

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 2021

CHINA DISPERSED COAL MANAGEMENT
REPORT 2021



北京大学能源研究院
INSTITUTE OF ENERGY

2021年9月15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

《“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 2021》

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 2021

CHINA DISPERSED COAL MANAGEMENT REPORT 2021

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

2021年9月15日

执行报告的主要编写成员：

贺克斌 李雪玉

散煤治理课题专家组成员（按姓氏拼音首字母排序）：

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

目录

◎ 前言	v
◎ 第一章 “十三五” 破题: 环保驱动、目标管理、大干快上	1
1.1 政策体系以大气污染防治为主旋律	1
1.2 重点区域燃煤工业小锅炉基本清零	3
1.3 建材行业小窑炉治理, 淘汰落后产能贡献最大	4
1.4 民用散煤治理试点先行, 清洁取暖率大幅提升, 空气质量明显改善	5
1.5 用户反馈为后续农村清洁取暖技术路线的选择提供基础	8
1.6 健康效益超过中央补贴投入	14
◎ 第二章 当前困境: 亟待建立长效机制	17
2.1 工业散煤治理: 面临减污降碳的新挑战	17
2.2 “农房穿棉衣” 工作推进难度大	18
2.3 散煤返烧风险依然存在	19
2.4 “改而不用、改了又改” 现象突出	20
2.5 后补贴时代: 运行成本难承受	21
2.6 运维时代: 服务体系建设滞后	22

◎ 第三章 “十四五” 突围: 环保和碳中和双轮驱动辟新局	23
3.1 多维目标待统筹.....	23
3.2 散煤治理目标: 以民用散煤治理为主.....	24
3.3 民用散煤治理路线: 清洁化、低碳化、电气化.....	25
3.4 北方地区清洁取暖四年规划(2022-2025年): 重在建立长效机制.....	32
3.5 五省市健康效益超预期.....	36
◎ 第四章 可持续发展建议	39
◎ 附: 农村清洁取暖典型案例	41
(一) 生物质清洁取暖山东“阳信模式”	41
(二) “热源侧+用户侧”改造清洁取暖“鹤壁模式”	45
(三) 秸秆打捆直燃清洁取暖黑龙江“绥化”模式	51
(四) KWB 生物质锅炉集中供暖山东省“阳信县程坞学校模式” ..	55
(五) 清洁蜂窝煤取暖山西“晋城模式”	59

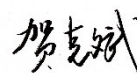
前言

我国散煤综合治理的初期阶段是以大气污染防治为主旋律。在“十三五”时期，在工业民用小锅炉淘汰关停、小散乱污企业整治、窑炉专项治理、北方清洁取暖等多领域采取目标管理的方式，全力推进，并以严格的环保督察来保驾护航，逐步形成了散煤综合治理体系，并取得了突破性进展。“十三五”期间，淘汰落后的小型燃煤锅炉约 10 万台，重点区域 35 蒸吨/小时以下燃煤锅炉基本清零；中央财政支持北方地区清洁取暖试点实现“2+26”城市和汾渭平原全覆盖，累计完成改造约 3500 万户左右，其中农村地区完成散煤替代约 2500 万户；秋冬采暖季节空气质量显著改善，室内居民身体健康效益可观。

当前，散煤综合治理正处于重点区域治理效果有待巩固提高，非重点区域治理力度有待加强的新阶段。尤其是，民用散煤治理已经从快速完成目标的改造时代跨入保障长期使用的运维时代，从单纯考虑初装成本的补贴时代进入运行成本自担的后补贴时代，从以环境最优的技术路线选择阶段到兼顾经济性的因地制宜方案的选定阶段，诸多挑战，亟待建立长效机制。

同时，我们正处于一个关键时间点，2021 年是“十四五”的开局之年。“十四五”是我国实现第二个百年目标，是开启全面建设社会主义现代化国家新征程的第一个五年规划。在美丽中国和“双碳”目标背景下，“十四五”时期将是我国强化环境与气候协同治理的关键时期，是绿色和低碳转型的重要窗口期。在“十四五”期间，散煤治理将由环保驱动、目标管理、大干快上的阶段，转向环保和气候双轮驱动、提效降本、致力长效的新时期。散煤综合治理的方向将从清洁化向低碳化并轨，并在兼顾经济性的前提下，统筹环境健康和气候目标，并将其融入新农村建设和新能源系统的构建。散煤综合治理的范围将由重点区域扩展至非重点区域，以民用散煤治理为主，遵循清洁、低碳、电气化的方向，致力于可持续发展。

散煤综合治理课题在过去五年研究的基础上，回顾并总结“十三五”的经验和不足，分析面对的主要挑战，根据新形势和新时期赋予我们的使命，为“十四五”解决散烧煤问题建言献策。



2021年9月8日

第一章“十三五”破题：环保驱动、目标管理、大干快上

“十三五”期间，散煤综合治理政策体系以大气污染防治为主旋律，在工业小锅炉淘汰关停、散乱污企业整治、窑炉专项治理、北方清洁取暖等多领域采取目标管理的方式，全力推进，并以严格的环保督察来保驾护航，总体上取得了积极成效。淘汰治理无望的小型燃煤锅炉约10万台，重点区域35蒸吨/小时以下燃煤锅炉基本清零¹，中央财政支持北方地区清洁取暖试点实现“2+26”城市和汾渭平原全覆盖，累计完成改造约3500万户左右，其中农村地区完成散煤替代约2600万户，空气质量和居民健康水平取得显著改善为后续进一步推进散煤替代、改善空气质量奠定了良好基础。同时，北方地区冬季清洁取暖试点政策在实施过程中，无论是中央和地方层面，均在政策制定、技术路线选择、任务推进、组织管理、监督管理等方面进行了积极探索，经验和教训为“十四五”更大范围地推广清洁取暖工作奠定了良好的基础。

1.1 政策体系以大气污染防治为主旋律

“十三五”期间，散煤治理以改善大气质量为核心，从工业和民用两个方向合力攻坚，划分重点区域，在工业小锅炉淘汰关停、散乱污企业整治、窑炉专项治理、北方清洁取暖等多领域采取目标管理的方式，全力推进。其中民用散煤治理相比工业散煤治理起步较晚，从2017年正式在北方地区的重点区域试点示范。“十三五”期间散煤治理工作经历了三个主要政策的实施阶段。

- 2016-2017年，《大气污染防治行动计划》的攻坚和收官阶段，是工业散煤治理取得积极成效的两年。2013年《大气污染防治行动计划》实施，要求全面整治燃煤小锅炉，加快推进集中供热、“煤改气”、“煤改电”等工程建设；加快淘汰落后产能，结合产业发展实际和环境质量状况，进一步提高环保、能耗、安全、质量等标准，分区域明确落后产能淘汰任务，倒逼产业转型升级。

¹ 2021年2月25日，生态环境部例行新闻发布会。

- 2017-2020 年，《北方地区清洁取暖规划（2017-2021）》有效执行的重要四年，是民用散煤治理的起始阶段和快速落地阶段。习近平总书记在 2016 年 12 月做出了关于加快推进北方地区清洁取暖重要指示，2017 年 12 月由十部委印发《北方地区清洁取暖规划（2017 - 2021 年）》（以下简称《规划》），对北方地区清洁能源取暖工作进行了整体部署，包括清洁取暖现状、存在问题、热源替代原则等，并对配套措施提出了具体要求。在《规划》中，明确了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。
- 2018-2020 年，《打赢蓝天保卫战三年行动计划》全面实施阶段，是散煤治理战场扩围、民用和工业散煤全面综合治理的阶段。随着《大气污染防治行动计划》重点工作任务全部完成以及新修订的《大气污染防治法》实施，国务院于 2018 年 7 月进一步发布实施了《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（国发〔2018〕22 号），全国各省、市、自治区及地方政府相继出台了打赢蓝天保卫战行动计划实施方案和重点地区大气污染综合治理方案和行动计划。《计划》明确了减排的指导思想、总体目标和重点区域，将散煤治理和有效推进北方地区冬季清洁取暖作为打赢蓝天保卫战重要措施予以部署。

在上述三个主要政策的指导下，“十三五”期间，在工业小锅炉散烧煤治理、其他工业散煤治理（包含建材行业小窑炉）和民用散煤治理等方面的具体政策措施的有效执行，以及环保督察制度的建立和常态化，共同构建了“十三五”散煤全面综合治理体系。

在工业小锅炉的治理方面，《大气污染防治行动计划》要求到 2017 年，除必要保留的以外，地级及以上城市建成区基本淘汰每小时 10 蒸吨及以下的燃煤锅炉，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。在供热供气管网不能覆盖的地区，改用电、新能源或洁净煤，推广应用高效节能环保型锅炉。在化工、造纸、印染、制革、制药等产业集聚区，通过集中建设热电联产机组逐步淘汰分散燃煤锅炉。2018 年发布的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》进一步开展燃煤锅炉综合整治，针对县级及以上城市建成区、其他地区和重点区域三类区域，分别提出淘汰要求，加大燃煤小锅炉淘汰力度：县级及以上城市建成区基本淘汰每小时 10 蒸吨及以下燃煤锅炉及茶水炉、经营性炉灶、储粮烘干设备等燃煤设施，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；重点区域基本淘汰每小时 35 蒸吨以下燃煤锅炉。

总体上来看，随着新修订的《大气污染防治法》于 2016 年 1 月 1 日正式实施，以及对加强燃煤大气污染防治的综合防治做出具体规定，环境管理要求不断严格，我国工业锅炉大气污染防治措施已由“低效锅炉改造”、“煤炭消费减量替代”等节能环保综合提升为主转变为以燃煤小锅炉淘汰、禁建和限建，以及超低排放等强制措施为主，由全国全面整治转变为以重点区域为主的差异化综合整治，治理力度不断加强变严。

在其它工业散煤治理方面，生态环境部开展的淘汰落后产能、散乱污企业整治、错峰生产等具体措施，对工业散煤治理发挥了重要作用。为有效落实《打赢蓝天保卫战三年行动计划》，各地开展了工业窑炉治理专项行动。2019 年 7 月 1 日，生态环境部、发展改革委、工业和信息化部、财政部联合印发了《关于印发“工业炉窑大气污染综合治

理方案”的通知》。开展拉网式排查，建立各类工业炉窑管理清单。制定行业规范，修订完善涉各类工业炉窑的环保、能耗等标准，提高重点区域排放标准。这些措施有效推动了工业小窑炉的散烧煤治理。

在民用散煤治理方面，自 2016 年底习近平总书记强调推进北方地区冬季清洁取暖工作以来，2017 年 3 月，李克强总理在《政府工作报告》中提出了完成以电代煤、以气代煤 300 万户以上。同年，国家发改委、国家能源局、环保部、住建部等十部委联合印发《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021 年）》明确了清洁取暖的定义、边界、目标和路径。2017 年 5 月，财政部等 4 部委发布“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”，标志着我国清洁取暖试点工作的开启。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，试点示范期为三年，直辖市每年安排 10 亿元，省会城市每年安排 7 亿元，地级城市每年安排 5 亿元。2021 年 3 月，财政部办公厅、住房城乡建设部办公厅、生态环境部办公厅、国家能源局综合司联合印发《关于组织申报北方地区冬季清洁取暖项目的通知》（财办资环〔2021〕19 号），标志着我国清洁取暖工作走向推广阶段。截至目前，先后四批共 63 个城市开展试点示范工作，试点城市已经从“2+26”城市逐步扩展至汾渭平原，甚至非重点区域的东北和西北城市。

此外，环境保护督察作为十八大以来党中央、国务院关于推进生态文明建设和环境保护工作的一项重大制度安排，为散煤治理工作保驾护航。自 2016 年年初中央环保督察组在河北开展督察试点以来，中央环保督察组先后分批入驻全国 31 个省（区市），对全国环境执法监管进行督察，并开展“回头看”的工作。严格的环保督察措施，一方面，有力地震慑了污染企业；另一方面，有效地鞭策了地方政府。为散煤治理行动措施的有效落实提供了保障。

“十三五”期间，散煤治理政策体系已初步建立并逐步完善，政策措施快速落地实施，散煤治理取得了突破性进展。其中，工业散煤削减贡献突出，工业小窑炉通过淘汰落后、清洁能源替代、错峰生产、改造升级等措施，散煤削减超过 1 亿吨；工业小锅炉在重点区域已基本实现清零，全国范围内每小时 10 蒸吨以下燃煤小锅炉得到有效控制。民用散煤治理起步较晚，于 2017 年在北方地区强力推进，初步估算散煤削减约 7000 万吨。

1.2 重点区域燃煤工业小锅炉基本清零

近年来，工业锅炉的使用越来越受到能源政策和节能、环保要求的制约，锅炉综合整治已成为大气污染治理的重点。课题组在总结梳理国家及地方政府（港澳台除外）一系列工业锅炉治理相关政策规划的基础上，将燃煤工业锅炉主要治理途径分为以下四大类：

