

北京市既有农宅规模化节能改造实施方案及效果研究

邢永杰¹, 单明², 毛春柳³, 荣杏², 丁星利², 刘彦青², 李鹏超², 杨旭东²

(1. 北京市科学技术委员会, 北京 100744; 2. 清华大学 建筑技术科学系, 北京 100084; 3. 中建科技集团有限公司, 北京 100195)

摘要: 通过政府座谈、实地调研、现场实测、模拟分析等研究方法, 对北京市既有农宅规模化节能改造的实施方案和政策体系等进行了梳理分析和效果评估, 得到如下结论: 北京市截至到 2016 年底共完成了 71 万户的农宅节能改造工作, 农宅保温改造的平均节能率约为 28.3%, 节能改造后平均室温提高了 2.6℃; 每年可以节省 59 万 tce, 减少约 0.24 万 t 的 PM_{2.5} 排放、170 万 t 的 CO₂ 排放、0.09 万 t 的 SO₂ 排放和 0.15 万 t 的 NO_x 排放; 农户对操作流程、施工质量、节能效果和自筹费用方面达到满意和非常满意的总比例达到 80% 以上。北京市作为首个把既有农宅节能改造从整市层面进行规模化和系统化推广的地区, 在技术方案、管理机制和推广模式等方面摸索出了很多经验, 取得了显著的经济、环境和社会效益。

关键词: 既有农宅; 围护结构; 节能改造; 实施方案

中图分类号: TU451

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2020)04-0547-08

Study on implementation schemes and their effects on the large-scale energy saving renovations of existing rural buildings in Beijing

XING Yongjie¹, SHAN Ming², MAO Chunliu³, RONG Xing², DING Xingli²,
LIU Yanqing², LI Pengchao², YANG Xudong²

(1. Beijing Municipal Science & Technology Commission, Beijing 100744, China;

2. Department of Building Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. China Construction & Technology Group Co., Ltd, Beijing 100195, China)

Abstract: This paper studied the implementation schemes, policy system and effects on the large-scale energy saving renovations of existing rural buildings in Beijing through the government panel discussion, household survey, field measurement, simulation analysis and other research methods. Conclusions are drawn as follows. Until the end of 2016, Beijing has completed a total of 0.71 million rural households of energy-saving renovation, of which the average energy saving rate is about 28.3%, and the average room temperature after the insulation renovation improves 2.6℃. Every year, it can save 0.59 million tons of coal equivalent, and reduce about 2400 tons of PM_{2.5} emissions, 1.7million tons of CO₂ emissions, 900 tons of SO₂ emissions and 1500 tons of NO_x emissions. The proportions of rural residents who are satisfied or very satisfied with the operation process, construction quality, energy-saving effect and self-raised cost are above 80%. Beijing, as the first city to carry out large-scale and systematic promotion of the energy-saving renovation of existing rural residential buildings, has explored a lot of experience in the aspects of technical scheme, management mechanism and promotion mode, and has achieved remarkable economic, environmental and social benefits.

Key words: existing rural house; building envelope; energy-saving renovation; implementation scheme

农村地区对各类化石能源的大量消耗(包括 1.92 亿 t 散煤), 是造成空气污染的重要原因之一。农村建筑用能总量大、利用效率低, 室内热环境普遍较差^[1]。除了由于散煤燃烧效率低以外, 农宅围护结构无保温措施并且密闭性差也是能耗居高不下、舒适度难以提升的重要因素。笔者团

队于 2005 年开始率先在北京市开始尝试农宅节能改造试点工作, 先行建设了数百户试点项目, 并开展了相关技术方案、效果评价等研究工作^[2-5], 包括: 对改造后的室内热舒适提升和节能效果的实测以及模拟分析; 吊顶、外墙、外窗以及被动式阳光间等具体技术方案对比分析; 对减少燃煤

收稿日期: 2020-03-04

修改稿日期: 2020-07-14

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划课题(2018YFD1100702); 清华大学山西清洁能源研究院种子基金资金项目

第一作者: 邢永杰(1974—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为建筑节能。E-mail: xingyongjie@126.com

通讯作者: 单明(1981—), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向为村镇建筑能源与环境。E-mail: mshan@tsinghua.edu.cn

