

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202403016



厦门营平近代骑楼楼梯间热压通风 对夏季室内热环境的影响

黄鹭红¹, 梁露丹¹, 石悦含²

(1. 华侨大学 建筑学院, 福建 厦门 361021;

2. 湖北省建筑科学研究设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430061)

摘要: 为研究厦门市营平片区近代骑楼公共楼梯竖向空间触发的热压通风对夏季室内热环境的改善效果, 选取一个具备热压通风和单侧通风条件的典型案例, 对室内外风速、空气温度和湿度进行现场实测。实测数据分析结果表明: 热压通风期间, 2 层的室内外平均风速比是单侧通风的 2.3 倍, 其室内通风和降温效果均显著优于单侧通风, 能有效改善 2 层的室内热环境和风环境, 13:00—15:00 期间, 热压通风效果达到峰值, 可使人体热感降低 1.07 °C; 而热压通风 3 层的室内风速与单侧通风的相当, 不足以产生明显的室内气温差异; 热压和单侧通风期间, 3 层室内气温明显随室外气温波动, 建议增设屋面隔热保温层, 增加楼梯间伸出屋面的高度及其顶部开口率, 以降低 3 层室内太阳辐射得热, 提高室内风速, 增强热压通风对室内热环境的影响。

关键词: 近代骑楼; 楼梯间; 热压通风; 室内热环境; 厦门市营平片区

中图分类号: TU 111.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-5013(2024)06-0740-06

Effect of Thermal Pressure Ventilation Strengthened by Stairwell on Summer Indoor Thermal Environment in Traditional Qilou Building in Yingping District of Xiamen City

HUANG Luhong¹, LIANG Ludan¹, SHI Yuehan²

(1. College of Architecture, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;

2. Hubei Provincial Academy of Building Research and Design Limited Company, Wuhan 430061, China)

Abstract: To study the improvement effect of thermal pressure ventilation strengthened by stairwell on summer indoor thermal environment in the traditional Qilou buildings in Yingping District of Xiamen City, one typical case with thermal pressure ventilation and unilateral wind pressure ventilation was selected, and the indoor and outdoor wind speed, temperature and humidity were measured. The analysis of measure data illustrates that, with thermal pressure ventilation, the second floor's indoor ventilation and cooling effect are significantly better than those with unilateral wind pressure ventilation, the average of the indoor and outdoor wind speed ratio is 2.3 times higher than that with unilateral wind pressure ventilation, and during 13:00-15:00, the indoor wind speed reaches peak value, the human body thermal sensation could reduce 1.07 °C. However, the indoor wind speed of the third floor of hot pressure ventilation is equivalent to that of single-sided ventilation, which is not enough to produce significant differences in indoor temperature. During hot pressing and unilateral ventilation, the indoor temperature on the third floor fluctuates significantly with the outdoor air temperature.

收稿日期: 2024-03-09

通信作者: 黄鹭红(1979-), 女, 副教授, 博士, 主要从事建筑设计及其理论研究。E-mail: 287069663@qq.com。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51408515); 福建省自然科学基金面上资助项目(2021J01301)

It is recommended to add a roof insulation layer and to increase the height of the staircase protruding from the roof and its top opening ratio, in order to reduce the indoor solar radiation heat gain of the third floor, to increase indoor wind speed, and to enhance the impact of thermal pressure ventilation on the indoor thermal environment.

Keywords: traditional Qilou; stairwell; thermal pressure ventilation; indoor thermal environment; Yingping District of Xiamen City

骑楼是在我国南方湿热地区广泛存在的临街商住楼,大进深小面宽。目前,针对骑楼室内自然通风的研究主要集中在漳州、泉州和广州等地区,研究内容侧重于天井和廊道对骑楼热压和对流通风的影响^[1-3]。厦门近代骑楼不同于漳泉、广东、广西等其他南方地区的骑楼,它层数多、大多无天井,随着城市化进程和老城区的高密度发展,产权几经分割,形成大量的单面采光通风户型,夏季室内湿热且自然通风条件较差,严重影响居住品质^[4],学界在天井“烟囱效应”促进通风方面的研究成果对于鲜有天井的厦门近代骑楼的适用性不强。因此,本文通过对比现场实测数据,研究厦门近代骑楼梯梯间热压通风对夏季室内热环境的影响,并提出改善措施和建议。

