

北京大学能源研究院气候变化与能源转型项目

# 中国散煤综合治理 研究报告 2022

CHINA DISPERSED COAL MANAGEMENT  
REPORT 2022



北京大学能源研究院  
INSTITUTE OF ENERGY

2022年9月20日



北京大学能源研究院  
INSTITUTE OF ENERGY

北京大学能源研究院是北京大学下属独立科研实体机构。研究院以国家能源发展战略需求为导向，立足能源领域全局及国际前沿，利用北京大学学科门类齐全的优势，聚焦制约我国能源行业发展的重大战略和科技问题，按照“需求导向、学科引领、软硬结合、交叉创新、突出重点、形成特色”的宗旨，推动能源科技进展，促进能源清洁转型，开展专业及公众教育，致力于打造国际水平的能源智库和能源科技研发推广平台。

## 气候变化与能源转型项目

北京大学能源研究院于 2021 年 3 月启动了气候变化与能源转型项目，旨在助力中国应对气候变化和推动能源转型，实现 2030 年前碳达峰和 2060 年前碳中和的目标。该项目通过科学研究，设立有雄心的目标，制定清晰的路线图和有效的行动计划，为政府决策提供建议和支持。

该项目积极推动能源安全、高效、绿色和低碳发展，加速化石能源消费的减量化直至退出。该项目具体的研究领域涵盖宏观的能源与环境、经济和社会的协调综合发展；化石能源消费总量控制；能源开发利用技术创新；电力部门向可再生能源为主体的系统转型；推动电气化；高耗能部门的低碳绿色发展；可持续交通模式；区域、省、市碳中和模式的示范推广；散煤和塑料污染治理；碳中和与碳汇；碳市场；社会公正转型等。

在此郑重感谢儿童投资基金会（CIFF）和自然资源保护协会（NRDC）对本报告的支持与帮助。

报告内容为课题组独立观点，不代表其他方的任何观点或立场。

## 系列报告

- 《中国散煤综合治理研究报告 2022》
- 《新能源为主体的新型电力系统的内涵与展望》
- 《中国典型省份煤电转型优化潜力研究》
- 《电力部门碳排放达峰路径与政策》
- 《中国散煤综合治理研究报告 2021》
- 《“十四五”推动能源转型实现碳排放达峰》

北大能源研究院气候变化与能源转型项目系列报告

# 中国散煤综合治理研究报告 2022

CHINA DISPERSED COAL MANAGEMENT REPORT 2022

## 执行报告

EXECUTIVE REPORT

散煤治理研究课题组

北京大学能源研究院气候变化与能源转型项目

2022 年 9 月 20 日

执行报告的主要编写成员：

贺克斌 李雪玉

散煤治理课题专家组成员（按姓氏拼音首字母排序）：

戴瀚程 任彦波 宋玲玲 田延平 童亚莉 王卫权 王兆苏 武娟妮 武亭 袁闪闪 岳涛

# 目录

◎ 前言 .....	iii
◎ 第一章 回望征途：散煤削减已过半 .....	1
(一) 散煤削减量达4.4亿吨 .....	1
(二) 工业小锅炉结构优化明显，污染排放控制有效提升 .....	3
(三) 工业小窑炉治理以淘汰落后和提升改造为主 .....	7
(四) 清洁取暖改造以农村分户式为主，北方清洁取暖率超额完成目标 .....	8
(五) 清洁取暖技术以电、气替代为主，多元化格局初步形成 .....	11
(六) 农村建筑能效提升工作开始升温 .....	17
(七) 重点区域空气质量明显改善 .....	19
◎ 第二章 思于当下：散煤治理扩围至东北、西北地区 .....	21
(一) 散煤消费以民用为主 .....	21
(二) 工业小锅炉主要分布于东北和内蒙 .....	22
(三) 建材行业小窑炉治理仍然面临淘汰落后和清洁能源替代的艰巨任务 .....	24
(四) 民用散煤治理重心转向东北和西北 .....	25
(五) 北方地区清洁取暖经济性难题依旧 .....	26

(六) 农村电气化和可再生能源利用是趋势, 但支持政策有待完善	30
(七) 农村建筑能效提升面临多重挑战	33
◎ 第三章 创见未来: 2030年全国范围内将完成散煤治理	35
(一) 散煤治理目标	35
(二) 工业小锅炉治理兼顾减污和降碳	36
(三) 建材工业小窑炉治理以淘汰落后和天然气替代为主	40
(四) 2035年农村地区可再生供暖比例可达80%	40
(五) 清洁取暖走向市场化, 多渠道化解经济性难题	42
(六) 提升新建农房能效标准、统筹既有农房节能改造	44
(七) 强化散煤治理将带来更高的健康效益	47
◎ 第四章 政策建议	49
(一) 全国范围内加强工业散煤治理及动态追踪	49
(二) 统筹构建农村能源社会化服务体系, 将清洁取暖纳入其中	50
(三) 建议编制《北方地区清洁取暖技术指南》	50
(四) 加快落实农村建筑能效提升	51
(五) 财政金融两手发力, 提高中央资金带动作用	53
◎ 附录	54
(一) 建筑节能案例	54
(二) 可再生能源供暖案例	62

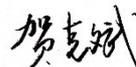
# 前言

十年前中国北方地区冬春采暖季爆发严重的大面积雾霾污染，引起了全社会的高度关注。散烧煤因量大面广、直燃直排等特点被推向了环境治理的风口。中国政府颁布的“大气十条”和“蓝天保卫战”文件，将散煤治理作为其重要内容之一。在此期间，中央政府针对民用散煤治理专门发布了“北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021）”。政策措施的强势实施、中央财政的大量投入以及环保督察制度的建立，使得我国散烧煤治理取得了显著成效。散煤治理以清洁化、减量化和清洁能源替代为主要治理路径，目前，散煤治理进程过半，散煤消费量削减过半，北方地区采暖季空气质量改善令人瞩目。中国用十年时间达到了国外发达国家用了三十年达到的空气污染治理目标。

“十四五”期间，我国散煤治理扩展到更广区域，其中民用散煤治理从重点区域转向东北和西北地区。从清洁化和低碳化协同治理的角度来看，民用散煤治理需结合新农村建设，统筹构建农村清洁、低碳能源供应和服务体系；工业散煤治理仍需持续发力，继续深入淘汰落后耗煤设施，有序推进清洁能源替代。新一轮散煤治理仍面临着如何有效发挥财政补贴的经济杠杆作用及其持续性的挑战。

从大气环境角度来讲，温室气体减排和环境质量改善是我国社会经济高质量发展的两大约束目标。“十四五”期间，力争削减散煤 2 亿吨，继续从工业和民用两个领域合力攻坚，在东北和西北地区的散煤治理上再创佳绩，努力实现 2030 年彻底根治散煤污染的目标。

自 2016 以来，我们的散煤治理课题每年认真总结散煤治理取得的进展、经验和教训，为下一年的工作提出政策建议和改进意见。历年报告以文字的方式记录中国散煤七年来治理的斗争经历和成果。2022 年报告反映了在新冠疫情肆虐的情况下，在保民生、促经济的大环境中，散煤治理取得的丰硕成果及其来之不易背后的努力。



2022 年 9 月 20 日

# 第一章 回望征途：散煤削减已过半

随着集中燃煤治理的不断突破，散烧煤污染逐渐突显出来。为了有效改善空气质量、实现煤炭清洁高效利用、提升居民健康水平，散煤治理在能源、环境等部门的相关政策文件中频频出现，且备受社会各界的关注。自 2015 年以来，经历“大气污染防治行动计划”的后期攻坚，以及“蓝天保卫战三年行动计划（2018-2020）”和“北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021）”等相关政策的协同发力，截至 2021 年底，我国散煤削减约 4.4 亿吨，散煤消费量下降了 58.7%。其中工业散煤治理贡献巨大，目前重点区域已经基本完成工业小锅炉的散煤治理，工业小窑炉的落后产能淘汰、清洁能源替代和改造升级等工作也取得了积极成效；民用散煤治理以北方地区清洁取暖为重要抓手，自 2017 年以来，清洁取暖改造以京津冀及周边、汾渭平原重点区域的县城和农村为主，并于 2021 年开始扩展至西北和东北地区，目前北方地区已完成清洁取暖改造超过 3500 万户，其中“煤改电”和“煤改气”是主要技术选择。与此同时，农村建筑能效提升在政策层面得到了越来越高的重视；可再生能源供热技术多元化格局初步形成；重点区域空气质量得到了明显改善。

## （一）散煤削减量达 4.4 亿吨

2013 年，国务院发布《大气污染防治行动计划》（下文简称《大气十条》），着重强化以细颗粒物为重点的大气污染防治工作。中国环境保护的重点开始从遏制污染持续恶化的趋势，向总体改善生态环境质量转变。在此背景下，散煤治理成为了环境治理的风口。2014 年 9 月，国家六部委联合发布的《商品煤质量管理暂行办法》首次从煤质的角度提出散煤的概念，即“京津冀及周边地区、长三角、珠三角限制销售和使用灰分 $\geq 16\%$ 、硫分 $\geq 1\%$ 的散煤”。2015 年 5 月，国家能源局印发《煤炭清洁高效利用行动计划（2015 - 2020 年）》的通知，从工业和民用两个角度提出了散煤治理策略，如“发展热电联供、集中供热等供热方式，以天然气（煤层气）、电力等清洁燃料替代分散中小燃煤锅炉”、“加大民用散煤清洁化治理力度”。2016 年 3 月，生态环境部公布的《农村散煤燃烧污染综合治理技术指南（试行）》进一步明确民用散煤的定义，即民用散煤（Civil bulk coal）是指未经成型加工的用于居民炊事、取暖等分散式使用的动力用煤。

2015 年，散煤治理研究课题从煤炭质量、利用方式、应用领域三个方面确定了散煤治理课题的研究边界，从源头端来看，灰分和硫分含量高、煤质差；从使用端来看，单体体量小且分散使用，燃烧过程效率很低；从排放端来看，属于低矮面源，大多数为直燃直排，没有或缺少足够的脱硫、脱硝、除尘等处理设备或措施，污染物排放强较高，对空气质量影响较大。具体来看，本课题研究的散煤主要包括 35t/h 及其以下的工业小锅炉和未能实现达标排放的工业小窑炉，以及民用的炊事、热水和供热小煤炉等散烧煤，以及农用、商用等其他方面的散烧煤。

据课题组初步估算，2015 年散烧煤消费总量约 7.5 亿吨，以工业散煤为主，占比超过 60%。经过《大气污染防治行动计划》（下文简称《大气十条》）的攻坚行动，以及《蓝天保卫战三年行动计划》和《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021）》的高效落实，散煤治理成效显著，2015-2022 年间，散煤消费量下降了 58.7%。如图 1-1 2015 年和 2021 年散煤消费量及其构成图所示，截至 2021 年底，散煤消费量在 2015 的基础上削减了约 4.4 亿吨，其中工业小锅炉散煤治理贡献达 48%，工业小窑炉治理贡献约 29%，民用散煤治理贡献约 20%。

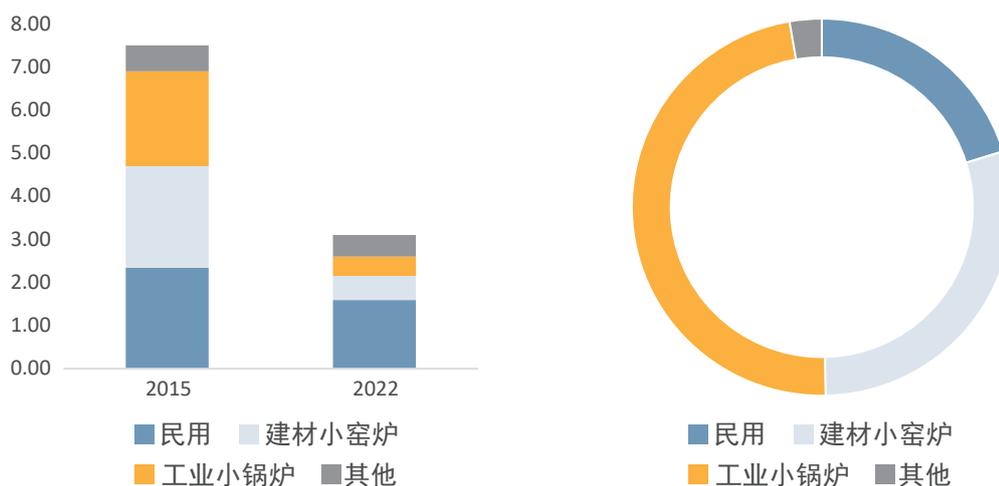


图 1-1 2015 年和 2022 年散煤消费量及其构成图

（说明：左图为 2015 年和 2021 年散煤消费量及其构成；右图为 2015-2021 年间散煤削减量的来源及构成。）

在过去的 7 年时间里，工业散煤实现了快速下降，其中建材行业小窑炉散烧煤用量下降了约 76%<sup>1</sup>，工业小锅炉散煤用量下降了约 80%<sup>2</sup>。自 2017 年以来，北方清洁取暖有效推动了民用散煤治理，截至 2021 年底，民用散煤用量下降了约 32%。不同领域散煤消费的变化情况详见图 1-2。

1 假设原提升改造类建材工业小窑炉完成改造升级并实现达标排放。若不考虑提升改造类小窑炉的情况，则建材行业工业小窑炉散煤削减约 66.7%。

2 2021 年工业小锅炉数据是通过全国排污许可证管理信息平台获取。

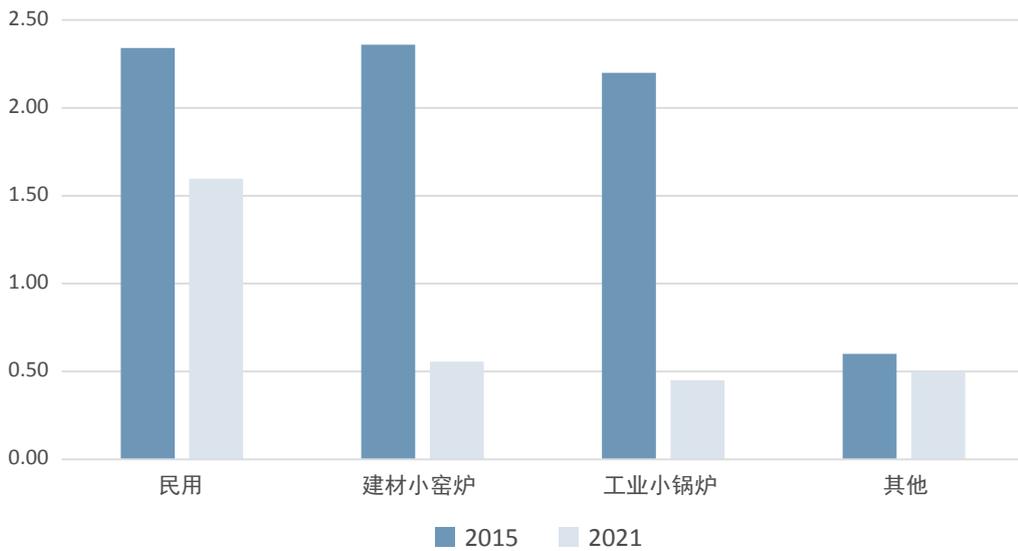


图 1-2 2015 年和 2021 年各领域散煤消费量变化

## (二) 工业小锅炉结构优化明显，污染排放控制有效提升

### (1) 10t/h 以下小锅炉煤耗占比显著下降

自 2015 年以来，我国工业锅炉结构不断优化，向大容量和高参数方向快速发展。截至 2021 年，我国 35t/h 及以下燃煤工业小锅炉的容量占比大幅下降，由 2015 年的 48% 下降至 2021 年的 19%。从燃煤工业小锅炉（35t/h 及以下）的构成来看，截至 2021 年底，10t/h 以下燃煤小锅炉煤耗量在燃煤工业小锅炉燃煤总量中的占比由 2015 年 45% 下降至 16%。由此可见，在过去几年工业小锅炉的治理成效显著，尤其是 10t/h 及以下燃煤工业小锅炉的淘汰关停。

从时间进程来看，2016-2017 年是“大气十条”的攻坚阶段，以控制煤炭消费总量、推进煤炭清洁利用、加快淘汰落后产能、扩大城市高污染燃料禁燃区范围等为主要措施，对布局分散、装备水平低、环保设施差的小型工业企业及其使用的小锅炉进行了有效治理，并经历了史上最严且力度最大的环保督查。这一阶段，工业小锅炉散烧煤大幅下降。2018-2020 年是“蓝天保卫战三年行动计划”全面实施阶段，重点区域

35t/h 及以下工业小锅炉基本得到了全面治理。根据课题组掌握的基于全国排污许可证管理信息平台获取的燃煤工业锅炉数据，2021 年全国 35t/h 以下燃煤小锅炉的总容量和煤耗量分别较 2017 年下降 39.2% 和 42.8%。削减量主要来自于重点区域（京津冀及周边地区、长三角地区、汾渭平原）35t/h 以下和全国范围内 10t/h 及以下燃煤小锅炉的进一步淘汰及清洁能源升级改造。

## （2）燃煤小锅炉污染物排放控制有效提升

在“蓝天保卫战三年行动计划”实施期间，工业燃煤小锅炉的污染控制技术及其应用得到了有效提升。首先，2021 年燃煤小锅炉全部安装除尘器，颗粒物控制技术特征已从过去的以低效除尘技术（以湿法除尘技术为代表）为主转变为以高效除尘技术（袋式除尘技术为代表）为主。2021 年燃煤小锅炉颗粒物控制技术主要类型为旋风除尘、湿法除尘和袋式除尘，其中 10t/h 以下燃煤小锅炉旋风除尘和湿法除尘应用占比高于 10t/h 及以上燃煤小锅炉，10t/h 以上燃煤小锅炉袋式除尘和电袋除尘安装比例更高。燃煤小锅炉颗粒物控制技术类型变化情况详见图 1-3。

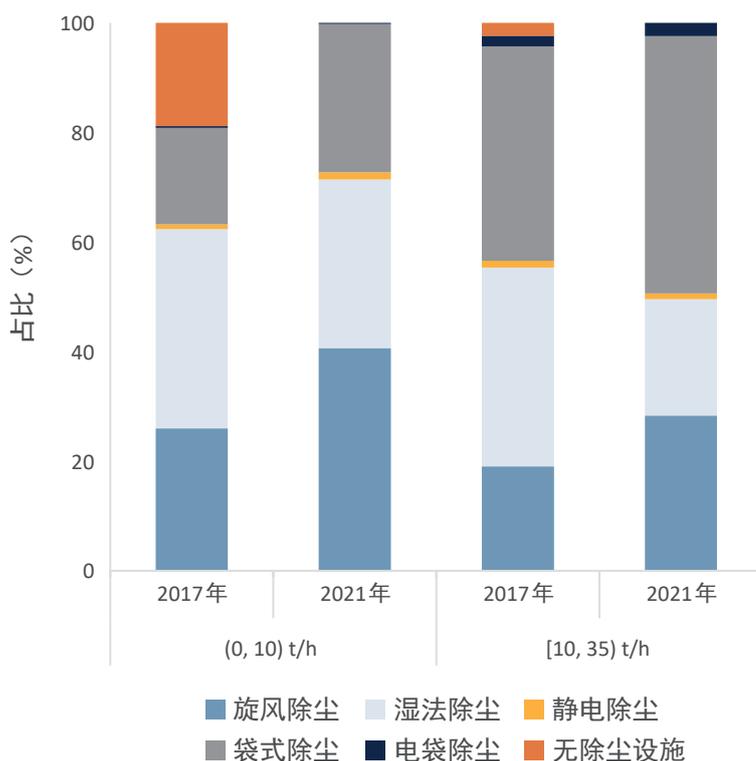


图 1-3 燃煤小锅炉颗粒物控制技术类型变化情况

其次，燃煤小锅炉主要烟气 SO<sub>2</sub> 污染控制技术安装占比明显提升，主要技术类型为湿法脱硫技术。2021 年，10t/h 及以上燃煤小锅炉采用湿法脱硫技术的锅炉容量占比

达 75.2%，较 2017 年增加了 8.5%；未采取脱硫技术的锅炉容量占比 21.5%，较 2017 年减少了 8.4%。10t/h 以下燃煤小锅炉仍未安装脱硫设施的锅炉容量占比约为 46.8%，较 2017 年下降 21.2%；湿法脱硫技术应用比例提高显著，应用比例较 2017 年提高 20.6%。燃煤小锅炉二氧化硫污染控制技术类型变化情况详见图 1-4。



图 1-4 燃煤小锅炉二氧化硫污染控制技术类型变化情况

(其他脱硫技术指的是除干法脱硫、湿法脱硫、炉内脱硫之外的技术)

最后，2021 年 10t/h 以下和 10t/h 及以上燃煤小锅炉安装有 NO<sub>x</sub> 污染控制设施的锅炉容量占比分别较 2017 年水平提高了 82.3% 和 59.2%。然而，10t/h 以下和 10t/h 及以上燃煤小锅炉仍有锅炉容量占比分别为 14.40% 和 18.25% 的锅炉未安装烟气脱硝设施。燃煤小锅炉氮氧化物污染控制技术类型变化情况详见图 1-5。

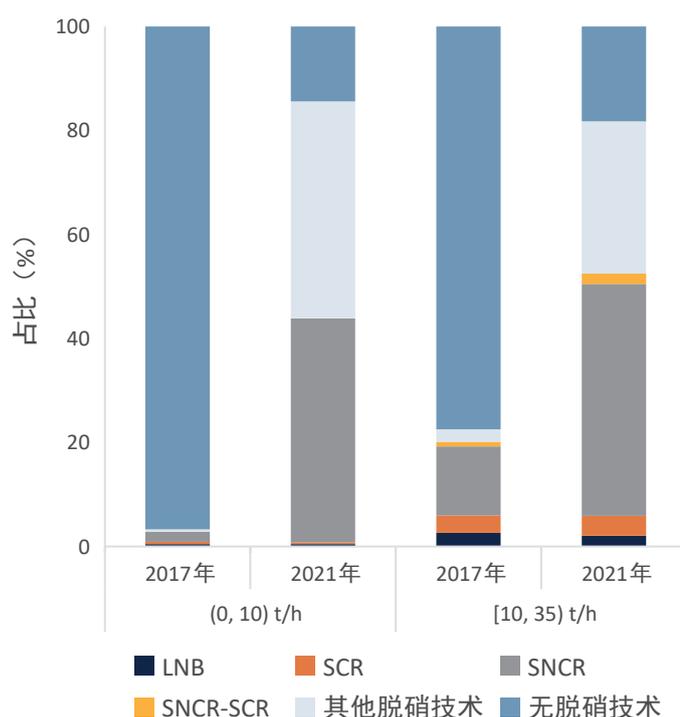


图 1-5 燃煤小锅炉氮氧化物污染控制技术类型变化情况

(其他脱硝技术指的是除 SNCR、SCR、SNCR-SCR 之外的技术)

### (3) 华北地区小锅炉污染物排放贡献最小

从工业燃煤小锅炉的污染物排放量来看，2021 年燃煤小锅炉颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和碳排放量分别约为 16.3 万吨、10.9 万吨、11.2 万吨和 8796 万吨。<sup>3</sup> 各地区燃煤小锅炉污染物排放量与燃煤小锅炉空间分布基本一致，如图 1-6 中国燃煤小锅炉污染物排放量区域分布图所示，燃煤小锅炉污染物排放贡献最小的是华北地区，得益于近年来京津冀及周边地区、汾渭平原重点区域的工业小锅炉散煤治理。燃煤工业小锅炉的污染和排放问题最为突出的是东北地区，其颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和碳排放量占全国的比例分别为 44.0%、44.9%、61.8% 和 40.1%。其次为华东地区和西北地区。当前工业小锅炉构成和污染物分布特点为下一步散煤治理工作指出了新的方向。

<sup>3</sup> 根据 2021 年燃煤小锅炉煤耗量和污染控制技术应用情况，采用排放因子法核算。

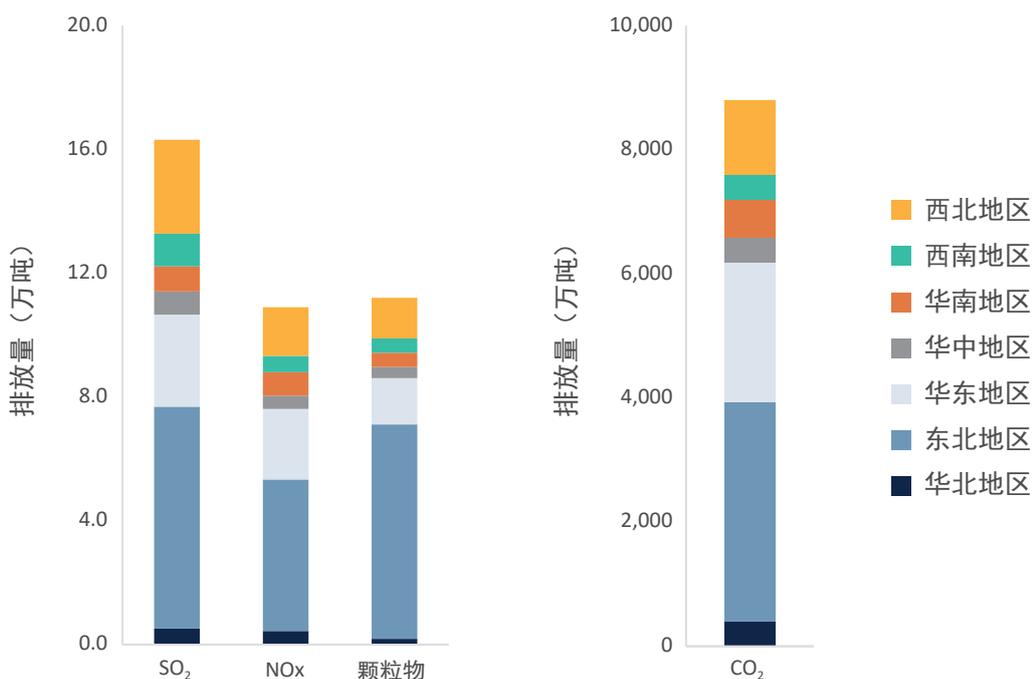


图 1-6 中国燃煤小锅炉污染物排放量区域分布图

### (三) 工业小窑炉治理以淘汰落后和提升改造为主

在工业小窑炉散烧煤治理的研究中，本课题重点选择建材行业进行分析。建材行业小窑炉散烧煤主要用于砖瓦、石灰、陶瓷等行业，其中砖瓦行业企业大多分布在乡村，数量众多，具有规模小、投资少、很难形成集约化产业集群。由于整个行业装备水平低、人员素质不高及产品中低端等原因，落后产能问题十分严重。因此，在过去几年中，砖瓦行业一直是小窑炉散烧煤治理的重点行业之一，而淘汰落后和提升改造是建材行业小窑炉治理的重要举措。

如图 1-7 所示，截至 2021 年底，建材行业小窑炉散烧煤大幅削减，在 2015 年的基础上削减了约 76%。其中，散煤削减主要来自砖瓦行业，占比 75%，其次是建筑卫生陶瓷和石灰行业。建材行业小窑炉治理的主要措施包括淘汰落后产能、清洁能源替代、提升改造以及错峰生产等。其中淘汰落后产能对建材行业小窑炉散烧煤减量的贡献最高，达 42%；其次为提升改造类（以隧道窑为主），贡献约 40%；清洁能源替代和错峰生产措施的贡献依次为 11% 和 7%。

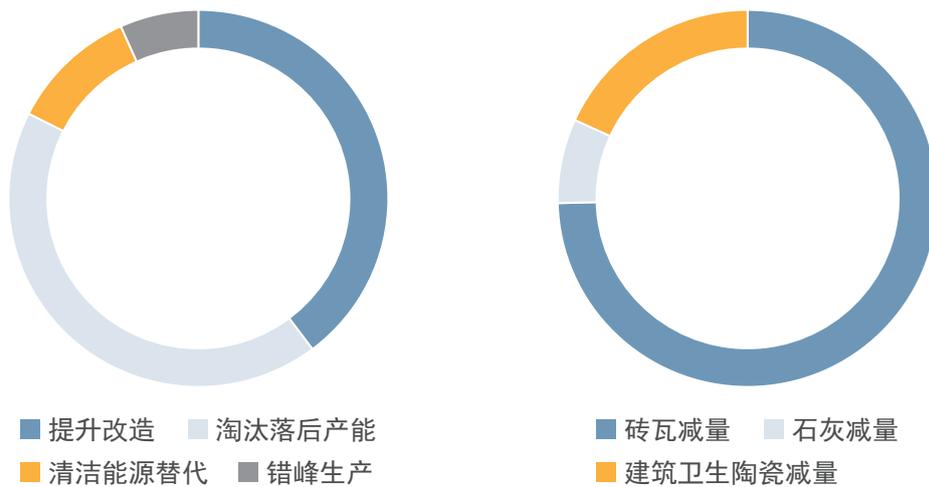


图 1-7 建材行业小窑炉散煤减量来源以及治理措施的减量贡献

2015 年以后，我国产业结构调整步伐加快，其中砖瓦企业锐减到目前的 2.1 万家，砖产量只有高峰时期的 60%。<sup>4</sup> 根据工信部、环境部和国家安全监管总局《关于加快烧结砖瓦行业转型发展的若干意见》（工信部联原 [2017]91 号）文件要求，全面落实提升和优化产业结构，淘汰落后产能的各项计划和工作，全面提升砖瓦行业的核心竞争力，坚决淘汰落后的轮窑和自然干燥生产工艺，坚决关闭无组织排放大气污染物的落后工艺生产线，推动砖瓦行业淘汰落后产能和实施错峰生产，加快落后生产工艺技术及装备退出市场工作。特别是国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2019 年本）》发布以来，行业大量落后产能淘汰。

## (四) 清洁取暖改造以农村分户式为主，北方清洁取暖率超额完成目标

2017 年十部委联合印发《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021 年）》（以下简称“规划”），在规划实施的五年时间里，中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点城市和支持城市共 63 个，其中 55 个城市位于京津冀及其周边地区、汾渭平原，8 个位于

4 中国建筑材料联合会，中国建筑材料工业碳排放报告(2020年度)，2021.03.