消耗和污染排放的贡献等。但上述研究尚属于针对局部试点项目的小范围或中间过程的研究。北京市从2008年起,在深入总结相关技术路线和关键技术经济参数的基础上,持续开展了规模化的农宅抗震节能改造工作。截至2018年底,北京市累计完成农宅节能改造总量100余万户^[6],成为整个北京市乃至全国建筑节能领域的标志性工作之一。北京市的既有农宅节能改造不论是推广模式还是推广规模上都一直走在全国前列,本文对其实施方案和整体改造效果进行研究和评价,以期北京市后续农宅节能改造工作的顺利收尾和其他地区开展类似工作提供参考。

1 北京市既有农宅基本情况

北京市农村入户调研结果显示^[7],既有农宅户均建筑面积约为106.5 m²,正房间数平均5.1间,其中取暖房间数平均为4.6间,户均取暖面积约97.8 m²,卧室间数平均2.8间,冬季常用卧室间数平均为2.4间。如图1所示,农村住宅形式以单层为主:坡顶单层比例最高,占75%;其次为平顶单层,比例为22%;楼房和其他形式房屋很少。

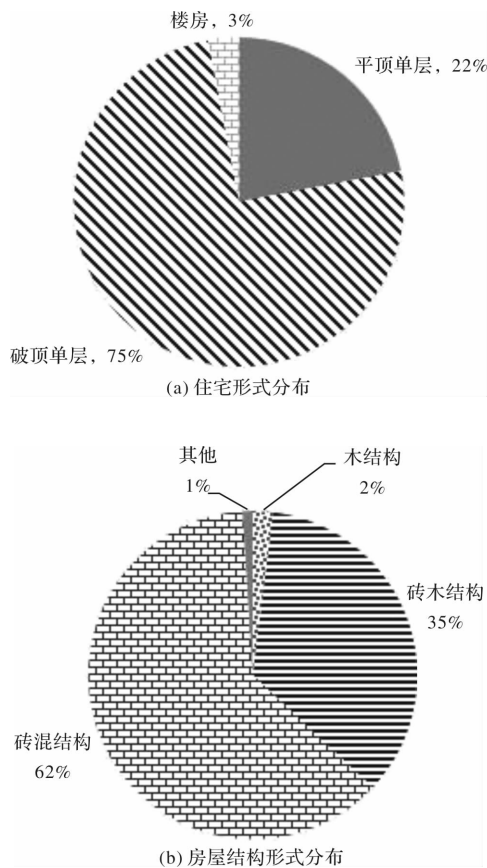


图1 北京市农宅形式和结构形式分布

Fig. 1 Form and structure types of the rural house in Beijing
农宅结构形式分布: 砖混结构占63%; 砖木结构

占35%; 其他结构形式约占3%。

农宅墙体有91%为实心砖墙;8%为空心砖墙。近几年由于受国家政策的限制,传统粘土砖在农村比较少见,尤其是对于新建翻建农宅,转向采用页岩砖,但墙体的保温性能并没有得到改善。

2 研究方法

本文采用区级调研、入户调研、现场测试、能耗模拟的方法来综合开展研究。

2.1 区级调研

调研方法:座谈,对各区的调研采用与区住建委、新农办以及乡镇负责具体工作相关人员进行座谈的方式来了解总体工作开展情况;同时收集各区历年的工作指导手册、一户一档等资料来了解以往工作开展情况。

调研对象:涵盖了进行规模化农宅抗震节能改造的全部十个区(昌平、大兴、通州、顺义、房山、门头沟、平谷、怀柔、密云、延庆);调研内容主要包括市/区对农宅单项改造、综合改造以及新建翻建的奖励金额和拨付流程、选户和实施方式、施工/监理/鉴定单位的确定、节能改造材料采购和抽检方式、验收方案、整体意见和建议等。

2.2 入户调研

调研对象:主要以“北京市农民住房新建改造档案管理信息系统”(以下简称管理信息系统)中2011~2015年所实施的抗震节能改造农村住宅为总样本库,调研的范围包括北京的10个远郊区。调研内容包括农村家庭基本情况、建筑信息、原有抗震措施及加固改造情况、各类能源消耗和室内环境状况等,其中农村能源消耗量是指农村地区为满足日常生活(取暖、炊事、生活热水、空调、照明、家电等)需要所消费的各种能源,主要包括生物质能源(以秸秆、薪柴为主)、商品能源(煤炭、电、液化石油气和天然气)等。

