

文章编号:1673-0062(2011)01-0103-05

## 几种生物质材料的保温节能性能分析

罗清海<sup>1</sup>, 彭文武<sup>2</sup>, 柳建祥<sup>1</sup>, 杨修飞<sup>1</sup>, 邹 军<sup>1</sup>

(1. 南华大学 城市建设学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 湖南科技经贸职业学院, 湖南 衡阳 421001)

**摘要:**本文实测了锯末、谷糠、花生壳等几种农林加工“废弃物”以及保温砂浆颗粒的导热系数, 比较了几种生物质材料、复合保温材料与石化保温材料的导热系数等热工特性, 讨论了生物质材料用于中国农村建筑保温隔热的方法及节能减排潜力. 中国是个农业大国, 在农村建筑保温节能中因地制宜使用生物质材料, 效益显著, 潜力巨大.

**关键词:** 生物质材料; 农村建筑; 隔热保温; 节能减排

**中图分类号:** TU111.4      **文献标识码:** B

## Analysis on Thermal Insulation and Energy Saving Performance of Several Kinds of Biomass Materials

LUO Qing-hai<sup>1</sup>, PENG Wen-wu<sup>2</sup>, LIU Jian-xiang<sup>1</sup>,  
YANG Xiu-fei<sup>1</sup>, ZOU Jun<sup>1</sup>

(1. School of Urban Construction, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;  
2. Hunan Vocational College of Science, Technology Economic and Trade,  
Hengyang, Hunan 421001, China)

**Abstract:** The thermal conductivities of a thermal insulation mortar particle and several processing wastes, such as sawdust, bran, peanut hull, were measured. The thermal conductivities were compared between several biomass, composite and petrochemical materials. The application means and energy saving potential were also discussed while biomass materials were utilized for thermal insulation of building envelope in rural buildings in China. China is a large agricultural country, application of biomass materials should be adapted to local conditions, and the benefit can be remarkable, the potential can be great in thermal insulation and energy conservation in rural buildings.

**key words:** biomass materials; rural buildings; thermal insulation; energy saving and CO<sub>2</sub>-emission reducing

收稿日期: 2010-12-20

基金项目: 湖南省教育厅高等学校科学研究基金资助项目(07D042); 衡阳市社科基金重大科研基金资助项目(2006-HYSKJJ-ZHONGDA-003)

作者简介: 罗清海(1969-), 男, 湖南祁东人, 南华大学城市建设学院副教授, 博士. 主要研究方向: 建筑环境与节能.

目前,世界众多国家致力于开发高效、无污染的生物质能利用技术,保护本国的矿物能源资源,为实现国家经济的可持续发展提供根本保障.中国是能源资源相对短缺的国家,能源和环境压力日趋沉重.中国建筑能耗占总商品能耗比例逐年上升,目前达到 27.5% 左右,建筑节能形势紧迫.中国农村人口基数大,人均建筑面积超过城市居民,建筑总规模大.农村现有人均能耗、单位建筑面积能耗远低于城市水平,但随着城镇化、村镇化进程的加速,以及生活水平的提升,农村建筑环境舒适水平诉求也日益提高<sup>[1]</sup>.中国是农业大国,生

物质资源丰富,利用率和利用水平都较低,积极开发生物质材料在农村建筑保温节能中的应用有十分重要的意义.

## 1 几种农林加工“废弃物”及保温砂浆颗粒的导热系数的测定

锯末、谷糠、花生壳是农村最常见农林加工“废弃物”,但目前利用率较低.试样如图 1 所示,共 6 种:锯末、细花生壳、粗花生壳、细谷糠、粗谷糠以及保温砂浆颗粒.



1. 粗花生壳, 2. 细花生壳, 3. 保温砂浆颗粒, 4. 粗谷糠, 5. 细谷糠, 6. 锯末

图 1 导热系数测试样品

Fig. 1 Test samples of thermal conductivities

本文采用采用同心圆球稳态导热测试技术进行导热系数测量. 1) 被测材料封闭在直径为 80 mm 和 160 mm 的两个同心铜质薄球壳构成的中间空腔内; 2) 内外球壳上分别均布焊接热电偶 3 对; 3) 内球内有电阻加热元件, 功率可调; 4) 采用 KEITHLEY 2700 Multimeter/Data Acquisition System 显示和记录有关参数.

