

东北地区教学建筑侧窗导光构件形态模拟研究

刘万里^{1,2}, 夏柏树^{1,2}, 李思琪³, 李 轩^{1,2}, 王哲民^{1,2}

(1. 沈阳建筑大学建筑与规划学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 辽宁省区域建筑学与寒地人居科学重点实验室, 辽宁 沈阳 110168; 3. 中国建筑东北设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110006)

摘要 为解决东北地区教学建筑中自然光分布严重不均衡, 而单纯依靠粗放式地提高窗地比采光计算方法无法改善, 通过设置导光构件解决自然光分布不均衡的难题。**方法** 应用 Ecotect 软件建立典型教室空间和导光构件的参数化模型, 分析导光构件内外位置、水平高度、截面尺寸、截面形态、透光度等参数变化对于采光系数、照度、采光均匀度等参数的影响。**结果** 通过对模拟数据的比较分析发现, 导光板在位于侧窗室内一侧、高度为 2 400 mm、截面宽度为 1 050 ~ 1 200 mm、截面形态为弧形向下的情况下, 采光照度和均匀度达到最佳平衡状态; 导光百叶中的水平内倾百叶的综合性能优于其他类型。**结论** 横向比较, 导光板最优方案在综合性能上优于导光百叶, 是东北地区较为适用的导光构件。

关键词 采光模拟分析; 东北地区; 教学建筑; 导光构件; 采光均匀度

中图分类号 TU113

文献标志码 A

引用格式: 刘万里, 夏柏树, 李思琪, 等. 东北地区教学建筑侧窗导光构件形态模拟研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2024, 40(2): 330-337. (LIU Wanli, XIA Baishu, LI Siqi, et al. The shape simulation of light guide components for side windows of teaching buildings in northeast China[J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2024, 40(2): 330-337.)

The Shape Simulation of Light Guide Components for Side Windows of Teaching Buildings in Northeast China

LIU Wanli^{1,2}, XIA Baishu^{1,2}, LI Siqi³, LI Xuan^{1,2}, WANG Zhemin^{1,2}

(1. School of Architecture and Urban Planning, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. Key Laboratory of Regional Architecture and Human Settlement Science of Cold Area in Liaoning Province, Shenyang, China, 110168; 3. China Northeast Architectural Design & Research Institute Co. Ltd., Shenyang, China, 110006)

Abstract: The distribution of natural light in the space of the educational building in Northeastern of China is severely uneven. Increasing the ratio of the window to ground just by the lighting calculation cannot improve indoor light environment, but light guide components is a practical and

收稿日期: 2023-10-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(52278032); 辽宁省教育厅高校科研基金项目(LJKZ0551)

作者简介: 刘万里(1978—), 男, 副教授, 博士, 主要从事建筑设计、绿色建筑技术等方面研究。

effective solution. A parameterized model of typical space in a classroom with light guide member was established by Ecotect software. The impacts of parameters for light guide member such as the internal and external positions, upper and lower positions, cross-sectional dimensions, cross-sectional morphology, and transmittance on the performance of lighting coefficient, illuminance, and daylighting uniformity are analyzed by the daylighting simulation analysis method. Through comparative analysis of simulated data, it was found that the optimal solution for achieving a balance between lighting illumination and uniformity was achieved when the light guide plate was located on one side of the side window, with a height of 2 400 mm, a cross-sectional width of 1 050 ~ 1 200 mm, and a curved inward section shape; the comprehensive performance of the horizontal inward inclined louver in the light guide louver is superior to other types. However the optimal scheme for the light guide plate is superior to the light guide louver in the comprehensive performance. So the light guide plate is the most suitable light guide component in the Northeast region.