由管理信息系统可知,北京市“十二五”期间所实施的农宅抗震节能改造总户数约58万户,按2‰~3‰来设定调研样本总量,总调研户数约1200户,根据各区完成的改造户数占全市改造量的比例确定各区的调研样本数,按照每村选取20~30个典型户来确定各区所需调研的村子数,最终确定了52个村作为调研样本。再以村为基本单元从全市的行政村名单中进行样本随机抽取,并且确保不同的行政村位于不同的乡镇,以便覆盖更多情形的农户,样本确定情况如表1所示。

表 1 各区完成的改造户数占全市总量比例及调研样本户数和村数

Tab. 1 The proportion of renovate households in different areas and survey samples of households and villages

区名	大兴	通州	顺义	房山	门头沟	平谷	怀柔	密云	延庆	昌平	合计
所占比例/%	12.6	15.6	17.4	12.6	0.7	10.9	5.2	8.9	7.7	8.3	100
样本户数	150	180	200	150	40	130	60	100	90	100	1 200
样本村数	5	6	8	8	7	2	5	3	5	3	52

入户调研前，对所有参与调研的人员进行调研内容、方法和任务等专业培训。

2.3 现场测试

笔者团队于 2007 年、2008 年、2013 年、2017 年多次对北京市房山区、门头沟区、怀柔区、大兴区、密云区等进行过节能改造的部分农宅的围护结构传热系数和冬季能耗情况进行了实地测试，以深入了解农宅节能改造的实际效果。测试内容包括：采用温度自记仪对选择的典型农户的室内温度进行了取暖季的连续测试，获得各主要房间温度逐时情况，以评价其室内热舒适性；按照相关国家标准的要求，选取最冷月 1 月份的几天集中对典型农户进行不同围护结构的传热系数测试；采用示踪气体衰减法测量房间的冷风渗透系数等。

2.4 能耗模拟

本文采用 DeST-h 进行农宅节能效果模拟，其基础算法是基于清华大学于 80 年代初提出的用于分析建筑热状况的状态空间法^[8]，该软件对不同气候区农宅能耗模拟方面的可靠性已在很多研究中得到了验证^[9-11]，并于 2019 年 12 月顺利通过国际权威标准 ASHRAE140 标准的全部案例测试，正式获得国际认证的建筑能耗模拟软件性能标识^[12]。

根据实地调研结果分析总结出北京农村地区的 5 种典型农宅，并对实际推广中所涉及的未改造、北墙保温、北墙保温+门窗改造、北东西三面墙保温、北东西三面墙保温+门窗改造等不同程度的保温措施进行了模拟分析，得到了各种情形所对应的能耗与节能率情况。

3 节能改造实施方案及政策梳理

北京市从 2010 年开始正式启动规模化的农宅抗震节能改造工作后，作为全国第一个大规模开展此类工作的地区，在缺少先前经验作为参照的情况下，采取边开展工作边总结的方式，不断探索出适宜性的技术措施、支持政策、实施流程及监管方案等。

3.1 节能改造技术措施

根据当地农宅特点，分别从单项改造、综合

改造和新建翻建三方面来制定不同的技术措施。

(1) 节能保温单项改造

指的是通过对农宅外墙进行外保温改造和对外门窗进行更换来达到节能保温的作用。进行该单项改造的农宅需要重点在近五年内没有拆迁计划的非规划保留村内实施，并且要求农宅结构完好、居住安全，需要经鉴定达到抗震要求且在近五年内没有改造计划。

(2) 抗震节能综合改造

指的是对农宅房屋结构进行抗震加固、并对围护结构进行节能保温改造。综合改造重点针对规划保留村内 2005 年以后建设并且抗震结构基本完好的农宅，应符合国家《建筑抗震加固技术规程》(JGJ 116-2009)和《北京市既有农村住宅建筑(平房)综合改造实施技术导则》。

