

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 2023

CHINA DISPERSED COAL MANAGEMENT
REPORT 2023



北京大学能源研究院
INSTITUTE OF ENERGY

2023年9月19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

- 《山东省中小燃煤电厂低碳高质量发展路径分析》
- 《走向公正转型的未来：中国绿色转型对就业的影响》
- 《“十四五”推动能源转型实现碳排放达峰》
- 《中国散煤综合治理研究报告 2022》
- 《中国散煤综合治理研究报告 2021》
- 《中国石化行业碳达峰碳减排路径研究报告》
- 《中国塑料行业绿色低碳发展研究报告》
- 《中国可持续航空燃料发展研究报告》
- 《湖南省电力行业碳达峰时间与路径研究》
- 《中国典型五省煤电发展现状与转型优化潜力研究》
- 《碳达峰与碳中和背景下山东电力行业低碳转型路径研究》
- 《以新能源为主体的新型电力系统的内涵与展望》
- 《中国煤电发展之路辨析系列沙龙报告汇编》
- 《电力部门碳排放达峰路径与政策研究》

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 2023

CHINA DISPERSED COAL MANAGEMENT REPORT 2023

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

支持单位：自然资源保护协会

2023年9月19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、田延平、童亚莉、王统民、王卫权、武亭、袁闪闪、岳涛

目录

◎ 前言	iv
◎ 第一章 2022年散煤治理稳步向纵深挺进	1
(一) 散煤治理已步入稳中求进的新阶段	1
(二) 工业小锅炉容量和煤耗量持续下降	4
(三) 淘汰落后仍是工业小窑炉治理的重要措施	6
(四) 北方地区冬季清洁取暖稳步向好	7
(五) 分区域稳中求进的治理策略已成共识	12
◎ 第二章 非重点区域难度升级成现实挑战	16
(一) 东北地区工业小锅炉散烧煤居高不下	16
(二) 东北和西北地区供暖期较长、改造工期较短	19
(三) 东北和西北地区经济条件较差、任务较重	20
(四) 东北和西北地区农村能源消耗仍以固体燃料为主	22
(五) 东北和西北地区建筑能效提升改造难度大	25
(六) 东北和西北地区散煤清零可获显著健康效益	26

◎ 第三章 “补贴依赖”到“市场驱动”是长效的关键	30
(一) 政策以补贴为主向协同发力转变	30
(二) 行业重心从政府投标项目转向零售市场竞争	33
(三) 用户侧需求有待精准定位	37
(四) 市场模式创新可期	39
◎ 第四章 农业生产领域散煤治理有待摸底挖潜	42
(一) 东北地区粮食烘干领域散煤削减潜力观察	42
(二) 山东省养殖业热源清洁化探究	46
◎ 第五章 政策建议	50
(一) 全面落实减污降碳协同增效	50
(二) 继续强化工业散煤治理	51
(三) 坚持双侧同推,进一步扩大农房改造规模	52
(四) 构建以可再生能源为主的农村能源系统	53
(五) 供需两端合力提振清洁取暖市场	54
(六) 加强清洁取暖全过程专业化运营管理	55
◎ 附录	56
清洁供热及农村能源资源系统性解决方案	56
案例01:东北地区秸秆捆烧供热解决方案	56
案例02:宁夏生物质清洁供热解决方案	59
案例03:全域生物质清洁取暖齐鲁样板“阳信模式”	64

案例04: 生物质与固废全产业链一体化解决方案.....	68
案例05: 村级秸秆热解气化热电联产系统解决方案.....	71
案例06: 农牧区固废垃圾资源化利用解决方案	73
案例07: 农村绿色住宅与清洁能源一体化解决方案	76
案例08: 卢龙混凝土装配式太阳能采暖示范案例.....	81
案例09: 全陶瓷太阳能光热构建无煤生态村解决方案.....	85
案例10: 零碳清洁能源和高效农业一体化解决方案.....	88
案例11: 西峡县农产品加工领域生物质烘烤案例.....	90
案例12: 大连农业设施大棚生物质供热项目案例	92

前言

自中国向雾霾宣战以来，各地铁腕治污与精准防控相济，区域协同与攻坚行动并举，集中燃煤超低排放改造与分散燃煤减量替代同推，从“雾霾锁城”到“蓝天常驻”励治十年，我国空气质量有了明显好转，但持续改善的难度加大，稳中向好的基础仍有待进一步稳固。当前，我国经济社会发展正处于绿色化、低碳化转型的关键时期，面对国内外环境的复杂多变和压力叠加，在协同推进降碳、减污、扩绿、增长的进程中，散煤治理作为空气质量改善的重要举措，在工业和民用两个方向合力攻坚的基础上，如何实现“质”的有效提升和“量”的合理控制，是涉及民心民生和美丽中国建设的重大课题。

随着散煤治理的快速推进，我国散煤消费逐步呈现出新的特点，从构成来看，以民用为主；从分布来看，以非重点区域为主。其中，过去几年工业燃煤小锅炉大幅削减主要来自重点区域（京津冀及周边地区、长三角地区、汾渭平原）存量削减及其他区域10 t/h及以下燃煤小锅炉淘汰。目前，东北地区已经成为燃煤工业小锅炉治理的重中之重。北方清洁取暖的建设任务已经从前期大气污染防治的重点区域迈向难度更大的非重点区域，技术解决方案逐步趋向多能联动、多热复合、多源合一，清洁取暖行业发展的重心正从政府项目转向零售市场竞争，市场模式从补贴依赖转向商业创新。

当前，我国散煤治理面临难度升级、成本提高、散煤返烧、农村燃煤底数不清等现实挑战亟待解决，加之近几年新冠疫情和外部局势的影响已近尾声，散煤治理的各项工作迅速恢复，并全面进入稳妥有序推进的新阶段。从“攻坚重点区域”转向“巩固重点区域、拓展非重点区域”，从“追求规模和速度”转向“追求质量和长效”，从单一热源清洁化转向农村绿色低碳能源系统化。各级政府高度重视农村清洁取暖以及农村能源变革的系统性、完整性和协同性，更加强调减污、降碳、扩绿、增效的有机结合和协同推进。

散煤治理课题在本年度的研究中，重点考察了东北、西北地区工业散煤治理以及清洁取暖改造的主要挑战，初步调研了农业领域散煤利用的现实情况以及长效机制形成的基础条件等，并提出了以长效为核心、分区域稳妥有序推进散煤治理的具体建议。面对当前经济发展与能源低碳转型的多重考验，散煤治理仍需保持定力，我们的课题研究也将持续深入，推动可持续的绿色升级和清洁取暖，并助力双碳目标的实现。

贺克斌

2023年9月19日

第一章 2022年散煤治理稳步 向纵深挺进

近几年，煤炭清洁高效利用、工业落后产能淘汰、财政巨额补贴、环保督察常态化以及北方地区清洁取暖等政策措施多管齐下，加快推进了我国工业散煤削减和民用散煤清洁替代的进程，我国散煤治理工作已进入新阶段和攻坚期。2022年，在产业绿色升级、减污降碳协同增效、煤炭价格上升等内、外驱动因素的共同作用下，我国工业小锅炉和小窑炉的散煤消费保持下降趋势，北方清洁取暖率稳步提升。

（一）散煤治理已步入稳中求进的新阶段

自2013年向污染宣战以来，散煤治理成为治霾药方中的一剂猛药。一方面，工业散煤治理先行。通过“散乱污”企业整治唱响了一轮工业转型强音，加速淘汰落后产能。在扩大禁煤区建设和提高城镇集中供暖率的具体实践中，工业小锅炉的淘汰工作在环保高压态势下推进。在《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021年）》实施期间，电、气等清洁能源大规模下乡，居民取暖消费观念随之发生转变。另一方面，重点区域先行试点示范。工业散煤治理以京津冀及周边地区、汾渭平原和长三角地区为重点区域，北方地区清洁取暖以京津冀大气污染传输通道“2+26”城市和汾渭平原城市为主。如图1-1所示，中央财政支持的五批试点和支持城市所覆盖的区域从华北、华东、和华中地区逐步向东北和西北等非重点区域扩展。

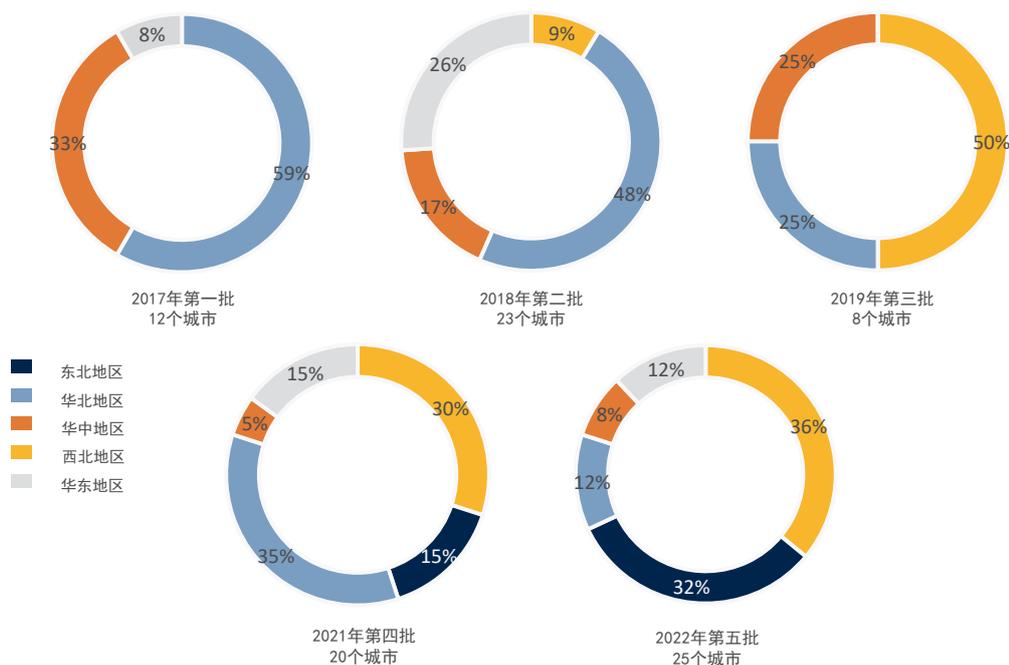


图 1-1: 2017-2022 年中央财政支持北方地区
冬季清洁取暖城市数量的区域分布

经过多年的不懈努力，散煤治理取得积极成效。从散煤消费量变化图（图 1-2）可见，工业散煤消费在“十三五”时期经历了一个快速下降的阶段。累计淘汰治理无望的小型燃煤锅炉约 10 万台，重点区域 35 蒸吨 / 小时（t/h）以下燃煤锅炉基本清零。工业小锅炉、建材行业小窑炉的散煤消费总量较 2015 年下降了约 70%。在存量大幅削减的基础上，假设建材行业保持淘汰落后产能的力度不减，工业小锅炉在现有环境政策下，继续推进 35t/h 及以下燃煤小锅炉的淘汰关停，并提高污控升级措施¹，我国工业小锅炉和小窑炉的散煤消费即将步入一个趋向清零的阶段。

¹ 治理情景：2030 年，基本淘汰全国供热管网覆盖范围内 35 t/h 及以下燃煤锅炉，且工业锅炉基本完成超低排放改造，建材行业小窑炉基本淘汰落后产能；2035 年，全国供热管网覆盖范围小锅炉散煤清零且工业锅炉全部实现超低排放；建材行业完成涉小窑炉的落后产能淘汰工作。

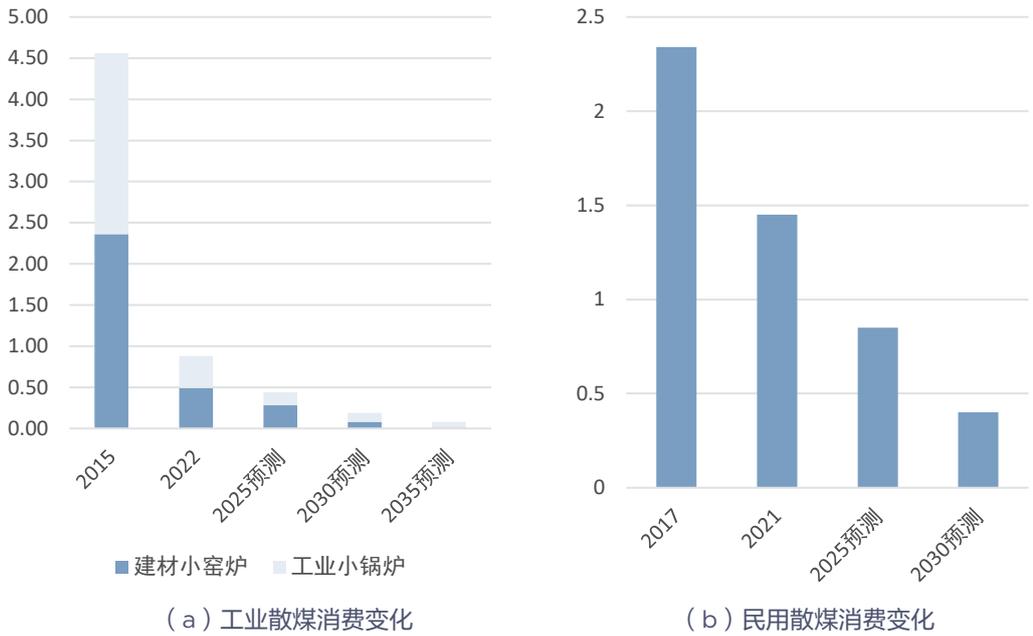


图 1-2：中国散煤消费量变化图（单位：亿吨）

民用散煤治理以北方清洁取暖为核心，在《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021年）》实施期间，北方地区累计完成清洁取暖改造 3630 万户，民用散煤消费下降 38%。根据第四批和第五批支持城市清洁取暖改造计划任务量推算，2022-2025 年间，约有 2100 万户完成改造，预测到 2025 年，民用散煤消费量降幅将超过 60%（以 2017 年消费水平为基础）。考虑清洁取暖改造难度逐步升级，以及疫情后经济恢复带来的现实挑战，“十四五”中后期，民用散煤治理仍将保持定力，预测“十五五”期间，民用散煤消费量下降速度放缓，于 2030 年基本完成改造任务，2035 年力争实现清零。

整体来看，我国散煤治理已然步入深水区，面临治理难度升级、治理成本提高的挑战，加之外部环境影响，散煤治理将全面进入稳妥有序推进的新阶段，从“攻坚重点区域”转向“巩固重点区域、拓展非重点区域”，从“追求规模和速度”转向“追求质量和长效”，从单一热源清洁化转向农村绿色低碳能源系统化。

(二) 工业小锅炉容量和煤耗量持续下降

工业锅炉是我国重要的热动力设备，广泛应用于化工、造纸、制药、纺织、有色金属冶炼和建材等行业的工业生产过程，以及民用、商用取暖领域（居民、政府部门、企事业单位、高校、洗浴中心、酒店等）。2022年，全国燃煤工业锅炉煤炭消耗量约占全国煤炭消耗总量的5.6%²，较2015年燃煤工业锅炉煤炭消耗量减少5.6亿吨³。

随着燃煤小锅炉（35蒸吨每小时及其以下）综合整治工作的快速推进，全国燃煤工业锅炉容量和煤耗量已形成以65蒸吨每小时（t/h）及以上大容量锅炉为主的特征。经过多年来的努力，通过锅炉“上大压小”、“清洁能源替代”等综合整治，重点区域35t/h及以下燃煤锅炉已清零，全国范围内县级及以上城市建成区10t/h及以下燃煤锅炉已淘汰。

根据课题组掌握的基于全国排污许可证管理信息平台（<http://permit.mee.gov.cn/>）获取的燃煤工业锅炉数据，调研梳理全国各省公开的2022年燃煤工业锅炉淘汰情况，核算2022年全国燃煤工业锅炉总容量约54万蒸吨，煤耗量约2.4亿吨。全国2022年不同锅炉容量类别的燃煤工业锅炉容量和煤耗量组成结构如图1-3(a)和图1-3(b)所示。其中，35蒸吨每小时以下的工业燃煤小锅炉总容量约8.4万蒸吨（占比约为15.6%），煤炭消耗量约0.39亿吨（占比约为16.4%），锅炉容量和煤耗量分别较2021年下降21.8%和13.4%。

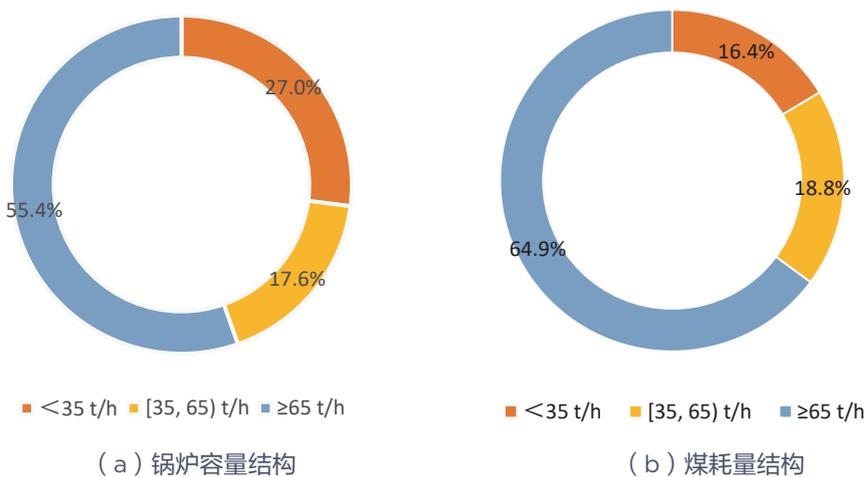


图 1-3: 2022 年全国燃煤工业锅炉容量和煤耗量结构

2 2022年全国煤炭消耗量数据来源于《2022年国民经济和社会发展统计公报》。

3 2015年燃煤工业锅炉煤炭消耗量数据来源于《工业锅炉污染防治可行技术指南(征求意见稿)编制说明》。

工业燃煤小锅炉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）存量削减及其他区域 10 t/h 及以下燃煤小锅炉淘汰。

专栏 1-1：河北省燃煤小锅炉淘汰情况

河北省是 2013 年《大气污染防治行动计划》实施以来燃煤锅炉淘汰力度最大的省份之一，2013-2022 年共淘汰燃煤锅炉近 8 万台，约 15 万蒸吨；其中，2017 年淘汰最多，接近 3 万台、5 万蒸吨，工业、商业、农业和采暖锅炉分别占比 32%、10%、7% 和 51%，保留 35 t/h 以上锅炉约 700 台。随着工业燃煤小锅炉淘汰力度的加大以及供热管网建设不断完善，近年来多地提出加快实施热电联产供热半径 15 公里范围内的燃煤锅炉关停整合。

专栏 1-2：天津市燃煤小锅炉淘汰情况

根据天津市生态环境局公布数据，天津市燃煤供热占比不足 10%，已形成以燃气供热和热电联产供热为主的采暖季集中供热结构（见图 1-4）。2020 年，天津市热电厂供热半径 15 公里范围内的燃煤锅炉共计 81 台，其中，供热锅炉 57 台、工业锅炉 24 台。2021 年，实施热源替代、关停整合 32 台，同时加快推进剩余锅炉的外部供热、供气配套设施建设；2022 年，对剩余 49 台燃煤锅炉实施热源替代、关停整合，完成了供热能源转换。

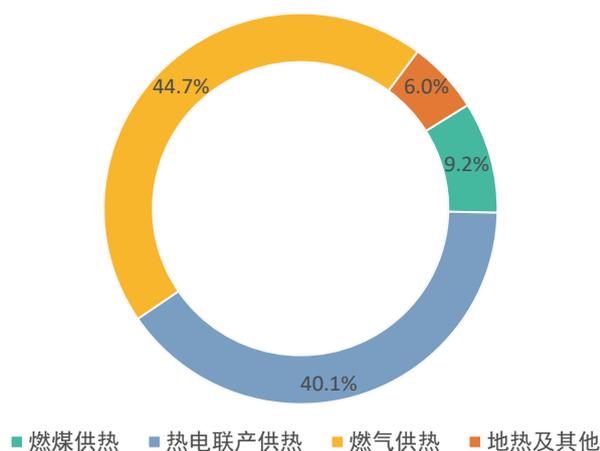


图 1-4：天津市采暖季集中供热结构

专栏 1-3：哈尔滨市燃煤小锅炉淘汰情况

由于叠加工业生产和冬季供暖两大需求，东北地区工业燃煤小锅炉基数大，是近年来除大气污染防治重点区域以外，全国燃煤锅炉总量下降的重要贡献地区之一。以哈尔滨市燃煤锅炉淘汰情况为例，2022 年淘汰燃煤锅炉约 826 蒸吨，其中 35 t/h 以下工业燃煤小锅炉 316 蒸吨，占总淘汰锅炉容量的 38.3%。从空间分布来看，如图 1-5 所示，2022 年哈尔滨市淘汰燃煤锅炉分布于九大城区，其中阿城区和南岗区淘汰锅炉规模最大，占全市总燃煤锅炉淘汰容量的 59.3%。从应用行业来看，受工业行业和人口规模等因素的影响，不同区淘汰燃煤锅炉的应用行业有差异。其中阿城区和南岗区淘汰的燃煤锅炉以供热行业为主；平房区以工业生产为主。

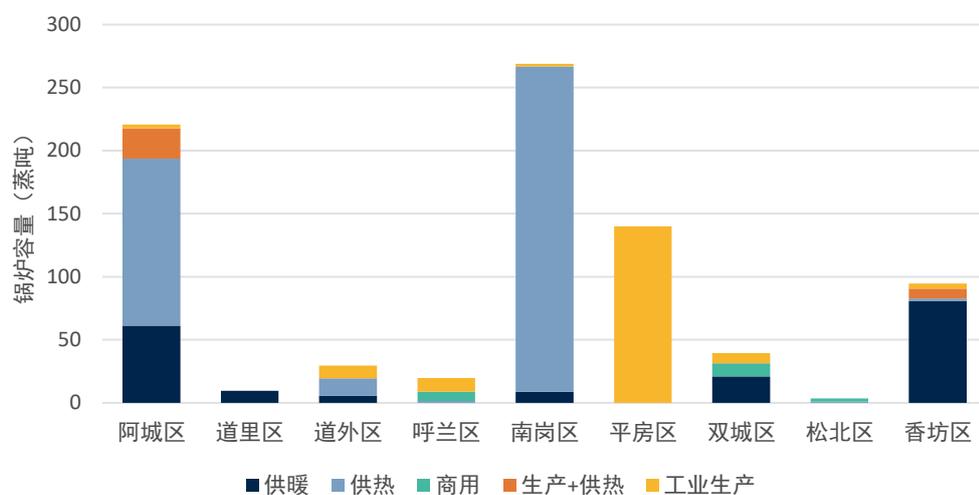


图 1-5：2022 年哈尔滨市燃煤锅炉淘汰情况

(三) 淘汰落后仍是工业小窑炉治理的重要措施

工业炉窑是在工业生产中利用燃料燃烧或电能等转换产生的热量，将物料或工件进行熔炼、熔化、焙（煅）烧、加热、干馏、气化等的热工设备。相对于电站锅炉和工业锅炉，工业炉窑污染治理明显滞后。尤其是砖瓦产业结构调整 and 转型升级任务艰巨。

过去十年，在淘汰落后、散乱污整治和大气污染防治等多项政策约束下，我国工业小窑炉的散烧煤问题得到了极大改善。2022 年，建材行业工业小窑炉散烧煤在 2015 年的基础上下降了近 80%，其中淘汰落后措施的贡献超过 60%。

2022年，建材行业淘汰砖瓦企业约122家、石灰企业约40家，退出陶瓷砖生产线约116条；完成约461家砖瓦企业、304台石灰窑炉和140台建筑陶瓷窑炉的无组织排放治理和改造提升；完成2台窑炉1.8亿标块产能的清洁能源替代，14家砖瓦企业中34座窑炉实施了清洁能源替代（用于点火），建筑陶瓷企业中72台煤气发生炉进行了天然气改造。⁴2022年，建材行业小窑炉散烧煤消费量比2021年下降14.4%。

（四）北方地区冬季清洁取暖稳步向好

2022年，在疫情散发多发，内外部环境复杂多变的情况下，我国北方地区清洁取暖率相比2021年提升了1.4个百分点，可再生能源供热规模持续扩大。清洁取暖工作在东北和西北等非重点区域的清洁取暖支持城市率先打开局面，并形成了以生物质和“太阳能+”为主的技术路线。用户侧的建筑节能改造虽然得到了更高的重视，但相较于热源清洁化改造任务量仍有差距。

（1）北方清洁取暖率稳步提升

自《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021年）》实施以来，我国共支持5批88个清洁取暖试点城市和支持城市的清洁取暖改造，中央财政累计投入资金约1083亿元，预计拉动地方财政和社会投资超过4000亿元，北方地区冬季清洁取暖率稳步提升。如图1-6所示，截至2022年底，我国北方地区供热总面积238亿平方米（城镇供热面积167亿平方米，农村供热面积71亿平方米）。其中，清洁供热面积达到179亿平方米，清洁供热率已经超过75%。⁵

⁴ 根据生态环境部发布印发的《秋冬季大气污染防治综合攻坚行动计划》中各省市的任务清单统计而得。

⁵ 清洁供热产业委员会(CHIC).《中国清洁供热产业发展报告(2023)》,2023.