Key words: daylighting simulation analysis; northeast region; educational building; light guide member; daylighting uniformity

近年来,大量医学、心理学领域相关研究成果表明,自然采光对于青少年视力健康、心理健康和身体生长发育都有着显著的正向影响^[1-2],因此教学建筑的自然采光标准不断提高。《建筑采光设计标准》(GB 50033)修编组将教学建筑的采光系数由原来的 2.0% 上调为 3.0%,窗地比由 1/6 上调为 1/5,并且成为强制性条文,采光设计已成为教学建筑设计中的重点与难点^[3-4]。在我国纬度较高的东北地区,教室空间中的自然光分布严重不均衡。春、夏、秋三季较短,自然光照度和太阳入射角较大,对室内光环境的不利影响有限;冬季漫长,不仅自然光照度和有效日照时长显著下降,而且太阳入射角较小,近窗区域因照度过高出现大范围严重眩光,远窗区域照度和室内采光均匀度则显著下降,影响学生视力健康^[5]。工程应用中,常规的单纯提升窗地比方法并不能有效解决教室空间自然采光面临的困难。美国伦斯勒理工学院照明研究中心探索了针对本地区光气候条件的采光优化方法^[6]。美国创新事务所采用新型反光板提高侧窗采光效率^[7]。刘宇波等^[8]提出了利用天光改善岭南地区教室空间自然采光的方法。赵华等^[9]提出了采用镜面反光玻璃板解决北方地区侧窗眩光问

题。黄海静等^[10]采用遮阳构件解决西南地区教室采光问题。李晨冉等^[11]利用导光构件改善长春地区教室内的采光品质。应用 Ecotect、Daysim 等软件动态可模拟教室内的采光强度和眩光区域分布,从而更为精准地模拟教室空间自然采光真实状态^[12-13]。东北地区年均晴天比率高于阴天,冬季晴天比率更高,在较低的太阳入射角因素叠加之下造成了教室内出现大范围眩光的现象。因此,以全阴天漫射光为参照的窗地比采光计算方法不能准确地反映教室内的真实光环境。基于此,笔者在对东北地区教学建筑进行调研的基础上,以提升采光均匀度为目标,采用 Ecotect 软件模拟分析导光构件内外位置、水平高度、截面尺寸、截面形态、透光度等参数对于采光系数、照度、采光均匀度等参数的影响,降低近窗区域眩光和提升远窗区域照度。

1 教室参数化模型

1.1 模型构建

以典型的中小学校教室为例,建立参数化模型。教室的基本参数:容量为 40 ~ 45 人、层高为 3.9 m、面积为 62 m²,正南朝向^[14]。平面采用常规的 9.0 m × 6.9 m,按

照窗地比计算可知,侧窗面积不应小于 12.4 m^2 。因窗下墙高 0.9 m 、梁高 0.7 m ,故侧窗总宽度应大于 5.4 m 、窗高大于 2.3 m ,在模拟中设为两个宽 2.8 m 、间距 1 m 的侧窗,侧窗透射比按照 1.0 考虑;顶棚、墙面反射比为 0.8 。依照以上参数在 Ecotect 中建立典型教室模型(见图1)。

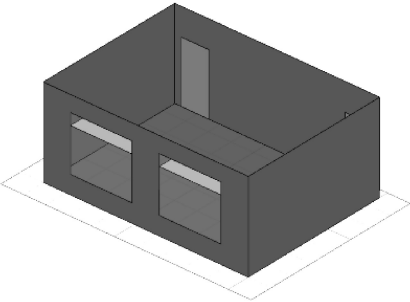


图1 Ecotect 软件建立的教室模型

Fig. 1 The classroom model built by Ecotect software

1.2 自然光环境参数

研究对象位于辽宁省沈阳市,北纬 $41^{\circ}48'11.75''$ 、东经 $123^{\circ}25'31.18''$,年平均日照时长在 $2\,620\text{ h}$ 以上,冬至日正午 $12:00$ 的太阳入射角为 25.26° 。选取日照时长最短、室外自然光照度和太阳入射角最小的冬至日进行模拟,可以凸显出自然采光最为不利情况下出现的问题,从而有针对性地提出解决方案。沈阳属于 III 类光气候区,室外天然光设计照度值取 $15\,000\text{ lx}^{[3]}$ 。

