

# 基于室内热环境改善的湘北民居被动式 建筑设计策略研究

汤林声<sup>1</sup>, 王志勇<sup>2</sup>, 刘 盛<sup>1</sup>, 申纪泽<sup>1</sup>

(1. 湖南工业大学 建筑与城乡规划学院, 湖南 株洲 412007;  
2. 湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘 要:** 通过对湘北地区某乡村砖混结构民居的围护结构特点以及室内热环境状况进行调研, 发现该类建筑存在围护结构热工性能差、建筑能耗高、室内热环境质量低等问题。针对上述问题, 结合夏热冬冷地区的地域气候特点, 提出了合理选择建筑朝向、改善围护结构热工性能、控制窗墙比以及自然通风等适应性的被动式建筑设计优化方案, 利用 Ecotect 软件分析了上述优化策略对室内热环境改善的影响。通过正交试验方法设计试验方案, 并计算分析了 9 组方案在全年典型日的 PMV 值, 得到湘北民居最优设计方案。

**关键词:** 湘北地区; 民居; 热环境; 被动式建筑; PMV

**中图分类号:** TU111.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2016)01-0078-07

## Research on the Residential Passive-House Design Strategies Based on the Improvement of Indoor Thermal Environment in North Hunan

TANG Linsheng<sup>1</sup>, WANG Zhiyong<sup>2</sup>, LIU Sheng<sup>1</sup>, SHEN Jize<sup>1</sup>

(1. School of Architecture and Urban & Rural Planning, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;  
2. School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract :** Investigated and researched the retaining structure of a rural residential brick concrete house in the north of Hunan and the indoor thermal environment conditions, and found some problems such as poor thermal performance of house envelope, high energy consumption, low quality of indoor thermal environment, etc. Aiming at the problems and combining with the regional climate characteristics in hot summer and cold winter area proposed passive-house design optimal scheme of reasonably selecting house orientation, improving retaining structure thermal performance, controlling window wall ratio and natural ventilation, etc. Analyzed the influence of the optimization strategy on the indoor thermal environment improvement by Ecotect software. Designed the experiment scheme by the orthogonal testing method, calculated and analyzed the PMV values of the typical day of the year of nine schemes, and obtains the optimal residential design of north Hunan.

**Keywords :** north Hunan area; residence; thermal environment; passive-house; PMV

收稿日期: 2015-12-02

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划基金资助项目(2013BAJ10B14)

作者简介: 汤林声(1991-), 男, 湖南株洲人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为绿色生态建筑技术,

E-mail: hom0819@hotmail.com

## 0 引言

我国地域辽阔, 现有乡村民居的建筑面积约 300 亿  $\text{m}^2$ , 是城市住宅建筑面积的 3 倍。我国乡村地区的民居建筑大多缺乏科学的设计, 绝大部分建筑存在着围护结构热工性能差、建筑能耗高、室内热环境质量低等问题<sup>[1-3]</sup>。特别是夏热冬冷地区, 夏季闷热, 冬季湿冷, 室内热舒适性极差<sup>[4]</sup>。在全球生态化、可持续发展的大背景下, 随着我国农村经济水平的发展、人们生活水平的提高以及新农村建设的普及和深入, 如何合理、科学地设计并建造出满足农民居住需求的农村住宅, 是目前可持续建筑设计领域中的一个重要课题。相对于城市, 农村经济仍不发达, 农村住宅设计的工作重点应该尽量利用被动式技术, 减少能源消耗和能源需求的增加。被动式技术的运用决定于良好的设计, 而目前大部分农村住宅的设计粗糙, 缺乏对基于气候条件的被动式技术的科学理解和利用<sup>[5]</sup>。

本文针对湘北民居的围护结构形式、特点以及其热工性能展开实地调研, 根据调查结果和对热舒适焓湿图、全年热舒适百分比的分析, 结合软件模拟手段、正交试验方法对每组方案在全年典型日的预测平均投票数 (predicted mean vote, PMV) 值进行计算分析, 优选出湘北民居适应性的被动式建筑设计策略。

