

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2021.03.003

编竹夹泥墙民居室内热环境与围护结构热特性分析

徐亚男, 杨真静

(重庆大学 a.建筑城规学院; b.山地城镇建设与新技术教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要:编竹夹泥墙民居是巴渝地区传统民居的重要类型。为了解编竹夹泥墙民居夏季室内热环境特点,在重庆松溉古镇选择了一典型户进行实地测量分析,并以30℃为适应性舒适温度上限进行评价。结果显示,民居室内全天低于30℃的累积频率为70%,但热环境昼夜表现差异较大:日间较差,室内温度低于30℃的累积频率仅为46%;而夜间较好,低于30℃的累积频率达到90%以上。分析其围护结构热特性,编竹夹泥墙和冷摊瓦屋面都较轻薄,隔热性能和热稳定性都较差,热性能仅达到《农村居住建筑节能设计标准》的56%和14%,但轻薄的围护结构具有良好的散热性,可有效提高建筑的夜间降温能力。吊脚楼形式令室内热环境更易受室外环境的影响,但与良好的微气候相结合,有利于调节室内热环境,有效解决湿热地区非空调的建筑夜间舒适性问题,突出反映了该类民居与当地湿热气候相适应的特征。

关键词:编竹夹泥墙;热环境;温度累积频率;热特性;传统民居

中图分类号:TU241.5; TU111.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-582X(2020)03-022-09

Research on indoor thermal environment and enclosure's thermal characteristics of dwellings with muddy wall circled by bamboos

XU Yanan, YANG Zhenjing

(a. College of Architecture and Urban Planning; b. Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: The bamboo-clay-wall dwellings are an important type of traditional dwellings in the Bayu region. To analyse indoor thermal environment of bamboo-clay-wall dwelling, a typical house in Songji Town, Chongqing was chosen to be measured. Then, 30℃ is used as the upper limit of adaptive temperature to evaluate the indoor thermal environment of the measured house. The results show that indoor temperature was below 30℃ in 70% of time a day, and the performance is different between day and night. In the daytime, about 46% of the time indoor temperature is lower than 30℃. At night, more than 90% of the time indoor temperature is lower than 30℃. The thermal insulation and thermal stability of the envelopes are poor, the thermal resistance of roof and wall only reached 14% and 56% to the regulations mentioned in *Design Standard for Energy efficiency of Rural Residential Buildings*. But this

收稿日期:2020-07-08

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0700302)。

Supported by the China National Key R&D Program (2016YFC0700302).

作者简介:徐亚男(1990—),女,博士研究生,主要从事建筑热环境研究。

通讯作者:杨真静,女,副教授,博士生导师,(E-mail)youngzj@cqu.edu.cn。

makes the envelopes have good dissipation, and effectively improve the building's cooling capacity at night. Stilted floors make the indoor thermal environment more susceptible to the influence of the outdoor environment, but combined with a good micro-climate, it is beneficial to adjust the indoor thermal environment, especially to effectively solve the problem of building comfort at night in hot and humid areas without air conditioning. It reflects the characteristic that this kind of dwelling house adapts to the local hot and humid climate.

Keywords: muddy wall circled by bamboos; indoor thermal environment; cumulative frequency; thermal characteristics; vernacular dwellings

编竹夹泥墙民居是夏热冬冷地区特有的传统民居类型,其建筑结构类似于现代框架结构,木柱、枋为承重构件,夹泥墙只起围护作用,屋面为冷摊瓦坡屋面,常以吊脚楼形式出现,与山地地形相适应^[1]。在巴渝农村地区,该类民居平面形式多种多样,而在用地紧张的场镇中,多为纵向“一”字型,面宽3~4 m,进深可达十几米,层数多为1~2层,邻与邻间共用墙体,建筑间相互紧贴,建筑布局紧凑^[2]。目前,关于我国夏热冬冷地区传统民居已有研究主要集中在空间形态、营造技术及建筑文化的传承与保护^[3-5],部分热湿环境相关研究都集中在砖、木结构^[6-9],对编竹夹泥墙的研究非常少。Phsanam^[10]通过实验模型的方法对比了泰国的竹编双层涂泥墙、单层涂泥墙、竹编墙体的室内热环境。田瀚元^[11]在梳理重庆传统民居时,发现编竹夹泥墙具有通而不透的特点。从仅有的研究来看,都缺乏对该类民居热环境的实地测量及形成机制分析,重庆作为全国城乡统筹试验区,积极响应国家加快建设美丽宜居乡村的要求。传统民居是农村建筑的重要类型,大量的编竹夹泥墙民居广泛存在于巴渝场镇中,因此,对重庆地区编竹夹泥墙民居的室内热环境研究是改善农村居住环境的重要内容,不仅可以为建设美丽宜居乡村提供室内热环境的比较基准,同时还为未来传统民居的节能设计和可持续发展提供参考数据。文中以重庆编竹夹泥墙民居为研究对象,对夏季室内热环境参数进行测量,并结合围护结构的热特性和环境微气候分析其室内热环境的形成机制。

