

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2020.02.005

# 秦巴山地建筑外窗遮阳与自然通风耦合作用 对夏季室内热环境影响分析

王仙玲, 朱轶韵

(西安理工大学 土木建筑工程学院, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 提高建筑室内热舒适度和降低建筑能耗是实现建筑可持续发展的主要途径。针对秦巴山区传统建筑夏季室内湿热现象,为改善室内热环境,提出对窗口加设遮阳构件,考虑遮阳与自然通风对室内热环境的耦合作用,对遮阳构件进行优化设计。首先利用 Ecotect 软件,模拟分析了常见遮阳构件、不同参数下的遮阳百叶对南向窗口太阳辐射的影响,得出百叶构件对综合辐射的遮挡效果最好。其次,利用三维有限元软件 ANSYS CFX 分析了不同叶宽及倾角下百叶构件对自然通风的影响,得出当采用叶片宽度为 200 mm,倾角为 30°的遮阳百叶时,建筑自然通风潜力最大。最后,综合考虑百叶构件与辐射得热量及自然通风的耦合关系,建议选用百叶宽度为 200mm,倾角为 30°的遮阳构件,遮阳系数达 0.3,可有效遮挡南向窗口 70% 的太阳辐射得热量,同时通风潜力大幅提升。

**关键词:** 秦巴山地建筑; 遮阳构件; 自然通风; 数值模拟

**中图分类号:** TU241.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-4710(2020)02-0170-06

## Coupling effect of exterior window shading and natural ventilation on indoor thermal environment of Qinba mountain buildings in summer

WANG Xianling, ZHU Yiyun

(School of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Improving the building indoor thermal comfort and reduce building energy consumption is the main way to realize the sustainable development of architecture. Summer indoor overheating phenomenon in Qinba mountains of traditional architecture, in order to improve the indoor thermal environment, a shading component was proposed to be added to the window, and the coupling effect of shading and natural ventilation on the indoor thermal environment is considered to optimize the design of the shading component. Firstly, Ecotect software is used to simulate and analyze the influence of sunshade louvers with different parameters and common sunshade components on the solar radiation of south-facing windows, and it is concluded that the louver components have the best shielding effect on the comprehensive radiation. Secondly, ANSYS CFX is used to analyze the influence of louver components on natural ventilation under different blade widths and inclinations. It is concluded that when the shading louver with blade widths of 200mm and the angle of 30° is used, the natural ventilation potential of the building is the greatest. Finally, considering the coupling relationship between louver components and radiant heat and natural ventilation, it is suggested to choose the louver width of 200mm, the angle of 30° shading components, and the shading coefficient up to 0.3, which can effectively block solar radiation heat of 70% of the southward window; at the same time, ventilation potential is greatly improved.

收稿日期: 2020-01-03; 网络出版日期: 2020-05-09

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20200509.1112.002.html>

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51678483)

第一作者: 王仙玲,女,硕士生,研究方向为节能建筑。E-mail:is\_wangxl@163.com

通信作者: 朱轶韵,女,博士,教授,研究方向为节能建筑、绿色建筑。E-mail:zhuyiyun006@126.com

**Key words:** Qinba mountain architecture; sunshade component; natural ventilation; numerical simulation

近年来,随着我国城镇化建设的快速发展,乡村建筑能源需求量大幅度提升<sup>[1-2]</sup>。因此,乡村建筑被动式节能技术已成为当代学者研究的重点。

秦巴山地地处我国夏热冬冷地区北部高纬度地区,该地区多为低山丘陵,空气含湿量大,太阳辐射较强,气候条件独特<sup>[3]</sup>,形成了夏季湿热、冬季湿冷的微气候地域环境特征。当地建筑设计以夏季防热为主。民居在长期经验传承下形成了以夏季降温为核心的气候适应性营建方式,但是仍无法满足人们对改善夏季人居环境的迫切愿望。

