($F=5.515, p<0.05$),照度主效应显著($F=5.195, p<0.05$),色温主效应显著($F=5.078, p<0.05$),照度和色温的交互效应显著($F=6.763, p<0.05$),照度和时长、色温和时长间交

互效应不显著 ($F=2.832, p>0.05, F=4.515, p>0.05$), 照度、色温和时长 3 个因素交互效应亦不显著 ($F=2.195, p>0.05$)。

2.2 大脑唤醒水平分析

方差分析结果显示, 对因变量阅读速度, 阅读时长的主效应显著 ($F=4.661, p<0.05$), 照度的主效应显著 ($F=11.136, p<0.05$), 色温的主效应亦显著 ($F=3.692, p<0.05$)。照度和时长交互效应显著 ($F=7.353, p<0.05$), 色温和时长交互效应显著 ($F=5.204, p<0.05$), 照度和色温的交互效应显著 ($F=7.246, p<0.05$), 照度、色温和时长 3 个因素交互效应亦显著 ($F=6.039, p<0.05$)。各自变量对平均注视持续时间均不显著。

2.3 影响因素主效应分析

照度对被试 0~120 min 阅读时长内视疲劳程度有显著影响。对因变量瞳孔直径变异系数和眨眼频率, 在色温分别为 2700 K 和 6500 K 时, 时长和照度交互效应明显, 见图 2 和图 3), 在 0~60 min 阅读时长内, 500 lux 照度下瞳孔直径变异系数最小, 眨眼频率最高。瞳孔直径变异系数越小, 表明疲劳程度越小, 眨眼频率越高, 亦表明疲劳程度越小, 即 0~60 min 内视疲劳程度最小。在 60~120 min 阅读时长内, 750 lux 照度下瞳孔直径变异系数最小, 眨眼频率最高, 即视疲劳程度最小。这与 Lin 等^[18]指出低照度相比于正常照度和高照度更易使人疲倦这一结论相吻合。照度对 0~120 min 阅读时长内大脑唤醒水平具有明显的影响。对阅读速度, 色温为 6500 K 时, 时长和照度交互效应明显, 见图 4。在 60~120 min 内更改照度为 750 lux, 阅读速度最高, 即增加照度可提高大脑唤醒水平。Benedetto S 等^[12]认为, 处于更高水平的屏幕亮度或者环境照度中时, 会提高机敏性和工作绩效。

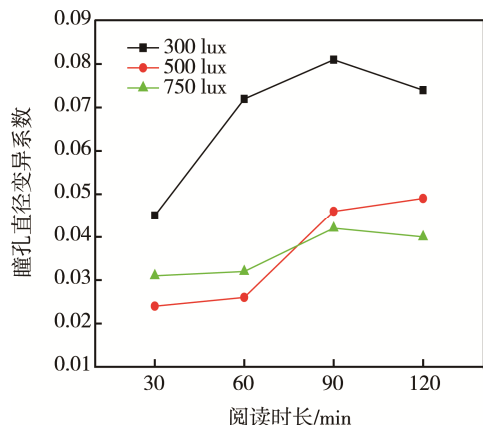


图 2 照度对瞳孔直径变异系数的影响

Fig.2 Effect of illumination on coefficient of variation in pupil diameter frequency