1 研究对象与研究方法

1.1 研究对象简介

重庆各古镇中有大量的编竹夹泥墙民居。其中,松溉古镇南临长江,地处丘陵地区,山体较多,地形复杂。镇内民居高低错落,排列有序,屋顶成片,显现出和谐的山、水、镇整体格局^[12]。该地区在我国的热工分区中属于夏热冬冷地区,累年最热月平均温度为27.3℃,最冷月平均温度为7.2℃,累年月平均相对湿度均在70%以上(见图1),年均降雨量1 030 mm,建筑设计必须满足夏季防热,兼顾冬季保温。

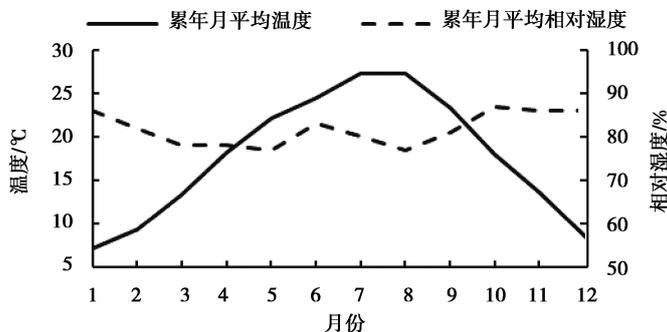


图1 永川区累年月平均温湿度

Fig 1 Average annual temperature and relative humidity of Yongchuan district

被测民居位于古镇东南部,为一临江中间户(见图 2),墙体为 50 mm 厚的编竹夹泥墙,屋顶为冷摊瓦坡屋顶,围护结构保存比较完整,且长期有人居住。建筑朝向为南偏东 30°,北侧是宽约 3.5 m 的石板街道,南侧为绿化坡地,紧邻长江。该建筑共 2 层,平街一层,下吊一层(见图 3),是重庆地区典型的吊脚楼建筑。一层主要房间为堂屋、卧室、厨房,下吊层为牲畜棚。堂屋、厨房接地,地面为三合土,卧室 1 下部一半接地,一半架空,卧室 2 下部全为下吊层,架空楼板为 30 mm 厚的松木板。除堂屋有 1 台吊扇外,其他房间均无降温通风设备。



图 2 古镇总平及典型户位置
Fig 2 Typical house location and site
Plan Songji Town

1.2 测试方案

热环境参数测量时间为 2016 年 7 月 28 日—8 月 6 日,共 10 d,测试内容为室内外空气温湿度、地面温度。测试点如图 3 所示,测试项目和主要使用仪器如表 1 所示。

