

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

严永红^{1,2} 关杨^{1,2} 刘想德³ 张小康^{1,2}

(1.重庆大学建筑城规学院;2.重庆大学教育部山地城镇新技术重点实验室;
3.重庆邮电大学自动化学院)

摘要: 针对目前我国学生视力不良检出率极高的现状, 实验对比了 3 种典型色温下学生的视觉功效及效率-疲劳反应差异。相比于以往研究, 重点关注不同光环境下的视功效差异并充分考虑了学生学习的长时间累积效应。基于光生物效应的作用, 除视功效、视疲劳和学习效率, 还提出对脑疲劳进行分析。最终通过数据综合, 得出教室照明的最佳光环境为 4000K 色温下, 750lx 左右的中高照度光环境。并根据视功效实验结论, 建议在课桌区域采用 4000K 色温时, 黑板区域采用与其有光色差别的 2700K 色温。

关键词: 光生物效应; 教室照明; 视功效; 效率-疲劳

1 引言

据教育部去年发布的 2010 年学生体质监测报告, 我国青少年视力不良检出率继续上升, 并出现低龄化倾向, 其中大学生的视力低下率极高, 达 84.72%。视力不良率呈逐年升高的现象与不良的教室照明密切相关。人眼第三种光接收细胞(Cirtpopic 光感受器)的发现意味着光不仅影响人的视觉功效还与人的心理、生理效应相关。本论文依托国家自然科学基金《基于光生物效应的教室健康照明研究》(批准号 50778182) 重点研究大学教室照明中光的物理参数与学生的视功效、学习效率及视、脑疲劳的对应关系。从而为营造有利于学生生理健康的照明环境提供实验数据与理论参考。

在视功效研究领域, 我国学者庞蕴凡在上世纪 90 年代进行了中国人视功效特性的实验研究。国际上, 国外进行照度与视功效关系研究的学者也很多, 较有代表性的有 B.B.Мешкоq、H.R.Blackwll、Siedentopf、浦山久夫和伊藤等人。其中前三者采用了正对比, 后二者采用了负对比。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。在效率-疲劳研究领域, Philips 公司得出了办公室光环境下时间、人体生理节律与光源色温的对应关系; 同济大学林丹丹、郝洛西等对学生在不同照度、色温荧光灯环境下的视疲劳程度、主观评价、工作绩效进行了对比研究; 重庆大学黄海静等人对比了相同光强、不同色温下的学生工作绩效。但以上研究普遍进行的是短时效应测试, 忽略了学生学习的长时间累积效应。

总的来说, 目前的研究缺少对教室光环境的细致划分及对学生学习特性的重视。本研究将对不同色温、光强进行更为全面的分类并考虑学生学习的长时间特性从而注重时间累积效应。研究分两大部分: 视功效实验和效率-疲劳实验。

2 视功效实验

2.1 实验简介

视功效实验主要测试不同色温、照度背景下, 受试人视功效状况, 对多组色温——照度组合值进行优劣排序。我们采用自制的实验装置, 详见图 1。由于背景光源与视标光源分设, 实验分为两大部分:

实验一: 白炽灯——荧光灯视功效对比实验

以 2700K、4000K、6500K 三种光色的荧光灯为为背景光源, 白炽灯为视标光源, 通过实验绘制出“视功能曲线及对应各背景光源识别率曲线图”, 根据视功效差异, 以被试人的识别率为指标, 得出相同视标光源下背景光源色温优劣排序, 及视标光源与背景光源的光色反差优劣排序。

实验二: 荧光灯——荧光灯视功效对比实验

在实验一的结论基础上, 通过增加视标光源光色变化, 对三种不同光色进行两两组合, 以进一步比较背景光源与视标光源在不同光色搭配条件下的视功效差异, 寻找最佳光色搭配方案。

