

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2023.01.013

<https://xuebao.xaut.edu.cn>

引文格式:张蕾,王思思,范小娜,朱轶韵. 关中地区传统民居气候适应性研究[J]. 西安理工大学学报, 2023, 39(1): 118-124.

ZHANG Lei, WANG Sisi, FAN Xiaona, ZHU Yiyun. Climate adaptation of traditional dwellings in the Guanzhong region[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2023, 39(1): 118-124.

关中地区传统民居气候适应性研究

张蕾, 王思思, 范小娜, 朱轶韵

(西安理工大学 土木建筑工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 传统民居在发展过程中逐渐形成了适应当地气候的建筑特征,但由于缺乏科学技术指导仍存在一定的不足。为挖掘其气候适应性方面的潜能与优势,以我国关中地区传统民居为例,采用 Climate Consultant 气候分析软件与实地调研测试相结合的方法,总结了当地的气候特征,并对当地传统民居的被动式设计方法及营造机理进行了分析,得到了适宜的建筑被动式策略组合。结果表明,当地传统民居在遮阳、通风及建筑材料选取方面体现出良好的气候适应性,其坡屋顶附带的 1.2 m 宽挑檐在夏季可以遮挡 92% 的太阳辐射,庭院宽长比为 1:4 时可以有效促进民居内部的自然通风,生土墙体使得传统民居冬季室内温度相较于普通砖混民居高 2℃ 左右。此外,被动式太阳能采暖在当地具有较大利用潜力,为民居增设南向附加阳光间后,南向房间室内平均温度可以提升 1.3℃。

关键词: 关中地区; 传统民居; 气候适应性; 被动式策略

中图分类号: TU111.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2023)01-0118-07

Climate adaptation of traditional dwellings in the Guanzhong region

ZHANG Lei, WANG Sisi, FAN Xiaona, ZHU Yiyun

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

Abstract: In the process of development, traditional dwellings have gradually formed architectural features adapted to the local climate; however, there are still some certain deficiencies due to the lack of scientific and technical guidance. The purpose of this study is to exploit the potential and advantages in terms of climate adaptation, with the traditional dwellings in Guanzhong area taken as an example. Using the combination of the climate analysis software Climate Consultant and field research tests, the local climate characteristics are summarized. Besides, the passive design methods and construction mechanisms of local traditional dwellings are analyzed, with suitable combination of passive strategies for buildings obtained. The results show that the local traditional dwellings are well adapted to the climate in terms of shading, ventilation and the choice of building materials. The 1.2 m wide eaves attached to the sloping roof can block 92% of the solar radiation in the summer; when the width to length ratio of the courtyard is 1:4, it can effectively promote the natural ventilation inside the dwelling; the raw soil walls make the indoor temperature of traditional houses about 2℃ higher than that of ordinary brick-concrete houses in winter. Moreover, the passive solar heating has great potential for local utilization, and the average indoor temperature of south-facing rooms can be increased by 1.3℃, after adding a south-facing additional sunshine room for the dwelling.

收稿日期: 2022-06-18; 网络首发日期: 2022-10-12

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20221012.1424.010.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52078419); 陕西省科技厅基金资助项目(2022JQ-555)

第一作者: 张蕾, 女, 硕士, 讲师, 研究方向为建筑历史与理论。E-mail: 1220928050@qq.com

通信作者: 朱轶韵, 女, 博士, 教授, 博导, 研究方向为绿色建筑与建筑节能。E-mail: zyyun@xaut.edu.cn

Key words: Guanzhong region; traditional dwellings; climate adaptation; passive strategies

我国传统民居有着数千年的发展历史,其发展过程与气候和社会环境有着不可分割的关系。在以农业生产方式为主的背景下,经过不断“试错,进化”而来的传统民居^[1],其建筑形式、空间布局和围护结构材料有着符合当地气候特点的地域特色,即使没有采暖、空调等设施,也可以满足人们对室内舒适度的一部分需求^[2]。但随着气候的变化和社会的发展,民居的部分性能有所下降,已无法满足人们对建筑室内舒适度日益增高的需求。因此对传统民居气候适应性的优势及缺陷做出评价,对其不足之处进行因地制宜地优化,以此来提高室内舒适度,促进传统民居的可持续发展。

