

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2018.01.015



重庆地区建筑外遮阳性能优化实验研究

黄海静^{a, b}, 王雅静^a, 陈纲^{a, b}

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

摘要:建筑外遮阳是建筑节能的重要措施,但单一、不当的遮阳形式却可能阻碍房间的隔热、采光、通风和视野等,从而降低室内环境舒适性。以综合节能为目标,提出建筑外遮阳优化设计思路及方法,以重庆地区为例,基于气候特征分析研究南向和西向窗口综合性能好的外遮阳形式。模拟一般办公空间搭建外遮阳实验平台,对其隔热、采光和通风效果进行实地测试和检验。结果表明,优化后的外遮阳装置不仅遮阳和降温效果明显,而且,室内采光、通风及视野效果良好,具有综合节能的作用。

关键词:外遮阳;环境舒适性;综合性能;建筑节能

中图分类号:TU226 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2018)01-0105-08

Experimental analysis on performance optimization of architectural external shading in Chongqing

Huang Haijing^{a, b}, Wang Yajing^a, Chen Gang^{a, b}

(a. Faculty of Architecture and Urban Planning; b. Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Architectural external shading is an important measure for building energy saving, but single and improper shading may hinder the heat insulation, lighting, ventilation and vision of the room, and reduce the comfort of indoor environment. With the aim of comprehensive energy saving, this paper put forward the optimal design method of architectural external shading. Taking Chongqing as an example, based on the analysis of climate characteristics, the exterior shading forms of south and west orientation with good comprehensive performance were studied. Simulating the general office space to build an experimental platform of composite external shading, its insulation, shading, lighting and ventilation effects were tested and inspected. The results show that the optimized external shading devices have good lighting, ventilation and vision effects as well as obvious cooling effect.

Keywords: architectural external shading; environmental comfort; comprehensive performance; building energy saving

外窗节能是整栋建筑节能的关键。作为建筑围护结构中保温隔热最薄弱的环节,外窗能耗约占建筑总能耗的40%~50%^[1]。在夏季炎热地区,通过

外窗的太阳辐射得热是造成空调能耗大和室内热环境不良的主要因素^[2]。遮阳设计是建筑节能措施的重要组成部分,也是调节太阳热辐射最有效的途径。

收稿日期:2017-06-27

基金项目:中央高校基本科研业务费(106112014CDJZR190006)

作者简介:黄海静(1974-),女,副教授,博士,主要从事建筑技术科学研究,E-mail:cqhj@126.com。

Received:2017-06-27

Foundation item: Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. 106112014CDJZR190006)

Author brief: Huang Haijing (1974-), associate professor, PhD, main research interests: architectural technology and science, E-mail: cqhhj@126.com.

遮阳设施按其与人窗的位置关系可分为内遮阳、中间遮阳和外遮阳,外遮阳节能潜力优于内遮阳和中间遮阳^[3]。

遮阳设施和技术在澳洲、欧洲、北美等国家应用较多。近年来对遮阳的研究大多针对办公建筑,基于气候特征、使用者需求、机电系统控制、节能效率等复杂要求,通过性能模拟分析、系统自动控制等手段来解决遮阳综合问题^[4-5]。遮阳设计日趋系统化、智能化和人性化,以托马斯·赫尔佐格、福斯特、皮阿诺等的建筑作品最为突出^[6-7]。中国早期对建筑遮阳的研究以夏昌世^[8]研发的“夏氏遮阳”为代表,之后各高校对地域性遮阳的形式、构件尺寸等开展实践研究^[9-11],对新型建筑遮阳方式、设计手法、材料工艺等进行系统总结^[12-14]。关于建筑遮阳的研究主要包含5个方向:1)遮阳与节能,主要研究遮阳与建筑隔热、照明及空调能耗的关系;2)遮阳与采光,研究兼顾室内采光效果的遮阳形式选择;3)遮阳与通风,利用软件模拟不同遮阳形式对室内自然通风的影响;4)遮阳与采光、通风,根据遮阳设计对采光、通风效果进行定性探讨,利用缩尺模型进行定量测试;5)遮阳与建筑表皮,侧重遮阳与建筑立面相结合的研究。综上所述,已有研究多为遮阳与节能、通风、采光、建筑立面的专项分析,缺乏统筹考虑遮阳对采光、通风、视线、造型的综合性影响。

