

被动式太阳能结合相变墙在苏北自然通风环境下的应用研究

黄 婷,张雨清,钮 斌,刘 茜

(盐城工学院 土木工程学院,江苏 盐城 224000)

摘要:通过建立实体的模型房间,选择寒冷的冬季和炎热的夏季两种环境,对被动式太阳能建筑结合相变墙体的综合应用状态进行了模拟研究,获得了太阳能集热墙、相变墙体等结构的表面温度及室内温度参数,利用动态热网络分析法,建立综合考虑建筑内部舒适度的 4 种运行工况,通过对比分析的方法,验证了由被动式太阳能建筑结合相变墙体的实验房具有冬暖夏凉的功能。在炎热的夏季,相变墙发挥了蓄冷作用,同时太阳能集热墙的被动通风,使得实验房内白天温度较普通房有所下降;在寒冷的冬季,白天太阳能集热墙的吸热与相变材料的蓄热,使得实验房内夜晚温度较普通房有所上升,从而实现实验房冬暖夏凉的功能。

关键词:被动式太阳能建筑;相变材料;热舒适性;集热墙;动态热网络模型

中图分类号:TU111.41 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2016)02-0073-06

1 研究背景

1.1 苏北地区的区域分析

1.1.1 区位分析

苏北地区包括徐州、连云港、宿迁、淮安、盐城 5 个地级市,主要气候特点为气候温和、四季分明、季风显著、冬冷夏热、雨热同季、降水集中。

苏北地区年平均气温 14.79℃,大部分地区为冷干地带,春季和夏季的气温由东向西递增,秋季和冬季的气温由南向北递减^[1]。近年来,夏季最高气温平均达 37.6℃,呈现出新的夏季高温期,年极端最低气温达 1.7℃。

江苏省平均太阳总辐射量达到 4 749 MJ/m²,从西南到东北逐渐上升,上限值出现在连云港市,为 5 063 MJ/m²;下限值出现在无锡市,为 4 514 MJ/m²。根据气象站日照分析图以及年日照时数达到或超过 6 h 的天数、月日照时数达到或超过 6 h 最多天数和最少天数的月份比值,可以看出江苏省太阳能资源分布符合西南到东北递升的规律。由此可见,江苏省北部地区太阳能资源开发

利用优势极为显著。

1.1.2 实验地点

根据 1970—2015 年的气候资料,对盐城市年实际太阳辐射量进行估算发现,盐城市全年日照时数为 2 200~3 000 h,太阳每平方米的辐射量等同于 170 kg~200 kg 的标准煤燃烧。盐城地区年内太阳辐射量分布呈现出先上升、后下降的变化特点,和天文辐射变化几乎没有区别,其中 1~5 月太阳辐射量逐渐升高,8~12 月逐步下降至谷底,12 月跌落至最低值。

针对盐城地区区位展开分析,并选择盐城作为实验对象,主要原因在于本地的太阳能资源十分丰富;而且该城市昼夜气温变化幅度较大,被动式太阳能建筑以及相变墙体能够发挥非常显著的作用,其太阳辐射量与气候状况在苏北地区有一定的代表性。

本文采用对比研究的方式,探究被动式太阳能建筑结合相变墙体在苏北地区应用后,对建筑热性能以及室内环境所造成的影响,特别是相变材料结合太阳能集热墙对室内热环境的影响。研

收稿日期:2015-11-26

基金项目:住房与城乡建设部科学技术计划项目(2016-K-035);江苏省社科应用研究精品工程课题(15SYB-018);江苏省大学生创新训练计划项目(201510305085H);江苏省大学生创新训练计划项目(201510305086H);盐城市社科应用研究项目(15skyyB38e)