遮阳与自然通风是改善室内热环境的主要被动式技术,两者既相互影响又相互制约。因此,在对室内热环境进行优化设计时,应考虑遮阳与自然通风对室内热环境的耦合作用。

许多学者围绕遮阳技术与自然通风进行了一系列细致研究:曹毅然等<sup>[4]</sup>通过试验测试百叶遮阳对室内太阳辐射得热量的影响,结果表明,遮阳系统可减少室内得热量 30% 以上;王玉琳等<sup>[5]</sup>对夏热冬暖地区集装箱建筑的建筑外遮阳与自然通风进行研究,但并没有考虑两者对室内热环境的耦合作用;郑学帅<sup>[6]</sup>对湿热地区体育馆进行建筑设计时,考虑了遮阳与自然通风的协同作用。现有研究推进了我国被动式节能建筑的发展,但现有研究大多仅考虑遮阳这一单一因素,未考虑遮阳与自然通风的耦合作用,且研究多具有普适性,研究的建筑类型主要针对城市建筑或者公共建筑而言,建筑的外边界条件无法与乡村建筑比拟,更不适于秦巴山区的特定气候条件,故无法与建筑的地域属性密切结合。

本文选取秦巴山地典型建筑为研究对象,对典型建筑进行室内热环境测试,分析室内热环境的影响因子,讨论了不同遮阳构件对窗口辐射得热量的影响、百叶遮阳参数对自然通风及遮阳效果的影响,得出遮阳与自然通风的耦合作用,基于两种被动式技术对遮阳构件进行优化设计,以期改善当地建筑室内热环境。

## 1 秦巴山地典型建筑夏季室内热环境测试

### 1.1 测试对象

汉中市地处秦巴山区,课题组选取汉中市湖广营新村作为当地典型建筑进行测试,该村落民居为联排双层住宅,房屋布局整齐,结构样式统一。主体建筑坐南朝北,如图 1 所示。卧室尺寸为 3.3 m×3.8 m,客

厅的尺寸为 4.7 m×6.6m。一二层南向卧室设有 1.8 m×1.8 m 的单玻铝合金窗,一二层北向客厅设有 2.4 m×2.4 m 的单玻铝合金窗。屋顶形式为坡屋顶。外墙为 240 mm 无保温层砖墙。



图 1 典型建筑立面图

Fig. 1 Elevation of a typical building

### 1.2 测试方案

测试时间为 2017 年 7 月 27 日至 29 日,测试期间天气晴朗。测试内容包括室内空气温湿度以及太阳辐射强度。选用自计式温湿度计测量空气温度,采用遮光环带及总辐射表测量太阳辐射。测量数据采集时间间隔为 1h,测点选在室外空旷处。民居平面图及测点分布图如图 2 所示。

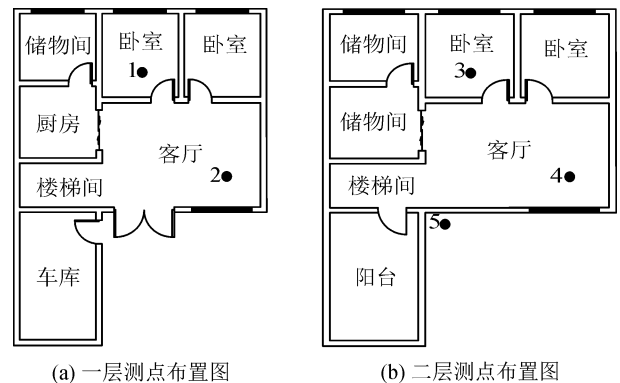


图 2 受测民居测点布置图

Fig. 2 Measuring points of residential buildings

### 1.3 测试结果及分析

太阳辐射强度的测试结果如图 3 所示。测试时间为当日有效日照时间 8:00~18:00,太阳总辐射强度的峰值为 938 W/m<sup>2</sup>,平均总辐射强度为 665.4 W/m<sup>2</sup>,直射辐射约占总辐射的 82.3%。图 4 为室外空气温湿度的测试结果,室外平均温度为 32.6℃,平均相对湿度为 54.5%。测试数据表明,当地夏季太阳辐射强度较强。过多的太阳辐射进入室内,会造成

