

草砖建筑冬季热环境和空气质量测试分析

杨晶晶, 杨柳, 徐诚, 徐旭东, 史明洋

(西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 为了解草砖建筑热工性能和室内热环境, 选取汤原县一草砖建筑和当地典型砖混民居进行冬季室内外热环境和室内空气质量对比测试, 结果表明: 相对于砖混建筑, 草砖墙体具有保温节煤、调节室内湿度的作用。但草砖墙体内表面温度振幅较大, 在夜间墙体壁面温度低于室内空气温度, 易形成冷辐射。

关键词: 草砖建筑; 空气温湿度; 壁面温度; MRT; CO₂ 浓度; 颗粒物浓度

中图分类号: TU111.4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2018)04-0569-06

Analysis on thermal environment and air quality of straw bale building

YANG Jingjing, YANG Liu, XU Cheng, XU Xudong, SHI Mingyang

(School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 71005, China)

Abstract: To test thermal performance, indoor thermal environment and indoor air quality of straw bale buildings in northeast of China, a straw bale building built in 2002 and local typical brick dwellings built in 2008 were selected. Results showed that compared with brick wall of the same thickness, the straw bale walls functioned as adjuster of indoor air humidity and thermal insulation. The amplitude of inner surface temperature of straw bale walls were larger than that of brick walls, which was lower than it was at night, forming cold radiation to residents.

Key words: straw bale building; air temperature and humidity; wall surface temperature; MRT; CO₂ concentration; particulate concentration

草砖建筑是以机械压力捆扎的麦草秸秆为构造性或非构造性墙体而建造的房屋, 它最早起源于 20 世纪初的美国内布拉斯加州。目前正在加拿大、法国、澳大利亚、英国、荷兰、中国、蒙古、阿根廷、墨西哥和新西兰等 40 多个国家推广应用, 具有保温节能、造价低廉、生态环保、隔声、抗震性能好、节能高效、有机的室内环境等优点。^[1] 草砖房尤以其保温性能最为明显, 资料^[2]显示, 草砖的导热系数为 0.11 W/(m·K), 是粘土砖墙的 1/7, 普通混凝土墙的 1/14。而我国东北地区冬季严寒漫长, 室内采暖每年需消耗大量的煤炭, 在东北地区应用草砖建筑有很大的节能潜力。最早把草砖技术引进国内的是中国 21 世纪议程管理中心与安泽国际救援协会合作 1999 年起在我国北方农村地区开始实施“节能草砖房建设与示范工程”。草砖建筑的发展促进了国内外学者对其的研究, 文献^[3-5]系统介绍了草砖的性能特点和草砖建筑建造方法, 为自建者和建筑师提供了系统指导。中国建筑科学研究院防火研究所王礼^[6]首次在国内进行了非承重草砖墙体防

火实验研究, 揭示了草砖墙体防火的原因, 为草砖建筑在国内的推广奠定了基础。段文峰^[7]提出了承重高密度秸秆草砖单接型和插筋型墙体, 拓宽了草砖作为建筑围护结构的应用形式。哈尔滨工业大学金虹老师团队^[8-11]提出了草砖墙体三种构造做法, 建成示范建筑并研究其热工性能, 推动了草砖建筑在东北地区的进一步推广。新疆农业大学^[12-13]针对棉花秸秆墙体分别进行了热工性能、力学性能的研究。为了解草砖建筑在东北地区特定气候条件下草砖建筑冬季室内热环境和室内空气质量, 课题组于 2017 年 1 月 15 日~1 月 21 日对黑龙江省佳木斯市汤原县一栋草砖建筑进行热环境现场实测, 并选取常见砖混建筑进行对比。

1 测试对象

课题组于 2017 年 1 月 15 日~1 月 20 日在黑龙江省汤原县兴华村选取 3 号草砖建筑和当地一典型砖混建筑进行对比测试, 测试建筑构造做法如表 1 所示。

