

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2023.04.006

福州合院式传统民居夏热环境与气候适应性分析

胡海滨¹, 林奥¹, 林从华^{1,2}

(1. 福建理工大学 建筑与城乡规划学院, 福建 福州 350118;
2. 福建传统村落与历史建筑研究中心, 福建 福州 350118;)

摘要: 以福州市典型的清末合院式传统民居——旗山湖 70 号古厝为研究对象, 在当地典型的夏季晴热天气下, 对室外、天井、厅堂、次间和披屋等场所, 进行了太阳辐射、温湿度、风速、墙壁温度等热环境参数的测试分析, 通过计算标准等效温度(SET*), 结合游客热舒适投票调查(TCV), 对其夏热特性与气候适应性开展研究。结果表明: 室内温度有明显的热延迟效应, 午间温度低于户外 4~5℃, 相对湿度总平均值接近 60%, 平均风速较低(<0.2 m/s), 灰板壁的隔热性能显著优于木板壁; SET* 可反映古厝的热舒适性, 当 SET* 超过 33.3℃ 时游客开始出现热不舒适感, 37.0℃ 为非常不舒适的临界点; 对各测点参数进行差异化分析, 尽管各测点长期处于不舒适或非常不舒适的区间, 古厝在檐廊遮阳、墙体隔热与排窗通风等方面仍表现出对夏季炎热气候的适应策略, 可在主导风向引入、室内通风、围护结构更新和外环境微气候调节等方面进一步优化。

关键词: 福州; 传统民居; 夏季热环境; 热舒适性; 气候适应性

中图分类号: TU831 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-4348(2023)04-0338-08

Field study on summer thermal environment and climate adaptability of traditional courtyard dwellings in Fuzhou

HU Haibin¹, LIN Ao¹, LIN Conghua^{1,2}

(1. School of Architecture and Urban Planning, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
2. Fujian Traditional Villages and Historic Buildings Research Centre, Fuzhou 350118, China)

Abstract: No.70 Ancient House in Qishan Lake, a typical traditional courtyard house in the late Qing Dynasty in Fuzhou City was selected for field examination of thermal environment and climate adaptabilities including solar radiation, air temperature, humidity, wind speed and wall temperatures of patios, halls, secondary rooms, annexes and outdoor environment under typical summer sunny and hot meteorological situation. Standard equivalent temperature (SET*) and thermal comfort vote for visitors (TCV) were also employed to evaluate the summer thermal characteristics and climate adaptability. Results show that: 1) there was a significant thermal delay effect on indoor air temperatures, which were 4~5℃ lower than those of outdoors at noon. The total average relative humidity was close to 60% and remarkably low level of wind speeds (<0.2 m/s) were observed. Grey-board walls were significantly better insulated than wooden walls. 2) SET* could reflect the thermal comfort. When SET* exceeded 33.3℃, visitors began to feel thermally uncomfortable, and 37.0℃ was the critical point for them to feel very uncomfortable. Through differential analysis of the parameters of each measuring point, although each measuring point is in an uncomfortable or very uncomfortable range for a long time, the ancient houses still show the adaptation strategy to the hot summer climate in the aspects of eaves shading, wall insulation

收稿日期: 2023-03-20

基金项目: “十三五”国家科技重大专项课题项目(2019YFD1100904); 福建工程学院人才建设基金(GY-Z22040); 福建工程学院大学生创新训练项目(X202110388044)

第一作者简介: 胡海滨(1982—), 男, 山东济宁人, 讲师, 博士, 研究方向: 城市生态与人居环境科学。

and window ventilation, which can be further optimized in the introduction of dominant wind direction, indoor ventilation, envelope structure renewal and outdoor environment microclimate regulation.

Keywords: Fuzhou; traditional dwellings; summer thermal environment, thermal comfort; climate adaptability

改善传统民居的夏热环境有助于其保护与活化利用。近年来,关于传统民居热环境及气候适应性特征引起学界较多关注,如张涛等研究了秦巴山区夯土石板房夏季室内热环境的特点及形成机理,因地制宜地提出民居夏季防热的优化措施^[1];黄志甲等发现徽州传统民居夏季隔热、通风效果优于现代民居^[2];王雪等分析了陕南山地民居的室内热环境状况,提出增强保温隔热性能及通风等方面的被动式节能优化措施^[3];吴志刚等对闽东沿海长乐“九头马”古民居群的气候适应性进行研究,从整体环境、空间层次和细部构造等三个方面分析其适应性特征^[4]。以上研究通过对热环境的测试及分析,深入挖掘了当地传统民居对夏热气候的适应性特征,为传统民居更新和绿色宜居性能的提升提供了理论与技术支撑。

