

被动式太阳能集热墙和新型节能灶炕耦合运行模式下农村住宅室内热环境的研究

大连理工大学 陈 滨[☆] 庄 智 杨文秀

摘要 以大连地区农村住宅为对象,采用现场实测和问卷调查方式,研究了半吊炕及被动式太阳能集热墙对室内热环境的调节作用,从室内温湿度、炕表面温度及运行方式、人为因素影响等方面对热环境进行了评价。被动式太阳能集热墙与新型节能灶炕耦合运行模式明显好于炕单独作用,虽然前者初投资增加了 10%,但每个冬季可节省供暖用煤 50% 左右。

关键词 农村住宅 被动式太阳能集热墙 新型节能灶炕 半吊炕 室内热环境

Indoor thermal environment of rural residences in a coupled heating pattern of passive solar-collected wall and oven-kang combination

By Chen Bin[★], Zhuang Zhi and Yang Wenxiu

Abstract For rural residences in Dalian area, based on field measure and questionnaires, investigates the indoor thermal environment in the coupled heating pattern by the data of indoor temperature and relative humidity, surface temperature and operation mode of kang, and human's activities, etc. The results show that the effect of the coupled heating pattern is superior to that of single kang pattern, and that the former could save coal for heating by about 50% while its initial investment increases by only 10%.

Keywords rural residence, passive solar-collected wall, new type energy-saving oven-kang, partial-hollow kang, indoor thermal environment

★ Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning Province, China

①

0 引言

近年来,中国建筑能耗呈逐年上升的趋势,用于供暖空调的能耗已占建筑总能耗的 55% 以上^[1]。中国农村人口占总人口的 3/4 以上,农村住宅能耗和室内环境问题是不可忽视的。据统计,2000 年中国农村生活用能消耗煤当量达 370 Mt, 占国家能源消耗总量 1 522 Mt 的 24.3%, 而生物质能占生活用能总消耗量的 55.17%^[2]。由于农村生活用能主要是煤和生物质能,尤其在寒冷地区,冬季供暖需要消耗大量的柴草和煤,造成严重的环境污染和能源浪费。

针对这一现状,从 20 世纪 70 年代末开始,许多学者和农村能源第一线的科技工作者进行了大

量的研究及新型节能技术的推广应用工作。一方面充分利用太阳能、沼气等可再生能源;另一方面对传统灶炕进行改革,不仅提高了炕灶综合热效率,降低炊事、取暖的燃料消耗,而且能够调节室内微气候,使室内环境舒适卫生,取得了良好的社会、经济和环保等综合效益。

目前,在中国东北农村地区仍广泛使用火炕这

①[☆] 陈滨,女,1960 年 11 月生,工学博士,副教授,所长
116023 大连理工大学土木水利学院建筑环境与新能源研究所
(0411) 84706371
E-mail: chenbin8911@yahoo.com.cn
收稿日期:2005-03-04
一次修回:2005-05-08
二次修回:2005-12-29

种传统的供暖方式。此外,有些地区还使用被动式太阳能供暖方式,其主要表现为集热墙和直接受益窗两种形式。对已建成的被动式太阳房和新型节能灶炕的运行性能及其对室内热状况的影响进行深入的研究,有利于新技术的推广应用和提高。

因此,本文以大连地区的农村住宅为对象,对已建成的被动式太阳房及新型节能灶炕的结构形式、运行状况、室内温度分布以及居住者的行为调节等进行了调查研究和分析,并通过与对比房的比较分析,重点研究了在东北农村地区特定的气候条件下,被动式太阳能集热墙和新型节能灶炕耦合运行模式下住宅室内热环境的状况。

1 建筑和气候特点

在东北农村地区,住宅一般为独门独院式(见图1),建筑布局为朝南房间用于居住,朝北房间作



图1 中国东北地区典型农村住宅

为储藏室。在冬季,农村住宅主要通过烧炕来供暖。由于传统农村住宅结构形式、保温状况不理想,当室外气温低于 0°C 时,经常会出现水管冻裂、室内温度过低等现象。近年来,农村住宅的结构和建造质量有了很大的提高,特别是加强了建筑保温措施及充分利用太阳能,使冬季室内环境的舒适性得到了极大的改善。