建筑气候适应性分析方法近年来被广泛应用于传统民居的优化设计中。何泉等^[3]通过气候分析软件,肯定了拉萨传统民居气候适应性方面的优势,并对其不足之处提出了适宜的被动式策略。张涛等^[4]以青海庄窠为研究对象,认为其在空间形态和热工性能两方面都具有良好的气候适应性特性。韩胜飞等^[5]针对云南沧源佤族传统民居的气候特点,分析得到被动式太阳能利用在当地具有一定的潜力。

近年来多位学者对关中地区民居进行了研究,虞志淳等^[6]通过对关中传统民居的热环境测试,发现了其室内热环境差,能耗高的问题,并针对以上问题提出了相应的优化措施。赵文学等^[7]对民居冬季室内气象参数进行了测试,分析了室内热环境的形成原因,并提出了改造建议。何梅等^[8]针对关中地区农村住宅的调研现状,从室内分区、围护结构、被动式太阳能利用等方面提出了适合该地区的节能策略。现有的研究大多只单独针对冬季或夏季对关中地区民居的优化提出建议,且缺少定量的分析验证。

本研究以关中地区传统民居为研究对象,采用实地调研测试与模拟相结合的方法,得到当地冬夏两季的气候特点,根据该结果分析传统民居在气候适应性方面的优势及存在的不足,进而提出适宜的被动式优化策略,以期为关中地区传统民居的传承及发展提供参考。

1 研究对象及方法

1.1 研究对象

关中地区的冬夏两季较长,独特气候特点使得当地形成了南北狭长的窄院型合院式民居^[9]。民居

南向房间为厅房,北向房间为门房,东西两侧为厢房,用作卧室、储藏和厨房。厅房的开间约为9~10 m,进深5~6 m,东西向厢房的开间随房间数量变化,进深一般在3 m左右。

1.2 研究方法

1.2.1 Climate Consultant 软件气候分析

气候分析软件可以科学客观地评判不同地区的气候特点,避免了人为的盲目性和主观性。Climate Consultant 通过读取和分析某地区的气候数据,进而将其结果转化为直观的图表,如干球温度、太阳辐射强度、焓湿图等^[10]。此外,该软件可以在焓湿图的基础上,有针对性地为该地区建筑提供15种气候适应性策略。因此本研究选择 Climate Consultant 分析关中地区的气候条件,并进一步解析当地传统民居气候适应性策略。

1.2.2 民居热环境实测

采用 TESTO175-H 型自记式温湿度计对关中地区传统民居进行热环境实地测试。课题组分别于2020年1月10日和2021年7月25日对当地代表性的典型建筑进行室内外温湿度测试,数据采集间隔为1 h。测试民居的平面图及测点布置见图1,民居围护结构的构造见表1。

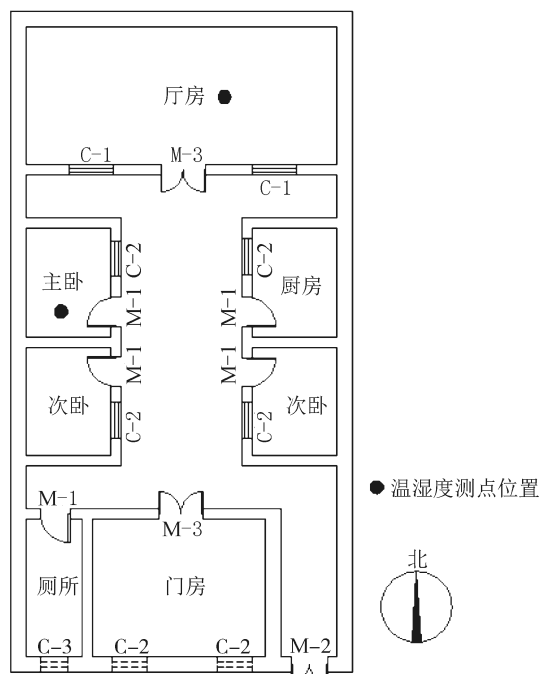


图1 测试民居平面图

Fig. 1 Civilian map for the test dwellings

表 1 传统民居构造详情

Tab. 1 Details of traditional house construction

围护结构	构造
屋顶	坡屋顶-传统木结构青瓦屋顶 30 mm 青瓦+30 mm 粘土层+30 mm 木板
外墙	下部 900 mm 部分: 20 mm 石灰石膏+370 mm 青砖+20 mm 石灰石膏 上部至屋顶部分: 20 mm 石灰石膏+370 mm 生土墙+ 20 mm 石灰石膏
内墙	20 mm 水泥砂浆+240 mm 粘土实心砖+ 20 mm 水泥砂浆
门	20 mm 木门
窗	木制窗框+窗纸覆面、木制窗框+6 mm 普通玻璃
地面	素土+青砖铺地