福州市位于中国东南沿海,四面环山,属典型的河口盆地,为亚热带海洋气候,属夏热冬暖地区^[5]。近年来由于城市快速发展,建成区扩张,加之不利的地形条件,使得福州夏季热环境状况不断恶化,气温高且持续时间长,福州已成为新晋“火炉”城市之首^[6]。作为历史文化名城,福州保留了许多明清时期的传统民居,许多学者对其开展了关于建筑结构、技艺、装饰美学以及地域特色和文化遗产等方面的研究^[7-9],但对其夏季热环境测试及气候适应性分析仍比较少见。本研究选取福州地区有典型代表性的清末合院民居——旗山湖70号古厝为研究对象,在自然通风条件下进行夏季热环境实测,评估热舒适性现状及其对夏热气候的适应性特征,为福州地区传统民居的更新与优化提供借鉴。

1 测试对象与方案

1.1 测试对象及选点

旗山湖70号古厝始建于清后期,位于福州市旗山湖公园内,紧邻福建理工大学北校区,为当地古厝群的代表性建筑,如图1所示。建筑整体坐西朝东,西依旗山,东望溪源江,是闽东地区清明时期典型的天井合院式“小宅”。古厝总占地面积约572 m²,建筑面积约779 m²,南北对称,布局紧凑,沿中轴线依次为:门头房明间、左右稍间和

次间;天井,面阔10.8 m,进深3.68 m;天井左右侧为南北梓院,主座明间即为厅堂,约102.6 m²,分前后厅,其中前厅进深6.1 m;厅堂左右各有两个次间,约38 m²,分前后房;两个次间外侧各设披屋,面阔四间,约49.8 m²。



图1 福州旗山湖70号古厝

Fig.1 No.70 Ancient House in Qishan Lake in Fuzhou

古厝屋面为坡屋顶,由杉木椽望板搭当地青瓦构成;墙体以杉木板壁(30 mm)和灰板壁(60 mm)拼接为主,其中灰板壁为当地特有的一种木骨芦苇夹泥墙,墙体两侧用20 mm草泥灰打底,5 mm壳灰抹光;次间为杉木地面,厅堂与披屋的地面为三合土(蛎灰、砂和本地黄土),天井为条石地面;门窗均为木质构件。在游客游览频率较高的天井、厅堂、次间和披屋等场地设置测点,如图2所示,室外环境测点选在距离门头房外墙5 m且开敞无遮挡的外埕,考虑到古厝南侧的披屋与次间的采光和通风较好,使用频率较高,古时常作为商铺与会客厅,现为游客使用的茶室,因此在前后厢房(次间)及相邻披屋的中间位置各设置两个测点。

1.2 测试时间及方案

为深入了解福州传统民居在夏季的热舒适状况,选择了福州夏季较为典型的晴热天气进行,时间为2022年7月8日—7月10日,共计3天。测试的主要环境指标包括室外太阳辐射和各测点的空气温度、相对湿度、黑球温度、风速等,测试仪器及主要参数见表1。技术人员于09:00—11:00、13:00—15:00和17:00—19:00等3个时段在各测点进行连续的同步监测。为考察围护结构的隔热性能,还分别对披屋和次间与室外交界的灰板壁和木板壁内侧温度进行了比较测试。为了解古

厝对炎热气候的适应性,测试过程中均未开启空调或风扇等降温设备;为更加直观地了解人体热舒适度,各类监测仪器的高度均设在成年人的头部位置,离地面约 1.6 m 处。

表 1 测试仪器及主要参数
Tab.1 Test instruments and main parameters

测试指标	仪器型号	测量范围	分辨率	记录间隔
空气温度	建大仁科 COS-04 温湿度记录仪	-20~80 ℃	0.1 ℃	30 s
相对湿度		0~100%	0.1%	30 s
太阳辐射	台湾泰仕 TES1333R 太阳辐射仪	0~2 000 W/m ²	0.1 W/m ²	30 s
黑球温度	衡欣 AZ87786 黑球温度记录仪	0~50 ℃	0.1 ℃	60 s
风速	Testo405i 热线式风速仪	0~30 m/s	0.01 m/s	60 s
墙壁温度	希玛 AT390 红外测温仪	-32~390 ℃	0.1 ℃	5 min

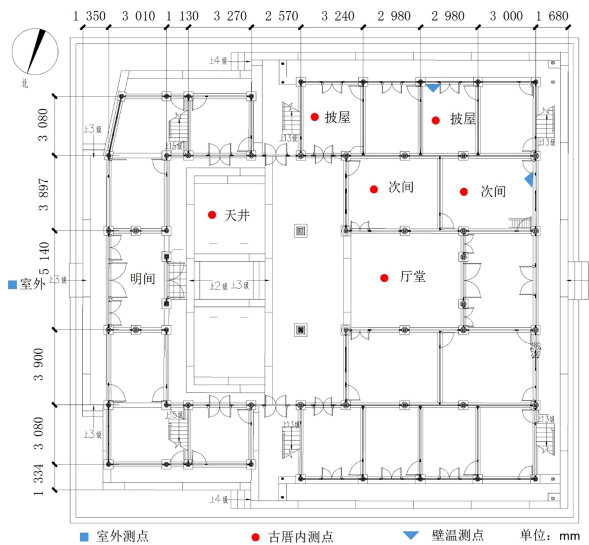


图 2 古厝平面图及监测点位置

Fig.2 Plan of the ancient house and location of monitoring points

根据气温(T_a)、黑球温度(T_g)和风速(V_a),使用 ISO7726 标准来计算平均辐射温度(T_{mrt}),公式如下:

$$T_{mrt} = \left[(T_g + 273)^4 + \frac{1.10 \times 10^8 V_a^{0.6}}{\varepsilon D^{0.4}} (T_g - T_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \tag{1}$$