作者简介:黄婷(1983—),女,江苏盐城人,讲师,主要研究方向为生态建筑、建筑节能。

究表明,相变材料能够让房间温度相对稳定,使人感觉更舒适;相变材料能够让房间昼夜温差变小,有效地减轻了空调设备的负荷,具有良好的“削峰填谷”的作用,节约了能源。

1.2 被动式太阳能建筑及相变墙体问题及改进

由被动式太阳能建筑与相变墙体研究现状可知,被动式太阳能建筑与相变墙体都具有改善室内热环境与节约能源的功效,然而部分技术上的问题成为阻碍其发展的重要原因^[2],主要有以下几点:

1.2.1 被动式太阳能建筑集热墙问题及改进

研究发现,被动式太阳能建筑的室内热环境存在一些问题,主要表现在:在寒冷的冬季,夜晚室内温度太低;但在炎热的夏季,室内环境温度又会过高^[3]。为此,人们想方设法进行改进。如在集热墙内侧设置保温层减少冬季室内热量的流失,但这也阻碍了热量通过集热墙进入室内;在空气夹层内安装透明绝热材料,确保白天辐射透过率不会受到影响的基础上,降低夜间热量的损失速度。这些改进方案各有优势,但是同样存在不足,夏季室内过热问题并没有得到很好的改善。

1.2.2 相变材料的热稳定性

从成分类型看,相变材料包括两种,即无机相变材料和有机相变材料;从变化前后状态类型看,相变材料包括 3 种,即固体-液体相变,液体-气体相变以及固体-固体相变。就目前的现状来看,第 1 种相变材料的应用是最为广泛的,该材料的主要特点体现在:相变温度不高、体积变化幅度小、相变潜热大,在工程领域十分普及。但是难点是如何选择最佳的相变材料,具体来说就是如何确定最佳的导热系数、比热容、相变潜热及相变温度等。

2 改造方案与原理分析

现有的被动式太阳能建筑采用的是具有较大热容量的南向集热墙进行冬季蓄热,但这种南向的蓄热墙体在夏季也吸收了较多的热量而使室内温度过高^[4]。因此,利用相变材料在夏季夜晚蓄冷,白天吸收室内热量解决夏季白天室内过热的问题变得尤为重要。

为了解决以上问题,并且考虑到相变材料在苏北地区冬季的蓄热性能与夏季蓄冷性能的可行性,我们提出了被动式太阳能建筑与相变墙体结合应用的建筑模型。

2.1 相变材料的选择

针对此次研究我们选取了两种可供选择的相变材料,石蜡与脂酸类有机物。其中,石蜡类相变材料具有稳定的化学性质与较高的溶解热,是本次实验的最佳选项,但其价格昂贵不便于研究;而脂酸类相变材料和石蜡之间的特性差异很小,但其成本很低,并且市场能够大量供应。为此,笔者在实验中选择脂酸类相变材料^[5]。

为了得到性能最佳的相变材料,笔者对脂酸类有机物的熔点和潜热展开了多次重复性试验。通过不断调整癸酸-肉豆蔻酸和癸酸-月桂酸的含量,改变其组合中成分的权重比来满足不同地区的需求,最后确定的相变材料成分为癸酸-肉豆蔻酸以及癸酸-月桂酸,两者质量分数分别为 66% 和 34%^[6]。

2.2 建筑模型的建立

为了验证研究方案的可行性,我们在盐城市搭建了两间大小、形状完全相同的房屋。其中一间使用了太阳能集热墙以及相变材料,标记为实验房;另一间使用普通建筑材料,标记为普通房,分别如图 1、图 2 所示。实验房坐北朝南,尺寸为 2 900 mm × 2 900 mm × 3 000 mm,其南墙由内墙与外墙构成,内外墙之间有 200 ~ 300 mm 的空气层,如图 3 所示。内墙的外侧为太阳能集热墙,其集热面由铜板刷黑漆制成;在集热面与 50 mm 厚的内墙之间有 40 mm 厚的聚苯乙烯挤塑板绝热材料^[7],避免夏季集热面将过多的热量传递到室内,导致室内温度过高。内墙上下各开 2 个风口(400 mm × 250 mm),为空气在竖直方向上的运动提供条件^[8],风口可根据不同的运行工况关闭

