

优化教室照明均匀度的模型构建与求解

孔益平, 赵云胜, 吕奎, 刘磊

(中国地质大学工程学院, 武汉 430074)

摘要: 为了改善教室照明环境, 保护学生视力, 可通过合理布置教室光源给老师和学生创造一个舒适的视觉环境。本文通过使用照度计随机采集同一栋楼中不同楼层 8 个教室在夜间的桌面照度值, 对教室照明均匀度进行了调查和分析, 结果发现教室存在中间区域照度高、四周照度低以及照明均匀度不高等问题, 这主要与我国传统光源分布设计(均匀排列)有关; 同时利用 Matlab 软件构建了优化教室照明均匀度的数学模型, 提出两个优化方案, 并针对这两个优化方案进行验证和对比, 从而得出了更为合理的教室光源分布方式。

关键词: 教室; 照度; 照明均匀度; 模型构建

中图分类号: X820.2; TM923.02

文献标识码: A

文章编号: 1671-1556(2012)02-0061-05

Model Construction and Solution for the Uniformity of Illumination in the Classroom

KONG Yi-ping, ZHAO Yun-sheng, LV Kui, LIU Lei

(Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper aims to improve classroom lighting environment and protect the eyesight of students. Reasonably arranging the illuminant can provide the teachers and students with comfort and healthy illumination environment. With the use of illumination measurement device, the paper randomly chooses eight medium-sized classrooms in the same teaching building but on different floors. Through analyzing the collected lighting data on the desk at night from the eight classrooms and comparing the data with the national standard, the paper finds out the problem in illumination uniformity: it is too bright in the middle while it is too dark in the corners. The low level of illumination uniformity is related to the tradition illuminant arrangement. Combining the light intensity distribution of light curve calculation method, the paper uses MATLAB software to build a mathematical model and analyzes classroom lighting uniformity. In order to improve the illumination uniformity in the classroom, the paper puts forward two plans by means of arranging the position and intensity of illuminant. After verifying each plan and comparing the results of two plans, the paper proposes a more reasonable plan.

Key words: classroom; illumination; uniformity of illumination; model construction

0 引言

我国学生的近视率从 1998 年的世界排名第四上升到目前的第二。据我国国家体育总局 2006 年 9 月 18 日公布的第二次国民体质监测报告表明, 学生视力不良率小学生为 31.67%, 中学生为 58.07%, 高中生为 76.02%, 到了大学, 每 100 名学生中就有 83 人视力不良, 呈现逐“级”递增趋势。另

外, 研究还发现, 学生近视形成有两大原因, 先天遗传性和后天用眼不当。北京大学儿童青少年卫生研究所研究证实, 学生真正遗传性近视只占全部近视的 40% 左右。据统计, 学生大约有 60% 的时间是在教室度过的。若教室照明环境不良, 学生为了适应这种照明环境, 视觉器官会过度频繁的调节而使眼部肌肉过分紧张, 易造成视力疲劳, 长期在这种劣质照明环境中学习, 学生容易近视, 因此教室照明环境

收稿日期: 2011-05-30 修回日期: 2011-08-19

作者简介: 孔益平(1987—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为安全技术与工程。E-mail: 809410473@qq.com

良好与否对预防学生近视至关重要。另外,人机工程学研究表明,在作业过程中,视觉的应用最为重要和普遍,大约 80% 以上的信息由视觉得到,因此科学合理的照明环境可以提高工效^[1]。这一理论同样适用于学生的学习:良好的照明环境可以缓解学生的视疲劳,有效提高学生的学习效率。

可见,无论是从预防学生近视保护视力,还是提高学生学习效率来看,改善教室光环境已迫在眉睫。目前,教室普遍在照度、照明均匀度和照明稳定性方面都存在一定的问題。但消除教室照度、照明稳定性方面的问题相对简单,如要提高照度,只需增加光源数量或者提高光源的功率即可;而要提高教室照明的均匀度,仅通过改变照明方式并不能很好地解决此类问题。为此,本文对如何优化和改善教室照明均匀度进行了深入的研究。

