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 2024

# CHINA DISPERSED COAL MANAGEMENT REPORT 2024

北京大学能源研究院
INSTITUTE OF ENERGY

2024年9月24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。

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 2024》
《双碳背景下湖南省电力系统灵活能力优化分析研究》
《福建省双碳目标与行动路线图研究报告》
《中国散煤综合治理研究报告 2023》
《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2024

## CHINA DISPERSED COAL MANAGEMENT REPORT 2024

## 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

2024 年 9 月 24 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、覃露才、任彦波、田延平、童亚莉、王卫权、武亭、袁闪闪、岳涛、周晓竺

# 目录

# 前言

继 2013 年发布《大气污染防治行动计划》、2018 年发布《打赢蓝天保卫战三年行动计划》之后，2023 年 12 月，国务院印发了《空气质量持续改善行动计划》。散煤综合施治仍然是深入推进蓝天保卫战、持续改善空气质量的重要举措。

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，散煤消费量快速下降，尤其是大气污染防治的重点区域成效显著。伴随散煤消费结构、区域分布以及治理难度的变化，散煤治理进入稳中求进的新阶段。工业散煤治理兼顾减污降碳协同，在强化淘汰落后、以大代小、污控升级、清洁低碳能源替代等减量化和清洁化措施的基础上，针对特定区域的深度施治也是符合当前形式的策略选择。民用散煤治理的重难点在农村地区，加快推进农村电气化和建立以可再生能源为主的现代农村能源体系是发展趋势；减污降碳协同的技术路线是治理方向，重点区域以电和气为主、东北地区以“生物质 +”为主、西北地区以“可再生能源 +”为主的格局初步形成；在重点区域内巩固存量、在东北和西北地区有序新增，是区域性治理策略；政策统筹、技术选择因地制宜、经济可承受、运维有保障、用户自主参与、补贴精准高效且科学退坡等都是长效方案的重点议题。

散煤治理课题在本年度的研究中，更加关注区域差异化施治策略的推进。通过对重点区域、东北和西北地区的具体试点项目建设和运行情况的调研，分析散煤返烧的复杂成因，梳理运行补贴退坡和设备更新的进展，总结多能互补的多元化应用场景，观察农户自主参与意愿以及清洁取暖市场变化等，探析清洁取暖长效的解决方案，以及农村清洁低碳能源体系的建立，以期系统性解决农村用能问题，助力碳中和目标的实现。

贺克斌

2024 年 9 月 24 日

# 第一章 2023年散煤治理回顾

2023 年是散煤综合治理稳中求进的一年。工业散煤治理在煤炭减量、清洁替代与污控升级等方面持续深入，工业小锅炉和小窑炉（建材行业）的散烧煤用量整体保持下降趋势。民用散煤治理在热源清洁和低碳化方面更加务实，北方地区清洁取暖率提升了一个百分点，在农村地区累计完成 3900 万户的清洁取暖改造，虽然农村建筑能效提升进展低于预期，但农村居民对节能降耗、清洁取暖的自主意识逐步加强，农村地区可再生能源利用规模不断扩大，清洁取暖市场竞争格局以及新的业态正在形成。散煤治理的诸多成效对环境质量改善，尤其是室内人体健康水平的提高，发挥重要作用并产生积极效益。

## （一）散煤治理政策措施要求清洁化与低碳化协同

“十四五”期间，减污降碳协同增效是散煤治理策略的重心。工业小锅炉治理政策更加关注清洁替代与污控升级；建材行业小窑炉治理较工业小锅炉治理相对起步较晚，在淘汰落后、结构调整等减量化措施方面，仍具潜力；民用部门散煤治理仍以农村地区为难点和重点，其治理政策更加重视可再生能源发展，从热源清洁低碳化逐步走向农村清洁低碳能源体系的建立。

### （1）燃煤小锅炉治理政策逐步强化清洁替代与超低排放

基于燃煤锅炉节能降耗和污染物减排综合整治相关政策调研， 自《大气污染防治行动计划》（简称“大气十条”）实施以来，中国燃煤锅炉综合整治历程可分为 2013-2018、2018-2020 和 2020- 至今三个阶段，综合整治方式主要包括煤炭清洁利用、能源结构调整和污控技术升级方面的 5 项治理措施，如表 1-1 所示。

## 表 1-1：“大气十条”实施以来燃煤锅炉综合整治历程分析

| 类型 | 具体措施 | 实施情况 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 2013-2017<br>小锅炉快速淘汰、污控技术逐步升级 | 2018-2020<br>加大小锅炉淘汰力度、提高污控技术升级力度 | 2021-2025<br>巩固小锅炉淘汰成果、推动污控技术向超低排放发展 |
| 煤炭清洁利用 | 煤炭洗选提高 | 2017 年原煤入选率达 70% 以上 | 推广洁净煤 | 无新增要求 |
| 能源结构调整 | 锅炉禁建限建 | • 地级及以上城市建成区：<20 t/h<br>• 其他区域：<10 t/h | • 县级及以上城市建成区：<35 t/h<br>• 其他区域：<10 t/h | 无新增要求 |
| | 小锅炉直接淘汰 | • 地级及以上城市建成区：≤10 t/h<br>• 北方地区：“2+26”城市城区 <35 t/h、县城和城乡结合部 <20 t/h、其他地区城市城区；其他地区城市城区 <20 t/h | • 县级及以上城市建成区：≤10 t/h<br>• 重点区域：<35 t/h | • 供热管网覆盖范围内的燃煤锅炉和散煤<br>• 重点区域 ≤35 t/h<br>• 其他区域：$PM_{2.5}$ 未达标城市基本淘汰 ≤10 t/h |
| | 清洁能源替代 | 煤改气、煤改电、煤改生物质等 | | |
| 污控技术升级 | | • ≥20 t/h 燃煤锅炉安装高效脱硫和高效除尘设施<br>• 低氮燃烧技术改造示范 | 重点区域：≥65 t/h 燃煤锅炉全部完成超低排放改造 | • 重点区域燃煤锅炉全面实现超低排放<br>• 大气污染物与温室气体排放协同控制改造提升工程试点<br>• 生物质锅炉高效除尘和脱硝技术 |

**煤炭清洁利用。**煤炭清洁利用在中国的提出较早，该措施主要是指通过加大煤炭洗选比，提高煤炭的清洁利用水平。《北方地区冬季清洁取暖规划》中明确要求，“提高供热燃煤质量，优先燃用低硫份、低灰分的优质煤”。**随着原煤入洗率的不断提高，近年来在国家层面的减污降碳协同相关政策中提及较少。**

**锅炉禁建限建。**该措施具体是指分区域对新建锅炉容量提出要求。“大气十条”提出，“除必要保留的以外，地级及以上城市建成区禁止新建每小时 20 蒸吨以下的燃煤锅炉；其他地区原则上不再新建每小时 10 蒸吨以下的燃煤锅炉”；“蓝天保卫战三年行动计划”（简称“三年行动计划”）提出，“县级及以上城市建成区原则上不再新建每小时 35 蒸吨以下的燃煤锅炉，其他地区原则上不再新建每小时 10 蒸吨以下的燃煤锅炉”，

这与 2018 年 11 月由市场监管总局、国家发改委和生态环境部联合发布的《关于加强锅炉节能环保工作的通知》要求基本一致，但其对于 35 蒸吨以下燃煤锅炉禁建要求明确为重点区域（京津冀及周边地区、长三角地区和汾渭平原）全域和其他地区县级及以上城市建成区。从“大气十条”实施以来，国家层面相关政策对于燃煤锅炉禁建限建要求不断加严，**“三年行动计划”之后的国家层面相关政策文件中未对禁建和限建锅炉容量新增明确要求。**

**小锅炉直接淘汰。**该措施主要是针对落后和分散锅炉提出淘汰要求，小锅炉直接淘汰方式包括拆除取缔、烟道或烟囱物理切断以及“以大代小”。“大气十条”提出的淘汰对象为地级及以上城市建成区每小时 10 蒸吨及以下的燃煤锅炉；“三年行动计划”进一步将每小时 10 蒸吨及以下燃煤锅炉淘汰由地级及以上城市建成区加严为县级及以上城市建成区，将每小时 35 蒸吨以下燃煤锅炉淘汰由重点城市城区加严为重点区域全域；随后，国家层面陆续发布了针对京津冀及周边地区的秋冬专项攻坚行动方案，进一步细化了京津冀及周边地区小锅炉淘汰方案；《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中将每小时 10 蒸吨及以下燃煤锅炉确定为淘汰类产品；2020 年以后相关政策转变为对供热管网覆盖范围内的小锅炉淘汰，这主要是因为一方面其他小锅炉淘汰进程已基本完成，另一方面区域供热管网基础建设逐步提升；《重污染天气消除攻坚行动方案》中将燃煤锅炉淘汰对象由“每小时 35 蒸吨以下”扩大为“每小时 35 蒸吨及以下”燃煤锅炉，实施区域也扩大为“京津冀及周边地区、汾渭平原、东北地区和天山北坡城市群”。《空气质量持续改善行动计划》依据 $PM_{2.5}$ 达标情况针对其他区域提出基本淘汰 10 蒸吨 / 小时及以下燃煤锅炉。**国家层面相关政策对于燃煤小锅炉淘汰力度不断加强变严，体现在锅炉容量和淘汰实施区域两个方面。**

**清洁能源替代。**该措施主要是指因地制宜开展“煤改气”、“煤改电”、“煤改生物质”等清洁能源替代。“大气十条”对京津冀区域城市建成区、长三角城市群、珠三角区域的“煤改气”提出明确要求，在供热供气管网不能覆盖的地区，改用电、新能源或洁净煤；《北方地区冬季清洁取暖规划》，进一步提出加快发展生物质锅炉供暖、有条件城市城区和县城优先发展天然气供暖和积极推进各种类型电供暖；考虑到清洁能源的区域差异性，“三年行动计划”中提出了清洁能源替代的的基本原则“坚持从实际出发，宜电则电、宜气则气、宜煤则煤、宜热则热”；在国家“双碳”目标实施推动下，《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》、《“十四五”节能减排综合工作方案》、《减污降碳协同增效实施方案》和《重污染天气消除攻坚行动方案》中均提出要加快煤炭减量步伐，着重强调了清洁能源替代的重要性。总的来说，**国家层面相关政策对于燃煤锅炉清洁能源替代的实施力度不断加强，一方面是因为随着小锅炉淘汰力度的不断加大和落实，小锅炉直接淘汰带来的减污降碳效益逐步下降；另一方面，中国“双碳”目标实施压力下，煤炭减量化是推动能源结构调整的首要手段。**

**污控技术升级。**该措施主要是通过加强除尘、脱硫、脱硝，提高燃煤锅炉烟气污染物排放控制水平。“大气十条”中明确要求“每小时 20 蒸吨及以上的燃煤锅炉要实施脱硫”，“燃煤锅炉现有除尘设施要实施升级改造”；随后，“三年行动计划”从国家层面提出重点区域每小时 65 蒸吨及以上燃煤锅炉超低排放改造要求；《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》、《“十四五”节能减排综合工作方案》和《减污降碳协同增效实施方案》等政策，进一步提出“重点区域燃煤锅炉全面实现超低排放”，《减污降碳协同增效实施方案》提出“探索开展大气污染物与温室气体排放协同控制改造提升工程试

点”；此外，随着生物质锅炉的快速发展，生物质锅炉大气污染物末端治理提上日程，《重污染天气消除攻坚行动方案》提出生物质锅炉采用专用锅炉，配套布袋等高效除尘设施，氮氧化物排放难以达标的应配套脱硝设施。总的来说，**在大气污染防治技术不断发展和环境空气质量不断改善的推动下，国家层面相关政策从常规污染物升级改造转变为超低排放改造，且生物质锅炉大气污染末端治理提上日程**。

综上所述，随着我国环境管理要求不断加严以及“双碳”目标的推动，中国燃煤锅炉综合整治已由“煤炭清洁利用”、“禁建和限建”、“小锅炉淘汰”、“清洁能源替代”、“污控技术升级”节能环保综合提升措施多管齐下，转变为“清洁能源替代”和“超低排放改造”的减污降碳协同，措施的区域差异化显著，治理力度不断加强变严。

## （2）燃煤小窑炉治理政策仍以煤炭减量化和达标排放为主

相对于电站锅炉和工业锅炉，工业炉窑的污染治理略显滞后。结构调整中的淘汰落后以及大气污染防治末端治理中的全面达标排放是工业小窑炉综合整治的关键性措施。

其中，《产业结构调整指导目录（2019 年本）》对相关产业的工业小窑炉关停淘汰提出了明确要求。同时，2019 年，生态环境部、国家发展和改革委员会、工业和信息化部、财政部联合印发的《工业炉窑大气污染综合治理方案》提出，完善工业炉窑大气污染综合治理管理体系，推进工业炉窑全面达标排放，京津冀及周边地区、长三角地区、汾渭平原等大气污染防治重点区域工业炉窑装备和污染治理水平明显提高。2023 年国务院印发的《空气质量持续改善行动计划》进一步提出，实施工业炉窑的清洁能源替代。有序推进以电代煤，积极稳妥推进以气代煤。

总体来看，当前工业小窑炉的治理措施，主要包括淘汰关停、清洁能源替代、污控升级和能效提升。工业窑炉治理正在从传统燃煤窑炉向天然气、电能驱动的高效窑炉转变，从高能耗、高污染向低能耗、低排放转变。工业窑炉正在朝着大型化、低能耗、低排放的方向发展。

## （3）清洁取暖政策更加重视清洁低碳能源系统的建立

近年来，国家和地方出台了一系列秋冬季大气污染防治、北方地区清洁取暖、美丽乡村建设等相关政策文件。在清洁化和低碳化的战略指引下，北方地区清洁取暖从最初的气、电代煤，到理性的清洁化技术路线，再到多能互补的现代农村能源体系，清洁取暖政策正在向更加深远的清洁低碳能源系统建设融合。民用散煤治理的相关政策如表 1-2 所示。

自“大气十条”发布后，京津冀率先开始探索秋冬季民用散煤清洁化。2016 年 12 月 21 日，习近平总书记在中央财经领导小组第十四次会议上首次提出推进北方地区冬季清洁取暖。2017 年，《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021 年）》正式实施，北方地区清洁取暖改造工程在大气污染防治的重点区域大规模推进，“煤改气”和“煤改电”成为了早期最主要的技术路线。2018 年，“三年行动计划”强调，安全取暖过冬，在技术路径上在“四宜原则”（宜电则电、宜气则气、宜煤则煤、宜热则热）的基础上，扩

增“宜煤则煤、宜热则热”。自此，农村清洁取暖改造工程的技术选择开始回归理性，各地基本形成以县域为中心辐射农村的发展格局。

2021 年，《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》《2030 年前碳达峰行动方案》等政策文件发布，围绕碳达峰、碳中和的“1+N”政策体系加快形成，推进农村清洁取暖走向清洁化和低碳化的新局面。

2022 年发布的《减污降碳协同增效实施方案》提出，实施可再生能源替代行动，将清洁取暖财政政策支持范围由京津冀及周边地区扩大到整个北方地区，推动能源绿色低碳转型，将清洁取暖纳入“双碳”目标统筹推进。2023 发布的《农村能源革命试点县建设方案》提出，探索建设多能互补的分布式低碳综合能源网络，加快推进可再生能源非电开发，因地制宜推动地热能、太阳能、生物质能清洁供暖，探索建设乡村能源站。同年，国务院发布了《空气质量持续改善行动计划》，将大气污染防治重点区域从原京津冀及周边地区“2+26”城市调整为“2+36”城市，明确提出了推进北方清洁取暖的工作重心由大规模提高清洁取暖比重转向巩固存量和有序新增，并强调了农村种植业、养殖业，还有农产品加工业等散煤替代。从各省市陆续出台的配套方案（参见表 1-3）来看，重点地区除北京提出能源低碳化发展、河北提出巩固拓展清洁取暖成果之外，其他地区基本仍以持续推进清洁取暖改造为主，只是改造的重点逐步由平原转向山区；而非重点地区散煤治理开始充分结合地方资源禀赋、经济水平等，试点探索可再生能源取暖，如陕西积极开展地热资源利用，甘肃大力推广“太阳能 +”清洁取暖模式，吉林全省推广秸秆打捆直燃集中供暖等适合农村的清洁取暖技术等。此外，山西、河北、山东和内蒙古在实施方案中明确提出了将在农业生产领域推进散煤替代。国家能源局印发的《2023 年能源工作指导意见》和《2024 年能源工作指导意见》连续两年提出实施“千乡万村驭风行动”和“千家万户沐光行动”。

从民用散煤治理和北方清洁取暖政策发展来看，我国民用散煤治理已经从清洁化转向减污降碳协同，从电、气为主的散煤替代转向多能互补的能源利用模式，从单一的清洁热源改造转向以可再生能源发展为主体的农村绿色低碳能源体系的建立，这些政策的有效落实将推动农村能源转型和双碳目标的实现，并成为美丽乡村建设的重要内容。

## 表 1-2：民用散煤治理相关的政策文件及主要内容梳理

| 发布时间 | 文件名称 | 相关重点内容摘要 |
| --- | --- | --- |
| 2013.09.10 | 《大气污染防治行动计划》 | **推进煤炭清洁利用**。<br>扩大城市高污染燃料禁燃区范围，逐步由城市建成区扩展到近郊。结合城中村、城乡结合部、棚户区改造，逐步推行以天然气或电替代煤炭。<br>鼓励北方农村地区建设洁净煤配送中心，推广使用洁净煤和型煤。 |

| 发布时间 | 文件名称 | 相关重点内容摘要 |
| --- | --- | --- |
| 2013.09.17 | 《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》 | 实施范围：北京、天津、河北、山东、山西、内蒙古。<br>全面淘汰燃煤小锅炉；全面推进煤炭清洁利用；实施清洁能源替代；削减农村炊事和采暖用煤，加大罐装液化气和可再生能源炊事采暖用能供应。 |
| 2013.09.10 | 《北京市 2013 年农村地区“减煤换煤、清洁空气”行动实施方案》 | 按照城市化改造上楼一批、拆除违建减少一批、炊事气化解决一批、城市管网辐射一批、优质燃煤替代一批 ( 简称“五个一批”) 的方式推进郊区农村地区“减煤换煤、清洁空气”行动。重点在农村地区实施优质燃煤替代、取暖煤改电、天然气入户、太阳能热利用、液化石油气下乡及沼气利用、农民住宅抗震节能改造和城镇化建设等工程。 |
| 2013.10.17 | 《天津市清新空气行动方案》 | 削减农村原煤散烧；综合施策削减农村炊事和采暖用煤，加大罐装液化气和可再生能源炊事采暖用能供应；推广乡镇、村洁净煤使用；大力推广农房太阳能利用。 |
| 2014.09.27 | 河北省《关于加快全省洁净型煤推广工作的通知》 | 加大洁净型煤推介力度。各级政府和相关部门要担负起宣传推广使用洁净型煤的职责，分片包村，责任到人。各型煤企业要积极作为，通过印发宣传单、在乡村设立试烧点等形式，加大型煤产品推介力度。 |
| 2016.12.21 | 中央财经领导小组第十四次会议 | **推进北方地区冬季清洁取暖。**关系北方地区广大群众温暖过冬，关系雾霾天能不能减少，是能源生产和消费革命、农村生活方式革命的重要内容。 |
| 2017.05.16 | 《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》 | 中央财政支持试点城市推进清洁方式取暖替代散煤燃烧取暖，并同步开展既有建筑节能改造，鼓励地方政府创新体制机制、完善政策措施，引导企业和社会加大资金投入，实现试点地区散烧煤供暖全部“销号”和清洁替代，形成示范带动效应。 |
| 2017.12.05 | 《北方地区冬季清洁取暖规划 (2017-2021 年)》 | **全面推进，重点先行。**全面统筹推进城市城区、县城和城乡结合部、农村三类地区的清洁取暖工作。以京津冀大气污染传输通道的“2+26”个重点城市为重点，在城市城区、县城和城乡结合部、农村地区全面推进清洁供暖。 |
| 2018.01.02 | 《中共中央 国务院关于实施乡村振兴战略的意见》 | 实施农村人居环境整治三年行动计划。<br>推进北方地区农村散煤替代，有条件的地方有序推进煤改气、煤改电和新能源利用。 |
| 2018.06.27 | 《打赢蓝天保卫战三年行动计划》 | **有效推进北方地区清洁取暖。**<br>集中资源推进京津冀及周边地区、汾渭平原等区域散煤治理，优先以乡镇或区县为单元整体推进。<br>平原地区基本完成生活和冬季取暖散煤替代；对暂不具备清洁能源替代条件的山区，积极推广洁净煤，并加强煤质监管，严厉打击销售使用劣质煤行为。 |
| 2021.09.22 | 《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》 | **加快构建清洁低碳安全高效能源体系。**<br>实施可再生能源替代行动，大力发展风能、太阳能、生物质能、海洋能、地热能等，不断提高非化石能源消费比重。 |

| 发布时间 | 文件名称 | 相关重点内容摘要 |
| --- | --- | --- |
| 2021.10.24 | 《2030 年前碳达峰行动方案》 | 积极推动严寒、寒冷地区清洁取暖。因地制宜推行热泵、生物质能、地热能、太阳能等清洁低碳供暖。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。 |
| 2021.12.29 | 《加快农村能源转型发展助力乡村振兴的实施意见》 | **大力发展乡村能源站**。<br>在全国乡村振兴重点帮扶县优先推进农村能源绿色低碳试点。<br>大力推广太阳能、风能供暖。积极推动生物质能清洁供暖。因地制宜推进地热能供暖。 |
| 2022.06.10 | 《减污降碳协同增效实施方案》 | **推动能源绿色低碳转型**。实施可再生能源替代行动，大力发展风能、太阳能、生物质能、海洋能、地热能等。<br>推动北方地区建筑节能绿色改造与清洁取暖同步实施。<br>**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。 |
| 2022.12.26 | 《关于促进北方地区清洁取暖持续向好发展的意见》 | 今后逐步将北方地区冬季清洁取暖重心由大规模提高清洁取暖比重为主，转到巩固存量和有序新增上。 |
| 2023.03.23 | 《农村能源革命试点县建设方案》 | 探索建设多能互补的分布式低碳综合能源网络。加快推进可再生能源非电开发。因地制宜推动地热能、太阳能、生物质能清洁供暖。探索建设乡村能源站。 |
| 2023.11.30 | 《空气质量持续改善行动计划》 | **持续推进北方地区清洁取暖**。<br>因地制宜成片推进北方地区清洁取暖。各地依法将整体完成清洁取暖改造的地区划定为高污染燃料禁燃区，防止散煤复烧。有序扩大中央财政支持北方地区清洁取暖范围，对减污降碳协同项目予以倾斜。 |
| 2023.12.27 | 《关于全面推进美丽中国建设的意见》 | 大力发展非化石能源，加快构建新型电力系统。开展多领域多层次减污降碳协同创新试点。推动能耗双控逐步转向碳排放总量和强度双控，加强碳排放双控基础能力和制度建设。 |
| 2024.03.05 | 《2024 年中央和地方预算草案报告》 | 持续深入推进污染防治攻坚。中央财政大气污染防治资金安排 340 亿元。促进可再生能源和清洁能源发展，推动加快建设新型能源体系。 |

## 表 1-3：围绕《空气质量持续改善行动计划》地方政策文件的相关摘要

| 文件名称 | 农村生活散煤治理 | 农业生产散煤治理 |
| --- | --- | --- |
| 国务院《空气质量持续改善行动计划》 | **持续推进北方地区清洁取暖。**<br>因地制宜成片推进北方地区清洁取暖，确保群众温暖过冬。加大民用、农用散煤替代力度，重点区域平原地区散煤基本清零，逐步推进山区散煤清洁能源替代。纳入中央财政支持北方地区清洁取暖范围的城市，保质保量完成改造任务，其中“煤改气”要落实气源、以供定改。全面提升建筑能效水平，加快既有农房节能改造。各地依法将整体完成清洁取暖改造的地区划定为高污染燃料禁燃区，防止散煤复烧。对暂未实施清洁取暖的地区，强化商品煤质量监管。<br>有序扩大中央财政支持北方地区清洁取暖范围，对减污降碳协同项目予以倾斜。 | |
| 《推进美丽北京建设 持续深入打好污染防治攻坚战 2024 年行动计划》 | **推进能源低碳化发展。**<br>大力开展能源节约和能效提升，严控化石能源消费总量，持续推进农村地区村庄清洁取暖。 | |
| 《河北省空气质量持续改善行动计划实施方案》 | **巩固拓展清洁取暖成果。**<br>加强天然气、电等能源保供，做好清洁取暖设备运行、维护，完善资金补贴长效机制。逐步推动山区散煤清洁能源替代。<br>依法将整体完成清洁取暖改造的地方划定为高污染燃料禁燃区，强化散煤管控，防止散煤复烧。 | 推进农业种植、养殖农户产品加工等散煤替代。 |
| 《山东省空气质量持续改善暨第三轮“四减四增”行动实施方案》 | **持续推进清洁取暖。**<br>因地制宜成片推进清洁取暖，加大民用、农用散煤替代力度，重点区域平原地区散煤基本清零，逐步推进山区散煤清洁能源替代。<br>依法将整体完成清洁取暖改造的地区划定为高污染燃料禁燃区，加强监督检查。 | 重点区域基本淘汰茶水炉、经营性炉灶、储粮烘干设备、农产品加工等燃煤设施。<br>引导规模化养殖场采用清洁能源供暖。 |
| 山西省落实《空气质量持续改善行动计划》实施方案 | **持续推进清洁取暖改造。**<br>稳妥推进中部城市群、上党革命老区、临运盆地散煤取暖替代工程。全面评估现有清洁取暖改造运行情况，持续优化改造方式或运行模式，巩固提升现有清洁取暖成果。全面提升建筑能效水平，加快既有农房节能改造。<br>各市县要依法将整体完成清洁取暖改造的地区划定为高污染燃料禁燃区和“禁煤区”，严防散煤复烧。对清洁取暖未覆盖的区域，强化民用散煤质量监管。 | 开展农用领域散煤使用情况排查，有序推进农业种植和养殖散煤清洁能源替代。 |

| 文件名称 | 农村生活散煤治理 | 农业生产散煤治理 |
| --- | --- | --- |
| 《河南省空气质量持续改善行动计划》 | **持续推进清洁取暖改造。**<br>加大民用散煤替代力度，因地制宜成片推进清洁取暖改造。到 2025 年采暖季前，全省平原地区散煤基本清零，稳妥推进山区散煤清洁能源替代。<br>依法将完成清洁取暖改造的地方划定为高污染燃料禁燃区，防止散煤复烧。对暂未实施清洁取暖改造的地方，加强洁净型煤生产供应和质量监管。 | |
| 陕西省《贯彻落实 < 空气质量持续改善行动计划 > 的实施意见 (2024-2025 年 )》( 征求意见稿 ) | **持续推进散煤治理清洁取暖。**<br>2024 年底关中平原地区民用散煤清零。2025 年清洁取暖试点城市主城区基本全部实现清洁取暖。在清洁能源不能覆盖的区域逐步推进散煤清洁能源替代。以关中 3 个重点片区为重点，推广经济环保、取暖效果好的取暖措施，开展优化提升清洁取暖行动。<br>积极开展地热资源化利用。<br>因地制宜科学制定关中 3 个重点片区重点乡镇（街道）农房节能改造试点示范方案。<br>依法将整体完成清洁取暖改造的地区划定为高污染燃料禁燃区，防止散煤复烧。禁燃区内散煤销售网点一律取消，加强对以直送、网络等方式流动销售散煤行为的监督检查，建立散煤监管联动协查机制。 | |
| 《甘肃省空气质量持续改善行动实施方案》 | **以试点城市为引领持续推进清洁取暖。**<br>兰州市、金昌市、武威市、临夏州要充分发挥清洁取暖示范作用，以多能互补的区域性和可再生能源供暖方式提高热源清洁化率，“煤改气”要落实气源以供定改。<br>天水市、平凉市、庆阳市、定西市、陇南市、甘南州要结合城市总体规划和发展实际，优先发展集中供暖，集中供热难以覆盖区域，立足实际成片推进清洁取暖，逐步减少民用散煤用量，确保群众温暖清洁过冬。<br>全面提升建筑能效水平，加快既有农房节能改造。各市 ( 州 ) 依法将整体完成清洁取暖改造的区域划定为高污染燃料禁燃区，防止散煤复烧；对暂未实施清洁取暖的区域，强化商品煤质量监管，确保煤质符合国家和行业标准要求，严厉打击劣质煤销售。 | |
| 《宁夏回族自治区空气质量持续改善行动实施方案》( 征求意见稿 ) | **因地制宜推进北方地区清洁取暖。**<br>全面提升建筑能效水平，加快既有农房节能改造。加强城乡配电网建设，实施农村电网巩固提升工程。<br>各地依法将整体完成清洁取暖改造的地区划定为高污染燃料禁燃区，防止散煤复烧。对暂未实施清洁取暖的地区，要加大民用、农用散煤替代力度，强化商品煤质量监督与管理，确保符合国家和地方标准要求，严厉打击劣质煤销售。 | |

| 文件名称 | 农村生活散煤治理 | 农业生产散煤治理 |
| --- | --- | --- |
| 《黑龙江省空气质量持续改善行动计划实施方案》 | **以试点城市为引领持续推进清洁取暖。**<br>充分发挥清洁取暖示范作用，以多能互补的区域性和可再生能源清洁供暖方式提高热源清洁化率。实施建筑节能改造，加快既有农房节能改造，提升建筑能效。<br>依法将整体完成清洁取暖改造的地区划定为高污染燃料禁燃区，防止散煤复烧。对暂未实施清洁取暖的地区，强化商品煤质量监督与管理。 | |
| 吉林省落实《空气质量持续改善行动计划》实施方案 | **加快推进清洁取暖建设。**<br>已列入国家北方地区冬季清洁取暖城市的地区，按照实施方案加快推进项目建设，鼓励其他城市积极申报北方地区冬季清洁取暖城市，推广秸秆打捆直燃集中供暖等适合农村的清洁取暖技术，逐步在全省推开。<br>依法将整体完成清洁取暖改造的地区划定为高污染燃料禁燃区，强化商品煤质量监管，防止散煤复烧。 | |
| 《辽宁省空气质量持续改善行动方案》（征求意见稿） | **持续推进北方地区清洁取暖。**<br>到 2025 年，重点城市城区、县城基本实现清洁取暖。已整体完成清洁取暖改造并稳定运行的地区要巩固清洁取暖成效，强化服务管理、完善清洁取暖长效机制、防止散煤复烧。加大民用、农用散煤替代力度，2024 年底前完成采暖期热点高值区周边，2025 年底前基本完成 9 个重点城市城区、县城清洁取暖改造。<br>严格执行销售煤炭质量标准，严厉打击劣质煤销售，开展散煤经销点监督检查，依法划定高污染燃料禁燃区，禁燃区内散煤销售网点全部取缔。 | |
| 《内蒙古自治区空气质量持续改善行动实施方案》 | **持续推进清洁取暖改造。**<br>全面提升建筑能效水平，加快既有农房节能改造。稳妥推进农村牧区居民生活、设施农牧业散煤替代。<br>各地区依法将整体完成清洁取暖改造的地区划定为高污染燃料禁燃区，加大监督检查力度，防止散煤复烧；对暂未实施清洁取暖的地区，强化商品煤质量监督与管理。2025 年底前，重点区域城中村、城乡结合部散煤基本清零。 | 稳妥推进设施农牧业散煤替代。 |

