

# 湘南地区多层住宅夏季室内热环境 实测分析与改善研究

尹东衡

(南华大学 设计艺术学院, 湖南 衡阳 421001)

**摘要:** 为研究湘南地区多层住宅的夏季室内热环境状况, 选取衡阳市珠晖区凤凰街道两栋不同年代建造的居住单元作为研究对象, 对其室内风速、温度、湿度等参数进行测试, 分析测试数据; 从室内通风效率、围护结构性能等角度出发, 结合软件模拟计算, 研究采取适宜性的技术措施改善多层住宅夏季室内的热环境, 满足舒适性的居住需求, 为湘南地区的多层住宅设计提供参考。

**关键词:** 湘南地区; 多层住宅; 热环境; 实测分析; 改善措施

**中图分类号:** TU 111

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2018)04-0594-08

## Analysis and improvement of indoor thermal environment of multi-storey residential buildings in Southern Hunan

YIN Dongheng

(1. School of Design and Art, Nanhua University, Hengyang 421001, China)

**Abstract:** In order to study the summer indoor thermal environment of multi-storey houses in southern Hunan, two residential units built in Phoenix Street, Zhuhui District, Hengyang City were selected as the research objects. The indoor wind speed, temperature, humidity and other parameters were tested and the test data were analyzed. From the angle of indoor ventilation efficiency, enclosure structure performance and so on, combined with software simulation calculation, this paper studies the adoption of suitable technical measures for improving the thermal environment in the summer interior of multi-storey houses to meet the needs of comfort. It provides a reference for multi-storey residential design in southern Hunan.

**Key words:** Southern Hunan, multilayer residential building, thermal environment, test analysis, improvement measures

湘南位于亚热带季风性湿润区域, 夏季阳光强烈, 日照时间长, 空气湿度大。根据《民用建筑热工设计规范》GB50176-93 规定, 湘南地区属夏热冬冷地区, 根据湖南省气象公布的数据显示, 近五年湘南地区夏季最热月平均气温 29.6℃, 平均相对湿度接近 80%, 夏季住宅室内温度与湿度较高, 热舒适性差, 采取适宜的气候设计来改善室内热环境极为必要。

目前国外针对住宅气候设计的研究已有较多的成果。印度建筑师柯里亚<sup>[1]</sup>针对当地湿热气候, 在帕里克住宅的设计中运用了“管式”住宅的理念, 利用烟囱效应的原理将住宅剖面设计成钝三角形, 热空气通过不断减小的顶棚上升, 并通过通风口排到室外, 解决了当地平均风速低, 通风量不足的问题; 马来西亚建筑师杨经文<sup>[2]</sup>在私宅的设计

中, 结合当地热带海洋性气候特点, 采用了“生物气候设计”的低耗能技术, 利用屋顶水池来调节进入室内的风的温度与湿度, 将共享空间作为通风井, 实现了连续的通风, 屋顶设置固定的遮阳格片, 根据太阳各季节运行的轨迹, 将格片做成不同的角度, 以控制不同季节的日照程度。

国内诸多学者也进行了大量卓有成效的研究。一是针对某种具体气候因素的效用研究, 如张群<sup>[3]</sup>等针对苏南气候特点和当地民居基本形态条件, 提出了以厅堂为中心展开平面布局, 周围辅以廊道, 利用辅助性空间营造良好的局部通风廊道, 形成室内“峡谷效应”, 强化风压通风的思路。冯林东<sup>[4]</sup>等以华南地区现代住宅建筑为研究对象, 分析其防太阳辐射的做法、遮阳方式、构造做法等, 并以典型的建筑遮阳为例利用阴影法、透光系数

等来分析其遮阳的效果，总结出适宜该地区的建筑遮阳方法；二是侧重于对建筑构件性能改善的研究，如李百战<sup>[5]</sup>等将相变蓄热材料和夜间自然通风结合，通过实验研究发现，不同级别的蓄热体对室温有显著的调节作用，对室内舒适度可起到很好的改善作用，相变材料应用于轻质房间，能显著增强围护结构的热惰性，提高室内的热舒适性。白贵平<sup>[6]</sup>等引入了围护结构的“热稳定性度时数(DH)”和“反应系数(BER)”的概念，分析了不同形式的围护结构对室内空气热稳定性的影响，研究结论对如何针对不同的使用条件下合理选择围护结构的隔热形式有参考意义。尽管已有大量文献从不同视角对如何改善住宅室内热学环境作了分析研究，然而专门针对湘南地区气候条件下