1.3 导光构件分类

导光构件工作原理是太阳光入射到构件上后会被反射到顶棚或内墙上,再将光线漫反射到室内深处,提高远窗区域的亮度,增加自然光在教室空间分布的均匀性^[15]。导光构件的材质通常有塑料、金属、玻璃等,考虑到在教室中应以漫反射为主,导光构件反射比设定为 0.8 。常见导光构件包含导光板和导光百叶,导光板通常为水平方向,截面宽度较大,向房间远窗区域的导光能力较强;导光百叶一般宽度较窄、数量较多,能使入射光变得柔和细腻。

1.4 导光板参数变量设定

导光板的内外位置、水平高度、截面宽度、截面形态、透光度等参数对导光性能具有直接影响。

1.4.1 内外位置

南北方地区用户对于太阳辐射热量需求差异影响了导光板的内外位置。南方地区导光板以遮光为主、导光而不导热,故应置于室外;东北地区用户需要尽量争取更多的太阳辐射热量,因此应将导光板设置在室内一侧,使太阳光在室内进行反射,既可避免热量散失,又能实现对光的导控。导光板宽度设定为 0.9 m ,分布置在室外、室内、内外各半三种情况加以比较分析(见图2)。

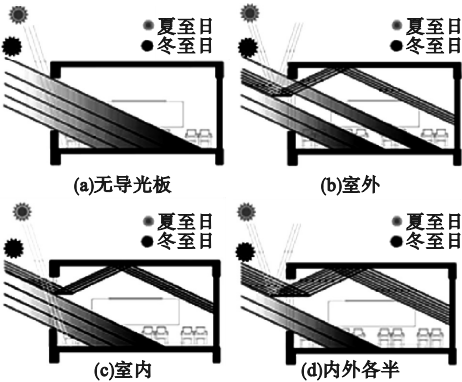
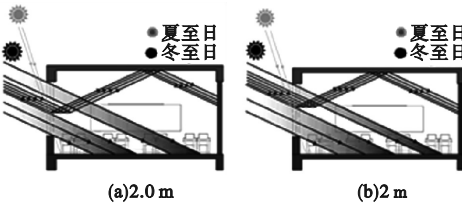


图2 导光板内外位置

Fig. 2 Analysis on the internal and external positions of the light guide plate

1.4.2 水平高度

导光板的水平高度对眩光程度、导光效果和室内空间感受等影响很大,导光板的水平高度决定了等量的人射光在直射到近窗区域和反射至远窗区域之间的量能分配,需要在二者的权衡中找到合适的高度。以 0.2 m 为步长,设定导光板水平高度分别为 1.8 、 2.0 、 2.2 、 2.4 、 2.6 m (见图3)。



(a)2.0 m

(b)2 m

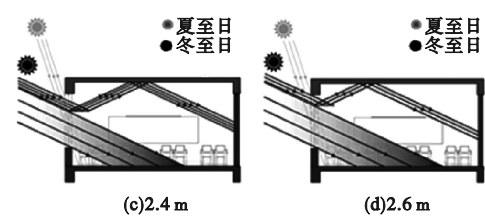


图3 导光板水平高度分析

Fig. 3 Analysis on horizontal height of the light guide plate

1.4.3 截面宽度

参照沈阳冬至日太阳入射角,可计算出在导光板不漏光情况下的截面宽度。导光板尺寸过大,居于下方的学生会产生明显的压抑感,所以将其控制在1.5 m以内,以0.15 m为步长,模拟截面宽度分别为0.60、0.75、0.90、1.05、1.20、1.35 m。

1.4.4 截面形态

导光板位置和截面宽度的确定使自然采光强度和均匀度达到了初步平衡,在此基础上,通过对导光板截面形态进行细节处理,进一步提升采光效果。通常情况下,导光板截面形态水平方向是平直的,如果将其向上或向下弯曲,会使反射光线的方向和分布发生几何变化^[16],因此,设置以上三种情况来分析导光效果(见图4)。

