

文章编号: 1000-5013(2012)02-0201-06

# 泉州洋楼民居的夏季热环境测试与分析

薛佳薇, 冉茂宇, 吴扬

(华侨大学 建筑学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 对福建泉州某洋楼民居在夏季高温、高湿季节的热环境进行测试, 分析洋楼室内外空气温度、相对湿度、黑球温度和风速等参数随时间变化情况, 并计算热舒适度 PMV(预测平均投票数) 指标值. 结果表明: 洋楼外廊有明显的气候缓冲作用; 夏季白天洋楼室内的热舒适性不佳, 但各用房存在相对舒适的时段; 灰空间在居民的迁徙型居住模式中有重要作用, 增加开敞度、屋顶隔热、房门对位等是改善洋楼热环境的措施.

**关键词:** 洋楼民居; 热环境; 热舒适度; 夏季; 泉州市

**中图分类号:** TU 111.191(257)

**文献标志码:** A

洋楼民居是近代出洋的归国华侨带回的南洋文化与本土文化融合的结晶. 作为著名侨乡, 福建泉州现存许多中西合璧的洋楼, 至今仍在城乡居民的生活中扮演重要的角色. 除了建造时引进当时较新的技术和材料以保证耐久性之外, 建筑格局对当地夏热冬暖气候的适应性也是其得以继续沿用的原因. 文献[1-4]在洋楼的历史人文方面做过较深入的探究, 相继提及了洋楼与气候的关联, 但未做深入调查研究. 泉州地处福建东南沿海, 东经  $117^{\circ}34' \sim 119^{\circ}10'$ , 北纬  $24^{\circ}15' \sim 25^{\circ}56'$ , 在我国建筑热工分区中, 属于“夏热冬暖地区”, 年均气温为  $20.7^{\circ}\text{C}$ , 夏长冬短, 全年高于  $25^{\circ}\text{C}$  的热天超过 189 d, 最热月份为 7、8 月, 平均温度分别为  $28.6, 28.4^{\circ}\text{C}$  [5-6]. 因此, 夏季防热成为泉州民居建筑设计主要考虑的因素之一. 为了解泉州市洋楼民居的夏季热环境状况, 总结洋楼在空间布局和构造上适应气候的经验和改进方法, 本文在夏季高温、高湿季节对洋楼典型实例进行室内外热环境的测试和分析.

## 1 测试对象及测试方法

实测对象为福建省泉州市中山路附近的螺珠巷 11 号叶宅, 如图 1 所示. 该洋楼民居位于泉州古城

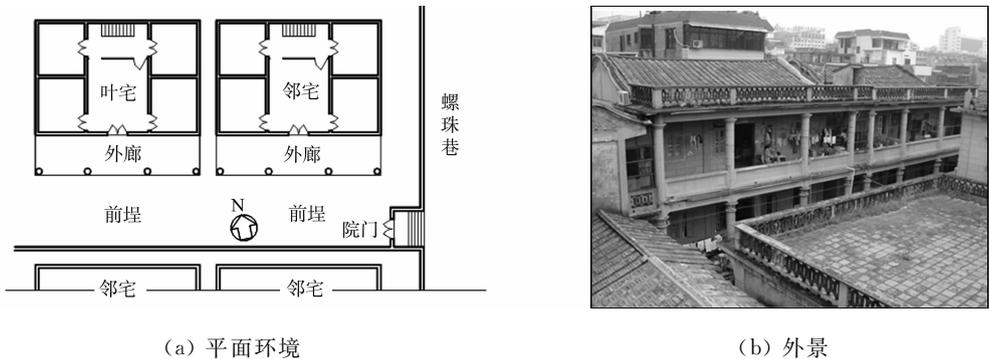


图 1 福建泉州螺珠巷叶宅示意图

Fig. 1 Schematic diagram of Ye's dwelling in Luozhu lane of Quanzhou Fujian

收稿日期: 2011-02-11

通信作者: 薛佳薇(1976-), 女, 讲师, 主要从事生态建筑、建筑设计及其理论的研究. E-mail: xjwhqu@yahoo.com.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51078156); 福建省自然科学基金资助项目(2010J01297); 国务院侨办科研基金资助项目(09QZR08); 福建省重大专项基金资助项目(2008HZ0003-1); 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室科研基金资助项目(2009KB13)