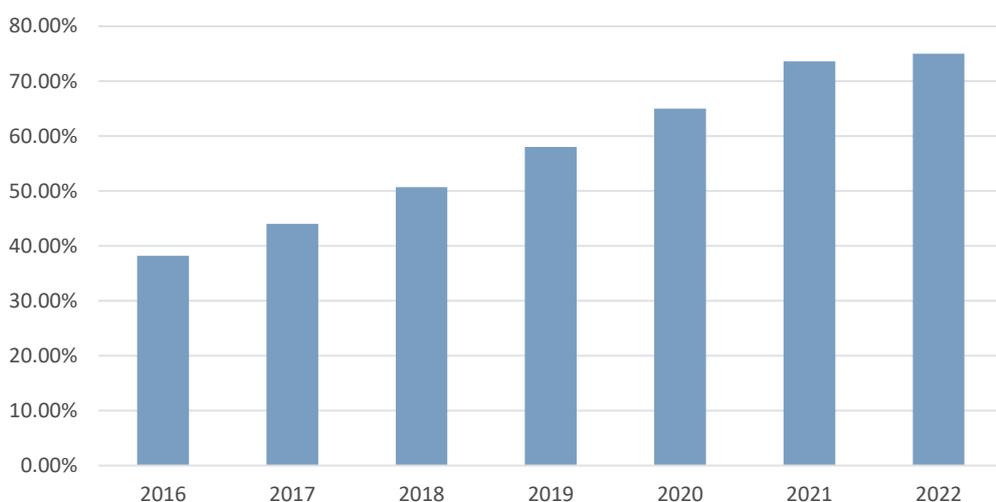


图 1-6：2016-2022 年北方地区清洁取暖率变化趋势

(2) 可再生供热规模持续扩大

在“双碳”战略的引导下，北方地区冬季取暖用能不仅要清洁化，还要低碳化。近年来，农村地区可再生能源发展得到了广泛关注，可再生能源供热规模逐年增长。

据初步估算，2022 年，我国地热供热面积约 12.66 亿平方米，其中浅层地热供热面积约为 9.19 亿平方米，位居全球第一；水热型地热供热面积约为 3.47 亿平方米。如图 1-7 所示，近年来我国地热供热面积逐年扩大，主要分布在河北、河南、山东、陕西、山西等地区。

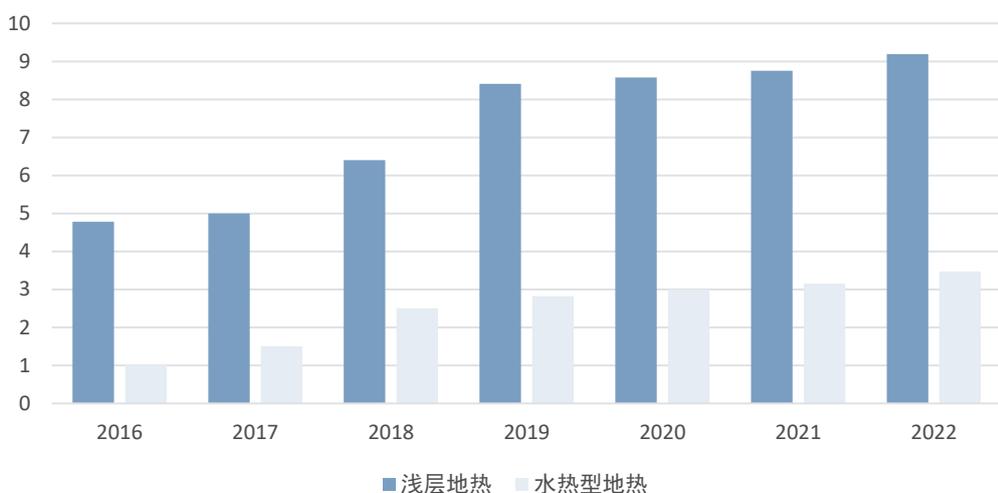


图 1-7：2016-2022 年地热能供热面积（单位：亿平方米）

根据调研和测算，2022年，生物质供热面积新增约3000万平方米，总供热面积约为7.7亿平方米，主要分布在生物质资源丰富的黑龙江、吉林、辽宁、山东、河北、河南、陕西和山西等地。其中生物质热电联产供热面积约为6.2亿平方米；生物质成型燃料年利用量约2100万吨，供热面积约为1.5亿平方米。

根据调研和测算，截至2022年，太阳能供热面积约为1800万平方米，其中80%为户用采暖，按户均供暖面积60平方米计算，约为24万户。目前，太阳能采暖项目已扩展至河北、河南、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、宁夏等多个省份。

(3) 热源侧清洁低碳化格局已初步形成

从目前中央财政支持的88个清洁取暖改造试点和支持城市的情况来看，热源侧清洁低碳化的区域格局已经初步形成，其中重点区域以气和电为主、东北地区以生物质为主、西北地区以太阳能为主。

重点区域基本形成了以“煤改电”、“煤改气”为主、其他可再生能源为辅、清洁炉具作为过渡性兜底保障的清洁取暖格局。以京津冀为例，河北以“煤改气”为主，北京和天津以“煤改电”为主。“煤改气”的主要技术设备是燃气壁挂炉，“煤改电”的技术设备则相对较多。其中，北京农村居民“煤改电”用户中以空气源热泵为主，占比95%；天津农村居民“煤改电”用户中，空气源热泵占比58%、直热式电暖气占比34%；河北农村居民“煤改电”用户中，空气源热泵占比33%、直热式电暖气占比53%、蓄热式电暖气占比14%。⁶



图 1-8：京津冀及周边重点区域的取暖设备

⁶ 数据来自《清洁供热报告2023》。

清洁炉具作为过渡性措施，在重点地区暂不具备清洁取暖改造条件的农村地区仍发挥着重要的兜底保障作用。如《北京市深入打好污染防治攻坚战 2022 年行动计划》提出，在保证群众安全取暖过冬的前提下，未实施煤改清洁能源替代地区实现洁净煤替代散煤全覆盖。河北出台《河北省 2022 年采暖季洁净煤及型煤配套炉具保供方案》，提出对未实施“双代”改造的边远山区、坝上地区，及“双代”改造区域内的“例外户”，全部推广使用洁净煤（含洁净型煤、兰炭、优质无烟煤）取暖，实施洁净煤兜底全覆盖。



图 1-9：重点地区煤改生物质、洁净煤用户

非重点地区清洁取暖改造的技术路线以“太阳能+”、生物质等可再生能源为主。

西北地区太阳能利用较为广泛。从甘肃和宁夏的实地调研情况来看，两地的太阳能资源丰富，选择“太阳能为主、气和电为辅”的技术路线。其中，甘肃凉州区选择了“太阳能储热+电辅热+清洁灶”的技术路径⁷；宁夏中卫市采用了“太阳能+空气源热泵”的耦合供暖技术⁸；宁夏固原市根据各县实际情况，应用了多种技术路径，包括“煤改气”、“煤改生物质成型燃料”、“煤改空气源热泵”、“煤改太阳能”等，并结合电暖器、电热炕等设备应用。

东北地区生物质资源丰富，重点选择了以“生物质炉具为主、太阳能和电采暖等为辅”的技术路线。截止 2022 年，吉林省辽源市实施“煤改生物质”规模达 4.55 万户；辽宁省葫芦岛市实施规模达 2.4 万户；黑龙江省哈尔滨市完成“煤改秸秆成型燃料”改造共 4.54 万户。



图 1-10：东北地区“煤改生物质”用户实况

7 数据来自《关于“凉州区 2022 年农村分散农户清洁取暖改造项目”进行社会稳定风险评估的公示》。

8 数据来自《宁夏中卫沙坡头区冬季清洁取暖工作实施方案(2022 年-2024 年)》。



图 1-11: 西北地区“太阳能 + 生物质炉具”、
“光伏 + 空气源热风机”用户实况

(4) 用户侧建筑能效提升仍具潜力

随着北方地区冬季清洁取暖试点城市建设覆盖范围的逐步扩大，从现有的实施效果来看，农村既有建筑节能改造技术不断发展，改造面积稳步增加。部分省市在国家标准基础上，结合地方实情，进一步细化了建筑节能工作要求，出台了相关地方标准、技术导则等指导性政策文件，助力农村建筑节能工作的精细化发展。同时，为保障农村建筑节能工作的顺利实施，各地根据自身情况制定了相关的建筑节能改造补贴标准。

2021年第四批清洁取暖支持城市的农村建筑能效提升改造项目整体比重明显提升。其中，东北、西北地区在三年补贴时效期间内预计可完成农房建筑节能改造约1692万平方米，占农村热源清洁化比重的26%，较前三批城市城乡结合部、所辖县及农村地区5%的比重明显高出很多⁹。根据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）要求，总体绩效评价时，建筑节能改造任务未完成的，原则上绩效评价结果将定为D（评价等级的最低档，对应分值低于60分），这一措施有效推动了支持城市既定农村建筑能效提升任务的落地实施。

虽然农村建筑能效提升比例有了进一步提升，但相较于热源清洁化改造重视程度依然不足。通过分析18个已实施和正在实施清洁取暖项目的西北、东北地区典型城市的任务量数据，不难看出多数城市农村建筑能效提升相较于热源清洁化改造任务量差距较大。其中西北地区12个城市中农村建筑能效提升任务总量与农村热源清洁化改造任务总量的比例约为4.9:10；东北地区6个城市中农村建筑能效提升任务总量与农村热源清洁化改造任务总量的比例约为3:10。

从东北、西北地区12个典型城市建筑能效提升的投资构成情况来看，西北地区整体投资标准要高于东北地区。西北地区平均投资13000元/户，东北地区平均投资8200元/户。部分西北地区对农房建筑能效提升改造重视程度较高，如宁夏某市改造投资大致在13000-14000元/户。东北地区投资标准差异较大，户均投资范围为2500-10000元/户。

⁹ 前三批城市热源清洁化是将城乡结合部、所辖县及农村地区统一要求，未单独区分农村地区，因此前三批城市比例采用“城乡结合部、所辖县及农村地区”建筑能效提升与热源清洁化比例。

从中央奖补资金及地方财政出资占比来看，东北地区 3 个城市的农村地区建筑节能完全依靠中央资金，整体补贴标准最高不超过 80 元 /m²，最低仅 2500 元 / 户。其他城市中央资金与地方财政比例保持在 1.3-3 之间，调研的 12 个支持城市农村建筑节能补贴标准统计如下表所示。

表 1-1: 清洁取暖项目农村建筑能效提升财政补贴标准

序号	城市（户均面积 /m ² ）	财政补贴标准		
		中央资金（元 / 户）	地方财政（元 / 户）	合计（元 / 户）
1	A（100）	13000	0	13000
2	B（105）	9523	4080	13603
3	C（70）	3000	1700	5700
4	D（100）	10000	0	10000
5	E（88.5）	5550	0	5550
6	F（97）	2500	0	2500
7	G（87）	5655	4350	10005
8	H（80）	6400	6400	12800
9	I（96）	5000	5000	10000
10	J（120）	9600	2400	12000
11	K（100）	10000	0	10000
12	L（95）	9500	9500	0

（五）分区域稳中求进的治理策略已成共识

我国散煤治理在初期阶段以改善空气质量为核心，尤其是以秋冬季雾霾防控为重点，形成了“总体规划、重点区域先行”的局面。因此，过去几年我国散煤削减主要来自京津冀及周边地区大气污染传输通道“2+26”城市和 11 个汾渭平原城市的存量削减。

在工业领域，重点区域已率先实现 35 t/h 及以下燃煤工业小锅炉清零和散乱污企业整治，非重点区域在县级及以上城市建成区内淘汰 10 t/h 及以下燃煤工业小锅炉，并持续推进散乱污企业整治。在产业结构调整中，重点区域淘汰落后的力度也是非常大的。

在民用领域，中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点和支持城市共 88 个，每批试点和支持城市清单详见表 1-2，区域分布情况可参见图 1-12 和图 1-13。

表 1-2：重点地区清洁取暖中央财政补贴支持城市

年度	批次	数量	城市清单
2017	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	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	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	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。
2022	第五批	25	青岛市、商丘市、枣庄市、周口市、东营市； 呼和浩特市、沈阳市、银川市、长春市、临夏州、西宁市、齐齐哈尔市、哈尔滨市、昌吉州、吉林市、乌兰察布市、中卫市、盘锦市、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。

重点区域城市起步较早，并逐步发挥试点示范作用，带动和辐射周边地区。目前，京津冀以及山西省已经实现全域覆盖，河南、山东和陕西省的覆盖率分别为 72%、81% 和 73%。重点区域涉及省份的清洁取暖试点和支持城市覆盖情况如图 2-1 所示。

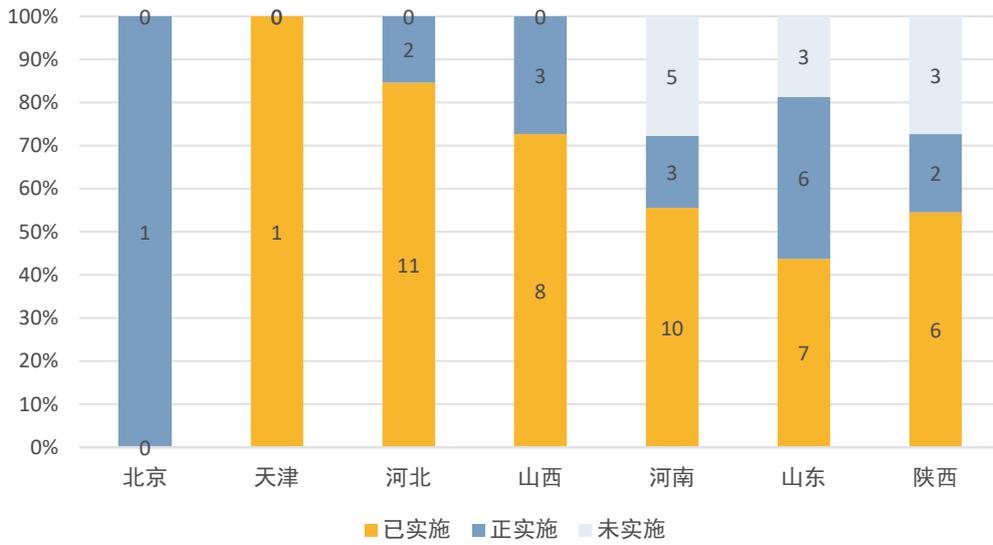


图 1-12: 重点地区清洁取暖试点城市和支持城市改造数量

非重点区域主要指京津冀大气污染传输通道和汾渭平原城市之外的北方冬季供暖区域，本报告研究中将省域作为研究边界，因此非重点区域主要是指内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、甘肃、宁夏、新疆、青海等北方 8 个省（区）。随着重点区域清洁取暖改造的快速推进，自 2021 年开始，中央财政支持的清洁取暖试点和支持城市逐步开始覆盖到东北和西北等非重点区域，截至目前，共有 28 个城市获得审批，其中宁夏清洁取暖支持城市占比最高，具体情况如图 1-13 所示。

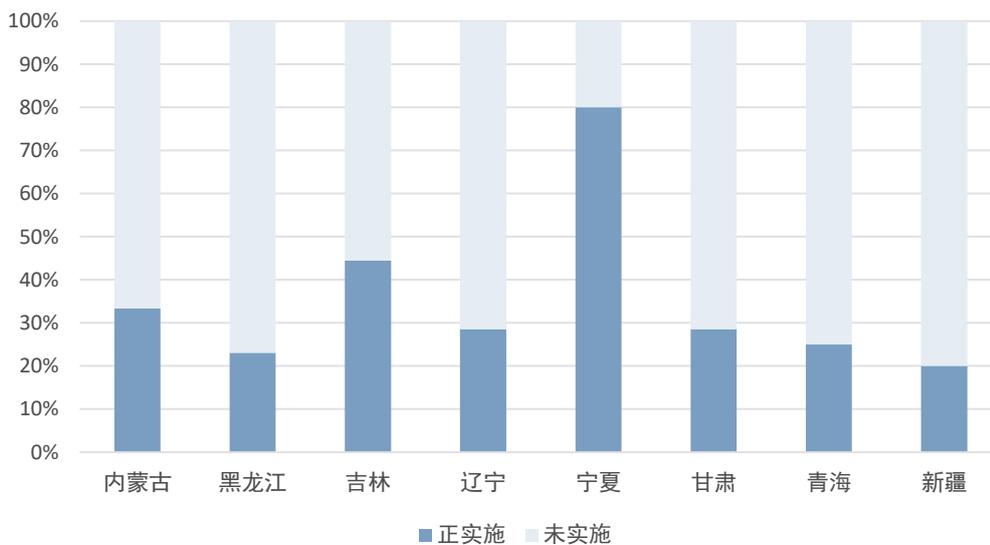


图 1-13: 非重点地区清洁取暖试点和支持城市改造数量

由于重点区域和非重点区域散煤治理已然处于不同的发展阶段，在工业领域，前者处于巩固阶段，主要是防止散煤返烧，后者仍有扩大淘汰范围和压减散煤的空间和潜力；在民用领域，前者处于后补贴、后改造时代的运行期，后者则正处于清洁取暖改造的建设期。重点区域的主要挑战是农村地区“改而不用”、“资产闲置”问题，《中国清洁供热产业发展报告 2023》数据表明，京津冀农村家庭仅有 60% 冬季采暖平均温度可达到 18 摄氏度，超过一半农户反馈清洁能源改造后取暖效果不理想，运行成本高、供气不足、设计不合理等。而非重点区域的主要挑战是基于过去经验，科学确定经济可承受的技术路线，注重热源侧与用户侧同推，实现长效的清洁取暖改造。重点区域和非重点区域处于不同的发展阶段、面临不同的挑战和任务，决定了散煤治理工作需要分区域稳步推进。

第二章 非重点区域难度升级成现实挑战

随着散煤消费的快速下降，我国散煤消费呈现新的特点，整体以民用为主，非重点区域量多面广，重点区域散煤反烧现象突出。结合我国散煤治理在实施进度、主要挑战和重点任务等方面存在区域性差异，以及非重点区域的基础设施现状、经济和气候条件、农村能源利用特点等决定了散煤治理难度加大，在深水区向纵深挺进的过程中，以长效为核心，分区域治理、稳中求进，已是散煤治理的必然选择。

(一) 东北地区工业小锅炉散烧煤居高不下

从 2022 年全国燃煤小锅炉地区分布（如图 2-1 所示）来看，东北地区 35 t/h 以下的燃煤小锅炉还有较大规模，其燃煤小锅炉容量和煤耗量占比分别为 54.2% 和 42.1%，高于其他地区占比。近年来由于京津冀及周边地区燃煤工业锅炉综合治理成效显著，华北地区燃煤小锅炉规模显著下降，2022 年其容量和煤耗量占全国的比例均低于 5%。西北地区 35 t/h 以下燃煤小锅炉容量规模仅次于东北地区，其锅炉容量占全国 35 t/h 以下燃煤小锅炉总容量的 16.4%。因此，课题组针对东北和西北两个 35 t/h 以下燃煤小锅炉规模较大的地区，开展燃煤工业小锅炉现状梳理和分析。

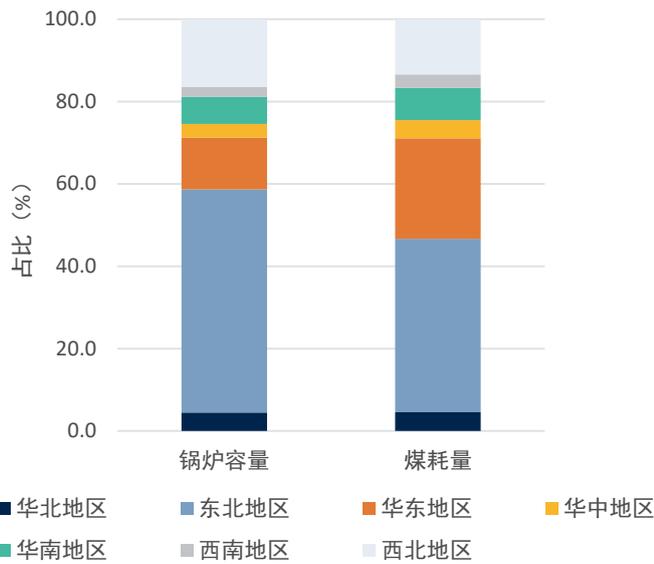


图 2-1: 燃煤工业小锅炉锅炉容量和煤耗量的区域分布

课题组核算 2022 年东北地区燃煤工业锅炉容量约为 25 万蒸吨，煤耗量约为 0.9 亿吨；其中，35 t/h 以下燃煤小锅炉容量和煤耗量分别约占全区燃煤工业锅炉容量和煤耗量的 17.9% 和 18.1%。西北地区燃煤工业锅炉容量约为 7.9 万蒸吨，煤耗量约为 0.35 亿吨；其中，35 t/h 以下燃煤小锅炉容量和煤耗量分别约占全区燃煤工业锅炉容量和煤耗量的 17.4% 和 15.0%（如图 2-2 所示）。

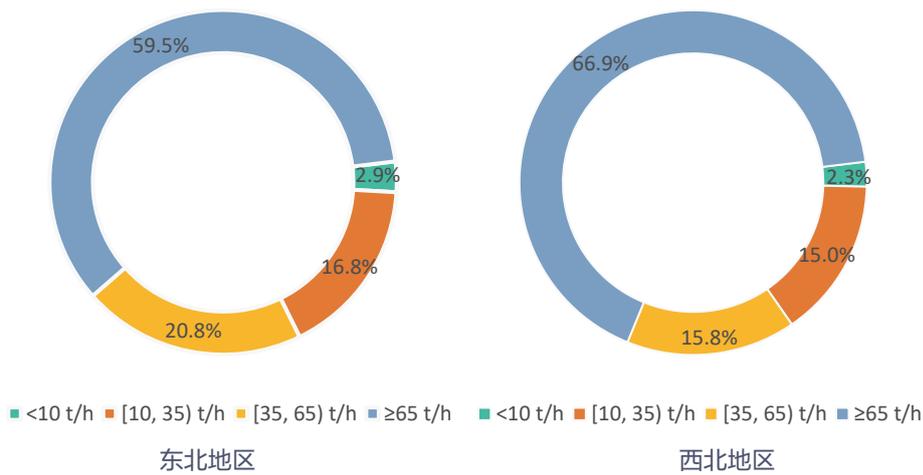


图 2-2: 2022 年东北和西北地区燃煤工业锅炉煤耗量结构

根据 2022 年工业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工业燃煤小锅炉颗粒物、SO₂、NO_x 和 CO₂ 排放量分别约为 9.1 万吨、13.2 万吨、8.9 万吨和 7621 万吨。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，燃煤小锅炉污染物排放首要来自于东北地区（如图 2-3 所示）。东北地区燃煤小锅炉颗粒物、SO₂、NO_x 和 CO₂ 排放量分别占全国（燃煤小锅炉）污染物排放量比例分别为 63.0%、46.7%、47.3% 和 41.9%。其次为华东地区和西北地区。

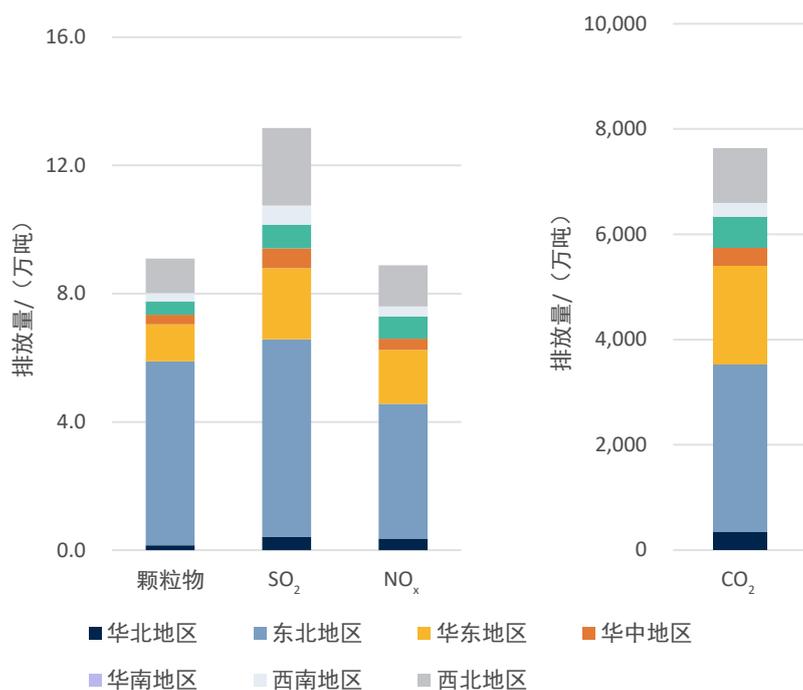


图 2-3：中国各地理分区燃煤小锅炉污染物排放量

东北地区由于燃煤小锅炉基数大、不属于大气污染防治重点区域，导致目前燃煤小锅炉仍有较大规模，是未来我国工业小锅炉散煤实施深度治理的关键地区。西北地区由于近年来燃煤锅炉大气污染防治综合整治力度相对较弱，燃煤小锅炉仍有一定规模，是下一步开展全国工业小锅炉散煤治理的重点地区。

(二) 东北和西北地区供暖期较长、改造工期较短

冬季需要供暖的北方地区共 15 个省市，由于气候条件不同，因此冬季取暖的时间和需求存在一定差异。如图 2-4 所示，除了南疆地区等少部分城市，非重点区域中的大多数城市供暖期温度明显低于重点区域。

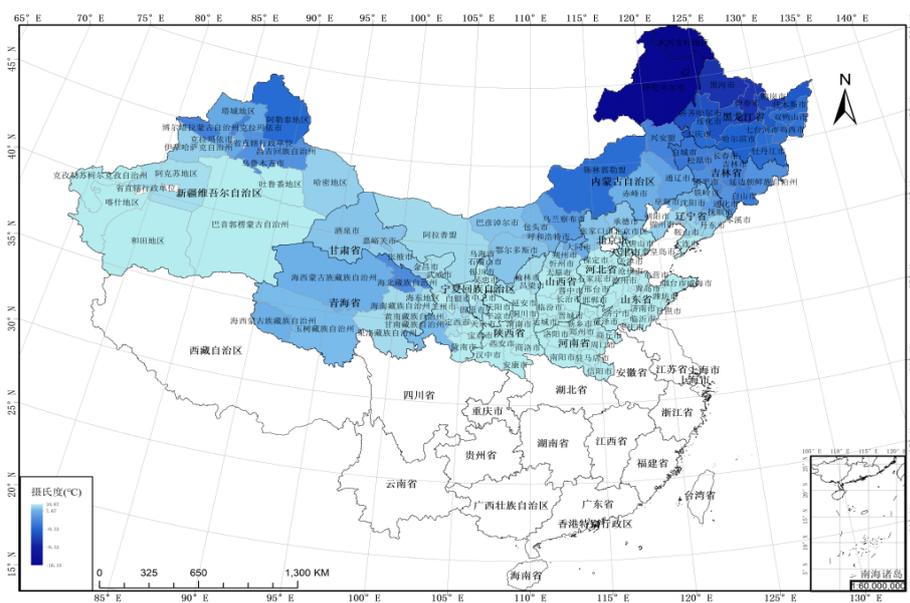


图 2-4：北方地区城市供暖期均温分布

其中，东北地区气温越往北越低，冬季漫长，低温持续期相当长。在东北地区的冬季，气温经常降到零下 20℃ 以下，甚至有时候会达到零下 30℃ 左右。一般而言，大兴安岭地区每年 10 月初，日平均气温即稳定在 0℃ 以下，到次年 4 月才回升。日平均气温 0℃ 以下的持续期达 6 个月之久，松嫩平原与长白山地也长达 5-6 个月。

西北地区地处内陆，为典型的大陆性气候，夏季炎热，冬季严寒且降水稀少，终年干旱。西北地区处于高纬度，冬季太阳辐射较弱，因此冬天较为寒冷。除陕南部分地区冬季平均气温在 0℃ 以上，其他西北地区冬季平均气温约为零下 10℃。

从东北和西北 8 省会城市规定的供暖期来看，如图 2-5 所示，与郑州（99 天）、济南（97 天）等华中、华东城市相比，以 8 省会城市为代表的东北、西北地区供暖期多高于北方平均值，其中哈尔滨规定供暖期近半年。

