

鲁西南地区既有农宅室内热环境优化研究

张丽丽¹, 刘 飞¹, 侯佳汶¹, 龙恩深²

(1. 四川农业大学建筑与城乡规划学院, 四川 都江堰 611830; 2. 四川大学建筑与环境学院, 四川 成都 610065)

摘要: 鲁西南地区既有农宅建筑室内热环境差, 且长期没有得到改善. 通过实测典型农宅室内热环境和两种优化改造设计方案模拟对比分析得出: 鲁西南典型农宅冬季室内平均空气温度 1.15 °C, 室内壁面平均辐射温度 -2~1.5 °C; 夏季室内平均空气温度 28 °C, 屋顶内和南墙内壁壁面平均辐射温度 36.8 °C, 最高值 39.6 °C. 优化改造后的农宅冬季室内平均温度比原始房分别提高了 1.8 °C, 3.5 °C, 夏季分别降低了 7 °C, 14 °C, 仅通风双层隔热屋顶夏季可降温 4.3 °C. 屋顶、南墙和北墙墙体热工性能是改善农宅冬季室内热环境的重点, 夏季屋顶通风和南向遮阳是关键. 以上研究结果可为提高该地区农宅宜居性提供技术支撑.

关键词: 鲁西南地区; 典型农宅; 优化改造策略; 建筑室内热环境

中图分类号: TU111

文献标识码: A

文章编号: 1006-7930(2016)01-0122-06

Improvement study on existing rural house thermal environment in Southwest region of Shandong Province

ZHANG Lili¹, LIU Fei¹, HOU Jawen¹, LONG Enshen²

(1. College of Architectural and Urban-Rural planning, Sichuan Agricultural Univ., Dujiangyan 611830 China;

2. College of Architecture & Environment, Sichuan Univ., Chengdu 610065, China)

Abstract: The indoor thermal environment of self-built rural house on the Southwest region of Shandong province is poor and there is no long-term improvement. By measuring the indoor thermal environment of typical rural house on-site and comparatively analyzing the two optimization design strategies following results were obtained: The existing rural residential winter indoor average temperature is 1.15 °C and average wall radiation temperature is -2 °C~1.5 °C. The average indoor temperature of existing rural house in summer is 28 °C and average surface radiation temperature of the roof and south wall is 36.8 °C, the highest value of 39.6 °C. The average indoor temperature of the optimized rural house in winter increased by 1.8 °C, 3.5 °C than the existing typical rural house. In summer it was reduced 7 °C to 14 °C, and for the single ventilation double-insulated roof the temperature could drop by 4.3 °C in summer. The thermal performance of the roof, south wall and north wall is the key point for improving the indoor thermal environment of rural house in winter. Roof ventilation and shading south is the key to improving the indoor thermal environment in summer. The above results will provide technical support for improving the livability of the existing typical farm house in the southwestern region in Shandong province.

Key words: the Southwest Region in Shandong Province; typical rural house; optimal design strategy; indoor thermal environment

鲁西南地区属于寒冷气候分区, 根据山东兖州站 1971-2003 年时间段气象资料显示: 冬季空气调节室外计算温度 -7.4 °C, 极端最低温度 -19.3 °C; 夏季空气调节室外计算干球温度 34.1 °C, 极端最高温度 41.1 °C; 冬季风多为 NNW, 平均风速 3.6 m/s, 夏季风多为 S, 室外平均风速为 2.7 m/s. 且该地区属于山东内陆欠发达地区, 农民以务农为主, 经济收入低.