1 教室照明均匀度调查和分析

1.1 我国教室照明的有关规定

我国国家标准《中小学校教室采光和照明卫生标准》(GB7793-87)^[2]和《工业企业室内照明设计标准》(GB50034-92)^[3]中对教室照明的有关规定如下:

(1) 所有教室均应装设人工照明。

(2) 教室课桌面上的平均照度值不应低于 150 lx,其照明均匀度不应低于 0.7。

(3) 教室黑板应设局部照明灯,其平均垂直照度不应低于 200 lx,照度均匀度不应低于 0.7。

(4) 教室照明宜采用荧光灯。

(5) 为了减少照明引起的直接眩光,教室不宜采用裸灯照明。灯具距课桌面的最低悬挂高度不应低于 1.7m。灯管排列宜采用其长轴垂直于黑板面布置。对于阶梯教室,前排灯不对后排学生产生直接的眩光。

(6) 照明设计计算照度时,照度补偿系数取 1.3。

1.2 教室照明均匀度调查及分析

1.2.1 教室实际参数

教室大小为 10.5 m(长)×7 m(宽);灯具排列情况(不含黑板灯)是每排 4 个,共 3 排,有 12 个荧光灯。

1.2.2 教室照度数据的采集^[4]

教室内所有灯(除黑板灯)开启,所有门、窗户禁闭,教室中只留有检测人员,使用照度仪随机测试同一栋楼中不同楼层 8 个教室在夜间桌面的实际照度值。

由于以正确坐姿学习时学生的动视野主要集中在桌子中间区域,因此将每个数据的采集点设置在

每个座位对应桌子的中点(长方形的对角线交点)处。教室采样布点如图 1 所示,其中图中一横排点对应教室中的一列,每列之间的距离为 0.5 m;图中一竖排点对应教室中的一排,每排之间的距离为 0.95 m。教室中第一组和第三组包含三列,第二组包含四列,两组之间的距离为 1.25 m。

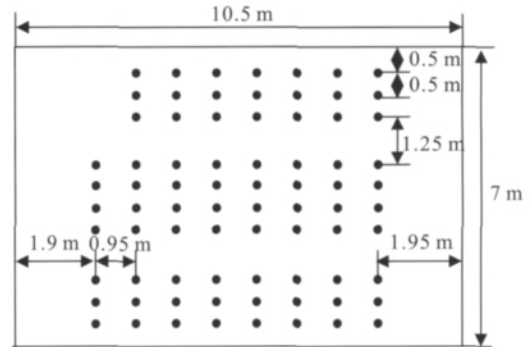


图 1 教室采样布点示意图

Fig. 1 Sampling points in the classroom

1.2.3 教室桌面实际照度值及分析

表 1 为某一个教室桌面实际照度值的分布,表中划分为红—橙—黄—蓝—灰 5 个区域,其中灰色区域照度值最低,红色区域照度值最高。通过直观的颜色对比,可见照度值最大区域主要集中在教室中间,教室的四个角落普遍照度值较低,由此表明该教室照度值分布并不均匀。

表 1 某一个教室桌面实际照度值的分布

Table 1 Real illumination intensity of one classroom

排号	第一组桌面照度/lx			第二组桌面照度/lx				第三组桌面照度/lx		
R1	98	123	140	128	138	130	125	148	116	102
R2	108	116	142	135	147	145	142	146	118	107
R3	107	117	143	138	155	158	157	146	113	9 2
R4	109	123	148	142	160	170	170	145	109	9 3
R5	107	118	141	141	160	170	170	142	108	9 6
R6	102	113	136	141	158	170	163	136	108	103
R7	99	112	140	150	170	173	164	134	103	9 0
R8				145	161	170	154	125	9 3	8 4

注:R8 左边划去的 3 个空格表示没有座位,空出 3 个座位可能是方便学生离开教室,因为这 3 个空位旁边是教室的后门。

表 2 为 8 个教室中每个教室桌面最小照度值(E_{\min})、最大照度值(E_{\max})、照度平均值(E_{ave})、照明均匀度值(E_{\min}/E_{ave})和照明强弱比(E_{\max}/E_{\min})。由表 2 可以发现,教室桌面平均照明均匀度为 0.65,低于国家标准 0.7。