- ① 控制新增燃煤锅炉规模。不同地区实行差异化新建燃煤锅炉限建，重点区域（京

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。

- ② **加快淘汰燃煤小锅炉，实施“清洁能源替代”**。按照重点区域、县级及以上城市建成区和其他三类地区，“分类施策”统筹推进燃煤小锅炉淘汰：重点区域基本淘汰每小时 35 蒸吨以下燃煤锅炉，县级及以上城市建成区基本淘汰每小时 10 蒸吨及以下燃煤锅炉。因地制宜实施清洁能源替代：有条件（燃气管网覆盖且气源有保障）且经济实力较强的城市城区和县城优先实施煤改气；鼓励可再生能源发电规模较大地区（如“三北地区”）实施电供暖；城市城区，以及人口密集、锅炉使用量大的城镇、城市近郊，优先发展热电联产、集中供热等集中供热方式；农村地区加快煤改生物质、煤改其他新能源等清洁化改造。
- ③ **实施节能环保综合改造**。实施燃煤锅炉“以大代小”（大型高效节能环保锅炉替代低效分散小锅炉），开展燃烧优化、低温余热回收等节能技术改造，提升锅炉系统运行水平。每小时 20 蒸吨以上燃煤工业锅炉安装高效脱硫和高效除尘设施，实施技术改造全面提升污染治理水平，确保污染物稳定达标排放；每小时 65 蒸吨及以上燃煤锅炉完成超低排放改造。
- ④ **提高供热燃煤质量**。加强煤炭质量管理，实现煤炭分质分级利用，推广使用洗选煤，燃煤锅炉不得直接燃用高硫高灰份的原煤。

通过以上四类治理途径的全面实施，近年来全国范围内燃煤工业小锅炉数量和规模正大幅下降。淘汰治理无望的小型燃煤锅炉约 10 万台，重点区域 35 蒸吨 / 小时以下燃煤锅炉基本清零。² 整体来看，我国燃煤工业锅炉正向着大容量、高效率、低排放的方向发展。

1.3 建材行业小窑炉治理，淘汰落后产能贡献最大

在建材行业工业小窑炉治理方面，2017 年 11 月，工业和信息化部、生态环境部和安监总局出台了《加快烧结砖瓦行业转型发展的若干意见》，在认真贯彻国家发改委《产业结构调整指导目录（2011 年本）（2013 年修改）》的基础上，推动、出台了《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，提升了行业准入门槛。“十三五”期间，《砖瓦工业大气污染物排放标准（GB29620-2013）》和《陶瓷工业大气污染物排放标准（GB25464-2010）》得以有效实施，环保部门对不达标企业进行了综合治理。同时，生态环境部加大了污染源在线监测，出台了《排污许可证申请与核发技术规范陶瓷砖瓦

2 2021 年 2 月 25 日，生态环境部例行新闻发布会。

工业（HJ954-2018）》，实施推进企业技术改造。

总体来看，建材行业小窑炉的治理措施主要包括淘汰落后产能、错峰生产、提升改造和“煤改气”四类。其中淘汰落后产能对小窑炉散烧煤治理贡献最大，如图 1-1 所示。据初步估算，陶瓷、砖瓦、石灰三个行业通过淘汰落后产能实现散烧煤削减约 7700 余万吨。

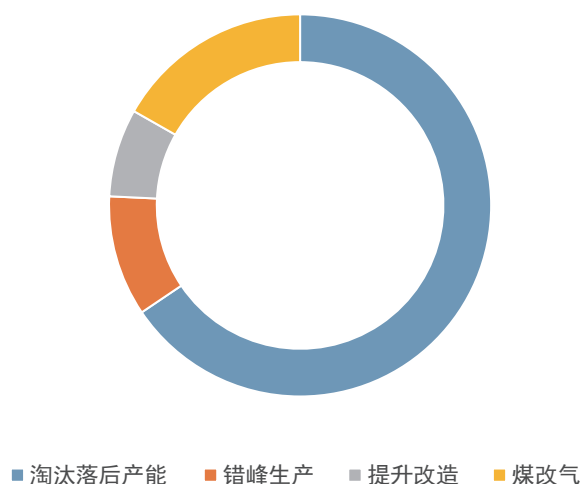


图 1-1：“十三五”期间四类政策措施对建材行业小窑炉治理的贡献

1.4 民用散煤治理试点先行，清洁取暖率大幅提升，空气质量明显改善

自 2017 年以来，在中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点政策下，先后共四批、63 个城市开展了清洁取暖试点示范工作，并取得积极进展。截至 2021 年 4 月，前三批 43 个试点城市合计完成清洁取暖改造面积 39.10 亿平方米、改造户数 3526 万户。其中，城区完成清洁取暖改造 9.58 亿平方米、869 万户，城乡结合部、所辖县及农村地区完成清洁取暖改造 29.51 亿平方米、2657 万户³。

“2+26” 通道城市（不含北京）合计完成清洁取暖改造 28.62 亿平方米、2501 万户。其中，城区完成 6.2 亿平方米、533 万户，城乡结合部、所辖县及农村完成 22.41

³ 数据说明：以各试点城市实际完成任务量统计，其中山东第二批试点城市按目标任务量统计。

亿平方米、1967 万户。随着清洁取暖改造工作的推进，“2+26”城市空气质量明显改善。2020 年，2+26 城市优良天数比例进一步提高到 63.5%，比 2017 年上升 14.2 个百分点；PM2.5 全年平均浓度进一步下降到 51 微克 / 立方米，比 2017 年下降 25%。⁴

汾渭平原城市合计完成清洁取暖改造 9.44 亿平方米、918 万户，其中，城区完成 3.03 亿平方米、301 万户，城乡结合部、所辖县及农村完成 6.41 亿平方米、617 万户。2020 年，汾渭平原城市优良天数比例进一步提高到 70.6%，比 2017 年提高了 18.5 个百分点，PM2.5 全年平均浓度进一步下降到 48 微克 / 立方米，比 2017 年下降 26%。⁴

从每批试点的完成情况来看，第一批 12 个试点城市到 2020 年 4 月已结束试点期。3 年内共完成清洁取暖改造 15.46 亿平方米、1324 万户。其中，城区完成清洁取暖改造 4.73 亿平方米、409 万户，清洁取暖率由 83.7% 提高到 100%；城乡结合部、所辖县及农村地区完成清洁取暖改造 10.73 亿平方米、914 万户，清洁取暖率由 32.84% 提升到 88.59%。城市秋冬季 PM2.5 平均浓度从 2016 年的 109.5 微克 / 立方米下降到 2020 年的 64 微克 / 立方米，下降幅度 41.6%。⁴

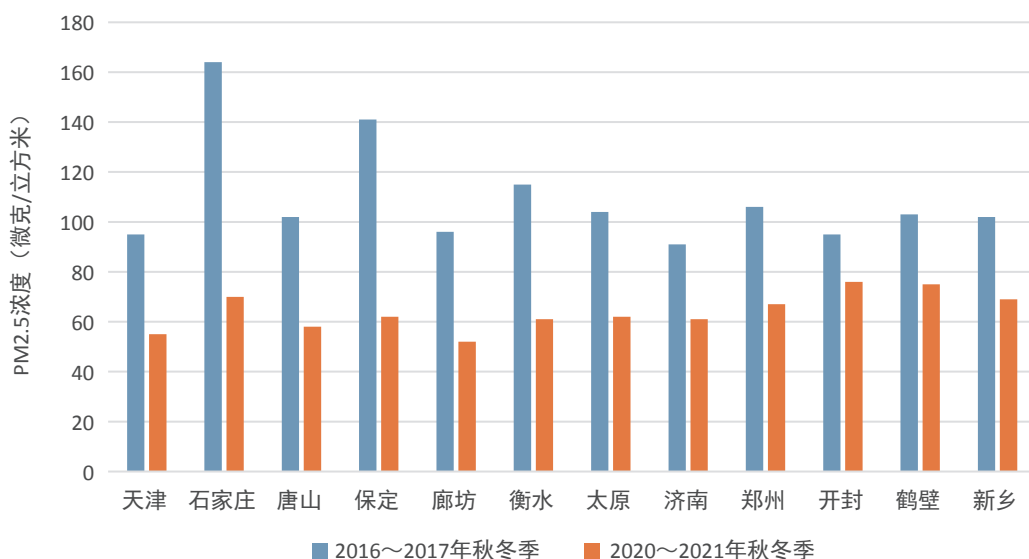


图 1-2：第一批试点城市 PM2.5 浓度下降情况

第二批 23 个试点城市到 2021 年 4 月结束试点期，23 个试点城市完成清洁取暖改造 20.91 亿平方米、1953 万户。其中，城区完成清洁取暖改造 4.32 亿平方米、411 万户，清洁取暖率由 85.38% 提升到 100%；城乡结合部、所辖县及农村地区完成清洁取暖改造 16.59 亿平方米、1543 万户，清洁取暖率由 42.79% 提升到 95.07%。城市秋冬季 PM2.5 平均浓度从 2017 年的 80.6 微克 / 立方米下降到 2020 年的 64.2 微克 / 立方米，下降幅度 20.3%。

⁴ 《中国生态环境状况公报》，生态环境部。

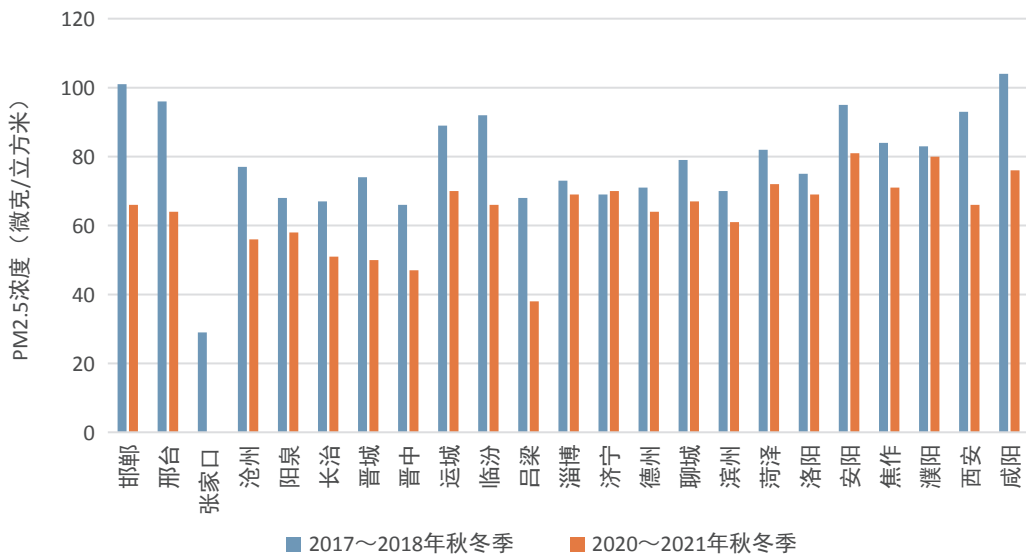


图 1-3：第二批试点城市 PM2.5 浓度下降情况

第三批 8 个试点城市将于 2022 年结束试点期，截至到 2021 年 4 月，共完成清洁取暖改造 2.72 亿平方米、249 万户。其中，城区完成清洁取暖改造 0.53 亿平方米、49 万户，清洁取暖率由 67.46% 提升到 95.72%；城乡结合部、所辖县及农村地区完成清洁取暖改造 2.19 亿平方米、200 万户，清洁取暖率由 33.84% 提升到 97.57%。经过 2 年试点，空气质量改善也较为明显，秋冬季 PM2.5 平均浓度从 2018 年的 85 微克 / 立方米下降到 2020 年的 65.1 微克 / 立方米，下降幅度 23.4%。

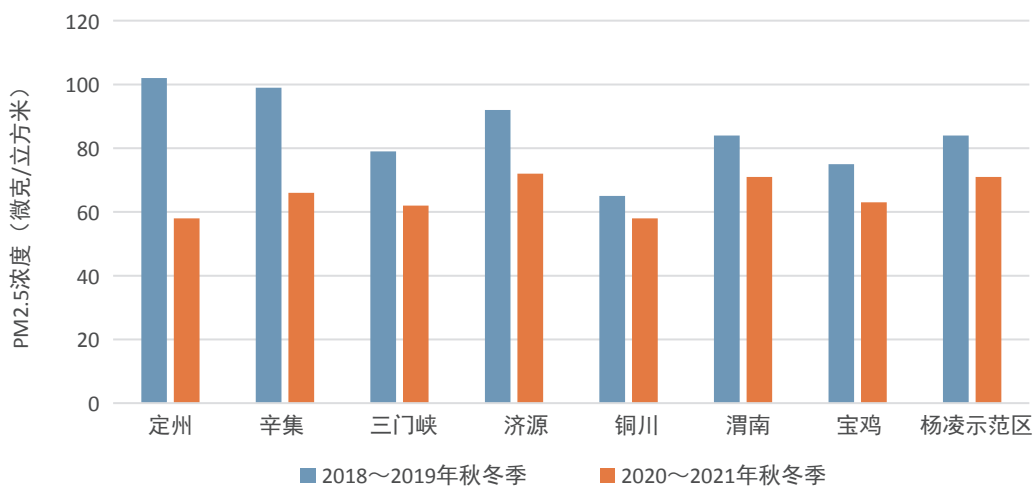


图 1-4：第三批试点城市 PM2.5 浓度下降情况

第四批试点始于 2021 年，共有 20 个城市。其中，京津冀及周边地区重点区域城市 12 个，分别为山东省烟台市、泰安市、潍坊市；山西省忻州市、大同市、朔州市；河北省承德市、秦皇岛市；河南省许昌市；陕西省榆林市、延安市；北京。非重点区域城市 8 个，分别为辽宁省阜新市、黑龙江省佳木斯市、内蒙古自治区包头市、青海省海西州、新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市、吉林省辽源市、甘肃省兰州市、宁夏回族自治区吴忠市。第四批试点标志着北方清洁取暖工作从重点区域正在向非重点区域延伸。

1.5 用户反馈为后续农村清洁取暖技术路线的选择提供基础

清洁取暖的重点在农村，难点也在农村。由于农村地区居住分散、人口密度低，通常采取分散取暖的方式。目前农村地区分散取暖采用的清洁取暖方式主要有燃气壁挂炉、空气源热泵、直热式电暖器、蓄热式电暖器等，不具备清洁取暖条件的偏远地区农村则选择清洁炉具取暖。清洁取暖试点示范的三年时间里，对不同技术路线的应用，让我们在实践中积累了宝贵的经验，本报告根据调研情况，总结了不同技术路线的特点、适用性、用户反馈以及初装和运行成本。