通过两部分的视功效实验, 得到了在低亮度阈值条件下, 受试人的视功效差异, 找出了最佳推荐色温及光色配比排序。

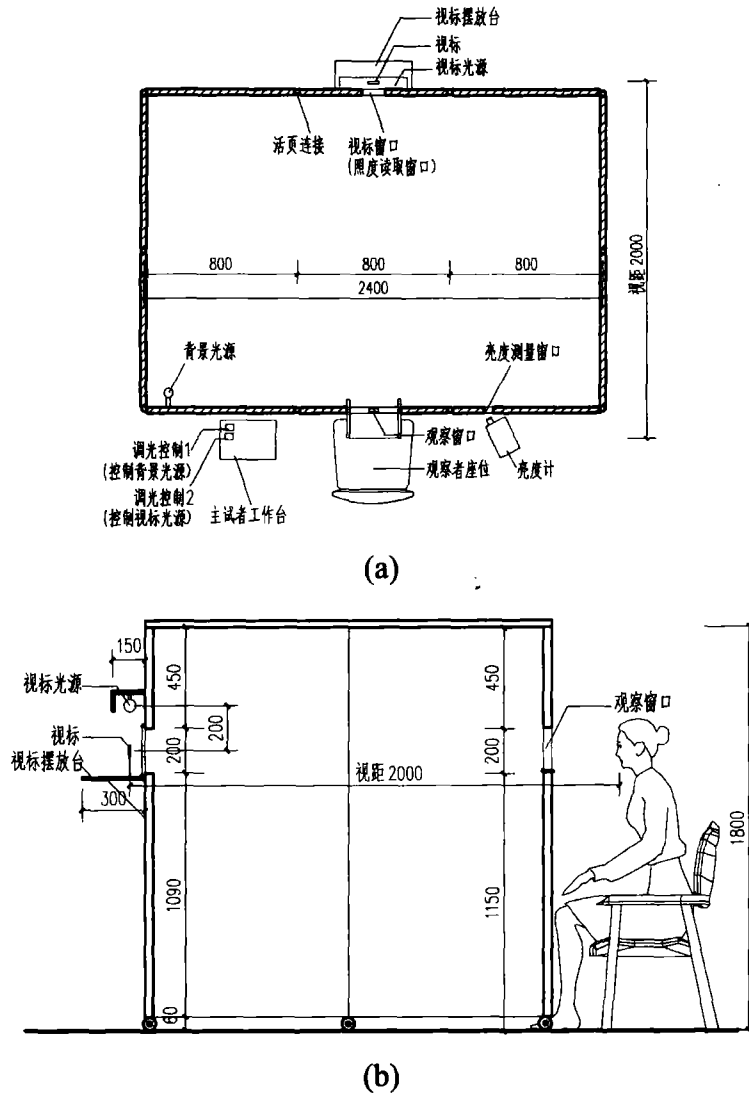


图 1 视功效实验装置平面图，(a) 剖面图；(b) (资料来源：自绘)

2.2 创新点

实验方法上，没有采用传统视功效实验所采用的绘制所有实验参与者平均识别率 $P=50\%$ 时的视功效曲线，而是通过一系列预实验，找出一位识别能力较具代表性、且表现最稳定的一名受试作为“参考人”来绘制视出他的特定视功效曲线 ($P=50\%$)，然后以此曲线为参照物，测试出 8 名受试者在同样光环境条件下的平均识别率。这种方法节省了实验时间，且对比效果更为显著，为今后视功效实验提供了新的方法。

2.3 主要实验结论

1) 背景光源与视标光源光色有一定反差时的识别率较高。当采用白炽灯作为视标光源时，被试人在中高色温背景光源下识别率更高；而 2700K、6500K 背景光源下 4000K 视标光源表现最佳，4000K 背景光源下 2700K 视标光源表现最佳。

2) 背景光源与视标光源色温相同时识别率较低, 背景光源为 2700K 和 6500K 时, 同色温视标光源均表现最差; 但背景光源为 4000K 时, 同色温视标光源表现尚可, 此时 6500K 视标光源表现最差。

总体来看, 色温 4000K 的荧光灯的表现最佳, 6500K 表现最差。

3 效率-疲劳实验

3.1 实验简介

对教室照明光源色温、照度与学生工作绩效、视/脑疲劳的关联性进行研究。了解何种色温的教室光源更有利于学生的学习效率并减缓视疲劳。测试了不同光环境下学生的学习效率 γ 、视疲劳 δ 和脑疲劳 η 值三项指标。采用两间尺寸及布灯方式相同的标准教室(详图 2)进行对比测试, 两间教室分别安装亮度可调的荧光灯和 LED。

