

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.04.007

湘东地区村镇住宅室内热环境调查分析

刘建龙, 夏小倩, 张海平, 谢洁南

(湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要:以湘东地区4个村镇最具代表性的3种住宅形式,即土坯住宅、砖混住宅和钢筋混凝土住宅为研究对象,采用温湿度测试与问卷调查相结合的方式,调查分析了农村住宅室内热环境状况。温湿度测试结果及热舒适指标问卷调查结果显示,农村住宅室内热环境普遍较差,其热环境为舒适的仅16.7%,不能满足舒适度要求。分析认为,农村住宅室内热环境较差的主要原因为住宅围护结构的保温隔热性能较差。建议投资开发价格便宜、性能优良的保温隔热材料,以提高农村住宅室内热环境的舒适度。

关键词:湘东地区;农村;室内热环境;热舒适;外围护结构

中图分类号: X21

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)04-0034-07

Investigation and Analysis on Indoor Thermal Environment of Rural Residential in Eastern Hunan

Liu Jianlong, Xia Xiaoqian, Zhang Haiping, Xie Jienan

(School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: With the three representative residential forms of four villages in eastern Hunan as research objects, namely, the adobe house, brick house and reinforced concrete house, investigates and analyzes the indoor thermal environment condition of rural residence by means of questionnaire and temperature & humidity test. The temperature & humidity test and the thermal comfort questionnaire results indicate that the indoor thermal environment is generally poor in rural areas and the indoor thermal comfortable environment is only 16.7%, and it can not meet the comfort requirements. The analysis shows that the insulation performance of the residential building envelope is the key cause to indoor thermal environment, and the investment in the development of cheap and good insulation performance materials is suggested to improve the indoor thermal comfort of rural residential.

Keywords: eastern Hunan; rural area; indoor thermal environment; thermal comfort; envelope structure

0 引言

随着社会主义新农村建设的不断深入,农民生活水平不断提高,人们对住宅室内热环境的要求也逐步提高。但是由于农村住宅建设缺乏系统的

规划与管理,及对住宅室内热环境的重视程度不够等,导致了农村住宅耗能较大且热环境较差。如农村居民为了解决住宅室内热环境较差的问题而使用空调,但由于农村住宅维护结构的保温隔热性能较差,造成了严重的能源浪费,而且没有达到良

收稿日期: 2013-03-22

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划基金资助项目(2011BAJ03B07)

作者简介: 刘建龙(1974-),男,湖南益阳人,湖南工业大学副教授,博士,主要从事建筑节能技术方面的教学与研究,

E-mail: ljld@sina.com

好的热舒适性。因此,如何有效地改善农村居民住宅室内热环境是当前新农村住宅建设研究的一个重要课题。

适宜的室内热环境主要指室内具有合适的气流速度、适宜的温度以及适当的环境热辐射,使人体易于维持热平衡并感到舒适的室内环境。农村住宅是农民居住、生活的主要场所,其室内热环境的好坏直接影响居民的生活质量。适宜的室内热环境是改善农村生活品质、建设社会主义新农村的重要保证。因此,研究和改善农村住宅室内热环境问题具有重要的战略意义^[1-3]。

影响住宅室内热环境的因素主要包括自然因素与人文因素,自然因素主要包含生态、气候、物理环境等,人文因素则主要包括当地建筑类型特点及人们的采暖习惯等。因此,改善建筑热环境要结合居住的地域条件、自然气候、地理环境、文化背景等差异,综合考虑各地的风俗习惯和文化背景等差异,通过改变建筑布局、围护结构、形式、功能等方式,来调节建筑的微气候,并减少能源消耗,以形成适宜人居住的物理环境。

1 研究方法及仪器设备

1.1 主要研究方法

1) 现场实测

对于村镇住宅当前的室内热环境现状,课题组于2010年1月、8月对湖南省株洲市胜塘村、白关村、

道田村以及关里村36户共40栋房子进行了实测,测试主要包括室内外温度、室内外风速风向、室内外相对湿度及采暖能耗等指标。

实测时间为:2010-01-08—12(冬季工况),2010-08-07—11(夏季工况)。冬季测量期间室外温度:最高温度为10.2℃,最低温度为3.4℃,平均温度为5.8℃;天气状况:2010-01-08—10为晴转阴天,2010-01-11—12为小雨。夏季测量期间室外温度:最高温度为40.8℃,最低温度为32.6℃,平均温度为37.3℃;天气状况:均为晴天。

