



## 论 文

# 东北严寒地区农村住宅稻草制品墙体构造技术研究

金虹\*, 康健, 金雨蒙, 邵腾

哈尔滨工业大学建筑学院, 哈尔滨 150001

\* E-mail: jinhong1963@qq.com

收稿日期: 2015-12-30; 接受日期: 2016-07-09; 网络出版日期: 2016-09-02

国家自然科学基金(批准号: 51378136)资助项目

**摘要** 东北农村是我国主要的农业生产基地, 稻草资源十分丰富, 多数农村都以燃烧的方式处理秸秆, 既浪费资源, 又造成空气污染, 严重影响居民的身心健康。研究稻草制品墙体不仅可以促进可再生农作物的循环利用, 降低因焚烧秸秆对环境的污染, 而且有利于农村建筑的节能减排, 对于推进农村绿色建筑发展、改善生态环境具有重要意义, 有广泛的社会效益和环境效益。论文系统研究了稻草在东北农村住宅墙体中的应用技术, 提出三种可行的构造技术方案, 并针对可能出现的问题与弊病进行了深入分析, 给出相应的对策。研究成果分别应用于三项示范工程中, 经测试: 示范住宅墙体热阻为传统砖墙的 2 倍以上, 保温节能效果明显, 各方面性能良好, 受到广大农户的欢迎。

**关键词** 东北农村, 绿色住宅, 草砖(板)墙, 构造技术, 节能环保

## 1 引言

我国是农业大国, 东北地区是我国主要的农业生产基地, 粮食种植面积和产量均占全国的 1/5。在广大的东北农村中, 稻草资源十分丰富, 多数农村都以燃烧的方式处理秸秆, 既浪费资源, 又造成空气污染, 严重影响东北村镇居民的身心健康。近年来, 由于燃烧秸秆带来的环境污染越来越让人担忧, 已经严重危及周边城市, 导致雾霾加重。以哈尔滨为例, 2014 年 10 月 22 日 21 时哈尔滨市 PM 2.5 小时浓度均值高达  $804 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 日均值为  $343 \mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>[1]</sup>。与此同时, 东北

农村住宅一直被建筑能耗大、冬季室内热环境质量差、外墙体表面结露等问题所困扰。

稻草作为农作物的废弃物, 用作建筑材料具有“就地取材、资源丰富可再生、碳足迹低、价格低廉、保护土地”等优势, 满足“无害化、可降解、可再生、可循环”的生态原则。如果在技术上处理得当, 扬其长而避其短, 稻草是一种非常理想的绿色保温材料。就农村地区的自然条件而言, 使用稻草类产品作为墙体材料, 无论在节能环保、经济方面还是资源方面都具有明显的优势。可见, 针对东北农村住宅的具体情况研究稻草制品墙体, 对于促进农作物的循环利

**引用格式:** 金虹, 康健, 金雨蒙, 等. 东北严寒地区农村住宅稻草制品墙体构造技术研究. 中国科学: 技术科学, 2016, 46: 1079~1085  
Jin H, Kang J, Jin Y M, et al. A study on the construction techniques of strawbale walls in severe cold rural areas of northeast China (in Chinese). Sci Sin Tech, 2016, 46: 1079~1085, doi: 10.1360/N092014-00429

用、改善生态环境、节能减排、推进东北农村绿色建筑发展具有重要意义，有广泛的社会效益和环境效益。

本课题组自 2000 年开始致力于农作物废弃物在建筑中的应用研究，在借鉴国外研究成果的基础上，根据东北严寒地区的地域与气候特征、农村资源环境特点及经济发展水平，对稻草制品墙体及屋面构造进行了系统研究、技术改良与应用，取得了系列成果。