本研究的实测对象位于东北地区南部,属于具有海洋性气候特征的寒冷地区。通常冬季室外最低气温在 -10°C 左右,极端最低气温可达 -22°C ,且多大风天气,处于东亚季风范围,年平均风速 $3\sim 6\text{ m/s}$;但日照充足,年日照时间达 $2\,800\text{ h}$ 以上,日照率平均为 60% 。

2 实测地区供暖方式的技术特点

2.1 灶连炕结构及供暖方式

灶连炕系统由灶、炕及烟囱三大部分组成,其中灶为热源,炕为散热部件,烟囱为排烟部件。通过将与炕相连的灶在炊事或做其他家事时所产生

的高温烟气引导到炕体烟道中来加热炕体,使炕表面温度升高,达到类似地板辐射供暖的效果。高温烟气通过炕体散热降温后经烟囱排至大气。

火炕的形式很多,从最初的落地式火炕到目前推广使用的新型节能架空式火炕。架空炕(也称吊炕)针对落地炕存在炕洞垫土散热损失大、单面散热、热效率较低、炕面温度不均和倒烟、燎烟等问题,从提高炕体热能利用率和炕面温度、强化炕体保温的角度出发,从选材到结构进行了全面改革。将原有的落地炕底部架空,取消炕洞底部垫土,使炕体由原来的一面散热变为上下两面散热,以提高室内温度;另外增加了烟气与炕体的接触面积,一般约增加 $30\%\sim 50\%$;同时,合理调节进、排烟温度,适当减小灶的拦火强度以保证进炕烟温在 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 左右,而控制排烟温度在 $50\sim 80^{\circ}\text{C}$ 左右,使炕体获得足够的热量。为了使炕体所获得的热量在停火后不至于很快地通过烟道散失,在排烟口和灶门处分别安装了挡板,使炕体温度能保持一段时间。另外,在炕体内靠近外墙的部位加强了保温。炕灶综合热效率由原来的 45% 提高到 70% 以上,每户年均节约柴草 $960\text{ kg}^{[3-4]}$ 。新型节能架空式火炕结构及供暖系统如图2所示。

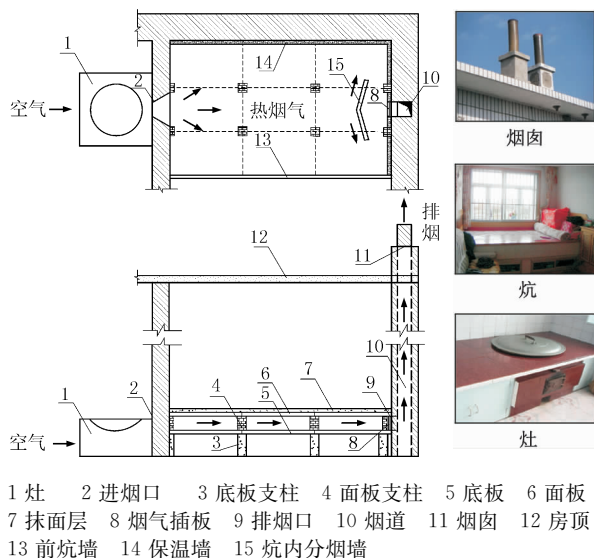


图2 灶连炕结构及供暖系统

2.2 被动式集热墙结构及供暖方式

北向房屋的北侧外窗都采用了双层双框窗(见图3),内侧窗为玻璃窗,起采光作用;外侧窗为聚苯板外包镀锌铁皮的保温窗。

图4中左侧黑色墙体部分为被动式太阳能集



图 3 北向窗及墙体结构



图 4 被动式集热墙结构

热墙,与通常的 Trombe 集热墙相比,结构略有不同。玻璃盖板和集热墙之间的空气间层被一块很薄的表面涂黑铁板分成两部分(铁板与玻璃盖板之



a 住宅 1



b 住宅 2



c 住宅 3

图 5 实测对象外景图

示。住宅 1 无被动式集热墙体,通常情况下采用节能型半吊炕(炕底部有一半架空,并在架空部位安装了风门,以便使炕体内的热量散至室内)和直接受益窗进行供暖;遇上极端寒冷的天气,利用家用节能型燃煤炉通过散热器向房间供暖。但由于经济条件限制,使用燃煤炉进行供暖在农村住宅中是很少见的。住宅 2,3 综合利用南向被动式太阳能集热墙、直接受益窗和节能型半吊炕进行供暖。

