

改性土坯建造的生土民居室内热环境研究^①

饶 凯, 鲍安红, 孙杜鸿, 唐 强

西南大学 工程技术学院, 重庆 400715

摘要: 为了探索添加秸秆和水泥作为墙体改性材料对于生土民居室内热环境的影响, 以重庆市北碚区清云峡村某改性生土民居为研究对象, 依据实测的冬季室内外温度和围护结构热工参数, 运用软件模拟的手段, 通过与相同模拟条件下普通生土民居和砖砌民居的数据对比, 依据相关标准和调研情况, 对其进行冬夏季热环境评价。研究发现这种改性土坯建造的民居不仅保有生土夏季隔热的优势, 同时较普通生土民居改善了冬季室内热环境, 但室内冬季温度仍然较低, 需要采取其他措施提高室内冬季热舒适性。

关 键 词: 改性生土; 民居; 室内热环境

中图分类号: TU111.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2019)12-0088-06

在人类漫长的历史进程中, 受地形和气候条件的影响, 各地都发展了不同类型的传统民居。但随着现代新材料、新建筑形式的出现, 传统民居一度陷入无人问津的尴尬境地。然而近年来随着节能、可持续发展等理念的推行, 传统民居被赋予了新的期望, 改造和利用传统民居的价值已经得到广泛的肯定^[1-2], 对其热环境的研究也越来越多。MB Özdeniz^[3]研究了土耳其 7 个不同气候区域的传统民居, 发现它们在调节室内环境方面各有特点, 传统民居建造者在面对不同的气候条件时选择采用不同的建筑形式和材料, 很好地隔绝了外界环境的干扰; Ooka^[4]研究了日本寒冷地区典型民居的热湿环境, 对冬季和夏季民居的热量测量数据进行了分析, 结果表明使用土墙和芦苇屋顶能有效维持室内热环境, 而且土墙和生土地面对室内热湿环境的维持有一定的作用。在国内, 对传统民居热环境的研究也有很多, 取得了丰硕的成果^[5-7]。但国内现有研究区域主要集中在西北地区, 并且研究重点多集中于对某类经典传统民居的分析, 缺乏相同条件下对其他不同类型民居的横向对比或改良传统建造技艺或材料的民居的热环境研究。

为了探索添加秸秆和水泥作为生土墙体改性材料对于生土民居室内热环境的影响, 基于已有的研究资料^[8], 笔者以一栋使用掺加这两类材料的改性土坯建造的夯土民居为研究对象, 通过实测和 DEST 软件模拟的手段得到了室内外温度变化数据, 对比同条件下普通土坯房和砖砌房模拟数据, 研究了其冬夏季的热环境状况。

1 实地测试与数据分析

1.1 地区气候特点

选择的研究区域位于重庆市北碚区, 属亚热带季风气候, 年平均气温 18.2 °C, 雨量充沛, 气候温润, 测试地点在重庆市北碚区歇马镇清云峡村, 属缙云山山脉, 距北碚主城区 5 km。该村房屋均依山而建, 近年来随着砖、混凝土等现代建筑材料的大量使用, 多层砖混房屋是当地主要的建筑形式, 但仍遗留有部分

① 收稿日期: 2018-08-02

作者简介: 饶 凯(1995-), 男, 硕士研究生, 主要从事建筑环境和建筑材料研究。

通信作者: 鲍安红, 教授。

传统单层生土房屋, 夏季隔热是该地区民居首要满足的要求^[9], 同时冬季应兼顾防寒。

1.2 研究对象

测试房间为新建单层改性土坯建筑, 房间开间为 3.6 m, 进深为 3.6 m, 层高 3.5 m, 朝向为北偏东 43°, 外墙采用的是添加 0.5% 秸秆和 8% 硅酸盐水泥改性的土坯砖^[8], 并使用当地传统工艺砌筑而成, 实际建筑如图 1。建筑主要围护结构做法为: 外墙为 300 mm 厚改性土坯墙, 所用土为从附近缙云山上取得的黄色粘土, 地面素土夯实, 门窗均采用钢质玻璃门窗, 屋顶采用松木骨架四坡屋顶, 坡度 30°, 上覆茅草厚度 150 mm。