基本测试步骤: 1) 首先在 50 °C 干燥箱内干燥被测材料以去除水分, 然后填入两个同心球之间的空腔内至密实; 2) 打开内球加热控制器开关, 并维持恒定加热功率; 3) 当内外球温度达到稳定时(大约需 4 h), 记录当时数据; 4) 待系统充分冷却至室温后, 改变加热功率, 重覆上述步骤.

导热系数计算采用式(1), 实验误差估计采用式(2). 实验中, 温度加热功率的误差分别为 0.1 °C 和 0.5%, 因而, 根据式(2)计算, 导热系数的误差不超过  $\pm 2\%$  <sup>[2]</sup>.

$$\lambda(\bar{t}) = \frac{Q(d_2 - d_1)}{2\pi d_1 d_2 (t_1 - t_2)} \quad (1)$$

$$d\lambda = \left[ \left( \frac{\partial \lambda}{\partial Q} dQ \right)^2 + \left( \frac{\partial \lambda}{\partial t_1} dt_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial \lambda}{\partial t_2} dt_2 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中:  $\bar{t}$  为内外球壳的平均温度(°C),  $\bar{t} = (t_1 + t_2)/2$ ;  $Q$  为内球发热量(W),  $Q = IV$ ;  $t_1, t_2$  分别为内外球壳热电偶测得的平均温度值(°C);

测试温度变化区域为 30 °C ~ 150 °C, 每种试

样测试 5 个温度值的稳态热传导系数值。球内电热功率通过电压手动调节,6 种试样测试的温度间隔不严格控制在某一固定温度度值,实验测得的 6 种试样的导热系数值如图 2 所示。

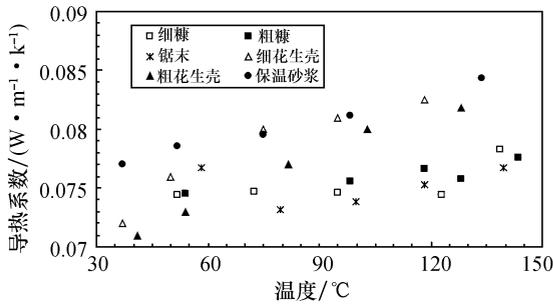


图 2 几种生物质材料和一种保温砂浆颗粒的导热系数实测

Fig.2 Thermal conductivity variations of several biomass materials and a building insulation mortar with temperature

测试结果表明,试样的导热系数均随温度增高而有所增大,但在近室温范围内,变化并不显著。几种农林“废弃物”生物质材料的导热系数低于目前工程上应用较广泛的某种 II 型保温砂浆颗粒的导热系数值,生物质材料导热系数随温度变化较小,热稳定性更好,作为建筑围护结构保温材料具备更好的热性能。图 2 显示,粗花生壳的导热

系数略低于细花生壳,原因在于粗花生壳间隙率大,实验测试的是材料和空气混合的综合导热系数,空气具有良好的隔热性能,粗花生壳堆积状态的综合导热系数值必然低于细花生壳。因此,生物质材料作为建筑保温材料,既要考虑施工工艺方便,又要兼顾保温性能,粉碎过细,不仅增加工艺成本,而且降低了保温性能。几种测试材料导热系数平均值分别为:细谷糠 0.0753 W/(m·K),粗谷糠 0.0760 W/(m·K),锯末 0.0752 W/(m·K),细花生壳 0.0783 W/(m·K),粗花生壳 0.0766 W/(m·K),保温砂浆 0.0801 W/(m·K)。