对重庆地区办公建筑、住宅建筑及教学建筑等的遮阳状况的调研发现,部分建筑采用窗帘、手动卷帘等内遮阳设施,起到遮挡太阳直射光的作用,但却对室内采光、通风和视野阻碍较大。部分建筑采取外遮阳设施,但也存在以下问题:1)遮阳材料单一,多采用混凝土板作为遮阳板,外观厚重呆板;2)遮阳形式运用不当,只考虑造型而未根据太阳入射角及朝向特征设置适宜遮阳形式,遮阳效果不理想;3)遮阳尺寸不合理,遮阳板出挑长度不足,不能全时段阻挡太阳光直射;4)室内通风、采光较差,一是遮阳板未考虑当地夏季主导风向而阻挡通风,不当的遮阳形式会使室内风速减弱22%~47%^[15];二是遮阳板(尤其是角度不当的挡板式遮阳)遮挡太阳热辐射的同时也阻挡了光的入射,影响了室内采光及采光均匀度。针对上述问题,笔者基于地域气候特征分析,研究集遮阳、通风、采光、视野于一体的综合性能优化的建筑外遮阳形式。

1 测试对象及性能评价方法

1.1 测试对象

以重庆地区为例(其南向和西向为主要防晒朝

向),以室内环境舒适性整体最优为目标,统筹分析遮阳、采光、通风、视野等各影响因素要求,进行外遮阳综合效能优化设计,得到两个朝向的外遮阳优化方案。模拟一般办公空间搭建1:1模型进行外遮阳实测验证。模型尺寸为:2.5 m(长)×2.5 m(宽)×2.5 m(高);窗洞尺寸为:1 220 mm×1 220 mm,窗台高750 mm;相邻墙面上设一门洞,尺寸为900 mm(宽)×2 000 mm(高)。实验模型采用100 mm厚的彩钢夹芯板搭建而成,结构特性、保温隔热效果好。实验场地位于重庆大学建筑馆屋顶,空间开阔,便于开展相关实验测试。遮阳装置采用铝合金材料制作而成,轻便、易于安装,并在铝合金外表面加铺一层白色KT板以提高其热反射性能。

遮阳装置的设计参数为:南向采用综合式遮阳,室内水平遮阳板出挑140 mm,室外水平遮阳板和垂直遮阳板均出挑450 mm;西向采用百叶挡板式综合遮阳,室内水平遮阳板出挑400 mm,室外水平遮阳板和垂直遮阳板均出挑500 mm;挡板百叶宽150 mm,百叶之间间距为100 mm(调节角度为0°~90°)。南向和西向遮阳装置下缘均与窗台平齐,且低于窗上沿250 mm安装(图1)。

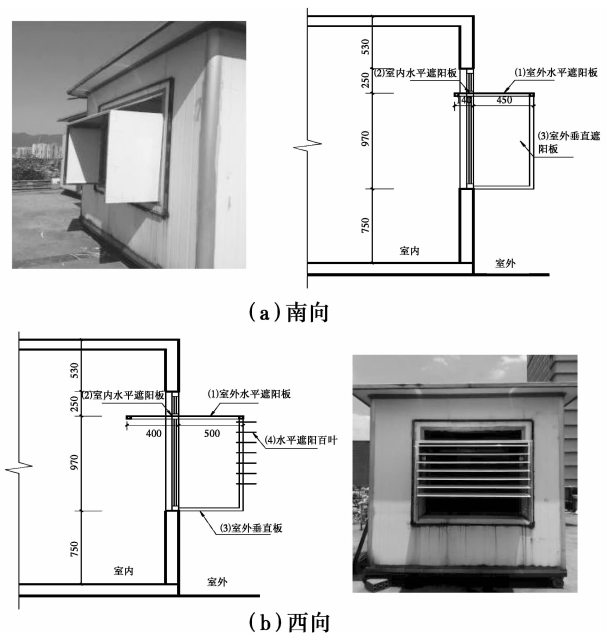


图1 南向和西向外遮阳装置

Fig. 1 Exterior shading device for south and west direction

1.2 遮阳性能评价方法

根据《建筑用标准气象数据手册》中重庆标准年气象数据(1995—2005年)统计得出,南向窗口遮阳时间为6月下旬(12:00—14:00)至9月上旬(9:00—16:00);西向遮阳时间为6月下旬(13:00—16:00)至9月上旬(13:00—16:00)^[16]。遮阳效果同时

考虑外遮阳设施对室内光、热及风环境的综合影响,利用相关物理指标进行综合评价。

1)遮阳效果。遮阳设施的主要作用是遮挡进入室内的直射光。一般以其能否在各个朝向过热的时间段里(室内气温在 29℃以上,太阳辐射强度大于 240 W/m²)达到满窗遮阳作为遮阳效果评判标准^[17],并对有遮阳和无遮阳时室内外温度差进行评价。测试采用自动温湿度记录仪每 10 min 记录温度一次。温度测点布置见图 2(a)。

2)采光效果。遮阳对室内采光效果的影响主要以室内平均照度值来衡量,根据《建筑采光设计标准》^[18]的规定,针对一般办公空间以 450 lx 作为室内照度标准值,并以有遮阳和无遮阳时室内采光均匀度变化值作为评价依据。测试时,在室内垂直窗口方向均匀选取 3 个测点(从外到里依次为测点 1、测点 2 和测点 3),采用照度计每 1 h 记录一次,每次连续读数 3 次取平均值(离地面 0.75 m 高度处,室内外同时操作)。照度测点布置见图 2(b)。