2 关中地区气候分析及热环境测试结果

2.1 关中地区气候分析

关中位于我国陕西省中部,渭河两岸,南依秦岭,北眺北山,有“八百里秦川”之称。该地区在我国建筑气候分区上属于寒冷气候区,同时也属于大陆性半湿润半干旱季风气候区,年平均温度在 9~13℃,年降水量为 500~800 mm,多发生在夏季 6~9 月份,占全年总降水量的 60%,冬春降水较少,空气相对湿度较小。

利用 Climate Consultant 读取关中地区代表城市之一西安的典型气象年数据,经分析计算得到适宜该地区最佳组合设计策略和焓湿图,见图 2。

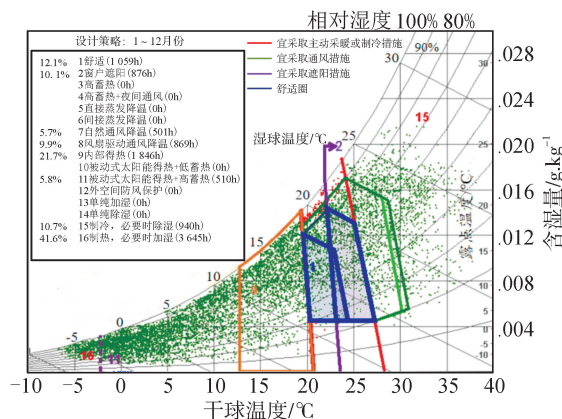


图 2 西安市焓湿图

Fig. 2 Enthalpy-humidity diagram of Xi'an

由图 2 可知,当地全年仅有 12.1% 的时间处于舒适时间,41.6% 的时间需要采取主动采暖的方式,

8.4% 的时间需要使用空调进行制冷。除主动措施外,在各项被动式策略中,有效时间比从高到低排列依次为内部得热(21.1%)、遮阳(10%)、被动式采暖+高蓄热(5.8%)、自然通风(5.7%)。虽然软件分析内部得热的有效时间占全年总时间的 21.1%,但经调研发现,民居内部电器、照明数量有限,通过此方法获得热量的可能性较少,这一策略并不适合关中地区。

在不考虑主动式策略的前提下得到各月及全年的适宜性被动式策略组合方式,见图 3。分析可得,当地春秋过渡季舒适时间较长,采取遮阳和通风措施在夏季对于提高舒适度有较大潜力;冬季室内热舒适度较低,可以利用被动式采暖和高蓄热墙体材料来改善冬季室内热环境。

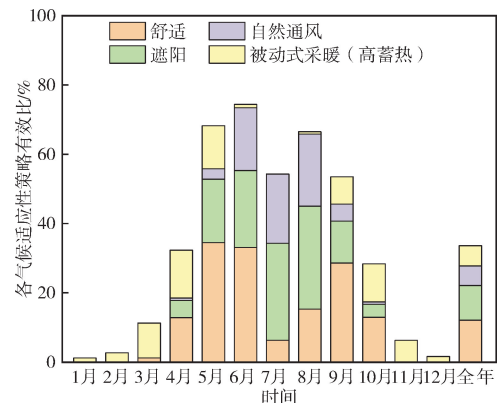


图 3 各气候适应性策略各月有效时间比

Fig. 3 Effective time ratio of climate adaptation strategy

2.2 民居热环境测试结果

2.2.1 夏季室内外空气温湿度

民居夏季室内外温湿度变化情况见图 4 和图 5。由图 4 可知,测试期间室外平均温度为 30.2℃,最高温度为 33℃。由图 5 可知,测试当天民居厅房和主卧的平均温度分别为 26.4℃和 26.6℃,波动范围分别为 24.9℃~27.7℃和 25.9℃~27.1℃,处于夏季室内舒适温度区间内^[11];相对湿度波动范围分别为 72.2%~76.4%和 70.2%~76.5%,已超出《中国建筑节能年度发展研究报告》^[12]中规定的舒适度范围。

