

教室光环境研究综述

高 帅

(重庆大学建筑城规学院, 重庆 400030)

摘 要: 该文综述了国内外教室光环境的研究成果, 介绍了教室照明的要求, 在照明数量、质量方面进行了总结; 最后介绍了国内外教室光环境在心理评价测试、视功效、效率—疲劳等方面的研究成果。可以相信, 教室光环境中的光生物效应研究成果将为教室照明设计的合理性提供基础数据和建议, 并在未来通过更加深入的研究创造出健康、舒适的学习环境。

关键词: 光环境; 教室照明; 光生物效应; 综述

中图分类号: TM923 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1004-440X.2013.Z1.020

A Research Review of Classroom light environment

Gao Shuai

(Faculty of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: This paper summarizes the internal and oversea studying achievement about classroom light environment. Furthermore it describes classroom lighting requirements in terms of lighting quantity and quality; Finally, the domestic and foreign classroom light environment research results in psychological evaluation, visual efficacy, efficiency – fatigue etc are introduced. In the future, the results based on circadian rhythm will provide basic data and suggestions for lighting design, and create healthy, comfortable learning environment through more in – depth study.

Key words: light environment; classroom lighting; circadian rhythm; review

1 引言

据人民网报道, 我国近视眼人数已近4亿, 居世界第一, 近视发生率已经达到世界平均水平的1.5倍, 青少年近视发生率更是高达60%至70%。近视人数连年攀升, 已经成为影响我国人民健康的重要问题^[2], 尤其是大学生的视力不良率高达84.72%^[1]。多个地方大学生视力不良率高达九成以上。

对于我国学生视力不良检出率仍高居不下的状况, 我国高校学者也对学校教室光环境研究展开了广泛研究, 为修订国家标准、改进教室光环境提供了数据参考^{[2][3][4]}。研究包括不同年龄段、不同特

点教室的使用调查、眩光分析、天然光与人工光结合以及光生物效应下学生心理、生理节律的变化等研究方向。

2 教室光环境指标要求

2.1 照明数量指标要求

照明数量指标要求主要是对参考平面或作业面上影响视觉工作所需维持平均照度值作出了要求。我国现行《建筑照明设计标准 (GB50034—2004)》根据学校建筑使用功能, 将学校建筑照明分为教室照明、实验室照明、美术教室照明、多媒体教室照明以及教室黑板照明五类。其中教室的参考面 (课桌面) 照度标准值要求为300lx。我国照明设计标准照度平均值远低于国际标准, 例如, 日本工业标准

(JISZ9100—1979) 规定平均照度为 200—750lx、北美照明学会 (IESNA) 2000 规定平均照度为 500lx, CIE 标准为 300—500lx 等 (表 1)。

表 1 国内外教室照度标准对比 (单位: lx)

Table 1 Internal and oversea classroom illuminance standard comparison

房间或场所	国标 GB50034-2004	CIE S 008/E-2001	美国 IESNA-2000	日本工业标准 JISZ9110-1979	德国 DIN 5035-1990	俄罗斯
教室	300	300、500 (夜校、成人教育)	500	200-750	300 500	300
实验室	300	500	500	200-750	500	300
美术教室	500	500 750	500		500	-
多媒体教室	300	500	-		500	400
教室黑板	500	500	-		-	500

资料来源: 同济大学硕士学位论文 2008

2.2 照明质量指标要求

学校的采光和照明设计, 不仅要满足光的数量够, 还要要求优质的照明质量, 使师生有一个减少视觉疲劳和舒适愉快的光环境。照明质量指标主要有照度均匀度、亮度对比度、相关色温、眩光、显色指数等。

①照度均匀度

我国国家标准《中小学校教室采光和照明卫生标准》(GB7793—87) 规定, 教室课桌面照度均匀度不应小于 0.7, 黑板照度均匀度不应低于 0.7。CIE 标准建议的数值是 0.8。