3)通风效果。由于真实环境中风向和风速大小变化不定,难以采用固定标准值进行评价,因此,实验以有遮阳和无遮阳时室内通风效率(出风口风速/进风口风速)对比作为评价依据。测试时,在平行窗口方向均匀选取 4 个点,采用风速仪每 1 h 记录一次,每次连续读数 3 次取平均值(风速仪的风速感应器对着来风方向测试,室内外同时操作)。风速测点布置见图 2(c)。

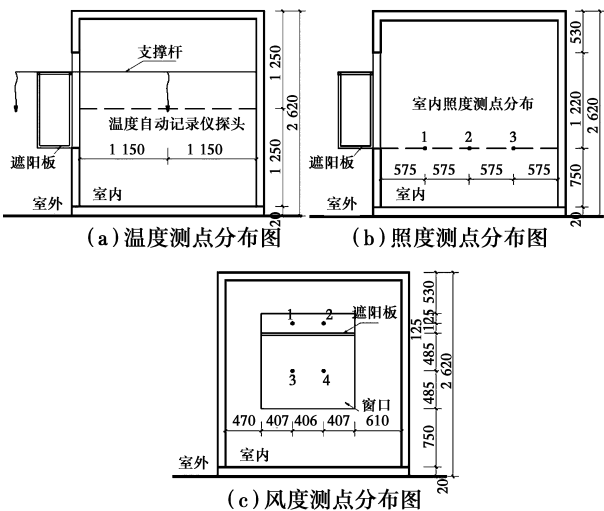


图 2 温度、照度和风速的测点布置

Fig. 2 Measuring point of temperature, illumination and wind speed

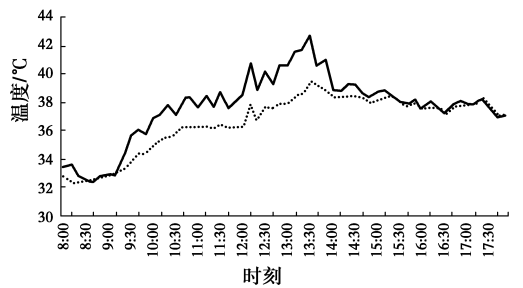
2 外遮阳性能测试分析

实验根据正常工作学习时间从 8:00 至 18:00

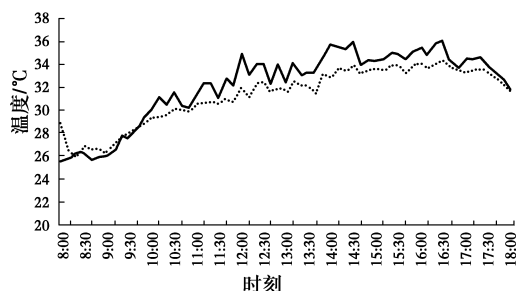
连续测试,对有遮阳和无遮阳 2 种情况下的测试数据作对比分析。考虑重庆天气原因(照度除了测试晴天数据之外,也测试全阴天或多云天的照度),测试从 2016 年(夏季)7 月一直持续到(秋季)10 月上旬,选择天气情况较为相近的两次数据进行对比。

2.1 遮阳效果分析

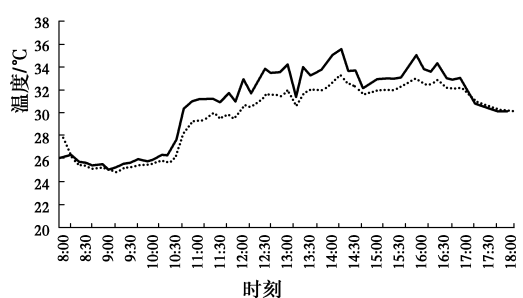
2.1.1 南向房间温度测试分析 采取遮阳后,测试时段内没有直射光进入室内,说明遮阳装置满足满窗遮阳要求;图 3(a)显示,夏季南向最热时段(11:00—14:00)室内温度比室外温度低了 3~5℃。为使测试结果更加可信,秋季 10 月 5 日、6 日又分别对无遮阳和有遮阳时室内外温度进行对比测试(图 3(b)、(c)),结果表明,在最热时段(12:00—14:00),10 月 6 日有遮阳时室内温度较室外温度下降最大值为 3℃,比 10 月 5 日无遮阳时的降温幅度大,说明遮阳装置降温效果好。



(a) 2016年7月22日南向有遮阳时室内外温度对比



(b) 2016年10月5日南向无遮阳时室内外温度对比



(c) 2016年10月6日南向有遮阳时室内外温度对比

注: — 室外温度 室内温度

图 3 南向房间采取遮阳前后室内外温度对比

Fig. 3 Contrast of indoor and outdoor temperature of the southward room before and after shading