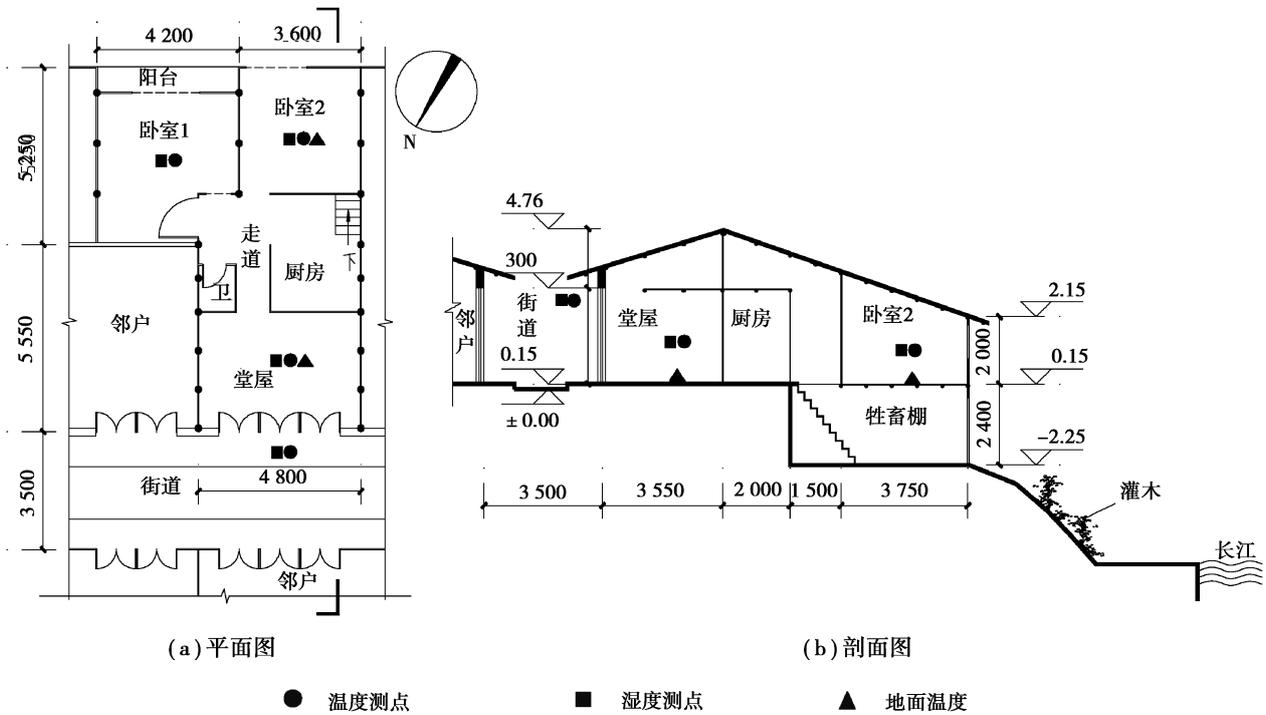


图 3 被测民居平面图、剖面图及测点布置

Fig. 3 The plan, section and survey points of the surveyed dwellings

表 1 测试项目和主要设备

Table 1 Test content and main equipment

测试项目	测试仪器	仪器参数
空气温湿度	HOBO 温湿度计	UX100-003, 量程 -20~70 °C, 15~95%RH, 精度 ±0.6 °C、±7.5%
地面温度	HOBO 温度计、 T 型热电偶	UX100-014M, 量程 -20~70 °C, 精度 ±0.6 °C T 型热电偶: 量程 -200~350 °C, 精度 ±0.5 °C

2 测量结果

2.1 室外气象参数

测量期间室外天气可以明显分为2段(见图4):前6 d 高温连晴,平均温度为 29.9°C ,最高达到 36.8°C ,昼夜温差最大为 12.1°C ,除31日太阳辐射较低外,其他时间太阳辐射均比较接近;后4 d 温度相对较低,太阳辐射减少,室外平均温度为 28°C ,最高为 32.3°C ,昼夜温差最大为 7.0°C 。

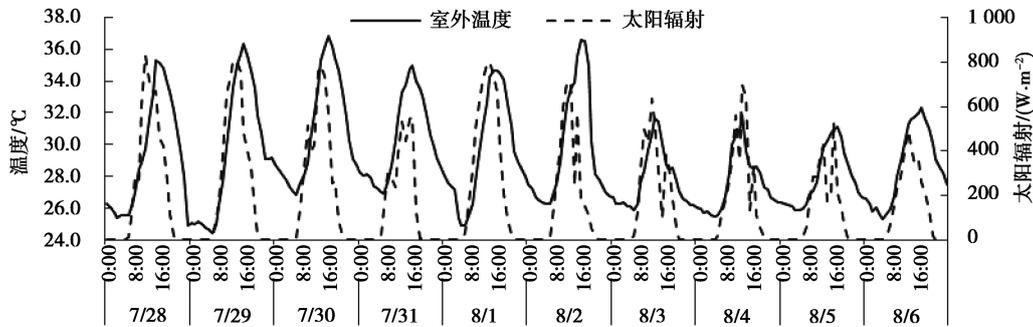


图4 室外气象参数

Fig. 4 Outdoor meteorological parameters

2.2 室内温湿度

测试期间,室内温度紧随室外温度变化,室内温度波幅平均比室外小 2.5°C ,室内外温差较小。7月28日—8月2日为高温时段,室内平均温度为 29.4°C ,比室外低 0.5°C 。8月2日—6日为低温时段,平均温度为 27.8°C ,仅比室外低 0.2°C 。室内温度波峰波谷分别出现在16:00左右和7:00左右,相对室外延迟时间约1 h。

图5为室内各房间与室外温差。正值表示室内温度高于室外,出现在夜间;负值表示室内温度低于室外,出现在白天。夜间的室内温度略高于室外。其中,卧室2温度平均比室外温度高 0.3°C 。卧室1和堂屋空气温度接近,平均比室外温度高 0.8°C 。白天的室内温度低于室外。其中,堂屋温度平均比室外低 1.1°C 。卧室1和卧室2温度平均比室外低 4.0°C 、 3.6°C 。编竹夹泥墙民居以防热为主,高温天气更具有典型性,因此选择连晴高温且温度较为稳定时段中的一天,即7月30日为典型日,对室内热环境进行分析。