中心区域,东经  $118^{\circ}35'$ ,北纬  $24^{\circ}54'$ ,始建于 1930 年,保存完好,住户使用情况良好,未改变建设初衷.建筑坐北朝南,南偏东  $12^{\circ}$ ,前后及侧面都是相同或相近的兄弟洋楼并列,由南北走向的巷子侧向进入前石埕;单体平面为常规洋楼的四房看厅式,铺地为传统地产尺二红砖,二层钢筋混凝土结构上加四坡瓦顶,水刷石外立面,木门窗加钢条防盗网.螺珠巷叶宅是具有代表性的洋楼建筑,属于晚期发展较为成熟的洋楼形式.其周围环境较为普通,是大量存在的市区中心的建筑环境,前方建筑为平房,无过多遮挡,周边也没有高大建筑物,相应的测试数据能具有一定的洋楼夏季热环境普遍性.

测试仪器主要有 3 种: 1) AZ8829 型温湿度记录仪,测温范围为  $-40\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,分辨率为  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,精度  $\pm 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度的测量范围为  $0\%\sim 100\%$ ,分辨率为  $0.1\%$ ,精度  $\pm 3\%$ ; 2) JTR04 型黑球温度计,测量范围为  $10\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,分辨率为  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,精度  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 3) IAQ 型热舒适度仪,配有温湿度、湿球温度、黑球(40 mm)温度和风速探头,其中风速测量范围为  $0.03\sim 5.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . 仪器测量自记间隔时间都设为 10 min.

测试时间为 2009 年 8 月 17—20 日,以入户仪器自记实测为主,辅以对住户的采访.测试期间,一、二层厅和门全日开启,房间南向窗户开启,房门关闭,进行两段时间的自动记录测量,即 17—18 日为第 1 段,19—20 日为第 2 段.试验以第 1 段记录测量数据为主,以第 2 段测量数据为参考进行比较分析.测试期间当地气象数据,如表 1 所示.表 1 中: $\theta$  为空气温度; $F$  为相对湿度; $v_{14}$  为 14:00 时的风速; $t_{SD}$  为日照时数; $E$  为太阳辐射辐照度.从表 1 可知:前后 4 天的天气情况大体相似,都为晴热高温天气.

表 1 测试期间当地天气情况

Tab. 1 Local weather situation during test period

日期	平均云量	天气	$\theta/^{\circ}\text{C}$			$F/\%$		$v_{14}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$t_{SD}/\text{h}$	$E/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
			08:00	14:00	平均值	08:00	14:00			
20090817	4.7	多云	28.8	33.9	30.1	71	49	3	11.0	747
20090818	1.3	晴	29.3	33.6	30.4	75	55	2	10.8	793
20090819	0	晴	29.3	32.3	30.2	75	66	2	11.0	814
20090820	1.0	晴	29.0	33.1	29.7	78	56	3	9.2	786

螺珠巷叶宅一、二层主要空间布置了 12 个测点,包括室外 2 个、灰空间 3 个、室内 7 个,如图 2 所示.二层的西向房间的西侧是附加厨房,为避免人工产热对房间测试的影响,故选取东南房.依托住户室内的家具,分别搁置在离地  $850\sim 1\,400\text{ mm}$  范围内,如果接近墙面的,则与墙保持  $250\text{ mm}$  左右的间距.除室外的两个测点黑球被太阳直射,其余室内及灰空间的测点都避开了太阳直射,室外天井的温湿度记录器置于近地面  $300\text{ mm}$ .