2.1.2 西向房间温度测试分析 采取遮阳后,测试时段内没有直射光进入室内,说明遮阳装置达到满窗遮阳效果;图 4(a)显示,夏季 7 月 22 日西向最热时段(13:00—15:00)室内温度比室外温度低 2~3℃。同样,秋季 10 月 5 日、6 日又分别对无遮阳和有遮阳的室内外温度进行对比测试(图 4(b)、(c)),结果表明,最热时段(12:00—17:00)有遮阳时室内温度比室外温度下降 3~4℃,明显大于无遮阳时的降温幅度,说明遮阳装置起到了很好的降温作用。

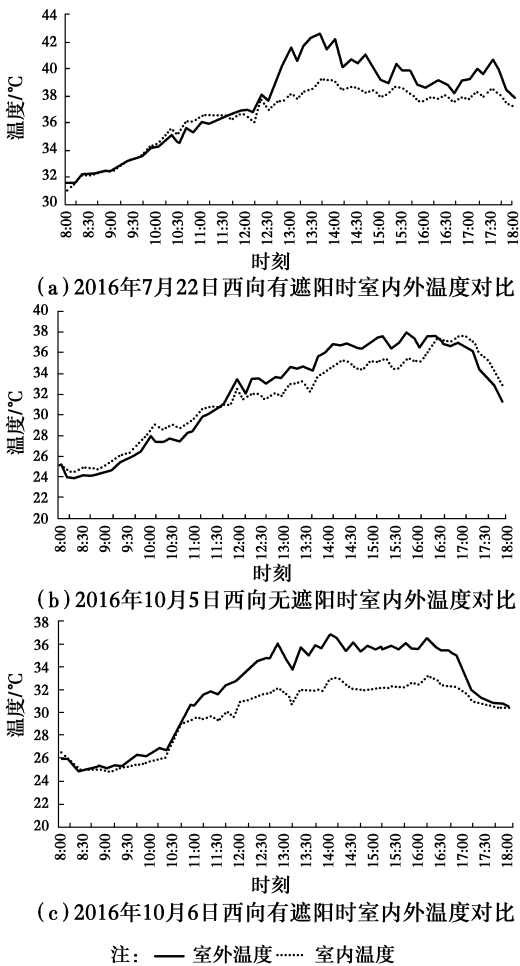


图 4 西向房间采取遮阳前后室内外温度对比
Fig. 4 Contrast of indoor and outdoor temperature of the westward room before and after shading

2.2 采光效果分析

2.2.1 晴天南向西向房间照度测试分析 如图 5 所示,采用遮阳后南向和西向室内照度均小于室外照度,减少了近窗处眩光影响;南向室内照度值能满足采光需求(≥ 450 lx);西向由于挡板百叶的影响,室内照度值在 8:00—10:00 左右低于 450 lx,需要适当补充人工照明,10:00 以后都能满足室内空间

采光需求。

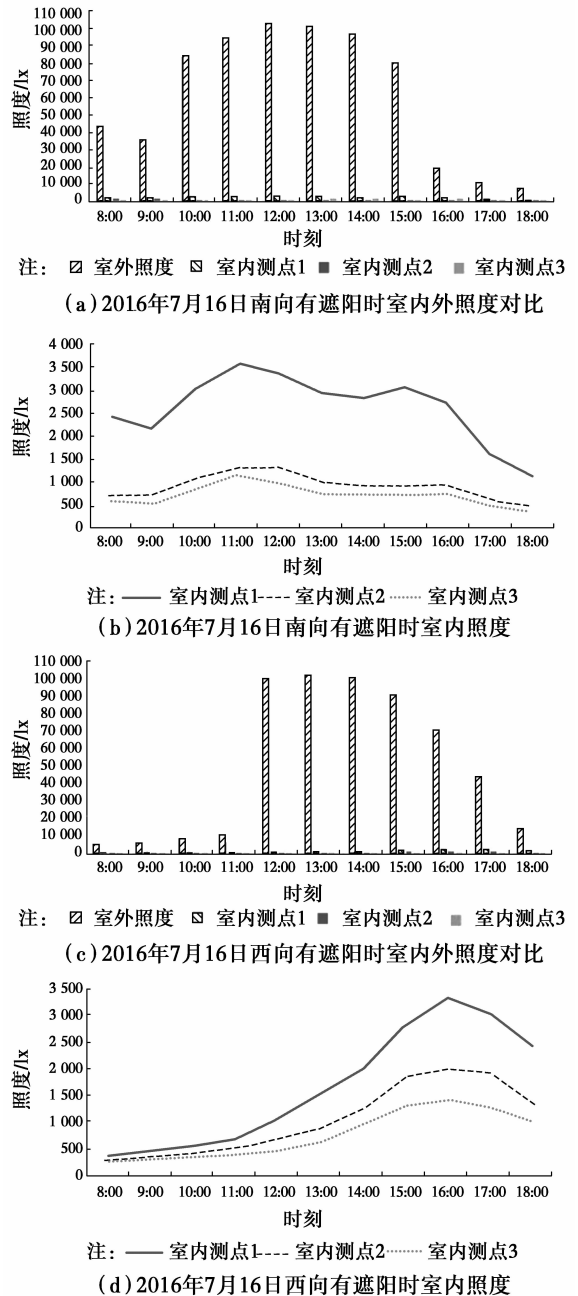
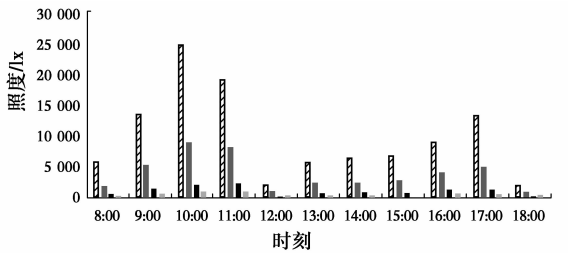