1 公共竖向楼梯热压通风潜能

营平历史街道及骑楼现状分布,如图 1 所示。厦门营平片区以鹭江道、厦禾路、思明北路和大同路为边界,包含了厦门“五纵两横”近代骑楼的“三纵”(厦禾路、开元路、大同路)和“两横”(开禾路、思明北路),保留着“下商上住”的最初格局,沿街界面完整统一,是厦门近代骑楼街区的典型代表。营平片区沿街 337 户近代骑楼的公共竖向楼梯空间可分为 3 个大类、6 个子类(表 1),其中,楼梯位于住宅中心且四周临内墙(a1)的空间类型占比高达 77.15%,在营平片区内最普遍。

相较于其他类型,a1 类型的楼梯位置分布于建筑平面的几何中心,楼梯间产生的热压抽拔力能更均匀地影响到户内空间,有利于实现户内风环境的全域优化,可见,厦门营平近代骑楼公共楼梯间具备良好的热压通风潜能。选取 a1 类型空间的骑楼为样本,对比测试公共楼梯间的热压通风潜能被激活前、后的骑楼室内热环境状况。

2 室内热环境测试概况

2.1 测试对象及测试工况

厦门地区夏季盛行偏南风,选定建筑朝向与盛行风向垂直的担水巷 3 号骑楼,研究在风压通风最不利条件下热压通风对室内热环境的改善效果。

担水巷 3 号是一栋典型的沿街骑楼,共 3 层,底层和上部住宅出入口分离,上部住宅的楼梯间顶部对外界有可开闭的开口。其住宅平面图及测点布置图,如图 2 所示。楼梯间位于住宅中心且四周临内墙,属最常见的空间类型(a1);上部住宅每层为两户一室一厅的单侧通风户型,为避免盛行风对热压通风的影响,以西北朝向的户型为测试对象。

实验设计了 2 种实测工况。工况 1 测试时间为 2021 年 8 月 21 日 9:00—18:00,利用楼梯间的“烟囱效应”引起室内外空气流动;测试对象的窗户和分户门均开启、楼梯间顶部开口开启。工况 2 测试时间为 2021 年 8 月 22 日 9:00—18:00,通过风压引起室内外空气流动,测试对象处于常态下的单侧通风状态:窗户开启,分户门关闭,楼梯间出屋面的开口关闭。

测试两日天气晴朗,以偏南风为主,全天室外平均气温分别为 30.7、30.8℃,室外平均湿度分别为



图 1 营平历史街道及骑楼现状分布
Fig.1 Current distribution of historical streets and traditional Qilou in Yingping

表 1 营平近代骑楼公共竖向楼梯空间分类统计表
Tab.1 Classification and statistics of public vertical stairwell space in traditional Qilou in Yingping

公共竖向空间类型		数量/户	比例/%
大类	子类		
楼梯位于中心(A)	楼梯四周临内墙(a1)	260	77.15
	楼梯一侧临外墙(a2)	15	4.45
	楼梯单侧临墙(b1)	36	10.68
楼梯位于端部(B)	楼梯两侧临墙(b2)	14	4.15
	楼梯局部外凸(b3)	1	0.30
	楼梯局部外凸(b3)	5	1.48
楼梯贯通两端(C)		6	1.78
总计		337	100.00

78.7%,78.1%。测试期间(9:00—18:00),室外平均气温分别为 34.6,34.0℃;室外平均风速分别为 0.51,0.59 m·s⁻¹,单侧通风工况的室外气温略低于热压通风,室外风速略高于热压通风,其气象条件更有利于室内散热,降低人体热感觉。