图 3 列出了几种常用建筑保温隔热材料的导热系数对比<sup>[3-4]</sup>。图 3 表明,常见农村天然生物质材料与常用石化保温材料导热性能大致相当,生物质复合人造板材与木质人造板材的导热性能相当,秸秆-石膏复合板材导热系数低于木质人造板材约 20%。锯末、谷糠、花生壳等常见农林加工“废弃物”的保温性能与建筑保温砂浆的隔热性能相当,导热系数介于建筑保温砂浆国家标准《建筑保温砂浆》GB/T 20473 要求的 I 型产品和 II 型产品之间,国家标准对筑保温砂浆 I 型、II 型产品导热系数的要求分别为: ≤ 0.070 W/(m·K)、≤ 0.085 W/(m·K)<sup>[5]</sup>。因此,作为农林“废弃物”的生物质材料作为农村建筑保温材料具备良好的保温隔热性能。

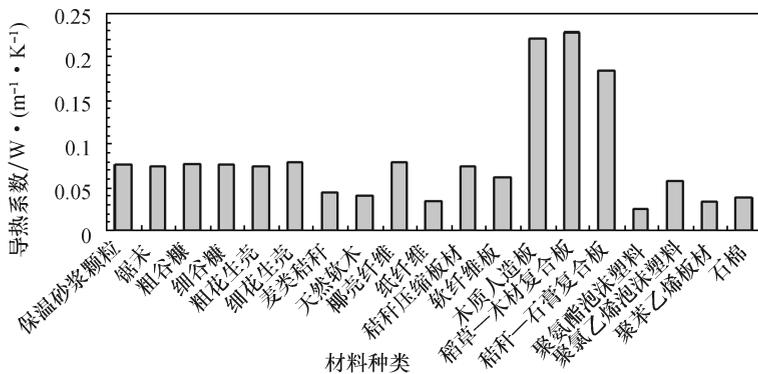


图 3 几种测试样品与常用建筑保温隔热材料导热系数对比

Fig.3 Thermal conductivities comparison between several biomass materials and building thermal insulation materials

## 2 生物质材料在农村建筑保温中的应用

由于建筑造价、施工技术等方面的限制,石化类墙体保温材料难以在农村住宅建筑中推广。因地制宜采用生物质材料加强围护结构保温隔热,

对促进农村建筑节能和提升农村产业结构都有重要意义。同时,中国各地农村在几千年的发展历程中,积累了很多利用天然生物质材料进行建筑保温隔热的宝贵经验和传统,值得现代农村建筑推陈出新。

秸秆+混凝土砌块复合墙体由秸秆压缩块插孔混凝土空心砌块制成,可改善混凝土空心砌块的受力特性.用控温热箱法测定一种秸秆+混凝土砌块复合墙体的平均传热系数为 $1.08 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,而同一种混凝土空心砌块墙体平均传热系数为 $1.57 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,相比可知复合墙体的传热系数减小了31.2%,作为一种新型的建筑材料,秸秆压缩块具有很好的保温隔热性能<sup>[6]</sup>.

另一组试验结果表明,普通粉煤灰空心砌块墙体、内填充玉米秸秆粉料的粉煤灰砌块保温墙体、加气混凝土砌块墙体的传热系数分别为 $2.234$ 、 $0.988$ 、 $0.950 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .内填充玉米秸秆粉料的粉煤灰砌块保温墙体的传热系数相比于普通粉煤灰空心砌块墙体减小了55.8%,与工程中广泛应用的加气混凝土砌块墙体的传热系数相近,能大幅度地提高墙体的保温性能,达到自保温要求<sup>[7]</sup>.

可以考虑在农村建筑夹心墙体、空心砌块中直接灌注天然生物质材料,如谷糠、碎秸秆等,同时掺入石灰等材料防腐、防虫等.

在屋顶覆盖厚层麦秸、芦苇、海草等传统的做法均可以增加保温性,但容易腐烂,使用年限非常有限,需要不断更换.目前农村常用的一种屋顶保温方式是在屋顶上铺设一定厚度的松散生物质保温材料(如草泥、干草、秸秆、树皮等),外表面再做防水处理,如覆盖油毡,水泥、石灰粉刷等,但成本相对较高,而且施工技术要求比较高.

