

Comparison Analysis of Lower-Layers Light-Steel Straw-Bale Structure Application in Rural Residence

Luan Zhang¹, Shunbo Zhao^{1,2}

¹School of Civil Engineering and Communication, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou Henan

²Henan Province International United Lab of Eco-Building Materials and Engineering, Zhengzhou Henan
Email: 2502442369@qq.com, sbzhao@ncwu.edu

Received: Mar. 12th, 2017; accepted: Mar. 28th, 2017; published: Mar. 31st, 2017

Abstract

Lower-layers light-steel straw-bale structure refers to structure of one to three layers with the light-steel frame as the main body, and the straw-bale as the cladding material. By using PKPM and PBECA software, the structural design and finite element analyses were made on the objective structure of high-frequency-welded H-shape light-steel and corn straw bale, compared with the light-steel ALC-plate structure and the masonry structure. Results showed that under the premise of safety and applicability, the light-steel straw-bale structure has the better energy-saving effect and economic advantage, which provides the research basis for the popularized application in large rural areas.

Keywords

Rural Residence, Lower Light-Steel Straw-Bale Structure, Light Steel-ALC Structure, Masonry Structure, Comparison Analysis

低层轻钢-草砖结构在农村住宅的应用比较分析

张 鸾¹, 赵顺波^{1,2}

¹华北水利水电大学土木与交通学院, 河南 郑州

²河南省生态建材工程国际联合实验室, 河南 郑州

Email: 2502442369@qq.com, sbzhao@ncwu.edu

收稿日期: 2017年3月12日; 录用日期: 2017年3月28日; 发布日期: 2017年3月31日

摘要

低层轻钢-草砖结构是指1~3层以轻型钢结构框架为主体、草砖为围护材料的结构。本文运用PKPM和PBECA系列软件,以高频焊接轻型H型钢和玉米秸秆草砖所组成的结构为研究对象,对比轻钢-ALC板结构与砖砌体结构进行了结构设计及有限元分析。结果表明,在保证安全性、适用性前提下,轻钢-草砖结构具有良好的节能效果和经济优势,从而为轻钢-草砖结构在广大农村地区的推广提供了研究依据。

关键词

农村住宅,轻钢-草砖结构,轻钢-ALC板结构,砖砌体结构,比较分析

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国新型城镇化建设的推进和新农村建设的深入开展,农村住宅的安全性、适用性、经济性要求也随之提高。从保护农田和河道环境的角度出发,农村传统的砖砌体结构住宅,因粘土砖已明令禁止使用急需找到合适的替代结构。轻钢-草砖结构是以轻钢为主要承重框架、玉米秸秆草砖为主要围护材料的结构,轻钢框架轻质高强、抗震性能优越,草砖经过干燥、绑扎、硅化、抹灰等过程处理,具有良好的力学、保温、防腐、防火及隔声性能,轻钢-草砖结构很好地结合了两者的优点[1][2][3][4]。轻钢-ALC板结构是以轻钢为主要承重框架、蒸压轻质混凝土板(ALC板)为主要围护材料的结构,ALC板内含经过处理的钢筋增强,具有轻质、高强、防火、节能等优点[5]。本文以一两层住宅为例,运用PKPM系列软件进行轻钢-草砖、轻钢-ALC板、砖砌体结构的设计及分析,为轻钢-草砖结构在农村住宅的应用推广提供研究依据。

2. 算例信息

算例位于河南省郑州市中牟县,50年一遇基本风压 0.45 kN/m^2 ,基本雪压 0.40 kN/m^2 ,地面粗糙度:B类。建筑结构安全等级二级,砌体施工质量控制等级B级。抗震设防烈度7度,设计地震分组第一组,地震加速度 0.15 g ,二类建筑场地,建筑抗震设防类别为丙类。建筑平面图见图1~图4。