图 1 实际建筑

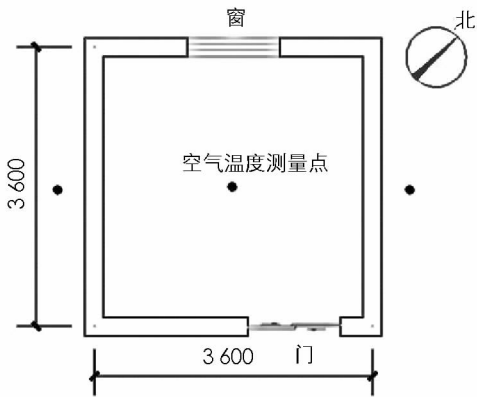


图 2 平面简图

1.3 测试方案

选择冬季温度最低月^[10]开展测量, 具体时间为: 2018 年 1 月 11 日上午 10:00 到 1 月 25 日上午 10:00, 共 14 天, 测量参数为室内外温度。由于受检房间面积较小, 在位于室内中心离地约 0.5, 1.5, 2.5 m 处分别设置温度测点, 室外在建筑物 2 个方向分别设置测点, 室内外温度取相应时间的各测点温度的平均值。测量仪器为 COS-03 型温湿度自动记录仪, 测量精度为 0.1 °C, 量程为 -40 °C ~ 80 °C, 每 15 min 记录一次数据。

1.4 测量结果分析

测试时段天气状况平稳, 室外温度变化情况如图 3, 期间晴天和雨天基本各占一半, 室外温度较低, 气温平均值为 8.3 °C, 最低温度 4.2 °C, 最高温度 12.1 °C。

选择室外平均温度最低且天气较为稳定的 1 月 13 日作为冬季典型天气, 以此分析一天中室内气温的逐时变化情况。图 4 为该时段 24 h 内室内外动态温度变化情况, 这一天室外气温均值为 6.9 °C, 室内气温均值为 8.5 °C。

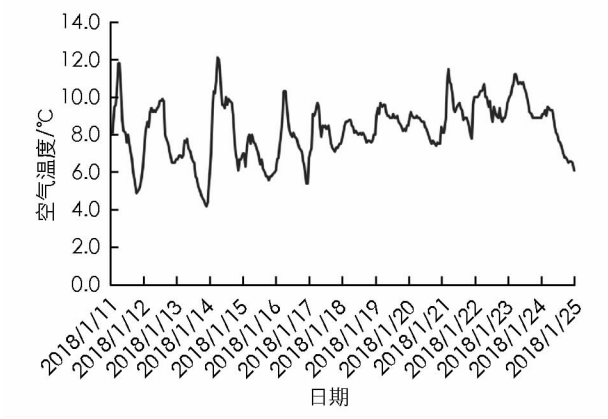


图 3 冬季测试期间室外温度变化

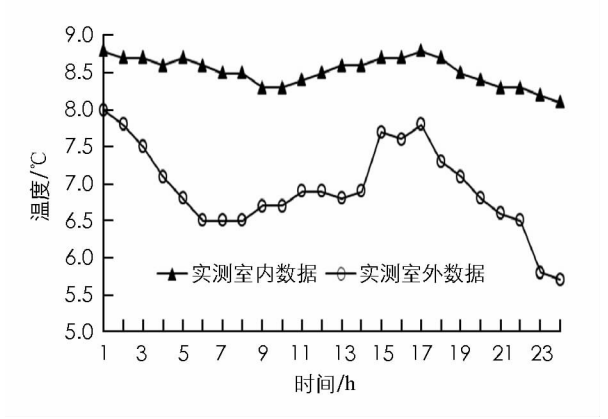


图 4 选定典型天气的室内外温度变化

从全天气温来看, 室外空气温度变化较为明显, 昼夜温差为 2.3 °C, 起伏差较大, 温度曲线有明显的上升和下降段, 而建筑室内气温变化非常平稳, 24 h 仅有 0.7 °C 的温度起伏, 室内外最大温差出现在上午