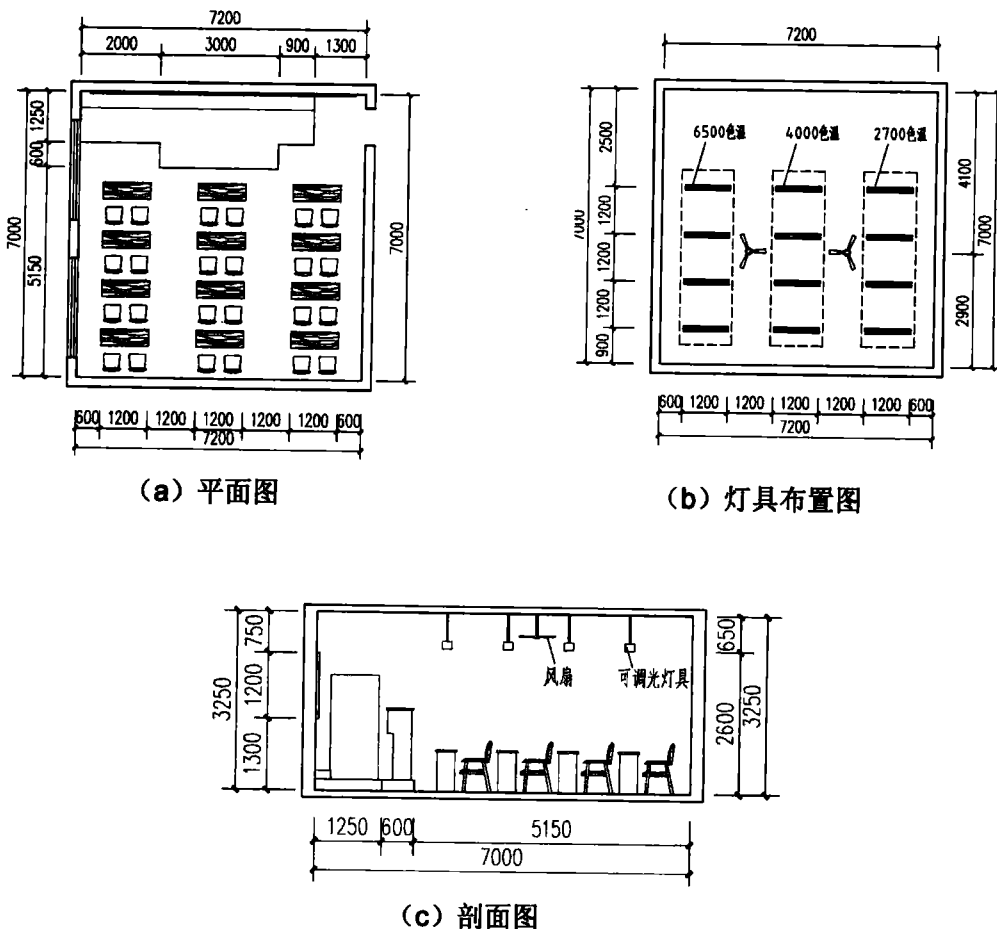


图 2 实验教室平面图, (a) 灯具布置图; (b) 及剖面图; (c) (资料来源: 自制)

3.2 创新点

在该实验中，我们采用了三项指标来评判各光环境的优劣，为了更直观地比较各光环境，我们引入综合指数 ε 概念，利用荧光灯组与 LED 组所有照度段 γ 、 δ 、 η 的最大、最小值与 γ 、 δ 、 η 的关系，采用下列计算式，将各指标的绝对数值经演算后统一到 0~1 之间再求和，得出光环境综合评价指数：

$$\varepsilon = \beta_1 \times (\gamma - \gamma_{\min}) / (\gamma_{\max} - \gamma_{\min}) + \beta_2 \times (\delta_{\max} - \delta) / (\delta_{\max} - \delta_{\min}) + \beta_3 \times (\eta - \eta_{\min}) / (\eta_{\max} - \eta_{\min})$$

其中， β_1 、 β_2 、 β_3 为各项的权值，均设定为 1。

使用综合指数 ε 来综合评判 γ 、 δ 、 η 数据项， ε 值越大表明 γ 、 δ 、 η 数据项的组合值越大，表明视疲劳、脑疲劳轻，学习效率高。但综合指数 ε 也有不够完善的地方。如数据项中其中两项值很高，但另一项却很低，也可获得较高的综合指数 ε ，但从光环境评价的角度来看，任何一项指标过低，都说明该光环境存在缺陷，需进行改进，但单纯依靠 ε 值却无法反映出这一问题。因此，再引入基准标识 Ψ 指标，用于判断 γ 、 δ 、 η 是否满足设定的基准。

基准标识 Ψ 的三个分项指标采用该分项荧光灯组+LED 组的算术平均值作为基准参数，经统计后得出 $\bar{\gamma}=397.3$ ， $\bar{\delta}=5.21$ ；从实际意义来看，脑疲劳 $\eta=0$ 意味着经过一段时间学习后脑疲劳未出现，应视做脑疲劳的基准指标，因此， $\bar{\eta}=0$ 。

$\Gamma \geq \bar{\gamma}$ ， $\delta \leq \bar{\delta}$ ， $\eta \geq 0$ 记为 0；其余记为 1。这样， Ψ 的取值为“0”表明该项指标基本达标，取值为“1”则表明不达标