东北和西北地区，详见表 1-1。截至 2021 年底，上述试点和支持城市累计完成清洁取暖改造约 3552 万户，2017-2021 年北方地区清洁取暖改造规模如图 1-8 所示。其中，清洁取暖改造以县城及农村为主，改造规模占比 76%，城区改造规模占比 24%。

表 1-1: 2017-2021 年中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点和支持城市名单

年份	批次	数量	城市
2017 年	第一批	12	天津市、石家庄市、唐山市、保定市、廊坊市、衡水市、太原市、济南市、郑州市、开封市、鹤壁市、新乡市
2018 年	第二批	23	邯郸市、邢台市、张家口市、沧州市、阳泉市、长治市、晋城市、晋中市、运城市、临汾市、吕梁市、淄博市、济宁市、滨州市、德州市、聊城市、菏泽市、洛阳市、安阳市、焦作市、濮阳市、西安市、咸阳市
2019 年	第三批	8	定州市、辛集市、三门峡市、济源市、铜川市、渭南市、宝鸡市、杨凌示范区
2021 年	第四批	20	烟台市、忻州市、泰安市、承德市、大同市、许昌市、秦皇岛市、潍坊市、榆林市、朔州市、延安市、北京市、阜新市、佳木斯市、包头市、海西州、乌鲁木齐市、辽源市、兰州市、吴忠市



图 1-8 2017-2021 年北方地区城区、县城及农村清洁取暖改造规模 (万户)

农村地区清洁取暖改造方式仍以分户式为主，在调研的 9 个城市（兰州、辽源、承德、泰安、潍坊、大同、忻州、吴忠、许昌）中，在 2021 年实施任务中，农村分户式清洁取暖改造占比 80% 左右，集中式占比约 20%。除许昌和辽源农村清洁取暖改造以集中式为主外，其余城市均以分户式改造为主，参见图 1-9。

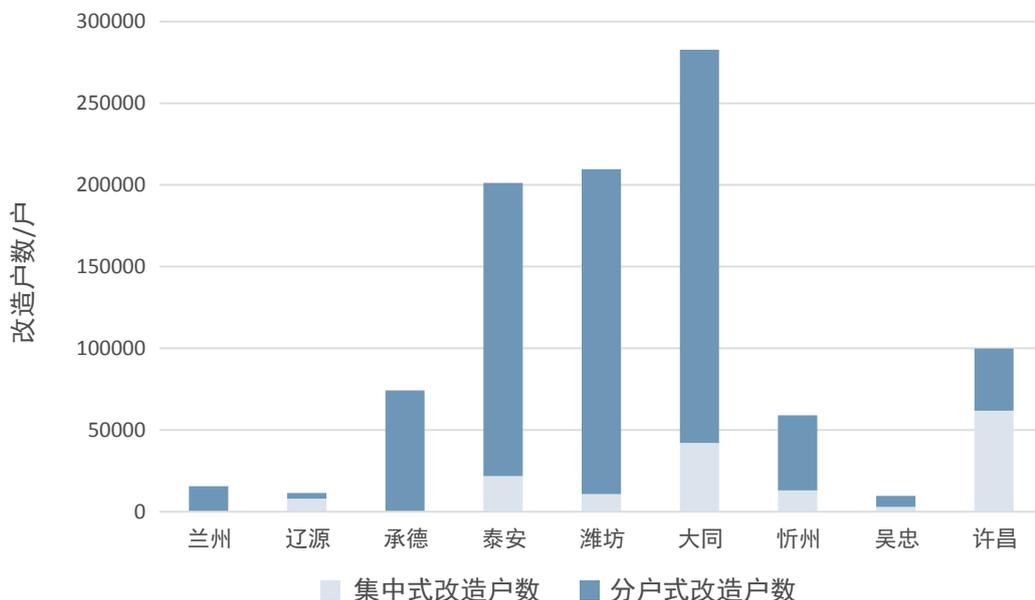


图 1-9 项目城市 2021 年农村清洁取暖集中式与分户式分布图

随着北方地区清洁取暖试点和支持城市清洁取暖改造的推进，北方地区清洁取暖率逐年提高，如图 1-10 所示。根据 2022 年 3 月国务院公布的《政府工作报告》，截至 2021 年底，我国北方地区清洁取暖面积约 156 亿平方米，清洁取暖率达到 73.6%，替代散煤（含低效小锅炉用煤）1.5 亿吨以上，相比 2016 年，2021 年北方地区清洁取暖率提高了 35.4 个百分点，超预期完成了《规划》中“2021 年北方地区清洁取暖率达到 70%，替代散煤（含低效小锅炉用煤）1.5 亿吨”的目标任务。

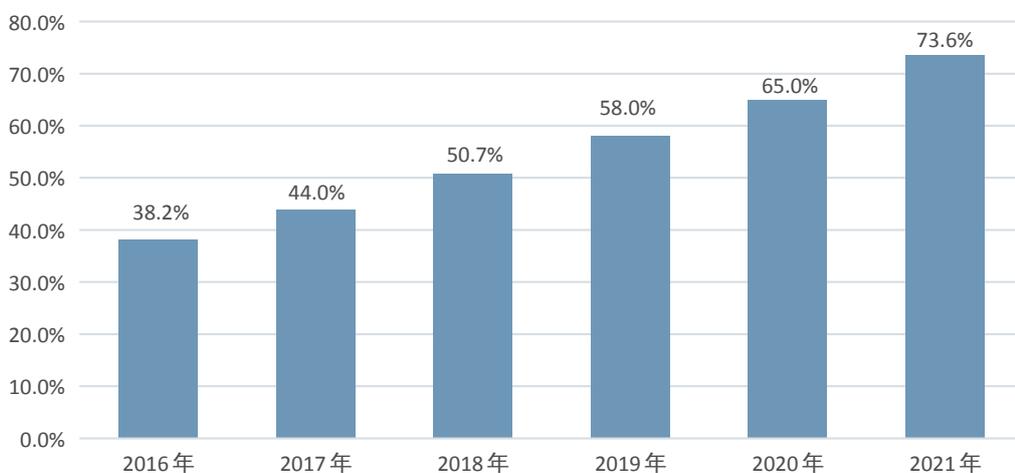


图 1-10 北方地区清洁取暖率趋势变化图

## (五) 清洁取暖技术以电、气替代为主，多元化格局初步形成

### (1) 清洁取暖以电、气为主

从技术路径的选择来看，北方地区的清洁取暖改造仍然以“煤改电”和“煤改气”为主，但技术应用多元化的格局已经初步形成。根据 2017-2020 年京津冀及周边地区、汾渭平原农村地区清洁取暖技术应用情况来看，清洁取暖改造规模约 2500 万户，其中煤改气占比 52%、煤改电占比 38%、煤改集中供热占比 7%，煤改地热、生物质和太阳能等其他方式占比 3%<sup>5</sup>，详见图 1-11。

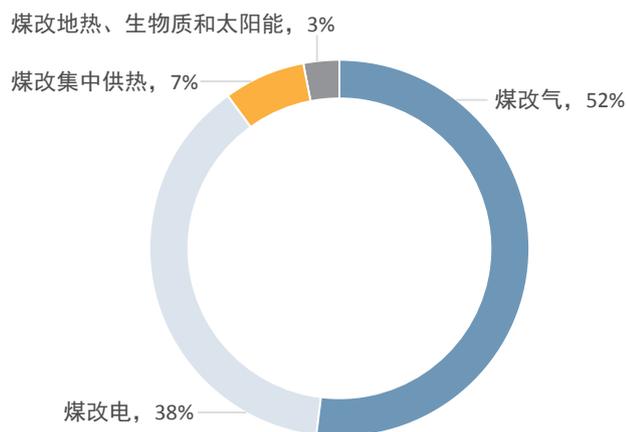


图 1-11 2017-2020 年重点地区散煤治理技术选择占比

据 2021 年 9 个城市清洁取暖技术的调查结果显示，清洁取暖技术包括燃气壁挂炉、空气源热泵热水机、空气源热泵热风机、蓄热式电暖器、直热式电暖器、太阳能 + 电辅热、生物质颗粒 + 专用炉具等分户取暖主要方式，也有生物质集中供暖、集中式电锅炉、燃气集中供热、热电联产、工业余热供暖（不含电厂余热）、燃煤锅炉集中供热等集中取暖方式。其中，以空气源热泵热风机、燃气壁挂炉、分户式电锅炉为主，三者类型的改造户数占总改造户数的 66.4%，如图 1-12 所示。

5 十四五国家散煤污染控制策略研究执行摘要，生态环境部环境规划院，2021.11.

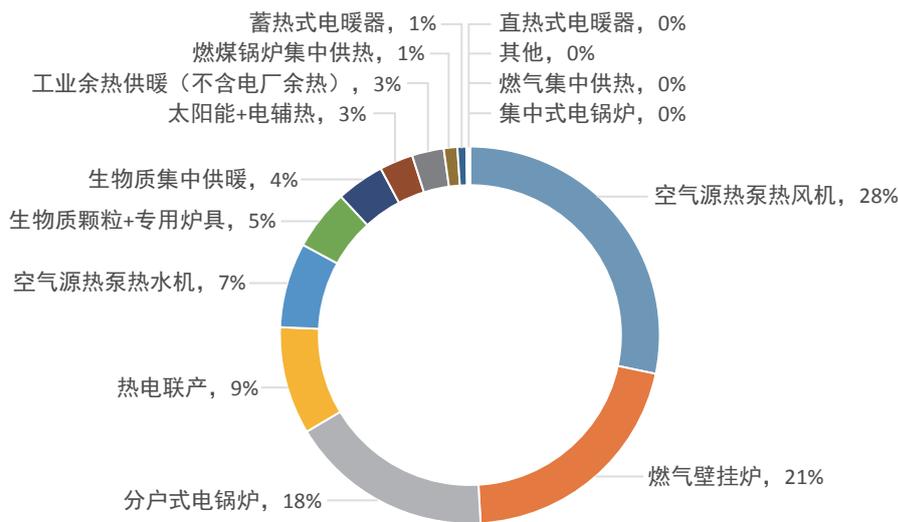


图 1-12 2021 年农村清洁取暖改造技术类型分布

## （2）“煤改气”工程市场先高后低，转向置换和零售

北方清洁取暖市场受政策影响比较大，“煤改电”、“煤改气”在民用散煤治理初期具有绝对的政策优势，包括补贴政策。如图 1-13 2016-2021 年燃气壁挂炉市场销量趋势图所示，“煤改气”项目受气源和基础设施建设等因素的影响，在经历 2017 年市场高峰后，一直保持理性增长。2021 年，随着北方“煤改气”工程政策红利逐渐萎缩，燃气壁挂炉市场规模开始下降，全年总销量 310 万台，相比 2019 年降幅 26.2%，其中“煤改气”燃气采暖壁挂炉销量为 95 万台，占全年总销量的 30.6%，相比 2019 年（230 万台）降幅 58.7%，相比 2020 年（268 万台）降幅 64.6%。与“煤改气”工程渠道相比，“普通工程和零售”渠道的走势截然不同。燃气壁挂炉全年销量达到了 215 万台，占全年总销量的 69.4%，相比 2019 年销量（172 万台）增幅 25.0%，相比 2020 年销量（152 万台）增幅 41.4%。<sup>6</sup> 从发展趋势来看，“煤改气”工程整体收缩<sup>7</sup>，但规模化的置换市场需求开始显现，将以市场零售的方式进行逐步替换。

<sup>6</sup> 燃气采暖热水炉产品 2021 年度市场统计公告，中国土木工程学会燃气分会，2022.1.2.

<sup>7</sup> 陈佳. 煤改气大幅缩减，壁挂炉零售重回增长. 产业在线. 202202.

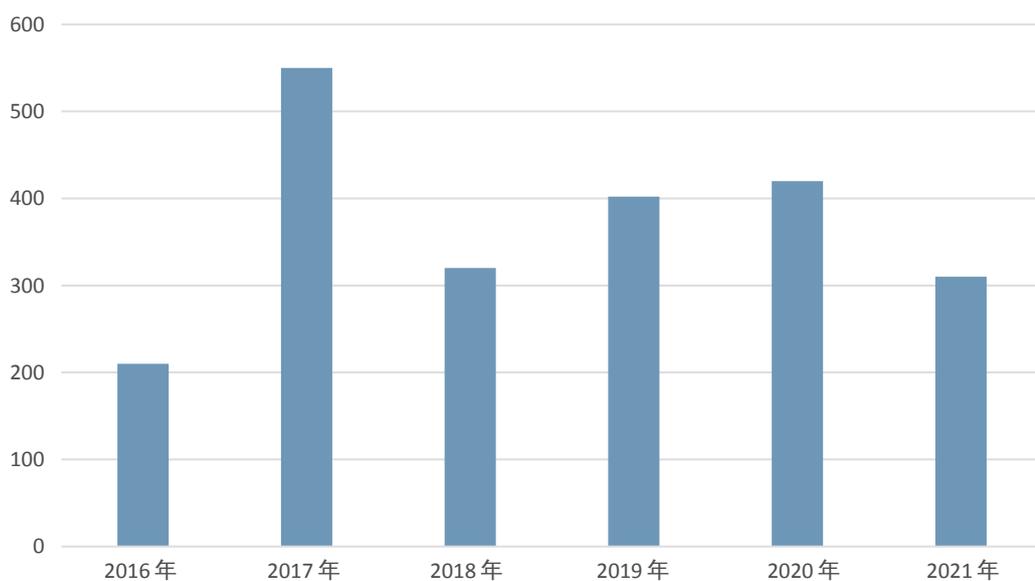


图 1-13 2016-2021 年燃气壁挂炉市场销量趋势图（单位：万台）

### （3）“煤改电”产品多样，市场表现各有不同

“煤改电”技术和产品种类多样，从市场趋势来看，呈现出以下特点：一是直热式电暖器销量明显减少。随着清洁取暖技术路线的不断调优，蓄热式电锅炉、石墨烯、蓄热砖等简易的电暖器受寿命短、取暖效果差和运行成本高等因素影响，在项目工程和市场应用中明显减少；二是热泵应用规模在不断增长，市场普遍前景看好，尤其是空气源热泵，自 2017 年受政策提振后，一直保持稳定的高位市场表现，如图 1-14 所示，特别是近几年随着社会对热泵产品的认知加深，空气源热泵凭借其干净、方便、智能、运行费用低，可以同时满足供暖和制冷需求的优势，成为目前农村“煤改电”的重要技术路径；三是“电采暖+”多能互补的技术方案成为趋势。电采暖+太阳能、电采暖+生物质等多能互补的取暖方式在河北、宁夏、甘肃、陕西等省份得到了试点示范和推广应用。

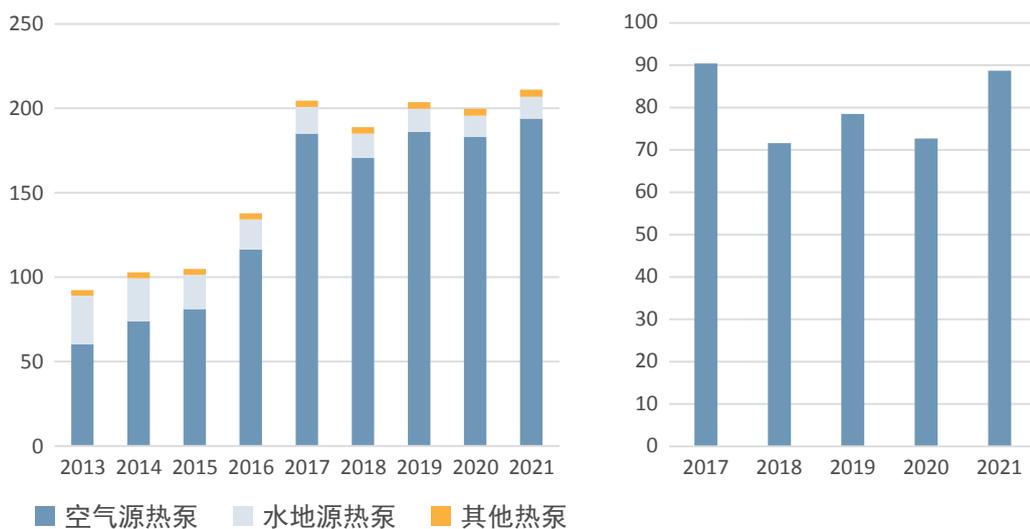


图 1-14 热泵行业市场规模及供暖产品销售规模变化图<sup>8</sup>

左图：2013-2021 年热泵行业市场规模（亿元），右图：2017-2021 年空气源热泵供暖产品销售规模（亿元）

#### （4）洁净炉具受政策和能源价格双重影响

节能环保炉具市场受政策影响最大。从市场规模来看，2017-2018 年受一刀切式“双替代”政策的影响，炉具销量断崖式下滑。经历“气荒”事件以及“宜煤则煤”政策调整后，2019-2020 年洁净煤炉具兜底作用开始显现，炉具市场触底反弹。2021 年随着北方地区清洁取暖试点城市项目的收尾，各地对清洁炉具的采购量明显减少，叠加煤炭、生物质颗粒燃料价格大幅上涨，以及疫情影响，导致政府采购量和市场销售量双双下滑，全年总销量约 160 万台，市场规模相较于 2019 年和 2020 年降幅均超过 25%，如图 1-15 所示。总体来看，洁净煤炉具取暖作为市场刚性需求和清洁取暖过渡性措施，在暂不具备清洁取暖条件的农村地区仍被普遍使用，是不可或缺的重要兜底保障措施；生物质炉具作为可再生能源清洁供暖的重要技术路径之一，在山东、河北、陕西等地的一些政府项目与市场推广中得到推广应用，逐渐被市场和用户所接受，在东北、西北等生物质资源富集的大气污染防治非重点地区，生物质炉具目前作为农村清洁取暖的重要技术路径之一被鼓励推广使用。

8 2021 年中国热泵供暖产业发展年鉴，中国节能协会。

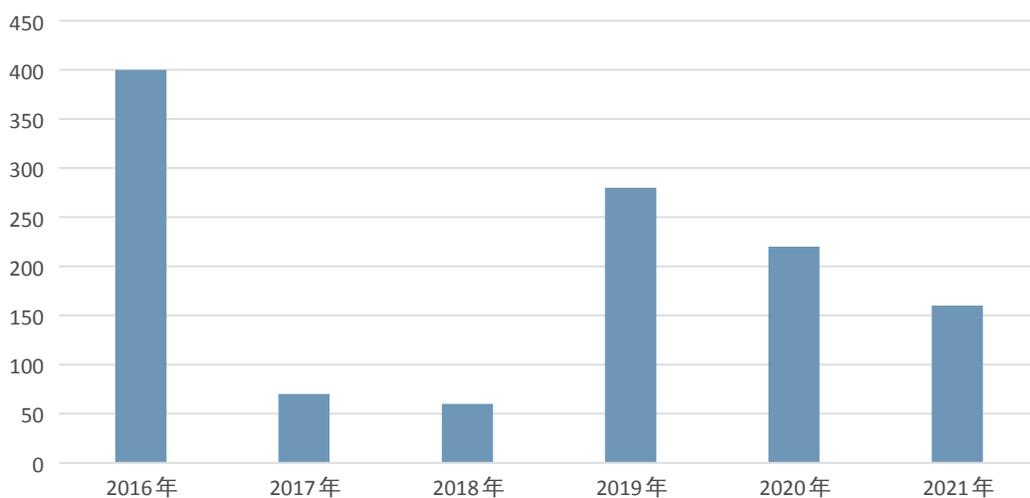


图 1-15 2016 年~2021 年清洁炉具销量趋势图 (单位: 万台)<sup>9</sup>

### (5) 可再生能源取暖进一步发展

在重点区域的清洁取暖改造工作中, 可再生能源取暖虽未完成《北方地区冬季清洁取暖规划(2017-2021)》目标, 但得到了进一步发展, 尤其是地热能。地热能取暖是可再生能源供热中唯一一个完成规划目标的技术类型<sup>10</sup>。截至 2021 年底, 地热取暖改造面积达 11.9 亿平方米, 超额完成规划目标(10 亿平方米), 如图 1-16 所示。目前地热供暖项目主要分布在河北、河南、山东、陕西、山西等地区。



图 1-16 地热供暖发展的规划目标和实际情况 (单位: 亿平方米)

(左图为 2017-2021 年地热供暖的规划目标和实际完成情况; 右图为 2016-2021 年地热供暖发展的规模变化)

9 中国农村能源行业协会民用清洁炉具专委会统计数据。

10 数据由课题组在公开数据和调研数据的基础上, 综合研判而得出。

截至 2021 年，生物质总供热面积约为 7.4 亿平方米，仅完成规划目标（21 亿平方米）的 35%，详见图 1-17。其中生物质热电联产供热面积约为 6 亿平方米。热电联产项目主要分布在山东、河北、辽宁、黑龙江、吉林、河南等地。截至 2021 年，全国生物质成型燃料年利用量约 2000 万吨，根据调研情况，生物质成型燃料供热的面积约为 1.4 亿平方米。从地区分布来看，生物质成型燃料供热市场多集中在京津冀鲁、珠三角、中东部地区，据不完全统计，这三个区域生物质成型燃料年利用量分别为 600 万吨、400 万吨和 500 万吨。

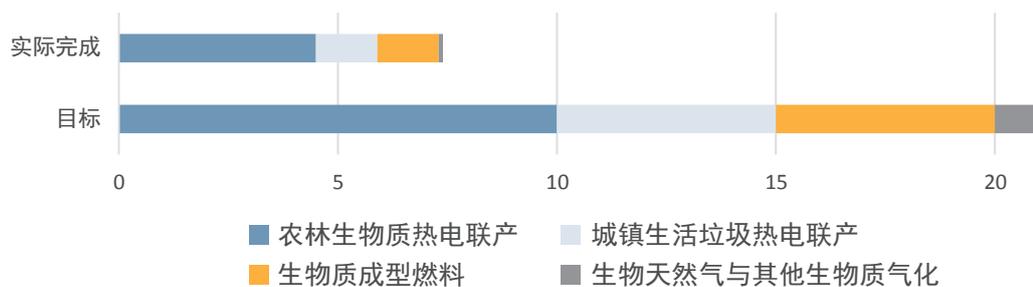


图 1-17 生物质供热发展的规划目标和实际完成情况（单位：亿平方米）

截至 2021 年，太阳能总供热面积达 1600 万平方米，完成规划目标的 32%，详见图 1-18。其中 80% 为户用采暖。目前，太阳能采暖项目已扩展至河北、甘肃、山西、内蒙古、陕西、西藏、北京、辽宁、天津、江苏、吉林、山东、四川、青海、宁夏等十五个省市，分布在全国五十多个市县。