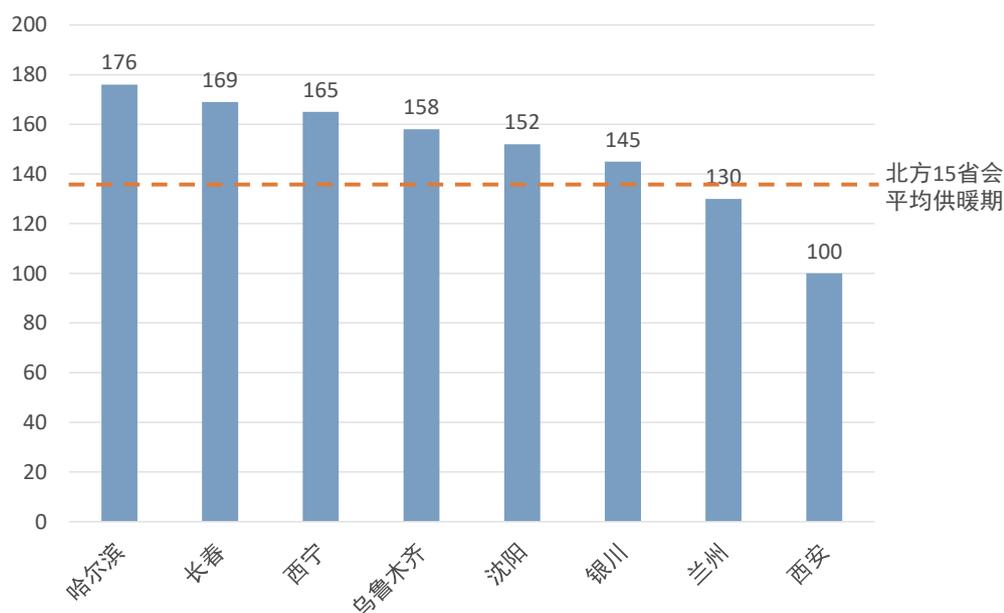


图 2-5: 东北、西北 8 省会城市规定供暖期 (天)

由于气候条件不同，东北、西北地区取暖时间显著长于华中、华北地区，清洁取暖改造和建筑节能改造的施工工期明显短于华中、华北地区。以建筑节能改造施工情况来看，东北、西北地区项目建设往往需要经历较长的“冬歇期”，寒冷的天气无法进行施工作业。在东北地区，“冬歇期”大多从每年 11 月份持续至次年 3 月份左右，这使得项目建设周期往往是南方的两倍以上，实施节能改造的实际工期整体少近 2 个月。同时，鉴于东北、西北地区冬季昼短夜长的特殊环境，白昼时间区间（上午 8 点 - 下午 5 点）可达 2 月左右，单日实际施工时间较短，由此影响农村建筑节能改造的规模性实施。

(三) 东北和西北地区经济条件较差、任务较重

东北地区和西北地区已成为全国发展最难、经济增长最慢的地区，一方面，由于地域优势不足，基础设施落后，难以吸引投资；另一方面，面对社会经济发展及生态环保的要求，重工业转型、就业困难等问题，东北、西北地区人口流出和老龄化危机加剧，间接影响经济发展。

如图 2-6 所示，北方地区冬季取暖的 15 省市中，青海省 GDP 最低，其次是宁夏、甘肃；与华北、华中的省市相比，东北三省的 GDP 处于较低水平。国家统计局公开数据显示，2021 年，东北、西北八省区 GDP 合计接近广东省 GDP 水平，如图 2-7 所示。

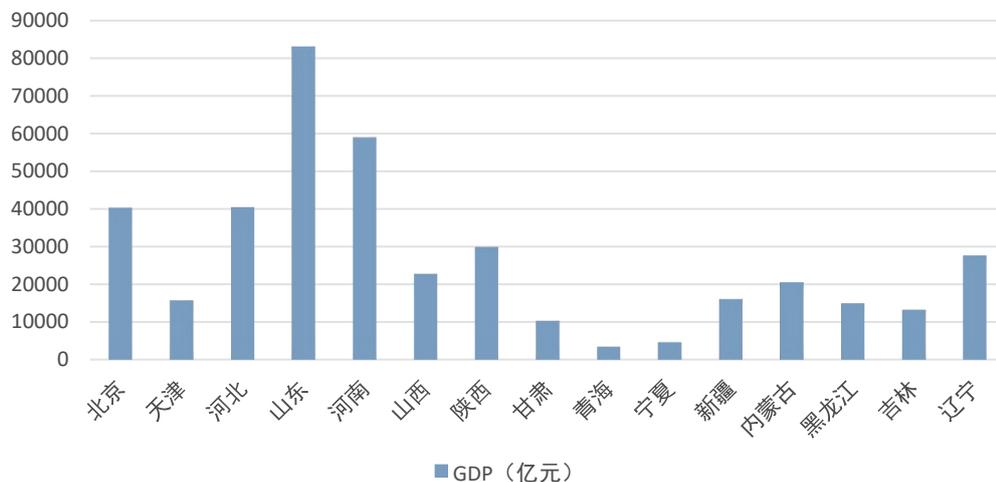


图 2-6：2021 年北方地区 15 省市 GDP¹⁰

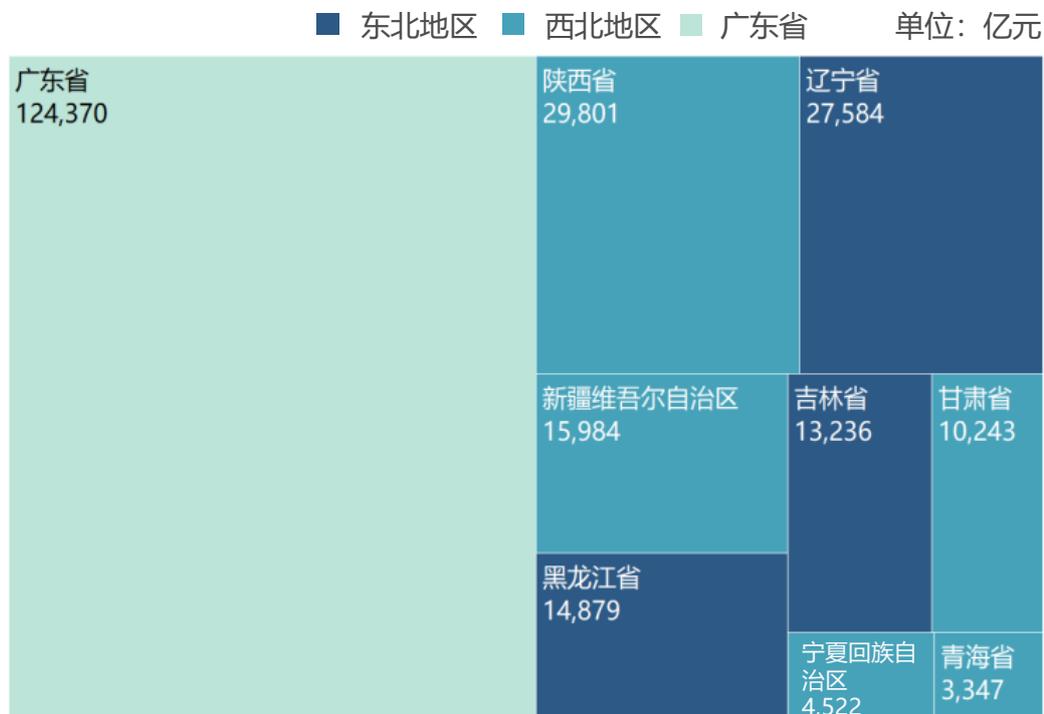


图 2-7：2021 年东北、西北地区及广东省 GDP 比较图

¹⁰ 数据来自国家统计局发布的《2021 年国民经济和社会发展统计公报》。

与此同时，东北、西北地区由于清洁取暖起步较晚，清洁取暖基础较差，任务较重。目前，中央财政支持的北方清洁取暖支持城市在东北和西北 8 省的覆盖率仅为 30%；而在重点区域涉及的 7 个省市覆盖率高达 86%。此外，由于东北、西北的特殊地理区位和气候条件，在冬季取暖期间，农村用户若要保持与华北、华中等地农户相同的室内温度，必然对房屋的保温性能要求更高，能源消耗或热量输入也更多。换言之，若通过同样的技术路线实现温暖过冬，东北和西北地区需要更高的建设和运行成本。

(四) 东北和西北地区农村能源消耗仍以固体燃料为主

当前，薪柴、秸秆、煤炭等传统固体燃料仍是东北、西北地区农村炊事和取暖的主导能源，冬季取暖使用炉灶炕现象较普遍。

根据东北三省调研情况，东北取暖用能以秸秆、薪柴和煤炭为主，取暖设施以“采暖炉（炕炉）+ 炕连灶”为主，且农户就地取材将农作物秸秆用于炕连灶炊事取暖是东北农村地区一直沿袭的风俗习惯。东北农村炊事用能主要以秸秆、薪柴、电为主，炊事设施主要有柴灶、电饭锅、电磁炉、煤气灶、燃煤炉等。具体实况图可参见图 2-8 和图 2-10。

调研结果显示，东北地区经济条件较好的农户以燃煤取暖为主，一个采暖季使用煤炭 3-4 吨，占比约 7.7%-13.4%；经济条件一般的农户只有在冬季最冷的 1-2 个月份才会烧煤，一个采暖季使用煤炭 1-2 吨，其他时间烧秸秆、薪柴等取暖，占比约 76.5%-79.5%；经济条件较差的农户则基本不烧煤炭，仅靠烧秸秆、薪柴等进行取暖，占比约 7.1%-15.4%。东北三省取暖和炊事的具体用能结构可参见图 2-11 和图 2-12。

根据西北两省（甘肃和宁夏）调研情况，两省取暖和炊事用能均以煤炭和薪柴为主，取暖设施以“烤火炉 + 火炕”为主。其中，煤炭用于采暖炉或烤火炉炊事取暖，薪柴用于火炕取暖。农户炊事设施主要有燃煤炉、电磁炉、电饭锅、燃气灶、煤气灶和柴灶等。具体实况图可参见图 2-9 和图 2-10。

调研结果显示，西北两省经济条件较好的农户以燃煤取暖为主，一个取暖期需燃煤 2-3 吨，占比约 15.5%-21.5%；经济条件一般的农户只有在冬季最冷的 1-2 个月份才会烧煤，一个取暖期需燃煤 1.5 吨左右，其他时间烧薪柴等取暖，占比约 64.7%-80.2%；经济条件较差的农户则基本不烧煤炭，仅靠烧薪柴、秸秆等进行取暖，占比约 4.3%-13.8%。西北两省取暖和炊事的具体用能结构可参见图 2-11 和图 2-12。



图 2-8：东北地区农村流行的炉灶炕用户



图 2-9：西北地区农村流行的炉灶炕用户



图 2-10：农村取暖掺烧燃料：秸秆、玉米芯、废弃板材、剪枝、煤炭

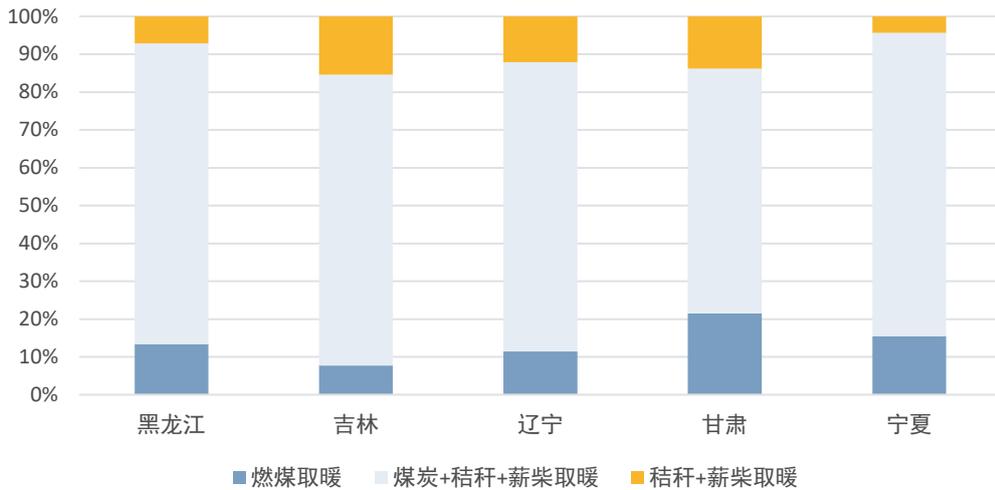


图 2-11: 东北和西北五省农户取暖燃料掺烧情况

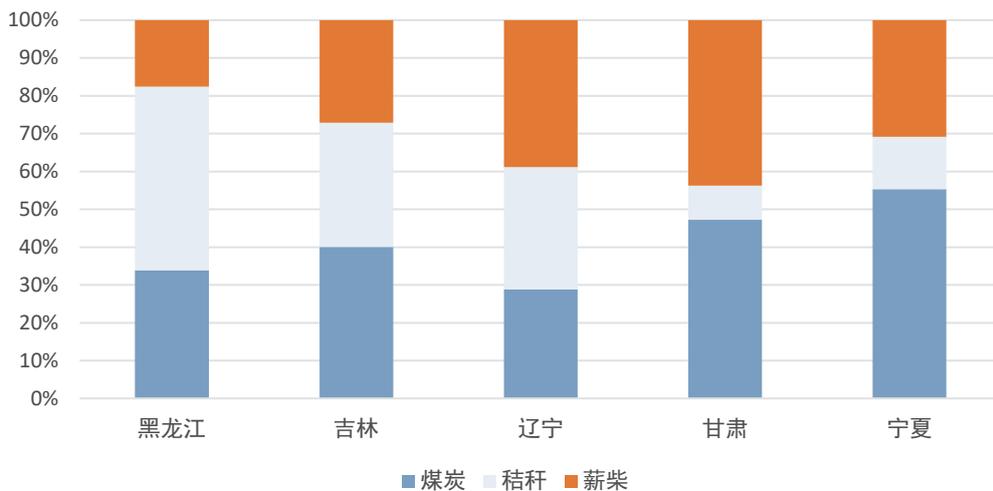


图 2-12: 东北和西北五省农户炊事取暖用能结构

近几年煤炭价格上涨，加之疫情的经济影响，农村取暖使用煤炭与秸秆、薪柴掺烧现象明显增多，在调研的东北、西北五省中，煤和薪柴掺烧平均占比达到了 75%。一些经济条件差的农村居民甚至直接退回到薪柴取暖的生活状态。此外，在清洁取暖支持城市，清洁取暖设施与传统炉灶炕柴煤并用现象也极为普遍。如黑龙江、吉林、辽宁、甘肃等地改造为生物质炉具、“太阳能+”的农户中，80%-90%的农户依然保留炉灶炕烧煤炭、秸秆、薪柴炊事取暖的习惯。

(五) 东北和西北地区建筑能效提升改造难度大

整体来看，东北、西北地区农村人口密度小，村落分布分散，村落内部户间距离也较华北、华中地区更大，且以独栋独院为主，院落形式多样，单层独栋坡屋顶占比超过80%，建筑耗热量往往较高。东北三省农村地区基本以单层单院式为主。西北农村住宅建筑主要分为砖瓦建筑、生土建筑和窑洞建筑。其中砖瓦建筑占比最大，约为67.4%，生土建筑和窑洞建筑占比分别为24.8%和7.8%。由于窑洞建筑具有明显的地区性，建筑围护结构形式和热工性能与其他住宅建筑不同，其节能技术措施也有别于其他建筑类型。

从实际情况分析，一方面，东北、西北地区农村用户建筑面积普遍较大，村民生活居住区域面积多达80-150m²，单户具备改造价值的能效提升需求较大，单户节能改造资金投入较多；另一方面，由于北方大部分村庄缺少统一规划、基础设施建设水平滞后、农房长期来自建自用结构较差，在实际实施改造过程中，对建筑承重结构、节能改造技术标准要求更高，由此造成节能改造成本增大，项目落地实施及大范围推进困难。

从技术角度分析，农村地区能效提升技术方案面临系列难题。一方面存在农房形式种类多，保温水平差异大的情况，无法直接照搬城镇地区建筑节能改造方案；另一方面缺乏细化的、菜单式的技术路径，因而难以解决在改造优先级、改造形式、材料选择、厚度确定等方面的关键问题。为保障既有建筑节能改造效果，亟需结合农村居住建筑特点及技术经济条件，合理确定节能目标及改造方案，在保温材料、施工工法等方面制定可规模化应用推广的技术标准及要求。

从管理角度分析，农村地区缺乏严谨、科学的顶层规划管理经验，且农村地区建筑节能和安全指导监督机构不全、体制不顺，导致建设管理职能缺位，管理区域制度空白，增加了农村建筑能效提升工作的难度。

由此来看，基于东北地区严寒气候特殊性、建筑本身承重性、房屋保温气密性、最终能效提升率等综合因素考虑，既有农房建筑节能改造技术标准要求更高，节能改造资金投入大，需要立足当地的气候、经济、居民习惯等因素，因地制宜进行节能改造方案设计分析，为建筑节能改造的统筹建设及大范围推广带来了很大的困难。

(六) 东北和西北地区散煤清零可获显著健康效益

本研究使用情景分析法定量评估历史趋势延续的基准情景（BaU）、2035 年散煤净零情景（CNZ35）、2030 年散煤净零情景（CNZ30）下中国东北、西北地区农村散煤治理路径的室内健康效益。各情景的具体描述如下表所示。

表 2-1: 具体情景描述

情景	情景描述	
BaU	炊事、取暖技术份额按历史趋势外推，即社会经济发展促进的家庭用能技术自发转型	
CNZ35	2035 年散煤净零	各类传统固体燃料下降，2025 年为 2022 年的 80%，2030 年为 2022 年的 40%，2035 年净零
CNZ30	2030 年散煤净零	各类传统固体燃料下降，2025 年为 2022 年的 60%，2030 年净零

总体而言，农村散煤提前淘汰将带来显著的健康效益。如图 2-13 所示，在最积极的退煤情景 CNZ30 中，东北三省累计减少致病人数 52.60 万，累计减少致死人数 14.22 万；西北五省累计减少致病人数 57.27 万，累计减少致死人数 14.67 万。东北三省中，各省累计减少的致病和致死人数相近，占比最大为黑龙江省，分别占东北地区总致病和致死人数的 38.37% 和 38.35%；相比而言，西北五省累计减少的致病和致死人数具有显著的省际异质性，占比最大为陕西省，分别占西北地区总致病和致死人数的 31.95% 和 32.71%，占比最小为宁夏回族自治区，分别为 5.84% 和 5.75%。在不同退煤情景中，CNZ35 在东北累计减少的致病和致死人数只有 CNZ30 情景的 52.33% 和 52.20%，在西北地区则分别只有 52.81% 和 52.59%。

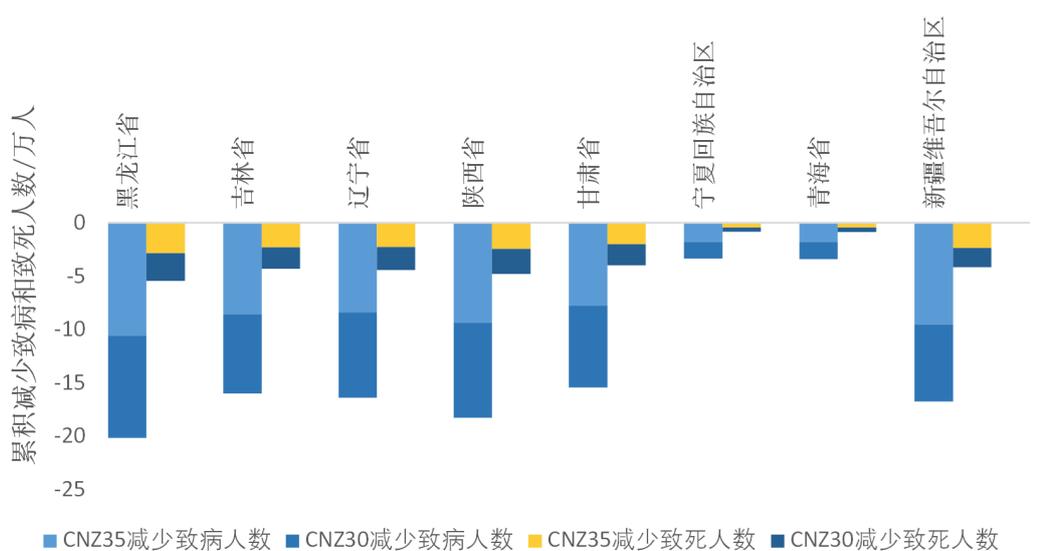


图 2-13：东北、西北地区农村炊事、取暖提前退煤减少的致病 / 致死人数

注：CNZ35 减少致病（致死）人数表示相比于 BaU 情景，CNZ35 情景因提前退煤减少的室内空气污染致病（致死）人数；CNZ30 减少致病（致死）人数表示相比于 CNZ35 情景，CNZ30 情景因更大力度地提前退煤减少的更多室内空气污染致病（致死）人数，因此相比于基准情景，CNZ30 情景因提前退煤减少的室内空气污染致病（致死）人数 = CNZ35 减少致病（致死）人数 + CNZ30 减少致病（致死）人数。

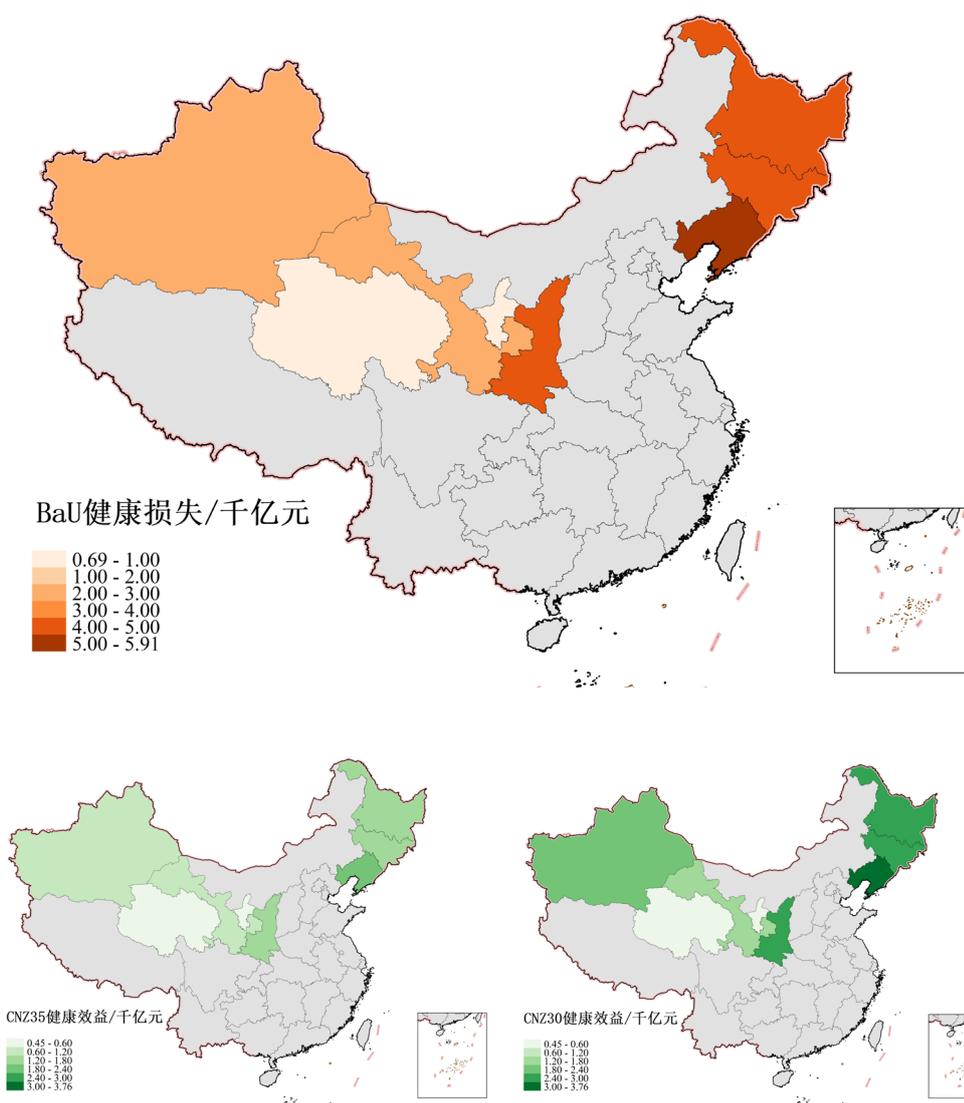


图 2-14：东北、西北地区农村炊事、取暖提前退煤的健康效益

BaU 健康损失表示基准情景下，因室内空气污染导致的致病和致死人数带来的健康损失；CNZ35 健康效益表示相比于 BaU 情景，CNZ35 情景因提前退煤减少室内空气污染致病和致死人数带来的健康效益；CNZ30 健康效益表示相比于 BaU 情景，CNZ30 情景因更大力度地提前退煤减少更多室内空气污染致病和致死人数带来的健康效益。

在不同的退煤情景中，CNZ30 的健康效益显著更高，在东北和西北地区分别产生了于 CNZ35 情景 1.83 和 1.81 倍的健康效益。越是在基准情景下受散煤利用导致货币化健康损失大的地区，越是从散煤替代和更积极的散煤替代方案中获得更多的货币化健康改善效益。如图 2-15 所示，对于最积极的退煤情景 CNZ30，在东北地区中，辽宁省虽然提前退煤减少的致病和致死人数相对较少，约为全东北地区的 31.20% 和 31.22%，但能从提前退煤中获得最高的货币化的健康效益，为全东北地区的 40.23%。