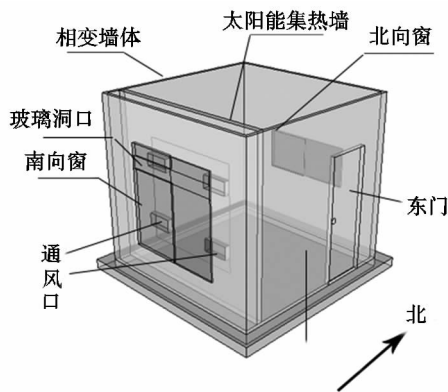


图 1 实验房示意图

Fig. 1 Test room diagram

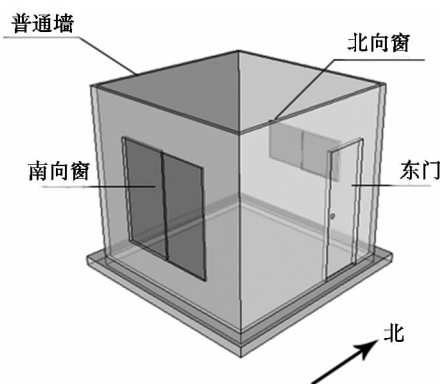


图2 普通房示意图

Fig. 2 Common room diagram

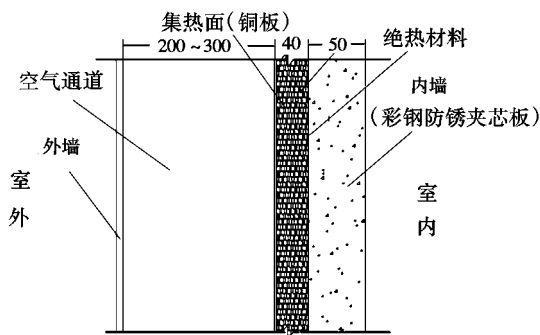


图3 南墙结构示意图 (mm)

Fig. 3 South wall structure diagram

或打开,从而确保夏季室内空气能够流通到室外,同时将室外的新鲜空气引入到室内;外墙开有 $1\ 600\text{ mm} \times 1\ 600\text{ mm}$ 的玻璃窗,且在距窗顶 200 mm 处开有 200 mm 宽的可开启玻璃窗洞口,如图 4 所示。东、西墙为相变墙体,地板用 15 mm 厚木地板铺设。

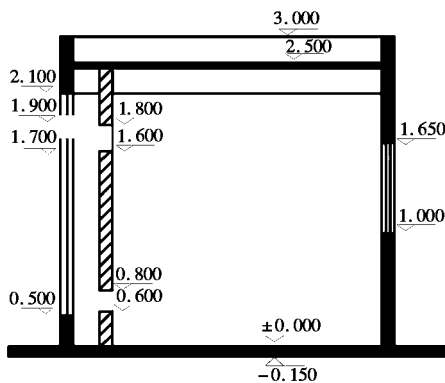


图4 实验房剖面图(mm)

Fig.4 Test profiles

实验房的东墙和西墙为相变墙,即在普通房的东墙和西墙内侧安装相变材料层而形成,如图5所示(图6为普通房墙体的结构图)。相变材料采用铝箔袋封装,粘贴在墙上形成厚度约为5 mm的相变层。铝箔袋内的相变材料由癸酸和月桂酸按比例混合组成。

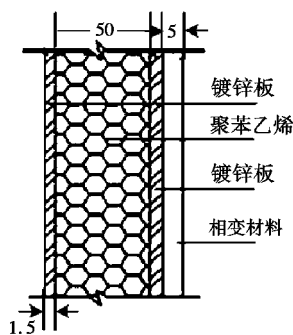


图5 相变墙体构造(mm)