(3) 新建翻建

指的是在原址翻建或者在新址新建的农宅。进行改造时需要有完善的审批手续、由本村农民或者村集体经济组织成员在集体土地上自筹资金建设的、单层或多层的自用住宅。其节能要求应符合北京市《居住建筑节能设计标准》(DBJ 11-602-2006)节能 65%设计标准中对围护结构的要求，抗震要求应遵照《北京市农村民居建筑抗震设计施工规程》、《农村危房改造抗震安全基本要求》等。

在北京市农宅节能改造中，对既有农宅的墙体保温改造普遍采用了外墙外保温，外保温的墙体集中在正房的北纵墙和东西山墙，其基本构造包括基层、界面层、粘结层、保温层、抹面层和饰面层。市政府印发的政策文件中要求外墙传热系数不大于 0.45 W/(m²·K)的要求，各区主要采用以膨胀聚苯板(EPS)和挤塑板(XPS)为主的墙体保温材料，政策文件具体规定了保温板类型、保温板厚度及防火等级要求，保温层厚度均大于或等于 50 mm，且防火等级以 B1 为主，具体实施做法由乡镇政府招标的企业负责。各区对既有农宅外门和外窗的改造方案主要采用将其更换成塑钢和断桥铝合金为主的中空双层玻璃。北京市各区围护结构节能改造技术方案情况整理后如表 2 所示。

表 2 北京市各区墙体和窗户节能改造技术方案汇总

Tab. 2 Energy-saving renovation technical solutions of wall and window in Beijing

区编号	保温材料	厚度/mm	防火等级	窗户类型
1	EPS	80	B1	塑钢/断桥铝合金中空双玻
2	EPS	≥50	B1	塑钢/断桥铝合金/普通铝合金中空双玻
3	XPS	≥50	B1、B2	塑钢/断桥铝合金中空双玻
4	XPS	≥50	B1	塑钢/断桥铝合金中空双玻
5	EPS	70	B1	塑钢/断桥铝合金/普通铝合金中空双玻
6	EPS、XPS	60~80	B1	塑钢/断桥铝合金中空双玻
7	EPS	70	B1	塑钢/断桥铝合金中空双玻
8	EPS、XPS	60	B1	塑钢/断桥铝合金中空双玻
9	EPS	≥70	B1	塑钢/断桥铝合金中空双玻
10	XPS	60	B1	塑钢/断桥铝合金中空双玻

3.2 支持政策、实施流程及监管方案

新建抗震节能型农宅工作和既有农宅节能保温改造工作从 2008 年起, 均被列入了北京市政府的“实事工程”和“社会主义新农村建设折子工程”中, 并以北京市建筑节能联席会议名义向各区分解任务, 被群众称为“暖心暖居工程”。2011 年 12 月, 市住建委、市新农办、市财政局和市规划委共同制定并出台印发关于《北京市农民住宅抗震节能建设项目管理办法(2011—2012 年)》的通知, 对北京市农宅抗震节能工作的责任进行了分工。市新农办负责具体落实各项工作, 而改造任务的责任主体是各区政府, 实施主体是各乡

镇人民政府。各区新农办负责牵头组织各政府部门制定年度实施方案, 解决工作中遇到的问题, 相关建设项目的技术指导由区住建委负责。至 2017 年, 共印发了 19 项相关政策如图 2 所示, 用于规范和指导改造工作的顺利推进, 其中涵盖了农宅改造类型、改造目标、改造方法、奖励资金、项目监管、审计验收以及各政府部门的责任分配。

北京市农宅抗震节能改造工作流程总体如图 3 所示, 主要由申报、确户、施工、验收以及资金拨付五部分组成。在实施过程中各区具体操作细节会略有差别。



图 2 北京市农宅抗震节能改造政策文件(2010—2017 年)

Fig. 2 Policy documents for anti-seismic and energy-saving renovations in Beijing (2010—2017)

(1) 申报

本着自愿原则,农宅抗震节能改造申请分为单户(散户)改造申请和整村改造申请。对于单户改造,农户需向村委会提出申请,填报《单项改造、综合改造项目申请信息表》或《新建翻建项目申请信息表》,村委会需要对农户申报的信息进行核实,并公示五天,经过核实公示的申请信息加盖公章后报乡镇政府审核。整村的改造需通过村民代表大会的讨论,在代表签字后报乡镇政府审核。