国外在此方面的应用源于 20 世纪初美国。近十多年来，由于绿色建材概念的提出以及节能、环保等问题日益受到人们的关注，草砖的研究又重新被重视起来<sup>[2]</sup>，国外许多学者也开展了此方面的研究。Lawrence 等人<sup>[3]</sup>对稻草制品建筑进行了水分检测研究，提出了能够描述稻草含水率和周围微气候关系的经验方程；Larisa 等人<sup>[4]</sup>从环境、经济和能源三方面对砖墙和草砖进行了对比研究，结果表明草砖各方面性能均优于砖墙；Evrard 等人<sup>[5]</sup>对比利时的三个稻草建筑进行了室内环境及墙体热工性能的检测研究，分析评价了草砖墙体技术的有效性；Madeleine 等人<sup>[6]</sup>探讨了稻草作为可持续建筑材料在澳大利亚火灾频发区的应用潜力和可能性；Garas 等人<sup>[7]</sup>探讨了世界范围内不同建筑风格的稻草制品建筑，并对利用埃及当地生产的稻草包作为承重墙单元和用水泥砖建造的传统承重墙单元进行了经济比较，结果表明稻草制品建筑不仅节约了 40% 的总成本，还提高了保温性能，降低了能源消耗。而我国稻草制品墙体的研究仍处于起步阶段，尚未出台关于此类建筑的标准或规范。本文通过系统研究稻草在东北农村住宅墙体中的应用技术，提出可行的构造技术方案，并应用于工程实践，旨在分析验证稻草制品墙体在东北严寒地区农村住宅中应用的可行性和有效性，从而推动东北严寒地区农村绿色建筑的建设。

## 2 稻草制品墙体构造

墙体是建筑围护结构的重要组成部分，外墙的作用主要是营造舒适的室内空间，为室内遮风避雨，因此东北严寒地区农村住宅墙体构造应重点考虑以下两个方面。

(1) 良好的围护性能。首先，外墙应具有良好的防潮、防水、防火等综合性能；其次，东北地区村镇住宅多为 1~2 层的独立式建筑，住宅每户面临四面外

墙，外墙的传热耗热量占住宅总耗热量的百分比高达 40% 左右，可见住宅外墙的保温性能是非常重要的。

(2) 良好的耐久性。建筑是百年大计，墙体的耐久性是决定建筑是否能正常持续使用的主要因素之一。

稻草制品墙体构造主要分为两种形式，即单一材料墙体和复合材料墙体。单一材料墙体可将稻草制成砌块或板材作为填充墙，由框架承受建筑的荷载；复合材料墙体是利用砖和稻草形成复合构造，可以充分发挥各自的优势，取长补短。

### 2.1 稻草砖(板)填充墙构造

稻草砖(板)填充墙主要由两部分组成：承重结构和填充墙。承重结构可以采用钢框架、钢筋混凝土框架以及砖框架；填充部分采用稻草制作的填充物。针对东北严寒地区农村建材生产以及施工技术现状，并考虑到施工的可行性和可操作性，建议先将稻草制作成稻草砖或稻草板，再进行墙体的填充，制作现场及产品如图 1 所示。