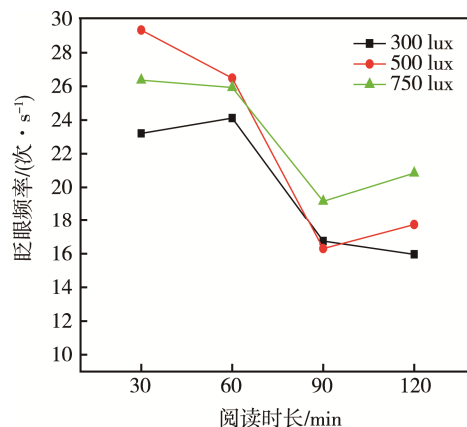


图 3 照度对眨眼频率的影响

Fig.3 Effect of illumination on blink

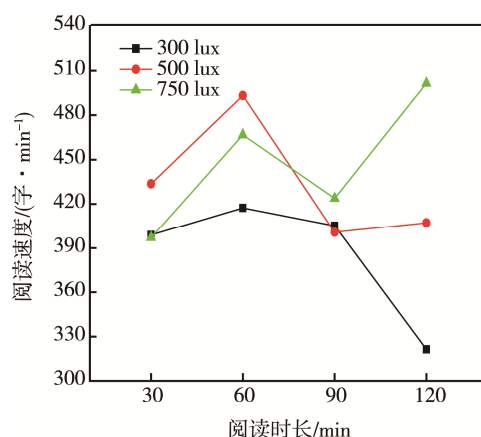


图 4 照度对阅读速度的影响

Fig.4 Effect of illumination on reading speed

色温对被试 0~120 min 阅读时长内对视疲劳程度影响明显。对瞳孔直径变异系数和眨眼频率, 照度为 300 lux 时, 色温和时长交互效应明显, 见图 5 和图 6, 被试在 0~60 min 阅读时长内, 2700 K 色温时瞳孔直径变异系数最小, 眨眼频率最高, 即视疲劳程度最小; 在 60~120 min 内, 4000 K 色温下视疲劳程度低于 2700 K 和 6500 K 色温下视疲劳程度。严永红等^[4]指出, 3000 K 下大脑活性相对最低, 但对放松和运动后体力恢复有利; 5000 K 下最有活力、舒适度最高, 是最适宜运动的光环境。色温对大脑唤醒水平有明显影响。对阅读速度, 照度在 300 lux 时色温和时长交互效应显著, 见图 7。在 0~60 min 内, 2700 K 色温时阅读速度最快, 色温提高为 4000 K 阅读速度提高, 即色温具有唤醒大脑的作用。

对因变量瞳孔直径变异系数和阅读速度, 时长、照度和色温 3 因素交互效应显著, 因此固定被试间变量照度和色温, 对阅读时长进一步分析。对因变量瞳孔直径变异系数, 60, 90, 120 min 显著 ($F=5.208, p<0.05, F=5.373, p<0.05, F=4.836, p<0.05$)。30 min 不显著 ($F=3.226, p>0.05, F=3.252, p>0.05$)。可看出阅读 60 min 时被试视疲劳症状明显。

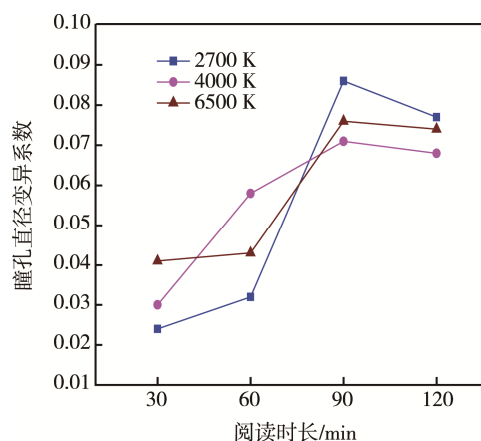


图5 色温对瞳孔直径变异系数的影响

Fig.5 Influence of color temperature on coefficient of variation of pupil diameter