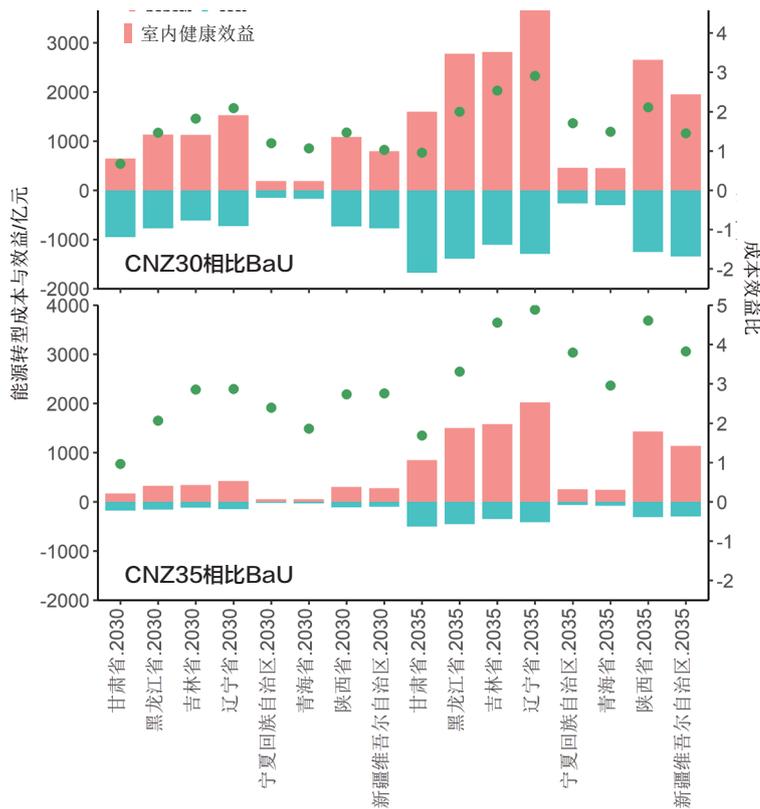


图 2-15：东北、西北地区农村炊事、取暖的成本效益比较

注：相比于基准情景，CNZ35 和 CNZ30 情景下能源转型的技术转型成本与健康效益（2022-2035 累计）。

提前实施散煤清零的 CNZ30 情景将同时带来更高的转型成本和转型效益，但相应的成本效益比率表现却比 CNZ35 情景低。这意味着更积极的散煤替代方案能同时导致更高的转型成本和健康效益，大部分地区的室内健康效益可以抵消转型成本。此外，从时间异质性来看，所有散煤清零情景中成本效益比均在后期更高，说明各地区短期内需要付出转型成本，但在长期可以获得显著的健康效益。从空间异质性来看，东北地区三省的成本、效益及成本效益比之间差异性相比西北地区更小。

第三章 “补贴依赖”到“市场驱动”是长效的关键

散煤治理曾被广泛认为是大气治理中最难啃的骨头，北方地区清洁取暖更是起步较晚、难度较大，涉及民生和民心工程。中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点示范是民用散煤治理实现破冰并打开良好局面的重要举措。当前，北方清洁取暖的建设任务已经从重点区域迈向难度更大的非重点区域，技术路线注重双侧同推，用户需求从单一功能转向多元融合，解决方案逐步趋向多能联动、多热复合、多源合一；行业发展的重心正从政府项目转向零售市场竞争；市场模式从依赖补贴转向商业创新；集农村生活、生产于一体的能源资源生产和利用系统在乡村振兴、农村可再生能源发展、建筑能效提升、农业现代化、减污降碳协同增效、改善农村人居环境等政策协同之下，已成为大势所趋，北方清洁取暖更加注重长效。

（一）政策以补贴为主向协同发力转变

2017年，国家十部委联合印发《北方地区冬季清洁取暖规划（2017—2021年）》，明确了清洁取暖定义、范围、目标及推进策略，对清洁取暖工作进行了整体部署。同年，国家四部委联合发布《关于开展中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作的通知》（财建〔2017〕238号），自此，北方地区冬季清洁取暖以政府补贴支持为主的方式拉开帷幕，同时伴有硬性考核指标要求和环保问责压力。

强有力的补贴政策为北方地区冬季清洁取暖改造打开了良好的局面，但可持续的清洁取暖还需多维度的政策融合。一方面，地方清洁取暖改造因实施时间紧、任务重、配套资金不足，且基础设施改造耗资巨大，部分清洁取暖设备价格高，电采暖和燃气采暖的运行成本高于燃煤，居民对政府补贴依赖性较强，地方政府财政负担普遍过重，相关补贴政策难以长期持续。另一方面，随着改造面积不断扩大、数量不断增加，原有项目运维及新项目持续推进所需的高额补贴会让地方财政陷入“进退两难”的境地。待补贴政策到期退出后，已实施清洁取暖的用户极有可能返回燃煤，同时造成公共资源的极大浪费。此外，一些地区出现改造后取暖效果差、技术路径不适应或运行成本高等问题，实施了二次、三次改造，面临新一轮的财政压力。

2022年以来，围绕乡村振兴、人居环境改善、国家碳达峰行动方案出台的一系列政策文件，均将清洁取暖纳入统筹规划。推进农村清洁取暖，无论从政策层面还是项目协同方面，都已形成了合力之势。如表 3-1 和表 3-2 所示，2022 年以来，农村清洁取暖在乡村振兴、可再生能源发展、建筑能效提升、农业现代化、减污降碳协同增效等方面的政策规划、措施中均有涉及。

表 3-1: 2022 年以来与农村清洁取暖相关的规划和行动方案

文件名称	重点内容摘要
《2030 年前碳达峰行动方案》	积极推动严寒、寒冷地区清洁取暖。引导夏热冬冷地区科学取暖，因地制宜采用清洁高效取暖方式。持续推进农村地区清洁取暖，因地制宜选择适宜取暖方式。
《“十四五”推进农业农村现代化规划》	推动北方冬季清洁取暖。因地制宜发展农村地区电供暖、生物质能源清洁供暖，加强煤炭清洁化利用，推进散煤替代。
《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》	提升农村建筑能源利用效率，改善室内热舒适环境。落实北方地区清洁采暖要求，适应夏热冬冷地区新增采暖需求，持续推动建筑能效提升改造，积极推动农房节能改造，推广适用、经济改造技术。
《农业农村减排固碳实施方案》	推广生物质成型燃料、打捆直燃、热解炭气联产等技术，配套清洁炉具和生物质锅炉，助力农村地区清洁取暖。
《乡村建设行动实施方案》	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。
《减污降碳协同增效实施方案》	推动北方地区建筑节能绿色改造与清洁取暖同步实施。加快农村取暖炊事、农业及农产品加工设施等可再生能源替代。将清洁取暖财政政策支持范围扩大到整个北方地区，有序推进散煤替代和既有建筑节能改造工作。
《农房质量安全提升工程专项推进方案》	结合实际配置水暖厨卫等生活设施，改善农房居住功能。建设绿色低碳农房。结合北方地区清洁取暖同步开展农房节能改造。

表 3-2: 2022 年以来与农村清洁取暖相关政策文件

文件名称	重点内容摘要
《加快农村能源转型发展助力乡村振兴的实施意见》	在大气污染防治重点地区的农村，整县域开展“风光+蓄热电锅炉”等集中供暖。在青海、西藏、内蒙古等农牧区，采用离网型光伏发电+蓄电池供电，利用户用蓄热电暖气供暖。积极推动生物质能清洁供暖。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。因地制宜推进地热能供暖。
《关于进一步推进电能替代的指导意见》	“十四五”期间，进一步拓展电能替代的广度和深度，努力构建政策体系完善、标准体系完备、市场模式成熟、智能化水平高的电能替代发展新格局。到 2025 年，电能占终端能源消费比重达到 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》	中央财政资金进一步向农村能源建设倾斜，利用现有资金渠道支持农村能源供应基础设施建设、北方地区冬季清洁取暖、建筑节能等。
《“十四五”现代能源体系规划》	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。
《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》	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。
《“十四五”可再生能源发展规划》	在华北、东北、华中等乡村地区开展生物质能清洁供暖试点示范，坚持因地制宜，推广“生物质成型燃料+户用炉具”、集中式生物质锅炉供暖等不同类型应用。
《农村能源革命试点县建设方案》	加快推进可再生能源非电开发。有序推进可再生能源安全可靠替代散煤，促进农村清洁取暖、清洁用能。探索建设乡村能源站。

推进农村清洁取暖是一项复杂的系统工程，涉及资源禀赋、经济水平、住房保温、生活习惯等多个方面，多维政策的协同，多项措施的合力，有利于系统构建、协同增效、标本兼治，更好地达成清洁取暖效果，提升用户对清洁取暖的满意度，有助于实现农村清洁取暖的健康、可持续发展。

(二) 行业重心从政府投标项目转向零售市场竞争

(1) “煤改气”市场：重心转向普通工程和零售市场

2022年，“煤改气”项目大幅萎缩，全年“煤改气”销量32万台，较2021年下降64.5%，如图3-1所示。2022年燃气采暖热水炉“煤改气”工程市场销量已逐渐回归2016年政策初期水平。现阶段，“煤改气”工程市场主要集中在山东、山西、内蒙古、陕西等地，工程项目逐年减少。

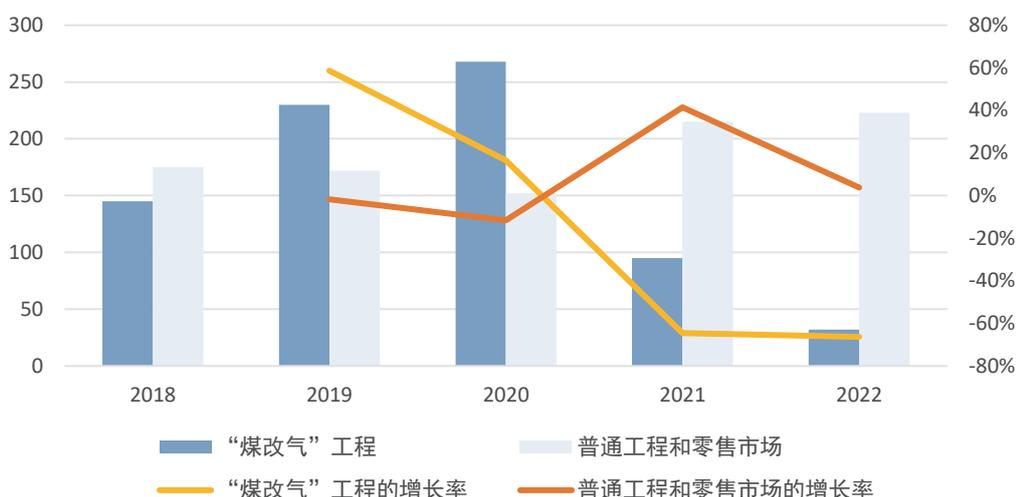


图 3-1: 2018-2022 年燃气采暖热水炉销量情况（万台）及其增长率¹¹

随着北方“煤改气”工程市场大幅下降，大部分企业将市场重心转向“普通工程和零售”市场。继2021年燃气采暖热水炉“普通工程和零售”市场销量增长41.4%，2022年“普通工程和零售”市场销量保持持续增长，全年销量达到223万台，占全年总销量的87.5%，相比2021年（215万台）增幅3.7%，如图3-1所示。

随着“后煤改”时代的来临，燃气采暖热水炉及整个家庭采暖系统已逐渐普及，北方“煤改气”工程市场将逐渐转化为置换市场，原“煤改气”用户也将从被动接受转变为主动选择，选择更具性价比的产品，并综合考虑品牌影响力、产品质量、服务水平等

¹¹ 数据来自“燃气采暖热水炉产品2022年度市场统计公告”（刊登于《煤气与热力》杂志）。

因素。与此同时，随着“煤改气”政策收尾，越来越多的企业将深耕“普通工程和零售”市场，市场竞争将加剧，品牌集中度将会更高。

（2）“煤改电”市场：产品性能决定销量

近年来，“煤改电”市场保持持续增长态势。重点区域中，河南是最大的“煤改电”市场，约占全国“煤改电”市场的半壁江山。随着中央财政支持城市向非重点地区扩围，新疆、青海、内蒙古、甘肃、陕西，以及东北三省的“煤改电”市场潜力逐步释放。

“煤改电”市场产品种类繁多，随着清洁取暖项目的推进，产品的用户体验在一定程度上决定了产品市场走势。其中，直热式电暖气、蓄热式电暖气、电采暖炉等，由于存在寿命短、效果差、运行成本高等问题，市场销量显著下滑；电暖炕、水暖毯、电暖桌等，因享有经济、实用、简单方便等优势，市场销量逐步提升；空气源热泵，由于运行成本低，一直备受好评，市场销量也逐年提升。由于空气源热泵热水机前期设备投入大，必须配套水暖或热风交换系统，总体投入成本高，目前以市场销售为主，政府项目实施较少。而空气源热泵热风机基于总体支出成本、应用方便性等优势，占据空气源热泵政府招标项目主流地位。目前，空气源热泵市场主要集中在京津冀鲁晋等地区，东北和西北地区的市场也展现出一定市场潜力。

（3）炉具市场：生物质炉具销量逆势增长

2022年行业骨干企业清洁炉具的销售量约130万台，比2021年下降18.7%。其中生物质炉具约75万台，总体占比57.7%，洁净煤炉具约55万台，总体占比42.3%（见图3-2）。2022年同比上一年度，生物质炉具销量增长4%，洁净煤炉具销量下降37%。

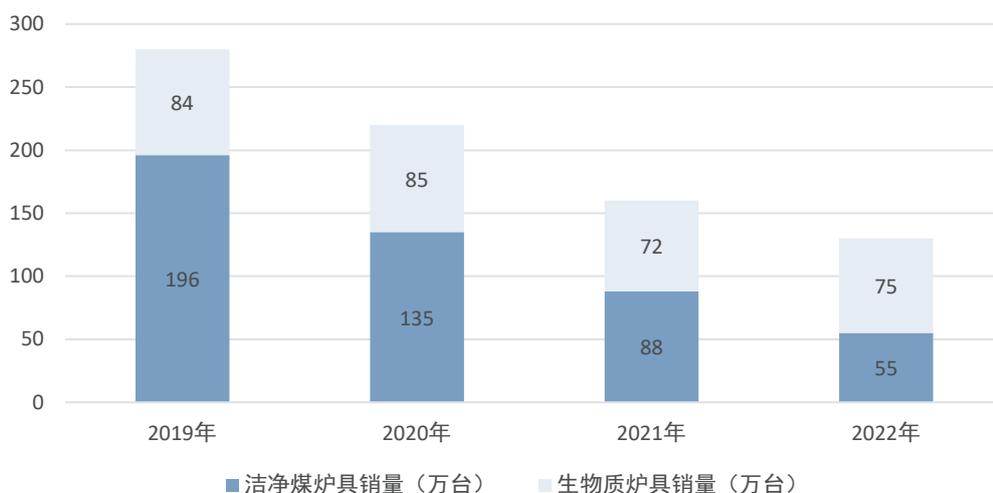


图 3-2：洁净煤炉具与生物质炉市场占比变化

2022年，随着重点地区试点城市项目收尾，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，生产原材料价格高，以及受疫情影响，清洁炉具项目采购量和市场零售量双双下滑（见图3-3），政府采购量下滑27%，市场零售量下滑10%。由于东北地区支持城市正处于建设期，市场潜力开始释放，因此现阶段生物质炉具销售主要依赖政府项目，占到总体销量的84%，市场销售只有16%，且主要以销售生物质壁炉为主，生物质采暖炉则很少（见图3-4）。考虑东北地区的用能习惯，生物质炉具借助政府项目的推动，未来零售市场也会快速发展。

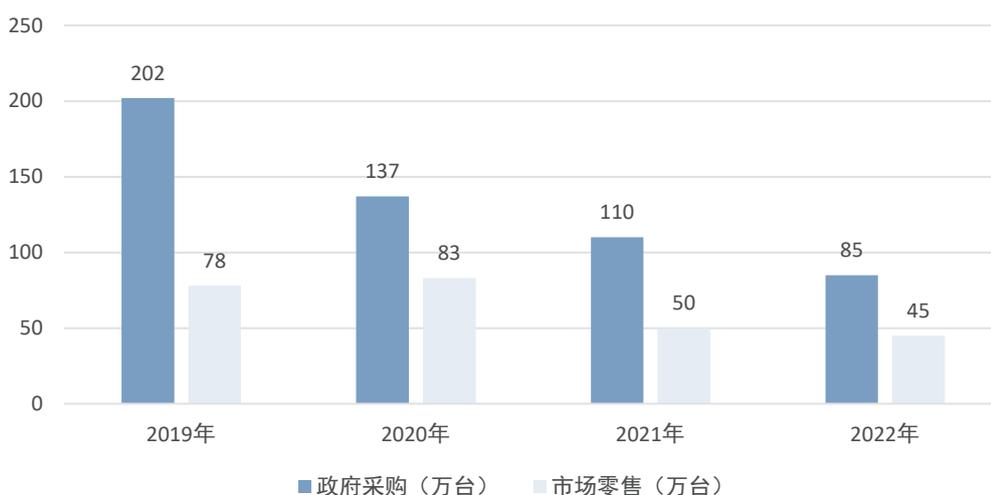


图 3-3：清洁炉具政府项目采购与零售市场销售变化

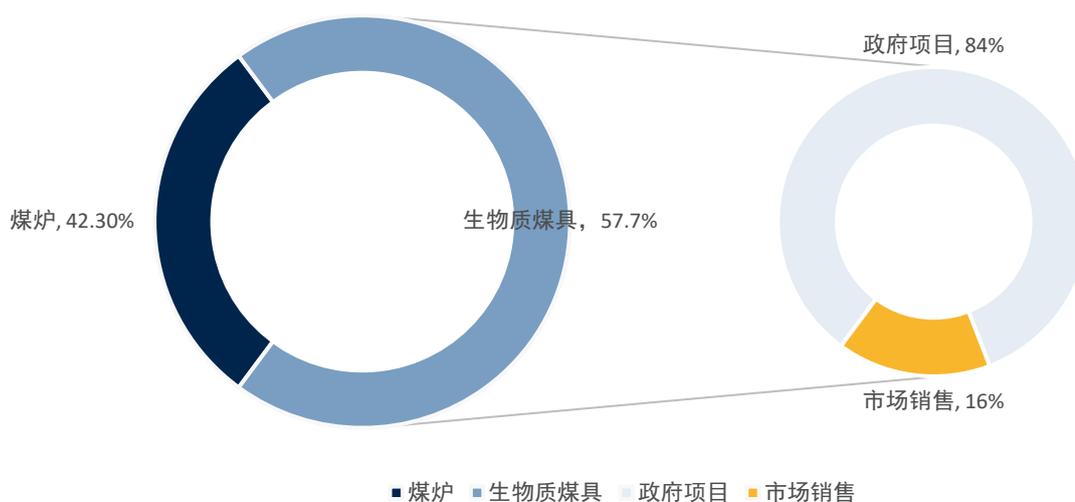


图 3-4：2022 年炉具行业骨干企业产品类别及销售渠道占比

(4) “太阳能+”市场：有待释放潜力¹²

“太阳能+”是指太阳能集热器与电能、生物质等其他能源进行多能互补的形式，通过太阳能集热器将太阳能收集并储存在保温水箱用于供暖。在太阳能无法出力时，消耗电能（电加热、热泵等）或者生物质能（生物质炉具）作为辅助热源为系统供暖。目前，在河北、甘肃、辽宁均有试点示范。

2022年，辽宁阜新市实施“光热+”清洁取暖改造8万户，白天运用光热大循环供热，夜晚运用白天光热余温以及电、生物质等清洁能源燃烧补充热量；宁夏中卫市沙坡头区采用“太阳能+空气源热泵耦合供暖技术”等技术，完成清洁取暖改造1.56万户。甘肃省兰州市采用“太阳能光热+生物质炉辅助热源”方式，利用免费太阳能+低谷电蓄热满足用户取暖需求，同时满足农户全年生活热水供应改造6万余户。

“太阳能+”取暖系统较复杂，控制难度较高，系统运行维护量大，在缺乏专业运维人员的农村地区，太阳能系统一旦出现爆管漏水等故障会直接影响到取暖效果和用户口碑。因此，“太阳能+”系统仍有待进一步的技术创新和试点示范。



图 3-5：太阳能+生物质炉具案例图片



图 3-6：太阳能光伏+空气源热泵热风机案例图片

12 本节太阳能光热数据来自《2022年中国太阳能光热行业运行状况报告》。



图 3-7：太阳能光伏 + 光热 + 电锅炉案例图片

(三) 用户侧需求有待精准定位

在清洁取暖政策驱动和项目市场培育下，用户需求和市场经营模式都发生了很大的变化，北方农村地区取暖由传统粗放式燃煤向用能方式多元化、设备多样化的方式转变，加之乡村振兴、碳达峰行动等一系列利好政策叠加，一方面，清洁取暖市场中的新产品和新技术不断涌现，包括空气源热泵、电暖气、电锅炉、电暖炕、太阳能+、燃气壁挂炉、生物质炉具等；另一方面，随着试点示范的逐年推进，用户的体验和反馈进一步推动了农村清洁取暖的消费升级，尤其是新房建设配套取暖等，农村取暖需求与用户收入紧密相关，且随着收入水平的提高，用户需求由简单的功能需求向品质追求迈进。

根据东北、西北地区 5 省 35 市 134 个村的调研结果，在参与调研的 2065 户农村居民中，家庭年收入小于 5 万的农户占比 81.5%，其中家庭年收入小于 3 万的农户占比达 34.9%。五省农村家庭年收入水平分布图如图 3-8 所示。

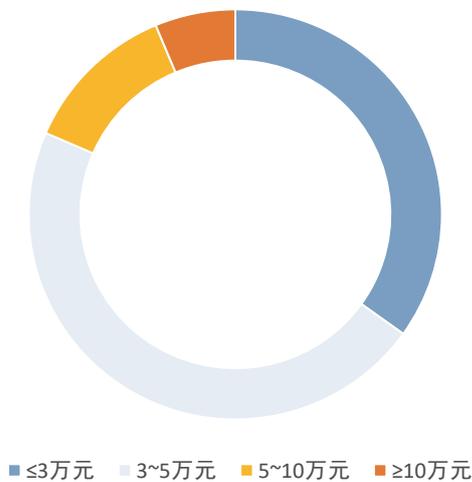


图 3-8：调研用户家庭收入水平分布图

如图 3-9 所示，随着家庭年收入的增高，用户可承受的清洁取暖成本逐渐升高，家庭年收入从小于 3 万元 / 年升高到大于 10 万元 / 年，可承受年采暖成本 2000-3000 元的用户比例从 10.4% 增加到 30.2%。

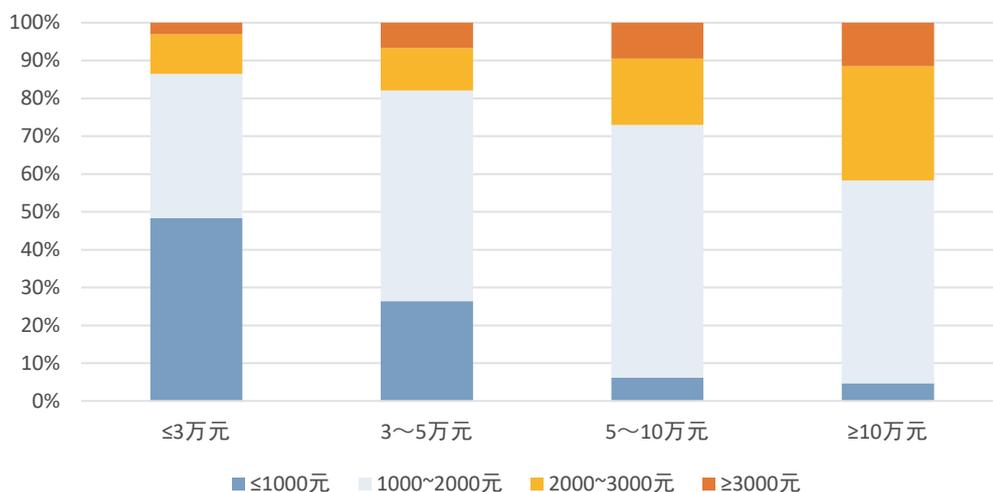


图 3-9: 家庭年收入与用户可承受能力的分布情况

在参与调研的 2065 户农村居民中，75% 的家庭表示即使完成清洁取暖改造，也会同时使用煤炭、秸秆、薪柴等能源取暖，能接受的清洁取暖费用在 2000 元以内；17.3% 的家庭表示，会继续使用改造后的清洁取暖方式，但同时会辅助使用煤炭、秸秆、薪柴等取暖；可以接受 2000 ~ 3000 元的费用；7.7% 的家庭表示，不会再烧煤烧柴取暖，能接受 3000 元以上的费用。

由此来看，经济条件较差的用户则更注重取暖成本，要求是经济实用，更倾向于就地取材，经济性是决定性因素。随着家庭经济收入水平的提高，居民更加关注取暖品质与舒适度。经济条件较好的用户注重取暖品质，要求方便智能、干净舒适，经济性不是最重要的考虑因素。目前，已有部分用户开始自行选择清洁取暖设备，并对品牌、品质、技术、服务、使用效果等均有一定要求。随着政府项目的推进，清洁取暖自愿市场正在兴起，因此，针对不同收入水平的用户，提供不同成本、不同品质的技术、设备和用能系统已是大势所趋。

与此同时，随着科技的进步和农村居民消费观念的改变，农村居民的消费场景变得更加多元，线上消费在农村越来越普遍，正在促使传统销售渠道发生变革。终端经销商从经营单一品类、单一品牌、单一产品，向多品类、多品牌、为用户提供解决方案的方向发展，经销店面一般会采取清洁炉具、生物质壁炉、电直热采暖设备、燃气壁挂炉、空气源热泵、大锅灶等多产品组合销售，甚至一些店面还经营暖气片、太阳能、光伏、空调、小家电、洁净煤、兰炭、生物质颗粒燃料等配套或相关产品。终端经销商经营业态的变化，也充分反映了用户多样化取暖需求和注重场景体验的趋势。

(四) 市场模式创新可期

近年来，围绕农村建筑能效提升和清洁取暖项目运营，一些地方和企业进行了大胆尝试，同时，很多地方也在积极探寻小规模区域新能源利用模式，包含清洁取暖在内的农村能源利用与农业生产、文化旅游、特色农业等相结合的商业模式，以及培育乡村能源合作社等新型集体经济模式等，并形成了一批好的商业模式案例，如山西省长治市创新性地形成了农业生产、农村生活产生的生活垃圾、修缮渣土垃圾、畜禽粪污、农作物秸秆、农村流体垃圾“五合一”的垃圾及农废资源化综合利用解决方案；甘肃兰州围绕太阳能建筑一体化，探索了农村绿色住宅与清洁能源一体化解决方案；某公司开发大型零碳“能源工厂+植物工厂”一体化产业化基地，为协同推进碳达峰碳中和、清洁供热供暖、高效农业发展、乡村振兴等提供系统性综合解决方案；山西省阳城县东冶镇利用当地农林废弃物为原料进行生物质制气，利用内燃机发电系统发电并网，余热用于当地企业和民生供暖，生物炭实现综合利用，提供了村级秸秆热解气化热电联产系统解决方案。这些新的商业模式，通过技术集成、资源重组，在探索清洁取暖与农村能源系统融合方面做了积极努力。

专栏 3-1: 投资合作及收益共享等商业模式探索

模式一：农村能源合作社模式

由五名以上的村民出资成立合作社，并与可再生能源投资企业合作，共同开发可再生能源，双方明确权责利和分成比例。村集体可依法利用存量集体土地通过作价入股，参与新能源项目开发，形成可再生能源投资企业+村集体（能源合作社）+村民的三级合作体系，风险共担且收益共享，其中村集体可将收益返还当地村民。

