

基于人因学视角的高校教室照明综合评价与优化

杜战其^{1,2},殷佳妮²,王洪伟¹,张丽珍²

(1. 同济大学 经济与管理学院,上海 200092;2. 上海海洋大学 工程学院,上海 201306)

摘要:基于人因学的视角,利用改进后的层次分析模型和模糊数学综合评价方法,对上海市 A、B、C、D、E 五所高校的教室照明情况进行了实验数据的收集,并应用照明系统的综合评价模型从照明水平、眩光感觉、亮度分布和室内布局四个方面对五所高校的照明系统进行了评价;通过模型计算出了高校 B 为五校中教室照明系统最优的结论,借助人因学的理念与技术,提出了高校教室照明布局方案和相应的优化建议。

关键词:教室照明;层次分析法;模糊评价法;优化

中图分类号:TU113.19

文献标识码:A

Evaluation and optimization of lighting system of classroom based on ergonomics

DU Zhanqi^{1,2}, YIN Jiani², WANG Hongwei¹, ZHANG Lizhen²

(1. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. College of Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The fuzzy synthetic evaluation method and the analytic hierarchy process (AHP) were used to evaluate the lightening system of five universities in shanghai city from the four major aspects: level of lightening, glare feeling, brightness distribution and the indoor layout. Calculation results show that the university B is the best one among the five universities. Finally, some optimization suggestions were put forward.

Key words: classroom lighting; AHP; fuzzy evaluation method; optimization

目前我国青少年学生普遍存在视力下降的现象,而造成视力下降的主要原因除看手机、电视等数码产品的影响外,不适宜的学习环境也成了另外一个主要原因。假设一名大学生每天在教室学习的时间是 6 h,那么大学四年中这名学生将至少有 6 000 h 在教室里面度过,所以教室的灯光照明系统的合理和舒适程度成了影响学生视力的重要因素。前国内外对于高校教室照明评价与优化的相关研究,评价方法大都采用定性与定量相结合的方法,应用的最经典方法是层次分析法、模糊数学方法和熵权法等,本文根据研究需要和模型数据的特点,在研究中选择最成熟的层次分析法和

模糊评价法。致力于应用综合评价模型和实测数据,并参考人体视觉健康舒适的人因学标准,来改善教室的照明环境,并提出优化建议。

1 研究设计

1.1 建立模糊综合评价系统及其评价因素集

通过数据搜集和统计,应用层次分析法和模糊评价法^[1-2]来比较 A、B、C、D、E 五所高校的教室照明情况。视线内的光照强度太弱或过强都会导致视觉疲劳与视力下降,本文将影响因素归结为评价因素集,详见图 1 所示。

收稿日期:2016-10-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71371144);中央高校基本科研业务费专项(1200219198);上海市科技发展基金软科学研究(12692193000);上海市哲学社会科学规划课题(2013BGL004);2016 上海市教委专项(B1-5407-15-0001-12);高校教指委(JZW2016049)和教学团队项目(B1-5003-15-000109)

作者简介:杜战其(1981-),男,河北邯郸人,博士,工程师,研究方向为人因工程。

1.2 建立评语集合

本文根据上述评价因素集对 A、B、C、D、E 五个高校来进行优先级比较,继而由优先级的比重来计算其教室照明系统的评价结果。依据模型建立评价集合: $V = \{A \text{ 校优先}, B \text{ 校优先}, C \text{ 校优先}, D \text{ 校优先}, E \text{ 校优先}\}$,评价集合 V 表示每个学校在此方面的评价排名和比重。假设“照明水平”评价的模糊隶属度为 V_1 (照明水平) $\rightarrow \left\{ \frac{0.2}{A \text{ 校优先}}, \frac{0.1}{B \text{ 校优先}}, \frac{0.1}{C \text{ 校优先}}, \frac{0.3}{D \text{ 校优先}}, \frac{0.3}{E \text{ 校优先}} \right\}$;

上述数据表示 A、B、C、D、E 五所学校在照明水平的优先级分别为 0.2、0.1、0.1、0.3、0.3,对应的结论为:学校 D 和学校 E 的照明水平最好,且都优于学校 A、学校 B 和学校 C,同时学校 A 优于学校 B 与学校 C,学校 B 与学校 C 照明水平相同。