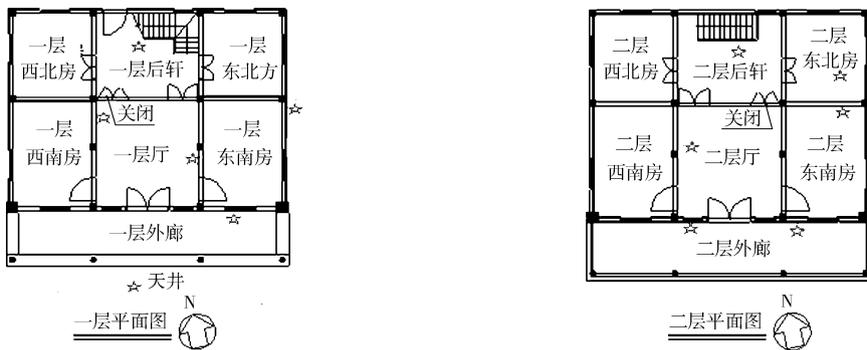


图 2 主要空间测试布点图

Fig. 2 Distribution of test spots in main space

## 2 测试结果分析

### 2.1 天井和一层主要空间的黑球温度

天井、一层外廊和一层厅的黑球温度( $\theta_g$ )变化,如图 3 所示.从图 3 中可知:在白天太阳照耀情况

下,天井地面受太阳直射,升温显著,强烈影响着近地面黑球温度;一层外廊受到太阳直射和外部天井的辐射,升温次之;一层厅黑球温度变化并不显著,体现了外廊空间层次的缓冲作用.到了夜间,这 3 个空间的黑球温度相差并不大,外廊温度也仅比室外天井近地空气温度略高 0.1~0.2 °C.

天井和一层主要空间的黑球温度特征值对比,如表 2 所示.由表 2 可知:外廊对温度的缓冲作用明显体现在白天日出时段,黑球温度形成从天井、外廊到室内的递减;到了夜晚,外廊与室外黑球温度几乎无异,略低于室内,是夏令时节的休闲场所.由图 3,表 2 还可知:外廊灰空间的存在,不仅能避雨遮阳,还形成了气候缓冲层,成为居民晚饭后聊天乘凉的场所,也有居民选择在外廊搭铺板过夜.

表 2 天井和一层主要空间的黑球温度特征值对比

Tab. 2 Comparison about the characteristic value of black globe temperature in yard and first floor main space °C

主要空间	最高值 <sup>①</sup>	最低值 <sup>①</sup>	平均值				全天
			9:50~17:30	19:00~22:30	19:00~07:00	07:00~19:00	
天井近地面	50.7(13:50)	28.6(6:00)	43.12	31.06	30.08	41.06	34.9
一层外廊	36.9(13:50)	28.6(6:10)	35.09	31.03	30.10	33.92	31.85
一层厅	32.7(15:00)	29.3(6:50)	31.83	30.92	30.31	31.34	30.80

说明 室内温度较室外滞后升降,最热时段宜居室内,外廊缓冲  
 室内温度较室外滞后升降,外廊与室外同温,最舒适  
 日照升温外廊形成温度缓冲,温度介于室内外之间  
 晚饭后人活动频繁时段,外廊与室外同温,且利于通风,最舒适  
 夜间外廊黑球温度同室外无异,且能遮雨避露,适于休憩  
 白天外廊形成温度缓冲,温度介于室内外之间  
 外廊是温度缓冲层,由外至内成温度梯度

① 括号内为该数据点对应时段

2.2 二层主要空间的空气温度

二层主要空间的空气温度变化和特征数据对比,分别见图 4 和表 3.从图 4 和表 3 可知:夜间外廊空气温度比室内低,舒适度高;白天由于日晒的辐射,外廊是室内的温度缓冲层,温度高于室内,温度的变化与居民的迁徙型生活方式正好吻合.空气温度平均值:二层东南房>二层外廊>二层厅.

二层的相关数据呈现一定的波动.相比之下,一层外廊和厅的空气温度变化较为规律.这是因为二层外廊和厅处于较高地势,可能受到的风和日晒等外界影响较多,存在波动的可能性.

综上,在日照炎热时段,宜处室内,二层外廊形成热空气的缓冲层,减缓室内直接受热升温;而在夜间凉爽阶段,外廊由于通风,空气温度低于二层厅及东南房,舒适度较高.