表 1 测试建筑情况
Tab.1 Buildings on test

建筑类型	草砖建筑	砖混建筑
建造年代	2001	2008
墙体构造	20 mm 抹灰(1 份水泥: 1 份白灰: 6 份砂)+铁丝网+草砖+铁丝网+20 mm 抹灰(1 份水泥: 1 份白灰: 6 份砂)	砂浆抹灰+240 mm 粘土砖+10mm 泡沫保温+120 mm 粘土砖+砂浆抹灰
屋顶构造	石膏板+20 mm 木板找平+屋架下弦+20 mm 混合砂浆+20 mm 木板+一层油毡+300 mm 锯末+20 mm 炉渣+20 mm 木望板+石棉	石膏板+20 mm 木板找平+屋架下弦+20 mm 混合砂浆+20 mm 木板+一层油毡+150 mm 苯板+20 mm 炉渣+20 mm 木望板+彩钢板
门窗形式	双层铁窗、双层木门	双层塑钢窗、钢防盗门+棉门帘
隔墙构造	抹灰+240 mm 砖墙+抹灰	抹灰+240 mm 砖墙+抹灰
建筑层高	3.0 m	3.0 m
室内主要热源分布及采暖方式	卧室 1: 土暖气 卧室 2: 炕	卧室: 炕+土暖气

2 测试内容及测试仪器

测试了草砖建筑和当地一典型砖混建筑的室外太阳辐射照度、建筑室内外空气温湿度、墙体内外壁面温度、南向窗户外内壁面温度、室内黑球温度、

室内风速、室内 CO₂ 浓度、室内颗粒物 PM_{2.5}、PM₁₀ 含量, 仪器布置图如图 1、2 所示, 使用仪器说明如表 2. 测试建筑南北朝向, 建筑前后均为院落. 仪器测点距离地面高度为 1.5 m, 测试期间门窗均为紧闭状态.

表 2 测试仪器说明
Tab.2 Test instruments

测试内容	测试仪器	测试内容	测试仪器
室内外空气温湿度	自记式温度计(175-H2), 精度±3.0%, 分辨率±0.1%, 测量范围: 操作温度-20~70℃	墙体、玻璃壁面温度	TR 四通道测温仪, 量程为-20~50℃, 精度为 0.1℃
室内风速	天建华仪万向风速风温记录仪, 测量范围 0.05~30 m/s, 精度 0.01 m/s	室内黑球温度	HQZY-1 黑球温度自记仪, 测量范围-20~80℃, 精度±0.3℃
太阳辐射照度	TBQ-2 辐射计, 测量波段范围: 280~3 000 nm, 灵敏度系数 11.3 μV/(W·m ⁻²)		

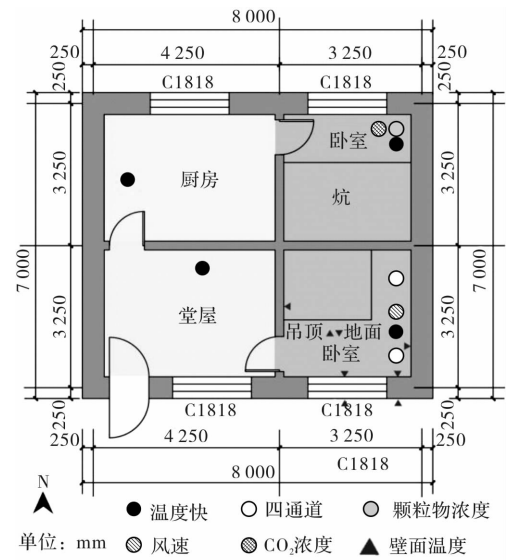


图 1 测试草砖建筑平面图及测点布置(单位: mm)
Fig.1 Test plan for straw bale building(Unit: mm)

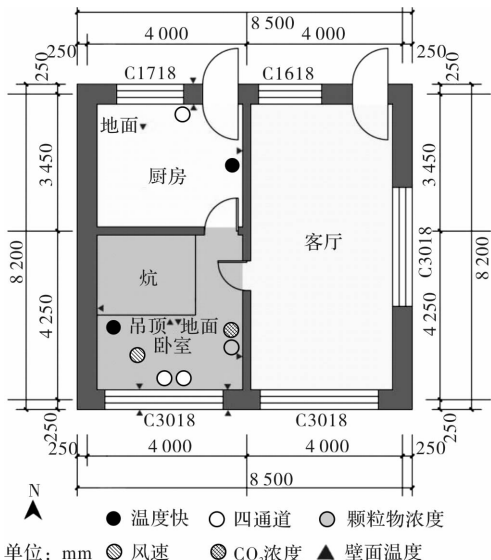


图 2 测试砖混建筑平面图及测点布置(单位: mm)
Fig.2 Test plan for brick building(Unit: mm)