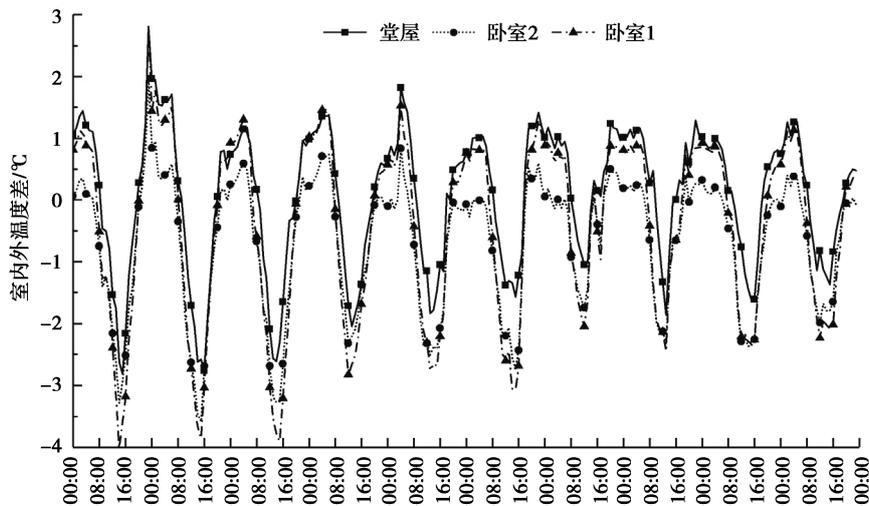


图5 室内与室外温度差

Fig. 5 Temperature difference between indoor and outdoor

典型日民居室内外温湿度如图6所示。室外平均温度为30.9℃,分别比堂屋、卧室1和卧室2温度高0.2℃、0.8℃、0.9℃。室外温度峰值为36.8℃,分别比堂屋、卧室1和卧室2温度高2.3℃、3.8℃、3.2℃。2个卧室温度近似,最大差值仅0.8℃。

湿度曲线与温度曲线趋势相反,相对室外波动较小。室内相对湿度夜间低于室外,白天高于室外,6:00时室外湿度达到最大值87%,卧室与堂屋依次在7:00、8:00达到最大值86%、85%。随着温度升高,室内外相对湿度逐渐下降,室内相对湿度在17:00左右达到最低值,平均湿度为71%,昼夜相对湿度差为30%。

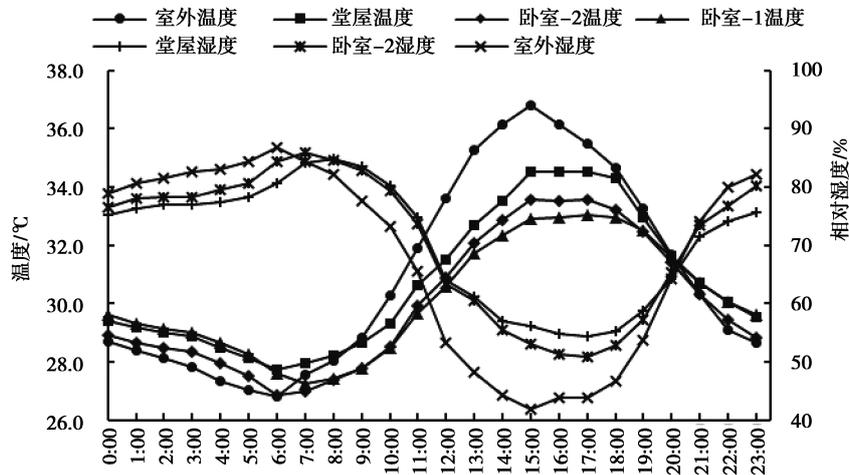


图6 典型日室内空气温湿度

Fig. 6 Indoor air temperature and humidity in typical day

3 室内热湿环境评价

3.1 评价标准

目前,重庆大多数农村传统民居未使用空调降温设备,付祥钊^[13]提出的夏热冬冷地区夏季室内温度不能高于30℃的可居住性标准,《农村居住建筑节能设计标准》(GB/T 50824—2013)中夏热冬冷地区夏季室内计算温度取30℃的规定^[14],《既有居住建筑节能改造技术规程》在对夏热冬冷地区既有居住建筑节能改造方案的室内热环境评估时也把30℃作为良好等级的上限。因此,文中对被测民居的评价以30℃作为农村住宅室内适应性舒适温度的上限。

3.2 热湿环境评价

用累积频率来分析室内热湿环境,各房间的温度累积频率为房间温度小于等于设定温度的时数占总时数的百分比^[15]。将测量结果逐时处理,并从最低温度到最高温度按步长为1℃取整,依次计算小于等于各整数温度的时数占总时数的百分比即累积频率。测量期间堂屋、卧室1和卧室2温度低于30℃的累积频率分别为70%、75%和76%,将近3/4的时间室内温度低于舒适温度上限30℃,室内热环境较能接受。

为进一步明确室内舒适时间分布,将所测结果按照07:00—19:00为白天、19:00—07:00为夜间分别计算温度累积频率结果,如图7所示。夜间温度跨度为25℃~32℃,白天温度跨度为26℃~36℃,夜间各温度累积频率明显大于白天,昼夜分化明显。白天堂屋和卧室温度累积频率曲线较为平行,堂屋温度低于30℃的累积频率为46%。卧室1和卧室2温度累积频率曲线几乎重合,低于30℃的累积频率分别为57%、55%。夜间堂屋、卧室1和卧室2房间低于30℃的累积频率分别为93%、94%和96%,接近白天累积频率的2倍。堂屋和卧室1温度累积频率曲线较为一致。从昼夜分段评价来看,白天室内低于30℃的时间仅有50%左右,夜间室内低于30℃的时间超过90%,因此夜间室内舒适度好于白天。