2.2.2 冬季室内外空气温湿度

图 6 和图 7 为民居冬季室内外温湿度测试结果。由图 6 可知,当地冬季气候寒冷,室外最高温度为 6℃,最低温度为 -1.3℃,平均温度为 2.5℃。由图 7 可知,民居厅房和主卧的平均温度分别为 6.8℃和 5.3℃,温度波动范围分别为 5.4℃~8.9℃和 3.8℃~7.6℃,无法满足人体热舒适需求^[13]。因此,采用被动式太阳能采暖技术提升室内温度,改善室内热环境是十分有必要的。

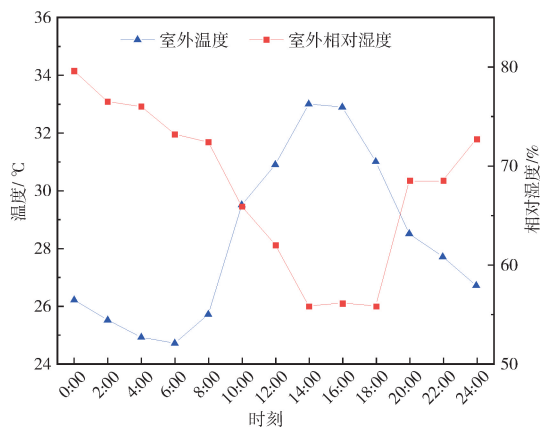


图4 夏季测试期间室外空气温湿度

Fig. 4 Outdoor air temperature and humidity during summer test

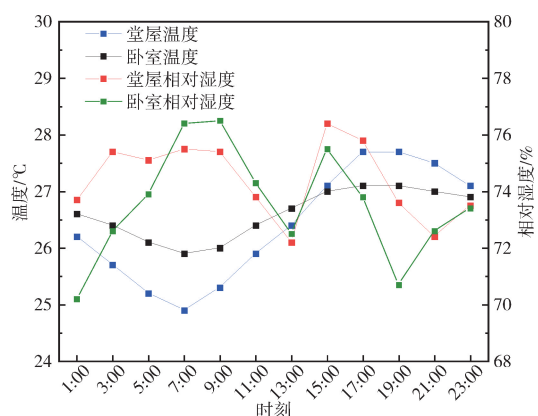


图5 夏季测试期间室内空气温湿度

Fig. 5 Indoor air temperature and humidity during summer test

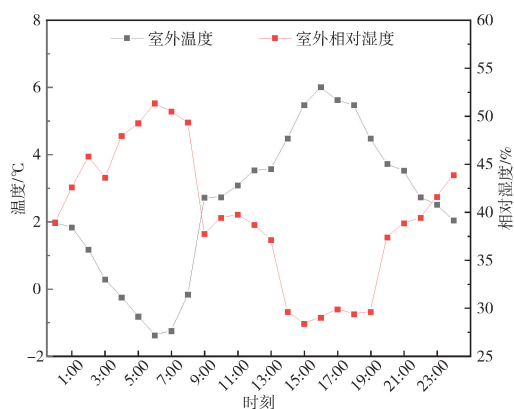


图6 冬季测试期间室外空气温湿度

Fig. 6 Outdoor air temperature and humidity during winter test

3 传统民居气候适应性分析

根据 Climate Consultant 软件对关中地区的气候分析给出的被动式策略组合和当地民居热环境实测结果,本研究主要针对传统民居的遮阳、自然通风、墙体的热工性能和被动式太阳能采暖等方面进行分析及优化。

