

教室光环境下的照度与节能

黄海静^{1,2}, 陈纲^{1,2}

- (1. 重庆大学 建筑城规学院, 重庆, 400045;
2. 山地城镇建设与新技术教育部重点实验室, 重庆, 400045)

摘要: 为研究教室照度与视觉功效及节能的关系, 对教室人工光环境下学生瞳孔随照度(亮度)的变化进行实验测量。研究结果显示: 人眼瞳孔随照度(亮度)提高而缩小, 但照度达到 750 lx 后, 随照度提高瞳孔面积变化率大大减少, 即很小的视觉功效提高率却需要很大的照度才能满足, 因而能源效率极低, 造成能源浪费。从综合节能、视觉功效和经济性的考虑, 未来教室照度标准值可提高到 500~750 lx, 但不宜超过 750 lx。

关键词: 教室; 光环境; 照度; 视觉功效; 节能

中图分类号: TU113

文献标志码: A

文章编号: 1672-7207(2012)12-4974-04

Illumination and energy saving in classroom light environment

HUANG Hai-jing^{1,2}, CHEN Gang^{1,2}

- (1. College of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400045, China;
2. Key Laboratory of Construction and New Technology of Mountain Cities, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing, 400045, China)

Abstract: To study the relationship among illumination, visual performance and energy saving in classroom, the variation values of student's pupil area with the different illumination (luminance) conditions in classroom artificial light environment were measured. The result shows that the pupil area gets smaller when the illuminance is higher. But when the illumination value reaches 750 lx, the variation rate of pupil area sharply decreases with the increase of illumination, indicating that the improvement a tiny visual performance needs a greater illumination, and thus causes lower energy efficiency and a waste of energy. Consideration the respects of of the energy saving, visual performance and economy, illumination standards of ordinary classrooms can be promoted to 500-750 lx in future, but not more than 750 lx.

Key words: classroom; light environment; illumination; visual performance; energy saving

据统计全球大约 1/3 的一次性能源用于发电, 我国照明用电量占电力总量 10%以上^[1]。随着全球能源问题的日益严峻, 除充分利用天然采光减少能源消耗外, 人工光环境下如何节能减排已成为低碳建筑和绿色照明的一项重要内容。绿色照明工程主要通过合理的人工光环境照明水平(照度值)控制, 以及使用高效节能的照明光源和灯具等来实现。

2002 年美国布朗大学的 David Berson 教授对 Cirtopic(光对人体的非视觉的生物性反应及作用称为 Cirtopic, 简称光生物效应)的研究发现, Cirtopic 与光源中蓝绿色光成份含量有关, 在富含蓝绿色光的光源照明下, 人眼瞳孔收缩多, 视看清晰, 对目标物识别容易, 视觉功效好^[2-4]。光环境下人眼瞳孔变化越小, 视觉疲劳度越小, 可见度越好, 识别时间越短^[5]。杨

收稿日期: 2012-01-15; 修回日期: 2012-03-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51108479); 中央高校基本科研业务费科研专项自然科学基金类项目(CDJZR11190003); 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室开放课题项目(2012KB19)

通信作者: 黄海静(1974-), 女, 广西贵港人, 博士, 副教授, 从事建筑设计及技术科学研究; 电话: 13658305855; E-mail: cqhhj@126.com

公侠等^[6-7]指出瞳孔大小随照在被试眼睛上的照明水平和光谱分布不同而变化。Kruithpf 研究认为, 色温越高, 所需要的舒适照度也越高^[8], 也就是说高照度时, 高色温光源照明下感觉最舒适。Berman 等^[9-11]研究认为: 在富含蓝光的光源照明下, 实际亮度感觉增加。可见, 光源光色、照度直接影响人眼瞳孔变化。足够的照明水平是教室视觉作业的最基本保障, 国际照明委员会(CIE)和国内外多数国家对教室课桌面和黑板面的照度标准值都有专门规定(如表 1 所示)。

表 1 普通教室照明标准比较

Table 1 Comparison of illumination standards of general classroom

国别 地区	课桌面	黑板	标准
	水平照度/lx	垂直照度/lx	
中国	300	500	国标 GB50034—2004
CIE	300	500	CIE S 008/E—2001
美国	500	—	北美照明学 IESNA—2000
德国	200~750	—	德国 DIN 5035—1990
俄罗斯	300	500	俄罗斯 CHиП23—05—95
日本	500	—	日本工业标准 JISZ 9110—1979