图 5 晴天两个朝向房间采取遮阳后室内外照度
Fig. 5 Indoor and outdoor illuminance of two facing rooms on sunny days

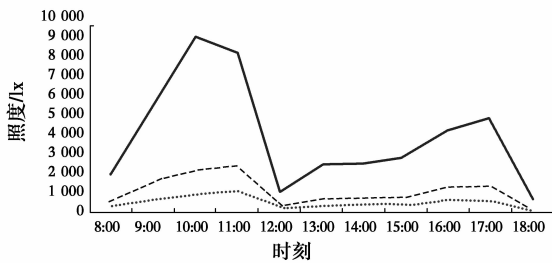
2.2.2 多云天南向房间照度测试分析 如图 6 所示,多云天条件下,9 月 28 日因时有太阳出没,室外照度波动较大;10 月 6 日全阴天室外照度变化则相对稳定。为比较遮阳前后室内照度变化情况,选取两个日期中室外照度值较接近的时刻作为参考点进行对比。其中,9 月 28 日(无遮阳)13:00 时和 10 月 6 日(有遮阳)16:00 时室外照度值较接近,分别是 5 853 lx 和 5 830 lx,相应的室内照度平均值分别为 1 159 lx 和 466 lx。经计算,无遮阳和有遮阳时室内

采光均匀度分别为 0.28 和 0.34。说明遮阳装置可有效改善室内采光均匀度。另外,根据实测数据统计,无遮阳时室内基本能满足采光要求(≥ 450 lx);加遮阳之后,除了 8:00—10:00 及 17:00 以后需补充人工照明外,其他时间均能够满足标准规定(≥ 450 lx)。

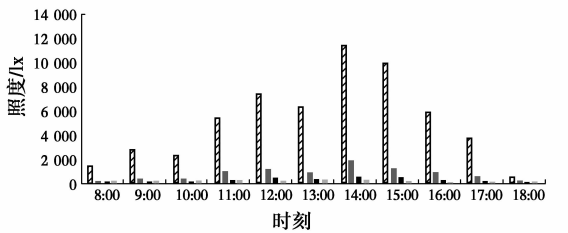
比点。其中,9月28日(无遮阳)14:00时和10月6日(有遮阳)13:00时室外照度值较接近,分别为6467 lx和6560 lx,同时间室内照度平均值分别为1131 lx和93 lx,采光均匀度分别为0.29和0.72。说明遮阳装置能极大改善室内的采光均匀度,但全阴天时遮阳对室内采光有一定影响,需补充适当的人工照明。



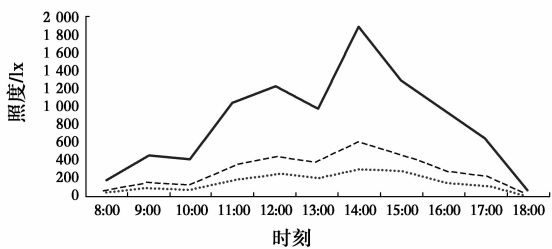
注: ▨ 室外照度 ■ 室内测点1 ■ 室内测点2 ■ 室内测点3
(a) 2016年9月28日南向无遮阳时室内外照度对比



