

文章编号:1674-2869(2014)09-0012-04

天井对徽州传统民居室内热环境影响

李娟

合肥学院建筑工程系,安徽合肥230601

摘要:从建筑热工学层面以天井热压通风原理为影响因子,对室内热环境进行评测.由于传统评价标准所涵盖的室内热环境影响因素有限,测试结果与人体实际热舒适感存在偏差.选用国际标准化组织颁布的ISO7730为测试标准,首先结合徽州传统民居中天井的平面组合形式及其基本构成,对天井的通风降温原理进行定性分析.其次运用INNOVA 1221仪器对当地典型的“一屋一井”式传统民居内不同位置房间的预计平均投票数值进行实测分析.结果显示,在相同的室外环境条件下靠近天井侧房间的热舒适度显著高于远离天井侧的房间.天井对传统民居室内热环境的调节具有积极作用.

关键词:热压通风;热舒适度;实地测试

中图分类号:TU831.1

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2014.09.003

0 引言

现阶段针对徽州传统民居中天井的建筑美学及构造研究已十分成熟,对室内热环境影响因素的讨论也很全面^[1-7].但是从建筑物理环境方向展开天井对室内热环境贡献的研究却非常少.针对室内热环境的研究方法以测试室内温湿度及风速为主,由于测试结果包含的影响因子有限,并不能对室内热环境的优劣进行充分评价.考虑传统测试方法的局限性,选用PMV(Predicted Mean Vote)-PPD(Predicted Percentage of Dissatisfied)指标为评价依据,分析天井对室内热舒适度的调节效果.而天井的基本构成是产生热压通风效应的关键:天井口多为建筑屋面围合而成,是天井系统接受太阳辐射热的主要构件;天井四壁由建筑外墙及面向天井侧的房屋隔断构成;天井底通常由青石条铺筑而成,下部与地面直接连接或设排水系统,使天井底部始终保持较低的温度.天井上下部分形成的自然温差,结合建筑平面布置格局,可以显著提高建筑室内的自然通风、调节温湿度.从而在炎热的夏季改善建筑室内热舒适度,提高居住环境质量.

1 徽州地区气候特征

徽州地处北亚热带地区,受地带性因素影响,气候呈现湿润性季风气候特征,四季分明,年平均气温

15~16℃,冬无严寒.年平均降水量1670mm,最高达2700mm,降水多集中于五月至八月.由于徽州地区夏季无炎热,但湿度高风速低,提高其室内热环境舒适感的有效方式应以通风除湿为主.

2 天井的平面形式

结合建筑平面布局及建筑总体量的大小,天井的平面组合形式多样.单体建筑中仅有一个天井的平面形式,称为独立天井.独立天井的主要形式可概括为以下两类:“凹”字形(由三面房屋、一面围墙围合而成)和“回”字形(由四面房屋围合而成).由两个及以上独立天井组合形成的平面形式,称为组合天井.两个“凹”字形天井背对相接形成类似大写字母“H”的组合天井;一个“凹”字形天井与一个“回”字形天井的组合,则形成“日”字形^[1].

多样的天井形式不仅营造出丰富的徽州民居建筑空间,独特的细部构造处理,更使天井兼具通风、隔热、采光、赏景等多重功能,在科学技术尚不发达的年代为古徽州居民提供了舒适的居住环境,彰显出徽州传统民居建造者们巧妙的构思、娴熟的技艺以及对生活的热爱.

3 天井的通风降温原理

在建筑热工学中,利用通风使室内空气温度下降,人体周围空气流速增加,提高人体散热及皮

收稿日期:2014-06-11

基金项目:合肥学院2014年度科研发展基金(自然科学)(14KY01ZR);合肥学院土木工程重点建设学科项目(2014xk04)

作者简介:李娟(1987-),女,安徽合肥人,助教,硕士.研究方向:绿色建筑与物理环境.

肤表面汗液蒸发的降温方式,称为通风降温.其中利用自然因素形成的空气流动,称为自然通风.徽州传统民居在建造时,电气设备尚未普及,古徽州工匠利用天井空间结合自然因素,创造出独特的“烟囱效应”,通过空气热压形成自然通风.