由表 1 可知: 我国的照明标准多为国际水平的下限, 而且实际大学教室照明水平更低, 几乎都连《建筑照明设计标准》都没达到^[12]。此外, 表 1 也显示国外的标准大多制定年代较早, 随着经济实力增长, 教室照明水平还有待进一步提高。

教室是学生用眼的重要场所, 教室人工光环境(包括背景照度、亮度对比、灯具布置以及光源光色等)不仅对学生的用眼健康、视觉功效和学习效率等产生影响^[13], 还与节能密切相关。目前, 现有的照明规范^[14]仅对视觉效果有规定, 而从未考虑光生物效应的作用; 照明节能也未从学生视觉功效、身心健康、学习效率和经济性的角度综合考虑。为研究教室照明节能问题, 利用人工照明及光生物领域最新的研究成果, 通过分析不同光源光色和照度的人工光环境下, 学生识别目标物时的瞳孔大小变化规律, 研究适宜教室光环境的照度值, 以利于学生学习效率的提高, 体现照明节能的意义。

1 瞳孔面积随背景照度变化规律

选择教室中常用的、具有代表性的 3 种不同色温

荧光灯(色温 2 700 K 的白炽灯色、4 000 K 的冷白色、6 500 K 的日光色), 在 5 种照明水平下(照度分别为 100, 150, 300, 750 和 1 000 lx), 通过模拟教室照明条件的“教室照明水平与瞳孔大小变化”实验^[15], 从光源光色、背景照度、视标大小和颜色组合 4 方面参数条件, 对学生瞳孔大小与光源光色、背景照度的关系进行实验研究(见图 1)。

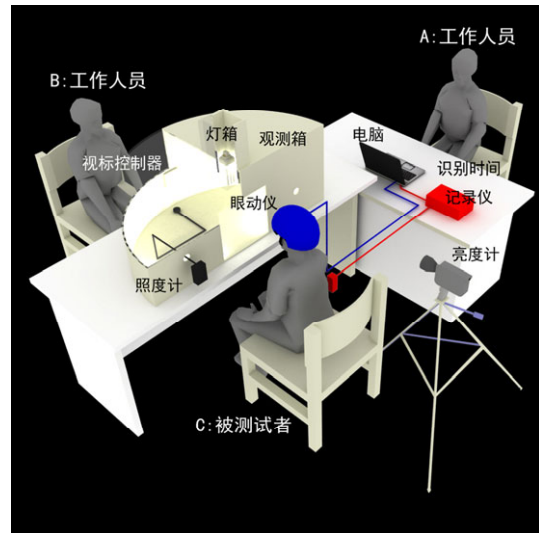


图 1 “教室照明水平与瞳孔大小变化”实验示意图

Fig.1 Experiment diagram of pupil size with illumination level in classroom

对 3 种色温荧光灯下所有视标的瞳孔面积实测数据求平均, 得到 5 种照明水平下的瞳孔面积如表 2 所示。

表 2 5 种照明水平下的瞳孔面积 A_p

Table 2 Pupil area under five illumination levels mm^2

荧光灯	背景照度 E/lx				
	100	150	300	750	1 000
6 500 K	15.04	11.60	8.16	5.09	4.15
4 000 K	19.01	14.31	9.83	6.28	5.43
2 700 K	21.45	18.16	12.29	7.92	6.78

从表 2 可知: 瞳孔面积随背景照度的变化有如下规律:

(1) 不论采用哪种光色的光源, 瞳孔面积都随背景照度的提高而减小;

(2) 同一背景照度时, 色温 6 500 K 荧光灯下的瞳孔面积最小, 4 000 K 荧光灯的次之, 2 700 K 荧光灯的最大, 说明在教室照明中, 高、中色温荧光灯下瞳孔面积较小。

瞳孔面积的变化反应不同色温光源的光生物效应和视觉功效。瞳孔面积越小,瞳孔收缩越多,视看越轻松、识别越容易,对减少视疲劳,提高学习效率就更有效。因此,从 Cirtopic 的角度而言,教室照明水平的提高对视觉功效有利。