3. 结构信息

3.1. 结构信息

轻钢-草砖、轻钢-ALC板基础尺寸 $1800\text{ mm} \times 1800\text{ mm}$ 、 $1200\text{ mm} \times 1200\text{ mm}$,埋深 1.0 m ;砖砌体基础尺寸 $720\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 、 $480\text{ mm} \times 100\text{ mm}$,埋深 1.2 m 。草砖尺寸外墙 $300\text{ mm} \times 400\text{ mm} \times 600\text{ mm}$,内墙 $200\text{ mm} \times 400\text{ mm} \times 600\text{ mm}$,红砖尺寸 $240\text{ mm} \times 115\text{ mm} \times 53\text{ mm}$ 。结构信息见表1。轻钢-草砖结构、轻钢-ALC板结构钢梁钢柱型号选择见表2,其梁柱布置见图5~图8。

3.2. 墙体材料信息

草砖、红砖双面抹灰各 20 mm ,抹灰层导热系数 $0.25\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ 。墙体材料信息如表3所示[6][7][8][9]。

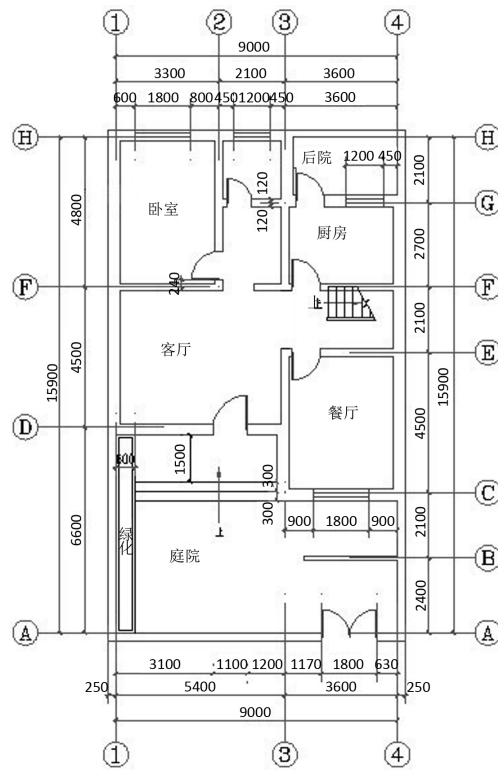


Figure 1. Ground floor plan

图 1. 首层平面图

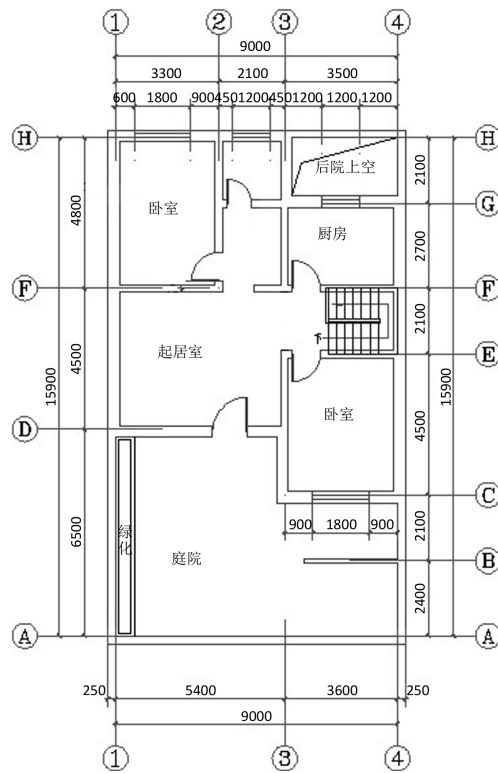


Figure 2. Second floor plan

图 2. 二层平面图

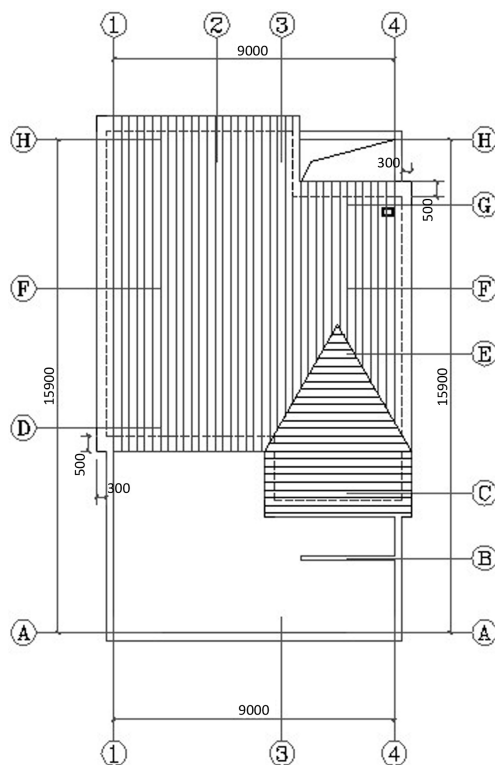


Figure 3. Top floor plan

图 3. 屋顶平面图

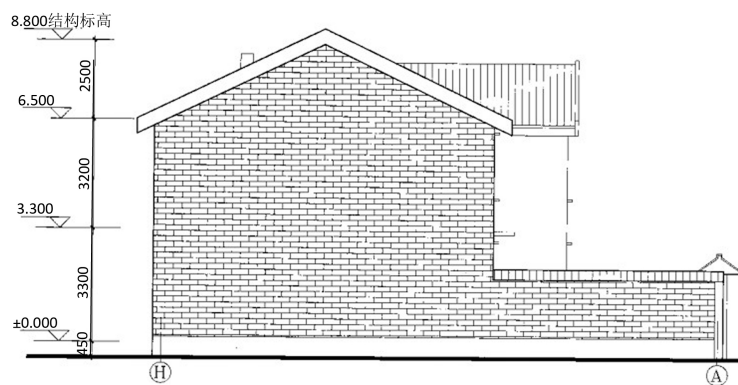