模式二：设备租赁+服务方式

出资人购买设备，租给当地村民，并提供运维服务。村民按照用能量支付费用。由此，村民可以降低一次性投入，减少资金压力，同时获得专业化的运维服务，保证用能设备的正常运行；设备租赁公司可以通过规模效应，降低成本。

模式三：村民自行投资模式

村民自行投资分布式光伏、分散式风电、生物质成型燃料供热，生物质炉具供热等项目，并自行承担风险、享受收益。设备商提供质保和运维服务。

模式四：多元化合作模式

村集体以合作社的方式与可再生能源的投资方合作，双方共同进行多元化合作，包括可再生能源项目、文旅项目、智慧农业等，充分挖掘项目的生态环境价值，并将之货币化，进一步提升项目的经济性。

专栏 3-2：东北、西北地区农村建筑能效提升典型做法

模式一：平台代建 - 政府监管

平台公司总承包，街道村屯配合。为充分利用发挥中央资金带动作用，吉林省多地采用平台公司总承包方式开展清洁取暖工作。平台公司总承包形式的招投标是指将整体工程由一个主承包商负责承包，该主承包商通常由多个不同的分包商组成。采用这种招标方式有以下优点：

降低整体建设投资。平台公司总承包可以通过统筹优化各方资源并提供商业服务来促进合作伙伴获得可持续发展的利益，实现最大化收益和降低整体投资成本，有效保护政府和投资人的权益，一定程度上缓解地方配套压力。

降低建设方管理成本。总承包商作为唯一的合约方，具有综合管理、协调配合等职能，可以减少项目中的各种矛盾和纠纷，减少项目管理复杂度，从而大大节省了建设方的管理成本。

提高工程质量和安全。总承包商拥有丰富的工程管理经验 and 团队资源，可以做到全流程监管，并执行一致的管理方案和标准，确保工程有序进行，提高工程建设质量，确保项目安全和合法性。

实现信息及时共享。平台公司总承包可以一档式服务，适应线上和物联网技术化发展的趋势，实现信息共享。结合云计算、大数据等先进技术，可实现合作伙伴之间的信息共享和互通。

总的来说，采用平台公司总承包形式的招投标有利于科学统一的管理控制，有助于提升清洁取暖工程建设的效率和质量，同时能够减少建设方的管理成本和风险，有效发挥中央资金带动作用，一定程度上缓解地方配套资金不足的压力及其对项目建设的不良影响。

模式二：农户自建 - 乡镇监管

清洁取暖项目在华北地区城市实行过程中，逐步形成以县区为单位，乡镇配合的做法，东北地区在建筑能效提升实施过程中，进一步探索“农户自建 - 乡镇监管”的做法，该做法具有以下优点：

增加透明度，保障农民权益。采用农户自建、政府补贴的模式，房屋的建设过程可以更加透明，维护公平竞争环境，保障农民的权益。

提高居民参与度和满意度。农户自建、政府补贴可以更好地满足农民自身的居住需求，同时增加居民对政府补贴的获得感，提高居民对政府的信任感和满意度。

提高效率。任务量完成度好，推进快。以吉林省东丰县为例，三年农村节能改造任务量为 253 万 m^2 ，2021 年度一年即完成农村节能改造 160 余万 m^2 （目标值 79 万 m^2 ），超额完成年度改造任务。

操作性强，易于推广。在多年的农村地区实践中，政府已逐步明确县、镇、村屯各级政府的监管职能，通过严把“四关”（组织领导、统筹推进、检查指导、资金补助），可以有效地控制项目质量。模式易于操作，且可以复制和推广。

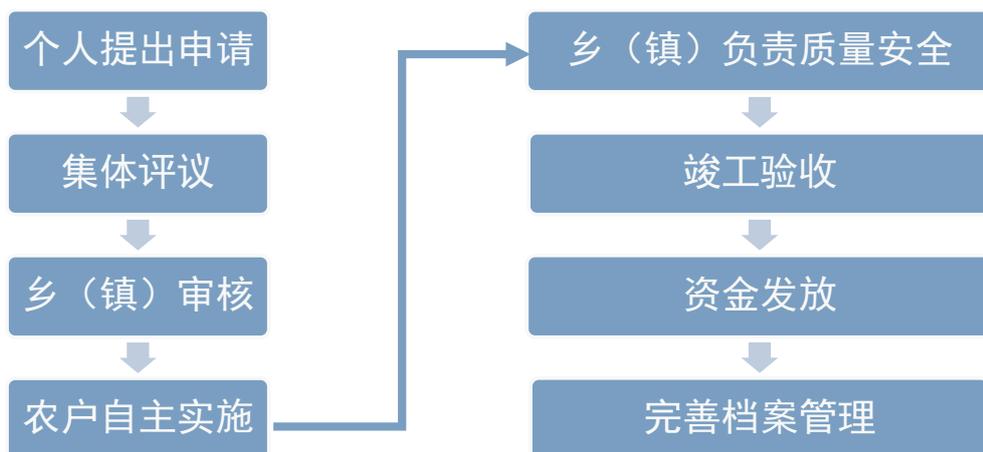


图 3-10：农户自建模式推进流程图

第四章 农业生产领域散煤治理有待摸底挖潜

调研发现，近年来农业生产领域仍存在一定的散烧煤用量，如粮食烘干、畜禽养殖、蔬菜花卉等种植大棚、农产品加工、烤烟叶等领域。其中，粮食烘干主要集中在东北地区；生猪养殖主要分布在四川、湖南、河南、山东等地；家禽养殖主要分布在山东、广东、河南、广西等地。目前，农业生产领域用煤分散复杂、底数不清，使用的锅炉一定程度存在热效率低、排放不达标等问题。

为更好地了解农业生产领域散煤使用现状，课题组将东北地区粮食烘干和山东省种植、养殖业的散煤使用现状作为典型样本进行调研分析。其中，东北粮食烘干领域仍大量使用燃煤热风炉，数量多、分布广、散煤消耗量大，生物质替代潜力较大。山东种植业散煤用量极少，规模化的种植大棚基本改为空气源热泵、电采暖等新能源设备取暖，小规模分散性种植大棚 90% 以上不需要供暖，只在极端严寒天气会使用燃油、燃煤锅炉临时应急。山东养殖业中有部分供暖来自燃煤小锅炉，规模化、集团化的养殖企业基本采用空气源热泵、电采暖、恒温棚舍等先进的智能控温设备，而一些散户或个体养殖户受资金压力、市场行情不稳定影响，通常采取保温膜密封等简单保温方式，偶尔会用燃煤锅炉应急但用煤量较少，只有专业化养殖公司和养殖合作社供暖仍大量使用燃煤锅炉，占比高达 80%，是养殖领域里燃煤量最大的一个群体。

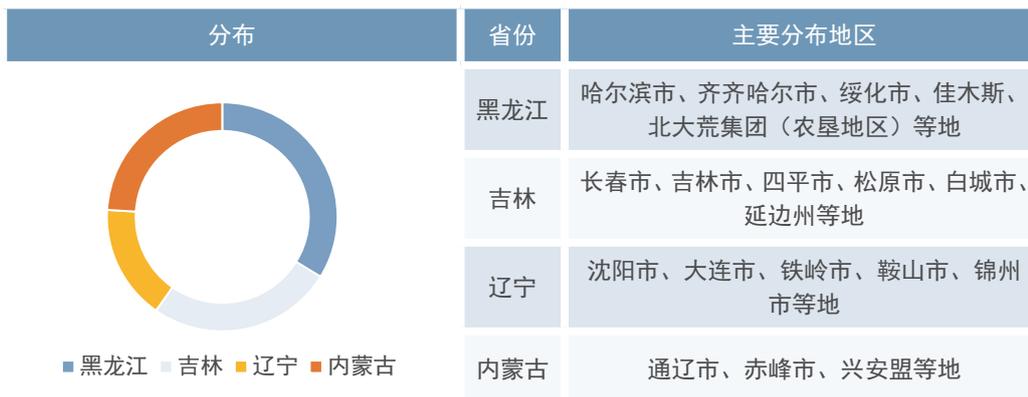
（一）东北地区粮食烘干领域散煤削减潜力观察

东北地区是我国重要的粮食产区和商品粮基地，由于气候寒冷、无霜期短，收获的粮食水分含量较高，尤其是玉米含水率最高可达 40% 以上，粮食烘干是保障粮食品质和粮食安全的关键措施。目前，东北地区的粮食烘干作业仍广泛使用燃煤热风炉。这些燃煤热风炉数量多、分布广，且普遍存在效率低、排放不达标等问题。

调研发现，东北地区粮食烘干塔以烘干玉米为主。根据调研数据的初步统计，黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古等东北地区的粮食烘干塔热风炉分布情况如表 4-1 所示，其中

以黑龙江省数量最多，约 5200 台，主要分布在哈尔滨市、齐齐哈尔市、绥化市、佳木斯、北大荒集团（农垦地区）等；其次是吉林省，主要分布在长春市、吉林市、四平市、松原市、白城市、延边州等地。

表 4-1: 东北地区粮食烘干塔热风炉的分布情况



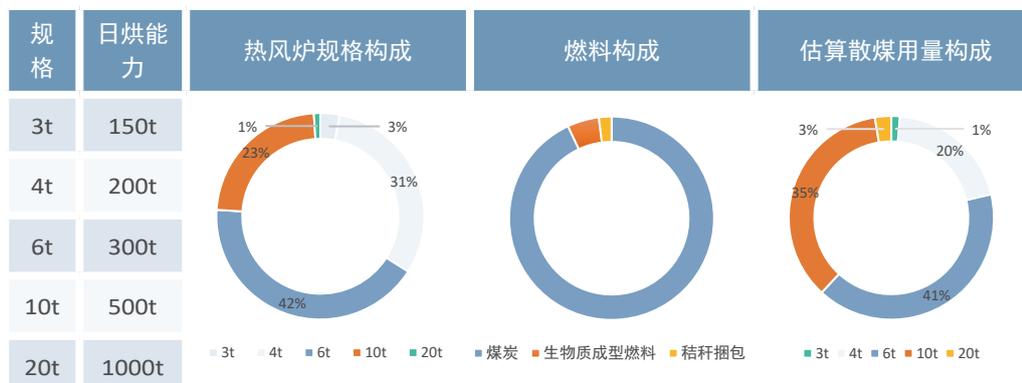
从热风炉的规格和使用燃料来看，东北地区粮食烘干最常用的热风炉有 4t、6t 和 10t 三个规格，合计占比达 96%；使用的燃料包括煤炭、秸秆成型燃料、秸秆捆包等，其中以煤炭为主，占比约 93%。东北地区不同燃料类型的粮食烘干塔热风炉详见图 4-1。东北地区常见的粮食烘干塔热风炉的规格及构成、使用燃料种类及构成可参见表 4-2。东北地区现有粮食烘干塔约 1.54 万座，其中燃煤的热风炉约 1.4 万台，超过粮食烘干热风炉总量的 90%。初步估算，东北地区粮食烘干每年散煤用量达 1340.5 万吨。¹³



图 4-1: 东北地区不同燃料类型的粮食烘干塔热风炉

13 按现有粮食烘干热风炉正常运转率不低于 60%、每年粮食烘干作业季 100 天估算。

表 4-2：东北地区粮食烘干塔热风炉常用规格、燃料及散煤用量构成



虽然秸秆捆包在粮食烘干中的使用率只占 2%，伴随煤价一路高涨，燃煤热风炉粮食烘干成本优势逐渐减弱，甚至消失，秸秆捆包烘干市场呈现兴起之势。

以日处理量 300t 的连续式粮食烘干塔配备 6t 热风炉为例，对不同燃料类型的烘干作业进行成本效益分析。从初始投资来看，燃煤热风炉设备价格优势明显，秸秆捆包和秸秆成型燃料锅炉设备价格分别是燃煤热风炉的 2.8 倍和 1.1 倍。从后期运行成本来看，单位粮食干燥作业季的运行成本以秸秆捆包技术最优，不足燃煤热风炉运行成本的一半。不同燃料类型的烘干设备初始投资和运行成本如表 4-3 所示。

表 4-3：不同燃料类型的热风炉（6t）的初投和运行成本比较

种类	燃料		设备	运行
	热值 (kcal/kg)	价格 (元/t)	初投 (万元)	单位作业季成本 (万元)
煤炭	6300	1600	30	300
秸秆成型燃料	3500	600	34	222
秸秆捆包	2500	200	85	134

数据说明：1. 运行成本包含人工和电费；2. 每年单位粮食干燥作业季按 100 天计算。

若煤炭价格持续高位，东北地区以煤炭为热源的整体粮食烘干作业成本将居高不下，生物质替代的成本优势得以显现，且秋收季与烘干季恰好契合，秸秆打捆直燃热风炉的推广和应用能够有效解决秸秆露天焚烧问题，不但不影响第二年春耕，而且秸秆燃烧后的灰烬可作为肥料还田。但与此同时需要理顺燃料收集和储运机制，解决燃料堆放场地及其防火压力，明确秸秆捆包技术中秸秆含水率及土杂率的要求，并满足生物质锅炉的相关排放标准和要求。

专栏：吉林省白城市 500t 粮食烘干塔燃煤热风炉改造项目

吉林省白城市 500t 粮食烘干塔燃煤热风炉改造项目，年烘粮量约 6 万吨。改造前使用一台 7MW 燃煤热风炉，每天耗煤量约 24 吨左右，燃煤价格 1600 ~ 1800 元 / 吨，每天燃料成本约 4 万元；改造为秸秆打捆直燃热风炉后，每天消耗秸秆 240 包，秸秆 40 元 / 包，每天燃料成本约 1 万元。与传统燃煤热风炉相比，每天可节约燃料费用约 3 万元，燃料成本节省 75%。



图 4-2：白城市 500t 粮食烘干塔燃煤热风炉改造项目

专栏：内蒙古兴安盟 300t 粮食烘干塔燃煤热风炉改造项目

内蒙古兴安盟 300t 粮食烘干塔燃煤热风炉改造项目，年烘粮量约 5 万吨。改造前使用一台 4.2MW 燃煤热风炉，每天耗煤量约 15 吨左右，燃煤价格 1600 / 吨，每天燃料成本约 2.4 万元；改造为秸秆打捆直燃热风炉后，每天消耗秸秆 200 包，秸秆 40 元 / 包，每天燃料成本约 0.8 万元。与传统燃煤热风炉相比，每天可节约燃料费用约 1.6 万元，燃料成本节省 67%。



图 4-3：兴安盟 300t 粮食烘干塔燃煤热风炉改造项目

除了东北地区兴起的生物质替代以外，国家在推进粮食产地烘干能力建设的过程中，积极鼓励加快现有粮食烘干机环保升级和节能改造，因地制宜采用热泵、电加热、生物质燃料、天然气和太阳能等热源，开发创新利用自然空气、太阳能的新型粮食烘储一体化技术。由此，粮食烘干作业中的热源清洁化有望进一步改善。

(二) 山东省养殖业热源清洁化探究

近十年来，我国养殖业规模化程度持续增长，包括家畜养殖、家禽养殖、花卉、蔬菜大棚、水产养殖和特种养殖等种类。在现代化的大型养殖场房，尤其在冬季，从禽畜交配、妊娠、分娩期，到幼畜或幼禽的养护，养殖环境对温度要求非常高，使用传统燃煤或者燃油锅炉作为主要热源的养殖行业，污染排放已经成为摆在养殖户面前的重要问题。

山东是我国畜牧养殖大省。2021年，山东省生猪出栏量4402万头，排名全国第四；家禽出栏量26.4亿只，排名全国第一，此外，山东也是蔬菜种植和花卉养殖的大省。考虑山东养殖业的整体规模，课题组选择以此作为养殖业热源清洁化研究的起点。

(1) 山东省蔬菜种植和花卉养殖基本实现热源清洁化

调研发现，山东省的气候条件较好，冬季温度相对温和，加上大棚的保温性能较好，以及养殖作物对温度要求不高等因素的影响，目前山东省90%以上的小规模蔬菜种植和花卉养殖大棚并不需要供暖。只有在遭遇极寒天气时，才会临时采用燃油或燃煤锅炉进行取暖。而规模较大的大棚种植则采用大棚保温设施，并配备空气源热泵、电采暖等新能源取暖设备。

(2) 山东省生猪养殖业清洁改造仍有潜力

山东省生猪养殖集中分布在临沂、菏泽、潍坊、德州、烟台等地。在特定时间段内对温度要求高，取暖需求大，不同规模养殖场的采暖用能选择存在较大差异。其中，规模化、集团化的养殖公司多采用空气源热泵、电采暖、恒温大棚等先进的智能控温设备；专业化养殖公司和养殖合作社供暖以燃煤锅炉为主，占比高达80%；一些散户或者个体养殖户受制于资金压力、市场行情不稳定，通常采取保温膜密封等方式保持棚内温度，只有在极寒天气才会使用燃煤、燃油等方式临时供暖，散煤用量较少。山东省养殖业电供暖和燃煤供暖形式可详见图4-4和图4-5。



图 4-4：规模化生猪养殖集团采用电取暖和空气源热泵供暖



图 4-5：养殖户选择燃煤锅炉供暖

根据调研数据初步估算，山东畜禽养殖业供暖的散煤用量主要来自生猪养殖，年用量约 77 万吨，占比约 91%。其中，规模化生猪养殖场年散煤用量 40.2 万吨，中小养殖户年散煤用量 36.8 万吨。虽然生物质锅炉、空气源热泵和燃气锅炉在养殖领域并没有明确的补贴政策，但在环保约束和热源清洁化的政策导向下，部分养殖户已经开始自发进行清洁能源改造，主要改造方式为生物质锅炉、空气源热泵、电采暖设备等。

（3）山东家禽养殖业煤耗量主要来自小规模养殖场

据《山东省统计年鉴 2022》数据，作为我国家禽养殖出栏量排名第一的省份，2021 年山东省家禽出栏达到 26.4 亿只，全国占比达到 16.8%。其中，山东省肉鸡和蛋鸡养殖主要分布在菏泽、潍坊、聊城、德州、临沂等地；肉鸭养殖主要分布在日照、临沂、潍坊、滨州等地¹⁴。

14 数据来自《中国统计年鉴 2022》。

由于家禽养殖业量大分散，底数不清，缺乏权威数据统计。此外，受市场行情等多种因素影响，家禽出栏量和养殖户数量波动较大，调研存在一定难度。因此，本报告重点以临沂地区家禽养殖为样本进行了调研分析。临沂是山东省家禽养殖集中规模最大的地区，《山东省统计年鉴 2022》数据显示，临沂市 2021 年家禽出栏量 3.9 亿只，主要包括肉鸡、蛋鸡和肉鸭。

调研结果显示，临沂市家禽养殖热源清洁化程度较高，年煤耗量约 1 万吨，主要来自规模以下的养殖户。山东省临沂市家禽养殖煤耗量构成如图 4-6 所示。其中，肉鸭养殖年煤耗量最大，占比 54%。肉鸭养殖业中出栏量 5 万只以上的规模化养殖户约 1800 家，占比近 70%。这些规模以上的养殖户大部分已改造为空气源热泵取暖；出栏量 5 万只以下的养殖专业户约 800 家，其中约有 38% 的养殖户仍然使用燃煤锅炉供暖。

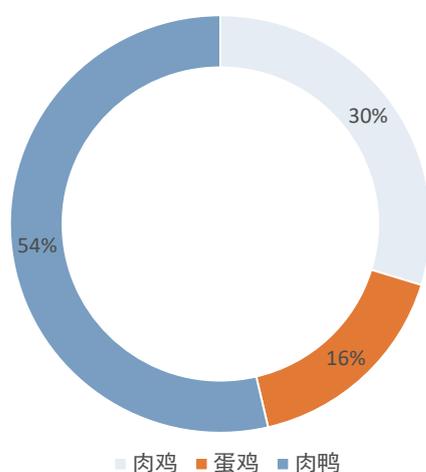


图 4-6：山东省临沂市家禽养殖煤耗量构成

临沂市肉鸡养殖场约 1000 家，出栏量 4 万只以上的规模化养殖场占比 80%，主要通过空气源热泵实现供暖和制冷。规模以下的养殖场中，约有 80% 的养殖户仍使用燃煤锅炉供暖。蛋鸡养殖户约 290 家，其中约 62% 的养殖户使用燃煤锅炉。由于蛋鸡养殖对供暖和制冷的需求低于肉鸡养殖，因此，煤耗量相对较低。



图 4-7：规模化养殖的鸡舍和供暖情况



图 4-8：规模以下的养殖合作社和燃煤锅炉供暖情况

第五章 政策建议

当前，我国生态文明建设进入了以降碳为重点战略方向、推动减污降碳协同增效、促进经济社会发展全面绿色转型、实现生态环境质量改善由量变到质变的关键时期。散煤治理作为我国能源转型和空气质量改善的重要抓手，应加强顶层设计，以减污降碳协同增效为核心，推动跨部门、跨领域、跨区域的政策融合与协同发力，从工业和民用两个方向合力攻坚，分区域稳妥有序推进，以实现美丽中国建设。

(一) 全面落实减污降碳协同增效

加强顶层设计，强化散煤治理目标协同、区域协同、领域协同、任务协同、政策协同、监管协同。增强生态环境政策与能源产业政策协同性，增强农村清洁取暖与农村能源系统建设和美丽乡村建设的政策性协同，增强城乡建设，以及农业现代化的协同增效。

工业领域强化环境质量改善和碳排放协同管理，推动实施节能减排，加快绿色升级和落后产能淘汰。同时，继续加强污染排放监控，强化非重点地区 35t/h 及以下燃煤小锅炉的淘汰力度。

民用领域因地制宜，将北方清洁取暖工作融入农村能源资源生产和利用系统，并将建筑节能改造、可再生能源发展、乡村振兴及人居环境改善、农业现代化与农村新兴产业发展融为一体、统筹规划，创建专业化、高品质农村能源服务体系，进一步理顺清洁取暖的任务分工，明确不同层级部门的职责，以实现系统的工程建设和长效的清洁取暖，不断满足北方农村居民日益提高的取暖及其他用能需求。

(二) 继续强化工业散煤治理

加快供热区域热网互联互通，充分释放燃煤电厂、工业余热等供热能力，**加快实施热电厂供热半径 15 公里范围内燃煤锅炉关停**。结合集中供热管网建设规划，地方政府应建立合理的锅炉淘汰机制和原则，逐步淘汰现存燃煤小锅炉。无法实现集中供热管网覆盖的地区，对于确需保留的燃煤小锅炉，采用经济手段，促进现有 35 t/h 及以下燃煤工业锅炉向大容量升级，提高锅炉平均单台容量和整体运行燃烧效率。

继续推进燃料结构优化升级。对于天然气充足的城市及近郊天然气管网覆盖地区及可延伸区域，按照“以气代煤”、“以气定改”的思路，科学规划，统筹实施燃煤小锅炉的“煤改气”。新增气量优先保障城镇居民生活和大气污染严重地区冬季取暖散煤替代。在城市近郊区以外天然气缺乏的地区，尤其是可就地取材的北方分散供暖的农村地区，允许、鼓励生物质利用，可采用专用锅炉，配备高效除尘设施，NO_x 浓度超过排放标准限值的应配备脱硝设施。此外，应加快制定生物质锅炉大气污染物排放国家标准，为生物质的清洁化利用提供支撑。

实施区域差异化的燃煤小锅炉污染排放深度治理。在现有燃煤小锅炉污控技术升级改造实施成果基础上，京津冀及周边地区、汾渭平原对脱硫、脱硝、除尘等治理设施开展排查，实施污染排放深度治理；东北地区、天山北坡城市群，强化供暖锅炉治理，确保采暖期稳定达标排放。同时，根据锅炉容量偏小的特点，以及设备运行的可靠性及经济性的要求，在洁净燃烧、余热回收利用、协同减排等关键领域实现技术突破，对于效果显著、回收周期短的科技成果应用给予政策或资金方面的支持。

提高绿色制造水平，促进产业升级，加快淘汰落后，进一步提升锅炉、窑炉能效水平。通过环保倒逼、标准严控、产能置换等措施，倒逼产业升级。通过修订或制订工业锅炉、窑炉能效限定值及能效等级等强制性标准，提高节能环保准入门槛。发布高效锅炉、窑炉推广目录，推广高效产品的同时，推动老旧低效锅炉、窑炉的淘汰改造工作，并防止已淘汰锅炉、窑炉重新进入市场。

制定燃煤锅炉、窑炉减污降碳协同规划，严格落实排污许可证制度。建立自下而上的企业总量控制制度，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全过程管理，全面提升企业环境管理精细化水平。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、窑炉污染物排放量、散煤用量统计提供数据基础。

针对东北和西北这两个 35 t/h 以下燃煤小锅炉规模较大地区，本报告特提出以下三点具体建议：

制定实施 35 t/h 及以下工业燃煤小锅炉淘汰计划。在 2022 年 11 月发布实施的《重污染天气消除攻坚行动方案》中明确提出，东北地区要大力推进燃煤锅炉关停整合。具体目标是“到 2025 年，地级及以上城市建成区基本淘汰 35 t/h 及以下的燃煤锅炉”。结合以上国家对东北地区的燃煤锅炉关停整合要求，东北地区各省应结合地方实际情况，细化阶段性淘汰目标，做到锅炉淘汰的循序渐进；西北地区可以参照东北地区燃煤锅炉关停整合目标，逐步分区域实施 35 t/h 及以下的燃煤锅炉淘汰。

实施差异化的燃煤清洁能源替代。由于东北和西北地区燃煤锅炉基数大，清洁能源替代是实现工业燃煤小锅炉减量化的重要措施。然而，东北和西北地区的清洁能源分布有差异，需要针对区域特点实施煤改清洁能源。针对东北地区，由于农林业相对发达，农林剩余物产量大，生物质能源潜力巨大，应重点实施煤改生物质措施；针对西北地区，风光电资源相对丰富，可以重点考虑煤改电措施。

开展污控技术升级实现采暖期稳定达标排放。东北和西北地区的燃煤工业锅炉以冬季供暖为主，应重点就采暖季强化锅炉大气污染物排放水平管理力度，实现污染物稳定达标排放。东北和西北地区由于燃煤锅炉基数大、容量类别多，除了应淘汰的锅炉容量外，可参考重点区域燃煤锅炉污控技术升级思路，65 t/h 以下锅炉提出高效除尘技术、脱硫技术和脱硝技术升级改造要求，并逐步实施 65 t/h 及以上的燃煤锅炉超低排放改造。污控技术升级一方面可以通过发布政策文件进行实施，另一方面可以通过制修订排放标准实现。排放标准的制修订可以参考其他地理区域省份的做法，分区域实施差异化的排放限值，倒逼污控技术升级。