草砖墙体构造简单，如图 2。草砖通常为长 89~

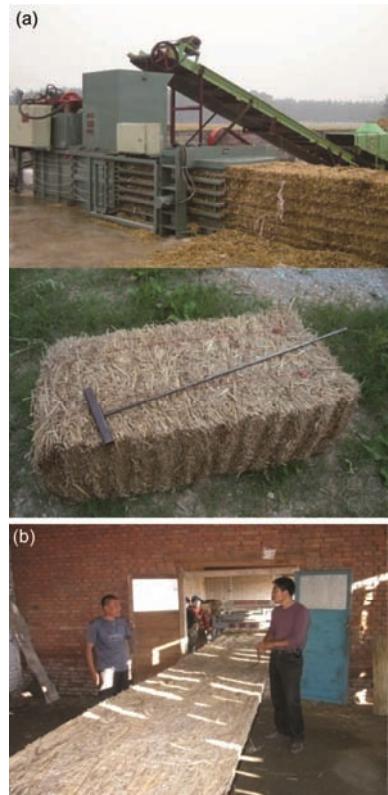


图 1 (网络版彩图)稻草砖(板)制作现场及产品

(a) 液压打包机制作草砖；(b) 农民自制的草板

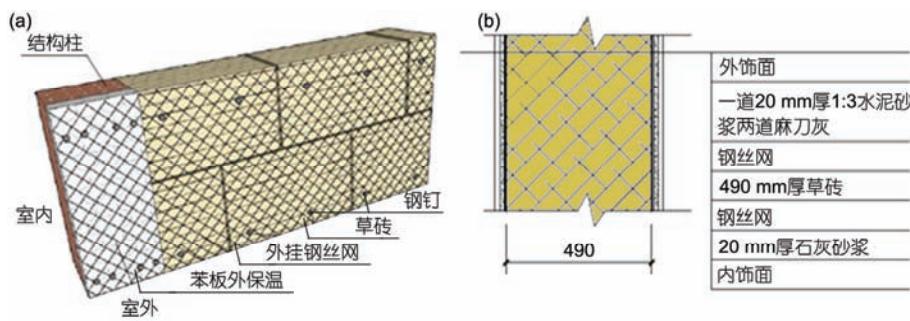


图 2 (网络版彩图)草砖墙体构造

(a) 墙体整体连接及框架处热桥处理; (b) 墙体构造图

102 cm, 宽 46 cm, 高 35 cm<sup>[8]</sup>. 草砖房结构必须考虑到所要使用的草砖规格, 尤其是高度和宽度, 草砖的长度可以调节, 高度和宽度取决于捆扎机. 草砖房的施工流程不复杂, 经过简单培训后, 当地农民都可以操作, 如图 3.

稻草板墙体构造相对复杂一些, 为便于工厂生产、运输装卸和施工, 将稻杆或麦杆经过机械清除、整理、冲压、高温、挤压成板材(见图 4), 稻草板厚度为 60 mm、宽度 1200 mm, 可拼装成单层或双层, 它的重量仅为黏土砖的 1/6~1/8, 可大大减轻结构荷载<sup>[9]</sup>. 为了增加其保温性能, 可在双层纸面稻草板内夹岩棉等轻质高强的保温材料(如图 5).

## 2.2 夹芯稻草板复合墙体构造

复合材料墙体是利用砖和稻草的优势, 将稻草板作为保温材料, 与砖形成夹芯复合构造, 可以充分发挥各自的优势. 对于夹芯构造, 首先要确定结构层与保温层的位置, 研究表明: 对于以燃柴为主、以火



图 3 (网络版彩图)农民正在进行草砖房的施工



图 4 (网络版彩图)纸面草板图

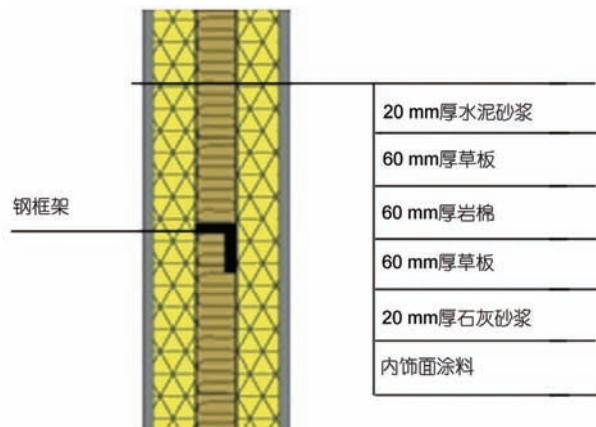


图 5 (网络版彩图)复合稻草板墙体构造

炕为采暖方式的间歇供暖的村镇住宅, 在确定围护结构的构造形式时, 蓄热系数小的轻质高效保温材料须设在结构层的内侧<sup>[10]</sup>, 因此建议将结构层布置在靠近室外一侧, 随后再布置保温材料, 构造设计方案及施工现场如图 6.

