

不同光色教室照明环境下的视觉功效研究

黄海静, 陈 纲

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

摘 要:在真实教室照明环境中, 通过不同色温(6 500 K 高色温、4 000 K 中间色温、2 700 K 低色温)荧光灯照明下, 学生完成视觉作业的效率 and 生理指数变化的比较实验, 从人的主观心理感受、血压脉搏等生理效能和视知觉作业绩效三方面, 对教室照明中光生物效应与视觉功效的关系进行分析。研究指出教室照明中适宜的光源光色对提高学生视觉功效和学习效率具有重要的现实意义。

关键词:教室照明; 光色; 光生物效应; 视觉功效

Influence on Visual Performance under Light Sources with Different Color Temperatures in Classroom Lighting

Huang Haijing, Chen Gang

(Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, Chongqing University, Chongqing, 400045)

Abstract: In the real classroom lighting environment, under the fluorescent lighting of three kinds of color temperature (6 500 K high color temperature, 4 000 K medium color temperature, 2 700 K low color temperature), by the "comparative experiments of visual task performances under different illuminant color", this paper studies on the relationship between the biological effect and visual performance in classroom lighting from three aspects of the subjective psychological feeling, physical efficiency such as blood pressure, and visual perception performance. The study shows that, under the high and medium color temperature of fluorescent lighting, the error rate of visual work is low, the proofreading speed and the mental work ability index is high, and the learning is the most efficient. The average variation rate of physiological index such as blood pressure, pulse is the lowest under the fluorescent lighting of medium color temperature, and the learning is relaxed and easy. Also among the students, the subjective psychological preference rate is the highest of the medium color temperature. This shows that, to improve students' visual performance and learning efficiency, the use of medium color temperature fluorescent lighting in classroom is of great practical significance.

Keywords: classroom lighting; illuminant color; cirtopic; visual performance

0 引言

视觉功效反应人借助视觉器官完成视觉工作的能力和效率, 以完成视觉作业的速度和精确度来评价视觉能力。照明环境好坏与人的视觉功效息息相关, 而视觉功效是伴随人的心理、生理等生物效应指标反应的。

神经生理功能和心理状态影响学生学习的效率, 阅读速度快、错误少, 表明大脑皮层的兴奋性高, 注意力集中好, 眼睛的调节强度也更高。如果照明环境不当, 视知觉活动时人体的瞳孔和血压、脉搏、心率等生理指数就会发生不适性变化, 产生视觉疲劳, 并引起脑力工作能力下降, 导致视觉作业绩效的降低(如作业错误率增加、完成速度减慢、质量降低等)。

收稿日期: 2011-11-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(51108479); 中央高校基本科研业务费科研专项自然科学类项目(CDJZR11 19 00 03)

作者简介: 黄海静(1974-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为建筑采光与照明、建筑设计及技术。

学生在教室的课业学习主要是视知觉活动和高级神经活动的过程,阅读是教室里学生学习的主要方式之一。因此,通过对学生完成阅读时的视觉作业绩效测定和生理指数测试同步的方法,可以从视觉功效和光生物效应角度综合分析出教室照明环境对学生的影响。教室照明环境影响因素很多,笔者从光生物效应的角度,设计了相同照度、不同光色的教室照明环境,通过实验分析光源光色对视觉作业绩效和生理指标变化的影响,探讨光源光色与视知觉功效之间的关系。

1 实验设计

实验教室利用现有的重庆大学建筑城规学院2

楼一间小教室改造而成,目的是为了使实验场景与日常学生的学习环境贴近一致,保证学生实验时因环境熟悉而心态放松,生理指标反应更为真实。

以《建筑照明设计标准》规定的教室照明 300 lx 照度标准值为依据,通过计算确定教室照明数量及布局,教室内垂直黑板布置 6 根单管带反射罩灯具,选用教室常用飞利浦 36 W 三基色 T8 荧光灯管(表 1)。对改造后的教室照明实际测量计算结果为:课桌面平均照度 300.22 lx,照度均匀度 0.89,照明功率密度 8.8 W/m²,全部满足《标准》的要求。荧光灯共有 6 500 K,4 000 K,2 700 K 的 3 种色温,3 组荧光灯管依次更换布置,以此构成三种照度相同、光源色温不同的教室照明环境(见图 1)。

表 1 三种色温荧光灯的基本参数

光源	型号	功率(W)	色温(K)	光色	显色指数 Ra	光通量(lm)
飞利浦 荧光灯	TL-D 36W/827	36	2 700	白炽灯色	80	3 350
	TL-D 36W/840	36	4 000	冷白色	80	3 350
	TL-D 36W/865	36	6 500	日光色	80	3 250