(三) 坚持双侧同推，进一步扩大农房改造规模

建立健全农村建筑能效提升申报和考核要求。坚持建筑节能提升与清洁取暖同步推进，在开展北方地区冬季清洁取暖项目申报时，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。加强农村建筑能效提升项目实地监督检查，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，建议“综合能效提升比率不低于 30%”或“农房能效提升率不低于 20%”。充分发挥技术引领作用，全面建立能效提升技术体系，确保农房建筑节能改造效果达标。

加强农房和农村建设管理。规范村庄规划与农房建设管理，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，如“乡镇交叉监管”等模式，并将其纳入村镇管理。

进一步明确非重点区域建筑节能改造的技术方案。考虑东北、西北地区气候严寒、冷风渗透量大等因素，立足农村实际，创新适宜的围护结构保温技术，并通过不同技术路径的优化组合，不断创新并制定群众接受、效果明显、经济可承受的技术方案。当前，建议东北地区采用“门窗简易密封改造 + 三面墙外保温”的改造方案，在经济条件较差地区，采用“门窗简易密封改造 + 北墙外保温”方案；西北地区采用“北墙外保温 + 南向阳光房”的改造方案，在经济条件较差地区，采用“简易北墙外保温”方案。

加快节能改造技术产业化发展，化解建筑节能改造技术方案大规模推广所面临的配套材料供给难题。积极发挥政府引导和市场主导作用，紧紧围绕“节能设计、材料生产、项目实施、后期维护”等环节，引导社会共同参与既有建筑能效提升改造项目的市场化建设运营。针对东北、西北地区适宜技术方案，不断完善本地保温材料、玻璃等相关配套产业发展，鼓励节能改造优先使用绿色建材，同步培育绿色建材企业，形成区域内良性自循环，为东北、西北地区建筑节能改造的规模化推广奠定基础。

加强保温光伏一体化屋面等新技术研发应用。统筹农村建筑能效提升改造与光伏综合应用的协同发展。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。科学确定适合我国国情的分气候区、经济水平农村建筑碳中和路径，提高农村可再生能源的利用水平及利用范围，并有效降低既有建筑能耗。

(四) 构建以可再生能源为主的农村能源系统

建立和完善农村能源统计制度。在“双碳”战略影响下，可再生能源将在农村发展中发挥重要作用，农村地区将由能源消费为主向能源生产和消费并重转变，冬季取暖用能也势必将融入农村整体能源系统。然而，农村人口迁徙、土地流转、农业机械化和规模化、电器大规模下乡等发展趋势，使得农村当前的生活状况、用能需求、发展业态等发生了很大变化。因此，建议在全国范围内广泛调研我国农村地区的基本情况，包括人口流出、常住人口或留守人口特征、基础设施情况、能源资源生产和利用情况等。根据调研的实际情况，建立并完善农村能源统计体系，每三年或五年开展一次普查活动，并将统计结果纳入《中国能源统计年鉴》或《中国农村统计年鉴》，为清洁取暖工作的推进提供支撑，助力美丽乡村建设，并确保以公正的方式加快能源和低碳转型。

因地制宜，发展光伏、风电、生物质、天然气、地热等多品种可再生分布式能源，促进各品位能源高效梯级利用。合理规划农业农村清洁能源开发和就地消纳，完善农光互补、渔光互补、林光互补、风光互补等建设模式。与此同时，农村资源能源系统应坚持以彻底消纳农村有机废弃物为导向。新建住房及农田设施等应采用适合分布式清洁能源的方案及建设标准。

进一步提高农网供电保障水平。农村清洁取暖是农村能源系统中的一环，农村能源资源的有效开发与利用必须依托相应的技术和基础设施，在减污降碳协同增效的背景下，随着可再生能源在电力系统占比不断提高，亟需系统提升电源侧、电网侧、需求侧的灵活性。因此，建议继续实施农村电网巩固提升工程，并建立新型的微电网系统和分布式电力系统，促进区域电网和热网平衡。推动农村储能多元化创新应用，推进源网荷储一体化、跨领域融合发展，拓展多种储能形式应用。

积极推进农业农村领域电气化。推广普及农田机井电排灌、高效节能日光温室和集约化育苗，发展生态种植。在种植、粮食存储、农副产品加工等领域，推广电烘干、电加工，提高生产质效。在水果、蔬菜等鲜活农产品主产区和特色农产品优势区，发展田头预冷、贮藏保鲜、冷链物流。在畜牧、水产养殖推进电能替代，提高养殖环境控制、精准饲喂等智能化水平。

建设热电协同、因地制宜的清洁供暖体系。在有条件的农村地区，鼓励余热供暖。在农村建筑密度低的地区，应重点发展分散式清洁供热体系。扶持及推广电转热（空气源、水源热泵等）、生物质供热、地热供热等高效清洁采暖措施。针对东北和西北地区的清洁能源利用，建议如下：

东北地区采暖以生物质资源为主，其他可再生能源为辅，通过生物质能打捆直接燃烧、热解气化、成型燃料、生物天然气等技术，建立稳定的供暖系统，再辅以风能、太阳能等不稳定的热源，解决清洁采暖的问题；在用电方面，充分发挥丰富的风能资源，配以储能，建立农村地区的微电网，满足炊事等用电需求，多余电量供给电网。同时，要多场景开发利用可再生能源发电，如可再生能源 + 农业、可再生能源 + 渔业、可再生能源 + 交通、可再生能源 + 旅游等。

西北地区采暖可利用太阳能 + 跨季节蓄热技术，同时辅以风电供暖或者太阳能供暖；在用电方面，通过大规模风光发电发展，配以储能，充分满足当地用能需要，并适时延伸后续产业链，如建设数据中心，以实现“东数西算”等。

（五）供需两端合力提振清洁取暖市场

建议农村清洁取暖以稳为重、以长效为核心，分类指导、分步推进。根据所处区位、村落特点、农户条件等，明确农村清洁取暖改造的时间和空间进度，并分类施策。例如：经济实力较强、基础条件具备的一类农村，力争“十四五”时期完成散煤替代；经济水平较差、基础条件一般的二类农村，重点做好示范引导，鼓励自愿行为；地处偏远、经济欠发达的偏远农村，根据资源可获性，采取过渡性方案，稳妥推进。

建议精准定位农村清洁取暖实际需求。充分考虑“合村并居”、“进城上楼”、“外出务工”等现象，基于实地调研，统计建筑节能改造和清洁取暖改造的实际规模，并结合农户家庭收入水平、家庭人口居住状态、留守人群特征、能源资源的可获性、取暖与炊事等生活用能的结合度等，以家庭为单位，细化取暖需求。

建议供给端因地制宜、因户施策，提供差异化、个性化的农村清洁取暖系统解决方案。如常住人口较少、采暖面积较小的农户，可采用空气源热泵热风机；采暖房间较多、经济条件较好、配电网具备条件的农户，可采用空气源热泵热水机；生物质燃料资源丰

富、供应有保障的地区，可采用生物质炉具改造；太阳能资源丰富、农房具有改造条件的地区，可采用“太阳能+辅热”；天然气管网覆盖、气源有保障、气价合理的地区，可采用燃气壁挂炉。根据农户实际需求，将取暖热源与炊事用能以及其他用能相结合，统筹施策。此外，考虑农村居民生活习惯和传统习俗，建议在东北和西北地区开展农村炉灶炕升级换代工程，如玉米芯、薪柴等专用的节能环保型生物质炉具，在保留生活习惯的同时，实现减污降耗、提效降本，并实现农林废弃物循环利用。

进一步鼓励创新，在技术研发、商业模式、营销方式等方面，实现多方参与、风险共担、收益共享，从单一产品售卖转向系统能源服务，推动农村能源系统新业态的形成和发展。

(六) 加强清洁取暖全过程专业化运营管理

首先，规范政府招投标机制，组建专家组进行充分的技术评估，在充分调研的基础上，统筹考虑适用性、可持续性、减污降碳效果等，避免低价中标后改而又改的资源浪费。

其次，研究制定农村清洁取暖工程管理办法。建立完善的管理制度和流程，明确各环节的责任和要求。确保方案设计、工程施工、竣工验收和运行维护等环节的全过程管理。严把质量关，加强对工程质量和设备质量的监督检查，确保用户取暖效果和安全可靠性。

此外，建管并重，加强对施工单位和人员的管理，确保施工操作规范、质量可控。同时，建立健全设备运行管理制度，定期检查设备运行情况，及时进行维护和维修，确保设备的正常运行。

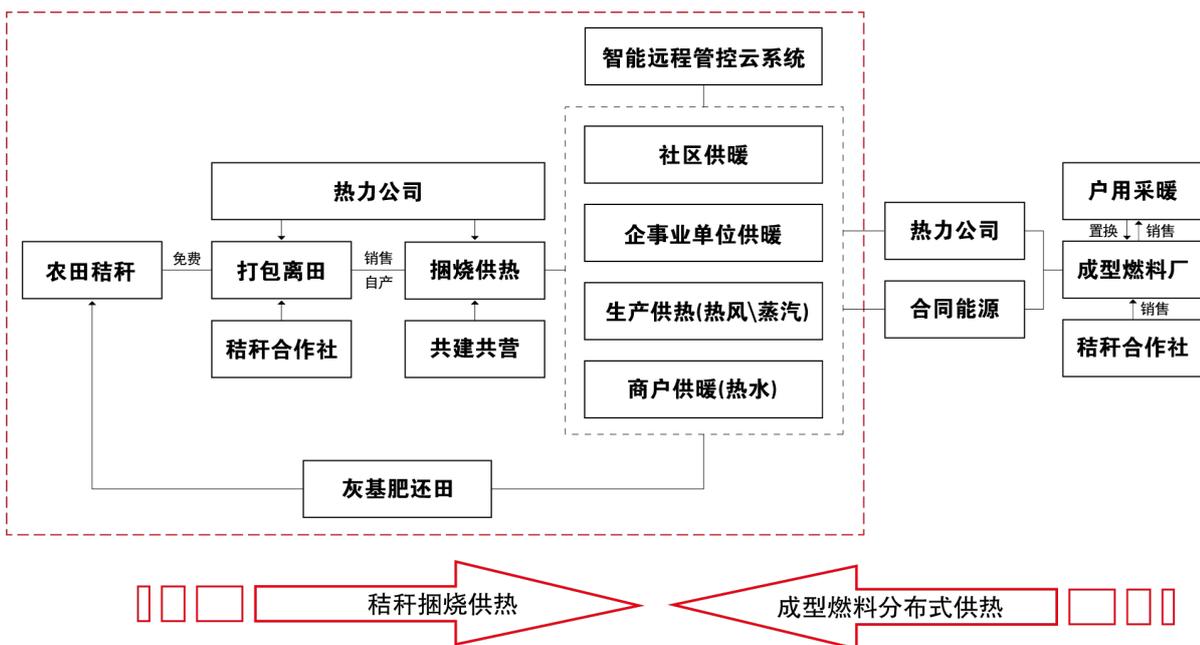
最后，加强售后服务和用户培训。在清洁取暖改造完成后，设立健全售后服务机制，及时响应用户的问题和需求，提供设备运行维护的技术支持。开展清洁取暖用户培训和产品使用指导，提高用户的操作技能和安全意识，确保清洁取暖设备的安全、有效、便利使用。

附录

清洁供热及农村能源资源系统性解决方案

案例 01: 东北地区秸秆捆烧供热解决方案

海伦市利民节能锅炉制造有限公司集锅炉研发制造、生物质燃料生产、生物质供热、制碳制氢、秸秆灰渣制有机绿肥等为一体，实现了秸秆资源生态循环全产业链运营。与哈工大合作研发了秸秆成型燃料、秸秆捆烧气化解耦再燃锅炉，产品获得 46 项国际、国内发明和其它专利。公司采用“互联网 + 锅炉”控制技术，通过远程采集锅炉运行数据实现远程维护、提前故障危险预警、远程诊断分析，实现设备管理集中化，故障服务响应自动化，维护售后人员调度智能化，通过工业物联网技术降低锅炉用户运维成本。



1. 黑龙江省海伦市海北镇集中供热项目

供热面积：23.5 万平方米。

改造前：使用1台14MW 燃煤循环流化床锅炉，备用7MW、4.2MW 燃煤锅炉各1台。单位供暖期煤耗量8225吨，燃煤价格1200元/吨，燃煤费用987万元左右。

改造后：安装1台14MW 秸秆捆烧锅炉替代原有燃煤锅炉，单位采暖季消耗秸秆14800吨，秸秆价格200元/吨，秸秆燃料费用296万元左右。

效益：相比燃煤锅炉节约燃料费用691万元，节能70%。



2. 长春市双阳区山河镇集中供热项目

供热面积：5 万平方米。

改造前：使用1台7MW 燃煤锅炉。一个供热期耗煤量1500吨左右，燃煤价格1300元/吨，燃煤费用195万元左右。

改造后：安装1台5.6MW 秸秆捆烧锅炉替代原有燃煤锅炉，单位采暖季消耗秸秆3000吨，秸秆价格200元/吨，秸秆燃料费用60万元左右。

效益：相比燃煤锅炉节约燃料费用135万元，节能69%。



3. 吉林省辽源市龙山区寿山镇集中供热项目

供热面积：8.8 万平方米。

改造前：生物质电厂供热。

改造后：安装 1 台 10.5MW 秸秆捆烧锅炉替代电厂供热，单位采暖季预计消耗秸秆 5000 吨，秸秆价格 240 元 / 吨，秸秆燃料费用 120 万元左右。如果采用煤炭供热预计需要 2900 吨左右，燃煤价格 1260 元 / 吨，燃煤费用 365 万元左右。

效益：相比燃煤锅炉节约燃料费用 365 万元，节能 67%。

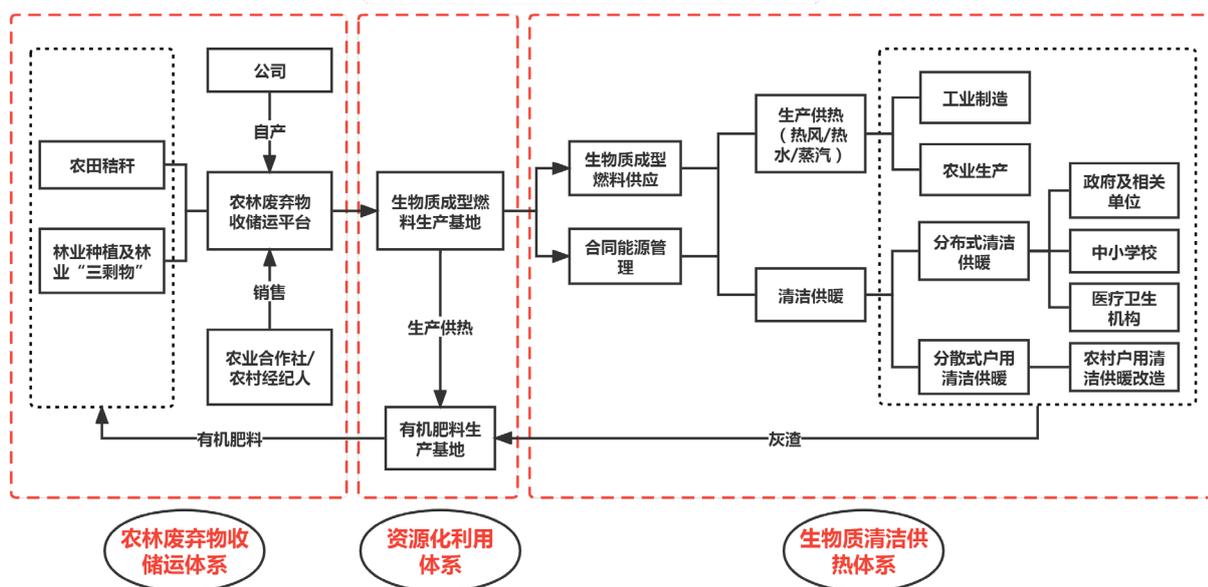


案例 02：宁夏生物质清洁供热解决方案

宁夏瑞威尔能源环境工程有限公司长期致力于生物质清洁能源开发、农村绿色低碳能源开发利用、农林废弃物资源化利用及生态循环农业等领域，主营生物质成型燃料制造、生物质清洁供热服务、合同能源管理、绿色农业服务等，是宁夏大学产学研合作基地，承担多项自治区重点研发、科技成果转化及技术引进等项目。是“中国零碳村镇促进项目”宁夏区可再生能源生产经营服务主体，全程参与项目建设。

公司在宁夏青铜峡市建设生物质清洁能源开发利用中心，总占地面积 7 万平方米，建成年产 6 万吨生物质成型燃料基地、日产 1.5 万立方米规模化沼气基地和年产 3 万吨有机肥料基地，集农林废弃物收集、生物质颗粒燃料加工、清洁供气供暖服务、生物质沼气、有机肥料加工为一体，竭力服务地区生态农林业发展和农村能源建设事业。

瑞威尔生物质成型燃料供热模式



公司形成了以生物质清洁能源开发利用中心为依托，以生物质成型燃料生产为纽带，连接生物质原料供应端和生物质供热终端的“瑞威尔模式”，实现生物质清洁取暖的可持续发展。

农林废弃物收储运体系：建立收储运平台，采用“企业 + 农业合作社、企业 + 农村经纪人”模式，实现区域农林废弃物集中收储，提高收储运效率，变废为宝，使农民增收，使农村环境更美好。

农林废弃物资源化利用体系：以生物质成型燃料制造为核心，实现农林废弃物资源化、高值化利用；通过有机肥料生产基地对生物质供热产生的灰渣进行回收再利用，生产有机肥料用于农林种植，实现绿色循环发展。

生物质清洁供热体系：以生物质成型燃料直供和合同能源管理为主要方式，为区域

生产及居民生活提供供热服务；采用合同能源管理为企业生产用热提供专业化运营服务，节能减碳，实现绿色生产；采用分布式生物质清洁供暖模式，以生物质成型燃料 + 专用锅炉 + 供暖服务，实现对农村地区 200 平方米至 20000 平方米的公共建筑冬季取暖的清洁替代；采用分散式生物质清洁供暖模式，以生物质成型燃料 + 专用炉具 + 水暖系统，实现对农村户用冬季取暖的清洁化改造，提高农村居民生活质量。

1. 青铜峡市农村地区公共建筑分布式生物质清洁供暖项目

1.1 项目概况

项目位于青铜峡市，由瑞威尔公司对青铜峡市农村地区公共建筑实施煤改生物质清洁取暖改造，采用分布式生物质清洁供暖模式，以生物质成型燃料 + 专用锅炉 + 供暖服务，改造对象为各乡镇镇政府、学校、医院、村委会等公共建筑，并由瑞威尔公司负责冬季供暖运营管理服务。项目总投资约 300 万元，由瑞威尔公司投资建设，负责锅炉房改造、锅炉及相关设备采购，以及后期运营维护，共完成分布式生物质清洁供暖改造 45 处，总面积 13.3 万平方米。

该项目自 2017 年运行以来，已经历 6 个采暖期，取得了良好的运行效果。项目由瑞威尔公司负责运营，包括燃料供应、设备运维、司炉工管理等，各单位按照取暖面积支付取暖费用，一个采暖期各学校单位按照 28 元 /m² 计收，其他单位按照 35 元 /m² 计收，室温不低于 18℃。采暖期内生物质颗粒燃料总用量约 3600 吨。经第三方专业机构检测，锅炉排放的二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、烟气黑度等指标均优于《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）规定的特别排放限制要求。

1.2 综合效益

项目有效解决了农村地区公共建筑清洁取暖问题，减少农林废弃物随意堆放、丢弃、焚烧等造成的环境污染。一个采暖期可替代标煤 2060 吨，减排二氧化碳 5100 吨、二氧化硫 16.9 吨、氮氧化物 15 吨。较改造之前的分散管理，通过专业化运营、标准化管理，大大提高各单位公共建筑冬季清洁取暖效率，降低取暖成本，与原燃煤锅炉取暖相比，运营成本下降 20% 左右。

1.3 案例特点

该项目探索建立了适用于北方农村地区公共建筑的生物质清洁取暖模式，实现了农林废弃物资源化利用、农村环境治理、大气污染防治、清洁能源替代的有机结合，以第三方企业投资、市场化运营方式，减轻了地方政府补贴压力，有效克服了“煤改电”基础设施不完善、“煤改气”无管网气源等农村地区清洁取暖替代的瓶颈问题。该项目构建了区域分布式清洁供热体系，适于在农林资源较为充足的北方农村地区进行推广。



2. 银川通用机场分布式生物质清洁供暖项目

2.1 项目概况

该项目位于银川市兴庆区。用户原供暖方式为 2 台 1.4MW 承压燃气锅炉，因无燃气管网接入，使用 LNG 作为供暖燃料。为降低用户采暖成本，由瑞威尔公司根据用户供暖实际需求，采用分布式生物质清洁供暖模式，以生物质成型燃料 + 专用锅炉 + 供暖服务，开展生物质清洁取暖改造，安装 2 台 1.4MW 常压热水锅炉进行直接替代，并负责冬季供暖运营服务。

该项目供热总面积 10000 平方米，供暖范围包括机场综合业务楼、特种车辆车库、供水站、油车库、供电站、能源中心等，总投资约 40 万元，由瑞威尔公司投资建设，负责锅炉房改造、锅炉及相关设备采购及后期运营维护，降低用户供热运行成本，实现了商业化运行。

因通用机场位置距城市中心较远，无法接入供暖管网，周边也无可接入燃气管网，冬季供暖为用户独立运行，使用燃气锅炉及 LNG 燃料。原来一个供暖期采暖总费用为 80-85 万元，单位价格 80-85 元 / 平方米。实施生物质清洁取暖改造后，由瑞威尔公司负责专业化运营管理，包括燃料供应、设备运维、司炉工管理等，采暖价格按照 40 元 / 平方米收取，室温不低于 18℃。经第三方专业机构检测，锅炉排放的二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、烟气黑度等指标均优于《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）规定的特别排放限制要求。

2.2 综合效益

该项目采用分布式生物质清洁供暖模式，通过专业化运营、标准化管理，有效降低了用户冬季取暖成本，解决了用户受冬季天然气价格波动及天然气紧缺影响导致供暖无法稳定运行的问题，将用户采暖费用降低 50% 以上。用生物质可再生能源替代传统化石能源，一个采暖期可替代标煤 170 吨，减排二氧化碳 420 吨。

2.3 案例特点

近几年，在煤炭、天然气等传统化石能源短缺及价格波动大的背景下，作为生物质清洁供暖替代燃气供暖项目，生物质成型燃料供暖以其稳定性、经济性可以作为燃气供热、供暖的有效补充和替代，在实现清洁供热前提下，以其可再生能源属性还能够起到减排降碳作用，因地制宜推广生物质成型燃料供热供暖对清洁取暖、能源保障提供了切实可行的路径。



3. 青铜峡市农村居民分散式生物质清洁取暖项目

3.1 项目概况

2020 年吴忠市获批北方地区清洁供暖试点城市，下辖青铜峡市全面启动实施冬季清洁取暖项目。2022 年青铜峡市完成农村地区冬季清洁取暖改造 15000 户，其中生物质清洁供暖占比 50%，采用分散式生物质清洁供暖模式，实现对农户冬季取暖的清洁化改造。截至 2022 年末，瑞威尔公司完成了 5000 户的清洁改造任务。项目完成青铜峡

市农村居民分散式生物质清洁取暖改造 5000 户，总投资 3000 余万元，由中央资金、地方配套及农村居民自筹组成。

项目采用生物质成型燃料 + 专用炉具 + 水暖系统技术路线，根据用户取暖面积不同，按照 60 平方米、100 平方米、130 平方米三种基本户型匹配生物质专用炉具，采用水暖系统连接炉具、管道、散热器组成独立采暖单元，提高居民取暖舒适度，改善生活环境质量。建立生物质成型燃料供应链体系，根据居民订单需求，合理配置物流路线，集中配送，可实现下单后 24 小时内送货上门。优化售后服务体系，采暖期采取 724 轮班机制，客服随时响应用户需求，售后人员 2 小时内上门维修，用户使用无后顾之忧。

3.2 综合效益

建设投资方面，能够减轻地方政府清洁取暖替代项目补贴压力。生物质清洁取暖在各类清洁取暖模式中投资最低，补贴资金最低，同时农村居民自筹资金少，一般自筹 800-1500 元即可实现取暖面积 60 平方米的全部改造工作，可有效推动清洁取暖项目的推广。

运行成本方面，能够降低农村居民冬季清洁取暖费用，根据 2022-2023 年采暖期对已完成生物质清洁取暖改造用户数据统计，采暖费用同比原燃煤取暖降低了 15.3% 至 18.4%。

生活习惯方面，进一步提高农村居民冬季取暖质量，改善生活环境，生物质专用炉具兼顾供热与炊事功能，符合农村居民冬季生活习惯，同时采用水暖系统使农村居民取暖更舒适、更健康。

减排降碳方面，项目一个采暖期可利用生物质成型燃料约 1.5 万吨，替代标准煤 8565 吨，减排二氧化碳 2.1 万吨、二氧化硫 70.5 吨、氮氧化物 62.6 吨。

3.3 案例特点

西北地区农村清洁取暖工作刚刚起步，受制于农村经济发展水平、能源基础设施条件、居民消费承受能力、居民生活习惯等因素制约，且该地区冬季寒冷，取暖刚性需求大，因地制宜采用分散式生物质清洁取暖模式，就地取材利用农村地区生物质资源，解决了当地清洁取暖、炊事问题，符合农村居民用能习惯，把农村地区丰富的农林废弃物资源变废为宝，既可以实现建设投资和运行成本可承受，也充分发挥生物质的可再生能源属性，起到了减排减碳的效果。



案例 03：全域生物质清洁取暖齐鲁样板“阳信模式”

山东省滨州市阳信县作为 2+26 通道城市辖属县，在稳步推进煤改气、煤改电的同时，深刻领会习近平生态文明思想和“废弃物资源化利用是一件利国利民利长远的大好事”的指示精神及国家能源战略，因地制宜，充分发挥当地丰富的梨枝、牛粪、秸秆等特色生物质资源，借力市场机制，调动社会资源，通过算好“环境、民生、发展”共赢账，有效破解农户因气源不足“用不上”、价格过高“用不起”、安全担忧“不安心”等现实难题，走出一条清洁能源“政府能承担、环境有改善、群众愿接受”的阳信路径，成为国内推广生物质清洁取暖的典范。

1. 基本情况

山东省阳信县，地处京津冀“2+26”大气污染传输通道中心位置，是闻名的中国鸭梨之乡，境内有 10 万亩梨园，年可剪枝 5 万吨；是全国畜牧百强县，年存栏肉牛 27 万头，年可产生牛粪 150 余万吨；是传统的木器制造大县、中国古典家具文化产业基地，各类木器加工企业每年可产生锯末 10 万吨。阳信作为传统农业大县，拥有耕地 55 万亩，年可产生农作物秸秆 80 万吨。富集的再生资源禀赋，具备发展生物质能清洁取暖的独特优势，符合“农村地区优先利用地热、生物质、太阳能等多种清洁能源供暖”的政策要求。