2) 问卷调查

问卷调查内容主要包括:村民住宅的建筑面积、入住时间、建成年份;夏季空调面积与冬季采暖面积;年居住生活用能情况,包括用量、主要用途及单价;居民主要用能设备以及相关参数;居民对住宅室内热环境的主观感受等。

3) 计算分析

对现场实测和问卷调查的结果,采用热舒适性指标进行分析计算,对被选住宅室内热环境进行综合分析。

1.2 样本住宅的选取

研究组选取了胜塘村3栋不同年代的住宅为样本住宅。胜塘村全村森林覆盖率达70%以上,该村年人均收入约为2662元,其收入主要为年轻劳动力的外出打工工资,其住宅类型和人文习俗都具有代表性。所选3个样本住宅的建筑基本情况见表1。

表1 3栋样本住宅的建筑基本情况

Table 1 The basic conditions of three residential building samples

建筑类型	建筑年份	建筑面积/m ²	常住人口	建筑主要特点
土坯住宅	1965年	170.2	1户共2人	一层青瓦坡屋顶,墙体材料为以当地红土模制而成的土砖,外墙设通风口
砖混住宅	1988年	238.6	1户共4人	二层平顶兼青瓦坡屋顶,墙体材料为红砖,以石灰掺杂红土黏结砌筑而成,内外抹灰
钢筋混凝土住宅	2000年	186.2	2户共5人	二层平顶,墙体材料为红砖,以钢筋混凝土黏结砌筑而成,外墙粘贴瓷片

样本住宅的选取综合考虑了住宅建筑的特点、住户的经济状况及样本建筑在当地住宅所占比例。土坯住宅约占当地住宅的20%,其居民经济条件大多处于中等偏下水平;砖混二层住宅为当地新建住宅典型代表,其居民经济条件为中等水平;而钢筋混凝土住宅居民的经济水平普遍较高。所选取的3个样本住宅包含了当地常见的主要住宅建筑形式。

1.3 使用的主要仪器设备

风速仪:Testo 405-V1型,德国Testo公司生产,其参数与性能为0~10 m/s,数量为1个;

红外测温仪:RAYMX4PC型,北京雷泰光电技术有限公司生产,其参数与性能为-30~50℃,数量为

1个;

温湿度计, TES-1360型,泰仕电子工业股份有限公司生产,其参数与性能为-10~50℃, 0~100 RH, 数量为2个。

2 实测分析

此次调研,调研组共走访了4个村镇36个家庭,收集了28个有效样本,调研样本基本上涵盖了湘东地区典型的住宅建筑种类。对被选住宅室内热湿环境测量采取主客观相结合的方式:客观上,采用TES-1360温湿度测试仪,对住宅室内温湿度进行测量;主观调查是通过调查问卷的方式对居民的主观