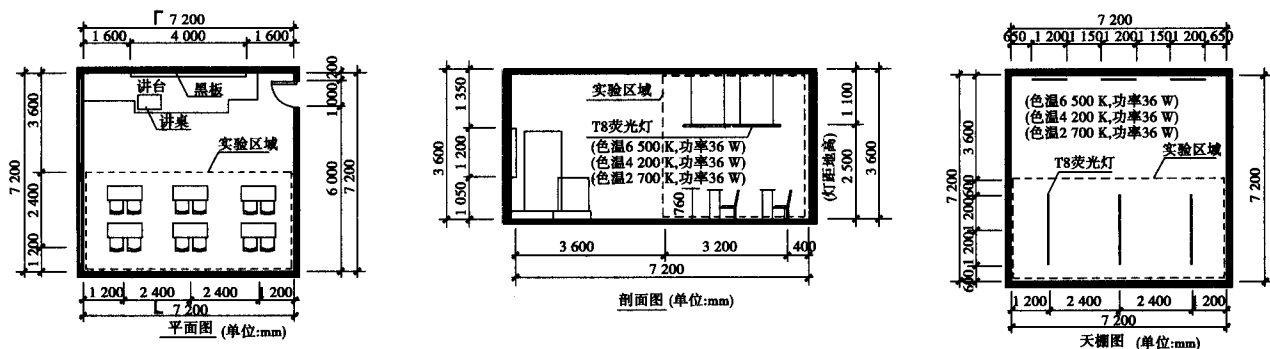


图 1 视觉功效实验的教室照明环境布置图

实验对象选择在校大学生(年龄 18~23 岁)共 24 名(男生 16 名,女生 8 名),要求被试者正常视力或矫正视力达到 1.0,且无眼部疾病和其他病理因素,以保证实验正常、数据可靠。实验时根据教室大小、灯具排列合理布置座位,将学生分成两组进行,每次 12 人/组同时测试。

3 种视觉作业材料各准备四套,采用“黑营随机码生成器”编辑软件随机生成,难易程度一致。视觉作业材料用 A4 纸统一打印,一套作为作业样本,另三套配合学生在 3 组不同光源色温的照明环境下作业时使用,以避免因内容重复带来的熟悉程度不同,而造成作业完成速度和错误率不准确的人为干扰因素。

1.1 视觉作业绩效实验

视觉作业绩效实验是从高级神经功能和心理状态的角度,通过不同色温光源下的视觉作业绩效结果的比较,研究教室照明中不同光色的光源照明对学生视觉功效的影响。

参考“学习疲劳测定方法”,采用视觉作业绩效的测定方法。具体如下:在规定的时间内(2 min)内进行剂量视觉作业的校核任务,对被试者完成的视觉作业错误率(反映大脑皮层的抑制过程)、阅字速度(反映大脑皮层的兴奋过程)和脑力工作指数(IMC)进行统计、分析,判断大脑皮层的功能状态和视觉功效。校对的平均速度和平均错误率反应了被试者完成视觉

作业的精确度及效率。脑力工作能力指数(IMC)是脑力工作能力的评价指标,脑力工作能力是大脑皮质高级神经活动的反映,它直接影响着学习效率。

根据心理学研究方法,剂量作业测定可采用校字法、校数字法、校图形法和心算法等,本次视觉作业测试选用具有代表性的三种图文辨识材料。第一种是“字母辨识——安菲莫夫校字表”,安菲莫夫表是研究神经功能特性的常用心理学方法,由大量字母随机组成,测试时要求被试者在规定时间内从表中划去指定的字母。第二种是“数字辨识——数字校对表”,数字校对表由左右两队数字组成,要求被试者从表中找出不同的项并标出不同的数字。第三种是“图形辨识——郎道尔环核对表”,郎道尔环(“C”环)是常用的视觉测试(如视力表)材料,由四种开口方向的郎道尔环随机组成,要求被试者从表中划去与目标环开口方向相同的项。

