

## 粤东农村住宅室内热环境及热舒适现场研究

金玲<sup>1,2</sup>, 孟庆林<sup>1</sup>, 赵立华<sup>1</sup>, 张宇峰<sup>1</sup>, 陈霖<sup>2</sup>

(1. 华南理工大学 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广州 510640;

2. 华南农业大学 水利与土木工程学院, 广州 510642)

**摘要:**对粤东地区农村住宅进行了448人次的热舒适现场调研,实测了室内空气温度、相对湿度、黑球温度和风速等热环境参数,并记录了热感觉、热可接受度、热期望。居民服装热阻与 $ET^*$ 呈二次多项式的关系。居民的热感觉与空气温度( $t_a$ )、操作温度( $t_{op}$ )、新有效温度( $ET^*$ )呈较好的线性关系,由此建立了粤东地区农村居民的热感觉模型。模型显示,粤东地区农村居民夏季的中性温度分别为 $26.4^{\circ}\text{C}$ ( $t_a$ )、 $26.7^{\circ}\text{C}$ ( $t_{op}$ )、 $28.5^{\circ}\text{C}$ ( $ET^*$ ),80%可接受温度上限为 $29.0^{\circ}\text{C}$ ( $t_a$ )、 $29.4^{\circ}\text{C}$ ( $t_{op}$ )、 $31.2^{\circ}\text{C}$ ( $ET^*$ )。此外,研究结果表明“灰空间”中的期望温度比“绝对空间”高 $0.6^{\circ}\text{C}$ ,说明使用者在灰空间比在绝对空间有更低的期望基准,现代农村住宅应保留传统建筑中设置适量灰空间的建筑特色。

**关键词:**粤东地区;农村住宅;热舒适;灰空间

**中图分类号:**TU111.2    **文献标志码:**A    **文章编号:**1674-4764(2013)02-0105-08

## Indoor Environment and Thermal Comfort in Rural Houses in East Guangdong of China

Jin Ling<sup>1,2</sup>, Meng Qinglin<sup>1</sup>, Zhao Lihua<sup>1</sup>, Zhang Yufeng<sup>1</sup>, Chen Lin<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, P. R. China;

2. College of Water Conservancy and Civil Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, P. R. China)

**Abstract:** A 448 person-time field survey of thermal comfort was conducted in rural houses in east Guangdong in 2011–2012, during which the environmental parameters including air temperature, relative humidity, globe temperature and air velocity were recorded and the thermal sensation, acceptability and preference of inhabitants were collected. Clothing insulation was found to be a quadratic function of indoor  $ET^*$ . Thermal sensation was found to be in good linear relationship with air /operation /new effective temperatures, based on which thermal sensation models were established for local inhabitants in rural area. The model shows that the neutral temperature is  $26.4^{\circ}\text{C}$  ( $t_a$ ),  $26.7^{\circ}\text{C}$  ( $t_{op}$ ), and  $28.5^{\circ}\text{C}$  ( $ET^*$ ) respectively, and the upper boundary of the 80% acceptable temperature range is  $29.0^{\circ}\text{C}$  ( $t_a$ ),  $29.4^{\circ}\text{C}$  ( $t_{op}$ ), and  $31.2^{\circ}\text{C}$  ( $ET^*$ ) in summer respectively. In addition, the preferred temperature in "gray spaces" is higher than that in "absolute spaces" in amount of  $0.6^{\circ}\text{C}$ , indicating that people have lower thermal expectations in gray spaces. Therefore, the architectural features that sets right amount of gray space in traditional architecture should be retained in modern rural residential buildings.

**Key words:** hot-humid area; rural residences; thermal comfort; gray space

收稿日期:2012-08-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50978102、51038005);国家科技支撑计划项目(2011BAJ08B01)

作者简介:金玲(1980-),女,博士生,主要从事建筑热环境与节能研究,(E-mail)jinling\_208@126.com。

张宇峰(通信作者),男,副教授,(E-mail)zhangyuf@scut.edu.cn。

目前农村住宅用商品能源正在以每年超过10%的速度增长<sup>[1]</sup>,如果农村住宅的室内热环境质量和用能模式都达到城市住宅水平,则农村住宅用能有可能超过目前的城市建筑用能总量,这将出现严重的能源紧缺问题。建筑有清晰而强烈的适应气候的特征,而对于人自身,也存在着相同的特征<sup>[2]</sup>。不同于城市的建筑与居民,富有乡土特色的农村住宅和长期居住在当地的农村居民对当地气候的热适应性非常好,因此,对农村住宅的建筑特点、室内热环境及农村居民热感觉的主观反应进行统筹考虑是农村节能工作研究的着力点。