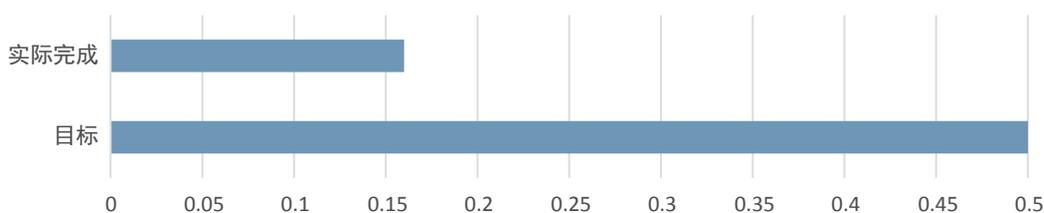


图 1-18 太阳能供热发展的规划目标和实际完成情况（单位：亿平方米）

在过去几年里，可再生能源供热技术及其耦合联用的应用越来越多，加之多能互补模式的拓展，供热技术多元化的局面已经基本形成，应用场景更加丰富，在农村、工业园区、农业大棚、养殖行业等都有了很好的应用，并涌现了一批典型项目（具体案例可参见附录）。

## (六) 农村建筑能效提升工作开始升温

---

### (1) 政策层面重视程度提升

据统计，过去我国的节能建筑改造工作主要是围绕城镇建筑展开的，在广大的北方农村地区，绝大多数建筑由于尚未采取节能措施，尽管冬季室温水平明显低于城镇，但采暖的能耗水平却是同地区城镇建筑的 1.5 倍。开展农村建筑能效提升，可有效提高围护结构热工性能，减少取暖过程中的热量损耗，一般可直接减少散煤或其他能源消费 15%-30%。若能效提升达到 30%，农村室内温度可从 15℃ 提高至 18℃。因此，北方地区的农村建筑节能工作对于进一步节能降碳和减少清洁取暖成本具有重要意义。

据初步估算，截至 2021 年底，北方地区已建成各类农村节能建筑达 3 亿平方米以上，约占农村建筑（不含生产性建筑）总量的 3%。2017-2021 年期间，中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点城市和支持城市的申报通知中，对城市城区和县城建筑提出了节能安排，但尚未对农村的建筑节能改造明确要求。2018 年，第二批试点城市申报通知首次对城镇建筑提出节能要求，即“新建居住建筑执行节能标准水平较现行国家标准水平再提高 30%，城市城区具备改造价值的既有建筑全部完成节能改造，城乡结合部及所辖县要完成 80% 以上”。2021 年第四批清洁取暖申报通知文件中，首次就农村住房提出“同时开展既有建筑节能改造等工作”，2022 年第五批清洁取暖项目申报通知中进一步提出，“城区非节能且具备改造价值的建筑全部完成节能改造，县城 80% 以上，并积极推动既有农房节能改造”。从“同时开展”到“积极推动”，农村建筑节能改造工作在清洁取暖政策中的重视程度有了明显提升。2022 年 6 月，财政部等四部委印发的《北方地区冬季清洁取暖资金绩效评价办法》（财资环〔2022〕38 号）明确提出，建筑节能改造任务未完成的地区，原则上总体绩效评价结果将视为不合格，这将进一步推动农村建筑能效提升工作的落实。由此，农村建筑节能改造在北方清洁取暖政策中虽然一直未有量化指标或任务安排，但重视程度开始提升。

### (2) 实施层面加快推进，呈现区域性差异

2021 年第四批 20 个清洁取暖项目城市三年将共计完成 70 余万户农房建筑能效提升工作，占农村热源清洁化比重的 26%，远高于前三批试点城市的农房建筑节能改造占比水平，如图 1-19 所示。

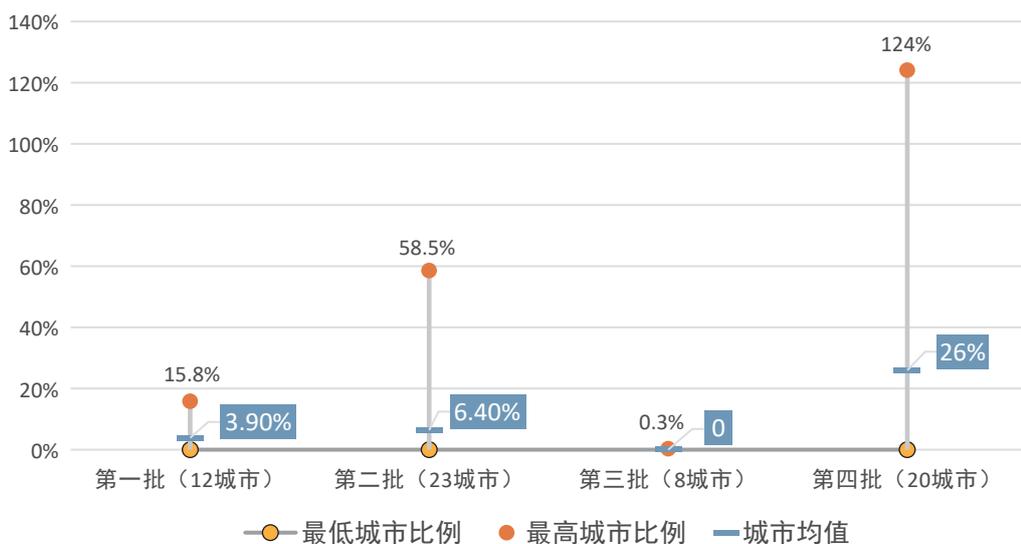


图 1-19 前四批清洁取暖试点和支持城市农村建筑能效提升比重

在第四批清洁取暖支持城市农村建筑节能改造任务中，华北占 78%、东北占 15%、西北占 7%。总体来看，华北地区支持城市之间任务差距相差不是很大，农村建筑能效提升任务占到热源清洁化任务的比例维持在 30% 左右，而东北和西北地区支持城市之间任务差距较大，如图 1-20 所示。

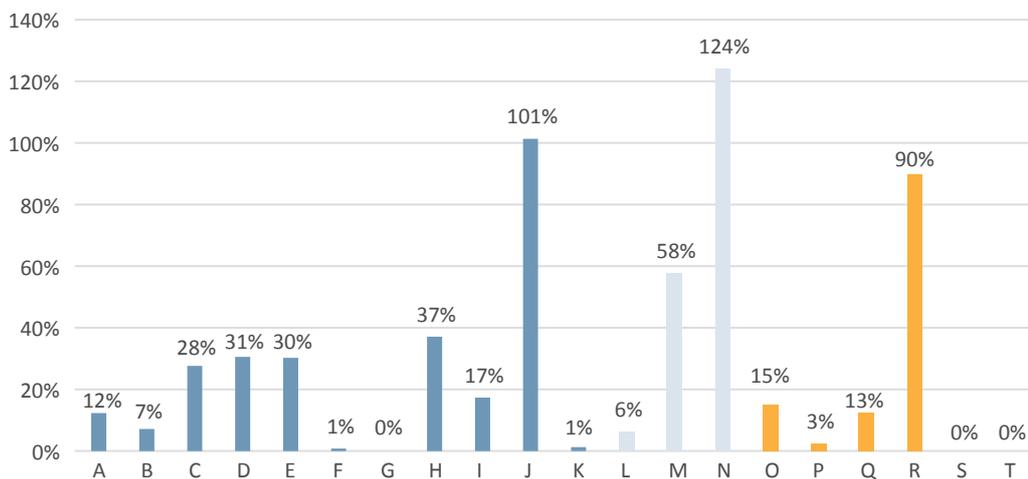


图 1-20 第四批清洁取暖项目农村建筑能效提升与热源清洁化比重

此外，各地农村建筑能效提升补贴标准差异较大。对 2021 年 20 个清洁取暖项目中 7 个城市进行调研，农村建筑节能补贴标准统计如下表所示。从整体补贴标准来看，西北

地区城市补贴标准差异较大，户均补贴在 16-120 元 / 平米；华北地区补贴相对均衡，在 45-70 元 / 平米。从中央资金及地方财政出资占比来看，西北地区 2 个城市的农村地区建筑节能完全依靠中央资金；华北地区 1 个城市主要依靠地方财政，占比达到 70%；其他城市中央资金与地方财政比例保持在 1-6 之间。

表 1-2：清洁取暖项目农村建筑能效提升财政补贴标准

序号	城市	财政补贴标准		
		中央资金 (元 /m <sup>2</sup> )	地方财政 (元 /m <sup>2</sup> )	合计 (元 /m <sup>2</sup> )
1	华北 1	15	35	50
2	华北 2	60	10	70
3	华北 3	25	20	45
4	西北 1	60	60	120
5	西北 2	16	0	16
6	西北 3	17	0	17
7	东北 1	38	20	58

## (七) 重点区域空气质量明显改善

2017 年以来，中央四部门联合启动中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点和支持城市，截至到目前，共五批 88 个城市获得支持，预计中央奖补资金将累计拨付 1071 亿元，目前已拨付近 700 亿元。2017-2021 年，北方地区冬季清洁取暖规划实施期间，共四批 63 个城市获得支持，待这些城市完成三年清洁取暖改造任务后，中央将累计拨付 762 亿元。北方地区清洁取暖试点和支持城市及中央分批奖补金额情况详见表 1-3。

表 1-3：北方地区清洁取暖试点和支持城市及中央分批奖补金额

年份	批次	数量	中央奖补金额（亿元）	城市清单
2017 年	第一批	12	219	天津市、石家庄市、唐山市、保定市、廊坊市、衡水市、太原市、济南市、郑州市、开封市、鹤壁市、新乡市
2018 年	第二批	23	303	邯郸市、邢台市、张家口市、沧州市、阳泉市、长治市、晋城市、晋中市、运城市、临汾市、吕梁市、淄博市、济宁市、滨州市、德州市、聊城市、菏泽市、洛阳市、安阳市、焦作市、濮阳市、西安市、咸阳市
2019 年	第三批	8	48	定州市、辛集市、三门峡市、济源市、铜川市、渭南市、宝鸡市、杨凌示范区
2021 年	第四批	20	192	烟台市、忻州市、泰安市、承德市、大同市、许昌市、秦皇岛市、潍坊市、榆林市、朔州市、延安市、北京市、阜新市、佳木斯市、包头市、海西州、乌鲁木齐市、辽源市、兰州市、吴忠市
2022 年	第五批	25	309	呼和浩特市、沈阳市、青岛市、银川市、长春市、临夏回族自治州、西宁市、齐齐哈尔市、哈尔滨市、商丘市、枣庄市、昌吉回族自治州、吉林市、周口市、乌兰察布市中卫市、盘锦市、东营市、新疆生产建设兵团（第七师、第八师、第十三师）、营口市、白山市、巴彦淖尔市、金昌市、固原市、武威市

在散煤治理大幅削减的同时，重点区域空气质量显著提升。2017 年，“2+26”城市优良天数比例为 49.3%，PM<sub>2.5</sub> 平均浓度 68 微克 / 立方米，PM<sub>10</sub> 平均浓度为 120 微克 / 立方米。2021 年，“2+26”城市优良天数比例为 67.2%，相比 2017 年上升 17.9 个百分点；PM<sub>2.5</sub> 平均浓度 43 微克 / 立方米，相比 2017 年降低 36.8%；PM<sub>10</sub> 平均浓度为 78 微克 / 立方米，相比 2017 年降低 35%。<sup>11</sup>

2017 年，汾渭平原城市优良天数比例为 52.1%，PM<sub>2.5</sub> 平均浓度 65 微克 / 立方米，PM<sub>10</sub> 平均浓度为 114 微克 / 立方米。2021 年，汾渭平原城市优良天数比例为 70.2%，相比 2017 年上升 18.1 个百分点；PM<sub>2.5</sub> 平均浓度 42 微克 / 立方米，相比 2017 年降低 35.4%；PM<sub>10</sub> 平均浓度为 76 微克 / 立方米，相比 2017 年降低 33.3%。

11 生态环境部,《2017 年中国生态环境状况公报》《2021 中国生态环境状况公报》。

## 第二章 思于当下：散煤治理扩围至东北、西北地区

随着重点区域散煤治理工作的不断深入，散煤消费结构和分布也随之发生变化，2022年，散煤消费以民用为主，且无论是工业，还是民用领域的散煤治理工作重心都正在转向非重点区域。其中工业小锅炉分布主要集中在东北和内蒙，其次是华东和西北地区；北方清洁取暖支持项目正在向东北和西北地区扩围。从散煤消费现状来看，未来散煤削减将主要来自民用领域，而清洁取暖仍是重要抓手。北方清洁取暖工作面临着复合型经济性难题和农村建筑能效提升相对滞后的困境，农村电气化和可再生供热方向明确，但支持政策仍需完善的现状。理清当前散煤消费特点、治理难点、现实挑战，将为散煤治理的下一步工作提供思考的基础。

### （一）散煤消费以民用为主

---

自2015年以来，随着散煤治理的不断深入，尤其是工业散煤的大幅削减，散煤消费结构也随之发生变化。截至2021年底，我国散烧煤总量约3.1亿吨。其中，民用散煤占比约50%，与2015年相比，提高约二十个百分点；建材小窑炉和工业小锅炉占比明显下降，分别下降至18%和16%。2015年和2021年散煤消费构成情况详见图2-1。

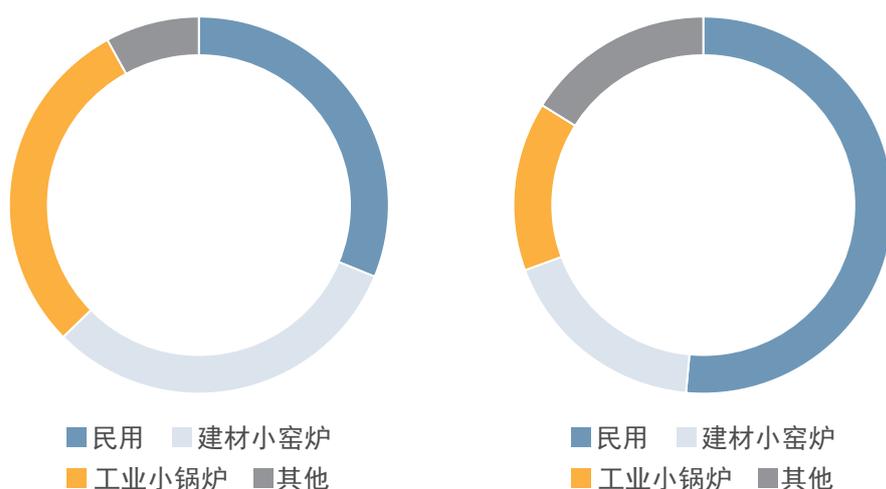


图 2-1 2015 年（左图）和 2021 年（右图）散煤消费构成

从当前散煤消费结构来看，工业和民用散煤治理合力攻坚的局面不会改变，工业散煤治理重心将从重点区域转向全国层面；民用散煤治理将成为“十四五”期间，甚至“十五五”期间，散煤削减的主要领域，主要区域将从重点区域转向东北和西北地区。

## (二) 工业小锅炉主要分布于东北和内蒙

根据课题组掌握的基于全国排污许可证管理信息平台<sup>12</sup>获取的燃煤工业锅炉数据，2021年全国燃煤工业锅炉总容量约56万蒸吨，煤耗量约2.5亿吨。其中，35t/h以下燃煤小锅炉总容量10.7万蒸吨，煤耗量0.45亿吨，分别占工业锅炉总量的19%和18%，如图2-2所示。从燃煤工业小锅炉（35t/h及以下）的构成来看，截至2021年，10t/h以下燃煤小锅炉的容量和煤耗量分别占燃煤工业小锅炉总量的16%，如图2-3所示。

12 <http://permit.mee.gov.cn/>

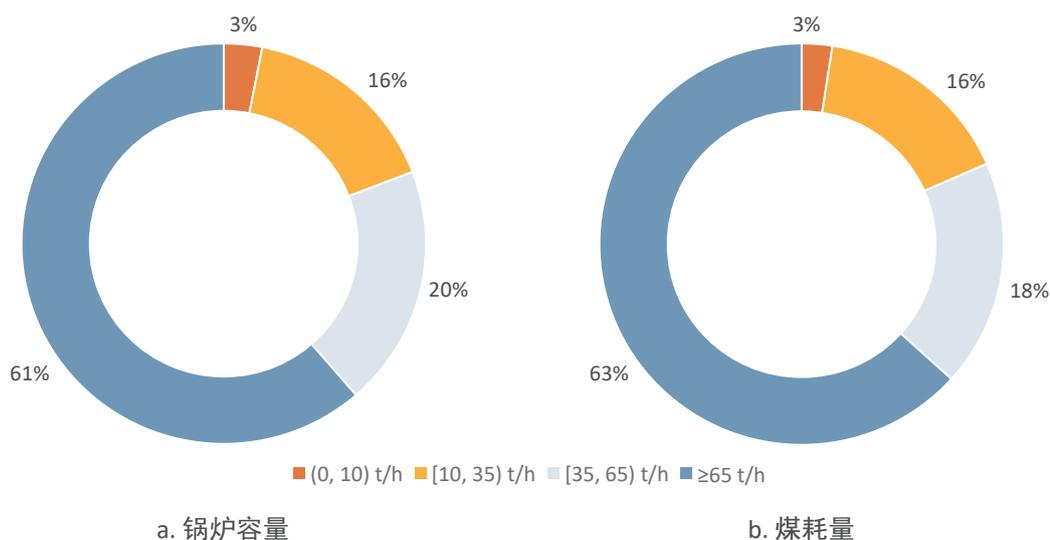


图 2-2 2021 年全国燃煤工业锅炉容量和煤耗量分布

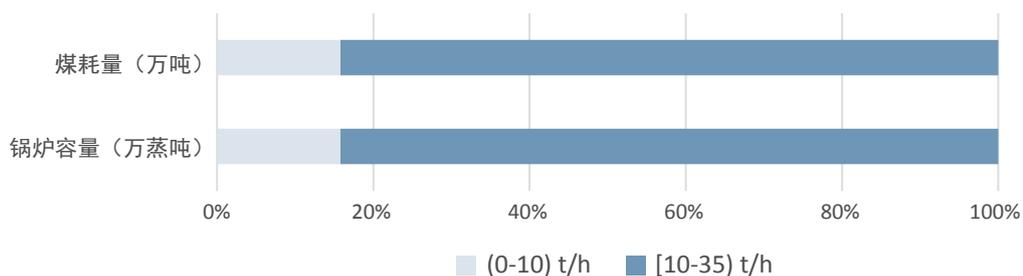


图 2-3 2021 年工业小锅炉的容量构成和煤耗分布

从空间分布来看，如图 2-4 所示，当前燃煤工业小锅炉煤耗量超过 200 万吨的省市（按照煤耗量从高到底排序）依次为内蒙古、黑龙江、辽宁、福建、山东、吉林和广东。10t/h 以下燃煤小锅炉煤耗量最高的三个省份依次为黑龙江、内蒙古和辽宁。综合来看，东北和内蒙地区是工业小锅炉治理的重点区域，内蒙古、黑龙江、辽宁和吉林四省（自治区、直辖市）燃煤小锅炉煤炭消耗总量约占全国燃煤工业小锅炉总煤炭消耗量的 40.3%。其次为华东和西北地区。

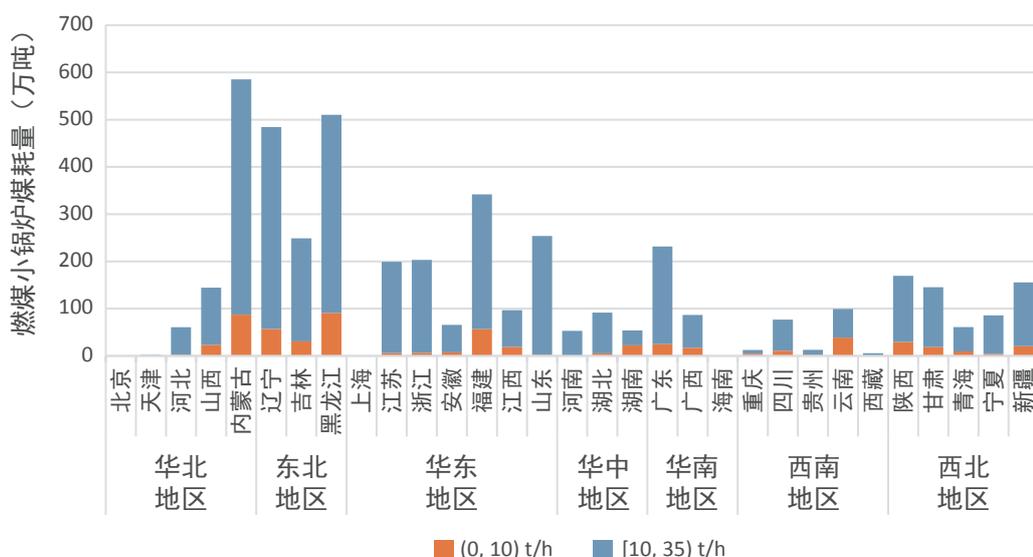


图 2-4 2021 年分省（自治区、直辖市）燃煤小锅炉煤耗量

### (三) 建材行业小窑炉治理仍然面临淘汰落后和清洁能源替代的艰巨任务

虽然近年产业结构调整 and 淘汰落后的力度较大，但“十四五”期间建材行业小窑炉仍有继续淘汰落后的潜力和空间。一方面，根据《产业结构调整目录（2019 年本）》，尚有部分淘汰类的小窑炉未完全退出。以砖瓦轮窑为例，目前仍有 15% 左右的砖瓦轮窑生产企业，约 1000 万块标砖的落后产能，主要分布在新疆、甘肃、宁夏、陕西、内蒙等西部省份和其他省份中比较偏远的地区。另一方面，从长期发展情况看，应动态调整产业结构调整目录或落后产能清单，如砖瓦行业仍有年产 3000 万吨及以下规模、3 米以下小断面的隧道窑约 3000 座，产能约 900 万块标砖，这部分企业工艺条件较差、能耗较高、环保治理难度相对较大。

此外，清洁能源替代也是小窑炉散煤治理的主要措施之一。虽然京津冀及周边、汾渭平原和长三角地区部分砖瓦企业已经开展天然气改造并取得一定进展，但结合现有生产工艺需求，关键燃烧设备和温控技术仍有待进一步的技术突破；此外，天然气成本和烧结砖市场价格等因素影响使得清洁能源替代仍面临一定挑战。在可再生能源利用方面，

一些企业也进行了探索，如在砖厂场地安装光伏，但如何保证光伏发电在砖厂环境中安全、高效、长期使用也有待在实践中进一步完善。

## (四) 民用散煤治理重心转向东北和西北

---

自 2017 年以来，京津冀及周边地区、汾渭平原等重点区域中地市城市全部纳入中央财政支持的省份有北京、天津、山西、河北，陕西、河南和山东涉及集中供暖区域的城市。2021 年纳入支持范围的项目城市仍以重点区域城市为主，12 个项目城市在重点区域，8 个项目城市在非重点区域。随着重点区域城市任务的推进，纳入支持范围的项目城市逐渐转向非重点区域城市。2022 年 4 月，财政部等四部门联合发布《2022 年北方地区冬季清洁取暖拟支持项目名单公示》，将 25 个城市确定为 2022 年大气污染防治资金支持的北方地区冬季清洁取暖项目，其中 5 个项目城市在重点区域，20 个项目城市在非重点区域，并且支持范围覆盖新疆生产建设兵团。

第五批 25 个支持城市将得到中央奖补资金 309 亿元。从补助标准来看，奖补金额与城市及其人口规模逐渐相匹配。一方面，地市城市的补助标准相比“十三五”有所下降。“十四五”期间，对纳入支持范围的城市连续 3 年给予定额奖补，每年奖补标准为省会城市 7 亿元、一般地级市 3 亿元。其中，一般地级市的补助标准从“十三五”期间的每年 5 亿元下降至 3 亿元。对比省会城市和一般地级市规模，省会城市规模往往是一般地级市规模的 2-5 倍，现阶段支持规模的差异与城市规模的差异更加匹配。另一方面，计划单列市参照省会城市标准执行。对比计划单列市的城市规模与省会城市规模，比如青岛市全市人口 1025 万人，与一般省会城市规模无异，补助标准参照同省会城市的补助标准也较为合理。同时，对特殊区域采用特殊方式给予支持。2022 年，将新疆生产建设兵团申报的第七师胡杨河市、第八师、第十三师新垦市三个市合并为一个，按照地级市补助标准给予支持，也是考虑到新疆生产建设兵团的特殊性，第七师胡杨河市、第八师、第十三师新垦市三个市合计常住人口 113 万人。

## (五) 北方地区清洁取暖经济性难题依旧

### (1) “降室温减支出”现象出现

课题通过问卷调查方式获取农村居民清洁取暖改造技术及实际取暖费用变化情况，根据来自 6 个城市共计 575 份有效问卷的统计结果，在实施清洁取暖改造之前，每户农村居民每个采暖季的平均取暖支出范围是 486-2922 元。调研的 6 个城市中，实施清洁取暖改造前居民取暖支出最高的依次为兰州和承德，平均取暖支出分别为 2922 元和 2508 元。兰州、承德市在实施取暖改造前，农户主要采用散煤取暖；实施清洁取暖改造前居民取暖支出最低的城市是辽源，居民主要采用秸秆取暖，详见图 2-5。

