

文章编号: 1671-6612 (2024) 04-531-06

东北地区农房采暖需求 及围护结构节能改造方案研究

王鹏苏

(中国城市规划设计研究院 北京 100044)

【摘要】 东北地区清洁取暖改造工作正处于关键时期, 围护结构节能改造是保障该项工作顺利实施的重要环节, 但现有关于东北地区农房围护结构节能改造技术节能率及经济性的综合性研究较为缺乏, 难以指导技术方案选取。通过实地调研获取东北地区典型户型、围护结构特点和采暖需求特征, 利用 DeST 建模计算多种围护结构节能改造技术的节能率, 并综合考虑节能效果和经济效益确定适宜当地的围护结构节能改造方案。结果表明, 当地农房主要为三间半式和两间半式户型, 采暖房间数主要为 2-3 间, 且 70% 的农户主要在 1 间有炕的卧室活动, 呈现部分时间全部采暖空间为主的采暖特征。简易阳光房+30mm 北墙 EPS 保温的围护结构节能改造方案, 节能率达到 17.4%, 总改造费用最低, 仅为 2354 元, 是兼顾节能与经济的优选方案。研究结果可为东北地区农房围护结构节能改造和清洁取暖工作提供理论和数据支撑。

【关键词】 东北农房; 采暖需求; 围护结构保温; 节能率; 经济性

中图分类号 TU86 文献标志码 A

Study on Rural Household Heating Demand and Envelope Insulation Schemes in Northeast China

Wang Pengsu

(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing, 100044)

【Abstract】 Clean heating project in Northeast China is at a critical stage, and envelope insulation implementation is a key part to the success of this project. Existing research on the energy-saving efficiency and economy of rural house envelope insulation technologies in Northeast China is relatively lacking, which makes it difficult to guide the technical schemes of rural house envelope insulation in this region. Therefore, based on the field survey and DeST modeling methods, this study obtained the characteristics of typical house thermal characteristics, heating demands, and the energy saving efficiency of a variety of envelope insulation technologies in Northeast China, and combined the energy-saving effect and economy to determine the appropriate envelope insulation scheme. The results showed that rural houses in Northeast China were mainly three-and-a-half-room and two-and-a-half-room house types, and most had 2-3 heating rooms and 70% of the households were mainly in one bedroom, which presented a part-time-part-space heating characteristic. Simple sunroom and north wall insulation with 30mm of EPS can save 17.4% energy for heating, and the total renovation cost was 2354 RMB, which was the suitable solution based on economy and energy saving effect. This study can provide theoretical and data support for the implementation and popularization of rural house envelope insulation in Northern China.

【Keywords】 Rural houses in Northeast China; Heating demand; Envelope insulation; Energy saving efficiency; Economy

基金项目: 国家重点研发计划项目“研究我国城市建设绿色低碳发展技术路线图”(编号: 2018YFC0704404)

作者(通讯作者)简介: 王鹏苏(1988-), 男, 博士研究生, 工程师, E-mail: wps21@foxmail.com

收稿日期: 2024-05-20

0 引言

在国家清洁取暖行动整体布局下,我国北方地区民用散煤治理工作快速推进,取得了明显效果^[1-2]。2017-2021年期间,以京津冀大气污染通道重点区域为主的88个城市通过竞争性评选,纳入中央财政支持的冬季清洁取暖行动计划,对当地大气环境改善起到了较为积极的作用。截止2021年底,清洁取暖试点城市累计完成散煤治理约3500万户,减少散煤约6200万吨。其中京津冀及周边地区、汾渭平原清洁取暖率达80%以上,北京和天津平原地区基本实现无煤化。但在这一阶段的试点工作中,东北地区并非重点,且绝大部分区域位于严寒地区,采暖能源消费更高、排放更强,农村地区燃煤污染物排放仍是目前影响当地空气质量的重要因素之一。如,黑龙江年煤炭消耗总量7476万吨,污染物排放总量75.81万吨;其中农村地区采暖所用散煤总量约956万吨,但污染物排放量贡献率占比接近60%。从2021年开始,东北地区陆续有城市入选北方地区冬季清洁取暖试点城市,但因气候特点、资源禀赋、居民生活习惯等都与华北地区存在较大差异,使得华北地区散煤治理的技术方案和模式不能在东北地区简单复制,针对东北地区的农用散煤综合治理技术路径研究工作尚需探索。