7 时, 温度相差 2 ℃. 对比室内外两条温度曲线, 可以看出两者温度走势基本相同, 但室内温度变化较室外有 1~2 h 的热延迟和衰减, 这主要是由于生土热惰性较大. 由于实测建筑为闲置房间, 基本没有人员和设备的干扰, 室内温度主要依靠建筑自身进行调控, 从室内外气温数据的变化分析中, 可以看出虽然室外气温变化显著, 但改性生土建筑室内气温仍然保持平稳, 这种改性生土民居具有良好的热环境调控能力.

2 模拟分析

为进一步探索、对比添加水泥和秸秆改性的这种生土民居的冬夏季热环境情况, 采用 DEST-h 软件建立了简化模型, 并进行全年热环境模拟. 模型尺寸按实际建筑取值, 各项数值按实测值设置.

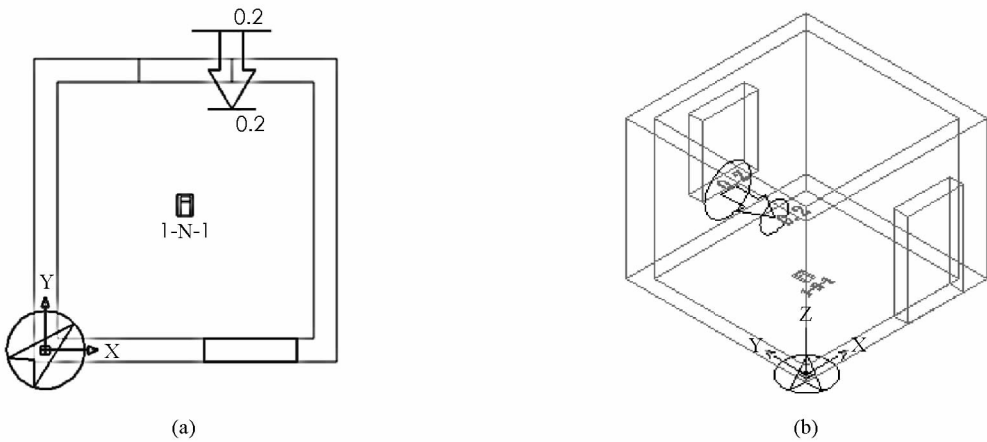


图 5 模型简图

相关围护结构做法和热阻如下:

表 1 改性生土民居主要围护构造做法

类型	构造做法	热阻/(m ² · K/W)
外墙	300 mm 厚改性土坯墙	1.154
屋顶	松木骨架上覆 150 mm 茅草	3.191
地面	素土夯实	0.431
门窗	6 mm 普通玻璃	5.7

气象数据采用 DEST 内置重庆典型气象年数据, 根据房间实际使用情况设置室内相关热工参数: 该民居为闲置房间, 冬季门窗关闭, 夏季门窗打开, 采用自然通风, 因此设置没有人员和设备热扰, 冬季通风为 1 次/h, 夏季通风设置为 2 次/h.

2.1 模型验证

模拟验证对象选择为实测室外天气中与 DEST 冬季典型天的参数最为接近的 1 月 13 日, 将这一天的室外温度数据作为模型外界参数输入, 把最终室内温度模拟结果与实测结果绘出对比图(图 6), 可以看出模拟和实测曲线走势基本一致, 模拟数据稍大于实测数据, 二者差别在 2%~4% 左右, 模拟结果较为可信, 可以证明建立的模型较为接近真实情况.

2.2 建立对比模型

实测并计算得到当地传统 300 mm 土坯墙热阻为 0.806 m² · K/W, 砖砌房屋的围护结构热工参数如表 2. 利用验证的模型, 仅改变模型外墙材料类型, 建立普通土坯房模型; 按照当地砖砌房屋围护结构做法, 在已验证模型基础上, 建立砖砌房屋模型.