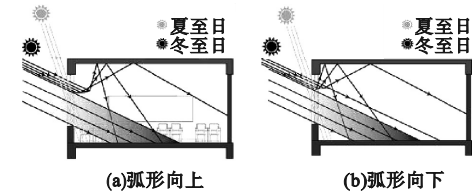


图4 导光板截面形态分析

Fig. 4 Analysis of the cross-sectional shape of the light guide plate

1.4.5 透光率

当导光板具备透光性时,入射的太阳光部分被反射而增强远窗区域照度,部分会透射而增强近窗区域照度,需要找到平衡点,使各区域采光照度实现均衡提升,并保证采光均匀度维持在较高水平。透光系数分别设为0、10%、20%、30%、40%、50%、60%。

1.5 导光百叶参数设定

导光百叶分为水平百叶、垂直百叶两大类,水平百叶可以看作是成组排列的窄幅导光板,与导光板特点相似,而且防眩光能力更强;垂直百叶则是竖向布置在侧窗洞口,除了在太阳光入射角度正好与叶片间隙相同的时段之外,多数太阳光也会以反射的方式进入室内。导光百叶叶片的扭转能够有效改变入射光的反射方向和角度,决定了太阳光进入室内的反射范围和照度,也是决定室内光环境的重要因素。在模拟中,导光百叶设置为在侧窗洞口中满布,叶片宽度为0.20 m,间距为0.20 m,扭转角度均定为10°,形成水平百叶向内倾斜、水平百叶向外倾斜、垂直百叶向左倾斜以及垂直百叶向右倾斜四种方案。将这四种方案与无百叶设置方案进行室内光环境对照模拟分析(见图5)。

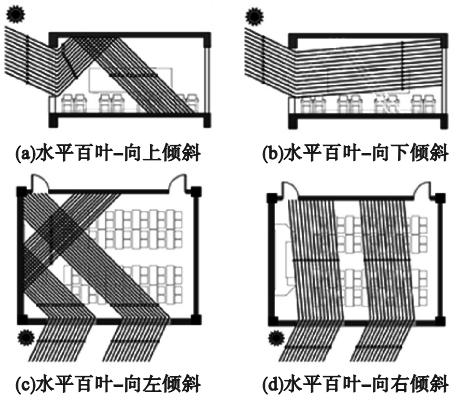


图5 导光百叶分析

Fig. 5 Analysis on setting pattern of light guide louvers

2 模拟结果与数据分析

根据《建筑采光设计标准》(GB50033)中的规定,教室侧窗采光系数标准值不应低于3%,室内自然光照度标准值不应低于450 lx,在模拟数据中选取采光系数、照度和采光均匀度满足相关标准的参数进行比较分析^[4]。以日均辐射为指标进行对比分析,等值线范围为20~600 W·h,步长为20 W·h。

2.1 导光板模拟结果分析

2.1.1 内外位置的影响

导光板置于室内时,采光系数和照度平均值明显高于置于室外、室内外各半的情况,略低于无导光板的情况,且全部满足《建筑采光设计标准》(GB50033)要求;导光板置于室内时采光均匀度较无导光板时有了明显提升,是各种情况中最优值。可知,导光板置于室内更符合东北地区的光环境特点(见图6、表1)。

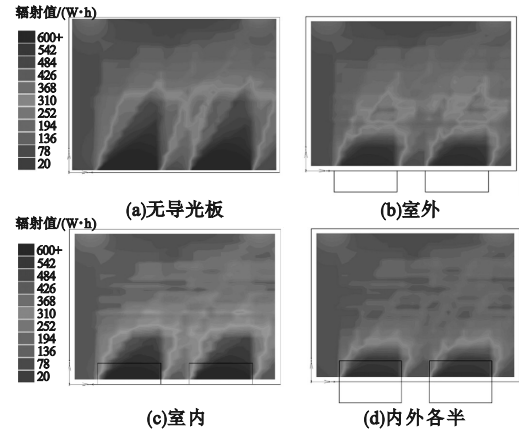


图6 导光板内外位置室内光环境模拟分析

Fig. 6 Simulation analysis on indoor light environment of the light guide plate's internal and external position