鲁西南冬季既有农宅无集中采暖, 村民自发采暖, 常用蜂窝煤炉、火炕和土暖, 利用效率低, 能耗大不环保; 夏季白天风扇降温, 晚上屋顶乘凉. 农村经济发展和农民生活水平提高, 住宅宜居性日益重要, 相关问题逐渐受到学者的关注. 近年来, 已

相继有一些针对寒冷地区农村住宅冬季室内热环境研究^[1-6], 陕西关中农村冬季住宅室内热舒适调查研究^[7-8], 舒适节能火墙式火炕结构及特点的研究与分析^[9-10], 中国寒冷地区农村居住建筑现状调查与能耗分析^[6,11], 寒冷地区现有农村住宅节能改造策略^[12-14], 关中乡村住宅太阳能利用适宜模式应用研究^[15]等不同地区不同农宅建筑的研究文献. 但中国各地区民俗习惯差异很大, 气候特点迥异, 这些研究远远不够. 通过对鲁西南地区既有农宅室内热环境实测分析, 提出适宜的设计优化策略并进行模拟验证, 从而为本地区既有农宅室内热环境的改善提供重要的技术支撑.

1 典型农宅现状实测分析

1.1 典型农宅概况及测点布置

实测地点位于鲁西南的济宁市前老屯村.本地区因规划原因,每户农宅的占地面积、围护结构做法及建筑材料基本相同,每户均有独立的三合式庭院,庭院尺寸与建筑布局基本相似.典型农宅屋顶为20 mm水泥砂浆+60 mm空心板+20 mm水泥砂浆+白色涂料;北墙和室内隔墙均为20 mm水泥砂浆+240 mm砖墙+20 mm水泥砂浆+白色涂料;其它墙为豆绿色水刷石+20 mm水泥砂浆+370 mm砖墙+20 mm水泥砂浆;地面为水磨石地面+20 mm水泥砂浆找平+200 mm碎石垫层;窗户为窗户(单木框+单层6 mm厚白玻璃);传热系数分别为 $3.53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $2.13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $1.55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $4.24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $6.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,都远大于《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ26-2010给定的限值,热工性能较差.室内测点布置如图1,卧室和客厅作为重点测试对象,内外壁面温度以墙体几何中心点为测点,图1中上为北向.

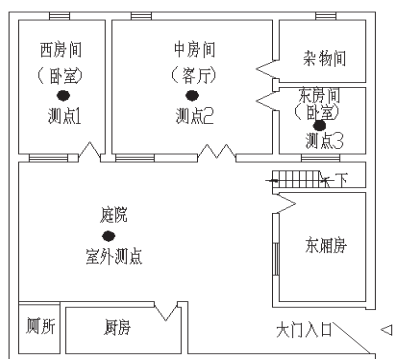


图1 典型农宅测点布置示意图

Fig.1 Arrangement of test points in the typical house

1.2 典型农宅实测方案及结果分析

典型农宅测试分冬季和夏季,测点布置一致.冬季:室外空气温度由TES1361便携式温湿度计测量,测试精度为 $\pm 0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$,仪器放置在距地面1.5 m的开阔处,为了防止太阳直射对测量结果的不利影响,用遮挡物进行有效遮挡;室内空气温度由TAL-2型干湿球温度计测量,测试精度为 $0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$,放在距地面1.5 m高的房间中间位置;室内外界面温度由AR300红外线测温仪测量,测试精度为 $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,每个壁面测试多点求面积加权平均值.测试从2013年2月13-2月20日早晨9:00到下午17:00,时间间隔为1 h.夏季:室内外空气温度及内外壁面温度均由JTRG-II建筑热工温度与热流自动测试仪采集,测量精度为 $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,测试时间为

2014年8月13—8月21日凌晨00:00—24:00,数据采集间隔为30 min.测试前仪器都进行了校对调零,确保数据的准确性.在室内热湿环境中,空气温度和壁面辐射温度的高低很大程度直接决定着人体的冷热舒适感,只针对性的对这两个参数进行了对比研究.