## 1 湘北民居建筑结构及热工特点

对湘北地区农村民居建筑进行实地调研后发现, 以往传统民居主要采用以当地黏土所制成的土坯砖以及当地所产的木材作为建筑的砌筑材料, 结构形式多为砖木结构、木结构。如今, 随着农民收入的提高, 农村纷纷效仿城市住宅样式, 逐渐以自建砖混民居取代较为生态以及具有地域特点的传统砖木结构及木结构民居。以湖南省株洲市大冲村为例, 该村的简易砖混民居在数量上远超过另外 2 种传统结构形式的民居。

在热工方面, 由于该类砖混结构民居在建造过程中几乎未考虑建筑节能设计, 建筑的围护结构缺少有效的保温构造, 材料的传热系数大, 热工性能较差, 往往达不到保温隔热的效果。表 1 为株洲市大冲村典型的砖混结构民居围护结构的构造方式。此外, 该类建筑往往由于窗墙比的控制以及窗户的位置、高度设置不当, 使得室内空气流通性较差、室内空气品质较低, 严重影响居住环境质量。湘北地

区属于典型的夏热冬冷地区。调研发现: 该类民居夏季室内湿热, 平均温度为 30  $^{\circ}\text{C}$  左右, 相对湿度为 75%~90%; 冬季平均温度为 2  $^{\circ}\text{C}$  左右, 相对湿度为 60%~80%, 并且室内自然通风效果不佳, 居民往往有明显的湿冷感。由于该类建筑缺少适应性的被动式建筑设计, 导致建筑整体热工性能较差, 居民往往只能依靠高能耗的空调、其他取暖设备以及增减衣物来维持最基本的热舒适性。

表 1 简易砖混结构民居建筑构造

Table 1 Construction of simply brick concrete house

构造部位	构造方式
屋顶	100 mm 钢筋混凝土+20 mm 水泥砂浆
外墙	20 mm 水泥砂浆+240 mm 实心黏土砖+20 mm 水泥砂浆
窗墙	南向窗墙比 0.3, 北向窗墙比 0.2
外窗	木窗框+6 mm 普通玻璃

## 2 湘北民居被动式建筑设计策略

被动式建筑技术是在建筑设计中通过对建筑朝向的合理布置、遮阳的设置、建筑围护结构的保温隔热处理、有利于自然通风的建筑开口设计等, 实现建筑的采暖、通风等舒适性居住需求, 并降低能耗<sup>[6]</sup>。砖混结构民居采用适宜性的被动式建筑设计策略, 可以有效地解决该类建筑热工性能差、室内热环境质量低等问题。本文使用 Ecotect 的子软件 Weather Tool, 并结合当地气象数据, 分析各种被动式建筑设计策略对室内热舒适以及全年热舒适百分比的影响。

### 2.1 建筑朝向的布置

太阳辐射是影响室内温度的重要因素。在夏热冬冷地区, 需要同时考虑建筑的夏季防热与冬季保暖要求, 因此在该类地区进行被动式建筑设计时, 选择一个最佳的建筑朝向很关键。所谓最佳建筑朝向就是考虑过冷的时期内得到的太阳辐射较多, 而在过热的时期内得到的太阳辐射较少, 二者权衡折中后所得到的一个朝向<sup>[7]</sup>。利用 Ecotect 中的 Weather Tool 工具分析发现, 在株洲市大冲村选择南偏东 10 $^{\circ}$  即 170 $^{\circ}$  的方向建造民居为最佳朝向, 这样在冬季可获得较多的太阳辐射, 提高室内温度, 改善室内热环境状况。

### 2.2 窗墙比的控制

窗墙比是建筑热工设计中常用的一个指标。窗墙比的大小对建筑的能耗和室内舒适度等因素有着重要的影响, 合适的窗墙比可以有效利用太阳能, 对于减少建筑采暖空调能耗具有重要的作用<sup>[7]</sup>。图 1 所