“烟囱效应”适用于室外风速较小而室内外温差大的情况.徽州地区夏季室外温度高、风速低,为热压通风降温提供了良好的自然条件.天井上部开口受太阳直接辐射,温度高;其底部不受太阳直射,得热少.天井顶部空气受热后密度降低从而向上运动,使底部形成负压区,在压差作用下底部空气不断上升,天井四周房屋内温度高的空气则会源源不断地涌入天井内,对底部空气进行补充,从而形成自然通风(图1)^[2].热压通风效果主要取决于室内外空气温度差以及上下通风口的高度差,可用空气热压及通风量来衡量.

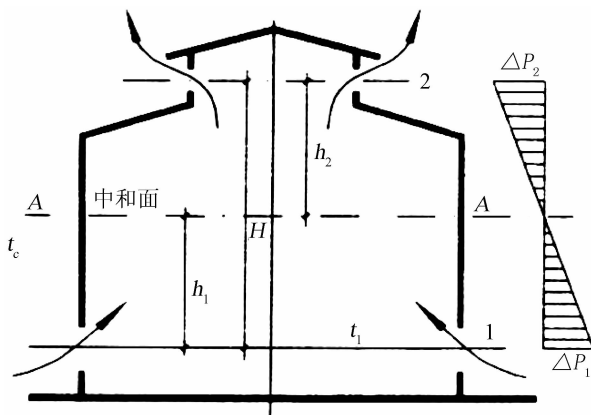


图1 热压作用形成的自然通风

Fig. 1 Natural ventilation formed by hot stress

热压的计算公式^[2]为:

$$\Delta P = gH(\rho_e - \rho_i) \approx 0.043H(t_i - t_e) \quad (1)$$

通风量的计算公式为:

$$Q = (C_D A)^* \sqrt{2gH \left(\frac{t_i - t_e}{t_e} \right)} \quad (2)$$

$$(C_D A)^* = \left[\frac{1}{(C_{D_i} A_i)^2} + \frac{1}{(C_{D_e} A_e)^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

4 天井对夏季室内热环境影响实测

室内热环境是由温度、湿度、气流及皮面辐射等多项因素综合形成的微气候,对建筑使用者的生活、工作、健康产生直接的影响.组成室内热环境的因素众多,且具有综合性和相互补偿性,很难采用单一指标对室内热环境进行衡量及评价.丹麦技术大学的房格尔教授所提出的 PMV-PPD 评价指标较为全面的反映出室内热环境各组成因素之间的客观关系.国际标准化组织在此基础上制定出《适中的热环境——PMV 与 PPD 指标的

确定及热舒适条件的确定》(ISO7730).本次测试即采用该标准对天井影响夏季室内热环境的效果进行评测.

4.1 测试原理

ISO7730 标准对建筑热环境进行评价所运用的“PMV-PPD 指标”推荐值为:PMV 值在-0.3 到+0.3 之间,PPD<10%.该指标综合考虑人体活动程度、衣服热阻(衣着情况)、空气温度、空气湿度、平均辐射温度、空气流动速度 6 项因素,以满足人体热平衡方程为条件,通过主观感觉试验确定出的绝大多数人的冷暖感觉等级(表1).

表1 PMV 热感觉标尺

Table 1 Thermal sensation staff gauge of PMV

热感觉	热	暖	微暖	适中	微凉	凉	冷
PMV 值	3	2	1	0	-1	-2	-3

ISO7730 标准中用来描述人体对室内热环境的热舒适度主要由以下 3 种方式:预计平均投票数 PMV、预测不满意百分数 PPD、气流风险 DR (Draught Rating). DR 用以描述人体特定部位的热舒适度. PMV 及 PPD 用以描述整个人体的热舒适度,是研究建筑室内热环境的常用方式.该方式综合考虑影响人体热感觉 6 因素之间的耦合关系,得出 PMV 计算公式(4)^[4].计算结果对比 PMV 感觉标尺,对被研究对象的热环境优劣进行评价.