现行国际热舒适标准,包括ASHRAE Standard 55—2004<sup>[3]</sup>、ISO 7730:2005<sup>[4]</sup>等,都是根据欧美国家的研究工作建立的。迄今为止,许多学者进行了大量的热舒适现场测试。实验证明,人们在室内热环境的实际热感觉与采用国际热舒适标准的预测结果存在明显差异,而引起差异的主要原因是人对气候的行为适应性及心理期望值<sup>[5]</sup>。中国的现场研究始于1999年<sup>[6]</sup>,主要研究对象是城市建筑与城市人口。近年,中国一些学者也开始关注农村住宅室内环境热舒适的研究,在湖南<sup>[7]</sup>、哈尔滨<sup>[8]</sup>、北京<sup>[9]</sup>、陕西<sup>[10]</sup>等地都开展了相关的研究,结果表明,由于农村居民与城市居民的生活方式和衣着习惯等差异,北方寒冷气候区农宅的供暖温度标准不能照搬城市单元式住宅楼的供暖标准<sup>[9]</sup>。而中国湿热地区关于农村住宅室内热环境及热舒适的研究一直未有系统开展,粤东地区是典型的湿热气候,笔者尝试对粤东地区农村住宅及当地农村居民进行现场调研及分析,以期得到以下结果:1)实测粤东地区农村住宅室内热环境状况,并建立湿热地区农村人口的热感觉模型,寻找当地人口的中性温度、期望温度和可接受温度;2)考察农村人口的热感觉与城市人口是否存在差别,是否有必要为农村住宅建立适用的环境评价标准;3)针对粤东地区农村住宅设有大量灰空间的建筑特点,从热舒适的角度出发,考察灰空间是否具有节能潜力。

## 1 研究方法

采用热环境物理测试与主观反应问卷调查的研究方法。

### 1.1 样本选择

1.1.1 建筑选择 粤东地区的农村住宅大致可以分为3类(图1):

第1类是传统的爬狮住宅,属于单层住宅,外封闭而内开敞,客厅南面不设墙,与天井连通形成了半

开放的灰空间,是住户白天的主要活动空间,卧室相对封闭,是夜间的主要活动空间。一般意义上单从形态特征出发认为有屋顶遮盖但侧面围护不完整的半开放空间即是灰空间<sup>[11]</sup>。与之相对的,有屋顶遮盖、侧面围护完整的、通过可启闭的门窗采光通风的室内空间称绝对空间;

第2类农宅是在保留爬狮住宅平面的基础上向上发展,形成爬狮类的多层住宅,各层客厅与天井仍然直接连通,形成了大量半开放的灰空间;

第3类农宅是住户凭着对城市建筑的印象来模仿设计的,没有固定的平面布局,大多数住户取消了天井,门廊是唯一的半开放灰空间,室内以较封闭的绝对空间为主。

选择上述3类粤东地区较为典型的住宅开展研究。前2类住宅中由于开敞的厅堂和天井与室外环境直接相连,空间不密闭,所以这些空间不能安装空调,少量住户在卧室安装空调,第3类住宅灰空间少,安装空调的比例相对较高。



图1 粤东地区农村住宅

1.1.2 人群选择 调查的人群选择出生并长期生活在粤东地区的农村居民,受试者随机选取,其中男性为236人,女性为212人,男女比例基本均衡。受试者中年龄最大的村民75岁,年龄最小的12岁,平均年龄为37.7岁,将各年龄段的受试对象人数进行分析统计分析(表1)可知:

1)10~20岁之间的受访者较多,主要是读中小学或者职业学校的学生;

2)20~30岁的受访者处于走出校门、成家立业的阶段,大多数人还没有在社会中找到自己固定的位置,情况较为复杂,有帮家人料理生意的,有学手艺的学徒,也有外出打工没有合适工作暂时回家休

息的,该年龄段的青年基本不愿在家务农,此外,该年龄段受访者居多受到暑期回乡大学生的影响;

3)年龄在 30~40 岁之间的受访者最少,不到所有受访者的 5%,这是因为该年龄段大部分人外出打工赚钱所致;

4)留在农村务农的村民主要是 40~60 岁之间的中老年人;

5)60~80 岁的老人主要是赋闲在家,身体好的老人也有下地干农活的。

统计结果显示各年龄段的人数分布与粤东地区农村实际情况基本相符。

表 1 受试者年龄统计

年龄	受访人数
10~20	88
20~30	116
30~40	20
40~50	115
50~60	68
60~70	20
70~80	21

注:统计时包含年龄段的上限

1.2 调查数据的采集

调查内容分两大部分:室内热环境参数的测量和受试者在该环境下的热反应及主观判断。室内热环境参数的测量及精度满足国际标准 ISO 7726<sup>[12]</sup>,测点选择在受试者周边距地 0.1、0.6、1.1 m 3 个高度的空气温度、黑球温度、相对湿度和空气流速。测试仪器的型号及参数见表 2。