对于农村常见的坡屋顶住宅,内部常设有吊顶,在吊顶上铺设保温层的做法更加简单、成本更低,可以使用的生物质保温材料包括麦糠、锯末等,可直接铺洒在吊顶上表面,但应注意防火、防鼠害处理.

对于单层和双层农宅,通过地面向室外散热是房间热损失的重要组成部分.搞好地面保温可有效改善房间冬季室内状态.农村建筑、低层建筑一种传统的地面保温防潮方式是铺设木地板.木地板可采用单层地板或双层地板.架空搁栅间可填以松散材料,如经过防腐处理的木屑,经过干燥处理的木渣、矿渣等,能起到隔声的作用.农村住宅从节约成本角度出发,大多采用单层架空木地板形式.架空木地板要做好通风、防潮、防腐、防鼠等措施.

### 3 中国农村生物质保温材料的应用潜力

由于城乡经济状况和人民生活水平的巨大差异,农村民用建筑商品用能总量和单位面积的商品用能耗都远低于城市建筑.随着农民生活水平的提高,农宅建设已进入了更新换代的高峰时期.截止2008年底,农村人均居住面积达到 $32.42 \text{ m}^2$ ,农村新建住宅中钢筋混凝土结构逐渐成为主导(图4)<sup>[8]</sup>.农村住宅由砖木结构变成钢筋混凝土结构,墙体采用混凝土空心砌块,墙体变薄,围护结构的保温性能大幅度降低,农村建筑体形系数大,墙体传热成为制约建筑能耗和室内热环境的主导因素.对于240 mm或370 mm砖墙,热阻往往低于传统土坯建筑的 $1/3 \sim 1/2$ ,不及城市建筑节能标准中规定热阻的 $1/3$ .加强农村建筑保温节能技术研究和推广应用任务紧迫,意义重大.

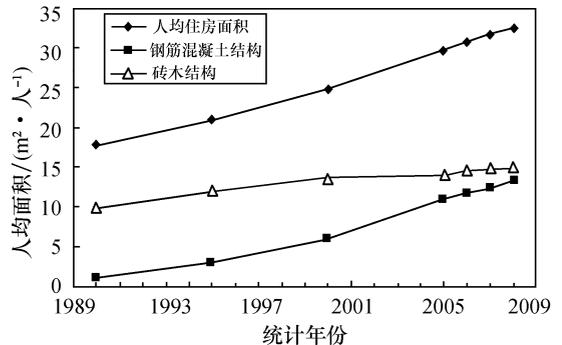


图4 中国近年农村居民家庭住房情况

Fig. 4 Housing conditions of rural households in recent years in China

中国是个农业大国,生物质资源丰富,开发利用潜力巨大.我国现有森林、草原和耕地面积 $4.14 \times 10^9 \text{ hm}^2$ ,理论上生物质资源产量可达 $6.5 \times 10^{10} \text{ t/a}$ 以上.由于目前国内的技术相对落后、农村居住条件及生活方式的改变,造成生物质资源没有被充分利用,甚至被不适当地丢弃.据调查,目前我国秸秆资源量已超过 $7.2 \times 10^8 \text{ t}$ ,除了一部分用作青饲料,粉碎还田,或低效率地直接用于炊事外,往往被在野外焚烧掉,不仅浪费资源的,而且破坏环境.