②亮度对比度

舒适的照明环境也需要对教室内各表面的反射系数做出规定以增加光的利用效率和改善教室照明效果。我国《建筑照明设计标准 (GB50034—2004)》规定教室的表面反射比推荐值: 顶棚 0.6~0.9, 墙壁为 0.3~0.8, 地面为 0.1~0.5, 工作面 (课桌面) 为 0.2~0.6, 为满足学校教室照明的特点, 以上反射系数宜取上限值。

③相关色温

我国《建筑照明设计标准 (GB50034—2004)》中对室内照明光源按色温的高低分为暖白色 (< 3300K)、中间色 (3300—5300K)、冷白色 (> 5300K), 其中教室照明宜采用中间色温光源。

④眩光

眩光是教室光环境质量评价重要指标之一。常用的眩光计算方法有英国 BBS 的 BGI 指数法、天然

光眩光指数 DGI、CIE 眩光指数 CGI, CIE 于 1995 年规定使用统一眩光值 (UGR) 作为不舒适眩光的评价指标, 我国《建筑照明设计标准 (GB50034—2004)》规定对教室 UGR 不宜大于 19。

⑤显色指数

我国《建筑照明设计标准 (GB50034—2004)》规定教室照明宜选用显色指数要求不小于 80 的光源。

⑥频闪效应

教室频闪效应是由于电光源光通量的波动对学生产生的危害效应, 短期在心理上将吸引和影响学生的注意力, 使人产生不舒服的感觉; 长期会引发视觉疲劳、眼花、偏头痛, 甚至会损伤青少年的视力。因此在教室需要增设稳压设备保证照明的稳定性要求, 提高教室照明质量。

3 国内外教室光环境研究

Heschong 等人^[5]通过对美国三个不同气候地区的学校教室采光研究发现, 教室不同的采光率对 2—5 年级学生的算术、阅读成绩影响显著, 指出对于那些采光不良的教室可以通过增加窗户和天窗等措施改善光环境以影响学生的行为和表现, 进而提高他们的学习成绩。Tanner^[6]在基于照明对人体生理节律、健康、成长和功效的影响等成果上重申学校物理环境会影响学生学习效率这一观点, 并使用回归模型分析确定教室物理环境设计与学生表现之

间的关系。剑桥大学 Winterbottom、Wilkins 等人^[7]对英国 90 个教室中进行调查,发现 80% 的教室照明采用的人眼察觉不到每秒 100Hz 闪烁频率的荧光灯照明,并研究发现教室中该闪烁频率的荧光灯照明和交互式电子白板 (IWBs) 会使学生感到不适,引发头痛,降低认知能力,甚至损害视觉。GovénT, LaikeT 等人^[8]通过实验研究发现,小学生在 500lx 照度的光环境下其阅读速度,作文和算术方面的成绩均好于 300lx 标准照度照明环境。

复旦大学的陈壬贤等人^[9]对福建省 9 所中小学 18 间教室进行采光和照明情况调查。调查发现,89% 的学校教室仍旧在使用光效较低的 T9, T10, T12 系列的荧光灯;教室课桌面、黑板照度低是突出问题,其中课桌面照度最高值为 204.9lx,黑板照度最高值为 208.2lx;从灯具数量来看,教室的灯具数目差别较大;且有 44% 的教室采用无反射罩的裸灯管;值得一提的是所调研的教室的功率密度值基本符合我国《建筑照明设计标准 (GB50034—2004)》要求,但是照度却远远达不到标准,从中可以发现照明设计和产品质量存在严重问题。

江苏大学的刘琳等人^[10]对教室的照度抽样结果进行分析,在避免黑板灯对教师及学生产生眩光的前提下,从照度值、照度均匀度等方面对教室光环境进行综合评价,并把多目标优化理论运用于照明设计中,提出优化改进的光源布置,并对优化后的光源布置进行分析验证。

复旦大学的杨彪、马磊等人^[11]根据相关标准,运用模糊综合评价法确定了以照明质量、光源性能和天然采光三个方面为准则的教室光环境综合评价指标体系,并利用 Delphi 法和改进的层次分析法确定了各指标的相对权重,从而建立了中小学教室光环境的模糊综合评价模型。