Fig. 5 Phase change wall structure

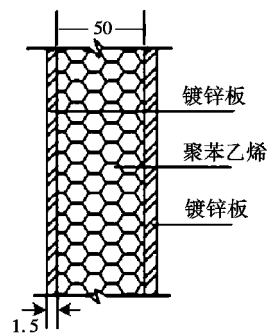


图 6 普通墙体构造图 (mm)

Fig. 6 Commom wall structure diagram

2.3 原理分析

2.3.1 冬季白天直接供热原理

冬季晴天太阳出来后,太阳辐射将热量传递给集热墙,关闭南向窗的玻璃洞口,空气间层里面的空气因吸收热量而温度上升。打开集热墙的上下通风口,热空气直接通过上风口进入室内,室内冷空气通过下风口进入空气间,从而形成冷空气转变为热空气的循环,达到提升室内温度的效果。

2.3.2 冬季夜晚相变蓄热原理

冬季白天供热,室内温度升高后,热量很好地保存在相变材料里,夜间关闭玻璃窗洞口与集热墙的上下通风口,减少室内空气从相变墙体得到热量的散发,从而确保夜间室内环境温度处于较高水平。

2.3.3 夏季相变蓄冷原理

夏季的夜晚,打开集热墙的下通风口、南窗上的玻璃洞口与北向窗,关闭集热墙上通风口,使室外凉爽空气进入室内达到降温的目的。此时室外空气和相变墙体存在温度差,利用室外的低温空气进入室内后与相变墙体充分接触,带走相变材料的热量从而达到相变墙体的蓄冷作用。

2.3.4 夏季白天相变降温原理

在夏季白天,当太阳出来时,将集热墙的上通风口关闭,打开北向窗及南向窗上的玻璃窗洞与集热墙的下风口,同时夹层里面的空气温度会逐步上升。采用被动通风的方法,达到室内外换气的目的。同时室外热空气通过相变墙体降温后再送入室内,从而降低室内的温度。

相变墙体结合太阳能集热墙在不同运行工况下的示意图如图 7 所示。

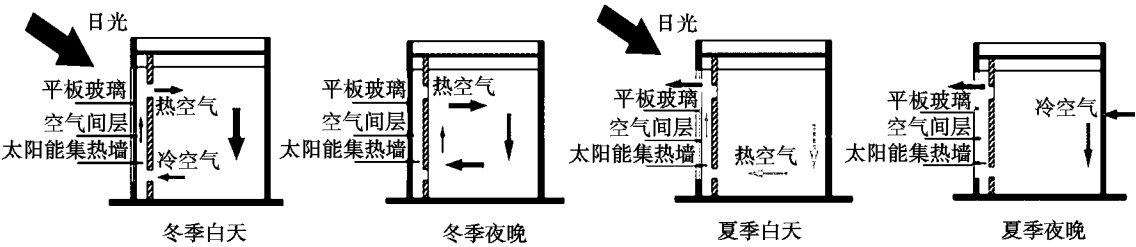


图 7 被动式太阳能建筑结合相变墙体的运行工况示意图

Fig. 7 Passive solar architecture sketch of operation condition of phase change wall

3 实验研究

根据室外气象以及相关研究论文所提供的参数,选择过度季节(4 月份)进行相变材料是否产生相变的实验性研究,从而确保相变材料在冬季与夏季运行工况下可以产生相变并且较过度季的数据有一定幅度的变化。实验方法如下:在实验房与普通房的四面墙上分别放置 5 个温度测点,进行实时的温度测量,如图 8 所示。实验包括一个完整的循环周期,主要包括两个不同的部分,也就是冬季供热和夏季降温。

