

文章编号: 1000-5013(2011)04-0438-05

厦门住宅夏季室内自然通风热环境实测与评价

冉茂宇, 刘晓迅, 胡深, 吴扬

(华侨大学 建筑学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 以厦门市 4 户住宅的夏季室内风速和热环境实测为例, 探讨从参数变化中获得房间自然通风时段; 在此基础上, 提出用累积分布预测平均热反应指标(PMV_N)来评价房间自然通风条件下热环境的方法, 统计分析所测房间自然通风下 PMV 值的大小及其出现概率. 结果表明, 房间的白天室内风速较大而夜间室内风速较小, 但就 PMV 值而言, 房间 PMV 值白天比夜间 PMV 值高, 即房间热环境白天比夜间差. 与门窗关闭处于自然状态同时段相比, 夏季自然通风可明显使 PMV 值下降, 从而不同程度地改善室内热环境.

关键词: 住宅; 自然通风; 热环境; 预测平均热反应指标; 夏季; 厦门市

中图分类号: TU 111.191 **文献标志码:** A

我国南方夏季炎热潮湿, 在建筑中充分利用自然通风, 不仅可以改善室内热环境, 提高室内空气质量, 而且可以缩短夏季空调时间, 达到空调整能的目的. 然而, 长期以来, 人们对室内自然通风的研究, 要么是关注其定性分析^[1-3], 要么是关注其数值模拟^[4-5], 或者是简单问卷调查研究, 很少涉及对具体使用房间的自然通风和热环境实测及全面评价. 显然, 定性的分析对于建筑自然通风的设计有用, 但无法获得具体明确的认识; 数值模拟可以获得在一定风速条件下室内流场分布和大小, 但由于室外自然风瞬息变化, 模拟结果只能反映有限的工况. 问卷调查及简单实测主要用于考查自然通风对室内热环境的改善作用, 在这方面, 国内外都作了大量工作, 并提出了以室外气温或室内气温作为标准来衡量自然通风对室内热环境的改善作用. 由于影响室内热环境的因素很多, 以单一的气温指标来判断或评价热环境是不全面的. 缺乏相关实测和全面评价的原因很多, 一是由于实测需要大量仪器, 时间长且工作量大; 二是实测时对住户正常生活与工作有影响, 一般住户不愿接受; 三是住户虽然愿意配合, 但住户生活工作时会时而开启门窗通风, 时而关闭门窗进行采暖或空调整冷, 难以明确室内何时段为自然通风; 四是对有限的房间进行实测得出的结论难有代表性, 说服力不足. 由此, 很多研究者无力或不愿涉足这一费时费力的研究工作. 本文对福建省厦门市的居住建筑夏季自然通风及室内热环境进行实测, 并提出的有关自然通风时段获得方法及自然通风下热环境评价.

1 实测对象

厦门市地处福建东南沿海, 热季长(5 月至 10 月), 冷季短(12 月至次年 2 月), 受太平洋温差气流影响, 常年潮湿多风, 年均风速可达 $3.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 有良好的自然通风条件.

在实测调查的 4 户住宅中: 住宅 1 为厦门岛外的集美区, 其周围有其他建筑围合; 住宅 2~4 为厦门岛内的思明区, 住宅 2 南面为空旷地接海面, 住宅 3 东南侧为空地, 住宅 4 南临大海. 从周围状况看, 住宅 1 通风条件最差, 住宅 4 通风条件最好, 而住宅 2 和住宅 3 的自然通风间于住宅 1 和住宅 4 之间. 表

收稿日期: 2010-11-19
通信作者: 冉茂宇(1967-), 男, 教授, 主要从事建筑室内外物理环境、建筑节能与建筑热工的研究. E-mail: ranmaoyu@yahoo.com.cn.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51078156); 福建省科技重大专项(2008HZ0003-1); 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); 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室基金资助项目(2009KB13)

1 和图 1 分别为被测住宅所在单元的相应的朝向、楼层等情况及平面图示意图。从图 2 的平面布置看, 除住宅 2 的次卧室的 2 门窗错开而通风欠佳外, 其他房间都是门窗对开风路顺畅。