的多层住宅设计研究却并不多见，而且目前国内对于住宅气候设计的研究大多限于某种影响因素的定性研究，没有综合分析各影响因素的作用方式和相互关系。

为进一步研究湘南地区多层住宅夏季室内热环境特征及其成因，本文选取了衡阳市两栋不同年代建造的住宅建筑作为样本进行实地测试，重点测试了起居室、卧室等建筑空间，对室内风速、空气温湿度、壁面温度等数据进行比较及分析，借助模型，结合软件进行定量计算和模拟综合研究，从提高室内通风效率、改善围护结构性能等方面探讨改善居住建筑室内热环境的适宜性技术措施，以期为湘南地区的新建多层住宅设计提供参考。

表 1 测试样本的建筑特点

Tab. 1 Architectural features of the test sample

名称	样本 A	样本 B
空间形式	单层	复式
建筑面积	63 m <sup>2</sup>	282 m <sup>2</sup>
层高	3 m	3.3 m
进深/面宽	10.6 m/起居室 4.9 m、主卧室 3.3 m	12 m/客厅 5.1 m、一层主卧室 3.9 m
墙体材料	240 厚黏土砖墙	300 厚砌块墙
屋面材料	预制板、沥青防水卷材	钢筋砼、高聚物改性沥青卷材
窗户	铝合金窗框、双层玻璃	塑钢窗框、双层玻璃
开口特点	平开窗；西向窗无遮阳；卧室开向阳台、有遮阳	推拉窗；东向窗无遮阳；卧室带飘窗、自遮阳
窗墙比	0.25	0.31

1 测试基本情况

本次测试分 A 与 B 两个样本，均位于衡阳市珠晖区凤凰街道，位置相邻。前者于 1996 年建造，砖混结构，后者于 2007 年建造，部分框架结构。样本 A 与 B 都为南北朝向，样本 B 东向外墙有窗户开口。具体建筑特点如表 1 所示。为体现测试数据的可比性，本次测试只针对建筑的六层进行，测点布置在样本的客厅及主卧室，其中，样本 B

为复式户型，测点主要布置在底层。样本 A 与 B 的平面图与测点布置分别见图 1。

时间为 2016 年 7 月 22 日 8:00—24 日 18:00，天气晴，实测期为湘南地区典型夏季，测试期间住户窗户处于全开启状态。实测用的设备仪器如表 2 所示。考虑到住户下班后在夜间使用空调降温、开动风扇通风，为了提高测试的有效性，本文仅截取 7 月 22 日 8:00—18:00 无人在家逗留期间的数据进行分析研究。

表 2 检测所需仪表及其精度范围

Tab. 2 The scope and precision of the detectors

检测项目	仪器仪表	型号	分度值或精度	采样	
				方式	间隔/min
室内温湿度	温湿度自记仪	Testo 175-H2	±0.2℃/±1.8% RH+0.7%测量值	自动	5
壁面温度	天建华仪	WZY-1	±0.5℃	自动	5
室内外风速	标智热敏式风速仪	GM8903	风速±2% 风温±1℃	自动	20