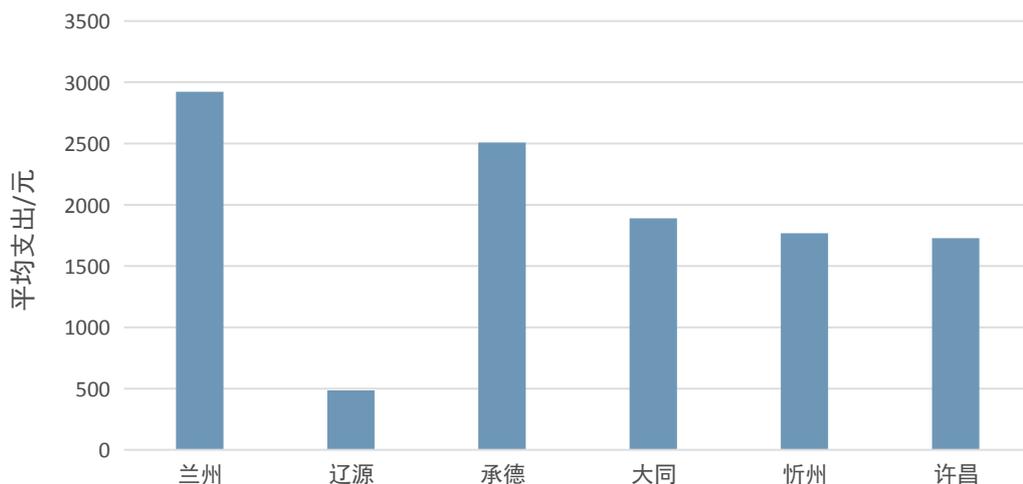


图 2-5 项目城市实施清洁取暖改造前农户取暖平均支出

清洁取暖改造前后以及补贴前后的取暖支出问卷结果显示，从技术路径来看，太阳能 + 电辅热、生物质颗粒 + 专用炉具、太阳能 + 生物质等可再生能源供热或“可再生能源 +”供热用户的取暖支出均低于散煤取暖成本，若享受清洁取暖补贴，实际取暖支出相比改造前可大幅下降，最大降幅可超过 50%；“煤改电”技术中，蓄热式电暖器用户取暖支出低于改造前水平，直热式电暖器用户取暖支出高于改造前水平；燃气壁挂炉用户取暖支出略低于改造前；空气源热泵用户的取暖支出出现了区域差异，在许昌的用户在没有补贴情况下实际支出远低于改造前，而大同和承德的用户在没有补贴的情况下支出水平高于改造前，其中承德空气源热泵用户在享受补贴后，实际支出依然高于改造前。

值得关注的是，问卷调查的部分数据与理论值相差较大，主要表现在清洁取暖改造后大部分运行成本低于改造前。根据相关理论研究，在相同面积和相同室温的情景下，大部分清洁取暖的运行成本均应高于散煤取暖成本或改造前成本，最高的为直热式电暖器，其后为蓄热式电暖器、燃气壁挂炉，空气源热泵热水机、空气源热泵热风机、生物质颗粒+专用炉具、太阳能+电辅热的运行成本与散煤采暖基本相当。造成问卷调查部分数据与经验相差较大的原因，主要是实际运行成本影响因素较多，尤其是用户经济水平、用能习惯等均显著影响取暖支出。实际调研中发现，大部分农村居民意识到清洁取暖费用高，因此在改造后的首个采暖季，尤其是对运行补贴尚未完全清楚的情况下，尽可能减少使用，尤其对用电和气的取暖设备，导致清洁取暖设备使用率较低，运行费用也由此降低。

从清洁取暖的支出情况来看，问卷调查结果显示，大部分清洁取暖用户在补贴之后的实际取暖支出低于改造前取暖支出。许昌市七种清洁取暖技术路径的用户调研问卷结果显示，许昌市没有清洁取暖运行补贴，在多种技术路径中，只有直热式电暖器在改造后清洁取暖支出高于改造前水平。其他清洁取暖技术，如燃气壁挂炉、空气源热泵、蓄热式电暖器、生物质炉具和“太阳能+”等，改造后取暖支出均低于改造前，且均低于2000元，如图2-6所示。

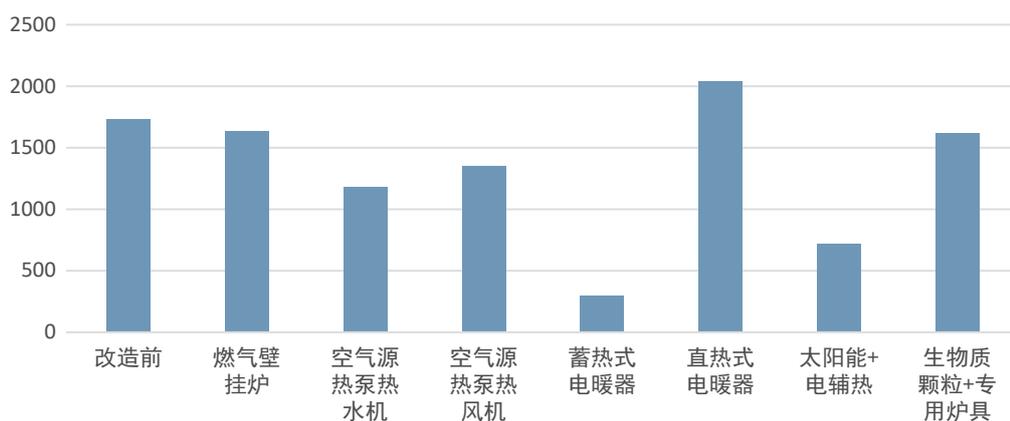


图 2-6 许昌市清洁取暖改造前后不同技术路径在补贴前后的取暖支持水平比较（单位：元）

承德、兰州和大同三个城市均设有运行补贴。从三个城市的用户问卷结果来看，承德补贴后空气源热泵热风机用户的取暖支出水平相比改造前水平上升了12%，其他可再生能源供暖方式用户的补贴前支出水平略高于改造前水平，但补贴后实际支出低于改造前水平，且实际支出均低于2000元，如图2-7所示。兰州市可再生能源+的清洁取暖用户改造后的取暖支出均低于改造前水平，且在享受运行补贴后，实际取暖支出水平进一步下降，如图2-8所示。大同市空气源热泵热水机和直热式电暖器用户的取暖支出略高于改造前支出水平，但均未超过2000元，且在享受补贴之后，实际支出均低于改造前水平，降幅均接近40%。蓄热式电暖器用户补贴前取暖支出低于改造前水平，补贴后

实际取暖支出相比改造前减少了 43%，详见图 2-9。

结合调研的广大农户可承受的取暖支出水平来看，农户可承受的清洁取暖支出普遍在 2000 元以下，占比 81%；19% 的农户可承受 2000 元以上；能够承受 2500 元以上的农户占比仅 2%。从城市清洁取暖用户的问卷调查结果来看，即使清洁取暖改造后取暖成本上升，但受实际经济承受能力或实际支出意愿的约束，居民用户在期待更高的、更长效的运行补贴的同时，往往会主动降低取暖需求，如减少取暖面积、降低室内温度、减少取暖时间等方式，通过降低用能来实现支付能力或支付意愿的刚性约束。

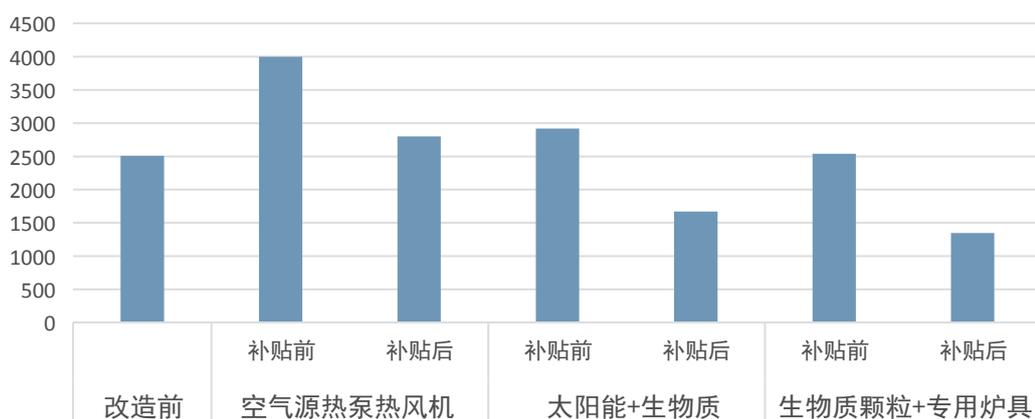


图 2-7 承德市清洁取暖改造前后不同技术路径在补贴前后的取暖支持水平比较（单位：元）

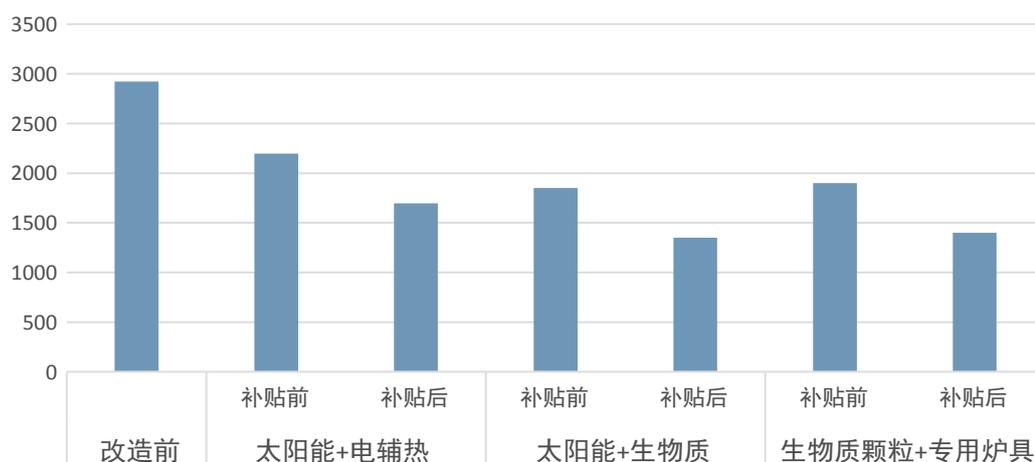


图 2-8 兰州市清洁取暖改造前后不同技术路径在补贴前后的取暖支持水平比较（单位：元）

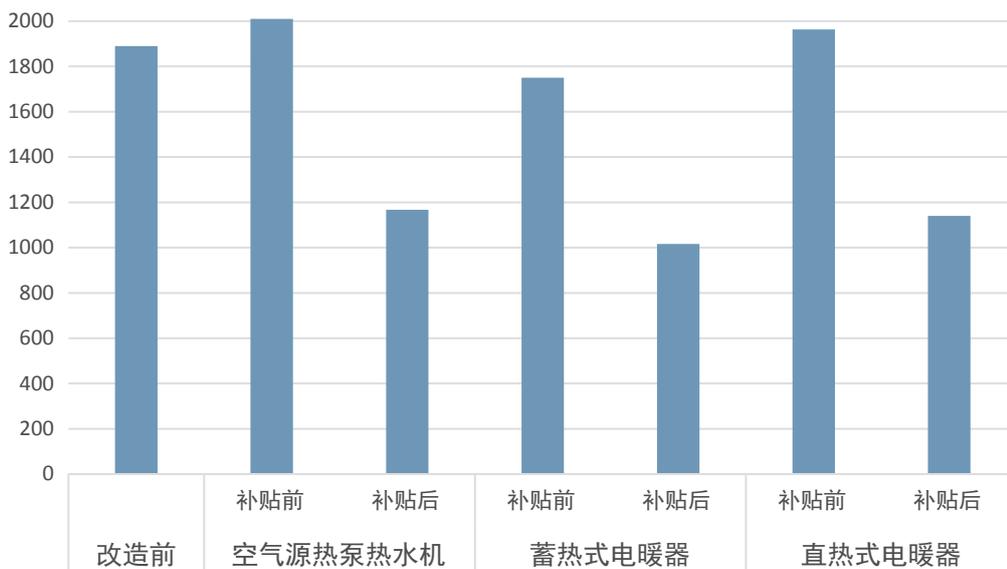


图 2-9 大同市清洁取暖改造前后不同技术路径在补贴前后的取暖支持水平比较（单位：元）

## （2）补贴逐步优化，财政压力并未减轻

针对第四批 20 个项目城市，本课题共获得 17 个项目城市的建设补贴政策信息。调研结果显示，17 个城市均对不同清洁取暖技术制定了建设补贴政策。虽然不同城市的补贴标准存在很大差异，但补贴的技术类型已经不再局限于“煤改电”和“煤改气”，且补贴标准基本体现了不同技术及产品的成本差异化。从技术类型来看，电采暖或太阳能+电辅热的建设补贴最高，其次为燃气壁挂炉，最后为生物质颗粒+专用炉具，与技术改造成本基本吻合。其中，电采暖的技术设备种类较多，地方根据采用的技术设备成本进行补贴，如朔州采用的电热炕板造价便宜，相应建设补贴标准仅 300 元/户，而空气源热泵热水设备造价较高，建设补贴标准相应较高，如忻州补贴 14200 元/户。除此之外，吴忠、辽源、承德、朔州、延安等城市制定了“生物质颗粒+专用炉具”建设补贴政策，补贴标准在 2000~5300 元/户之间；秦皇岛对新型电代煤技术提供建设补贴，包括空气源热泵（热风机）、地源热泵、光伏+、光热+电、节能型电采暖炉等，按照 10000 元/户的标准进行补贴。

针对第四批 20 个项目城市，本研究共获得 15 个项目城市的运行补贴政策信息。调研结果显示，12 个城市制定了运行补贴政策。从技术分类来看，电采暖运行补贴相对较高，补贴方式以结合具体时段的电价、气价补贴为主；辽源、承德、朔州、延安等城市针对“生物质颗粒+专用炉具”提供运行补贴，补贴方式各有不同，如辽源直接补贴 1 吨生物质颗粒；承德采用梯度补贴，3 吨（含）以内的补贴 500 元/吨，3-5 吨（含）的补贴 250 元/吨，最高补贴 5 吨，最高补贴额度 2000 元/户等。虽然补贴的技术类型并不单一，但通常每个城市都设有运行补贴上限，且补贴上限水平只存在城市差异，

不存在同一城市不同技术类型的差异。如泰安市对气采暖和电采暖均最高补贴 600 元/户，潍坊对所有技术类型的补贴均以 1000 元/户为最高标准。

分区域来看，京津冀及周边区域的北京、河北、河南、山西、山东、陕西所属城市运行补贴相对较高，约为 126-2400 元/户，最低为榆林，最高为大同，平均约 1100 元/户；西北、东北补贴相对较少，兰州最高补贴 500 元，辽源补贴 1 吨生物质颗粒，吴忠未制定补贴政策。当然，2021 年项目城市以京津冀及周边区域城市为主，西北和东北城市样本量目前还相对较小，代表性相对较弱，随着西北和东北城市清洁取暖改造的持续推进，补贴状况也会发生一定变化。

虽然建设补贴和运行补贴在地方层面不断优化，北方清洁取暖工作不断取得成效，但受新冠疫情及经济下行影响，地方财政压力更加紧张，相比过去几年，中央资金带动作用有下降趋势。据调查，2017-2019 年，重点地区（天津、河北、河南、山西、山东、陕西）清洁取暖资金投入中，地方财政资金是中央资金投入的 2.42 倍。据有关统计，第二批 23 个清洁取暖试点城市的中央资金对地方财政资金投入的资金带动系数为 1.9 倍。2021 年，重点区域的中央资金带动系数已降低至 1.57 倍，非重点区域更低，中央资金带动系数为 1.43 倍。在北方清洁取暖工作中，东北和西北地区的气候条件和经济条件不及重点区域，且加之疫情影响，清洁取暖改造经济性问题的解决将更加紧迫。

## (六) 农村电气化和可再生能源利用是趋势，但支持政策有待完善

在国家“双碳”战略下，清洁取暖是落实“双碳”目标、加快能源变革、实现乡村振兴的重要抓手，2022 年，乡村清洁能源建设相关政策密集出台（如表 2-1 所示），《乡村建设行动实施方案》中，将实施乡村清洁能源建设工程作为乡村建设行动中的重点任务之一予以部署，农村用能电气化和可再生能源清洁取暖成为大势所趋。

表 2-1：可再生能源供暖的相关政策

发布时间	政策名称	相关内容
2021.10.26	2030 年前碳达峰行动方案的通知（国发〔2021〕23 号）	推进农村建设和用能低碳转型。持续推进农村地区清洁取暖，因地制宜选择适宜取暖方式。加快生物质能、太阳能等可再生能源在农业生产和农村生活中的应用。加强农村电网建设，提升农村用能电气化水平。

发布时间	政策名称	相关内容
2022.1.4	关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的意见	深入实施农村电网巩固提升工程。推进农村光伏、生物质能等清洁能源建设。
2022.1.5	《加快农村能源转型发展助力乡村振兴的实施意见》的通知（国能发规划〔2021〕66号）	积极推动生物质能清洁供暖。合理发展以农林生物质、生物质成型燃料等为主的生物质锅炉供暖，因地制宜推广生物质热解气等集中供暖，鼓励采用大中型锅炉，在乡村、城镇等人口聚集区进行集中供暖。在大气污染防治非重点地区乡村，因地制宜推广户用成型燃料+清洁炉具供暖模式。
2022.1.8	《促进绿色消费实施方案》的通知（发改就业〔2022〕107号）	持续推进农村地区清洁取暖，提升农村用能电气化水平，加快生物质能、太阳能等可再生能源在农村生活中的应用。
2022.1.24	“十四五”节能减排综合工作方案的通知（国发〔2021〕33号）	加快风能、太阳能、生物质能等可再生能源在农业生产和农村生活中的应用，有序推进农村清洁取暖。
2022.1.30	关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见（发改能源〔2022〕206号）	鼓励光伏建筑一体化应用，支持利用太阳能、地热能 and 生物质能等建设可再生能源建筑供能系统，完善规模化沼气、生物天然气、成型燃料等生物质能和地热能开发利用扶持政策和保障机制。
2022.2.11	“十四五”推进农业农村现代化规划的通知（国发〔2021〕25号）	加强乡村清洁能源建设。提高电能在农村能源消费中的比重。因地制宜推动农村地区光伏、风电发展，推进农村生物质能源多元化利用，加快构建以可再生能源为基础的农村清洁能源利用体系。强化清洁供暖设施建设，加大生物质锅炉（炉具）、太阳能集热器等推广应用力度，推动北方冬季清洁取暖。
2022.3.22	《“十四五”现代能源体系规划》的通知（发改能源〔2022〕210号）	坚持因地制宜推进北方地区农村冬季清洁取暖，加大电、气、生物质锅炉等清洁供暖方式推广应用力度，在分散供暖的农村地区，就地取材推广户用生物成型燃料炉具供暖。加快推进建筑用能电气化和低碳化，推进太阳能、地热能、空气能、生物质能等可再生能源应用。
2022.5.10	《“十四五”生物经济发展规划》的通知（发改高技〔2021〕1850号）	支持有条件的县域开展生物质能清洁供暖替代燃煤，推进沼气、生物质成型燃料等其他生物质能清洁取暖。

发布时间	政策名称	相关内容
2022.5.23	《乡村建设行动实施方案》	实施乡村清洁能源建设工程。巩固提升农村电力保障水平，推进城乡配电网建设，提高边远地区供电保障能力。发展太阳能、风能、水能、地热能、生物质能等清洁能源，在条件适宜地区探索建设多能互补的分布式低碳综合能源网络。按照先立后破、农民可承受、发展可持续的要求，稳妥有序推进北方农村地区清洁取暖，加强煤炭清洁化利用，推进散煤替代，逐步提高清洁能源在农村取暖用能中的比重。
2022.5.30	关于促进新时代新能源高质量发展实施方案的通知（国办函〔2022〕39号）	助力农村人居环境整治提升。因地制宜推动生物质能、地热能、太阳能供暖，在保障能源安全稳定供应基础上有序开展新能源替代散煤行动，促进农村清洁取暖、农业清洁生产。
2022.6.1	“十四五”可再生能源发展规划的通知（发改能源〔2021〕1445号）	积极发展生物质能清洁供暖。合理发展以农林生物质、生物质成型燃料等为主的生物质锅炉供暖，鼓励采用大中型锅炉，在城镇等人口聚集区进行集中供暖，开展农林生物质供暖供热示范。在大气污染防治非重点地区乡村，可按照就地取材原则，因地制宜推广户用成型燃料炉具供暖。
2022.6.13	《减污降碳协同增效实施方案》的通知（环综合〔2022〕42号）	推动北方地区建筑节能绿色改造与清洁取暖同步实施，优先支持大气污染防治重点区域利用太阳能、地热、生物质能等可再生能源满足建筑供热、制冷及生活热水等用能需求。
2022.6.30	《农业农村减排固碳实施方案》的通知	可再生能源替代。因地制宜推广应用生物质能、太阳能、风能、地热能等绿色用能模式，增加农村地区清洁能源供应。推动农村取暖炊事、农业生产加工等用能侧可再生能源替代，强化能效提升。

可再生能源供暖的发展需要系统性的支持政策，包括整体规划、科技研发、标准制定、财税金融等方面。然而目前可再生能源供暖政策尚不完善。一是，缺少对生物质供暖的明确支持政策，甚至一些地方政府禁止使用生物质成型燃料供暖。二是，在中央预算资金内，许多可再生能源供暖技术并没有单列条目，而是含在了“煤改电”项目中，导致相关部门重视程度不足。三是，标准体系不完善，标准制定实施的速度远跟不上行业发展速度。四是，缺少对可再生能源减污降碳的激励机制。五是，可再生能源供暖技术以及与其他能源利用和节能建筑协同的耦合性技术仍有待进一步研发和完善。六是，可再生能源发展与当地产业发展的结合，以及农村生活与生产相结合的可再生能源利用模式需要系统化建设和运营方案。

## (七) 农村建筑能效提升面临多重挑战

目前，建筑节能改造与清洁取暖改造存在不同步现象。2021年第四批20个城市清洁取暖改造54%的完成量集中在农村地区，而建筑节能改造完成量仅有24%在农村地区，66%集中在城市地区，应加大农村地区建筑节能改造。

虽然农村地区的建筑能效提升在清洁取暖政策中逐步受到重视，但从计划改造任务量来看，农村地区建筑节能改造任务量仍远低于清洁取暖改造任务量。“十四五”时期，新增的两批北方地区冬季清洁取暖项目45个城市共计划完成建筑节能改造面积3.5亿平方米、349万户，是清洁取暖改造任务量的16%。其中，第四批20个项目城市计划完成清洁取暖改造面积6.2亿平方米、614.2万户，建筑节能改造面积1.4亿平方米、134.3万户，建筑节能改造任务量是清洁取暖改造任务量的22%；第五批25个项目城市计划完成清洁取暖改造面积15.2亿平方米、1495.4万户，建筑节能改造面积2.1亿平方米、215万户，建筑节能改造任务量是清洁取暖改造任务量的14%。从2021年第三批和第四批28个城市完成任务情况来看，清洁取暖改造任务完成3.4亿平方米、340万户，建筑节能改造任务完成5129万平方米、50万户，是清洁取暖改造完成任务量的14.7%。

当前，农村建筑的节能改造工作仍然面临诸多挑战。首先，从政策层面来看，农村建筑能效提升的相关政策要求仍有待细化和进一步完善。虽然在通知文件中，农村建筑能效提升工作从无到有，从“同时开展”到“积极推动”，重视程度有所提升，但仍缺乏可操作的具体量化指标要求。在绩效评价中，城区及县城建筑能效提升明确要求达到30%以上，而农村建筑能效提升尚无量化目标。此外，农村建筑执行节能标准的基础条件不足。目前城乡二元结构的管理体制，在现行城乡建设管理的相关法律制度、行政管理及技术标准方面有明显的体现，而农村建设管理方面缺少操作性强的法律、法规和政策，很大程度上影响了农村建筑的管理和协调发展。目前农村地区建筑节能和安全指导监督机构不健全，建设管理职能缺位，体制不顺，进一步增加了农村建筑能效提升工作的难度。

其次，从执行层面来看，现有改造中分散式院落改造需求大、但改造比例低。农村地区建筑多由居民自行设计建造，且规范性不强，建设形式多样，多以独栋、双拼、联排等组合形式为主，其中，农村地区独栋建筑由于四面墙体独立，使用建材能耗较高，节能性能差，相对于联排房能源综合利用率更低，节能改造需求更为迫切。北方地区冬季清洁取暖工作开展以来，农村建筑节能改造工作成绩斐然，但多数地市为了降低节能改造成本，突显节能改造效果，打造清洁取暖亮点工程，多选择联排房实施节能改造。双拼和独栋建筑虽然进行了热源清洁化改造，但由于建筑综合能耗更大，造成冬季取暖成本高，碳排放量和返煤风险居高不下，需要相关部门高度重视，合理分配农房节能改造资金，合理制定改造技术路径，统筹农村居民生活习惯，科学推进节能改造工程。

此外，东北地区的农村建筑能效提升改造难度较大。东北地区地广人稀，农村居住

建筑受到我国传统民居设计文化的影响，以单户、独栋的建筑为主，属于中国传统合院式建筑类型；农村居住建筑面积普遍较大，建筑面积大部分为 80-150m<sup>2</sup>，人均建筑面积为 47.3m<sup>2</sup>；村庄类型复杂、数量较多、经济发展水平参差不齐，并且多数建筑围护结构存在土坯形式，基于建筑本身承重性考虑，节能改造技术标准要求更高，改造成本更高，为建筑节能改造的统筹建设以及大范围推广带来了很大的困难。

再次，从经济性的角度来看，农村建筑能效提升工作仍然以财政资金为主，特别是中央和市级财政补贴，多数城市县（市、区）财政紧张，配套保障能力较差。由于农村建筑能效提升工作难以产生经营性收益，社会资本参与的积极性较低。之前部分城市提出过“以丰补歉”城市与农村建筑能效提升工作相结合等创新方式，但不同项目难以打捆招标，导致操作性不强。而低成本改造技术方案面临产业化难题。在清洁取暖试点城市建设过程中，有关部门一直提倡低成本改造方式。2018 年全国“北方十五省（区、市）农村清洁取暖用户侧能效提升现场经验交流会”曾提出多种节能改造技术路线，要求综合考虑农房结构、建造形式、墙体屋面厚度、窗户保温密闭性等节能影响因素，靶向给力，通过不同技术优化组合，实施综合改造，确保改造效果达标。农房围护结构主要实施北墙、东西山墙外保温改造，坡屋顶农房试装“节能吊顶 + 保温窗帘”，平屋顶农房选择效果最明显的倒置式屋顶保温改造，同时辅助更换老旧门窗增加门窗气密性等；传统古村落及山区石头农房采用符合防火规范的内保温改造。但由于农房节能改造产业链基础设施薄弱，材料供给等相关产业链尚未形成，造成多种靶向技术路线规模化实施难度大，短期内无法大范围有效推广。