表 1 被测住宅的基本情况

Tab. 1 Basic situation of the test residential building

住宅	A/m ²	所建年代	楼层	朝向	建筑结构	型式	空调数	空调位置	电扇数量
1	82	2006	1	南偏西 36°	框架	1 梯 2 户 3 单元 7 层	3	客厅、卧室	1
2	136	2003	3	南偏东 61°	框架	1 梯 2 户 3 单元 5 层	4	客厅、卧室	1
3	130	2000	4	南偏西 3°	框架	1 梯 2 户 2 单元 6 层	3	客厅、卧室	1
4	86	2003	4	南偏西 10°	混合	1 梯 2 户 3 单元 5 层	2	客厅、卧室	1

2 实测方法

实测期间, 在住宅的客厅及卧室(主卧或次卧)分别放置微气候测试分析仪, 自动监测记录客厅和卧室的气流大小、空气温度、相对湿度和黑球温度。微气候测试分析仪参数: 测温范围为 0~60 ℃, 精度为 0.06 ℃; 风速量程为 0.06~2.50 m·s⁻¹, 在测量范围内误差不超过 5%; 相对湿度量程为 10~100%, 误差不超过 5%; 黑球温度量程为 1~60 ℃, 精度为 0.06 ℃。

由于住宅启用空调时, 房间气温和相对湿度会急剧下降, 故可通过空气温度和相对湿度的变化排除测试期间因空调启用造成的非自然通风时段。又由于门窗关闭时室内风速小且稳定, 故可从风速大小变化判断门窗是否关闭, 从而排除因门窗关闭造成的另一种非自然通风时段。

确定房间的自然通风时段后, 就可对自然通风时段的风速及预测平均热反应指标(predicted mean vote, 简称 PMV)值进行统计分析。实测选在最热月 7 月下旬, 测试时设置人体活动量为 65 W·m⁻²(轻微活动)、衣着热阻为 0.077 5 m²·K·W⁻¹(短袖衫和薄长裤), 设置仪器每 10 min 自动记录一次, 对每一住户进行 3 d 左右的连续监测, 测点布置见图 1 中黑色圆点。

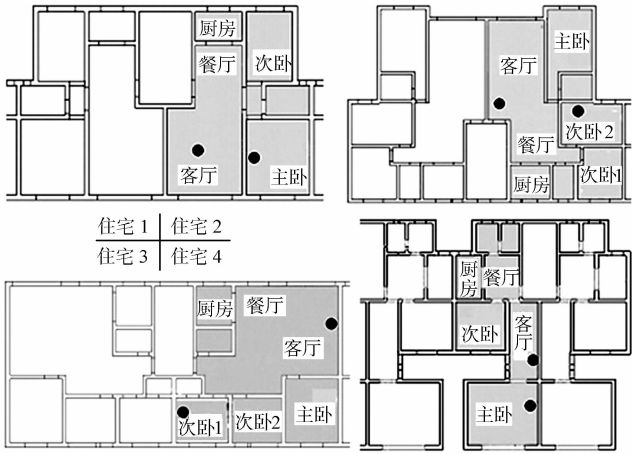


图 1 被测住宅所在单元平面示意图

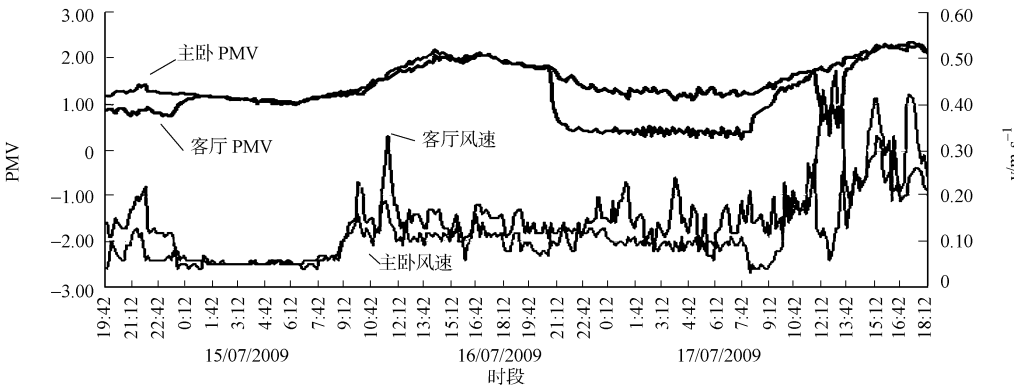
Fig. 1 Plan of the unit in the test residential building