式中, D 是黑球直径($D = 0.05\text{ m}$), ε 为发射率($\varepsilon = 0.95$)。

由于热舒适受多个参数影响,本文采用改进后的标准等效温度 SET^* 作为热舒适评价的综合指标^[10],本研究将监测到的气象参数和调查后的游客平均特征参数(身高、体重、年龄、性别、服装热阻和

代谢率)输入 RayMan Pro 模型,导出 SET^* 的数值。

由于测试期间处于炎热夏季,人体基本处于夏热的感觉之中,本研究通过问卷调查对游客和志愿者开展了热舒适度的调查,根据相关文献的做法^[11],热舒适采用 5 级指标进行投票,分别为非常不舒适(-2),不舒适(-1),中性(0),舒适(+1),非常舒适(+2)。

2 结果与分析

2.1 室外气象

室外测点太阳辐射、气温与相对湿度的变化如图 3 所示。此三天为福州夏季典型高温晴热天气,监测期间室外平均太阳辐射强度达 552.1 W/m^2 ,并随日照时间的变化呈现先升后降的趋势,13:00—14:00 达到最高值($811.8\sim 883.7\text{ W/m}^2$),到 19:00 监测结束时接近为 0;除 7 月 9 日 10:00—14:00 期间云量增多,太阳辐射相对稍低外,相同时段的辐射强度都比较接近。室外总平均气温 $36.9\text{ }^\circ\text{C}$,最高温也出现在 13:00—14:00 时段($38.8\sim 40.5\text{ }^\circ\text{C}$);气温的变化趋势与太阳辐射较为接近,但随着地面热辐射的增加,午后气温的下降速度明显低于太阳辐射,18:00—19:00 日落时段的平均气温仍有 $33.3\sim 35.6\text{ }^\circ\text{C}$ 。室外相对湿度的变化趋势与气温相反,日波动范围为 $42.4\%\sim 62.2\%$,09:00—10:00 时段的平均相对湿度相对较高(60%左右),随后快速下降,14:00—15:00 降至最低($<50\%$)。

2.2 空气温度

监测期间,各测点温度日间变化的总体趋势相

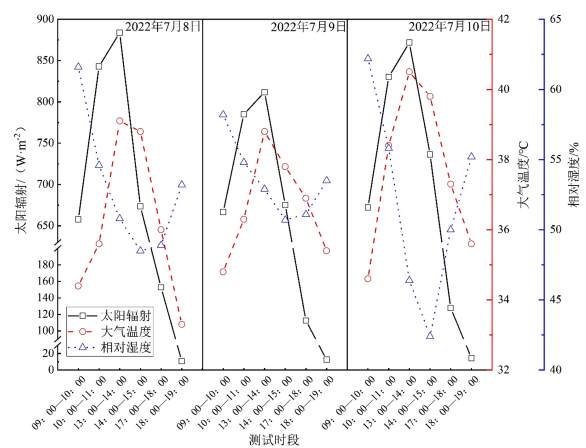


图 3 室外监测点日间主要气象参数变化图
(2022 年 7 月 8 日—7 月 10 日)

Fig.3 Meteorological parameters changes at outdoor monitoring sites (8 July—10 July 2022)

似,见图 4。09:00—14:00 为一个快速升温的过程,室内测点的气温峰值达 35~36℃,气温波峰相对室外测点延迟 1 h 左右。15:00 后,室外与天井测点降温相对较快,18:00—19:00 时降至 34℃左右,接近或稍低于至室内温度;厅堂、次间和披屋的午后温度下降趋势较为平缓,到 19:00 时仍有 33~35℃。室内测点的日间气温变化幅度显著小于室外,尤其是次间与披屋,气温变化幅度约为 5.5℃。

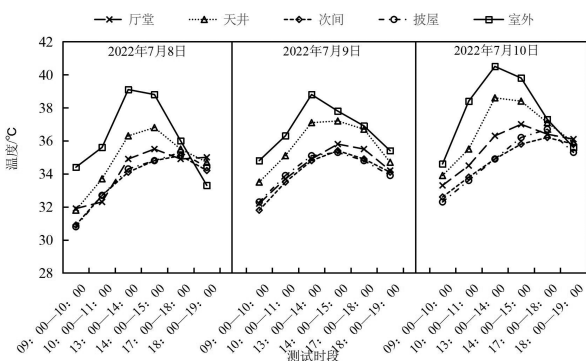


图 4 室内外监测点日间气温变化图
(2022 年 7 月 8 日—7 月 10 日)