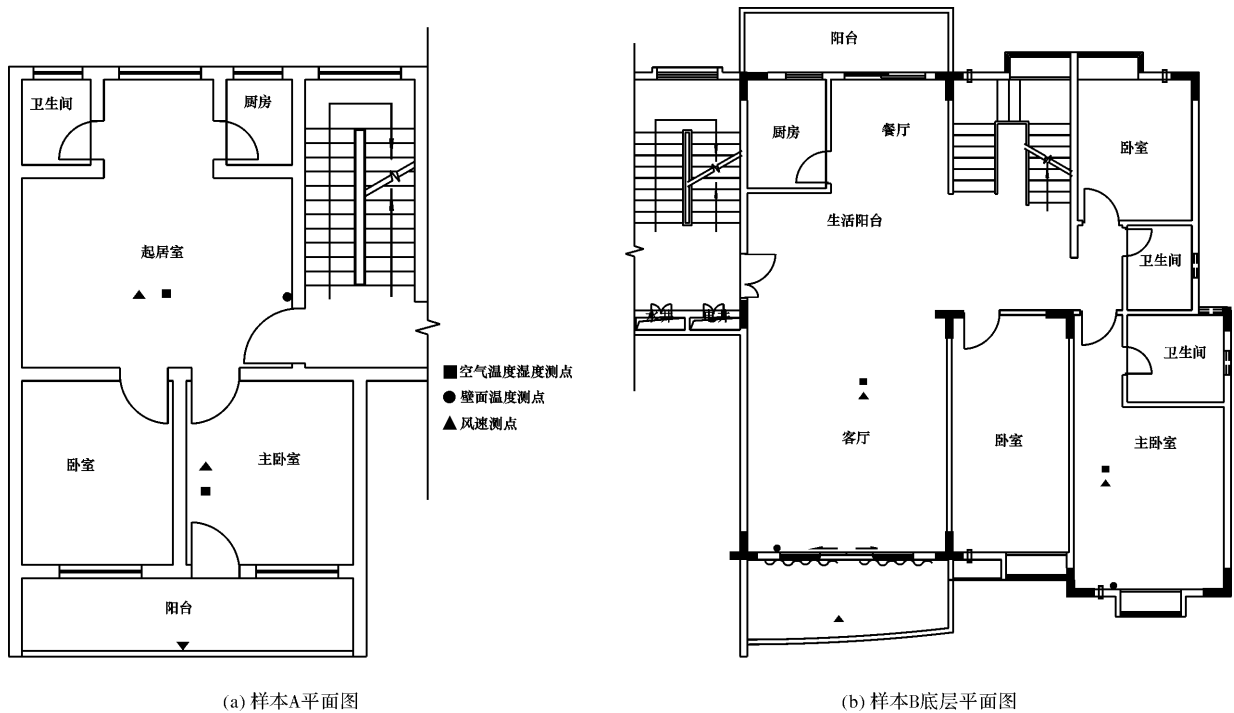


图1 测试样本平面及测试点分布图

Fig. 1 The test samples plan and the distribution map of measuring places

## 2 实测结果及分析

### 2.1 室内风速

如图2所示,样本A起居室厅的风速平均值为  $0.10 \text{ m/s}$ ; 样本B客厅的风速平均值为  $0.25 \text{ m/s}$ ; 样本B2客厅的风速平均值为  $0.15 \text{ m/s}$ . 样本A主卧室的风速平均值为  $0.17 \text{ m/s}$ ; 样本B主卧室的风速平均值为  $0.21 \text{ m/s}$ .

其中,样本A起居室对置门窗开口的有效通风面积之比为:南向卧室门有效通风面积/餐厅北面推拉窗有效通风面积  $= 3.65 \text{ m}^2 / 1.13 \text{ m}^2 = 3.24$ ; 样本B对置的门窗开口的有效通风面积之比为:客厅南向推拉门有效通风面积/餐厅北面推拉门有效通风面积  $= 3.47 \text{ m}^2 / 2.1 \text{ m}^2 = 1.65$ ; 样本B对置开口的有效通风面积较为接近. 另外,样本B的窗墙比较样本A的窗墙比要大6%,意味着通风量更大,风速平均值比样本A要高  $0.15 \text{ m/s}$ .

### 2.2 室内温度

如图3温度横向比较图所显示,样本A的起居室室内测试期间的平均气温为  $31.4^\circ\text{C}$ , 样本B的客厅室内平均气温  $29.8^\circ\text{C}$ ; 样本A的卧室室内平均气温  $31.9^\circ\text{C}$ , 样本B的卧室室内平均气温  $30.4^\circ\text{C}$ .

一般来说,建筑朝向、日照辐射、通风状况

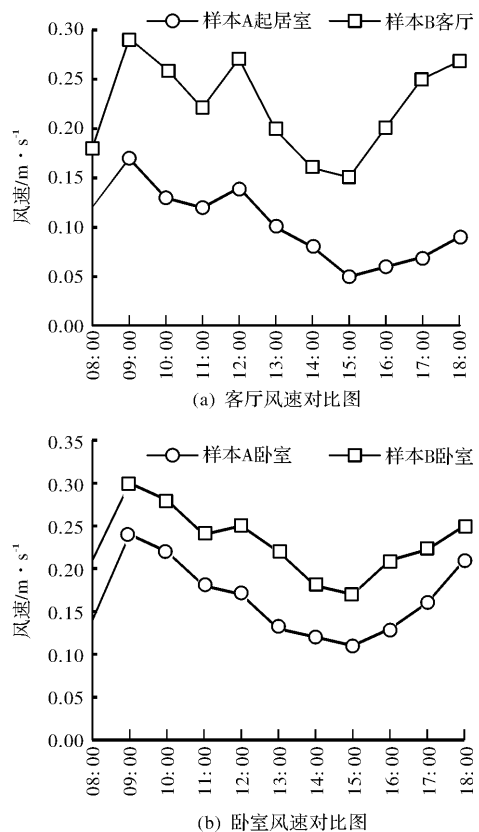


图2 样本A与B室内风速对比图

Fig. 2 The difference in indoor wind speed of samples A and B

和围护结构的蓄热性能对室内气温的表现影响较大<sup>[7]</sup>. 比较两个样本的平面图可以看出,样本A处于所在楼层单元的西侧,样本B位于单元的东

侧。相较而言, 样本 A 受到日光照射的时间和强度均大于样本 B, 加上样本 A 西向墙体材料隔热性能一般, 缺少西向遮阳设施等, 使之更易受到日照辐射和外界气温的影响。