注: — 室内测点1 --- 室内测点2 室内测点3
(b) 2016年9月28日南向无遮阳时室内照度

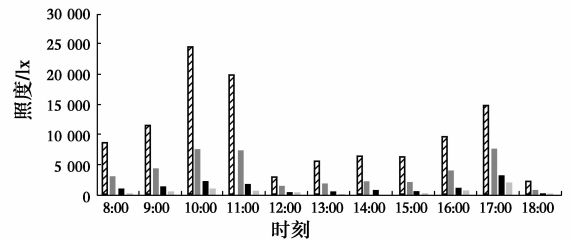


注: ▨ 室外照度 ■ 室内测点1 ■ 室内测点2 ■ 室内测点3
(c) 2016年10月6日南向有遮阳时室内外照度对比

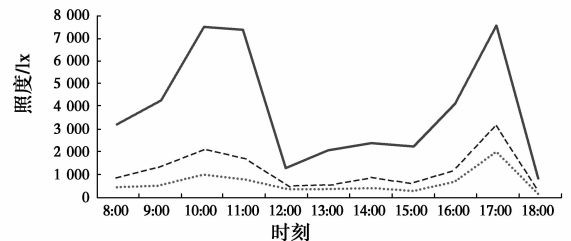


注: — 室内测点1 --- 室内测点2 室内测点3
(d) 2016年10月6日南向有遮阳时室内照度

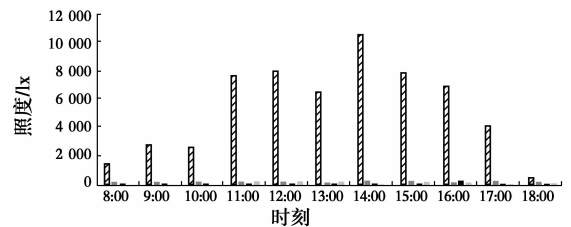
图 6 多云天南向房间采取遮阳前后室内外照度对比
Fig. 6 Contrast of indoor and outdoor illuminance of the southward room before and after shading on cloudy days



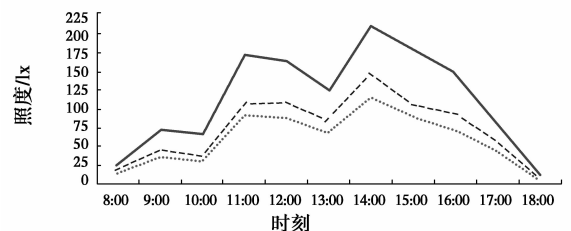
注: ▨ 室外照度 ■ 室内测点1 ■ 室内测点2 ■ 室内测点3
(a) 2016年9月28日西向无遮阳时室内外照度对比



注: — 室内测点1 --- 室内测点2 室内测点3
(b) 2016年9月28日西向无遮阳时室内照度



注: ▨ 室外照度 ■ 室内测点1 ■ 室内测点2 ■ 室内测点3
(c) 2016年10月6日西向有遮阳时室内外照度对比



注: — 室内测点1 --- 室内测点2 室内测点3
(d) 2016年10月6日西向有遮阳时室内照度

图 7 多云天西向房间采取遮阳前后室内外照度对比
Fig. 7 Contrast of indoor and outdoor illuminance of the westward room before and after shading on cloudy days

2.2.3 多云天西向房间照度测试分析 如图 7 所示,9月28日测试过程中太阳时常出现,室内外照度波动较大。为便于比较遮阳前后室内照度变化情况,选取 2 个日期中室外照度值较接近的时刻作对

2.3 通风效果分析

2.3.1 南向房间风速测试分析 如图 8 所示,无遮阳时,室内风速大部分时间都远低于室外风速,且在 10:00、13:00、15:00—16:00 等时段室内外风速差

异明显;有遮阳时,室内风速大部分时间与室外相当,甚至大于室外风速。经计算,南向有遮阳装置时平均通风效率为 47%,无遮阳时为 34%,说明采取遮阳装置后,室内整体风速有所提升。

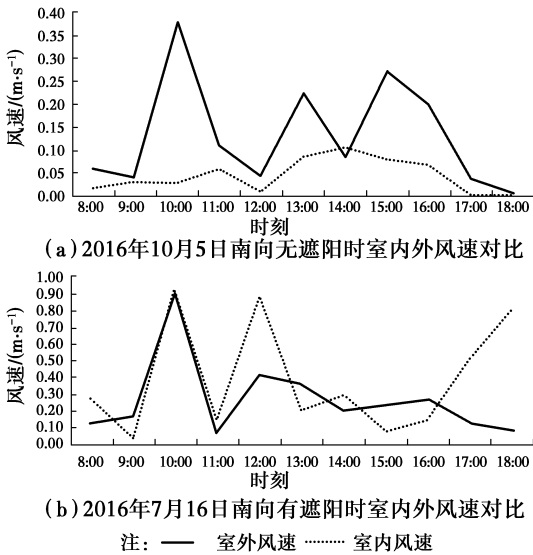


图 8 南向房间采取遮阳前后室内外风速对比

Fig. 8 Contrast of indoor and outdoor wind speed of the southward room before and after shading