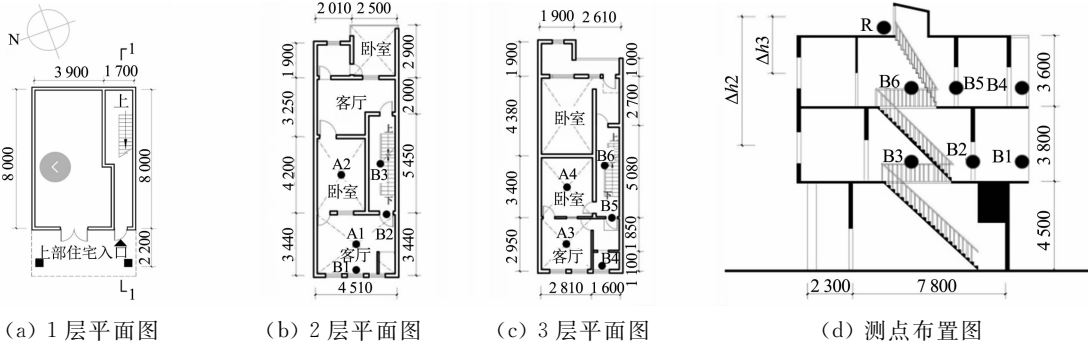


图 2 担水巷 3 号住宅平面图及测点布置图(单位:mm)

Fig. 2 Plan and measurement point layout of residential building No. 3 in Danshui Lane (unit: mm)

2.2 测试仪器及测点布置

测量的热环境参数包括室内外风速(测点 R,B1~B6)、室内外空气温度和湿度(测点 R,A1~A4)。实测采用人工记录和自动记录相结合的方式。各测点风速每小时人工同步测量 1 次,空气温度和湿度数据每 5 min 自动同步采集 1 次。

风速和空气温湿度测试分别采用 Testo425 型热线风速计和 AZ8829 型温湿度记录仪,精度分别为 ±0.03 m·s⁻¹,±0.6℃和±3%。测点设置在距楼地面 1.5 m 的高度上(图 2)。为了避免太阳辐射对温湿度测量的影响,室外温湿度感应器加装防辐射罩。

3 室内热环境实测分析

2 种工况下风速和空气温度随时间的变化情况,如图 3,4 所示。图 3,4 中: v_h, θ_h 为热压通风风速和温度; v_u, θ_u 为单侧通风风速和温度。由图 3,4 可知以下 4 点结论。