围护结构节能改造是清洁取暖的基础环节和关键环节,只有在控制建筑采暖负荷的基础上,才有可能实现低能耗和低排放。现有关于围护结构节能改造技术的研究,主要集中在某一项或者一类技术的能耗量及室内温度营造效果^[3-5],较少按照农房具体的采暖需求进行针对性技术方案组合。此外,技术推广的实施效果和可复制性与其经济性能息息相关^[6],因此在进行技术方案比选时,需要同时考虑节能效果和经济效益。杨旭东^[7]等从初投资、使用要求、取暖运行费和区域整体规划等多个维度来综合考虑,提出适合我国农村实际情况的“四一模式”,并在河南鹤壁及山东省商河县进行了试点示范^[8,9]。何馨^[10,11]等对山西典型农宅多种围护结构节能改造方案和分散式供热技术进行了全生命周期经济性对比分析,得到了适合在山西农宅推广的经济型清洁取暖技术方案。但以上研究基本集中在华北寒冷地区,气象参数和典型建筑围护结构热工性能与东北严寒地区差异较大^[12,13],不能简

单推广和应用。东北地区围护结构节能改造效果和综合性评估研究缺乏,直接影响当地农房围护结构节能改造技术路线选择和农村清洁取暖工作推进。

黑龙江省齐齐哈尔市富裕县塔哈镇吉斯堡村地处东北腹地,其建筑气候区划(IC)是东北地区覆盖面积最大的气候类型,且该村粮食产量大,具有丰富的生物质资源,在地理位置、气候条件、采暖需求及自然资源等方面均具有代表性。因此,本研究以吉斯堡村农房为研究对象,通过实地调研总结了当地农村的典型户型、围护结构特点和采暖需求特征,对不同类型的典型户进行实测和模拟,分析多种农房围护结构节能改造技术及组合方案的节能率和经济性,综合评估确定满足东北农村地区清洁取暖需求的农房围护结构节能改造技术方案。研究结果可为东北地区农房围护结构节能改造和清洁取暖工作提供理论和数据支撑。

1 研究方法

1.1 现场调研及典型农房信息确定

综合考虑齐齐哈尔市农村地区经济水平、资源分布、农户改造意愿等因素,本研究选取富裕县塔哈镇吉斯堡村作为典型村落开展基础信息调研。吉斯堡村是以达斡尔族为主的少数民族村,总户数603户,常住户163户,户均常住人口2~3人,以老人和小孩为主。当地经济收入主要依靠种植和养殖,全村耕地面积38819亩,以种植玉米、大豆为主。居住建筑较为集中,户均建筑面积约80m²。本研究开展了整村入户调研,获取了当地典型建筑围护结构、采暖用能习惯、建筑空间利用率等信息。

1.2 围护结构节能改造技术方案筛选

根据典型户型信息,利用DeST建立典型农宅的物理模型。输入调研中实测的围护结构热物性等参数,计算典型农宅的采暖季能耗实际数值,同时按照《农村居住建筑节能设计标准GB/T 50824-2013》^[14]中要求的围护结构热物性等参数,计算采暖季能耗目标数值。通过两个数值可计算农宅围护结构节能改造所需的节能率最小提升量。根据“大用大保、小用小保、不用不保”的原则,农房的围护结构节能改造主要针对外墙、门窗及屋顶三处薄弱位置。基于现有常用保温材料推广应用情况,屋顶可采用膨胀聚苯板(EPS)、挤塑聚苯板