1.3 建立各因素重要程度权重集

实际中,模型第一层四个评价因素对教室照明系统的影响大小必定不同,为了让分析结果更具有科学性和合理性,本文建立第一级权重集为 $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$;第二级权重集为 $a_4 = \{a_{41}, a_{42}\}$;其中: $\sum a_i = 1$ 且 $a_i \geq 0$ 。本文根据惯例引入 1~9 标度法,用 1、3、5、7、9 分别表示要素 i 与要素 j 相比:同等重要、比较重要、重要、很重要、极重要,2、4、6、8 表示上述两判断级之间的折中值。

根据图 1,本文从目标层与准则层开始比较,其次对准则层 u_4 (室内布局)与下层(桌椅布局和光源布局)进行比较,自上向下获得各指标对目标层的影响大小,最后再进行同一评价因素下五个学校的比较,并由相对重要度获得重要度矩阵 U ,下面说明如何将相对重要度矩阵 U 转化为优先级

$$B = \begin{pmatrix} \frac{u_{11}}{u_{11}+u_{21}+u_{31}} & \frac{u_{12}}{u_{12}+u_{22}+u_{32}} & \frac{u_{13}}{u_{13}+u_{23}+u_{33}} \\ \frac{u_{21}}{u_{11}+u_{21}+u_{31}} & \frac{u_{22}}{u_{12}+u_{22}+u_{32}} & \frac{u_{23}}{u_{13}+u_{23}+u_{33}} \\ \frac{u_{31}}{u_{11}+u_{21}+u_{31}} & \frac{u_{32}}{u_{12}+u_{22}+u_{32}} & \frac{u_{33}}{u_{13}+u_{23}+u_{33}} \end{pmatrix},$$

$$= \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix}$$

$$W = \begin{pmatrix} b_{11} + b_{12} + b_{13} \\ b_{21} + b_{22} + b_{23} \\ b_{31} + b_{32} + b_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{pmatrix}, \text{ 归一化处理可得:}$$

$$A = \begin{pmatrix} \frac{W_1}{W_1+W_2+W_3} \\ \frac{W_2}{W_1+W_2+W_3} \\ \frac{W_3}{W_1+W_2+W_3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}。 \text{ 本文通过调研收集的}$$

数据得到了评价因素集中第一层四个因素的相对重要度(表 1);再将相对重要度写成重要矩阵 U 的形式,由上述四个公式可得第一层的四个因素优先级为: $A = \{ \text{照明水平}, \text{眩光感觉}, \text{亮度分布}, \text{室内布局} \} = \{0.530, 0.137, 0.256, 0.077\}$ 。同理,可得评价因素集第一层室内布局两因素“桌椅布局”、“光源布局”的相对重要度(表 2),以及“桌椅布局、光源布局”两因素分别占室内布局的权重: $a_4 = \{ \text{桌椅布局}, \text{光源布局} \} = \{0.125, 0.875\}$ 。

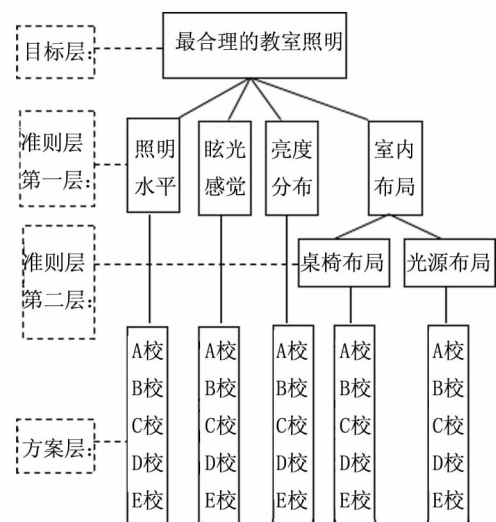


图1 层次分析结构图

Fig.1 Structure of AHP method

表 1 第一层四个因素相对重要度比较

Tab.1 Relative important degree of level I factors

重要度	照明水平	眩光感觉	亮度分布	室内布局	优先级
照明水平	1	4	2	7	0.530
眩光感觉	1/4	1	1/2	2	0.137
亮度分布	1/2	2	1	3	0.256
室内布局	1/7	1/2	1/3	1	0.077