1.2.1 典型农宅室内温度比较分析

图2是典型农宅冬季室内、外气温对比曲线,图3是典型农宅夏季室内、外气温对比曲线,图中的室内气温是指相应农宅代表性房间的室内气温,给出的是测试时间段的平均值.图2显示,测试房间室内温度波动在 $0 \sim 2.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围,中室内和东室内的室内气温比较稳定,室内平均空气温度比西室内略高 $1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,图3显示,室外空气温度波动范围为 $25.2 \sim 33 \text{ }^{\circ}\text{C}$,室内平均空气温度为 $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$,平均一天中上午9:00—下午16:00气温均在 $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上.根据热舒适适应模型线性回归公式^[7]计算,寒冷地区冬季室内最佳舒适温度为 $12 \sim 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$,夏季为 $23 \sim 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$.三个测试房间的冬季室内气温远低于舒适温度范围,夏季要比舒适温度区段高 $3 \sim 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,因庭院规划设计和农宅设计不合理导致夏季没有形成自然通风,实际感觉室内更闷热.

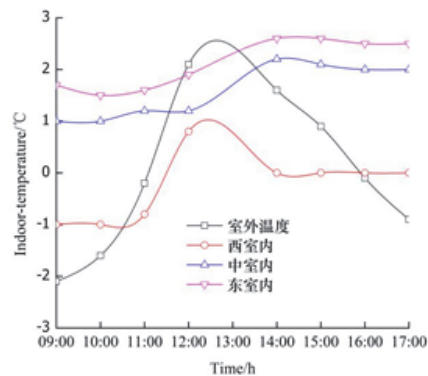


图2 典型农宅冬季室内、外气温对比曲线

Fig.2 Comparison of indoor-outdoor temperature of the typical house in winter

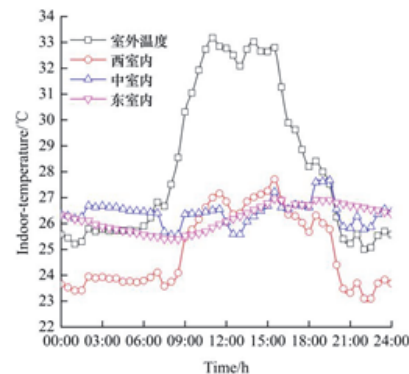


图3 典型农宅夏季室内、外气温对比曲线

Fig.3 Comparison of indoor-outdoor temperature of the typical house in summer

以上分析显示:本地区农宅冬季和夏季的室内热环境和宜居性均较差.作者在做测试过程中,人体主观反应明显感受到房间内的热舒适性更差,冬季身体基本处于紧张状态,时间长会有颈椎、心脏不舒服的感觉,而夏季静风、闷热.

1.2.2 典型农宅室内壁面温度比较分析

图4是典型农宅冬季室内内壁面温度比较曲线.图5是典型农宅夏季室内内壁面温度对比曲线.图4显示,典型农宅冬季内壁面平均辐射温度为 $-2\sim 15^{\circ}\text{C}$,低于室内空气温度,有冷辐射,北、西内壁面辐射温度最低,冷辐射最严重,屋顶内壁面温度受室外太阳辐射影响明显.图5显示,室外平均气温为 28.2°C ,典型农宅夏季屋顶内和南内壁面辐射平均温度 36.8°C ,屋顶内壁面平均辐射温度8:30-22:00时间段均在 30°C 以上,南内壁面温度在15:30达到最高值 38.4°C ,其它壁面平均辐射温度波动为 $28.5\sim 29.7^{\circ}\text{C}$,均有不同程度的热辐射.因此,屋顶和南墙为农宅夏季隔热设计的重点.

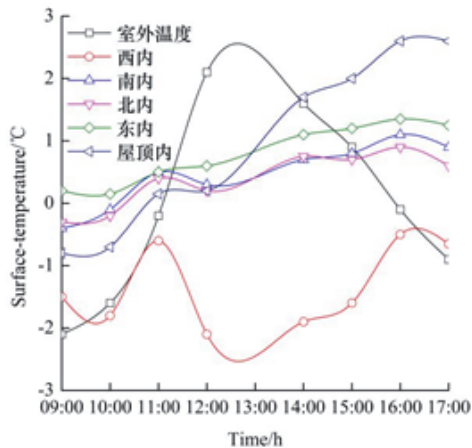


图4 典型农宅冬季室内内壁面温度对比曲线

Fig.4 Comparison of inner wall surface temperature of the typical house in winter