感受进行记录与比较分析。

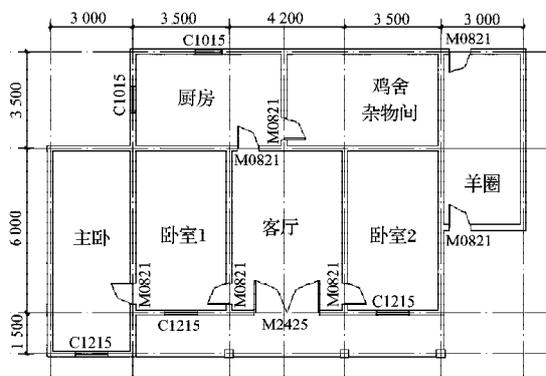
2.1 室内外温度

本次调研和实测的主要内容是室内外温度,共采集56个样本数。室内外的温度差是本次研究的重点,以湘东地区的最冷月份1月(代表冬季)和最热月份8月(代表夏季),来研究室内的热环境。1月(冬季):室外最低温度为3.4℃,最高温度为10.2℃,平均温度为5.8℃;室内最低温度为3.5℃,最高温度为11.4℃,平均温度为6.5℃。8月(夏季):室外最低温度为31.5℃,最高温度为40.8℃,平均温度为36.4℃;室内最低温度为26.5℃,最高温度为40.3℃,平均温度为34.1℃。根据GB50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》的规定,冬季室内温度舒适性范围是18~24℃,夏季为22~28℃。根据此次调研和分析的结果可知,该地区住宅的室内冬季温度远小于所规定的冬季舒适性温度。在夏季,除了使用空调的少数房间,其余大部分自然通风的房间,其温度远高于规定的夏季舒适性温度。这种室内热环境状况会影响当地居民的工作和生活。

通过对比被测住宅的室内外温度可知,室内外最大温差为6.8℃,最小温差为0.6℃。在56个被测样本中,85%以上的住宅室内外温差小于3℃,54%的样本室内外温差小于1℃。通过建筑类型和生活习惯的对比可知,湘东地区农村住宅维护结构的保温隔热性能较差是导致住宅室内热环境较差的主要原因,这也是夏热冬冷地区亟待改善和解决的问题。

2.1.1 土坯住宅

我国农村地区土坯住宅相当常见。被选住宅样本基本构造特点如下:朝向为坐东朝西;墙体结构形式为夯土,外表面以黄泥抹面,内表面以石灰粉刷;屋面为小青瓦;地面为夯土。此住宅居民在当地生活水平较低。土坯样本住宅的平面结构与功能如图1所示。



注:图中数据单位为mm,下同。

图1 土坯样本住宅平面图

Fig. 1 The plan of the adobe house

测试组对所选取样本住宅的卧室1、主卧以及客厅3个主要生活区域进行室内温度实时分析。主卧在冬季一般采用炭盆取暖,卧室1和客厅无炭盆取暖。卧室1为闭门闭窗,客厅为开门开窗。被测房间室内外平均温度见图2。

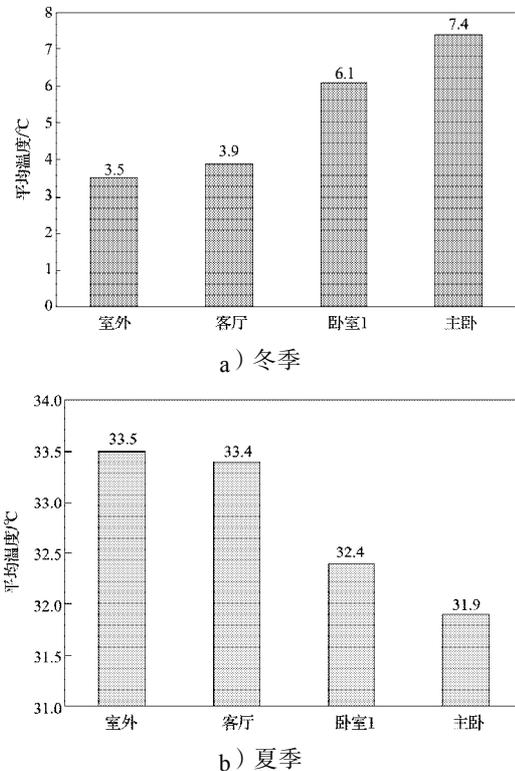


图2 土坯样本住宅被测房间室内外平均温度

Fig. 2 The average indoor and outdoor temperatures for the measured adobe house rooms

1) 冬季热环境

实测组于测试当天的上午10:50对此3个房间进行测试,实测结果见图2a。由图2a分析可知:由于主卧是采暖房间,故其平均温度最高,且远高于非采暖房间的客厅以及卧室1;卧室1的平均温度高于室外温度2.6℃;而客厅因房间门窗敞开,其温度受室外温度的影响较大,故其平均温度较低。该样本住宅外围护结构在冬季保温性能较好。