造成教室照明均匀度不高的原因主要与教室照明方式和光源位置布置有关。从照明方式看,目前

表 2 8 个教室实际照度值

Table 1 Real illumination intensity of eight classrooms

教室编号	E_{min}/lx	E_{max}/lx	E_{ave}/lx	照明均匀度	照明强弱比
1	82	160	126	0.65	1.95
2	84	170	130	0.65	2.02
3	82	161	134	0.61	1.96
4	84	164	129	0.65	1.95
5	85	169	131	0.65	1.99
6	84	170	131	0.64	2.02
7	78	157	126	0.62	2.01
8	88	168	128	0.69	1.91
平均值	83	165	129	0.65	1.98

室内常用的照明方式根据灯具光通量的空间分布状况及灯具的安装方式有直接照明、半直接照明、间接照明、半间接照明和漫反射照明方式,通常在学的环境中主要采用半直接照明方式。半间接照明方式是把半透明的灯罩装在光源下部,60%以上的光线射向平顶,形成反射光源,10%~40%部分光线经灯罩向下扩散形成投射光源,而反射光源和投射光源都可以减少阴影和眩光,有利于形成均匀照明。但是,目前大学教室通常采用直接照明,这是导致教室照明均匀度并不理想的一个主要原因。另外,光源位置布置也是造成照明均匀度不高的另一个主要原因,这将在下面做具体分析。

2 建立模型优化教室照明均匀度

2.1 建立模型的理论依据及假设条件

2.1.1 建立模型的理论依据

光源在某一方向上的发光强度被定义为单位立体角内的光通量,可用来表示光通量的大小。发光强度只取决于光源光通量密度的分布,与距离无关,也与外界条件无关。照度是被照体表面每单位面积所接收可见光的光通量,即光通量与表面积之比。

(1) 存在单个光源(球形灯)时的照度计算

若发光强度为 I_{cd} ,则所发出的总光通量为 $4\pi I$ 流明。在以光源为中心、半径为 r 的球面上(球面总面积为 $4\pi r^2$),每单位面积上的照度为

$$e = 4\pi I / 4\pi r^2 = I / r^2 \quad (1)$$

即被照面与光源距离为 r 处的照度为 I / r^2 。

(2) 存在多个相同光源(球形灯)时的照度计算

由于照度是标量,可直接相加,因此当存在多个光源时,被照面上的照度值为每个光源单独存在时的照度的代数和,即对每个 e 求和,则有

$$E = \sum_{i=1}^n I / r_i^2 \quad (2)$$

$$r_i^2 = (x - a_i)^2 + (y - b_i)^2 + (z - c_i)^2 \quad (3)$$

式中: $x、y、z$ 为被照点的坐标; $a_i、b_i、c_i$ 为第 i 个光源的坐标。

2.1.2 建立模型的假设条件

(1) 计算时将荧光灯视为点光源^[5]。

(2) 不考虑教室四壁和顶棚反射光对教室中被照点的影响。

(3) 将每个光源的发光强度都设为 1 cd。由于将发光强度设为 1 cd,虽然最小值与平均值和实际情况相差很大(实际光源的发光强度远远大于 1 cd),但照明均匀度为最小值与平均值的比值,最终计算结果中发光强度是被消去的,因此并不会影响根据照明均匀度得到的结论。

2.1.3 教室的光源分布

教室大小为 10.5 m(长)×7 m(宽),则光源布置为 12 点光源,距离地面高度 4 m,桌面距离光源高度 3.3 m。光源平面排布如图 2 所示,每一列光源之间的距离为 3.3 m,每一行光源之间的距离为 1.6 m。