3 测试结果与分析

3.1 太阳辐射

图3为2017年1月17日~1月20日期间测试的水平面总太阳辐射照度值,可以看出,测试期间太阳辐射峰值为 378.76 W/m^2 ,出现在11:30。日出时间07:00,日落时间16:00,每天日照时间9小时,虽然日照时间较短,但汤原县冬季干旱少雨,以晴天居多,太阳辐射资源稳定。特别对于东北寒冷的气候条件来说,太阳能资源弥足珍贵,并且在我国现行标准GB/T50824-2013《农村居住建筑节能设计标准》^[14]中东北地区属于太阳能资源可利用区,因此可以考虑利用被动式太阳房改善民居室内热环境。

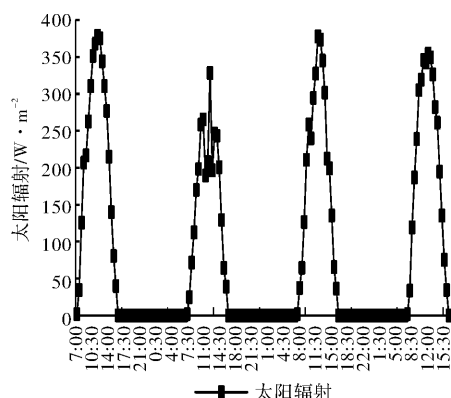


图3 水平面太阳辐射照度

Fig. 3 Horizontal solar radiation intensity

3.2 室内外空气温度

综合考虑农村生活习惯和经济水平等因素,我国现行标准GB/T50824-2013《农村居住建筑节能设计标准》^[14]中规定严寒和寒冷地区农村居住建筑采暖期室内适宜温度为 $14 \sim 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。图4为2017年1月15日~17日期间测得的草砖建筑和砖混建筑室内外空气温度。

厨房是建筑中主要的热量来源,室内温度主要受耗煤量和围护结构热工性能的影响,两栋建筑中厨房面积大小相近,朝向相同,且建筑中常驻人口相同,因此对比两个厨房中室内空气温度来分析草砖墙体的保温性。可以看出,草砖建筑厨房室内最高 $22.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$,平均 $18.13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。砖混建筑厨房室内最高 $18.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$,平均 $15.19 \text{ }^{\circ}\text{C}$,并且调研中发现草砖建筑每年耗煤量为2 t左右,而砖房建筑每年耗煤量为4 t左右,因此可以得出草砖建筑保温性能良好且节约耗煤量。