2.3.2 西向房间风速测试分析 如图 9 所示,无遮阳时,室内风速大部分时间都低于室外风速;有遮阳时,室内风速在 8:00、14:00—15:00 和 17:00 等多个时段明显大于室外风速,仅小部分时间低于室外风速。经计算,西向有遮阳装置时平均通风效率为 49%,无遮阳时为 50%,说明采取遮阳装置后,对室内通风无阻挡且有一定改善。

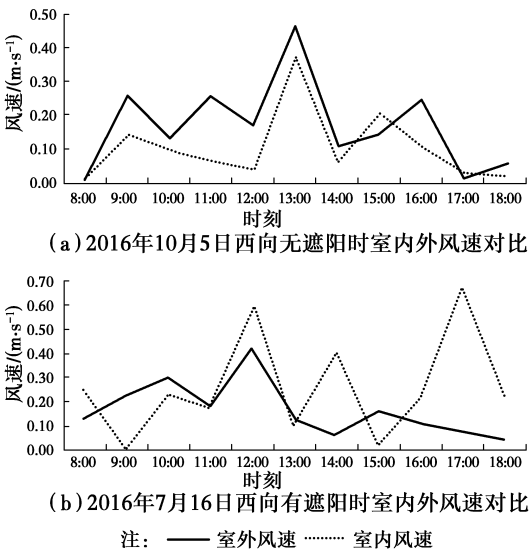


图 9 西向房间采取遮阳前后室内外风速对比

Fig. 9 Contrast of indoor and outdoor wind speed of the westward room before and after shading

2.4 视野效果分析

复合化遮阳装置在设计时考虑了对外窗视野的影响,南向和西向两种遮阳形式均将窗户一分为二,上部为采光窗,下部为观景窗。由图 10 可见,除两边视野受垂直遮阳板的一些限制外,南向窗口正前方视野非常通透;西向由于太阳高度角较低需设置挡板遮阳,遮阳装置采用百叶替代传统实心板,且百叶可根据需要调节角度(0°~90°),灵活方便,既利于通风又减小挡板对窗外景观的遮挡,增加了视野通透性。



(a) 南向 (b) 西向

图 10 房间外遮阳装置视野效果

Fig. 10 View effect of the external shading devices in two facing rooms

3 实测结果讨论

遮阳与隔热。两个朝向的遮阳装置降温效果都明显。一是装置在重庆最热时段内均能满足满窗遮阳,避免了直射光进入室内引起升温;二是优化后的遮阳装置本身通风效果良好,从而减少室内热空气聚集,起到降温节能的作用;三是遮阳设施外表面颜色较浅,可以降低对太阳辐射的吸收,隔热能力较强。

遮阳与采光。正是由于该装置的水平遮阳板兼做反光板,配合高反射率的材料可使窗口附近的直射光经过一次或多次反射进入室内,从而使整个房间的照度和采光均匀度得到提高。但在实测中也发现,夏季晴天时人眼会对装置上部采光窗处的强光感到不适,可采用半透明材料或百叶进行处理。

遮阳与通风。遮阳装置整体低于窗上沿一段距离,在测试时上部采光窗为开启状态,利于引导风向至室内下方人活动区域,改善室内通风状况。需要说明的是,测试时风速大小是利用风速仪每隔 1 h 人工记录得到,而实际风速风向变化不定,因此,测试结果可能存在一定误差。宜改为风速自动记录仪进行测试,提高实验结果可靠性。

遮阳与视野。遮阳装置结合采光窗与观景窗而

设置,对室内前方视野影响小。西向遮阳百叶若设置成上下伸缩调节方式,可进一步减小对视野的遮挡,还减少对冬季日照的影响;两侧视野因垂直挡板而有所限制,未来可考虑采用百叶形式调节角度减少视线遮挡,或采用 LOW-E 玻璃。

4 结论

1)遮阳方面。两个朝向的遮阳装置均能在规定时间段里满足满窗遮阳;采取遮阳设施后,夏季最热时间段,南向室内温度比室外降低 3~5℃,西向降低 2~3℃;秋初炎热时段,南向室内温度比室外降低 1.5~2.3℃(无遮阳时降低 0.6~1.8℃),西向降低 3~4℃(无遮阳时降低 1.5~2.2℃),降温幅度均大于无遮阳时。

2)采光方面。采取遮阳装置后,有效遮挡近窗口处的直射光,提高了视觉舒适度;南向室内采光均匀度提高 1.2 倍,西向提高 2.5 倍;但西向遮阳装置在阴天时对室内照度有影响,需进一步优化。

3)通风方面。遮阳装置对室内通风阻碍很小,甚至起到一定导风作用;采取遮阳设施后,南向平均通风效率为 47%(无遮阳时为 34%),西向为 49%(无遮阳时为 50%)。

4)视野方面。遮阳装置的侧面垂直挡板对两侧视野稍有影响,但两个朝向正前方的视野均通透、无遮挡,满足了观景要求。

参考文献:

[1] 呼宇. 严寒地区教学建筑节能改造的适宜技术研究 [D]. 西安:长安大学, 2010.
HU Y. Study on appropriate technology of energy saving reconstruction of teaching buildings in cold area [D]. Xi'an: Chang'an University, 2010. (in Chinese)

[2] 董子忠, 许永光, 温永玲, 等. 炎热地区夏季窗户的热过程研究[J]. 暖通空调, 2003, 33(3): 93-96.
DONG Z Z, XU Y G, WEN Y L, et al. Study on the thermal process of windows in hot regions in summer [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2003, 33(3): 93-96. (in Chinese)

[3] 张磊, 孟庆林. 百叶外遮阳太阳散射辐射计算模型及程序实现[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(6): 92-95.
ZHANG L, MENG Q L. Calculating model of solar diffuse radiation transporting through external blinds and it's program realization [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2009, 31

(6): 92-95. (in Chinese)

[4] KIRIMTAT A, KOYUNBABA B K, CHATZIKONSTANTINO I, et al. Review of simulation modeling for shading devices in buildings [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2016, 53: 23-49.

[5] KONSTANTOGLU M, TSANGRASSOULIS A. Dynamic operation of daylighting and shading systems: A literature review [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2016, 60: 268-283.

[6] BOUGIOUKOS V. Shading systems: US, US7913710 [P]. 2011.

[7] THOMAS H, HANNS J S, KLAUS B, 等. 建筑工业养老基金会扩建[J]. 城市环境设计, 2016(3):44-53.
THOMAS H, HANNS J S, KLAUS B, et al. Extension for the supplementary pension fund of the building industry [J]. Urban Environment Design, 2016(3): 44-53. (in Chinese)

[8] 夏昌世. 亚热带建筑的降温问题——遮阳·隔热·通风[J]. 建筑学报, 1958(10): 36-39.
XIA C S. The cooling problem of subtropical architecture-sun shading, heat insulation and ventilation [J]. Architectural Journal, 1958(10): 36-39. (in Chinese)

[9] 胡绍学, 宋海林, 胡真, 等. “生态建筑”研究绿色办公建筑——清华大学设计中心楼(伍威权楼)设计实践和探索[J]. 建筑学报, 2000(5): 10-17.
HU S X, SONG H L, HU Z, et al. "Ecological architecture" research on green office building-Practice and exploration of design center building (Wuweiquan building) of Tsinghua University [J]. Architectural Journal, 2000(5): 10-17. (in Chinese)

[10] 张磊, 孟庆林. 华南理工大学人文馆屋顶空间遮阳设计 [J]. 建筑学报, 2004(8):70-71.
ZHANG L, MENG Q L. Roof space shading design of Humanities Building in SCUT [J]. Architectural Journal, 2004(8): 70-71. (in Chinese)

[11] 陈蕴, 艾侠, 杨铭杰. 绿色总部——万科中心设计解读 [J]. 建筑学报, 2010(1):6-13.
CHEN Y, AI X, YANG M J. Green headquarters-Interpretation of Vanke Center design [J]. Architectural Journal, 2010(1): 6-13. (in Chinese)

[12] 刘念雄. 欧洲新建筑的遮阳[J]. 世界建筑, 2002(12): 48-53.
LIU N X. Shading of new buildings in Europe [J]. World Construction, 2002(12): 48-53. (in Chinese)

[13] 刘抚英. 建筑遮阳体系与外遮阳建筑一体化形式谱系

- [J]. 新建筑, 2013(4): 46-50.
- LIU F Y. Study on the architectural shading system and the form genealogy of building integrated outside shading [J]. *New Architecture*, 2013(4): 46-50. (in Chinese)
- [14] 黄海静, 刘雁飞. 基于遮阳形式的建筑立面设计[J]. 西部人居环境学刊, 2015(2): 59-64.
- HUANG H J, LIU Y F. Facade design based on shading form [J]. *Human Settlements Forum in West China*, 2015(2): 59-64. (in Chinese)
- [15] 白胜芳. 建筑遮阳技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- BAI S F. Building shade technology [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013. (in Chinese)
- [16] 王雅静. 教学建筑外遮阳的复合化设计研究——以重庆地区高校为例[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
- WANG Y J. Study on composite design of educational buildings external sunshade-Taking Chongqing college as an example [D]. Chongqing: Chongqing University, 2015. (in Chinese)
- [17] 建筑气候与热工研究组. 遮阳的热工影响及其设计问题[J]. 华南工学院学报, 1965(4): 19-34.
- Research Group on Building Climate and Thermal Engineering. The thermal influence of sunshade and its design problem [J]. *Journal of Southern China Institute of Technology*, 1965(4): 19-34. (in Chinese)
- [18] 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, 2012.
- Ministry of Construction for 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, 2012. (in Chinese)

(编辑 胡英奎)