同济大学郝洛西、林丹丹课题组^[12]对上海市中小学视力健康与光照环境进行了有关实验研究,结果显示色温和照度水平对学生在实验过程中的作业正确率有直接影响。在满足现行规定标准照度值 300lx 的光环境下,5000K 和 6500K 的高色温可以延缓学生的视觉疲劳,提高学习效率;在照度值大于 500lx 的光环境下学生的视觉作业效率较高,且视觉感受较好。

天津大学的李振霞,沈天行^[13]调查了若干多媒体教室,对投影大屏幕清晰度进行了主观评价,讨

论了多媒体教室光环境设计中大屏幕、环境亮度、桌面照度三者之间应遵循的关系。

在国家自然科学基金项目《基于光生物效应的教室健康照明研究》的资助下,重庆大学严永红课题组^[14~19]通过对学生视觉心理评价、视觉功效、效率—疲劳、生理实验等实验分析,研究证明了在全人工光条件下,荧灯光谱、光强度差异与学生视觉心理、视疲劳、脑波节律及学习效率等诸多因素存在密切的相关性,并建立了光谱/光强度—心理物理量—生理节律—学习效率综合模型。

3.1 心理评价测试

荷兰学者 A. A. Kruithof 研究表明,人们长期生存的环境决定了人对光源的舒适感接近自然光对人产生的生理效果,并于 1941 年^[20]绘制了人体舒适程度和照度、色温的相关性的 Kruithof 曲线图 (图 1),由图 1 可知,低色温低照度、高色温高照度、中等照度中等色温的光环境舒适感较高。

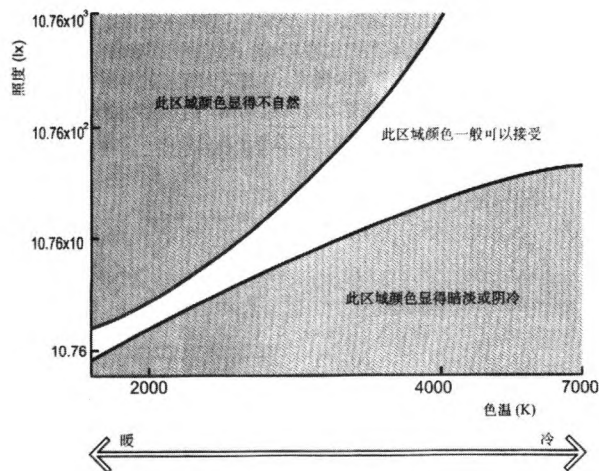


图 1 kruithof 照明舒适度曲线^[20]

Fig. 1 Kruithof lighting comfort curve

《基于光生物效应的教室健康照明研究》课题中,严永红、关杨等人^[21]采用平行组实验的方法通过不同色温荧光灯下的最佳照度、最佳照度下的色温偏好及光环境因子重要性排序等心理评价测试,研究结果表明,教室照明的时间积累对学生的心理感受产生较大影响,750lx 照度下中间色温的光环境适合学生长时间学习,且各项主观评价均较好,高色温次之、低色温最差;照明分项特点来看,2700K 存在“色彩表现”的缺陷,6500K 具有“清醒程度”高的明显优势,4000K 整体优势明显。