3.3 主要结论

数理分析的得出的综合指数及基准标识统计详见表 1、表 2。

表 1 荧光灯综合指数 ε 及基准标识 Ψ （资料来源：自制）

光环境	综合指数	基准标识		
		学习效率	视疲劳	脑疲劳
2700K 300lx	1.813	0	1	0
2700K 500lx	0.735	1	1	1
2700K 750lx	0.595	1	0	1
2700K 1000lx	1.352	1	0	1
4000K 300lx	1.303	0	1	0
4000K 500lx	1.448	1	0	1
4000K 750lx	2.337	0	0	0
4000K 1000lx	2.699	0	0	0
6500K 300lx	1.013	0	1	1
6500K 500lx	0.957	1	0	1
6500K 750lx	1.234	1	1	1
6500K 1000lx	0.859	1	1	1

表 2 LED 综合指数及基准标识 Ψ (资料来源: 自制)

光环境	综合指数	基准标识		
		学习效率	视疲劳	脑疲劳
2700K 300lx	1.524	0	1	0
2700K 500lx	1.194	1	0	1
2700K 750lx	1.489	1	0	1
2700K 1000lx	1.166	1	0	1
4000K 300lx	1.94	0	0	0
4000K 500lx	1.458	1	0	1
4000K 750lx	2.449	0	0	0
4000K 1000lx	2.127	0	1	0
6500K 300lx	1.521	1	1	0
6500K 500lx	1.667	0	1	0
6500K 750lx	1.453	1	1	0
6500K 1000lx	1.348	1	1	1

实验数据分析可知:

1) 在 4000K 左右的中等色温下, 被试的效率-疲劳测试优于其他色温, 因此应以 4000K 左右中等色温的荧光灯、LED 作为主要光源。目前大学教室普遍使用的高色温 (6500K) 荧光灯光源, 可则会加重学生的脑疲劳和视疲劳, 降低学习效率。

2) 不同光谱、不同色温的光源, 其最佳照度值并不相同。其中, 荧光灯组: 2700K、4000K、6500K 最佳照度值分别为: 300lx、1000lx、无; LED 组: 750lx、300lx、500lx。其中, 2700K、6500K 最佳照度值的视疲劳指标未能满足基准标识要求。

3) 教室照明中应避免的色温——照度组合

不同色温的光源, 其最不利照度值也不相同。其中, 荧光灯组: 2700K、4000K、6500K 最不利照度组合分别为: 750lx、300 lx、1000lx。LED 组: 1000lx、500lx、1000lx。

实验证明, 在色温相同的情况下, 光谱差异对综合指数 ϵ 、基准标识 Ψ 均有显著影响。

4 综合结论与展望

本文的两个实验结论吻合度较好,均表明 4000K 左右的中间色温相对于高、低色温性能更稳定。基于光生物效应作用,该色温在恰当的时间长度内可对学生产生良性的刺激,对大脑起到“唤醒”或“放松”的作用,达到提高学习效率、缓解视/脑疲劳的效果。从测试数据来看,教室照明宜选择 4000K 色温下 750lx、1000lx 的高照度光环境。目前教室照明中普遍采用的 6500K 色温,并不利于学生生理健康,其不应作为教室照明的主要光色。据视功效实验的结论,在课桌区域选择 4000K 色温时,黑板区域则建议选择与其有光色差别的 2700K 色温。

同时我们注意到,在色温相同的情况下,光谱差异对学生的学习效率、视、脑疲劳均有显著影响。在后续的研究中,我们将重点关注如何对光谱进行改进,使其更加高效和健康。从荧光灯和 LED 的测试对比中可知,LED 作为第四代光源,其光谱较荧光灯更健康,值得进一步研究及推广。

本研究资助基金:国家自然科学基金《基于光生物效应的教室健康照明研究》(批准号 50778182);华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室基金《教室典型光源对人体光生物效应影响研究》(批准号 2009KB15)

参 考 文 献

[1] 严永红,关杨,王宁,张小康.白炽灯下 T5 荧光灯视功效、识别率对比实验研究.照明工程学报,2010(3):70~75.

[2] 严永红 关杨 王宁 张小康.不同色温 T5 荧光灯光色配比识别率对比实验研究.照明工程学报,2010(5):59-62.

[3] 严永红 关杨 王宁 张小康.不同色温 T5 荧光灯光色配比识别率对比实验研究.照明工程学报,2010(5):59-62.

[4] Yan yonghong,Guan yang ,Tang GLee. Experimental research of visual performance with differenet optical spectrum light sources. Advanced Materials Research,Vols 433-440(2012):6375-6383.

[5] Yan yonghong,Tang G Lee,Guan yang,Liu xiangde. Evaluation index study of students' physiological rhythm effects under fluorescent lamp and LED. Advanced Materials Research,Vols 433-440(2012): :4757-4764.