通过对学生完成视觉作业的速度、错误率和脑力工作指数的统计,取其平均值进行比较,分析研究不同光色的光源照明对学习效率的影响。

1.2 生理指标测试实验

人体处于不同环境、不同活动状态时,血压、脉搏、心率、呼吸、内分泌量等各项生理指数均会发生相应的变化。影响血压、脉搏、心率等生理指数波动的因素很多,主要包括季节性波动(如寒冷环境会使血压暂时升高);生理节律波动(如褪黑激素分泌导致休息、睡眠时血压降低);应激性波动(如情绪激动、精神紧张、机体处于应激状态时引起心跳加快,收缩压升高);运动性波动(即运动引起的呼吸、心率加快,血压上升)。Kobayashi已研究证实,荧光灯色温会影响舒张压。因此,在不同照明环境下的视知觉活动也会反应出不同的生理效应。通过比较在不同色温光源下的视觉活动时,人体血压、脉搏、心率等生理指数的变化,能统计分析出照明环境对视知觉生理的影响和作用。

对视觉作业前后的生理指数测试采用血压、脉搏测量法。日常家庭医用的电子血压计和脉搏计,仪器小巧,测量方法简单,学生极易掌握;且读数直观,测量快速,能保证在视觉作业前后及时获得生理指标的读数。此外,生理测试实验比较的是同一被试者视觉作业前后的指标变化,因而可以忽略家庭日用的电子血压计、脉搏计测量不及医院医生专用仪器读数准确的问题。

生理测试实验与视觉作业效绩测定同步,分别在视觉作业开始前和完成后对被试的血压、脉搏等生理指数进行检测。通过对视觉作业前后所测生理指数变化值的测量统计,取其平均值进行比较,分析在不

同光色的照明环境下视知觉的生理指标变化状况;同时所有实验完成后,采用询问统计的方法对参与实验的学生进行主观心理感受调查,研究照明环境与视觉功效、生理反应及心理舒适之间的关系。

2 视觉功效研究

2.1 光源色与学习效率研究

实验数据的统计分析采用 Excel 软件完成。其中,校对错误率 = (错漏个数/阅字个数) × 100%;校对速度 = 阅字个数/2 min;脑力工作能力指数(IMC) = (阅字数/2) × [(应删数 - 错删数)/应删数]。

对所有被试者完成的视觉作业校对错误率、校对速度和脑力工作能力指数(IMC)的数据取平均值,计算结果如表2。

表2 三种色温荧光灯下视觉作业绩效结果

统计内容	2 700 K	4 000 K	6 500 K
校对平均错误率(%)	2.08	1.91	1.25
校对平均速度(个/min)	244.69	303.29	310.53
脑力工作能力指数(IMC)	213.90	234.34	283.37

在三种色温荧光灯下,学生完成视觉作业的校对错误率、校对速度和脑力工作能力指数(IMC)的比较如图2、图3、图4所示。

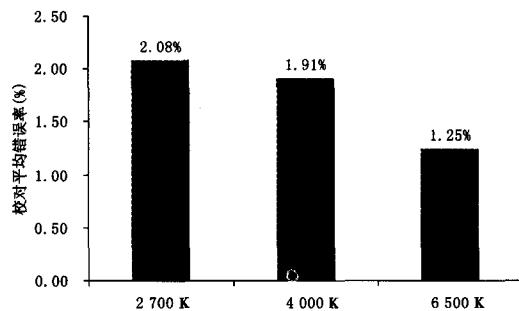


图2 三种色温荧光灯下校对平均错误率比较

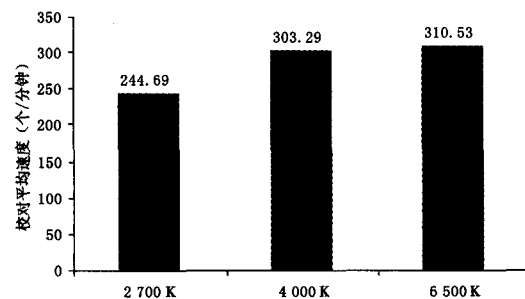


图3 三种色温荧光灯下校对平均速度比较

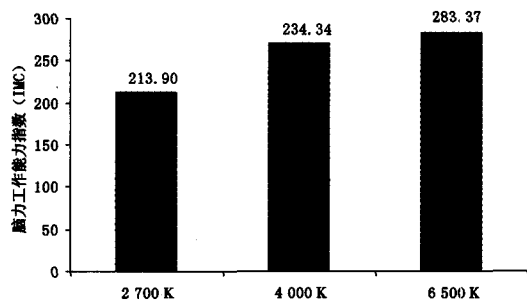


图4 三种色温荧光灯下脑力工作能力指数比较

分析上述图2、图3、图4可以看出,在色温2700 K的荧光灯照明条件下,无论完成哪种视觉作业,平均校对错误率都最高,平均校对速度最慢,且脑力工作能力指数(IMC)最低。在色温6500 K的荧光灯照明条件下,视觉作业的平均错误率都最低,视觉