示为某砖混民居南向窗墙比分别为0.2, 0.3, 0.5时, 室内热舒适区域面积的变化情况。图中空白线框区域表示原有热舒适区域, 阴影线框区域则表示增加的热舒适区域。

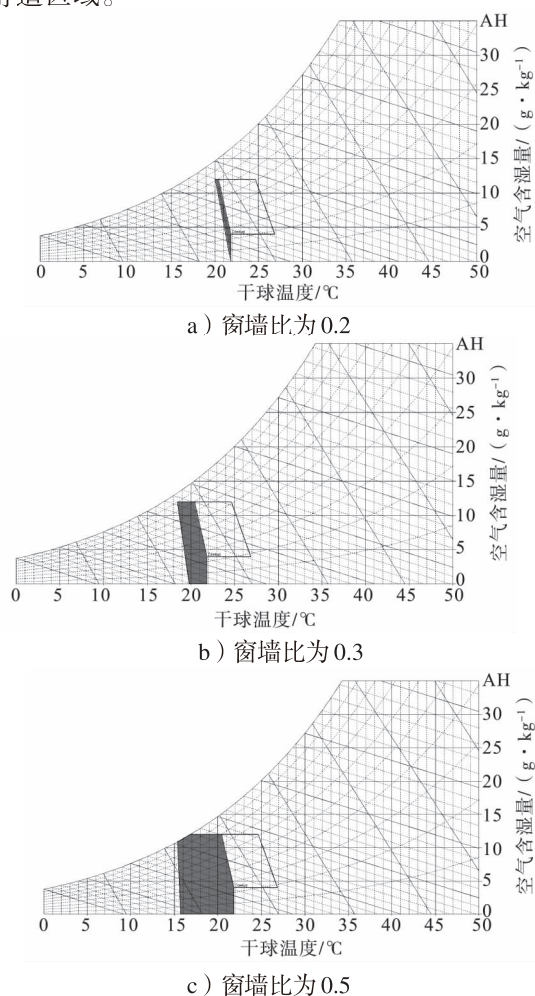


图1 不同窗墙比时的室内热舒适区域变化

Fig. 1 Indoor thermal comfort zone variation at different window wall ratio

从图中可以看出, 随着窗墙比的提高, 热舒适区域面积相应增加, 当窗墙比达到0.5时, 热舒适区域增大明显, 说明室内热环境质量已得到明显改善。在夏热冬冷地区, 人们无论是在过渡季节还是冬、夏两季, 往往有开窗通风的习惯。研究发现, 结合 JGJ 134—2010《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》<sup>[8]</sup>的要求, 建议对该民居建筑增加南向开窗面积, 将南向窗墙比控制在0.4左右, 有利于在冬季获得更多的太阳辐射; 同时减小北向开窗面积, 将北向窗墙比控制在0.1左右, 并将北向窗设置为高窗, 以在室内形成穿堂风, 达到夏季加强室内通风、带走室内余热和积蓄冷量的目的。

### 2.3 围护结构保温隔热处理

建筑围护结构的热工性能对室内热舒适度有较

大影响。在夏季, 通过增加墙体、屋面、地面等实体结构的隔热性与蓄热性, 可以有效地阻止室外热量进入室内并降低室外温度的波动对室内温度的影响<sup>[9]</sup>, 避免室内温度过高; 在冬季, 可以有效地减少室内热量的损失, 维持室内温度相对恒定。图2所示为采用高热容围护结构对室内全年热舒适百分比的影响。图中黑色柱状条表示室内原有全年热舒适百分比, 灰色柱状条则表示采用高热容围护结构后室内全年热舒适百分比。