燃气壁挂炉可同时满足取暖和炊事用能需求，但使用成本高。

燃气壁挂炉取暖的优点是干净、方便，可以同时满足取暖和做饭的需求；缺点是初投资及运行费用较高、气源气价不稳定、安全隐患大。适用于经济水平较高且有充足气源保障、居民对做饭方式有较高愿望的农村。



图 1-5：燃气壁挂炉取暖

实地调研发现，农户对“煤改气”的评价呈现出两极分化。经济条件好的认为天然气干净、方便，经济条件差的则表示实在是贵，舍不得烧。以某地调研情况为例，某经济条件较好的农户家取暖面积 120m²，一台 26kW 燃气壁挂炉购置费用农户承担 2600 元，政府补贴 1000 元。2020 年采暖季日均用气量约 20m³，燃气 2.78 元 /m³，共花费 6600 元，政府补贴 960 元（0.8 元 /m³，共 1200m³），补贴后实际支出约 5600 元。该用户表示，“煤改气干净又方便，一摁开关就不用管了，再也不用半夜起床添煤块。只要不怕费钱，把温度调高点，屋里就能烧暖和。但愿意敞开的用的在全村并不多，在外面上班、家里条件好一点的还能承受，岁数大的、没有经济来源的人负担不起。村里很多人都舍不得烧，白天暖和就把壁挂炉温度调低点，晚上再调高点，要不花钱太多。”

某经济条件较差的农户家取暖面积 80m²，一台 12KW 燃气壁挂炉购置费用农户承担 2200 元，政府补贴 1000 元。2020 年采暖季日均用气量约 13m³，燃气 2.78 元 /m³，共花费 4300 元，政府补贴 960 元（0.8 元 /m³，共 1200m³），补贴后实际支出约 3300 元。需要注意的是，由于燃气取暖费用高，农户平时省着用，并辅助使用电热毯取暖，室内温度仅 13-14℃，如果 24 小时供暖，供暖费用将进一步增加。该用户表示，“我家以前拉一车煤能烧 3 年，同样的钱，现在烧气一年就没了。煤改气后屋里确实干净了，也省事了，好是真好，贵是真贵。我更愿意烧煤，虽然脏点累点，但是便宜还暖和，烧气就不行了，舍不得烧那么热。听说今年就不补了，补贴取消后多数村民会少烧或者不烧，约三分之一的村民还会烧煤取暖。”

空气源热泵可同时满足供冷 / 热需求，使用成本低但初装成本高。

空气源热泵可分为空气源热泵热水机和空气源热泵热风机，是目前农村“煤改电”的重要技术路径。其中，启停灵活的热风型热泵适用于日常居住少、主要是节假日返乡的农村家庭；热水型热泵适用于采暖季持续使用，取暖面积较大的家庭。空气源热泵的优点是干净、方便、智能、运行费用较低，可以同时满足供暖和制冷的需求。缺点是初投资费用高，对当地电网容量有较高要求。适用于电力供应有保障、经济水平较高的农村。



图 1-6：空气源热泵取暖

实地调研发现，在经济条件较好的农村地区，“干净方便还便宜，没补贴也不烧煤”是空气源热泵用户的普遍感受。以某地调研情况为例，某农户家取暖面积 80m²，一台 6P 空气源热泵购置费用农户承担 2600 元，政府补贴 11800 元。2020 年供暖季共花费电费 3300 元，政府补贴 1200 元（0.12 元/kW·h，共 10000kW·h），补贴后实际支出约 2100 元。该用户表示，“以前烧煤需要经常加煤，弄不好火炉子就灭了。现在用热泵取暖，屋里干净了，也省事了，还能保持恒温，室内温度能达到 18-20℃，虽然比煤贵点，但是干净、方便，采暖效果也不错。村民对空气源热泵取暖很满意，取消补贴后也不想再烧煤，因为距离市区比较近，散煤管控很严，想烧煤也买不到。”

直 / 蓄热式电暖器初装成本低、运行成本高

电取暖分为电直热和电蓄热两种。电直热取暖技术种类繁多，主要方式有电暖桌、电热膜、发热电缆、碳晶板、远红外电暖器、电暖壁画等。电蓄热取暖的主要方式有蓄热式电锅炉、蓄热式电暖器等，又可分为固体蓄热和水蓄热两种方式。一般来说，水蓄热适用于取暖面积较大的农户；固体蓄热安装使用方便，适合于取暖面积较小的农户。电采暖设备的主要优点是价格便宜、操作简单、灵活方便，缺点是对电网负荷要求高，电网升级改造投入大，而且能源利用效率低、运行费用过高，属于典型的“高能低用”。由于其在使用过程中不节能、耗电多、运行费用高且取暖效果差，不宜在北方农村大面积推广。北京市在 2017 年就明确提出“禁止推广使用直热式电取暖设备、限制使用蓄热式电暖器”的要求。



a 洁净煤球炉具

b 蓄热式电暖器

c 储热式电壁挂炉



d 发热电缆

e 碳晶板

f 电暖桌

图 1- 8：电取暖

实地调研发现，“费用太高，负担不起”是电取暖用户的普遍感受。改造后“返煤”风险极大。以某地调研情况为例，某镇 2018 年完成了 21 个村的“双替代”工作，其中 15 个村“煤改气”，6 个村“煤改电”。“煤改电”包括蓄热式电锅炉、电暖画、电暖桌等，由于改造后运行成本高、取暖效果差，返煤的农户一度高达 80%，目前 6 个村正在进行二次改造热泵的摸底工作。某村支书表示，“煤改电”后村民户均采暖费用在 5000~6000 元，2018 年最多一户花了 8000 元，一般用户承受不起。二次改造是 6 个村支书联名向市里反映的结果，最近刚开会明确政府补贴 85%，用户自筹 15%，但又面临很大的财政压力。

某农户家取暖面积 100m²，一台 12kW 蓄热式电锅炉购置费用农户承担 945 元，政府补贴 5355 元。一个供暖季共花费电费约 6000 元，政府补贴 1200 元（0.12 元 / kW·h，共 10000kW·h），补贴后实际支出约 4800 元。该用户表示，“孩子平时不在家，舍不得用，只敢在晚上开，一天 50 多块钱的电费，钱花的多不说，屋子还不热乎。以前烧煤不到 3 吨，一个采暖季花费 2000 元左右，便宜、暖和还能做饭。现在虽然干净了，但是真用不起。如果实在冷的受不了，还得用煤炉取暖。”

清洁炉具兼顾生活用能且成本低，减排效果参差不齐

清洁炉具取暖是指将洁净煤（型煤、无烟煤、洗选烟煤和兰炭）、生物质成型燃料（含块状薪柴），通过专用炉具进行燃烧产生热水或热风进行供暖的技术。其优点是初投资及运行成本低，可兼顾取暖、炊事及生活用水，符合农村居民用能习惯，在北方农村地区具有较大的推广应用潜力。缺点是由于污染物排放受燃料质量和炉具燃烧技术影响显著，减排效果参差不齐，在政策层面被定位为“过渡性”“兜底性”措施，其推广空间和规模受限。适用于“双替代”覆盖不到、经济条件较差的农村。



图 1- 9：清洁炉具取暖

实地调研发现，“炉具既能取暖，又能做饭，但是煤球质量不稳定，没有散煤好烧”是洁净煤炉具取暖用户的普遍感受。以某地调研情况为例，某农户家取暖面积 120m²，一台 24kW 的洁净煤炉具购置费用农户承担 1150 元，政府补贴 1600 元。2020 年采暖季共用煤 3 吨，花费约 3200 元，政府补贴 1650 元（550 元/吨，共 3 吨），补贴后实际支出约 1600 元。该用户表示，“除了取暖，烧水、炒菜也很方便，干净是干净了，补贴后价格也不高，但是煤球不稳定，一年好一年坏。以前一天加 2 次煤，火旺得很，屋里起码在 20 摄氏度以上。煤球就不行了，灰多、上火慢、不容易点火，一天至少添 3

次不说，稍微添晚一点火还会灭，温度也不稳定，烧一会就不热了，没有散煤好烧。要是没有补贴，煤球价格要比散煤贵不少，对于收入高点的家庭来说问题不大，可对于收入低的村民确实负担不起。”

根据实地调研走访的农村居民采暖情况，以户为基础，比较不同采暖方式的经济性，包括配套入村与入户的天然气管网、电网改造的基础设施建设成本，采暖设备的购置成本，以及用能成本。⁵

成本分析：改造和运行成本

改造成本是政府选择技术路径的主要因素，而运行成本是用户考虑是否持续使用的主要因素。从综合改造成本来看，清洁炉具取暖除在室内配备热水循环管路和散热片外，户外不需要额外建设其他配套设施，故没有配套设施建设成本，炉具设备购置成本也最低，但污染和碳排放问题无法有效解决；“煤改气”配套设施和设备购置成本较低，这也成为其在改造初期能够快速规模化推广的原因之一；对于“煤改电”来讲，农村电网的基础设施建设成本较高，而直/蓄热式电暖器设备购置成本相对较低，在“煤改电”中推广应用规模也相对较大。空气源热泵设备购置成本最高，一定程度上限制了该类产品的推广应用。但近几年随着社会对热泵产品的认知加深，空气源热泵（特别是空气源热泵热风机）的应用规模在不断增长。

由于各地气候条件、建筑保温水平、取暖系统布置、能源价格及农户取暖习惯等均不相同，各种技术路径的运行成本也存在一定的差异，详见表 1-1。但总体来看，在不考虑财政补贴的情况下，清洁炉具的运行成本最低，是散煤取暖的 1.5 倍左右；空气源热泵运行成本较低，是散煤取暖的 2 倍左右；燃气壁挂炉运行成本居中，是散煤取暖的 2-3 倍左右；直/蓄式电暖器运行成本最高，是散煤取暖的 3-5 倍左右。需要注意的是，无论采用哪一种技术路径，与散煤取暖相比，运行费用均有明显提升。

⁵ 考虑到农村清洁取暖改造多数为既有房屋，已配有暖气片或地暖等末端换热设施，本报告的成本分析中未考虑室内末端换热设施的费用。

表 1-1: 清洁取暖技术路径的成本比较

取暖方式	配套设施 (万元 / 户)	设备购置费 (万元/户)	燃料价格	能源消耗	运行成本 (元 / m ²)
传统散煤炉具	0	0.1~0.3	0.7 元 /kg	20~30kg/m ²	14~21
空气源热泵热水机	1.5~2.6	1.4~3.0	0.55 元 /kW·h	45~76kW·h/m ²	25~42
空气源热泵热风机	1.5~2.6	1.2~1.8	0.55 元 /kW·h	36~62kW·h/m ²	20~34
蓄热式电锅炉	1.5~2.6	0.3~0.65	0.55 元 /kW·h	105~145kW·h/m ²	58~80
直热式电壁挂炉	1.5~2.6	0.2~0.4	0.55 元 /kW·h	145~182kW·h/m ²	80~100
燃气壁挂炉	0.4~0.8	0.35~0.8	2.78 元 /m ³	13~20m ³ /m ²	36~56
洁净煤炉具	0	0.2~0.5	1.1 元 /kg	19~29 kg/m ²	21~32
生物质颗粒炉具	0	0.2~0.5	1.2 元 /kg	20~30 kg/m ²	24~36
太阳能 + 燃气	0	3	2.78 元 / m ³	8~10 m ³ /m ²	22~28
浅层地热	0	2	0.55 元 /kW·h	30-32 kW·h /m ²	16~18

注: 仅代表某地实地调研情况, 由于统计数据有限, 数据可能存在一定偏差。

1.6 健康效益超过中央补贴投入

散煤治理, 尤其是北方清洁取暖工作, 取得的显著成效, 离不开财政支持。2017-2019 年, 针对前三批试点工作的开展, 中央财政资金合计下达 351.2 亿元, 地方补贴资金约 777.0 亿元, 中央与地方共投入约 1128.2 亿元。在巨额补贴之下, 散煤治理势必取得积极的环境、健康和社会效益。这些效益的货币化分析是一个复杂的课题。本报告基于北京大学环境科学与工程学院能源环境经济与政策研究室 (LEEEP) 开发的能源 - 环境 - 经济可持续发展综合评估 IMED 模型⁶ 体系中的 IMED | TEC 能源系统技术优化分析

6 IMED模型, 即Integrated Model of Energy, Environment and Economy for Sustainable Development, 包括 IMED | Computable General Equilibrium(IMED|CGE)可计算一般均衡模型、IMED | Technology(IMED | TEC)能源系统技术优化分析模型和 IMED | Health(IMED | HEL)空气污染健康风险等模型, 详情参见: http://scholar.pku.edu.cn/hanchengdai/imed_general_cn。

模型和 IMED | HEL 室内空气污染健康风险模型，通过对参考情景（REF）、“十三五情景”（FYP13）进行分析对比，探索了散煤治理政策下，农村居民所能获取以货币化效益衡量的人群健康效益，即政策实施所避免的疾病和过早死亡相对应的货币化结果。