2) 夏季热环境

测试组于测试当天的上午9:30对这3个房间进行实测,实测结果见图2b。由图2b分析可知,3个房间的平均温度与室外温度相差不大,这可能与该住宅的朝向有关,该住宅为东西朝向,室内温度受太阳直射的影响较大。该住宅户主在主卧采用电风扇降温,虽然对整个房间的温度影响不太大,但促进了室内空气流通,而在主卧的被测点距离风扇较近,这使得主卧温度略低于其他2个房间的温度。从所测数据可以看出,该住宅夏季室内的热环境较差,应

采取一些适当的遮阳措施,并注意室内通风。

2.1.2 砖混住宅

20世纪80,90年代,湘东地区农村新建住宅多为砖混二层住宅。所取样本住宅坐北朝南,一楼为2间卧室,1间起居室(客厅),1间杂物间和1间厨房,二楼为1间卧室、1间客厅和3间杂物间。砖混样本住宅的平面结构见图3。

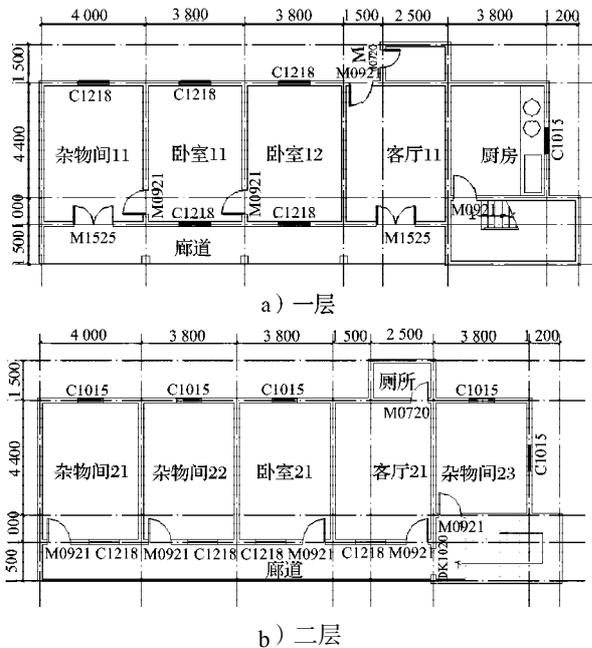
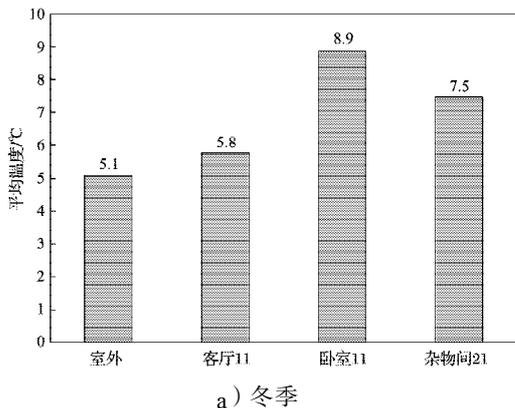


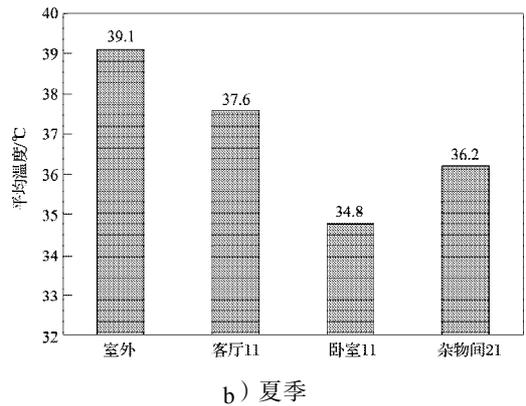
图3 砖混样本住宅平面结构图
Fig. 3 The plan of the brick house

该样本住宅的墙体结构以实心红砖砌筑。外墙南立面的外表面为水刷石饰面,其内表面为石灰砂浆;双侧以及背面外表面则无饰面;建筑地面为水泥地面;前半屋面为吊顶棚加通风平屋面,而后半屋面则为吊顶棚加坡屋面。