确定房间的自然通风时段后, 就可对自然通风时段的风速及预测平均热反应指标(predicted mean vote, 简称 PMV)值进行统计分析。实测选在最热月 7 月下旬, 测试时设置人体活动量为 65 W·m⁻²(轻微活动)、衣着热阻为 0.077 5 m²·K·W⁻¹(短袖衫和薄长裤), 设置仪器每 10 min 自动记录一次, 对每一住户进行 3 d 左右的连续监测, 测点布置见图 1 中黑色圆点。

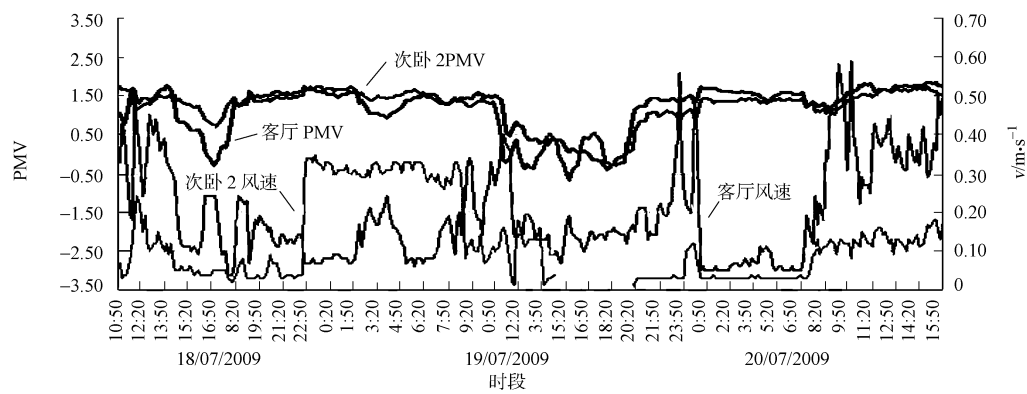
3 实测结果与分析

测试住宅的 PMV 值和风速(*v*)的变化, 如图 2 所示。

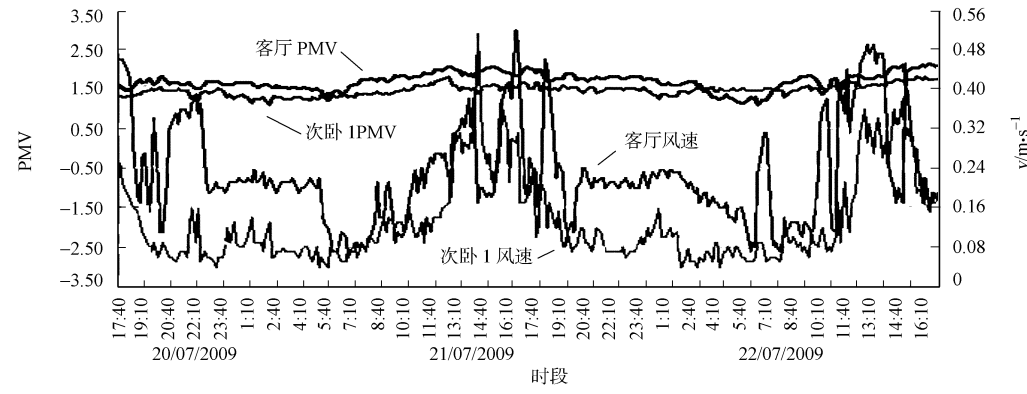
从图 2(a)可看出, 住宅 1 的客厅和主卧在 7 月 16 日的 00:00~08:32, 其门窗关闭未进行自然通风, 主卧室在 7 月 16 日的 21:00 至 7 月 17 日的 8:12, 以及 7 月 17 日的 11:52~13:12 使用了空调, 为非自然通风时段。