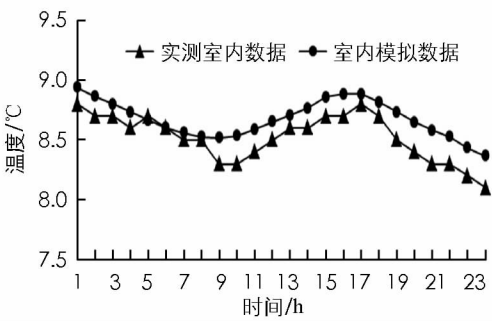


图 6 实测与模拟温度对比

表 2 当地砖砌房主要围护构造做法

类型	构造做法	热阻/(m ² · K/W)
外墙	240 mm 砖墙, 两侧涂抹水泥砂浆	0.319
屋顶	120 mm 厚钢筋混凝土屋面	0.117
地面	40 mm 厚混凝土楼地面	0.047
门窗	6 mm 普通玻璃	5.7

2.3 模拟结果对比分析

其他参数不变, 将实测参数输入上面模型, 并利用实测冬季典型天和 DEST 内置典型夏季天气气象数据进行这三类民居的热环境模拟, 最终得到的室内外温度变化情况如图 7 和图 8。

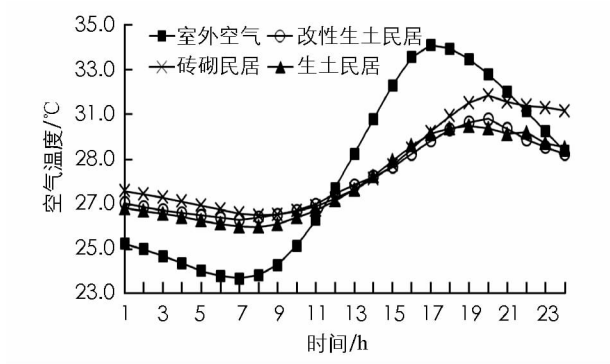


图 7 夏季室内外温度变化

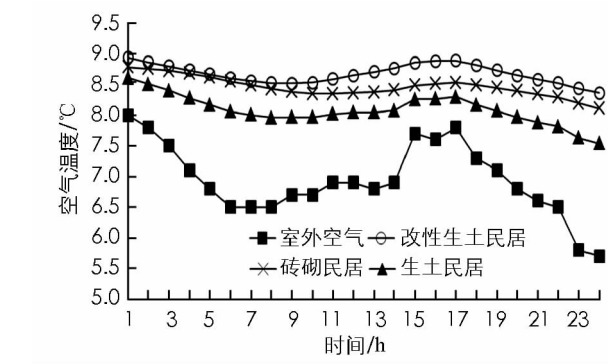


图 8 冬季室内外温度变化

结果显示, 在典型夏季天气下, 室外最高温度为 34.1 °C, 平均温度 28.4 °C, 温度振幅为 10.4 °C, 而改性生土民居和普通生土民居室内最高温度分别为 30.8 °C 和 30.5 °C, 平均温度分别为 28.1 °C 及 28 °C, 温度振幅为 4.5 °C 和 4.4 °C; 砖砌民居热环境则相对较差, 室内平均温度 28.7 °C, 温度振幅为 5.3 °C。在典型冬季天气下, 室外最低温度为 5.7 °C, 平均温度为 6.94 °C, 温度振幅为 2.3 °C, 而改性生土民居和砖砌民居室内最低温度分别为 8.4 °C 和 8.1 °C, 平均温度分别为 8.7 °C 和 8.5 °C, 温度振幅为 0.6 °C 和 0.7 °C; 普通生土民居的热环境相对较差, 室内最低温度为 7.5 °C, 平均温度为 8.1 °C, 温度振幅为 1.1 °C。

分析冬夏温度曲线可知, 这三类建筑的室内温度走势均基本相同, 但由于采用不同的建筑形式和材料, 导致温度具体变化特征不同。在夏季, 改性生土民居和普通生土民居室内温度变化基本相同, 由于土坯墙良好的蓄热性能, 相比室外和砖砌房屋室内温度最大可降低 4 °C 和 1.5 °C, 且室温变化平缓, 热环境较好。在冬季, 改性生土建造的民居室温出现了明显的温度提升, 相比普通生土民居平均室温提升了 0.6 °C, 峰值提升了 0.9 °C, 室温曲线基本与砖砌房屋室温相当, 较室外温度平均提高 1.7 °C, 在凌晨时室内外温差峰值为 2.6 °C。