(2) 确户

乡镇政府对各村委会报来的申报项目进行初步审查,审查通过后报送区新农村办公室进行审定,审定通过后报送市新农村办公室确户。

(3) 施工

市政府提倡单项改造的项目集中建设,统一施工单位和建筑材料以达到保证施工质量、降低施工成本的目的。同时也允许农户自主建设,但自主建设所选择的施工单位应是有资质的,所用的工匠应是经过培训取得专业资格证书的,建筑耗材提倡在区住建委定期发布的农民住宅建材产品供应商名录中选择。

在农宅综合改造之前,需通过有资质的房屋评估鉴定机构对该农宅评估鉴定。鉴定结论应围绕该农宅是否满足建筑抗震鉴定要求、是否应对该农宅采取加固、不加固或拆除等措施。从各区提供的技术资料来看,综合改造房屋的鉴定依据包括但并不局限于:《检测报告》、《建筑抗震鉴定标准》GB 50023-2009、《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010、《建筑抗震鉴定与加固技术规程》DB11/T 689-2009、《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344-2004、《砌体工程现场检测技术标准》GB/T 50315-2011、《房屋结构安全鉴定标准》DB11/T 637-2009、《建筑工程抗震设防分类标准》DB 50223-2008、《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012、《砌体结构设计规范》GB 50003-2011、《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010、《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292-1999。符合鉴定要求的农宅,该房屋评估鉴定机构应出具综合改造实施方案,经区住建委审核通过后实施。

新建翻建从各区验收情况来看,多为农户自主建设。个别险村搬迁的村有整村翻建的情况存在,由镇政府统一实施改造。并且由于近年来新宅基地很少被批复,新建翻建改造以翻建居多。市政府出台的政策规定,新建翻建的土地管理应按照《北京市村庄规划建设管理指导意见》执行。

其改造设计方案可参照《新农村住宅设计图集》(09BN 续),也可由有资质的设计单位出具,但需经过施工图审查机构审查后才能实施。对于跨度不超过6m的平房,设计可由以下施工人员完成:1)有资质的个人设计,包括:注册结构工程师、注册建筑师、注册建造师、注册监理工程师;2)取得培训合格证书的村镇建筑工匠。施工实施需由有资质的施工单位承担,农户个人或村集体要在开工前到乡镇政府办理工程报建备案手续并提供:宅基地证明文件、乡村建设规划许可文件以及与施工方签订的建设协议。

农宅改造项目进度信息需每月按时填报《单项改造、综合改造项目进度信息表》或《新建翻建项目进度信息表》,并录入北京市农民住房新建改造档案管理信息系统。在所有项目建设中,资料完整留存至关重要,具体体现在项目开工前、施工中及建设完成后的重要影响资料,能验证进行改造的农宅符合抗震节能保温要求的关键信息,如:地基深度、梁柱节点、保温层厚度等等。

(4) 验收流程

在农宅改造项目完成后,由各方签字分户验收信息表,即《单项改造、综合改造项目验收信息表》或《新建翻建项目验收信息表》。村委会将已完成农宅改造的项目报到乡镇政府进行核查、录入信息管理系统,再由乡镇政府报到区新农办、区住建委审核存档,最后由各区新农办报到市新农办确认。验收合格后,剩余奖励资金申请程序就可以启动,由区财政局提出申请。

从2011—2015年之间出台的政策来看,《单项改造、综合改造项目验收信息表》或《新建翻建项目验收信息表》验收意见方规定有所不同。在2011年印发的《北京市农民住宅抗震节能建设项目管理办法(2011—2012)年》的通知中规定,进行单项改造、综合改造的项目需进行四方验收,包括:农户户主、村委会、监理方、乡镇人民政府。而进行新建翻建改造的项目则需六方验收,即:农户户主、设计方、施工方、村委会、监理方以及乡镇人民政府。在2012年发布的《关于北京市农民住房新建改造档案管理信息系统功能升级调整的通知》中,对新建翻建项目的验收调整为五方验收,包括:农户户主、设计方、施工方、监理方、乡镇人民政府。