调查小组由 2~3 人组成,其中一名成员为来自当地的、接受过培训的大学生,他主要负责指导受访者完成热感觉及主观判断部分的问题,文化层次较高的受访者自己完成问卷,文化程度较低或者年龄比较大的受访者由小组成员询问后代为完成,其他成员负责读取仪器测得的环境参数。

表 2 测试仪器型号及参数

仪器名称/型号	测量内容	测量范围	测量精度
WBGT 测定仪/ Questemp32	空气温度/℃	-5~100	±0.5
	黑球温度/℃	-5~100	±0.5
	相对湿度/%	0~100	±5.0
万向型微 风速仪/ HD2303.0+ AP471S2	空气流速/ (m·s <sup>-1</sup> )	0~5	±0.02 (0~0.99 m/s) ±0.1 (1.00~5.00m/s)

1.3 调查过程

为了减少调查研究对受试者的人为干扰和影响,完成问卷的地点均为受试者家里,调查一般在受试者维持其原有的活动状态下进行投票,一般为休息状态(喝茶聊天)或者做家务的状态。



图 2 现场调查

调查在 3 个季节进行,过渡季的调查问卷于 2011 年 4~5 月完成,夏季的调查问卷于 2011 年 7~8 月完成,冬季的调查问卷于 2012 年 1 月完成。因粤东地区在建筑热工设计分区中将其划分为夏热冬暖地区,必须充分满足夏季防热要求,一般不考虑冬季保温,故问卷调查的重点是夏季。

全年共收集有效问卷 448 份,其中夏季问卷 376 份,冬季 30 份,过渡季 42 份。全部问卷中,仅有 23 份问卷的完成环境是安装有空调的,均来自于第 3 类住宅的用户。

1.4 评价指标的选择与样本处理方法

1.4.1 评价指标的选择 热环境评价指标分 2 类:一类是简单指标,如空气温度  $t_a$ 、操作温度  $t_{op}$ 、新有效温度  $ET^*$  等,这类指标意义明确,测量简单,便于应用;另一类是综合指标,如 PMV(预测平均热指标)和 SET(标准有效温度),这类指标综合考虑了所有已知的热反应影响因素,但是有研究表明,评价指标越复杂,其统计意义越小,实用性越差<sup>[13]</sup>。此外,在自然通风环境下,PMV 和 TSV 会产生较大的偏差,SET 值的计算需要借助计算机才能进行,繁琐的计算过程限制了它的使用范围。综上所述,考虑到今后农村住宅评价的适用性,笔者选择用简单指标与受试者的主观反应进行回归分析,得出粤东地区农村居民的中性温度、期望温度和可接受温度。

操作温度  $t_{op}$  是综合考虑了空气温度和平均辐射温度对人体热感觉的影响而得出的合成温度,计算式为<sup>[14]</sup>:

$$t_{op} = 0.5t_a + 0.5t_r$$

平均辐射温度  $t_r$  由测量得到的空气温度  $t_a$ 、黑球温度  $t_g$  和空气流速  $v$  通过下式计算得到<sup>[12]</sup>:

$$\bar{t}_r = [(t_g + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 \times v^{0.6} \times (t_g - t_a)]^{1/4} - 273$$

新有效温度  $ET^*$  是综合考虑了空气温度、平均辐射温度、相对湿度对人体热感觉的影响而得出的等效的干球温度,使具有不同空气温度、相对湿度和平均辐射温度的环境能用一个  $ET^*$  值相互比较,能较综合的反映室内热环境情况。

1.4.2 样本处理方法 采用温度频率法(Bin法)<sup>[15]</sup>将空气温度  $t_a$ 、操作温度  $t_{op}$  和新标准有效温度  $ET^*$  以 0.5℃ 的间隔分组,以每组内的平均空气温度、平均操作温度和平均新有效温度作为自变量,以组内热感觉投票值的平均值为因变量,通过线性回归分析的方法得到关系式,由于各数据组的样本量相差较大,小样本量的数据随机性大,可能会给统计分析结果带来偏差,故均采用按样本量加权的方

法进行<sup>[16]</sup>。

2 测试结果与分析

2.1 室内热环境参数

经过对现场测试数据的分析整理,获取了粤东地区夏季、过渡季和冬季农村住宅室内主要活动空间的热环境参数的基本特征(表 3)。夏季室内空气温度介于 27.1~35.1℃,平均温度达到 30.6℃,相对湿度介于 53%~93%,平均相对湿度为 76%,为典型的湿热气候;过渡季平均温度为 25.4℃,受到暖湿气流的影响,相对湿度非常高,平均达到了 88%;冬季室内平均温度为 15.5℃,室内平均气温不算太低,但是相对湿度依然很高,平均相对湿度为 82%。可见,粤东地区农村住宅室内长期处于高湿的状态,温度随季节的变化而变化,整体温度水平较高。