最后，从技术层面来看，屋面防水保温结合光伏综合应用等技术方案仍有待进一步研究。在国家双碳背景下，农村屋顶光伏加装将成为重要趋势，但屋顶光伏加装和屋面防水保温措施，两种技术方案相结合时，设计参数、施工工法、成本控制等相关研究不足，仍有待进一步突破。

## 第三章 创见未来：2030 年全国范围内将完成散煤治理

散煤治理一直被认为是“难啃的骨头”，面向 2035 美丽中国以及“3060”目标的指引，散煤治理在 2022-2025 年间，仍需保持定力，坚持工业和民用合力攻坚，力争实现散煤削减 50% 及以上的目标。在工业领域，继续淘汰落后产能、加快以大代小和有序推进清洁能源替代；在民用领域，农房建筑节能改造占比达到 5% 及以上，在中央财政支持下稳步推进东北和西北的清洁取暖项目，同时加快推动清洁取暖的市场化发展以及绿色金融支持。2025-2030 年，力争彻底根治散煤污染问题。2035 年，可再生能源为主的农村能源体系已形成，可再生能源供暖比例达到 80% 及以上。

### （一）散煤治理目标

---

在过去取得的显著成效的基础上，我国散煤治理仍需保持定力，从工业和民用两个方向合力攻坚，在“双碳”目标和美丽中国目标的指引下，加强清洁化和低碳化协同的散煤治理，力争 2025 年实现削减散煤 50% 及以上（以 2021 年底散煤消费水平为基础），力争 2030 年削减散煤 80% 以上。

如图 3-1 所示，2022-2025 年，散煤削减总量预计超过 1.7 亿吨，其中民用散煤治理贡献预计超过 50%。2025-2030 年，散煤治理进入最后的攻坚阶段，工业、民用散煤基本解决，但仍有少量清洁煤炭用于特殊用途的工业小锅炉、偏远山区的居民取暖设备等。

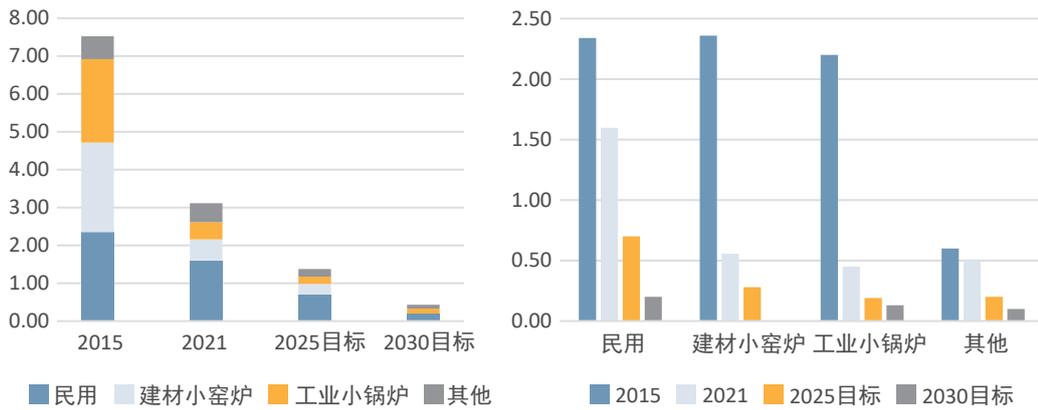


图 3-1 2025 年和 2030 年散煤消费量预测值及其构成 (单位: 亿吨)

## (二) 工业小锅炉治理兼顾减污和降碳

### (1) 2030 年工业小锅炉散煤削减 70%

根据已经发布实施的《“十四五”节能减排综合工作方案》(国发〔2021〕33号),明确了燃煤锅炉两项综合治理措施,分别为超低排放改造和落后燃煤锅炉淘汰。其中,锅炉淘汰措施主要包括直接淘汰、以大代小和清洁能源替代。基于课题组建立的全国燃煤锅炉活动水平数据库以及燃煤小锅炉综合治理措施,预测 2025 年和 2030 年全国燃煤小锅炉煤炭消耗量如表 3-1 所示。由于燃煤小锅炉淘汰治理措施的持续实施,2025 年和 2030 年全国燃煤小锅炉煤耗量将继续下降,在 2021 年的基础上各减少约 60% 和 70%,分别下降至 1858 万吨和 1286 万吨。

表 3-1: 2025 年和 2030 年燃煤小锅炉煤耗量预测

年份	2021	2025	2030
煤耗量 (万吨)	4537	1858	1286

## (2) 污染物和二氧化碳减排情景分析

基于超低排放改造和落后燃煤锅炉淘汰两类综合治理措施，结合未来燃煤锅炉综合治理趋势，针对重点地区和一般地区差异化管控思路，分别设置基准情景和加严情景，预测 2025 和 2030 年我国燃煤工业锅炉管控状况。情景设置详见表 3-2。

表 3-2：燃煤工业小锅炉减排情景设置

情景	目标年	锅炉淘汰	超低排放
基准情景	2025	重点区域具备淘汰条件的 35t/h 以下燃煤锅炉全部淘汰；一般区域具备淘汰条件的 10t/h 以下燃煤锅炉部分淘汰	重点区域完成超低排放改造
	2030	所有区域具备淘汰条件的 35t/h 以下燃煤锅炉全部淘汰	重点区域完成超低排放改造；一般区域部分完成 10t/h 以上 35t/h 以下超低排放改造
加严情景	2025	重点区域具备淘汰条件的 35t/h 以下燃煤锅炉全部淘汰；一般区域具备淘汰条件的 10t/h 以下燃煤锅炉部分淘汰	重点区域完成超低排放改造；一般区域全部完成 10t/h 以上 35t/h 以下超低排放改造
	2030	所有区域具备淘汰条件的 35t/h 以下燃煤锅炉全部淘汰	所有区域全部完成超低排放改造

如图 3-2 所示，不同控制情景下，2025 年燃煤小锅炉颗粒物、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 排放量分别为 7.2 ~ 9.5 万吨、11.4 ~ 13.6 万吨和 2.7 ~ 4.7 万吨，分别较 2021 年下降 15.1 ~ 36.1%、16.5 ~ 29.9% 和 57.1 ~ 74.9%；2030 年燃煤工业锅炉颗粒物、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 排放量分别为 3.0 ~ 5.4 万吨、3.2 ~ 8.0 万吨和 1.6 ~ 3.1 万吨，分别较 2021 年下降 51.7 ~ 72.8%、50.8 ~ 80.3% 和 71.7 ~ 85.3%。燃煤小锅炉碳排放与煤耗量直接相关，估算 2025 年和 2030 年燃煤小锅炉碳排放量将下降至 3599 万吨和 2490 万吨，较 2021 年分别下降 59.1% 和 71.7%。

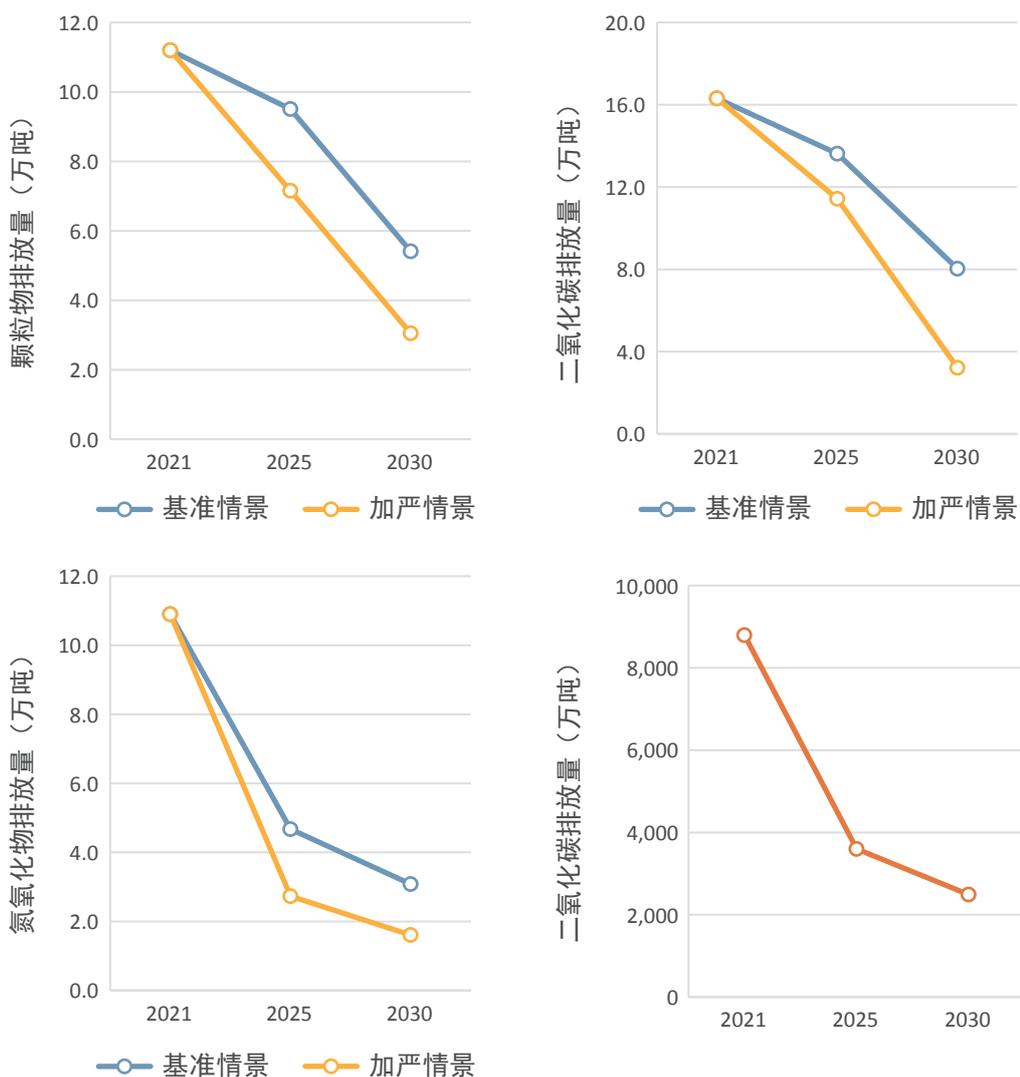


图 3-2 不同情景下 2025 年和 2030 年燃煤小锅炉污染物和二氧化碳排放量预测

### (3) 三项主要措施实现减污降碳协同治理

基于前期课题组研究获得的燃煤小锅炉不同淘汰（天然气、生物质、电等“能源替代”和“以大代小”）方式占比，核算 2025 年和 2030 年燃煤小锅炉颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的减排潜力。2021-2025 年，燃煤小锅炉颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 总减排量约为 4.0 万吨、8.2 万吨、4.9 万吨和 5198 万吨；2025-2030 年，燃煤小锅炉颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 总减排量约为 6.5 万吨、10.4 万吨、3.1 万吨和 1109 万吨，详见下图。

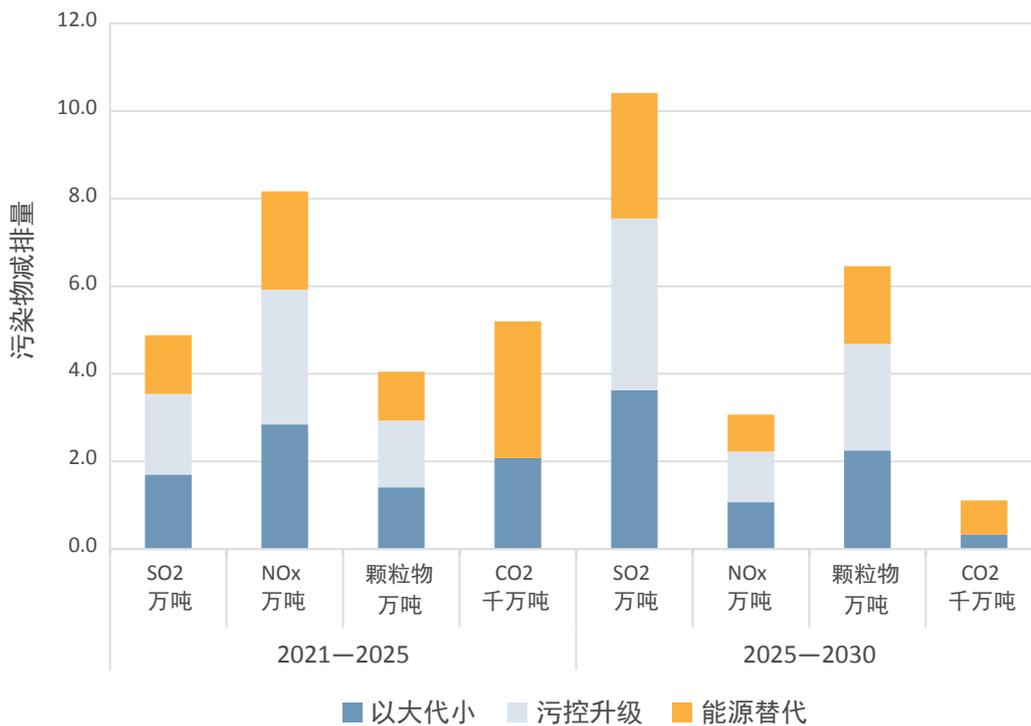


图 3-3 不同减排措施燃煤工业小锅炉污染物减排潜力

基于燃煤小锅炉综合治理措施，分析 2021-2025 年和 2025-2030 年燃煤小锅炉污染物减排路径如下：

### （1）继续推进燃煤锅炉“以大代小”，加大小锅炉淘汰力度

在继续加大小锅炉淘汰力度的情况下，2021-2025 年，通过“以大代小”（包括直接淘汰）方式颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 可减排量分别为 1.4 万吨、1.7 万吨、2.8 万吨和 2079 万吨；2025-2030 年，颗粒物、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 可减排量分别为 2.2 万吨、3.6 万吨、1.1 万吨和 333 万吨。

### （2）推进重点地区燃煤小锅炉污控设施改造升级

现有燃煤小锅炉安装烟气颗粒物、二氧化硫和氮氧化物控制措施，并保证污染物达标排放，且到 2025 年大气污染防治重点区域燃煤锅炉全面实现超低排放。基于本课题组研究结果，2021-2025 年，通过推进燃煤小锅炉污控设施改造升级可实现颗粒物、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 减排 1.5 万吨、1.8 万吨和 3.1 万吨；2025-2030 年，可实现颗粒物、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 减排 2.4 万吨、3.9 万吨和 1.2 万吨。

### （3）采用能源替代性措施控制燃煤小锅炉排放

通过采用清洁能源供热等替代性措施可以减少工业锅炉的煤炭消耗量，从而减少污染物大气排放，进一步推动以工业余热、电厂余热、清洁能源等替代煤炭供热（蒸汽）。基于本课题组研究结果，2021-2025 年，通过采用能源替代性措施（煤改气、煤改电

和煤改生物质等)可实现颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和CO<sub>2</sub>减排1.1万吨、1.3万吨、2.2万吨和3119万吨;2025-2030年,可实现颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和CO<sub>2</sub>减排1.8万吨2.9万吨、0.8万吨和776万吨。

### (三) 建材工业小窑炉治理以淘汰落后和天然气替代为主

---

“十四五”期间,建材行业工业小窑炉治理措施仍然围绕淘汰落后、天然气替代、节能降耗、错峰生产等措施推进,在保持政策力度不变的情况下,预测2025年建材行业工业小窑炉可在2021年的基础上下降50%,2030年基本完成现有建材行业小窑炉治理。

基于“十三五”相关政策措施的贡献情况预测,在“十四五”期间,淘汰落后仍然是散煤减量的重要举措,预计在散煤减量中的贡献可达60%。其次是清洁能源替代,在建材行业主要是天然气替代。

### (四) 2035年农村地区可再生供暖比例可达80%

---

截至2021年底,我国可再生能源供暖面积约19.46亿平方米。综合考虑可再生能源供暖支持政策、经济性以及疫情影响等诸多因素,预计2025年供暖面积可以达到25亿平方米,具体供暖技术发展的预期规模详见表3-3。

表 3-3: 2025 可再生能源供暖目标

序号	类别	供热目标 (亿 m <sup>2</sup> )	
1	生物质供暖	农林生物质热电联产	5
		城镇生活垃圾热电联产	1
		生物质成型燃料	2
		生物质天然气与生物质气化	0.5
		生物质成型燃料供蒸汽	
2	地热供暖	中深层地热	4
		浅层地热 (含电供暖中的地源, 水源热泵)	11
3	太阳能供暖	光伏发电	0.5
		太阳能热利用	0.5
4	风能供暖	0.5	
合计		25	

按照常规情景, 2030 年, 可再生能源供暖面积将达到 35 亿平方米, 2035 年达到 50 亿平方米。按照强化情景, 充分结合 2025 年后可再生能源供暖成本的加速下降以及双碳目标对行业的影响, 农村地区清洁取暖率的进一步提升, 以及原有煤改气、洁净煤 + 环保炉具等技术路径的可再生能源替代, 2030 年可再生能源供暖面积将达到 45 亿平方米, 2035 年将达到 60 亿平方米, 届时可再生能源供暖将占农村总供热比例的 80% 以上。

充分考虑资源禀赋、地形地貌、人口密度、经济条件等区域性差异, 建议可再生能源供暖的发展应因地制宜, 分类施策, 梯次推进。

- 东北地区: 生物质和风能资源丰富, 供暖时间长, 太阳能资源相对较差, 因此重点发展生物质和地热供暖。具体技术包括: 生物质热电联产, 生物质打捆直燃, 生物质炉具 + 成型燃料, 生物质成型燃料, 生物质气化, 浅层地热, 中深层地热, 风电 + 蓄热锅炉等。
- 华北地区: 生物质资源丰富、地热资源丰富、太阳能资源较好, 冬季室外温度比东北地区高一些。重点推广生物质、地热和太阳能供暖。具体技术包括: 生物质热电联产, 生物质炉具 + 成型燃料, 生物质成型燃料供热, 生物质气化供热, 浅层地热, 中深层地热, 太阳能 + 电, 太阳能 + 燃气, 太阳能 + 生物质, 太阳能 + 热泵, 地源热泵, 水源热泵, 空气源热泵等。
- 西北地区: 风能资源和太阳能资源丰富, 应重点发展太阳能和风电供暖。具体技术包括: 太阳能 + 电, 太阳能 + 燃气, 太阳能光热 + 太阳能光伏发电等。

表 3-4：各省可再生能源供暖技术路径

	生物质供热	地热	热泵	风电采暖	光伏采暖	光热采暖
黑龙江	√			√		
吉林	√			√		
辽宁	√			√		
北京			√		√	√
河北	√	√	√		√	√
山西	√	√	√		√	√
山东	√	√	√		√	√
内蒙古				√	√	√
甘肃				√	√	√
青海				√	√	√
宁夏				√	√	√
新疆				√	√	√
陕西		√	√		√	√
河南	√	√	√		√	√

## (五) 清洁取暖走向市场化, 多渠道化解经济性难题

### (1) 差异化用户需求, 多元化市场营销

在清洁取暖项目试点示范的基础上, 新型清洁取暖技术正在被逐步接受。调研结果显示, 政策影响下, 清洁取暖用户需求开始涌现, 经济条件较好的用户注重取暖品质, 对清洁取暖的要求是方便智能、干净舒适, 倾向于选择天然气和电采暖; 经济条件较差的用户则更注重取暖成本, 注重经济实用, 倾向于就地取材。农村能源消费正在经历从柴薪、散煤等低端能源到天然气、电等高端能源升级, 并最终朝向可再生能源为主的低碳化转型。

市场调研发现, “十四五”初期, 经营单一品类和品牌的经销商越来越少, 多元化

经营趋势明显，如燃煤采暖炉、生物质采暖炉、电采暖设备、热泵、农村大锅灶等多种产品组合销售，甚至一些店面还经营暖气片、太阳能、空调、小家电、洁净煤、兰炭、生物质颗粒燃料等相关配套产品。受清洁取暖政策和市场需求影响，多能互补的市场格局已经形成。经销商为了生存与发展，开始布局多元经营模式，除了产品多元化，水暖系统的安装、售后、维护等服务都在涉及，依托“实体产品+后端服务”转型升级。

同时，结合东北、西北不同气候条件、民俗风俗、用能和生活习惯等，用户需求将更加明确和多元，“十四五”中后期应加快推动清洁取暖市场化发展，撬动市场需求，多元化产品经营，并促进系统化服务升级。

## （2）可再生能源供热加快提质增效

考虑到未来风电和光伏的造价继续降低和效率提升，未来风电和光伏的成本将继续下降，预计在“三北”地区风电场的建设成本可以降低30%左右。同时，基于智能操作系统，风机寿命也能延长至30年以上。2025年，风电在“三北”高风速地区的度电成本将实现0.2元/kWh，在“三北”日照资源丰富的区域，光伏发电成本有望下降到0.2元/kWh，2030年有望达到0.15元/kWh，2030年甚至有望降低到0.1元/kWh。与此同时，受环境保护和气候变化的影响，煤炭和天然气等传统能源价格上扬。这将使可再生能源供暖，尤其是风电和光伏供暖具有一定的竞争力。以河北为例，每年供暖4个月，每个采暖季每平米消耗标煤约为22kg，则需要消耗178kWh电量，按照光伏和风电的度电成本2030年下降到0.1元/kWh，则光伏和风电的取暖成本大约下降到18元/平米，与燃煤锅炉相比，具有竞争力。

## （3）探索绿色金融支持

清洁取暖项目初期投入大，过度依赖财政补贴的方式不可持续，目前，已有一些城市在金融支持方面做了有益尝试。长治、济宁等城市出台了针对性的金融优惠政策吸引社会资本投资，如济宁出台的有关金融支持政策要求清洁取暖企业贷款利率原则上比同档次贷款利率下浮10%。部分城市积极利用世界银行、亚洲开发银行等国际金融机构低息贷款资金，如华夏银行承接的世界银行“京津冀大气污染防治融资创新项目”转贷项目，支持“煤改电”项目的平均融资成本低于市场化利率10%。人民银行研究局在山西省长治市长子县推进金融支持清洁供暖试点，取得积极进展。

2022年初，生态环境部印发《生态环保金融支持项目储备库入库指南（试行）》，北方地区冬季清洁取暖作为重点支持方向。生态环保金融支持项目储备库建设纳入2022年生态环境部重点工作，生态环境部联合10家金融机构对入库项目将给予倾斜性支持，期望通过中央政策带动社会资本投入。清洁取暖项目的实施可替代散煤燃烧，具有显著的环境效益和社会效益，对于经济性较好的项目可直接将项目有关材料提交至生态环保金融支持项目库，对于经济性较差的项目可通过环境导向的开发（EOD）模式将清洁取暖项目与产业开发项目打包融合开发提高项目整体经济性，将项目整体材料提交至生态环保金融支持项目库，对接有关金融机构进行融资。

生态环境导向的开发模式（Eco-environment-oriented Development，简称 EOD 模式），是以生态保护和环境治理为基础，以特色产业运营为支撑，以区域综合开发为载体，采取产业链延伸、联合经营、组合开发等方式，推动公益性较强、收益性较差的生态环境治理项目与收益较好的关联产业有效融合，统筹推进，一体化实施，将生态环境治理带来的经济价值内部化，是一种创新性的项目组织实施方式。自 2020 年以来，生态环境部联合国家发展改革委、国家开发银行连续启动了 2 批 EOD 试点，共计 94 个试点项目。2021 年以后，生态环境部将持续通过生态环保金融支持项目储备库建设推动 EOD 项目开发，生态环境部已与国家开发银行、农业发展银行等 10 家金融机构对接沟通，对包括 EOD 项目在内的生态环保金融支持项目给予倾斜性支持，期望降低社会融资成本。

在此基础上，“十四五”期间可进一步尝试将清洁取暖项目转变为企业投资项目，借助财政和金融两个工具支持企业开展商业模式创新，提高项目经济性。同时，搭建清洁取暖投融资交流平台。依托生态环境部的生态环保金融支持项目储备库，定期举办项目交流会或推介会，通过金融措施加大清洁取暖项目的支持力度，降低项目建设投资，吸引社会资本积极主动参与。

## （六）提升新建农房能效标准、统筹既有农房节能改造

坚持政府引导、村民为主的基本原则，在尊重农民安居需求和农房建设实际的基础上，通过因地制宜分类施策，提升农房建设设计、服务管理、节能减排水平，将我国农房建设成为风貌乡土、成本经济、结构安全、绿色环保的节能农房，改善农村居住条件和居住环境，提升乡村风貌。

到 2025 年，由开发商建设的农房居住建筑节能设计标准得到有效执行，结合危房改造、清洁取暖等工作，完成一批既有农房节能改造，力争到 2025 年底，节能农房占比达到 5% 以上；到 2030 年，村民自建房设计建造水平得到有效提升，新建自建房普遍具备一定的节能水平，既有农房改造结合屋顶光伏等工作，具备“清洁供、节约用”的可持续发展条件，力争到 2030 年底，节能农房占比达到 20%。

为实现上述目标，“十四五”时期，重点推进清洁取暖改造和危房改造，“十五五”时期，重点推进高标准建设。其中新建农房重在标准提升，既有农房重在统筹推进。

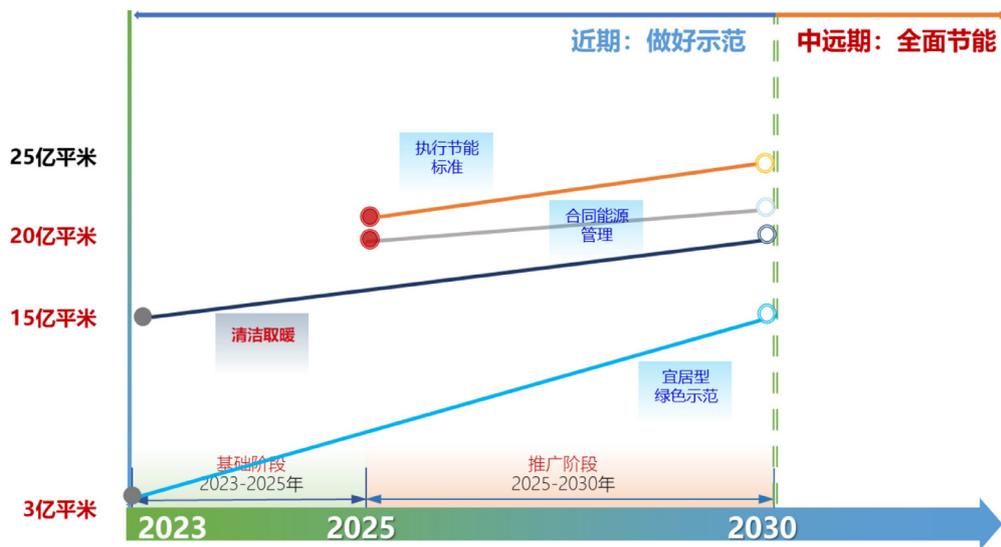


图 3-4 2030 年前北方农村建筑能效提升技术时间表

**新建农房重在标准提升。**新建农房中，约 10% 由开发商建设，对于此类建筑，应首先执行《农村地区居住建筑节能设计标准》要求，率先提高农房节能水平；剩余 90% 的村民自建房，应推广宜居型绿色农房，按照宜点则点、宜面则面的原则建设一批宜居型绿色示范农房和示范农房组团，形成可复制、可推广的示范经验，在此过程中，要加快农房和村庄建设现代化，按照精心设计、按图建造的原则，提高农房设计建造水平，完善农房与村庄建设管理机制。