在对各区政策调研中发现,验收签字方会有细微不同。比如,不同于市政府的四方验收,房山区和大兴区对于单项改造、综合改造的项目规

定为五方验收,包括:验收农户户主、村委会、施工方、监理方、乡镇人民政府。门头沟区对单项改造、综合改造项目进行了六方验收,即:农户户主、村委会、监理方、乡镇人民政府、区住建委、区新农办。

4 节能改造效果分析

4.1 室内热舒适

节能改造可以显著改善室内热环境状况,提高了取暖季室内温度。入户调研显示,农户所期望的冬季室内温度达 $19.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,农宅节能改造前平

均室温为 $15.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,节能改造后平均室温为 $17.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均提高了 $2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,较为接近期望值。从2016年开始,北京市统一开展“煤改清洁能源”工作,煤改后农宅取暖户室内平均温度为 $17.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,与节能改造后基本持平。

4.2 农户满意度

农户对操作流程、施工质量、节能效果和自筹费用方面达到满意和非常满意的总比例都在80%以上,不满意农户比例都在10%以下,其中对操作流程、节能效果和自筹费用方面的不满意率分别仅为1%、2%和3%。

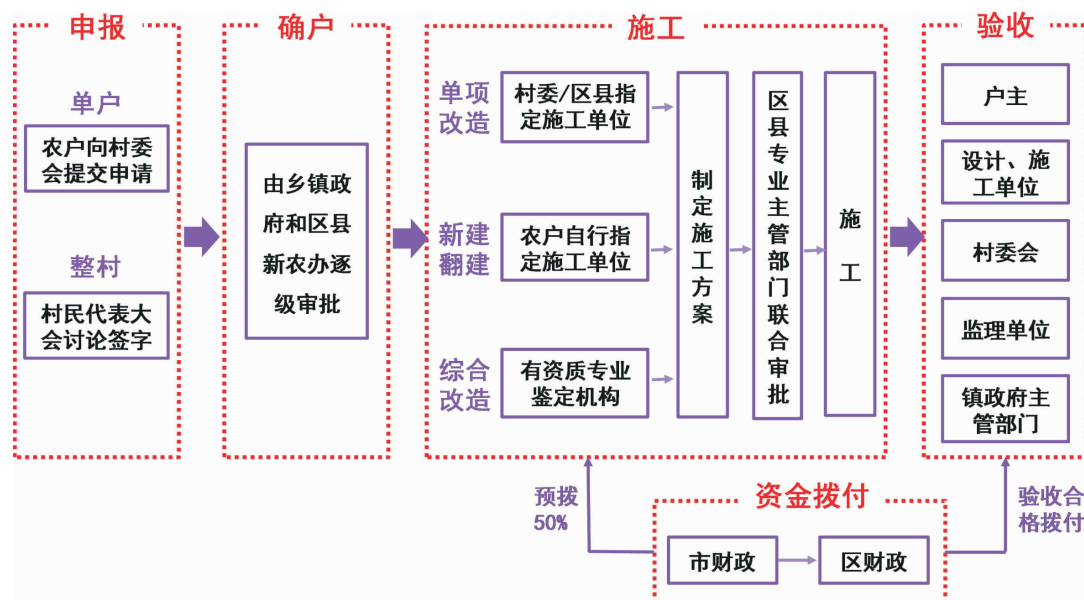


图3 北京市农宅抗震节能保温改造工作实施流程

Fig. 3 The implementation process of anti-seismic and energy-saving renovations in Beijing

4.3 冬季取暖能耗

自2008至2016年底,北京市已进行了71万户的农村改造工作,为定量计算全北京市农宅保温改造的平均节能率,采用先按大类(单项改造、新建翻建、综合改造)估算再加权求和的方法进行。由“北京市农民住房新建改造档案管理信息系统”统计得到,单项改造、新建翻建、综合改造农户量占北京市总量的百分比分别为72%、21%和7%。

不同改造技术方案(包括北墙保温、北东西三面墙保温、北墙保温+门窗改造、北东西三面墙+门窗改造共计四种情形)所占的比例,由调研统计得到,节能率由1.4节模拟计算得到,具体如表3所示。