计算表明,秸秆用于建筑保温在采暖期节能约可高达 $51 \text{ MJ}/(\text{kg} \cdot \text{a})$ ,明显高于其直接用作燃料所释放的热量( $7.1 \sim 16.7 \text{ MJ}/\text{kg}$ ).秸秆用于建筑保温带来的 $\text{CO}_2$ 减排效果也相当可观,由节能引起

的间接 CO<sub>2</sub> 减排效应约为秸秆基复合墙体直接贮存减排效应的 7.5 倍. 如果在中国北方农村推广生物质复合墙体, 每 10 万户居民 10 年的 CO<sub>2</sub> 减排量将达 1 624 万吨, 将对中国的碳减排产生巨大的积极作用. 在达到相同保温效果的情况下, 秸秆基材料生产过程中的总能耗和 CO<sub>2</sub> 排放量均低于发泡聚苯乙烯(EPS)材料, 其经济性也优于发泡聚苯乙烯(EPS)材料<sup>[9]</sup>. 另外, 发泡聚苯乙烯(EPS)生产过程本身需要消耗大量能源, 并带来大量污染性气体, 因此, 在农村建筑中推广秸秆、谷糠、壳皮、锯末等农林生产的“废弃物”替代石化保温材料, 具有显著的节能减排效益.

农作物秸秆作为生物质能源的一个重要组成部分, 蕴含量大, 资源丰富又可持续供给. 历年主要粮食作物秸秆总产量与粮食总产量如图 5 所示<sup>[8]</sup>. 可以直接作为建筑保温材料的生物质材料不仅包括秸秆等粮食种植副产品, 还包括谷糠、果壳等粮食加工副产品, 以及锯末、树皮、树叶、茅草等林业生产、加工副产品, 产量和潜力相当丰富, 足以满足建筑隔热保温的材料需求. 这些农林加工废弃物用于建筑隔热保温, 不受地域、气候条件制约, 而且技术要求低, 便于推广实施. 另外, 农林加工“废弃物”的深化应用, 增加了农业生产附加值, 有利于优化农村产业结构链条.

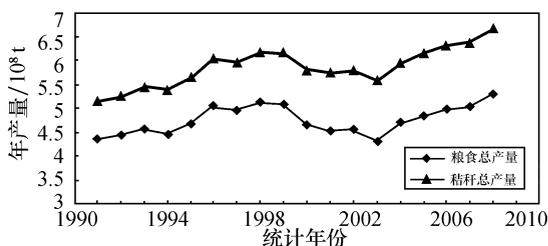


图 5 中国近年粮食总产量及其秸秆产量

Fig. 5 Total product of grains and straws in recent years in China

## 4 结 论

实测和比较表明, 农村常见生物质材料具有

良好的保温隔热性能, 与常用石化保温材料导热性能大致相当, 生物质复合板材与木质人造板材的导热性能相当.

生物质材料在农村建筑保温节能中的应用可以因地制宜, 主要应用形式有: 1) 填充建筑围护结构保温隔热夹层、格栅、空腔等结构; 2) 制作生物质人造板材或复合板材; 3) 制作生物质材料 + 空心砌块复合墙体.

农村生物质“废弃物”用于建筑保温所带来的节能和环境效益高于直接用于燃烧、还田等低效率方式, 其经济性和环境效益也优于发泡聚苯乙烯(EPS)材料. 加强农村建筑保温节能技术研究和推广应用任务紧迫, 中国是个农业大国, 在农村建筑保温节能中因地制宜使用生物质材料, 潜力巨大, 对于推进节能减排和新农村建设有重要意义.

## 参考文献:

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告·2009[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [2] 曹玉璋, 邱绪光. 实验传热学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [3] 郑鸿. 夏热冬冷地区混凝土小型空心砌块墙体保温与节能分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [4] 李晓平, 高魏, 周定国. 稻草-木材复合空芯刨花板保温性能研究[J]. 中国人造板, 2007, 14(6): 7-8.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20473-2006 国家标准·建筑保温砂浆[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [6] 范军, 刘福胜, 刘永, 等. 秸秆纤维混凝土砌块的强度和保温性能试验研究[J]. 建筑科学, 2010, 26(8): 45-47.
- [7] 蒋连接, 李庆录, 苗恒亚, 等. 内填充农作物秸秆的粉煤灰砌块保温墙体热工性能研究[J]. 新型建筑材料, 2010, 37(7): 51-53.
- [8] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴·2009[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [9] 马捷, 金涌. 秸秆基建筑保温材料的节能减排分析[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(5): 430-435.