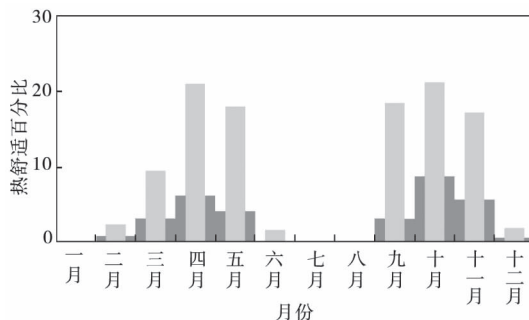


图2 采用高热容围护结构后室内热舒适百分比的变化

Fig. 2 The percentage variation of indoor thermal comfort after using high thermal mass retaining structure

从图中可看出, 在采用高热容围护结构后, 室内全年热舒适百分比采用之前有明显增加。针对夏热冬冷地区该类民居而言, 可以采用如下围护结构的热工性能优化策略。

1) 采用节能型围护结构材料。外墙保温构造方法主要有: 外保温外墙、内保温外墙、夹芯保温外墙以及自保温外墙4种<sup>[10]</sup>。前三者属于复合保温体系, 墙体由承重材料与保温材料共同构成。相比之下, 自保温墙体其本身承重材料就属于节能型材料, 在满足保温要求的情况下, 不需要再额外附加保温材料, 并且较复合保温外墙的构造方法相对简单, 砌筑更加方便, 造价也更为低廉, 对经济水平相对较低的乡村地区较为适用。常见的自保温墙体材料有泡沫混凝土、加气混凝土、膨胀蛭石混凝土、炉渣蒸压砖等。

2) 采用节能窗。通常情况下, 建筑外窗所采用的材料传热阻较小, 再加上外窗窗缝中空气的对流传热, 使得外窗成为建筑外围护结构中传热最为敏感的部位。在冬季, 外窗的传热能耗加上其空气渗透能耗, 可以占到建筑总能耗的一半甚至更多。因此, 采取节能型外窗以改善外窗的热工性能、提高室内热环境质量显得十分重要<sup>[3]</sup>。节能外窗的玻璃材料较常见的有普通双层真空玻璃、单层镀膜玻璃、高强度双层 Low-E 防火玻璃等; 常见节能外窗的窗



框材料主要有木窗框、塑料窗框、铝木复合窗框等。对湘北乡村地区的经济状况以及地域气候条件综合考虑后,节能型外窗框,采用导热系数较低的木窗框较为合适。而对于玻璃材料的选择,应进一步考虑建筑所在场所的环境因素,通过模拟试验分析后进行优选。

3) 增加屋面保温隔热构造。近年来,湘北地区民居屋顶样式多为平屋顶,屋面构造是直接在钢筋混凝土结构层上刷防水砂浆进行防水,其传热系数较大,除此之外再未设置任何形式的保温层与隔热层。为了加强屋面的热工性能以及改善室内的热环境,在屋面上增设保温隔热构造十分必要。在屋顶保温方面,常用的保温材料有 4,5- 环氧四氢邻苯二甲酸二异辛酯(4,5-epoxyte-trahydrophthalic acid di-(2-ethylhexyl)ester, EPS) 板、多孔聚苯乙烯(expanded polystyrene, XPS)、膨胀珍珠岩等,其保温性能与保温材料的厚度成正比<sup>[11]</sup>。在进行屋面隔热处理过程中,可在屋面上增设空气间层来达到隔热以及加强屋面的通风降温效果。

2.4 强化自然通风

在夏热冬冷地区,夏季温度高,相对湿度大,人们在室内往往有闷热感。加强建筑自然通风可以在不产生任何机械能耗的情况下改善室内热环境,达到净化室内空气、自然蒸发降温的效果,是一种有效的被动式设计策略。此外,空气流动也增加了人体与周围空气的对流换热量,以及人体的汗液蒸发量,从而提高人的体热舒适度<sup>[7]</sup>。加强建筑的通风后,室内全年热舒适百分比也会相应增加,热舒适百分比变化如图 3 所示。