Fig.4 Temperature changes at indoor and outdoor monitoring sites (8 July—10 July 2022)

各测点气温总平均值的大小顺序为:室外>天井>厅堂≈次间≈披屋。次间与披屋的日间平均气温分别为 34.5℃、34.4℃,显著低于室外与天井气温,尤其在 13:00—15:00 的高温时段内,古厝室内测点的平均气温可低于室外 4~5℃。

2.3 相对湿度

与温度的变化曲线相反,各测点相对湿度的日

间变化均呈先降后升的趋势,详见图 5。09:00—15:00,随着温度的急剧增高,空气中的水分减少,各测点的相对湿度迅速下降,室外与天井测点的相对湿度从 60%左右降到 50%以下,最低可达 42%;室内各类监测点下降至 50%~55%;15:00—19:00,室内湿度略有回升,稳定在 55%左右,从早间的高湿度可以推测,随着室外空气湿度的增加,室内的相对湿度夜间还会有更大幅度的提升。从湿度变化幅度来看,室内各测点相对湿度的变化幅度显著比室外小,尤其午后湿度变化较为平缓,这说明古厝有利于室内空气湿度的稳定。

各测点相对湿度总平均值的大小顺序为:次间≈披屋>厅堂>天井>室外。其中,次间、披屋的相对湿度均值接近 60%。研究表明,当空气湿度高于 65%时,人会感觉闷热难耐,不舒适性显著增强^[12]。表 2 统计了各测点相对湿度均值及超过 65%的时间频率,可知披屋内湿度超过 65%的频率仅有 14.5%,显著低于厅堂与次间,这与披屋设置排窗加强通风有关。相对湿度还与太阳辐射有关,7 月 9 日午间出现多云天气,太阳直射较少,水气含量稳定,室外环境湿度变化幅度较小,14:00—15:00 相对湿度略有提升;因不受太阳直射,厅堂、次间和披屋早间的相对湿度接近 70%,仍保持着晚间较高的湿度,随着温度增高和风速的提升,室内空气水分迅速减少,湿度下降明显。

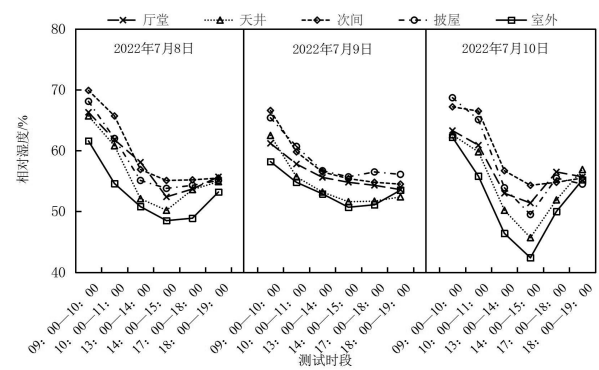


图 5 室内外监测点日间相对湿度变化图
(2022 年 7 月 8 日—7 月 10 日)

Fig.5 Relative humidity changes at indoor and outdoor monitoring sites (8 July—10 July 2022)

2.4 风速

监测期间各监测点风速的统计情况如图 6 所示。在福州夏季常发的静稳天气条件下,古厝外环境总体平均风速仅为 0.29 m/s,风速值分布较为离散,个别时段风速会超过 1 m/s,这和古厝周

边局部小气候的变化有关。与古厝外环境相比,古厝内环境风速变化幅度较小,由于监测期间古厝的南北侧门均未打开,正门亦有插屏门阻隔,内部测点风速大多保持在较低的水平($<0.3\text{ m/s}$),不利于炎热天气下人体的热舒适感。

表 2 室内外监测点日间相对湿度均值统计表
Tab.2 Statistics of relative humidity at indoor and outdoor monitoring sites

监测点	相对湿度/%			>65% 时间频率/%
	总平均值	最大平均值	最小平均值	
厅堂	59.1	69.2	52.4	24.5
天井	55.2	65.7	45.7	10.9
次间	58.9	69.9	54.3	20.2
披屋	58.2	68.7	49.5	14.5
室外	53.2	61.6	42.4	5.3

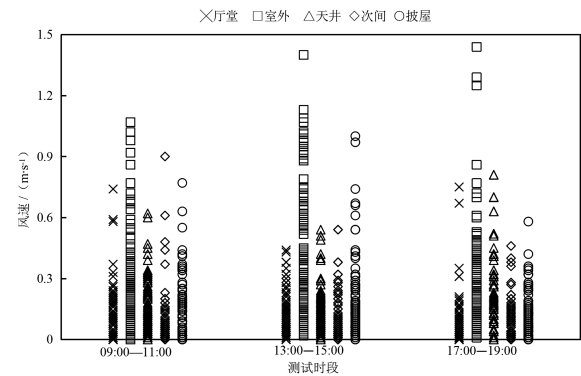


图 6 室内外风速统计图(2022 年 7 月 8 日—7 月 10 日)
Fig.6 Statistics of wind speed at indoor and outdoor monitoring sites (8 July—10 July 2022)