3.3 室内外空气湿度

文献^[15]认为室内湿度应在 $40\% \sim 70\%$ 范围

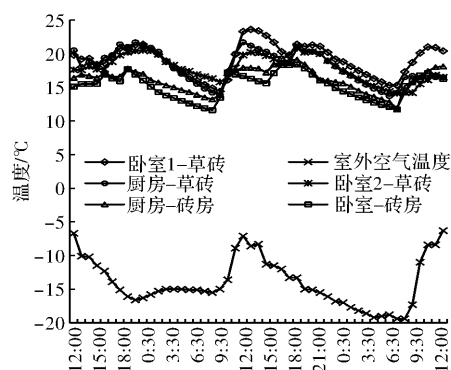


图4 室内外空气温度

Fig. 4 Indoor and outdoor air temperature

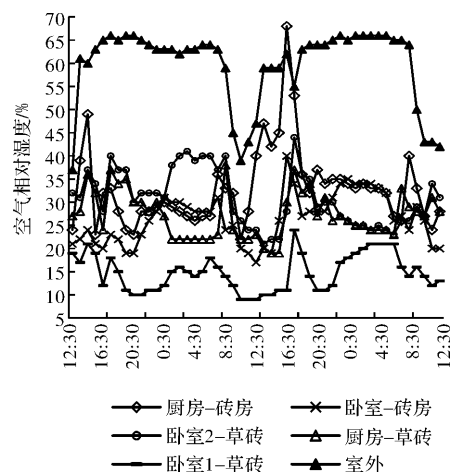


图5 室内外空气相对湿度

Fig. 5 Indoor and outdoor air relative humidity

内,超过 70% 时,霉菌和壁虱极容易繁殖,而低于 40% 时,流感传染病就会增加,并且由于眼、鼻和口腔粘膜干燥,人会感到不适甚至生病,且容易产生静电。图5为2017年1月15日~1月17日测试所得室内外空气湿度,结果显示草砖建筑卧室1室内空气湿度为 $8\% \sim 25\%$,卧室2室内空气湿度为 $21\% \sim 44\%$,砖混建筑卧室室内空气湿度为 $13\% \sim 40\%$ 。

可以看出两栋建筑室内空气湿度均偏低,室内空气特别干燥。此外,对比分析两栋建筑厨房室内空气湿度可以看出,草砖建筑厨房室内空气湿度为 $18\% \sim 40\%$,平均值为 27.34% ,波幅为 11% ;砖混建筑厨房室内空气湿度为 $20\% \sim 69\%$,平均值为 32.53% ,波幅为 24.5% 。可以看出,在相同的条件下,砖混建筑厨房室内空气湿度明显大于草砖建筑厨房室内空气湿度,且湿度波动大。因此可以得出草砖墙体具有调节室内空气湿度的作用。

3.4 墙体热工性能

3.4.1 墙体壁面温度

选取两栋建筑中南向卧室测试其室内壁面温度,图6~7所示为1月18日13:00~20日13:00两栋

建筑南向卧室室内壁面温度. 可以看出草砖建筑卧室 2 室内壁面温度整体大于砖房卧室室内壁面温度, 但是壁面温度波幅均大于砖房卧室内(如表 3 所示), 在草砖卧室内夜间采暖结束后温度下降较快, 会低于室内空气温度, 在白天高于室内空气

温度. 而砖房卧室室内壁面温度一直高于室内空气温度. 砖房卧室黑球温度变化较大, 这是因为砖房南向玻璃外没有加塑料薄膜, 太阳光总投射比较大, 因此室内黑球温度随着太阳辐射的影响较大.

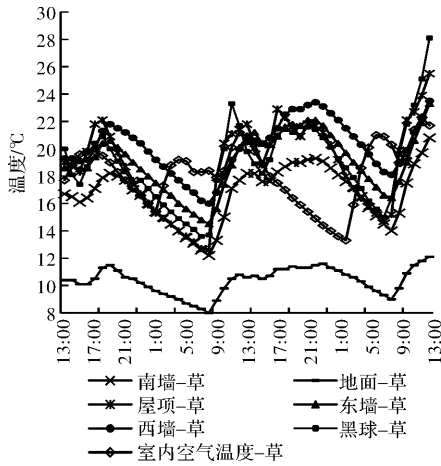


图 6 草砖建筑卧室壁面温度

Fig. 6 Wall surface temperature of straw bale building

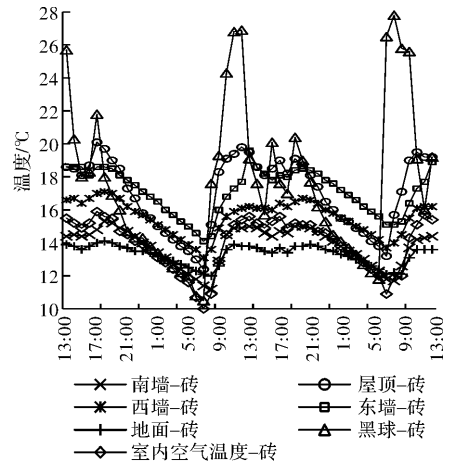


图 7 砖混建筑卧室壁面温度

Fig. 7 Wall surface temperature of brick building

表 3 建筑室内壁面温度振幅

Tab. 3 Wall surface temperature range of two buildings

日期	建筑类型	温度振幅/℃					
		室内空气	南墙	东墙	西墙	屋顶	地面
18—19 日	草砖卧室 2	2.8	2.5	2.9	2.7	4.4	1.6
	砖混建筑卧室	2.2	1.5	2.7	1.6	3.4	0.8
19—20 日	草砖卧室 2	4.4	3.1	3.3	2.3	5.6	1.3
	砖混建筑卧室	2.2	1.2	2.7	1.1	2.6	0.7