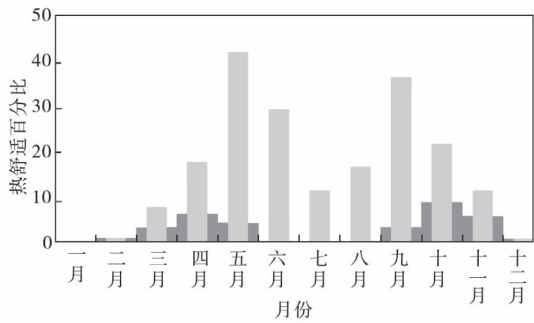


图3 加强自然通风后室内热舒适百分比的变化

Fig. 3 The percentage variation of indoor thermal comfort after reinforcing natural ventilate

3 湘北民居被动式建筑设计策略优选及可行性验证

3.1 民居模型建立

在 Ecotec 软件中导入株洲市气象数据,并按照

表 1 中的构造方式构建出如图 4 所示的砖混结构民居模型。

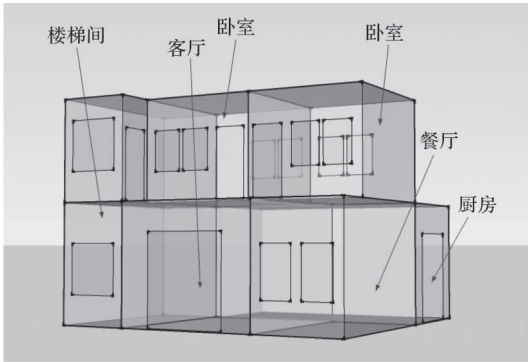


图4 砖混结构民居建筑模型

Fig. 4 The model of brick concrete structure residence

3.2 正交试验设计

对建筑围护结构进行合理的优化设计是改善室内热环境的主要策略,而围护结构所采用的材料及厚度是影响室内热环境的关键因素<sup>[12]</sup>。因此,引入正交试验方法<sup>[4]</sup>对影响室内热环境的各个关键因素进行组合分析,寻找最优组合方案。选取建筑墙体材料、屋面保温材料、保温材料厚度、窗玻璃材料作为正交试验的 4 个关键因子,并分别对每个因子水平进行确定,表 2 为正交因子水平表。正交试验选用砖混结构民居模型作为分析对象,并根据表 3 中 9 组试验方案以及上述被动式建筑设计优化策略来调整模型参数。

表 2 正交因子水平表

Table 2 Orthogonal factor standard table

水平	因 子			
	墙体材料	屋面保温材料	窗玻璃材料	保温材料厚度/mm
1	泡沫混凝土	EPS 板	双层真空玻璃	50
2	膨胀蛭石混凝土	膨胀珍珠岩板	双层 Low-E 玻璃	75
3	炉渣蒸压砖	XPS 板	单层镀膜玻璃	100

表 3 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验表

Table 3 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) orthogonal experimental table

试验方案序号	墙体材料	屋面保温材料	窗玻璃材料	保温材料厚度
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1



### 3.3 热工环境模拟及热舒适对比分析

为客观分析每组试验方案对室内热环境的影响,以优选出最佳试验方案,本文将采用预测平均投票数(predicted mean vote, PMV)指标,对比分析该地冬至日和夏至日原民居和分别采用各组试验方案后的民居全天室内热舒适性。

#### 3.3.1 PMV 指标相关参数设定

PMV 综合考虑了人体活动程度、衣服热阻、空气温度、平均辐射温度、空气湿度和空气流动速度 6 个因素,是国际上应用最广泛的热环境评价指标。ISO7730《适中的热环境—PMV 与 PPD 指标的确定及热舒适条件的确定》中规定 PMV 在区间 $[-0.5, 0.5]$ 中为室内热舒适指标,而这一指标只有舒适性空调建筑才可以达到。有学者推荐,对于我国大量的自然通风房间,PMV 范围在区间 $[-1, 1]$ 较为合适<sup>[13]</sup>。参照我国 GB/T 50785—2012《民用建筑室内热湿环境评价标准》<sup>[14]</sup>,并结合株洲市气象数据,对 PMV 计算过程中的相关参数取值设定如下:

1) 该地区人们在室内均以坐姿为主,人体新陈代谢率的取值为  $58.15 \text{ W/m}^2$ ;

2) 冬至日时,衣服热阻为  $1.3 \text{ clo}$  ( $0.200 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ),夏至日时,衣服热阻为  $0.5 \text{ clo}$  ( $0.080 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ );

3) 对外做功为  $0 \text{ met}$ ;

4) PMV 热舒适区间为 $[-1, 1]$ 。

#### 3.3.2 热工环境模拟与对比分析

通过 Eoctect 软件分别模拟并记录该地区冬至日和夏至日原民居和分别采用各组试验方案后的民居全天室内温湿度、平均辐射温度。将以上数据分别代入 PMV 公式<sup>[15]</sup>中进行计算后得出:在冬至日,分别采用 9 组试验方案的民居中有 4 组方案(方案 1、方案 2、方案 4、方案 6)在室内良好密封及不使用任何采暖设备的条件下,其全天 PMV 值在区间 $[-1, 0]$ 上,可暂作为优选方案。4 组优选方案民居室内 PMV 值对比如图 5 所示。

由图 5 可知,采用方案 4 的民居全天 PMV 值较采用其他 3 组方案的民居更高,表示该方案在冬季能够最大限度地改善民居室内热舒适度。对于夏至日来说,在全天自然通风的条件下,分别采用 9 组试验方案的民居全天 PMV 值均处于 $[0, 1]$ 区间,都已达到热舒适范围。

在综合考虑该地区气候条件和经济因素后,方案 6 在满足改善民居室内热环境的前提下,其建造成本较其他 3 组方案更低,同时其屋面保温材料厚度较方案 4 更薄,减轻了屋面自重。图 6 为采用方案 6 的

民居与原民居在冬至日和夏至日的全天室内 PMV 值对比图,其整体构造方式如表 4 所示。

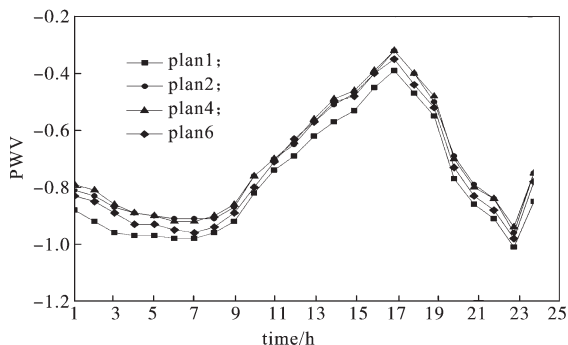
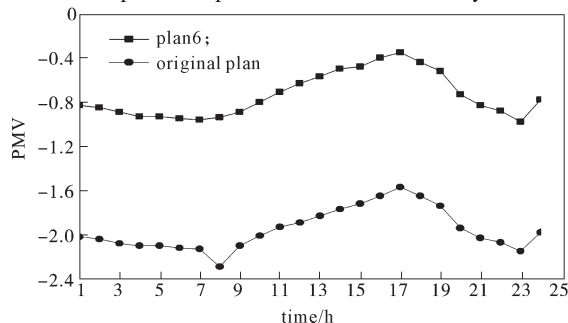
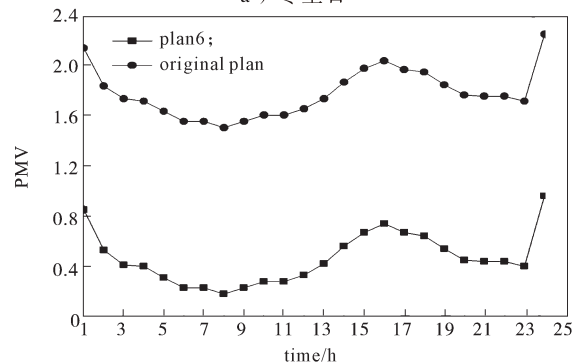