# （二）工业散煤消费量持续下降

在工业散煤治理领域，本报告重点追踪研究工业小锅炉和工业小窑炉（现阶段研究范围包括建材行业中的陶瓷、砖瓦、石灰等产业）的散煤消费情况。自“大气十条”实

施以来，我国工业散煤消费量实现了快速下降，在此基础上，2023 年，工业小锅炉和建材行业小窑炉的散煤消费持续保持下降趋势。

## （1）工业散煤治理仍需保持定力

工业小锅炉和建材行业小窑炉的散煤用量变化及趋势如图 1-1 所示。据初步统计，“十三五”期间，我国工业小锅炉和建材行业小窑炉的散煤消费量实现了快速下降。2020 年，工业小锅炉和建材小窑炉的散煤消费量在 2015 年的基础上，下降了 66%。

“十四五”期间，在环境、能源、气候等多重目标要求下，工业小锅炉和建材行业小窑炉的散煤用量持续走低，2023 年，工业散煤消耗量同比下降了 13%，在 2020 年的基础上下降了约 50%；在“十四五”后期，随着“空气质量持续改善行动计划”在地方层面的落实，工业领域的淘汰落后进度将进一步加快，工业散煤的清洁替代与减量化工作将在更广泛的区域内推进，预计 2025 年有望实现在 2020 年的基础上下降 90% 的目标，即工业散煤消费趋向清零。

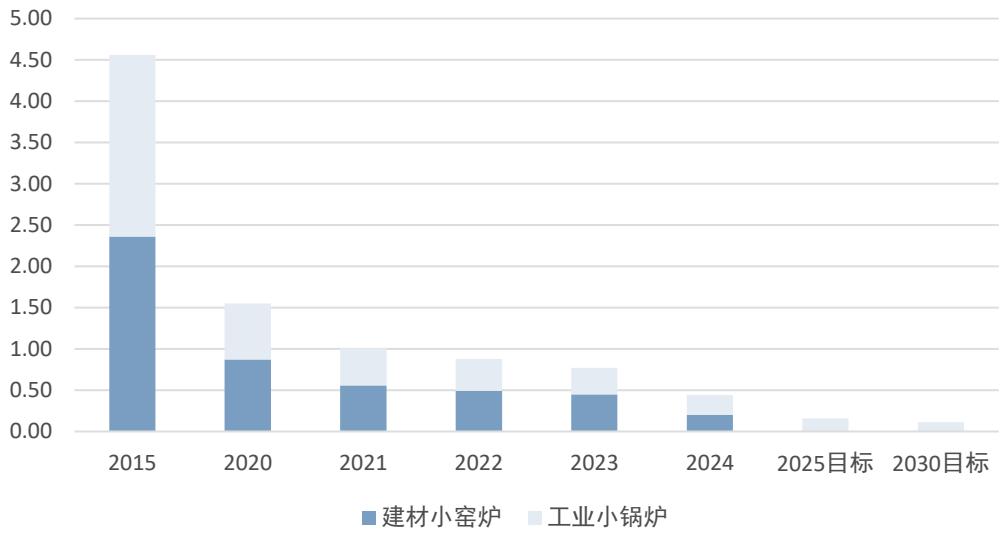



图 1-1：工业散煤消费量变化趋势图（单位：亿吨）

## （2）工业小锅炉煤耗量继续下降且结构持续优化

根据课题组掌握的基于环境统计数据及污染源普查、全国排污许可证管理信息平台（http://permit.mee.gov.cn/）等途径获取的工业锅炉数据，调研梳理全国各省公开的 2023 年燃煤锅炉淘汰情况，核算 2023 年全国燃煤工业锅炉总容量约 50 万蒸吨，煤耗量约 2.3 亿吨。2023 年全国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变化如图 1-2 所示。目前，全国燃煤工业锅炉容量和煤耗量已形成以 65 t/h 及以上大容量锅炉为主的特征，其容量和煤炭消耗量占全国工业锅炉的三分之二左右。

其中，35 t/h 以下工业燃煤小锅炉总容量约 5.7 万蒸吨（占比约为 11.4%），煤炭消耗量约 0.32 亿吨（占比约为 14.0%），相比 2022 年分别下降 31.8% 和 17.5%，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。如图 1-3 所示，工业燃煤小锅炉的结构以 [10，35）t/h 为主，10t/h 及以下燃煤小锅炉的锅炉容量和煤耗量仅占全国工业燃煤小锅炉总容量和煤耗量的 47.4% 和 16%。

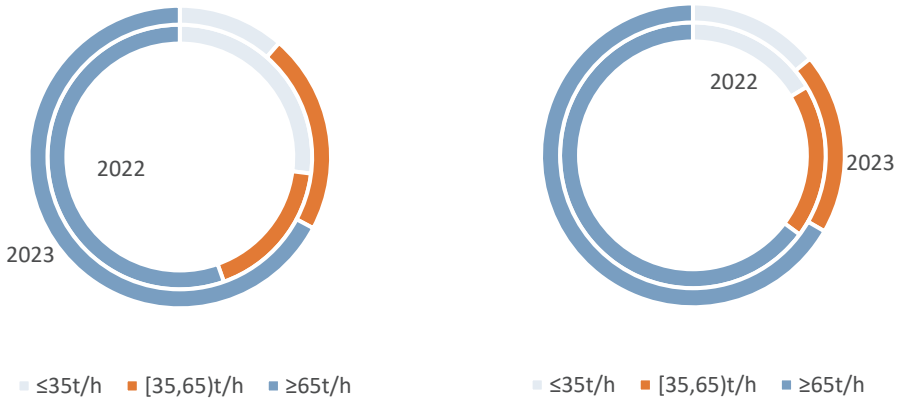



图 1-2：2022 和 2023 年全国燃煤工业锅炉容量（左）和煤耗量（右）结构对比

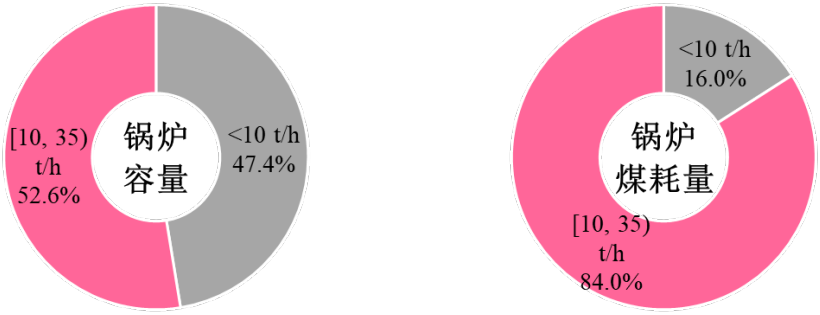



图 1-3：2023 年全国工业燃煤小锅炉容量和煤耗量结构组成

自“三年行动计划”实施以来，工业燃煤小锅炉规模发生了显著变化，与 2017 年相比，工业燃煤小锅炉容量及煤耗量分别下降 81.6% 和 79.0%（参见图 1-4 所示）。中国工业燃煤小锅炉 2017-2023 年颗粒物、$SO_2$、NOx 和 $CO_2$ 排放量变化如图 1-5 所示。2017-2023 年，在工业燃煤小锅炉淘汰政策的实施下，中国工业燃煤小锅炉颗粒物、$SO_2$、NOx 和 $CO_2$ 排放量显著下降。与 2017 年相比，2023 年工业燃煤小锅炉颗粒物、$SO_2$、NOx 和 $CO_2$ 排放量分别下降 94.5%、93.4%、93.5% 和 57.6%。其中，

工业燃煤小锅炉颗粒物、$SO_2$ 和 NOx 排放量整体下降幅度大于 $CO_2$，主要是因为工业燃煤小锅炉除尘、脱硫和脱硝设施升级改造的实施，随着减污降碳协同的推进，近两年 $CO_2$ 的减排潜力正在释放。

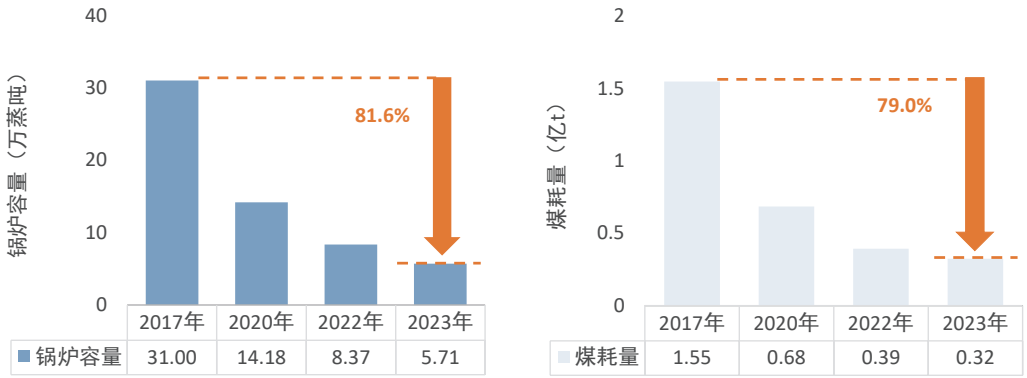



图 1-4：2017-2023 年全国工业燃煤小锅炉容量及煤耗量变化

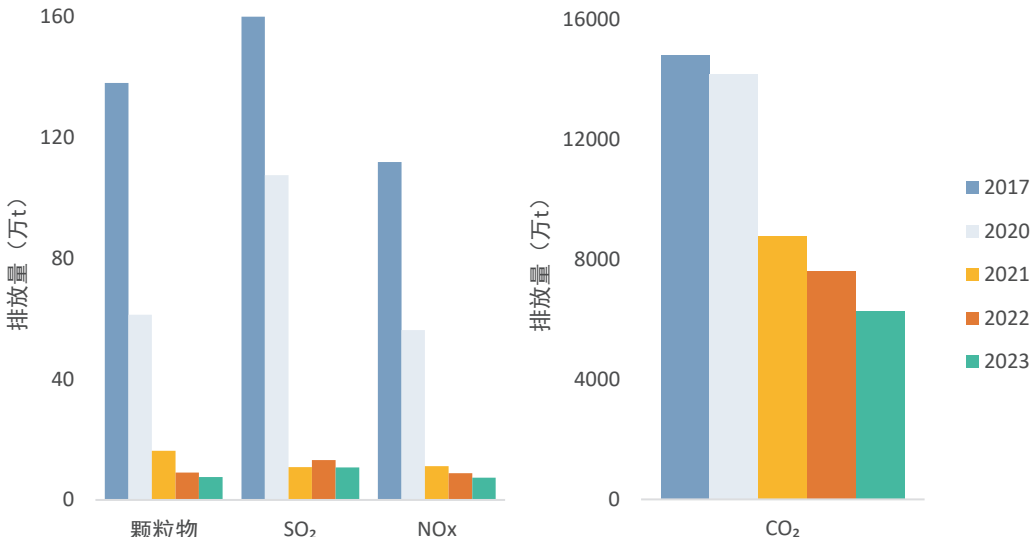



图 1-5：中国工业燃煤小锅炉 2017-2023 年大气污染物和 $CO_2$ 排放量变化

## （3）工业小窑炉煤耗下降约 8%

《2023-2024 年京津冀及周边地区、汾渭平原秋冬季大气污染综合治理攻坚方案》强调，深入推进锅炉、炉窑综合治理。对无达标排放能力的依法予以淘汰，对装备质量低劣、关键组件缺失、自动化控制水平低的进行升级，对运行维护不到位的实施整改；对问题集中的行业和领域，制定专项整改方案。根据攻坚方案的具体目标要求，课题组梳理了建材行业（陶瓷、砖瓦、石灰等行业）小窑炉治理的具体任务，如表 1-4 所示。

京津冀及周边地区和汾渭平原加大了对建材行业小窑炉的产业结构调整、提升改造和清洁能源利用的力度。据不完全统计，2023 年建材行业小窑炉的散煤治理情况如下：

**（1）砖瓦行业**

淘汰 42 家砖瓦企业，完成 215 家砖瓦企业的脱硫脱销除尘等设施改造提升；砖瓦行业累计减少实物散烧煤 190 万吨。

**（2）建筑卫生陶瓷行业**

建筑陶瓷 19 台窑炉完成天然气改造，10 家企业完成脱硫脱销改造，10 家企业完成无组织排放治理，累计减少散烧煤 63.7 万吨；卫生陶瓷完成 120 万件脱硫系统改造提升，累计减少散烧煤 3.92 万吨。

**（3）石灰行业**

淘汰石灰企业 10 家，完成 19 家石灰企业的脱硫脱硝除尘改造，累计减少散烧煤 60.9 万吨。

总体来看，2023 年，建材行业小窑炉的散煤用量相比 2022 年下降约 8%，烟尘、工业粉尘、$SO_2$、NOx 排放量分别减少 1.21 万吨、0.25 万吨、3.35 万吨、0.65 万吨。建材行业小窑炉治理在产业升级和淘汰落后方面，仍具有一定的减排潜力。

表 1-4：2023-2024 年秋冬季建材行业小窑炉治理的具体要求

| 序号 | 地区 | 小窑炉治理目标要求 |
|---|---|---|
| 1 | 河北<br>秦皇岛 | 建筑陶瓷行业 1 家企业（河北领标科技发展有限公司）力争完成环保绩效 A 级企业创建。 |
| 2 | 河北邯郸 | 武安市 10 家白灰窑完成淘汰。 |
| 3 | 河北保定 | 石灰窑行业 15 家企业 100 万吨产能完成脱硫设施提升改造，并实现自动化控制提升。 |
| 4 | 山西阳泉 | 砖瓦行业 4 家企业（盂县通懋新型建 材有限公司、阳泉恒耀新型建材有限公司、阳泉绿建科技有限公司、阳泉市骏 峰工贸有限公司）完成脱硫脱硝除尘改造。 |

| 序号 | 地区 | 小窑炉治理目标要求 |
| --- | --- | --- |
| 5 | 山西长治 | 长子县新鑫瓦业、沁源县国泰源砖厂、沁源县明磊建材、沁源县广利建材、壶关县鑫融建材、壶关县境成建材 6 家砖瓦企业和壶关县磊发氧化钙、壶关县欧泰瓦业、壶关县磊鑫建材 3 家石灰窑企业完成脱硫脱硝除尘改造。<br>长子县新鑫瓦业公司、壶关县珏朝陶瓷厂 2 座炉（窑）完成天然气替代。 |
| 6 | 山西晋中 | 榆次区 10 家砖瓦企业（8.9 亿块煤矸石砖产能）完成脱硝改造；和顺县 2 家砖瓦企业（8000 万块煤矸石砖产能）、平遥县 2 家砖瓦企业完成料场封闭改造。 |
| 7 | 山东淄博 | 建陶行业 8 家企业完成降尘能力提升，砖瓦行业 3 家企业完成 CO 专项整治，砖瓦行业 1 家企业 50 万平方米产能、建陶行业 1 家企业完成脱硫改造，石灰窑行业 1 家企 50 万吨 / 年产能完成脱硝改造，特种陶瓷行业 1 家企业新上 1 套 SCR 设施。 |
| 8 | 山东枣庄 | 砖瓦行业 1 家企业 6000 万块 / 年产能完成除尘改造，砖瓦行业 1 家企业 6000 万块 / 年多孔砖产 能完成脱硫改造。<br>枣庄市宏帝古建文化发展有限公司（陶瓷）完成煤改气，枣庄华奥新型墙体材料有限公司（砖瓦）点窑燃料完成煤改气。<br>3 家砖瓦窑完成淘汰。 |
| 9 | 山东潍坊 | 3 台砖瓦隧道窑完成关停淘汰。 |
| 10 | 山东泰安 | 砖瓦行业 2 隧道窑完成淘汰。 |
| 11 | 山东日照 | 砖瓦行业 12 家企业完成脱硫脱硝除尘改造。 |
| 12 | 山东临沂 | 页岩砖行业 67 家企业完成脱硫脱硝除尘改造，完成料场封闭改造、破碎环节 颗粒物收集处理。<br>21 家砖瓦窑完成淘汰。 |
| 13 | 山东聊城 | 1 家企业完成脱硫脱硝除尘改造。 |
| 14 | 山东菏泽 | 1 家砖瓦窑企业完成淘汰，1 家砖瓦窑企业的 2 条隧道窑完成淘汰。 |
| 15 | 河南郑州 | 砖瓦行业 3 家企业共 2.2 亿块标砖完成低效治理设施提升。 |
| 16 | 河南开封 | 砖瓦窑行业 3 家企业完成除尘改造，砖瓦窑行业 3 家企业完成颗粒物收集处理。 |
| 17 | 河南洛阳 | 14 家砖瓦窑企业完成无组织治理。 |
| 18 | 河南安阳 | 11 家砖瓦窑企业完成脱硫脱硝除尘等设施升级改造；2 家陶瓷企业完成料场封闭、物料 输送等环节无组织排放治理。<br>砖瓦窑 4 家 7 条隧道窑共 3.4 亿块烧结砖产能完成淘汰。 |
| 19 | 河南鹤壁 | 3 条砖瓦窑生产线共 1.2 亿块产能完成拆除（浚县士才新型建材有限公司 2 条、浚县鑫兴环保节能建材有限公司 1 条）。<br>砖瓦窑行业 2 家企业（鹤壁市郝荒鑫鑫节能建筑材料有限公司、鹤壁市鹤山区兴和环保建材厂）共 1.5 亿块产能完成湿式电除尘设施建设。<br>完成 15 台煤气发生炉清洁能源替代计划制定工作（河南中智陶瓷有限公司 1 台、河南省富盛陶瓷有限公司 4 台、河南省金鸡山陶瓷有限公司 2 台、河南省富得陶瓷有限公司 4 台、鹤壁市凌雲建材有限公司 1 台、河南冠旭陶瓷有限公司 3 台）。 |

| 序号 | 地区 | 小窑炉治理目标要求 |
| --- | --- | --- |
| 20 | 河南新乡 | 新乡市鑫瑞达陶瓷有限公司 2 台煤气发生炉完成淘汰。 |
| 21 | 河南焦作 | 2 条隧道窑完成淘汰。 |
| 22 | 河南许昌 | 砖瓦窑行业 11 家企业 8.4 亿块产能完成脱硫系统改造，陶瓷行业 1 家企业 120 万件产能新建脱硫系统，砖瓦窑行业 4 家企业完成窑车颗粒物收集处理。 |
| 23 | 河南漯河 | 烧结砖行业 1 家企业（漯河市隆鑫新型建材有限公司）完成料场封闭改造、储存 环节颗粒物收集处理。<br>2 家烧结砖企业 4 座隧道窑完成拆除。 |
| 24 | 河南<br>三门峡 | 砖瓦窑行业 1 家企业 2.5 亿块烧结砖产能完成脱硫脱硝除尘改造。 |
| 25 | 河南商丘 | 5 家砖瓦窑企业完成简易低效治理设施提升改造；4 家砖瓦窑行业企业完成无组织废气收集设施安装、料场封闭 改造等治理工程。<br>永城市城厢乡建芝新型墙体材料厂、永城市红华新型墙体材料厂、睢县城郊乡万楼新型墙体材料厂共 2.25 亿块烧结砖产能完成淘汰。 |
| 26 | 河南周口 | 砖瓦窑行业 9 家企业共 7.2 亿块产能完成除尘改造；砖瓦窑行业 16 家企业完成车间、煤矸石破碎、上料、进料、物料堆场等环节无组织排放治理。 |
| 27 | 陕西宝鸡 | 陕西汉基新墙体制造有限公司、岐山汉基建材有限公司、岐山县鸿圣源新型环保建材科技有限公司 3 家企业完成独立湿电除尘设施建设。<br>千阳陶瓷园 8 户陶瓷企业完成 SNCR 安装。 |
| 28 | 陕西渭南 | 临渭区南塬砖厂等 18 家企业完成综合整治，区域环境整治工作同步完成。 |
| 29 | 陕西韩城 | 砖瓦行业 1 家企业 1 亿块烧结砖产能完成脱硫改造。 |

# （三）民用散煤治理稳中有进

## （1）北方清洁取暖率提升一个百分点

自《北方地区冬季清洁取暖规划》实施以来，中央财政先后分五批次支持 88 个城市和地区开展清洁取暖试点示范，覆盖范围从“2+26”城市逐步扩展至整个华北地区，并延伸至东北和西北地区的部分城市。截至 2023 年底，我国北方地区清洁取暖率由 2016 年的 34% 提高至 76%，相比 2022 年，提高了一个百分点。其中，农村地区累计完成清洁取暖改造约 3900 万户。

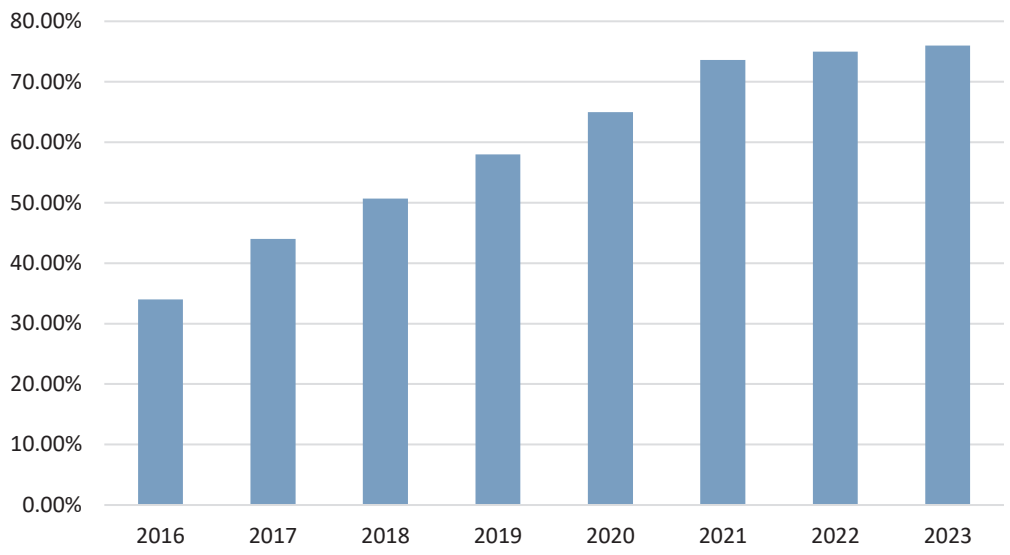



图 1-6：北方地区清洁取暖率变化趋势

当前的清洁取暖工作重心已经由原来大规模提高清洁取暖比重为主转到巩固存量和有序新增。一是切实抓好清洁取暖持续运行，巩固清洁取暖成果，不断完善清洁取暖长效机制，确保运行有人管、支持政策有延续、供暖安全有保障、散煤不复烧；二是有序实施新增清洁取暖改造，正在开展清洁取暖的地区按照既定实施方案有序推进；暂时未开展改造的地区，坚持从实际出发、因地制宜稳妥实施新增清洁取暖改造。

总体来看，“十四五”期间清洁取暖率的提升速度放缓，受多方面的因素影响。首先，重点区域清洁取暖改造已基本完成，2023 年全面进入存量巩固阶段；其次，清洁取暖试点虽然已经向东北、西北地区延伸，但推进速度不及重点区域，改造规模增量整体有所下降； 再次，东北、西北地区的清洁取暖改造难度升级且年施工期较短，导致上述地区的清洁取暖建设相比重点区域需要更长的时间；最后，在当前经济形势下，地方财政压力凸显，清洁取暖工作面临极大挑战。

## （2）农村建筑能效提升进展低于预期

本报告调研了 11 个清洁取暖实施城市，着重分析了 2023 年度东北、西北地区建筑能效提升项目基本情况和实施情况，如表 1-5 所示。按项目建设周期，第四批城市项目建设年限为 2021-2023 年，项目建设时间截至 2024 年 4 月底；第五批城市项目建设年限为 2022-2024 年，项目建设时间截至 2025 年 4 月底。

从不同区域建筑能效提升任务量看，相比前三批国家清洁取暖城市，第四批、第五批城市申报不再要求建筑能效提升改造后能效提升率不低于 30%，所以部分城市，如调研城市 F、城市 I，将老旧小区改造等项目中管网改造相关的能效提升项目（非建筑本体节能改造）纳入改造范围，且该部分项目未给予清洁取暖项目中央财政资金支持。因此本文在分析建筑节能改造项目任务量，计算这两个城市农村建筑能效改造任务占比例时，全部改造任务中未包含城区改造任务。

## 表 1-5：调研城市基本信息及能效提升任务情况

| 批次 | 城市 | 地区 | 农村常住人口（万人） | 城镇化率（%） | 城区能效提升任务量（万 $m^2$） | 县城能效提升任务量（万 $m^2$） | 农村能效提升任务量（万 $m^2$） | 农村能效提升任务量占比（%） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第四批（2021-2023） | A | 东北 | 42.17 | 57.70% | 30 | 46 | 524 | 87% |
| | B | 东北 | 75.11 | 65.17% | 844 | 273 | 622 | 36% |
| | C | 华北 | 37.5 | 86.16% | 980.83 | 188.06 | 167.98 | 13% |
| | D | 西北 | 10.97 | 76.57% | 52.13 | 23.41 | 341.11 | 82% |
| | E | 西北 | 0.5122 | 82.86% | 12.67 | 9.8 | 0.9 | 4% |
| 第五批（2022-2024） | F | 东北 | 308.82 | 65.94% | 671.8 | 108.98 | 485.02 | 82% |
| | G | 东北 | 132.23 | 63.51% | 0 | 0 | 403.5 | 100% |
| | H | 东北 | 19.68 | 79.32% | 15 | 3.1 | 278.4 | 94% |
| | I | 东北 | 140.41 | 84.52% | 1167.61 | 188.62 | 561 | 75% |
| | J | 东北 | 76.42 | 67.18% | 583.15 | 171.76 | 672 | 47% |
| | K | 华北 | 71.85 | 79.15% | 74 | 128 | 694.45 | 77% |

调研城市中，东北地区城镇化率较低，7 个城市城镇化率平均为 69%；西北地区和华北地区 2 个城市平均城镇化率分别为 80% 和 83%。农村改造任务量普遍占比较大，我国东北、西北等地区已经在各级政策支持下开展过大量的“暖房子工程”等城镇能效提升工作，城市上报任务量普遍以农村建筑能效提升工作为主，如城市 A、城市 G、城市 H、城市 K、城市 D，其中城市 G 城镇地区均已完成节能改造，相比大部分西北、华北地区，东北地区城市农村节能改造占比更高，平均约为 74%；部分调研城市充分利用此次清洁取暖城市建设机会，大力提升城镇建筑节能水平，任务量设置相对均衡，如城市 B、城市 C、城市 J；城市 E 整体体量小，且城镇化率高，任务量以城镇为主，农村地区任务量占比仅 4%。