为了分析此住宅的夏季隔热及冬季保温性能,选取该样本建筑的卧室11、客厅11和杂物间21共3个房间进行室内外温度分析,其中,卧室11夏季采用电风扇降温,冬季采用炭盆采暖。所选房间室内外平均温度见图4。



a) 冬季



b) 夏季

图4 砖混样本住宅被测房间室内外平均温度

Fig. 4 The average indoor and outdoor temperature for the measured brick house rooms

1) 冬季热环境

由于实测当天天下着小雨,该住宅居民没有外出活动,在家中烤火。在所测试的3个房间内,杂物间21和客厅11为非采暖房间,卧室11为采暖房间,其中,杂物间21闭门闭窗,客厅11则敞开大门。

实测小组于测试当天16:05开始对该住宅进行测试。由图4a分析可知,采暖房间即卧室11的室内平均温度要高于室外温度3.8℃,非采暖房间的室内平均温度也高于室外温度2.4℃,而经常开关室门的客厅11仅比室外温度高出0.7℃。总的来说,采暖房间的室内平均温度比非采暖房间仅高2℃左右,且有很长一段时间处于10℃以下;而非采暖房间的室内温度基本维持在7.5℃左右。《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》规定了冬季居住住宅室内热环境变化范围为16~18℃,而该被测住宅室内平均温度为7.8℃左右,远未达到上述标准所要求的室内温度范围。由此可知,该被测住宅冬季室内热环境不容乐观,与国家室内热环境标准的差距还较大。

2) 夏季热环境

实测发现:客厅11的平均温度为37.6℃,卧室11的平均温度为34.8℃,杂物间21的平均温度为36.2℃,测试时室外温度为39.1℃。被测3个房间的室内温度均高于34℃,这说明室内热环境相当恶劣,不利于人们的作息与生活,同时也反映出此住宅围护结构的隔热性能非常差。在调研中笔者还发现,该住宅二楼的房间夏季热环境比一楼更差。其主要原因是该住宅屋面的保温隔热性能差,该住宅屋面没有采取任何保温隔热措施,二楼房间的天花板与屋面之间仅有一层很薄的石膏板吊顶。当白天室外空气温度较高时,热量很容易通过这层薄石膏板屋面进入室内,从而使二楼的室内热环境急剧恶化。

综上所述,可知该砖混样本住宅冬季和夏季室

内热环境都不容乐观。分析其中的原因，主要是由于维护结构性能较差造成的。冬季，该样本住宅外围护结构的保温性能较差，外墙内外两侧均未粉刷，造成空气渗透量较大，此外门窗气密性也不好，也影响了该建筑维护结构的保温性能；夏季，室内热环境差的原因主要是外墙和屋面隔热性能不好，使得室外热量很容易通过围护结构进入室内。

2.1.3 钢筋混凝土住宅

在夏热冬冷地区，钢筋混凝土住宅在农村新建住宅中占有一定比例。该钢筋混凝土样本住宅朝向为坐东朝西，面向街道；一共2层，第一层有2间卧室，1间客厅，1间杂物间和1间厨房，第二层有2间卧室，1间客厅，1个洗漱间和1个卫生间。钢筋混凝土样本住宅的平面结构见如图5。