**既有农房重在统筹推进。**当前既有农房中，也有少量开发商建设的小区型农房，这些农房一旦引入集中式供暖则有商业收益及运作可行性，可参考合同能源管理的模式由第三方组织实施节能改造。其他既有农房能效提升工作，要与美丽乡村建设、农村危房改造、清洁取暖、屋顶光伏等紧密结合，在统筹推进中，应单列资金标准，明确任务要求，强化评估考核。从技术路线看来，既有农房能效提升可分为四代：

第一代为增加建筑围护结构保温性能。农村地区老式房屋围护结构普遍采用实心砖，无外墙保温，外窗的类型多以单玻木窗为主。新式房屋采用双层中空玻璃，但无外墙保温。最初农房节能改造工作，以加强外围护结构保温和更换窗户为主，参考借鉴城镇建筑节能改造经验较多。第一代技术能够有效解决农房高耗能问题，但投资造价较高。

第二代为优选低成本、性价比高的节能改造方案。特别是清华大学在鹤壁市、商河市试点实施的保温屋面、保温窗帘为代表。考虑到农房实际条件和室温需求，这种技术路线深受有关部门的肯定和部分地方政府的推崇。然而由于此类技术路线需要针对农宅单体详细测算分析，且配套产业发展相对滞后，加之村民获得感较第一代方案降低，这种方案推广不及预期，仍需各方面完善配套政策。

第三代为研发中或即将试点示范的保温光伏一体化屋面。当前农村地区屋顶加装光伏已成为重要发展趋势，研发保温光伏一体化屋面并及时开展试点示范是当前的迫切需求。

第四代为超低能耗农房。有研究表明，超低能耗农宅较现有农宅，本体节能率可达到 60% 以上。住房和城乡建设部已将超低能耗农宅试点列入“十四五”绿色建筑与建筑节能发展规范，以及住房城乡领域碳达峰政策中。

## 2030年前农房节能改造工作思路

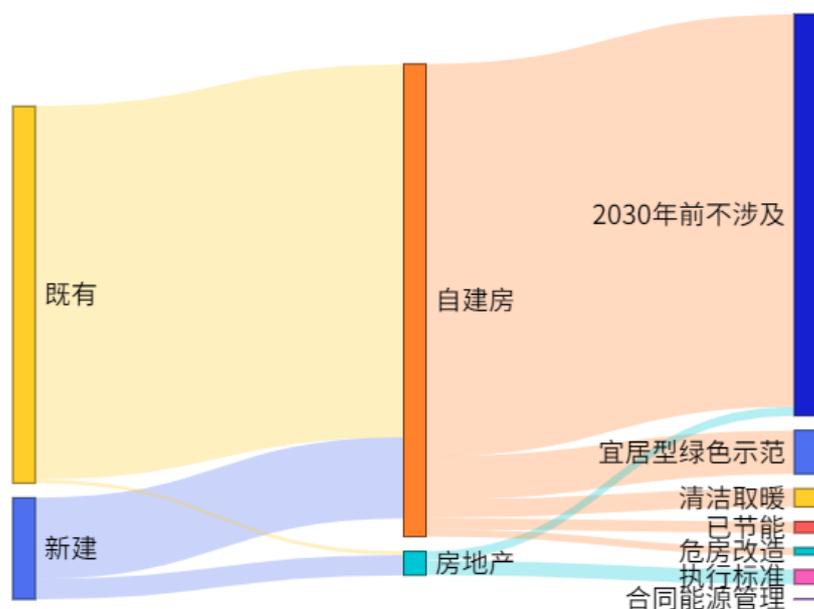


图 3-5 2030 年前北方地区农村建筑能效提升技术路线图

具体推进策略如下：

- **结合农村危房改造开展农村建筑能效提升。**北方地区农村建筑能效提升，应结合农村危房改造工作协同推进。在中央财政农村危房改造补助资金中，鼓励有条件的地区同步实施农房节能改造，并单列同步实施农房节能改造的补助资金。
- **东北、西北地区重点结合清洁取暖开展农村建筑能效提升。**考虑到华北地区清洁取暖工作已基本完成，东北、西北地区清洁取暖工作尚在起步阶段，建议东北、西北地区在清洁取暖推进过程中，以 40% 热源清洁化比例为底线值，指导地方开展农村建筑能效提升工作。在绩效考核评价中，将能效提升率不低于 20% 作为底线要求，指导农村建筑能效提升工作。
- **华北地区重点结合试点示范引导农户建设节能农房。**华北地区农村经济水平相对东北、西北地区更好一些，宜开展宜居型绿色农房建设试点，建成一批风貌乡土、成本经济、结构安全、节能减排的示范农房和农房组团，在此过程中，积极开展农房和村庄建设现代化试点，提高设计建设水平。
- **加强农村住房节能技术指导。**加强对农房建筑节能设计、施工及管理关键环节

的技术指导，推动《农村居住建筑节能设计标准》、《村镇宜居型住宅技术推广目录》等技术文件的执行。

- **建立设计师下乡长效机制。**组织引导建筑师、规划师、暖通工程师等专家和技术骨干参与农房设计和建设的实施指导。积极开展相关培训，鼓励科研单位、学协会开展农房设计和建设研究，培养乡村设计师队伍。
- **加强农房与村庄建设管理。**行政资源整合，综合执法，简化监管程序，创新监管方式，明确责任主体，做到有人管、有条件管、有办法管。建立行之有效的农房与村庄建设管理体制机制，将监管进一步落到实处。

## (七) 强化散煤治理将带来更高的健康效益

---

本课题以中国北方省份农村居民部门为研究重点，基于 IMED | TEC 能源系统技术优化模型和 IMED | HEL 健康影响评估模型定量评估了“双碳”和“强化散煤治理”情景下农村民用散煤治理的室内健康效益，并以货币化方法量化了清洁取暖政策在人群健康改善方面的经济效益。

我国农村炊事、取暖需求在中长期呈现下降趋势，到 2035 年分别比当前水平下降 22% 和 9%。“双碳”目标有助于推动炊事和取暖的清洁化和低碳化转型，LPG 炉灶是炊事转型的关键技术，而清洁煤和天然气高效利用是取暖转型的关键技术。2035 年，全国农村炊事、取暖技术转型的平均成本预计分别为 480 亿元和 610 亿元。同时“双碳”目标也将带来较大的健康效益，在 2020 至 2035 年期间累计可将全国农村地区致病例数和致死人数从基准情景的约 1072 万例和 275 万人下降到“双碳”情景的约 975 万例和 250 万人，降低致病致死率约 9%。

研究表明，“双碳”目标虽然有助于推进能源结构调整和能源强度下降，促使农村居民炊事和取暖技术的升级与改造，但不足以在 2035 年前推动散煤完全淘汰。而在“强化散煤治理”情景中，北方地区清洁取暖试点区域的散煤和传统生物质预期于 2035 年内实现清零。如图 3-6 所示，北方地区十五个省市预测 2020 至 2035 年期间可累计减少总致病例数 221.6 万例，避免总致死人数 57.4 万人，是“双碳”情景相比基准情景减少的致病 / 致死人数 4.9 倍左右。

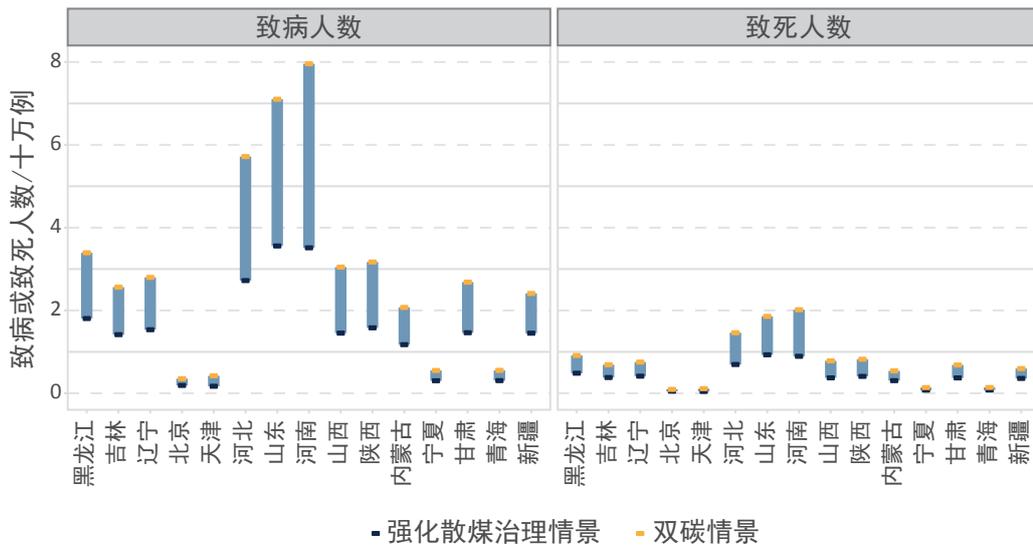


图 3-6 2020-2035 年间“强化散煤治理”相比于“双碳”转型情景的  
累计致病 / 致死人数变化

## 第四章 政策建议

面向美丽中国和碳中和的长期愿景，散煤治理工作仍需砥砺前行。为此本报告结合散煤治理进度、消费现状、现实挑战等，立足当下，综合提出如下建议：

### (一) 全国范围内加强工业散煤治理及动态追踪

动态管理产业结构调整目录和落后产能清单。与时俱进推动相关产业发展和升级，适时提高产业门槛，从环保、低碳、绿色发展的角度，对工业企业锅炉和窑炉等排污设施进行台账管理，并加强动态监管。

严格落实排污许可证制度，构建证后监管技术体系。建立自下而上的企业污染物和碳排放总量控制制度，企业需从证后管理、自证守法、信息公开等方面实施污染排放和碳排放的全过程管理，全面提升企业环境和碳管理的精细化水平。生态环境主管部门应加快构建证后监管技术体系，为燃煤工业锅炉污染物和碳排放量控制以及散烧煤治理等工作的开展提供可靠的基础数据和统计信息。

建立健全污染治理设施的日常管理制度，严格落实《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）中关于 20 蒸吨 / 小时以上锅炉安装污染物排放在线监控设备的规定，并与环保部门联网。各级生态环境主管部门应加强对工业锅炉、窑炉监管的系统化管理，强化污染治理设施的运行监督，强化锅炉、窑炉管理和操作人员的培训，加强第三方专业运营管理。

此外，有条件的地方，探索锅炉、窑炉环保设施运行费用补贴模式，可参考电厂补贴模式，探索以供热量为依据的补贴方式，或者一次性工程补贴与供热量补贴相结合的模式。

## (二) 统筹构建农村能源社会化服务体系，将清洁取暖纳入其中

---

统筹考虑和依托乡村城镇化、美丽乡村建设，将农村能源基础设施建设纳入规划，与道路建设、供水设施等统筹规划，提升农村清洁取暖基础设施水平。制定农村清洁供热标准，创造市场环境，激发市场活力和创造力，成立能源服务公司，构建县-乡-村三级农村能源社会化服务体系。企业应从分户实施、各负其责的传统运营方式，向专业化清洁供暖服务公司转变，发挥技术优势、经营优势，因地制宜开展清洁取暖技术方案选型、系统安装、调试、运行、维护等“一条龙”服务，通过“托管式”合同能源管理、PPP、设备租赁、以租代建等方式，创新清洁取暖市场化投资运营模式，切实解决目前清洁取暖项目中工程质量、运行安全以及维护维修等一系列问题。同时。根据村、乡镇、市县等各级能源服务的特点进行人才培训和引进，充实农村能源服务和供热服务的技术力量。

建立科学的招标采购、补贴与评估机制。在招标阶段，建立专家组评价指标体系，从产品质量、价格以及售后服务等方面综合评价，避免低价恶性竞争。在试点经验基础上，研究建立清洁取暖领域的企业、技术、材料、设备、售后服务等黑白名单制度，保障清洁取暖能够选到能力强、质量优、服务好的企业和产品。根据试点情况，及时进行效果追踪评估，督促和激励企业不断提升产品质量和售后服务水平，确保“质”“量”齐升。

此外，强化农村清洁取暖能源供应保障机制。受经济复苏电力需求增长以及能源双控等影响，2021年能源供应出现阶段性紧张，建议做好能源供应保障工作，在重点区域大气监督帮扶中，对天然气储气设施租赁、“压非保民”应急预案等情况开展指导帮扶，确保应急储气能够落实到位，夯实“压非保民”应急预案。同时，扎实推进生物质资源加工利用。因地制宜地建立生物质能收集和运输、分布式加工体系，建立覆盖农村的清洁能源商品供应体系。

## (三) 建议编制《北方地区清洁取暖技术指南》

---

清洁取暖工作应同碳达峰、乡村振兴等重大战略统筹衔接、系统推进，推动农村能源结构清洁化、低碳化。建议财政部、生态环境部、国家能源局、住房和城乡建设部、国家发展和改革委员会、农业农村部等部门联合加大对清洁取暖的技术指导，编制出台

《北方地区清洁取暖技术指南》，基于“十三五”试点城市经验总结，确定清洁取暖不同技术路线的适用性和经济性，提出技术路线选择的针对性建议。

首先，在技术指南中，强化可再生能源优先原则，明确可再生能源在清洁取暖中的战略方向。短期包括可再生能源在内的多种清洁能源取暖路线并存；长期以可再生能源电力为主、其他可再生能源为辅的清洁能源取暖路线。将可再生能源供暖与发电相结合，将可再生能源发展与当地产业发展相结合，系统性解决农村生活和生产用能。指导地方加大可再生能源取暖技术的示范应用，在西北地区开展光伏发电取暖示范项目，在东北地区开展风电取暖示范项目。提高可再生能源取暖技术应用比例，针对目前尚有争议的生物质供暖技术，明确发展路径；针对集中式和分户式取暖方式，在满足项目建设条件下，结合乡村发展规划，鼓励优先推进集中式取暖。明确可再生能源电力供暖的电价机制，包括取暖用户余电上网、夜间取暖购电的优惠电价等；提高技术成熟度，包括光储直柔、风电+蓄热电锅炉、光伏+光热+储能，以及各类热源的耦合技术等。

其次，明确不同技术路线的适用条件、技术要求、运维服务标准等，根据不同经济条件的用户，提供梯级技术清单、多能互补或技术组合型方案，并比较经济成本、运行费用、功能特点、环保性能等，以满足不同用户需求，确保不降室温情况下取暖费用可承受。

最后，建议实施清洁取暖关键技术攻关，组建技术服务平台，制定并发布技术推广目录。针对农村清洁供热系统的核心技术问题，如风电和光伏的不稳定性，储能、储热技术，热负荷调峰技术，极寒天气热效率稳定性，低温供热，自动化控制等进行攻关研究，实现技术的稳定性和可靠性。同时，建议制定省级清洁取暖技术设备准入标准，加强对清洁取暖设备、特别是分散式取暖设备的准入管理，把能效低、能耗高的设备排除在清洁取暖设备供给之外，确保清洁取暖设备市场良性健康发展。

## （四）加快落实农村建筑能效提升

---

首先，加强农房和农村建设管理。规范村庄设计与农房设计、建设、使用的行政程序管理，健全农村房屋设计、审批、施工、验收、使用等全过程管理制度，明确责任主体，全方位实施职、责、权一体化模式，建立责任追究机制，按照“谁审批、谁监管、谁负责”的原则，实现农村建筑统一科学管理。立足村镇工程建设实际，积极研究建立符合农村建筑节能改造工程特点的监管体制和机制，不断强化农村既有建筑节能改造工程监管，将农村建筑节能改造工作融入村镇建设管理过程之中，与土地、规划、产权、质量安全、节能管理为一体，节省监管资源，简化监管程序，创新监管方式，不断强化农村地区节能改造施工过程中材料、程序、质量、验收、能效等监管力度。

其次，在北方地区冬季清洁取暖项目申报文件中，进一步细化农村建筑节能改造的范围、能效提升目标及相关考核要求。统筹农村地区不同类型建筑节能改造需求，针

对农村经济条件薄弱、农房形式单一、分布零散等实际情况，兼顾建筑可持续发展，对各类农房进行现场踏勘和节能诊断，科学设计适合平原、丘陵、山区等地形的平房、瓦房、楼房、联排农房等建设风格的节能改造模型，推动农村地区既有建筑能效提升改造全面发展，加大既有建筑节能改造的规模。坚持建筑节能提升与清洁取暖同步推进，在推动北方地区冬季清洁取暖项目过程中，申报时明确同步改造比例和量化目标要求，规范农村能效改造标准，将农村地区节能改造比例纳入国家绩效考核标准。加强农村建筑节能提升项目监督检查，确保节能改造目标任务落到实处。合理确定各项改造技术能效提升贡献率，通过技术优化组合，实施综合改造；农房能效提升严格执行国家相关标准，能效提升总体目标定为“综合能效提升比率不低于 30%”或“农房能效提升率不低于 20%”。

再次，因地制宜研发区域差异化的农村建筑节能改造技术方案。针对东北、西北、华北不同地区农村建筑特点，根据农村当地能源禀赋，通过不同技术路径的优化组合，将分布式光储直柔系统、生物质能利用、太阳能光热和新型热泵等可再生能源技术广泛应用到农村建筑节能设计中，从农村节能设计标准、施工验收标准、节能技术导则等方面，建立健全农村建筑节能标准体系，做到不同类型节能改造项目有据可依。结合农村实际采用适宜的围护结构保温技术，做到农房建筑全寿命周期的低碳、节能和环保。

加强保温光伏一体化屋面等新技术研发应用。统筹农村建筑节能提升改造与光伏综合应用协同发展，制定协同改造技术方案；加强农村既有建筑能源利用与建筑节能技术综合推进技术研究，科学确定分气候区、经济水平的农村建筑碳中和路径。同时，促进低成本改造技术产业发展。进一步完善和推广农村建筑节能改造适宜技术，特别是针对严寒地区农房特点的低成本改造技术方案，开发适合农村特点、低成本、高效率、易实施的建筑节能技术措施。

最后，立足农户的经济承受能力，依据不同地区农房保温状况和当地经济发展条件，积极做好财政资金补贴政策管理，提高农房建筑节能改造的财政资金投入的优先级，在国家、省、市各级建立有效的政策工作机制，加大财政资金的倾斜或扶持力度，促进关键技术产业化发展。

## (五) 财政金融两手发力, 提高中央资金带动作用

---

在补贴政策方面, 建议开展清洁取暖运行补贴跟踪研究, 并同步开展运行补贴退坡速度研究, 为后续成本分摊机制的建立提供科学支撑。建议在研究基础上, 出台关于清洁取暖补贴标准的制定导则, 提出补贴标准制定的原则、方法、目标、时效、路线(含退坡)等。

在经济下行压力下, 将清洁取暖资金作为“保民生”资金予以优先保障, 后续中央在确定清洁取暖项目城市时, 应进一步加大对地方资金或社会资本投入的保障要求, 优先支持中央财政资金对地方社会资本预期带动作用大的城市。

将清洁取暖项目转变为企业投资项目, 借助财政和金融两个工具支持企业开展商业模式创新, 提高项目经济性。搭建清洁取暖投融资交流平台。依托生态环境部的生态环保金融支持项目储备库, 定期举办项目交流会或推介会, 通过金融措施加大清洁取暖项目的支持力度, 降低项目建设投资, 吸引社会资本积极主动参与。

研究农村清洁取暖改造项目自愿碳减排(CCER)方法学, 开发清洁取暖项目参与温室气体自愿减排交易项目, 推动农村清洁取暖项目开展碳减排认证, 通过碳交易的收益弥补部分清洁取暖支出的增长。

## (一) 建筑节能案例

农村地区常设有杂物间、常年无人居住或不常使用房间等，不像城镇地区几乎全屋采暖，不同地区农村取暖房间占比也差异较大。华北地区（以山东省典型城市调研为例），冬季采暖房间面积占农户建筑面积比例约 60%~70%。西北地区（以西北五省典型调研为例），全屋采暖占比仅 21%，个别房间采暖占比约 40%，局部位置采暖（如火炕、电热毯等）占比约 39%。东北地区（以黑龙江典型城市调研为例），主要是采用火炕对卧室取暖，属于个别房间采暖形式，一般采暖房间面积占农户建筑面积比例约 30%~40%。因此，在推进农村既有建筑能效提升改造时，应重点考虑对居民主要取暖房间进行改造，达到降低改造成本、降低取暖能耗、改造效益最大化的目标。下面以华北和东北地区典型城市为例，介绍建筑能效提升技术方案情况。

### 典型华北城市

华北地区典型农房能效提升，选择许昌市为代表案例。许昌市位于河南省，也是 2021 年河南省唯一入选城市，在清洁取暖工作中，河南省建筑能效提升工作一直走在全国前列，也是最早开始编制地方农房建筑能效提升导则的地区。

#### (1) 农村建筑现状分析

许昌市既有农房多数采用砖混结构，外墙三面多数为砖墙，朝南一面多数都有饰面层；外窗采用铝合金单玻，少数仍旧采用木框单玻；屋面多数为钢筋混凝土屋面板 + 炉渣层；建筑形式多样化，有独栋，也有联排，以两层居多。

外墙：多为砖混结构，采用 240mm 实心粘土砖，无保温措施。

外窗：多为铝合金普通单玻窗、塑钢普通单玻窗木窗框单玻璃，玻璃厚度为 5mm，大部分密封良好。

屋面：平屋面，采用 80mm 钢筋混凝土现浇屋面，现场无保温及防水措施；坡屋面，以小青瓦居多，无保温及防水措施。



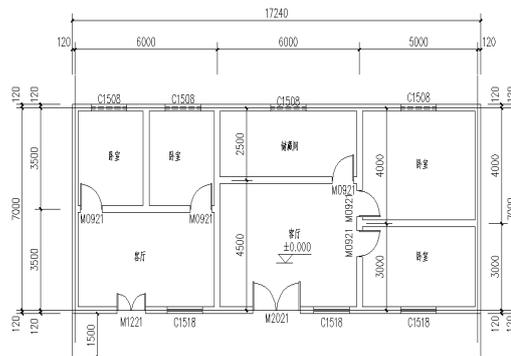
附图 1-1 许昌市典型农村建筑

## (2) 建筑能效提升改造原则

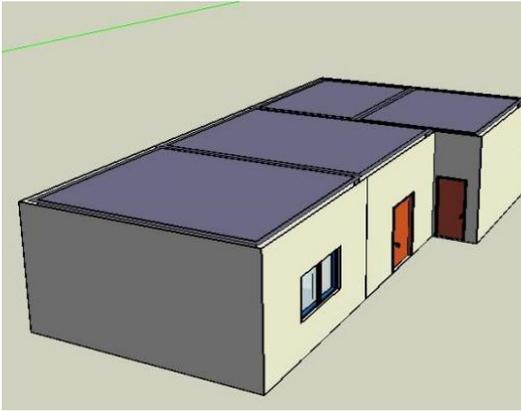
**坚持科学实施。**遵从改造过程对农户影响小，改造方案科学合理、施工难度小、改造成本低、易于推广复制等原则，从技术可靠性、可操作性和经济性等方面进行综合分析，同时结合当地村庄和农房改造规划、地理位置、自然资源条件、传统做法以及农民的生产和生活习惯，在满足国家、地方标准对能效提升要求前提下，针对农村两层楼房、一层平房、瓦房、等不同类型建筑，因户施策，一户一策，科学建立建筑改造模型，分别制定农村既有居住建筑能效提升方案。

模型尺寸	总跨度为 15m，进深为 5m
外墙	240mm红砖墙，无外墙保温，传热系数为 $1.96W/(m^2 \cdot K)$
屋面	100mm钢筋混凝土屋面板，上铺20mm厚炉渣，传热系数为 $3.25W/(m^2 \cdot K)$
外窗	5mm塑钢普通单玻窗，传热系数为 $4.9W/(m^2 \cdot K)$

节能诊断



现场踏勘



方案设计



实施改造

附图 1-2 许昌市某一层平屋面建筑节能提升方案

**坚持双侧同推。**按照热源侧清洁取暖改造与用户侧建筑节能提升同步推进的原则，热源侧、用户侧双侧同步发力，优选节能高效产品，切实提高用能效率。一方面要优选高效设备，农村积极推广节能高效的低温空气源热风机，提高能源利用效率，增强冬季取暖效果；另一方面要做好建筑节能提升工作，“热源侧”取暖能耗明显下降，从源头降低用热需求、取暖成本，切实强化清洁取暖改造效果。热源侧、用户侧双管齐下同步发力，有效降低取暖运行费用，确保百姓“用得起、用得好、用得久”。

**坚持整村推进。**充分发挥舆论导向作用，积极做好清洁取暖建设发动，引导农村地区村两委及党员充分发挥带头示范作用，首先推广低温空气源热风机进行热源侧清洁取暖改造，通过热风机取暖效果，提升居民清洁取暖改造积极性；通过农房建筑节能改造样板工程，增加农户使用体验，提高农民对清洁取暖工作的认知度和参与度。

**坚持统筹推进。**建筑节能提升改造是对建筑物的全面提质过程，改造后房屋外立面整洁美观，尤其是在农村地区，村容村貌得到极大改善，进一步使得清洁取暖项目获得村“两委”和群众更多的支持；同时，按照“整村推进、打造亮点”的原则，统筹考虑项目建设与“小城镇建设”、“乡村振兴”、“果树进村”等相结合，重点乡镇、普通农村分别制定整体改造方案，有效利用既有建筑节能条件，积极打造综合性示范精品项目，达到了“少投入、效果优、出亮点”的效果。通过既有建筑节能提升改造，既改善了农民居住条件和环境，也极大改善了村容村貌；同时，农村基础设施短板逐渐补齐，城乡环境差距不断缩短，靓丽了村容也留住了村民。