分析结果显示，“十三五”期间，中国北方地区北京、天津、河北、山东和山西等五省市散煤治理和清洁取暖政策的实施带来了一定的健康改善效益，2020年FYP13相比REF情景，避免了约3.3万人致病，并获得0.5亿元的货币化致病效益。图1-10展示了不同情景下5省市室内空气质量所引起的肺癌、急性下呼吸道感染、慢性肺阻碍性肺炎等几类疾病效益。由图可知，相比于REF情景，在“十三五”期间，各省避免了上千人致病，且减少了亿元级别的疾病支出成本。而对于各项疾病中，避免的急性下呼吸道感染效益最高，2020年五省共减少了0.29亿元慢性阻碍性肺炎疾病支出成本，说明期间空气质量得到一定的改善。2020年，北京、河北、山东、天津和山西由于散煤治理和清洁取暖政策而避免致病人数分别达1349人、10164人、16423人、1585人、3901人，而疾病总支出成本减少分别为0.03亿元、0.15亿元、0.20亿元、0.03亿元、0.09亿元。

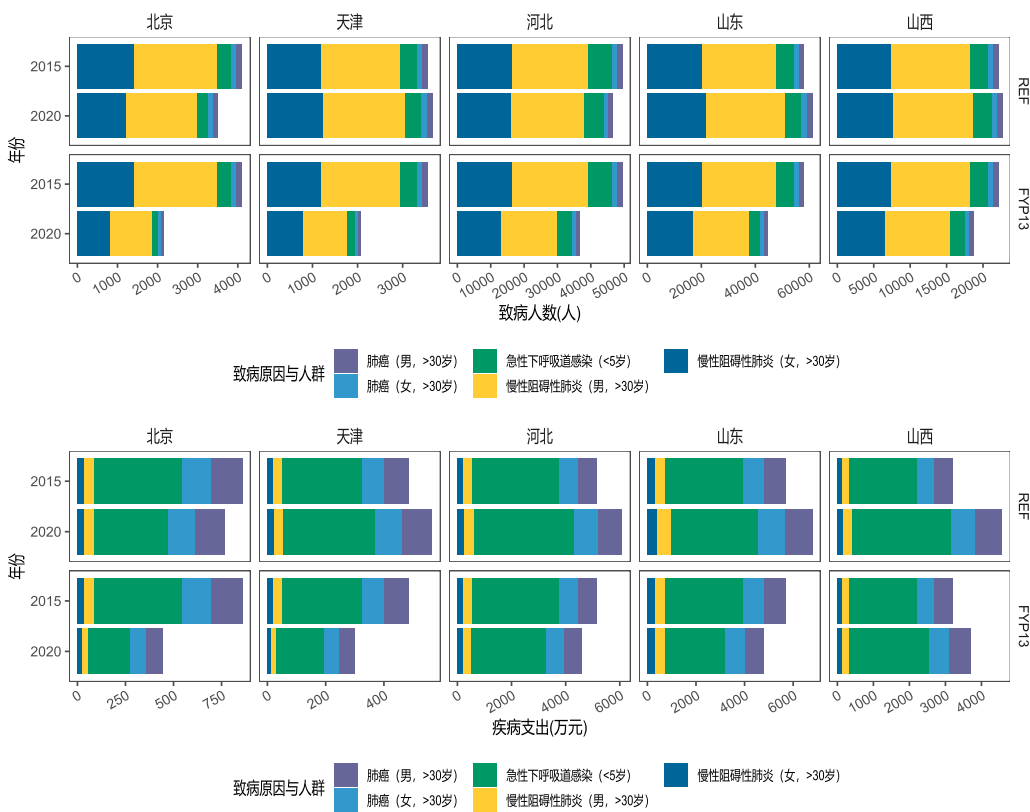


图 1-10：“十三五”期间避免的致病人数和疾病支出

“十三五”相关政策的落实也减少了大量的过早死亡，2020年五省市避免的过早

死亡人数高达八千余人，减少的统计生命价值损失，即致死成本效益，高达 **448.14** 亿元。通过健康风险模型计算，得出结果如图 1-11 所示。可知在整个“十三五”期间，FYP13 相比 REF 情景，北京、河北、山东、天津和山西五省市的暴露人口比例和相对风险均呈现下降的趋势，其中山西和河北下降幅度相对较高。北京、河北、山东、天津和山西五省市由于政策实施而避免的过早死亡人数分别为 342 人、2467 人、4122 人、396 人、950 人，而对应避免的统计生命价值损失分别达到 25.63 亿元、99.30 亿元、257.57 亿元、36.37 亿元、29.27 亿元。相对于 REF 情景，在 FYP13 情景下，北方五省共计避免妇女死亡达 4133 例，避免统计生命价值损失高达 225 亿元；避免成年男性死亡达 4017 例，避免统计生命价值损失达 217 亿元。

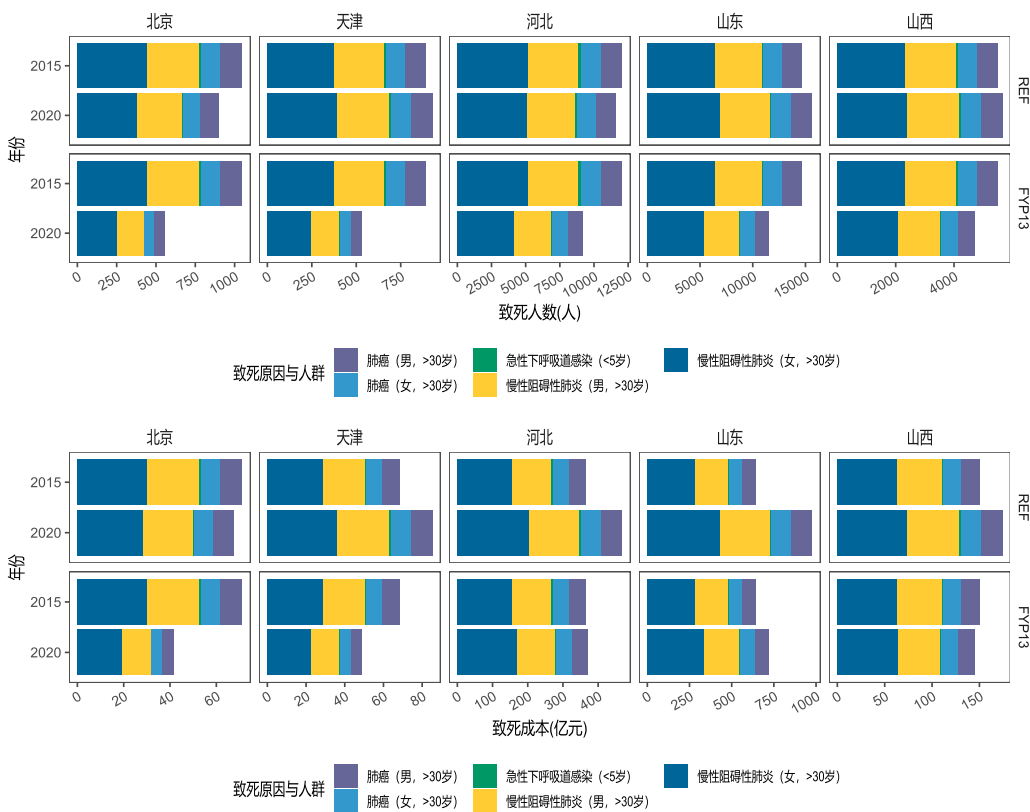


图 1-11：“十三五”期间避免的致死人数和致死成本

总而言之，农村居民室内健康水平的提高只是散煤治理综合效益中的一个重要组成部分，根据上述模型分析结果，北京、天津、河北、山东和山西五省市的散煤治理可避免农村居民致病和过早死亡的货币化效益约为 450 亿元，已超过中央为重点区域清洁群试点投入的 351.2 亿元。

第二章 当前困境：亟待建立长效机制

“十三五”期间散煤治理取得了突破性进展，然而工业散煤治理主要依赖行政手段，民用散煤治理主要依赖财政补贴，加之疫情影响，散煤治理效果需要进一步巩固和加强。尤其是民用散煤治理已经从快速完成目标的改造时代跨入保障长期使用的运维时代，从单纯考虑初装成本的补贴时代进入运行成本自担的后补贴时代，从以环境最优的技术路线选择阶段到兼顾经济性的因地制宜方案的选定阶段，诸多挑战形成了可持续发展的困局。

2.1 工业散煤治理：面临减污降碳的新挑战

从我国工业大气污染综合防治政策制定的历程来看，不同阶段政策的制定是与我国大气污染防治整体目标和社会经济发展方向一致的。目前，在各类政策的推动下，工业小锅炉和小窑炉在“十三五”期间实现了快速淘汰落后。其中，燃煤工业锅炉处于大气污染物排放向超低排放推进的阶段；建材行业工业窑炉处于源头推进天然气等清洁能源替代、末端提高环保改造升级的阶段。“十三五”时期，重点区域工业散煤治理已基本解决，初步估算，工业小锅炉和工业小窑炉的散烧煤余量约1亿吨，其中部分小窑炉可通过改造升级实现环保达标排放。随着国内外生态环境和气候形势的变化，我国工业散煤治理面临着减污降碳协同治理的新形势和挑战。

（1）工业散煤治理难度加大。

根据目前各级政府发布实施的污染治理行动计划和燃煤锅炉专项整治方案，到2020年底重点区域基本淘汰每小时35蒸吨以下燃煤锅炉，每小时65蒸吨及以上燃煤锅炉全部完成节能和超低排放改造。虽然地方在实施燃煤小锅炉淘汰和超低排放改造稍有滞后，但从目前推进进度来看，重点区域已基本实现燃煤小锅炉清零，非重点区域正在全面淘汰10蒸吨以下的燃煤小锅炉，下一步工业小锅炉整治的难度会进一步加大。此外，“十三五”期间，建材行业小窑炉散烧煤削减主要来自淘汰落后产能，后续治理措施（如提升末端治理、加快清洁能源替代和产业升级）将发挥更为重要的作用，但难度也在升级。

(2) 当前大气污染防治技术不能完全满足减污降碳协同治理的需求。近年来，随着工业锅炉和窑炉大气污染排放标准的实施和各类政策的发布，引导和推动了工业锅炉和窑炉污染控制技术的发展。然而，在当前能源政策和节能、环保要求不断提高的背景下，污染控制技术储备不足，缺乏真正适用于小锅炉或窑炉的低成本、能够多污染物和碳排放协同治理的技术。尤其是要实现碳减排目标，需要从燃煤小锅炉和窑炉的规模、燃料以及协同污染治理技术开发等方面全面发力，以满足减污降碳协同治理的需求。

2.2 “农房穿棉衣”工作推进难度大

开展用户侧建筑能效提升，可以减少热源清洁化的初投资，降低采暖费支出，提升室内舒适度，对现阶段热源清洁化改造出现的供暖成本普遍偏高具有重要意义。随着清洁取暖改造的快速推进，用户侧建筑能效提升工作却没有同步跟上。当前对于用户侧建筑能效提升工作的重视程度明显低于热源侧。截至 2019 年底，累计实施用户侧建筑节能改造 1.84 亿 m^2 （城镇 1.38 亿 m^2 ，农村 0.46 亿 m^2 ），占 5 亿 m^2 改造任务目标的 36.8%，占 50.6 亿 m^2 热源侧清洁化改造完工量的 3.6%。特别是，最需要推动此项工作的农村地区，反而推动最慢，仅为城镇推进量的 1/3。其中，前两批清洁取暖试点城市建筑能效提升工作任务量不足热源清洁化改造的 10%，第一批清洁取暖试点城市第一年建筑能效提升工作的实际完成量更是不到第一年计划任务量的 25%。

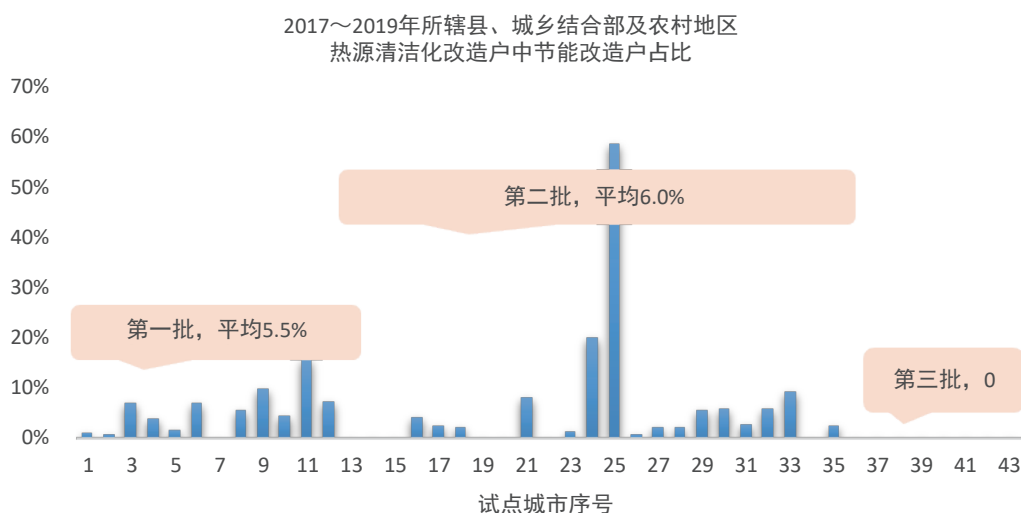


图 2-1：截至 2019 年所辖县、城乡结合部及农村地区建筑节能与热源清洁化改造户数比例

同时，农村建筑节能改造的资金支持力度较低，天津、河北、山西、山东、河南、陕西等 6 省在用户侧建筑能效提升工作的投入约 199.1 亿元，约占清洁取暖总投入资金的 11%，其中农宅建筑能效提升投入仅 31.1 亿元，占建筑能效提升投入的 16%，占清洁供暖总投入的 2%。