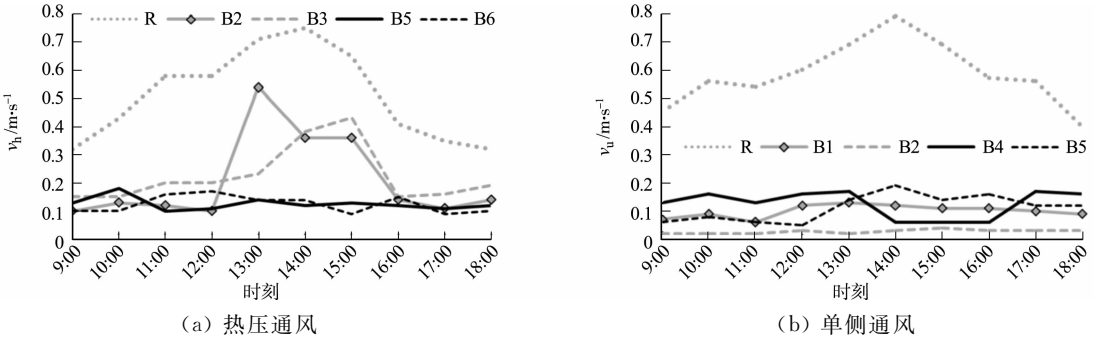


图 3 2 种工况下风速随时间变化曲线

Fig. 3 Curves between time and wind speed under two working conditions

- 1) 测试期间,受屋顶热辐射影响,2 层的气温始终低于 3 层。
- 2) 单侧通风时,3 层受周边建筑的遮挡小于 2 层,3 层的室内风速大于 2 层。
- 3) 热压通风时,2 层的通风效果优于 3 层。据统计,测试期间 2 层(测点 B2,B3)的平均风速比 3 层(测点 B5,B6)的高 0.09 m·s⁻¹。这是由于白天楼梯间顶部开口附近的空气受热上升,周围较低温度的空气不断流入楼梯间进行补充,促成室内空气流通。楼梯间顶部开口和各进风口间的高度差(Δh)和温度差(Δt)决定了空气流通的效果,两者的值越大,通风效果越好。图 2 中:Δh2 大于 Δh3,而且受屋顶热辐射作用,3 层室内气温高于 2 层,导致楼梯间顶部开口与 2 层进风口的气温差大于其与 3 层进风口的气温差,因此,热压通风时,2 层的室内风速高于 3 层。
- 4) 热压通风时,2 层风速随时间变化明显,13:00—15:00 期间,室内风速显著增加。但热压通风时 3 层风速均处于低值稳定状态,与单侧通风的 2,3 层室内风速变化规律一致。

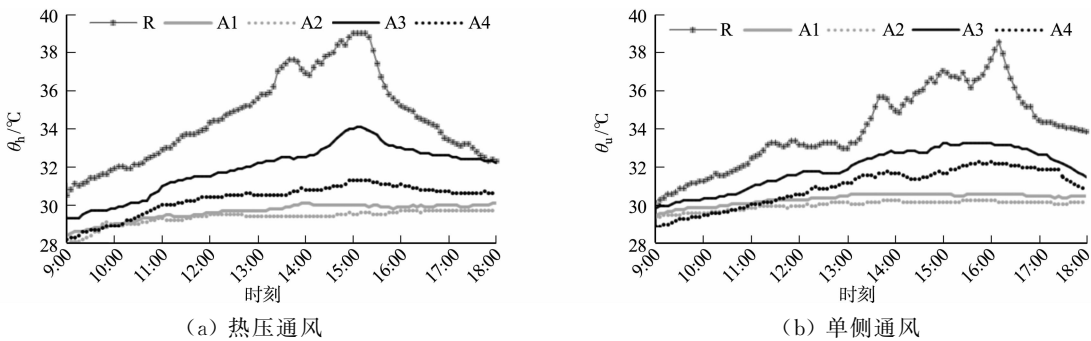


图 4 2 种工况下空气温度随时间变化曲线

Fig. 4 Curves between time and air temperature under two working conditions

3.1 室内外风速比对比

由于不同工况的风速不是同时测量,对同一时刻室内外风速比(简称风速比)进行对比。风速比越大,表明其风速衰减度越小,室内通风状态越好,越适宜湿热地区的气候条件。

两种工况室内 6 个测点的风速平均值,如表 2 所示。表 2 中: v_a 为室内风速平均值。以热压通风的风速均值各层最低测点(B2,B6)、风压通风的风速均值各层最高测点(B1,B4)为样本,计算风速比(δ)。

表 2 2 种工况下室内风速平均值

Tab.2 Average indoor wind speed under two working conditions

工况	测点	$v_a/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	工况	测点	$v_a/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
热压通风	B2	0.21	单侧通风	B1	0.10
	B3	0.22		B2	0.03
	B5	0.13		B4	0.13
	B6	0.12		B5	0.11

各样本测点的风速比及其箱型图,如图 5 所示。由图 5 可知:测试期间的风速比平均值排序为 B2(热压 2 层)> B6(热压 3 层)> B4(单侧 3 层)> B1(单侧 2 层);测试期间,2 层的热压通风风速比平均值是单侧通风的 2.3 倍,其风速比除了在 12:00 时略低于单层通风外,其余时刻均明显高于单层通风,尤其在 13:00—15:00 期间,其风速比平均值是单侧通风的 3.6 倍;测试期间,3 层的热压通风风速比平均值是单侧通风的 1.1 倍,其风速比在 14:00—16:00 期间显著高于单侧通风,其余时刻略小于或略大于单侧通风。