Figure 4. West elevation

图 4. 西立面图

Table 1. Structure information

表 1. 结构信息

结构类型	主要材料	基础信息	墙体材料	内/外墙厚(mm)	楼面板	屋面板	框架信息
轻钢-草砖	高频焊接轻型 H 型钢 Q235	混凝土柱下 独立基础	玉米秸秆 草砖	300/200	100 mm 钢筋混凝土板	0.6 mm 镀锌压型钢板	表 2, 图 5-8
轻钢-ALC 板	高频焊接轻型 H 型钢 Q235	混凝土柱下 独立基础	ALC 板	100/100	125 mm ALC 板	150 mm ALC 板	表 2, 图 5-8
砖砌体	红砖	墙下 条形砖基础	红砖	240/240	100 mm 钢筋混凝土板	100 mm 钢筋混凝土板	非框架结构

Table 2. Beam and column types of light-steel straw-bale and light steel-ALC structures
表 2. 轻钢-草砖、轻钢-ALC 板结构钢梁和钢柱型号表

结构类型	钢梁	钢柱
轻钢-草砖	250 × 200 × 8 × 11, 200 × 150 × 6 × 10, 200 × 100 × 4.5 × 6, 150 × 150 × 6 × 8, 100 × 100 × 6 × 8, 100 × 100 × 4.5 × 6 (默认)	250 × 250 × 9 × 14, 200 × 200 × 6 × 9, 150 × 150 × 6 × 8
轻钢-ALC 板	250 × 150 × 8 × 11, 200 × 150 × 8 × 10, 200 × 100 × 6 × 9, 200 × 100 × 4.5 × 6 (默认), 150 × 100 × 4.5 × 6, 100 × 100 × 4.5 × 6	250 × 250 × 9 × 14, 200 × 200 × 8 × 12, 150 × 150 × 8 × 10