(XPS)、岩棉、聚氨酯和酚醛板保温,外墙可采用EPS、XPS和石墨聚苯板(SEPS)保温,本研究中屋顶和墙体节能改造技术中主要考虑以上材料。

1.3 节能率及经济性计算

所有达到节能率最小提升量目标的围护结构节能改造方案,通过市场调研确定的价格开展经济性比选。

围护结构节能改造技术的节能率计算如式(1)所示。

$$\eta = \frac{Q_f - Q_l}{Q_f} \times 100\% \quad (1)$$

式中, η 为围护结构节能改造技术的节能率; Q_f 和 Q_l 分别为改造前和改造后的单位采暖面积能耗指标, kWh/m²。

经济性采用改造费用和年均单价进行评估,改

造费用和年均单价越低,表示该综合技术方案在寿命周期内的经济性越好。年均单价计算如式(2)所示。

$$C = \frac{C_i}{N \times A} \quad (2)$$

式中, C 为年均单价,元/(m²·年); C_i 为改造总投资(改造费用),元; N 为寿命周期,年; A 为材料铺设面积,m²。

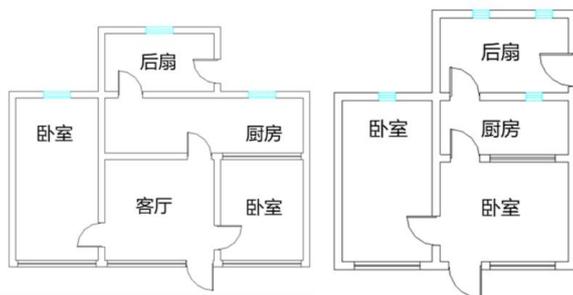
2 结果与讨论

2.1 典型农房布局及采暖特征

调研结果显示,当地绝大部分农房为坡顶平房,建筑面积多在80m²左右,主要户型为三间半式和两间半式,占比分别达到44%和16%,如图1所示。农房结构均为砖混形式,60%以上农房墙体材料为实心砖,厚度约50cm,存在极少量土坯房。



(a) 典型农房照片



(b) 典型农房户型图

图1 典型农房户型信息

Fig.1 The information on typical rural house types

部分农房有保温措施,四面墙均敷设保温板的农房占比约33%,其中北墙、南墙和东西墙敷设保温板的比例分别约为42%、36%和40%;保温板材料以膨胀聚苯板为主。70%以上窗户为塑钢双玻窗或双层窗,少量三层窗,冬季部分农户在南向窗户敷设塑料薄膜,占比约17%。屋顶均为泥棚+抹灰的保温结构,部分农户敷设珍珠岩保温层,占比约30%。

调研还发现,当地农村居民冬季普遍搭建简易阳光房用于农房保温,如图2所示。阳光房一般建于建筑南向,利用钢管作为支撑,上面覆盖一层塑料薄膜,与大棚类似。建设费用约为1200元,在提高农宅气密性的同时,可为农宅带来较好的增温效果,是适宜当地居民生活习惯和气候条件的节能保温措施。

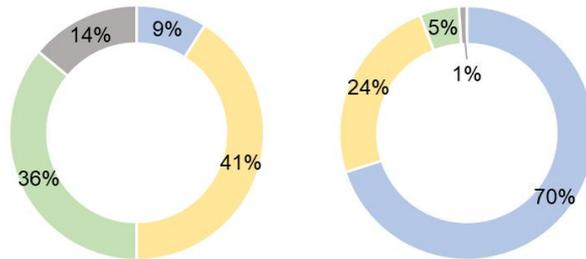


图 2 简易阳光房照片

Fig.2 Simple sunroom pictures

当地农房实际采暖面积主要集中在 30~60 m²。冬季白天由于较多时间在室外活动且白天太阳辐射较大，故房间温度较高，不需采用主动式供暖设备供暖。但为防止冬季夜间温度太低导致冻管，农户装有暖气片的房间在夜晚均需供暖。因此当地农房采暖模式以部分时间全部采暖空间为主。如图 3

所示，采暖房间数主要为 2-3 间，占比 77%；但冬季绝大部分农户主要在 1 间有炕的卧室活动，占比 70%。绝大部分农户使用散煤和玉米芯散烧进行采暖，少量采用电锅炉、电热炕采暖，未采用高效的热泵设备，采暖能耗较高。在间歇采暖的情况下，农区户均煤耗也达到 3~4 吨。