表 3 二层主要空间的空气温度特征值对比

Tab. 3 Comparison about the characteristic value of air temperature in second floor main space °C

主要空间	最高值 <sup>①</sup>	最低值 <sup>①</sup>	平均值		
			19:00~7:00	7:00~19:00	全天
二层外廊	35.2(14:55~15:35)	29.7(6:05~6:35)	30.95	33.19	32.1
二层厅	33.9(15:15~15:55)	30.4(6:15~6:45)	31.23	32.29	31.77
二层东南房	33.9(15:05~16:05)	30.9(7:25~8:55)	31.94	32.59	32.3

① 括号内为该数据点对应时段

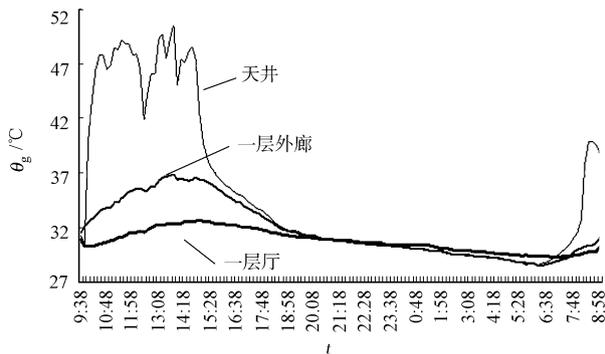


图 3 天井和一层主要空间的黑球温度变化  
 Fig. 3 Variation of black globe temperature in yard and first floor main space

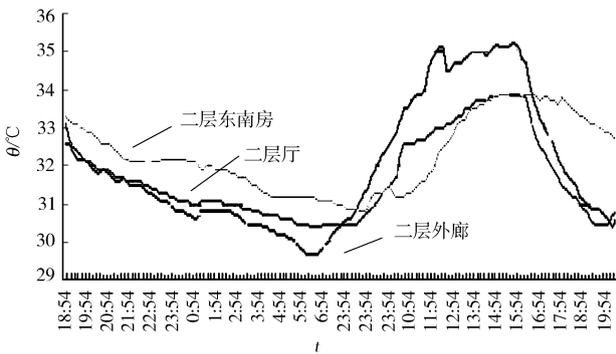


图 4 二层主要空间的空气温度变化  
 Fig. 4 Air temperature variation in second floor main space

### 2.3 外廊及室外的空气温度

一、二层外廊及室外的空气温度,如图5所示.从图5可知:一、二层外廊空气温度较室外的波幅小,但明显受室外影响,炎热时段比室外低,夜间时段较室外略高,非常接近.说明日间外廊温度较高,多作为室内的空气温度缓冲层作用,而夜晚外廊的空气温度舒适.此外,除0:00~9:30时段,一、二层外廊的空气温度基本一致外(一层外廊在清晨时略低);其余人经常活动的时段(9:30~23:30),二层外廊的空气温度都低于一层外廊,且在10:30~16:30炎热时段的温差明显,温差为1.5~2.0℃.

### 2.4 外廊的黑球温度

一、二层外廊的黑球温度对比,如图6所示.从图6可知:在有太阳时段,一层外廊的黑球温度都高于二层外廊,温差为0.5~1.5℃.可见,一层外廊接受了较多的辐射热而产生明显的升温.一、二层外廊的温差除了地面辐射热之外还有另一个影响因素,即通风增加了一、二层外廊0.5~1.0℃的温差.这是因为二层外廊地势高,位于众多平房民居上,捕捉了高处的凉风,加速了降温.