室内温度迅速上升,降低室内热舒适度<sup>[7]</sup>。因此,当地民居需加设遮阳措施来减弱太阳辐射对室内温度的影响。

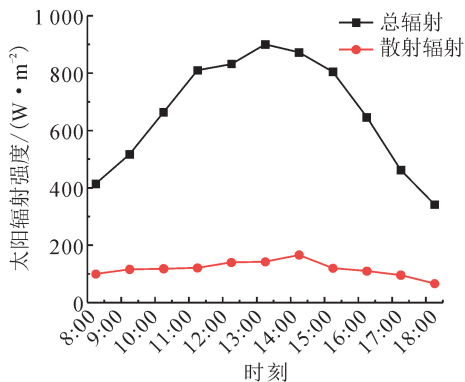


图3 太阳辐射强度

Fig. 3 Intensity of solar radiation

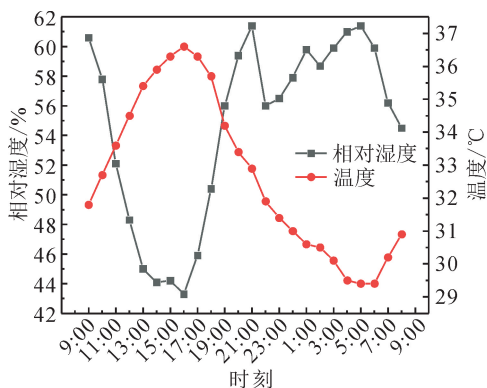


图4 室外温湿度

Fig. 4 Outdoor temperature and humidity

本研究分别对民居室内温湿度进行了测试,测试结果如图5、图6所示。由图可知,一层客厅、一层卧室、二层卧室、二层客厅的平均温度分别为29.2℃、29.4℃、30.8℃、31.4℃,平均相对湿度分别为69.1%、72.8%、63.45%、60.0%。测试结果表明,夏季室内的湿热现象严重,应加强自然通风进行降温除湿。同时可以看出,由于屋顶没有设置隔热层,导致二层温度明显高于一层温度;南向房间温度最高峰出现在下午3点左右,北向房间温度最高峰出现在下午6点左右,这表明南北向房间温度受太阳辐射强度影响较大。

实测数据显示,当地住宅建筑存在夏季室内湿热现象,且室内温度受太阳辐射影响较大,夏季透过窗口直接进入室内的太阳辐射热不容忽视。遮阳构件可有效阻挡窗口的辐射得热,同时也是影响自然通风的主要因素。降低窗口太阳辐射得热量,加强室内自然通风,可有效改善夏季室内热环境,达到降温除湿的目的。调研显示,当地居民在夏季有经常

开门窗的习惯。因此在对遮阳构件进行设计时,有必要考虑辐射得热量和自然通风潜力对室内热环境的耦合作用,实现对夏季室内热环境的耦合优化设计。

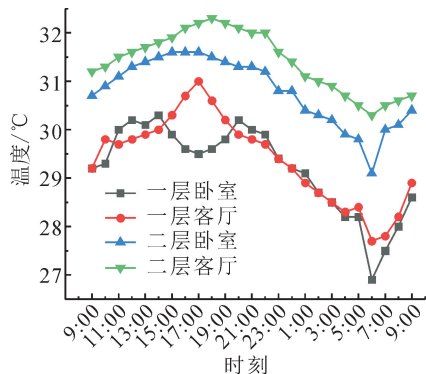


图5 室内空气温度变化

Fig. 5 Changes of indoor air temperature

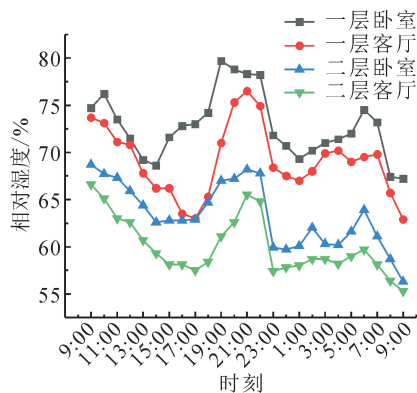


图6 室内空气湿度变化

Fig. 6 Changes of indoor humidity

## 2 遮阳构件对南向窗口辐射得热量的影响

太阳辐射透过窗口直接进入室内是引起夏季室内过热的主要原因。窗户外面的遮阳措施可以阻挡一部分辐射热,从而减少辐射热对室内温度的影响<sup>[8]</sup>。

当地建筑多在南北向开窗,本研究利用计算机模拟分析软件 Ecotect,对夏季南北向太阳辐射得热量进行模拟分析。模拟的地理位置为汉中,采用汉中地区气象数据。模拟时间为夏季(6月1日至8月31日)的8:00~18:00。模拟建筑选用典型建筑的主卧作为研究单体,建筑坐北朝南,层高3.3 m,平面尺寸为3.4 m×4.0 m,窗户尺寸为1.8 m×1.8 m,窗台高度为0.9 m,位置居中。结果如图7所示,可以看出南向直射辐射明显比北向高,且南向的总辐射高于北向,因此本文只考虑在南向加设建筑外遮阳构件。