这 3 栋住宅均建造于 1996 年,住户对室内热舒适性都比较满意,夏季也未出现过热现象。与同一地区普通房屋(墙体和北向窗均未采用聚苯板进行保温及无被动式太阳能集热墙结构)相比,冬季可节省供暖用煤 50% 左右。

3.2 实测方法及内容

采用现场测试和问卷调查相结合。实测内容主要有室内外的温湿度,炕头、炕尾表面及炕底温度,被动式集热墙内部上下风口空气温度等。采用数字式温湿度自记仪每 10 min 记录一次数据。测量时间为 2004 年 11 月 6~12 日。测点布置如图 6 所示。问卷调查内容主要涉及建筑结构、火炕结构、被动式集热墙结构及人员对室内热状况的主观评价等方面。

3.3 数据分析方法

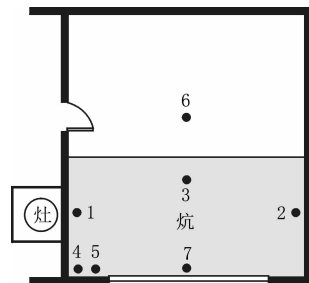
由于建筑中各个因素对住宅室内热状况的作用是相互影响、相互制约的。因此,研究分析某个

间的空气间层和铁板与集热墙之间的空气间层),太阳辐射热被铁板吸收后,加热了铁板内侧的空气,形成与通常 Trombe 墙类似的空气循环过程。集热墙外表面装有 5 cm 厚的聚苯板进行保温,但由于墙体为空心墙体,所以基本上不具有蓄热作用。

3 实测调查概要

3.1 实测对象

实测对象为大连市三户农村住宅,除了南外墙外,它们都具有相同的布局与建筑结构,如图 5 所



1 炕头 2 炕尾 3 炕底 4 上风口
5 下风口 6 室内 7 近窗处

图 6 测点布置

因素的变化对住宅室内热状况的影响时,应选取在其他因素保持一致的条件下进行。通过比较研究对象中不同因素变化的差异大小,即可确定所分析因素的变化对住宅室内热状况变化影响的程度。

采用相关分析方法,用相关系数 R 描述两个变量之间的线性相关程度,其绝对值越接近 1,则两个变量之间线性相关程度越大。

4 室内热湿环境状况的实测调查结果分析

4.1 炕单独作用下室内热环境状况

与城市住宅中的热风供暖或散热器供暖要求不同,农村住宅中室内空气温度要求并不是很高(12~16℃),因此炕表面温度的高低直接影响供暖的质量。同时,考虑到当地生活方式的特点(中国北方农村居民在冬季时大部分的静态活动都发生在炕上),且考虑到人体舒适性的要求,炕表面温

度不会太高,是一种低温辐射供暖方式。下面将从炕表面温度和炕下风门的开启对室内热湿环境的影响来分析炕的热调节作用。

4.1.1 烧炕对炕表面温度的影响

在冬季,一般在每天做饭的时候,利用灶后高温烟气对炕体加热,分别在早晨(6:00~6:30)、中午(11:00~11:30)和晚上(17:00~17:30)三个时段。由于炕体材料的热惰性影响,一般在烧炕结束30~60 min后,炕头温度才开始逐渐升高,大约维持60~100 min(见图7);随后炕体能持续向室内

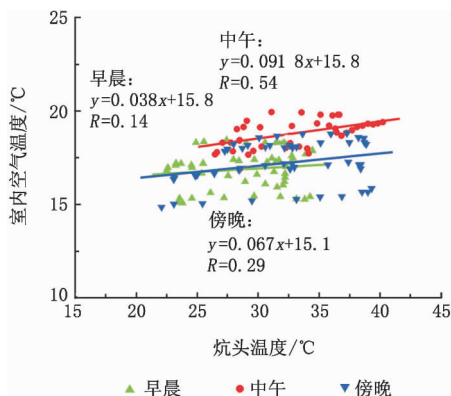


图7 炕头表面平均温度与室内空气温度的相关性
(住宅1,炕单独作用下,炕表面温度升高时段内)