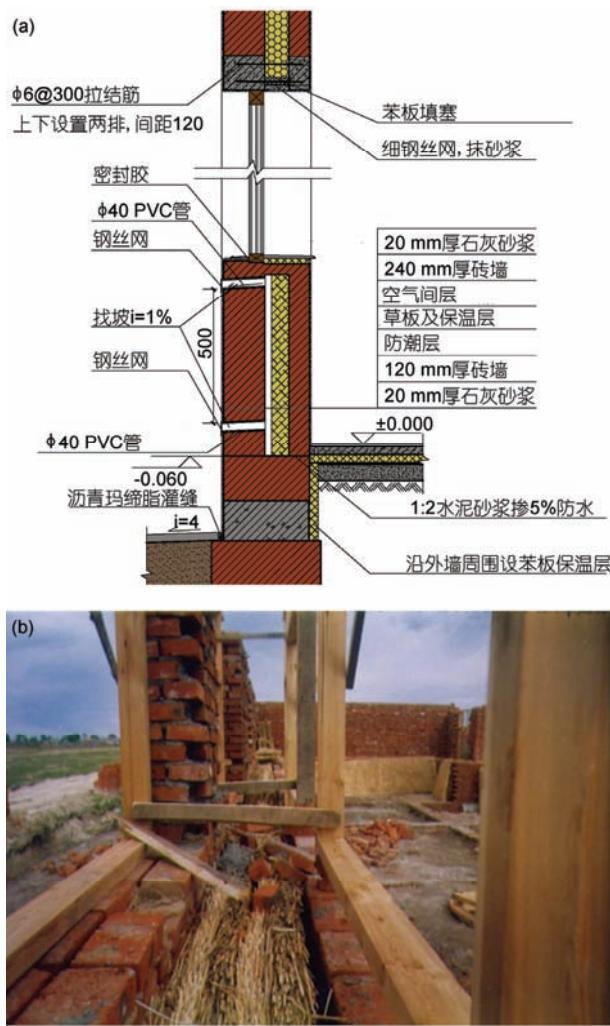


图 6 (网络版彩图)夹芯草板复合墙构造及施工现场

(a) 墙体构造; (b) 夹芯草板复合墙施工现场

### 3 问题与对策

#### 3.1 墙体防潮问题

稻草的湿度对墙体的保温性能有明显影响, 稻草墙体一旦受潮, 受潮位置会发生霉变, 并逐渐蔓延到周边位置, 严重者会发生腐烂。因此, 稻草制品墙体的防潮措施至关重要。

防潮做法主要有两种: 构造防潮和材料防潮。构造防潮是通过围护结构构造做法来达到防潮的目的, 如: 屋檐出挑 500 mm 以遮挡雨水对墙体的影响, 设置散水使雨水能及时迅速排走等; 材料防潮主要靠防水材料来阻挡雨水, 从而使墙体保持干燥状态, 因此应在墙体水平面位置(窗台、基础等)设置防潮层<sup>[11]</sup>, 如图

7 所示。对于稻草砖(板)填充墙体, 还应在稻草制品外抹一层连续的灰泥, 以防止湿气渗入墙体内部。

夹芯复合墙体的受潮状况要复杂一些。由于冬季采暖建筑室内水蒸汽分压力远大于室外, 因此在室内外水蒸汽分压力梯度作用下, 水蒸汽将从室内一侧向室外一侧扩散。理论分析及实践经验均表明: 在外墙蒸汽渗透过程中, 内侧材料层的蒸汽渗透能力比相邻外侧材料层大时, 其交界处将形成冷凝界面。所以室内水蒸汽在传向室外过程中必将在保温层外侧与砖交接处冷凝, 形成冷凝界面。这样, 保温层外表面湿度增大, 在保温层两侧形成由外向内的水密度梯度, 从而使保温层受潮, 降低保温性能。鉴于此, 夹芯复合墙体应在墙体内设防潮层, 并在承重墙与保温层之间应加设空气层(即引湿层), 且在墙体适当部位设透气口(如图 6(a)), 以及将墙体内的潮气排出。同时, 墙面装修宜采用具有透汽功能的石灰砂浆抹面。

#### 3.2 热桥问题

草砖(板)墙框架结构易在框架部位产生热桥, 因此需在框架部位进行保温处理(如图 2(a))。夹心草板复合墙构造将在墙体门窗过梁、外墙与屋顶交界以及外墙与地面交界等处存在热桥, 加强对这些部位的保温处理是非常必要的。建议在保证窗过梁承重的前提下, 将窗过梁断开, 并填充高效保温材料以切断热桥, 但为了保证结构的整体性, 在两个小梁之间用钢筋拉接; 对于其它热桥, 如地面与外墙交接及外墙与屋顶交接处, 采用聚苯乙烯泡沫板, 切断热桥, 以保证保温的连续性(如图 6)。