**城区建筑能效提升完成情况**。第四批城市整体任务完成情况比较好，第五批部分城市完成率仅约 50%。从图 1-7 可以看到，第四批 5 个城市基本都已完成城区建筑能效提升改造任务，仅城市 B 完成率为 98%，不足 100%（含城区管网改造类能效提升项目）。第五批 5 个城市（城市 G 未上报城区能效提升任务）中，3 个城市完成率超过 80%，其中城市 I 完成率达到 100%，2 个城市完成率低于 60%，分别为城市 H（完成率 43%）和城市 J（完成率 55%），通常清洁取暖城市两年任务量可达总任务量的 60%-70% 左右，因此城市 H 和城市 J 城区建筑能效提升改造项目完成率均低于平均水平。

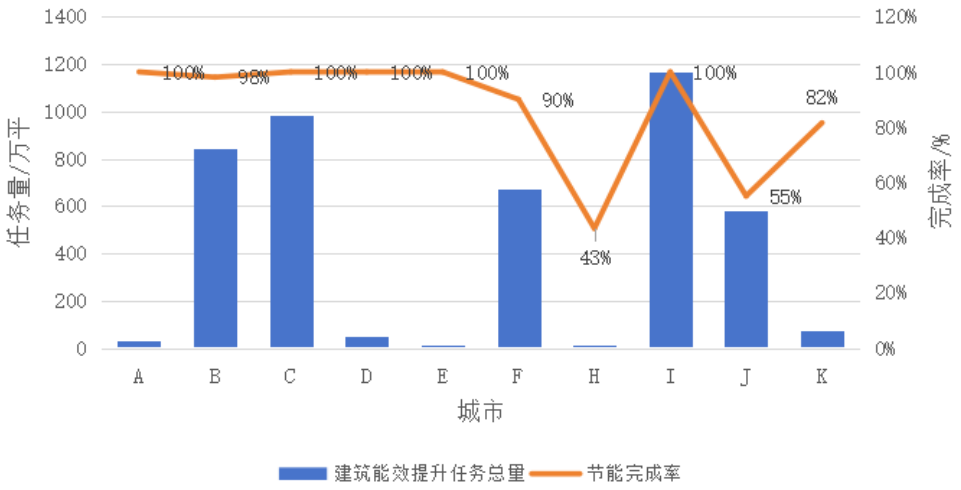



图 1-7：调研城市城区建筑能效提升任务量及完成情况

**县城建筑能效提升完成情况。第四批城市整体任务完成情况比较好，第五批部分城市完成率较低。**从图 1-8 可以看到，第四批 5 个城市中，城市 A、城市 C、城市 D 完成率达到 100%，城市 B 完成率为 92%，城市 E 完成率仅为 43%。第五批 5 个城市（城市 G 未上报城区能效提升任务）中，3 个城市完成率超过 80%，其中城市 H 和城市 I 完成率达到 100%，仅 1 个城市完成率低于 60%，为城市 J 完成率 16%，城市 F 完成率 68%。据调研信息，由于项目申报前期手续复杂，因此部分改造任务量小的城市选择将改造任务放在最后一年集中改造，造成部分改造任务量小的城市完成率低，如城市 E、城市 G。

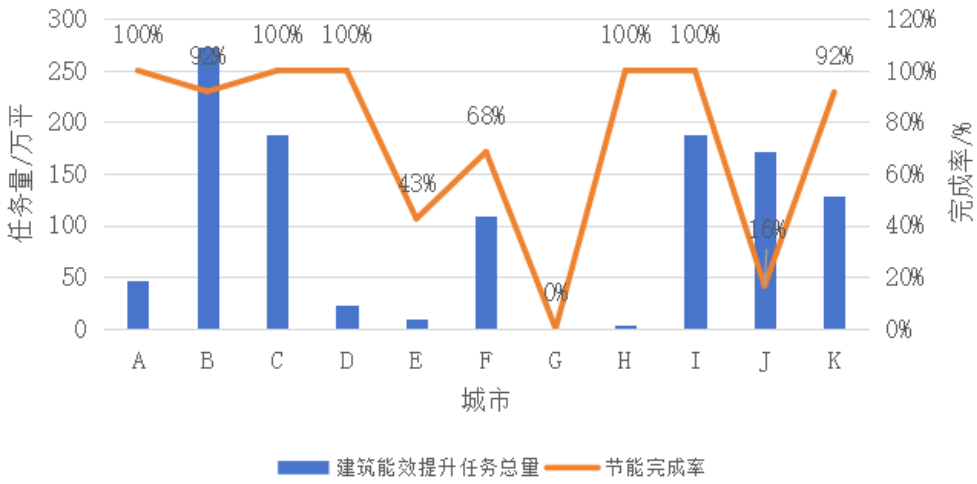



图 1-8：调研城市县城建筑能效提升任务量及完成情况

**农村建筑能效提升完成情况。农村建筑能效提升工作整体进展缓慢，部分第四批城市按时完成任务难度较大。**从图 1-9 可以看到，第四批、第五批 11 个城市中，仅 4 个城市完成农村建筑能效提升工作，其中第四批 5 个城市仅城市 C（完成率 100%）完成改造任务，城市 D 完成率 99%，城市 A 完成率为 81%，城市 B 完成率仅为 45%；由于农村建筑节能改造体量大，因此城市 A、城市 B 按期完成任务量难度较大；第五批 6 个城市中，城市 I、城市 K 完成改造任务，政府重视程度高，财政资金保障及时有力是两个城市提前完成改造任务主要原因；由于项目申报前期手续复杂，因此部分改造任务量小的城市选择将改造任务放在最后一年集中改造，造成部分改造任务量小的城市完成率低，如城市 E、城市 H；部分城市对相关工作重视程度不足，项目尚未形成改造任务量，如城市 J。

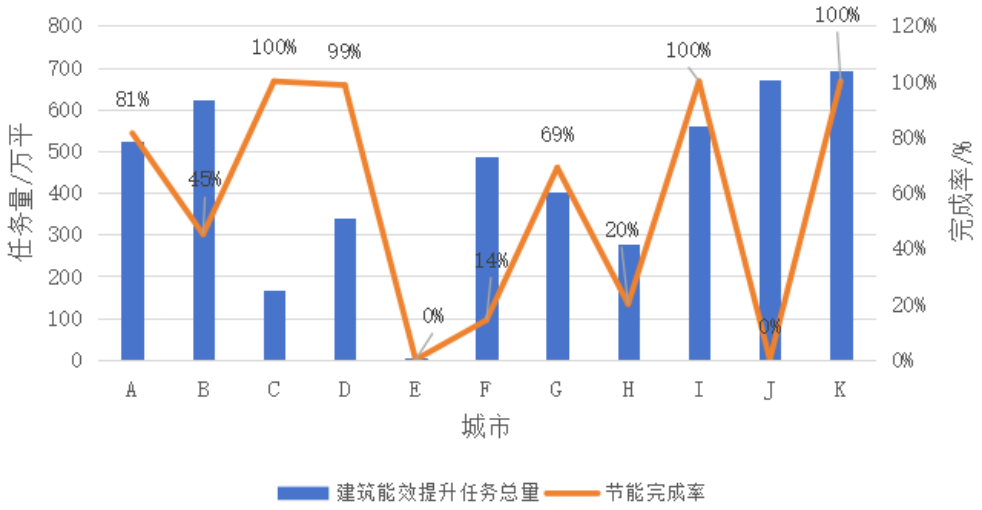



图 1-9：调研城市农村建筑能效提升任务量及完成情况

## （3）清洁取暖市场竞争聚焦高品质与多元应用

北方地区农村清洁取暖逐步形成了以清洁能源替代为主，以洁净煤和配套环保炉具兜底的发展思路，积极试点示范太阳能、风能等可再生供热，因地制宜探索“可再生能源 +”的多能互补模式。从区域分布来看，**京津冀及周边地区以电和气为主、西北地区以“太阳能 +”为主，东北地区以“生物质 +”为主的格局已经初步形成**。从清洁取暖行业和市场变化来看，行业企业的关注点从政府项目转向用户端的需求响应，零售市场的增长态势带动了行业新一轮的激烈竞争，并渗透到每一个细分领域。从用户端的需求变化来看，农村用户对清洁取暖技术路线和产品设备的选择逐步形成了自主意识，且将清洁取暖与炊事以及其他具体生活需求紧密结合，形成了更加多元且更加具体的生活场景化需求，并进一步激发了清洁取暖市场的新一轮产品创新。

### （1）“煤改电”市场：舒适度与低电耗成核心竞争点

“煤改电”技术路径中产品种类较为繁杂，包括电暖气、电暖桌、碳晶类等，这些产品在应用中的实际体验和能耗高低成为了零售市场竞争的重要因素。

从近几年的市场表现来看，空气源热泵相比其他产品在用户体验和运行成本方面具有一定优势，市场增长态势明显。空气源热泵近三年市场销售量如图 1-10 所示。2023 年，空气源热泵市场销售量达 166.9 万台，与上一年相比，增幅高达 34.7%。从区域分别来看，北京空气源热泵置换潜力的释放将进一步成为市场热点，目前，河北、辽宁是零售市场发展的主要区域，政府项目主要分布在辽宁、内蒙古、宁夏、甘肃、新疆和青海。

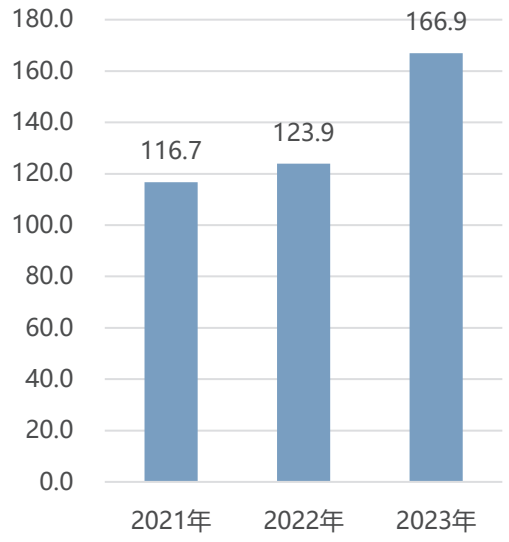



图 1-10：空气源热泵市场销量变化[1]

### （2）“煤改气”市场：置换和零售占绝对优势[2]

随着清洁取暖改造项目的推进，燃气采暖炉市场发展已经呈现出零售为主、工程为辅的格局，拓增量挖存量，置换需求拉动是当前行业发展的内驱动力。

近三年“煤改气”市场销量整体下滑，但普通工程和零售市场呈逆势增长。2023 年，普通工程和零售市场的燃气热水炉销量保持稳定，全年销量达 222 万台，占全年总销量的 93.7%；“煤改气”政府项目燃气采暖热水炉销量进一步下降至 15 万台，于 2022 年相比降幅高达 53.1%，占全年总销量的 6.3%，如图 1-11 所示。政府项目市场主要分布在西北地区的宁夏、甘肃等省份，其次是山东、内蒙古等。

1 数据来源：中国节能协会热泵专业委员会《2023年中国热泵产业发展年鉴》。

2 本节资料及数据来源：中国土木工程学会燃气分会《燃气采暖热水炉产品2023年度市场统计公告》。

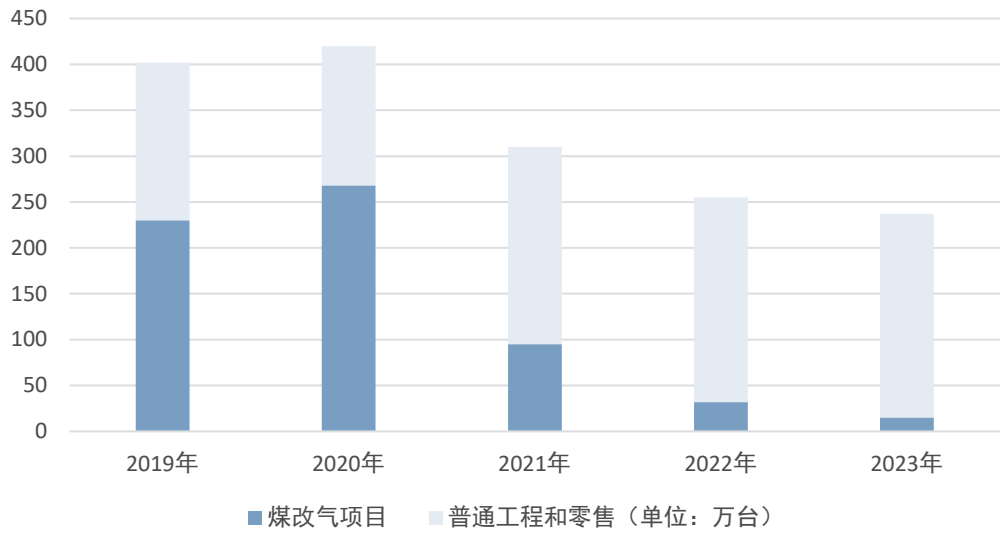



图 1-11：煤改气与普通工程和零售市场销量变化

**（3）清洁炉具市场：生物质炉具释放潜力**

据不完全统计，2023 年炉具行业骨干企业的清洁炉具年销售量在经历了连续 3 年的下滑后，实现了首次增长，销量总量约 176.9 万台，相比 2022 年的销量水平增长了 36%。其中，生物质炉具销量创下新高，约 115.4 万台，占炉具总销量的 65%；燃煤炉具销量在连续 3 年下滑的基础上，2023 年出现小幅反弹，销售总量约 61.5 万台，如图 1-12 所示。

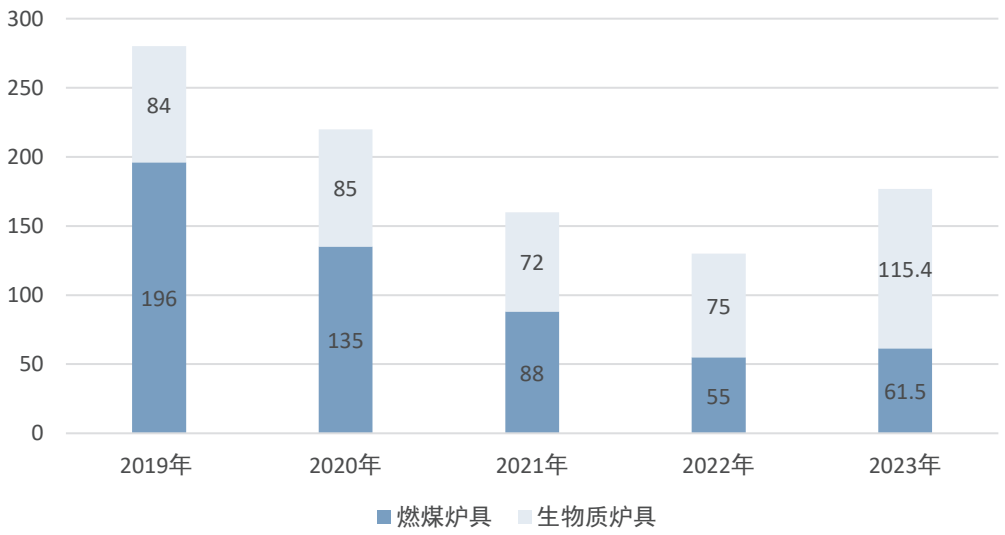



图 1-12：北方采暖炉骨干企业产品销量变化（单位：万台）

2023 年，煤炭价格回落，燃煤炉具销售量小幅增长，产品选择出现了“两极化”的特点。重点地区的经销商和用户均担心政策变动，选择了廉价的低品质炉具作为应对之策；非重点地区因气候严寒、热量需求较高，用户热衷于购买品质较高的产品，开始关注品牌和体验，如图 1-13 所示。

甘肃某小吃店燃煤取暖

陕西某乡镇饭店燃煤取暖

甘肃农村户用燃煤取暖场景


宁夏农村户用燃煤取暖场景

图 1-13：西北农村取暖现实场景

总体来看，生物质炉具在清洁炉具市场中占据主导地位，当前生物质炉具的快速发展主要依托政府项目采购，特别是东北和西北地区的清洁取暖改造项目需求集中释放。其中，生物质壁炉配套颗粒燃料销售的市场化程度提高，且逐年上升；燃木壁炉开始热销市场，如图 1-14 所示，用户以农村别墅类、乡镇农村小商铺等分散供暖为主。


图 1-14：生物质壁炉展示图片

**（4）基于应用场景的创新技术和创新产品不断涌现**

近年来，市场上的新型采暖技术应用不断涌现，推动了行业的创新发展。一些新技术、新材料、新产品的不断推陈出新，为推动农村清洁取暖带来新的活力，为用户带来更多的选择和更好的体验。如新型水电耦合制热技术应用（见图 1-15）和生物质炉具燃烧结构方面的技术突破，重点解决电锅炉怕干烧、高温加热体易坏，以及生物质燃料易结焦、焦油堵塞等难题（见图 1-15）。

图 1-15：新型电采暖（左）和新型生物质采暖用户场景（右）

可再生能源的发展和利用在技术、模式创新方面也有了很多新的突破。风热 +、光热 +、光伏 +、热泵 + 电采暖、热泵 + 燃气采暖、电采暖 + 储热等一批多能互补新型取暖系统集成出现。围绕这些系统集成的相关标准和技术规范也随之发展起来。其中“光热 +”已在河北、吉林、甘肃多地得到试点推广应用，如图 1-16 所示。

图 1-16：甘肃“太阳能 + 生物质炉具”采暖用户场景

2023 年，“太阳能 +”采暖市场也呈现良好的发展态势，户用与商用采暖市场需求均有所增长，太阳能 + 生物质、太阳能 + 热泵、太阳能 + 储能等技术应用成为了行业发展的新基点。

此外，国家鼓励开发地热资源，大力开展的“沐光”和“驭风”行动，将进一步推动地源热泵（见图 1-17）、太阳能和风能的取暖技术进步。在利好的政策形势下，农村清洁取暖将迎来一场新的可再生能源取暖技术的变革。

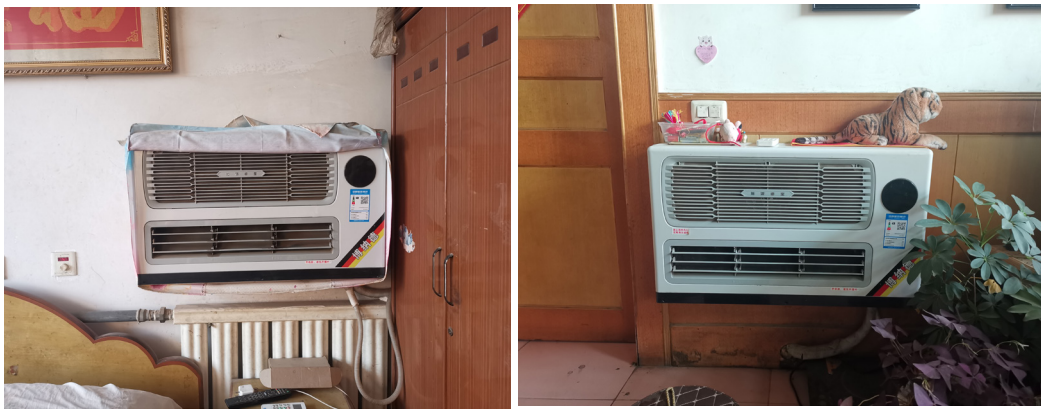


图 1-17：河北地源热泵采暖用户场景

## （4）农村地区可再生能源开发利用规模不断扩大

随着清洁取暖工作的推进，可再生能源在农村地区得到了进一步的推广和应用。

**太阳能发电的普及与应用**。政府的上网电价补贴和减税政策激发了农村地区对太阳能发电的投资热情，促进了太阳能发电技术的普及。农村地区户用光伏规模达到 1.2 亿千瓦，涉及农户超过 550 万户，每年可为农户增收 110 亿元，增加就业岗位约 200 万个。不断满足群众绿色用能需求，2023 年底，北方地区清洁取暖率近 80%，全国充电基础设施从不到 10 万台增加到近 860 万台。[3]

**太阳能热利用的普及与应用**。中国太阳能热水器利用率居世界首位，太阳能热水器保有量一直以来都占据世界总保有量的一半以上，而农村地区高楼少，日照时间长，拥有独立的楼顶适宜摆放热水器，成为了中国城乡中利用热水器的先锋。特别是新农村建设的步伐不断加快，农村城镇化水平越来越高。太阳能热水器已经从城市转向农村。2023 年中国农村太阳能热水器拥有量为 7440 万平方米。[4]

**风能发电稳步发展。**风能发电作为农村可再生能源的重要组成部分，也取得了稳步发展。虽然没有具体针对农村地区的统计，但考虑到风能资源的分布特点和政府对风电项目的投资和支持力度，农村地区的风能发电装机容量也在不断增加。

**生物质规模利用不断扩大。**截止到 2023 年底，农林生物质发电保持持续增长，装机总规模达到 1688 万千瓦，占可再生能源装机总量 14.5 亿千瓦的 1.16%，发电量达到 550 亿千瓦时。全国大型沼气工程保有量达到 7395 处，年产气 14 亿立方米。[5] 生物质成型燃料产量超过 2000 万吨。

**可再生能源的发展为农村可持续发展带来了一定的社会和环境效益。首先，改善了农村地区的能源服务**。通过推进农村电网建设和改造，提高了农村地区的电力供应可靠性和稳定性。同时，可再生能源的利用也提高了农村地区的能源自给率，降低了能源成本。其次，**推动了扶贫减贫事业。**通过实施光伏扶贫工程等项目，帮助贫困户增加收入、改善生活条件，有效推动了农村地区的脱贫攻坚工作。最后，**对农村环境保护、人居环境改善做出了积极贡献**。太阳能、风能等可再生能源的使用替代了煤炭、柴油等传统能源，有效减少了农村地区的空气污染。生物质能的合理利用，如沼气、生物质颗粒等，不仅减少了农作物秸秆和畜禽粪便的随意丢弃，还避免了因燃烧这些废弃物产生的环境污染。

---

3　国务院新闻办公室. 中国能源转型白皮书. 2024年8月. https://www.gov.cn/zhengce/202408/content_6971115.htm

4　智研咨询. 2020年中国农村太阳能资源利用情况统计分析..

5　中国农网. 2024中国农业农村低碳发展报告。

# （四）散煤治理仍具较大的健康效益

通过情景分析法，定量评估历史趋势延续的基准情景（BaU）、低碳转型情景（CNS）、2035 年散煤净零情景（CNZ35）下，中国北方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表 1-6 所示。

表 1-6：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延，即社会经济发展促进的家庭用能技术自发转型。 |
| CNS | 各省 2035 年碳排放较 2015 年下降 25% 或 35%，并基于碳目标压力实现能源转型。 |
| CNZ35 | 各类传统固体燃料比例下降，2025 年为 2022 年的 60%，2035 年散煤清零。 |

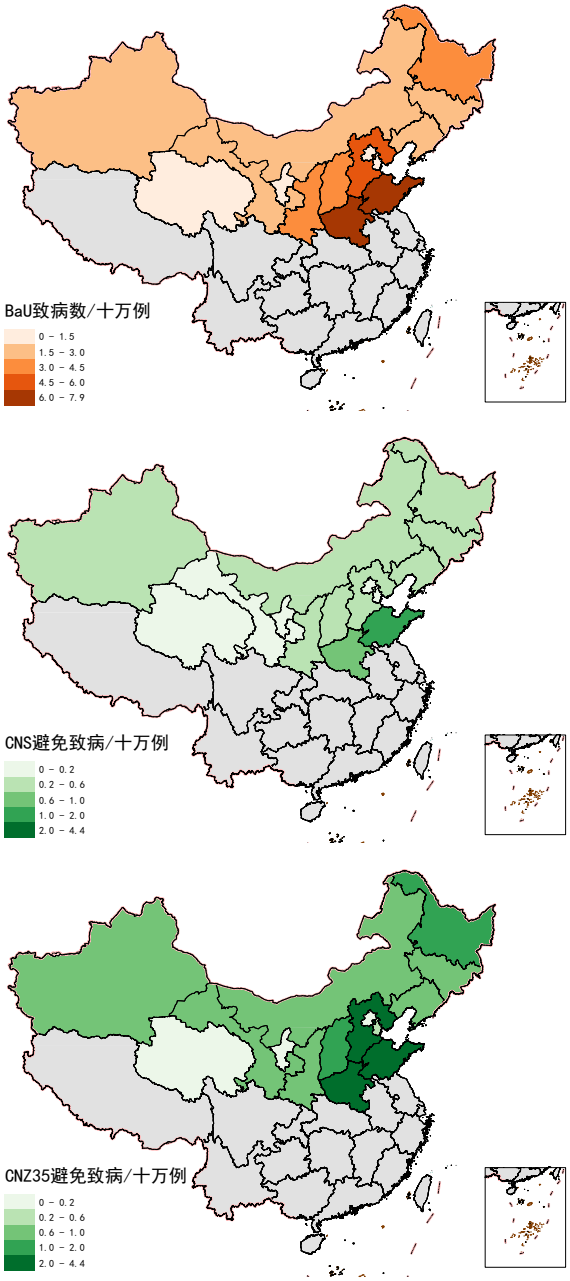
## （1）减少室内空气污染相关患病人数

图 1-18 展示了到 2035 年，低碳转型情景（CNS）和 2035 年散煤净零情景（CNZ35）下传统固体燃料淘汰避免的累积农村室内空气污染相关患病人数。结果表明，相比于基准情景，低碳转型情景与散煤净零情景都可以有效减少因室内污染而导致的患病人数，减少幅度为 9.87% 和 44.13%。低碳转型虽然一定程度上能促进传统固体燃料淘汰，但直接促进固体燃料淘汰的散煤治理政策效果更为明显。

传统固体燃料燃烧导致的健康影响存在明显的区域性差异，其中华北地区是受到传统固体燃料影响最大的地区。在基准情景下，其病例数最多，占北方地区总病例的 48.21%，低碳转型与散煤净零情景下，其减少病例数占总减少病例数的 50.44% 和 58.89%。

在低碳转型与散煤净零情景下，不同地区以致病病例数为表征的室内健康影响存在显著差别。在低碳转型情景下，新疆、山东与吉林相比于基准情景分别减少了 17.83%、16.14% 和 11.21% 的致病病例数，显著高于北方地区平均水平，北京、天津、山西、河北、河南则减少了 2.81%、4.55%、6.65%、6.95%、7.66%，显著低于北方平均水平。而在散煤净零情景下呈现出相反的规律，山东以 54.01% 的致病病例数减少依旧超过北方地区平均水平，但新疆和吉林以 35.28% 和 31.98% 的致病病例数减少低于平均水平；类似地，除了北京以 42.12% 致病病例数减少依旧略低于北方地区平均水平，天津、山西、河北、河南则分别减少了 58.08%、51.79%、51.68%、55.65% 的致病病例数减

少，显著高于平均水平。总的来说，华北地区除了北京（山东）在不同情景下始终保持较低（高）比例的致病病例数减少，其他省市致病病例数减少比例在低碳转型情景下都低于平均水平，在散煤净零情景下都高于平均水平；东北地区除吉林外，所有省市致病病例数减少比例在低碳转型情景和散煤净零情景下都低于平均水平；西北地区除内蒙和新疆外，其余所有省市致病病例数减少比例在低碳转型情景和散煤净零情景下都低于平均水平。




## 图 1-18：中国北方地区农村炊事取暖在低碳转型与散煤淘汰政策下减少的致病人数

BaU 情景致病数表示在没有政策调整时，自然发展下从 2022 年累积到 2035 年，中国北方地区农村居民中因散煤使用导致的室内空气污染导致的致病数；CNS 减少致病数表示相比于 BaU 情景，CNS 情景因提前退煤减少的室内空气污染致病数；CNZ35 减少致病数表示相比于 BaU 情景，CNZ35 情景因提前退煤减少的室内空气污染致病数。