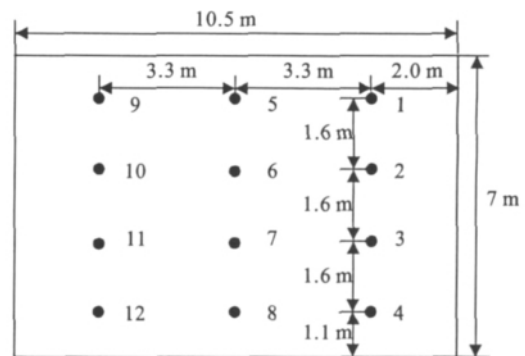


图 2 教室光源分布图

Fig. 2 Distribution of light sources in the classroom

2.2 利用 Matlab 软件对教室照明情况进行模拟

2.2.1 模拟程序

利用 Matlab 软件模拟教室照度情况的程序如下:

$x=0:0.5:7;y=2.5:0.95:8.6;$

$[xx,yy]=meshgrid(x,y,'r');$

$e1=1./((yy-8.6).^2+(xx-1.1).^2+10.89);$

$e2=1./((yy-8.6).^2+(xx-2.7).^2+10.89);$

$e3=1./((yy-8.6).^2+(xx-4.3).^2+10.89);$

$e4=1./((yy-8.6).^2+(xx-5.9).^2+10.89);$

$e5=1./((yy-5.3).^2+(xx-1.1).^2+10.89);$

$e6=1./((yy-5.3).^2+(xx-2.7).^2+10.89);$

$e7=1./((yy-5.3).^2+(xx-4.3).^2+10.89);$

$e8=1./((yy-5.3).^2+(xx-5.9).^2+10.89);$

$e9=1./((yy-2.0).^2+(xx-1.1).^2+10.89);$

$e10=1./((yy-2.0).^2+(xx-2.7).^2+10.89);$

$e11=1./((yy-2.0).^2+(xx-4.3).^2+10.89);$

$e12=1./((yy-2.0).^2+(xx-5.9).^2+10.89);$
 $zz=e1+e2+e3+e4+e5+e6+e7+e8+e9+e10+e11+e12;$
 $mesh(xx,yy,zz).$

2.2.2 模拟结果及分析

运行模拟程序得到的模拟结果见图 3。教室照度实际测量结果与模拟结果的对比见表 3。

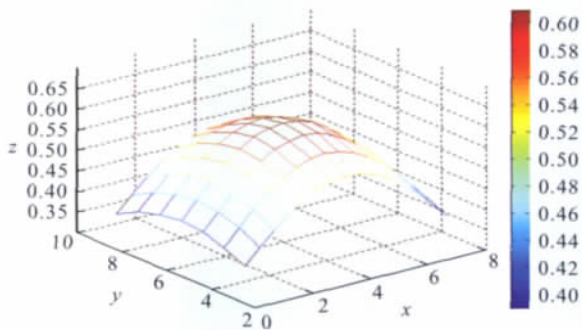


图 3 教室桌面照度分布立体图

Fig. 3 3D scattergram of real illumination intensity on the desk

图中: x 轴表示教室宽(m); y 轴表示教室长(m);
 z 轴表示教室桌面每个点对应的照度值(lx)

表 3 教室桌面照度实测结果与模拟结果的对比

Table 3 Contrast between real results and imitation results

项目	照明均匀度	照明强弱比
实测结果	0.65	1.98
模拟结果	0.68	1.78

由图 3 可以看出:中间高出的红色部分为教室照度值高的区域,四周较低的蓝色部分为教室照度值低的区域,这与实测的教室桌面照度值分布情况基本相符,其中照明均匀度误差为 4.6%,照明强弱比误差为 10.1%,可见模拟结果基本符合实际情况。对此分析如下:由于教室中同一平面内各被照点的照度是各个光源在这一点上的照度的叠加,照度与光照强度(I)成正比,与距离光源的平方(r^2)成反比,而教室中 12 个光源的发光强度(I)相同,因此照度大小只与距离相关;中心区域由于距离各个光源的距离都相对较近(即 r^2 比较小),因此叠加后的照度值很高,而四周区域距离一个或几个光源较近,所以叠加后的照度值较低。

2.3 优化教室照明均匀度的方案及其验证

2.3.1 调整光源的方案

根据上述原因分析可知,通过调整教室光源分布可以改善教室的照明条件,为此可基于以下两种方案进行:

(1) 方案一(调整光源列的角度)

教室四周由于得不到足够的光通量而照度值很低,所以可以将光源的位置向靠近教室四个角的方向进行调整(即将光源 1、5、9 和光源 2、6、10 向左边调整,光源 3、7、11 和光源 4、8、12 向右边调整),这样一方面可以加强四个角的照度,同时可以减小中部照度的叠加,使教室内的光照趋于均匀。

(2) 方案二(调整光源强度)

在光源位置不变的基础上,提高周边光源 1、4、5、8、9、12 的功率,降低中间光源 2、3、6、7、10、11 的功率,特别是降低光源 6、7 的功率。

2.3.2 方案验证

(1) 方案一验证

表 4 为模拟结果与方案一优化结果的对比,其中方案一优化结果是通过编辑 C++ 对方案一的求解。由表 4 可以看出,通过光源位置的调整,照明均匀度由最初的 0.65 调整到 0.79,照明均匀度提高了 16.2%。另外,优化后的光源分布为光源 1、5、9 在 0.5 m 处,光源 2、6、10 在 6.5 m 处,光源 3、7、11 在 0.5 m 处,4、8、12 在 0.65 m 处。

表 4 模拟结果与方案一优化结果的对比

Table 4 Contrast between imitation results and optimizing results of Plan One

项目	E_{min}/lx	E_{ave}/lx	照明均匀度
模拟结果	0.34	0.50	0.68
方案一优化结果	0.27	0.34	0.79

(2) 方案二验证

表 5 为模拟结果与方案二优化结果的对比,其中方案二优化结果是通过编辑 C++ 对方案二的求解。由表 5 中可以看出,照明均匀度由最初的 0.68 调整到 0.69,但是与方案一相比,得到改善的情况不令人满意。另外,优化后的光源发光强度调整为光源 1、5、9、4、8、12 光照强度改为 1.5,光源 2、6、10、3、7、11 光照强度改为 0.5。

表 5 模拟结果与方案二优化结果的对比

Table 5 Contrast between imitation results and optimizing results of Plan Two

项目	E_{min}/lx	E_{ave}/lx	照明均匀度
模拟结果	0.34	0.50	0.68
方案二优化结果	0.29	0.42	0.69

3 结论与建议

(1) 本文通过实地采集某大学教室夜间照明数据,并将实测数据与国家标准进行对比,结果表明教室照明均匀度只有 0.65,低于国家标准 0.7。而照明

均匀度不高主要与我国传统光源分布设计有关,可能是出于整齐或施工方便的目的,我国的光源布置通常采用均匀排列的方式,这样的光源布置方式会存在如下问题:教室一部分区域由于光源叠加造成照度过高,而另一部分区域照度却出现严重不足。如果仅提高周边区域照度,势必会使中间区域的光照过强,同时造成能源浪费;如果提高中间区域的照度,相反又会造成周边区域的光照不足。可见无论是何种情况,必然有一部分学生处于不合理的照明环境中。

(2) 本文利用 Matlab 软件,模拟了教室中各个点在 12 个光源照射下的照度分布,并提出通过改变光源位置和强度来调整教室中各个点的照度分布,从而找出照度分布最均匀时的光源位置和强度,此时光源的位置和强度即为教室照明均匀度优化后的灯具位置。另外,将改变光源布置和强度的两种方案进行对比,提出目前更为合理的教室光源分布方式,该方案将教室原来的照明均匀度提高了 19.7%,

使照明均匀度得到了明显的改善。

(3) 目前我国衡量照明是否均匀主要是通过计算照明均匀度是否达到 0.7 来进行衡量的,而欧洲则是采用计算照明强弱比来衡量,但照明均匀度最大时照明强弱比并非为最小值(照明强弱比越小,照明越均匀),因此本研究仅从提高照明均匀度的角度来调整教室照度分布是否合理,照明均匀度提高后是否会产生眩光也未进行检验,可见这些都是今后需要进一步探讨的问题。

参考文献:

- [1] 李红杰,鲁顺清.安全人机工程学[M].武汉:中国地质大学出版社,2006:150-155.
- [2] 赖德铭.为学生设计优质的教室照明[J].中国照明电器,2008,(8):19-21.
- [3] GB 50034-92,工业企业室内照明设计标准[S].
- [4] GB 5700-85,室内照明测量方法[S].
- [5] GB 7793-87,中小学校教室采光和照明卫生标准[S].