表 2 室内布局两因素的相对重要度的比较

Tab.2 Relative important degree of level II factors

重要度衡量	桌椅布局	光源布局	优先级
桌椅布局	1	7	0.125
光源布局	1/7	1	0.875

2 模型检验

2.1 评价矩阵

本文在得到不同因素对结果影响大小的权重之后,从准则层第一层因素开始进行单因素评价,即运用层次分析法对五所学校进行两两比较,获得重要度矩阵,然后根据模型计算最后的优先级。易知,由收集的数据计算得五所学校“照明水平”相对重要度,可得准则层“照明水平”对方案层的评价矩阵(表3)。同理,可得其他评价矩阵(表4—表8)。

表3 准则层“照明水平”对方案层的评价矩阵

Tab. 3 Evaluation matrix of lighting levels

	A校	B校	C校	D校	E校	优先级
A校	1	1/4	3	5	7	0.247
B校	4	1	6	7	9	0.541
C校	1/3	1/6	1	2	3	0.103
D校	1/5	1/7	1/2	1	1/2	0.051 2
E校	1/7	1/9	1/3	2	1	0.057 8

表4 准则层“眩光感觉”对方案层的评价矩阵

Tab. 4 Evaluation matrix of glare

	A校	B校	C校	D校	E校	优先级
A校	1	4	1/3	6	4	0.262
B校	1/4	1	1/7	2	1	0.078
C校	3	7	1	8	7	0.535
D校	1/6	1/2	1/8	1	1/2	0.047
E校	1/4	1	1/7	2	1	0.078

表5 准则层“亮度分布”对方案层的评价矩阵

Tab. 5 Evaluation matrix of lightness distribution

	A校	B校	C校	D校	E校	优先级
A校	1	2	1/4	1/3	1/5	0.075
B校	1/2	1	1/6	1/5	1/7	0.045
C校	4	6	1	2	1/2	0.274
D校	3	5	1/2	1	1/3	0.179
E校	5	7	2	3	1	0.427

表6 准则层“室内布局”对方案层的评价矩阵

Tab. 6 Evaluation matrix of indoor layout

	A校	B校	C校	D校	E校	优先级
A校	1	3	4	1/2	5	0.268
B校	1/3	1	2	1/6	1/2	0.085
C校	1/4	1/2	1	1/7	2	0.074
D校	2	6	7	1	8	0.498
E校	1/5	2	1/2	1/8	1	0.075

表7 准则层“桌椅布局”对方案层的评价矩阵

Tab. 7 Evaluation matrix of tables and chairs layout

	A校	B校	C校	D校	E校	优先级
A校	1	3	6	2	1/3	0.218
B校	1/3	1	2	1/2	1/8	0.071
C校	1/6	1/2	1	1/3	1/9	0.043
D校	1/2	2	3	1	1/6	0.116
E校	3	8	9	6	1	0.552

表8 准则层“光源布局”对方案层的评价矩阵

Tab. 8 Evaluation matrix of light layout

	A校	B校	C校	D校	E校	优先级
A校	1	1/6	2	1/5	1/4	0.062
B校	6	1	8	2	2	0.400
C校	1/2	1/8	1	1/8	1/7	0.036
D校	5	1/2	8	1	2	0.292
E校	4	1/2	7	1/2	1	0.210

2.2 一致性检验

在实际评价中,模型需要进行一致性检验^[4]。本文对层次分析模型进行了适当改进,优化了一种计算原理:利用照明水平的理论最大值 λ_{max} 与 n 之差检验一致性,检验指标为 CI 与 λ_{max} :

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_i \frac{(UA)_i}{A_i}, CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

其中: U 表示每种因素的重要度判断矩阵; A 表示此因素方面优先级构成的矩阵; n 表示此因素方面方案层的个数。 CI 的值越大,则判断矩阵的一致性就越差^[5];一般情况下,当 $CI < 0.1$ 时,就认为判断矩阵的一致性可以接受,否则就要重新比较。首先对准则层四因素相对重要度的优先级评价矩阵(表1)进行一致性检验。从表1获得重要度判断矩阵 U 、优先级构成的矩阵 A 、以及 n 。

$$U = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 2 & 7 \\ 1/4 & 1 & 1/2 & 2 \\ 1/2 & 2 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/2 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}, A = (0.530 \quad 0.137 \quad 0.256$$