夏季各房间的湿度累积频率为房间湿度小于等于设定湿度的时数占总时数的百分比。对测量结果进行统计,堂屋、卧室相对湿度小于等于60%的累积频率仅为5%、6%,说明绝大部分时间内室内相对湿度是高于60%,室内湿环境并不理想。

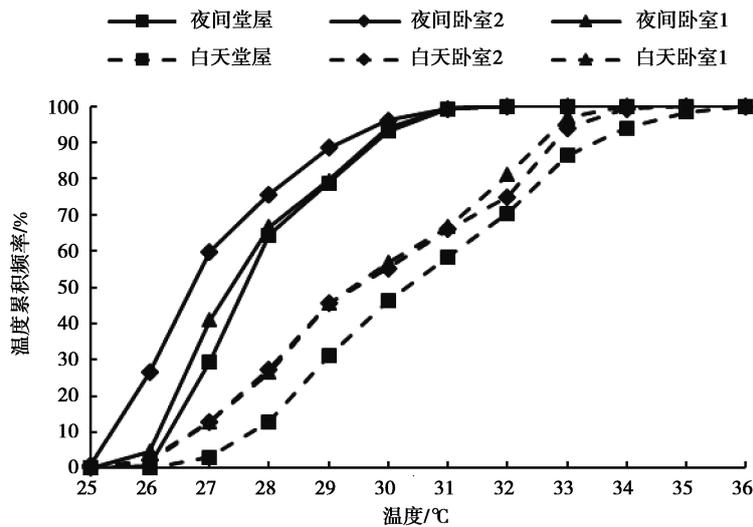


图7 温度累积频率

Fig. 7 Temperature accumulation frequency

在测量期间对该镇村民进行了热感觉主观评价调查,共获得40份有效问卷。在实际热感觉投票中,稍热占60%,很热和不热分别占22.5%和15%,感觉凉快只占2.5%,大多数居民表示可以接受编竹夹泥墙民居的室内热环境,与测量统计结果较为一致。

4 围护结构热工性能与室外微气候分析

通过对室内热湿环境的分析与评价可知,编竹夹泥墙民居的室内热湿环境白天略差,夜间较好,为探究其室内热湿环境形成机制,分析其围护结构及室外微环境。

4.1 围护结构热工性能

编竹夹泥墙为传统手工技艺,为量化掌握编竹夹泥墙的热工性能,对编竹夹泥墙进行了实验室测量和现场测量。试件由农村传统匠人用当地的泥土、竹篾制作,分别测量其自然干燥状态和完全干燥状态下的当量导热系数^[16]。所谓编竹夹泥墙的当量导热系数是指将编竹夹泥墙试件看作完全相同外形尺寸的均匀材质的体块,在相同的边界条件下,该体块与试件具有相同的传热量,此等效体导热系数就可以看作墙体的当量导热系数。通过测量得到编竹夹泥墙在自然干燥状态下的当量导热系数为 $0.18 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,完全干燥状态下当量导热系数为 $0.12 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。按自然状态下的测量结果计算,在常见厚度为 $30 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$ 情况下,编竹夹泥墙的热阻为 $0.17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \sim 0.28 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 。被测民居墙体厚 50 mm ,其热阻值取 $0.28 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 。

现场测量时,仍选择该典型民居,测其墙体内外表面温度及热流。选择室外气候较为稳定时段,室内外温度比较稳定,近似按照稳态传热计算,得出编竹夹泥墙的平均热阻 R 为 $0.30 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$,和实验室测试结果极为接近。考虑到实验室测量和现场测量中,墙体厚度测量及温度记录仪等存在误差,对于常见厚度为 50 mm 的编竹夹泥墙体,其热阻值取2种测量结果的平均值 $0.29 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 更准确。

编竹夹泥墙民居的屋面为冷摊瓦坡屋顶,小青瓦约为 10 mm 厚,瓦片有微小弧度,双层瓦间约有 5 mm 厚空气间层,瓦下为间隔 150 mm 左右的椽子,其物理性能如表2所示,瓦屋面的总热阻值为 $0.15 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 。

表2 瓦屋面热阻计算

Table 2 Tile roof thermal resistance

构造层	导热系数 $\lambda/(\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}))$	热阻 $R/(\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$
10 mm 瓦	0.43	0.023
5 mm 空气层	—	0.10
10 mm 瓦	0.43	0.023
小计	—	0.15