图 5 冬至日 4 组优选方案民居室内 PMV 值对比

Fig. 5 Comparison of indoor PMV of 4 preferred plans on winter solstice day



a) 冬至日



b) 夏至日

图 6 方案 6 与原民居室内 PMV 值对比

Fig. 6 Comparison of indoor PMV of Plan 6 and the original dwelling house

表 4 湘北民居最优被动式设计策略整体构造方式

Table 4 Optimal passive design strategies of residential construction in north Hunan

构造部位	构造方式
屋顶	20 mm 黏土板+50 mm 空气间层+ 75 mm XPS 板+20 mm 防水砂浆
外墙	20 mm 水泥砂浆+240 mm 膨胀蛭石混凝土+ 20 mm 水泥砂浆
窗墙	南向窗墙比 0.4, 北向窗墙比 0.1
外窗	木窗框+6 mm 普通玻璃+12 mm 空气间层+ 6 mm 普通玻璃

从图6中可以看出,无论在冬至日还是夏至日,采用方案6的民居在不使用任何采暖、空调设备,仅对原民居采用被动式节能设计改进的情况下,有效地提高了该地区民居的室内热舒适性。因此,采用方案6的构造方式并与上述被动式改善建议相结合,可作为改善湘北地区民居室内热环境的最优被动式设计策略。

## 4 结语

被动式建筑技术可以不依赖任何空调、采暖等高能耗机械设备及外部能源而实现建筑采暖、降温、采光及通风,最大限度地提高室内热舒适度,改善室内热环境质量<sup>[16-18]</sup>。本文从改善乡村民居住室内热环境为出发点,以夏热冬冷地区的湘北乡村民居为研究对象,具体分析了传统砖混结构民居所存在的一系列问题,结合当地气候环境特点,有针对性地合理选择建筑朝向、改善围护结构热工性能、控制窗墙比、加强自然通风等方面提出了适应性的被动式节能设计策略;并通过Ecotect软件进行模拟、设计正交试验以及热舒适评价分析,总结出最适合于该地区的被动式建筑设计策略,进而通过对比分析验证了该被动式建筑设计策略在某砖混结构民居应用后,其室内热环境得到了明显改善。