0.077)^T, $n = 4$ 。容易计算: $\lambda = 4.007 8$, $CI = 0.002 6 < 0.1$,一致性检验通过,说明本文的判断结果是可信的,由此得出四个因素中影响最大的是照明水平,其余依次是亮度分布、眩光感觉、室内布局,且所占优先级分别为0.53,0.137,0.256,0.077。

(1)首先对准则层第二层“室内布局”的两因素“桌椅布局”和“光源布局”评价矩阵进行一致性检验。依据表2和上述模型计算方法,可得 $\lambda =$

2.000, $CI=0 < 0.1$, 一致性通过;这说明模型判断结果可信:光源布局比桌椅布局重要,且优先级分别为0.875,0.125。

(2)其次对准则层第一层的“照明水平”评价矩阵(表3)进行一致性检验,得 $\lambda = 5.294$, $CI = 0.073 < 0.1$, 一致性检验通过。“照明水平”评价的模糊隶属度: V_1 (照明水平) $\rightarrow \left\{ \frac{0.247}{A \text{ 校优先}}, \frac{0.541}{B \text{ 校优先}}, \frac{0.103}{C \text{ 校优先}}, \frac{0.512}{D \text{ 校优先}}, \frac{0.0578}{E \text{ 校优先}} \right\}$, 表示 A、B、C、D、E 五校优先级分别为 0.247、0.541、0.103、0.051 2、0.057 8, 说明对于“照明水平”,最好的是学校 B,其余依次为学校 A、学校 C、学校 E、学校 D。

(3)对准则层第一层的“眩光感觉”评价矩阵(表4)进行一致性检验, $\lambda = 5.082$, $CI = 0.021 < 0.1$, 一致性检验通过。“眩光感觉”评价的模糊隶属度: V_2 (眩光感觉) $\rightarrow \left\{ \frac{0.262}{A \text{ 校优先}}, \frac{0.078}{B \text{ 校优先}}, \frac{0.535}{C \text{ 校优先}}, \frac{0.047}{D \text{ 校优先}}, \frac{0.078}{E \text{ 校优先}} \right\}$, 表示 A、B、C、D、E 五校优先级分别为 0.262、0.078、0.535、0.047、0.078, 说明对于“眩光感觉”,眩光感觉最弱的是学校 C,其次为学校 A,学校 B 和学校 E 相同,最后是学校 D。

(4)对准则层第一层的“亮度分布”评价矩阵(表5)进行一致性检验, $\lambda = 5.086$, $CI = 0.022 < 0.1$, 一致性检验通过。“亮度分布”评价的模糊隶属度: V_3 (亮度分布) $\rightarrow \left\{ \frac{0.075}{A \text{ 校优先}}, \frac{0.045}{B \text{ 校优先}}, \frac{0.274}{C \text{ 校优先}}, \frac{0.179}{D \text{ 校优先}}, \frac{0.427}{E \text{ 校优先}} \right\}$, 即 A、B、C、D、E 五校优先级分别为 0.075、0.045、0.274、0.179、0.427, 说明对于“亮度分布”,最均匀的是学校 E,其余依次是学校 C、学校 D、学校 A、学校 B。

(5)对准则层第一层的“室内布局”评价矩阵进行一致性检验, $\lambda = 5.340$, $CI = 0.085 < 0.1$, 一致性检验通过。“室内布局”评价的模糊隶属度: V_4 (桌椅分布) $\rightarrow \left\{ \frac{0.0268}{A \text{ 校优先}}, \frac{0.085}{B \text{ 校优先}}, \frac{0.074}{C \text{ 校优先}}, \frac{0.498}{D \text{ 校优先}}, \frac{0.075}{E \text{ 校优先}} \right\}$, 即 A、B、C、D、E 五校优先级分别为 0.026 8、0.085、0.074、0.498、0.075, 说明对于“室内布局”(含桌椅布局与光源布局),最合理的是学校 D,其余依次为学校 A、学校 B、学校 E、学校 C。