建筑节能工作推进难受几方面的影响，首先，从技术角度看，我国农村地区农宅形式种类多，保温水平差异大，缺乏细化的、菜单式的技术路径。其次，从管理角度看，缺乏严谨、科学的顶层规划管理经验，不少地区往往凭感觉、凭经验开展工作，缺乏科学合理的技术路线及施工方法，存在“什么能尽快完成任务做什么”、“听说过什么技术做什么”、“本地有什么技术做什么”以及“别的地方做什么我们也做什么的”现象。再次，农房长期以来自建自用结构较差，农房始终处于自建自管状态，建设无人监管现象在我国大多数地方都不同程度存在。此外，农民经济承受能力有限、节能意识和习惯尚未养成，大规模推进遇阻力。

2.3 散煤返烧风险依然存在

有关部门 2018-2019 年秋季实地督察数据显示，北方地区按村统计平均复燃率就达到 14%，某市更是高达 36%。一项专门针对清洁取暖返煤的分析显示，当前潜在返煤用户超过 500 万户，如各地运行补贴逐步退坡，这一数据或将达到 800 万户之多。目前售煤电话、煤炉、煤球、薪柴等在部分地区皆能看到。

返煤率和返煤原因与各地的能源供应情况、散煤管控力度、技术路径选择、取暖成本与取暖效果、农户经济水平、年龄大小、生活习惯等多种因素有关，需要具体情况具体分析，不能一概而论。

某地调研结果显示，从不同技术路径来看，直/蓄热式电暖器的运行成本最高，返煤率达到 80% 左右；燃气壁挂炉的运行成本较高，返煤率为 35% 左右，详见图 2-2；空气源热泵的运行费用较低，返煤率为 15% 左右；从不同区域来看，靠近城区的农村散煤管控力度大，返煤率较低，偏远农村散煤管控力度小，返煤率较高；从不同用户来看，经济条件好的家庭返煤率较低，经济条件差的家庭返煤率较高；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。

农户收入水平与返煤风险有很大的相关性。某地调研结果显示，约 16% 的农村富裕家庭（可承受的取暖费用支出为 3000-5000 元）对清洁取暖持欢迎态度，普遍表示“煤改气”“煤改电”干净、方便，即使取消补贴也不会再烧煤；约 47% 的农村中等家庭（可承受的取暖费用支出为 2000-3000 元）对清洁取暖持支持态度，普遍表示取消补贴后会继续使用清洁取暖，但会同时使用其他能源辅助取暖；约 37% 的农村贫困家庭（可承受的取暖费用支出为 1000-2000 元）对清洁取暖持否定态度，普遍表示即使有补贴也不会用。

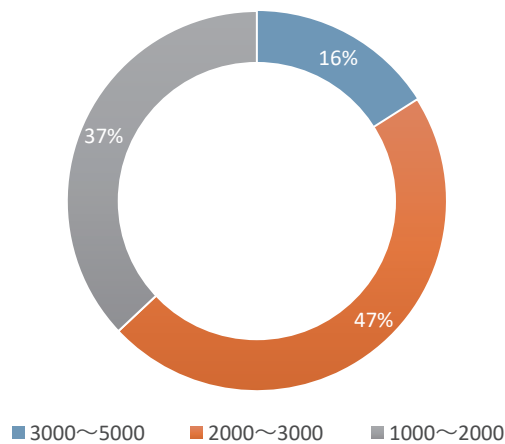


图 2-2：用户可承受的清洁取暖支出水平分析（单位：元）

同时，系列生活用能问题未充分解决，也是返煤的重要原因之一。调研显示，部分老百姓保留煤炉是出于生活习惯，比如习惯大锅大火做饭、炉灶暖炕、热水洗漱等。此外，部分地区技术路线执行过于“一刀切”，补贴按户执行，对于部分三代同户同居的老百姓，未能有效解决主要房间取暖。调研中发现，现有补贴往往只解决了其中两至三间房，多数用于年轻人生活起居，老人住的屋子仍然使用小炉灶、小火炕。

2.4 “改而不用、改了又改”现象突出

在试点示范阶段，部分地区出现“改而不用”的现象，以“煤改电”为例。在煤改电用户中，“改而未用”用户⁷、“基本不用”用户⁸、“低水平使用”用户⁹，约占总户数的七成至八成。北京、天津、山西运行情况较好，正常使用率超过 60%，尤其是北京，正常使用电取暖用户占比最高。山东、河南、新疆、陕西利用率较低。其中成本是很大因素，除此之外，还有其他现实原因，比如农村地区居民或外出务工，或一户多宅，或冬季搬到城镇楼房居住，造成已完成“煤改电”清洁取暖改造的房屋长期空置，电采暖设备几乎不使用。

在试点示范阶段，有部分地区因技术路线选择不当、盲目照搬等现象的存在，导致

7 改而未用，指的是采暖季期间，用户的日均电量不到 2 千瓦时。

8 基本不用，指的是采暖季期间，用户的日均电量 2-8 千瓦时，基本没有使用电取暖的用户。

9 低水平使用，指的是采暖季期间，用户的日均电量高于 8 千瓦时，但受多重因素影响，采暖用量不大。

改造后不得不进行二次、三次改造，甚至给地方财政带来较大压力。据实地调研，某市是重点区域实施清洁取暖较早的地市级，在 2015 年就开始利用中央大气污染防治资金开始实施农村清洁取暖改造工作，在早期技术探索，部分农村采取了石墨烯等取暖技术，据居民反映，效果较差，面临设备更换的问题。然而，按照有关资金管理办法要求，对已获得中央资金支持的项目不能再获得中央资金支持，目前需要地方政府再给予补贴才能完成取暖设备更换。

此外，一些地方政府在财政资金有限的情况下，为完成任务目标，往往采取低价招标策略。部分以低价中标的企业，为获取利润，只能在原材料采购、生产制造等方面压缩成本，以牺牲产品质量来弥补亏损，导致大量劣质产品进入市场。以炉具行业为例，一些地方政府部门在推进实施项目时，受多种实际困难和条件制约，又开始大量推广市场早已淘汰且价格低廉的烤火炉。因烤火炉大多安装卧室或与卧室相连的客厅，存在烟气泄漏中毒等安全隐患，在此种情况下，再次改造就成了无法回避的选择。

2.5 后补贴时代：运行成本难承受

目前，高额的运行补贴给部分城市带来较大的压力。河北省压力最大，2021 年河北试点城市合计补贴金额初步测算超过 80 亿元。导致部分城市补贴政策在试点期间已经出现退坡且速度较快，相比 2018 年，2019 年，石家庄气价补贴下降 42.9%，唐山、保定、廊坊和衡水下降 20%；石家庄、唐山、廊坊、衡水电价补贴下降 40%，开封和晋中下降 50%。此外，河北省已经明确在补贴政策到期后将逐步退坡。河北省财政厅在《对河北省第十三届人民代表大会第三次会议第 1578 号建议的答复》中明确，2019 年，报经省政府同意，明确现行运行补贴三年到期后，由市县结合实际制定具体运行补贴办法，省级采取退坡方式（逐步减少，最终退出）再给予两年补贴。河北省唐山发布了《关于农村地区清洁取暖财政补助政策有关事项的通知》（唐发改办发〔2019〕36 号），提出参照河北省做法，对运行补贴三年政策期满后冉安排适当资金予以支持，即采取逐年退坡方式给予补助，第一年退坡 50%，第二年退坡至 25%，第三年市级不再补助。

在中央财政退出，地方财政快速退坡的情况下，农户自行承担运行成本的能力直接决定了清洁取暖的可持续性。清洁取暖的运行成本普遍高于过去传统煤炉取暖的成本，其中空气源热泵运行成本是散煤取暖的 2 倍左右；燃气壁挂炉运行成本是散煤取暖的 2-3 倍左右；直/蓄式电暖器运行成本是散煤取暖的 3-5 倍左右。根据中国农村能源行业协会此前的一份调研结果显示，86% 的农村居民期望的取暖成本在 2500 元以下，超 70% 的农村居民期望的取暖成本在 2000 元以下。加之当前的疫情影响，运行成本与居民承受能力之间的差距是我们当前的现实挑战。

运营成本也对热力企业提出了挑战。当前，供暖行业处于向市场化运作的转换过程中，随着供暖面积增加，不少企业反映，热价与成本的倒挂日趋严重。在天津的调研显示，该市 25 元/平方米的供热价格已执行近 10 年，但随着燃气供热比例增大，2015 年

燃气供热成本已达 29.44 元 / m²，最近几个供暖季，天津市供热燃气价格实施阶段上浮，更进一步加剧供热价格成本倒挂，企业营业压力加大。

2.6 运维时代：服务体系建设滞后

清洁取暖试点陆续进入后改造时代，运维、管护需求集中释放，而智能服务体系建设相对滞后。大量终端用户设备的售后维护和监管成为难题，坏了不会修、没人修、维修不及时的问题也造成部分老百姓复烧燃煤。清洁能源高效利用，需要高效的输配系统和可靠的终端设备。相比终端用户和终端设备，燃气管网、电网等输配系统管理难度相对较小。而农村地区范围大、居民较为分散、距离城市较远、交通相对不便，即使在招标阶段签署了后续运维服务协议，部分设备终端企业售后服务在农村覆盖力度不足，难以满足农村居民的需求。加之终端清洁取暖设备质量参差不齐，甚至鱼珠混杂，不少地区采用低价中标的购买方式，导致厂家降低配置或降低服务规格，存在较大的质量隐患。由于缺乏有效管控手段，农村地区约 1000 万农户清洁取暖设备面临售后维护维修的问题。“一年看成本、三年看质量、五年看维保”，“售后维护”已经成为未来清洁热源高效利用的最大难题之一。此外，在新设备使用和维护方面，居家老年人对智能化操作仍面临接受度低的现实挑战。

第三章“十四五”突围：环保和碳中和双轮驱动辟新局

“十四五”作为我国第二个百年目标后的首个五年，是开启全面建设社会主义现代化国家新征程的第一个五年。在美丽中国和“双碳”目标背景下，“十四五”时期也是我国实现环境与气候协同治理的关键时期，有力推动中国的能源转型和绿色发展。清洁、低碳且同时满足经济性的现实要求，将为“十四五”时期的散煤治理工作提供新的指引和动力，建立散煤治理的长效机制。

3.1 多维目标待统筹

2035 美丽健康中国建设目标的基本实现是“十四五”散煤综合治理发展的客观需求。根据《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》，到 2035 年，生态环境根本好转，美丽中国建设目标基本实现。虽然《打赢蓝天保卫战三年行动计划》已圆满收官，2020 年，全国空气质量总体改善，全国 PM2.5 平均浓度为 33 微克/立方米，PM2.5 未达标城市平均浓度比 2015 年下降 28.8%（目标 18%）。然而，2020 年大气 PM2.5 浓度仍是世界卫生组织基于健康影响的准则值的 3.3 倍。在北方地区冬季清洁取暖试点政策贡献之下，“十三五”期间重点区域空气质量改善幅度较为显著，不过空气质量现状距离 2035 年远景目标的需求仍有较大差距。2020 年，“2+26”城市和汾渭平原 11 个城市 PM2.5 平均浓度尚未达到国家二级标准，分别是世界卫生组织基于健康影响的准则值的 5.1 和 4.8 倍。

“双碳”目标为“十四五”散煤综合治理提供良好的发展机遇。在 2020 年的 9 月和 12 月，习近平主席在联合国大会上和气候雄心峰会上向世界承诺中国将提高应对气候变化的国家自主贡献度，力争在 2030 年实现碳达峰，2060 年实现碳中和。“十四五”规划也将“碳达峰”列入重要内容。碳达峰、碳中和将是当前和今后一个时期中央和有关部门、各级政府持续倡导与积极推动的重要工作。“十三五”时期，我国散煤治理和北方地区冬季取暖按照清洁发展的思路稳步推进。然而，近年来，城镇集中供热面积年均增长 3-5 亿 m²，其中一半以上新增热源与煤相关，工业领域中“上大压小”、提升改造等措施实现了燃煤的清洁高效利用，但并未解决碳排放问题。同时，南方供热趋势已渐形成，有研究显示，到 2030 年，我国南方地区分户、区域供暖用户数量分别有望达

到 6500 万户、3200 万户左右，碳排放潜力分别在 2500 万吨、4500 万吨以上。此外，农村供热碳排放更是不容忽视。在农村用能结构中，采暖能耗占据农村居民能耗的 47%，由于农村采暖造成的碳排放占农村碳排放总量的 45%，无论在能耗占比还是碳排放占比上，农村采暖都是占比最大的一项。因此，在双碳目标的指引下，散煤治理和北方清洁取暖的发展面临向低碳化转变的新机遇。

乡村振兴战略规划的实施将为“十四五”为清洁取暖发展提供政策协同。《乡村振兴战略规划（2018 - 2022 年）》提出，继续把基础设施建设重点放在农村，持续加大投入力度，加快补齐农村基础设施短板，构建农村现代能源体系，完善农村能源基础设施网络，加快新一轮农村电网升级改造，推动供气设施向农村延伸，推进农村能源消费升级，大幅提高电能在农村能源消费中的比重，加快实施北方农村地区冬季清洁取暖，积极稳妥推进散煤替代。

综上所述，散煤治理的政策方向正在从清洁化向低碳化并轨，在顶层设计上需要环境与气候协同治理的制度设计，在具体政策措施上，需要在兼顾经济性的前提下，统筹环境和气候目标，并将其融入新农村建设和新能源系统的构建。

3.2 散煤治理目标：以民用散煤治理为主

“十四五”期间，散煤治理工作将从重点区域延伸至非重点区域，工业小锅炉散烧煤的工作重点转向非重点区域 35 蒸吨以下燃煤锅炉的整治，力争在 2020 年的基础上小锅炉散烧煤减少 30%。