可见,热压通风时,各层风速最低区域的风速比平均值均大于单侧通风时风速最高区域,其风速的平均衰减度小于单侧通风;2 层室内通风状况显著优于单侧通风,3 层室内通风状况与单侧通风相当。

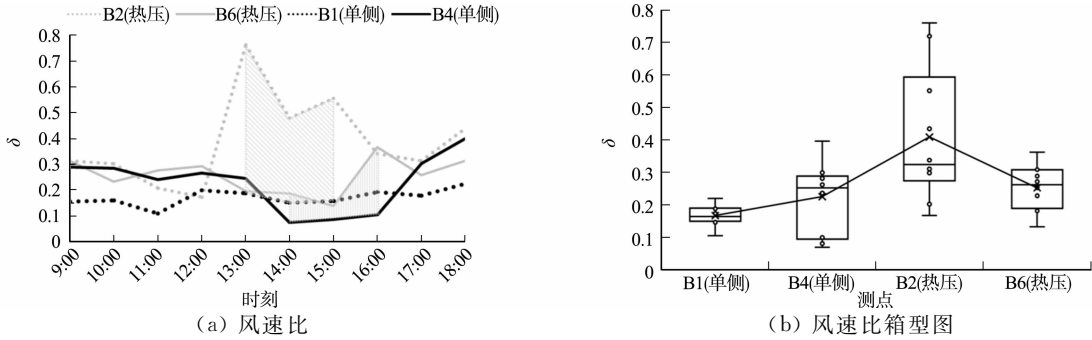


图 5 各样本测点的风速比及其箱型图

Fig. 5 Wind speed ratio and box plot of each sample measurement point

3.2 室内温度对比

客厅位于室内外空气流通的主要路径上,因此,将其作为各层的典型房间,不同工况的室内气温,如图 6 所示。图 6 中: θ 为空气温度。由图 6 可知以下 3 点结论。

1) 9:00—15:40 期间,热压通风的室外气温高于单侧通风,平均温差达 1.3℃;15:40—18:00 期间,热压通风的室外气温低于单侧通风,平均温差达 1.5℃。

2) 9:00—15:40 期间,热压通风在室外气温高于单侧通风的情况下,其 2 层客厅的室内气温始终低于单侧通风,平均温差为 0.63℃;15:40—18:00 期间,该温度仍持续低于单侧通风,平均温差为 0.49℃。可见,热压通风对 2 层的降温效果显著优于单侧通风,该优势受室外气温影响很小。

3) 9:00—15:40 期间,热压通风的 3 层客厅的室内平均气温比单侧通风的高 0.18 ℃;15:40—18:00 期间,受室外气温影响,该平均温度比单侧通风的低 0.14 ℃。可见,由于屋顶隔热措施不完备,3 层的室内气温明显随室外气温而波动,自然通风方式转换产生的室内风速变化对其影响权重远不及室外气温。

3.3 室内综合补偿温度对比

夏季偏热环境下,加强空气流动能够降低人体热感觉,改善人体热舒适性;而相对湿度的上升会降低人体的蒸发和呼吸的散热效率,增加人体热感觉,加剧热不适感^[5-13]。热压通风测试期间,在通风最佳时段(13:00—15:00)内,室内气温和风速同时处于高峰,室内风速的升高一定程度上消除了气温上升对人体热感觉的影响,提升了人体的热适应性。