(6)由于模型将准则层第一层的“室内布局”分成了两个因素来分析,需要首先对准则层第二层第一个因素“桌椅布局”,做评价矩阵的一致性检验,计算 $\lambda = 5.066$, $CI = 0.017 < 0.1$, 一致性检验通过,“桌椅布局”评价的模糊隶属度: V_4 (桌椅分布) $\rightarrow \left\{ \frac{0.218}{A \text{ 校优先}}, \frac{0.071}{B \text{ 校优先}}, \frac{0.043}{C \text{ 校优先}}, \frac{0.116}{D \text{ 校优先}}, \frac{0.552}{E \text{ 校优先}} \right\}$, 说明 A、B、C、D、E 五校优先级分别为 0.218、0.071、0.043、0.116、0.552, 表示在“桌椅布局”方面,最令人满意的是学校 E,其余依次是学校 A、学校 D、学校 B、学校 C。

(7)对准则层第二层第二个因素“光源布局”,做评价矩阵的一致性检验, $\lambda = 5.096$, $CI = 0.024$, 一致性检验通过,对“光源分布”评价的模糊隶属度: V_{42} (光源分布) $\rightarrow \left\{ \frac{0.062}{A \text{ 校优先}}, \frac{0.4}{B \text{ 校优先}}, \frac{0.036}{C \text{ 校优先}}, \frac{0.292}{D \text{ 校优先}}, \frac{0.21}{E \text{ 校优先}} \right\}$, 说明 A、B、C、D、E 五校优先级分别为 0.062、0.4、0.036、0.292、0.21, 表示在“光源布局”方面,设计最合理的是学校 B,其余依次是学校 D、学校 E、学校 A、学校 C。

3 研究结果与结果分析

3.1 研究结果

基于上述模型的计算结果,权重矩阵 A 与单因素评价矩阵 V 进行模糊合成运算^[6], 可得综合评价 $B = A \times V$ 。首先,联合“照明水平”、“眩光感觉”、“亮度分布”和“室内布局”四个单因素评价集,并略去评语,可得单因素评价矩阵 V 、权重矩阵 A 、综合评价 B :

$$V = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.247 & 0.541 & 0.103 & 0.0512 & 0.0578 \\ 0.262 & 0.078 & 0.535 & 0.047 & 0.078 \\ 0.075 & 0.045 & 0.274 & 0.179 & 0.427 \\ 0.0268 & 0.085 & 0.074 & 0.498 & 0.075 \end{pmatrix}$$

$$A = (0.530 \quad 0.137 \quad 0.256 \quad 0.077)$$

$$B = A \times V = (0.530 \quad 0.137 \quad 0.256 \quad 0.077)$$

$$\begin{pmatrix} 0.247 & 0.541 & 0.103 & 0.0512 & 0.0578 \\ 0.262 & 0.078 & 0.535 & 0.047 & 0.078 \\ 0.075 & 0.045 & 0.274 & 0.179 & 0.427 \\ 0.0268 & 0.085 & 0.074 & 0.498 & 0.075 \end{pmatrix}$$

$$= (0.207 \quad 0.315 \quad 0.204 \quad 0.118 \quad 0.303)$$

归一化处理^[7]得:

$$B = (0.18 \quad 0.275 \quad 0.178 \quad 0.103 \quad 0.264)$$

其次,联合“桌椅布局”和“光源布局”两个单因素评价集,可得单因素评价矩阵 V_4 、权重矩阵 A_4 、综合评价 B_4 :

$$V_4 = \begin{pmatrix} 0.218 & 0.071 & 0.043 & 0.116 & 0.552 \\ 0.062 & 0.4 & 0.036 & 0.292 & 0.21 \end{pmatrix},$$

$$A_4 = (0.125 \quad 0.875)$$

$$B_4 = A_4 \times V_4 = (0.125 \quad 0.875)$$

$$\begin{pmatrix} 0.218 & 0.071 & 0.043 & 0.116 & 0.552 \\ 0.062 & 0.4 & 0.036 & 0.292 & 0.21 \end{pmatrix}$$

$$= (0.0815 \quad 0.358875 \quad 0.036875 \quad 0.27 \quad 0.25275)$$

根据综合评价结果 B 和 B_4 ,本文得出以下结论:由“照明水平”、“眩光感觉”、“亮度分布”和“室内布局”四个因素综合评价,五个学校排名为 B-E-A-C-D;而由室内布局该因素单独评价,五个学校的排名则依次为 B-E-D-A-C。