其他工业散煤治理以淘汰落后、清洁能源替代为主，加快产业升级，力争在 2025 年基本解决建材行业小窑炉散烧煤问题。

民用散煤治理是“十四五”时期的重中之重，目标改造规模 2000 余万户，削减散煤约 5000 余万吨。京津冀及周边地区、汾渭平原各省市的农村平原地区实现散煤清零；东北平原地区农村清洁取暖率达到 50%-70%；西北平原地区农村清洁取暖率达到 70%-100%。

“十四五”时期中央财政继续支持试点清洁取暖改造，在 2021 年第四批 20 个城市的基础上，建议继续增加 40 个城市，即 7 个重点区域城市（分别为山东东营、青岛、日照、临沂、枣庄、威海，河南商丘）和 33 个非重点区域城市，实现重点区域城市全覆盖，并继续向非重点区域延伸。初步估算，上述 60 个城市改造规模约 1210 万户。

其中，第四批 20 个城市目标任务量约 350 万户，具体任务量详见表 3-1。根据 2021 年公布的第四批 20 个城市的清洁取暖试点实施方案，2021-2023 年，农村清

洁取暖改造面积共计 3.3 亿平方米，改造户数 348.6 万户，改造前平均清洁取暖率为 21.4%，改造后平均清洁取暖率为 84.1%，平均提升 67.5%。其中，重点区域 12 个城市的三年农村清洁取暖改造任务量为 2.64 亿平方米、263.5 万户，改造前平均清洁取暖率为 28%，三年改造后平均提升至 81.2%，提升了 53.2%。非重点区域 8 个城市的三年农村改造任务量为 6715 万平方米、85.1 万户，改造前平均清洁取暖率为 14.9%，三年改造后平均提升至 86.9%，提升了 81.7%。

在第四批试点基础上，继续支持 40 个试点城市，其中 7 个重点区域试点城市目标任务量约为 360 万户，如表 3-2 所示。33 个非重点城市改造规模约为 500 万户。

表 3-1：20 个城市农村清洁取暖改造量

区域	农村改造面积 (万 m ²)	农村改造户数 (万户)	当前清洁取暖 率 (%)	2023 年清洁取 暖率 (%)
重点区域	26380	263.5	28	81.2
非重点区域	6715	85.1	14.9	86.9
合计	33095	348.6	21.4	84.1

3.3 民用散煤治理路线：清洁化、低碳化、电气化

“十四五”期间，清洁取暖技术路线应坚持减污降碳，优先发展可再生能源供暖，促进取暖电气化发展。在碳达峰和碳中和目标背景下，终端用能电气化是能源转型的大方向，也是农村取暖用能的转型方向，有助于建筑领域有效减少化石能源消费和二氧化碳排放。未来，在农村清洁取暖技术改造时应兼顾短期和中长期发展，在可再生能源资源丰富地区应优先发展可再生能源供暖，对于短期内不具备发展可再生能源供暖条件的，可实施热泵式清洁取暖技术，随着未来我国可再生能源电力的高比例渗透，取暖也转变为了可再生能源取暖。

3.3.1 重新定位可再生能源供热

在美丽中国和双碳目标下，应确定可再生能源供热的战略地位，将可再生能源供热纳入双碳目标的“1+N”政策体系、“十四五”可再生能源发展规划以及环境保护和碳排放管理的相关规划中。“十四五”可再生能源供热的发展应以“因地制宜、多能互补、综合利用、讲求效益、市场运作、政府推动”为原则，以科技为支撑，形成完善的可再生能源供热产业链，出现一批骨干企业，技术明显进步，成本显著下降，在供热中占比大幅提高，到2025年，可再生能源供热面积达到40亿平方米，具体发展目标如下：

表 3-2：“十四五”期间可再生能源供热的发展目标

类别		供热目标 (亿 m ²)
生物质供热	农林生物质热电联产	10
	城镇生活垃圾热电联产	5
	生物质成型燃料供暖	4
	生物质天然气与生物质气化供暖	1
	生物质成型燃料供蒸汽	
地热供暖	中深层地热供暖	7
	浅层地热供暖（含电供暖中的地源，水源热泵）	11
太阳能供暖		1.5
风能供暖		0.5
合计		40

短期来看，在城镇集中供暖区优先选择工业余热、热电联产、地热等方式；农村地区要因地制宜，尽量采用分布式采暖，并探索洁净煤炉具，鼓励生物质供暖、分散式生物质成型燃料+专用环保炉具、“太阳能+”、水源热泵等多种方式。

长期来看，应将清洁的可再生能源电力供热作为主要的热源。2021年，光伏发电的上网电价再创新低，降至0.1476元/kWh，随着技术进步，未来将降至0.07元/kWh，甚至更低，为电采暖奠定基础。另外，我国要大力提高电能终端能源消费中的比例，从目前的占比约26%，提高到50%以上，采暖也是电气化的重要领域之一。应充分利用各地的屋顶资源建设分布式光伏，将可再生能源的分散特性与用户采暖的分散性相结合，降低供热管网等基础设施的投资。同时，可以利用智能电表，双向计量，高峰期向电网供电，低谷时期从电网购电，通过峰谷电价差，提升清洁电力采暖的经济性，实现清洁采暖的商业化。

3.3.2 大力推进电采暖

“十三五”时期，“煤改电”稳步推进，为“十四五”电能替代的进一步发展提供了基础。截止2020年采暖季，“煤改电”清洁取暖改造累计完成1063万户，取暖电量600亿千瓦时左右，相当于减少散烧煤约2604万吨，减排二氧化碳约4636万吨。

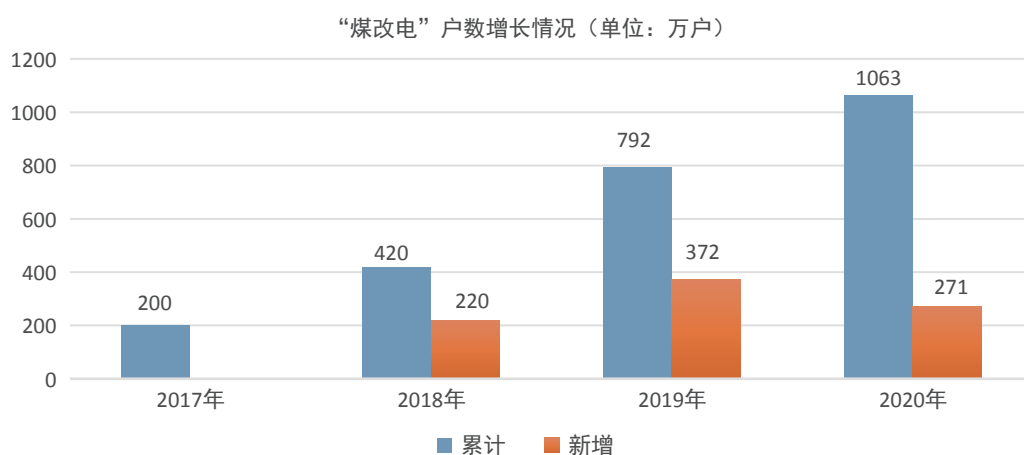


图 3-1：2017-2020 年“煤改电”规模的增长情况

资料来源：国家电网公司官方发布统计数据

“十四五”规划纲要提出要构建现代能源体系，推进以电代煤。习近平总书记在中央财经委员会第九次会议提出“要控制化石能源总量，实施可再生能源替代行动，构建以新能源为主体的新型电力系统”。清洁取暖的“煤改电”工作依然是“十四五”时期的重要内容。

电采暖相比其他采暖方式具有一定优势：一是电价比较稳定，电网覆盖广，方便就近接入，使用和供应有保障；二是技术类型丰富，可高效满足多类场景取暖需求；三是设备配备多重保护，使用的安全性较好，加上自动控制启停和温度，用户体验较好；四是风电、光伏等新能源发电装机容量增长快速，跨省跨区消纳规模扩大，绿色电力比重不断提高，度电成本在不断下降。

根据制热设备，电供暖主要可分为直热式、蓄热式和热泵式三大类。根据实施方式，电采暖技术可以划分为集中和分散采暖两种类型。不同电供暖技术及其特点和适用性详见下表。

表 3-3：电供暖典型技术及特点

技术		技术特点	适用场合
集中电供暖	普通电阻式锅炉	炉体与动力柜一体，体积小，安装方便。	适合家庭供暖、宾馆、办公楼等小范围供暖场合，大规模供暖需要多台串联运行。
	普通电极式锅炉	启动快，运行噪音小。	适用于城市集中供暖、风电消纳及工矿企业等需要供暖蓄热的企事业单位，尤其适合于 8 ~ 10 万平方米以上的集中供暖。
	固体蓄热式电锅炉	固体蓄热材料使用温度高达 750℃，储热密度高，设备体积小。设备可实现 380V 和 10kV 两种电压等级加热，使用范围广。输出温度连续可调，控制简单方便。	适用于场址面积受一定限制的项目。
	水蓄热电锅炉	水蓄热电锅炉以水为储热介质。谷电时段采用电加热元件将热量储存在储热介质内，平电时段或峰电时段将热量释放（亦可边加热边释放），实现供热需求。	峰谷电价差较大的场景，具有弃风优惠电价政策的地区。尤其适用有热水洗浴要求的项目。
	相变蓄热装置	材料一般分为低温相变材料（温度 45℃ -55℃）、中温相变材料（温度 90℃）和工业高温相变材料（大于 400℃），低温相变材料可用作居民空气源热泵或直热电锅炉水循环供暖蓄热，但应保证水温与相变温度匹配。相变储能供热技术，是利用熔盐固态变为液态相变时进行储热，当温度高于熔盐的相变温度时，吸收热量，物相由固态变为液态；当温度降低低于熔盐的相变温度时，物相由液态变成固态，放出热量。相变过程为可逆过程，熔盐材料可重复多次使用。	直热电锅炉+水/相变蓄热装置、相变蓄热及空气源热泵联合供暖系统等场景。
分散式电取暖	蓄热式电暖器	发热元件热转化率高，同时具备储存热量的特点。在发电机发电时将电能转化成热能，并储存在电暖器里的高密度介质中。使用不受当地环境温度限制，可广泛应用。	新建建筑和既有建筑取暖。
	碳晶取暖	碳晶电取暖产品是一种以远红外线低温辐射为主要能量传递方式的取暖产品，制热均匀，舒适，不干燥，安全性能优良。产品使用过程中控制灵活。	应用于公共建筑和新建住宅建筑，其中公共建筑主要包括宾馆、商厦、写字楼、医院、学校等；新建住宅建筑主要包括别墅、居民小区等。
	发热电缆取暖	热源在地下，人体感觉舒适。系统控制灵活，可以实现即用即开，不用即停	对安装质量要求较高，既有建筑改造工程量较大，可在新建建筑取暖中推广应用。
	“石墨烯”电采暖	主要由碳纳米管发热体、连接件、及温控器组成，具有柔韧性好、防水抗拉、寿命长的特点。	可以铺装在地面或水泥层内部，可应用于精装修公寓用户、新建小区用户、小区样板房、老小区改造用户、商业综合体内部的瑜伽房、健身房等用户。

技术		技术特点	适用场合
热泵（集中、分散均可）	污水源热泵	具有水温高、占地少、热源容易得到等优点。机组能效比可达到 4 ~ 5.5，系统能效比可达到 3 ~ 4。其使用电力作为动力，没有污染物排放。初投资较大，要求项目接近城市污水干管。	适用于接近城市污水管建筑物集中采暖。
	水源热泵	能效较高，供热时，机组能效比能够达到 4 ~ 5.5，系统能效比能够达到 3 ~ 4.5。但对地下水资源要求较高，部分地区回灌困难。	适用于地质条件较好、地下水比较丰富的建筑物采暖。
	土壤源热泵	能效较高，供热时，机组能效比能够达到 4 ~ 5，系统能效比能够达到 3 ~ 4.2。但打井投资较高。	适用于具有较大空地的新建建筑采暖。
	空气源热泵	能效较高，供热时机组能效比能够达到 2.5 ~ 4，系统能效比能够达到 2 ~ 3.5。空气源热泵在环境温度低于 -5℃ 时，制热效率大幅度下降，一般不能在严寒地区使用。空气源热泵可以冷热两用，设备使用率更高。	在低温环境（-10℃ 或者 -15℃ 以下）供热效率较低（一般情况下能效比由 3.0 降低到 1.8），极端气温下存在结霜和供热难的问题，因此适用于我国偏南地区采暖。

从经济性来看，热泵经济性普遍较好。居民取暖运行成本因热源燃料、供热技术不同，价格差异较大。蓄热式设备利用夜间低谷电价进行蓄热，在白天高峰电价时进行热量的释放；直热式电供暖运行方式无法充分利用峰谷价差，其运行成本较高；热泵 COP（能源转换效率之比）值较高，能够达到 3-5，其运行成本较低。一般热泵可以“一机两用”，即冬季供暖，夏季制冷。随着北方地区清洁取暖推进实施以及南方电采暖的探索推进，热泵冷热双用的优势不断凸显，其低温适应性不断提升（空气源热泵一般在 -5℃ 以上使用，经过不断发展，目前已经达到 -15℃ 以上稳定运行），热泵将逐步成为建筑领域最重要的供暖供冷技术。

从实际应用上看，分散式电供暖规模远大于集中式电供暖。分散式电供暖灵活控制、按需取暖，主要分为分散蓄热式电供暖和分散热泵式电供暖。其中，分散热泵技术主要分布于北京、河南，其次是分散蓄热技术供暖，主要分布于北京、河北、冀北。集中式电供暖主要为集中蓄热式电供暖，主要分布于山东、天津。