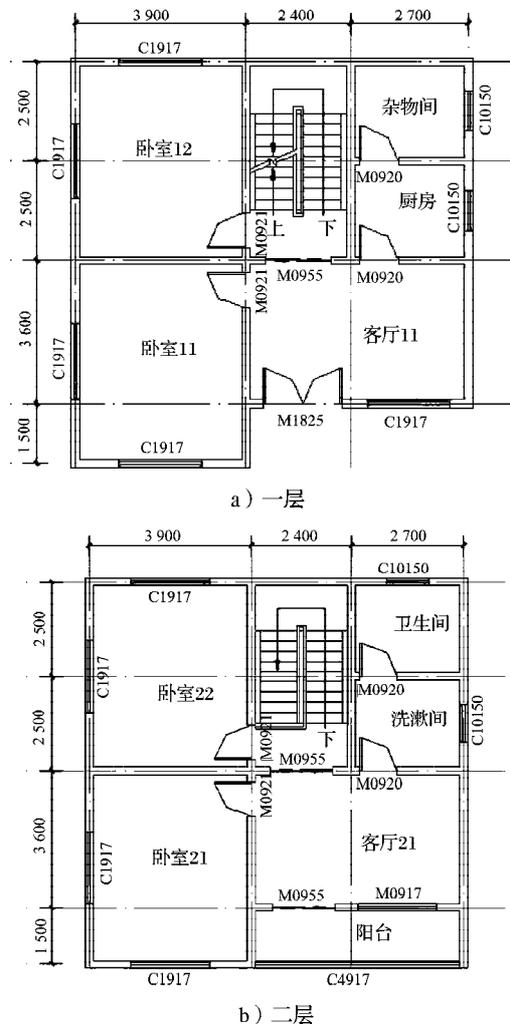


图5 钢筋混凝土样本住宅平面结构图

Fig. 5 The plan of the reinforced concrete houses

此样本住宅住户的经济条件在当地处于上层水平。调研组选取了该样本住宅的主要生活空间客厅11、卧室11和卧室21这三个房间，对其进行室内温

度测量。卧室11一般在冬季采用炭盆采暖，夏季则采用空调降温；卧室21及客厅11既无空调降温也无炭盆采暖。被测房间室内外平均温度如图6所示。

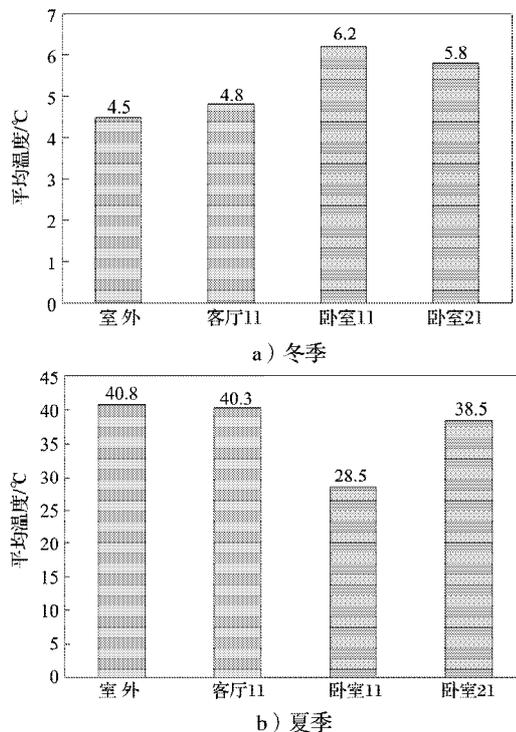


图6 钢筋混凝土样本住宅被测房间室内外平均温度
Fig. 6 The average indoor and outdoor temperature for the measured reinforced concrete house rooms

1) 冬季热环境

测试当天，该住户居民没有选择外出活动，待在家中烤火。卧室11为采暖房间，由于是用木炭采暖，所以对整间房子的温度影响不大，采暖房间比非采暖房间即卧室21的温度仅高出0.4℃，通过询问，居民们对这种采暖方式比较满意。但是，客厅11经常开关门，故该房间室内温度受室外温度影响较大。总的来说，该住宅冬季室内热环境现状离国家规定的室内热环境标准相距较远。

2) 夏季热环境

实测组于测试当天14:00对该住宅进行实测。实测结果为：卧室11的平均温度为28.5℃，客厅11的平均温度为40.3℃，卧室21的平均温度为38.5℃，当时室外温度为40.8℃。

卧室11采用空调降温，测试时空调设定的温度为27℃，基本能满足人们对室内夏季热环境的需求；客厅11由于经常开关门，室外热空气大量涌入室内，这使得该房间的室内热环境较差；位于二层的卧室21与一层其他房间的温度并不大，因为该房间窗户安装了窗帘，太阳光被阻挡了一部分，且该住宅是双层预制板的通风屋面，所以该住宅维护结构