过度季的实验通过温度测点检测实验房和普通房中的温度,每 4 min 查收一次数据,得到如图 9 所示的实验曲线图。

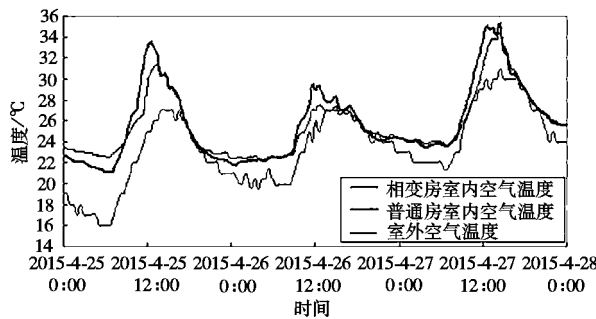


图 9 实验房与普通房室内空气温度对比

Fig. 9 Experiment room in contrast to ordinary room air temperature

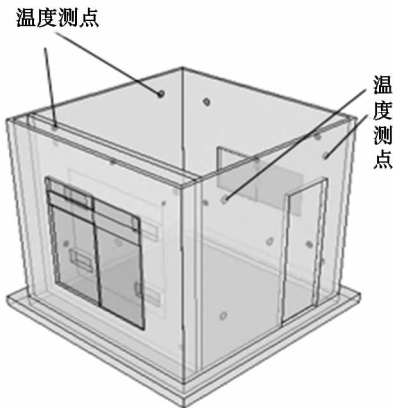


图 8 温度测点布置图

Fig. 8 Temperature sensor placement diagram

由图 9 可以看出:(1) 早上 6:10 左右,室内温度显示为一天中的最低,其中实验房最低温度比普通房提高了 1.6℃;下午 1:00 左右,房间内的温度显示为一天中的最高,实验房最高温度比普通房降低了 2.4℃;(2) 普通房的昼夜温差是 12.8℃,实验房的昼夜温差是 8.8℃,波动幅度明显减小。显然,相比普通房的室内温度,实验房的室内温度更为稳定,作用时间更长,说明相变材料对改变室内热舒适度具有一定的影响。

在此基础上,通过建立动态热网络模型及鲁班测试软件对冬季与夏季建筑运行情况进行权重因素分析,获得室外气象因素作用后建筑动态热过程的计算模型。该模型对系统运行的 4 种工况进行了全面的考虑,采用对比分析的方法,对模拟和实验结果进行分析得出如图 10、图 11 所示的实验房与普通房数据对比曲线。由图 10、图 11 可知,不论夏天还是冬天,实验房与普通房的温度变化规律基本一致,且冬天实验房的温度要高于普通房,夏天实验房的温度则低于普通房,实现了实验房冬暖夏凉的功能。

4 结论

通过建立实体的模型房间,选择寒冷的冬季和炎热的夏季两种环境,对被动式太阳能建筑结合相变墙体的综合应用状态进行了模拟研究,获得了太阳能集热墙、相变墙体等结构的表面温度及室内温度参数,利用动态热网络分析法,建立综合考虑建筑内部舒适度的 4 种运行工况,通过对比分析的方法,验证了由被动式太阳能建筑结合相变墙体的实验房具有冬暖夏凉的功能。在炎热的夏季,相变墙发挥了蓄冷作用,同时太阳能集热墙的被动通风,使得实验房内白天温度较普通房有所下降;在寒冷的冬季,白天太阳能集热墙的吸热与相变材料的蓄热,使得实验房内夜晚温度较普通房有所上升,从而实现实验房冬暖夏凉的功能。

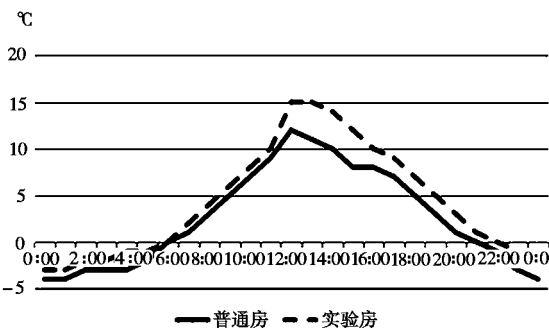


图 10 冬季实验房与普通房温度图
Fig. 10 The winter experiment room and common room temperature maps