由此,可以计算得到北京市农宅保温改造的平均节能率约为28.3%。根据文献[7]于2013年

对北京市4000多户农户的入户调研统计结果,北京市农村2012年的生活用能中采暖能耗为442万tce,结合上述的农宅保温改造的平均节能率可以计算得到,如果以2012年为基准能耗年,则北京市截至到2016年底经过对71万户的农宅保温改造工作后,每年可以实现节能量59万tce;未来北京市全部完成149.5万户农户的节能改造后,每年的总节能量可达125万tce,相当于一台60万kW发电机组全年满负荷发电时的总耗煤量。

4.4 污染物减排量估算

根据文献[13]的测试和统计结果,2012年北京市农村用于土暖气取暖所使用的散煤、煤球、蜂窝煤等固体燃料所排放的 $\text{PM}_{2.5}$ 和各类气态污染物的数量,以及通过围护结构保温改造后节能所带来的污染物减排量,如表4所示。

表 3 北京市农宅改造不同技术方案所占比例和节能率模拟值参数表

Tab. 3 Ratio and energy saving rate of different energy saving renovation technical solutions in Beijing

类型	改造类型	技术方案所占比例/%	节能率模拟值/%
单项改造	北墙	7	12
	北东西三面墙	5	19
	北墙+门窗改造	36	26
	北东西三面墙+门窗改造	53	31
新建翻建	北墙	1	12
	北东西三面墙	1	19
	北墙+门窗改造	18	26
	北东西三面墙+门窗改造	81	31
综合改造	北墙	2	12
	北东西三面墙	3	19
	北墙+门窗改造	16	26
	北东西三面墙+门窗改造	80	31

表 4 北京农村取暖 PM_{2.5} 和各气态污染物的排放基准量和节能改造带来的减排量

Tab. 4 Baseline and reduction of pollutant emissions from rural heating in Beijing

污染物种类	PM _{2.5} /万 t	CO/万 t	CO ₂ /万 t	SO ₂ /万 t	NO _x /万 t
基准排放量	1.79	32.3	1274.4	0.69	1.1
当前减排量	0.24	4.31	170.1	0.09	0.15
未来总减排量	0.51	9.15	360.7	0.20	0.31

从表 4 中可知，如以 2012 年为基准排放年，则北京市截至到 2016 年底经过对 71 万户的农宅保温改造工作后，每年实现减少约 0.24 万 t 的 PM_{2.5} 排放、4.3 万 t 的 CO 排放、170 万 t 的 CO₂ 排放、0.09 万 t 的 SO₂ 排放和 0.15 万 t 的 NO_x 排放；未来北京市全部完成 149.5 万户农户的节能改造后，每年可以减少约 0.5 万 t 的 PM_{2.5} 排放、9 万 t 的 CO 排放、360 万 t 的 CO₂ 排放、0.2 万 t 的 SO₂ 排放和 0.3 万 t 的 NO_x 排放。

5 结论

北京市是首个把既有农宅节能改造从整市层面进行规模化和系统化推广的地区，在技术方案、管理机制和推广模式等方面摸索出了很多经验。通过政府座谈、实地调研、现场实测、模拟分析等研究方法，对北京市农宅节能改造的实施方案和政策体系等进行了梳理分析和效果评估，总结得到如下结论：

(1)北京市通过以政策为指引、示范为导向、投入为保证，建立了长效机制，分区实施落实，切实推进农宅抗震节能民生工程，在推进过程中

采取了科学有效的多部门协调、工作联动机制和管理服务体系，具有很强的借鉴意义。

(2)北京市农宅保温改造的平均节能率约为 28.3%，节能改造后平均室温提高了 2.6℃；农户对操作流程、施工质量、节能效果和自筹费用方面达到满意和非常满意的总比例都在 80% 以上，不满意农户比例都在 10% 以下。

(3)北京市所推广的规模化农宅节能改造每年可节省上百万 tce 以及大量的污染物排放，取得了显著的经济、环境和社会效益。

(4)我国北方其他地区农宅的围护结构节能改造实施方案可借鉴和参考北京的方案，但要注意结合自身特点做进一步优化，形成更加适用于本地区的实施方案。

参考文献 References

[1] 清华大学建筑节能研究中心编著. 中国建筑节能年度发展研究报告[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012, 2016, 2020.
THUBERC. Annual research report on the development of building energy efficiency in China[M]. Bei-