散热3~5 h,从而保证在全天大部分时间里,室内有连续的热源供暖;炕尾温度的变化趋势同炕头,但在时间上滞后30 min左右。

从炕的散热机理可知,炕表面温度对室内热状况有直接影响,影响程度可以通过炕表面平均温度与室内空气温度的相关分析来体现。

由图7可以看出,在早、晚的加热时间段里,相关系数 R 很小(分别为0.14和0.29),在中午时相对高一些(为0.54),主要是受窗处太阳辐射得热及室外气温的影响。从而得知,炕对室内温度变化的影响不是很大,主要是由于炕的热惰性良好,散热均匀,使室内的温度波动很小。

4.1.2 吊炕对室内热环境的调节作用

本次实测的住宅均为半吊炕,在实测调查中发现,架空部位塞满了杂物,风门并不是根据需要进行调节。为了考察风门调节对室内热环境的影响,本次实测特意选择了室外气候条件接近的两天,测试工况为风门1天关闭、1天开启,测试参数为进烟口处的炕表面温度、排烟口处的炕表面温度及室内外温度,测试结果如图8所示。由图可知,

风门的开启对室内温度的影响不大,排烟口处的炕表面温度比室内温度高5℃左右。

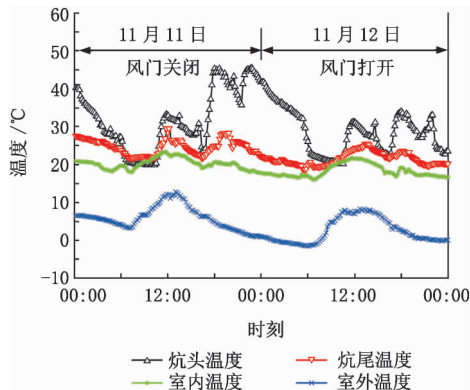


图8 开闭风门对室内热环境的影响

4.2 被动式太阳能集热墙和新型节能灶炕耦合作用下的室内热环境状况

由4.1节分析可知,单纯靠炕的表面散热对提高室内温度的作用不大,因炊事而烧炕的时间较短,所以较为适宜的炕面温度只能保持较短的时间。在极端寒冷的天气,仍然需要辅助热源(如供暖用煤炉)来进行供暖。

大连地区是中国北方农村被动式太阳房普及得最好的地区之一,建成的最早的被动式太阳房距今已有18年了,本次实测的被动式太阳房在该地区有一定的代表性。

图9显示了耦合作用下炕体温度升高时段内炕头表面平均温度与室内空气温度的相关性。比

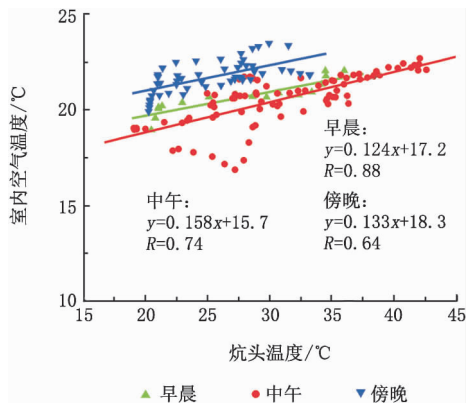


图9 炕头表面平均温度与室内空气温度的相关性
(住宅2,集热墙和炕耦合作用下,炕表面温度升高时段内)

较图7和图9可以看出,耦合作用下的相关系数(平均值为0.753)明显高于炕单独作用下的相关系数(平均值为0.323)。这就说明,被动式太阳能集热墙体与炕耦合作用对室内热环境的影响效果