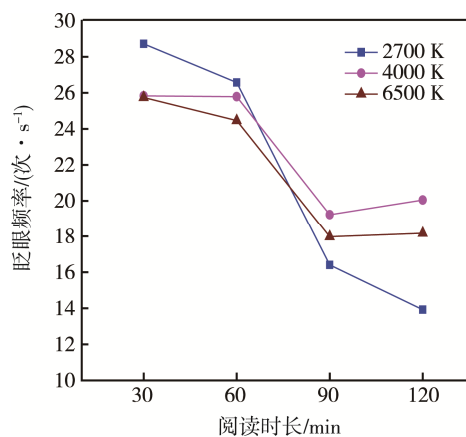


图6 色温对眨眼频率的影响

Fig.6 Effect of color temperature on blink frequency

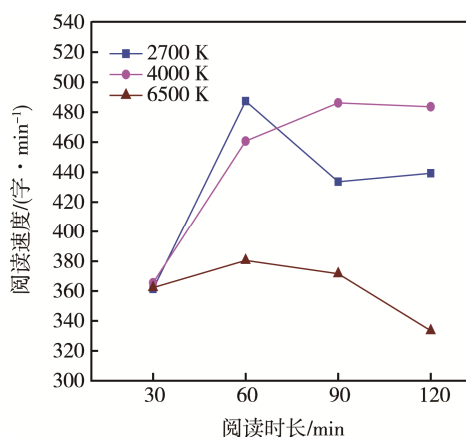


图7 色温对阅读速度的影响

Fig.7 Effect of color temperature on reading speed

对阅读速度, 30 min ($F=1.868$, $p>0.05$) 不显著, 60 min ($F=5.252$, $p<0.05$)、90 min ($F=6.374$, $p<0.05$)、120 min ($F=5.263$, $p<0.05$) 均显著。表明在阅读时长为 60, 90 min 时改善照明条件会刺激大脑, 起到唤醒作用。被试在 90 min 时视疲劳和大脑唤醒水平出现变动, 也可能与被试心理情绪有关, 若被试出现

烦躁、不专注亦会对结果产生影响, 在今后的研究中应加入被试心理感受作为对比。

本次实验中照度、色温和阅读时长对平均注视持续时间均无显著影响, 被试发生注视行为表明在阅读过程中出现障碍或困惑, 这也可能与文本对个人的难易程度有关, 对实验形成干扰。

3 结语

本文研究了被试在 0~120 min 阅读时间内照度和色温对视疲劳和大脑唤醒水平的影响, 结果显示照度、色温和阅读时长均会对瞳孔直径变异系数、眨眼频率和阅读速度产生影响。结果表明, 书面阅读时为缓解视疲劳症状以及唤醒大脑, 应当以 60 min 为节点, 在 0~60 min 内 500 lux 照度 2700 K 色温下, 视疲劳程度最小; 60~120 min 内 750 lux 照度 4000 K 色温下, 视疲劳程度最小, 照度从 300 lux 增加为 750 lux 时, 视疲劳有所改善, 阅读速度增加, 对大脑有一定唤醒作用; 色温从 2700 K 增加为 4000 K 时, 对大脑具有刺激激活能力。被试在进行书面阅读时, 在 60 min 时会出现明显的视疲劳症状, 大脑活跃度较低, 在休息和调整后再进行性阅读时 90 min 后又再次视疲劳程度再次明显, 大脑活跃度降低, 这或许与被试心理感受与情绪有关。该结论可作为理论依据应用在智能灯具设备中。沈瑞珠^[19-22]、等通过在灯光布置时使用“调光模块”和“定时模块”实现了智能照明控制的目的。邵晶^[23]研究一种施耐德 C-Bus 智能照明控制系统, 可以通过定时控制、人体感应控制与光线感应控制达到节能效果。这些发明为该智能灯具实现了技术支持。在进一步的研究中, 可以探究随时间变化照度色温对被试心理感受与情绪的影响, 以对比心理情绪与视疲劳与大脑唤醒水平间效应。在时长效应的研究上, 可以增加阅读时长, 进一步探究被试视疲劳和大脑唤醒水平随时长增加递减规律。

参考文献:

- [1] WINTERBOTTOM M. Lighting and Discomfort in the Classroom[J]. Journal of Environmental Psychology, 2009, 29(1): 63—75.
- [2] 姚其. 民机驾驶舱 LED 照明工效研究[D]. 上海: 复旦大学, 2012.
- [3] YAO Qi. The Cockpit Lighting Efficiency of LED[D]. Shanghai: Fudan University, 2012.
- [4] 石路. 光源色温对人体自主神经功能的调控作用[J]. 中国医学工程, 2011(4): 162—164.
- [5] SHI Lu. The Regulation of Light Source Color Temperature on the Function of Autonomic Nerve in Human Body[J]. Chinese medical engineering, 2011(4): 162—164.