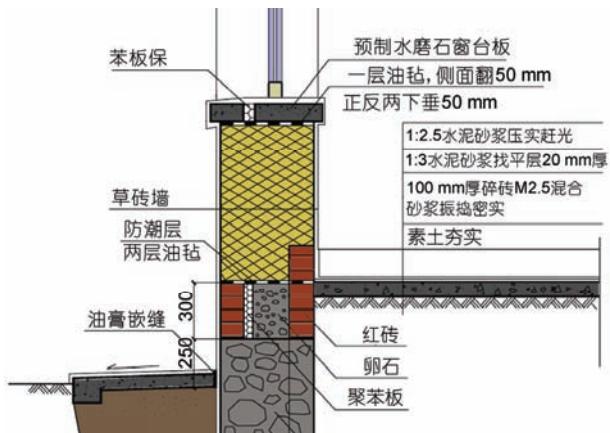


图 7 (网络版彩图)草砖墙体防潮做法

### 3.3 防火问题

安泽国际救援协会研究表明: 压实的草砖有较好的耐燃性能, 完全满足普通住宅对火灾燃烧时间的要求<sup>[12]</sup>. 但需要注意的是, 穿过草砖墙的电线必须有护套保护, 炉灶和火炕等热源应远离稻草制品墙体, 并应设有一定的隔离, 在砖砌烟囱的外侧应抹一层灰.

### 3.4 墙体整体性和耐久性问题

#### 3.4.1 草砖(板)墙框架结构的整体性问题

由于草砖(板)是填充材料, 因此首先要解决它和承重结构的连接问题. 对于稻草砖墙体, 安泽国际救援协会已经做了大量的工作, 现有的方法是将草砖块与圈梁、承重柱和基础梁连接的位置用十四号铁丝或者尼龙绳绑扎固定, 间距 500 mm. 为加强草砖墙的整体性, 同时减少连接位置表面砂浆层开裂, 草砖与其他材料连接部位应采用铁丝网覆盖, 如图 8; 对于稻草板与框架的连接, 采用 100 mm 长钻尾螺栓将草板固定在轻钢龙骨上, 两板间缝隙刮 107 配石膏粉腻子. 此外, 由于草砖(板)本身的特性, 其饰面处理不好, 容易开裂. 因此, 建议抹灰层的材料采用混合砂浆掺纤维或者掺干草, 可以增加抹灰层砂浆的韧性, 克服因收缩率不同引起的表面开裂状况.

#### 3.4.2 夹芯草板复合墙的整体性问题

夹芯复合墙体与单一材料墙体相比, 其结构的整体性与稳定性相对要差一些, 必须在内外两层砖砌体之间设可靠的拉结, 因此在砌体之间每 500 mm 间距设拉筋, 以增加墙体的整体稳定性(如图 9).

## 4 应用效果分析

本课题组将研究成果应用于三栋示范住宅中, 建设地点为黑龙江省林甸县胜利村和哈尔滨通河县浓河镇富强村, 墙体分别为草砖墙、夹芯草板复合墙和草板墙(如图 10). 实验证明: 由稻草作为墙体主要材料的住宅, 节能保温性能好, 居住舒适, 受到了用户的好评.