将风速和湿度对人体热感的影响表示为对人体造成同等热感的空气温度,即综合补偿温度,其中包括风速补偿温度 θ_v ^[14] 和湿度补偿温度 θ_φ ^[5],即

$$\theta_v = \begin{cases} 0.55v/0.15 - 4(\varphi - 70\%), & \varphi \geq 70\%, \\ 0.55v/0.15, & \varphi < 70\%, \end{cases} \tag{1}$$

$$\theta_\varphi = (0.25/10\%) \times (60\% - \varphi), \quad \varphi \geq 60\%, \tag{2}$$

$$\theta_c = \theta_v + \theta_\varphi. \tag{3}$$

式(1)~(3)中: v 为室内风速; φ 为相对湿度; θ_c 为综合补偿温度。

夏季综合补偿温度越高,表明室内的风速和相对湿度在降低人体热感方面的效果越明显,室内热环境越佳。利用式(1)~(3)分别计算两种工况各层客厅在不同时刻的综合补偿温度。计算时,热压通风的室内风速取各层最不利值(测点 B2,B6 的测量值),单侧通风的室内风速取各层最优值(测点 B1,B4 的测量值)。计算结果,如图 7 所示。由图 7 可知以下 3 点结论。

1) 测试期间各层湿度补偿温度的平均值均为负值,且同层 2 种工况的数值非常接近。可见,室内湿度加大了人体热感觉负担,且同层湿度对热感觉的负作用受自然通风状态的影响很小。

2) 测试期间,单侧通风当日的室外气象条件更有利于室内散热和降低人体热感觉,但其 2 层的综合补偿温度均小于或接近 0。可见单侧通风对 2 层的人体热感觉无积极效应。

3) 在室外平均气温最高的 13:00—15:00 期间,2 层和 3 层热压通风的综合补偿温度的平均值分别为 1.07,0.40 ℃,且大部分时间热压通风各层的综合补偿温度均比同层单侧通风的高,2 层和 3 层的平均值分别比单侧通风的高 1.10,0.12 ℃。可见,在夏季室内外气温的高峰时段(13:00—15:00),热压通风对人体热感觉的改善效果比单侧通风的好,尤对 2 层的效果更佳。

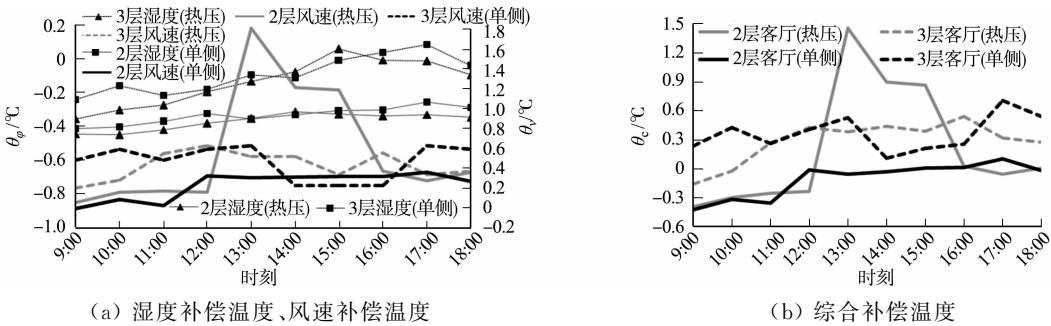


图 7 各层客厅的湿度、风速和综合补偿温度

Fig. 7 Humidity, wind speed and comprehensive compensation temperature of each living room on each floor

4 结论

厦门营平片区 77.15% 的近代骑楼楼梯位于住宅中心且四周临内墙,公共楼梯间具备良好的热压通风潜能。相较单侧通风,利用楼梯竖向空间进行热压通风能有效改善 2 层的室内热环境和风环境。

测试期间,热压通风的 2 层风速最低区域的风速比平均值是单侧通风风速最高区域的 2.3 倍;2 层室内通风和降温效果均显著优于单侧通风期间,该优势受室外气温影响很小。而且在室外气温最高的 13:00—15:00 期间,热压通风能使 2 层的人体热感降低 1.07℃,而单侧通风却使人体热感增加了 0.03℃,对人体热感无积极效应。

由于屋顶隔热措施不完备,3 层室内气温明显随室外气温而波动;热压通风的 3 层风速与单侧通风的相当,13:00—15:00 期间,热压通风使 3 层的人体热感降低 0.40℃,仅比单侧通风的多 0.12℃,自然通风方式不同,产生的室内风环境差异对室内气温的影响权重远不及室外气温。