在室内环境中,披屋测点的风速相对较高,其平均风速为 0.16 m/s ,仅次于天井(0.19 m/s),高于厅堂(0.10 m/s),而且披屋测点分布一些较高的瞬时风速($>0.5\text{ m/s}$),这是由于披屋的南侧墙设有一排高窗,有利于夏季主导的东南风带来气流引入,而且易与对面墙上之门形成穿堂风,披屋外墙外若是冷巷,则通风降温的效果更佳^[4]。次间的平均风速最低(0.08 m/s),虽然次间后房的窗与古厝外联通,但因防西晒原因,开窗较小,且不是本地偏东南的夏季主导风向,不利于引风入室;次间前房的花窗和门分别朝向天井旁侧与厅堂,也不利于室外环境的来风,而且次间的进深比披屋大,通风效

果不如披屋,平均风速为 0.08 m/s ,处于极小的微风或静风状态。厅堂敞口朝向天井,气流主要来自天井的风压通风,而由于监测期间天井风力微弱,气流难以到达厅堂的内部,导致厅堂风速不高。

室内外各测点平均风速在监测期间变化情况如图 7 所示。日间(09:00—18:00)各测点全天的风速变化趋势较为一致,呈从上升到衰减的过程。上午(11 时之前)由于太阳直射增加,空气温度升高,古厝和天井垂直方向上易形成热压通风^[4,6],室外环境、天井风速上升明显,带动其他室内监测点风速也随之缓慢提升;到了午间,室外环境、庭院的风速趋于下降,然而由于室内外温差的增大,在水平方向上增强了热压通风效应,通过门窗与外部联通的披屋、次间风速继续提升,随后随温差的减小而降低。进入夜间时(18:00—19:00),在室外环境风速提升的带动下,天井、厅堂和披屋的风速均略有提升,然而由于与室外环境联通较差,进深更大的次间内风速仍无明显变化。由此可见,与室外环境的联通性对增强室内的风压通风效应非常重要。

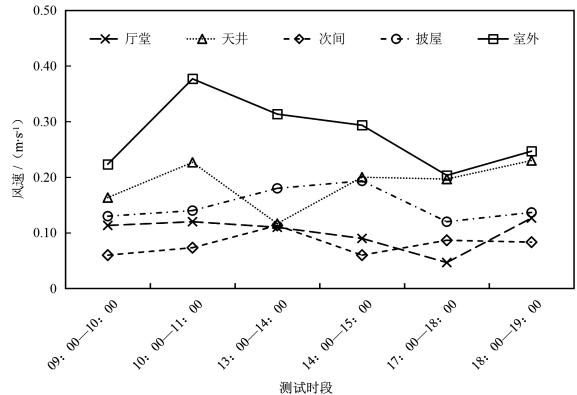


图 7 室内外监测点各时段平均风速变化图
(2022 年 7 月 8 日—7 月 10 日)
Fig.7 Wind speed changes at indoor and outdoor monitoring sites (8 July—10 July 2022)

2.5 墙壁温度

披屋灰板壁和木板壁的内壁温度变化如图 8 所示。09:00—15:00 期间,灰板壁内表面温度均低于室内气温,最大温差($4.2\text{ }^{\circ}\text{C}$)出现在 09:00—10:00 期间,随着太阳辐射和室外气温的增高,墙体不断积蓄热量,与室内的温差逐渐减少,17:00 以后,灰板壁的温度与室内温度相当,到 18:00—19:00 时稍高于室内温度。木板壁内表面温度始终高于室内温度,平均温差为 $3.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,并且温差随

着室外气温的增高迅速增加,到 14:00—15:00 时木板壁的温度高出室内温度 5.6 ℃。由此可见,测试期间,灰板壁升温较为延迟,白天内壁温度基本低于室内气温,说明发挥了一定的热阻作用,而且墙壁温度全天均低于人体皮肤表面温度,有利于人体热舒适感受;与此相反,木板壁不仅薄而且热阻及热惰性较差,外表面吸收的热量很快传递到室内,成为了室内热源,不利于室内热舒适。