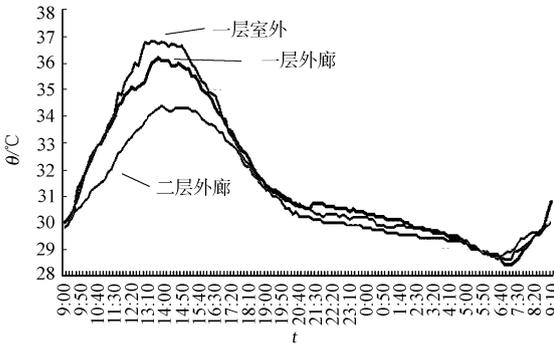


图5 外廊及室外的空气温度比较

Fig. 5 Comparison between the veranda and outdoor air temperatures

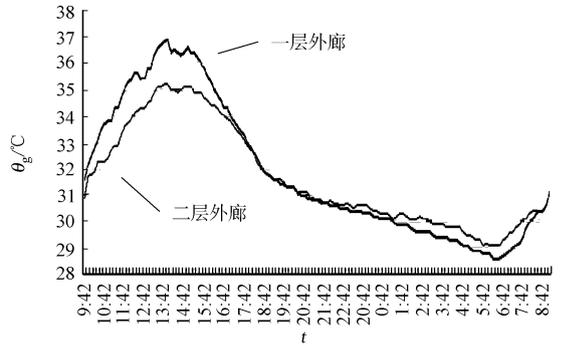


图6 外廊的黑球温度比较

Fig. 6 Comparison about the veranda black globe temperature

### 2.5 二层外廊和厅的风速

二层外廊和厅的风速( $v$ )变化,如图7所示.从图7可知:外廊风速较厅的风速高,并且两者的波动趋势较接近,外廊的风速波幅明显,而厅的波幅相对平缓.二层外廊与厅都是半室外灰空间,外廊的开敞程度更高,故而接受室外通风的能力更高,风速更强烈,受室外风速波幅的影响也更直接;二层厅的外墙和厅的进深对通风有一定的削弱.

### 2.6 二层外廊及厅的湿度

二层外廊和厅的湿度( $F$ )变化,如图8所示.从图8可知:二层外廊湿度较厅低,波动趋势相近,但厅的波幅小于外廊的波幅.半室外程度更高的外廊由于其通风等方式降低了湿度,或随通风产生频繁的湿度波动.相比之下,同为灰空间的二层厅的湿度因为室内化程度的提高,风速较低,湿度不容易产生明显的波动.

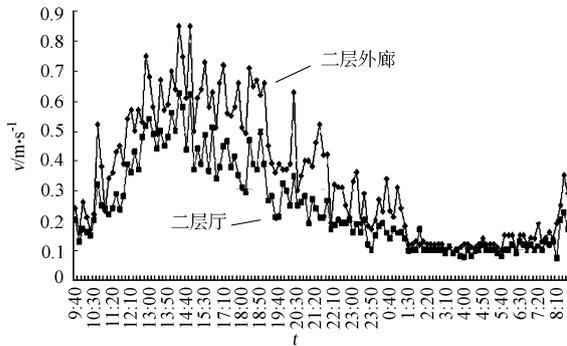


图7 二层外廊及厅的风速比较

Fig. 7 Comparison between the second floor veranda and parlor air velocity

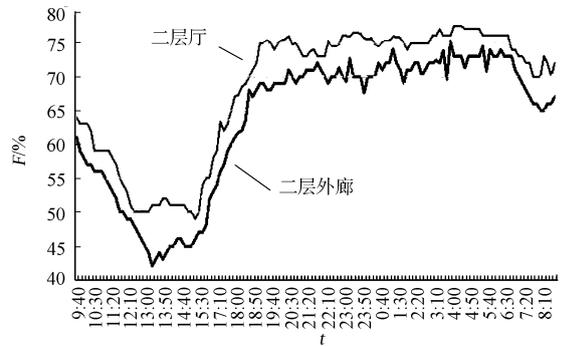


图8 二层外廊及厅的湿度比较

Fig. 8 Comparison between the second floor veranda and parlor relative humidity

### 3 主要用房的 PMV 值计算及热环境评价

热舒适度 PMV(预测平均投票数)指标综合了空气的温度、湿度、流速以及辐射温度的影响. 在计算 PMV 时, 以人体活动量  $65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (坐着休息或轻微活动), 夏季衣着热阻为  $0.0775 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  (短袖衫和薄长裤) 为参数. 一层的厅、外廊、后轩, 二层的厅、外廊、后轩、东南房等 7 个主要用房的 PMV 值, 如图 9 所示. 其中: 由于测试时同时测量的仪器不足, 一层后轩, 二层的后轩、东南房等部分较封闭房间的风速数据是根据人体现场感受, 采取静风环境  $0.12 \sim 0.15$  带入计算.