作业的平均校对速度最快,且视觉作业的脑力工作能力指数(IMC)最高。色温4000 K荧光灯时三项视觉作业统计结果都居中,且与色温6500 K荧光灯时的数值接近。

因此,从视觉作业错误率、校对速度和脑力工作能力指数(IMC)的角度分析,在目前《标准》规定的300 lx照度下,大学生在中、高色温(4000 K,6500 K)的荧光灯照明条件下的学习效率更高。

2.2 光源光色与生理反应研究

生理指数变化率=(作业前后的生理指数变化差值/作业前的生理指数)×100%,根据被试者完成视觉作业前后的血压、脉搏的生理指数实验数据统计,对所有实验数据求平均值,得到在三种色温荧光灯下,视觉作业前后生理指数变化平均值及变化率如表3、图5所示。

表3 三种色温荧光灯下视觉作业前后生理指数变化

生理反应	生理指数变化平均值			生理指数变化率(%)		
	2 700 K	4 000 K	6 500 K	2 700 K	4 000 K	6 500 K
收缩压(高压)(mmHg)	11.63	9.79	10.50	9.57%	8.24%	8.87%
舒张压(低压)(mmHg)	6.88	5.38	5.79	8.72%	7.21%	7.54%
脉搏(次/min)	7.83	6.83	7.04	9.34%	8.35%	8.70%

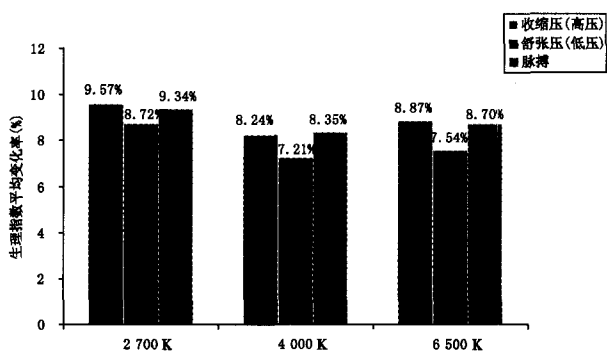


图5 三种色温光源下生理指数平均变化率比较

从图5中可以看出,在色温2700 K的荧光灯照明条件下完成的视觉作业前后,血压、脉搏的生理指数平均变化率都最大;在色温4000 K和6500 K的荧光灯照明条件下,血压、脉搏的生理指数平均变化率接近,但在4000 K时变化率更小些。此外,无论在哪种色温的光源照明条件下,收缩压(高压)的变化幅度都比舒张压(低压)的变化幅度大,这与人在紧张应急状态下的正常生理反应机制是一致的。因此,从本实验中生理指数变化的角度分析,照度为300 lx时学生在中间色温(4000 K)荧光灯照明条件下学习最放松。

这一结论与Inoue关于光源色温对人体中枢神经系统生理功能影响的结论吻合。Inoue研究发现在6700 K光源下临界闪烁融合频率(CFF)比5000 K时低,且眨眼次数增多,也就是说在高色温时人眼对光刺激时间分辨的能力比在中间色温时低,易产生视觉疲劳。

此外,对于在不同色温光源下,较长时间学习时的生理变化也有相关研究。台湾的王为等人以台湾成功大学的学生为实验对象,通过在不同光源色温(2700 K,4000 K和6500 K荧光灯)下,学生在30 min时间内持续学习时的人体经络生理反应的研究发现,6500 K荧光灯照明对人体心经、脾经等经络的影响最大,并且持续时间最长(开灯30 min后对人体仍有影响);其次是2700 K光源,在开灯30 min后对人体影响消失;4000 K光源影响时间最短,在开灯15 min后影响就快速消失。这就是说,高色温光源(6500 K荧光灯)照明对人体视觉疲劳和生理影响的恢复是不利的,而中间色温光源(4000 K荧光灯)照明时对人体生理影响较小,这与本文关于视觉作业前后生理指数变化的实验结果一致。