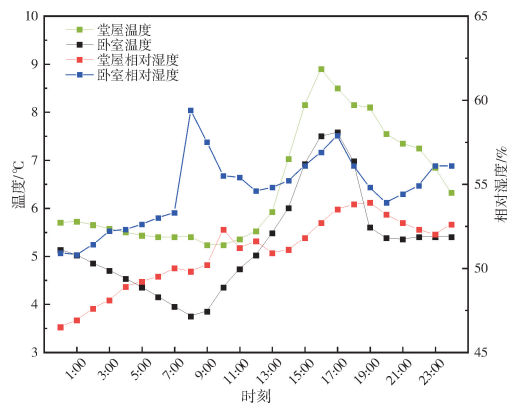


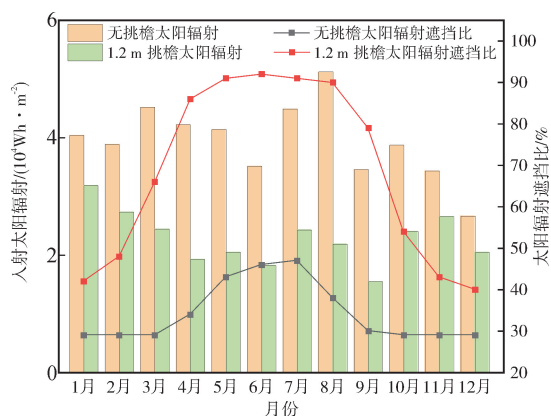
图7 冬季测试期间室内空气温湿度

Fig. 7 Indoor air temperature and humidity during winter test

3.1 遮阳

根据气候分析可知,关中地区4~8月份宜采用遮阳的策略来提高室内舒适度。当地传统民居庭院空间狭长,东西厢房只向内院开窗,一定程度上减少了太阳辐射对窗户的直射。其次,民居的屋顶形式多为坡屋顶,附有1.2 m左右宽的挑檐,夏季太阳高度角较大,挑檐阻挡了部分太阳辐射进入室内,降低了室内温度。

为定量分析挑檐对房间的遮阳效果,本文采用 Ecotect 读取西安地区的气象参数,以南向厅房为例建立模型,分别对有无挑檐两种工况进行模拟,得到厅房各月受到的太阳辐射总量及被遮挡百分比,结果见图8。由图8可知,在夏季,挑檐的存在大幅减少了各方向入射太阳辐射量,1.2 m宽的挑檐使得太阳辐射遮挡比高达92%。在冬季,由于太阳高度角变小,挑檐对入射太阳辐射的影响较小。

图8 厅房各月总计太阳辐射入射量及遮挡比
Fig. 8 Monthly total solar radiation incident and occlusion ratio of the hall room

3.2 庭院通风

夏季的自然通风可以带走过多的湿气,是提升民居夏季室内舒适度的有效策略,而建筑的空间布局

形式是影响其自然通风状况一大因素。为探究当地传统民居独特的窄院空间的自然通风性能,利用斯维尔 Vent 软件对其庭院空间的通风进行模拟定量分析。传统民居的庭院宽长比通常在 1 : 3~1 : 4,厅房与厢房之间有 1~3 m 宽的走廊^[14],本研究设置以下四种工况(见表 2)来进行模拟分析,结果见图 9。

表 2 庭院尺寸比例变化的四种工况

Tab.2 Four working conditions of courtyard size ratio change

工况	面宽/m	进深/m	庭院宽长比	厅房与厢房间走廊的距离/m
工况 1	4	12	1 : 3	1.5
工况 2	4	12	1 : 3	3.0
工况 3	4	16	1 : 4	1.5
工况 4	4	16	1 : 4	3.0

由图 9 可知,当庭院面宽与进深之比为 1 : 3 时,庭院中心无风区面积较大,各房间门前风速达到 0.7 m/s;当面宽与进深之比为 1 : 4 时,庭院中央无风区面积缩小,各房间门前风速达到 0.8 m/s。这是因为进深增大,庭院的“狭管效应”增强,故当地独有的窄院形式在一定程度上有利于促进夏季通风。

3.3 墙体热工性能

外墙体是建筑抵御不利气候的重要屏障,其材料的热工性能是影响室内热量和温度的波动主要因素。当地传统民居外墙的主要材料是天然环保的生土,为评价生土墙的热工性能,将其与现代民居普遍使用的实心砖墙和空心砖墙对比,在 Ecotect 和 Design Builder 中建立厅房的简易模型,分别模拟在不同墙体构造下该房间最冷日围护结构得失热量和室内逐时温度。模型设置中屋面、门窗构造与实测民居构造保持一致,三种不同墙体材料参数及热工指标见表 3,模拟结果见图 10 和图 11。