## （2）减少室内空气污染相关过早死亡人数

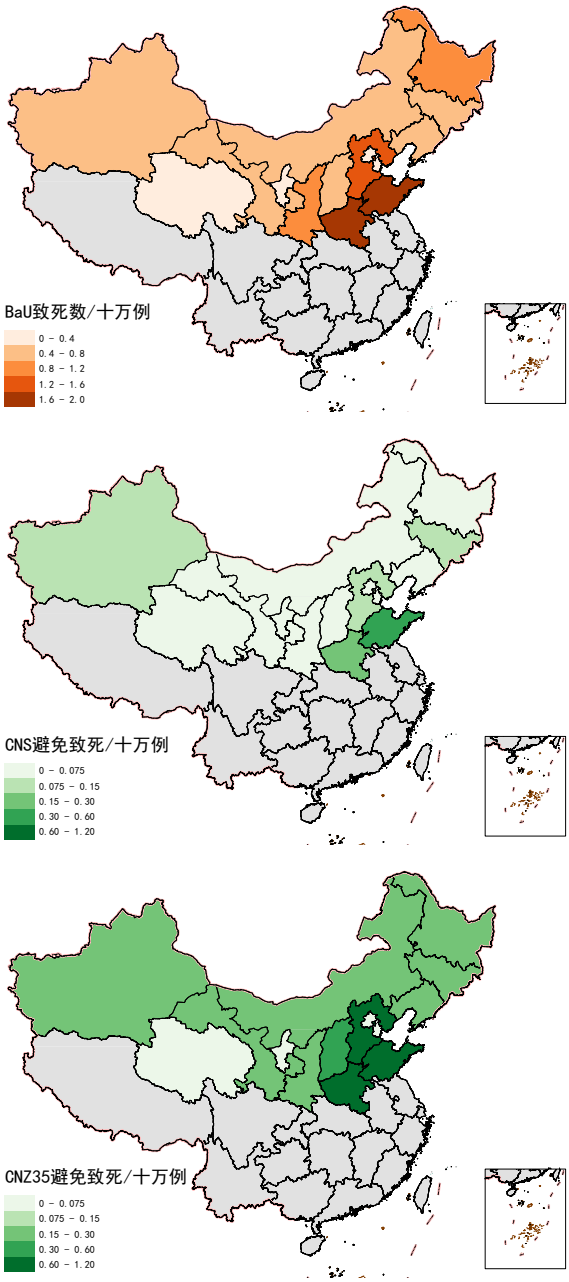



图 1-19：中国北方地区农村炊事取暖在低碳转型与散煤淘汰政策下减少的致死人数

BaU 情景致死数表示在没有政策调整时，自然发展下从 2022 年累积到 2035 年，中国北方地区农村居民中因散煤使用导致的室内空气污染导致的致死数；CNS 减少致死数表示相比于 BaU 情景，CNS 情景因提前退煤减少的室内空气污染致死数；CNZ35 减少致死数表示相比于 BaU 情景，CNZ35 情景因提前退煤减少的室内空气污染致死数。

在评估北方农村散煤治理减少室内空气污染相关过早死亡人数方面，低碳转型和散煤净零政策的成效显著。通过这些措施，低碳转型 CNS 和散煤净零 CNZ35 两个情景中北方农村地区累计避免了 11.59 万例和 52.23 万例的过早死亡，分别相当于基准情景的 9.80% 和 44.14% 的减少（如图 1-19 所示）。值得注意的是，与减少致病人数相比，低碳转型和散煤净零在减少致死人数方面的改善效果在地理分布上更为集中。特别是在华北地区，基准情景下的累积致死人数占北方地区总致死人数的 47.91%，而在低碳转型和散煤净零情景下，这一比例分别提高到 50.33% 和 58.58%。具体到省份，山东、河北和河南三省在三种情景下的总致死数占比分别为 46.29%、49.70% 和 56.04%，显示出这些地区在减少过早死亡方面的显著成效。

在省级层面，低碳转型情景 CNS 与散煤净零情景 CNZ35 下的健康影响呈现出显著的地域差异。在低碳转型情景 CNS 中，华北地区的山东省以 16.03% 的过早死亡减少比例，显著高于北方地区的平均水平。而北京、天津、山西、河南和河北的减少比例则在 2.83% 到 7.58% 之间，远低于平均水平。类似地，在西北地区的新疆、内蒙古和东北地区的吉林，过早死亡减少比例分别为 17.64%、10.40% 和 11.14%，远高于平均水平，而其他省市则略低于平均水平，比例在 7.31% 到 9.74% 之间。在散煤净零情景 CNZ35 下，华北地区的健康效益改善出现了逆转。除了北京的过早死亡减少比例为 42.70%，略低于北方地区平均水平外，华北地区其他省市的减少比例在 51.90% 到 58.46% 之间，远高于平均水平。与此同时，西北和东北地区所有省市的减少比例均低于北方地区平均水平，分布在 29.47% 到 35.28% 之间。

## （3）减少室内空气污染相关健康损失

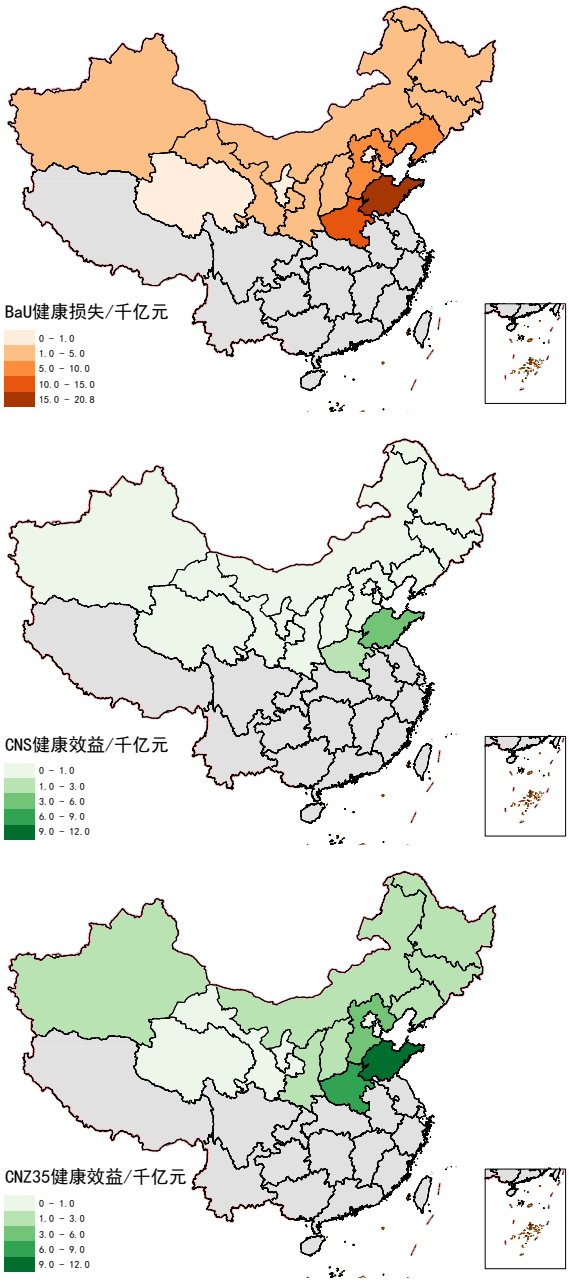



图 1-20：中国北方地区农村炊事取暖在低碳转型与散煤淘汰政策的室内健康效益

BaU 情景健康损失表示在没有政策调整时，自然发展下从 2022 年累积到 2035 年，中国北方地区农村居民中因散煤使用导致的室内空气污染导致的室内健康损失；CNS 减少致死数表示相比于 BaU 情景，CNS 情景因提前退煤减少的室内健康损失，即健康效益；CNZ35 减少致死数表示相比于 BaU 情景，CNZ35 情景因提前退煤带来的健康效益。

对未来不同政策下我国北方地健康改善的货币化效益进行分析，发现类似的趋势：华北地区健康效益最高，而低碳转型情景对致病致死改善导致的健康效益收效甚微，散煤治理情景会显著增加健康效益，并且相比于致病病例数或过早死亡数的减少，货币化的健康效益的改善越发呈现空间集中的特征（如图 1-20 所示）。例如，在 CNZ35 情景下，山东、河北、河南三省健康效益占全北方地区的 63.50%，而 CNS 情景下健康效益占比为 62.59%。这可能是由于经济发达地区往往也是人口较密集地区，同时也是避免致病致死健康收益较大的地区，而这些地区货币化的人均健康改善效益也较高，最终导致货币化健康效益更高。

从省级层面的相对值变化差异来看，以货币化为表征的健康改善效益（减少的健康损失）与以致病病例数减少和过早死亡数减少为表征的健康效益具有类似的规律，不同点在于相比于基准情景，内蒙以货币化为表征的健康改善效益比例在低碳转型情景和散煤净零情景分别为 11.50% 和 46.74%，均低于对应情景下的北方地区平均水平，这进一步证明了货币化健康效益更向山东、河北、河南等地空间集中的特征。此外，货币化的健康改善效益比以致病病例和过早死亡数减少为表征的健康效益在相对值上更显著，如低碳转型和散煤净零情景下，北方地区货币化的健康改善效益比例平均值分别为 11.91% 和 48.52%，超过了致病病例减少比例（9.87% 和 44.13%）和过早死亡减少比例（9.80% 和 44.14%），这表明能源转型的货币化健康效益在时空尺度上并不是平均分布的，货币化健康改善效果空间上更多出现经济发达的地区，时间上更多出现在所评估时段的后半段。

# 第二章 当前的主要机遇和挑战

随着我国散煤治理的不断深入，散煤消费总量的结构组成和区域分布都在发生变化，并为散煤治理持续深入推进提出了新的要求。从区域差异化的深度施治到清洁取暖试点的巩固成效与有序推进，从科学看待散煤返烧现象到解决可持续性难题，从侧重热源改造到兼顾运行可承受等，散煤治理领域仍然有很多重要的议题值得我们深思，对这些议题的思考将为我们进一步稳妥、深入、有序地推进散煤治理工作带来启发。

## （一）燃煤小锅炉区域分布特点与差异化深度治理策略

在工业生产和冬季取暖需求的带动下，**我国燃煤工业锅炉数量和容量分布整体呈现出东部沿海和北部地区省份高于其他区域省份的空间地理分布特征，**如图 2-1 所示。工业燃煤小锅炉的分布差异显著，且伴随散煤消费总量的快速下降，其分布的区域性变化较为明显，从大气污染防治的重点区域转向东北、西北和西南地区。如图 2-1 所示，工业燃煤小锅炉在我国大气污染防治措施相对宽松的部分南方省份的占比更高，重点区域（京津冀及周边地区、长三角地区、汾渭平原）由于燃煤小锅炉淘汰力度大其规模显著下降。**东北地区、西南地区和西北地区**由于燃煤锅炉基数大、不属于我国大气污染防治重点区域，燃煤锅炉综合治理力度相对宽松，导致目前工业燃煤小锅炉仍有较大规模。

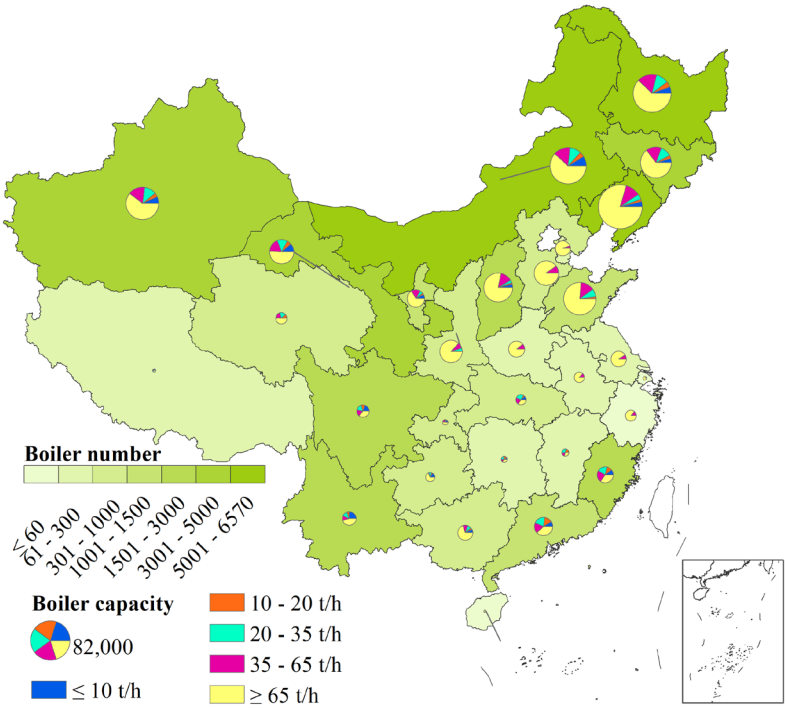



图 2-1：2023 年分省燃煤工业锅炉容量和数量组成及分布

**工业燃煤小锅炉污染物排放量与其空间分布基本一致，**工业燃煤小锅炉污染物排放首要来自于东北地区（如图 2-2 所示）。根据 2023 年工业燃煤小锅炉煤耗量和大气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、$SO_2$、NOx 和 $CO_2$ 排放量分别约为 7.6 万吨、10.8 万吨、7.3 万吨和 6282 万吨。东北地区工业燃煤小锅炉颗粒物、$SO_2$、NOx 和 $CO_2$ 排放量分别占全国污染物排放量比例分别为 50.4%、66.6%、50.4% 和 44.6%。其次为华东地区和西北地区，工业燃煤小锅炉颗粒物、$SO_2$、NOx 和 $CO_2$ 排放量分别占全国污染物排放量比例分别为 19.6%、12.6%、17.4% 和 25.6%。近年来华北地区各省工业燃煤小锅炉淘汰力度大，其大气污染物排放量占比逐年降低，工业小锅炉散煤治理成效显著。华北地区工业燃煤小锅炉颗粒物、$SO_2$、NOx 和 $CO_2$ 排放量分别占全国污染物排放量比例分别为 2.4%、1.0%、1.9% 和 2.8%。

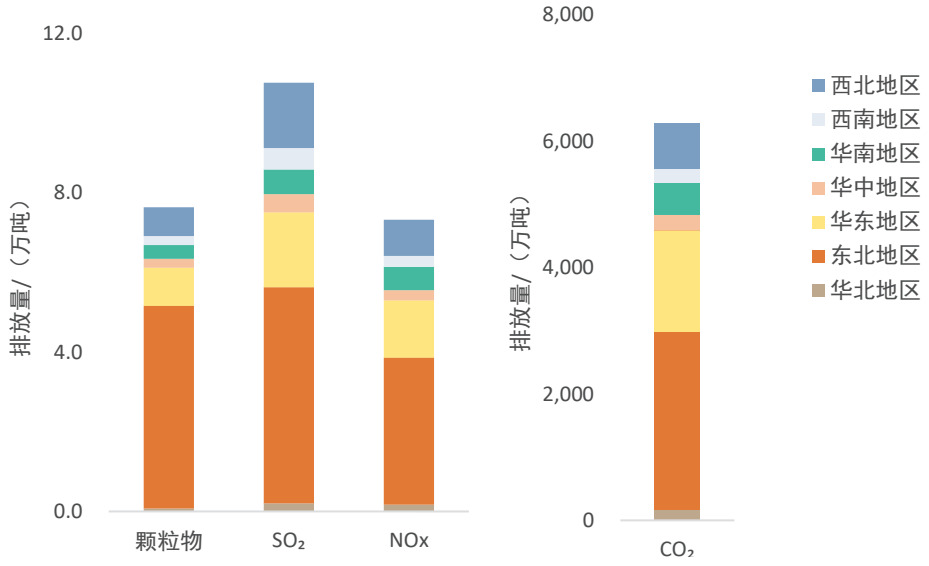



图 2-2：中国各地理分区工业燃煤小锅炉大气污染物和 $CO_2$ 排放量

自“三年行动计划”实施以来，工业燃煤小锅炉规模发生了显著变化，与 2017 年相比，工业燃煤小锅炉容量及煤耗量分别下降 81.6% 和 79.0%。工业小锅炉治理在深挖潜力的关键期，仍需保持定力，一方面，在全国范围内持续强化 10t/h 及以下燃煤小锅炉的淘汰力度；另一方面，针对 10-35t/h 的燃煤小锅炉，根据其容量和数量分布以及排放量的分布特点和变化，实施差异化的深度治理措施。

# （二）政策统筹与部门协同

试点项目清洁取暖工作的有效推进需要明确的政策引导和支持，需要各部门基于共识的参与。目前，国家清洁取暖试点工作主要是由财政、住建、生态环境、能源四个部门（以下简称四部门）联合推动，但各部门对于清洁取暖的关注重点不同，财政部门主要关注项目资金使用的合规性，住建部门主要关注城镇建筑节能改造的推进，生态环境部门主要关注污染减排效果与空气质量改善，能源部门主要关注清洁能源保供和能源低碳转型。对于同一项目不同领域专家的看法存在不一致的情况。

2024 年发布的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》将“每小时 2 蒸吨及以下生物质锅炉”列为淘汰类产品（淘汰类 - 机械类 - 第 66 条）。这一政策文件的发布曾引起广泛热议。针对农村“煤改生物质”项目，生态环境领域专家认为该技术路线对环境质量改善贡献不大，因此不宜推广；能源领域专家则认为燃料供应保障充足的情况下，

该技术路线是能源低碳化的不错选择；住建领域专家认为在电气化没有普及的情况下，此技术路线可以作为一个过渡性方案；农村领域专家认为在实现农业农村燃煤替代、解决农林固废垃圾污染、推进农村“碳中和”、实现农村生态文明建设中意义更大，在农村应优先大力发展。各部门对同一技术路线或路径的不同态度对地方项目的执行、行业发展的定位等都带来了极大挑战。针对当前生物质锅炉的应用现状、污染物排放情况和治理技术，以及散煤替代的潜力，在调研的基础上做了分析，详见附录 1。

此外，目前清洁取暖试点项目推进仍缺乏主导部门，国家四部门对农村事权较轻，而农村地区恰恰是清洁取暖项目的重点和难点。从地方层面来讲，各省市对于清洁取暖的认识和理解不尽相同，同一省份内部也存在差异，导致执行过程、补贴标准、绩效评价等细节操作中缺乏省级统筹规划和有效的内部沟通。由于国家层面缺乏统一的清洁取暖项目管理办法或技术指南，对于刚刚开展试点工作的省市而言，清洁取暖还是新鲜事物，省级缺乏统一的牵头部门，对项目并未形成有效的技术指导，项目实施过程中缺乏动态调整机制，一些地区项目实施过程中无法按照原实施方案落实，甚至部分地区以单纯完成改造任务为目标，为后续的可持续运行埋下重大隐患。

## （三）清洁取暖存量和增量的稳与进

近年来，伴随散煤消费总量的快速下降，其结构组成和区域分布发生了显著变化。现阶段的散煤消费以民用为主，占比约 60%，从分布来看，主要分散在东北和西北的农村地区。由此来看，北方地区的清洁取暖工作仍是散煤治理的重中之重，在重点区域巩固存量、在东北和西北地区有序新增是现阶段的主要任务。

存量与增量的关系往往是相互促进、相互转化的，随着东北和西北地区清洁取暖的推进，改造后的项目也将陆续转化为存量的一部分；改造后的清洁取暖项目在经历二次改造和设备更新的过程中，也会为清洁取暖市场带来增量。因此，在存量和增量的稳与进方面，核心是基于长效机制的清洁低碳取暖方案，即兼顾减污降碳协同的技术方向，农村用能的电气化趋势，以可再生能源为主的现代农村能源体系建立的内在需求，以及用户自主参的市场化选择，成本分摊后的经济可承受，制度化的运维服务与智慧化监管体系等等。重点区域在修正或完善长效清洁取暖的同时，东北和西北地区在清洁取暖改造中应更加重视可持续性。在此前提下，巩固存量以解决散煤返烧为重点；有序新增坚持先易后难的原则。

## （1）巩固存量：重点解决散煤返烧

北方地区冬季清洁取暖是农村能源转型的重要抓手。中央政府补贴和地方配套支持在初期阶段发挥了重要作用，清洁取暖改造的试点示范快速打破了农村传统用能和低效取暖方式，但经济性痛点强化了补贴依赖性，由于补贴政策时效有限，农村居民用户可支付能力存在差异且普遍不高，使得清洁取暖成效在短期内有反复和波动是必然的现实。加之农村空心化，“两栖型”和“候鸟型”城乡旅行者的生活方式，以及地方传统文化习俗和生活习惯等增加了农村清洁取暖改造和运维的复杂性，叠加清洁能源供给能力、能源价格波动、居民家庭收入变化、技术路线选择等多种因素，散煤返烧现象的出现是农村能源清洁低碳转型中的必然波动，是可预见且必须攻克的难题，也是解决清洁取暖可持续性的关键。

基于课题组的实地调研，散煤返烧现象的原因往往不是单一的，而是诸多影响因素共同叠加的结果。同一地区不同技术路径的返煤率存在差异，而同一技术路径在不同地区的返煤率也有显著不同。这与各地的散煤管控力度、煤炭和天然气等能源价格波动、技术路径选择、居民可承受能力、取暖成本、取暖效果、生活习惯等多种因素叠加相关。

综合 8 个城市农村调研的散煤返烧情况分析，从不同区域来看，华北地区农村散煤管控力度大、农户可承受能力较高，返煤率较低。东北、西北地区农村散煤管控力度小、农户可承受能力较低，返煤率相对略高；从不同技术路径来看，取暖成本越高，返煤率越高，取暖成本越低，返煤率越低；从不同用户来看，经济条件好的家庭返煤率低，经济条件差的家庭返煤率高；以年轻人为主的家庭返煤率较低，以老年人为主的家庭返煤率较高。

从不同技术路径返煤率调研结果和返煤原因对比来看，如图 2-3 所示，直热式电暖器、蓄热式电锅炉返煤率最高，返煤原因主要是取暖成本过高；燃气壁挂炉返煤率在 35% ~ 50%，返煤原因主要是取暖成本较高、取暖效果不理想、气源不稳定等；空气源热泵取暖成本较低，但在不同地区返煤率有较大差异，华北地区的城市 A、城市 B 空气源热泵返煤率仅为 3% ~ 5%，但在西北地区的城市 D、城市 E 返煤率达到 60% ~ 80%，返煤原因主要是西北地区农村长期以来形成了用烤火炉煨罐罐茶、烤馍、做饭、烧水等习惯，而空气源热泵无法兼顾用户炊事和热水的需求，因此返煤率较高。需要说明的是，西北地区的空气源热泵取暖并非完全弃用，而是与燃煤烤火炉并用，散煤用量较改造前有所下降；“太阳能 + 电辅热”取暖成本居中，但返煤率在 90% 以上，返煤的主要原因除了取暖成本高、取暖效果差以外，最主要的问题是不能兼顾做饭，而且太阳能集热管经常出现冻管、爆管、漏水等问题，加之售后服务不到位，因此弃用率较高；生物质炉具取暖成本较低，但不同地区返煤率也有较大差异，西北地区的城市 E 生物质炉具取暖返煤率约为 40%，而在东北地区的城市 F、城市 G、城市 H 返煤率达到 70% ~ 90%，这是因为城市 E 清洁取暖改造前当地农户以烧煤为主，烧生物质颗粒取暖与烧煤相比成本较高、操作不方便（需要经常清灰）、室内环境差（清灰时室内飞灰较多）。而在东北地区生物质炉具返煤率较高的主要原因是东北地区农户在改造前通常以免费的秸秆、玉米芯、薪柴等取暖为主，在极寒天气会烧煤取暖，秸秆压块与免费的秸秆、薪柴相比不具备经济性优势，与散煤相比热值低、不耐烧、需要经常清灰，在极寒天气取暖效果差，难以满足用户的取暖需求；地源热泵取暖成本最低，仅为燃煤取暖的 60% 左右，调查样本中未出现返煤现象。

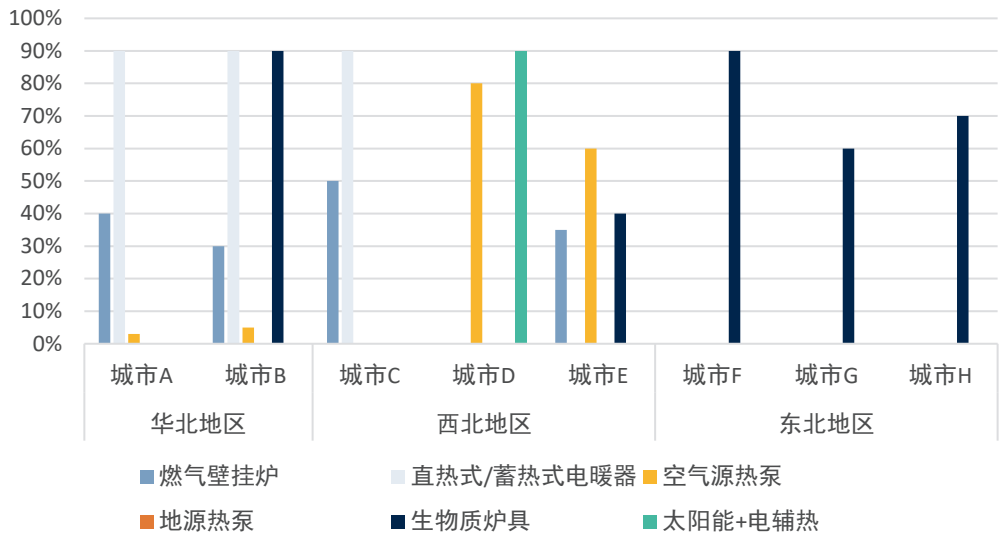



图 2-3：8 个调研城市不同技术路径返煤返柴率比较图

注：（1）仅代表所调研农村的返煤率；（2）城市 F 返烧薪柴和秸秆。

总体来看，返煤原因可以分为两类，一类是主动返煤，返煤原因包括清洁取暖运行费用高、取暖效果不理想、不能兼顾做饭和热水、老年人对清洁取暖设备使用不习惯等问题，使得用户主动选择散煤取暖；另一类是被动返煤，返煤原因包括设备质量差、故障频发、用户无法正常使用、燃气供应不足、生物质成型燃料购买不便等原因，迫使用户不得不返煤。从返煤状态来看，也分为两类，一类是完全弃用清洁取暖设施，整个采暖季都烧煤烧柴取暖；另一类是农户在使用清洁取暖设施的同时，也保留炉具烧煤烧柴进行炊事取暖，以作为补充或安全兜底保障，但用煤量较改造前有所下降。

由此来看，散煤返烧现象需要具体问题具体分析，对清洁取暖试点改造后的充分调研和全面评估是非常必要的，包括清洁能源供应、设备运行和维护、设备使用的经济性与便捷性、用户其他生活需求的契合程度等情况。一方面，摸清存量家底，以便查缺补漏；另一方面，存量的稳源于用户的真实体验，调动农户自主意愿，在技术路线的二次改造和产品设备更换或更新的过程中，以不返烧散煤为前提，提供多元的产品和设备，将选择权交给用户，并逐步提高清洁取暖设备的使用率。

## （2）有序新增：先易后难、分阶段推进

由于东北和西北地区的气候条件、经济条件、基础设施、农村人口及居住和生活习惯等与重点区域的试点城市存在较大差异，这些差异决定了清洁取暖工作的推广不能简单照搬或复制重点区域的方案，需要因地制宜、因时制宜，更加稳妥有序地、分阶段、分区域地扩大清洁取暖试点。

目前，全国共有 166 个[6] 城市具有集中供热需求，其中，83 个城市尚未纳入中央财政支持的北方地区清洁取暖示范试点城市和支持城市，其地理分布见图 2-4，不同区域的数量分布参见表 2-1。其中，65 个具有供暖需求且尚未纳入清洁取暖试点的城市分布于东北地区（30%）、西北地区（39%）和华北地区（10%），主要位于辽宁省、黑龙江省、甘肃省一带。


图 2-4：具有集中供暖需求且未纳入中央财政支持的清洁取暖试点的城市分布图

表 2-1：具有供暖需求且未纳入清洁取暖试点城市的城市数量分布

| 地区 | 省份 | 具有集中供热需求且未纳入清洁取暖试点城市数量 |
|---|---|---|
| 华北地区 | 北京市、天津市、河北省、内蒙古自治区、山西省 | 8 |
| 东北地区 | 辽宁省、吉林省、黑龙江省 | 25 |
| 西北地区 | 陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区 | 32 |
| 华东地区 | 上海市、江苏省、浙江省、安徽省、福建省、江西省、山东省，以及台湾省 | 7 |
| 西南地区 | 重庆市、四川省、贵州省、云南省、西藏自治区 | 5 |
| 华中地区 | 河南省、湖北省、湖南省 | 6 |
| 华南地区 | 广东省、广西壮族自治区、海南省、香港和澳门特别行政区 | 0 |

6 国家统计局. 中国城市建筑统计年鉴2022。

根据《“十四五”清洁取暖重点城市筛选方法及改造目标研究》中基于环境改善需求和实施难度分析的清洁取暖重点城市筛选方法[7]，依次对该 65 个城市进行评估。

**（1）环境质量改善需求的指标设计和筛选结果**

在环境质量改善需求评估方面，拟定大气污染的表征指标 $PM_{2.5}$ 和散煤污染排放的表征指标 $SO_2$ 作为主要评价对象，在时间尺度上，借鉴生态环境领域常用的三年滑动平均值指标思路，初步确定三项筛选指标，即年 PM2.5 浓度、采暖季 PM2.5 浓度、采暖季比非采暖季 $SO_2$ 浓度增加率，具体如下：

1. 按照《环境空气质量标准》GB3095-2012，筛选最近三年 $PM_{2.5}$ 年均值超过二级标准 35 的城市；
2. 鉴于采暖季 $PM_{2.5}$ 浓度较高的城市，采暖季空气质量改善需求更迫切，因此筛选最近三年采暖季 $PM_{2.5}$ 浓度大于 45 的城市；
3. 由于冬季供暖导致大气污染物排放量增加，重点分析与燃煤污染密切相关的 $SO_2$ 浓度，筛选近三年采暖季 $SO_2$ 浓度相比非采暖季升高 80% 以上的城市。

上述三项指标的统计结果如表 2-2 所示，三项指标中至少有一项指标超标的城市有 33 个。其中，仅一项指标超标的城市有 20 个，两项指标超标的城市有 10 个，三项指标均超标的城市有 3 个。将至少有两项指标超标的城市（共计 13 个）列为通过清洁取暖改造实现环境质量改善的重点城市，城市名单详见表 2-3。

## 表 2-2：具体指标超标城市的数量统计

| | 年均 PM2.5 浓度 | 采暖季 PM2.5 浓度 | 采暖季 SO2 增加率 | 城市数量 |
|---|---|---|---|---|
| 是否超标 | √ | √ | √ | 3 |
| | √ | √ | | 6 |
| | | √ | √ | 4 |
| | √ | | | 10 |
| | | √ | | 2 |
| | | | √ | 8 |

7 袁闪闪，陈潇君，薄宇，等.“十四五”清洁取暖重点城市筛选方法及改造目标研究[J].建筑科学，2021,37(12):131-136+143. DOI:10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2021.12.18.