有研究表明: 在自然通风情况且 PMV 值小于 1 时, 绝大部分人是感到舒适的<sup>[7]</sup>. 从图 9 中可知: 洋楼各房间及外廊热环境在白天比夜间恶劣, 都达不到人体热舒适水平, 但炎热程度对不同房间和外廊是不一样的, 即便对同一房间, 在不同时段也是不一样的. 因此, 洋楼各空间存在相对的舒适性.

在实际生活中, 洋楼居民为适应居住环境及气候条件存在着迁徙型的生活方式, 尤其夏天衣褥简单时更是经常出现, 摇椅、铺板随机设置, 茶桌、小凳灵活摆放. 因此, 结合居住者的行为特征, 分别考察早晨(6:00~9:30)、日照(9:30~17:00)、傍晚(17:00~19:00)、晚间活动(19:00~23:30)和晚间休息(23:30~6:00)等 5 个时段各主要空间的相对舒适程度, 结果如表 4 所示. 由表 4 可得到洋楼具有如下 4 点的热环境特征.

1) 开敞的非外层空间, 即一层灰空间(如一层厅和后轩), 其热舒适度的持续性高, 体现为全天候都相对舒适. 究其原因一方面有赖于二层及外廊的遮挡, 另一方面自身较为开敞, 故而在白天时段不易因日照辐射显著升温并保持阴凉.

2) 外廊的热环境受室外环境影响大, 呈现两级分化, 日晒时段极热不适合使用, 而日落时段热舒适性良好, 以二层外廊尤其舒适.

3) 洋楼房间的热舒适性不高, 因为相对封闭, 尤其二层房间还处于屋顶的日晒升温, 在实际使用中, 居民多在睡眠时段采用空调, 其他时段很少逗留房间.

4) 白天一层空间的舒适性普遍高于二层空间, 夜间二层灰空间的舒适性高于一层灰空间.

表 4 不同时段各主要用房的相对舒适程度

Tab. 4 Relative comfortable degree of each main space in different periods

主要用房	早晨时段	日照时段	傍晚时段	晚间活动	晚间休息
一层外廊	相对好	恶劣	一般	一般	一般
一层厅	相对好	相对好	相对好	一般	相对好
一层后轩	相对好	相对好	相对好	相对好	相对好
二层外廊	一般	恶劣	相对好	相对好	相对好
二层厅	相对好	恶劣	一般	相对好	相对好
二层后轩	一般	恶劣	一般	一般	一般
二层东南房	一般	恶劣	一般	一般	一般

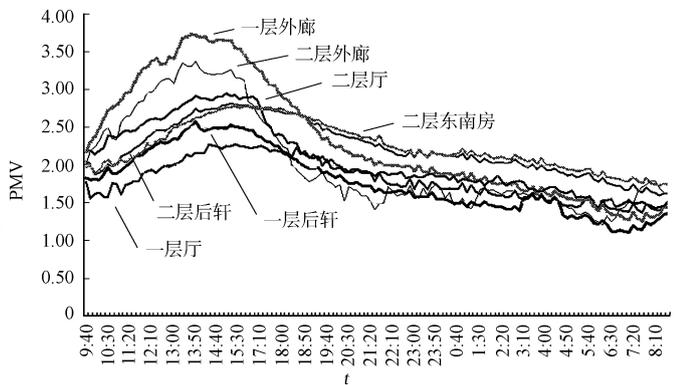


图 9 各主要用房的 PMV 值

Fig. 9 PMV indexes of each main rooms

### 4 讨论

从上述分析可以看出, 洋楼室内环境的舒适度并非很优越, 有些用房或某些时段的室内可以说还是十分炎热的. 但是, 洋楼存在许多相对舒适且灵活的灰空间, 提供居住者迁徙型生活的可能, 尤其以外廊最为活跃多用. 在实际调研中, 居民也反映在厅、廊、后轩等处度过大部分时间, 如晨起至入睡, 约有 16 h 的时间, 简单使用电扇或手摇扇即可改善舒适度; 而相对隐蔽的房间则采用空调或电扇提高舒适度, 即房间内部睡眠时段约 8 h. 总体而言, 大部分时间处于低能耗状态, 故具有节能生态的意义.