编竹夹泥墙民居的门为单层松木板,厚约 20 mm,窗为传统木窗,没有玻璃,窗扇同样为 20 mm 厚松木板,计算得到门窗木板的热阻为 $0.14 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 。

典型户的堂屋、厨房、走道地面材料为三合土,三合土材料为石灰、砂、粘土按照一定比例混合,厚约为 150 mm,热阻为 $0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$,并与大地相接。卧室 2 下方下吊一层,导致卧室地面不同于堂屋,为架空楼面。架空楼板为 30 mm 厚的松木板,根据材料性能计算架空楼板的热阻为 $0.216 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$,并直接与室外空气相接触。

将民居的围护结构热性能与《农村居住建筑节能设计标准》进行比较,各结构的热工性能实现率如表 3 所示。

表 3 围护结构热工性能实现率
Table 3 Thermal performance realization rate of envelope

围护结构部位	热阻 $R/(\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$	标准要求 $R/(\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$	热惰性指标 D	热工性能实现率/%
墙体	0.29	0.52	1.80	56
屋面	0.15	1.10	0.28	14
户门	0.14	0.18	0.80	78
外窗	0.14	0.16	0.80	88
三合土地面	0.22	—	—	—
架空楼板	0.216	—	1.23	—

4.2 室外微气候

微气候受地面植被、土壤和地形影响,适度地协调微气候与建成环境,可以降热保温,减少能耗,节约资源,提供自然舒适的居住环境^[17]。典型户北侧是狭窄的石板街道,南侧为绿化坡地,紧邻长江,绿化及水体对环境均有降温作用。分别对街道、绿化坡地上方的空气温度进行测量,结果如图 8 所示。坡地上空空气温度始终低于街道。街道上空气平均温度为 $29.1 \text{ }^\circ\text{C}$,比坡地上空气平均温度高 $1.1 \text{ }^\circ\text{C}$,最大温差可达 $2.5 \text{ }^\circ\text{C}$,尤其在波峰及波谷处。由此可见,绿化及水体对环境的降温效果明显。

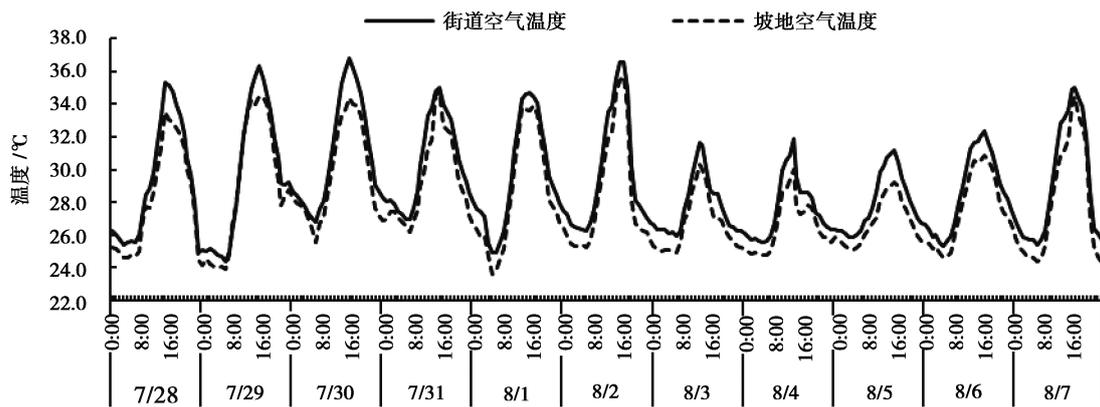


图 8 街道、绿化坡地温度对比

Fig. 8 Street and green slope temperature comparison

5 讨论

编竹夹泥墙民居主要取材于竹、木、土,不仅具有重量轻、易搭建、就地取材等优点,更容易与吊脚楼形式结合,适应山地地形。通过分析可知,编竹夹泥墙民居室内热环境昼夜分化明显且堂屋温度高于卧室,分析民居围护结构热特性及周围微环境,得到室内热环境形成机制,如图 9、图 10 所示。

1) 屋面、墙体的热性能较差。屋面、墙体的热阻仅达到标准的 14%、56%,且热惰性差。白天室外大量热量迅速作用到室内,而夜间室外温度降低后,室内热量也可以及时通过屋面、墙体向外散热。因此,白天室内温度较高,但夜间下降较快,夜间室内温度小于等于 30℃ 的累积频率为白天的 2 倍,舒适度高。此种昼夜分化的热环境表现与人们白天外出劳作、夜间才使用房间的传统生活模式较为一致。

2) 室外微气候影响。民居南北两侧因微环境不同,北侧室外温度要高于南侧,北侧温度作用于堂屋,南侧温度作用于卧室,这是堂屋温度高于卧室的原因之一。此外,场镇布局紧凑,街道狭窄,建筑间相互遮挡,且外窗面积较小,可以减少太阳辐射的影响,对室内热环境具有积极的调节作用。