表1 导光板内外位置模拟结果

Table 1 Simulation results of the light guide plate's internal and external position			
内外位置	采光系数/%	照度/lx	采光均匀度
无	5.94	713.18	0.378
室外	5.27	632.12	0.314
室内	5.25	630.09	0.412
内外各半	4.29	514.57	0.382

2.1.2 水平高度的影响

随着导光板位置升高,近窗区域自然采光照度、远窗区域自然采光照度、平均照度和采光系数基本同步呈线性上升,逐渐接近于无导光板;自然采光均匀度从1.8 m开始逐渐上升,在2.4 m达到峰值后开始下降,逐渐接近无导光板的数值。分析可知,虽然无导光板时教室内采光系数和照度的平均值最高,但采光均匀度偏低;当导光板设置在

2.4 m高度时,采光均匀度最好,采光系数和照度的平均值稍弱于无导光板,但明显高于《建筑采光设计标准》(GB50033)相关指标(见图7、表2、图8)。此外,2.4 m的高度大约位于整个侧窗2/3处,从空间尺度、立面效果、开启扇和固定扇制作工艺的角度来说也较为合理。

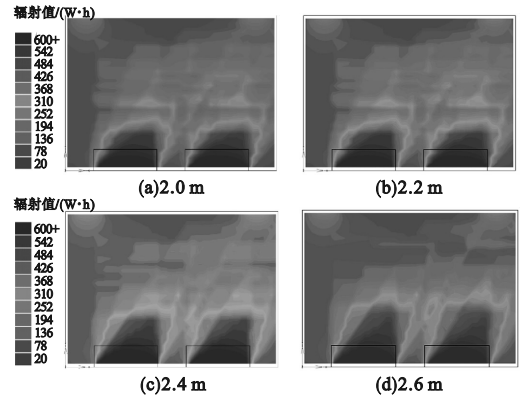


图7 导光板水平高度室内光环境模拟分析

Fig. 7 Simulation analysis on indoor light environment of the light guide plate's horizontal height

表2 导光板水平高度模拟结果

Table 2 Simulation results of the light guide plate's horizontal height			
高度/m	采光系数/%	照度/lx	采光均匀度
1.8	5.16	618.97	0.404
2.0	5.20	623.82	0.405
2.2	5.24	629.12	0.405
2.4	5.25	630.09	0.412
2.6	5.46	654.76	0.402

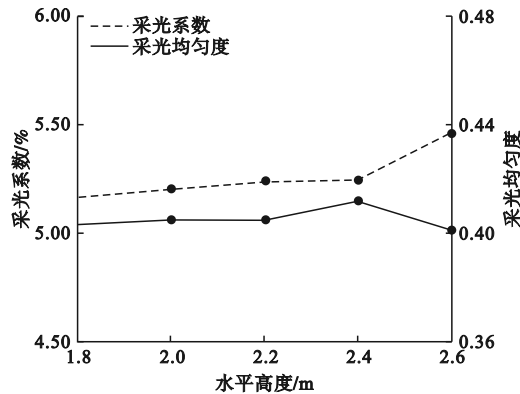


图8 导光板水平高度的数据曲线分析

Fig. 8 Data curve analysis on the light guide plate's horizontal height

2.1.3 截面宽度的影响

在导光板高度确定为 2.4 m 的状态下,随着导光板截面宽度的增加,导光板上部入射的太阳光逐渐从部分直射室内近窗区域、部分被反射至远窗区域逐渐变为全部被反射至远窗区域,室内的天然采光系数平均值和照度平均值缓慢下降,采光均匀度缓慢上升,各项数值的变化幅度很小且均满足《建筑采光设计标准》相关指标要求,对于室内天然采光的实际感受影响不大。导光板截面较小时,自其上部射入的太阳光仍会在室内产生明显的眩光区域,综合考虑导光、眩光、室内空间感受和技术实现难度等因素,建议导光板截面宽度控制在 1 050 ~ 1 200 mm 为宜(见表 3、图 9)。