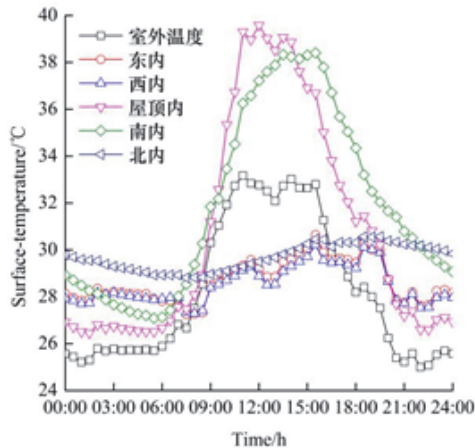


图5 典型农宅夏季室内内壁面温度对比曲线

Fig.5 Comparison of inner wall surface temperature of the typical house in winter

1.2.3 典型农宅室外壁面温度比较分析

图6为典型农宅冬季室外壁面温度对比曲线.图7为典型农宅夏季室外壁面温度对比曲线.图6显示南外壁面温度受太阳辐射影响明显,一天中北外壁面温度都较低.西外壁和东外壁温度变化符合太阳辐射强度的变化.图7显示屋顶外壁面平均温度 30.8°C ,且波动与室外气温一致,延迟不明显.南外壁面平均温度为 31.5°C ,18:30达到了最高温 34.60°C ,东外壁平均壁面温度为 28.6°C .分析显示:鲁西南地区典型农宅冬季、夏季室内热环境恶劣,屋顶、南墙和北墙是改造和设计重点.本地区太阳能资源丰富,冬季应尽可能的利用南向吸收太阳能,积蓄热量,东外壁面可以适当考虑太阳能的利用,而夏季屋顶的通风和南向遮阳是关键.根据《民用建筑热工设计规范》GB 50176-93规定,寒冷地区应满足冬季保温要求,部分地区兼顾夏季防热,通过实测分析得出,本地区既应满足冬季保温,也应兼顾夏季隔热设计.

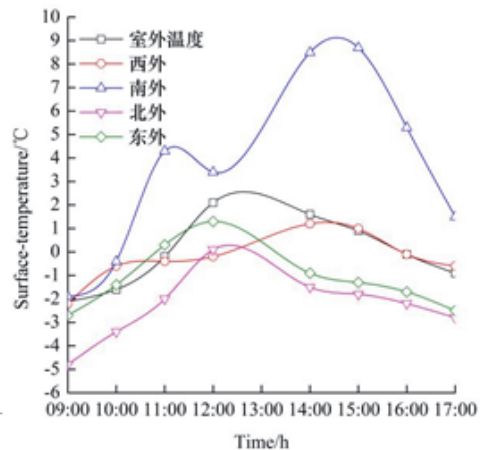


图6 典型农宅冬季室外壁面温度对比曲线

Fig.6 Comparison of outside wall surface of the typical house temperature in winter

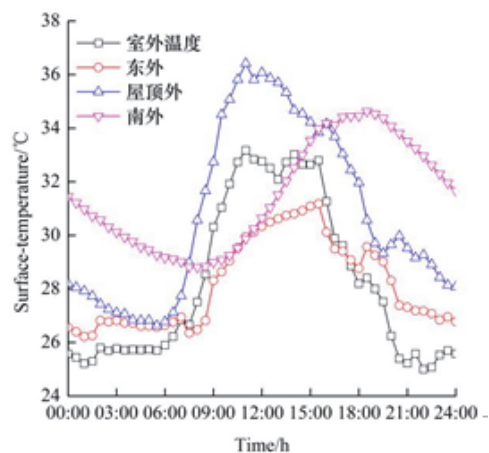


图7 典型农宅夏季室外壁面温度对比曲线

Fig.7 Comparison of outside wall surface of the typical house temperature in summer

2 典型农宅优化设计策略

根据以上分析和总结, 考虑本地经济状况, 提出两种改造设计方案, 如下: 改造设计方案一: 把典型农宅屋顶改为带空气间层的双层可调通风屋顶, 门窗改为铝合金双玻窗, 北墙上加了 50 mm 厚的聚苯乙烯保温板. 农宅改造后的带空气间层的双层可调通风屋顶, 详见图 8.