2017 年冬季以来，阳信县立足自身优势，积极探索实施生物质清洁取暖改造试点，趟出了一条更为低碳环保、生态循环、集约惠民的清洁取暖新路子，得到了各级领导的密切关注、充分肯定和明确支持。2018 年入选山东省首批生物质能源推广应用试点县。2019 年被中国农村能源行业协会授予中国北方农村清洁取暖典型模式示范基地，相关做法连续两年（2019、2020 年度）入选国家能源局《北方地区冬季清洁取暖典型案例汇编》，阳信县温店镇入选山东省首批绿色能源示范镇。2021 年 4 月，山东省能源局又把阳信县列入全省的生物质能源推广应用重点县，将在巩固试点成果、扩大使用范围等方面进行重点扶持。同时，万华禾香板、中广核生物天然气和光大垃圾焚烧发电等一批生态循环项目相继签约落地，阳信县初步成为北方地区清洁取暖、畜禽废物资源化利用工作的先行者和践行者。国务院参事、国家能源局原副局长吴吟称赞“阳信县顶着压力办实事，利民为本敢为先，是生物质能源化利用的‘小岗村’”。

2. 项目规划

阳信县人民政府与中国农村能源行业协会紧密合作，签署战略合作协议，充分发挥行业协会平台资源的力量，经科学评估和专家论证，为阳信县编制《阳信县冬季生物质清洁取暖规划（2018-2022 年）》，规划结合县域特征提出建设“一核二区七基地”，并结合改造主体实际情况，创新提出“生物质燃料 + 环保专用炉具”分散式取暖、“生物质燃料 + 锅炉机组”分布式取暖、“生物质热电联产”集中式供暖“三种模式”。截止目前，阳信县已建成生物质颗粒燃料企业 6 处，两炉二机 30 兆瓦热电联产项目 1 个；完成生物质清洁取暖改造 10.96 万余户，基本构建“农户就地收集、企业就近加工、全域就地使用”阳信模式，初步实现生物质清洁取暖和电代煤、气代煤等多能互补的清洁取暖县域示范点。

3. 技术方案

3.1 “集中式”生物质热电联产供暖

生物质热电联产集中供暖模式主要依托山东阳信县金缘生态科技集团有限公司热电联产清洁供热项目。金缘集团主要以玉米芯、农作物秸秆为原料，通过提取农作物秸秆中的半纤维素生产糠醛、木糖，把生产后的废渣作为锅炉燃料生产高压蒸汽发电，同时利用余热为周边农村供暖，实现生物质资源的综合利用。该公司 2009 年 10 月开工建设，2012 年 2 月投入运营，年发电量 7200 万千瓦时，对外供热蒸汽 22.75 万吨，14 个村 2713 户实现冬季集中清洁取暖。同时，禾怡园现代农业项目通过金缘集团集中清洁供热实现蔬菜大棚冬季生产。



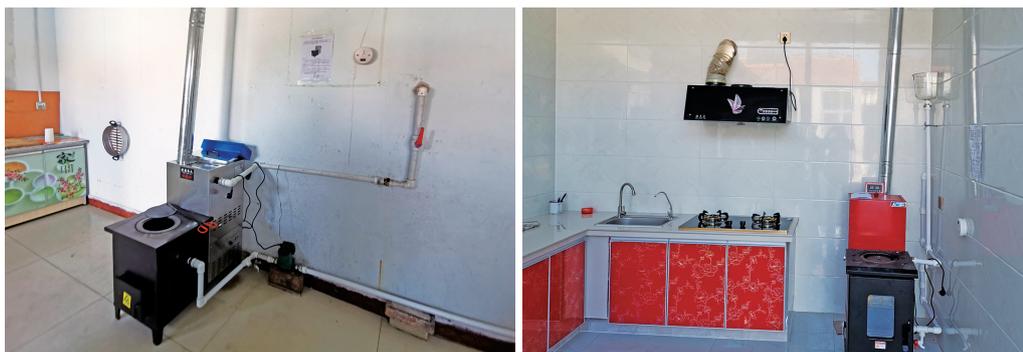
3.2 “分布式”生物质清洁供暖

对于中小学校、卫生所等公共建筑和村庄规划较规范、经济条件较好、村班子及群众基础好的村庄，积极推广生物质成型燃料锅炉供暖。2018 年全县共改造 23 个村 3550 户。对于生物质锅炉采暖村、中小学校等地，阳信县采取合同能源管理（EPC）等方式，由专业企业管理运营生物质锅炉供热项目，开创了农村取暖能源化管理的先河。同时在中国农村能源行业协会和北京化工大学的牵线及专家团队的大力支持下，积极引进奥地利 KWB 公司的生物质锅炉落户阳信县程坞学校。



3.3 “分散式”生物质清洁取暖

在人口居住分散、不宜铺设燃气管网的农村地区，推广户用生物质成型燃料 + 环保专用炉具，有效替代农村散煤，解决农村居民户用取暖及炊事的用能需求。2017 年，阳信县投资 700 万元建成利民生物质能技术有限公司，承担颗粒燃料生产供应、专用炉具引进等前期工作。同时在一个乡镇两个村 500 余户进行了建制制的分散式取暖试点改造，拉开生物质试点工作的序幕。



4. 商业模式

以乡镇为单位，建设区域性生物质原料收集中心，配备成型燃料加工设备，增强燃料供给保障能力，构建燃料物流体系。同时组建专业的生物质锅炉企业对开发区、工业园区等企业提供蒸汽、供暖等商业服务。

5. 应用场景

5.1 生物质热电联产区域集中供暖

生物质热电联产区域集中供暖涉及阳信县温店镇 14 个村 2713 户。根据乡镇实际和能源结构，阳信县温店镇主要采取生物质热电联产模式，供热计划面积约 200 万平方米，目前已完成第一期工程供暖面积 70 万平方米，覆盖温店镇 14 个村 2713 户。

5.2 生物质锅炉区域集中供暖

生物质锅炉供暖区域涉及 23 个村 3550 户。其中阳信县河流镇张古风村人口 700 余人 180 余户。牛腾雨村 300 余人 87 户。目前两村共用一个锅炉房，供暖锅炉两个，铺设管道 28000 余米。2018 年 10 月开始开工建设，11 月 20 日全面完成施工，开始试运行。11 月 30 日正常供暖，冬季室内温度达 20 余℃。改造完成后，该村告别了传统燃煤脏、烟气呛的采暖历史。2019 年 4 月份，该县对两村又进行了外墙保温节能改造工程。自供暖以来，村民普遍反映供暖效果很好。

5.3 生物质户用炉具取暖

生物质户用炉具取暖涉及该县 9 个乡镇，其中河流镇沙窝高村现有户数 135 户。2018 年沙窝高村整村进行了生物质清洁取暖改造，所有采暖炉均为集中采购，其中使用生物质烤火炉 126 户，生物质水暖炉 9 户。当前，该村一户普通家庭平均一天消费生物

质成型燃料 30 斤，市场价格 0.55 元 / 斤，政府补贴 0.3 元 / 斤，户均取暖费每天仅需 7.5 元钱。所使用的采暖炉不但能取暖，而且能烧水做饭。

2019 年，听取中国农村能源行业协会专家建议，结合自身实践，该县积极推广生物质户用水暖式采暖炉，共推广生物质炉具 21286 台，其中水暖炉总占比 75%，其中三个试点乡镇水暖炉具占比达 90% 以上。使用后村民反映，安全性、舒适性和环保性相比更好。同时积极探索打造以生物质炊事水暖炉为主的农村“厨房革命”，推动生物质炉具和农作物秸秆、农产品加工剩余物和林业剩余物等生物质资源的能源化利用。

6. 综合效益

6.1 生态效益

经专业机构检测，阳信生产的木质颗粒燃料，在 11 种不同炉具上燃烧后，颗粒物浓度在 20 ~ 45 之间，氮氧化物浓度在 169 ~ 200mg/m³ 左右，林格曼黑度小于 1 级，SO₂ 检测不出。据生态环境部门提供的数据，阳信县连续三年空气质量实现大幅改善，在山东省县（市）区中改善幅度位居前列。

6.2 经济效益

就用户而言，按当前补贴政策，生物质清洁取暖（分散式炉具）较煤改气、煤改电，改造成本分别低 71.94%、29.37%，分别节省 9740 元、1580 元，使用成本分别低 46.86%、33.33%，分别节省 1940 元、1100 元。就企业而言，按阳信现有每年产生的秸秆、树枝、锯末测算，年可生产颗粒燃料 100 万吨，按每吨均价 1200 元测算，仅颗粒生产产值就可达 12 亿元。目前，不管取暖季还是非取暖季，生物质燃料市场均供不应求。

6.3 社会效益

两年来，参加试点的农户普遍反映，改用生物质清洁取暖符合农村传统生活习惯，不仅可以像以前一样烧水做饭，室内平均温度也能保持在 20℃ 左右，而且操作简便，比用气、用电安全系数更高。全省乡村文明行动群众满意度电话调查结果显示，阳信县的名次一直在全市排名第一，位居全省前列。

2022 年 9 月份，阳信县组建国有企业——阳信县新能源集团有限公司，举全县合力对区域内可再生能源（可开发风电、光伏发电、生物质等可再生能源）进行综合利用，下一步将以增强生物质清洁取暖长效性、可持续发展为目标，继续深化探索，实现生物质清洁取暖高质量发展。

案例 04：生物质与固废全产业链一体化解决方案

山西易通环能科技集团有限公司是国家级专精特新小巨人企业、国家高新技术企业、国家 973 科技项目示范单位、山西省科技成果转化示范企业。拥有省级企业技术中心、工程技术研究中心、博士工作站等科研平台，与天津大学、中科院南京土壤研究所、北京理工大学、太原理工大学、宁波工程学院等科研院校建立了各种形式的产学研合作关系。

1. 垃圾及农废资源化综合利用解决方案

1.1 项目背景

当前城乡生活垃圾处理大部分仍是填埋，未进行资源化综合利用。垃圾若经资源化处理后，不仅避免了填埋带来的威胁填埋场临近建筑物安全、污染大气、侵占土地、污染农田土壤和传染疾病等问题，还能变废为宝实现资源化利用。肥料改良土壤，秸秆形成电能热能等在取得经济效益的同时，也带来了很好的社会效益。

1.2 工艺流程

大件分选、给料系统→精选系统（磁选、筛分、风选、二次分拣）→破碎系统→堆肥发酵系统→热解气化→可燃

1.3 垃圾热解

通过上述工艺把农村生活垃圾、修缮渣土垃圾、农村流体垃圾、养殖畜禽粪污、农作物秸秆等变废为宝，生产出农家肥、各种有机专用肥、电能（热能）、大棚保温被、隔音材料、颗粒板、透水砖等。项目以传统生态理念及高度系统集成方法，创新性地形成了农业生产、农村生活产生的废弃物（农村生活垃圾、修缮渣土垃圾、畜禽粪污、农作物秸秆、农村流体垃圾）资源化综合利用“五合一”的“一站式处理模式。创新的“全量资源化利用”工艺路线，消除了垃圾处理技术“集成度低、资源化差、投资大、费用高”的弊端。

1.4 方案设计

项目工艺方案可根据用户实际需求进行个性化设计、模块化配置、经济化投资、便于运行及后续功能扩展。工艺设置因地制宜，最大限度的利用用户现有资源，避免了重复建设，既节约投资，又缩短建设工期，为后续运行提供了便利条件。

1.5 项目案例

公司在长治市投入运行的农废处理、资源循环利用项目 18 个，运行良好，经济和社会效益显著，既实现农废的综合处理，也实现了循环再利用。



2. 秸秆捆烧供暖供热解决方案

2.1 秸秆收储运体系

供暖项目的运营主体采取“田间成型、就地存放、分期拉运、当季全消”的办法，负责组织实施秸秆的收储运工作。

相关乡（镇）政府负责统筹规划秸秆的收集区域，并确保秸秆的保有量满足供暖需求量。

政府和有关部门制定秸秆收、储、运环节的相关补贴分配政策，保证运营企业的正常运行。

运营主体对秸秆储存期间安全工作负责，乡（镇）政府对划定区域内的秸秆无阻拦收割负责协调工作。

供暖运营主体采取“服务换秸秆”的模式对农户补偿，即：收割秸秆后免费为农户旋耕土地。

2.2 捆烧锅炉技术优势

采用自动进料装置将捆状成型燃料直接送入锅炉内燃烧，不采用秸秆粉碎设备，节省电能，减少进料事故率。采用双级下推烟气逆流式层状燃烧结构，分段燃烧、分级配风、组织炉膛高温烟气 α 射流等技术，燃烧充分。炉膛和受热面基本不发生结焦和积渣现象。对秸秆含水量和含土量要求不高，一般含水量40%以下的秸秆均能正常燃烧。采用常压热水锅炉结构型式，操作简单、使用安全；供热系统根据用户特点可选用直联式常压集中供暖系统或一、二网热交换供暖系统。

2.3 项目案例

2016年12月，公司第一个秸秆捆烧直燃锅炉发电项目正式投入运营，装机功率1.2MW，投资1680万元，运行2个月累计发电量133万kW·h。项目通过秸秆捆烧直燃锅炉产生低压饱和蒸汽，低压饱和蒸汽进入“单循环+双循环发电机组”并网发电，开辟了生物质低温低压发电的新路径。

2018年安装2台6吨和1台4吨秸秆打捆直燃专用锅炉，承担南呈村964户村民、村委办公楼、学校、医疗所、五家农村超市、餐馆的供暖，供暖面积99000平方米，均配置“专用旋风除尘器+高效布袋除尘器”两级除尘及高分子脱硝环保装置，运行环保达标排放，每年消纳秸秆6000吨。

2020年端氏养鸡场安装1台4吨秸秆打捆直燃锅炉，用于鸡舍供暖，室内要求温度25℃。配置“专用旋风除尘器+高效布袋除尘器”两级除尘及高分子脱硝环保装置，运行环保达标排放，年消纳秸秆1000吨。



案例 05：村级秸秆热解气化热电联产系统解决方案

北京乡电电力有限公司研发的“生物质热解气化超洁净合成气成套设备”，利用农林废弃物为原料，无添加剂、无催化剂，利用鼓泡流化床气化系统和超洁净系统，鼓泡流化床气化装置在吹入的气化剂（空气）作用下，物料颗粒、气化剂（空气）在气化装置内充分接触，受热均匀，在炉内呈“沸腾”状态，是一种在恒温床上反应的气化系统，通过气化系统中的干燥、热解、氧化和还原等系列反应后，获得含有一氧化碳、氢气和甲烷等高温粗燃气后，利用旋风、喷淋和高压静电除焦成套集成系统获得清洁、低焦油含量（ $< 15\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）的常温生物质燃气；在热解气化的同时获得高固定碳含量的生物炭作为副产品。

1. 优势

解决了生物质热解气化气中焦油含量高的问题，除焦及净化系统经济可行、规模适合，解决了困扰行业多年的气化气中焦油高的问题。集成适合系统的污水自循环、处理系统，污水零外排。采用结构更复杂，但是工况更稳定的、更适合工业级应用的鼓泡流化床气化系统。

2. 适用场景

该技术具有典型的分布式能源特点，可实现中小规模装机容量，作为一种适合村级的小型秸秆热解气化热电联产技术与成套设备，以农林废弃物为原料，变废为宝获得的超洁净合成燃气，这种燃气作为一种能源中间载体，可实现管道输送、内燃机发电、工业及生活供热、工业生产用气，可替代天然气。此外，气化过程中的副产品生物炭的固定碳含量高，可作为炭基肥、活性炭等炭产品的生产原料。

3. 特点意义

作为一种适合村级规模的生物质零炭能源站，设备具有撬装并列，土建少，面向对象的设计方式，便于快速复制和推广，利用多种商业合作模式（例如村集体以秸秆入股、农民以秸秆换供热）等方式，深入村庄，绑定农户和村集体，在提高农民收入和村集体收入的同时，为解决农村清洁取暖、绿色电力、土壤修复改良做出贡献。

4. 案例概况

项目位于山西省晋城市阳城县东冶镇，利用当地的农林废弃物为原料进行生物质制气，利用内燃机发电系统发电并网，余热用于当地企业和民生供暖，生物炭实现综合利用。该项目装机容量为 1.5MW，已实现发电并网，进入国家补贴目录获得 0.75 元/度电价补贴项目，进入《山西省可再生能源中长期发展规划》。2023 年当地镇政府以现金等方式购买项目 70% 股份，并将 1.5 兆瓦的装机容量计划升至 3MW。

5. 使用情况

已实现 1.5 兆瓦发电并网，发电余热利用，生物炭综合利用。项目运行稳定，具有良好的经济效益、环境效益和社会效益。

6. 综合效益

投资成本约 2000 万元。年消纳农林废弃物约 1.5 万吨 / 年，设计发电上网电量 1000 万度 / 年，余热 1.5 万吨蒸汽 / 年，生物炭产量约 1500 吨 / 年，直接解决当地就业岗位 20 余个。根据上网电价 0.75 元 / 度，蒸汽价格 200 元 / 吨，生物炭售价 1000 元 / 吨计算，该项目年收入约 1200 万元。



案例 06：农牧区固废垃圾能源化利用解决方案

赤峰市圣火能源科技开发有限责任公司自主研发的一体化闭环式处理农村垃圾、农田残膜、农作物秸秆、畜禽粪便等农林牧废弃物技术，与农村牧区清洁采暖相结合，与乡村振兴、人居环境整治相结合，与“双碳”战略相结合，与绿水青山就是金山银山理念相结合，在三个方面取得了创新。

理念创新。探索并创立没有政府长期补贴的长效机制，使农村牧区垃圾和农林牧废弃物处理实现可操作、可推广、可持续。

模式创新。把农村牧区的生活垃圾、农田残膜、农作物秸秆、畜禽粪便等农林牧废弃物“系统性一体化闭环式处理，规模型能源化利用”，使其变废为宝，变害为宝，既净化了人居环境，又为农牧民增加了收入，节省了开支，并发展壮大农村集体经济。

技术创新。获得 25 项国家专利，确保了垃圾和农林牧废弃物处理的高质量、高标准，同时真正实现了不增加农牧民负担情况下的清洁采暖。

1. 应用场景

内蒙古赤峰市阿鲁科尔沁旗 8 个乡镇苏木农林牧废弃物能源化利用；农村、牧区生物质灶台炉、垃圾焚烧炉、生物质锅炉、生物质热风炉应用场景。

2. 推广意义

随着社会的发展进步，农村垃圾、农田残膜、农药瓶罐、农作物秸秆、畜禽粪便等农林牧废弃物污染问题日益突显出来，直接影响到了乡村振兴建设和碳达峰碳中和。然而，现在处理农村的生活垃圾和农林牧废弃物尚在摸索适合的技术装备和成熟的运营模式，大都需要依靠政府补贴，各部门“各自为战”，用传统的方式方法处理诸多问题已经显现，特别是一些瓶颈问题难以解决，已经成为各级政府和职能部门进行人居环境整治的重点和难点。赤峰圣火探索出了一套“生活垃圾和农林牧废弃物系统性一体化处理，能源化利用，规模化运营”的运营模式。

在农村牧区推广清洁采暖。目前情况下的煤改电、煤改气、煤改空气能等增加了老百姓经济负担和政府补贴难度，致使农牧区清洁采暖不好操作，不可持续，很难常态化。农牧区的废弃物资源和生物质资源与当地清洁采暖相结合，老百姓“有啥烧啥”是最经济、实用、环保的一种能源化利用模式。

3. 案例概况

以赤峰市阿鲁科尔沁旗扎嘎斯台镇垃圾和农林牧废弃物一体化闭环式处理能源化利用模式为例。公司根据扎镇实际结合赤峰市农村牧区垃圾和农林牧废弃物现状，探索出废弃物不出村，就近就地变能源并可复制的“226688 模型”。即 2000 左右人口的垃圾排放（基本一个行政村）；20000 亩地的农作物秸秆及所辖区域畜禽粪便（基本一个行政村）；6 台套设备；600 平米加工车间；年处理最少 8000 吨垃圾和农林牧废弃物；年创收最少 80 万元。

3.1 模型效益与参数

2000 人，年处理生活垃圾约 600 吨，产生垃圾衍生可燃物约 150 吨。

20000 亩地，实际应用 10000 亩左右，处理秸秆（0.4 吨/亩）约 4000 吨。

20000 亩地，实际应用 10000 亩左右，处理农田残膜和茬柴根柴 2000 吨。

处理畜禽粪便和其他农林牧废弃物约 1500 吨。

该模型一年可处理生活垃圾和农林牧废弃物约 8000 吨，加工成型燃料约 6000 吨。利润约 90 万元。

3.2 模型规格与投入

加工车间 300 平方米，预处理车间 300 平方米，投入 60 万元。

一期投入主要设备：粉碎机、撕碎机、压块机、垃圾焚烧炉、热风炉、下吸式气化采暖炉、灶台式生物质炉，共计约 60 万元。

模型合计投入 120 万元。

3.3 运营管理与服务模式

政府 + 公司 + 合作社 + 农牧户

政府给予政策和资金支持；公司将垃圾和农林牧废弃物变成商品产业化运作。专业合作社具体负责垃圾和农林牧废弃物的收储运和加工成型燃料；农牧民直接参与垃圾和农林牧废弃物的收储运及其成型燃料的加工与应用。所有参与者是产业利益共同体。

政府投入设备和厂房车间建设，公司租用并与专业合作社联合。

公司投入设备，当地专业合作社投入场地、车间。公司与合作社联合。

政府提供场地，公司投入设备和厂房车间建设，并自主运营管理。

4. 投资成本

一套村级一体化系统性闭环式加工处理设备，投资约 120 万元。

5. 使用情况

以赤峰市阿鲁科尔沁旗扎嘎斯台镇垃圾和农林牧废弃物一体化闭环式处理资源化利用模式为例，已正常运营三年。2022 年阿鲁科尔沁旗又在 6 个乡镇苏木分别安装 6 套系统；2023 年计划再安装 2 套系统。

6. 综合效益

6.1 社会效益。解决村民就业约 13 人，隐性就业 15 人。每年向国家纳税约 1.5 万元。年处理农作物秸秆、树木及枝条、生活垃圾、残膜根柴茬柴、牛羊猪粪等农林牧废弃物约 8000 吨。区域内农民用特制生物质灶台炉采暖，设施农业大棚用热风炉采暖，

乡镇政府和辖区内企事业单位用垃圾焚烧炉采暖，烧残膜根柴加工的成型燃料。仅 1135 户农户，每户节支（增收）约 1200 元。共节省开支约 136.2 万元。

6.2 生态效益。减少二氧化碳排放约 35000 吨、二氧化硫排放约 110 吨、氮氧化物排放约 100 吨、二噁英排放约 2000 吨。

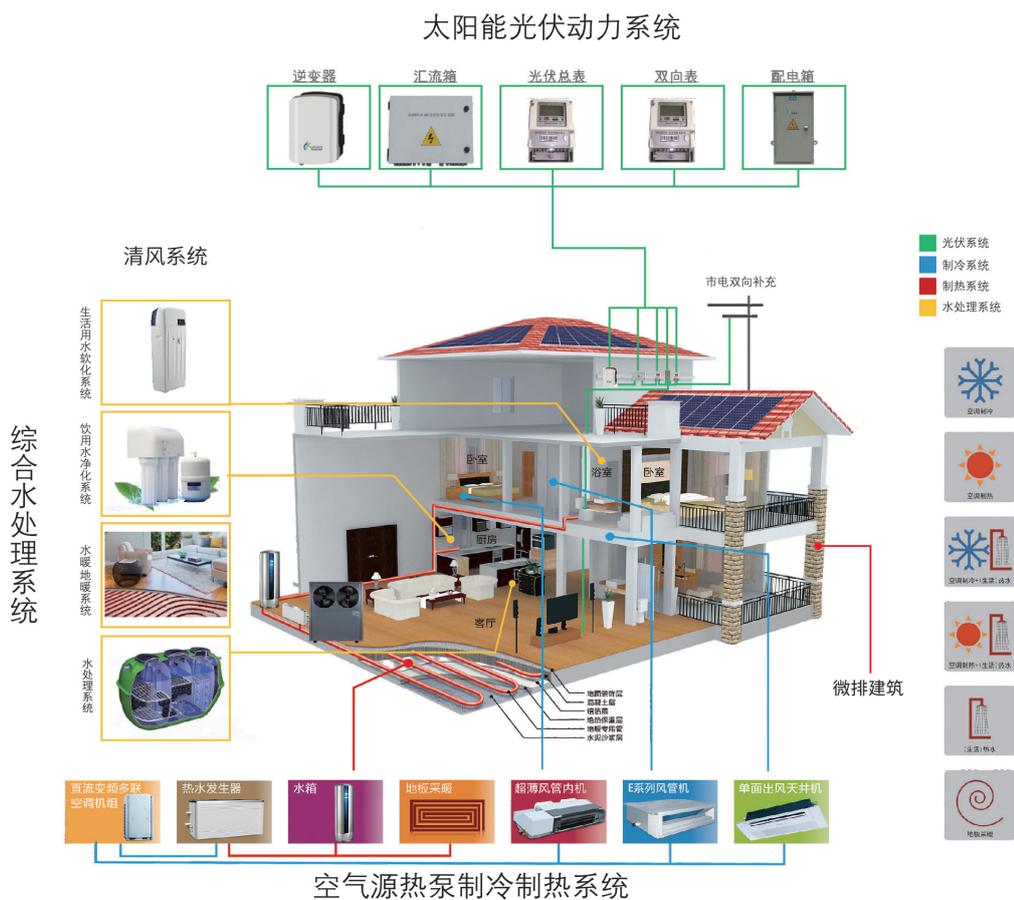
6.3 经济效益。农作物秸秆、树木及枝条、生活垃圾、残膜根茬、牛羊猪粪等农林牧废弃物能源化燃料化年创收约 90 万元，发展壮大村集体经济。可做饲料的农作物秸秆约 1000 吨，年创收约 30 万元。



案例 07：农村绿色住宅与清洁能源一体化解决方案

兰州华能生态能源科技股份有限公司构建了“绿色建筑 + 清洁能源”为一体多能互补美丽乡村生态体系，包括光伏建筑一体化系统集成、数字化分析、设计与碳排放预测、快速装配式施工与维护、光电光热综合利用与多能互补、建筑能源智能化与云平台控制等技术体系。