表 3 导光板截面宽度模拟结果

Table 3 Simulation results on the light guide plate's cross-sectional width

截面宽度/m	采光系数/%	照度/lx	采光均匀度
0	5.94	713.18	0.378
0.60	5.38	646.07	0.402
0.75	5.32	637.86	0.407
0.90	5.25	630.09	0.412
1.05	5.22	626.09	0.414
1.20	5.19	622.41	0.416
1.35	5.17	620.64	0.417

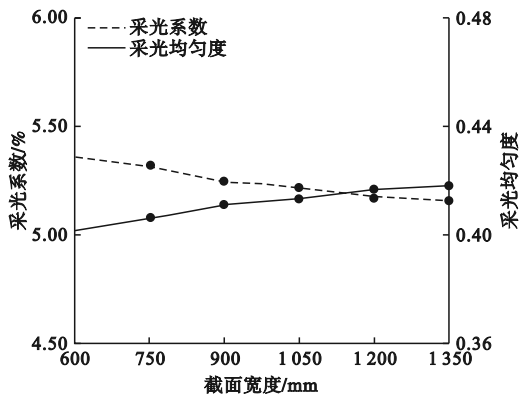


图 9 导光板截面宽度的数据曲线分析

Fig. 9 Data curve analysis on the light guide plate's cross-sectional width

2.1.4 截面形态的影响

弧形向上的导光板采光系数及照度的平均值是三种截面形态中最高的,但是其采光均匀度却是三者中最低的,说明弧形向上的导光板更有利于教室内近窗区域的采光,但是不利于远窗区域照度提升和教室整体光线的均匀分布;弧形向下的导光板虽然在采光系数平均值和照度平均值这两项指标上的表现不突出,但是利于太阳光向教室深处分散反射,其采光均匀度高于平板形和弧形向上这两种形式,并满足《建筑采光设计标准》相关指标要求。综合分析可知,弧形向下的导光板更适用于东北地区教室(见表 4)。

表 4 导光板截面形态模拟结果

Table 4 Simulation results of the light guide plate's cross section morphology

截面形态	采光系数/%	照度/lx	采光均匀度
无	5.94	713.18	0.378
平板	5.22	626.09	0.414
弧形向上	5.33	639.10	0.408
弧形向下	5.20	624.13	0.417

2.1.5 透光率的影响

采光系数和照度的平均值在透光度 20% 时达到最低值,之后随着导光板透光系数的升高,逐渐上升,均高于导光板不透光的情况,室内近窗和中间区域的采光质量有明显的改善;随着透光率的增大,采光均匀度在 20% ~ 30% 区间达到峰值后逐渐明显下降,这说明随着透光率增大,漫反射作用逐渐下降,不利于解决远窗区域照度不足的问题。在数据分析的基础上,还应该关注室内空间的实际使用感受,透光率为 0 的导光板设置在学生头顶上方容易产生沉闷感觉,影响学生的情绪和心理健康;反之,具备一定透光性能的导光板,能够使室内空间中的光线更加柔和,缓解导光板带来的压抑感。综合分析可知,透光率为 30% 的导光板能更均衡地改善教室内采光系数和照度,并且保证相对较好的采光均匀度(见表 5、图 10)。

表 5 导光板透光率模拟结果

Table 5 Simulation results of light guide plate's transmittance

透光率/%	采光系数/%	照度/lx	采光均匀度
0	5.94	713.18	0.378
10	5.55	665.70	0.399
20	5.33	639.69	0.409
30	5.48	657.20	0.409
40	5.71	684.92	0.397
50	6.09	730.34	0.377
60	6.69	802.34	0.350