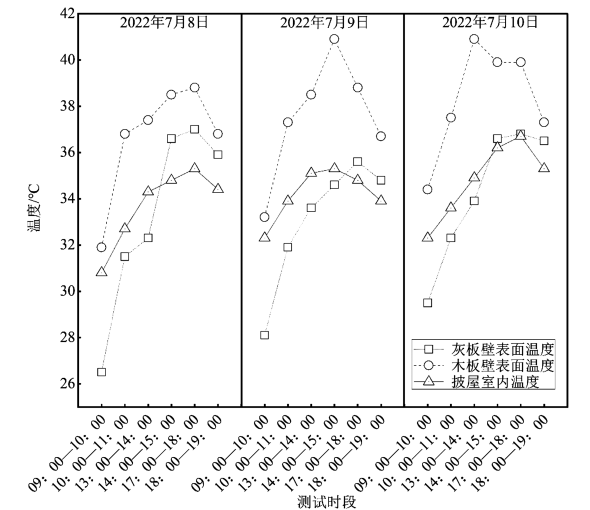


图 8 披屋墙壁表面温度变化

Fig.8 Wall surface temperature changes of side house

2.6 热舒适评价

根据测试期间的调查,游客以放松的慢走和站立等活动为主,人体活动量取值 80 W/m²;游客着装主要以休闲短裤/裙、短袖薄衣为主,参照《民用建筑室内热湿环境评价标准》(GB50785—2012),平均服装热阻取值 0.40 clo;根据测试期间的调查,平均身高取值 172 cm,体重 68 kg。平均辐射温度(T_{mrt})由式(1)进行换算,将 6 个参数导入 RayMan Pro 模型计算并输出标准等效温度 SET^{*}。同时,对每个时段的热舒适投票(TCV)进行统计,分析了游客平均热舒适投票分数(MTCV)与 SET^{*}的相关性,详见图 9。如图所示,两者拟合程度较好($R^2=0.60$),说明 SET^{*} 基本能够反映游客的热舒适状态。当 MTCV=0 时,处于热中性的临界点,此时 SET^{*} 为 33.3 ℃,当超过此值时,游客的热不舒适感增加;当 MTCV=-1 时为不舒适的临界点,此时 SET^{*} 为 37.0 ℃,当超过此值时,游客开始觉得很不适。

每个时段古厝内各测点的平均 SET^{*} 统计情况如图 10 所示。可以看出,在炎热的外部天气条

件下,古厝内各测点的热舒适性不佳,除 09:00—10:00 时段的次间和披屋外,各测点 SET^{*} 均超过 33.3 ℃的临界值,处于不舒适或非常不舒适的区间。尤其午后(13:00—15:00),次间和披屋的 SET^{*} 也接近或超过了 37 ℃,处于非常不舒适的状态。厅堂因为接受天井的地面热辐射较多,热舒适性不如披屋与次间,因此应考虑通过增强院内通风的方式进行改善。次间、披屋由于墙体的隔热及房檐的遮阴,SET^{*} 低于厅堂 0.7~1.5 ℃。与次间相比,由于披屋的空气流动优于次间,10:00前和 17:00 后的 SET^{*} 显著低于次间。日落期间(18:00—19:00),天井与庭院的 SET^{*} 下降更为迅速,体现出开放空间的散热优势,而披屋、次间则变化幅度不大。经统计,次间与披屋监测各时段记录的平均 SET^{*} 超过 37 ℃的比例仅为 16.7%和 22.2%,且多数集中在 13:00 后,远低于厅堂与天井的 61.1%和 77.8%,详见表 3。

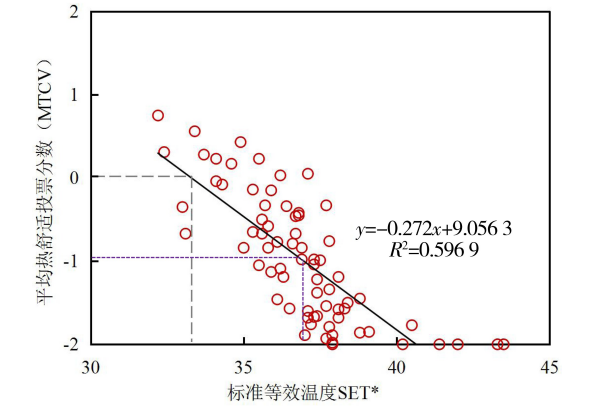


图 9 SET^{*} 与平均热舒适投票(MTCV)的相关性

Fig.9 Correlation between SET^{*} and mean TCV

表 3 各测点平均 SET^{*} 的构成比例
Tab.3 Composition of the average SET^{*} for each monitoring sites %

测点	厅堂	天井	次间	披屋
SET [*] ≤33.3 ℃	0.0	0.0	11.1	11.1
33.3<SET [*] ≤37.0 ℃	38.9	22.2	72.2	66.7
SET [*] >37.0 ℃	61.1	77.8	16.7	22.2