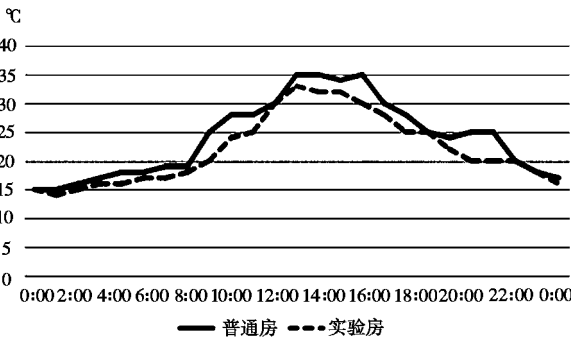


图 11 夏季实验房与普通房温度图
Fig. 11 The summer experiment room and common room temperature maps

参考文献:

[1] 王崇杰,赵学义. 论太阳能建筑一体化设计[J]. 建筑学报,2002(7):28-29.
[2] 何梓年. 太阳能热利用与建筑结合技术讲座(五):被动式太阳房[J]. 可再生能源,2005,23(5):84-86.
[3] 张晴原. 中国建筑用标准气象数据库[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
[4] 林坤平,张寅平,江亿. 我国不同气候地区夏季相变墙房间热性能模拟和评价[J]. 太阳能学报,2003,24(1):46-52.
[5] 陈其针. 相变材料在建筑节能中的应用[J]. 煤气与热力,2009,29(9):19-21.
[6] 张寅平,胡汉平,孔祥冬,等. 相变贮能:理论和应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1996.
[7] 丘林,刘星. 填充相变材料建筑结构层蓄能的研究[J]. 建筑材料学报,2009,12(5):621-624.
[8] 中国建筑设计研究院,中国建筑西南设计研究院,国家住宅与居住环境工程技术研究中心,等. 被动式太阳能建筑技术规范:JGJ/T 267—2012[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.

The Application of Passive Solar Building Combined with Phase Change Wall Based on Natural Ventilation in Northern Jiangsu

HUANG Ting, ZHANG Yuqing, NIU Bing, LIU Qian

(Civil Engineering Department, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China)

Abstract: In the productivity of the 21st century, the rapid development of economic globalization and the development of industrialization, the energy shortage and environmental pollution problems will follow. With the continuous consumption of conventional energy, solar energy development has become the important subject of the development of energy today. This paper analyzes the passive solar energy building energy saving technology, and USES the phase change materials to improve the collection of thermal heat storage wall make it suitable for jiangsu northern temperate zone monsoon climate area, in order to reduce air consumption, improve the indoor environment and comfort, so as to achieve the purpose of saving energy.

Keywords: passive solar building; phase change materials; Thermal comfort; collection hot wall; The dynamic thermal network model

(责任编辑:张英健)

BIM 大数据研发三方合作共建签约与授权仪式 在盐城工学院举行

2016 年 5 月 19 日, BIM 相关专业建设签约暨谷雨时代 BIM 大数据研发基地授权仪式在盐城工学院举行。北京谷雨时代教育科技有限公司及江苏分公司, 盐城市建筑设计研究院有限公司和我校领导及土木工程学院相关负责人出席仪式。

盐城工学院、盐城市建筑设计研究院有限公司与北京谷雨时代教育科技有限公司就 BIM 大数据研发三方合作共建相关事宜进行磋商, 达成了在师资培训、实训站建设、人才输送、企业培训、BIM 工程中心、BIM 咨询等环节的合作意向, 签署了《关于建筑信息化合作备忘录》《盐城工学院 BIM 一体化建设合作协议》等文件。

此次合作, 对探索 BIM 在工程教育管理领域的应用, 推进建筑信息化在高校教学及企业的应用, 以及特色课程创新、校企合作、建筑信息化教学基础能力提升、满足企业对复合型高技术人才需求等方面将起到积极作用。

(摘编自盐城工学院“综合新闻”)