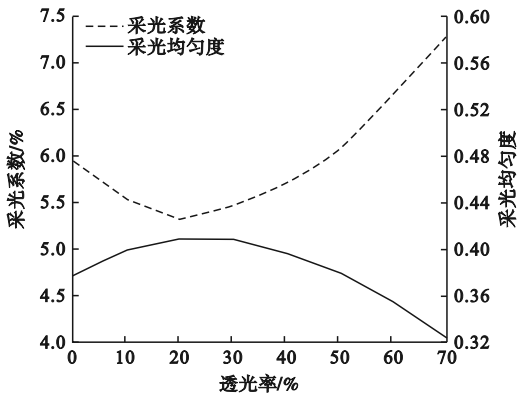


图 10 导光板透光率的数据曲线分析

Fig. 10 Data curve analysis of the light guide plate's transmittance

2.2 导光百叶模拟结果分析

2.2.1 水平百叶

向外倾斜和向内倾斜两种类型的水平百叶采光系数和照度平均值相较无百叶的情况分别下降 21% 和 28%,虽然仍在《建筑采光设计标准》相关指标范围之内,但相比于导光板首选方案 7.8% 的小幅下降存在较大差距;同时,采光系数和照度的最小值下降幅度分别达到 22% 和 25%,说明室内采光质量有了实质性的下降,特别是远窗区域下降更明显;向外倾斜类型的采光均匀度下降 2%,表现不佳,向内倾斜类型的采光均匀度虽然提升 11%,但因其采光系数和照度下降过大,仍不做推荐。

2.2.2 垂直百叶

垂直百叶的采光系数、照度的平均值和

最小值以及采光均匀度均出现了明显下降,采光系数和照度最小值降幅达到 40% 左右,室内采光效果不佳。综合分析可知,导光百叶除了在降低眩光方面有一定效果以外,其他各方面性能均没有优势,不适合在东北地区使用(见表 6、图 11)。

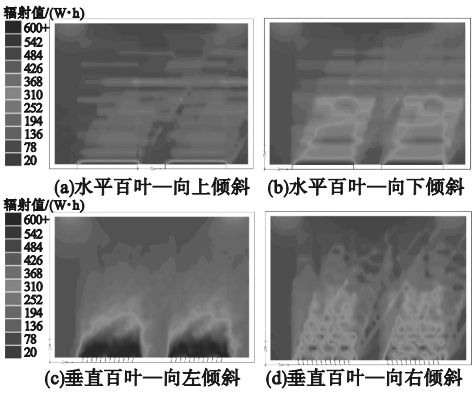


图 11 导光百叶室内光环境模拟分析

Fig. 11 Simulated analysis on indoor light environment of the light guide louvers

表 6 导光百叶窗模拟结果

Table 6 Simulated results of the light guide louvers

百叶形式	采光系数/%	照度/lx	采光均匀度
无	5.94	713.18	0.378
水平外倾	4.71	565.17	0.370
水平内倾	4.25	510.19	0.397
垂直左倾	4.36	523.72	0.315
垂直右倾	4.81	577.00	0.253

3 结 论

(1)根据模拟比较分析,确定导光板比导光百叶更适于东北地区教学建筑南向教室采光环境优化,当导光板设置于侧窗室内一侧、距地面 2.40 m、截面宽度在 1.05 ~ 1.20 m、截面形态为弧形向下、透光度约为 30% 时,在采光系数、照度、采光均匀度等参数以及空间感受上能够达到较为均衡的状态,室内光环境质量最佳。

(2)导光百叶只在降低眩光方面有一定效果,采光系数和照度采光均匀度等均没有优势,不适合在东北地区应用。

(3) 优选方案部分参数是一个较小的数值区间,而非精确数值,实际采光构件设计需要权衡采光计算、设计创意、技术工艺等多种因素,要综合分析,应避免对数据的绝对性依赖。