3.2 结果分析

五个学校教室照明系统的排名依次为: B-E-A-C-D,说明学校 B 在五校中教室照明系统最为合理。

在四个因素中,权重最大的是“照明水平”。此因素中优先级最高的是学校 B,学校 B 灯光数目是五校中最多的,同时也发现大部分学校的照明水平并没有达到《建筑照明设计标准 GB50034-2004》^[8]中规定的 300 LX。因此在影响高校教室照明的四因素中,首要的是提高照明水平。

亮度分布对于照明系统的影响仅次于照明水平。由模型结果和教室照度的实测数据,本文发现教室四周角落的照度较低,这是因为角落位置只能接收到最近的 1~2 盏灯的光照,而其余灯的帮助不大。因此在设计教室灯光时要光照均匀,尤其要考虑到角落位置。

教室造成眩光感觉的主要原因是:亮度分布不均和高亮光源的裸露。教室多采用 LED 灯作为光源,由于教室大、灯具多,从而眩光干扰大,因此宜选用限制眩光性能较好的灯具,也可在灯具外加上灯罩或者栅栏,利用墙壁与黑板合适的反射比来制造合理的环境亮度比,以降低眩光感觉。

室内布局方面。本文五所高校选取的教室容量大都约为 100~120 人,桌椅布局相差并不大,基本采用的是中间座位数目较多(数目为 4 至 6 个),左右两边各三个座位的布局方式,因此这一

部分所占权重较小。通过模型计算和实测,发现影响光照分布的主要因素是教室的光源分布,相同功率、相同数目的灯具会因为分布不同而导致灯光效果不同。

4 优化设计

4.1 优化计算

基于照度模型,平均照度^[9]计算公式为: $E_m = \frac{\phi \times N \times U \times K}{A}$, LED 灯盏数为: $N = \frac{E \times A}{\phi \times U \times K}$ 。其中:

E_m 表示平均照度,若要满足国家标准,则取值需为 300 LX 以上; A 表示教室面积, ϕ 表示 LED 单盏光通量,以本文选取高校的 16 W 的 T8LED 灯管为例,其光效为 110 LM/W,因此单盏光通量为 $16 \times 110 = 1760$ LM; U 表示利用系数,根据《建筑照明》^[9],本文取天花板的反射比为 0.8,墙壁反射比为 0.6,地面反射比为 0.3,黑板反射比为 0.15,利用系数表查得 0.72;表示维护系数,根据照明学会技术指针《JIED-001 2005 照明设计的维修率与维修计划》^[10]得到下方带盖灯具且周围环境普通的维修率为 0.8。最后依据模型计算得 $N \geq 32.6$ 盏。

4.2 优化方案

(1)建议高校教室照明选择 LED 灯。LED 灯通过控制波长,使显色性得到提高,且寿命长,可以减轻维修管理的负担;上文计算的灯盏数量 $N \geq 32.6$ 盏,本文基于灯光布局的合理和美观,设计了图 2 的 39 根灯管方案,保证了照明水平满足国家标准 300 LX 的规定。

(2)以学校 A 的教室数据(14 m × 7.88 m × 3.15 m)为例(图 2),其中加粗线为灯管(单位 cm)。教室灯光每小时的平均能耗为: $W = PT = 16 \times 39 = 0.624$ W,学校 A 原来教室灯光每小时能耗为: $W = PT = 35 \times 39 = 1.37$ W,所以优化方案的能耗仅是原能耗的一半,且教室照明效果更好。

(3)在亮度分布方面,本文将原教室两侧三人座上方纵向排列的灯管改为横向,并置于桌子斜上方。这种方式不仅提高光照射在课桌上的利用率,而且斜上方射来的光线避免了学生在低头时造成的阴影;中间五人座按 300 LX 的照度要求,LED 灯管采取无缝连接、均匀纵向排列的方式,在保证光照充足的同时,根据人因学原理该布置