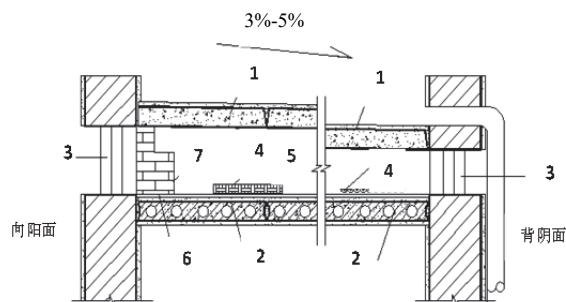


图 8 屋顶改造示意图

Fig.8 Roof reconstruction diagram

图中表示: 包括新涂有涂膜防水层 6 的原有平屋面 1, 上部新增屋面 2, 屋面 1 和 2 通过砖支撑 7 形成空气间层 5, 屋面 1 和 2 四周设封边墙 8, 可启闭通风口 3 设置在垂直冬季主导风向的前后封边墙 8 上, 空气间层 5 内通过可启闭通风口 3 可自由填充填料 4. 冬季, 开启通风口 3, 空气间层 5 内放置生土保温材料或同时在通风口 3 背部挂草帘、面层贴膜涂黑, 达到较好保温效果; 夏季白天, 通风口 3 关闭, 外侧设遮阳帘, 晚上通风口 3 打开自然通风或同时空气间层 5 内放蓄水波形石棉瓦, 通风蒸发降温. 改造后北墙的传热系数由 2.08 减小到 0.54, 减少了 74%, 热惰性指标由 3.59 提高到 4.17, 延迟时间推迟了 3 个小时左右, 衰减倍数由 16.32 变为 24.52. 屋面传热系数由 3.53 变为 2.22, 减少了 36.9%, 热惰性指标基本不变; 窗户减少了 48.2%, 热惰性指标也不变, 但延迟时间和衰减倍数都由相应程度的增加. 改造后的方案围护结构从理论上讲, 其热工性能和稳定性都有所提高.

改造设计方案二: 南墙外增加 1 200 mm 左右宽阳光间, 其它做法均同改造方案一.

3 改造前后农宅热环境模拟对比分析

以图 1 典型农宅为参照建筑即原始房, 用软件 Ecotect 和 Airpak 进行模拟, 比较改造前农宅热环境的改善情况. 模拟数据分别选择了具有代表性的一天即冬季为最冷日 1 月 9 日, 夏季为最热日 7 月 24 日.

3.1 改造前后典型农宅室内平均空气温度对比

图 9 为典型农宅改造前后冬季室内外温度对比曲线. 图 10 为典型农宅改造前后夏季室内外温度对比曲线. 图 9 显示, 原始房, 改造方案一、二农宅室内温度变化幅度很大, 受外界气候条件影响大, 特别是改造方案二的阳光房中午 12:00 左右太阳出来的时候温度最高, 下午 16:00 以后温度下降快. 原始房室内平均气温为 -0.25°C , 改造方案一农宅室内温度比原始房提高了 1.8°C , 改造方案二室内平均气温比原始房提高了 3.5°C , 虽然改造后的农宅室内温度有所提高, 但无采暖措施的农宅室内温度仍远低于舒适温度. 图 10 显示, 原始房, 改造方案一、二室内平均温度分别高出室外平均温度 20°C , 15°C 和 8°C 左右. 改造后的农宅比原始房室内平均温度均下降了 7°C 和 14°C , 改造策略二阳光房的夏季遮阳和过渡空间起到了显著的降温作用.