2.7 气候适应性分析

根据夏季热环境测试结果的综合分析,尽管古厝内各测点的热舒适性不佳,但次间、披屋等室内的热舒适性显著优于室外环境,表现出一定的

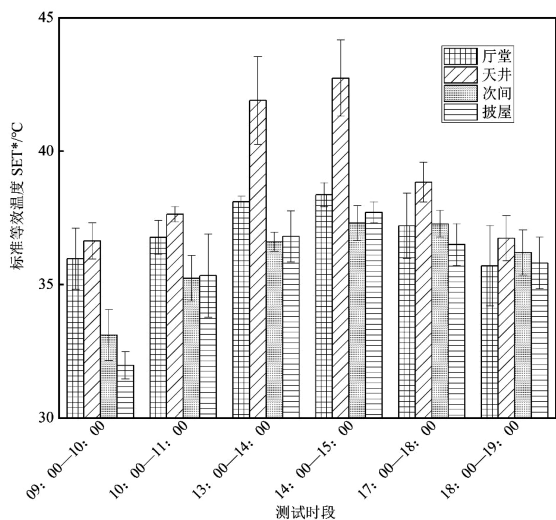


图 10 各测点不同时段平均 SET* 统计图
Fig.10 Statistics of mean SET* at different time and different monitoring sites

气候适应性,如借助房檐的遮阳减少太阳辐射,通过围护结构即墙体进行隔热,以及利用通风带走热量和湿度。

伸出的屋檐有很好的遮阳作用,如图 11 所示,天井开口面积较小(39.9 m^2),仅占古厝总平面的 7%,减少庭院长时间接受太阳辐射产生的热量;古厝的南向披屋二层外侧出挑廊和屋檐,向外挑出长度为 1.86 m ,对一楼的南向门窗有突出的遮阳效果,弥补了二楼屋檐无法对建筑低层空间荫蔽的不足。厢房更是因南侧一排披屋的隔离,其墙体避免了太阳的长时间直射,抑制了日间室内温度的增高。本实测中,午间时段室内热舒适性明显好于室外,较好地体现了这种遮阳效果。此外,合院四周檐廊不仅使古厝在内外交通空间上连贯一体,也为庭院、厅堂和次间等场地的之间的行走活动提供了荫蔽空间。

披屋的高排窗结构可增强室内通风。披屋南侧山墙设有排窗与门相通,见图 12,这种高窗与低门的结构设计有利于夏季的通风,而且易形成室内穿堂风,缩短风路距离。与闽南蔡氏古民居类似,在披屋外墙体靠近房檐的高度上设置竖栅窗,窗户开口虽小但数量多,排列成行,讲究“通而不透”,可以通过调节缝宽进行开合,既有利于防盗、私密,又可以控风和控光^[13]。在垂直方向上,室内的热空气可以同外部古厝间冷巷中的冷空气进行交换,在水平方向上,低门与高窗可形成对流效应,可及时有效地通风换气、除湿。



图 11 古厝内外屋檐遮阳结构
Fig.11 Sunshade structure of the ancient house eaves

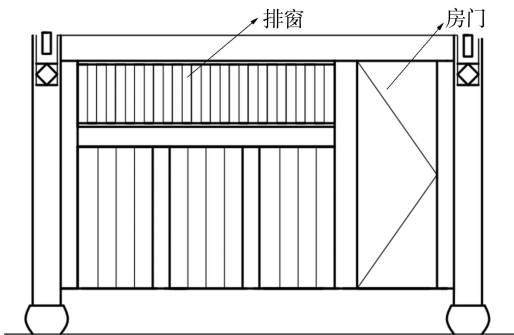


图 12 古厝南侧披屋门窗
Fig.12 Windows and doors of the south side of the old house

增加灰板壁的占比有利于建筑墙体的保温隔热。实测中发现,室内木板壁的壁温显著高于灰板壁。杉木板的导热系数为 $0.12\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,夹泥墙的导热系数一般范围为 $0.15\sim 0.17\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ^[14]。为进一步提升披屋内的热舒适性,应在现有排窗结构的基础上减小木构门窗与木板壁的比例,适当增加灰板壁的面积,多利用夹泥墙的热阻能力,降低室内温度。

合院南北两侧的梓院门窗打开时可形成空气对流,促进庭院内通风;横向檐廊除连接主座外,还设置了紧贴主座院墙的南北两个侧门,侧门上方镂空,若打开连接次间与南北梓院可形成向外的通风廊道,更有利于古厝内的通风排湿,适应夏季湿热的气候。在本研究实测过程中,梓院门窗与外侧通道都为关闭状态,导致天井测点的风速并不明显。

对古厝周边小气候的调节也可以提升古厝内热舒适性。研究表明,传统村落中民居间的冷巷具备遮阳与通风降温的重要功能^[4]。本研究的古厝西南侧为停车场,北侧为硬质铺装的门前广场,其余为草地,与其他建筑间隔较远,无法形成低温的冷巷空间,且缺少乔木种植与水体景观,在太阳直射条件下,导致周边室外环境温度较高,不利于古厝内热舒适性与天井内的热压通风,需对周边环境进行小气候的优化改造。

3 结论与建议

通过对福州旗山湖70号古厝室内外热环境的实测,得到以下结论:

1) 室内外各测点早晚温度较为接近,午间显著升高,古厝内各测点平均温度接近或超过35℃,热舒适问题亟需改善。次间和披屋表现出一定的热阻与热延迟效应,午间空气温度低于室外4~5℃;各测点相对湿度的日间变化为先降后升,室内相对湿度总平均值接近60%,其中早晚湿度偏高,午后湿度变化较为平缓;古厝内外部环境风速较低,室内风速保持在极低的水平($<0.2\text{ m/s}$),不利于热量的驱散;朝向东南方向的披屋外墙设有排窗,室内通风性相对较好。

2) 游客平均热舒适投票分数(MTCV)与标准等效温度(SET^*)的相关性较好, SET^* 基本能够反映古厝的热舒适性。当 SET^* 超过33.3℃时,游客的热不舒适感增加,超过37.0℃,则觉得非常不舒适。除09:00—10:00时段的次间和披屋外,各测点均处于不舒适或非常不舒适的区间。尽管如此,古厝在其构造上仍体现出一定的夏季气候适应性特征,如南侧披屋的配置有利于次间的隔热降温,悬挑的檐廊为墙体提供了较多的遮阳空间,庭院南北侧通道的设置与披屋排窗结构增强了通风。

为进一步提升古厝在夏季的热舒适性,提出以下建议:

1) 建筑朝向的优化。受海洋性气候影响,福州地区的夏季主导风向为东南风,而本古厝大门及主轴线朝向东偏北方向,对主导风向的引入有所不利,导致庭院及厅堂内风速不明显,建议门窗朝向东南以改善古厝内的通风。

2) 室内通风的强化。由于室外环境风力微弱,厅堂、次间两侧封闭且进深较大,气流难以到达内部,应在东南侧外墙设置百叶窗,与次间门窗相对形成通风通道;打开南北两侧梓院的门窗与天井连接,打开南北外侧通道,利用热压通风形成庭院内换气系统。

3) 围护结构材料的更新。福州地区古厝多采用芦苇或竹片编壁、草泥灰填充形成的灰板壁作为墙体,其隔热性能优于木板壁和木构门窗,应增加灰板壁在墙体中的占比,适当减小南侧披屋的窗墙比,根据室外气候变化,控制窗户开闭时间。

4) 外部空间小气候的改善。古厝大门外埕应保持宽敞,提供更为开敞的迎风场地;减少周边硬质铺装,在古厝南侧与西侧配置高大乔木类植物,也可设置互厝形成冷巷;在天井庭院设置水缸等景观,不仅能减少太阳辐射,形成冷源,还可以增强热压通风效应。

参考文献:

- [1] 张涛,张琪玮,买亚锋. 秦巴山区夯土石板房夏季热环境测试研究[J]. 建筑科学,2021,37(8):104-109.
- [2] 黄志甲,张恒,龚城,等. 徽州传统民居夏季热环境分析[J]. 建筑科学,2017,33(10):26-31.
- [3] 王雪,杨柳,刘加平,等. 陕南山地民居夏季室内热环境与能耗特性[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2018,50(4):563-568.
- [4] 吴志刚,肖毅强. 闽东沿海传统民居气候适应性研究:以长乐“九头马”古民居群为例[J]. 南方建筑,2017(5):88-93.
- [5] 康文敏,蔡莞臻,郑慧祯. 福州城市地表温度时空变化与贡献度研究[J]. 地球科学进展,2020,35(1):88-100.
- [6] 王琳,徐涵秋. 快速城市化下福州市的热环境变迁[J]. 同济大学学报(自然科学版),2017,45(9):1336-1344.
- [7] 靳风华. 福州古厝的彩绘装饰艺术[J]. 福州大学学报(哲学社会科学版),2021,35(2):45-49.
- [8] 耿灏. 古建筑的人文历史韵味与文化自信:以福州古厝为例[J]. 福建省社会主义学院学报,2020(1):54-59.
- [9] 赵冲,崔方博,周怡东. 福建合院式传统民居正厅木构架类型演变及其分布[J]. 福州大学学报(自然科学版),2021,49(3):391-399.
- [10] 纪文杰,杜衡,朱颖心,等. 对热环境评价指标“标准有效温度 SET^* ”的重新解读[J]. 清华大学学报(自然科学版),2022,62(2):331-338.
- [11] AN L, HONG B, CUI X E, et al. Outdoor thermal comfort during winter in China's cold regions: a comparative study [J]. Science of the Total Environment, 2021, 768: 144464.
- [12] 袁萌,王彦淞. 室内空气温湿度对人体热舒适性影响的实验研究[J]. 建筑节能,2014,42(8):17-20.
- [13] 张亮山,冉茂宇,袁炯炯. 闽南大厝的窗与屋顶的气候适应性设计分析[J]. 华中建筑,2016,34(12):139-143.
- [14] 徐亚男,杨真静. 编竹夹泥墙民居室内热环境与围护结构热特性分析[J]. 重庆大学学报,2021,44(3):22-30.

(责任编辑:王圆圆)