表 3 各季室内环境参数

	夏季			过渡季			冬季		
	$t_a/^\circ\text{C}$	$RH/\%$	$v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$t_a/^\circ\text{C}$	$RH/\%$	$v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$t_a/^\circ\text{C}$	$RH/\%$	$v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
最小值	27.1	53.0	0.02	23.9	81.0	0.02	12.9	70.0	0.01
最大值	35.1	93.0	1.72	26.8	95.0	3.00	18.9	94.0	0.86
平均值	30.6	76.0	0.56	25.4	88.0	0.27	15.5	82.0	0.14
标准偏差	1.4	7.8	0.35	0.6	3.1	0.51	2.0	7.6	0.18

室内空气流速夏季最大,平均值为 0.56 m/s,粤东农村地区夏季最主要的降温方式是风扇降温,据笔者的前期调查,85%以上的家庭都拥有 2~4 台电风扇,住户夏季室内除了开门窗形成自然通风外,主要是由风扇形成较高的气流速度,带走室内多余的热量。过渡季室内平均风速为 0.27 m/s,冬季室内平均风速为 0.14 m/s,可见空气流速的变化趋势与空气温度密切相关,随着空气温度的升高,室内空气流速增大。问卷中关于客厅、卧室和厨房等房间门窗开启情况的调查结果显示,该地区农村住宅的门窗仅在夜间和下暴雨的时候关闭,其他时间几乎是常年开启的,即使是冬季,因为室外温度不算太低,住户也习惯开窗通风换气,所以不同于北方的采暖季,粤东地区农村住宅全年的室内热环境受室外环境的影响都非常大。

2.2 服装热阻和新陈代谢率

调查问卷中详细记录了受访者的衣着情况及当时的活动情况,根据 ISO 7730:2005<sup>[4]</sup> 计算出受试者完成问卷时的服装热阻和新陈代谢率,统计结果见表 4~5,服装热阻与新有效温度的回归分析见图 3,

由图表分析可知:

1)粤东地区农村居民服装热阻与新有效温度  $ET^*$  呈显著的二次多项式关系,冬季平均服装热阻为 1.26 clo(1 clo=0.155 m<sup>2</sup>·K/W),过渡季平均服装热阻减少为 0.47 clo,夏季平均服装热阻为 0.27 clo,可见服装热阻的调节是人体应对环境温度变化重要的自主调节手段。

2)夏季平均服装热阻为 0.27 clo(相当于男士穿无袖无领上衣内裤+中裤+凉鞋),最小值仅为 0.06 clo(短裤),张宇峰等曾对湿热地区教学类建筑进行现场测试<sup>[16]</sup>,受试者在夏季的平均服装热阻为 0.43 clo,与本测试的结果存在差异的原因是本次测试的地点是受访者的家里,受访者穿着比较随意,而对于学生的测试有一部分是在教室里完成,学生都会穿着整齐。另外,由所得结果可见,居民在夏季的衣着量已尽量的少,粤东地区农村住宅夏季依靠服装热阻调节热感觉的空间不大。

3)各季节新陈代谢率无显著差异,平均的新陈代谢率介于 1.2~1.3 met(1 met=58.2 W/m<sup>2</sup>) 之间。



表 4 服装热阻 (不含附加热阻)的季节性变化 clo				
季节	平均值	最小值	最大值	标准偏差
夏季	0.27	0.06	0.77	0.09
过渡季	0.47	0.25	1.09	0.14
冬季	1.26	0.50	1.90	0.29

表 5 新陈代谢率的季节性变化 met				
季节	平均值	最小值	最大值	标准偏差
夏季	1.31	0.7	3.2	0.55
过渡季	1.24	0.7	3.5	0.58
冬季	1.30	0.7	2.1	0.52

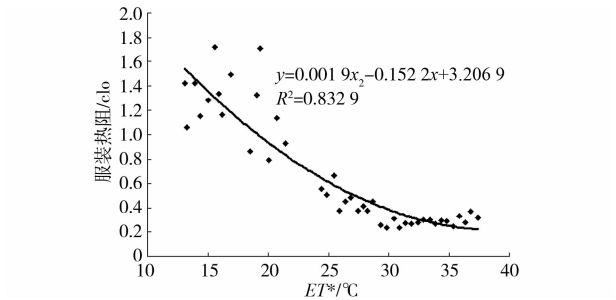


图 3 服装热阻与新有效温度的回归分析

2.3 夏季热感觉模型

热感觉标尺采用 ASHREA 提供的 7 度热感觉标尺(图 4),为避免翻译过程中出现理解上的误差,问卷在标尺下方附了各标度对应的一般反应。



图 4 现场调研用投票标尺及辅助说明

利用 Bin 法将温度与对应的热感觉进行分组后,将热感觉与对应的温度进行回归分析(结果见图 5),得到粤东地区农村居民夏季热感觉 TSV 与空气温度  $t_a$ 、操作温度  $t_{op}$ 和新有效温度  $ET^*$  的线性关系式,分别为:

$TSV=0.328t_a-8.645, R^2=0.882$  (1)

$TSV=0.324t_{op}-8.661, R^2=0.835$  (2)

$TSV=0.315ET^*-8.973, R^2=0.812$  (3)

中性温度表明在该季节既不感到冷也不感到热的温度。令热感觉投票值  $TSV=0$ ,可得到粤东地区农村居民夏季的中性温度分别为  $26.4^{\circ}C(t_a)$ 、

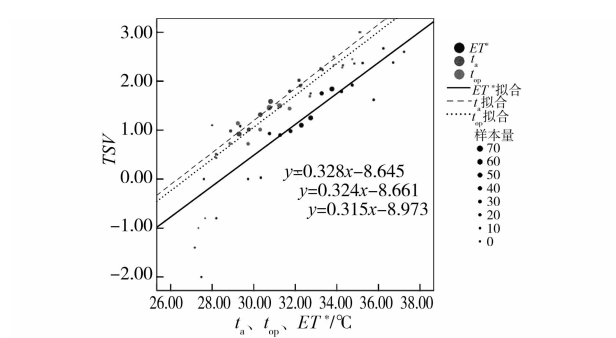


图 5 热感觉与  $t_a$ 、 $t_{op}$  和  $ET^*$  的关系(夏季)

$26.7^{\circ}C(t_{op})$ 、 $28.5^{\circ}C(ET^*)$ 。ASHRAE 中规定 80%以上受试者可接受的温度为容忍温度,对应的 TSV 值为  $\pm 0.85$ ,夏季  $TSV=0.85$  就是当地居民的可接受温度上限,代入式(1)~(3),得粤东地区农村居民夏季 80%可接受的温度范围分别为  $23.8\sim 29.0^{\circ}C(t_a)$ 、 $24.1\sim 29.4^{\circ}C(t_{op})$ 、 $25.8\sim 31.2^{\circ}C(ET^*)$ 。

表 6 所示为湿热地区夏季现场实验得到的中性温度、斜率和 80%可接受温度范围,对比可知,长期生活在空调环境的人群<sup>[18-20]</sup>,夏季的热中性温度及 80%可接受的温度范围均比自然通风人群(本文及文献[17,20])偏低,这是由于 2 类人群的热历史及对建筑未来热性能期望的差别<sup>[21]</sup>造成的。

表 6 湿热地区夏季现场实验的中性温度与可接受温度

测试地点	建筑类型	中性温度/ $^{\circ}C$	80%可接受温度范围/ $^{\circ}C$	斜率
粤东	农村住宅 (95%为自然通风)	28.5 ( $ET^*$ )	25.8~31.2 ( $ET^*$ )	0.315
		26.7 ( $t_{op}$ )	24.1~29.4 ( $t_{op}$ )	0.324
广州 <sup>[17]</sup>	教学楼 (自然通风)	29.3 ( $ET^*$ )	27.5~31.1 ( $ET^*$ )	0.479
台湾 <sup>[18]</sup>	民居 (空调)	26.1 ( $ET^*$ )	22.7~29.2 ( $ET^*$ )	0.257
台湾 <sup>[18]</sup>	办公楼 (空调)	25.8 ( $ET^*$ )	22.5~29.2 ( $ET^*$ )	0.256
香港 <sup>[19]</sup>	办公楼 (空调)	23.5 ( $t_{op}$ )	21.2~25.9 ( $t_{op}$ )	0.362
曼谷 <sup>[20]</sup>	办公楼 (自然通风)	27.4 ( $ET^*$ )	24.0~30.9 ( $ET^*$ )	0.243
	办公楼 (空调)	24.7 ( $ET^*$ )	21.5~27.8 ( $ET^*$ )	0.267

那么城市居民和农村居民对热环境的耐受力是否有显著差异呢?广州与曼谷在城市自然通风建筑内实测的可接受温度上限分别为  $31.1^{\circ}C(ET^*)$  和