## 表 2-3：环境需求影响下的新增清洁取暖试点城市优选名单

| 地区 | 省份 | 城市 |
|---|---|---|
| 东北地区 | 辽宁 | 锦州、鞍山、辽阳、抚顺、葫芦岛、铁岭 |
| 西北地区 | 新疆 | 阿克苏地区、喀什地区、伊犁、和田、吐鲁番 |
| 西北地区 | 陕西 | 汉中、安康 |

**（2）实施难度的指标设计和筛选结果**

在地方财政能力的评估方面，综合考虑地方数据可获性和数据可比性，选取了公共预算支出（Public Budget Expenditure，PBE）与城市公共收入（Public Income，PI）的比值作为评估指标。为了规避疫情的经济影响，本报告采用 2019 年地方财政收支数据作为评估数据。

基于环境质量改善需求确定的 13 个优选城市的 PBE/PI 指标值比较如图 2-5 所示。其中，陕西省安康市、新疆维吾尔自治区喀什地区、和田地区和陕西省汉中市的 PBE/PI 指标值较大，主要经济还需要依靠中央财政列支各项财政预算，如果进行清洁取暖，地方财政对清洁取暖的补贴会面临较大压力，本报告初步将将 PBE/PI ＜ 5 的 9 个城市保留在清洁取暖试点城市的优选名单中。

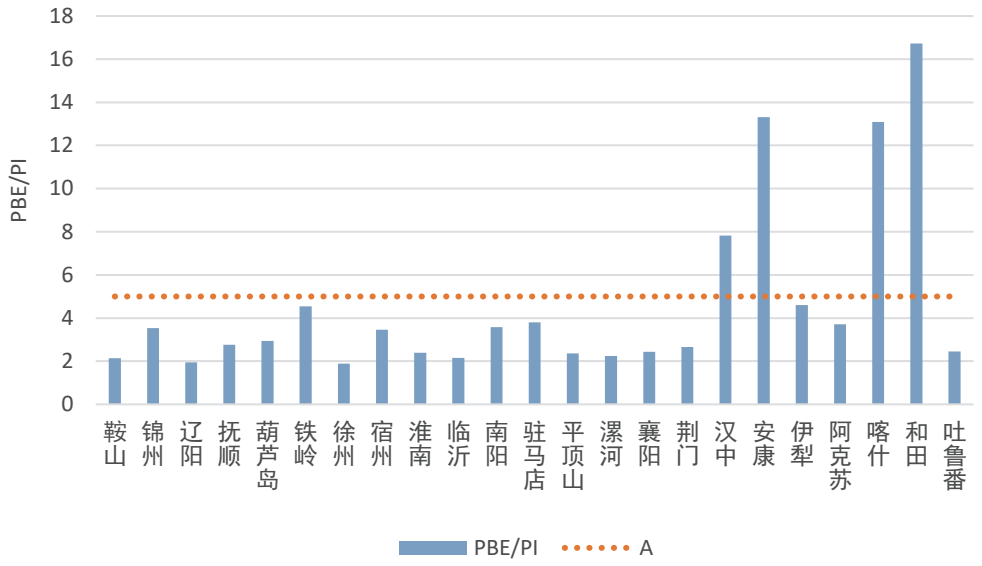



图 2-5：23 个城市的 PBE/PI 值比较

在气候条件影响的施工难度的指标设计中，本报告主要从气象指标，即采暖度日数（Heating Degree Day based on 18℃，HDD18）作为评估指标，将采暖度

日数（HDD18）低于 3800 的寒冷地区作为难度相对较低、可优先推进的地区；HDD183800 的严寒地区，由于相比寒冷地区，对供热可靠性要求较高，供热时间较长，供热需求较大，可作为后续推进的地区。根据环境质量改善影响和地方财政指标筛选出的 9 个城市的 HDD18 指标值参见图 2-6。

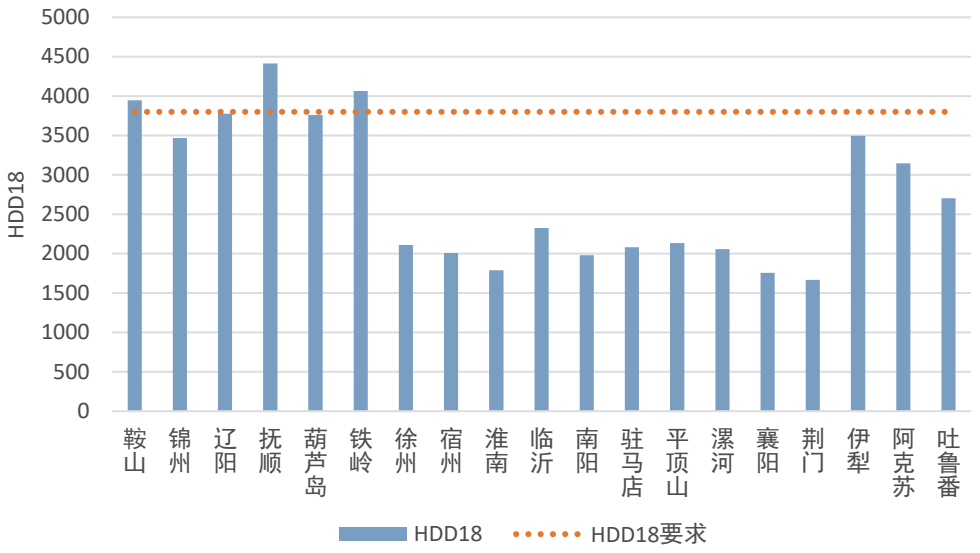



图 2-6：19 个城市 HDD18 指标值比较

按照气象条件影响因素，剔除供热需求高和供热运行费用高的城市后，最终筛选 6 个清洁取暖试点的优选城市，即锦州、辽阳、葫芦岛、伊犁、阿克苏和吐鲁番等（见表 2-4）。

表 2-4：中央财政支持清洁取暖示范的支持城市的建议优选城市名单

| 序号 | 地区 | 省 | 市 |
|---|---|---|---|
| 1 | 东北地区 | 辽宁省 | 锦州 |
| 2 | 东北地区 | 辽宁省 | 辽阳 |
| 3 | 东北地区 | 辽宁省 | 葫芦岛 |
| 4 | 西北地区 | 新疆维吾尔自治区 | 伊犁 |
| 5 | 西北地区 | 新疆维吾尔自治区 | 阿克苏 |
| 6 | 西北地区 | 新疆维吾尔自治区 | 吐鲁番 |

在有序扩大清洁取暖试点工作中，在具有通过清洁取暖实现环境质量改善的需求的城市中，本着先易后难的原则，有序推进以长效机制为核心的清洁取暖试点示范。

# (四) 北方地区清洁取暖补贴的进与退

长效的清洁取暖必须处理好短期和长期的关系，合理规划各阶段的重要任务和推进节奏，确保清洁取暖支出在农村居民用户的经济可承受范围之内。在清洁取暖的初始阶段，补贴政策强有力地推进了清洁取暖改造工程的落地，截至到目前，覆盖了北方农村地区 3900 万户家庭。为提高清洁取暖设备的使用率，巩固清洁取暖成效，政府不仅安排了运行补贴，还为改造用户提供了设备更新的相关补助资金。随着清洁取暖工程的不断扩大和推进，一方面，政府的财政压力越来越大，难以为继，补贴退坡直至退出是必然选择；另一方面，农村用户清洁取暖意识的增强以及市场多元化的发展，预示着农户自主参与的基础正在形成，补贴退坡正当时，设备更新机制的设计应充分考虑用户能动性。

## （1）补贴依赖与财政压力凸显

当前清洁取暖工作仍然依赖政府补贴，现行清洁取暖补贴政策主要包括建设期的管网建设和设备购置补贴，以及改造后的运行费用补贴。

重点区域在财政补贴的支持下，完成清洁取暖改造，鉴于改造后清洁取暖成本和居民可承受能力之间仍有差距，散煤返烧现象在部分地区仍然存在，为降低用户的清洁取暖支出，地方政府不同程度的安排运行补贴，目前，居民终端的运行补贴由中央财政、省级财政和市县财政共同承担，以市县财政资金为主。河北、山东等地多年来的大规模持续推进造成市县财政困难，目前部分市县仍有欠账，在当前经济形势下，市县持续提供运行补贴的压力较大。

东北和西北地区大部分试点城市正处在改造和建设阶段，一方面，经济、气候条件以及基础设施等方面都决定了清洁取暖的难度在升级，需要更多的资源投入；另一方面，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，中央资金带动作用呈现明显下降趋势。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，东北和西北地区则更低，中央资金带动系数为 1.43 倍。由于东北和西北的大部分城市经济体量小、疫情后财政“三保”压力大，在负担清洁取暖后续的运行补贴方面也显得后继乏力。

随着清洁取暖范围不断扩大、数量不断增多，地方政府财政负担越来越重。如某市在 2022—2023 年采暖季的“煤改气”、“煤改电”运行补贴高达 1.34 亿元，其中仅“煤改气”补贴就高达 0.95 亿元，给市县两级财政造成了严重压力。特别是对于经济不发达的县，政府财力严重不足，面临较大资金缺口。同时，由于气源采购成本高于销售价格，当地多家城燃企业利润倒挂、亏损严重，面临巨大经营压力；某县推广生物质炉具取暖 1.9 万户，为防止散煤复燃，该县对生物质燃料补贴 700 元 / 吨，按照户均 3 吨的用量计算，一个采暖季该县在燃料补贴上的花费高达 4000 万元，给当地政府带来了极大挑战。

## （2）运行补贴退坡和设备更新机制渐明

2017 年以来，北方地区冬季清洁取暖试点涉及五批次总计 88 个试点城市，中央财政累计拨付超过千亿元。尽管地方补贴标准的设计存在较大的差异，但随着试点项目的推进，尤其是重点区域试点城市政府补贴 3 年时效已满，设备更新以及运行成本成为了清洁取暖可持续性的关键。

表 2-5 梳理了当前重点地区关于清洁取暖试点的运行补贴政策。河北省“煤改气”补贴调整为 9 年，分 3 个阶段退坡至 25%，并开始探索无补贴或少补贴的设备更新升级路径；山东部分地区明确了 3 年退出期限；陕西省提出延长 5 年运行补贴，并提高补贴标准；河南省安阳市创新采用“电采暖消费券”补贴运行模式，采用“提前发放、鼓励消费、统一结算、据实补贴”方式。

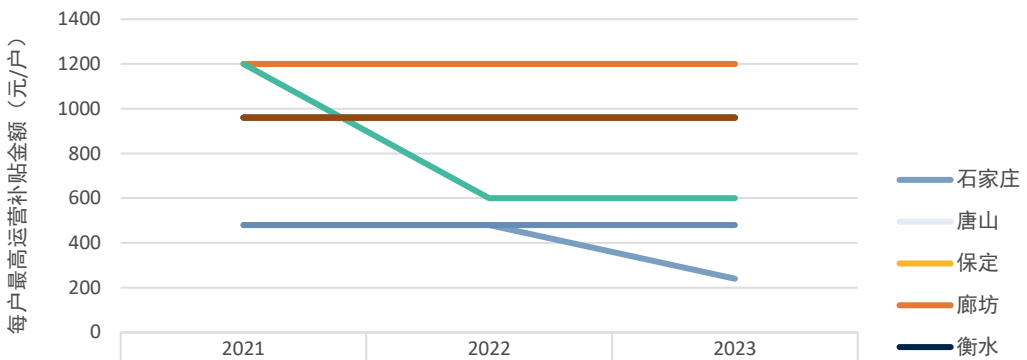
### 表 2-5：重点地区部分省市清洁取暖运行补贴情况

| | |
|---|---|
| 北京 | 北京自 2013 年起率先在全国启动了农村地区“减煤换煤 清洁空气行动”，并持续推进至今，清洁取暖设备将陆续进入更新期，为做好设备更新工作，制定了《**北京市农村地区清洁取暖设备更新工作指导意见**》（京政农发〔2023〕49 号）。对清洁取暖设备运行使用满 10 年且无法正常使用和虽没有达到使用年限经认定具备报废标准的，参照家电下乡补贴方式，由农村住户市场化自行购买符合要求的清洁取暖设备，按照产品销售价格的 40% 进行补贴。空气源热泵类产品最高补贴金额不超过 0.6 万元 / 户，其他产品最高补贴金额不超过 0.36 万元 / 户。对一次性支付设备资金有困难的农户，给予分期付款或贴息支持。 |
| 天津 | 按照国家有关要求，为持续巩固居民冬季清洁取暖成果，市发展改革委和市财政局印发《**关于天津市 2023-2024 采暖期居民清洁取暖有关运行政策的通知**》（津发改能源规〔2023〕6 号），2023-2024 采暖期继续执行天津市居民“煤改电”“煤改气”有关运行政策。通知内容有效期一年，自 2023 年 11 月 1 日起至 2024 年 10 月 31 日止。 |
| 河北 | 河北省气代煤电代煤工作领导小组办公室印发《**关于完善农村冬季清洁取暖运行补助长效机制的通知**》（冀代煤办〔2021〕33 号）要求，将改气运行补助期限调整为 9 年，其中前 3 年仍按采暖季用气补助 0.8 元／立方米标准执行，第 4-6 年退坡至 50%，第 7-9 年退坡至 25%。 |
| | 《河北省衡水市安平县住建局“双代办”关于农村冬季清洁取暖运行补助长效机制的公告》提出，按照河北省市文件补贴政策及精神，随省市政策进行调整，运行补助期限调整为 9 年，省市县各承担 1/3。 |
| | 为加强农村气代煤电代煤取暖设备维修保养服务机制建设，巩固提升农村“双代”改造成效，2023 年 7 月 28 日河北省气代煤电代煤工作和冬季供暖应急处置领导小组办公室印发了《**关于加强农村气代煤电代煤取暖设备维保服务的指导意见（征求意见稿）**》。该《意见》要求稳妥探索设备更新路径，针对部分“双代”设备寿命到期、早期建设的少数电代煤设备能效比较低的情况，各地要着眼长远，提早调研谋划，选择太阳能、热泵、生物质等清洁高效、不需补贴或仅少量投资补贴的设备更新升级路径。 |

| | |
|---|---|
| 山东 | 《**2023 年全省清洁取暖建设工作方案**》（鲁建城建字〔2023〕3 号）提出，选择与当地资源禀赋和群众收入水平相适应、清洁高效、不需补贴或仅少量投资补贴的技术路线，不建议采用运行成本高、取暖效果差、返煤风险大的改造模式。严控新增农村气代煤项目。各地电代煤规模要确保与电力供应、居民承受、资金保障等能力相匹配。不具备条件的，暂缓大规模推进。 |
| | 为保障清洁取暖改造成果，根据 2023 年 2 月省发改委等五部门《转发国家发展改革委等部门关于促进北方地区清洁取暖持续向好发展意见的通知》要求，经市政府研究，对我市原清洁取暖运行补贴政策适当调整后，继续延长补贴一段时期，印发《**济南市人民政府办公厅关于明确清洁取暖运行补贴有关事宜的通知**》（济政办函〔2023〕12 号）。该《通知》提出，已享受清洁取暖运行补贴政策 3 年及以上的气代煤电代煤用户，自 2023-2024 年采暖季起，连续两个采暖季每户最高补贴 900 元，之后两个采暖季每户最高补贴 600 元，再之后两个采暖季每户最高补贴 300 元，此后不再发放运行补贴。 |
| | 《**滨州市人民政府办公室关于进一步做好清洁取暖运行补贴有关工作的通知**》（滨政办字〔2023〕60 号），明确补贴范围是 2017-2022 年期间实施的改气、改电、改生物质且目前仍继续使用的用户，补贴标准是自 2023-2024 年采暖季实行退坡补贴政策，至 2025-2026 年采暖季结束后不再发放运行补贴。 |
| 山西 | 山西省发展改革委印发《**山西省发展和改革委员会关于 2022-2023 年采暖期“煤改电”用电价格及有关事项的通知**》（晋发改商品发〔2022〕420 号），执行期限延长至 2023 — 2024 年采暖期结束。 |
| | 根据《国家发展改革委等部门关于促进北方地区清洁取暖持续向好发展的意见》及山西省相关文件要求，长治市发展改革委、长治市财政局关于印发《**长治市 2022-2023 年取暖季居民清洁取暖有关运行补贴资金实施方案**》的通知 （长发改清洁取暖发〔2023〕231 号），有效期自 2022 年 11 月 1 日起至 2023 年 3 月 31 日止。 |
| 河南 | 《**河南省生态环境厅关于 2023 年提前批中央大气防治资金用于农村清洁取暖运营补贴分配建议的函**》（豫环函〔2022〕188 号）和《河南省财政厅关于提前下达 2023 年中央农村清洁取暖运营补贴资金的通知》（豫财环资〔2022〕111 号）文件要求，切实做好 2023 年农村清洁取暖运营补贴资金发放工作。 |
| | 安阳市在省内率先采用“电采暖消费券”模式，按照“提前发放、鼓励消费、统一结算、据实补贴”的方式，待取暖季结束后进行统一清算兑付，确保群众清洁取暖“用得上、用得起、用得好”。 |
| 陕西 | 陕西省财政厅、陕西省发展改革委、陕西省生态环境厅印发了《**陕西省汾渭平原散煤治理清洁能源替代补助方案**》对完成散煤治理清洁能源替代的城乡居民用户给予运行补助，补助原则是“提高补助标准、延长补助时间、补量不补钱”，以户为单位给予采暖季运行补助，标准不低于 600 元 / 户 / 采暖季。运行补助执行期为 2023-2027 年 5 个采暖季，补助方式按照“补量不补钱”的原则，折算为采暖季用电量、用气量直接发放到户，在暂不具备清洁能源替代条件的地区并以推广洁净煤（含生物质成型燃料）过渡的，将补助金额折算成实物发放。 |

据调研获悉，受补贴退坡和退出政策影响较大的群体是“煤改气”用户，涉及重点区域近 1700 万户，主要分布在河北、山东、山西、陕西四省，合计占全国总量的 90% 以上。

**河北多地实施运行补贴退坡机制。**如图 2-7 所示，2023 年，河北省各地煤改气最高补贴金额在 240~1200 元 / 户之间（最高补贴气量均为 1200m$^3$/ 户），承德因主要以煤改电、煤改生物质为主，未制定煤改气运行补贴政策，其他运行补贴最低的是石家庄，为 240 元 / 户，最高的是保定和廊坊，为 1200 元 / 户。目前，石家庄、秦皇岛、张家口、邯郸实施运行补贴退坡机制，运行补贴执行期 9 年。石家庄规定法定采暖期内，第 1 年实施煤改气用户每使用 1m$^3$ 天然气，给予 1.4 元补贴，第 2、3 年补贴按 0.8 元 /m$^3$ 标准执行，第 4—6 年退坡至 50%，第 7-9 年退坡至 25%，每户最高补助气量 1200m$^3$。石家庄 2017 年纳入国家首批试点，2019 年试点结束，最早的煤改气用户到 2023 年已改造完成 7 年，每户最高补助金额为 0.8×1200×25%=240 元，最晚的煤改气用户到 2023 年已改造完成 5 年，每户最高补助金额为 0.8×1200×50%=480 元。保定、廊坊仍按照采暖用气 1 元 /m$^3$ 的气价补贴、每户每年最高补贴气量 1200m$^3$ 标准执行。

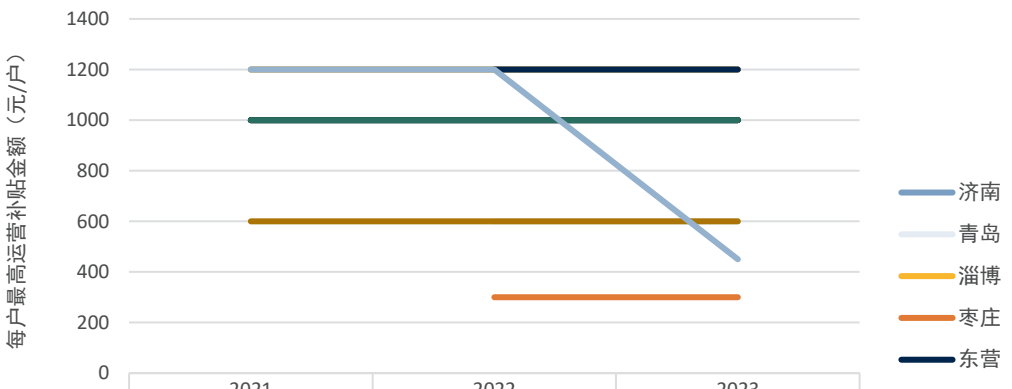



| | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|
| 石家庄 | 480 | 480 | 240 |
| 唐山 | 960 | 960 | 960 |
| 保定 | 1200 | 1200 | 1200 |
| 廊坊 | 1200 | 1200 | 1200 |
| 衡水 | 960 | 960 | 960 |
| 沧州 | 1200 | 600 | 600 |
| 邯郸 | 960 | 960 | 960 |
| 邢台 | 480 | 480 | 480 |
| 张家口 | 960 | 960 | 960 |
| 秦皇岛 | 960 | 960 | 960 |

图 2-7：2021-2023 年河北各地煤改气运行补贴标准变化

**山东部分城市下调运行补贴标准。**如图 2-8 所示，2023 年，山东各地煤改气最高补贴金额在 300~1200 元 / 户之间，运行补贴最低的是枣庄，为 300 元 / 户，最高的是济南、淄博和东营，为 1200 元 / 户，其他城市以 1000 元 / 户居多。山东部分城市实施运行补贴退坡政策。2023 年 10 月，济南市人民政府印发《关于明确清洁取暖运行补贴有关事宜的通知》（济政办函〔2023〕12 号），明确规定分户式清洁取暖运行补

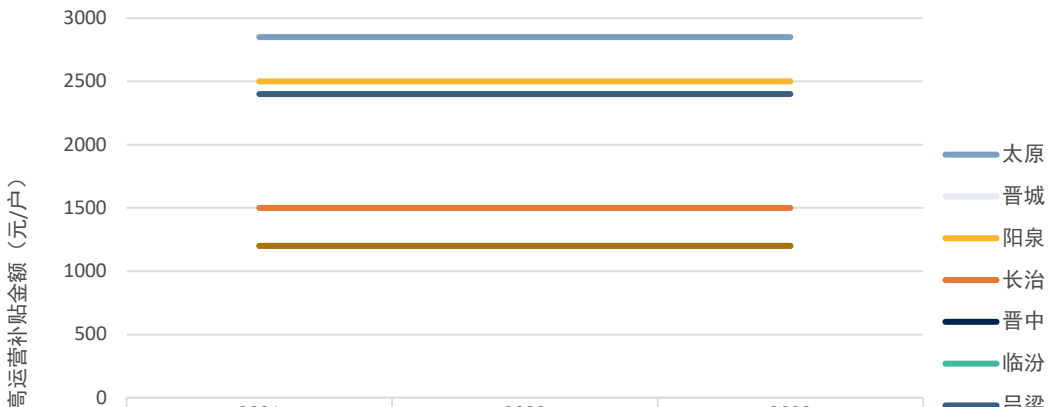
贴。已享受清洁取暖运行补贴政策 3 年及以上的煤改气用户，自 2023—2024 年采暖季起，连续两个采暖季每户最高补贴 900 元，之后两个采暖季每户最高补贴 600 元，再之后两个采暖季每户最高补贴 300 元，此后不再发放运行补贴。享受运行补贴政策不足 3 年的用户，每户每个采暖季最高补贴 1200 元，满 3 年后参照上述标准执行。




| | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|
| 济南 | 1200 | 1200 | 1200 |
| 青岛 | | 600 | 600 |
| 淄博 | 1200 | 1200 | 1200 |
| 枣庄 | | 300 | 300 |
| 东营 | | 1200 | 1200 |
| 烟台 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 潍坊 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 济宁 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 泰安 | 600 | 600 | 600 |
| 德州 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 聊城 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 菏泽 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 滨州 | 1200 | 1200 | 450 |

图 2-8：2021-2023 年山东各地煤改气运行补贴标准变化

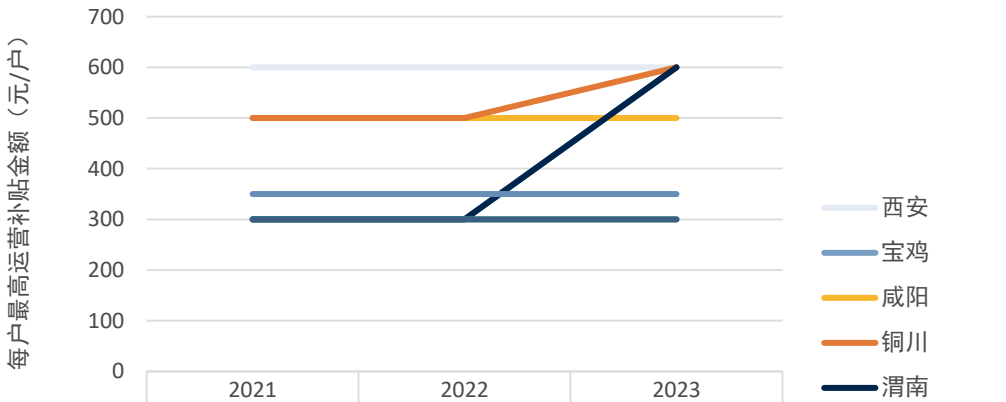
山西个别城市取消运行补贴政策。2017 年以来，山西各地煤改气运行补贴标准差异较大，其中大同、忻州主要以煤改电为主，未制定煤改气运行补贴政策。如图 2-9 所示，2023 年，只有太原、阳泉、长治、吕梁、运城和朔州仍保留了运行补贴，最高补贴金额在 1200~2850 元 / 户之间，运行补贴最低的是运城和朔州，为 1200 元 / 户，最高的是太原，为 2850 元 / 户。晋城、晋中和临汾在运行过程中，在地市层面直接取消了运行补贴。




| | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|
| 太原 | 2850 | 2850 | 2850 |
| 晋城 | 1000 | | |
| 阳泉 | 2500 | 2500 | 2500 |
| 长治 | 1500 | 1500 | 1500 |
| 晋中 | | | |
| 临汾 | | | |
| 吕梁 | 2400 | 2400 | 2400 |
| 运城 | 1200 | 1200 | 1200 |
| 朔州 | 1200 | 1200 | 1200 |

图 2-9：2021-2023 年山西各地煤改气运行补贴标准变化

**陕西规范、提高关中地区运行补贴标准**。陕西省提高关中地区最低运行补贴标准。2023 年 8 月，陕西省财政厅、陕西省发展和改革委员会、陕西省生态环境厅联合印发《陕西省汾渭平原散煤治理清洁能源替代补助方案》（陕财办资环〔2023〕59 号），要求关中地区完成散煤治理清洁能源替代改造工作的西安市、宝鸡市、咸阳市、铜川市、渭南市、韩城市和杨凌示范区等 6 市 1 区对完成散煤治理清洁能源替代的城乡居民用户给予运行补助，以户为单位给予采暖季运行补助，标准不低于 600 元 / 户 / 采暖季（2023 年以前最低标准为 300 元 / 户 / 年），执行期限运行补助执行期为 2023—2027 年 5 个采暖季。目前，各城市煤改气的运行补贴标准如图 2-10 所示。2023 年，陕西煤改气最高补贴金额在 300~600 元 / 户之间，其中，宝鸡、铜川、渭南的运行补贴均已提高至 600 元 / 户。




| | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|
| 西安 | 600 | 600 | 600 |
| 宝鸡 | 300 | 300 | 600 |
| 咸阳 | 500 | 500 | 500 |
| 铜川 | 500 | 500 | 600 |
| 渭南 | 300 | 300 | 600 |
| 杨凌示范区 | 300 | 300 | 300 |
| 延安 | 300 | 300 | 300 |
| 榆林 | 350 | 350 | 350 |

图 2-10：2021-2023 年陕西各地煤改气运行补贴标准变化

在设备更新方面，根据《家用燃气燃烧器具安全管理规则》（GB 17905-2008）规定，使用天然气的快速热水器、容积式热水器和采暖热水炉的判废年限应为 8 年。2017 年首批清洁取暖试点城市煤改气安装的燃气壁挂炉已接近报废年限，随着设备使用年限的提高，故障率也在逐步提高，各城市还将面临燃气壁挂炉设备更新的问题。在政策执行层面，北京参照“家电下乡”模式已开始实施新一轮设备更新；河北和山东省正在研究无补贴或低补贴的设备更新政策机制；山东省明确提出严控改气、慎重改电，新实施项目将摒弃运行成本高、取暖效果差、返煤风险大的技术路径等。