3.4.2 平均辐射温度 MRT

房间周围壁面与人体之间所产生的辐射热交换对人体冷热感影响很大, MRT 是影响室内热舒适性的重要因素, 在室内微气候中, 气温与周围壁面温差相差很大时, 热辐射的影响就非常大, 产生平均辐射温度问题. 因此, 在分析 MRT 对室内热舒适性影响时必须与室内空气温度综合考虑. MRT 是通过测量室内空气温度、风速以及黑球温度计算得到的, 如式 1.

$$MRT = t_g + 2.4V^{0.5}(t_g - t_a) \quad (1)$$

其中, t_g 为室内黑球温度,℃; t_a 为室内空气温度,℃; V 为室内空气流速, m/s. 由于冬季室内空气流速均小于 0.02 m/s, 操作温度可认为是空气温度 t_a 与平均辐射温度 t_r 的平均值^[16], 如式 2.

$$t_o = (MRT + t_g)/2 \quad (2)$$

计算得到草砖建筑和砖混民居室内的平均操作温度和室内空气温度的关系如图 8 所示. 从图中可以看出, 砖房卧室 MRT 一直高于室内空气温

度, 并且在 09:00~13:00 太阳辐射强时, MRT 远高于室内空气温度, 因此不会对人体形成冷辐射. 但是在草砖建筑南向卧室内, 白天室内 MRT 大于室内空气温度, 但是夜间室内 MRT 小于室内空气温度, 对人体形成冷辐射. 这是因为草砖建筑墙体蓄热系数较小, 室内壁面温度波幅较大.

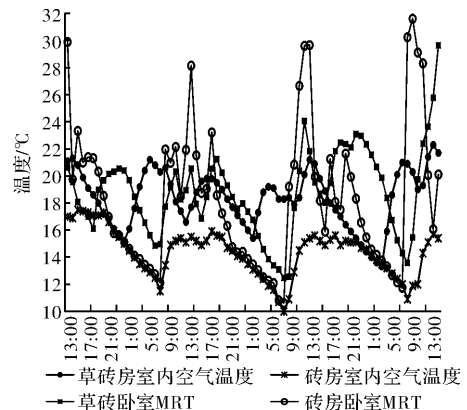


图 8 室内 MRT 与室内空气温度

Fig. 8 Interior MRT and air temperature

3.5 室内 CO₂ 浓度

CO₂ 属于呼吸中枢兴奋剂, 一般不对人体产生毒害作用, 但当 CO₂ 含量超过一定量时会使人精神不振, 工作效率低下. 国标 GB/T18883-2002《室内空气质量标准》^[17] 中规定 CO₂ 的日均值不应高于 1 000 μL/L. 图 9 为 2017 年 1 月 17 号~1 月 20 号测定的室内 CO₂ 浓度, 选取两栋建筑中和厨房相连的卧室进行对比测试, 结果显示: 草砖房卧室 2 日平均值稍微大于标准要求. 砖房卧室内 CO₂ 浓度日均值均达到标准要求. 并且两栋建筑中白天 CO₂ 含量明显低于晚上, 这是因为约在晚上 9.00 开始会持续烧煤采暖, 持续向室内释放 CO₂, 等到煤燃尽时, 室内 CO₂ 含量达到峰值, 尽管晚上人们回家人体呼吸也会释放 CO₂, 这和烧煤排放的 CO₂ 量相比还是很少的. 并且发现尽管砖混建筑一年耗煤量大于草砖建筑, 砖混建筑室内 CO₂ 浓度低于草砖建筑室内 CO₂ 浓度, 这是因为现代砖房建筑面积偏大, 内部空间开放易于 CO₂ 的扩散, 而建于 2000 年的草砖建筑属于扶贫项目, 建筑面积偏小, 室内空间布局不利于通风从而限制了 CO₂ 的扩散. 表 4 为室内 CO₂ 浓度峰值出现的时间, 可以看出, CO₂ 浓度主要是由取暖烧煤产生. 而室内颗粒物主要来源于做饭时燃烧薪柴和取暖烧煤共同产生.