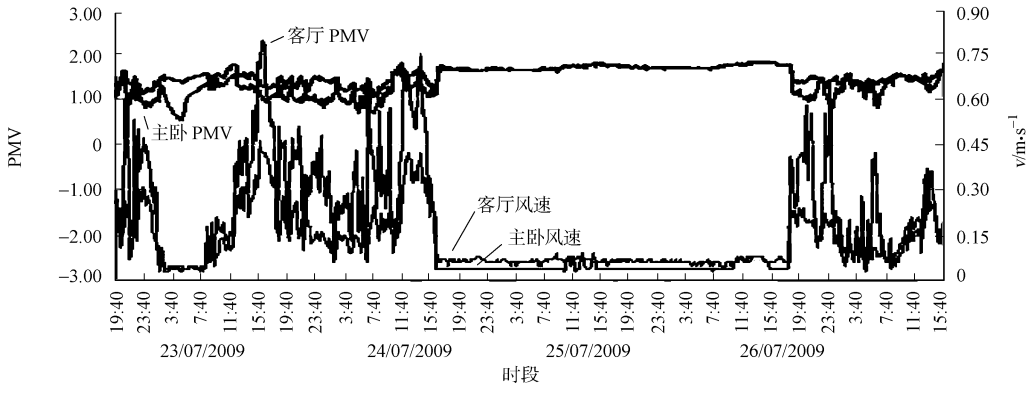
(a) 住宅 1



(b) 住宅 2



(c) 住宅 3



(d) 住宅 4

图 2 住宅的 PMV 值和风速的变化

Fig. 2 Variation of the PMV index and air velocity in the test room

从图 2(b)可看出,住宅 2 的客厅和次卧 2 在 7 月 18—19 日白天使用了空调,在 7 月 19—20 日夜间有段时间门窗关闭;而从次卧室 2 的风速变化可知,在 7 月 18 日的 22:40 至 7 月 19 日的 8:40 时段,风速值较大且相当平稳,这是由于使用了电扇,故不计入自然通风时段。

从图 2(c)~(d)可知,住宅 3 在测试期间都未使用空调,也未关闭门窗;住宅 4 只有主卧室在 7 月 23 日夜间启用过短暂的空调,从 7 月 24 日下午到 7 月 27 日下午关闭门窗,没有进行自然通风。

事实上,当房间短时启用空调或受到邻室空调影响时,从 PMV 值尚不能准确确定是否使用空调,需要参考室内的温湿度变化来确定。限于篇幅,文中不再列出空气温度、相对湿度及黑球温度的变化。

从图 2 中的风速变化可知,在自然通风时段,同一房间室内自然风速在白天波动较大且平均值较高,而夜间波动较小且平均值较小。因此,对于同一房间而言,白天自然通风较夜间好。同样,从图 2 中的 PMV 值变化可知,在自然通风时段,同一房间 PMV 值白天高、夜间低,表明房间热环境在白天较夜间差。另外,图 2(d)明确示出了第 4 户住宅门窗关闭和自然通风两种状况下的 PMV 对比。从 PMV 变

化可明显看出,自然通风使室内 PMV 值明显下降,改善了室内热环境.

4 自然通风下房间热环境评价方法

在自然通风条件下,室内热环境与空气温度、相对湿度、风速大小和黑球温度等有关.国内外对自然通风状态下室内热环境做了大量的研究,发现自然通风条件下人体的热感觉与空调环境下有很大差别.林其标^[6]对广州的自然通风房间的热环境作了调查.结果表明:自然通风条件下,室内气温在 28~29℃时,人体是“舒适”的;室内气温在 30~32℃时,人体是“可忍受”的;而当室内气温大于 33℃时,人体是“不能忍受”的;当室内气温大于 30℃、相对湿度大于 85%后,自然通风不仅不能改善室内热环境,反而使室内热环境更加恶化.付祥钊等^[7]对长江流域住宅自然通风下的热环境做了调查.数据分析表明:当夏季室内气温不超过 28℃时,居民普遍对室内热环境表示满意;当室温在 28~30℃之间时,约 30%的人感到热,绝大多数人都还能正常生活;当室温在 30~34℃时,约 84%的人感到热,14.5%的人感到不能在室内睡眠;当室温超过 34℃时,100%的人感到热,42.3%的人感到热得难以忍受.