### 4.1 测试分析

自 2009 年, 课题组分别于采暖季对黑龙江省林甸县胜利村草砖填充墙住宅和草板夹芯复合墙住宅、哈尔滨通河县浓河镇富强村草板墙住宅进行了热工



图 8 (网络版彩图)草砖与砖框架拉结图

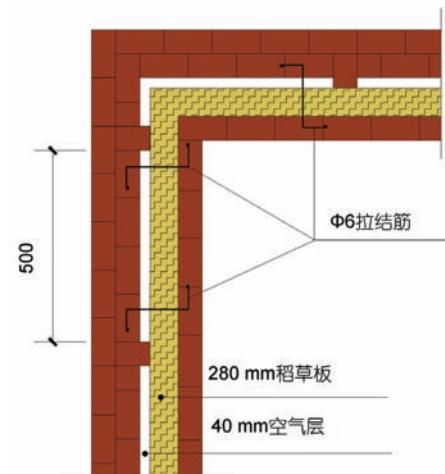


图 9 (网络版彩图)墙体拉结构造

测试, 作为对比, 同时还选取一幢 20 世纪 80 年代建造的传统砖瓦房进行同步测试, 以进行比较分析. 结果表明, 由稻草制品建造的墙体, 其热工性能均远好于传统砖墙, 墙体传热系数低(见表 1). 红外热成像显示: 与传统住宅相比, 草板复合墙外墙最不利点—山墙与屋面转角处内表面温度分布均匀, 在 5.3~10.9°C(如图 11(a)), 均高于露点温度, 墙体表面干燥, 未出现结露现象. 而同期检测的传统砖瓦房山墙与屋面转角处内表面温度均在 0°C 以下(-2.2°C 至 -6.9°C), 且存在结露、受潮墙皮脱落现象, 见图 11(b).

### 4.2 使用反馈

三项示范住宅均解决了传统住宅外围护结构结露、结冰霜的问题. 居民的居住舒适度大大提高, 尤其是冬季室内热环境得到了很大的改善, 这对于冬闲在家的北方乡村居民来说非常重要. 同时, 住户反映, 冬季供暖能源减少一半以上, 能源可达到自给自



图 10 (网络版彩图)稻草制品墙体示范工程

(a) 草砖墙示范住宅(林甸县胜利村); (b) 夹芯草板复合墙示范住宅(林甸县胜利村); (c) 草板墙示范住宅(通河县富强村)

表 1 稻草制品墙体传热系数检测

墙体构造	建造地点	建造时间	测试时间	传热系数 (W/m <sup>2</sup> K)
草砖 填充墙	黑龙江林甸县 胜利村	2010	2011.01.01~2011.01.21	0.370
夹芯草板 复合墙	黑龙江林甸县 胜利村	2003	2009.12.12~2010.03.30	0.578
复合草板 填充墙	哈尔滨通河县 浓河镇富强村	2008	2009.02.05~2009.03.30	0.369
传统砖墙	哈尔滨通河县 浓河镇富强村	1992	2009.02.05~2009.03.30	1.248