3) 生活模式影响。民居户门朝北,开启面积约占其所在立面的 65%,从早上打开,直到晚上才关闭,太阳辐射、石板路面的热辐射通过开口直接加热室内空气。夜间户门关闭,影响堂屋散热。卧室 2 朝南,窗墙比为 25%,白天卧室通过开口的得热比堂屋要少,夜间又可以通过开口向外散热。这是堂屋温度高于卧室的原因之一。

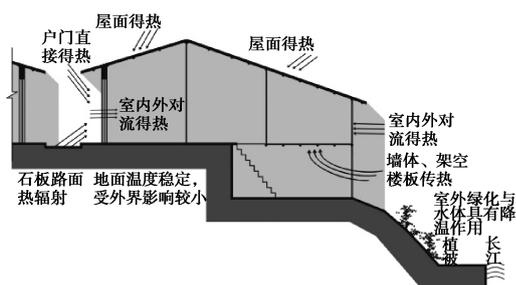


图9 白天热量传入室内

Fig. 9 Heat transfer during the day

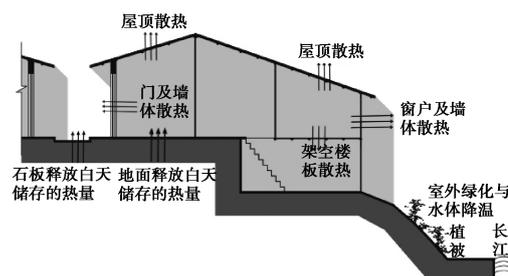


图10 夜间房间散热

Fig. 10 Heat transfer at night

4) 吊脚形式影响。吊脚形式导致堂屋卧室地面不同。为分析地面对室内热环境的贡献,分别测量了堂屋、卧室 2 的地面温度,结果如图 11 所示。堂屋地面温度昼夜波动较为平缓,全天均明显低于卧室,尤其在日间,平均值为 27.5℃,日较差为 1.2℃。卧室 2 地面温度波动较大,平均值为 28.6℃,日较差为 2.6℃,超过了堂屋地面日较差的 2 倍。这是因为架空楼板的热阻仅 $0.216 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$,并直接与室外空气相接触,受室外环境影响明显。但吊脚空间外是绿化坡地和水体,微环境良好,可使吊脚空间上方的卧室在白天时温度不会过高,夜间温度迅速降低,提供舒适的夜间热环境。

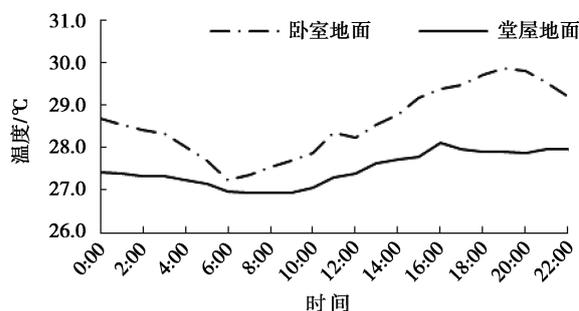


图11 典型日室内地面温度

Fig. 11 Floor temperature in typical day

6 结论

1) 编竹夹泥墙民居围护结构的热工性能较差,50 mm 厚的编竹夹泥墙热阻为 $0.29 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$,仅满足《农村居住建筑节能设计标准》规定的 56%,小青瓦坡屋顶为建筑热性能最薄弱部位,热阻为 $0.15 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$,仅达到标准规定的 14%。门窗的热阻为 $0.14 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$,分别达到相关规定的 78%、88%;夏季编竹夹泥墙民居室内热环境昼夜分化明显:白天较差,卧室、堂屋温度低于舒适温度上限 30℃ 的累积频率分别为 55%、46%;夜间较好,卧室、堂屋低于 30℃ 的累积频率分别为 96%、93%,与当地人们的主观感受较为一致。

2) 吊脚楼带来的架空楼板热性能差,增加了建筑与外环境的接触面积,使建筑更易受室外环境的影响,但与良好的微环境结合,可以帮助室内温度在白天不会太高,在夜间迅速降温,有效解决湿热地区非空调建筑的夜间舒适性问题。

3) 编竹夹泥墙民居昼夜分化的热环境表现与人们白天外出劳作、夜间才使用房间的传统生活模式较为一致,体现了传统民居热环境营造的生态智慧。

参考文献:

- [1] 刘致平. 中国居住建筑简史:城市、住宅、园林:附四川住宅建筑[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
Liu Z P. A brief history of Chinese residential buildings: cities, houses, gardens: with Sichuan residential buildings [M]. Beijing:China Building Industry Press,2000. (in Chinese)
- [2] 杨真静, 徐亚男, 彭明熙. 木板壁民居对湿热气候的适应性[J]. 土木建筑与环境工程, 2016(4):1-6.
Yang Z J, Xu Y N, Peng M X. Research on the climate adaption of wooden-plank wall dwellings in hot humid climate region [J]. Journal of Civil Architectural and Environmental Engineering, 2016(4):1-6. (in Chinese)
- [3] 李畅, 杜春兰. 乡土聚落景观的场所性诠释——以巴渝古镇为例[J]. 建筑学报, 2015(4): 76-80.
Li C, Du C L. Interpreting the landscape of vernacular settlements in the view of place: a case study of historical towns in sichuan and chongqing [J]. Architectural Journal, 2015(4):76-80. (in Chinese)
- [4] 左进, 赵万民. 巴渝古镇有机更新探析——以酉阳龙潭古镇吴家院子为例[J]. 新建筑, 2010(5): 32-35.
Zuo J, Zhao W M. Research on organic renewal of Bayu Historic Towns based on inhabitants' daily life: a case study on Wu's Courtyards of Longtan Historic Town in Youyang [J]. New Architecture, 2010(5): 32-35. (in Chinese)
- [5] 李和平, 肖洪未. 山地型历史文化街区保护规划的山地适应性方法研究——以重庆湖广会馆及东水门历史文化街区为例[J]. 建筑学报, 2016(3): 29-34.
Li H P, Xiao H W. Adaptive methods in preservation planning of historic districts in hilly areas: a case study of the Huguang Guild Hall and Dongshuimen Historic District in Chongqing [J]. Architectural Journal,2016(3):29-34. (in Chinese)
- [6] Du X, Bokel R, Dobbsteien A V D. Building microclimate and summer thermal comfort in free-running buildings with diverse spaces: A Chinese vernacular house case[J]. Building & Environment, 2014, 82: 215-227.
- [7] Gou S, Li Z, Zhao Q, et al. Climate responsive strategies of traditional dwellings located in an ancient village in hot summer and cold winter region of China[J]. Building and Environment, 2015, 86: 151-165.
- [8] Borong L, Gang T, Peng W, et al. Study on the thermal performance of the Chinese traditional vernacular dwellings in Summer[J]. Energy and Buildings, 2004, 36(1): 73-79.
- [9] Li Z, Shi L, Yu Z. Improvement of thermal performance of envelopes for traditional wooden vernacular dwellings of Tujia Minority in Western Hunan, China[J]. Journal of Central South University, 2016, 23(2): 479-483.
- [10] Phsanam W, 王会莹. 泰国农村竹编涂泥墙墙体热舒适测试及应用前景分析[J]. 住宅科技, 2007, 27(12): 42-46.
Phsanam W, Wang H Y. Thermal comfort test on thailand countryside bamboo plaiting mud wall and analysis of application [J]. Housing Science,2007,27(12):42-46. (in Chinese)
- [11] 田瀚元. 重庆地区传统民居室内热环境研究[D]. 重庆:重庆大学, 2016.
Tian H Y. Study on Indoor Thermal Environment of Traditional Houses in Chongqing Area [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016. (in Chinese)
- [12] 赵万民. 松溉古镇[M]. 南京:东南大学出版社, 2009:18-23.
Zhao W M. Songgai Town [D]. Nanjing: Southeast University Press, 2009: 18-23. (in Chinese)
- [13] 付祥钊. 夏热冬冷地区建筑节能技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002.
Fu X Z. Building energy-saving technology in hot summer and cold winter area [M]. Beijing:China Building Industry Press,2002. (in Chinese)
- [14] 中国建筑科学研究院. GBT 50824-2013 农村居住建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
China Academy of Building Research. GBT 50824-2013 Design Standard for Energy Efficiency of Rural Residential Buildings [S]. Beijing:China Building Industry Press, 2013. (in Chinese)
- [15] 宋平, 唐鸣放, 郑开丽. 重庆农村住宅热环境实测与评价[J]. 建筑科学, 2015, 31(6): 118-123.
Song P, Tang M F, Zheng K L. Actual measurement and evaluation of thermal environment of rural residential buildings in Chongqing [J]. Building Science, 2015, 31(6): 118-123. (in Chinese)
- [16] 中华人民共和国国家标准化管理委员会. GB/T13475—2008 绝热稳态传热性质的测定标定和防护热箱法[S].北京:中国建筑工业出版社, 2008.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T13475—2008 Thermal Insulation-Determination of Steady-State Thermal Transmission Properties-Calibrated and Guard Hot Box [S]. Beijing:China Building Industry Press, 2008. (in Chinese)
- [17] 徐煜辉, 张文涛. “适应”与“缓解”——基于微气候循环的山地城市低碳生态住区规划模式研究[J]. 城市发展研究, 2012(7):156-160.
Xu Y H, Zhang W T. “Adaption” and “remission”: study on the planning model of low-carbon and ecological residential area based on the microclimate cycle of mountain city [J]. Urban Studies Urban Stud,2012(7):156-160. (in Chinese)