$$PMV = (0.303e^{-0.0365M} + 0.028) \{ (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - \rho_a] - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - \rho_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_d [(t_d + 273)^4 + (\bar{t}_r + 273)^4] - f_d h_c (t_d - t_a) \}$$

公式(4)中符号含义^[6]: M 为人体能量代谢率, W/m^2 ; W 为人体所做的机械功, W/m^2 ; f_d 为穿衣面积系数; t_a 为空气温度, $^{\circ}C$; \bar{t}_r 为平均辐射温度, $^{\circ}C$; ρ_a 为水蒸气分压力, Pa ; h_c 为对流换热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; t_{cl} 衣服外表面温度, $^{\circ}C$;

4.2 测试点概况及布置

本次测试对象为徽州地区一栋较为典型的“一屋一井”式民居建筑.该建筑建造于清朝嘉庆年间.建筑平面布局简单紧凑,立面为大面积实墙上开少量窗洞口,室内采用当地产杉木作为装饰隔断.建筑入口处的“凹”字形天井是整栋建筑的主要通风及采光口.该民居由两层正室及一层夹层组成:一层为堂屋、卧室及偏厅,图2(a);二层为书房、卧室,图2(b);夹层层高较矮,用于农务仓储,图2(c).

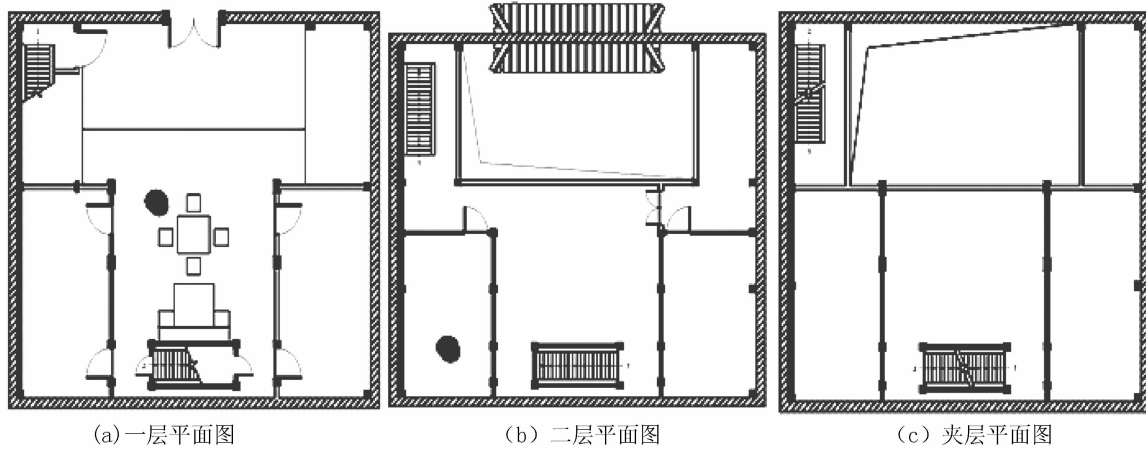


图 2 测试居民平面图

Fig. 2 Floor plan

通过对比相同室外热环境及测试条件下,同一栋建筑中距离天井位置不同的两处房间的 PMV 数值,对天井的通风降温效果进行评价.测试点分别选取靠近天井的一楼堂屋及远离天井的二楼书房,图 2(a)、图 2(b).

测试时间为七月(徽州地区最热月)十五日下午 2:00 至 6:30.当天室外天气为多云转雷阵雨,微风,全天室外温度均低于 30℃(图 3),属于夏季的舒适温度;相对湿度在 90%上下浮动,晚间 10 点左右更是接近 100%(图 4).尽管当天室外气温不高,但是相对湿度过高,在自然界的微风条件下,空气中多余的水分无法被及时带走,易使人产生闷热潮湿的不舒适感.测试仪器为 INNOVA 1221,该仪器共有 4 个输入模块及 12 个测试探头,在使用备用电池的情况下可连续工作 18 h;最短测量时间间隔为十分之一秒,测试数据及计算指数最终以图表形式在联接计算机后直接导出.本次测试以评价热舒适度为主,选用的输入模块为“舒适度模块 UA1276”,共使用 6 枚探头对测试点的人体活动程度、衣服热阻(衣着情况)、空气温度、空气湿度、平均辐射温度、空气流动速度 6 项因素进行测试和设定,从而得出测试点 PMV 值变化情况.