附图 1-3 许昌某农村建筑能效提升改造前后对比图

### (3) 农村建筑能效提升技术路线

综合考虑农房结构、建造形式、墙体屋面厚度、窗户保温密闭性等节能影响因素，科学制定技术路线。将农村建筑分门别类，合理确定各项改造技术能效提升贡献率，通过技术优化组合，实施综合改造，确保改造效果达标。

2021 年度清洁取暖探索阶段，以重点乡镇建筑能效提升改造为基础，坚持“起点适当提高，技术先进可行，科学引领示范，村民受益明显，严格改造标准”的原则，充分发挥技术引领作用，打造典型建筑示范区，选取典型农房建立计算模型，科学分析建筑能耗，制定农村建筑节能改造模型及能耗分析表，针对各类建筑模型，一户一策，分别制定节能改造技术方案。

总结建筑能效提升改造“许昌模式”经验，打造“用能低碳化、取暖清洁化、投资多元化、监管智能化”的“许昌模式”，在实践中总结经验，“双侧匹配、整村推进”是农村清洁取暖的整体技术路线，例如：襄城县茨沟乡茨西社区实施过程中充分发动群众，“前期动员宣传，中期过程监督，后期满意问卷”全过程群众参与，同时，实施低温空气源热风机与能效提升改造同步推进，缺一不可，农户出 1000 元（建筑能效提升 500 元，热风机 500 元），拉回家一台四五千元的热风机，同时加做建筑能效提升，改造旧房变新房，形成了“群众充分参与、整村全面提升”的“茨沟模式”。

强化项目专项技术指导，规范清洁取暖工程建设程序，印发了《冬季清洁取暖建筑能效提升工程项目建设指导意见》等 10 余项技术指导类文件，对项目招标、工程建设、竣工验收、能效测评、资金管理等方面提出具体要求，摸索出一套“靠前遴选、规范招标、过程监督、验收有章、资料完整、测评保障、资金有序拨付”的“全流程”建管模式，全方位保障工程质量，确保项目程序合理、工程建设合规、资金使用合法。

## 典型东北城市

东北地区典型农房能效提升，选择辽源市为代表案例。辽源市位于吉林省，也是2021年吉林省唯一入选城市，辽源市农村建筑能效提升相比热源清洁化面积比重58%，相较东北地区其他两个城市6%和46%，辽源市对农村建筑节能改造工作重视程度更高，改造力度更大。

### (1) 农村建筑现状分析

辽源市农村地区以单层农宅和双层农宅为主，少部分农房为三层，单层和双层数量之和占到农宅总量的90%以上，其中，单层农宅基本可分为砖混结构平屋顶农宅、砖木结构坡屋顶农宅两种类型，双层农宅由于建成时间较短，基本上为砖混结构平屋顶农宅。



附图 1-4 辽源市普通农宅现状图

外墙：多为370mm实心黏土砖墙，大部分外墙为抹面砂浆，极少数有饰面砖，基本无保温。

外窗：普遍为双层玻璃塑钢窗。

屋面：屋顶以砖瓦屋面为主，大多数农户在木屋架屋面吊顶内铺洒约20mm-30mm厚木屑。

根据《居住建筑节能检测标准》(JGJ/T 132-2009)，对辽源市农村开展农房居住建筑围护结构节能改造现场调研，外墙平均传热系数约为 $1.4\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，远高于《农村居住建筑节能设计标准》(GB/T50824-2013)要求的严寒地区外墙传热系数限值 $0.5\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。以下为部分农户建筑节能抽样调研数据表：

附表 1-1：辽源市部分农户建筑节能调研情况表

楼栋	外墙结构	外表面温度 (°C)	内表面温度 (°C)	平均热流传热系数 (W/m <sup>2</sup> ·K)	外墙平均传热系数 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
安恕镇农户 1	砖砌体 370mm	-7.8	3.4	13.2	1.00
安恕镇农户 2	砖砌体 370mm	-0.3	3.2	7.8	1.68
安恕镇农户 3	砖砌体 370mm	-3.6	-0.2	5.2	1.25
泉太镇农户 1	砖砌体 370mm	-5.6	6.7	29.2	1.75
泉太镇农户 2	砖砌体 370mm	2.3	10.5	14.8	1.42
白泉镇农户 1	砖砌体 370mm	-7.2	5.6	17.6	1.14
白泉镇农户 2	砖砌体 370mm	-2.5	6.0	15.7	1.44

## (2) 农房建筑节能改造技术路线

### A. 节能优先，推广定制化的节能改造

在清洁取暖项目实施过程中，辽源市始终秉承既要“清洁供”、也要“节约用”的基本原则。特别是农村地区，农宅的耗热量较城市节能建筑的热耗要高两三倍，如果不进行建筑节能改造，即便热源清洁了，但热源消耗依旧大，也只是“高能低用”，提高了供热成本，农民很难承受得起，未来返煤的隐患较大。为此，辽源市在冬季清洁取暖实施方案编制时，确定了“1+1”农房保温+热源清洁化改造的改造模式，按照节能优先、低成本、覆盖广的原则，在农村地区因户施策，进行“实用改造”，采取经济、实用的方式，对农户的常住房间外墙、门窗等关键区域进行节能改造，实现农村真正的“屋暖炕热”。

### B. 精简流程，试点探索农房改造的“东丰模式”

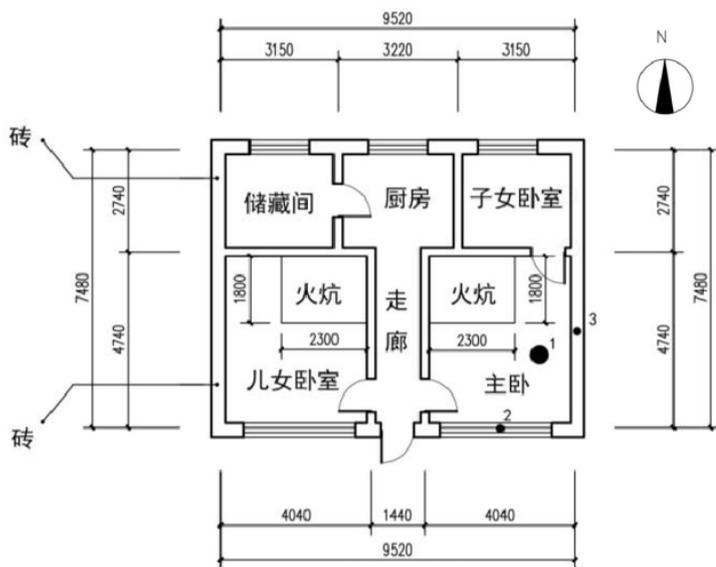
由于农村建筑节能改造基础差，用户多且分散，仅利用有限的资金推动广大农户实施建筑节能改造难度较大。为此，辽源市东丰县在项目实施过程中，因地制宜，参照了此前吉林省“危房改造”的成功经验，试点探索农村建筑节能改造的“东丰模式”。采用“个人申请+集体评议+乡镇审核+农户实施+乡镇监管+政府验收+补贴发放+档案管理”的全流程管理模式，符合农户自愿改造、按需改造原则，提高了农户的积极性，同时加快了项目进度，东丰县目前累计完成 160 万平方米农村建筑节能改造，超额完成 2021 年度指标。

### C. 政府引导 + 农户参与，合力推动农村建筑节能改造

在农村清洁取暖的推进过程中，常常因为资金短缺，导致农村建筑节能项目难以推进或覆盖面较小。考虑辽源市建筑节能现状、农民经济收入水平、建材及人工改造费用等，确定农村建筑节能改造标准为 80 元 / 平方米，其中政府补贴约 65.6 元 / 平方米（中央大气污染防治专项资金补贴 52%，地方财政资金补贴 30%），在确保普通农户保温效果的基础上，个别超出补贴标准的费用由用户承担。通过政策引导和财政补贴，在农村中广泛宣传，力争做到“应改尽改”，基本完成农村非节能且有改造价值的建筑节能改造，实现农房综合能效提升 30% 以上，大大提升农民冬季供暖质量，也减少了清洁能源的浪费。

#### （3）建筑能效提升典型技术方案

对于辽源地区，农宅建筑节能改造工作主要以房屋保温性能较差，仍具备至少 20 年使用年限的农房为主，同时对农宅的空置房，和计划通过城镇化上楼的农房进行统计，避免改而不用，造成资金浪费。下面为辽源农宅典型平面图：



附图 1-5 辽源市农宅典型平面图

普通农村房屋布局一般中间为走廊，在两边的房间处分别布置灶台，兼具炊事及采暖的双重作用；房间的北向做成餐厅或储物间使用，可存放炊事用品及杂物，兼具用餐功能。每个南向卧室里设置火炕，在冬季的白天不仅可以利用太阳的辐射加热房间，而且做饭及生火的剩余热能也可以用来辅助供暖。但大部分老旧的农宅由于建设年代久远，围护结构保温性能差，冬季室内温度较低。

辽源市坚持问题导向，充分考虑农村地区经济条件和百姓意愿，拒绝盲目追求高保温效果，避免出现政府和用户无法承受的经济负担。按照“因地制宜、试点示范、尊重

民意、注重实效”的原则，农房的节能改造要以用户经济承受能力为前提，兼顾施工可操作性强和节能率高的要求。

在改造提升方案上，主要是以外墙为主，兼顾外窗。由于农村地区各户农宅的建筑面积差异较大，改造成本差异大，因此考虑在保障节能、舒适的前提下，应当最大限度地提高资金利用有效性，并针对不同的农村地区的经济水平，针对典型农户，提出两种不同改造提升技术方案。（见表 2）

附表 1-2：农宅能效提升技术方案

项目	方案编号	改造措施	改造前单位面积年耗能 (kWh/m <sup>2</sup> ·年)	改造后单位面积能耗 (kWh/m <sup>2</sup> ·年)	节能效果
典型农户 (78.5m <sup>2</sup> )	方案 1	四面外墙 70mmEPS 板	56.05	38.6	约 31%
	方案 2	东、西、北面三面 外墙贴 70mmEPS 板改造 + 外窗保温		39.18	约 30%

#### （4）实施成效及展望建议

##### A. 实施成效：

辽源市通过冬季清洁取暖项目，积极探索可复制、可推广、可持续的农村建筑节能改造模式，截至 2022 年 8 月，全市已完成农村建筑节能改造 227.4 万平方米、2.64 万户，超额完成 2021 年度绩效任务量。通过实施农村建筑节能改造项目，预计辽源市共节约标煤约 2.3 万吨，减少二氧化碳排放 6.1 万吨，农房保温效果提升明显，村容村貌得到较大改善，农民清洁取暖满意度和幸福感大大提升。



附图 1-6 辽源农村建筑节能改造实施效果

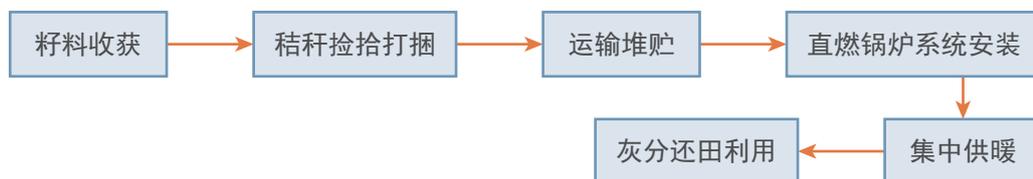
## B. 展望建议：

农村清洁取暖一直以来欠账严重，尤其在农村建筑节能改造方面，由于改造用户多、覆盖面广，需要投入大量专项资金，且大部分地区农村房屋建筑面积、采暖能耗等基础数据统计不全，因此在清洁取暖项目试点时，往往不受到地方政府的重视。但是，从清洁取暖、散煤治理及碳减排的全过程来看，建筑节能改造都是非常重要的一个环节。如建筑节能的外墙保温改造后使用寿命可长达 25 年，而煤改气、煤改电等供热产品的使用寿命通常仅为 10 年左右，甚至常常因为运行成本过高或技术升级淘汰，几年后不可持续而导致农民“返煤”。因此，不管从清洁取暖的技术选择还是可持续运营来看，建议各地在推进农村清洁取暖项目时应当加大农房改造的资金投入，在优先做好节能保温的同时，稳步推进热源清洁化改造。

## (二) 可再生能源供暖案例

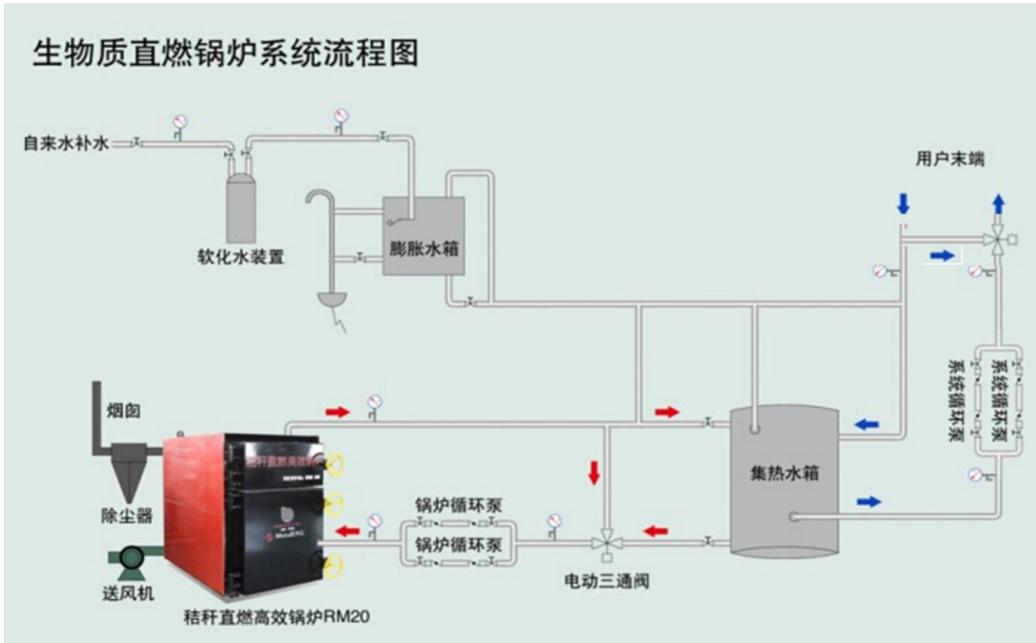
### 秸秆打捆直燃集中供暖案例<sup>13</sup>

秸秆打捆直燃集中供暖技术路线图和秸秆直燃锅炉系统原理结构图如图所示。



附图 2-1 秸秆打捆直燃集中供暖技术路线图

13 本案例信息为课题组调研获得。



附图 2-2 秸秆直燃锅炉系统原理结构图

采用北方清洁能源专业合作社供应原料，收集半径为 20km。原料打成方包或者圆包，如附图 2-3 所示，由合作社统一送至秸秆用户处。通过合作社，不仅保证了原料的稳定性和质量，同时合作社可以实现盈利，提供当地就业机会。



附图 2-3 打成圆包和方包的秸秆

2020 年，秸秆直燃锅炉热效率可达到 80% 以上，与同等吨位的燃煤锅炉相当。该类锅炉属于常压锅炉，不存在爆炸隐患。由于秸秆含硫量低，燃烧后对炉体和排烟系统腐蚀性小，该类锅炉寿命可达 20 年左右。秸秆打捆直燃锅炉基本分为连续进料和间歇进料两种类型。

连续进料型锅炉主要以小方捆、大圆捆为燃料，采取自动持续填料燃烧方式。炉内强制干燥，对水分、土含量要求较低，含水量 35% 以下和含土量 35% 以下的捆状秸秆都可以直接燃烧。该类锅炉具有破焦炉排，同时焦油可在炉内动态燃烧，排渣方便稳定。采用湍球塔双极除尘脱氮，大气污染物含量低。缺点是较费人力、电力。

间歇进料型锅炉以大圆捆为燃料，采取间歇进料、间歇性燃烧（可二次气化燃烧）、持续供暖的方式，填料一次可燃用 3-4 小时，并根据气温日进料 3-4 次。该类锅炉由水箱温度自动控制进风量，从而实现对燃烧速度的控制。当水箱温度达到设定值以后进风停止，处于闷炉状态；当水箱温度下降到一定数值后，自动开启风洞调节阀，燃料再次燃烧。该类锅炉人力成本较连续进料型低，但供暖面积有局限性；燃料多元化，燃用林业三剩物、农业三剩物、可拾性垃圾均可；对燃料含水率要求在 20% 以下。

在生物质锅炉成型燃料供热的基础上，采用秸秆打捆直燃，绕开了秸秆成型环节，节省了成本，提高了项目的经济性。秸秆打捆直燃锅炉的运行，需要提供稳定的燃料保障，由于农村合作社有运输的拖拉机和运输车辆，无需另外购置秸秆运输车辆，单一购买打包设备。降低参与门槛，大量农民、合作社都可以参与到秸秆综合利用中来，同时也降低了合作社投资成本。使合作社农民农闲期间，通过秸秆收集与运输带来效益，就近解决能源，就近就业，增加农民收入。使秸秆从废弃物转变低成本能源，助力精准扶贫。同时又可带来一系列的社会和经济效益。

以铁岭县新台子镇秸秆打捆直燃集中供暖试点为例，安装 1 台 10 吨位连续进料专用锅炉，供暖面积为 7.3 万平方米，供暖周期 5 个月。其经济性对比见下表。

附表 2-1：新台子镇秸秆打捆直燃供暖与燃煤供暖成本对比

项目	燃煤供暖	秸秆打捆直燃供暖
燃料价格（元 / 吨）	550	260
燃料用量（吨）	2350	4060
燃料成本（万元）	129	106
人工费（万元）	4	8
锅炉电费（万元）	15	18
供暖成本合计（万元）	148	132

资料来源：企业提供。

从上表可以看出，供暖周期内，燃煤锅炉供热总成本比秸秆打捆直燃供暖高 16 万元。项目供暖面积为 7.3 万平方米，则燃煤锅炉供热成本约为 20 元 /m<sup>2</sup>，秸秆打捆直燃供热系统的供热成本约为 18 元 /m<sup>2</sup>，比燃煤锅炉供热低 10%，具有较好的经济性。

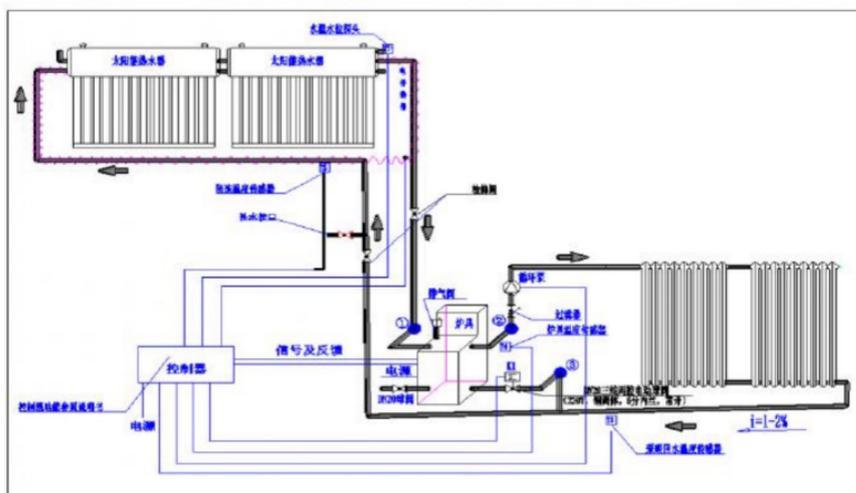
## 秦皇岛“光热 + 生物质”采暖项目采暖案例<sup>14</sup>

### (1) 项目基本情况

随着大气雾霾治理要求提高，村镇建筑供热面临燃煤供暖污染较大的问题。为治理散煤燃烧、提高全市空气质量与人民采暖质量，打造良好舒适的热环境。村镇“热源侧”清洁化改造应因地制宜推广浅层地热能、空气热能、太阳能、生物质能等可再生能源分布式，多能源互补应用的新型取暖模式。秦皇岛市主推“光热 + ”清洁供暖改造，根据重点区域地理条件、电网燃气管网等敷设情况，注重改造成效，宜电则电、宜热则热，选择“光热 + 生物质”、“光热 + 电”等不同清洁供暖方式。

华业阳光在秦皇岛的光热 + 生物质项目共进行了 1200 余户，其中海港区繆庄，西田家沟和新周庄安装 500 余户，昌黎县新集镇尖角一村二村 600 余户。用户的户均面积（非采暖面积），其采暖面积控制在一间卧室一个客厅的范围大概 30-40 m<sup>2</sup>。属于典型的户用小面积采暖多能互补采暖系统。

### (2) 系统结构及原理



附图 2-4 系统安装原理示意图

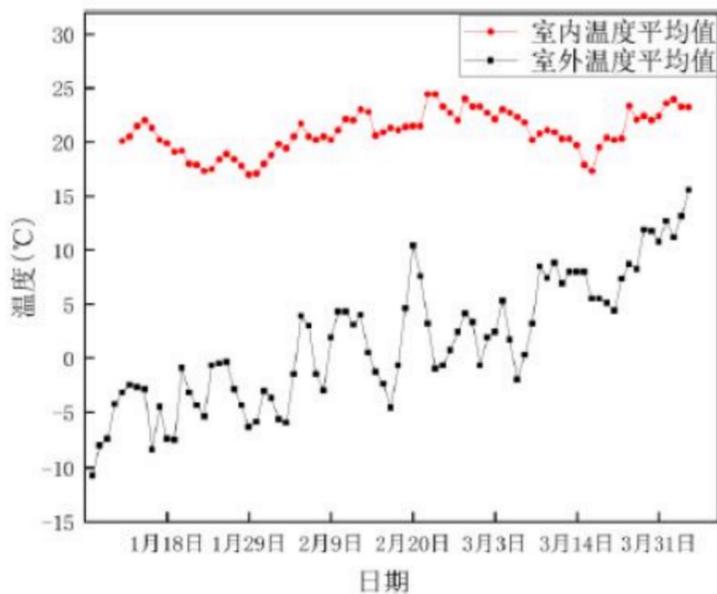
其设计理念为充分发挥多能互补的优势，由于该系统属于多能互补系统，各种能源有相应的优劣性，如太阳能绿色环保无污染、但是较分散、不稳定等；生物质能源环保高效、但是相对热值较低、价格高。优先使用太阳能热源为屋内供热、当太阳能热源不能够为屋内提供持续热源时，应使用炉具提供热量，使用户以较少的代价获得较高的采暖体验。

14 项目内容选自《全国可再生能源供暖典型案例汇编》。

### (3) 系统运行情况

为了了解项目的实际运行效果，建立远程数据监控平台，太阳能集热器侧超声热量表、生物质锅炉侧超声热量表、室内外温度与湿度、室外风速、太阳能辐射强度等用户侧系统运行参数实时远程上传云端监控平台，通过平台下载数据，对历史测试数据进行处理，分析计算系统太阳能保证率、太阳能供热量、太阳能集热效率、生物质供热量、水箱散热情况等基本参数以评估系统运行效果。

测试期间室内温度和室外温度曲线图如下图所示，可知住户室内温度在测试周期内基本高于 16℃，供暖效果能达到国家规定，达到预期效果。且室内温度随室外温度变化不大，说明“太阳能 + 生物质”供暖系统基本可以满足用户的用暖需求。



附图 2-5 系统运行效果图

2021年1月8日至2021年4月5日，室外平均温度为 1.71℃，室内平均温度为 20.88℃，平均太阳能总辐射强度为 16.03MJ/m<sup>2</sup>，太阳能平均保证率为 46.20%，太阳能集热器集热效率 43.50%，太阳能日平均得热量为 84.16MJ，生物质日平均供热量为 103.50MJ。

### (4) 社会经济效益分析

根据上面测试期间数据推算，采暖季日平均生物质供热量约为 122.40MJ，日平均太阳能供热量约为 77.91MJ，系统日平均供热量约为 200.31MJ，相当于每日减少 9.76kg 的标准煤燃烧。根据检测数据与生物质热值，生物质锅炉效率等推算可得，采暖季共消耗生物质 1563.28kg（生物质燃料质量有差异，会有一定误差），该农户生物质燃料所需费用约为 1406.95 元。

太阳能作为一种资源丰富的清洁能源，考虑到太阳能取暖存在“间歇性”问题，将太阳能集热器与生物质锅炉联合运行，确保用户冬季采暖需求。其中，生物质是指通过光合作用而形成的各种有机体，是可转化成替代常规化石燃料的可再生碳源。生物质能作为绿色可再生能源具有总量丰富、分布广泛、污染低等特点，特别适合农村地区收集使用。在农村地区大规模使用“太阳能 + 生物质”供暖系统可以减少二氧化碳、硫化物等气体的排放，有着较好的环境效益。

太阳能采暖系统虽然初期投资较大，但在国家能源结构调整、环境保护、改善农村生活条件及带动农村经济发展等方面具有较高的社会效益。太阳能采暖系统作为一项新能源利用技术，符合国家资源节约与环境保护的基本国策，有利于国家整体能源结构的调整。在新农村的建设中，太阳能采暖作为新民居建设的一项基本内容，对于改善广大农民居住生活条件、提高农民对新能源的利用意识等方面能起到积极作用。

从长远看，随着常规能源价格的不断上涨及污染治理成本的大幅度上升，太阳能采暖系统的社会及经济效益会更加明显。

## （5）典型经验与做法

秦皇岛“太阳能 + 生物质”清洁取暖系统的供暖项目，主要技术优势有：

- 所使用“太阳能 + 生物质”清洁取暖系统取暖效果良好，室温水平较高，且天气寒冷时室内温度仍能维持在较高水平，室温基本稳定，热舒适性较好。
- 布置的太阳能集热管较多，太阳能集热量也大，很大程度上利用了太阳能，节省了传统能源的消耗。
- 使用“太阳能 + 生物质”清洁取暖系统，能大量减少碳排放，对节能减排，打赢蓝天保卫战有重要意义。