(a) 采暖房间数分布 (b) 冬季主要活动房间数分布

图 3 当地农房主要采暖特征

Fig.3 Main heating characteristics of local rural houses

2.2 典型农房 DeST 模型及能耗

选取三间半式农房作为典型户型，开展建筑围护结构节能改造技术方案研究。前期工作中已在典型农房围护结构两侧布置热流计，测得了当前农宅

围护结构表面温度和热流密度，进而计算围护结构传热系数。将前期调研及实测获取的数据，作为模型中建筑围护结构及采暖模式的输入参数，如表 1 所示。

表 1 典型农房信息表

Table 1 Modeling information of typical rural houses

采暖模式	设置	围护结构	设置
采暖房间	东西卧室、客厅 66m ²	外墙	500mm 实心砖墙 1.20W/(m ² ·K)
采暖时间	10 月 15 日一次年 4 月 15 日	内墙	240mm 实心砖墙 2.0W/(m ² ·K)
采暖模式	部分空间连续采暖	外窗	塑钢双玻窗 2.2W/(m ² ·K)
采暖季室内设计温度	14°C	屋面	彩钢板+灰泥+苇帘+木檩条+钙塑板吊顶 0.88W/(m ² ·K)

DeST 建模计算结果显示，该典型农宅的采暖季能耗指标为 174.8kWh/m²；按照《农村居住建筑节能设计标准 GB/T 50824-2013》中规定的围护结

构热物性参数，采暖季目标能耗指标为 149.2kWh/m²。因此，该典型农宅的节能率最小提升量为 14.6%。

2.3 典型农房围护结构改造技术方案节能率及经济性

结合当地普遍采用简易阳光房的特点，制定农房各项围护结构改造方案，并通过 DeST 典型户型计算能耗指标、节能率，相关结果及改造费用如表

2 所示。单项改造中，普遍需要采用 30mm 以上各类保温板进行屋顶保温，方可满足最小节能率提升要求，但改造费用偏高，可达 3000-4000 元。为降低大规模推进农房节能改造的经济压力，可考虑多种保温改造方案进行组合。

表 2 典型农宅围护结构改造方案

Table 2 Insulation configurations of rural house envelopes

单项围护结构改造方案	能耗指标 (kWh/m ²)	节能率 (%)	改造费用 (元)	
无保温	174.8	0	0	
EPS 保温 30mm	155.4	11.1	3044	
EPS 保温 40mm	151.4	13.4	3419	
XPS 保温 30mm	151.4	13.4	3548	
XPS 保温 40mm	146.8	16.0	3709	
屋顶	岩棉板保温 30mm	155.4	11.1	2864
	岩棉板保温 40mm	151.4	13.4	3161
	聚氨酯保温 30mm	145.1	17.0	4193
	聚氨酯保温 40mm	140.4	19.7	4967
	酚醛保温 30mm	148.6	15.0	3096
	酚醛保温 40mm	144.0	17.6	3225
	北墙 EPS 外保温 30mm	169.4	3.1	1154
	北墙 EPS 外保温 40mm	168.5	3.6	1253
北墙 EPS 外保温 50mm	168.0	3.9	1350	
北墙 EPS 外保温 60mm	167.5	4.2	1447	
北墙 SEPS 外保温 30mm	169.0	3.3	1197	
北墙 SEPS 外保温 40mm	168.2	3.8	1310	
北墙 SEPS 外保温 50mm	167.5	4.2	1422	
北墙 SEPS 外保温 60mm	167.1	4.4	1535	
北墙 XPS 外保温 30mm	168.5	3.6	1287	
北墙 XPS 外保温 40mm	167.8	4.0	1329	
北墙 XPS 外保温 50mm	167.1	4.4	1423	
北墙 XPS 外保温 60mm	166.6	4.7	1610	
外窗	简易阳光房	149.8	14.3	1200
	保温窗帘	164.3	6.0	552

从表 2 数据对比可知，在各单项技术中，外窗采用简易阳光房的综合效果最佳，仅需投入 1200 元，节能率可到 14.3%，优先考虑在该项改造技术方案上增加其他围护结构节能改造方案，兼顾节能效果和经济效益。因采用简易阳光房的节能率（14.3%）已接近典型农宅的节能率最小提升量

（14.6%），且外墙保温技术虽然节能效果低于屋顶保温，但改造成本更低，优先考虑与简易阳光房进行组合。经测算，简易阳光房+北墙 30mmEPS 保温板的改造方案，能耗指标计算结果为 144.4kWh/m²，节能率达到 17.4%，总改造费用仅为 2354 元，提升单位节能率所花改造费也最低，