图 3 显示, 室内最高气温均出现在下午 15:00 点左右, 而非中午日射角最大、日照强度最大的 12:00, 这是因为上午时段太阳入射位置在建筑南向, 处在建筑北面日照阴影内的空气没有被阳光加热, 气温较低, 室外南面的热空气和北面凉爽的空气在房间室内形成对流, 带走了室内房间部分的热量, 可以使房间在上午 10:00 前的时段保持适宜的室温, 而随着太阳入射角增大, 建筑北面的空气也被逐渐加热, 经过一段时间的冷热空气热量交换和室内构件受热及蓄热过程, 室内气温才会逐步达到最高点。在 15:00 以后, 太阳辐射逐步减弱, 室内气温缓慢降低。

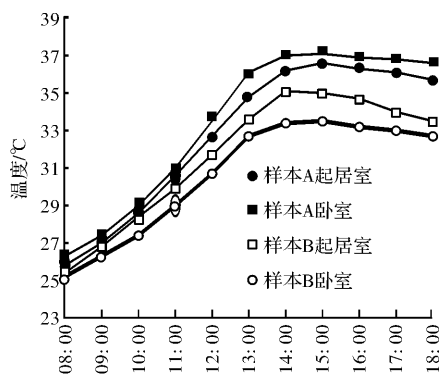


图 3 样本 A 与 B 室内温度对比图

Fig. 3 The difference in indoor air temperature of samples A and B

由于样本 A 楼层屋顶为轻质预制板, 隔热性能差, 在直射阳光长时间照射下, 表面温度较高, 屋顶楼板传递下来的热辐射直接作用于房间, 加之层高较矮, 通风效果一般, 室内整体气温较高, 而样本 B 由于上方有二层及屋顶充当垂直热缓冲层, 室内气温较 A 为低, 见图 4。

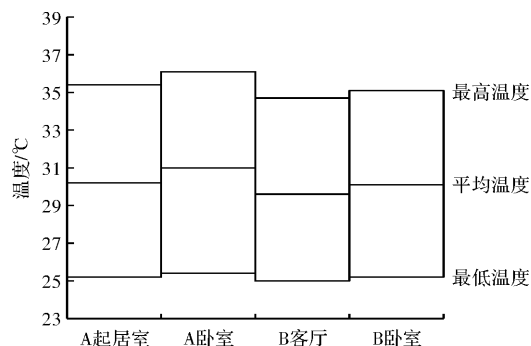


图 4 实测点温度范围

Fig. 4 The range of the measured place temperature

## 2.3 空气相对湿度

如图 5 卧室湿度比较显示, 样本 A 室内空气相对湿度略低于 B, 但是样本 B 的曲线变化较 A 要稍显稳定。建筑室内空气的相对湿度大小主要取决于室外相对湿度、室内温度以及维护结构的热工性能<sup>[8]</sup>。可以认为, 样本 A 与 B 在室外气候条件相同的情况下, 样本 A 较高的室内空气温度造成相对湿度的降低, 而对于样本 B 而言, 得益于墙体、窗户等界面材料更高(相对 A 而言)的热惰性能及热容, 内表面对温度响应时间较长<sup>[9]</sup>, 室内湿度的变化曲线较后者更为平缓。

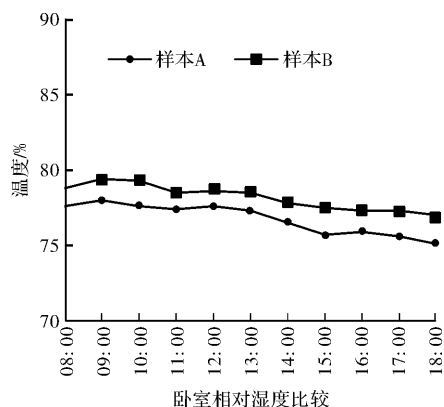


图 5 样本 A 与 B 相对湿度对比图

Fig. 5 The difference in indoor humidity of samples A and B

## 3 室内热环境的适宜性改善措施

### 3.1 室内通风改善设计

对于夏热冬冷地区而言, 适时的夏季建筑自然通风是降低室内温度、相对湿度、提高人体热舒适满意度 PMV 的必要的技术措施<sup>[10]</sup>。一个完整的通风体系包括进风口、风道与出风口, 进、出风口的位置、大小也对建筑室内通风效果有很大的影响<sup>[11]</sup>。组织室内自然通风, 即合理安排布置建筑的门、窗、墙体及屋顶洞口, 形成有效的通风系统。