- jing: China Building Industry Press, 2012, 2016, 2020.
- [2] 郑竺凌,李永红,杨旭东. 北京市农村住宅节能研究[J]. 建筑科学, 2008(4):9-14.
ZHENG Z L, LI Y H, YANG X D. Study on energy efficiency of rural residential building in Beijing[J]. Building Science, 2008 24(4): 9-14.
- [3] 赵岩,叶建东,邢永杰. 北方农村既有居住建筑节能改造[J]. 建设科技, 2010(5):43-46.
ZHAO Y, YE J D, XING Y J. Renovations of existing residential buildings in northern rural areas[J]. Construction Technology, 2010(5): 43-46.
- [4] 单明,杨铭,王鹏苏,等. 北方村镇建筑节能村级示范[J]. 建设科技, 2011(3):50-52.
SHAN M, YANG M, WANG P S, et al. Village-level demonstration of building energy efficiency in northern rural areas[J]. Construction Technology, 2011(3): 50-52.
- [5] 邢永杰,叶建东. 北京市农村节能新居建设与节能改造[J]. 建设科技, 2012(9):42-46.
XING Y J, YE J D. Construction and energy-saving renovation of new rural residential buildings in Beijing[J]. Construction Technology, 2012(9): 42-46.
- [6] 北京日报. 实施乡村振兴战略促进城乡融合发展[ER/OL]. http://k.sina.com.cn/article_1893892941_70e2834d02000jxck.html; 2019. 9. 23.
Beijing Daily. Implement the strategy of rural revitalization to promote integrated urban and rural development[ER/OL]. http://k.sina.com.cn/article_1893892941_70e2834d02000jxck.html; 2019. 9. 23.
- [7] 章永洁,蒋建云,叶建东等. 京津冀农村生活能源消费分析及燃煤减量与替代对策建议[J]. 中国能源, 2014, 36(7):39-43.
ZHANG Y J, JIANG J Y, YE J D, et al. Analysis of rural energy consumption in Beijing-Tianjin-Hebei region and suggestions on coal consumption reduction and substitution measures[J]. China Energy, 2014, 36(7): 39-43.
- [8] YAN D, XIA J J, TANG W Y, et al. DeST-An Integrated building simulation Toolkit Part I: Fundamentals[J]. Building Simulation, 2008 (1):95-110.
- [9] 黄莺,王昭俊. 基于 DeST 对夏热冬冷地区农宅能耗的分析[J]. 建筑技术开发, 2016, 43(6):85-87.
HUANG Y, WANG Z J. Energy consumption analysis of a rural house in hot summer and cold winter area based on DeST [J]. Building Technology Development, 2016 43(6):85-87.
- [10] 王建华,黄跃昊. 甘肃平凉地区农宅能耗及基础室温[J]. 建筑技术, 2016, 47(7):619-622.
WANG J H, HUANG Y H. DeST simulation study on energy consumption and basic room temperature in rural residential building in Pingliang city of Gansu province [J]. Architecture Technology, 2016, 47 (7): 619-622.
- [11] 明星. 基于 DeST-h 的北方寒冷地区农宅节能改造设计与研究[J]. 节能, 2019(12):10-12.
MING X. Design and study on the rural building energy saving renovation in northern cold region based on DeST-h [J]. Energy Conservation, 2019 (12): 10-12.
- [12] 清华大学建筑节能研究中心. 我国完全自主知识产权的建筑性能模拟分析平台 DeST 顺利通过国际权威标准 ASHRAE140 认证[ER/OL]. <http://www.chinahvac.com.cn/Article/Index/58842019.12.26>.
THUBERC. DeST, China's fully proprietary intellectual property modeling and analysis platform for building performance has successfully passed the ASHRAE 140 certification. <http://www.chinahvac.com.cn/Article/Index/58842019.12.26>.
- [13] DENG M S, LI P C, MA R J, et al. Air pollutant emission factors of solid fuel stoves and estimated emission amounts in rural Beijing[J]. Environment International(Accepted).

(编辑 沈 波)