目前已实施的太阳能采暖系统具有较高社会效益，对于农村经济的发展起着极大的促进作用，但存在着投资相对较高、回收期较长的缺点，单纯靠市场推广存在着相当的难度。目前太阳能采暖虽然已有一定的市场，但绝大部分均为新农村建设工程，属政府试点推广补助项目；若无政府补助情况下，市场推广将很难进行。

农村住宅太阳能采暖工作的实施，将极大地改善农村住宅的居住条件，同时达到解决农村用能、调整能源结构的目的。与此同时，随着太阳能采暖的工作推进，在居住条件改善的同时，将极大地拉动农村的旅游及相关产业链经济、改善农村的文化面貌。太阳能采暖成为解决农村能源问题、调整农村能源结构的重要技术措施之一。

## （6）问题和建议

根据目前的建设情况，提出如下建议：

（1）用户对生物质燃料价格过高这一问题反映强烈，购入生物质燃料价格 900-1200 元不等，质量也参差不齐，希望政府在燃料方面给予一定支持；

（2）针对终端用户、生产厂商制订更加完善、合理的鼓励和支持政策，以促进太阳

能采暖行业及市场的良性发展；

(3) 选择有代表性的农村，如旅游区或待开发的旅游区域等作为推广示范的试点，建设太阳能采暖与生物质能等多种可再生能源综合利用工程，以探索新农村建设中合理的能源建设模式，为农村能源结构建设积累经验。

## 河北省邯郸市魏县扶贫异地搬迁中深层地岩换热供暖项目<sup>15</sup>

### (1) 项目基本情况

项目位置：河北省邯郸市魏县沙口集乡贺翔社区

供热面积：25 万平方米

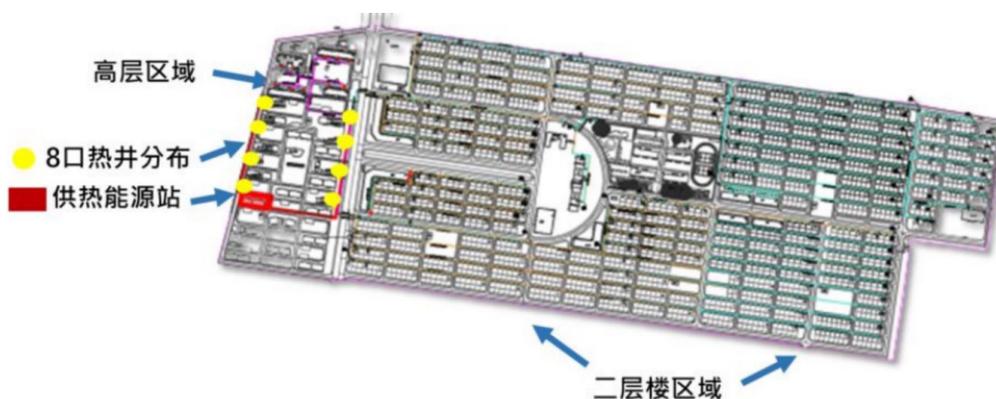
住宅结构：多栋高层 + 多栋二层小楼

技术采用：8 口 2000 米纵深、只取热不取水的深层地岩换热井

供热起始：自 2018 年 11 月供暖季起

项目模式：国家开发银行出资、柯瑞斯新能源 EPC 总包实施

### (2) 供热布局



附图 2-6 供热布局示意图

如上图所示，图中黄色原点所在位置为 8 口中深层换热井的位置，每口之间间隔 50 米距离。热井成井后整体封入地下，不占任何地面空间，该部分区域现在已建设成市民广场。图中红色方框区域为落成能源站的位置，该能源站仅占地 350 平方米左右，用以供应整体 25 万平方米的采暖需求。

15 项目内容选自《全国可再生能源供暖典型案例汇编》。

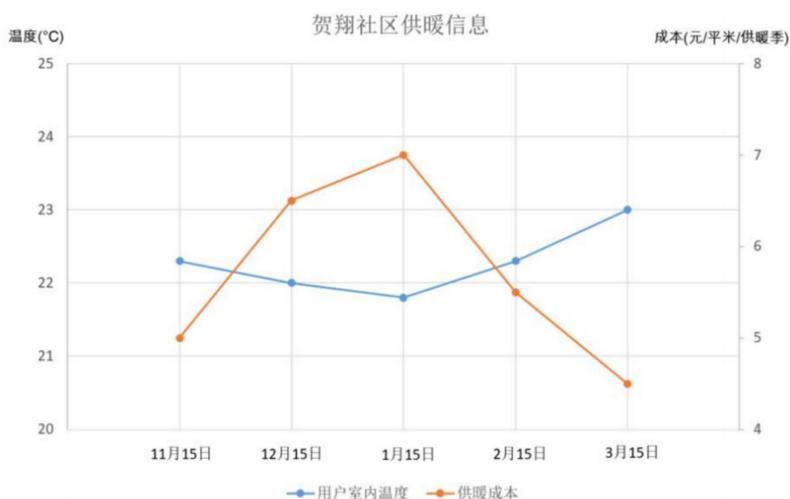
### (3) 系统分析

- 项目实际实施周期两个半月、满足近 25 万平方米清洁取暖；
- 总项目额 4365 万元，8 口深层热井换热联供，该项目单口效力近 30000 平方米；
- 热井换热温度 45℃ -50℃，井底温度 80℃ -85℃；
- 2019、2020 供热季，运行成本仅 5-6 元 / 平方米；
- EPC 模式，柯瑞斯提供全面的整体解决方案，自主知识产权供热技术及设备制造；
- 专业技术团队、钻探团队，十项实施标准严格把控；
- 365 天 24 小时不间断远程能源中心监控（可远程控制）；
- 全自动化控制、无人值守；

### (4) 运行效果与数据

温度数据。供暖系统为全自动化控制，根据用户端室内的数据采集点的温度反馈和室外天气温度采集点反馈，自动调整系统运行状况。通过对流量、流速、压力及机组设定的自动调整，使用户室内始终保持在 22℃ +/-1℃ 的舒适温度范围内（若需更高温度可调整系统设定）。图中温度范围自供暖期开始（11 月 15 日）至供暖期结束（3 月 15 日），温度数据为当月平均数据。

成本数据。成本单位为供暖季内 4 个月期限，每平方米的供暖费用。该部分费用通过能源站电表数据采集实测，主要消耗来源为系统内循环泵、热泵机组、电控系统。供暖季平均成本在 5-6 元 / 平方米 / 供暖季。



附图 2-7 供暖效果与成本

## （5）项目总结

该项目通过采用中深层地岩换热系统为 25 万平方米的易地搬迁扶贫示范项目的居民提供低成本的清洁供暖。

为扶贫资金节省初期 3000-4000 万元投资，为当地政府在后期使用成本方面（对比集中供热）每年节省 300-350 万元。保护生态环境，百分之百零污染、零排放，为贫困县人民提供真正用得起的低成本清洁供暖，同时为贫困县政府每年持续带来收益。该项目为国家扶贫办示范性项目，同时在大面积清洁供暖领域也起到了积极示范作用。该项目的中深层地岩换热系统经历了各级领导及专家的数十次考察，获得一致的认可和肯定，并以此项目作为示范样板在各地进行推广。

## 国家电投繁峙风电清洁能源供暖项目<sup>16</sup>

### （1）项目基本情况

国家电投繁峙县 20 万千瓦风电清洁能源供暖项目分两期建设，配套建设 40 万平方米电采暖供热站。两期项目分别于 2017 年、2018 年取得核准，2020 年 12 月项目全容量并网发电。在风电场未投运、取暖费未明确的情况下，为保障民生，繁峙供热站于 2019 年 7 月开工建设，当年年底建成投运，并已顺利完成两个供热季的供暖任务。

供热站位于山西省忻州市繁峙县大营镇大营村，总投资约 8000 万元，占地面积 6400 平方米，主要利用电网低谷时段电量进行蓄热，向繁峙县大营镇区域建筑物进行供热，最大供热能力 40 万平方米。目前已供面积约 15 万平方米，包括居民用户、养老院、中小学、综合市场、政府办公楼及宿舍、派出所和交警队，其中居民用户 1000 余户。

### （2）技术路线

国家电投大营供热站主要包括电蓄热锅炉、换热系统、变配电系统，现已建成 2 台单机 9 兆瓦的固体氧化镁砖高温蓄热电锅炉，每台锅炉自带 6 台额定功率为 12.5 千瓦循环风机，以及 2 台换热器，设置 2 台热网循环水升压泵，最大供热能力为 40 万平方米。供热站采用能源跟数字化、智能化、互联网的紧密结合，形成具有产业特色的“云端、源端、末端一体化智慧供暖系统，是互联网、物联网、人工智能及复合闭环反馈等前沿技术的综合应用。

突出特点主要有：一是本项目采用固体电蓄热锅炉，该锅炉体积小，占地面积少，厂房小，工程造价相对较低；二是电蓄热锅炉为纯电阻加热，可设置谷电期自动加热，用时可在任意时段和温度放热，大大减少现场运维人员；三是电蓄热锅炉蓄热材料为熔点 2800℃ 的高温固定合金蓄热材料，具有体积小、蓄热能力强、性能稳定等优点，可连续长时间运行免维护，反复加热中不会产生粉化，安全风险较低；四是该项目主要利用夜间电网低谷期电价时段的电力，同时进行制热、蓄热和供热，蓄热部分满足全天谷

16 项目内容选自《全国可再生能源供暖典型案例汇编》。

电之外时段持续供热的需求，有效实现清洁能源的“空间转移”和“时间转移”；五是采用互联网云数据平台，实现远程监控、数据分析、开放兼容；六是采用高精传感器、精准执行器、远程操作器，实现全网联动；七是采用系统热记忆，实现自学习、自适应、自矫正；八是根据室温、气温、光照、风雪、人体感应、用能需求闭环反馈存蓄热量，按需供能。

### （3）运营测算

国家电投大营供热站全部建成后，主要利用夜间电网低谷电力，进行制热、蓄热和供热，满足全天持续供暖的要求。采暖季消耗电量约 5000 万千瓦时，其中可以利用电网谷段电量约 4500 万千瓦时，占整个采暖期用电量的 90%。

用电量约 500 万千瓦时，参考山西省大工业电价（谷段 0.2755 元 / kWh、平段 0.4730 元 / kWh、峰段 0.6853 元 / kWh），电费约 1956.25 万元，其中包含容量电费 480 万元，度电电价约 0.39125 元 / kWh，正常收取供暖费并扣除运营成本后，年亏损约 1680 万元。2020-2021 年度，供热站用电量 1900 万千瓦时，运营费用（含电费）约 1000 万元。

### （4）项目意义

**安全效益。**项目充分利用“2 毛钱”谷电供热替代燃煤供热，有力提高能源利用安全水平，是落实习近平总书记“四个革命、一个合作”能源安全新战略的重要举措。

**调峰效益。**供热站首先重点利用低谷时期的富余风电，有效实现了电网削峰填谷，缓解高峰供电压力，促进风电和光伏发电等可再生能源电力消纳空间，为电网安全稳定运行提供了新的途径。

**环保效益。**项目采用风电供暖，替代区域燃煤小锅炉，减少了散煤的利用，有效降低了环境污染。供热站、风电场每年可节约标煤 14 万吨，减少二氧化硫排放 150 吨、碳氧化物 140.3 吨。

**民生效益。**项目建成后解决了繁峙县大营镇群众的冬季供暖问题，使广大人民群众可以享受到绿色能源带来的光和热，起到广泛的民生效益。

**示范效应。**项目作为山西首批风电供暖示范项目，促进了清洁能源的综合使用，扩大了风电项目产业链，是山西省能源转型发展的有益探索 and 良好实践，为当地政府“争当清洁能源排头兵”做出积极贡献，将起到积极的示范引领作用。

### （5）典型经验和做法

风电清洁供暖对于提高北方风能资源丰富地区消纳风电能力，缓解北方地区冬季供暖期电力负荷低谷时段风电并网运行困难，替代现有的燃煤小锅炉，解决分散建筑区域及热力管网或天然气管网难以到达的区域的供热需求，促进能源利用清洁化，减少化石能源低效燃烧带来的环境污染，改善北方地区冬季大气环境质量意义重大。

突出特点主要有：一是本项目采用固体电蓄热锅炉，该锅炉体积小，占地面积少，

厂房小，工程造价相对较低；二是电蓄热锅炉为纯电阻加热，可设置谷电期自动加热，用时可在任意时段和温度放热，大大减少现场运维人员；三是电蓄热锅炉蓄热材料为熔点 2800℃ 的高温固定合金蓄热材料，具有体积小、蓄热能力强、性能稳定等优点，可连续长时间运行免维护，反复加热中不会产生粉化，安全风险较低；四是该项目主要利用夜间电网低谷电价时段的电力，同时进行制热、蓄热和供热，蓄热部分满足全天谷电之外时段持续供热的需求，有效实现清洁能源的“空间转移”和“时间转移”；五是采用互联网云数据平台，实现远程监控、数据分析、开放兼容；六是采用高精传感器、精准执行器、远程操作器，实现全网联动；七是采用系统热记忆，实现自学习、自适应、自矫正；八是根据室温、气温、光照、风雪、人体感应、用能需求闭环反馈存蓄热量，按需供能。

## （6）问题和建议

- 建议进一步细化相关政策，实现优先上网和全额收购，缩小项目与一般风电的盈利差距，不断释放示范效应。
- 建议将风电供暖项目尽快列入“煤改电”目录，可降低供热站用电成本，可有效降低运营成本。
- 用户电价上涨，且因现货期间零售用户 24 小时电价统一，供热站根据用热特点调整至早晚高峰时段，不仅放弃了锅炉自身的优势，而且给电网造成压力。建议同意供热站以正当理由退出电力交易市场，恢复目录电价，则可进一步降低供热站亏损，提高清洁能源供暖示范效应。

## 费县太阳能清洁供热供暖与高效温室一体化示范项目<sup>17</sup>

### （1）项目基本情况

为探索农村居民和温室清洁供暖新模式，降低农业生产生活清洁供暖成本，提高农作物产品产量和品质，打造乡村振兴新模式，费县建设了太阳能清洁供热供暖与高效温室一体化示范项目。

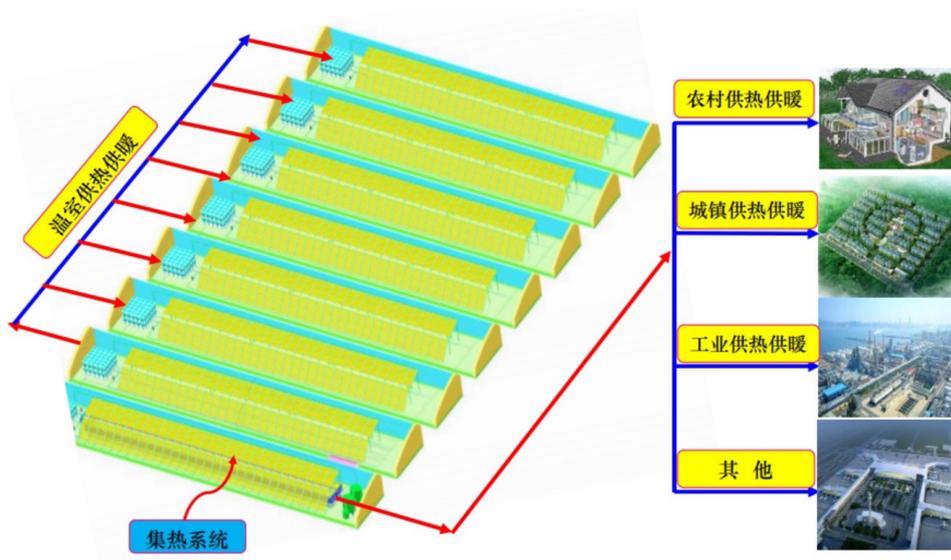
该示范项目坐落于费县胡阳镇，建设内容主要包括 500 吨太阳能跨季集热蓄热系统、供热供暖系统、水肥一体化系统、雾化降温系统、在线计量监测系统、保温系统等。示范项目总占地面积 5000 平方米，采用了二十多项新技术，年产热水 6000 吨/亩，可为 5000 平方米大棚或者 1000 平方米建筑进行供热供暖，年可节能 50 吨标准煤，减少燃煤消耗 70 吨标煤，减排二氧化碳 130 吨。

### （2）技术路线及工艺流程

结合县里的气候环境条件和项目目标，将太阳能集热蓄热供热系统与高效温室系统一体化，建设太阳能清洁供热供暖与高效温室一体化系统，其中跨季蓄集的热能可用

17 项目内容选自《全国可再生能源供暖典型案例汇编》。

于周边用户（包括农户、温室大棚等）供热供暖和农业生产，高效温室系统用于生产优质果蔬，在满足作物高效生长的同时，对外净输出清洁能源，实现零碳排放和零污染物排放。



附图 2-8 技术路径示意图

该系统主要技术指标如下：太阳能年综合利用效率不低于 40%（其中冬季不低于 30%），跨季蓄热效率不低于 70%，太阳能保证率不低于 90%；年输出清洁能源 50 吨标准煤 / 亩，输出清洁能源相当于减排二氧化碳 130 吨 / 亩。

### （3）项目运行情况

截至目前，示范项目运行良好，为 1600 平方米大棚和农户住宅进行供热供暖，经受住了 2020 年冬季历史性寒潮的考验。整个冬季大棚室温不低于 12℃，冬季棚内种植的夏季作物生长良好，农产品品质显著改善；农户住宅室温不低于 14℃，受到供暖农户的好评。从运行成本看，在农村建筑供暖负荷是城镇建筑 2 至 3 倍的情况下，实现农户供暖成本约 20 元 / 平方米，农户供暖成本仅 1200 元 / 户左右（按 60 平方米），低于城镇集中供暖。

### （4）技术运营模式

采用企业托管的模式，示范项目由北京中柏能环科技有限责任公司自行运营管理，统一供暖，显著减少政府和农户供暖管理压力，整个冬季不间断供暖，显著提高农户获得感。系统没有污染物排放，没有爆炸起火风险，不用担心阶段性气荒或电力供应紧张等能源保障与安全问题。

## （5）项目效益

该新型清洁供热供暖系统与燃气锅炉、空气能、电暖器、现有太阳能+辅助系统等清洁供热供暖方式相比，在节能环保、安全性和经济性等方面，具有较大优势。

**经济效益。**从运行成本看，大棚和农户住宅供暖运行成本比天然气或空气源热泵下降 50% 以上，农户供暖成本仅 1200 元/户左右（按 60 平方米），与散煤接近，每年可为政府和农户节约清洁供暖运行费用 2000-3000 元/户，为低成本清洁能源替代农村供暖散煤提供了新的路径。

**社会效益。**一是起到良好的示范引领作用。该示范项目采用高效太阳能供热供暖与设施农业一体化系统，推进太阳能清洁供暖和现代农业融合发展，为低成本实现北方地区农户和温室清洁供热供暖提供了新的路径，可协同推进冬季清洁供暖、碳达峰碳中和、大气污染防治、乡村振兴，打造乡村清洁供暖+产业发展新模式，形成可复制和可推广的新样板。二是拓宽了太阳能利用范围。将太阳能与高效温室一体化，可以解决太阳能能量密度低、占地面积大、影响作物生长的难题，为太阳能大规模应用提供了新的路径。三是促进就业、提高收入。本项目规模化应用后具有良好的经济效益，带动就业，就业人员人均收入达 5-6 万元/年，起到产业致富的典范作用。

**生态效益。**一是节约能源资源。该系统利用太阳能供热供暖，年产热水 6000 吨/亩，可为 5000 平方米大棚或 1000 平方米建筑进行供热供暖，年节能 50 吨标准煤/亩，比天然气、热泵系统等方式供暖节能 80% 左右。二是污染物零排放。新型系统年节能 50 吨标准煤/亩，相当于减少燃煤消耗 70 吨/亩，实现污染物零排放，将有力促进大气污染防治。三是有利于促进碳达峰碳中和。新型系统对外净输出清洁能源，相当于减少二氧化碳排放 130 吨/亩，为碳达峰碳中和提供了新的路径。

## （6）典型经验和做法

成功的经验和做法。一是创造性地将太阳能与高效温室一体化设计与应用，可协同推进冬季清洁供暖、碳达峰碳中和、大气污染防治、乡村振兴，打造清洁供暖+产业发展新模式，为低成本实现北方地区清洁供热供暖提供了新的路径。二是农户清洁供暖采用企业托管的模式，统一供暖，显著减少政府和农户供暖管理压力，整个冬季不间断供暖，显著提高农户获得感。三是系统没有污染物排放，没有爆炸起火风险，不用担心阶段性气荒或电力供应紧张等能源保障与安全问题。四是通过高效利用太阳能，可降低居民供暖成本，每户约 1200 元/季，与散煤相当，受到农户好评。

## （7）问题和建议

**存在的问题。**一是该系统属于跨领域、跨行业、跨学科融合，创新程度较高，短期内难以被接受。二是新系统应用涉及能源、农业等多个部门，需要跨部门协调。三是该系统同步建设高效温室系统，初始投资偏高。四是清洁供暖尚未有国家财政支持资金，清洁供暖改造负担较重。

**有关建议。**一是建议国家和省政府将该新技术、新系统、新模式纳入清洁供暖推广范围，促进示范项目推广应用。二是建议国家和省政府加大对临沂市清洁供暖资金支持力度。

## 北京市房山区农户“煤改空气源热泵”项目<sup>18</sup>

### (1) 项目基本情况

项目名称：北京市房山区大石窝镇三岔村农户“煤改空气源热泵”项目

房屋情况：采暖面积约为 126m<sup>2</sup>。北墙厚 370mm，东、西、南面墙厚 240mm，采暖末端设备为钢制散热器系统。

建筑节能：于 2014 年进行外墙保温改造 50mm。

冬季供暖设计：设计室内温度 18℃ ± 2℃；供水温度 48℃，回水温度 43℃

施工单位：佛山欧思丹热能科技有限公司

完成时间：2015 年 10 月

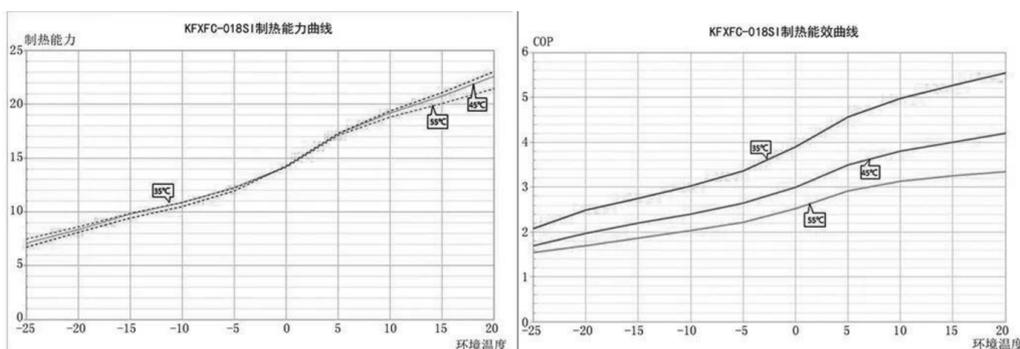
### (2) 技术路线及工艺流程

本设计是根据当地气候、环境和建筑进行计算后，对某一房间或空间内的温度、湿度、洁净度和空气流动速度等进行调节与控制，从而为用户创造安全环保、舒适节能的和谐环境。

经热负荷计算可知该建筑冬季散热器采暖总热负荷为 9.27kW，以上设计能满足用户需求。对照 KFXFC-018SI 参数，A-12W48 时，机组制热量为 9.9kW/h。

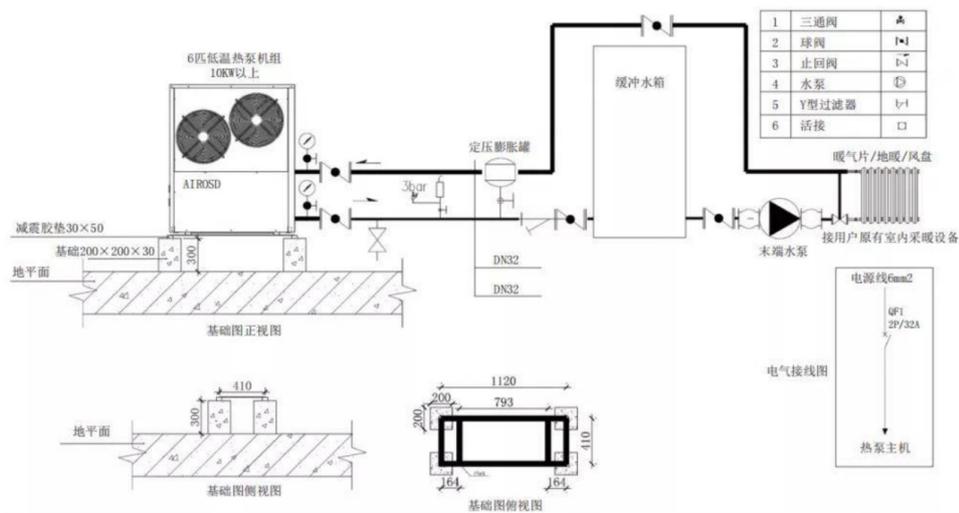
冬季供暖选型：9.27kW ÷ 9.9kWff1 台

该用户反馈增加缓冲水箱相当于系统能量储存增加，系统温度变化平稳，主机的启停次数自然降低了，使用寿命延长，还解决了管道存留气体的问题。



附图 2-9 制热能力曲线及制热能效曲线

18 <http://www.jia360.com/new/186437.html>



附图 2-10 空气源热泵采暖系统图

### (3) 项目效果

**节能。**超低温环境下改善制热量 COP 达 200% 以上，并且运行成本相对电锅炉可节约 75% 以上，相对燃气锅炉可节约 50% 以上，相对燃煤锅炉可节约 30% 以上，是未来家庭供暖的首选方案。

**环保。**替代锅炉燃煤采暖，减少污染，减少雾霾产生及二氧化碳排放。

**舒适。**与普通空调制热相比，散热均匀，无热风直接吹到人体，不会轻易带走皮肤表层水分，室内舒适又不易有干燥感。

**安全可靠。**与一般采暖设备比较大大大降低了运行费用，同时也避免了采用燃气或电采暖设备等引起的危险。



邮箱: [contact@ccetp.cn](mailto:contact@ccetp.cn)

网址: <https://www.ccetp.cn/>