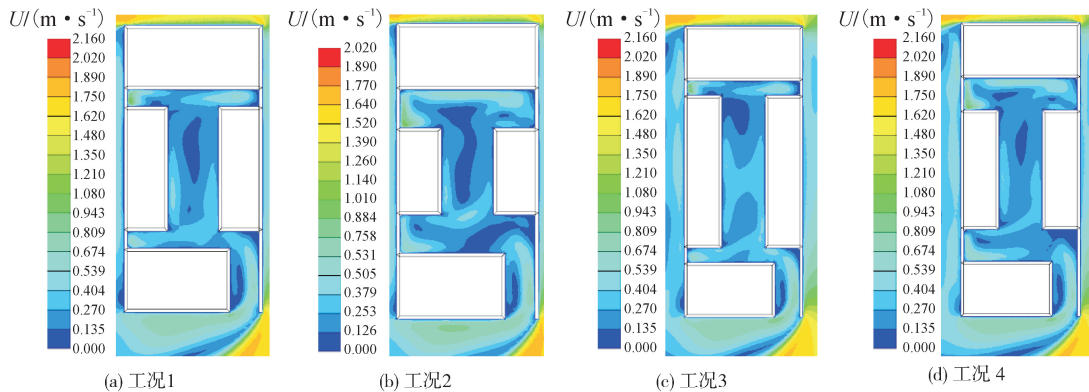


图 9 不同庭院尺寸的风速云图

Fig.9 Wind speed nephogram for different courtyard sizes

表 3 不同墙体构造及热工指标

Tab.3 Different wall constructions

墙体	墙体构造	蓄热系数/ (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	传热系数/ (W·m ⁻² ·K ⁻¹)
生土墙体	20 mm 石灰石膏砂浆	9.44	
	450 mm 生土墙	13.054	1.23
	20 mm 石灰石膏砂浆	9.44	
实心砖墙体	20 mm 水泥砂浆	11.37	
	240 mm 实心砖	10.551	1.93
	20 mm 水泥砂浆	11.37	
空心砖墙体	20 mm 水泥砂浆	11.37	
	240 mm 空心砖	7.25	1.83
	20 mm 水泥砂浆	11.37	

图 10 为最冷日围护结构各时间段内得失热状况,三种墙体构造均在 12:00 至 17:00 时间段内热损失量逐渐减少。经计算得到在最冷日全天累计得失热中,生土墙体热损失量最少,为 77 848 Wh,实心砖墙和空心砖墙的热损失量较大,分别为 116 202 Wh 和 116 264 Wh。通过对比可以得出在寒冷的气候条件下,相较于现代砖混民居的墙体构造,生土墙体高热阻的特性可以减少室内外热量传递,有利于维持室内热环境的稳定。此外,采用生土墙作为外围护结构时,最冷日室内平均温度为 5.2℃,日温差为 1.5℃。实心砖墙和空心砖墙作为围护结构时,室内平均温度分别为 3.4℃和 3.2℃,温差分别为 1.6℃和 1.7℃。可见传统生土民居的室内温度相较于现代普通砖混民居高 2℃左右,其围护结构材料体现出了良好的气候适应性。