Table 3. Wall material information
表 3. 墙体材料信息

结构类型	墙类型	设计自重(kN/m ³)	隔音性能(dB)	导热系数(W/(m ² ·K))	耐火性(h)
轻钢-草砖	玉米秸秆草砖	1.4	>62.5	0.108	双面抹灰 > 3 h
轻钢-ALC 板	ALC 板	6.5	100 厚 40.8 dB 150 厚 45.8 dB	0.130	100 厚 3.23 h 150 厚 4 h
砖砌体	粘土砖	18	>50	0.654	2 h

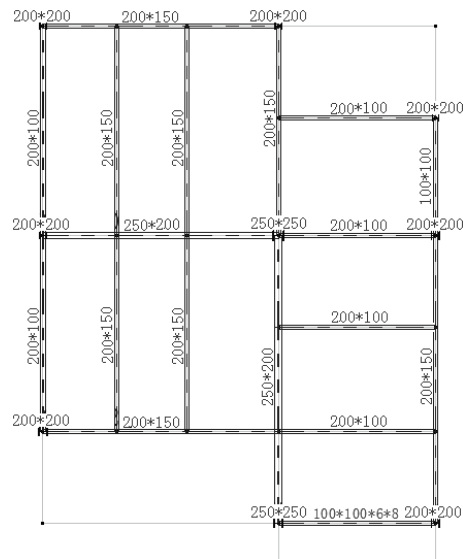


Figure 5. First floor beam and column layout of light-steel straw-bale structure
图 5. 轻钢-草砖结构一层梁柱布置

其中, $K < 0.16$ 时是节能的。由表 3 可以看出, 草砖自重轻, 具有良好的隔声、保温及耐火性能。

3.3. 荷载信息

楼面、屋面、墙体的做法及荷载信息如表 4 所示[10] [11] [12]。楼面活载取 2.0 kN/m^2 (厨卫 2.5 kN/m^2)，不上人屋面活载取 0.5 kN/m^2 。由表 4 可以看出, 轻钢-草砖上部结构自重较轻钢-ALC 板增加 20%，使用面积少 4%；较砖砌体结构自重减少 55%，使用面积少 0.07%。

4. PKPM 模拟分析

运用结构分析与设计软件 PKPM 建立合理的有限元分析模型。为简便荷载计算, 二层计算高度取坡屋顶高度一半进行折合, 即 $3200 + 2300/2 = 4.35 \text{ m}$, 取 4.4 m 。轻钢结构模型见图 9, 采用空间单元模拟