明显地强于炕单独作用的效果。

由于受生活方式的影响,人们频繁活动于室内外环境中,在冬季室内的着衣量大。据调查,室内温度过高(20℃以上)反而觉得不舒服。

图 10 所示是实测期间室内温度全天变化的频率分布。可以看出,在炕单独作用下,室内温

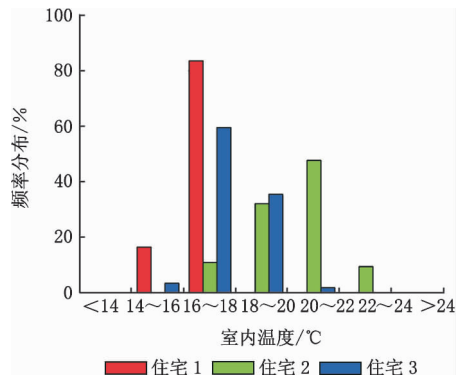


图 10 室内空气温度的频率分布

度绝大部分时间(约 83.6%)维持在 16~18℃,且室内温度不低于 14℃。而在被动式太阳能集热墙与炕耦合作用下,室内温度出现明显上升,基本上高于 16℃,且在住宅 2 中,室内温度在 20~22℃温度段内的频率为 47.7%,约 10%的时间超过 22℃。即使在室外温度骤降情况下,室内温度仍能维持在 15.1℃以上,可知在这种结构的房子里,即使在恶劣的环境下,仍能维持良好的室内热环境。

实测期间室内温湿度随时间的变化如图 11 所示。由图 11 可知,住宅 2 的室内温度最高,住宅 3

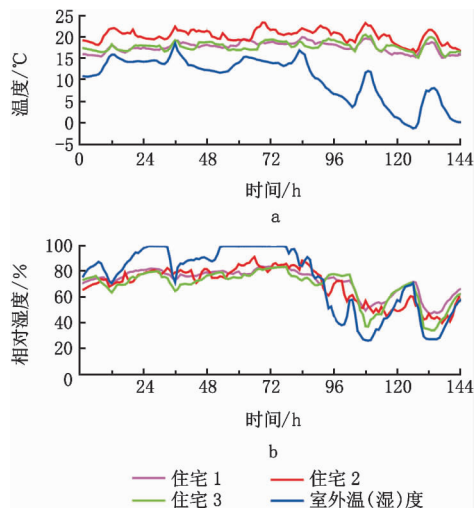


图 11 实测期间室内温湿度随时间的变化

与住宅 1 的室内温度几乎相同,究其原因可能是住宅 3 的集热墙体内部的聚苯板脱落所致。另外还可

看出,3 个房间的相对湿度相差不大,大致在 40%~80%的范围内变化。而在同一地区城市集中供暖的住宅室内相对湿度几乎都在 30%以下,所以从室内湿环境来看,农村住宅好于城市住宅。

5 经济性分析

被动式太阳能技术的应用不仅可以获得良好的室内热环境,而且具有很好的经济效益和环保效益。与传统的仅利用炕供暖的住宅相比,虽然被动式太阳能住宅因加强了保温和采取了特殊的墙体结构,初投资约增加 10%~15%,但每年每户可节约 50%左右的冬季用煤或柴草。

6 结论

6.1 灶连炕仍然是北方农村的主要供暖方式。由于农村住宅室内温度要求不像城市那么严格,允许有一定的温度波动,被动式太阳房在广大北方农村地区有很广阔的应用前景。

6.2 人们受生活方式的影响,频繁活动于室内外环境中,所以在冬季室内的着衣量大于城市居民,室内温度过高(20℃以上)会觉得不舒服。这一点与相同地区的城市居民的热感觉有较大不同。

6.3 被动式太阳房与新型灶连炕耦合运行模式明显好于炕单独作用。虽然前者初投资增加了 10%,但每个冬季可节省供暖用煤 50%左右。

6.4 当室外温度低于 5℃时,被动式太阳房内的室内温度仍保持在 16℃以上,而且室内湿环境的舒适性明显好于城市住宅。

6.5 半吊炕风门开启对室内温度调节作用不明显。

7 致谢

本次实测调查得到了大连市农村经济发展局姜旭升、大连市太阳房阳光采暖有限公司张景隆和孙延福、普兰店农村经济发展局付忠民以及测试对象住户任百安、刘义臣和孙茂增等人的大力支持和协助,在此表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] Chen Bin, Sun Peng, Jia Xun. Energy consumption characteristics and strategy to the use of renewable energy in residence in China[C]//The Proceedings of ISES Asia-Pacific, Gwangju, Korea, 2004; 411-419
- [2] 王效华,冯祯民. 中国农村生物质能源消费及其对环境的影响[J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(1): 108-110
- [3] 郭继业. 北方省柴节煤炕连灶技术讲座(二)[J]. 农村能源, 1998(6): 12-14
- [4] 郭继业. 北方省柴节煤炕连灶技术讲座(三)[J]. 农村能源, 1999(1): 7-9