#### 3.1.1 调整门窗进风开口与主导风向的角度

用 3d 软件为样本 A 建立模型, 导入到 Eco-tect(热学可视模拟分析软件)中, 将样本 1 南向房间开口朝向进风口, 以 15°为角度单位, 模拟房间窗口与夏季主导风向分别成 0°、15°、30°、45°、60°、75°、90°夹角的情形, 设置测试切面距楼地面 1 500 mm, 依据 weather tool 中衡阳气象数据图, 不考虑日照影响和室外障碍物遮挡, 室外平均风速  $v=2$  m/s, 根据现场实测温度数据, 室内温度设为 29℃, 室外温度设为 34℃, 加载

Winair4 插件进行通风模拟计算, 可得到图 6 所示的水平切面自然通风效果图。

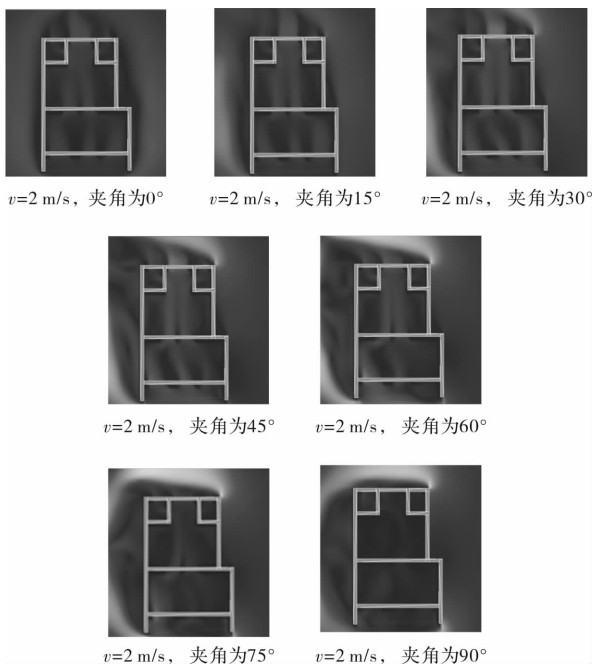


图 6 不同风向夹角下水平切面自然通风效果图

Fig. 6 The natural ventilation effect of different wind angle on horizontal section

由图 6 可见, 当南向房间进风口与主导风向的夹角从  $0^\circ$  开始逐步变大时, 房间内风速、通风区域也随着逐渐增大, 当夹角为  $30^\circ \sim 45^\circ$  时, 自然通风效果最佳, 室内风速  $0.3 \text{ m/s}$  以上的区域面积占比为  $45\%$  以上;

当夹角  $\geq 50^\circ$  时, 通风效果开始逐步减弱; 当夹角为  $90^\circ$  时, 室内  $93\%$  的区域无风, 且风速  $\leq 0.2 \text{ m/s}$ , 室内通风不畅。

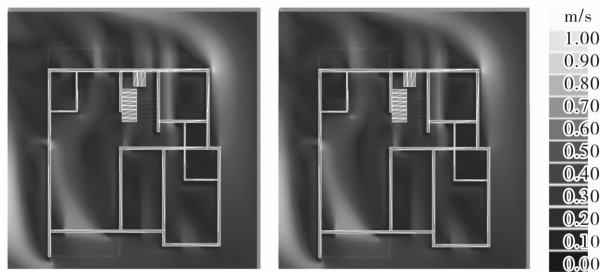


Fig. 7 The natural ventilation effect of the open wall area ratio

图 7 不同墙体前后开口面积比下的室内自然通风效果图

由此可见, 室内通风效果和门窗朝向与主导风向的夹角有关联, 通风区域大小、强度随着夹角的变化而发生改变。湘南地区夏季盛行南风 and 东南风, 在进行住宅平面布局时, 应考虑不同风向夹角所形成的通风效果。