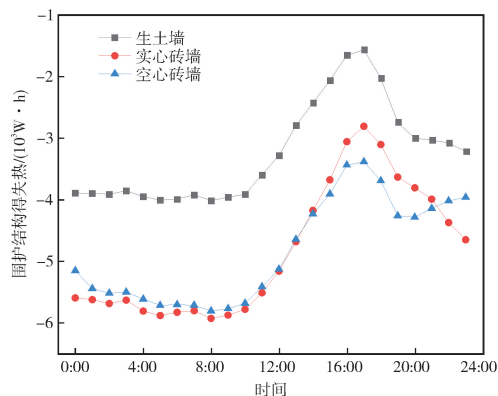


图 10 最冷日围护结构得失热

Fig. 10 Heat gain and loss of the envelope structure on the coldest day

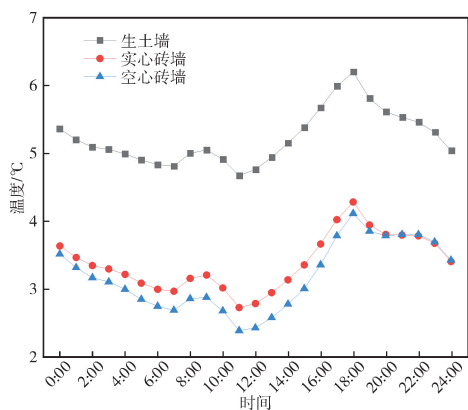


图 11 最冷日室内逐时温度

Fig. 11 Hourly indoor temperature on the coldest day

3.4 被动式太阳能采暖

被动式太阳能采暖是指在不借助机械外力等主动措施的前提下,通过建筑的朝向、空间布局方式等^[15]手段使得室内热环境达到冬季热舒适区间。在调研测试过程中发现当地传统民居并无被动式采暖的措施,考虑到其普遍带有 1.2 m 左右宽的檐廊,可以将南向厅房的檐廊封闭形成简易的附加阳光间。为定量分析阳光间对室内温度的提升效果,利用 Design Builder 建立南向厅房的模型,对比有无阳光间两种情况下冬至日室内温度,结果见图 12 和图 13。

由图 12 和 13 可知,冬至日室外最低温度为 -6.9°C ,无阳光间的情况下,南向厅房室内平均温度为 5.2°C ,日温差为 1.5°C 。将其南向檐廊设为简易阳光间后,阳光房内最高温度为 15°C ,厅房室内平均温度为 6.5°C ,日温差为 0.8°C 。相较于无阳光间的情况,室内平均温度提高了约 1.3°C ,且在夜间温度降低缓慢,波动幅度减小。因此,附加阳光间式的被动式采暖技术对于改善当地民居热环境有着一定的作用。

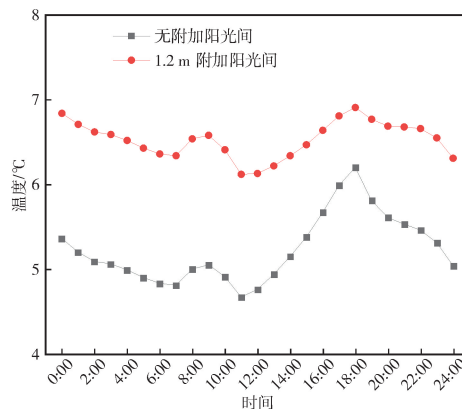


图 12 有无阳光间厅房室内温度对比

Fig. 12 Comparison of indoor temperature between rooms with and without sunroom

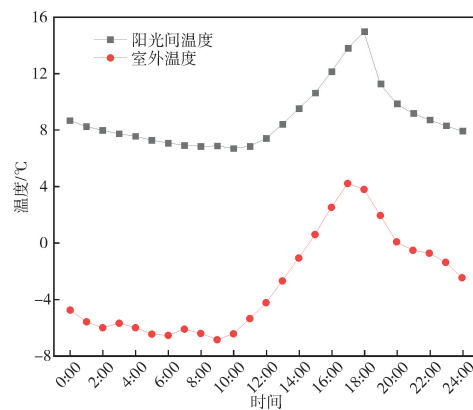


图 13 室外及阳光间内温度

Fig. 13 Outdoor and sunroom temperature

4 结论

通过 Climate Consultant 软件和实地热环境测试结合的方法,科学客观地评价了关中地区的气候条件,进而提出了适宜该地区的被动式策略组合,利用软件模拟验证了当地传统民居的气候适应性及生态价值。

1) 当地传统民居独有的窄院院落形式及坡屋顶挑檐使得其在夏季遮阳、自然通风方面展现出良好的气候适应性。

2) 传统民居以生土为主要材料作为外墙体,其冬季室内温度相较于普通砖混民居高 2°C 左右,室内温度波动减小,有利于创造稳定的热环境。

3) 关中地区太阳能资源丰富,且在当地具有一定的利用潜力,采用附加阳光间式的被动式太阳能采暖技术可以使民居室内温度在最冷日提升 1.3°C 。

综上所述,传统民居有着丰富的地域特色,在民居的改造和建设过程中,要继承其优良的气候适应性优点,促进民居传承和发展,为当地居民创造更适宜的居住环境。

参考文献:

- [1] 刘加平. 新农村建设与建筑节能对策[J]. 建设科技, 2012(9):26-28.
- [2] 郝石盟,宋晔皓. 不同建筑体系下的建筑气候适应性概念辨析[J]. 建筑学报,2016(9):102-107.
HAO Shimeng, SONG Yehao. An analysis of the concepts of climate response under various architectural systems[J]. Architectural Journal, 2016(9): 102-107.
- [3] 何泉,王文超,刘加平,等. 基于 Climate Consultant 的拉萨传统民居气候适应性分析[J]. 建筑科学,2017,33(4):94-100.
HE Quan, WANG Wenchao, LIU Jiaping, et al. Climatic adaptation analysis of vernacular houses of Lhasa by Climate Consultant[J]. Building Science, 2017, 33(4): 94-100.
- [4] 张涛,张琪玮,买亚锋. 传统民居青海庄窠的气候适应性研究[J]. 太阳能学报,2021,42(8):1-6.
ZHANG Tao, ZHANG Qiwei, MAI Yafeng. Study on climate adaptability of traditional Zhuangke dwellings in Qinhai[J]. Acta Energetica Sinica, 2021, 42(8): 1-6.
- [5] 韩胜飞,宋冰,杨柳,等. 云南沧源佤族传统民居气候适应性研究[J]. 建筑节能(中英文),2021,49(11):116-124.
HAN Shengfei, SONG Bing, YANG Liu, et al. Climate adaptability of Wa minority traditional dwellings in Cangyuan county, Yunnan Province[J]. Building Energy Efficiency, 2021, 49(11): 116-124.
- [6] 虞志淳,孟艳红. 陕西关中农村传统民居绿色优化设计[J]. 建筑节能,2020,48(11):58-62,123.
YU Zhichun, MENG Yanhong. The green optimal design of traditional dwelling in Shaanxi Guanzhong rural area[J]. Building Energy Efficiency, 2020, 48(11): 58-62, 123.
- [7] 赵文学,安赞刚,刘加平. 陕西关中地区新型民居冬季室内热环境测试分析[J]. 建筑科学,2013,29(12):72-76.
ZHAO Wenxue, AN Yungang, LIU Jiaping. Analysis of indoor thermal environment test of new civil housings in Guanzhong area, Shanxi Province in winter [J]. Building Science, 2013, 29(12): 72-76.
- [8] 何梅,董洪庆,胡艳丽. 陕西关中农村住宅节能设计策略[J]. 四川建筑科学研究,2011,37(2):242-244.
- [9] 虞志淳,刘加平. 关中民居解析[J]. 西北大学学报(自然科学版),2009,39(5):860-864.
YU Zhichun, LIU Jiaping. Research on vernacular dwelling of Guanzhong area[J]. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 2009, 39(5): 860-864.
- [10] MWIZERWA F, KR GUPTA M. Establishing climate responsive building design strategies using Climate Consultant[J]. International Journal of Recent Technology and Engineering, 2020, 8(5): 3620-3624.
- [11] 虞志淳,孟艳红. 陕西关中地区农村民居夏季室内热环境与能耗测试分析[J]. 建筑节能,2018,46(1):39-46.
YU Zhichun, MENG Yanhong. Test and analysis of indoor thermal environment and energy consumption in rural residential buildings of central Shaanxi plain in Summer[J]. Building Energy Efficiency, 2018, 46(1): 39-46.
- [12] 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 2021(城镇住宅专题)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2021.
- [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.
YANG Liu, YANG Qian, YAN Haiyan, et al. Field study on thermal comfort of rural houses in winter in a the Guanzhong region, Shaanxi Province[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition), 2011, 43(4): 551-556.
- [14] 李涛,杨琦,伍雯璨. 关中“窄院民居”庭院空间的自然通风定量分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2014,46(5):721-725.
LI Tao, YANG Qi, WU Wencan. Natural ventilation quantitative analysis on the courtyard space of narrow courtyard houses in mid-Shaanxi[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology(Natural Science Edition), 2014, 46(5): 721-725.
- [15] 舒波,张阳,王家倩,等. 被动式太阳能建筑整合设计研究进展及展望[J]. 工业建筑,2021,51(7):177-184.
SHU Bo, ZHANG Yang, WANG Jiaqian, et al. Research progress and prospect of integrated design of passive solar buildings [J]. Industrial Construction, 2021, 51(7): 177-184.

(责任编辑 王绪迪)