从电网运行角度看，直热方式进一步拉大了电网峰谷差，对电网运行特性影响大。蓄热设备在停电后可延续放热，具有一定的抗停电能力。如在现有热源设备基础上，加装蓄热（含辅热）和循环水泵 UPS 等装置，可在一定程度上保障电网停电抢修期间“停电不停暖”。蓄热方式主要在电网低谷时段运行，削峰填谷作用明显。蓄热方式有利于改善电网运行特性，有效提升现有电力设施利用率以及风电等新能源消纳能力。部分空气源热泵技术用电相对不稳定，冲击负荷出现的频率较高，如冲击负荷值较高，对电网安全运行有一定影响。

根据应用场景，综合性采暖技术应用进一步丰富。如“电 + 太阳能”等联合互补的取暖方式在部分省份得到应用。如 2021 年宁夏等地区开展了“光伏 + 储热 + 电采暖”试点项目，实现了光伏、相变储能、电采暖智能柔性融合、梯次利用。目前正在探索应

用一种市政供暖电补热技术。该技术也是利用电锅炉或热泵等电热转换设备产热，即在连接市政一次管网和二次管网的换热站内增加电供暖设备，将电能转化为热能。作为分散热源直接向二次管网中补充热量的技术，该技术主要适用于市政供暖范围内，且配套电网峰谷差较大的北方地区城市。电补热设备可利用变压器低谷时段电力容量，有效减少供暖项目电网配套增容的压力，实现电网的合理增容，同时换热站电补热装置还可作为可控负荷，参与电力现货及辅助服务市场交易。

3.3.3 稳步推进“煤改气”

“十三五”期间，“煤改气”项目的发展经历了一个大起大落的历程，但也为我们积累了宝贵的经验。“煤改气”项目的优点是干净、使用方便，同时解决炊事和取暖问题。从目前的实际运行来看，运行成本高，补贴依赖度较高。此外，“煤改气”项目需要稳定的气源保障，以及安全的基础设施建设。在广大且分散的农村地区，天然气管网建设难度较大、成本较高，加之农户安全意识薄弱，“煤改气”建设需稳步推进。

“十四五”期间，在巩固原有“煤改气”项目的可持续性的基础上，在燃气管网可覆盖、气源有保障、经济可承受、安全可控的前提下，稳步推进“煤改气”项目。

3.3.4 强化清洁炉具兜底保障作用

部分农村地区，尤其是偏远山区，由于经济发展水平和农村居民生活习惯约束，在分散用户炊事取暖方面，清洁炉具在较长时间内仍将发挥重要的兜底保障作用。

“十四五”期间，应明确将“好煤配好炉”纳入农村清洁取暖技术路径，强化其兜底保障作用，减少“过渡性”定义给市场造成的不稳定、不安全感。同时，遵循多能互补的思路，保障经济可承受，因地制宜开展模式创新和试点示范。

为满足农村分散取暖用户的现实需求，建议在适宜区域开展“清洁炉具+”的多能互补技术方案应用实践，通过提高炉具使用效率，减少散煤污染和碳排放。

一是“采暖炉+太阳能+储热水箱”水暖系统。当太阳能资源充足时，以太阳能采暖为主，太阳能不足时切换生物质采暖炉或洁净煤采暖炉，通过保温水箱进行热交换，实现多能互补、智能控制，在节约能源和降低运行成本的同时，最大程度减少污染物排放。该技术路径具有采暖舒适度高、操作方便、运行稳定，运行成本适中等特点，同时可满足用户热水、采暖需求，适用于家庭年收入5万元以上、取暖面积100m²以上、常住人口3-5人、持续采暖时间较长、对取暖温度要求高、经济条件较好的乡镇及农村家庭。

二是“采暖炉+储热水箱”水暖系统。炉具适配生物质成型燃料或洁净煤，采用正烧、反烧、旋转燃烧等相结合技术，燃烧更充分，污染物排放更低，而且烟气余热利用、往复炉排、自动控制燃烧、物联网等技术应用越来越多。该技术路径具有初投资及运行成本相对较低，系统运行稳定、取暖效果好、舒适度高等特点，适用于家庭年收入在3-5万元、取暖面积60m²以上，持续采暖时间较长、对取暖温度要求较高、经济条件一般的乡镇及农村家庭。

三是暖炕 + 大灶 + 空气源热泵热风机（或电采暖）。该系统由暖炕、大灶、空气源热泵热风机（或电采暖）组成。空气源热泵能效比高，一份电产生三份热，运行费用远低于燃气壁挂炉，智能化程度高、舒适性好；电暖器设备成本低，可作为补充热源；节能大灶燃烧烧树枝、木柴、玉米芯等容易获取的生物质燃料用于做饭和烧炕取暖。该技术路径具有采暖时间灵活、操作简单、使用方便、安全卫生等特点，适用于取暖面积 60m² 以下，有使用暖炕习惯、有间歇性取暖需求（经常外出，即开即热，无需担心管道冻裂等问题，剩余房间节假日取暖）的农村家庭。

上述三中技术方案的成本和适用性详见表 3-4。

表 3-4：农村分散取暖三种技术方案

技术方案	经济成本		适宜区域
	设备投资成本 (元)	年运行成本 (元)	
“采暖炉 + 太阳能 + 储热水箱”水暖系统 *	17000	1800~2300	“双替代”覆盖不到、散煤管控严格、生物质成型燃料或洁净煤市场体系比较成熟的华北、东北、西北的城郊、乡镇和农村地区。
“采暖炉 + 储热水箱”水暖系统 *	8000	2500~3600	气温较低、取暖时间长、“双替代”覆盖不到、生物质成型燃料或洁净煤市场体系比较成熟的西北、东北的乡镇及农村地区。
暖炕 + 大灶 + 空气源热泵热风机（或电采暖）	5500~15000	1500~2500	气温不太严寒，生物质资源比较丰富的华北（河北、山东、陕西、山西）、西北、东北部分区域的城乡、乡镇和农村。

* 水暖系统包括暖气片及安装费

3.3.5 新增南方供暖需求：鼓励发展热泵等冷热联供技术

有研究显示，到 2030 年，我国南方地区分户、区域供暖用户数量分别有望达到 6500 万户、3200 万户左右，碳排放潜力分别在 2500 万吨、4500 万吨以上。南方清洁取暖发展可期，电采暖有一定潜力空间。采暖线逐步南移，夏热冬冷地区采暖需求持续上升。未来清洁取暖的范畴不限于北方地区，南方清洁供暖也有需求空间。南方百城（指淮河以南到长江沿线的“夏热冬冷”地区，包括上海、重庆、武汉等 101 个城市）供暖需求呼声越来越强烈。据调研，南方地区可实施冬季供暖的省份共涉及 14 个省（直辖市），面积 180 万平方公里，居住建筑面积约 34 亿平方米。由于南北方空气湿度、

气候条件、建筑结构差异较大，南方地区无法沿用北方供暖标准。目前政府层面尚未明确南方地区统一供暖要求，也没有出台相应的地区供暖设计、建设、运营标准。鉴于南方供暖周期短、供暖热负荷不大且波动性大、部分地区建筑保温效果不佳、基础设施未配套等特点，南方供暖方式的选择应根据当地气象条件、能源状况、节能环保改造、居民生活习惯及承担能力等因素，因地制宜开展供暖。目前电供暖对政策的依赖程度较大，在没有政策扶持的情况下，电供暖在经济性上仍显不足，尤其是集中式电供暖，需要政府出台长期的电价补贴等政策，否则推广将受到一定的限制。尽管南方地区清洁供暖市场有潜力空间，但是在南方推行电供暖需要进一步提高电供暖的经济性和适用性。统筹考虑取暖供冷用能需求的基础上，可鼓励推广热泵等冷热联供技术。

3.4 北方地区清洁取暖四年规划(2022-2025年): 重在建立长效机制

根据“十三五”清洁取暖实施经验，规划约束性目标是推动散煤替代目标实现的重要政策工具，为承接《北方地区清洁取暖规划（2017-2021年）》，并将清洁取暖工作融入“十四五”发展规划的管理制度中，建议编制《北方地区清洁取暖规划（2022-2025年）》，重点建立长效机制。

3.4.1 分区域提出清洁取暖率目标

继续将清洁取暖率作为约束性指标，分解落实到各地方，并建立科学合理的绩效评价体系推动农村地区清洁取暖目标的实现。北方地区冬季取暖的15省市分布于我国东北、西北和华北地区，由于各地资源禀赋、环境气候条件、经济发展水平、基础设施等方面的差异，清洁取暖的发展应分区域提出规划目标。

京津冀及周边地区、汾渭平原等重点区域的平原地区已基本完成生活和冬季取暖散煤替代，发展基础相对较好，在“十四五”期间应积极推广试点经验，陕西、山西、河南、山东、河北省试点外城市农村平原地区要实现散煤清零。

东北地区气候严寒，供暖周期长，供热量占全国需求总量的三分之一，清洁取暖发展基础薄弱，且经济发展相对滞后，农村居民收入相比重点区域较低，应在经济可承受的前提下适度推进散煤替代工作，农村清洁取暖率可在《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021）》其他地区2021年40%的目标基础上适度提高，平原地区农村清洁取暖率设置为50%~70%较为合适。

西北地区的内蒙古、新疆、甘肃、青海等地区光伏资源、风能资源较为丰富，农村清洁取暖率现状为 10%-40%，相对东北地区较高。在国家大力发展分布式可再生能源的同时，应推动农村电气化发展，农村清洁取暖率可适当提高至 70%-100%。

3.4.2 因地制宜，科学选定技术路线

“十四五”期间重点处理好“经济性”、“清洁度”、“低碳化”之间的平衡，“减污降碳”和“保民生”的统筹兼顾。地方政府在选择技术路径时，应充分借鉴“十三五”试点城市的经验和教训，从农村的建筑密度、经济水平、气候条件、资源条件、居民习惯等实际情况出发，坚持因时制宜、因地制宜、因户制宜的原则，选择简单实用、技术成熟、成本可负担、群众乐于接受的清洁取暖技术模式，在经过试点示范、科学论证之后再全面推广。

对于农村分散采暖用户，建议在有基础、有条件的城中村（城郊村），优先推广空气源热泵，慎重推广直热式电暖器和蓄热式电暖器，巩固和稳步推进煤改气；在生物质、太阳能资源丰富，地热资源丰富、有较好基础、基本具备条件的一般农村，可按照就地取材、多能互补的原则，积极推进“太阳能+热泵”、“太阳能+生物质炉具”、地热取暖等清洁取暖方式，在可再生能源资源匮乏的地区积极推广清洁煤配套炉具取暖；在地处偏远、经济欠发达的偏远农村，应优先发展洁净煤或生物质配套清洁炉具取暖。

3.4.3 出台农房建设管理办法，加快农村地区建筑能效提升

“十四五”期间可借力乡村振兴战略，协同多项农村建设工作，将建筑能效提升作为节能减排工作的重点任务之一，尤其对集中建设、统一施工的新农村建设、合村并居等项目，加快建筑能效提升推进步伐。将新建、改扩建农房纳入监管范围，出台农房建设管理办法，逐步把农村建筑建设标准“用起来”，把美丽乡村建设“管起来”，采取“事前规划、事中控制、事后分析”的工作思路，在坚持试点先行的条件下，做好顶层设计，完善农村住宅建设管理体系，由点到面，在美丽乡村建设项目中强制执行相关规范的基础上，逐步稳妥推进，最终全面覆盖到所有农村住房建设当中。

同时，因地制宜分层次推进建筑能效提升工作，对于经济基础条件差的村庄，推荐采取关键部位改造的局部改造方式，对于经济基础条件好的村庄，推荐全面改造一步到位，对于空心村、有搬迁计划的村庄，推荐实用为主的简易改造方式。

3.4.4 出台相关价格与补贴政策指导意见

“十三五”期间，《关于北方地区清洁供暖价格政策的意见》（发改价格〔2017〕1684号），在指导地方出台煤改气、煤改电价格政策方面、促进清洁取暖成本的降低发挥了重要作用，建议“十四五”期间仍从国家层面出台农村清洁取暖价格与补贴政策方面的指导意见。

基于技术路线出台有针对性的补贴政策，促进技术的转型发展，如在太阳能或风能

资源丰富地区，政府应重点支持太阳能供暖和热泵供暖技术。加大对可再生能源供暖的补贴力度。为鼓励农村可再生能源供暖发展，立足于国家碳达峰碳中和背景，基于技术经济性和政策导向性原则建立促进太阳能+、可再生能源电力、生物质取暖的建设补贴和运行补贴，通过政府补贴，带动居民资金投入，完成技术转型改造。

制定可再生能源供暖指导电价政策。在国家层面统筹制定利于风电、光伏电力供暖的电力价格政策，将超出现行风电、光伏电力指导价或市场价的部分纳入可再生能源发展基金的支持范畴。