- [4] 严永红. 光生物效应作用下教室光源对学生视功效及效率—疲劳影响研究[C]// 中国科协第249次青年科学家论坛, 2012.
YAN Yong-hong. Optical Biological Effect of Light on the Classroom Students Visual Efficacy and Efficiency [C]// Effect On Fatigue Chinese Association for the 249th Young Scientists Forum, 2012.
- [5] BENEDETTO S. Effects of Luminance and Illumination on Visual Fatigue and Arousal During Digital Reading[J]. Computers in Human Behavior, 2014, 41(9): 112—119.
- [6] ROSENFELD M. Computer Vision Syndrome: a Review of Ocular Causes and Potential Treatments[J]. Ophthalmic & Physiological Optics, 2011, 31(5): 502—515.
- [7] 郭伏. 人因工程学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
GUO Fu. Ergonomics[M]. Beijing: Mechanical Engineering Press, 2006.
- [8] 姚华. LED光源环境下短时间阅读对视功能及眼表的影响[J]. 土木建筑与环境工程, 2010(1): 76—79.
YAO Hua. LED Light Source Environment Reading Visual Function and Influence of Ocular Surface[J]. Civil and Environmental Engineering, 2010(1): 76—79.
- [9] 严永红. 光源色温对脑波节律及学习效率的影响[J]. 土木建筑与环境工程, 2012, 34(1): 76—79.
YAN Yong-hong. The Color Temperature of the Light Source Effect on EEG Rhythms and the Learning Efficiency[J]. Civil and Environmental Engineering, 2012, 34(1): 76—79.
- [10] 卫旭骏. 基于眼动分析的不同光环境下岸桥司机的专注度[J]. 大连海事大学学报, 2015(3): 93—99.
WEI Xu-jun. Crane Driver under the Different Light Environment of Eye Movement Analysis Focus[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2015(3): 93—99.
- [11] PALINKO O. Steering Wheel Sensor as a Push-to-Talk Solution[J]. 2008(1): 1—4.
- [12] BLEHM C. Computer Vision Syndrome: a Review[J]. Survey of Ophthalmology, 2005, 50(3): 253.
- [13] BENEDETTO S. Driver Workload and Eye Blink Duration[J]. Transportation Research Part Traffic Psychology & Behaviour, 2011, 14(3): 199—208.
- [14] BEATTY J. Task Pupillary Responses, Processing Load, and the Structure of Processing Resources[J]. Psychological Bulletin, 1982, 91(2): 276.
- [15] HONDA S. Quantitative Evaluation of Arousal Level Based on the Analyses of Microsaccade Rates and Pupil Fluctuations[C]// International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society, 2013.
- [16] CARPENTER P A. A Theory of Reading: from Eye Fixations to Comprehension[J]. Psychological Review, 1980, 87(4): 329—54.
- [17] KNOBLAUCH K. Effects of Chromatic and Luminance Contrast on Reading[J]. Journal of the Optical Society of America A Optics & Image Science, 1991, 8(2): 428—439.
- [18] 舒华. 心理学研究方法[M]. 北京: 人民教育出版社, 2008.
SHU Hua. Research Methods in Psychology[M]. Beijing: People's Education Press, 2008.
- [19] LIN C C, HUANG K C. Effects of Ambient Illumination and Screen Luminance Combination on Character Identification Performance of Desktop TFTLCD Monitors[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2006, 36(3): 211—218.
- [20] 沈瑞珠. 高校建筑照明节能措施与效果分析[J]. 建筑节能, 2014(5): 74—77.
SHEN Rui-zhu. Energy-saving Measures and Effect Analysis of Building Illumination in Universities[J]. Building Energy Efficiency, 2014(5): 74—77.
- [21] 马鸿雁. 会展中心照明控制与节能[J]. 智能建筑电气技术, 2010, 4(4): 20—24.
MA Hong-yan. Lighting Control and Energy Saving in Conference and Exhibition Center[J]. Intelligent Building Electrical Technology, 2010, 4(4): 20—24.
- [22] 贾冬颖. 基于STC单片机LED智能照明系统的设计[J]. 照明工程学报, 2010, 21(2): 71—73.
JIA Dong-ying. Design of Intelligent LED Illumination System Based on STC Single-chip Microcomputer[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2010, 21(2): 71—73.
- [23] 贺玲. 基于MCU控制的HB LED智能照明系统设计[J]. 电源技术, 2010, 34(5): 509—512.
HE Ling. HB LED Intelligent Lighting Control System MCU Design[J]. Power Technology, 2010, 34(5): 509—512.
- [24] 邵晶. 办公楼智能照明控制系统节能效果分析[J]. 电器与能效管理技术, 2009(12): 4—6.
TAI Jing. Energy-saving Effect Analysis of Intelligent Lighting Control System in Office Building[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2009(12): 4—6.