总体来看，重点地区清洁取暖试点陆续进入项目巩固期，围绕现有改造技术路径实施提质增效，在深度复盘的基础上，科学合理的评估高质量、可持续的发展模式，逐步明确了运行补贴退出时间、退坡速度、降补标准，积极探索设备更新的补贴方式，借助新一轮置换市场，积极调动农户的自主意愿和自主参与，激发清洁取暖产品的创新性竞争。

# 第三章 清洁取暖试点的微观观察

从区域位置、资源禀赋、经济条件、项目进度、技术路径选择等方面综合考虑，选取了河北省石家庄市、山西省长治市、陕西省铜川市、黑龙江齐齐哈尔市、吉林省长春市、辽源市、甘肃省兰州市、宁夏回族自治区吴忠市，共 7 省 8 市 11 个区县 14 乡镇 17 个村的 324 个用户进行调研，调研范围覆盖了华北、东北、西北的第一批到第五批清洁取暖试点城市，详见表 3-1。

表 3-1：调研城市清单

| 调研区域 | 城市 | 特点 |
|---|---|---|
| 华北地区 | 石家庄 | 第一批清洁取暖试点城市；清洁取暖工作起步较早；省会城市；技术路径多样；具备跟踪调研基础。 |
| | 长治 | 第二批清洁取暖试点城市；技术路径多样；具备跟踪调研基础。 |
| 西北地区 | 铜川 | 第三批清洁取暖试点城市；煤改电为主；具备跟踪调研基础。 |
| | 兰州 | 第四批清洁取暖试点城市；省会城市；以“太阳能 +”为主。 |
| | 吴忠 | 第四批清洁取暖试点城市；以空气源热泵为主。 |
| 东北地区 | 辽源 | 第四批清洁取暖试点城市；以生物质炉具为主。 |
| | 长春 | 第五批清洁取暖试点城市；省会城市；项目刚刚起步，以生物质炉具为主。 |
| | 齐齐哈尔 | 第五批清洁取暖试点城市；项目刚刚起步，以生物质炉具为主。 |

通过对 8 市的实地调研，从具体改造项目、具体村落，甚至具体用户等层面，对清洁取暖试点的政策落实、建设进程、用户需求与实体体验、市场响应等多方面进行观察和思考。希望对下一步清洁取暖工作的推进提供参考。

# （一）农村清洁取暖工作推进的基础条件较差

我国农村地区广大且分散，区域差别非常大，而农村相关信息和数据缺乏系统性的收集和统计，因此，很多清洁取暖试点技术方案的制定及后续工作的推进缺乏足够的决策支撑。

首先，近年来农村常住人口情况变化很大，缺乏最新数据支撑。目前农村地区普遍存在“空心化”，很多农民外出务工或陪读，农村实际居住人群主要是老人和学龄前儿童，以东北吉林省为例，部分村镇实际居住人口仅占户籍人口的 30%-50%，有些村只剩几十人居住。同时，农村还有不少老人为季节性的“候鸟人口”（冬季到城里过冬），以常住人口统计值为基数配置清洁取暖设备，易造成设备数量或功率高配。

其次，农村建筑面积底数不精确。农村住宅基本都是自建房，目前大部分地区未进行农房的建筑测绘，农房的建筑面积往往由村镇干部估算得出，再以户籍人口和户均面积推算各村总建筑面积。前期农村建筑面积不准确导致后期建筑节能改造实施规划不符合实际，部分人口集中村改造面积不足，部分空心村的改造面积却超出预期，甚至出现为“完成任务”给空置农房改造的现象。

再次，农村清洁取暖率、用能数据等统计不全面。普遍存在重纸面上设备改造完成数量统计，轻用户真正设备使用率调查数据统计。尤其东北、西北农村地区各类清洁取暖技术应用面积少，各地未集中开展过清洁取暖改造，对于农村的现状、清洁取暖户数、取暖方式、取暖面积等数据缺乏系统性的统计和调查，导致部分地区难以科学制定实施方案和清洁化目标。如阜新市农村清洁取暖率现状仅为 10%，申报方案提出 3 年实现清洁取暖率 100%，改造农户 28.3 万户，实施难度较大。

此外，农村地区基础设施建设不完善，改造实施难度大。目前第四、第五批清洁取暖试点城市主要为东北、西北地区，农村的电力、燃气等基础设施建设尤为滞后，难以大面积推行“煤改电”、“煤改气”工程，如辽宁、吉林等地的农村地区在“煤改电”过程中，均出现了部分村镇农网电力供应不足的问题。东北地区目前推行的“煤改生物质”，也出现了因生物质收储运产业链不完善而导致后期运行效果不理想的现象，生物质成型燃料的推广使用仍需进一步探索和完善。

最后，农村地区的差异性较大，因村制宜、甚至因户制宜是非常现实的考量。东北、西北地区气候较华北等地更为寒冷，采暖周期一般为 5-7 个月，且生活习惯、经济条件也大不相同，一些在华北地区使用较好的清洁取暖技术在这些地区不能照搬推广，需要结合实际情况，一地一策，结合资源和经济条件等探索和制定适宜性技术方案。同时，改造方案也需要充分考虑施工周期短的问题，如 2022-2023 年东北地区采暖季气温出现异常低温，大部分地区延长供暖 15 天，如集中供热改造、供热管网改造和建筑节能改造等项目，需供暖期结束后才能施工，导致东北区域整体项目进度较慢。即便是在同一省市，不同村落之间也存在很多现实的差异，包括经济条件、常驻人口、生活习惯等，这些差异性对清洁取暖的具体推进工作带来很大的挑战。

# （二）农村家庭清洁取暖可承受力不超过收入的 4%

公开数据显示，2023 年石家庄市、长治市、铜川市、兰州市、吴忠市、辽源市、长春市和齐齐哈尔市农村居民人均可支配收入分别为 21242 元、21226 元、14140 元、18604 元、22260 元、17783 元、18473 元和 20790 元，按照《第七次全国人口普查公报》中各市家庭平均人口 2.82 人 / 户、2.59 人 / 户、2.51 人 / 户、2.43 人 / 户、2.79 人 / 户、2.33 人 / 户、2.41 人 / 户和 2.23 人 / 户计算，8 个城市农村家庭平均可支配收入为 3.55~6.21 万元 / 年。其中，石家庄市、吴忠市农村家庭可支配收入较高，超过全国平均水平，分别为 5.99 万元、6.21 万元；长治市农村家庭可支配收入为 5.5 万元，接近全国平均水平；兰州市、辽源市、长春市、齐齐哈尔市农村家庭可支配收入较低，农村家庭可支配收入分别为 4.52 万元、4.14 万元、4.45 万元、4.64 万元；铜川市农村家庭可支配收入最低，为 3.55 万元。

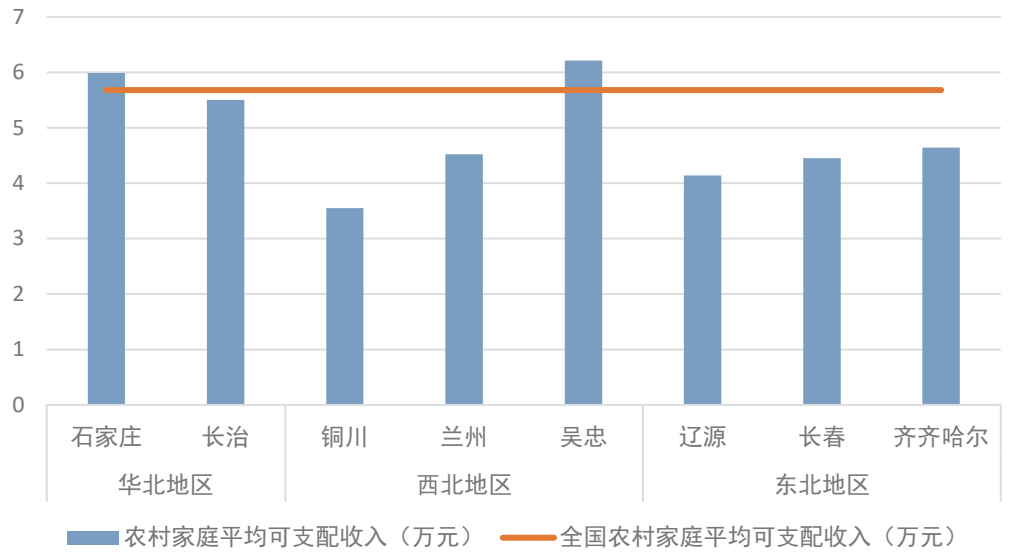



图 3-1：2023 年 8 市农村家庭可支配收入对比

注：平均每个家庭户的人口数据为《第七次全国人口普查公报》。

调研结果显示，从可承受能力来看，38% 的农村家庭可承受能力在 2000 元以下，46% 的农村家庭可承受能力在 2000~3000 元；仅 16% 的农村家庭可以承受 3000 元以上的取暖费用。

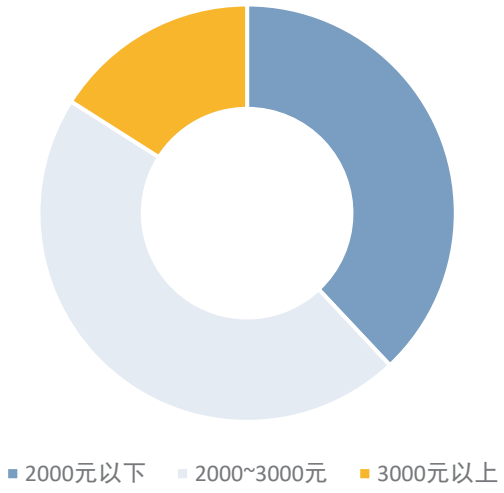



图 3-2：2023 年 8 个项目城市农村家庭可承受能力

从不同地区来看，各市农村家庭可接受取暖费用存在明显差异性，石家庄市、长治市、吴忠市农户可承受能力较高，53% ~ 67% 的家庭表示可以接受 2000~3000 元采暖费；兰州市、长春市、齐齐哈尔市农户可承受能力居中，43% ~ 48% 的家庭表示可以接受超过 2000~3000 元采暖费；铜川市、辽源市农户可承受能力较低，仅 24% ~ 31% 家庭表示可以接受超过 2000~3000 元的采暖费。

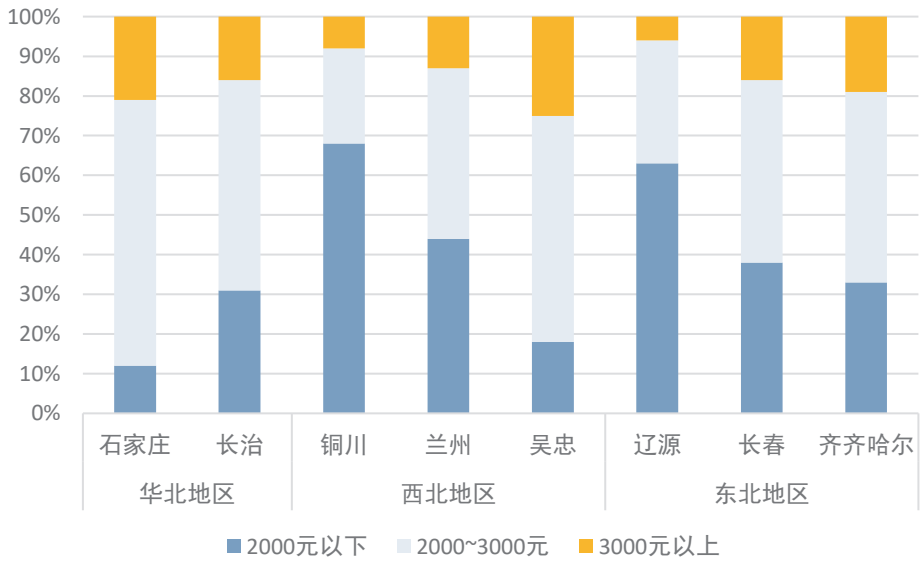



图 3-3：8 市农户可接受的清洁取暖运行费用对比

从不同地区农户可承受的平均取暖支出来看，8 市农村家庭平均可承受的取暖支出为 1300~2600 元。其中，石家庄市、长治市、吴忠市、长春市、齐齐哈尔市农村家庭平均可接受的取暖费用较高，分别为 2600 元、2300 元、2500 元、2100 元、2200 元；铜川市、兰州市、辽源市农村家庭平均可承受的取暖费用较低，分别为 1400 元、1700 元、1300 元。通过数据分析来看，8 个城市农村家庭可接受的取暖费用支出占家庭可支配收入的比例分别为 4.3%、4.2%、3.9%、3.8%、4%、3.1%、4.7% 和 4.7%。可以看出，调研用户最高可承受的取暖费用占家庭可支配收入的平均百分比为 3.55%。

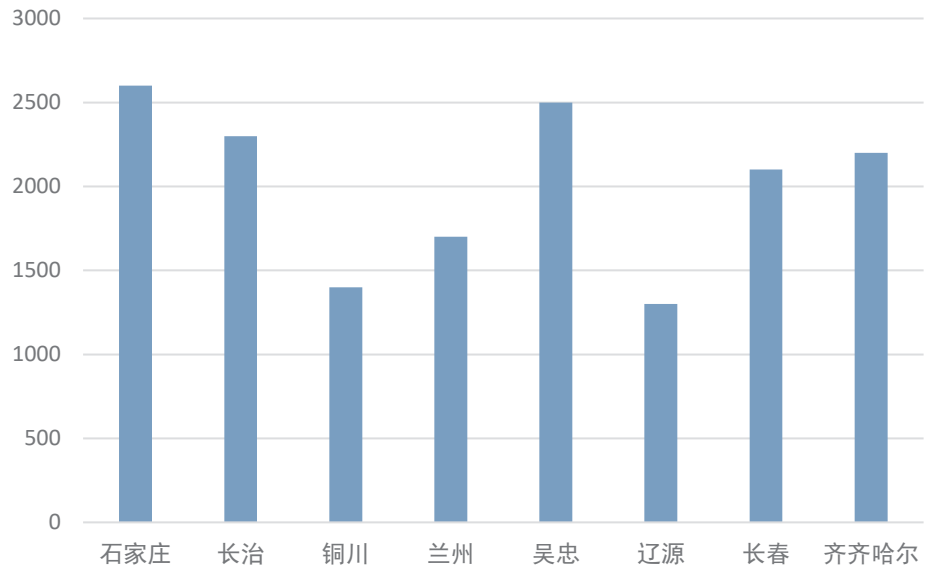



图 3-4：8 市农户平均可承受的清洁取暖成本对比（元 / 采暖季）

## （三）农村家庭清洁取暖改造后室内温度不同程度下降

调研发现，清洁取暖实施以来，不同技术路径的取暖成本普遍上升。由于各地房屋保温水平、取暖面积、取暖时长、能源价格和用户取暖习惯等因素的差异，不同地区能源消耗和运行成本也存在一定差异。

总体来看，若用户在设备和燃料正常使用的情况下，按照取暖成本上升程度，9 种技术基本可分为 6 档。第 1 档为直热式电壁挂炉、蓄热式电锅炉，取暖成本最高，为

6200-8700 元，是燃煤取暖费用的 2.4-3.7 倍；第 2 档为燃气壁挂炉，取暖费用为 3100-6400 元，是燃煤取暖费用的 1.8-2 倍；第 3 档为生物质颗粒炉具、太阳能 + 电辅热，取暖费用为 3000-3200 元，是燃煤取暖费用的 1.4-1.7 倍；第 4 档为空气源热泵热水机和热风机，取暖费用为 2300-3700 元，是燃煤取暖费用的 1.2-1.3 倍；第 5 档为生物质压块炉具，取暖费用为 2500-2800 元，是燃煤取暖费用的 0.9 倍；第 6 档为地源热泵，取暖费用为 2100 元，是燃煤取暖费用的 0.6 倍左右。

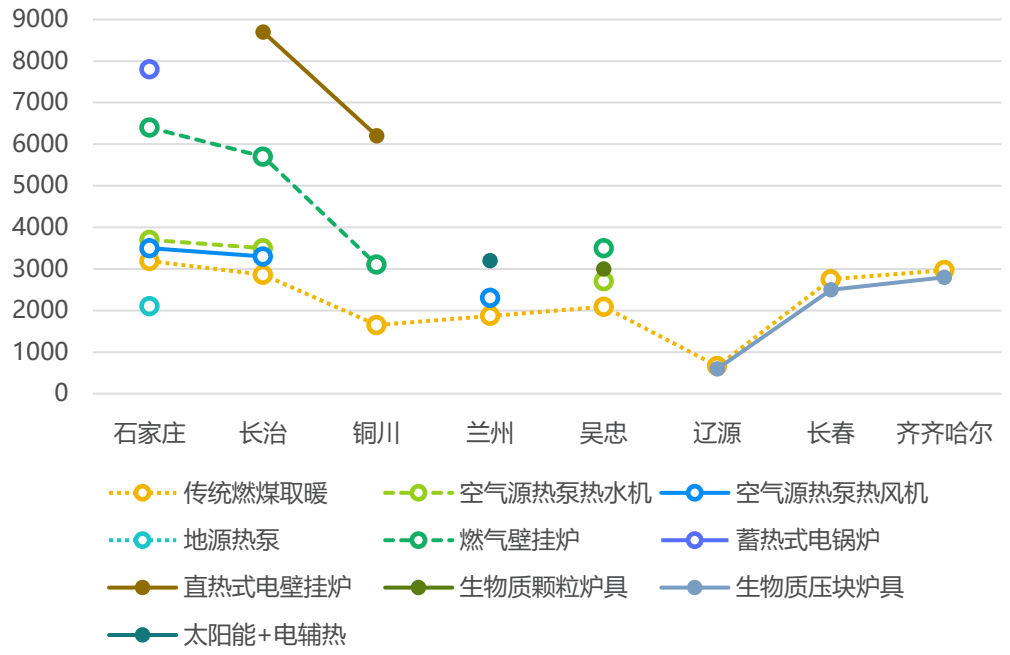



图 3-5：8 个试点城市不同技术路径理论取暖支出对比（元 / 采暖季）

注：（1）不同地区取暖季按照 120 ~ 180 天计算；（2）取暖成本为非补贴状态下用户正常使用时的成本估算。（3）仅代表实地调研地区情况，由于统计样本有限，数据可能存在一定偏差。

调研发现，受用户经济水平和用能习惯影响，为节省取暖支出，缩短使用时间（部分居民白天不烧，仅夜间烧），加之农村“空心化”现象，部分用户的清洁取暖设备通常处于“省着用”甚至“不用”的状态，导致清洁取暖设备使用率偏低。

从实际支出来看，如图 3-6 所示，地源热泵在石家庄市使用率较高，因其本身取暖成本较低，因此实际取暖支出低于燃煤取暖；空气源热泵（以热水机为主）在石家庄市、长治市、吴忠市使用率较高，实际取暖支出高于燃煤取暖，但在兰州市（以热风机为主）使用率相对较低，实际取暖支出低于燃煤取暖；燃气壁挂炉使用率相对居中，实际取暖支出高于燃煤取暖；蓄热式电锅炉、直热式电壁挂炉、太阳能 + 电辅热等使用率较低，多数处于少用或闲置状态，因此实际取暖支出远低于燃煤取暖；生物质炉具取暖由于没有燃料补贴，大多数农户在尝试使用生物质燃料后，普遍会选择烧薪柴、玉米芯等取暖，因此实际取暖支出远低于燃煤取暖。

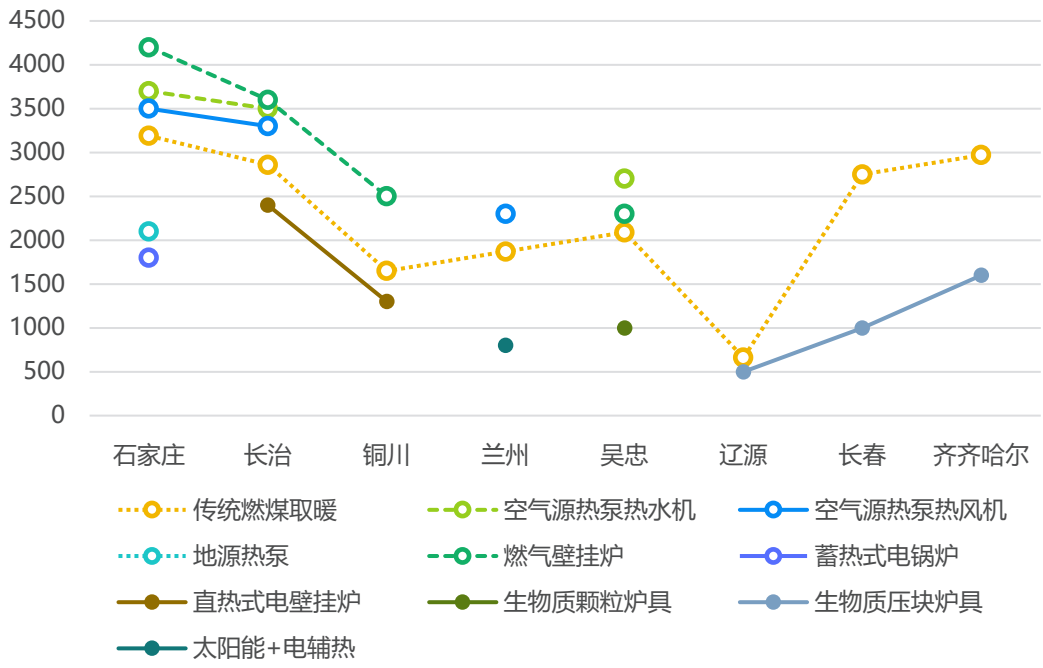



图 3-6：8 市试点城市不同技术路径实际取暖支出对比（元 / 采暖季）

根据本次调研样本分析，清洁取暖改造前，农村居民以燃煤取暖为主，取暖效果相对较好，约 66.7% 的农户家庭室内温度可达到 18℃以上，33.3% 的农村家庭冬季温度不到 18℃，其中温度不足 14℃的占比仅为 9.2%。

清洁取暖实施以来，各市农村居民取暖清洁性、便捷性得到大幅度提升，但与之前燃煤相比，居民感知温度呈现普遍下降状态，如图 3-7 所示。仅有 27.4% 的农户家庭采暖温度达到 18℃以上，72.6% 的农村家庭冬季采暖温度不到 18℃，其中温度不足 14℃的占比为 28.3%。

多数农户反馈，清洁取暖改造后取暖效果不理想。虽然受生活方式、生活习惯、用户经济水平等因素影响，农户要求的冬季室内温度普遍低于城镇居民，但目前的室温偏低情况并不完全是农户“主观为之”。主要原因是大部分农户认为清洁取暖运行成本太高，负担不起，所以往往会主动减少取暖时间，牺牲了室内温度；部分煤改气用户反馈，冬季经常出现供气不足现象，也是室内温度不高的主要原因之一；小部分农户反馈存在设计不合理问题，存在一个大客厅只安装一个电暖器现象，供暖系统设计不合理，导致温度偏低。

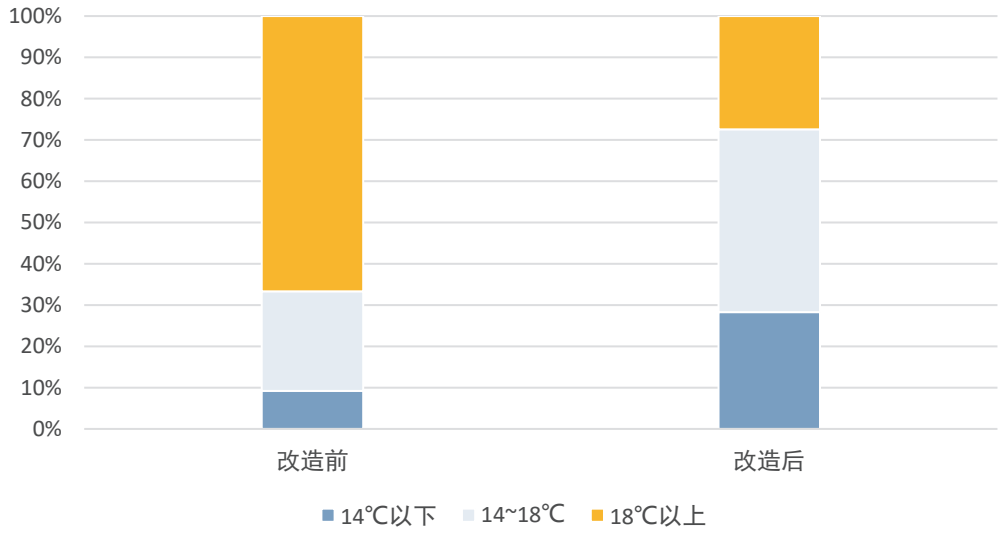



图 3-7：受访家庭清洁取暖改造前后室内温度对比

从不同技术路径取暖效果来看，空气源热泵热水机、空气源热泵热风机、地源热泵、生物质炉具（烧秸秆、薪柴为主）取暖成本较低，用户使用率相对较高，因此取暖效果较好，室内温度达到 18℃以上的占比分别为 37%、33%、38%、32%，燃气壁挂炉取暖成本较高，多数用户会选择“省着用”，因此取暖效果居中，室温超过 18℃的居民占比为 29%；“太阳能 + 电辅热”系统复杂故障率高、直热式 / 蓄热式电暖器取暖成本最高，因此使用率最低，室温在 18℃以上的居民占比仅为 12%、14%，如图 3-8 所示。

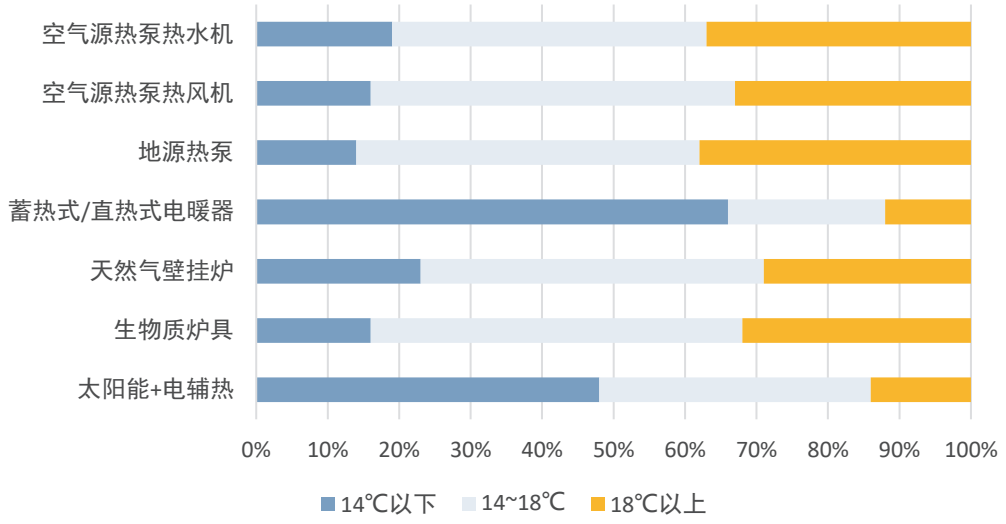


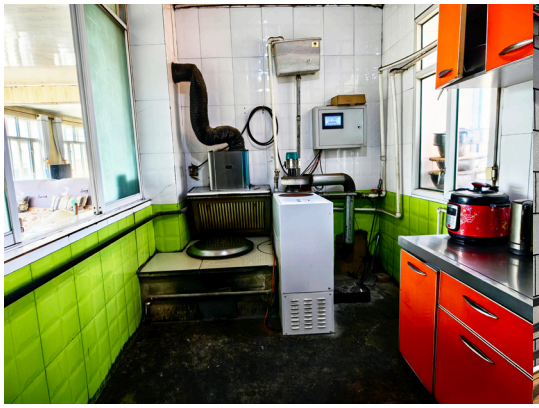

图 3-8：不同技术路径居民室温分布示意图

# （四）传统与现代炊暖方式并存现象较为普遍

在我国广大的农村地区，传统炉灶炕的使用具有广泛的普遍性、实用性、经济性，替代难度较大。如东北地区气候严寒，取暖期长，沿袭下来的炕连灶传统取暖方式既可以就地取材，消纳当地闲置的秸秆和薪柴，又可以同时满足炊事和取暖需求。见图 3-9。

西北少数民族普通家庭传统煨炕

西北少数民族富裕家庭时尚煨炕



东北富裕家庭生物质自控锅炉与传统炕连灶、电气化产品并用

东北富裕家庭空气源热泵取暖、厨房全电气化，但仍保留 2 台大柴灶

农村传统炕连灶与煤气灶并用

东北传统炕连灶与生物质炕炉并用

东北简易炕连灶、火墙并用

东北火墙（左）与火炕（右）并用

农村厨房电气化与传统大柴灶并用

华北农村炊暖炉与大柴灶并用

图 3-9：各地农村仍大量广泛使用的传统炉灶炕

政府在推广清洁取暖项目时，用户对炉炕灶的需求强烈。辽宁、甘肃等地已完成电采暖、太阳能、生物质等清洁取暖改造的农户中，80%-90% 依然保留炉灶炕烧煤炭、秸秆、薪柴炊事取暖的习惯。

