

文章编号: 1671-6612 (2019) 04-395-04

# 北方农村建筑围护结构节能研究

盛肖利 刘学来 李永安 毛煜东

(山东建筑大学能工程学院 济南 250101)

**【摘要】** 根据现农村传统建筑围护结构现状计算得出农村供暖房屋热负荷, 传统建筑围护结构耗热量大, 部分民用建筑已进行了节能改造, 而数量众多的农村传统民居应采取怎样的节能方案, 才能达到预期的节能目的, 进行农村建筑围护结构节能研究, 得出房屋、外墙和门窗等维护结构的保温性能未达到节能 50%, 而采取相应的措施进行围护结构保温性的改造, 改造前后进行经济分析, 以达到改善农村房屋居住环境, 减少能源损耗, 提高生活水平的目的。

**【关键词】** 农村现状分析; 围护结构; 热负荷; 节能措施; 经济分析

中图分类号 TU86 文献标识码 A

## Study on Energy Saving of Construction Enclosure Structure in Northern Rural Areas

Sheng Xiaoli Liu Xuelai Li Yongan Mao Yudong

(Department of Thermal Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan, 250101)

**【Abstract】** This article is based on the current situation of the traditional building envelope structure in rural areas and calculates the heat load of heating houses in rural areas. The energy consumption of traditional building envelope structures is large, and some of the civil buildings have undergone energy-saving reforms. However, how many energy-saving features should be adopted in a large number of traditional rural dwellings? The plan can achieve the intended energy-saving purpose, and conduct energy-saving research on the building envelope structure of rural buildings. It is concluded that the insulation performance of the maintenance structures such as houses, external walls, doors and windows does not reach 50% energy saving, and corresponding measures are taken to maintain the insulation of the envelope structure. Economic analysis is conducted before and after the transformation to achieve the goal of improving the living environment of rural housing, reducing energy consumption and improving living standards.

**【Keywords】** Rural status analysis; Enclosure structure; Heat load; Energy-saving measures; Economic Analysis

## 0 引言

中国正处于城镇化进程加速发展时期, 能源消耗量巨大, 节能减排的任务十分艰巨。建筑是耗能大户, 约占全社会总能耗的 40%, 而住宅总量约为建筑总量的 70%, 因此提升住宅建筑的节能水平是建筑节能的关键<sup>[1-4]</sup>。随着农村经济的发展和人民生活水平的逐渐提高, 农村居民对生活质量和生活水平以及生活环境有了更高的要求。据统计, 我国农

村建筑面积约为 240 亿 m<sup>2</sup>, 占全国总面积的 60%。由于农村房屋的传统问题, 住宅占地面积大, 建筑围护结构保温性差, 导致冬季室内温度低, 热环境较差, 建筑中的能源消耗大, 污染严重, 得到了政府的高度重视。普遍存在的农村采暖问题: 形式单一、能耗大。在现如今节能减排的大环境下, 如何采取措施, 既能节约能源又能提高热舒适性是农村居民所重视的问题。农村新建住宅越来越多, 由于