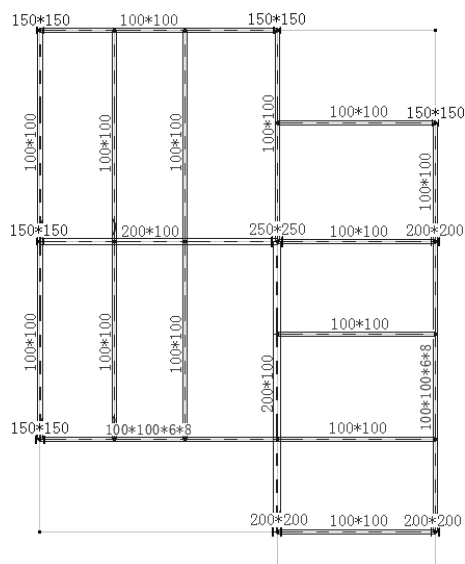


Figure 6. Second floor beam column layout of light-steel straw-bale structure

图 6. 轻钢-草砖结构二层梁柱布置

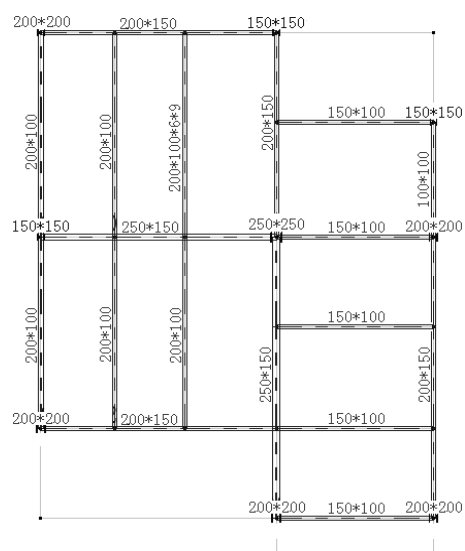


Figure 7. First floor beam column layout of light steel-ALC structure

图 7. 轻钢-ALC 板结构一层梁柱布置

梁、柱及支撑构件，用在壳单元基础上凝聚而成的墙元模拟剪力墙，梁单元与板单元之间采用有限元耦合连接，不考虑墙板等板单元与梁单元之间的滑移。构件尺寸及荷载形式按实际输入，梁柱节点刚接，梁梁节点铰接，柱脚刚接于基础。砌体结构模型见图 10，以房间为单元进行有限元计算。

4.1. 轻钢-草砖、轻钢-ALC 板计算结果分析

通过 PKPM-STS 对轻钢-草砖、轻钢-ALC 板进行建模和有限元分析，模拟六个振型，调整钢柱计算长度系数为 1.0，不考虑重力二阶效应，从位移比、最大值层间位移角、周期比与刚重比四个方面进行合理性分析。位移比与层间位移角主要是制结构在正常使用条件下的水平位移，确保高层结构应具备的刚

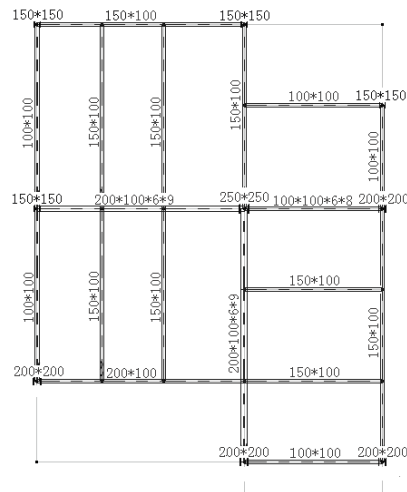


Figure 8. Second floor beam column layout of light steel-ALC structure

图 8. 轻钢-ALC 板结构二层梁柱布置

Table 4. Load information

表 4. 荷载信息

结构类型	名称	做法	荷载(厨卫) (kN/m ²)	上部结构自重(kN)	使用面积(m ²)
轻钢-草砖	楼面	陶瓷地砖楼面+100 厚钢筋混凝土楼板+吊顶	3.3 (4.7)	497.82 (含钢架)	145.50
	屋面	4 厚高聚物改性沥青卷材 + 0.6 厚 YX51-380-760 双层压型钢板 + 280 厚草砖保温屋面+吊顶	0.8		
	梁间	外墙: 陶瓷锦砖外墙面 + 300 厚草砖	1.3		
		内墙: 水泥砂浆墙面 + 200 厚草砖	1.1		
轻钢-ALC 板	楼面	陶瓷地砖楼面+ALB-160-320-c+吊顶	1.5 (1.7)	413.86 (含钢架)	151.79
	屋面	4 厚高聚物改性沥青卷材 + 50 厚挤塑聚苯板 + AWB-260-303-d+吊顶	1.3		
	梁间	外墙: 陶瓷锦砖外墙面+挤塑聚苯板 60 + AQB-260-350-b-s	2.2		
		内墙: 水泥砂浆墙面 + AGB-400-b-s	1.2		
砖砌体	楼面	陶瓷地砖楼面 + 100 厚钢筋混凝土楼板+吊顶	3.3 (4.7)	1111.60	145.60
	屋面	4 厚高聚物改性沥青卷材防水屋面 + 100 厚挤塑聚苯板 + 100 厚钢筋混凝土屋面板+吊顶	5.8		
	墙间	外墙: 陶瓷锦砖外墙面 + 80 厚挤塑聚苯板 + 240 厚红砖 内墙: 水泥砂浆墙面 + 240 厚红砖	5.3 5.1		