宽敞外廊所具备的南向遮阳和缓冲作用是洋楼的优势所在,如出挑尺度适宜,进深一般都在 2.2~2.8 m,高度一般较高敞,有 3.3~3.9 m 不等. 洋楼门窗数量多且整齐对位,有利于形成穿堂风的通风降温,尤其以外廊-厅-后轩这 3 个连贯开设洞口的空间.

洋楼的厅是居民重要的活动场所,虽然同样属于灰空间,但因为朝向外廊的外墙封闭程度较高,仅 1.2 m 的正门和 0.9 m 宽的两扇窗可开启,一定程度上影响了由外廊至厅的通风. 因此,可将朝向外廊的墙更大程度地开敞,如做成水平通长的平开门窗,配合活动百叶(竹帘等),并根据气候条件选择性的启闭,将会大大优化厅及后轩的舒适程度.

洋楼一层的用房较二层的用房阴凉许多. 二层用房需要增加隔热设置,如在坡屋顶三角高度范围内增设不完全封闭的平吊顶或夹层,既不影响室内使用高度又可作为空气层隔热的措施.

洋楼房间的门为侧向朝厅开启,南北方向的房间没有形成穿堂风的可能性,可将前后两房间的门入口处内退出一段 1.2 m×1.2 m 的凹廊,前后房间的门呈南北方向对门开启. 这样处理可使得南窗、南房门、北房门、北窗为穿堂风形成通道.

文中的研究目的在于通过实地测试物理参数,用数据定量地分析洋楼民居的夏季热环境状况,为认识现有洋楼的热舒适状况提供参考. 同时,在总结泉州洋楼民居在空间布局、构造上对适应地方气候的经验及改进方法,为新建筑的热环境设计积累相关经验,丰富已有的洋楼研究成果.

#### 参考文献:

- [1] 陈志宏. 闽南侨乡近代地域性建筑研究[D]. 天津:天津大学,2005.
- [2] 谢鸿权. 泉州近代洋楼民居初探[D]. 泉州:华侨大学,1999.
- [3] 杨思声. 近代泉州外廊式民居初探[D]. 泉州:华侨大学,2002.
- [4] 陈志宏,曾坚. 闽南侨乡近代地域性建筑文化的比较研究[J]. 建筑师,2007(1):72-76.
- [5] 泉州市建设委员会. 泉州民居[M]. 福州:海风出版社,1996.
- [6] 中华人民共和国建设部. GB 50352-2005 民用建筑设计通则[S]. 北京:建筑工业出版社,2005.
- [7] 杨思声,关瑞明. 泉州近代洋楼民居的统计学研究[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2009,30(3):335-337.

## Test and Analysis on the Summer Thermal Environment of Quanzhou Yang-Lou Houses

XUE Jia-wei, RAN Mao-yu, WU Yang

(College of Architecture, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** The thermal environment of a Yang-lou house was tested in Quanzhou in highly hot-humid summer climate, the variation of relative parameters with time was analyzed, such as air temperature, relative humidity, black global temperature and air velocity etc. PMV (predicted mean vote) index (forecast average votes) of the thermal comfortable degree was also calculated. The results show that: the veranda of Yang-lou can buffer the climate, the thermal comfortable degree of indoor Yang-lou is uncomfortable in summer daytime, but there still exists relatively comfortable period in each room, the gray space has important effect on the life mode of migration resident, the methods improve the thermal environment of Yang-lou, such as increase of open degree, roof insulation, alignment of door.

**Keywords:** Yang-lou house; thermal environment; thermal comfortable degree; summer; Quanzhou City

(责任编辑:钱筠 英文审校:方德平)