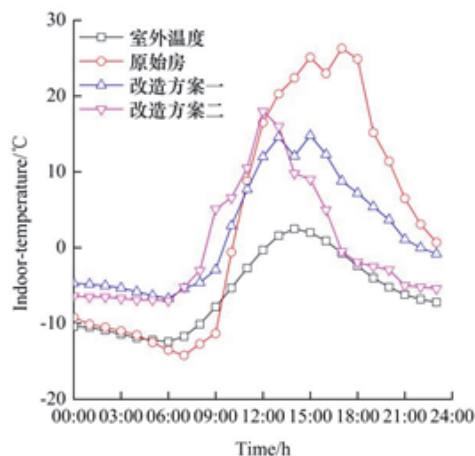


图 9 典型农宅改造前后冬季室内外温度对比

Fig.9 Comparison of indoor-outside temperature before and after the transformation in winter of the Typical house

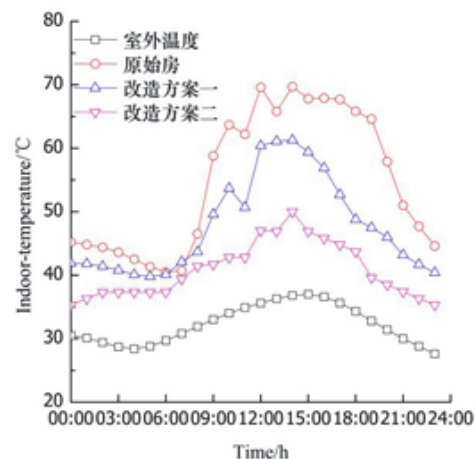


图 10 典型农宅改造前后夏季室内外温度对比

Fig.10 Comparison of indoor-outside temperature before and after the transformation in summer of the Typical house

3.2 改造前后典型农宅围护结构、通风冬季失热量对比

图 11 为典型农宅改造前后冬季围护结构月平均日失热量对比曲线. 图 12 为典型农宅改造前后冬季通风月平均日失热量对比曲线. 图 11 显示, 改造后的方案均比原始房冬季围护结构月平均日失热量减少了, 改造方案一减少了 32.7%, 590 Wh; 改造方案二减少了 17.9%, 322 Wh, 改造方案二阳光房增加了围护的失热, 就要考虑太阳辐射得热和蓄热, 以便改善室内热环境. 图 12 显示, 改造方案一比原始房通风失热量减少了 9.08%, 223 Wh; 改造方案二比原始房通风失热量增加了 10.9%, 268.98 Wh, 原因是阳光房的设计增加了空气渗透失热量, 所以阳光房的密封等级会影响农宅的得失热量, 应慎重考虑.

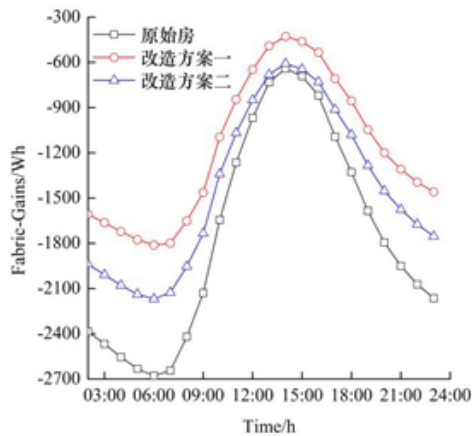


图 11 典型农宅改造前后冬季围护结构月平均日失热量对比
Fig.11 Comparison of fabric month average daily heat loss in winter of the Typical house

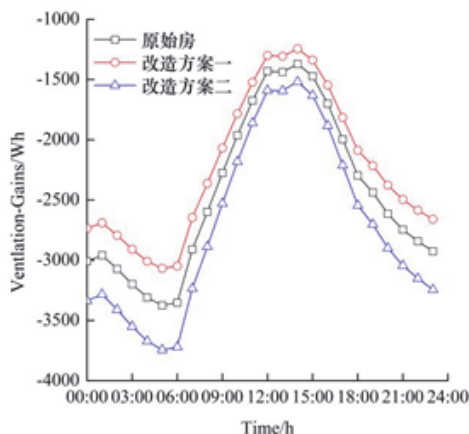


图 12 典型农宅改造前后冬季通风月平均日失热量对比
Fig.12 Comparison of ventilation month average daily heat loss in winter of the Typical house