因此,增设屋面隔热保温层,减少室内的太阳辐射得热,是改善顶层室内热环境的最有效措施。其次,适当增加楼梯间伸出屋面的高度^[15]与楼梯间的顶部开口率^[16],增加热压通风的风口高度差,以加强顶层热压,提升 3 层室内风速,是扩大热压通风对单侧通风领先优势的重要措施。

参考文献:

[1] 薛佳薇,冉茂宇,吴扬. 泉州不同朝向骑楼柱廊夏季热环境测试与比较分析[J]. 建筑科学,2011,27(8):17-23. DOI: 10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2011.08.009.

[2] 陈敬,王丽娟,刘加平,等. 海口传统骑楼夏季室内热环境测试研究[J]. 建筑科学,2011,27(4):42-47. DOI:10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2011.04.008.

[3] 蓝洪宁. 基于建筑环境舒适性的广州骑楼参数化改造设计研究[D]. 广州:华南理工大学,2019. DOI:10.27151/d.cnki.ghnlu.2019.003398.

[4] 石悦含,黄鹭红. 厦门骑楼住宅自然通风优化研究:以营平片区为例[D]. 厦门:华侨大学,2022. DOI:10.27155/d.cnki.ghqiu.2022.000798.

[5] ZHAI Yongchao,MIAO Fengyu,YANG Liu,*et al.* Using personally controlled air movement to improve comfort after simulated summer commute[J]. Building and Environment,2019,165:106329. DOI:10.1016/j.buildenv.2019.106329.

[6] 崔惟霖,欧阳沁,余娟,等. 相同热感觉条件下不同环境温度与风速组合对人体舒适性及工作效率的影响[J]. 暖通空调,2013,43(7):68-72.

[7] 谈美兰. 夏季相对湿度和风速对人体热感觉的影响研究[D]. 重庆:重庆大学,2012.

[8] 徐小林. 重庆夏季室内热环境对人体生理指标及热舒适的影响研究[D]. 重庆:重庆大学,2005.

[9] 田元媛,许为全. 热湿环境下人体热反应的实验研究[J]. 暖通空调,2003,33(4):27-30.

[10] DE DEAR R J,AKIMOTO T,ARENS E A,*et al.* Progress in thermal comfort research over the last twenty years [J]. Indoor Air,2013,23(6):442-461. DOI:10.1111/ina.12046.

[11] JIN Ling,ZHANG Yufeng,ZHANG Zhongjun. Human responses to high humidity in elevated temperatures for people in hot-humid climates[J]. Building and Environment,2017,114:257-266. DOI:10.1016/j.buildenv.2016.12.028.

[12] ZUO Chunying,LUO Lin,LIU Weiwei. Effects of increased humidity on physiological responses, thermal comfort, perceived air quality, and sick building syndrome symptoms at elevated indoor temperatures for subjects in a hot-humid climate[J]. Indoor Air,2020,31(2):524-540. DOI:10.1111/ina.12739.

[13] SU Xing,ZHANG Xu,GAO Jun. Evaluation method of natural ventilation system based on thermal comfort in China[J]. Energy and Buildings,2009,41(1):67-70. DOI:10.1016/j.enbuild.2008.07.010.

[14] 王宇,易小楠. 成都地区气候条件对人体热舒适影响的研究[J]. 制冷与空调,2011,25(1):19-22. DOI:10.3969/j.issn.1671-6612.2011.01.005.

[15] 周孝清,徐敏,庞玥,等. 竹筒屋天井的热压通风的潜力分析[J]. 华中建筑,2021,39(11):49-53. DOI:10.13942/j.cnki.hzjz.2021.11.011.

[16] 贾佳,倪阳,贺维桢. 拔风井对改善办公建筑过渡空间自然通风效果的模拟与验证:以华南理工大学广州国际校区大数据实验中心为例[J]. 建筑学报,2021(增刊 2):86-93.

(责任编辑:黄晓楠 英文审校:方德平)