2 从瞳孔与照度变化规律分析光环境节能

采用软件 Datafit 8.0 进行回归分析,得到 3 种色温荧光灯下的瞳孔面积 A_p 与背景照度 E 的拟合结果呈负指数函数关系,满足如下基本关系式:

$$A_p = a + b \cdot e^{-E/c} \quad (1)$$

其中: A_p 为瞳孔面积(mm^2); E 为背景照度(lx); a, b 和 c 是与光源光谱分布、背景照度、视标大小和视标对比有关的系数。

根据瞳孔变化与背景照度的回归关系式(式(1)),色温 2 700 K 荧光灯的瞳孔面积 A_p 与背景照度 E 的拟合关系式如下:

$$A_p = 6.9403 + 23.6095 \cdot e^{-E/59.6921} \quad (2)$$

$$R^2 = 0.9983$$

色温 4 000 K 荧光灯的瞳孔面积 A_p 与背景照度 E 的拟合关系式如下:

$$A_p = 5.7981 + 24.2456 \cdot e^{-E/45.8427} \quad (3)$$

$$R^2 = 0.9904$$

色温 6 500 K 荧光灯的瞳孔面积 A_p 与背景照度 E 的拟合关系式如下:

$$A_p = 4.4566 + 17.6924 \cdot e^{-E/53.4797} \quad (4)$$

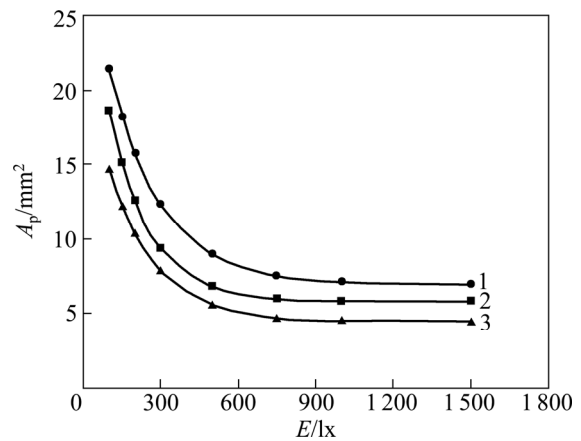
$$R^2 = 0.9895$$

根据式(2)~(4),分别计算得到照度从 100 lx 增加 1 500 lx 时,3 种色温荧光灯下的瞳孔面积变化率(表

3),并得到瞳孔面积随背景照度变化曲线图(图 2)。

如表 3 和图 1 所示,当照度值从 300 lx 提高到 500 lx 时,3 种色温荧光灯下的瞳孔面积变化率都最大,瞳孔面积缩小 30%左右。但照度达到 750 lx 之后,随着照明水平的提高,瞳孔面积变化趋于平缓,变化率减小到 15%左右。而当照度从 750 lx 要提高到 1 000 lx 时,要增加 33%的照度,才能获得仅 5%左右的瞳孔面积缩小率。也就是说,很小的视觉功效提高率却需要很大的照度才能满足,因而能源效率极低,造成能源浪费。

确定合理的照度值是教室光环境设计的重要问题。照度太低,会损害学生视力,影响身心健康和学习效率;不合理的高照度则会造成电力浪费。目前,我国普通教室照度标准为 300 lx,德国为 300 lx,美国为 500 lx,日本为 200~750 lx;对连续视觉工作的



1—2 700 K; 2—4 000 K; 3—6 500 K

图 2 瞳孔面积随背景照度变化曲线

Fig.2 Curves of pupil size changing with background illuminations

表 3 背景照度 100~1 500 lx 下瞳孔面积变化率

Table 3 Change rates of pupil area under 100~1 500 lx background illuminations

背景照度 E/lx	照度 变化率/%	2 700 K		4 000 K		6 500 K	
		瞳孔面积 A_p/mm^2	变化率/%	瞳孔面积 A_p/mm^2	变化率/%	瞳孔面积 A_p/mm^2	变化率/%
100	—	21.38	—	18.58	—	14.68	—
150	50.0	18.23	-14.73	15.08	-18.85	12.22	-16.72
200	33.3	15.77	-13.50	12.54	-16.86	10.36	-15.24
300	50.0	12.34	-21.74	9.35	-25.41	7.87	-24.06
500	66.7	8.96	-27.40	6.79	-27.44	5.60	-28.89
750	50.0	7.53	-15.96	6.00	-11.62	4.75	-15.19
1 000	33.3	7.11	-5.55	5.84	-2.65	4.53	-4.54
1 500	50.0	6.96	-2.22	5.80	-0.66	4.46	-1.51

房间,国际照明委员会(CIE)推荐照度最低值为 300 lx(一般教室)或 500 lx(夜间教室),最高值为 1 000 lx^[14]。教室照明水平应综合照明数量、质量、效率、经济和节能等多方面要求来确定。根据上述分析,本文作者认为在经济可行的条件下,我国大学普通教室照度标准可提高到 500~750 lx,但不宜超过 750 lx。