3.3 改造后典型农宅通风屋顶隔热对比

图 13 是屋顶通风水平中截面风速云图. 图 14 典型农宅改造后屋顶通风水平中截面温度云图显

示. 假定夏季庭院室外风速为 0.3 m/s, 室外空气温度为 30 °C 垂直吹入带空气间层的双层可调通风屋顶, 模拟结果如图 13 和图 14. 图 13 显示, 入风口风速为 0.3 m/s, 出风口为 0.12 m/s 左右, 前后压力差为 1.6 Pa, 大于 1.5 Pa, 能形成自然通风. 图 14 显示, 出口温度为 25.7 °C 左右, 降低了 4.3 °C, 通风降温效果明显.

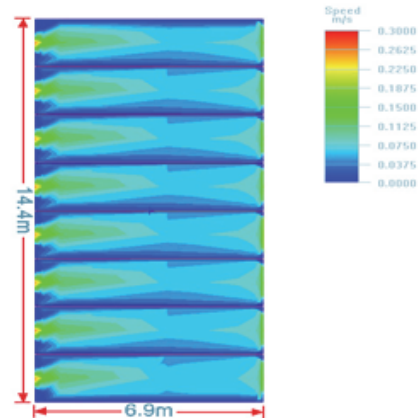


图 13 屋顶通风水平中截面风速云图
Fig.13 Wind cloud of roof ventilation horizontal middle Section

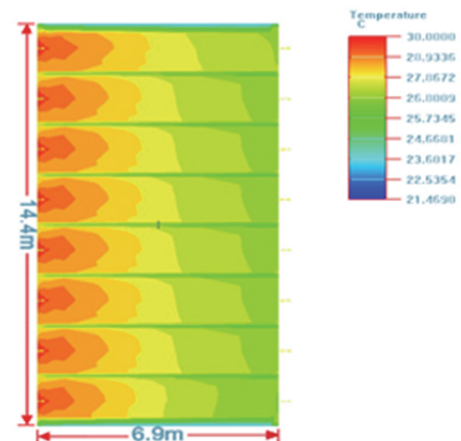


图 14 屋顶通风水平中截面温度云图
Fig.14 Temperature contour of roof ventilation horizontal middle Section

4 结论

鲁西南典型的农宅热环境实测模拟分析结果表明:

(1) 鲁西南地区农宅冬季应满足保温并兼顾夏季隔热.

(2) 鲁西南农宅冬季室内平均温度 1.15 °C, 室内壁面辐射温度 -2~1.5 °C; 夏季室内平均温度 28 °C 左右, 屋顶内壁面平均辐射温度 37 °C, 最高温度 39.6 °C, 南内平均 36.5 °C, 最高温度 38.4 °C, 热辐射严重, 宜居性差.

(3) 改造方案一、二的农宅冬季室内平均温度分别提高了 1.8℃、3.5℃左右,被动设计策略不能根本改善冬季室内热环境,冬季仍须采用主动供暖才能达到舒适要求;夏季室内平均温度分别降低了 7℃、14℃左右,可调式夏季通风屋面降温效果明显,夏季的通风和遮阳设计策略可基本解决夏季的舒适性问题。