为 135.28 元, 综合效益远高于 30mm 聚氨酯屋顶保温技术 (17.0%, 4193 元) 和 40mm 酚醛屋顶保温技术 (17.6%, 3225 元), 是兼顾经济性与节能效果的优选方案。在此围护结构节能改造方案基础上, 通过选择合适的“煤改电”和“煤改生物质”等高效主动式供暖设备, 实现农房散煤综合替代方案初投资控制在一万元以内, 在达到节能率目标的同时降低农房清洁取暖改造方式的初投资, 可在东北农村地区清洁取暖行动中应用和推广。

3 结论

本研究通过实地调研获取了东北地区农房户型、围护结构特点和采暖需求特征, 基于 DeST 软件开展了典型农房围护结构节能改造技术模拟研究, 在此基础上综合考虑节能率和经济性, 确定了兼顾经济性与节能效果的清洁取暖改造优选方案, 得到的结论如下:

(1) 东北地区调研地农房主要为三间半式和两间半式户型, 且部分农房已进行围护结构节能改造, 简易阳光房是当地普遍采用的经济型保温措施。

(2) 当地农房采暖房间数主要为 2-3 间, 采暖面积主要集中在 30~60m², 呈现部分时间全部采暖空间为主的采暖特征。冬季有 70% 的农户主要在 1 间有炕的卧室活动, 因此主要活动房间面积比采暖面积小。

(3) 围护结构节能改造技术的节能率需达到 14.6% 以上才能满足现行国标《农村居住建筑节能设计标准 GB/T 50824-2013》中对农房围护结构热物性要求。

(4) 简易阳光房+北墙外保温是适宜当地的农宅围护结构节能改造技术组合。简易阳光房+北墙 30mmEPS 保温, 节能率达到 17.4%, 总改造费用为 2354 元, 兼顾经济性与节能效果, 可在东北农村地区清洁取暖行动中应用和推广。

参考文献:

- [1] 刘璐. 多措并举推动北方清洁取暖可持续发展[J]. 中国经贸导刊, 2024, (4): 80-81.
- [2] 李江龙, 张琪琳, 刘泓汛. 北方地区清洁取暖政策与居民幸福感——基于空气质量改善效应的进一步评估[J]. 环境经济研究, 2024, 9(1): 21-39.
- [3] 谢鑫, 曾翔, 曹宝珠. 农村秸秆草砖建筑节能优化分析[J/OL]. 海南大学学报(自然科学版), 1-8.
- [4] 郭亚磊. 寒冷地区农村既有居住建筑夏季遮阳及围护结构节能改造供暖能耗分析[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2023.
- [5] 宁菽, 陈增丞. 寒冷地区农村住宅非透光围护结构节能优化研究[J]. 建筑技术, 2023, 54(14): 1711-1716.
- [6] 翟羽佳, 李舒婷. 我国北方农村清洁取暖改造研究综述及展望[J]. 能源与环保, 2023, 45(10): 194-200.
- [7] 杨旭东. 我国乡村碳中和发展目标与技术路径[J]. 可持续发展经济导刊, 2022, (4): 42-43.
- [8] 杨旭东, 单明, 邢永杰, 等. 我国北方农村清洁取暖适宜模式研究——基于河南省鹤壁市和山东省商河县的实践[J]. 环境与可持续发展, 2021, 46(3): 67-74.
- [9] 单明, 刘彦青, 丁星利, 等. 我国北方农村住宅围护结构经济型保温技术方案研究[J]. 建设科技, 2021, (21): 17-22.
- [10] 何馨, 杨旭东, 金凯瑞. 农宅围护结构节能改造的菜单式方案实现方法[J]. 暖通空调, 2024, 54(4): 12-16.
- [11] 何馨, 荣杏, 杨旭东. 山西典型农宅分散式清洁取暖技术对比分析[J]. 区域供热, 2024, (2): 9-16, 50.
- [12] 李以通, 陈乐端, 成雄蕾, 等. 严寒和寒冷地区绿色宜居农宅节能技术效果分析[J]. 建筑节能(中英文), 2023, 51(6): 32-36, 64.
- [13] 王孟卓, 陈牧野, 沈若禹. 75% 节能背景下严寒和寒冷地区居住建筑围护结构节能设计策略研究[J]. 中国住宅设施, 2022, (7): 61-63.
- [14] GB/T 50824-2013, 农村居住建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.