作者简介: 盛肖利 (1995.01), 女, 在读研究生, E-mail: sxlsdjin@163.com

通讯作者: 刘学来 (1965.09), 男, 博士, 教授, E-mail: liuxuelai147@163.com

收稿日期: 2018-07-26

受传统的、技术的、经济的等多重因素的影响，农村住宅建设普遍存在缺乏规划、放任无序的弊病，已经成为制约住宅建筑节能水平提升的瓶颈<sup>[5,6]</sup>。

本文以北方农村典型住宅为对象研究分析。

### 1 北方农村围护结构现状分析

北方农村的建筑类型多为砖木结构、砖混结构。外墙形式多为粘土砖墙。这种砖墙的厚度多为 240mm，极少数为 370mm，外墙多以素水泥砂浆或外墙涂料作饰面材料，少量采用瓷砖，墙体基本无保温措施，保温隔热效果差，冬季室内热损失严重。农村住宅的外窗框型材主要为铝合金、塑钢窗、木窗。外门多为单层双扇对开，门窗密闭性差，冷风渗透较严重，而近几年门窗多采用铝合金材质，减少了冷风渗透，密封性能较好。屋顶为木屋顶与预制板，屋顶多采用平屋顶形式，少数采用吊顶，保温简单，保温效果一般，而大部分屋顶都没有保温措施。地面的构造非常简单，主要为水泥地面，基本无保温措施与防潮措施，从而导致冬季时热量通过传导方式从地面大量流失，严重降低了居住舒适性<sup>[1]</sup>。冬季采暖农村住房多采用火炕和煤炭炉，也有少部分采用土暖气。火炕主要采用农作物秸秆作为取暖能源，煤炭炉和土暖气主要采用煤炭，少数生活条件富裕的家庭采用空调采暖。燃煤采暖分为采暖与炊事一体、采暖与炊事分离两种。大多数的家庭为纯燃烧采暖，燃烧炉接火炕或燃烧炉接一到两组暖气片进行采暖。对于一些新改建的房屋则会采用地暖采暖或空调采暖。多数采用煤炭炉或电器的采暖，无法达到室内热舒适度和空气质量要求<sup>[7]</sup>。

### 2 农村热负荷实际数据

据统计测量，冬季室外最低温度在 -20℃ 以下，最高温度平均在 8℃~10℃ 之间。而室内温度白天为 5~10℃，夜晚为 5℃ 以下。温度波动大的主要原因是人员活动范围所致，堂屋白天接待客人时会生起火炉或打开空调，温度升高；夜间人员活动较少，火炉就会熄灭或关闭空调，温度则会迅速下降<sup>[8]</sup>。

以山东省农村房屋为例，节能改造前后房屋供热来源于空气源热泵，24 小时供热。经调查房屋墙厚为 240mm，称“一砖墙”。外墙涂抹石灰、水泥、砂浆的混凝土厚 15mm，内墙为水泥浆抹面厚 15mm，墙体的总厚度为 270mm。屋顶为普通的

300mm 厚的钢筋混凝土楼板。门的规格为 1200mm×2000mm 的木质门。阳面窗为 1500mm×1500mm 的单层玻璃窗，阴面窗为 600mm×1000mm 的单层玻璃窗。地面采用石灰水泥铺平，房屋尺寸大小如图 1 所示。

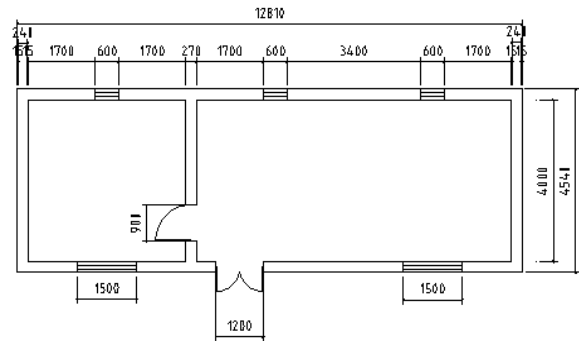


图 1 两间农村住宅模型图

Fig.1 Two rural residential model diagram

取冬季室外平均温度为 -5.3℃，室内温度根据现状设计的舒适温度为 16℃。

- (1) 首先求出外墙、门窗、屋顶、地带面积；
  - (2) 查得传热系数<sup>[9]</sup>，由温差得出基本耗热量；
  - (3) 通过风力、朝向、高度修正系数得出围护结构耗热量；
  - (4) 最后计算冷风渗透耗热量得出房间总耗热量；
  - (5) 通过房间热负荷计算得出房间总耗电量；
- 如表 1 所示。

表 1 房间耗热量汇总表

Table 1 Room heat consumption summary

	围护结构耗房间总耗热单位面积耗			总耗电量 (kWh)
	热量 (W)	量 (W)	热量 (W/m <sup>2</sup> )	
堂屋	5210.53	5239.79	163.74	4641.89
里屋	3183.28	3212.53	200.78	2843.60

由计算得出的数据可知，农村房屋耗热量大，单位面积耗热量为 176.09W/ (m<sup>2</sup> · °C)。农村房屋的墙体材料和结构大多数采用实心粘土砖等传统做法，空间变化小，功能分区不明确，窗墙面积不合理，地面基本不会设保温层，门窗的气密性差，导致农村建筑室内污染严重，空气质量差，温度波动大，夜间温度低，墙体的保温性、气密性差。造成能源消耗大，室内温度低的主要原因在传统围护