具有较好的保温隔热效果。因此,该样本住宅主要的优点是门窗气密性及保温隔热性能良好,并具有双层预制板通风屋面。

2.2 相对湿度

根据调研结果,采集了56个室内相对湿度的样本,其中,相对湿度的最小值为52.3%,最大值为97.4%,平均相对湿度为75.6%。室内相对湿度大于70%的有38个样本,占样本总数的67.8%。按照GB50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》的规定,冬季室内相对湿度舒适性范围是30%~60%,夏季为40%~65%。根据此次调研和分析的结果可知,大部分被调研住宅的室内相对湿度范围均不满足此相对湿度舒适性标准。统计结果表明,该地区的农村居民长期处于高湿度的室内环境。长期处于这种高湿度环境会影响人体的健康,导致人体因散热不良而使体温升高、血管膨胀,甚至头晕。同时,室内相对湿度过大还会使建筑变得潮湿,从而容易滋生细菌等微生物,对人体健康造成威胁^[4]。

3 问卷调查

为了确定在室内已知各种气候参数的情况下的人体热感觉,房格尔在热舒适平衡方程的基础上,提出了PMV-PPD评价方法和指标^[5]。但是如果采用PMV-PPD公式分析室内热感觉,公式里某些参数,如人体的新陈代谢量等,很难测量,因此很难得到精确结果;此外,PMV-PPD只是一个数学结果,很难准确反映人的主观感受^[6-9]。为了更直接地统计居民对热环境的主观感受,本调研以问卷调查的方式,让受试者说出自己的热感觉,并且设置相关热感觉以及热舒适投票,以综合评价住宅室内热环境。根据美国采暖、制冷和空气调节工程师学会(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE)关于人体热感觉及热舒适评价方法,本次调研设置了热感觉投票(thermal sensation vote, TSV)和热舒适投票(thermal comfort vote, TCV)。其中,热感觉投票TSV分为7级分度指标,其分级范围为-3~3: -3表示冷, -2表示凉, -1表示稍凉, 0表示舒适, 1表示稍暖, 2表示暖, 3表示热;热舒适投票TCV分为5级分度指标,以0~4表示: 0表示舒适, 1表示稍不舒适, 2表示不舒适, 3表示很不舒适, 4表示不可忍受。

调研组采用上述指标对36户人家进行了投票调查。热舒适投票结果显示: 6个家庭对室内热环境感觉舒适, 3个家庭对室内热环境感觉稍不舒适, 20个

家庭对室内热环境感觉不舒适, 5个家庭对室内热环境感觉很不舒适, 2个家庭对室内热环境感觉不可忍受。对热舒适投票TCV结果进行统计,其统计结果见图7。由图7分析可知,仅16.7%的家庭住户对室内热环境感觉舒适。

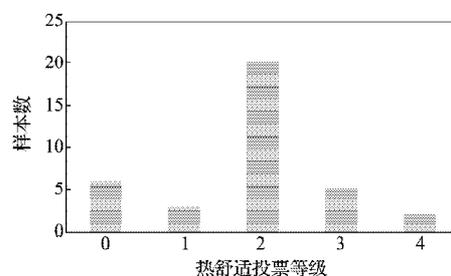


图7 热舒适投票统计结果

Fig. 7 The statistical results of the thermal comfort vote

同样,对36个样本家庭进行了热感觉投票。投票结果为: 4个家庭对室内热环境感觉为冷, 6个家庭感觉为凉, 3个家庭感觉为稍凉, 6个家庭感觉为舒适, 4个家庭感觉为稍暖, 7个家庭感觉为暖, 6个家庭感觉为热。对热感觉投票TSV结果进行统计,其统计结果见图8。由图8分析可知,16.7%的居民热感觉为舒适,其结果与热舒适投票TCV统计结果基本一致。

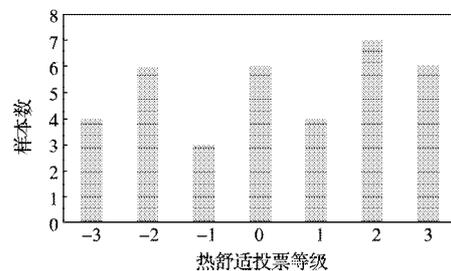


图8 热舒适投票统计结果

Fig. 8 The statistical results of the thermal comfort vote

综上所述,温湿度的测试结果和热舒适指标(住户对住宅室内热环境的满意度)的统计结果基本一致,即被调查的农村住宅室内不仅温湿度不能满足国家相关标准,而且由热舒适投票、热感觉投票结果可以看出,大部分农村家庭住户对住宅室内的热环境也不是特别满意。