1. 太阳能 + 天然气清洁采暖系统

改造方式：用太阳能集热系统 + 天然气壁挂炉 + 暖气片，替代百姓原有小煤炉。

取暖费用：每个采暖季（5个月），消耗天然气约 750m³，用能费用约 1500 元。

产生效益：无任何污染物排放，减排二氧化硫，每户减排二氧化碳 6.65 吨以上，降低 PM10 浓度。

适用类型：主要适用于已经接通了天然气的城镇，系统安装费用低，运行费用低，运行稳定，使用方便。



2. 太阳能 + 电辅热清洁采暖系统

改造方式：用太阳能集热系统 + 蓄热水箱 + 电辅热暖气片，替代百姓原有小煤炉。

取暖费用：每个采暖季（5个月），消耗电费约 1872 元。

产生效益：无任何污染物排放，减排二氧化硫，每户减排二氧化碳 6.65 吨以上，降低 PM10 浓度。

适用类型：主要适用于室内安装条件受限，不能安装其他辅助热源及蓄热水箱的区域，且房屋屋顶承重能力好的家庭。需要和峰谷电价相结合，白天利用太阳能，晚上用电辅热补充热量，利用谷电优势，再结合用电补贴，可大幅降低运行费用；安装费用低，使用方便。

3. 光热 + 光电近零费用清洁采暖系统

改造方式：用太阳能集热系统 + 光伏发电系统 + 电辅热暖气片，替代百姓原有小煤炉。

取暖费用：每个采暖季（5个月），消耗电费约 1872 元。

产生效益：无任何污染物排放，减排二氧化硫，每户减排二氧化碳 6.65 吨以上，降低 PM10 浓度。

适用类型：运行成本低，取暖方式更加清洁、卫生、舒适，在非取暖季节，制备的热水可用于做饭和洗澡，同时发电并网后，利用并网获得收益。



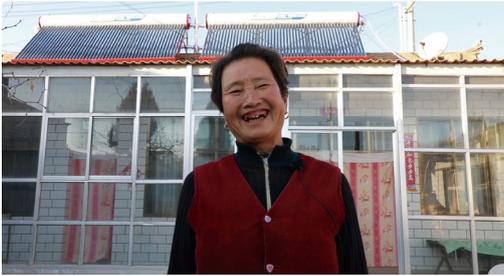
4. 太阳能 + 多功能清洁水暖炉系统

改造方式：太阳能集热系统 + 多功能清洁水暖炉 + 暖气片替代原有小煤炉。

取暖费用：每个采暖季（5个月），消耗煤 0.5-1 吨。

产生效益：减少传统小煤炉污染排放，每户减排二氧化碳 4 吨以上。

适用类型：主要适用偏远山区，电源电压不足或不稳定的地区，且房屋屋顶承重能力好的家庭。安装费用较低，燃料可本地取材，使用费用最低，用电少，运行成本低、不受地域限制、符合农村老百姓的使用习惯。



5. 多功能清洁水暖炉系统

改造方式：用多功能清洁水暖炉 + 暖气片，替代百姓原有小煤炉。

取暖费用：每个采暖季（5个月），消耗煤 1-1.5 吨。

产生效益：减少传统小煤炉污染排放，每户减排二氧化碳 2.66 吨以上。

适用类型：安装费较低，燃料本地取材，使用费低，用电少，运行成本低，不受地域限制，不改变老百姓使用习惯，易于推广。



6. 蓄热式电锅炉清洁采暖系统

改造方式：用节能电锅炉 + 蓄热水箱 + 暖气片，替代百姓原有小煤炉。

取暖费用：每小时约耗电 6 度，利用峰谷电价，每个采暖季需消耗电费约 2340 元。

产生效益：无污染物排放，降低 PM10 和二氧化硫，每户减排二氧化碳 6.65 吨以上。

适用类型：适用于新建房屋及房屋保温性能相对较好的区域，系统安装费用低，系统高效稳定，使用方便，用电安全，使用寿命长。

7. 热泵热风机清洁采暖系统

改造方式：用节能电锅炉 + 蓄热水箱 + 暖气片，替代百姓原有小煤炉。

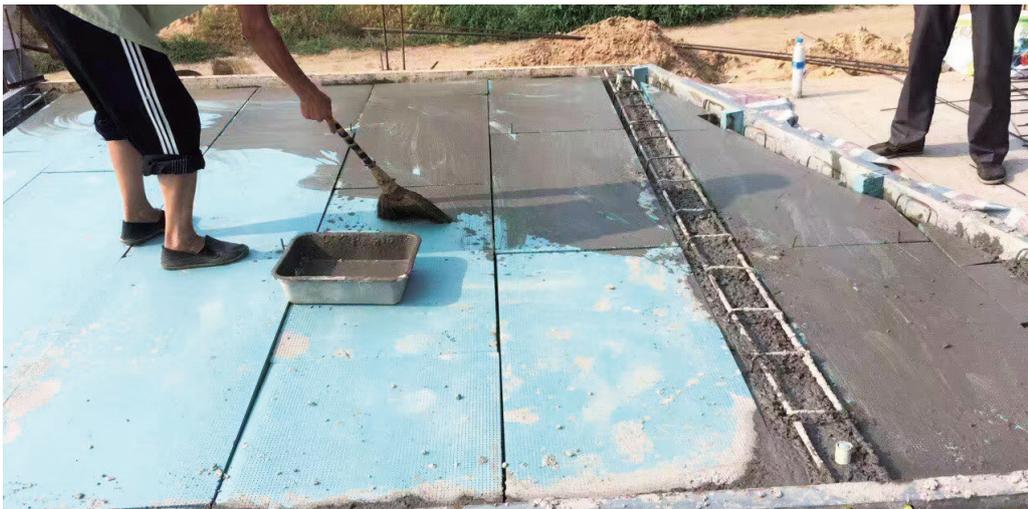
取暖费用：每小时约耗电 6 度，利用峰谷电价，每个采暖季需消耗电费约 2340 元。

产生效益：无污染物排放，降低 PM10 和二氧化硫，每户减排二氧化碳 6.65 吨以上。

适用类型：适用于新建房屋及房屋保温性能相对较好的区域，系统安装费用低，系统高效稳定，使用方便，用电安全，使用寿命长。

案例 08：卢龙混凝土装配式太阳能采暖示范案例

秦皇岛市尔丰装配式建筑科技有限公司研发生产的太阳能采暖装配式农房系统集成，由混凝土装配式节能抗震主体结构、太阳能热水供暖系统、集热墙热风供暖系统、固体低温蓄能采暖末端、电热器或生物质炉具五部分组成，充分发挥了各项技术集成的优势。该系统集成的主体结构采用 23 厘米厚墙体、11 厘米内保温混墙板现场预制，现场装配，墙板两侧钢筋焊接组装，4 根 14# 钢筋网打抗震栓墙板上预制圈梁，安装叠合楼板，上面现浇 7-10 厘米钢筋混凝土，使房子成为一个混凝土整体，达到抗震节能要求。房子内顶用 8 厘米保温，外墙陶瓷保温一体板，房顶用 $\Phi 47$ 毫米 360 支真空管集热器，温差循环自动运行。集热墙热风供暖系统用南墙做保温加吸热材料罩上玻璃，间距 5 厘米左右。太阳照射吸热材料加热里面空气形成空气对流，热空气从上部通风孔进入室内，室内冷空气从下通风孔吸入集热墙。集热墙排入室内最高温度可达 60°C ，使室内温度升高 $4-6^{\circ}\text{C}$ 。固体低温蓄能散热末端采用特制蓄能材料，下面放保温板、反射膜。房间密布 10-12 厘米地暖管，经济实用、低温蓄能、持久散热，保持室温不变。电锅炉申请采暖电价，连续阴天谷电辅助供暖，节省费用。





1. 系统优势

太阳能采暖没有烟尘和污染物排放，比燃煤采暖每年节省 1500 元左右，室内温度可保持在 15℃ 以上。系统自动运行，不用填煤和掏灰，干净省事。技术简便易行，自动控制，确保使用安全。整个系统没有复杂的控制开关，不用任何操作，自动运行，减轻劳动强度，适合广大农村家庭使用。

2. 推广意义

以太阳能为主的多能互补采暖技术，为解决农村冬季取暖探索出了一条节能减排新路子，为发展农村低碳经济，指明了方向，是解决农村冬季采暖的一项革新性技术，经济省钱，促进了农村居民的生活质量提升，发展前景广阔，适合大面积推广。



3. 案例概况

2006年在河北省秦皇岛市昌黎县推广以来，技术不断更新迭代，推广应用效果和用户体验越来越好。2008年，秦皇岛市新能源办公室、河北省农村能源协会、河北省太阳能利用行业协会在全市及全省推广四位一体太阳能多能互补采暖项目，2013年推广了几百户，其中三海关陈庄的项目实施由市新能源办编写了《太阳能多能互补采暖房技术简介》，在河北省新能源办推广。2018年公司中标唐山市太阳能推广项目680户，每户300支太阳能管。其中卢龙六街用户使用16年了，主体设备运行正常，没有辅助热源，用户满意度高。技术更新后，在卢龙倪家庙村改造的二层节能房340平方米，使用几年电锅炉辅助系统很少使用，温度最低15℃，还可以四季提供生活热水，使用率高，自动控制，适宜农村老人傻瓜式操作，使用特别满意。

4. 综合效益

以一套100平方米的太阳能房计算，整套采暖系统投资2.5万元，使用寿命20年，平均每年费用1250元左右。使用传统炉子和暖气，费用5000元左右，使用寿命10年，每年500元，加上每年购煤4吨约4800元，共需开支5300元。同比太阳能采暖，每年节省4000多元，减少了粉尘和二氧化碳排放量7-8吨左右，从而实现新农村住宅低碳环保、可持续、可复制、可推广应用模式，实现了新农村住宅推广的标准化、部件预制化、系统智能化、用能低碳化。

案例 09：全陶瓷太阳能光热构建无煤生态村解决方案

山东天虹弧板有限公司研发生产的陶瓷太阳板，是全陶瓷太阳能光热产品、绿色建材。产品基体为普通陶瓷，表面立体多孔钒钛黑瓷形成阳光陷阱，从而增强吸引阳光的效果。此外，陶瓷太阳板内有釉层，理论寿命非常长；成本低、效率高、耐高温、全水介质、不结垢、生产、使用低能耗，几乎零污染。阳光吸收比 0.94 不会衰减，板重 20kg /m²，容水量 8kg/m²。普通陶瓷是成本最低、寿命最长的工程材料之一，钒钛黑瓷是成本最低、寿命最长的太阳能吸收材料。

陶瓷太阳能热水系统由陶瓷太阳板、管道、水泵、低于屋面的保温水箱、控制器组成，管道最高点与大气相通，平时全部水在保温水箱中；当阳光照射屋面，陶瓷太阳板温度超过水箱水温时，水泵自动启动，普通水自下而上经过陶瓷太阳板与水箱加热循环，当水箱水温接近陶瓷太阳板温度时，水泵自动停止运行，全部水回到水箱中，以自动落水方法防冻。

1. 优势

陶瓷太阳板低成本、高效率、长寿命等特点，可以有效解决太阳能集热体材料的成本和可靠性问题。同时，陶瓷太阳板的全陶瓷结构，不仅可以降低建筑的能耗，还可以与建筑一体化，扩大阳光能集热面积，使建筑几乎不增加费用就可以得到能源屋面。此外，陶瓷太阳能集热板取得国家建材行业标准，这为全球推广可再生能源和实现碳中和提供了非常好的技术支持。

2. 适用场景

城市、农村取暖供热的国内外陶瓷太阳能屋面、房顶建筑市场。

农业大棚，畜禽养殖，沼气池加热，海水养殖。

盐湖提锂。

中低纬度地区集热、储能，中温制冷和发电能源中心，海水淡化。

与建筑一体化而不增加建筑造价，具有在气候灾难后重建中发挥重要作用的潜力。

3. 推广意义

陶瓷太阳板可以为解决三农问题和推进乡村振兴提供支持。通过在农村地区建设无煤生态村，利用陶瓷太阳板提供采暖和热水，可以降低农民家庭的能源支出，同时减少对传统能源的依赖。配合建筑节能和危房改造政策进行最低成本的改造，改善农居的基础设施，提高居民的生活质量和安全性。利用陶瓷太阳板发展农业生产，可以为农民提供额外的收入，同时帮助改善当地的经济状况。此外，通过开发无煤生态村，乡村旅游度假村项目，可以促进当地经济发展，吸引更多的游客来到这些地区，为当地的商业和旅游业带来更多的机会。

碳中和需要低碳电能和低碳热能，陶瓷太阳板可以提供大规模低碳、低成本中低温热能，是一种可再生能源产品和环保材料。



4. 案例概况

河北省唐山市滦县滦州镇范庄村农户自发采用陶瓷太阳板集热系统进行冬季采暖，其中最特色的为崔宅。该农宅建筑面积约 200 平方米，南向单坡屋面设置约 100 平方米的陶瓷集热器。用能末端为地板盘管，辅助热源为 3000W 电加热棒。与一般非节能农宅不同，该建筑采用了 EPS 模块进行建造。经用户反映，在室外气温为 -13℃ 时，室内无需辅助加热即可达到室温 15℃ -18℃。当室外温度为 -17℃ 时，启动电辅助加热系统，可以保证室内的温度适宜。

5. 投资成本

新建陶瓷太阳能屋面售价约为 450 元 / 平方米，国家标准瓦片屋面价格 300-700 元 / 平方米。陶瓷太阳能屋面与建筑一体化，取代国家标准瓦片屋面，降低初始投资，提高屋面集热面积，提升系统使用效率，能够在几乎不增加建筑投资的情况下，提供清洁的可再生能源。

6. 使用情况

2015 年 9 月唐山滦县滦州镇范庄村锚桩结构一面坡陶瓷太阳能屋面农房，保温墙体、中空玻璃窗。目前仍在正常使用。

7. 综合效益

1m² 陶瓷太阳板平均 1 年可以产生热能相当 120kg 标准煤。50m² 的独立农户屋面相当于 6 吨标准煤。在太阳能丰富的地区可以收集产生更多能量。通过将其整合到建筑设计中，可以实现建筑能源的自给自足，从而大幅度降低建筑能耗和碳排放。与国家推行的建筑节能，危房改造，乡村振兴政策相结合，真正实现建筑超低零耗能。减少农户取暖费用和地方政府取暖补助费用。与建筑美学结合，可创新出更多符合人类需求和环境友好的建筑设计。



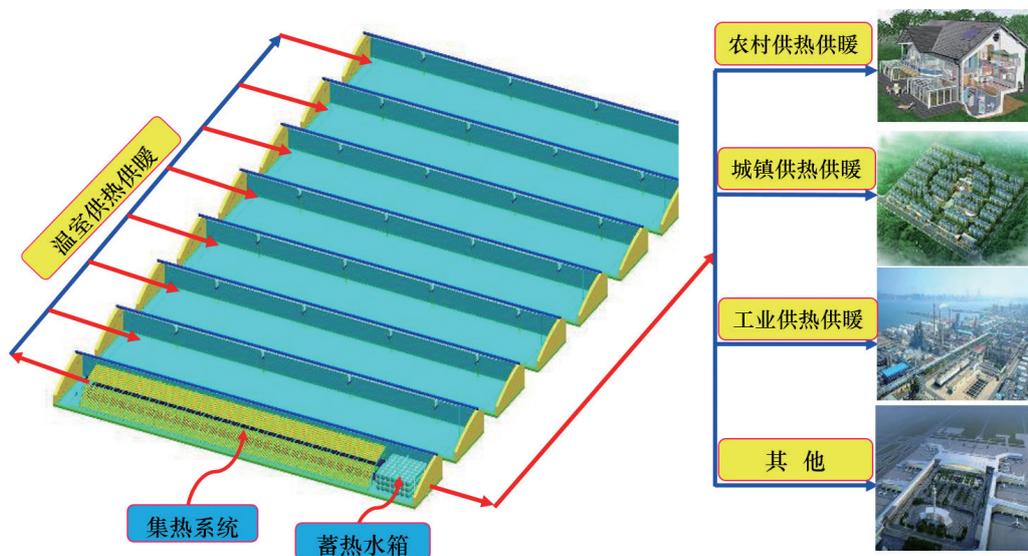
案例 10：零碳清洁能源和高效农业一体化解决方案

开发大型零碳“能源工厂+植物工厂”一体化产业化基地，为协同推进碳达峰碳中和、清洁供热供暖、高效农业发展、乡村振兴等提供系统性、综合性解决方案。

1. 解决方案

发展高效农业，促进乡村振兴，结合北方地区丰富的太阳能资源，北京中柏能环科技有限责任公司研发了太阳能光热+高效温室一体化系统解决方案。该系统取得三方面突破，一是优化能源系统设计，切实提高太阳能系统效率，降低初始投资和运行成本；二是优化设施农业系统设计，发展高效现代农业，建立以“绿色、低碳、循环、优质、高产、高效、健康、环保”为特征的现代农业体系；三是开发高效种植技术，提升农产品产量和品质。

该新型系统冬季居民供暖成本不超过 25 元/平方米，大棚供暖成本不超过 10 元/平方米，显著低于煤改气和煤改电，可降低政府财政补贴压力和用户用能成本。西红柿产量可达到 3~5 万斤/亩，农作物产量可达到全国先进水平甚至领先水平，为协同推进碳达峰碳中和、绿色低碳发展、清洁供暖、乡村振兴提供新的路径。



2. 运行情况

2.1 第一代系统（2018 年）

新型太阳能系统对比传统系统的寒冬西红柿生长情况，新型系统冬季效率达 40%，比传统系统提高 50% 以上。冬季低至 -26℃，没有外界供热的情况下，实现了农作物全年有效生长。新型太阳能系统没有辅助系统，实现了以太阳能为主体能源进行冬季清洁供暖。

2.2 第二代系统（2019年）

500亩农业园区经营管理实践，年产水果蔬菜200多万斤。建成400平方米太阳能温室，为2400平方米大棚供暖，运行成本下降50%左右。实现部分品种西红柿高产，亩产约3万斤。

2.3 第三代系统（2020年）

项目为5000平方米温室或者1000平方米建筑进行供热供暖，示范项目采用二十多项新技术，主要技术指标达到设计要求。从运行看，供暖成本约1500元/户（60平方米/户），比天然气或电力下降50%以上。每亩西红柿产量3~5万斤，达到全国先进水平甚至领先水平。每亩实现节能约50吨标准煤，减排二氧化碳约100吨。

2.4 新一代系统

大型能源工厂+植物工厂，系统主要包括：温室结构、覆盖材料、太阳能集热蓄热系统、增温降温系统、滴灌施肥系统、雨水回收系统、循环风扇、基础等10多个子系统。投资回收期4至6年（未包括国家、省、市、县支持政策）。

3. 效益分析

积极打造大型零碳“能源工厂+植物工厂”基地，成为我国高科技农业展示平台之一，输出清洁能源，促进就业，实现节能降碳，降本增效。主要建设内容包括基建、温室主体、覆盖材料、储能系统、保温系统、增温系统、降温系统、通风系统、遮阳系统、水肥一体化系统、配电系统、监控系统、包装系统、冷藏系统、观光廊道、展示中心、辅助和附属设施等。

3.1 以60亩示范项目为例，投资约3000万元，项目建成达产后，年产绿色无公害蔬菜约120万斤，供热3万吉焦，节能1200吨标准煤，减排二氧化碳2400吨，年产值约1200万元（未包括节能减碳效益），带动就业120人，投资回收期约6年。

3.2 以500亩基地为例，投资约1.8~2亿元，项目建成达产后，年产绿色无公害蔬菜约1000万斤，供热25万吉焦，节能1万吨标准煤，减排二氧化碳2万吨，年产值约1亿元（未包括节能减碳效益），带动就业1000人，投资回收期约5~6年。

3.3 大型零碳能源和高效农业一体化基地项目，投资约50万元/亩（含居民供暖），产值约20万元/亩，带动就业2人/亩；投资约30万元/亩（不含居民供暖），产值约15万元/亩，带动就业2人/亩。

案例 11：西峡县农产品加工领域生物质烘烤案例

利用秸秆、稻壳、花生壳、树枝、香菇袋等农林废弃物，经过破碎烘干、挤压切块、变成合适大小的生物质燃料，装入烘烤炉料仓，由芯片控制送料装置，按照系统设置向燃烧室定时定量推送燃料，燃烧室采用一、二次配风相匹配的燃烧技术，使燃料得到充分燃烧，废料自动脱落至废料仓。风机根据烘烤房的温湿度变化，自动变速调节，使农作物产品在烤房中有良好的烘烤环境。



1. 优势

禹州市方正炉业有限公司研发的生物质烘烤炉，根据用户燃料特性定制燃烧室，达到充分利用农林废弃物热值的效果，将更多不可作为燃料的农业废物再次利用（例如香菇袋），减少用户使用成本。烘烤工艺可以根据农作物的不同，制定不同的烘烤方案，保证烘烤出高品质的产品。设备具有一键启动、智能烘烤等功能，降低烘烤炉使用的复杂程度，并且可以通过网络进行远程监控，实时调节，降低烘烤风险的出现概率。

2. 适用场景

适用于香菇、辣椒、菊花、药材等农作物产品烘烤，以及粉条、粉皮、面筋等二次加工产品烘烤。



3. 案例概况

河南省南阳市西峡县国喜香菇种植专业合作社生产基地与禹州市方正炉业有限公司合作，使用以废弃香菇袋作为主要燃料的生物质烘烤炉，将之前视为负担的香菇袋作为烘烤香菇的燃料，降低了当地香菇产业的烘烤成本，提升了香菇的品质。

4. 特点意义

以废弃香菇袋作为主要燃料的烘烤炉，将之前视为负担的香菇袋作为烘烤香菇的燃料，降低当地香菇产业的烘烤成本。可将更多的生物质废弃物作为燃料使用，充分利用生物质本身热值，减少农林废弃物的产生。燃料成本低，降低烘烤产品费用，提升用户经济收益。

5. 投资成本

用户购买烘烤炉和烤房等设备，公司提供设备、人员培训、安装指导等服务。

6. 使用情况

西峡县国喜香菇专业合作社原来使用燃煤烘烤设备 5 台，燃烧方式粗放，需要有经验的师傅进行监管和色泽判断才能保证香菇品质，烘烤成本 2 元 / 斤左右。现在安装了 1 台方正炉业公司的智能生物质烘烤炉，用户将废弃香菇袋作为燃料利用，燃烧方式变为半气化，提升燃烧效率，烘烤的流程和方案通过智能芯片编程，减少了人力，烘烤房温湿度实时监测，更直观地反映了烘烤状态，通过网络就能远程实时监测、调整烘烤工艺等操作，不仅提升烘烤产品品质，烘烤成本也降为 2 毛 / 斤左右，大大提升了用户的经济效益。

7. 综合效益

使大量废弃的香菇袋“变废为宝”，替代化石能源，减少农林废弃物的处置成本，减少传统烧烤设备燃烧不完全产生的废气排放，切实提升当地用户的经济收益，实际收益翻两番多。

案例 12：大连农业设施大棚生物质供热项目案例

项目采用玉米秸秆、稻壳、花生壳、树枝等农林废弃物，经过破碎烘干、物理挤压、成型制粒，装袋制成生物质成型燃料，经过生物质专用螺旋绞龙推料系统进入热风炉燃烧室。燃烧室炉排采用往复式推动结构将燃烧后结渣的剩余物推到灰坑中，保证锅炉连续燃烧。轴流风机将大棚内的冷空气通过锅炉加温送出 150℃ 热风，将大棚内的温度提升至适宜农作物生长的环境温度。

1. 优势

对于生物质能作为清洁能源在广大农村地区推广，在政府推动和政策引导下，企业积极参与，打造了适用于农业设施大棚的供暖设备，消耗了当地的农业废弃物，取之于民用之于民。通过示范试点的建立，解决了当地政府禁烧秸秆的难题，用产品和服务赢得用户认可，企业同时获益，是一箭三雕的好事。未来，大连旺佳新能源科技开发股份有限公司将通过物联网建立一套“生物质专用锅炉物联网运营系统”，由监控中心对每一台锅炉进行尾气排放实时监控，客户需求可远程满足，实现实时处理故障、检修维护、燃料供给、停炉等功能，为用户提供完美的物联网服务体验。

2. 适用场景

农业设施大棚（花卉、樱桃、蓝莓）、鸡棚、猪舍、厂房冬季取暖。

3. 特点意义

可实现农作物反季节生产、提前上市、为农户增产增收，同时消耗当地的农业废弃物。

4. 案例概况

辽宁省大连市及北三市（瓦房店、普兰店、庄河）生物质成型燃料农业温室大棚供暖项目由大连市农业农村局与大连旺佳新能源科技开发股份有限公司共同实施推广，采用生物质颗粒燃料配套专用热风炉在广大农村地区（大连以樱桃、花卉、蓝莓、草莓等种植为主）进行农作物温室大棚增温供暖，促进大棚内种植物的生长、生产使用。



5. 投资成本

项目位于大连市普兰店区、瓦房店市、庄河市，建于 2018 年，总投资 480 万余元。其中，政府财政投入资金 220 万元，企业自筹资金 260 万元，推广使用生物质成型燃料专用热风炉 300 余台，惠及农户 200 余户，大棚使用 800 余座。

6. 使用情况

以普兰店市皮口镇花卉基地为例，该种植基地拥有 60 余个农业设施大棚，每个大棚 1000 平方米左右，棚高 2.8 米，主要种植绿萝、观赏竹等绿植。改造前棚内温度 0℃ 左右，绿萝生长缓慢。客户需要棚内温度在夜间达到 15℃。为满足棚内温度需求，前期安装了 20 台大连旺佳生物质锅炉，经过近 5 个月的使用，大棚种植的绿萝提前上市，而且价格由原来每盆 10 元提高到 20 元，产量大幅提升的同时，最大程度增加了农民收入，20 个棚增收达 150 余万元。在安装旺佳生物质热风炉之前，原来在大棚中间放一台燃煤土炉子，没有任何辅助设施，每个大棚需要 6 个人看管，更换旺佳生物质热风炉后，1 个人可同时看管 20 个大棚，省时省力。

7. 综合效益

项目 2018 年实施，每年可处理当地的秸秆、农业废弃物 2000 余吨，减少二氧化碳排放 7430 余吨，为当地农户增产增收效益是改造前的 2-3 倍。

参考文献

1. 付毕安，重视建筑节能改造，推进我国北方农村地区清洁取暖可持续发展，中国能源杂志，2023。
2. 中国能源研究会城乡电力（农电）发展中心，《中国农村能源发展报告》，2021年12月。
3. 王久臣，李惠斌，刘杰，《农村能源建设与零碳发展》，中国农业科学技术出版社，2021年10月第1版，第98页。
4. 《关于“凉州区2022年农村分散农户清洁取暖改造项目”进行社会稳定风险评估的公示》。
5. 《燃气采暖热水炉产品2021年度市场统计公告》。
6. 《燃气采暖热水炉产品2022年度市场统计公告》。
7. 《2022年中国热泵供暖产业发展年鉴》。
8. 《2022年中国太阳能光热行业运行状况报告》。



邮箱: contact@ccetp.cn

网址: <https://www.ccetp.cn/>