度。结构周期比主要是控制结构在罕遇大震下的扭转效应。刚重比主要是控制结构整体稳定性与结构经济性，刚重比越大，构件应力比越小，构件利用率越低，结构设计越不经济，结构稳定性越好。由表 5 可以看出，两住宅均满足强度、刚度、稳定性、抗震性等要求。从刚重比和用钢量可以看出，轻钢-草砖用钢量较轻钢-ALC 板钢材利用率低，但用钢量减少 12%，结构稳定性好。

4.2. 砖砌体计算结果分析

利用 PKPM-砌体结构对砖砌体结构建模并进行墙体的抗震计算、受压计算以及高厚比验算。计算结

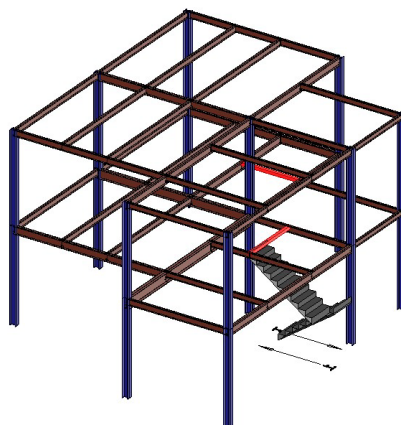


Figure 9. Second floor beam column layout of light steel-ALC structure

图 9. 轻钢-ALC 板结构二层梁柱布置

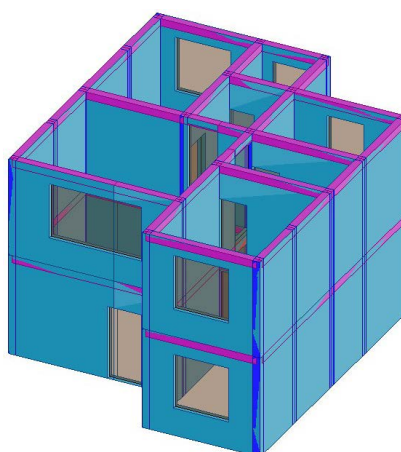


Figure 10. Masonry structure theoretical model

图 10. 砌体结构理论模型

构表明, 承重墙体的墙肢及窗间墙的抗力与效应之比均大于 1, 受压性能优越, 墙体高厚比均小于容许值, 故三者均符合《砌体结构设计规范》(GB50007-2001)要求。

5. 节能与经济性比较

5.1. 节能性比较

利用 PBECA 软件对各算例进行节能分析, 屋顶与外墙两个强制性标准均满足要求, 设计合理。维护结构传热系数如表 6 所示。

5.2. 经济性比较

造价根据《2008 年河南省建设工程工程量综合单价》结合材料现价调差所得[13], 由表 7 可以看出:

- (1) 基础。轻钢-草砖基础造价与轻钢-ALC 板相同, 低于砖砌体 44%。
- (2) 楼屋盖板及墙体。轻钢-草砖楼屋盖板及墙体造价低于轻钢-ALC 板 26%, 低于砖砌体 20%。
- (3) 框架。轻钢-草砖框架造价低于轻钢-ALC 板 26%, 高于砖砌体 112%。

综合造价。轻钢-草砖住宅综合造价低于轻钢-ALC 板 20%左右, 高于砖砌体不足 10%。

Table 5. Results and limit
表 5. 计算结果及限值

结构类型	位移比		最大值层间位移角			结构周期比		刚重比			用钢量(kg/m ²)	
	X 方向	Y 方向	限值	X 方向	Y 方向	限值	T3/T1	限值	X 方向	Y 方向		限值
轻钢-草砖	1.08	1.25		1/538	1/419		0.75		68.08	38.77		34.61
			1.5			1/250		0.9	88.26	65.06	10	
轻钢-ALC 板	1.06	1.29		1/589	1/452		0.77		59.97	33.90		39.46
									72.53	55.10		