(上接第 53 页)

工、电镀、皮革、造纸、冶炼、制浆、放射性、印染、染料、炼焦、炼油及其他有严重污染的企业,已建成的要限期治理,转产或搬迁;禁止设置城市垃圾、粪便和易溶及有毒有害废弃物堆放场和转运站,已有的要限期搬迁;严格控制含重金属、致癌和致突变等有毒有害物质的废水排放;原有企业在新建、改建和扩建时必须做到不增加污染物的排放数量和种类,并达标排放;禁止利用未经净化的污水灌溉农田,已有的污灌农田要限期改用清水灌溉;化工原料、矿物油类及有毒有害矿产品的堆放场所必须有防雨、防渗措施;在区内增建的一切设施,包括居民区的建设均须进行环境评价,尤其是对地下水环境的影响评价,否则不准建设。

③ 城市地下水防污性能中等地区:禁止建设城市垃圾、粪便和易溶及有毒有害废弃物的堆放场所;不得使用不符合《农田灌溉水质标准》(GB5084-85)的污水进行灌溉,合理利用化肥;保护水源涵养林,禁止毁林开荒;清除此带内地下水和有关地表水污染源,消除一切造成含水层污染的可能性;当补给源为地表水体时,该地表水体水质不应低于《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中规定的Ⅲ类水质标准。

④ 在各级区域内均须做到:禁止利用渗坑、渗井等排放污水和其他有害废弃物;禁止利用透水层孔隙、裂隙及废弃矿坑储存石油、天然气、放射性物质、有毒有害化工原料、农药等;实行人工回灌地下水时不得污染地下水源^[11,12]。

参考文献:

- [1] 刘长礼,张云,叶浩,等.包气带黏性土层的防污性能试验研究及其对地下水脆弱性评价的影响[J].地球学报,2006,27(4):349-354.
- [2] 严明疆,徐卫东.地下水脆弱性评价的必要性[J].新疆地质,2005,(3):268-271.
- [3] 郭晓静,周金龙,靳孟贵,等.地下水脆弱性研究综述[J].地下水,2010,32(3):1-5.
- [4] 方樟,肖长来,梁秀娟,等.松嫩平原地下水脆弱性模糊综合评价[J].吉林大学学报(地球科学版),2007,37(3):546-550.
- [5] 赵德君,刘正平,熊启华,等.江汉平原浅层地下水污染脆弱性评价[J].资源环境与工程,2007,21(7):64-67.
- [6] 刘细元,游玮,黄迅.江西省主要城市地下水系统防污性能分析评价[J].资源调查与境,2008,29(1):42-48.
- [7] 王松,章程,裴建国,等.岩溶地下水脆弱性评价研究[J].地下水,2008,30(6):14-18.
- [8] Dunne, S. *Vulnerability Mapping for the Protection of UK Karst Aquifers*[D]. Trinity College Dublin, Submitted PhD thesis, corrections ongoing, Geography Dept, 2003.
- [9] 严明疆,申建梅,张光辉,等.人类活动影响下的地下水脆弱性演变特征及其演变机理[J].干旱区资源与环境,2009,(2):3-7.
- [10] Bekesi, G., J. Mcconchie. Groundwater recharge modelling using the Monte Carlo technique, Manawaturegion, New Zealand[J]. *Journal of Hydrology*, 1999, 224(3-4):137-148.
- [11] Ibe, K. M., G. I. Nwankwor, S. O. Onyekuru. Assessment of groundwater vulnerability and its application to the development of protection strategy for the water supply aquifer in Owerri Southeastern Nigeria[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2001, 67(3):323-360.
- [12] (89)环管字第 201 号,饮用水水源保护区污染防治管理规定[S].