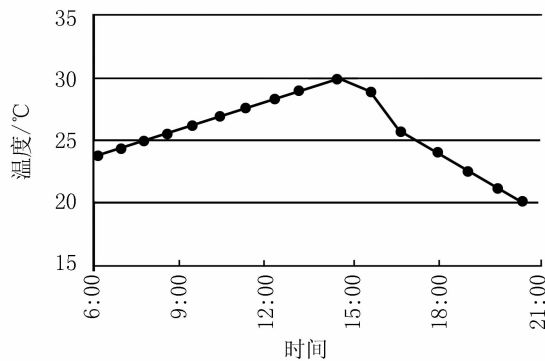


图 3 温度变化图

Fig. 3 Temperature changes

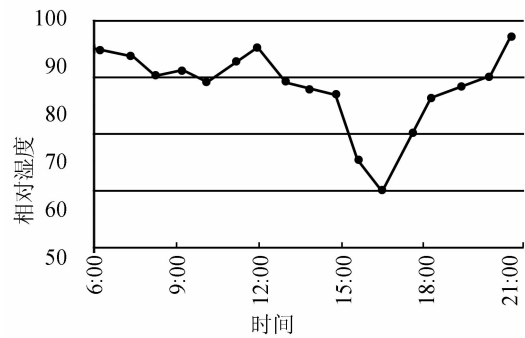


图 4 相对湿度变化图

Fig. 4 Relative humidity changes

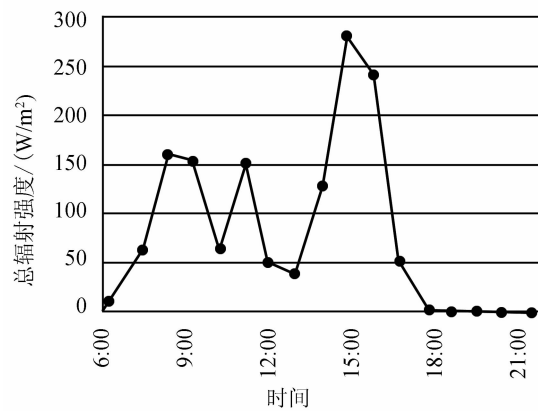


图 5 总辐射强度变化图

Fig. 5 Total radiation intensity changes

4.3 测试结果分析

一楼堂屋(测点一)的测试时间段为下午 2:00 至 4:00,该时间段的太阳辐射量(图 5)及温度(图 3)都是当天最高,相对湿度(图 4)也处于较高阶段.二楼书房(测点二)的测试时间段为下午 4:30 至 6:30,该时间段的太阳辐射量逐渐降低,温度也随之明显下降,相对湿度为当天最低.单纯对比当天气候因素,测点二的太阳辐射强度、温度及湿度均显著低于测点一,按常理推测测点二的热舒适度应高于测点一.但是两点的 PMV 值实际测试结果却与推测相反:靠近天井

处的测点一 PMV 值维持在 2.0, 对应的热感觉为“暖”(图 6) 远离天井处的测点二 PMV 值在 2.5 上下, 对应热感觉介于“暖”、“热”之间(图 7)。实测热舒适度是测点一明显高于测点二, 充分体现出天井对室内热环境的调节作用。天井的“热压通风”带走了室内的热空气, 降低温度; 同时带走空气中多余的水分, 有效降低相对湿度。由于测试当天太阳的辐射强度不高, 导致天井上部温度没有明显升高, 天井内部上下温差并未达到理想值。若室外云量少、太阳辐射强度大, 天井的“烟囱效应”将更加显著, 对室内热环境的调节效果也更加优越。