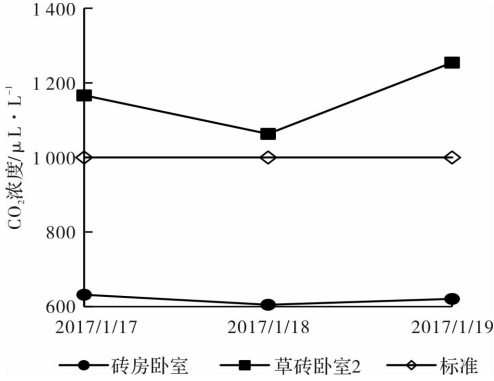


图 9 室内 CO₂ 浓度日均值

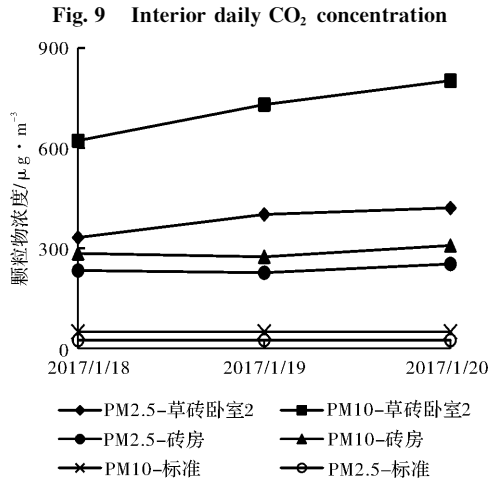


图 10 室内颗粒物浓度日均值

Fig. 10 Interior daily particulate concentration

表 4 颗粒物浓度、CO₂ 浓度最大值及出现时间

Tab. 4 Maximum value and emerging time of CO₂ and particulate concentration

房间	PM2.5 峰值 /ug · m ⁻³	PM2.5 峰值 出现时间	PM10 峰值 /ug · m ⁻³	PM10 峰值 出现时间	CO ₂ 浓度峰值 /μL · L ⁻¹	CO ₂ 峰值 出现时间
草砖建筑卧室 2	836.6	9: 50	1738.7	9: 50	2 282	2: 10
	720.9	14: 40	1506.3	14: 40		
	970.3	20: 50	1907.9	20: 50		
	961.9	0: 50	2020.9	0: 50		
砖混建筑卧室	423.4	8: 40	516.4	8: 40	832	23: 20
	436.2	13: 30	530.6	13: 30		
	449	17: 20	557.9	17: 20		

3.6 室内颗粒物浓度

东北地区室内烧煤取暖一个最直接的负面影响就是室内颗粒物浓度的增加, PM2.5 和 PM10 浓度是常见的衡量室内空气质量的参数之一, 两者均可通过呼吸系统进入人体内, PM2.5 更是可以深入肺泡, 在肺部沉积, 对人体造成不可逆转的伤害. 世界卫生组织关于颗粒物、臭氧、二氧化氮和二氧化硫的空气质量准则中规定 PM2.5 的准则值为日平均值 25 ug/m³, PM10 的准则值为

日平均值 50 ug/m³. 并且 PM2.5 检测网的空气质量新标准, 把不同 PM2.5 浓度含量划分为不同的空气污染等级, 如表 5.

图 10 为 2017 年 1 月 17 日—1 月 20 日测定的两栋建筑室内的 PM2.5 和 PM10 浓度含量, 草砖建筑卧室 2 日均值分别超标 12.3、15、15.8 倍. PM10 日均值分别超标 11.44、13.6、15 倍. 砖混建筑卧室内 PM2.5 日均值分别超标 8.3、8.1、9.12 倍. PM10 日均值分别超标 4.7、4.5、5.2

倍。按照标准对空气污染等级的划分,草砖建筑室内环境属于严重污染,砖混建筑室内环境属于重度污染。并且从出现峰值的时间可以看出,室内颗粒物主要来源于做饭时燃烧薪柴和取暖烧煤产生。