### 3.1.2 考虑通风口面积比

在不改变样本 B 客厅南向推拉门有效通风面积的情况下, 将餐厅北面门洞出风口分别设置为推拉落地门(有效通风面积为  $2.1 \text{ m}^2$ , 为门洞口面积  $1/2$ )和平开落地门(有效通风面积为  $4.2 \text{ m}^2$ , 等于洞口面积)两种情形, 用 3d 软件为样本 2 建立模型, 导入到 Ecotect 软件中, 室外平均风速  $v = 2 \text{ m/s}$ , 与南向窗户开口夹角  $30^\circ$ , 依据 weather tool 中衡阳气象数据图, 不考虑日照影响和室外障碍物遮挡, 设置测试切面距楼地面  $1500 \text{ mm}$ , 室内外温度设置同上, 加载 Winair4 插件进行通风模拟计算, 结果如图 7 所示。

依据现场实测门洞尺寸数据, 在第一种情形中, 前后风口的有效通风面积比为  $1.65$ , 而在第二种情形中, 前后风口的有效通风面积比为  $0.83$ , 后者面积比接近  $1$ 。由图可见, 通过增加出风口的通风面积, 使之与进风口面积相当, 在环境条件相同的情况下, 样本 B 客厅和餐厅室内的通风区域有所增加, 风速有所提高, 可以推断, 在进深长度接近、门窗正对设置的情况下, 空间通风量与窗墙前后面积比近似地成正相关关系, 前后门窗开口面积越近, 通风量越大, 通风效果越好。

以此为启示, 住宅门窗开口的设计应该考虑前后开口面积的比值, 并通过改进窗户形式, 如采用通风效果较好的平开窗, 也能明显提高自然通风效率。

### 3.2 围护结构的改善措施

根据建筑围护结构夏季得热量分析, 住宅顶层屋顶、东西向外墙、窗户吸收的辐射热量占很大比例<sup>[12]</sup>。通过增强屋顶、外墙、窗户等关键围护结构的传热阻及蓄热性, 抵抗室外热作用, 可以减少热量进入室内。

#### 3.2.1 墙体、屋顶隔热性能的改善

样本 A 的外墙和屋顶原有各材料的热工参数见表 3。依据现行建筑人工设计标准, 外墙和屋顶构件的传热系数按以下公式(1)进行计算:

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_i + \frac{d}{\lambda} + R_e} \quad (1)$$

式中:  $K$  为围护结构的导热系数,  $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ ;  $R$  为围护结构的总传热阻,  $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ;  $R_i$  为外墙内表面换热阻, 取  $R_i = 0.11 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ;  $R_e$  为外墙外表面换热阻, 取  $R_e = 0.05 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  (夏季);  $d$  为材料层的厚度,  $\text{m}$ ;  $\lambda$  为材料

层的导热系数  $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ 。

依据《湖南省居住建筑节能设计标准》DBJ43/001-2017 的规定，外墙导热系数  $K=1.5 W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ ，屋顶导热系数  $K=1 W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ 。由表 3 和公式(1)计算得出，样本 A 外墙的导热系数  $K=2.0 W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ ，屋顶的导热系数  $K=2.92 W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ ，均不满足夏季隔热要求。对样本 A 外墙进行隔热改造，如表 4 所示。外墙加抹 35 mm 厚导热系数为  $0.06 W \cdot (m \cdot K)^{-1}$  的聚苯颗粒保温砂浆，最外层抹 5 mm 厚导热系数为  $0.93 W \cdot$

$(m \cdot K)^{-1}$  的耐碱玻纤网布抗裂砂浆，计算出改造后的外墙传热系数  $K=1 W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ ；在屋顶防水层上粘贴 30 mm 厚导热系数为  $0.03 W \cdot (m \cdot K)^{-1}$  的挤塑聚苯板，往上再浇筑 40 mm 厚导热系数为  $1.51 W \cdot (m \cdot K)^{-1}$  的细石混凝土，计算出改造后的屋顶传热系数  $K=0.78 W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ ，改造后的样本 A 外墙和屋顶的隔热设计均满足标准要求，传热系数明显减小，经由外墙和屋顶传递的外部辐射热量也随之大幅减少，室内温度较改造前将有一定程度的下降。

表 3 样本 A 外墙及屋顶各层材料热工参数

Tab. 3 Thermal parameters of the original material of the outer wall and roof of Sample A

构造层次	厚度/mm	导热系数/ $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$	热阻/ $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
混合砂浆	20	0.870	0.023
黏土砖墙	240	0.810	0.296
水泥砂浆	20	0.930	0.021
圆孔预制板	130	0.930	0.139
防水卷材	3	1 000	0

表 4 样本 A 屋顶外墙及屋顶改造所用各层材料的热工参数

Tab. 4 Thermal parameters of material used for the exterior wall and roof reconstruction of Sample A