3 室内热环境评价

对于无人工冷热源的民居内热环境评价, 《民用建筑室内热湿环境评价标准》^[11] 规定达到 75% 的人感到满意的热环境即 II 级标准室内温度范围是 16~30 °C。参照图 7、图 8 的温度统计, 这里可以判定改性生土民居、普通生土民居、砖砌民居在典型夏季天气下室内平均温度均达到 II 级标准, 但对于全天逐时温度, 改性生土民居表现最为优秀, 全天 24 h 仅下午 17:00—20:00 时温度超过 30 °C, 最高温度为 30.8 °C, 其他时段温度均符合 II 级要求, 合格率为 83.3%, 而普通生土民居、砖砌民居全天逐时温度能达到 II 级要求的比率分别为 75% 和 66.7%。而改性生土民居和砖砌民居冬季室内温度比普通生土民居稍高, 但总体来说这三类民居的冬季室温对比标准给出的 16 °C 温度下限差距较大, 平均温度和任何一时段温度都达不到 II 级标准的最低要求。

对于无人工冷热源的民居内的人的主观热湿环境评价而言, 《民用建筑室内热湿环境评价标准》5.2.2 节给出了预计适应性平均热感觉指标 (APMV) 作为衡量依据, 预计适应性平均热感觉指标 (APMV) 按下式计算:

$$APMV = PMV / (1 + \lambda \cdot PMV)$$

其中 PMV 为预计平均热感觉指标, λ 为自适应系数. 对于冬冷夏热地区的居住建筑, λ 在夏季取 0.21, 冬季取 -0.49, 其他参数参考相关规定以及重庆当地情况: 夏季服装热阻取 0.36 clo, 室内风速取 0.2 m/s, 代谢率为 1.2 met; 冬季服装热阻取 1.5 clo, 室内风速取 0.1 m/s, 代谢率为 1.2 met. 先按照《民用建筑室内热湿环境评价标准》给出的方法计算在冬夏典型天气的改性土坯房屋的 PMV 的取值, 然后代入 (1) 得到 $APMV$ 值. 标准规定当 $-0.5 \leq APMV \leq 0.5$, 环境属于 I 级标准, 处于 ± 1 和 ± 0.5 间属于 II 级标准, 否则属于 III 级.

实际通过计算得到的 $APMV$ 的评级发现, 改性土坯建筑的夏季室内热舒适性最好, 有 71% 的时间能达到 II 级标准以上, 且 38% 时间达到 I 级, 普通生土民居紧随其后, 对应的数据分别为 67% 和 38%, 砖砌民居最差, 仅有 54% 的时间能达到 II 级标准以上, 17% 时间达到 I 级标准, 但这三类建筑冬季时段热舒适性很差, 所有时段均未达到 II 级标准.

由此看来, 改性土坯建造的建筑的夏季热环境更好, 冬季热环境则比较糟糕. 但对当地居民的随机走访表明, 生土房屋的夏季热舒适性得到了大家的一致认可, 而尽管当地冬天室内外温度长期低于标准规定的 16℃ 下限, 且未有供暖设施, 90% 的当地居民仍然表示可以接受现有的居住环境, 这主要是因为当地人长期生活这样的环境中, 已经适应了这样的较低温环境, 加上增添衣物、调节活动状态等措施也可帮助御寒, 可以正常生活. 这从一定程度上反映出关于冬季无任何室内供暖措施的农村住宅的热环境评价的 16℃ 下限标准并不能全涵盖我国广大的农村地区, 关于冬季无任何室内供暖措施的农村住宅的室温限值, 可以考虑在 16℃ 下增设温度下限. 《农村居住建筑节能设计标准》^[12] 在夏热冬冷地区, 室内温度为 8℃ 能满足农民的最低心理预期和基本生活需要, 有调查^[13] 也指出 8℃ 是农村居民冬季可以接受的最低室内温度. 因此如果以 8℃ 作为当地住宅的冬季室温最低限值, 则改性生土民居冬季热环境能满足当地农民的最低生活需求.