3.2 视觉功效

视觉功效是指在一定的光环境下人借助视觉器官完成视觉作业的效率和能力，以完成视觉作业的速度和精确度来定量评价。在该研究领域，20 世纪

90 年代我国学者庞蕴凡^[22]通过对 20 名视力正常的成年人进行实验研究，统计绘制出识别率为 50% 和 95% 条件下的视觉功效曲线（图 2）。

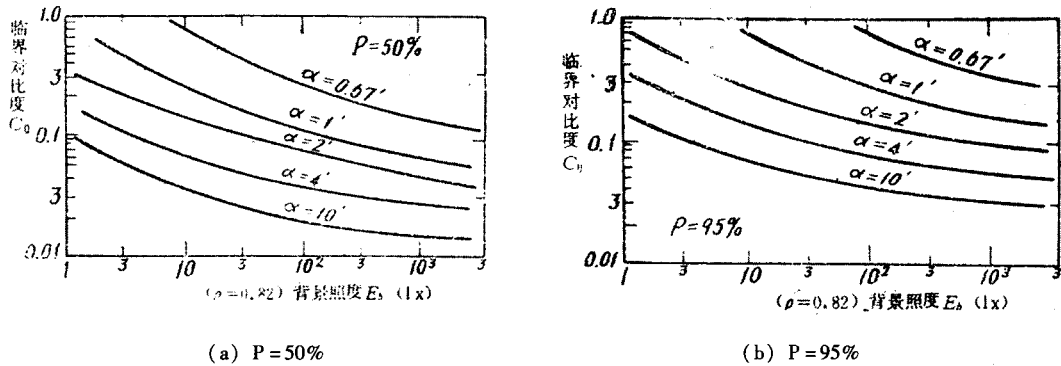
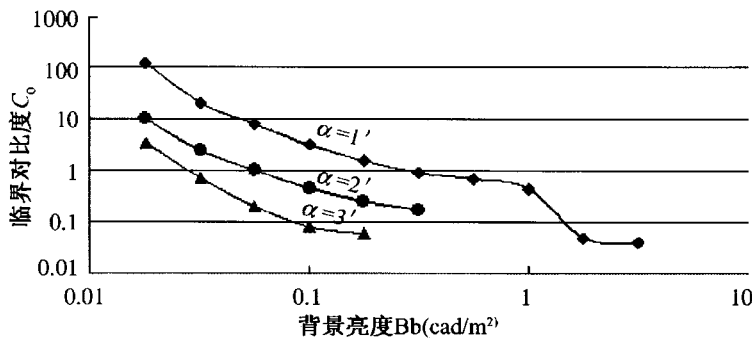


图 2 中国成年人视觉功效曲线^[22]
Fig.2 Visual function of China's adult

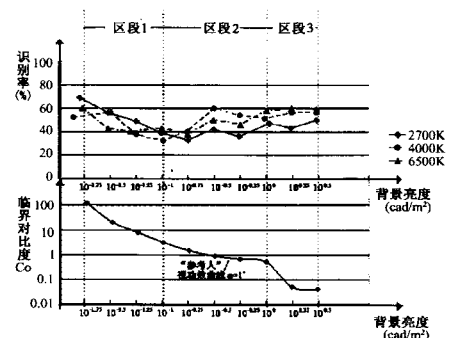
国外也有一些学者一直致力于视功效研究，苏联视觉理论学者 B. B. Memkoq、美国学者 H. R. Blackwll 和 Siedentopf 等人实验采用了暗背景亮目标，浦山久夫和伊藤两人采用了亮背景暗目标。但这些学者的研究多半是为制定相关标准提供严谨的数据参考，研究耗时长且重点在于寻找人体视觉特性的普遍规律，而缺少对不同光环境下视功效差异的对比。

因此，重庆大学严永红、关杨等人^[14,15]通过白炽灯—荧光灯视功效对比实验、荧光灯—荧光灯视功效对比实验绘制出“不同视标条件下，不同背景光源识别率曲线图”（图 3）结果表明，当使用低色

温光源（白炽灯，色温 2200K）作为视标照明光源时，低色温的背景光源（2700K）只有在极低亮度条件下识别率略高于中—高色温光源；但随着亮度的提升，中—高色温光源的识别率明显优于低色温光源。在三种光源中，中等色温光源在各亮度区段及不同视标条件下的识别率表现最为稳定；而在“2'视标条件下，不同色温 T5 荧光灯光色配比识别率曲线”（图 4）结果表明，背景光源与视标光源光色有一定反差时的识别率较高，相同时识别率则较低，色温 4000K 的荧光灯的表现最佳，6500K 表现最差。