表5 空气污染等级划分

Tab.5 Level hierarchy of air pollution

空气质量等级	PM2.5 日均值/ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
优	0~35
良	35~75
轻度污染	75~115
中度污染	115~150
重度污染	150~250
严重污染	250 及以上

4 结论

佳木斯市汤原县新型生态民居建设树立了可持续发展的观念,根据当地的自然条件和经济状况,探索研究了生态建筑的适宜技术,引导了新农村建设中的科学建设和用能模式。对于东北地区的新农村建设具有重要的参考价值。但是由于受到当时经济条件和东北寒冷气候条件的限制,仍然存在一定的问题。

①由于自主取暖,东北民居室内空气温度在人体舒适范围内,相对相同厚度的粘土砖墙体,草砖墙体保温性能较好。

②东北民居室内空气相对湿度偏低,空气干燥。草砖墙体有一定的调节室内湿度的作用。

③草砖墙体因其蓄热系数较小,室内壁面温度波幅较大,在夜间草砖建筑室内 MRT 低于室内空气温度,对人体形成冷辐射。

④室内 CO_2 浓度受采暖耗煤量、建筑平面布局、建筑气密性影响较大,在较宽敞的砖房民居中室内 CO_2 浓度是可以达到标准要求的。东北草砖建筑属于扶贫项目,建筑面积小,平面布局局促不利于通风,不利于 CO_2 的扩散,室内 CO_2 浓度稍高于标准要求。

⑤东北民居白天和夜晚采暖阶段室内颗粒物含量均远超过国家标准限值,室内空气污染严重。且室内 CO_2 主要来源于取暖烧煤,而室内颗粒物主要来源于做饭时燃烧薪柴和取暖烧煤的共同作用。

参考文献 References

[1] 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[J],2014,44(7):64-67.

LI Nan, YANG Liu, LUO Zhixing, et al. Study of adaptability for straw-bale houses in northern rural area [J]. Industrial Construction, 2014, 44(7): 64-67.

[2] 武雪利. 稻草砖防腐防潮性能分析及在生态建筑中应用研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2013.

WU Xueli. Research on Straw Bale Hygroscopicity and Decomposition and its Application in Ecological Construction[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013.

[3] BARBARA J. Building with straw bales[M]. Totnes, UK: Green Books, 2015.

[4] BARBARA J. Information guide to straw bale buildings[M]. Todmorden: Amazon Nails, 2001.

[5] STEEN A, STEEN B, EISENBERG D. The straw bale house[M]. Chelsea: Chelsea Green Pub Co, 1995.

[6] 王礼, 史毅. 非承重草砖墙体的耐火性能实验分析[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(11): 62-66.

WANG Li, SHI Yi. Experimental analysis on fire resistant performance of non-loadbearing plastered straw bale walls[J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(11): 62-66.

[7] 段文峰, 曹宝珠, 张国杰, 等. 新型低碳秸秆草砖墙体设计研究[J]. 新型建筑材料, 2011(10): 34-36.

DUAN Wenfeng, CAO Baozhu, ZHANG Guojie, et al. Research and design on new wall built with low carbon crop straw bricks[J]. New Building Materials, 2011, (10): 34-36.

[8] 金虹, ENARD A, CELAIRE R. 北方乡村生态屋设计实践[J]. 建筑学报, 2005(9): 24-26.

JIN Hong, ENARD A, CELAIRE R. Design practice of eco-house in northern village [J]. Architectural Journal, 2011(10): 34-36.

[9] 金虹, 邵腾, 金雨蒙, 等. 被动式技术在严寒地区农村住宅中的应用研究[J]. 西部人居环境学刊, 2016, 31(1): 115-118.

JIN Hong, SHAO Teng, JIN Yumeng, et al. The application of passive technology on rural houses in severe cold regions[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2016, 31(1): 115-118.

[10] 金虹, 凌薇. 低能耗 低技术 低成本: 寒地村镇节能住宅设计[J]. 建筑学报, 2010(8): 14-16.

JIN Hong, LING Wei. Low energy, low technology, low cost: study on energy saving house in village in cold area [J]. Architectural Journal, 2010, 8: 14-16.