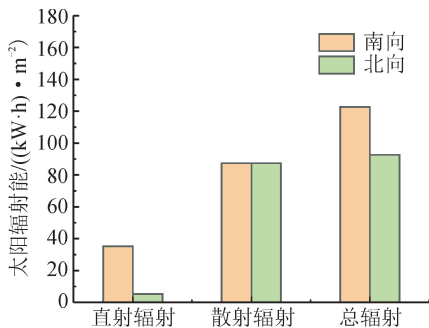


图7 南北向太阳辐射能

Fig.7 North and south solar radiation

## 2.1 不同遮阳构件对南向窗口辐射得热量的影响

本文所研究的遮阳构件为:水平遮阳板、垂直遮阳板、综合遮阳板、水平百叶遮阳。遮阳构件如图8所示,本次模拟的固定遮阳板尺寸为 $c=600\text{ mm}$ , $b=1\ 800\text{ mm}$ ;百叶宽度 $w$ 取 $100\text{ mm}$ 、 $200\text{ mm}$ 、 $300\text{ mm}$ ,间距与宽度的比值为 $1:1$ ,百叶中心轴离墙距离 $s$ 为 $200\text{ mm}$ ,百叶倾角 $\theta$ 为 $30^\circ$ 。

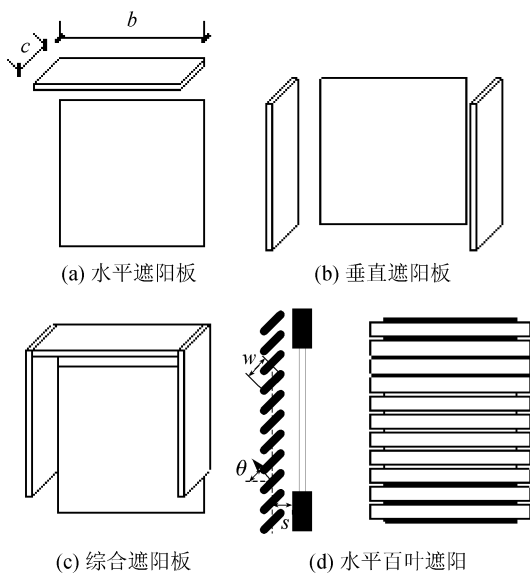


图8 遮阳构件

Fig.8 Shading components

利用Ecotect软件模拟南向窗口夏季所接受的太阳辐射能,并计算出外遮阳系数,以评价不同遮阳构件对南向窗口接收太阳辐射的遮挡作用。计算结果如图9所示。

从图中可以看出,在固定遮阳板中,综合遮阳板遮挡效率较为显著,遮阳系数为 $0.45$ ,其次是水平遮阳板,遮阳系数为 $0.62$ ,垂直遮阳板遮挡效率不理想,遮阳系数为 $0.83$ 。其中,水平遮阳板对太阳直射辐射的遮挡效率较高,这是因为南向太阳高度角较高,水平遮阳板对太阳高度角较高的太阳辐射

遮挡能力较强。综合遮阳板的遮挡效率为水平遮阳板和垂直遮阳板的遮挡效率之和。水平百叶遮阳对太阳总辐射遮挡效率最为显著,不同宽度的百叶遮阳效果相差不多。其中, $300\text{ mm}$ 的百叶遮挡效果最好,遮阳系数为 $0.29$ ;  $200\text{ mm}$ 的百叶遮挡效果次之,遮阳系数为 $0.31$ ;  $100\text{ mm}$ 的百叶遮挡效果最低,遮阳系数为 $0.33$ 。因此,百叶遮阳较固定遮阳板更适宜于南向窗口。