(a) 参考人视功效参考曲线



(b) 1' 视标条件下，识别率曲线

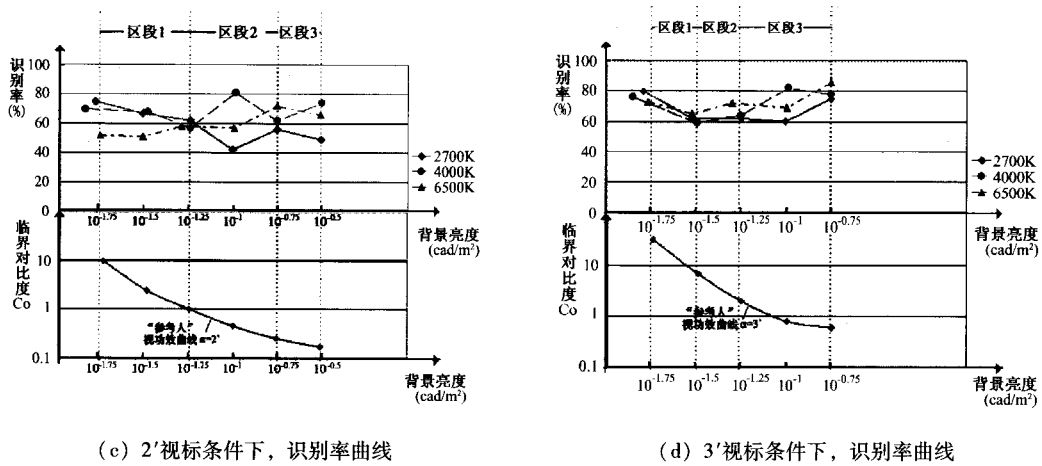


图3 不同视标条件下,不同背景光源识别率曲线图^[14]

Fig.3 Recognition rate of light source

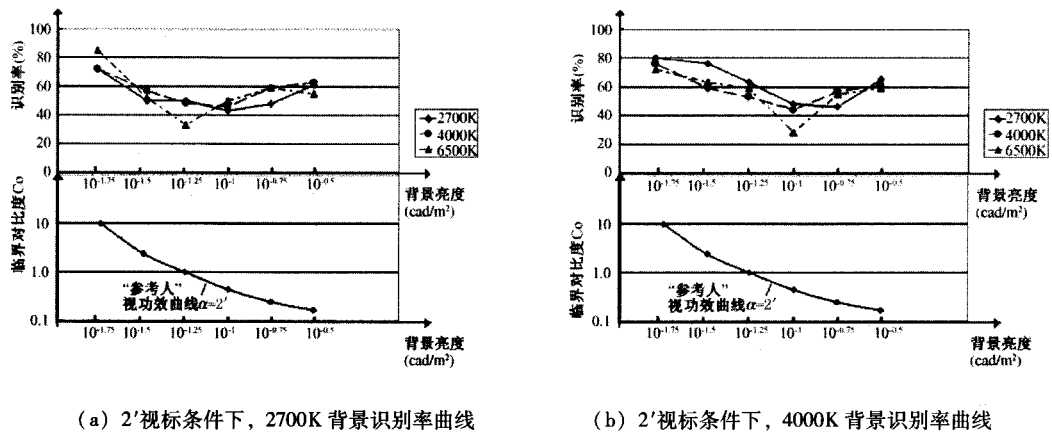


图4 2'视标条件下,不同色温T5荧光灯光色配比识别率曲线^[15]

Fig.4 Recognition rate of light and color matching

3.3 效率—疲劳

学习疲劳是导致学习效率下降、学生厌学的重要原因之一。光生物效应的发现及研究表明,良好的教室光环境对提高学习效率,减少疲劳程度以及保护学生心理、生理健康均具有重要意义。不良的

光环境可以影响人们的心理系统发生变化而致使学习效率下降,如情绪、性格、困倦压力等原因引起的学习效率下降。如果长时间在这种环境下学习工作,可以引起眼胀痛、眼部充血、视物模糊、眼干涩及眼皮沉重等视疲劳。由于视疲劳不仅仅是眼睛