30.9℃( $ET^*$ ),与笔者的实测结果 31.2℃( $ET^*$ )非常接近。而广州大学生与曼谷办公楼中的中性温度为 29.3℃( $ET^*$ )与 27.4℃( $ET^*$ ),笔者测得的中性温度 28.5℃( $ET^*$ )介于二者之间,笔者认为这个差异和 3 个人群对环境的控制能力、热期望及热历史有关,大学生对于环境的控制能力是最弱的,且生活与学习环境控制策略都是自然通风,故中性温度最高,本次现场研究中有 5%的住宅是安装有空调的,这会使得中性温度向低温的方向略有偏移,且农村居民在自己的住宅中,对环境的控制能力要比大学生强,所以中性温度较高;而在曼谷的实验中,测试对象是在自然通风办公楼工作的城市居民,一方面城市居民低温的热历史相对较多,另一方面工作的人群对夏季热环境的期望值会比较低,所以中性温度最低。

综上所述,影响夏季中性温度和可接受温度上限的最主要的因素是是否使用空调。自然通风建筑中的城市居民与农村居民可接受温度上限无显著差别,中性温度会受到对环境的控制能力、热历史和热期望的综合影响。

2.4 灰空间与绝对空间的对比

涉及的灰空间主要是有屋顶遮盖而南面无围护结构,面向天井完全开放的厅堂(简称“敞厅”,下同)和住宅入口处的门廊。图 6 所示为粤东农村居民白天在通风良好且有遮阳的灰空间工作与生活的场景,灰空间在一定程度上抹去了建筑内外部的界限,给人一种自然有机的整体的感觉,居民直到夜间才会回到较为封闭的、绝对的室内空间休息。



图 6 居民白天喜在半开放的灰空间活动

由 1.1.1 节所述的 3 种建筑类型可知,粤东传统建筑中设有大量的灰空间,而现代农村住宅中,灰空间有逐渐减少甚至消失的趋势。因此,笔者想从人们在这 2 类空间中的热感觉和热期望对比出发,

寻找在湿热的粤东地区,农村住宅中的灰空间是否应该保留,以及半开放的灰空间能否成为农村住宅节能的一个落脚点的回答。

2.4.1 使用者的接受和认可程度 为了解使用者在灰空间和绝对空间中的反应差别,问卷中设计有“您觉得此刻的气温是否可接受?”的问题,回答的评价标尺如图 7 所示,回答在 +0.01~+1 之间认为可接受,回答在 -0.01~-1 之间认为不可接受,全部的 448 份问卷中,有 220 份问卷在灰空间中完成,228 份问卷在绝对空间中完成。按季节计算可接受人数占总人数的比例,定义为室内环境可接受比例,如图 8 所示,3 个季节灰空间的热环境可接受比例均高于绝对空间。

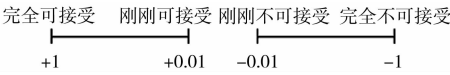


图 7 可接受度回答标尺

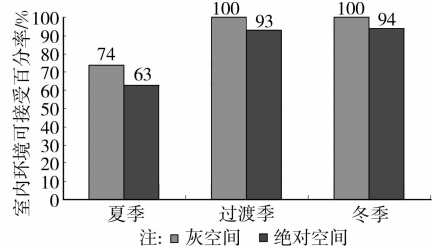


图 8 灰空间和绝对空间的可接受比例

除了上述对 2 种空间可接受度的间接调查外,还对当地居民对这类空间的认可程度做了直接的调查。由图 9 可见,居民对敞厅的喜爱程度是最高的,95%的居民认为一定要有或者最好有,仅有 5%的居民认为可有可无;门廊作为另一类灰空间,面积较小,66%的居民认为一定要有或者最好有,1/3 居民认为可有可无,仅有 3%的居民认为完全没必要或者一定不能有;有 14%的居民认为天井完全没必要或者一定不能有,主要原因是天井的存在降低了住

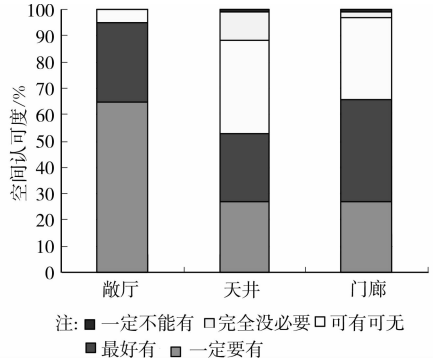


图 9 居民对灰空间的认可程度

宅的使用率,然而作为形成敞厅的重要元素,仍然有一半以上的居民认为天井一定要有或者最好有。

2.4.2 中性温度 根据完成调查问卷的地点将问卷分为灰空间和绝对空间 2 部分。将两部分数据利用 Bin 法对夏季的  $ET^*$  及 TSV 进行回归分析(图 10),结果显示灰空间和绝对空间的中性温度分别是  $28.7^{\circ}\text{C}$  ( $ET^*$ ) 和  $28.5^{\circ}\text{C}$  ( $ET^*$ ),灰空间中的中性温度略高,但是 2 个空间内的热感觉模型没有显著性差异。笔者理解,热感觉及中性温度是在一定的热经历下形成的较为稳定的一种对环境冷热的判断,短期内不随空间的变化而改变。