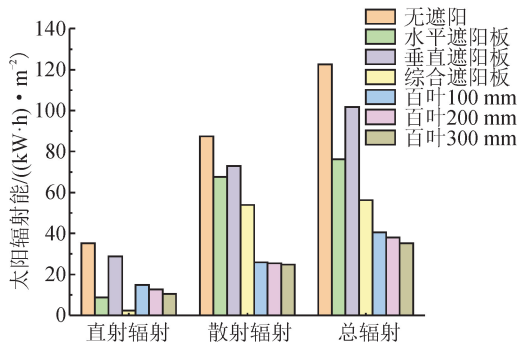


图9 南向窗口接收太阳辐射能

Fig.9 Southern window receives solar radiation

## 2.2 百叶遮阳参数对南向窗口辐射得热量的影响

利用Ecotect软件模拟得到三种不同百叶宽度下( $100\text{ mm}$ 、 $200\text{ mm}$ 、 $300\text{ mm}$ )百叶倾角的变化对遮阳系数的影响。选用百叶倾角为 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $90^\circ$ 进行讨论,其他条件不变,模拟结果如图10所示。由图可知,遮阳系数随百叶宽度的增大而减小;相同叶宽的百叶,其遮阳系数随百叶倾角的增加先减少后增加,其中 $200\text{ mm}$ 、 $300\text{ mm}$ 叶宽的百叶在百叶倾角为 $45^\circ$ 时遮阳系数最小,分别为 $0.30$ 、 $0.27$ , $100\text{ mm}$ 叶宽的百叶在百叶倾角为 $30^\circ$ 时遮阳系数最小,为 $0.33$ 。

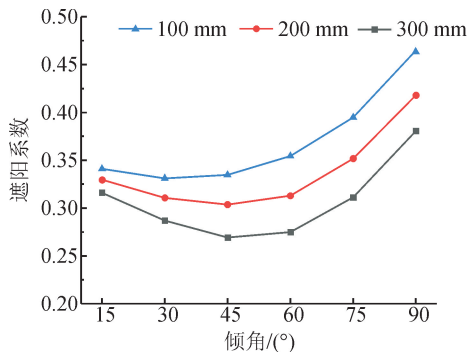


图10 遮阳系数随百叶倾角的变化

Fig.10 Shading coefficient changes with louver angle

## 3 百叶参数对自然通风的影响

建筑遮阳构件会对进入室内的自然风起导向或阻挡作用,设计得当,则可以对建筑通风起到促进作用

用。因此,遮阳设施的构造尺寸对室内通风具有较大影响。利用三维有限元软件 ANSYS CFX 模拟分析百叶遮阳对室内通风的影响,确定百叶最优参数,使百叶遮阳功能最大化。

### 3.1 建筑模型

考虑到典型建筑为二层,为简化模型计算量,采用的建筑模型取简单两层建筑,屋檐宽度取 0.5m,走廊宽度取 1m,对一二层加设百叶遮阳,具体如图 11 所示。根据文献[9]的优化结果,本文采用的外场模型为:上游区域、下游区域和宽度分别为建筑宽度的 3 倍、10 倍、5 倍;高度是建筑高度的 4 倍;来流风向为当地夏季主导风向,即北偏东 67.5°。

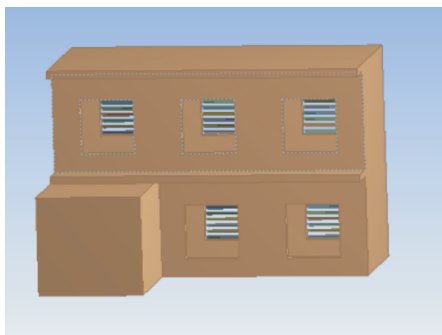


图 11 物理模型  
Fig. 11 Physical model

### 3.2 边界条件

本文选用标准  $k-\epsilon$  模型。因来流风速受地形及高度的影响较大,来流风速由梯度风函数确定,表达式为:

$$V_h = V_0 \left( \frac{h}{h_0} \right)^n \quad (1)$$

式中: $h_0$ 、 $V_0$ 为基准高度及相应高度处的风速; $V_h$ 为地面高度  $h$  处的风速; $n$ 为地面粗糙系数。

根据汉中地区风速资料<sup>[10]</sup>夏季平均风速为 1.7 m/s,因研究对象为乡村建筑,地面粗糙系数取  $n = 0.16$ 。

### 3.3 计算结果及分析

讨论百叶倾角、百叶宽度对建筑自然通风的影响,并以迎风面及背风面的压力差值  $\Delta P$  作为自然通风潜力的评价指标,以期寻求最优百叶参数。

#### 3.3.1 百叶倾角的变化及结果比较

当百叶宽度取 200 mm 时,分别讨论百叶倾角为 15°、30°、45°、60°、75°时,百叶对建筑物自然通风的影响,如图 12 所示。

从图 12 中可以看出,随着倾角的变化,一层压差的变化幅度较小,且总体小于二层的压差值。这是由于车库对来流风的阻挡,导致一层的通风潜力

小于二层。二层的压差值变化幅度较大,且在倾角为 45°时,其值达到最大。百叶倾角为 45°时,一二层总体压差值最大,即通风潜力最大。

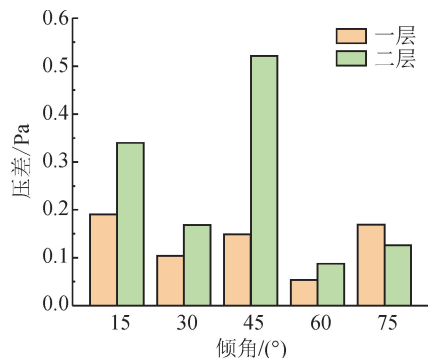


图 12 百叶倾角对建筑表面压差的影响  
Fig. 12 Influence of louver inclination on building surface at differential pressures

#### 3.3.2 百叶宽度的变化及结果比较

不同的百叶宽度对风的阻挡或引导作用不同,因此讨论百叶宽度对自然通风的影响。下面研究百叶倾角为 45°,百叶宽度为 100 mm、200 mm、300 mm 时,建筑表面风压分布,如图 13 所示。

从图 13 中可以看出,随着百叶宽度的增加,一层压差变化较为平缓,且压差值较二层压差小,在百叶宽度为 200 mm 时达到最大。二层压差变化较为明显,叶宽在 200 mm 时亦达到最大。因此百叶倾角为 45°,百叶宽度为 200 mm 时,通风潜力最大。

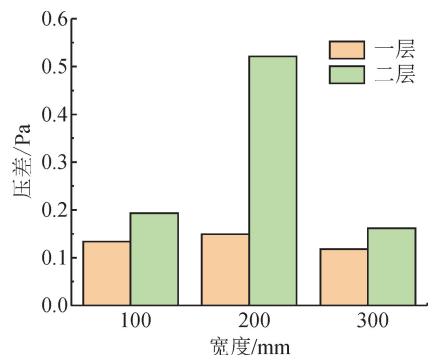


图 13 百叶宽度对建筑表面压差的影响  
Fig. 13 Influence of louver width on building surface at differential pressures

## 4 遮阳及自然通风的耦合作用

为了量化 200 mm 宽、倾角为 45°的百叶构件对建筑通风潜力的影响,对有遮阳构件和无遮阳构件的自然通风潜力进行对比,结果如图 14 所示,可以看出,整合模型一二层压差较无遮阳时分别提升了 7.53、4.64 倍,通风潜力大幅提升,且二层的压差始终高于一层。这可能是由于窗口的遮阳构件受到太

阳辐射的热作用后,引起周围空气温度升高,从而加剧热空气流出室内,提升了自然通风潜力。

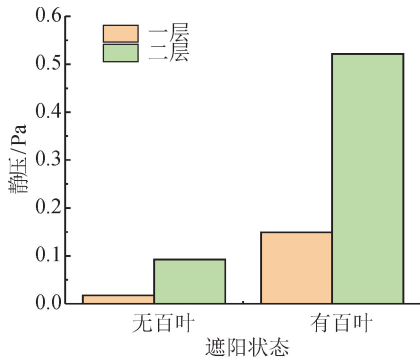


图 14 有无遮阳对建筑表面压差的影响

Fig. 14 Influence of shading on building surface at differential pressures

通过分析百叶参数对窗口太阳辐射得热量及自然通风的影响,可以看出  $45^\circ$  倾角下,300 mm 宽的百叶较 200 mm 宽的百叶遮阳效果略好,其遮阳系数仅相差 0.03,但其通风潜力却远不如 200 mm 宽的百叶。因此,综合考虑遮阳与自然通风的双重作用,建议选用 200 mm 宽、 $45^\circ$  倾角的百叶遮阳构件,该构件可阻挡 70% 的太阳辐射得热量进入窗口,同时大幅增加通风潜力,实现最大化地改善室内热环境。