3 结论

(1) 同一背景照度时,色温 6 500 K 荧光灯下的瞳孔面积最小,4 000 K 的次之,2 700 K 的最大。瞳孔面积小、瞳孔收缩多,视看清晰、可见度好。因此,教室适宜采用中、高色温的荧光灯光源照明。

(2) 教室光环境下,瞳孔面积随背景照度增大而减小,并在达到一定的照度水平后逐渐趋于稳定。说明提高照度有利于视觉功效,但高照度并不等于高照明质量,因为过高的照明水平反而可能影响视觉效果,并且能源效率极低。

参考文献:

- [1] 赵跃进. 能效标准在中国绿色照明工程中的作用[J]. 中国照明, 2007(9): 80-81.
ZHAO Yue-jin. The role of energy efficiency standards in China green lighting project[J]. China Illumination, 2007(9): 80-81.
- [2] 章海聪. 照明科学新进展——眼睛的非视觉效应[J]. 照明工程学报, 2006, 17(3): 1-3.
ZHANG Hai-cong. New progress among the lighting science: The non-visual effect of eye [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2006, 17(3): 1-3.
- [3] Yasukouchi A, Ishibashi K. Non-visual effects of the color temperature of fluorescent lamp on physiological aspects in humans[J]. J Physiol Anthropol Appl Human Sci, 2005, 24(1): 41-43.
- [4] Hubalek S, et al. Ambulant recording of light for vision and non-visual biological effects[J]. Lighting Res Technol, 2006, 38(4): 314-324.
- [5] 陈仲林, 李毅, 杨春宇, 等. 道路照明中的光生物效应研究[J]. 照明工程学报, 2007, 18(3): 1-5.
CHEN Zhong-lin, LI Yi, YANG Chun-yu, et al. Study on photobiomodulation of road lighting[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2007, 18(3): 1-5.
- [6] 杨公侠, 杨旭东. 人类的第三种感受器(上)[J]. 光源与照明, 2006, 6(2): 30-31.
YANG Gong-xia, YANG Xu-dong. Human's third sensors (1)[J]. Lamps and Lighting, 2006, 6(2): 30-31.
- [7] 杨公侠, 杨旭东. 人类的第三种感受器(下)[J]. 光源与照明, 2006, 6(3): 28-30.
YANG Gong-xia, YANG Xu-dong. Human's third sensors (2)[J]. Lamps and Lighting, 2006, 6(3): 28-30.
- [8] 庞蕴凡. 视觉与照明[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1993: 189-193.
PANG Yun-fan. Vision and lighting[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1993: 189-193.
- [9] Berman S M, Nawab M, Martin M J, et al. Children's near acuity 15 better under high color temperature lighting[C]//CIE Midterm Meeting and International Lighting Congress. May, 2005: 18-21.
- [10] Dacey D M, Liao H W, Peterson B B, et al. Melanopsin-expressing ganglion cells in primate retina signal colour, and irradiance and project to the LGN[J]. Nature, 2005, 433: 749-754.
- [11] Berman S M, Navvab M, Martin M J, et al. A comparison of traditional and high colour temperature lighting on the near acuity of elementary school children[J]. Light Res Technol, 2006, 38: 41-52.
- [12] 黄海静, 陈纲. 大学教室照明现状及视觉环境主观评价分析[J]. 灯与照明, 2010, 34(4): 22-26.
HUANG Hai-jing, CHEN Gang. Discussion on lighting situation of university classroom and subjective evaluation of the visual environment[J]. Light & Lighting, 2010, 34(4): 22-26.
- [13] 居家奇, 陈大华, 林燕丹. 照明的非视觉生物效应及其实践意义[J]. 照明工程学报, 2009, 20(1): 25-28.
JU Jia-qi, CHEN Da-hua, LIN Yan-dan. The non-visual biological effect of lighting and its practical meaning[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2009, 20(1): 25-28.
- [14] GB 50034—2004, 建筑照明设计标准[S].
GB 50034—2004, Building lighting design standards [S].
- [15] 黄海静. 大学教室照明中的光生物效应研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010: 39-49.
HUANG Hai-jing. Study on classroom lighting in university on circopic[D]. Chongqing: Chongqing University, 2010: 39-49.

(编辑 邓履翔)