[11] 金虹, 康建, 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[J]. 中国科学: 技术科学, 2016, 46: 1079-1085.

JIN Hong, KANG Jian, JIN Yumeng, et al. A study on the construction technics of straw bale walls in severe cold rural areas of northeast China[J]. Scientia Sinica Technologica, 2016, 46: 1079-1085.

(下转第 581 页)

- [9] 王瑞乐. 非等温竖壁贴附送风气流组织的速度及温度场研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2015.
WANG Ruile. Study of velocity and temperature field of non-isothermal attached air curtain ventilation mode [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2015.
- [10] YIN H, LI A, LIU Z, et al. Experimental study on airflow characteristics of a square column attached ventilation mode. [J]. Building & Environment, 2016, 109:112-120.
- [11] LI A G, YIN H G, WANG G D. Experimental Investigation of Air Distribution in the Occupied Zones of an Air Curtain Ventilated Enclosure [J]. International Journal of Ventilation, 2016, 11(2):171-182.
- [12] 贾小勇. 19 世纪以前的变分法[D]. 西安:西北大学, 2008.
JIA Xiaoyong. The Calculus of Variations before the 19th Century[D]. Xi'an: Northwest University, 2008.
- [13] 尤明庆. 最速降线求解和摩擦力影响的研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2005, 24(1):83-88.
YOU Mingqing. Research on the solution of the steepest descending line and the influence of friction [J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science Edition), 2005, 24(1):83-88.
- [14] 王海军. 巧解最速降线及其等时性[J]. 大学物理, 2015, 34(8):16-18.
WANG Haijun. Cleverly solve the steepest descending line and its isochronism [J]. COLLEGE PHYSICS, 2015, 34(8):16-18.
- [15] CHEN Q. Computer simulations and experimental measurement of air distribution in buildings: Past, Present and Future [J]. Hvac & R Research 2011; 13 (6): 849-851.
- [16] CAO G, RUPONEN M, PAAVILAINEN R, et al. Modelling and simulation of the near-wall velocity of a turbulent ceiling attached plane jet after its impingement with the corner [J]. Building and Environment, 2011, 46(2): 489-500.
- [17] CHEN Q. Comparison of different k- ϵ models for indoor air flow computations [J]. Numerical Heat Transfer, Part B, 1995, 28(3): 353-369.
- [18] RUPONEN M, TINKER J A. CFD validation of the thermal comfort in a room using draft rates [J]. Osiris, 2007; 16(1): 321-342.
- [19] ASHRAE. Thermal environmental conditions for human occupancy: ANSI/ASHRAE 55-2004 [S]. Atlanta, USA: ASHRAE, Inc., 2004.

(编辑 桂智刚)

(上接第 574 页)

- [12] 史阳光,冯勇. 棉花秸秆草砖墙热工性能研究[J]. 新型建筑材料, 2016(1):43-45.
SHI Yangguang, FENG Yong. Study on thermal performance of cotton straw brick [J]. New Building Materials, 2016(1):43-45.
- [13] 晋强,冯勇,陈亮亮. 棉花秸秆草砖力学性能试验研究 [J]. 新型建筑材料, 2014(4):51-54.
JIN Qiang, FENG Yong, CHEN Liangliang. Experimental study on mechanical properties of cotton straw bale [J]. New Building Materials, 2014(4):51-54.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 农村居住建筑节能设计标准:GB/T50824-2013 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Design standard for energy efficiency of rural residential buildings: GB/T50824-2013 [S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2012.
- [15] 闫增峰. 生土建筑室内热湿环境研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2003.
YAN Zengfeng. Dynamic modelling of the indoor thermal and humidity environment in the adobe buildings [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2003.
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑室内热湿环境评价标准:GB/T50785-2012 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Evaluation standard for indoor thermal environment in civil buildings: GB/T50785-2012 [S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2012.
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 室内空气质量标准:GB/T 18883-2002 [S]. 北京:中国标准出版社, 2002.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Indoor Air Quality Standard: GB/T 18883-2002 [S]. Beijing: China Standard Press, 2002.

(编辑 桂智刚)