如在沈阳政府补贴推广空气源热泵风机，居民接受度低，后经协调将项目技术路线改为生物质大锅灶（同时满足炊事、取暖、通炕的一种炉具）。当地村民习惯了使用大灶、火炕和火墙，这种生活习惯短期内难以舍弃。

甘肃某地推广清洁取暖项目时，也发生过类似情形，甘肃很多地方的村民早晨习惯用炉具煮罐罐茶，且煮茶炉具可以满足烧水、做饭、烤火等，而电气类设备功能相对单一，运行费用较高，居民的接受程度普遍不高。

农村的炊事取暖场景与城镇差别较大，虽然一些家庭炊事的电气化程度越来越高，取暖设备也越来越清洁，但传统炉灶炕仍然被保留了下来，尤其是在西北和东北地区的农村地区，传统炉炕灶与现代清洁取暖设施并存和并用的现象比较普遍。另外，从应对极端自然灾害或偶尔发生停电断气情况来看，炉灶炕是确保炊事和取暖的兜底安全保障和应急保障。调研发现，农村家里保留炉灶炕一方面出于现实需求，更主要的是出于一种安全考量。

# （五）农户自主意愿正在升温

中央财政支持下，北方清洁取暖的公众意识有了显著提高，地方层面通过试点示范对技术、模式的探索更加理性和成熟，重点区域在巩固成效方面的经验和教训为清洁取暖的可持续性或长效机制的建立奠定了现实基础，北方农村清洁取暖行业企业在政府项目和零售市场中逐渐清晰自己的定位，基于用户自主选择的市场需求正在释放。从各地取暖设备销售商的反馈来看，空气源热泵销量在北方地区明显上升，处于刚性需求增长阶段；河北早期“煤改气”用户，在没有购置补贴的情况下，自费购买高效节能冷凝式燃气采暖炉的用户逐渐增多。

在河北、山东、山西等地，经济条件较好的用户主要选择安装空气源热泵取暖，尤其是新房用户，安装“空气源热泵 + 地暖”的用户占比较高。以邯郸市暖通销售商反馈为例（见图 3-10），当地以“煤改气”项目为主，在乡镇农村新建住房配套取暖已无补贴的情况下，自费购买电采暖设备的用户占比高达 97%，其中空气源热泵取暖的用户占 70%；其他热泵、空调类用户占比 27%。用户自主选择的过程中更加关注产品质量和服务。

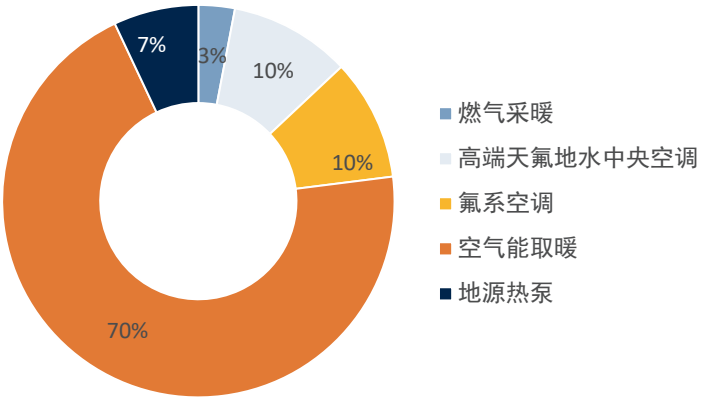



图 3-10：邯郸（煤改气）地区新建房自费选择清洁取暖方式占比 [8]

8　河北邯郸某规模较大的暖通经销商提供的2023年取暖设备销量占比。

# 第四章 主要建议

“十四五”后期是散煤综合治理的关键时期，工业散煤治理还需保持定力，淘汰落后等减量化措施仍是工业小窑炉治理的有效方式；针对特定区域的深度治理是工业小锅炉治理的迫切需求。民用散煤治理的核心是建立长效机制，用户自主参与、经济可承受、运维有保障、补贴精准高效等都是当前的重点工作；农村电气化和可再生能源为主的现代农村能源体系建立是发展趋势；减污降碳协同的技术路线是治理方向；在重点区域内巩固存量、在非重点区域内有序新增，是区域性治理策略。综上所述，结合下一步散煤治理工作的稳妥有序推进，本报告提出以下参考建议。

## （一）加强政策统筹和部门协同

在顶层设计层面，创新政策体系，突出绿色、清洁、低碳的多维系统集成，形成政策“合力”。增强生态环境政策与能源、产业政策的协同性。在执行或操作层面，进一步理顺散煤治理的任务分工，明确不同层级部门的职责以及相关联动机制。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。

北方地区冬季清洁取暖工作的推进聚焦农村清洁低碳能源体系的建立，增强其与当地城乡发展、产业融合、美丽乡村建设等政策协同性。建议熟悉农村生产和生活的相关部门积极参与农村清洁取暖以及低碳能源转型的整体工作。

## （二）强化工业散煤深度施治，加快制定生物质锅炉排放标准

**加快锅炉、窑炉绿色生产制造，提升能效水平。**制造企业从设计、制造、使用到报废的整个生命周期实现环境污染和碳排放最小化。发布高效锅炉和窑炉推广目录，修订

工业锅炉和工业窑炉能效限定值及能效等级等强制性标准，推进老旧低效锅炉和窑炉的淘汰改造工作，防止已淘汰设备重新进入市场。

**坚持直接淘汰和“以大代小”**。严格落实《产业结构调整目录（2024 年本）》。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 30 公里范围内燃煤锅炉关停；结合集中供热管网建设规划，地方政府建立合理的锅炉淘汰机制和原则；坚持实施区域差异化燃煤小锅炉淘汰机制，重点地区基本淘汰 35 t/h 及以下燃煤锅炉，其他区域 $PM_{2.5}$ 未达标城市基本淘汰 10 t/h 及以下燃煤锅炉；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。

**实施区域差异化清洁能源替代。**对于天然气充足的城市及近郊天然气管网覆盖地区，按照“以气代煤”的思路，科学规划，统筹实施燃煤小锅炉改燃气锅炉；在供热管网无法覆盖的其他区域，在条件允许的情况下加快燃气管道延伸，积极推广以气代煤改造方式；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；“煤改气”实施前须签订合同落实气源，坚持“以气定改”。

**加快制定生物质锅炉大气污染物排放国家标准及管理要求。**综合考虑燃料特性影响下的生物质锅炉大气污染物真实排放水平和污控技术升级，从国家层面制订生物质锅炉大气污染物排放标准，为指导地方开展生物质锅炉管控提供支撑。生物质须配备专用锅炉和高效除尘设施；NOx 浓度超过排放标准限值的应配备脱硝设施；北方分散供暖的农村地区，鼓励就地取材，推广户用生物成型燃料专用炉具；针对我国生物质锅炉小容量分布的现状特征，通过开展生物质锅炉综合治理大气污染物排放减排潜力研究，进一步探讨淘汰 2 t/h 及以下生物质小锅炉的现实可行性、环境经济效益以及对相关产业和社会的影响，并在各部门达成共识的基础上，明确相关政策要求。

# （三）构建农村清洁低碳能源体系

坚持因地制宜的原则，构建农村绿色低碳能源体系。发布技术推广目录。建立农村清洁能源加工和供应体系，市场化构建相关产业链条，在条件适宜的农村，建设太阳能、风能、生物质能多能互补的**分布式低碳综合能源网络**。

## （1）建立农村能源统计体系

在全国农村地区开展广泛、深入的调研活动，摸清农村现状，包括能源消费现状（包括能源种类、价格、使用量、便捷程度、安全性、村民满意程度等），能源基础设施情况（电网、天然气管网情况等），经济发展现状（人均收入水平、每年增长情况、能源支出占家庭收入占比、当地的支柱产业和发展现状、支柱产业的用能情况等），城镇化

水平和人口流动情况（是否短期内实现城镇化、人口流动情况、留守人口情况、空心村情况等），农村房屋节能状况等。

建立农村能源统计体系，将农村能源的生产和消费纳入《中国能源统计年鉴》、或者纳入《中国农村统计年鉴》等，且每 3-5 年开展一次普查活动。建立农村农业散煤设施清单。

## （2）加快建设农村清洁低碳能源技术和服务体系

**加快科技攻关，**包括农光互补、渔光互补可再生能源电力与农村生产耦合的技术，储能和虚拟电厂在农村的应用，光储直柔技术的应用，轻质光伏组件在农村屋顶的应用，太阳能采暖技术的更新迭代，生物质固体燃料的清洁高效利用，生物天然气的高效生产技术等。

**逐步建立完善的市场化服务体系。**充分发挥基层农村能源站点的人才和技术优势，指导农民建立农村能源服务组织。托当地电网公司的管理服务优势以及大型物流快递公司的网络延伸特点等，大力开展各种形式的社会化服务。通过特许经营、招标或其他竞争性比选方式，实行市场化运作。

**支持各类市场主体依法平等进入农村能源建设领域。**有序向社会资本开放，积极培育配售电、储能、综合能源服务等新兴市场主体。新能源产业成为农村经济的重要补充和农民增收的重要渠道，带动一、二、三产业的融合发展。

**创新多方共赢的商业模式。**将可再生能源与农业生产、文化旅游、特色农业等相结合，培育乡村能源合作社等新型集体经济模式。以村为单位，以村企合作为主要形式，兼顾消费者、投资者、技术和制造厂商、能源供应商、各级政府的诉求，以收益共享为目的，充分调动各方积极性，充分尊重农民意愿，使可再生能源发展更多惠及农村。

**推广智慧能源管理平台。**主动推进电力物联网、智慧能源云平台、能源互联网生态圈等新技术示范落地，将农村微能源网建设作为新型电力系统构建的重要平台。

## （3）完善农村电力和热力基础设施

**建设高灵活性新型农村电网。**继续实施农村电网巩固提升工程，通过新型的微电网系统和分布式电力系统，促进农村地区可再生电力就地生产、就地使用。**规模化发展农村新型储能。**在电源侧，加快推动系统友好型新能源电站建设，以新型储能支撑高比例可再生能源外送、促进本地消纳，提升煤电等常规电源调节能力。在电网侧，在关键节点配置储能提高电网安全稳定运行水平。在用户侧，灵活多样配置新型储能，支撑分布式供能系统建设，为用户提供定制化用能服务。

**积极推进农业农村领域电气化，并推动农村储能多元化创新应用，**在停车场、旅游景点等地合理配置风光储充一体化设施；支持电动车 V2G（Vehicle to Grid）、共享储能平台发展；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。

**科学制定热源布局方案。选用高效、环保、可靠的热源设备；**合理规划管道路线；

严格执行管道施工质量标准；建立定期巡检制度。将更多种类的可再生能源供热技术纳入可再生能源供热支持范围，包括水源热泵、空气源热泵等。

### （4）推动农村绿色低碳能源体系试点示范

到 2025 年，建成一批农村能源清洁低碳试点，风电、太阳能、生物质能、地热能等占农村能源的比重持续提升。推动“千乡万村驭风行动”“千家万户沐光行动”清洁电力自发自用。支持具备资源条件的地区，特别是乡村振兴重点帮扶县，以县域为单元，利用农户闲置土地和农房屋顶，建设分布式风电和光伏发电，配置一定比例储能，自发自用，就地消纳，余电上网，农户获取稳定的租金或电费收益。

## （四）建立健全清洁取暖长效机制

### （1）严格农村建筑节能目标要求

**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。**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%”**。

**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。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，将农村建筑节能改造工作融入村镇建设管理过程之中，创新“乡镇交叉监管”等管理方式，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。

**立足实际，探索创新节能改造技术路径。**立足农村实际，创新适宜的围护结构保温技术，探索不同技术路径的优化组合，制定群众接受、效果明显、经济可承受的技术方案。**东北地区采用四面墙外保温（部分有阳光房建筑可采用三面外墙保温）方案；西北地区采用“北墙外保温 + 南向阳光房”的方案。**同时，统筹农村建筑能效提升改造与光伏综合应用协同发展，**加强保温光伏一体化屋面等新技术研发应用。**

**配套支撑，促进关键技术产业化发展。**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。

## （2）坚持稳中求进的基调和区域差异化策略

**区域差异化、稳中求进。**在完成清洁取暖改造的试点城市，重点打造以农户自主选择为主的多元服务体系。继续扩大中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点，**将位于东北和西北地区的锦州、辽阳、葫芦岛、伊犁、阿克苏和吐鲁番等 6 个城市纳入第六批清洁取暖试点名单。**

**因地制宜确定清洁取暖技术路线。先集中、后分散。**在项目规划阶段进行详细的人口调查和需求分析，对临近城区、经济条件较好且居住集中的农村，可以优先考虑延伸市政供暖管网或分布式集中式供暖；对于居住分散、人口流失严重的农村，就近就地转化利用当地资源，灵活分散取暖。如在电力供应充足、电网容量大且农宅保温性好的农村地区，优先推广空气源热泵供暖，满足农户供暖和制冷需求；在地热资源丰富的地区宜发展地源热泵取暖；在生物质资源丰富的地区宜发展生物质取暖；在太阳能资源丰富的地区可试点推广“太阳能＋生物质”取暖、“太阳能＋热泵”取暖等多能互补技术，试点成功后再行推广。

**加大对民生用气的支持力度。**进一步协调资源，为“煤改气”地区提供更为充足的天然气供应，确保冬季供暖的平稳运行。将取暖用气明确纳入民生用气保障范围，鼓励上游气源企业根据采暖用气需求供应平价天然气，实施”保量稳价”政策，确保天然气供应量充足且价格稳定，满足居民冬季取暖的需求。

## （3）拓宽应用场景，多元化资金渠道

**中央财政继续安排运行补贴资金**，以缓解地方政府在清洁取暖补贴方面的财政压力，保障清洁取暖项目的稳定推进，并促进其长期向好发展，实现环境保护与民生改善的双重目标。

**优化目前的补贴方式，优化现行补贴机制，**借鉴家电下乡补贴模式，**建立对用户终端清洁取暖产品的分类补贴制度**，直接在采购环节提供补贴，并设定明确的补贴标准和条件，引导鼓励农民自主选择并使用高能效、高品质的清洁能源产品。加快落实《能源重点领域大规模设备更新实施方案》，明确农村地区清洁取暖老旧设备的更新细则。

**科学建立清洁取暖的成本分摊机制。**厘清农户、村屯、乡镇系统运营成本，合理设计成本分摊机制，吸引社会资本参与，扎实推进，形成多方共赢的商业模式。

**对清洁供暖企业予以**相关增值税、房产税、城镇土地使用税、所得税投资抵免，减计应税收入，精简项目审批手续等**政策优惠**；对为清洁取暖项目提供资金支持的金融机构减计应税利息收入的企业所得税。对投资清洁取暖项目的社会资本按照投资额的一定

比例抵免其应纳税所得额。[9]

**建立农村可再生能源发展专项资金。探寻小规模区域新能源和可再生能源的利用模式**，包括渔光互补，农光互补，光储充一体化，电动农机，灌溉等。通过国家开发银行、中国农业发展银行等金融机构，**引导绿色金融以低利率、长周期的方式向农村地区倾斜。**

**拓宽农村清洁取暖的应用场景，**包括种植养殖等农业生产与生活供热一体化、多能互补式农村民俗和生态旅游项目等，**在现有商业银行贷款类目中，**如县域旅游开发建设贷款、农村基础设施贷款、改善人居环境贷款、扶贫贷等，**开设农村清洁取暖或清洁低碳用能的绿色通道。**

**开展清洁供暖行业中小企业绿色金融能力建设，并寻求国际资金开展试点项目。**社会组织可以引导或联合中小企业，申请世界银行、亚洲开发银行等多边性金融机构的低息贷款和 UNDP 等国际组织支持清洁取暖试点项目的资金，用于探索可持续可复制的技术路径。

## （4）建立健全清洁取暖设备运维和监管机制

**在实施清洁取暖之前，逐步建立清洁取暖设备质量保障制度和安装－维护一体化网络体系。**规范热源侧改造建设标准，严格项目准入和进场流程；根据现有的成熟技术和应用实践，引导住户使用能效水平较高的清洁取暖技术和设备；加强产品质量的动态管理。

**在清洁取暖项目推进中，聚焦运维体系的建设。**首先，**明确质量保障条款。**清洁取暖设备应含免费包修期和有偿保修期；建筑能效提升工程，质量保修期建议不少于 10 年，其中“免费保修期”不低于 6 年，“有偿保修期”不低于 4 年。其次，根据清洁取暖项目建设合同要求，督促企业**建立运维网格化管理体系**，确保**售后服务制度化、标准化、规范化管理**。定期组织入户指导，引导居民正确规范使用；建立以农户为单位的清洁取暖工作档案，记录每个用户和设备的详细信息，建立报修用户数据库；积极组织品牌售后人员，划定维修区域，明确维修责任人。最后，**建立清洁取暖服务评价机制。**将清洁取暖项目建设企业质保期内的投诉率、运行效果、工程质量、环保效益等指标与政府补贴以及扩大市场挂钩。对投诉多、服务差、建设质量及运行能效不达标的企业给予处罚，对于情节严重的企业不再允许承接供暖新项目，甚至彻底清出市场。

**在清洁取暖项目运行中，强化长效监管服务。搭建清洁取暖项目库，**重点统计分析技术设备状况、购销成本测算、市场供需情况、资金政策落实、能源消耗使用、污染排放监管等信息。**创新科学智慧监管服务。**以平台为支撑，对工程进度、设备运行和维护服务等情况进行监测，把实施计划、确村确户、勘察设计、工程施工、运行监控、监理验收、补贴核算、审计核查、效果评估、长效运维服务等各项工作全流程纳入信息化监管。**施行建设成效定额评估。**组织专家分析评价设备运行效果；研究确定不同技术路线的能源使用及污染物排放评估办法。

---

9　刘双柳，陈鹏，程亮. 北方地区清洁取暖多元化资金投入机制研究[J]. Environmental Protection, 2022, 50(08): 50-54.

**在项目维护后，提前布局设备更新**。首先，**明确设备更新范围**。明确设备更新报废性能标准，进一步细化设备更新范围和对象，严格补贴对象审核，核实清洁取暖设备运行年限和使用状况，针对清洁取暖设备运行达到使用年限且无法正常运行和虽没有达到使用年限经认定具备报废标准的，纳入清洁取暖设备更新范围；对原享受政府补贴的清洁取暖农村住户更新设备，新增住户安装清洁取暖设备。其次，**规范设备更新要求**。划定设备更新性能标准范围，对产品类型、产品型号、指标参数、质量标准、免费质保服务期限、上门维修时限等相关要求进行规范。最后，**理顺设备更新流程**。首先明确设备更新资金来源，做好政府补贴资金筹集；通过实地摸排，理清当地设备更新情况，科学确认财政补贴政策。合理划定农村住户与政府的责任边界，结合当地实际情况，采取不同更新采购方式，由政府统一采购安装，或者由农村住户市场化自行购买符合要求的清洁取暖设备，按照工程采购标准要求，进一步规范设备采购流程，强化设备质量管理，严格设备调试验收。

**项目全过程，定期做好培训宣传**。建立健全供暖系统的维护管理制度和操作规程，配备专职管理人员和相应的监测手段，对管理人员和操作人员加强业务技术培训。引导农村地区村两委及党员充分发挥带头示范作用，提高农民对清洁取暖工作的认知度和参与度。

## （5）构建以县域为中心的市场化运营体系

每个县根据服务人口规模至少建立一个第三方清洁取暖县域运营服务中心，负责能源管理、储备调剂、用户服务，可设县乡村三级能源管理师，实行网络化管理，各自监督管理所辖片区的用户取暖运行情况，做到及时响应服务，如图 4-1。运营服务中心设立多种适宜当地的技术路径体验区，用户可根据自身经济条件、房屋结构、用能需求等，选择可承受的清洁低碳能源设备产品和服务。

河北省地处高寒山区的丰宁县，万泰能源科技有限公司成立了洁净煤运营管理中心，实现了全县所辖洁净煤户用取暖与商业供暖（供热）用户服务。

山东省阳信县成立了县新能源集团，负责全县的分散式、分布式、集中式生物质清洁取暖与清洁供热的运营服务管理。


黑龙江省齐齐哈尔市环之宇新能源运营中心在全市每个区县分别设立一个运营中心，各自负责所辖区域项目用户的生物质清洁取暖与机关单位生物质清洁供热服务。


宁夏瑞威尔能源环境工程有限公司在青铜峡市成立生物质清洁取暖运营中心，负责整个宁夏自治区公司实施的分散式取暖、分布式供暖和供热运营服务。

图 4-1：部分地区取暖与供热县域运营服务中心

## （6）坚持创新驱动与技术研发

在技术研发、设备使用、系统集成、商业模式、应用场景等方面不断加强创新驱动。借鉴国际经验开发适合我国农村的生物质能源加工技术和锅炉、户用炉具、可再生能源供热集成技术等。研究多能互补模式以及基于生活场景的多元用能模式下的供热技术和产品创新。

**积极探索无增容电供暖低碳供热技术，**基于用户用电负载总功率，通过强化用电信息传输，家用电器使用功率实时监测，实现电力“无增容”“少增容”控制；建立电供暖设备功率智能调控系统，确保用户用电不超过电网负荷，通过取暖设备远程运行调控，实现居民户内电网功率智能调配，有效保障居民取暖设备智能运行。开发智能控制模型和控制器，实现对用户电供暖设备智能群控管理，合理调配用电负荷，充分利用建筑本身热惰性，探索适应未来建筑“低能耗”的供暖模式。

# 参考文献


1. 佟继良 . “碳中和”目标下，构建农村清洁能源体系正当时（观点市场）[N]. 中国能源报 , 2020 年 11 月 16 日第 04 版 .
2. 清华大学建筑节能研究中心 . 中国建筑节能年度发展研究报告 2024.
3. 2024 中国农业农村低碳发展报告 , 中国农网 .
4. 于淼 , et al. 农村散煤替代对 PM2.5 污染影响及健康效益评估——以河南省为例 [J] 中国环境科学 . 41, 3906-3916 (2021).
5. 闫祯 , et al. 京津冀地区居民采暖“煤改电”的大气污染物减排潜力与健康效益评估 [J] 环境科学研究 . 32, 95-103 (2019).
6. 农村清洁供暖的关键是用好可再生能源 [N]. 中国能源报 , 2023 年 05 月 22 日第 07 版 .
7. Kurmi OP, Arya PH, Lam K-BH, Sorahan T, Ayres JG. Lung cancer risk and solid fuel smoke exposure: a systematic review and meta-analysis. Eur Resp J 40, 1228 (2012).
8. Zhang Y, Zhao B. Simulation and health risk assessment of residential particle pollution by coal combustion in China. Building and Environment 42, 614-622 (2007).
9. Li J, et al. Bituminous coal combustion and Xuan Wei Lung cancer: a review of the epidemiology, intervention, carcinogens, and carcinogenesis. Arch Toxicol 93, 573-583 (2019).
10. GBD MAPS Working Group. Burden of Disease Attributable to Coal-Burning and Other Major Sources of Air Pollution in China. In: Special Report 20). Health Effects Institute (2016).
11. Meng WJ, et al. Energy and air pollution benefits of household fuel policies in northern China. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 116, 16773-16780 (2019).
12. 刘舒婷 , 黄宇 , 崔龙 , 薛永刚 , 程燕 . 中国室内挥发性有机物污染特征 [J] 地球环境学报 . 12, 243-255 (2021).
13. 张金良 , 帕拉沙提 , 刘玲 , 曾艳 . 中国农村室内空气污染及其对健康的危害 [J] 环境与职业医学 . 412-416 (2007).

14. Barrington-Leig C, Baumgartner J, Carter E, Robinson BE, Tao S, Zhang Y. An evaluation of air quality, home heating and well-being under Beijing’s programme to eliminate household coal use. Nature Energy 4, 416-423 (2019).

15. 卢亚灵 , 周思 , 王建童 , 李勃 . 北方试点地区农村散煤治理的政策回顾与展望 [J] 环境与可持续发展 . 45, 37-42 (2020).

16. 柴发合 , et al. 农村居民散煤燃烧污染综合治理对策 [J] 环境保护 . 44, 15-19 (2016).

17. 马利英 , 董泽琴 , 吴可嘉 , 潘军 . 贵州农村家庭炉灶及燃料改良成本 - 健康效益研究 [J] 环境科学与技术 . 37, 112-117 (2014).

18. 中国气象局风能太阳能中心 . 2023 中国太阳能风能资源年景公报 .

19. Zhang X, Jin YN, Dai HC, Xie Y, Zhang SQ. Health and economic benefits of cleaner residential heating in the Beijing-Tianjin-Hebei region in China. Energy Policy 127, 165-178 (2019).

20. Li JL, Yang LS, Long HY. Climatic impacts on energy consumption: Intensive and extensive margins. Energy Economics 71, 332-343 (2018).

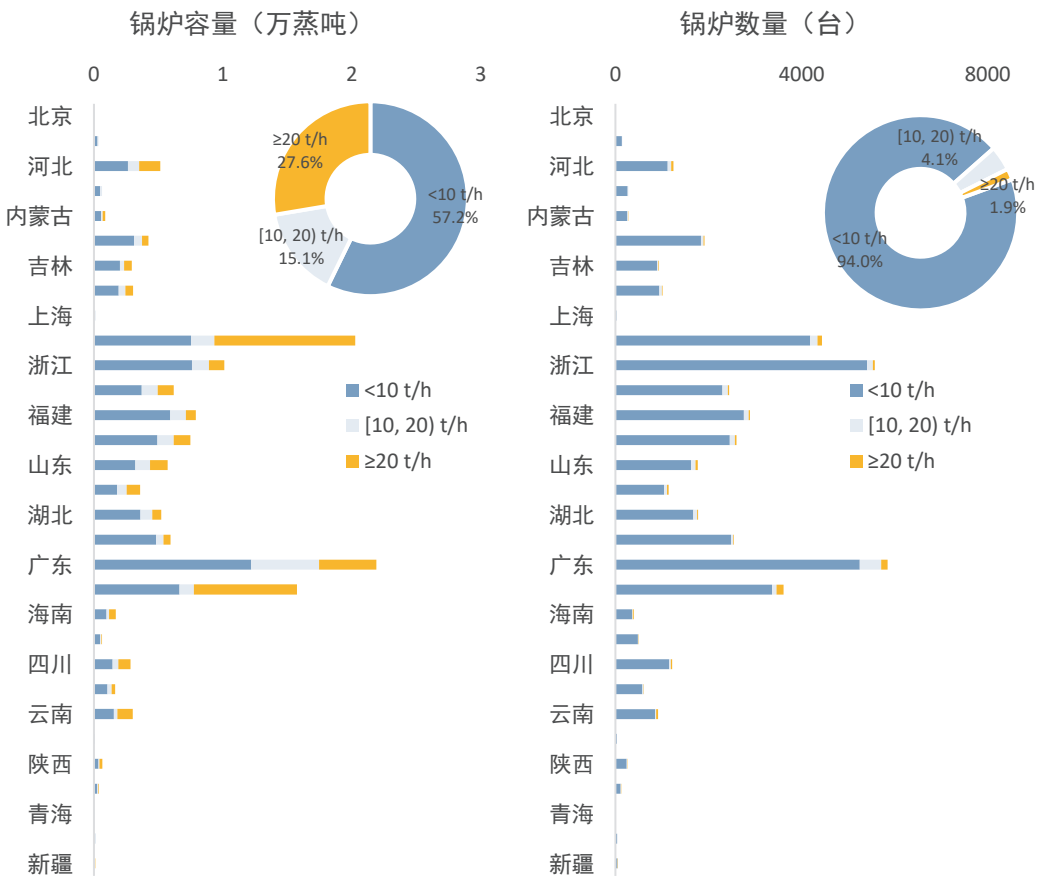
21. Zhang SH, Guo QX, Smyth R, Yao Y. Extreme temperatures and residential electricity consumption: Evidence from Chinese households[J]. Energy Economics 107, (2022).