参考文献

- [1] HESCHONG L, WRIGHT R L, OKURA S, et al. Day lighting impacts on human performance in school [J]. Journal of illuminating engineering society, 2002, 31(2): 101 - 114.
- [2] 吴蔚. 西方学校天然采光设计的发展概况 [J]. 照明工程学报, 2005, 16(2): 35 - 43.
(WU Wei. A review of the development of daylighting in western schools [J]. China illuminating engineering journal, 2005, 16(2): 35 - 43.)
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑采光设计标准: GB 50033—2013 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
(Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for daylighting design of buildings: GB 50033—2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.)
- [4] 刘万里, 王哲民, 张伶俐. 基于动态采光模拟分析的东北地区教育建筑采光设计研究 [J]. 建筑技艺, 2023, 29(2): 80 - 84.
(LIU Wanli, WANG Zheming, ZHANG Lingling. Research on daylighting design of educational buildings in northeast China based on dynamic daylighting simulation analysis [J]. Architecture technique, 2023, 29(2): 80 - 84.)
- [5] 陈芝妤. 基于自然光环境改善的东北地区教学建筑形态设计研究 [D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2021.
(CHEN Zhiyu. Research on the form design of teaching buildings in Northeast China based on the improvement of natural light environment [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2021.)
- [6] Lighting Research Center Rensselaer Polytechnic Institute, Guide for Daylighting Schools [R]. North Carolina: Innovative Design, 2004.
- [7] 刘宇波, 王梦蕊. 可持续的学校天然采光探索: 美国创新事务所的设计实践 [J]. 南方建筑, 2016(2): 110 - 115.
(LIU Yubo, WANG Mengrui. A sustainable research on daylighting design in schools: practices of American innovative design [J]. South architecture, 2016(2): 110 - 115.)
- [8] 刘宇波, 刘彬彬, 王梦蕊. 基于自然光环境改善的青少年教育空间设计探索 [J]. 建筑技艺, 2019, 25(4): 40 - 43.
(LIU Yubo, LIU Binyan, WANG Mengrui. Exploration on the space design of youth education place based on the improvement of natural light environment [J]. Architecture technique, 2019, 25(4): 40 - 43.)
- [9] 赵华. 教学建筑自然采光研究 [D]. 天津: 天津大学, 2010.
(ZHAO Hua. The study of daylighting in school buildings [D]. Tianjin: Tianjin University, 2010.)
- [10] 黄海静, 王静雅, 陈纲. 复合化理念的教学建筑外遮阳优化设计: 以重庆地区为例 [J]. 新建筑, 2017(6): 70 - 73.
(HUANG Haijing, WANG Jingya, CHEN Gang. The optimizing design method of teaching building external shading based on composite concept: the case of Chongqing [J]. New architecture, 2017(6): 70 - 73.)
- [11] 李晨冉, 周春艳, 黄兆弘. 长春地区高校教室侧窗反光板设计研究 [J]. 建筑与文化, 2016(8): 156 - 157.
(LI Chenran, ZHOU Chunyan, HUANG, Zhaohong. A research on side window design for daylighting of college classrooms in Changchun area [J]. Architecture & culture, 2016(8): 156 - 157.)
- [12] 吴蔚, 刘坤鹏. 全年动态天然采光模拟软件 DAYSIM [J]. 照明工程学报, 2012, 23(6): 30 - 34.
(WU Wei, LIU Kunpeng. Annual dynamic daylighting simulation tool DAYSIM [J]. China illuminating engineering journal, 2012, 23(6): 30 - 34.)
- [13] 罗涛, 燕达, 赵建平, 等. 天然光光环境模拟软件的对比研究 [J]. 建筑科学, 2011, 27(10): 1 - 6.
(LUO Tao, YAN Da, ZHAO Jianping, et al. Comparative study on simulation softwares of natural light environment [J]. Building science, 2011, 27(10): 1 - 6.)
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中小学校设计规范: GB 50099—2011 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
(Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China. Code for design of school: GB 50099—2011 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.)
- [15] 孙楠. 基于自然采光与通风的绿色遮阳技术研究 [D]. 济南: 山东建筑大学, 2015.
(SUN Nan. Research of solar shading green technology based on natural lighting and natural ventilation of Shandong province [D]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2015.)
- [16] JEAN-LOUIS S, GILLES C. Anidolic daylighting system [J]. Solar energy, 2002, 73(2): 123 - 135.
(责任编辑: 王国业 英文审校: 唐玉兰)