构造层次	厚度/mm	导热系数/ $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$	热阻/ $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
细石混凝土	40	1.51	0.03
聚苯颗粒保温砂浆	35	0.06	0.49
挤塑聚苯板	30	0.03	0.910
玻纤砂浆	5	0.93	0.010

3.2.2 设置通风架空层

样本 B 的底层房间得益于二层的垂直热缓冲作用，受到的辐射影响较小，但是二层房间直接受到屋顶辐射传热的作用，室内温度较高，白天不宜居住。以此为启示，将二楼屋顶设置成架空屋面，对屋顶进行隔热改造，如图 8。分别计算架空层各部分的传热阻，第 1 部分(有空气间层部分)，根据空气间层厚度，热阻  $R_{ag}$  取  $0.440 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ ， $R_{0.1}=1.493 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ ，第 2 部分(无空气间层部分  $R_{0.2}=1.386 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ ，计算两种材料的导热系数比  $\lambda_2/\lambda_1=0.818$ ，可得修正系数  $\varphi=0.98$ ，依据公式(2)算计设置架空层后屋面的平均热阻  $R=1.263 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ ，得出导热系数  $K_{架空}=0.792 W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ ，无架空层处理时原屋顶导热

$$\overline{R} = \left[ \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{\frac{F_1}{R_{0.1}} + \frac{F_2}{R_{0.2}} + \dots + \frac{F_n}{R_{0.n}}} - (R_i + R_e) \right] \varphi \quad (2)$$

系数  $K_{无架空}=0.838 W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ ，导热系数降低了  $(K_{无架空} - K_{架空}) \times 100\% / K_{无架空} = 5.4\%$ ，隔热效果较之前有所提升。

3.2.3 窗户隔热性能的改善

经由外围护结构传入室内的热量中，窗户传导的热量占 25%<sup>[13]</sup>，样本 A 的窗墙比为 0.25，外窗为铝合金中空玻璃窗，可见改善窗户的隔热性能对于降低夏季室内温度的重要性。要阻挡外窗的热量传导，必须减少外窗的传热系数，已有研究证实，窗框和玻璃的传热系数越小，外窗整体的隔热效果越好<sup>[14]</sup>。运用 window 5.2 软件对不同窗户类型进行模拟，通过模拟计算的不同窗户的传热系数如表 5 所示。

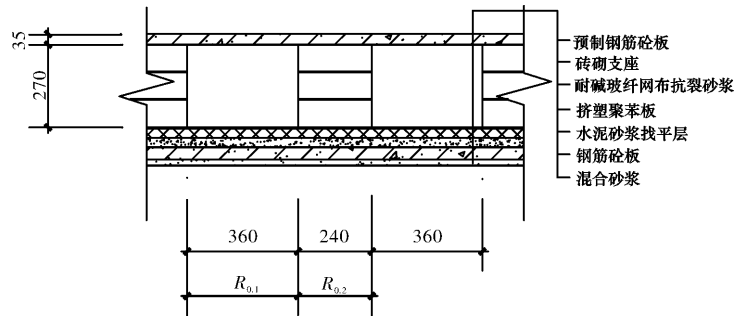


图8 架空层剖面构造图(单位: mm)

Fig. 8 The diagram stilt floor section structure(unit: mm)

表5 不同类型窗户的传热系数

Tab. 5 K value of the different types of windows

窗户类型	导热系数/ $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$
铝合金中空玻璃窗	3.6
塑钢中空玻璃窗	2.8
塑钢中空 Low-e 玻璃窗( $e=0.07$ )	1.6
塑钢中空 Low-e 玻璃窗( $e=0.12$ )	1.8

从表5可以看出,塑钢窗框比铝合金窗框传热系数更小,采取镀膜处理的玻璃的传热系数比无镀膜玻璃的传热系数有明显降低,结合湘南地区气候特点,选用遮阳型的塑钢中空 Low-e 玻璃,取代原有的铝合金中空玻璃窗,外窗的隔热性能将会有大的提升。

#### 4 结论

多层住宅建筑的热学环境不仅影响建筑运行过程中的能源消耗,而且直接关系到广大城市居民的居住环境质量<sup>[15]</sup>。本文通过对衡阳地区两栋多层居住建筑进行室内热环境实测,对比分析了住宅夏季室内的风速、温湿度变化特点,并在综合研究分析该地区气候条件、室内通风设置、围护结构热工性能的基础上得出如下结论:

(1) 建筑进风口与夏季主导风向形成的夹角的大小影响室内通风效果,当夹角为 $30^\circ \sim 45^\circ$ 时,自然通风效果最佳;当夹角为 $90^\circ$ 时,室内通风不畅。建筑平面及门窗的开口设计要考虑与夏季主导风向形成夹角,便于充分利用主导风向。