Table 6. Heat transfer coefficient on cladding material
表 6. 维护结构传热系数表

结构类型	屋顶	外墙	内墙	其他	是否满足强条
轻钢-草砖	0.35	0.44	0.45		是
轻钢-ALC 板	0.33	0.45	1.0	满足限值	是
砖砌体	0.32	0.45	1.32		是
限值	0.35	0.45	1.5		

Table 7. Costs (ten thousand yuan)
表 7. 造价表(万元)

结构类型	基础	楼屋盖板	墙体	框架	综合	造价
轻钢-草砖	0.33	1.51	2.27	3.60	7.71	中
轻钢-ALC 板	0.33	2.60	2.52	4.10	9.55	高
砖砌体	0.59	1.10	3.63	1.70 (构造等)	7.02	低

6. 结论

(1) 本文对轻钢-草砖、轻钢-ALC 板和砌体等三种结构的设计, 均满足安全性和节能性的要求。

(2) 与轻钢-ALC 板住宅相比, 轻钢-草砖住宅在钢材利用率低于轻钢-ALC 板情况下, 使用面积少 4%, 用钢量减少 12%, 综合造价低 20%左右, 说明轻钢-草砖结构具有良好的稳定性和经济性。且草砖能够充分利用秸秆材料, 原料丰富, 造价低廉, 大大减少运输费用。

(3) 与传统砖砌体住宅相比, 轻钢-草砖住宅使用面积相当, 综合造价相差不足 10%, 轻钢-草砖住宅具有良好的延性及抗震性, 建筑过程大大减少湿作业, 施工周期短, 钢材回收利用率高, 便于灾后修复。

(4) 轻钢-草砖住宅节能环保、绿色生态, 具有良好的抗震及保温性能, 草砖墙能够有效调节室内的温湿度, 保持良好的空气品质, 舒适性好, 符合广大农民群众的需要, 是农村住宅发展的新方向。

基金项目

河南省高校生态建筑材料与结构工程科技创新团队(13IRTSHN002), 河南省新型城镇建筑技术协同创新中心(教科技[2013]638 号)。

参考文献 (References)

- [1] 聂红鑫, 曹宝珠. 无涂层秸秆草砖力学实验研究[J]. 吉林建筑工程学院学报, 2013, 30(1): 11-14.

- [2] 李楠, 杨柳, 罗智星, 等. 草砖房在北方农村地区适宜性研究[J]. 工业建筑, 2014, 44(7): 64-105.
- [3] 杨青松, 徐学东. 玉米秸秆草砖房住房建造技术及保温性能研究[J]. 新型建筑材料, 2015(5): 61-80.
- [4] 沈祖炎, 罗金辉, 李元齐. 以钢结构建筑为抓手, 推动建筑行业绿色化, 工业化, 信息化协调发展[J]. 建筑钢结构进展, 2016, 18(2): 1-25.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB15762-2008 蒸压加气混凝土板[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
- [6] 王晓峰. 新型农作物秸秆草砖的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 吉林: 吉林建筑大学, 2013.
- [7] Theis, B. (2003) Straw Bale Fire Safety. *Ecological Building Network*, 7, 1-5.
- [8] 王礼. 非承重草砖墙体的耐火性能试验分析[J]. 中国安全科学学报, 2011(11): 62-66.
- [9] 孙维理, 郑修慷. 轻质绿色建筑-ALC板[J]. 工业建筑, 2001(8): 11-13.
- [10] 中南地区工程建设标准设计办公室. 中南地区工程建设标准设计建筑图集[S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2015.
- [11] 冶金工业部建筑研究总院设计院. 01J925-1 压型钢板, 夹芯板屋面及墙体建筑构造[S]. 北京: 中国建筑标准设计研究院, 2002.
- [12] 中国建筑标准设计研究院. 13J104 蒸压加气混凝土砌块, 板材构造[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [13] 河南省建筑工程标准定额站. 2008年河南省建设工程工程量清单综合单价[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org