2.3 光源光色与心理感受研究

关于光色的主观心理评价,实验之后对24名参与实验的被试者询问统计结果见图6。

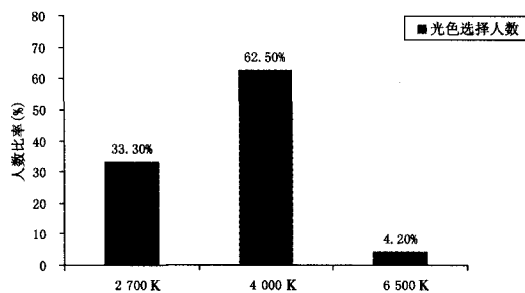


图6 对三种光色的喜好选择人数比率

可以看到,喜欢冷白色(光源色温4000 K)的最多,共15人,占62.5%;其次是白炽灯色(暖白色,光源色温2700 K),共8人,占33.3%;最后是日光色(冷色,光源色温6500 K),仅1人,占4.2%。也就是说,从学生主观心理感受来看,学生更偏好中间色温(4000 K)的光照,而最不喜欢高色温(6500 K)光源。

分析其原因是,多数被试者反映,日光色(6500 K)光源辐射出的光与中午的太阳光差不多,感觉太亮、刺激和耀眼;有的甚至认为,色温6500 K光源的教室照明环境,跟高考教室很像,让人心理紧张。而Ejima·H等人在研究不同色温光源对人体影响时也提到,被试者反映在高色温光源下进行视觉作业时,“有太亮,眼发干,想闭上眼睛”的感觉。同时,部分被试者认为白炽灯色光(2700 K)跟家里学习环境很像,让人放松;但部分被试者认为白炽灯色光太昏黄,想睡觉。

而多数被试者认为冷白色光(4000 K)最合适,感觉比较舒服,适宜学习。这一结论与前面在光学实验室完成的“识别时间与光源光色及亮度变化关系”的实验结果吻合,被试学生在高亮度高色温光源照明下,识别时间随着背景亮度增高反而变慢。而Wil-loughby也认为室内照明,色温4000 K的光源对人体最为舒适。

3 小结

在真实教室照明环境下对学生视知觉心理感受、生理反应和视觉功效的实验分析、研究,进一步证实光源光色对人的视觉具有明显的生物学效应作用。

在不同色温光源下的视觉作业绩效实验结果显示,当教室照度为《标准》规定的300 lx时,学生在中、

高色温(4000 K,6500 K)荧光灯照明下的视觉作业错误率低,校对速度快,脑力工作能力指数(IMC)高,学习效率高。同时,比较不同色温光源下的视觉作业前后,人体血压、脉搏、心率等生理指数的变化,可以看到,在中间色温(4000 K)荧光灯照明下血压、脉搏的生理指数平均变化率最低,说明学习容易、轻松。对参与测试的学生询问光源光色喜好,统计发现选择冷白色光(色温4000 K)的最多,而喜欢日光色光(色温6500 K)的最少。

视知觉心理感受、生理反应和视觉功效与光生物效应作用相关。综合上述学习效率(视觉功效)、生理反应和主观感受三方面的统计分析可以认为,在确定大学教室照明的光源光色时,以选择中间色温(冷白色光,4000 K左右)的荧光灯为宜。而目前一般教室采用的高色温(日光色光,6500 K左右)光源并不是最好的选择。因此,适宜光色的教室照明对学生身心健康,提高视觉功效和学习效率具有重要影响。

参考文献:

- [1] 郝晓鸣,黄水群等.某高校近视学生脑力工作能力特征分析[J].中国学校卫生,2008,29(10)
- [2] 叶广俊.儿童少年卫生学(第4版)[M].北京:人民卫生出版社,2001
- [3] GB50034-2004 建筑照明设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社.2004,5:9~10,17
- [4] 李小寒,尚少梅主编.基础护理学——全国高等学校教材(第4版)[M].北京:人民卫生出版社,2006
- [5] KOBAYASHI H,SATO M. Physiological responses to illuminance and color temperature of lighting[J]. Ann Physiology Anthropology,1992,11(1)
- [6] Ejima H,Yasukouchi A. The Effects of Color Temperature of Lighting Sources on Relationship between Postural Way and Arousal Level during VTD Task [J]. J App I Human Sci, 1998,17(2):85
- [7] 王为,江哲铭等.应用良导络量测评估色温对人体生理反应之影响[J].建筑学报,2006,9(57):161~180
- [8] 石路.照明光源色温对人体中枢神经生理功能的影响[J].人类工效学,2006,6,12(2):59~61
- [9] 黄海静.大学教室照明中的光生物效应研究[D].重庆:重庆大学博士论文,2010:2~5,51~60
- [10] Kelly J R, Barsade S G. Mood and Emotions in Small-Groups and Work Teams [J]. Organizational Behavior and Human Decision Processes,2001,86(1):99~130