参考前人的研究结果,考虑到厦门地区夏季炎热潮湿及人们生活水平的提高,可将室内气温不超过 28℃作为利用自然通风的高级标准,此时利用自然通风可使室内热环境达到“热舒适”水平;而将室内气温 28~30℃作为利用自然通风的低级标准,此时利用自然通风可使室内热环境达到“可接受”水平.

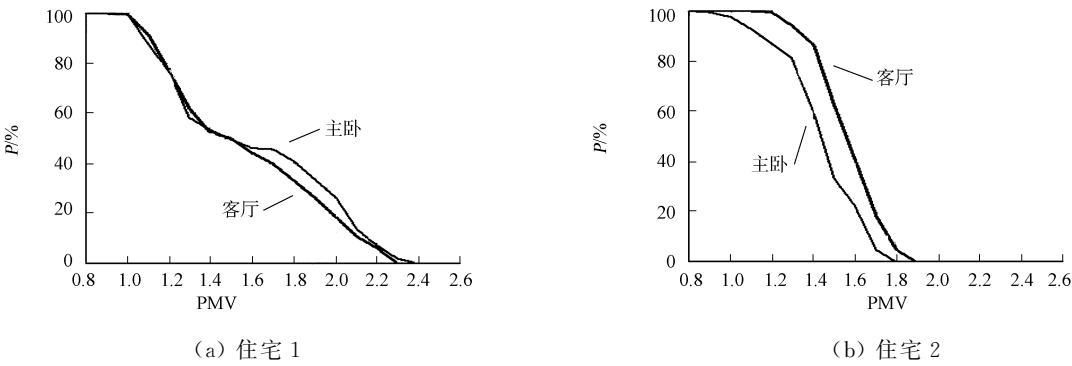
基于上述前人的研究工作,鉴于自然通风下室内 PMV 值是波动变化的,类似于动态噪声评价指标累积分布声级 L_N .故提出“累积分布 PMV_N”的概念,用以评价房间自然通风下的热环境状况.累积分布 PMV_N 表示在自然通风时段内,有百分之 N 的时间 PMV 超过的值.

通常,人体对小于 $0.15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的气流是感受不到的,故将风速(v)为 $0.15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 作为评判有无风的标志.在自然通风条件下,室内气温 t_a 与壁面平均辐射温度 \bar{t}_r 相差不大.将 $t_a=\bar{t}_r=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v=0.15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $\rho_v=23\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ (平均绝对湿度 ρ 由所测气温和相对湿度算出),以及人体活动量 $M=64\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和衣着热阻 $I_{cl}=0.0775\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ 代入热舒适方程,即可得 $\text{PMV}=1.04$. 将 $t_a=\bar{t}_r=30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v=0.15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $\rho_v=23\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, $M=64\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $I_{cl}=0.0775\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ 代入热舒适方程,可得 $\text{PMV}=1.67$. 由此,可将 $\text{PMV}\leq 1.04$ 作为夏季自然通风“舒适”标准, $1.04<\text{PMV}\leq 1.67$ 作为“可接受”标准, $\text{PMV}>1.67$ 作为“不可接受”标准.

5 自然通风时段房间热环境评价

测试房间在自然通风时段的 PMV 累积统计概率(P),如图 3 所示.从图 3 可得出各测试住宅在自然通风时段的累积概率,如表 2 所示.