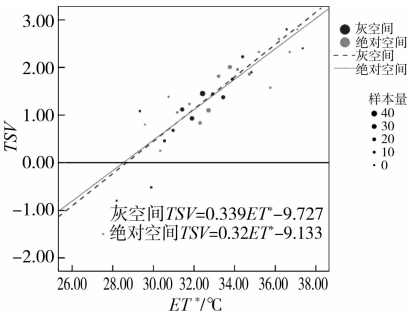


图 10 灰空间和绝对空间中热感觉与  $ET^*$  的回归分析

2.4.3 期望温度 为了解粤东地区农村居民的期望温度,问卷中设有“对完成问卷现场的环境有何期望?”的问题,选项有“期望降温”、“维持不变”和“期望升温”,利用 Bin 法将  $ET^*$  按照  $0.5^{\circ}\text{C}$  分组,并统计各组灰空间和绝对空间中 3 个选项的数量,维持不变的投票数平分后各加入“期望降温”和“期望升温”的投票数内,作 probit 回归(图 11)可得灰空间的期望温度为  $26.4^{\circ}\text{C}$  ( $ET^*$ ),绝对空间的期望温度为  $25.8^{\circ}\text{C}$  ( $ET^*$ ),两者相差  $0.6^{\circ}\text{C}$ 。由此可见,在灰空间内空间的连贯消除了内外空间的隔阂,室内温度与室外温度的日变化和季节变化更为紧密的联系在一起,使用者认识到这一点,相应的会降低个人期望的“舒适标准”。

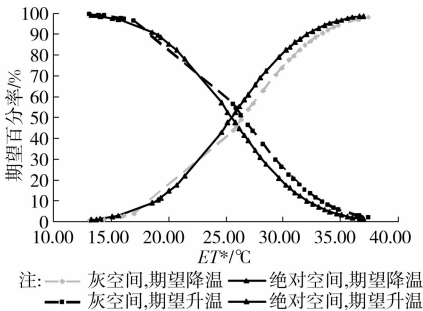


图 11 灰空间与绝对空间内的期望温度

综上所述,粤东地区农村居民对畅厅、门廊等灰

空间具有较高的接受认可度和更低的热期望,这应该是为什么在粤东传统农村住宅中一直保留有大量灰空间的主要原因。现代农村住宅对灰空间的态度产生了分歧,类型 2 中爬狮类的多层住宅保留了大量的灰空间,而类型 3 中的多层住宅为了提高建筑的使用率灰空间被大量压缩甚至消失,研究结果表明从热舒适和节能的角度出发,灰空间更有利于延续农村人口的热适应性,有利于农村的环境保护,有利于农村经济的可持续发展。

3 结 论

1)粤东地区农村住宅夏季室内空气温度介于  $27.1\sim 35.1^{\circ}\text{C}$ ,平均温度达到  $30.6^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度介于  $53\%\sim 93\%$ ;过渡季平均温度为  $25.4^{\circ}\text{C}$ ,平均相对湿度达到了  $88\%$ ;冬季室内平均温度为  $15.5^{\circ}\text{C}$ ,平均相对湿度为  $82\%$ 。可见,粤东地区农村住宅室内长期处于高湿的状态,温度随季节的变化而变化,整体温度水平较高;

2)粤东地区农村居民服装热阻与新有效温度  $ET^*$  呈显著的二次多项式关系,夏季平均服装热阻为  $0.27\text{ clo}$ ,最小值仅为  $0.06\text{ clo}$ ,粤东地区农村住宅夏季依靠服装热阻调节热感觉的空间很小;

3)粤东地区农村居民夏季中性温度及可接受温度上限与城市自然通风建筑的实测结果相近,与城市空调建筑差别较大,说明影响夏季中性温度和可接受温度上限的最主要的因素是是否使用空调;

4)使用者对灰空间的热环境接受度高于绝对空间。2 种空间中中性温度无显著差异,但是灰空间的期望温度为  $26.4^{\circ}\text{C}$  ( $ET^*$ ),比绝对空间的期望温度  $25.8^{\circ}\text{C}$  ( $ET^*$ ) 高  $0.6^{\circ}\text{C}$ ,使用者在灰空间比在绝对空间有更低的期望基准,所以粤东地区现代农村住宅的设计与建设应保留传统建筑中大量灰空间的特色。

参考文献:

[1] 清华大学建筑节能中心. 中国建筑节能年度发展研究报告[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.