4 结论

通过对以上3类农村住宅热环境的实测与调查分析,可以得出以下结论:

1) 土坯住宅与砖混住宅各有其自身特点。较之土坯住宅,砖混住宅的保温隔热性能较好,但也存在不足之处,如门窗的气密性差。砖混住宅需要对屋面及墙体增加合适的保温隔热材料,以及使用具

有较好保温隔热性能的双层预制板通风屋面。

2) 从温湿度测试的统计结果以及热舒适指标问卷调查中可以看出, 大多数农村住宅的室内热环境不满足舒适度要求。在 36 个调查样本中, 通过对热感觉投票 TSV 和热舒适性投票 TCV 的统计结果分析可知, 室内热环境为舒适的仅 16.7%, 可以看出农村住宅的室内热环境普遍较差。

3) 本次调研的农村住宅室内热环境较差的主要原因为住宅围护结构的保温隔热性能较差。因此, 投资开发价格便宜、性能优良的保温隔热材料是改善农村住宅室内热舒适度的重要措施。

参考文献:

- [1] 吴伟东, 周宝娟. 皖北地区村镇住宅建筑节能状况及改进策略[J]. 黑龙江农业科学, 2011(6): 49-50.
Wu Weidong, Zhou Baojuan. Rural House Building Energy-Saving Condition and Improvement Strategy in Northern of Anhui Province[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2011 (6): 49-50.
- [2] 谢冬明, 周晋, 滕明邑, 等. 湖南农村住宅冬季热环境及能耗的调查与分析[J]. 中国科技论文在线, 2007, 2(9): 698-702.
Xie Dongming, Zhou Jin, Teng Mingyi, et al. The Investigation and Analysis of Thermal Environment and Energy Consumption in Rural Residence of Hunan in Winter [J]. Sciencepaper Online, 2007, 2(9): 698-702.
- [3] 史洁, 李峥嵘, 宋德萱, 等. 上海高层住宅夏季室内热环境调查研究[J]. 暖通空调, 2007, 37(5): 118-121.
Shi Jie, Li Zhengrong, Song Dexuan, et al. Indoor Thermal Environment Investigation on High-Rise Residences in Summer in Shanghai[J]. Journal Heating Ventilating and Airconditioning, 2007, 37(5): 118-121.
- [4] 张敏飞, 张华玲. 重庆自然通风热舒适模型的建立及热环境评价[J]. 暖通空调, 2012, 128(1): 61-64.
Zhang Minfei, Zhang Hualing. Establishment of Thermal Comfort Model and Evaluation of Thermal Environment for Natural Ventilated Buildings in Chongqing[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2012, 128(1): 61-64.
- [5] 钟杰. 皖南民居室内热环境研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010: 7-16.
Zhong Jie. Study on the Indoor Thermal Environment for Traditional Buildings in South of Anhui Province[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2010: 7-16.
- [6] 王焯, 曾立云. 热舒适参数选取中存在的问题分析[J]. 人类工效学, 2009, 15(1): 24-27.
Wang Ye, Zeng Liyun. Analysis on Problems Existing in the Determination of Thermal Comfort Parameters[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2009, 15(1): 24-27.
- [7] 赵荣义. 关于“热舒适”的讨论[J]. 暖通空调, 2005, 30(3): 25-26.
Zhao Rongyi. Discussion on Thermal Comfort[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2005, 30(3): 25-26.
- [8] 王昭俊. 关于“热感觉”与“热舒适”的讨论[J]. 建筑热能通风空调, 2005, 24(2): 93-94.
Wang Zhaojun. Discussion on Thermal Sensation and Thermal Comfort[J]. Building Energy & Environment, 2005, 24(2): 93-94.
- [9] 王慧丽, 王广和, 贾慧献. 新农村规划与民居建设[J]. 住宅科技, 2006, 312(12): 58-62.
Wang Huili, Wang Guanghe, Jia Huixian. New Countryside Planning & Folk House Construction[J]. Housing Science, 2006, 312(12): 58-62.

(责任编辑: 徐海燕)