## 参考文献:

- [1] 杨柳,杨晶晶,宋冰,等.被动式超低能耗建筑设计基础与应用[J].科学通报,2015,60(18):1698-1710.  
YANG Liu, YANG Jingjing, SONG Bing, et al. Fundamental Research and Practice of Passive and Ultra-Low Energy Consumption Buildings[J]. Chinese Science Bulletin, 2015, 60(18): 1698-1710.
- [2] 马江波.被动式采暖技术在关中地区民居中的应用研究[D].西安:西安建筑科技大学,2013.  
MA Jiangbo. Research on Passive Heating Technology's Application to Vernacular Dwellings in Guan Zhoug Areas [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2013.
- [3] 赵钦,刘蓬晨,朱轶韵,等.基于热舒适改善的陕南乡村民居被动式建筑设计策略[J].西安理工大学学报,2014,30(3):315-319.  
ZHAO Qin, LIU Pengchen, ZHU Yiyun, et al. Rural Residence Passive Design Strategies in Southern Shanxi Based on Improving Thermal Comfort[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2014, 30(3): 315-319.
- [4] 杜春雷,王随林.夏热冬冷地区中小城镇住宅热环境分析与节能探讨[C]//第十届全国建筑物理学术会议论文集.广州:中国建筑学会,2008:4.  
DU Chunlei, WANG Suilin. Thermal Environment Analysis and Energy Saving Discussion on Medium and Small Town House in Hot Summer and Cold Winter Area[C]//Proceedings of the Tenth National Conference on Architectural Physics. Guangzhou: Architectural Society of China, 2008: 4.
- [5] 解明镜.湘北农村住宅自然通风设计研究[D].长沙:湖南大学,2009.  
XIE Mingjing. The Study on the Natural Ventilation Design of Rural Residential Houses in the North of Hunan Province [D]. Changsha: Hunan University, 2009.
- [6] 马艳秋,刘娟.住宅项目中的被动节能设计实践[J].中国住宅设施,2014(5):50-55.  
MA Yanqiu, LIU Juan. Passive Energy Saving Design in Residential Projects[J]. China Housing Facilities, 2014(5): 50-55.
- [7] 柏慕中国. Autodesk Ecotect Analysis 2011 绿色建筑分析应用[M].北京:电子工业出版社,2012:67-78.  
BIM China. Autodesk Ecotect Analysis 2011 Green Building Analysis and Application[M]. Beijing: Publishing House of Electronic and Industry, 2012: 67-78.
- [8] 中国建筑科学研究院. JGJ 134—2010 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2010:4-8.  
China Academy of Building Research. JGJ 134—2010 Design Standard for Energy Efficiency of Residential Buildings in Hot Summer and Cold Winter Areas[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2010: 4-8.
- [9] 郭锐.贵州省住宅围护结构热工性能研究[D].重庆:重庆大学,2011.  
GUO Rui. Study on Residential Building Envelope Thermal Performance in the Guizhou Province[D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.
- [10] 姚岳法.建筑外墙外保温技术的应用研究[D].上海:同济大学,2008.  
YAO Yuefa. Research on the Application of Exterior Insulation Technology of Building[D]. Shanghai: Tongji University, 2008.
- [11] 耿军.建筑保温隔热技术的应用现状及发展前景[J].城市建设理论研究(电子版),2011(22):390-391.

- GENG Jun. Application Status and Development Prospect of Building Thermal Insulation Technology[J]. Urban Construction Theory Research (Electronic Edition), 2011 (22): 390-391.
- [12] 傅学政. 夏热冬冷地区建筑绝热结构优化研究[D]. 长沙: 中南大学, 2004.
- FU Xuezheng. Research of Optimized on Structure of Building Energy Saving in Hot-Summer and Cold-Winter Area[D]. Changsha: Central South University, 2004.
- [13] 杨 柳. 建筑气候学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 53.
- YANG Liu. Building Climatology[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2010: 53.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 50785—2012 民用建筑室内热湿环境评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 9-21.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB/T 50785—2012 Evaluation Standard for Indoor Hot and Humid Environment of Civil Buildings[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2012: 9-21.
- [15] 刘加平. 建筑物理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 4-8.
- LIU Jiaping. Architectural Physics[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2010: 4-8.
- [16] 陈 俊. 被动式环境调控建筑并行设计平台构建方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- CHEN Jun. Study on Concurrent Design Platform for Passive Climate Control Buildings[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2013.
- [17] 申纪泽, 赵先超, 徐 萌, 等. 两型社会背景下农村社区规划设计探讨: 以湖南省株洲市云龙示范区云峰湖社区为例[J]. 湖南工业大学学报, 2015, 29(4): 96-103.
- SHEN Jize, ZHAO Xianchao, XU Meng, et al. Design of Rural Community Planning and Construction in Two-Oriented Society Background: An Example of Yunfeng Lake Village in Yunlong Demonstration Zone of Zhuzhou[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2015, 29(4): 96-103.
- [18] 丁 艳. 小城镇住宅建设中的低碳智能住宅研究[J]. 湖南工业大学学报(社会科学版), 2014, 19(4): 10-14.
- DING Yan. Research on Low Carbon and Intelligent Residence in Small Towns Constructions[J]. Journal of Hunan University of Technology (Social Science Edition), 2014, 19(4): 10-14.

(责任编辑: 邓光辉)