参考文献 References

- [1] 杨柳, 赵云兵. 寒冷地区农村住宅冬季室内热环境研究[J]. 建筑节能, 2013(7): 2-7.
YANG Liu, ZHAO Yunbing. Indoor heat environment for rural residential of cold areas in winter [J]. Building Energy Efficiency, 2013(7):2-7.
- [2] 朱轶韵, 刘加平. 西北农村建筑冬季室内热环境研究[J]. 土木工程学报, 2010(S2): 400-403.
ZHU Yiyun, LIU Jiaping. Study on indoor thermal environment of rural construction in Northwest China[J]. China Civil Engineering Journal, 2010(S2): 400-403.
- [3] 张群, 梁锐, 刘加平. 宁夏地区乡村民居节能设计研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2011, 43(4): 570-575.
ZHANG Qun, LIANG Rui, LIU Jiaping. Research on the energy saving design of rural residence in Ningxia[J]. Journal of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2011, 43(4): 570-575.
- [4] 农村居住建筑节能设计标准: GB/T 50824-2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
Design standard of energy-efficient rural housing: GB/T 50824-2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.
- [5] ZHANG Lili, XUN Yi, LONG Enshen, et al. Comparative study of the indoor thermal environment of three rural residences in Southwest Region of Shandong Province[J]. Materials Science and Information Technology, 2010, 433-440: 1022-6680.
- [6] ZHANG Lili, LONG Enshen, WANG Jun. Field research on the rural house thermal environment in southwest region of Shandong province[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2013, 261: 1876-1100.
- [7] 杨茜. 寒冷地区室内热舒适研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010.
YANG Qian. Study on the indoor thermal comfort in the cold zone [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech. 2010.
- [8] 杨柳, 杨茜, 闫海燕, 等. 陕西关中农村冬季住宅室内热舒适调查研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2011, 43(4): 551-556.
YANG Liu, YANG Qian, YAN Haiyan, et al. Field study on thermal comfort of rural houses in winter in the Guanzhong region Shanxi Province [J]. J of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2011, 43(4): 551-556.
- [9] 赵洋, 朱俊亮, 王宗山, 等. 舒适节能火墙式火炕结构及特点的研究与分析[J]. 中国住宅设施, 2009(11): 60-64.
ZHAO Yang, ZHU Junliang, WANG Zongshan, et al. Study on structure and characteristics of comfortable energy-saving hot-wall type Kang [J]. China Housing Facilities, 2009(11): 60-64.
- [10] ZHAO Y, ZHU JL, WANG ZS, et al. Research and analysis on comfortable and energy-saving firewall-type structure and characteristics of heated Kang[J]. Technical Exchange, 2010: 60-64.
- [11] 郭春梅, 张志刚, 张丽璐, 等. 中国寒冷地区农村居住建筑现状调查与能耗分析[J]. 中国建设信息, 2011(5): 49-51.
GUO Chunmei, ZHANG Zhigang, ZHANG Lili, et al. Investigation and analysis of energy consumption of current residential building in China cold areas [J]. Information of China Construction, 2011(5): 49-51.
- [12] 张丽丽, 杨祖贵, 王怀德. 寒冷地区现有农村住宅节能改造策略[J]. 工业建筑, 2009, 39(7): 33-36.
ZHANG Lili, YANG Zugui, WANG Huaide. Energy-saving reform strategy of the existing rural residential buildings in cold regions [J]. Industrial Construction, 2009, 39(7): 33-36.
- [13] 马珂, 吴永城, 吕锦庆, 等. 西北地区村镇住宅的节能改造策略研究[J]. 工业建筑, 2013, 43(4): 54-56.
MA Ke, WU Yongcheng, LÜ Jinqing, et al. Research on energy-saving reconstruction strategy of the rural residence in northwest china[J]. Industrial Construction, 2013, 43(4): 54-56.
- [14] 舒欣, 季翔. 江苏寒冷地区住宅建筑节能研究[J]. 工业建筑, 2012, 42(5): 67-70.
SHU Xin, JI Xiang. Study on energy-efficient of residential buildings in gold regions of Jiangsu Province[J]. Industrial Construction, 2012, 42(5): 67-70.
- [15] 胡艳丽. 关中乡村住宅太阳能利用适宜模式应用研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.
HU Yanli. Application research on appropriate model of solar energy utilization in central Shanxi rural residence [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2009.

(编辑 吴海西)