# 附录：生物质锅炉散煤替代潜力探析

近几年，在散煤治理的替代路径中，煤改生物质一直备受关注，不同领域的专家从不同角度给出了不同的声音。基于对生物质锅炉的现场调研，对其应用现状、排放水平和替代潜力等做了深入分析，以期提供信息参考。

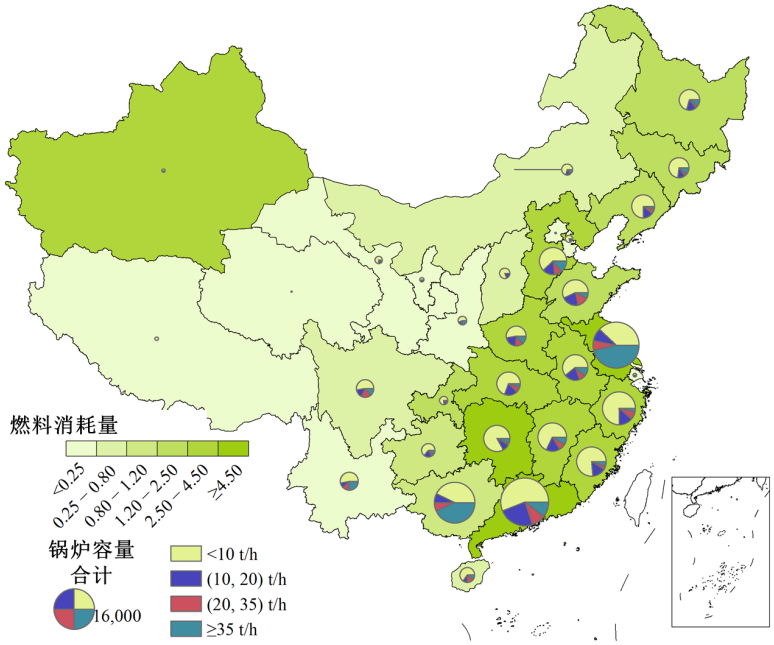
## （一）生物质锅炉的总体情况

我国生物质锅炉数量和容量整体呈现“以小容量锅炉为主、集中分布于东部沿海和南部地区”的特征。截止 2023 年，全国生物质锅炉总锅炉容量约 13.8 万蒸吨，燃料消耗量约 3490 万吨标煤。如附图 1 所示，中国生物质锅炉以小容量锅炉为主，平均单台锅炉容量约为 3.1 t/h。从不同锅炉容量分类来看，10 t/h 以下生物质锅炉台数和锅炉容量占比均最高，分别约占全国总锅炉台数和容量的 94.0% 和 57.2%。



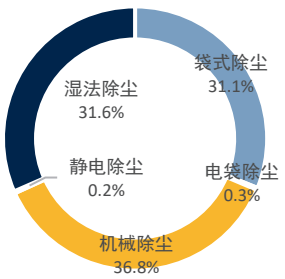

附图 1：分省生物质锅炉数量和容量分布

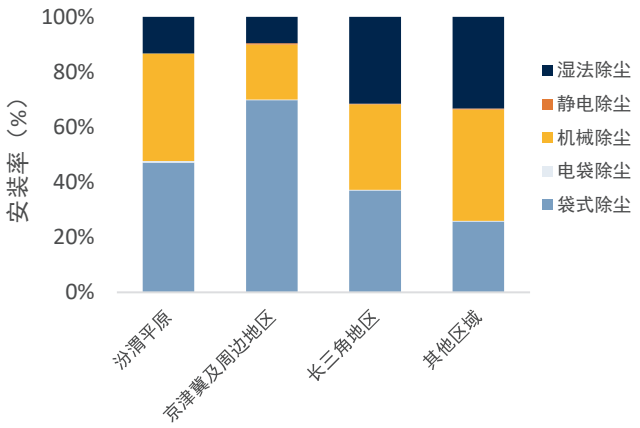
从地理空间分布来看，中国生物质锅炉集中分布于东部沿海和南部社会经济发展水平和人口规模大、农业生产强度高的区域。从分省的生物质锅炉数量和容量分布来看，如附图 2 所示，广东、浙江、江苏、广西、湖南为生物质锅炉数量前五位的省份，分别占全国生物质锅炉总台数的 13.1%、12.5%、9.9%、8.1% 和 6.7%；广东、江苏、广西、浙江和福建为生物质锅炉容量前五位的省份，分别占全国生物质锅炉总容量的 15.8%、14.6%、11.4%、7.3%、5.7%。2018 年，国务院发布《打赢蓝天保卫战三年行动计划》，针对生物质锅炉，提出在具备资源条件的地方，鼓励发展县域生物质成型燃料锅炉。因此，生物锅炉以其他区域分布为主，其他区域生物质锅炉数量和容量占总锅炉数量和容量的比例分别为 66.5% 和 66.6%，重点区域生物质锅炉数量和容量占比分别为 33.5% 和 33.4%。然而，由于重点区域开展大气污染防治力度最大，重点区域各省份推进生物质小容量锅炉淘汰和城市建成区生物质锅炉实施超低排放，重点区域生物质锅炉少于其他区域。



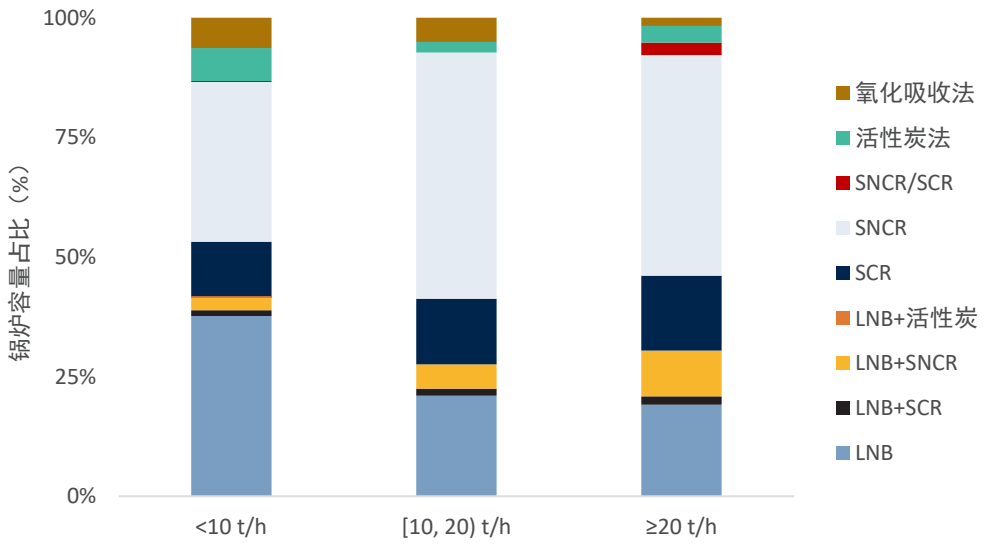

附图 2：2023 年分省生物质锅炉燃料消耗量和容量组成及分布

生物质燃料燃烧会排放颗粒物和 NOx 等大气污染物。为满足大气污染物排放标准限值，生物质锅炉必须安装颗粒物控制设施。如附图 3 所示，中国生物质锅炉颗粒物控制设施安装率实现 100%。从颗粒物控制设施技术类型来看，以机械除尘和湿法除尘等相对较落后的颗粒物控制设施类型为主，安装率为 68.4%；以袋式除尘为首要技术类型的高效颗粒物控制设施类型安装率为 31.6%。受大气污染防治政策强度的影响，安装有袋式等高效颗粒物控制设施类型以重点区域省份为主。生物质锅炉 NOx 控制设施安装率不足 10% 且现有 NOx 控制技术类型多样。如附图 4 所示，生物质锅炉现有 NOx 控制设施类型以 SNCR 和 LNB 为主。



附图 3：2023 年全国生物质锅炉颗粒物控制设施按技术类型组成




附图 4：2023 年全国生物质锅炉 NOx 控制设施按技术类型组成

## （二）典型生物质锅炉现场调研

在国家减污降碳目标实施推动下，“煤改生物质”是我国工业燃煤小锅炉清洁能源替代的一个重要路径。然而，由于我国缺乏生物质锅炉专门的大气污染物排放标准和管理要求，各地区对于生物质锅炉的管理运行和大气污染物排放管控水平参差不齐。课题组分别赴山东和广东开展生物质锅炉运行管理和大气污染物排放情况现场调研。

**（1）调研案例一：山东 2×75 t/h 循环流化床锅炉**

锅炉概况：调研对象为 2 台 75 t/h 循环流化床锅炉，安装袋式除尘器控制颗粒物排放水平。捕集的颗粒物采用气力输灰的方式，使用活塞式脉冲阀，阻力损失不超过 1200 Pa。

附图 5：山东 2 × 75 t/h 循环流化床锅炉调研照片

工艺简介：除尘器采用侧进风方式，气流分布均匀且有预除尘效果，可有效消除粉尘的“二次吸附”现象。在线维修不影响锅炉运行。笼骨采用悬挂式结构，星型断面，表面采用有机硅高温涂料喷塑；净气室采用斜顶、大面积盖板的形式；花板采用 6 mm 钢板，采用制作整体净气室的模式，净气室顶盖与水平面倾斜约 6°，且上部设置保温门。

经济环境效益：投资成本约为 70 万元（包括滤袋费用），运行费用每年大修费用为 4 万元。袋式除尘器及气力输送投运后，按年运行 7600 小时计，年减少颗粒物排放量 388 t。

**（2）调研案例二：广东 2 × 40 t/h 生物质锅炉**

锅炉概况：调研对象为 2 台 40 t/h 生物质成型燃料循环流化床锅炉安装多管 + 袋式两级除尘器控制颗粒物排放水平。该锅炉为替代燃油锅炉，给造纸生产提供蒸汽。锅炉年利用生物质成型燃料 10 万吨，热负荷基本无季节性变化，年生产小时数 7920 小时（330 天）。机组运行采用分布式控制系统（DCS），自动化程度高。锅炉产生热蒸汽经管道送往已有锅炉间的分汽缸，经已有供气管网把蒸汽送往造纸车间和其他蒸汽使用点。

附图 6：广东 2×40 t/h 生物质锅炉调研照片

工艺简介：锅炉排烟经多管除尘和袋式除尘两级除尘系统后排放，第一级采用旋风多管除尘器，其除尘效率达 85% 以上，可除掉烟气中粒径 5 μm 以上的颗粒物，同时避免未燃尽的火星进入袋式除尘器，烧损滤袋。第二级袋式除尘器采用分室离线喷吹清灰方式，除尘效率高达 99% 以上。

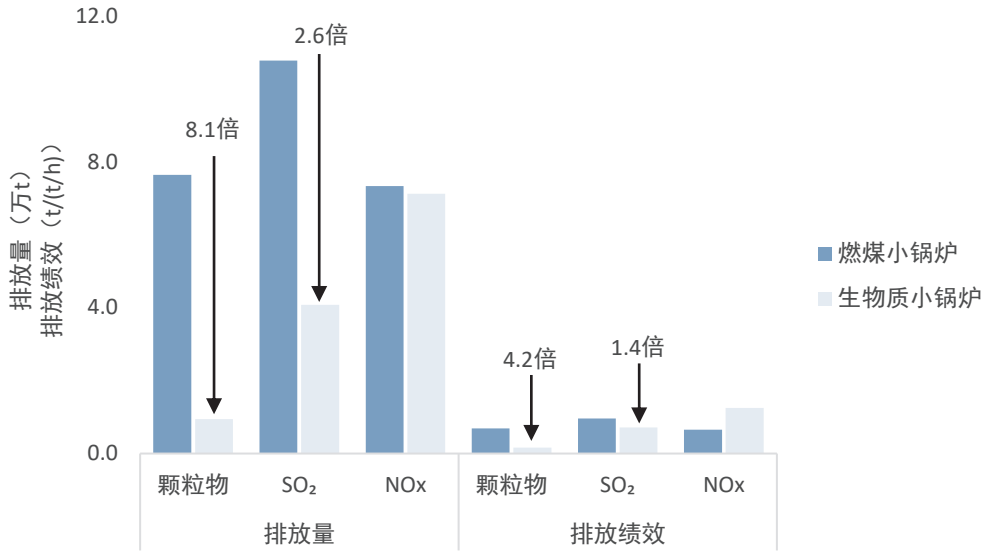
经济环境效益：总投资 5600 万元，每年可实现销售收入 11650 万元，投资回收期约为 1.5 年。锅炉年消耗木质颗粒燃料约 8.5 万吨，年代替重油约 3.25 万吨，可实现温室气体 $CO_2$ 零排放，每年减排约 10 万吨 $CO_2$，减排成本为 20~100 元 /t $CO_2$。颗粒燃料含硫量小于 0.03%，锅炉燃烧温度 850℃，改造后的锅炉不加装脱硫脱硝设备，排烟中烟尘浓度为 25 mg/m$^3$，$SO_2$ 浓度为 3 mg/m$^3$，NOx 浓度 142 mg/m$^3$，均可达到《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）中对天然气锅炉要求的水平。每年可减排 $SO_2$ 约 160 吨，减排 NOx 约 157 吨。

当前生物质锅炉燃烧的生物质燃料类型复杂，包括木材、秸秆等生物质燃料散烧和生物质成型燃料两大类，且燃煤锅炉改生物质锅炉运行不稳定，导致颗粒物、$SO_2$ 和 NOx 排放浓度不稳定，大气污染物排放管理难度较大。随着近年来“煤改生物质”和碳达峰、碳中和战略的实施，生物质锅炉发展迅速，然而目前国家层面还未发布生物质锅炉专门的大气污染物排放标准，生物质锅炉大气污染物排放管理有待完善。

## （三）生物质锅炉大气污染物排放量分析

根据 2023 年生物质锅炉燃料消耗量和大气污染控制技术应用情况，采用排放因子法核算生物质锅炉颗粒物、$SO_2$、NOx 排放量分别约为 1.1 万吨、4.6 万吨和 8.0 万吨，生物质小锅炉颗粒物、$SO_2$、NOx 排放量分别约为 0.9 万吨、4.1 万吨和 7.1 万吨。进一步对比全国燃煤小锅炉、生物质锅炉和生物质小锅炉大气污染物排放量及排放绩效（单位锅炉容量大气污染物排放量）（见附图 7），发现燃煤小锅炉颗粒物、$SO_2$ 排放

量分别约为生物质小锅炉的 8.1 倍和 2.6 倍，燃煤小锅炉和生物质小锅炉的 NOx 排放量相当。从大气污染物排放绩效来看，生物质小锅炉颗粒物和 $SO_2$ 排放绩效值均低于燃煤小锅炉，表明生物质小锅炉单位锅炉容量的颗粒物和 $SO_2$ 排放量更低、潜在环境影响越低。然而，由于生物质锅炉的大气污染物排放治理进程较燃煤锅炉晚，生物质小锅炉的脱硝设施安装率很低（不足 10%），未来需重点关注其 NOx 排放控制。




附图 7：全国燃煤小锅炉和生物质小锅炉大气污染物排放量和排放绩效对比

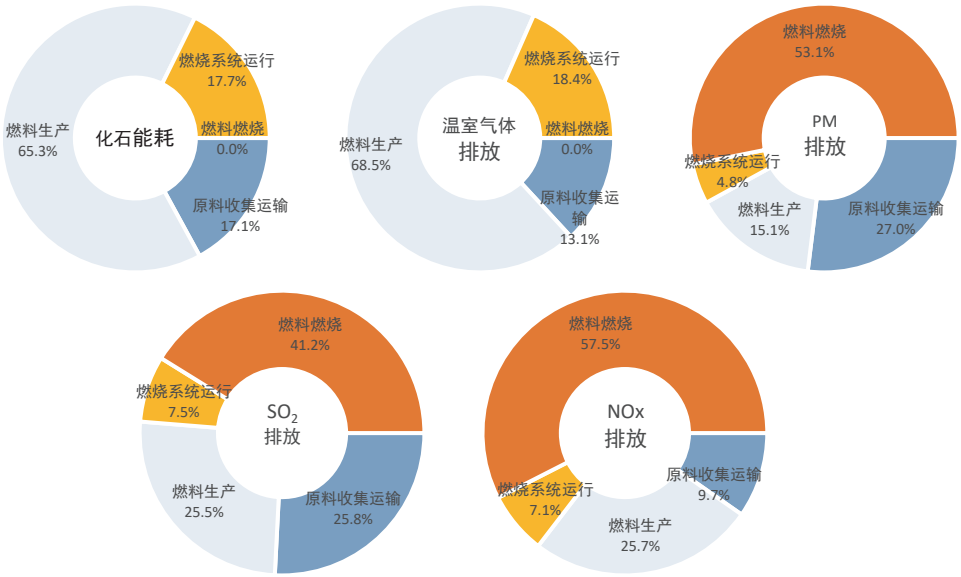
## （四）生物质锅炉全生命周期大气污染物及温室气体排放分析

为科学、详实的研究生物质成型燃料锅炉供热的环境性能和经济可行性，根据全生命周期评价的理论和方法，建立了基于全生命周期（Life Cycle Assessment, LCA）的成型燃料供热的化石能源消耗、温室气体排放、大气污染物排放和经济性分析模型，并在深入的行业研讨、实地调研、现场排放测试等工作的基础上，遴选了典型生物质锅炉供热锅炉进行了实践案例的分析。

对拥有 1 台 7 MW、1 台 10.5 MW 生物质热水锅炉的供热站开展 LCA 评价分析。热水锅炉热效率约为 83%，使用成型燃料专用锅炉并配套两级除尘装置。为 10 万平米办公楼及厂房供热，于 10 月 25 日开始运行至次年 4 月 10 日供热季结束，保证用户办公室供热 18 度以上、厂房供热 12 度以上。该锅炉以市区周边的玉米秸秆原料生产的玉米秸秆颗粒燃料为主要燃料，辅以其他品种的颗粒燃料，颗粒燃料规格为直径 8 mm，长约 6 cm 的圆柱形状，热值约为 15.048 MJ/kg。

### （1）能源和环境影响分析

以上生物质成型燃料供热锅炉的 LCA 评价结果如附图 8 和附表 1 所示。化石能源投入与生物质热量产出比约为 1:7，节约了化石能源。化石能源消耗和温室气体排放主要产生在燃料生产阶段，占比分别为 65% 和 68%，其次分别是燃烧系统运行、燃料收集运输。温室气体排放是燃煤直接排放 83.9 $gCO_2$/MJ 的 18.2%，大幅减少了温室气体排放。大气污染物排放中颗粒物和 $SO_2$ 主要产生在燃料燃烧和燃料收集运输阶段，NOx 的排放主要产生在燃料燃烧和燃料生产阶段，所以生物质专用锅炉的排放控制是减少全生命周期大气污染物排放的最有效方法。

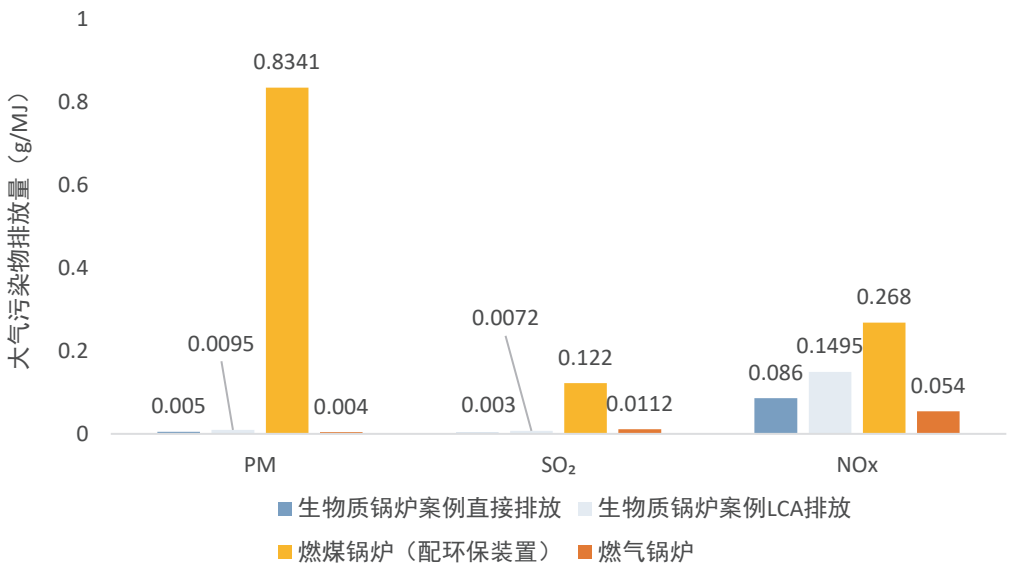



附图 8：典型生物质成型燃料锅炉全生命周期评价结果

附表 1：典型生物质成型燃料锅炉产生 1 MJ 热量的化石能耗、温室气体和大气污染物排放量

| 指标 | 化石能耗（MJ） | 温室气体（$gCO_2$, e/MJ） | PM（g） | $SO_2$（g） | NOx（g） |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 MJ 热量 | 0.143 | 15.298 | 0.009 | 0.007 | 0.149 |

如附图 9 所示，在使用生物质成型燃料专用锅炉，配套两级除尘装置的情况下，颗粒物、$SO_2$、NOx 排放远低于燃煤锅炉，接近燃气锅炉，实现了大气污染物清洁排放，具有很好的推广价值。




附图 9：生物质、燃煤和燃气锅炉大气污染物排放量对比

**（2）经济性评价结果**

如附表 2 所示，按工业类集中供暖 31 元 /m$^2$ 的政府指导价格计算，供热服务企业净利润达 22.5%，经济性较好。但成型燃料成本占总运行成本的 75%，高于一般燃煤供热的燃料成本占比 50% 的比例。通过开展多因素敏感性分析，供热企业利润率从大至小的影响因素依次为：燃料价格、税费、投资额、人工费、贴现率等，所以政府可以通过燃料价格、税费、固定资产投资等方面的财税和市场等政策来调节成型燃料供热的经济性，以实现清洁热力的生产。提高生物质锅炉寿命期限可以提高经济性，所以应通过精细化管理提高设备的管理和维护水平，提高经济性。

附表 2：典型生物质成型燃料锅炉产生 1 MJ 热量的化石能耗、温室气体和大气污染物排放量

| 指标 | 供热面积（m$^2$） | 燃料（元 /t） | 供热成本（元 /m$^2$） | 燃料费占总成本比例（%） | 供热服务企业净利润（%） |
|---|---|---|---|---|---|
| 结果 | 90642 | 749 | 31 | 75 | 22.5 |

不同供热燃料经济性的比较表明（如附表 3 所示），煤、天然气和商业用电供热的单位有效热量价格分别为成型燃料的 1.02、1.57 和 3.27 倍。当前环境下燃煤供热成本上涨过快，已和生物质成型燃料供热成本相当，这是因为在国家环保政策及“双碳”目标

的驱动下，煤炭的产能和使用受到限制，导致煤炭价格居高不下，造成供热成本升高。生物质锅炉供热典型案例实现了清洁热力生产，环境友好。此外，项目构建的商业模式具备可持续的盈利能力。项目促进了可再生能源的发展，对调整能源结构和促进秸秆综合利用起到很好的环境和社会效益。

### 附表 3：不同供热燃料单位有效热量的经济性对比表

| 燃料 | 燃料低热值 | 单位价格 | | 燃烧设备效率 | 单位有效热量费用 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | GJ/t ($m^3$、kW·h) | 元 /t | 元 /GJ | | 元 /GJ | 比值 |
| 秸秆颗粒 | 14.7 | 749 | 50.9 | 0.83 | 61.3 | 1.00 |
| 煤 | 20.9 | 850 | 40.6 | 0.65 | 62.5 | 1.02 |
| 天然气 | 0.036 | 3.2 | 88.6 | 0.92 | 96.3 | 1.57 |
| 商业用电 | 0.0036 | 0.7 | 194.4 | 0.97 | 200.4 | 3.27 |

## （五）生物质锅炉散煤替代潜力分析

综合考虑我国农作物产量、农作物草谷比系数和林业木质生物质资源量，估算全国农林剩余物（农业秸秆和林业剩余物）产生量约为 9.96 亿吨，标煤量为 5.62 亿吨。以我国农林剩余物燃料化综合利用率（8.5%）测算生物质燃料可利用量为 0.85 亿吨，标煤量为 0.48 亿吨。2023 年全国工业燃煤小锅炉煤炭消耗量约 0.23 亿吨标煤，我国生物质燃料可利用量基本满足我国工业燃煤小锅炉替代需求。

### 附表 4：农林剩余物产量及燃料化可利用量估算结果

| 燃料 | 年产生量（亿吨） | | 燃料化利用率（%） | 可利用量（亿吨） | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 实物量 | 标煤量 | | 实物量 | 标煤量 |
| 农林剩余物 | 9.96 | 5.62 | 8.5 | 0.85 | 0.48 |

综合考虑生物质燃料替代率和大气污染控制设施升级改造情况，采用情景分析方法预测未来生物质锅炉散煤替代潜力。本研究分别设置生物质燃料替代低强度、高强度情景和大气污染控制设施升级现状、效率提升情景。通过估算不同情景下的生物质替代和大气污染控制技术水平，预测 4 个情景组合（低强度 - 现状效率、低强度 - 效率提升、

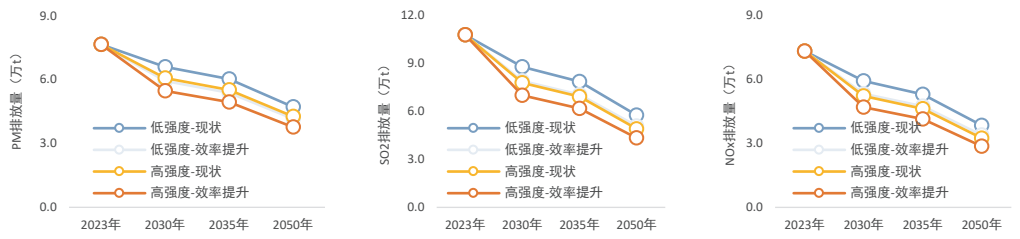
高强度 - 现状效率和高强度 - 效率提升情景）下 2030 年、2035 年和 2050 年工业燃煤小锅炉大气污染物排放量。情景设置具体描述如下：

生物质燃料替代情景：分别设置低强度和高强度情景，其中低强度情景设置工业燃煤小锅炉生物质燃料替代规模在 2030、2035 和 2050 年分别为 0.20 亿吨、0.25 亿吨和 0.40 亿吨；高强度情景下考虑生物质专用锅炉和生物质成型燃料生产水平提高，生物质替代规模进一步扩大，高强度情景下设置工业燃煤小锅炉生物质燃料替代规模在 2030、2035 和 2050 年分别为 0.30 亿吨、0.35 亿吨和 0.50 亿吨。

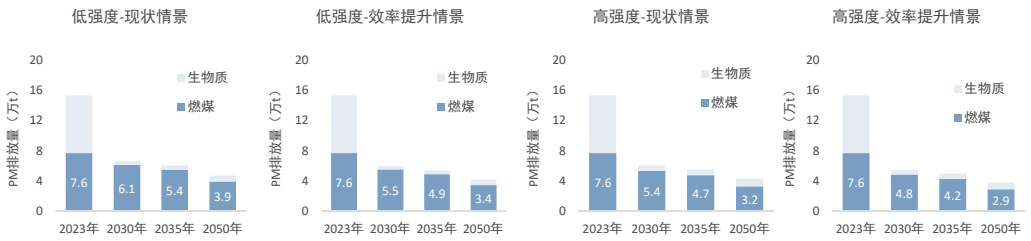
大气污染控制设施升级情景：分别设置现状和效率提升情景，现状情景保持现有大气污染控制效率不变；效率提升情景考虑大气污染控制设施进一步实施改造升级，颗粒物、$SO_2$ 和 NOx 控制设施全部升级为高效率设施以满足超低排放要求（颗粒物、$SO_2$ 和 NOx 排放浓度分别不超过 5 mg/m$^3$、35 mg/m$^3$、50 mg/m$^3$）。

预测结果显示，到 2030 年，不同情景下全国工业燃煤小锅炉颗粒物、$SO_2$ 和 NOx 排放量分别为 4.8~6.1 万吨、6.8~8.6 万吨和 4.6~5.9 万吨，较 2023 年下降 20.0~37.0%、28.2~52.2% 和 19.2~35.5%；到 2035 年，不同情景下全国工业燃煤小锅炉颗粒物、$SO_2$ 和 NOx 排放量分别为 4.2~5.4 万吨、6.0~7.7 万吨和 4.0~5.5 万吨，较 2023 年下降 28.8~44.8%、40.5~63.1% 和 127.6~42.9%；到 2050 年，不同情景下全国工业燃煤小锅炉颗粒物、$SO_2$ 和 NOx 排放量分别为 2.9~3.9 万吨、4.0~5.5 万吨和 2.7~3.7 万吨，较 2023 年下降 49.0~62.5%、69.1~88.1% 和 47.0~59.9%。综合考虑我国工业燃煤小锅炉规模现状、燃煤锅炉综合治理国家政策以及生物质燃料发展趋势，从方案实施的可行性角度，推荐低强度 - 效率提升情景为实施生物质锅炉散煤替代方案的大气污染物减排最佳情景。

不同情景下生物质散煤替代大气污染物表现出显著的减排潜力。到 2030 年，生物质散煤替代的颗粒物、$SO_2$ 和 NOx 减排潜力范围为 0.48~0.65 万吨、0.16~0.21 万吨和 0.06~0.08 万吨；到 2035 年，生物质散煤替代的颗粒物、$SO_2$ 和 NOx 减排潜力范围为 0.57~0.71 万吨、0.19~0.23 万吨和 0.07~0.09 万吨；到 2050 年，生物质散煤替代的颗粒物、$SO_2$ 和 NOx 减排潜力范围为 0.81~0.90 万吨、0.27~0.29 万吨和 0.10~0.11 万吨。




附图 10：不同情景下 2030、2035 和 2050 年工业燃煤小锅炉大气污染物排放量预测结果




附图 11：不同情景下 2030、2035 和 2050 年工业燃煤小锅炉生物质替代的颗粒物减排潜力

排 版 印 制 / 136 7111 7637
mirodesign
米 罗 空 间 品 牌 设 计

邮箱：contact@ccetp.cn
网址：https://www.ccetp.cn/