4 结 论

通过对青云峡村的改性生土民居的冬季室内温度实测以及对相同条件下改性生土、普通生土、砖砌民居模型的冬夏季热环境模拟, 可以得出以下结论:

- 1) 由于没有人员和设备热扰, 相比于室外温度的波动, 改性生土民居房间内的平稳的温度变化反映了改性土坯墙良好的蓄热保温性能.
- 2) 对比改性生土民居和普通生土、砖砌民居的冬夏热环境, 改性材料的加入改善了生土建筑民居室内热环境, 在保持了生土建筑优异的调节室温能力的同时, 可以提高冬季围护结构的保温性能.
- 3) 改性生土建造的民居虽然较普通民居在保温能力有了提升, 但冬季热环境仍然较差, 仅能满足农民最低生活需求, 为了提高室内热环境质量, 可以采取辅助热源或增设阳光间等措施.
- 4) 改性生土民居在调节室内热环境方面作用显著, 结合改性生土在其他方面较普通生土的材料性质的提升, 后期可以开展更多对改性生土建筑民居的研究.

参考文献:

- [1] 张海林, 储雅珩. 新型城镇化背景下民俗艺术的保护与传承 [J]. 包装工程, 2016, 37(18): 5-8.
- [2] 马 佳. 中国传统民居的生态特色 [J]. 艺术百家, 2012, 28(2): 217-218.
- [3] ÖZDENİZ M B. Bioclimatic Analysis of Traditional Turkish Houses [J]. Environment International, 1991, 17(4): 325-336.
- [4] OOKA R. Field Study on Sustainable Indoor Climate Design of a Japanese Traditional Folk House in Cold Climate Area [J]. Building and Environment, 2002, 37(3): 319-329.
- [5] 胡冗冗, 李万鹏, 何文芳, 等. 秦岭山区民居冬季室内热环境测试 [J]. 太阳能学报, 2011, 32(2): 171-174.
- [6] 孙贺江, 冷木吉. 甘南农区藏式传统民居热环境 [J]. 土木建筑与环境工程, 2014, 36(5): 29-36.
- [7] 朱轶韵, 刘蓬晨, 桑国臣, 等. 陕南秦巴山区乡村民居热环境测试研究 [J]. 太阳能学报, 2016, 37(4): 957-962.

[8] 孔令超,鲍安红,罗书伟,等. 重庆农村地区生土建筑墙体材料改性试验研究 [J]. 新型建筑材料, 2017, 44(7): 45-48.

[9] 李思阳,潭 洋,王乐乐,等. 绿化屋顶对室内热环境及人体热舒适性的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(4): 180-184

[10] 张 爽,李光兵,汪志辉,等. 北碚区近 50 年日照时数变化特征分析 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(11): 127-131.

[11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑室内热湿环境评价标准: GB/T 50785-2012 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

[12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 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, 2014.

[13] 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.

On Indoor Thermal Environment of Earth-Going Dwellings Constructed by Modified Adobe

RAO Kai, BAO An-hong, SUN Du-hong, TANG Qiang
College of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: In order to explore the influence of the addition of modified materials on the indoor thermal environment of living houses, a modified living soil dwelling in Qingyunxia Village, Beibei District, Chongqing, was taken as the research object, based on the measured indoor and outdoor temperature and building structure heat in winter. The parameters of the work, by means of software simulation, through the comparison of the data of common earth-going dwellings and brick houses under the same simulated conditions, the winter and summer thermal environment evaluation, it has been found that the residential buildings constructed by this modified soil not only have soil. The advantages of summer heat insulation, while improving the indoor thermal environment compared with ordinary earth-going dwellings, but indoor winter temperatures are still low, and other measures are needed to improve indoor winter thermal comfort.

Key words: modified raw soil; residential; indoor thermal environment

责任编辑 汤振金