[2] 张宇峰. 建筑要适应气候,那么人呢?——一项研究给出的关于人、气候、建筑关系的解答[J]. 南方建筑,2011(1):94-96.

Zhang Y F. Building adapts to climate, and what about people? An answer from a recent study on relations between man, building and climate [J]. South Architecture, 2011(1):94-96.

[3] ASHRAE. ASHRAE Standard 55-2004. Thermal environmental conditions for human occupancy [S].

- Atlanta; ASHRAE, 2004.
- [4] ISO. International Standard 7730. Ergonomics of the thermal environments-analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria [S]. Geneva: International Standards Organization, 2005.
- [5] Humphreys M A. Outdoor temperatures and comfort indoors [J]. Building Research and Practice, 1978, 6(2): 92-105.
- [6] 夏一哉, 赵荣义, 江亿. 北京市住宅环境热舒适研究[J]. 暖通空调, 1999, 29(2): 1-5.  
Xia Y Z, Zhao R Y, Jiang Y. Thermal comfort in naturally ventilated houses in Beijing [J]. HV&AC, 1999, 29(2): 1-5.
- [7] Han J, Zhang G, Zhang J, et al. Field study of occupants' thermal comfort and residential environment in a hot-humid climate of China [J]. Building and Environment, 2007, 42: 4043-4050.
- [8] 金虹, 赵华, 王秀萍. 严寒地区村镇住宅冬季室内热舒适环境研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(12): 2108-2111.  
Jin H, Zhao H, Wang X P. Research on the indoor thermal comfort environment of rural housing in winter in super-cold region [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(12): 2108-2111.
- [9] 黄莉, 朱颖心, 欧阳沁, 等. 北京地区农村住宅供暖季室内热舒适研究[J]. 暖通空调, 2011, 41(6): 83-85.  
Huang L, Zhu Y X, Ouyang Q, et al. Indoor thermal comfort in rural houses around Beijing in heating season [J]. HV&AC, 2011, 41(6): 83-85.
- [10] 杨柳, 杨茜, 闫海燕, 等. 陕西关中农村冬季住宅室内热舒适调查研究[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2011, 43(4): 551-556.  
Yang L, Yang Q, Yan H Y, et al. Field study on thermal comfort of rural houses in winter in the Guanzhong region, Shanxi Province [J]. Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2011, 43(4): 551-556.
- [11] 杨江峰. 泉州传统民居灰空间研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [12] ISO. Ergonomics of the thermal environment-Instruments for measuring physical quantities[S]. Geneva, 1998.
- [13] de Dear R J, Brager G S. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference [J]. ASHRAE Transactions, 1998, 104(1): 145-167.
- [14] McIntyre D A. Indoor Climate [J]. London: Applied Science Published Ltd. 1980.
- [15] 王昭俊. 现场研究中热舒适指标的选取问题[J]. 暖通空调, 2004, 34(12): 39-42.  
Wang Z J. Selection of thermal comfort indexes in the field study [J]. HV & AC, 2004, 34(12): 39-42.
- [16] 张宇峰, 王进勇, 陈慧梅. 我国湿热地区自然通风建筑热舒适与热适应现场研究[J]. 暖通空调, 2011, 41(9): 91-99.  
Zhang Y F, Wang J Y, Chen H M. Thermal comfort and adaptation in naturally ventilated buildings in hot-humid area of China [J]. HV & AC, 2011, 41(9): 91-99.
- [17] 陈慧梅, 张宇峰, 王进勇, 等. 我国湿热地区自然通风建筑夏季热舒适研究——以广州为例[J]. 暖通空调, 2010, 40(2): 96-101.  
Chen H M, Zhang Y F, Wang J Y, et al. Thermal comfort in naturally ventilated buildings in hot-humid area of China in summer: an example study of Guangzhou [J]. HV & AC, 2010, 40(2): 96-101.
- [18] Hwang R L, Cheng M J, Lin T P, et al. Thermal perceptions, general adaptation methods and occupant's idea about the trade-off between thermal comfort and energy saving in hot-humid regions[J]. Building and Energy, 2009, 44: 1128-1134.
- [19] Chan D W T, Burnett J, de Dear R J, et al. A large-scale survey of thermal comfort in office premises in Hong Kong [J]. ASHRAE Transactions, 1998, 104(1B): 1172-1180.
- [20] Busch J F. A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated office in Thailand [J]. Energy and Buildings, 1992, 18: 235-249.
- [21] Brager G S, de Dear R J. Thermal adaptation in the built environment: a literature review [J]. Energy and Buildings, 1998, 27: 83-96.

(编辑 胡英奎)