本身的疲劳,而且是眼睛、视神经与相关的脑部区域的综合性疲劳,因而视疲劳也不仅局限于表现在眼部,甚至引起脑疲劳,更为严重的可以引起不同程度的神经官能症。

严永红、关杨等人^[16,17,19]对教室照明光源、照度与学生工作绩效、视/脑疲劳的关联性进行研究,了解何种光环境更有利于学生学习效率并减缓视疲劳,并建立效率—疲劳模型。学生的效率—疲劳测试表明,在教室照明光源的选择中,应以4000K左右的中等色温荧光灯为主要光源,6500K色温,不适合作为教室照明,其不应作为教室照明的主光源。不同色温的荧光灯光源,其最不利的照度值也不相同,2700K色温下,750lx的照度应尽量避免;4000K色温下,500lx需注意避免,而6500K色温荧光灯下,500lx、1000lx的照度应尽量避免。(表2)。

表2 不同光谱光源下其最佳照度值^[21]

Table 2 The best illuminance with various spectrum

光源	色温 (K)	最佳照度值 (lx)
荧光灯	2700	300
	4000	750
	6500	无

3.4 生理节律

日本千叶大学 LuSHI 等人^[23]研究测试3种不同色温的荧光灯光源光环境下被试在运动状态下的 α 波指数。结果表明,3000K下脑波活性、兴奋性相对最低,但对放松和运动后体力恢复有利;7000K下脑波活性最高,疲倦感最强,疲劳消除最慢;5000K下最有活力,舒适度最高,是最适宜运动的光环境。

Shimomura 等人^[24]进一步研究了光源色温对人在脑力工作时觉醒水平的作用。他们研究报道:在3000K色温下,人体脑电图上的 α 指数较其他高色温光源下高,但是在主观评价方面被试的嗜睡现象在低色温时比高色温下显著,然而对工作的紧张性、集中注意和觉醒水平在高色温时比在低色温下为高。

Inoue^[25]对不同光源色温下人体脑力活动和临界闪烁融合频率的研究,表明在高色温6700K光环境下人的眨眼频率明显增加,易产生视疲劳,长时间作业会使脑力活动效率下降,同时被试报告:在高色温照明光环境下作业“有眼睛发干,想闭上眼

睛”的感觉。Marikawa 指出:与3000K、5000K色温相比,在7500K高色温光源作用下,被试作业后视/脑疲劳恢复速度相对较慢,因此在高色温光源下休息是不适宜的,建议在长时间和繁重的脑力劳动后,在较低的色温光源下休息为好,这有利于促使人脑疲劳的恢复^[79]。

严永红、宴宁等^[18]通过测试3种色温、3种照度不同组合的9种光环境下学生脑电图 α 波、 β 波指数的变化,观察光照对人体生理节律的影响。结果表明,不同光环境下脑波指数变化率存在显著差异性;兴奋度及敏感性随光源色温、照度值增加,大体呈正相关性;学习效率随光源色温、照度值增加而降低,呈负相关性。

4 小结

光生物效应下教室光环境研究是一个综合了光学、医学、心理学、视觉功效、照明设计等多个学科的交叉领域。目前,我国教室照明规范与国际指标具有一定的差距,教室光环境研究为照明设计在心理、生理效应方面提供了最佳的照明参数参考,并且与处于成长发育阶段的学生群体的身心健康发展密不可分,具有极为广泛的研究意义。随着教室光环境研究的不断深入,对于高效新光源的开发、科学节能照明方案的探求具有重要价值。