结构设计不合理。因此,改进建筑围护结构形式以改善建筑热性能,是建筑节能的重要途径。

### 3 围护结构节能措施

在稳态条件下,围护结构两侧空气温差为 $1^{\circ}\text{C}$ ,在单位时间内通过单位面积的传热量(用 $K$ 表示)。

$$K=1/R \quad (1)$$

式中, $R$ 为围护结构的传热阻。

$$R=d_i/\lambda \quad (2)$$

式中, $d_i$ 为材料层厚度; $\lambda$ 为材料导热系数

由此可见,改善围护结构的具体途径有:(1)增加材料层厚度;(2)降低材料的传热系数。

#### 3.1 外墙加外保温层

保温层应置于墙体外侧,使建筑主体结构所受温差作用大幅度下降,温度变化减小,对结构墙体起到保护作用并有效阻断冷桥。同时不减少室内使用空间,施工过程不影响用户的正常使用,有利于延长建筑结构的使用寿命。

选用 $\lambda=0.018\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 的硬质聚氨酯保温板,厚度为 $50\text{mm}$ ,在表面喷抹 $25\text{mm}$ 厚水泥砂浆形成墙体,即完成施工。由公式

$$K=\frac{1}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{\delta_2}{\lambda_2}+\frac{\delta_3}{\lambda_3}} \quad (3)$$

计算加了保温层的墙体导热系数为 $K=0.344\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 。

得出加了保温层后墙体的围护结构耗热量、耗电量(见表2)。

表2 外墙加保温层厚房间耗热量汇总表

	围护结构耗房间总耗热单位面积耗 总耗电量			
	热量	量	热量	(kWh)
	(W)	(W)	(W/m <sup>2</sup> )	
堂屋	2169.40	2198.66	68.71	1947.70
里屋	1267.97	1297.23	81.08	1149.16

通过计算得出外墙加了保温层后,房间单位耗热量为 $72.83\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 。相比墙体没有加保温层时房间的单位面积耗热量减少了 $103.26\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ ,房间总耗电量减少了 $4388.63\text{kWh}$ 。

#### 3.2 外门窗节能改造

提高窗框的保温性能,减少窗玻璃传热是减少

窗的传热损耗最有效的途径。将原有木框单层玻璃窗换成塑料单框低辐射中空玻璃窗 $6\sim 12\text{mm}$ (平开),导热性能差、传热慢,同时也可以减少热量散失。原单层门换成实体木质双层门,查得塑料单框低辐射中空玻璃窗的传热系数 $K=1.80\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ ,门的传热系数 $K=2.33\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 得出房间耗热量、耗电量(见表3)。

表3 门窗采取节能措施房间耗热量汇总表

Table 3 Summary of room heat consumption for energy saving measures in doors and windows

	围护结构耗房间总耗热单位面积耗 总耗电量			
	热量	量	热量	(kWh)
	(W)	(W)	(W/m <sup>2</sup> )	
堂屋	4844.30	4873.55	152.30	4317.27
里屋	2568.9	2598.15	162.38	2301.59

通过计算得出门窗采取节能措施后,房间单位耗热量为 $155.66\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 。相比原来门窗房间的单位面积耗热量减少了 $20.43\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ ,房间总耗电量减少了 $866.63\text{kWh}$ 。

#### 3.3 屋顶加保温层

屋顶保温材料采用与墙体相同的保温层,导热系数 $0.018\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 的硬质聚氨酯保温板,厚度为 $70\text{mm}$ ,建筑室内为 $30\text{mm}$ 厚的石膏板吊顶,结合与屋顶的空气层加强保温。计算得屋顶的传热系数为 $K=0.247\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 。得出房间耗热量、耗电量(见表4)。

表4 屋顶加保温层房间耗热量汇总表

Table 4 Heat consumption summary of roof insulation room

	围护结 房间总 单位面 总耗电			
	构耗热	耗热量	积耗热	量
	量	(W)	量	(kWh)
	(W)		(W/m <sup>2</sup> )	
堂屋	3961.16	3990.41	124.70	3534.93
里屋	2558.59	2587.84	161.71	2292.45

通过计算得出屋顶采取节能措施后,房间单位耗热量为 $137.05\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 。相比原来门窗房间的单位面积耗热量减少了 $39.04\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ ,房间总耗电量减少了 $1658.11\text{kWh}$ 。

通过计算可以看出,外墙、门窗、屋顶分别进行保温节能措施以后,单位面积耗热量和房间耗电量都在很大程度上有所减少,其中外墙因为面积

大,受冷风渗透量的影响,加了保温层后传热系数减小,房间单位耗热量减少最多。为了达到更好的保温节能效果,现将外墙、门窗、屋顶的节能措施同时应用,计算得出房间的耗热量(见表5)。