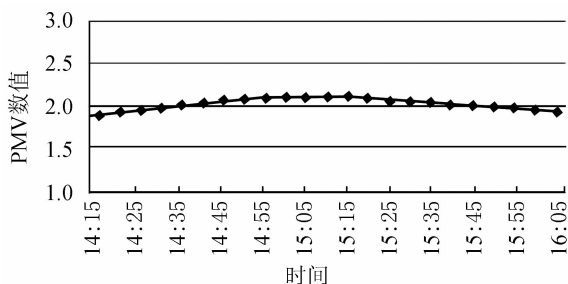


图 6 测点一 PMV 值

Fig. 6 The PMV of point 1

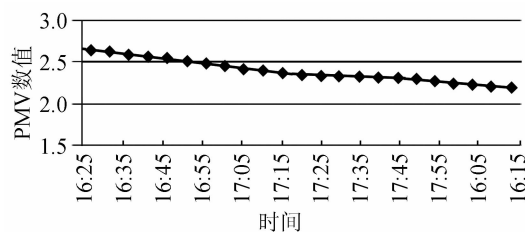


图 7 测点二 PMV 值

Fig. 7 The PMV of point 2

5 结 语

对比测试点的环境温度及湿度: 测试点一的温度及湿度均显著高于测试点二, 按传统理论推断结果为测试点一的热环境较测试点二不舒适。但是选取综合考虑影响人体热舒适度六要素的评价指标 PMV 为测试值, 对远离天井及靠近天井处的房间分别进行测试。结果显示测试点一的 PMV 值较测试点二更为接近舒适值。造成该结果的最主要原因即测试点一靠近天井, 直接受天井的调节影响。在环境温度高、湿度大且微风的情况下, 天井利用热压通风原理增大周边房间的通风, 降低室内温湿度, 提高室内环境的热舒适度。

致 谢

本项目受合肥学院 2014 年度科研发展基金支

持, 合肥工业大学饶永副教授为本研究提供了设备支持及理论指导, 在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 程极悦. 徽州古建筑发展概述[J]. 安徽建筑, 1999 (1): 36-38.
CHEN Ji-rui. Overview of Huizhou ancient architecture development [J]. Anhui Architecture, 1999 (1): 36-38. (in Chinese)
- [2] 柳孝图. 建筑物理[M]. 3 版. 北京: 中国建筑工业出版社. 2010: 122.
LIU Xiao-tu. Building Physics [M]. Third Edition. Beijing: China Building Industry Press. 2010: 122. (in Chinese)
- [3] Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (ASHRAE Standard 55-2004) [S]. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- [4] 黄凌江, 邓传力, 兰兵. 拉萨乡村传统民居与新式民居冬季室内热环境对比分析[J]. 建筑科学, 2012 (12): 61-66.
HUANG Ling-jiang, DENG Chuan-li, LAN Bing. Comparative study on indoor thermal environment in winter of modern and traditional rural dwellings in Lhasa [J]. Building Science, 2012 (12): 61-66. (in Chinese)
- [5] 梁传志, 武涌, 吕萌萌, 等. 西安市冬季室内热环境现状与改造需求分析[J]. 北京工业大学学报, 2013 (8): 1210-1215.
LIANG Chuan-zhi, WU Yong, LYU Meng-meng, et al. Indoor thermal environment and requirements of energy efficiency retrofits for existing residential buildings in Xi'an [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2013 (8): 1210-1215. (in Chinese)
- [6] 李娟, 饶永. 合肥市居住建筑空调设备使用调查与分析[J]. 建筑新技术, 2010(5): 307-311.
LI Juan, RAO yong. Air conditioning equipment survey and analysis of residential building in Hefei [J]. New Technology of Building, 2010(5): 307-311. (in Chinese)
- [7] 冉茂宇, 刘晓迅, 胡深, 等. 厦门某海滨住宅夏季自然通风与室内热环境实测与分析[J]. 福建建筑, 2010 (9): 98-101.
RAN Mao-yu, LIU Xiao-xun, HU Shen, et al. The measurement and analysis of the natural ventilation and indoor thermal environment in summer for a beach residence at Xiamen [J]. Fujian Architecture, 2010 (9): 98-101. (in Chinese)

(下转第 22 页)