参考文献

- [1] 张维. 小学生视力不良率达40.89% [EB/OL]. <http://legal.people.com.cn/h/2011/0903/c226563-2729543359.html>, 2011-09-03.
- [2] 林丹丹, 郝洛西. 关于中小学生学习视力健康与光照环境关系的实验研究 [J]. 照明工程学报, 2007, 04: 38-42.
- [3] 王智勇. 照明与近视关联的研究进展 [J]. 中国学校卫生, 2008, 01: 89-91.
- [4] 孟超. 北京市部分学校教室采光照明现状分析 [J]. 照明工程学报, 2006, 01: 34-37+41.
- [5] Heschong L, Wright RL, Okura S, et al. Daylighting impacts on human performance in school [J]. Journal of Illuminating Engineering Society, 2002, 31: 101-114.
- [6] Tanner KC. Explaining relationships among student outcomes and the school's physical environment [J]. Journal of Advanced Academics, 2008, 19: 444-471.
- [7] Winterbottom M, Wilkins A. Lighting and discomfort in

- the classroom [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2009, 29: 63 - 75.
- [8] Govén T, Laike T, Raynham P, et al. The influence of ambient lighting on pupils in classrooms considering visual, biological and emotional aspects as well as use of energy [C]. *Proceedings of the International Commission on Illumination Conference, Vienna, Austria*, 2010.
- [9] 陈壬贤, 彭伦焕, 严奕, 等. 农村地区教室光环境现状调查研究 [J]. *照明工程学报*, 2007, (02): 28 - 32.
- [10] 刘琳, 戴立玲, 卢章平. 基于无眩光效应的教室照明优化设计 [J]. *照明工程学报*, 2008, (02): 37 - 41 + 49.
- [11] 杨彪, 马磊, 林燕丹, 等. 中小学教室光环境的模糊综合评价 [J]. *照明工程学报*, 2009, (04): 14 - 18 + 37.
- [12] 林丹丹. 上海市中小学生视力健康与光照环境的分析研究 [D]. 同济大学, 2008.
- [13] 李振霞, 沈天行. 多媒体教室的光环境实测调查 [J]. *照明工程学报*, 2009, (02): 46 - 50.
- [14] 严永红, 关杨, 王宁, 等. 白炽灯下 T5 荧光灯视功效、识别率对比实验研究 [J]. *照明工程学报*, 2010, v. 2103: 70 - 75.
- [15] 严永红, 关杨, 王宁, 等. 不同色温 T5 荧光灯光色配比识别率对比实验研究 [J]. *照明工程学报*, 2010, v. 2105: 59 - 62.
- [16] 严永红, 关杨, 刘想德, 等. 教室荧光灯色温对学生学习效率和生理节律的影响 [J]. *土木建筑与环境工程*, 2010, v. 32; No. 15104: 85 - 89.
- [17] 严永红, 田海, 关杨, 等. 荧光灯光谱、光强对辨别力的影响 [J]. *重庆大学学报*, 2012, 35(1): 141 - 146.
- [18] 严永红, 晏宁, 关杨, 等. 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, v. 34; No. 16301: 76 - 79 + 90.
- [19] Yan Y H, Tang G L, Guan Y, et al. Evaluation index study of students' physiological rhythm effects under fluorescent lamp and LED [J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 433 - 440: 4757 - 4764.
- [20] M. 戴维·埃甘, 维克多·欧尔焦伊·詹庆旋校. 建筑照明 (原著第二版) [M]. 袁樵译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [21] 关杨. 光生物效应下教室照明心理 - 生理综合评价研究 [D]. 重庆: 重庆大学硕士学位论文, 2010.
- [22] 庞蕴凡. 视觉与照明 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.
- [23] Shi L, T Katsuura, Y Shimomura, et al. Effects of different light source color temperatures during physical exercise on human EEG and subjective evaluation [J]. *Journal of the Human - environment system*, 2009, 12 (1): 27 - 34.
- [24] Shimomura Y, Iwanaga K, Harada H, et al. Effects of the Color Temperature of Illuminance on Arousal Level in Working [J]. *J Physiol Anthropol*, 2001, 20 (2): 149.
- [25] Inoue M, Katsuura T, Harada H. The Effect of Color Temperature on Visual Fatigue [J]. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 1997, 17 (5): 218.