## 5 结 论

1) 秦巴山地典型建筑夏季室内热环境存在过热现象,且室内温度受太阳辐射影响较大,因此提出对南向窗口加设遮阳构件。

2) 百叶遮阳对太阳总辐射的遮挡效果最好,遮阳系数在 0.29~0.33 之间,其中 200 mm、300 mm 叶宽的百叶在百叶倾角为  $45^\circ$  时遮阳系数最小,遮阳系数分别为 0.3、0.27。100 mm 叶宽的百叶在百叶倾角为  $30^\circ$  时遮阳系数最小,为 0.33。

3) 当加设叶片宽度为 200 mm,百叶倾角为  $45^\circ$  的百叶遮阳时,建筑自然通风潜力最大。

4) 综合考虑百叶构件对遮阳以及自然通风之间的耦合关系,建议选用百叶宽度为 200 mm,倾角为  $45^\circ$  的百叶构件来改善室内热环境,即可有效遮挡南向窗口 70% 的太阳辐射得热量,同时通风潜力大幅提升。

### 参考文献:

[1] 江亿. 我国建筑能耗趋势与节能重点[J]. 建设科技, 2006(7):10-13,15.  
 [2] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.

[3] 朱轶韵,赵婧竹,桑国臣,等. 陕南乡村民居冬季室内热环境测试分析[J]. 西安理工大学学报,2015,31(3):306-309.  
 ZHU Yiyun, ZHAO Jingzhu, SANG Guochen, et al. Test analysis of winter indoor thermal environment of the rural houses in Southern Shannxi[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2015, 31(3):306-309.  
 [4] 曹毅然,张小松,邱童,等. 新型遮阳系统遮阳效果测试研究[J]. 建筑科学,2009,25(6):33-37,42.  
 CAO Yiran, ZHANG Xiaosong, QIU Tong, et al. Research on measuring the shading effect of the new shading system[J]. Building Science, 2009, 25(6):33-37,42.  
 [5] 王玉琳,冉茂宇,池佩富. 夏热冬暖地区开窗通风与墙体遮阳对集装箱房室内热环境的影响[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2018,39(4):556-561.  
 WANG Yulin, RAN Maoyu, CHI Peifu. Influence of window open ventilation and wall shading on indoor thermal environment of container room in Hot Summer and Warm Winter Areas[J]. Journal of Huaqiao University (Natural Science), 2018, 39(4):556-561.  
 [6] 郑学帅. 湿热地区体育馆遮阳与风压通风的协同机制研究[D]. 广州:华南理工大学,2015.  
 ZHENG Xueshuai. Study on synergism between sunshade and natural ventilation technology of gymnasium in Humid Tropical Area[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.  
 [7] 张华,杨维菊. 自然通风技术在传统民居中的应用[J]. 建筑与文化,2016,143(2):164-165.  
 ZHANG Hua, YANG Weiju. The application of natural ventilation in the traditional dwellings[J]. Architecture and Culture, 2016, 143(2):164-165.  
 [8] 赵书杰. 夏热冬冷地区建筑遮阳技术应用的探讨[J]. 建筑科学,2006,22(6A):73-75.  
 ZHAO Shujie. Discussion on the application of building sun-shading technology in Hot Summer and Cold Winter Zone[J]. Building Science, 2006, 22(6A):73-75.  
 [9] 汤民. 百叶外遮阳对建筑自然通风影响的研究[D]. 上海:同济大学,2007.  
 TANG Min. Research on the influence of louvers on building natural ventilation effect[D]. Shanghai: Tongji University, 2007.  
 [10] 彭小勇. 自然通风计算方法和计算参数的应用研究[J]. 暖通空调,2000,30(6):27-29.  
 PENG Xiaoyong. Calculation method and design parameters of natural ventilation[J]. HV&AC, 2000, 30(6):27-29.