足, 不需要任何费用。

## 5 结论

东北严寒地区农村住宅墙体使用稻草制品代替

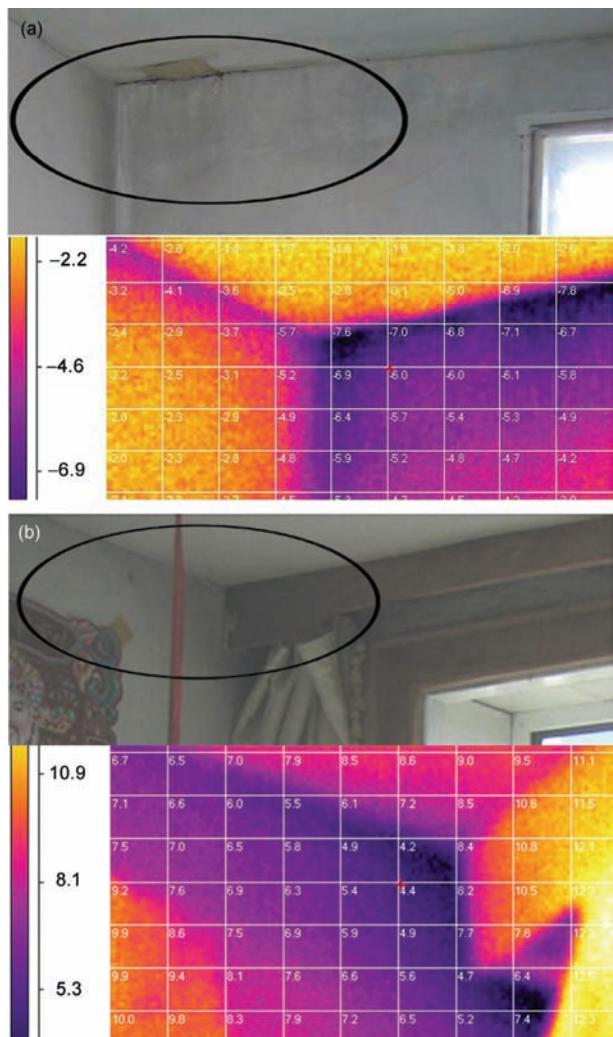


图 11 (网络版彩图)山墙与屋面转角处内表面温度分布

(a) 草板复合墙; (b) 传统砖墙

传统实心黏土砖, 实现了建筑在全寿命周期内的节能减排: 首先, 材料生产过程不产生 CO<sub>2</sub> 和污染环境的产物, 而且解决了大量农作物废弃物的处理问题, 避免了稻草焚烧带来的环境污染和制做黏土砖引起的土地资源消耗; 其次, 墙体节能保温效果良好, 示范住宅墙体热阻为传统砖墙的 2 倍以上, 节省了冬季采暖所用的能耗, 各方面性能良好, 受到广大农户的欢迎; 再者, 建筑在报废时, 稻草可以还田, 对环境的影响达到最小。因此, 研发稻草制品在建筑中应用, 其拓展空间巨大, 有利于环境保护和资源的综合利用, 尤其是在经济水平不高的农村地区有着特殊的意义。

## 参考文献

- 1 方立锋. 东北雾霾爆表, 都是烧煤惹的祸? <http://www.wusuobuneng.com/archives/12244>
- 2 李效光, 马捷. 草砖的研究与应用综述. 建材发展导向, 2006, 3: 57–60
- 3 Lawrence M, Heath A, Walker P. Determining moisture levels in straw bale construction. *Constr Build Mater*, 2009, 23: 2763–2768
- 4 Larisa B, Alja P, Clouston P L. A comparative study of brick and straw bale wall systems from environmental, economical and energy perspectives. *J Eng Appl Sci*, 2013, 8: 920–926
- 5 Evrard A, Dubois S, Louis A, et al. First monitoring results of three straw bale buildings in Belgium. In: PLEA2014—sustainable habitat for developing societies, Ahmedabad, India. 2014.12
- 6 Madeleine S. The straw bale home: a sustainable alternative for residential construction in Australia's bushfire-prone areas. *Architect Ecol*, 2014, 1: 1–6
- 7 Garas G, Allam M, El Dessuky R. Straw bale construction as an economic environmental building alternative- a case study. *ARPN J Eng Appl Sci*, 2009, 4: 54–59
- 8 章秀萍. 生态节能草砖房. 墙材革新与建筑节能. 2008, 7: 48–49
- 9 金虹, 凌微. 低能耗, 低成本. 建筑学报. 2010, 8: 14–16
- 10 金虹, 李连科, 陈庆丰. 北方村镇住宅外围护结构衰减度指标的研究与应用. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, 3: 74–79
- 11 于海, 张妍. 农村地区新型节能住房探析——浅析草砖房设计原理. 林业科技情报. 2010, 42: 18–29
- 12 Nadia McGill. ADRA straw bale housing becomes an eco-friendly solution for post-earthquake china. [http://www.adrachina.org/site/program\\_details.php?ID=74](http://www.adrachina.org/site/program_details.php?ID=74)

## A study on the construction technics of strawbale walls in severe cold rural areas of northeast China

JIN Hong, KANG Jian, JIN YuMeng & SHAO Teng

*School of Architecture, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China*

Rural areas in Northeast China is the national major agricultural production base, where the straw resources are very rich. Straw often burned after harvest in most rural areas, which causes considerable resources wastes and air pollution, and even seriously influences people's physical and mental health. Research on strawbale walls may not only promote the recycling of crops remaining, but also reduce the pollution from straw combustion. Moreover, it helps the rural building energy conservation and emission reduction, thus significantly promoting rural green building development, as well as improving ecological environment and delivering widespread social efficiency and environmental benefit. This article systematically studies straw's applied technology in northeast rural housing walls. Three feasible structural technics are proposed, each with thorough analysis and corresponding countermeasure towards a wide range of potential issues. The results of the research are applied separately in three demonstration projects, and the test reveals that the thermal resistance of demonstration wall is over twice as much as that of the traditional brick wall, which verifies the obvious effects of heat preservation and energy conservation; with fine performance in all aspects; the wall is popular among farmers.

**rural areas in Northeast China, green houses, straw bale walls, construction techniques, energy conservation and environment protection**

doi: 10.1360/N092014-00429