方式更容易引导学生的视线。

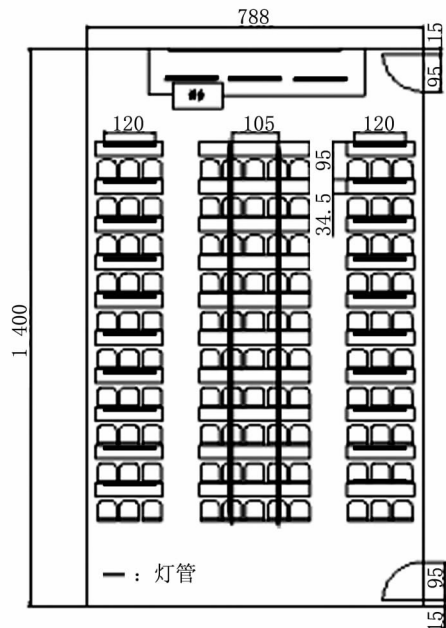


图2 教室灯光布局设计图(单位: cm)
Fig.2 Layout of classroom lights(unit:cm)

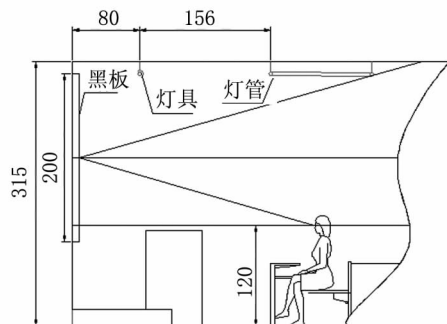


图3 教室前部侧视图(单位: cm)
Fig.3 Side view of classroom(unit:cm)

(4)为避免形成眩光,建议教室采用带格栅或漫反射板型灯具。若有条件也可以改变教室吊顶装修,隐蔽灯具下凸部分,使向后散射的灯光被截去并通过灯具反射器向前方投射。另外,作者考虑到黑板照明灯具既不能对老师产生直接眩光,又不能对学生产生反射眩光,因此必须要确定灯具挂高以及灯具与黑板墙面的距离;根据《光环境设计》查表得出教室照明灯具距离黑板距离为

0.8 m,且黑板布灯的区域为:第一排学生看黑板顶部(本文所调研高校教室通常布置两块黑板,下方黑板顶部设为视线标准)并以水平反射到天花板做反射线,区域为反射线以上。根据人体坐姿视线高度为1.2 m,灯具的挂高既要满足灯具与黑板墙面的距离,又要满足空间要求。因此,本文提出教室前部设计方案侧视图,见图3。

(5)考虑到教室通常设有多媒体投影,为保证屏幕效果而又能看清黑板,本文建议把三盏用于黑板照明的灯具并联设计,从而能分开控制;为便于老师调节,建议将黑板照明的控制开关最好置于黑板两侧。

参考文献:

- [1]周杰,李豪.考虑乘客策略行为的航空客运机票模糊销售机制研究[J].工业工程与管理,2016(2):151-152.
- [2]戴立操,张力,李鹏程,等.核电厂DCS人因失误研究[J].工业工程与管理,2014(4):117-118.
- [3]谭政,吴锋,朱静.数据处理服务外包人因失误追溯与概率研究[J].工业工程与管理,2013(2):112-113.
- [4]汪建,赵来军,王珂,等.地震应急避难场所建设的需求与人因分析[J].工业工程,2013(2):10-11.
- [5]刘斌,宋成利,王殊轶,等.腹腔镜手术器械手柄人因工程设计与评价[J].工业工程与管理,2013(6):108-109.
- [6]安岩,邹志红,王晓静.基于粗糙集理论的水质模糊综合评价[J].工业工程,2015(2):2-3.
- [7]王美强,李勇军.输入输出具有模糊数的供应商评价——基于DEA博弈交叉效率方法[J].工业工程与管理,2015(2):96-97.
- [8]史德强,陆刚,王磊.煤矿井下作业人因可靠性[J].工业工程,2015(10):156-157.
- [9]刘晓冰,焦璇,黄明,等.用混合量子算法求解模糊柔性作业车间调度问题[J].工业工程与管理,2015(6):9-10.
- [10]康肖琼,刘树林,杨丰寻.操作人员人因失效影响因素研究——以风力发电业为例[J].工业工程与管理,2015(6):132-133.

(责任编辑 王利君)