从表 2 可知,在自然通风条件,住宅 3 客厅热环境最差,其“可接受”概率只有 41.6%，“不可接受”概率达到 58.4%；其次是住宅 1 客厅和主卧室,其“可接受”概率和“不可接受”概率都在 50%左右；热环境较好的是住宅 3 的次卧室 1 和住宅 4 的客厅,两者“可接受”概率达到 90%以上,“不可接受”概率只在 10%以内；热环境最好的是住宅 4 主卧室,其“舒适”概率为 31%，“可接受”概率为 68.2%，“不可接受”概率几乎为 0%.



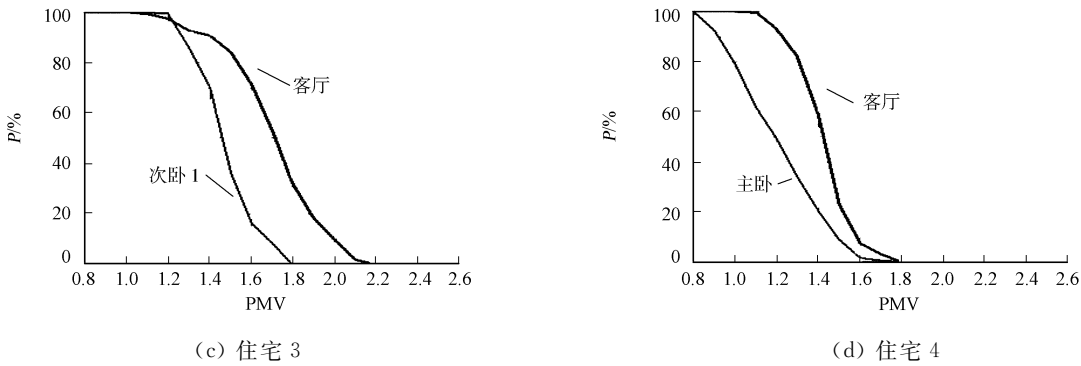


图 3 自然通风时段被测住宅的 PMV 累积统计概率

Fig. 3 Cumulative distribution of the PMV index in the test room under natural ventilation

6 结束语

初步把握夏季自然通风对厦门市住宅室内热环境的影响,可为室内自然通风和热环境的测试与评价提供参考.虽然文中所测住户数有限,但对于丰富该领域的知识及资料是有益的.

参考文献:

[1] 冉茂宇. 自然通风地道最佳长度的确定[J]. 华侨大学学报:自然科学版,1999,20(2):158-163.
[2] 胡达明. 福建省夏热冬暖地区建筑夏季自然通风的分析及探讨[J]. 福建建设科技,2008(3):96-98.
[3] 竞峰,张旭,杨洁. 我国部分城市办公建筑自然通风潜力分析[J]. 同济大学学报:自然科学版,2008,36(1):92-96.
[4] 张庆余,季晓斌,高梅. 厦门地区住宅自然通风节能设计初探[J]. 福建建筑,2008(9):33-35.
[5] 李安桂,丘少会,张新记. 春季西安市住宅自然通风环境的热感觉调查[J]. 建筑热能通风空调,2008,27(2):5-7,17.
[6] 林其标. 广州地区住宅室内热环境研究[J]. 南方建筑,1990(1):33-38.
[7] 付祥钊,高志明,康侍民. 改善长江流域住宅热环境的通风措施[J]. 住宅科技,1994(4):3-6.

Measurement and Evaluation of the Indoor Natural Ventilation
and Thermal Environment in Summer for
the Residential Building in Xiamen

RAN Mao-yu, LIU Xiao-xun, HU Shen, WU Yang

(College of Architecture, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: The indoor natural ventilation and thermal environment were investigated by measuring various parameters of 4 residential buildings in Xiamen, to obtain the natural ventilation periods, then the method of predicted mean vote (PMV_N) was proposed to evaluate the indoor thermal environment under natural ventilation, finally the values of PMV -index in different measured rooms were statically analyzed. The measured results show that: under natural ventilation, the air velocity in the measured room is high in daylight and is low at night, PMV -index in daylight is higher than the index at night, that is, the indoor thermal environment is worse in the daytime than that at night; the natural ventilation can obviously lower the PMV value and improve the indoor thermal environment.

Keywords: indoor; natural ventilation; thermal environment; predicted mean vote index; summer; Xiamen