(2) 采取平开门窗时,能调节与控制建筑前后进出风口的面积大小,当前后开口面积的比值接近1时,室内空气通风量最大,平开门窗的通风效果优于推拉门窗。

(3) 较之前没有采取隔热处理,对屋顶、外

墙、窗户等关键围护结构采取隔热设计,显著增强了围护结构的传热阻及蓄热性,室内热环境有较大改善;建议不使用铝合金中空玻璃窗。

(4) 在屋顶设置通风隔热层,有利于提高屋顶的隔热效果,但隔热效果不明显。

#### 参考文献 References

- [1] 西安建筑科技大学绿色建筑研究中心. 绿色建筑[M]. 北京: 中国计划出版社, 1999.  
Research Center of Green Architecture Xi'an Univ. of Arch. & Tech.. Green building[M]. Beijing: China planning Press, 1999.
- [2] 徐永平. 湿热气候区高层公寓建筑自然通风组织设计研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.  
XU Yongping. Study on the natural ventilation organization design in Hot-humid climate zones with high-rise apartment buildings[D]. Guangzhou: South china university of technology, 2013.
- [3] 张群, 车晓敏, 刘加平, 等. 苏南地区居住建筑夏季自然通风实测分析与设计策略[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2015, 47(2): 88-91.  
ZHANG Qun, CHE Xiaomin, LIU Jiaping, et al. Residential building in the areas of southern summer measured analysis and design of natural ventilation strategies [J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2015 (2): 88-91.
- [4] 冯林东. 适宜夏热冬暖地区的建筑遮阳技术研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2008.  
FENG Lindong. Study on appropriate building shading technology in hot summer and warm winter zone [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2008.
- [5] 李百战, 庄春龙, 邓安仲, 等. 相变墙体与夜间通风改善轻质建筑室内热环境[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(3): 109-113.

- LI Baizhan, ZHUANG Chunlong, DENG Anzhong. Improvement of indoor thermal environment in light weight building combining phase change material wall and night ventilation [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2009, 31 (3): 109-113.
- [6] 白贵平, 冀兆良. 围护结构隔热对室内热稳定及空调负荷的影响[J]. 建筑热能通风空调, 2005, 24 (1): 69-72.
- BAI GuiPing, JI Zhaolaing. The effects of thermal insulation formon thermal stability and the cooling load of air conditioning[J]. Building Energy and Environment, 2005, 24 (1): 69-72.
- [7] 殷超杰. 夏热冬冷地区被动式建筑设计策略应用研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- Yin ChaoJie. Applied research of passive building design strategy in cold areas of summer and winter[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2007.
- [8] 杨薇. 夏热冬冷地区住宅夏季热舒适状况以及适应性研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
- YANG Wei. The study on Summer heat and comfort in summer and cold winter area and adaptability [D]. Changsha: Hunan University, 2007.
- [9] 刘加平, 杨柳. 室内热环境设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- LIU Jiaping, YANG Liu. Indoor thermal environment design[M]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [10] 解明镜. 湘北农村住宅自然通风设计研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2010.
- XIE Mingjing. The study on the natural ventilation design of rural residential houses in the north of Hunan Province[D]. Changsha: Hunan University, 2010. & Tech., 2006.
- [11] 徐永平. 湿热气候区高层公寓建筑自然通风组织设计研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- XU Yongping. Study on the natural ventilation organization design in Hot-humid climate zones with high-rise apartment buildings[D]. Guangzhou: South china university of technology, 2013.
- [12] 寇扬. 长江中下游地区建筑外围护结构遮阳策略研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- KOU Yang. The study on the sun-shading measures of building envelope in middle-lower reaches of the Yangtze river region [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2011.
- [13] 张继良. 传统民居建筑热过程研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2006.
- ZHANG Jiliang. Study on thermal process of traditional dwellings[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2006.
- [14] 陈亚芹, 王苏颖, 狄洪发. 住宅窗户的节能研究[J]. 太阳能学报, 2006, 27(1): 101-105.
- CHEN yan, WAN Su ying, DI Hong fa. Residential window energy saving [J]. Journal of solar energy, 2006, 27(1): 101-105.
- [15] 戴自祝. 室内空气质量与通风空调[J]. 中国卫生工程学, 2002(1): 60-62.
- DAI Zizhu. Indoor air quality and ventilation with air conditioning[J]. Chinese journal of public health engineering, 2002(1): 60-62.

(编辑 桂智刚)