表5 外墙、门窗、屋顶同时节能房间耗热量汇总表

Table 5 Heat consumption summary of energy saving room for external walls, doors and windows and roofs

	围护结构耗热量		单位面积耗热量	总耗电量 (kWh)
	(W)	(W)	(W/m <sup>2</sup> )	
堂屋	1169.28	1198.54	37.45	1061.73
里屋	690.81	720.07	45.00	637.88

通过计算得出外墙、门窗、屋顶同时采取节能措施后,房间单位耗热量为39.97W/(m<sup>2</sup>·℃)。相比没有加任何节能措施时单位面积耗热量减少了136.12W/(m<sup>2</sup>·℃),节能效果达到77.3%,房间总耗电量减少了5785.88kWh。

#### 4 经济分析

建筑能耗均折合为电价,每kWh的电价取0.53元<sup>[10]</sup>。具体比较结果见表6。

表6 房屋保温与否的经济比较

Table 6 Economic comparison of building insulation or not

保温特征	房间单位面积热损失 (W/m <sup>2</sup> )	折合电价/元	保温造价	
			单价(元/m <sup>3</sup> )	总价/元
保温前	176.09	82.65		
保温后	39.97	18.77	1100	10384

建筑外墙与屋顶保温投资回收期为:

$$10384 / [(82.65 - 18.77) \times 48] = 3.4 \sim 4 \text{ (年)}$$

对于一般建筑物可以安全使用50年,外保温层的最短使用年限也要求使用25年。按25年进行计算,外墙外保温层与屋顶保温层总的节约资本为:

$$(25 - 4) \times (82.65 - 18.77) \approx 1342 \text{ (元/m}^2\text{)}$$

采用该保温措施在使用年限内一共可节省总数为:

$$1342 \times 48 = 64391 \text{ (元)}$$

#### 5 总结

建筑节能保温是现在农村供暖规划中非常重要的环节,经过计算分析加保温措施前后的经济性,结果表明建筑加保温层后节能效果非常明显。农村大部分的农民节能意识比较薄弱,虽然农民收入有所提高,相对于城镇水平还比较低。政府应该对节能技术的研发和购买做出相应的补贴,以降低造价。对新技术、新设备的推广加大宣传力度,建立更多的供暖新技术示范村,改变农民的节能意识,真正的改善农村的生活环境和生活水平。

#### 参考文献:

- [1] Niu Shuwen, Li Yixin, Ding Yongxia, et al. Energy demand for rural household heating to suitable levels in the loess hilly region, gansu province, China[J]. Energy, 2010,35(5):2070-2078.
- [2] Zhou Zhongren, Wu Wenliang, Wang Xiaohua, et al. Analysis of changes in the structure of rural household energy consumption in northern China: A case study[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009,13(1):187-193.
- [3] Zhao Jing, Wu Yong, Zhu Neng. Check and evaluation system on heat metering and energy efficiency retrofit of existing residential buildings in northern heating areas of china based on multi-index comprehensive evaluation method[J]. Energy Policy, 2009,37(6):2124-2130.
- [4] Cai W G, Wu Y, Zhong Y, Ren, H. China building energy consumption: Situation, challenges and corresponding measures[J]. Energy Policy, 2009,37(6):2054-2059.
- [5] Tonooka Yutaka, Liu Jiaping, Kondou Yasuhiko, et al. A survey on energy consumption in rural households in the fringes of Xian city[J]. Energy and Buildings, 2006,38(11):1335-1342.
- [6] 崔德芹.新农村住宅节能问题研究[J].吉林农业科技学院学报,2010,19(3):18-21.
- [7] 李程萌,李持佳,闫一莹,等.北京农村住宅清洁能源供暖方案经济性分析[J].煤气与热力,2017,37(1):19-23.
- [8] 赖艳萍,张志刚,魏璠,等.北方农村典型住宅的能耗比较分析[J].农业工程学报,2011,27(S1):12-16.
- [9] 李永琴.北方农村住宅现状及其未来发展[J].山西建筑,2009,35(5):33-34.
- [10] 刘学来,李永安.居住建筑外墙外保温作法及经济分析[J].建筑技术,2005,(10):7-9.