3.4.5 调整中央财政支持政策

“十三五”期间促进清洁取暖发展方面发挥了关键作用，带动了地方和社会资本投入，促进了清洁取暖发展目标的顺利实现，“十四五”期间，中央财政仍将处于不可或缺的地位。

按照“十四五”目标改造任务估算，预计全社会投入需求约 6800 亿元，而清洁取暖试点城市的中央投入资金预计约 600 亿元，占“十四五”大气污染防治资金比例的 40% 左右。由此可见，“十四五”期间，财政资金仍需以农村清洁取暖作为重点投入方向，并积极带动社会资本投入。为此，建议“十四五”时期中央财政补贴政策做出如下调整：1) 促进中央财政更多地带动地方和社会资本投入。一方面，地方政府加大投入比例，确保中央、地方政府投入占比为 40% 左右。另一方面，在后续清洁取暖项目城市竞争性评审和清洁取暖项目城市绩效评价中，将中央资金带动地方投入作为一项评价指标，带动越多，评分越高。2) 建议将中央财政聚焦于支持农村清洁取暖改造，按照各地农村清洁取暖任务量给予补贴，加大对技术创新和模式创新等具有示范意义工程的支持力度，不再按照行政级别给予补贴，从而更大程度地促进农村清洁取暖改造任务量的实现。城区和县城清洁取暖改造相对经济性较好，应主要依靠地方和社会资本投入。

此外，在继续推进清洁取暖建设补贴的同时，应进一步明确运行补贴政策要求。为了降低地方运行补贴支出压力，从 2020 年开始，中央财政在大气污染防治资金中安排资金用于农村清洁取暖运行补贴。如在 2021 年第一批预算下达文件中明确提出，“为确保农村地区清洁取暖改造后长效运营，有关省（自治区、直辖市）应综合考虑本地区清洁取暖实际运行、农村居民实际收入水平、财政承受能力和可持续发展等情况，统筹安排中央和地方大气污染防治资金用于农村清洁取暖运行补贴，精准施策，重点向农村特困人群倾斜，确保农村居民用得起、用得好”。但是，预算文件中并未明确具体补贴资金总量和补贴标准。据调研，额外多获得清洁取暖运行补贴资金的省份并未因此增加对地市的运行补贴承担份额，中央给予的运行补贴只是减少了省级财政支出压力，对于地市、区政府来说没有任何影响。建议后续在中央大气污染防治资金预算下达时，明确各省运行补贴金额、补贴标准等政策，确保中央对农户清洁取暖补贴的分担份额真正发到农户手中，减轻地市、区县财政支出。同时，建议未建立运行补贴政策的地市尽快完成农户取暖效果评估，根据评估结果建立完善运行补贴政策。对于已有明确运行补贴政策的地市建议定期实施补贴效果监测与评估，根据补贴结果调整补贴政策，随着农村居民收入的提高，采取合理的速度逐步退坡。

3.4.6 实施技术和模式创新提效降本

在新技术创新方面，通过国家科技项目开展农村清洁取暖技术和设备研发，主要包括热泵式高能效取暖设备、太阳能+、太阳能热电联供技术、高效低排放生物质专用取暖炉具、供热智能化技术、储热等技术或设备。同时，在“十四五”清洁取暖项目实施过程中鼓励、激励地方开展新技术、新产品试点示范，提升技术的成熟度和产品的系列性，促进技术的规模化发展。

在模式创新方面，可以参考“肥瘦搭配”的思路，通过特许经营、城乡一体化模式等实施农村供暖项目，解决单独实施农村项目投资大、运行费高的问题。

1) BOT 模式实施农村集中供热项目

山西忻州市定襄县华电广宇电厂移动供热项目基于华电忻州广宇煤电有限公司电厂余热回收+相变蓄热+移动供热项目，项目具备150万 m^2 系统供热条件，通过BOT模式，同步为定襄四个村30万 m^2 居民供热。居民缴纳的采暖费用按照当地的居民采暖取费，即居民每个采暖季每 m^2 交纳18元采暖费，与定襄县集中供热费用相等，剩余按照补贴政策，由地方财政进行采暖费补贴。

2) 城乡一体化模式实施农村集中供热

通过规划引领，对周边农村地区进行城市热源辐射。如吴忠市依托华能宁夏大坝热电厂，计划新建供热管网23公里，将热电厂的富余热能引入吴忠市作为第二热源，在第二热源至城区的供热主管道建设中，沿途增设热力站及二级管网，为沿途地区集中分布的7个村镇、7万居民村镇建筑供暖，为城郊沿线农民用户与城里人一样过暖冬创造条件。在供暖系统设计方面，尊重农户原有的局部供暖和间歇供暖习惯，采用相应灵活可调节的供暖方式，在收费方面，按照实际供暖面积收费，降低农村清洁取暖项目成本支出。

3.4.7 创新多元化绿色金融产品

“十四五”期间，在各级财政投入、技术创新和模式创新发展、取暖价格和补贴政策之下，农村清洁取暖项目的技术经济性会得到较大的改善，但是仍需要更多的社会投入才能实现其发展目标。建议通过绿色资产证券化、融资租赁、专业化担保、政策性贷款等措施加大对农村清洁供暖项目的支持力度，降低清洁供暖项目融资成本和投资。发展清洁能源产业投资基金，用于清洁取暖项目的低息贷款、融资担保等。大力支持清洁供暖企业发行绿色债券，创新抵押融资模式，丰富抵押品种类和范围。

借助于碳交易市场机会，开发建立农村清洁取暖改造项目CCER方法学，推动农村清洁取暖项目开展碳减排认证，促进农村清洁取暖改造项目参与碳交易，以碳交易收益弥补部分清洁取暖支出的增长。

3.4.8 利用智慧监管平台提早布局售后运维体系

“十四五”期间，建立“互联网+清洁取暖”的工作管理模式，融合空气质量、能源消费、碳排放管理、工程改造数据，运用科技手段破解清洁取暖设备点多面散、无监管的难题，打通清洁取暖长效可持续发展的最后“一公里”，提高服务覆盖范围、服务响应效率和故障处理能力，促使用户报修有选择、师傅维修有记录、工单回访可跟踪，有效满足用户、企业、政府三类角色，高效实现使用、服务、监管三类功能。根据农村用户数量配备一定比例的专业运维人员，确保及时响应用户服务需求和报修需求，保障农村清洁取暖设备正常可持续运行。

3.5 五省市健康效益超预期

通过 IMED | TEC 能源系统技术优化分析模型和 IMED | HEL 室内空气污染健康风险模型，对“十三五情景”（FYP13）和“十四五情景”（FYP14）进行对比分析，分析结果显示，“十四五”期间，中国北京、天津、河北、山东和山西等北方五省市农村地区预期可避免约 **3.8** 万人致病，并获得 **0.63** 亿元的货币化致病效益。图 3-2 展示了 FYP13 和 FYP14 情景下，北京、河北、山东、天津和山西五个省市的室内空气污染所引起的肺癌、急性下呼吸道感染、慢性肺阻碍性肺炎等几类疾病货币化的疾病总成本。由图可知，相比于“十三五”期间即 FYP13 情景，在“十四五”期间即 FYP14 情景下，2025 年河北、山东和山西避免的致病人数分别为 13818 人、17025 人、5556 人，远高于 FYP13 情景避免的致病人数。而对于各项疾病中，避免的肺癌疾病效益最高，2025 年五省共减少了 0.22 亿元的肺癌疾病支出成本。2025 年，北京、河北、山东、天津和山西由于散煤治理政策而避免的疾病总支出成本减少分别为 0.02 亿元、0.22 亿元、0.21 亿元、0.01 亿元、0.16 亿元。

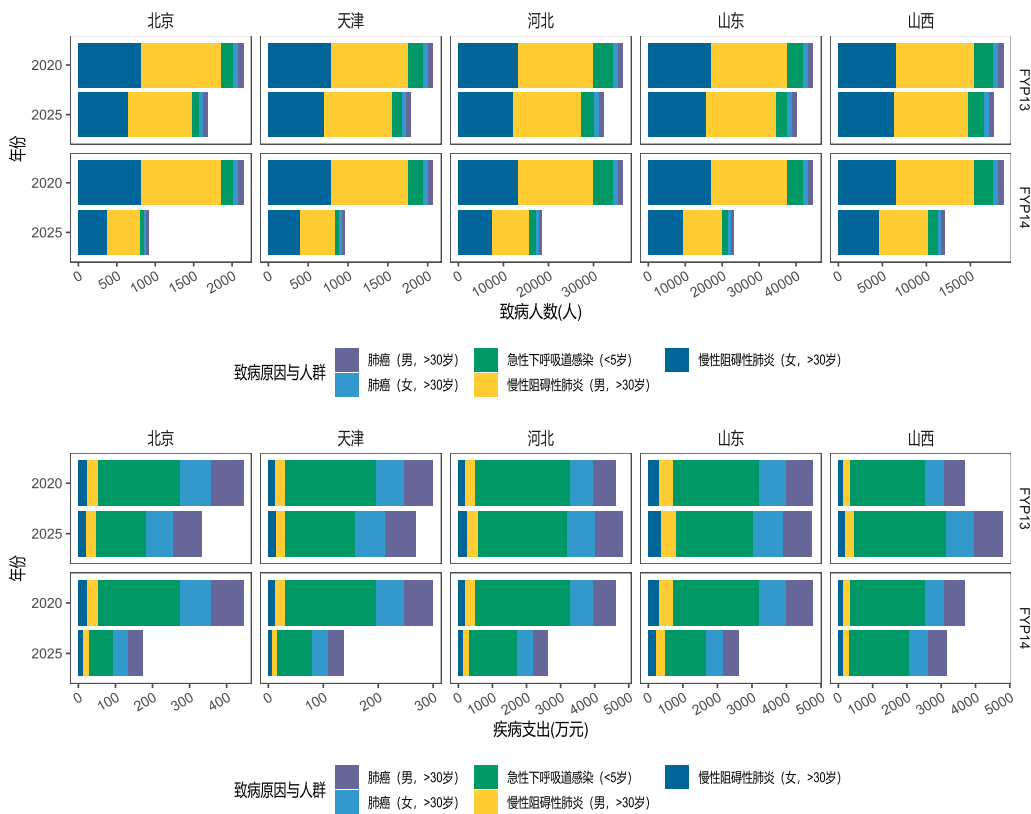


图 3-2：“十四五”期间避免的致病人数和疾病支出

“十四五”期间，上述五省市将避免过早死亡人数高达 9741 人，减少的统计生命价值损失效益高达 622.30 亿元，带来较大的健康效益。如图 3-3 所示，情景分析结果表明，到 2025 年，北京、河北、山东、天津和山西五省市的暴露人口比例和相对风险均呈现下降的趋势，其中河北下降幅度相对较高。2025 年北京、河北、山东、天津和山西五省市由于政策实施而避免的过早死亡人数分别为 202 人、3511 人、4413 人、219 人、1395 人，而对应避免的统计生命价值损失分别达到 16.57 亿元、176.88 亿元、357.25 亿元、23.55 亿元、48.06 亿元。北方五省在 2025 年共计避免妇女死亡达 5320 例，避免统计生命价值损失高达 342 亿元。相比而言，避免成年男性死亡达 4310 例，避免统计生命价值损失达 274 亿元。

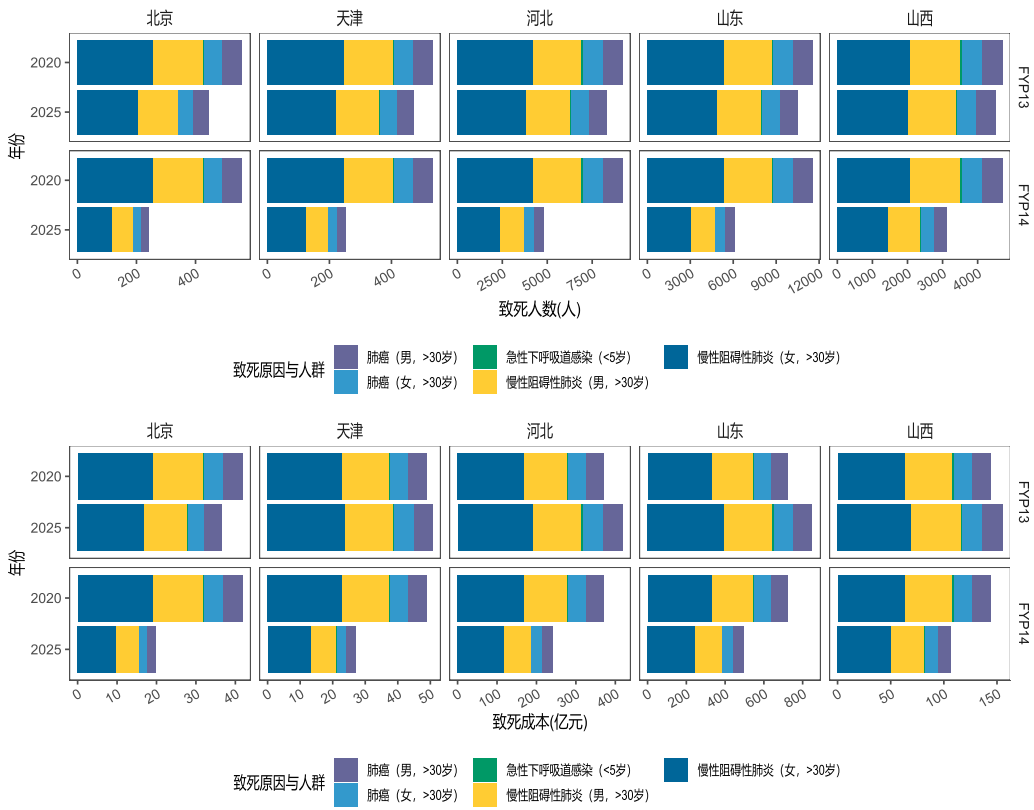


图 3-3：“十四五”期间避免的致死人数和致死成本

第四章 可持续发展建议

“十三五”期间，散煤综合治理破题，并取得突破性进展。重点区域工业散煤基本解决，北方清洁取暖改造规模达到 3500 余万户，试点城市清洁取暖率大幅提升，空气质量明显改善，健康效益可观。当下，散煤治理正在由环保驱动、目标管理、大干快上的阶段，转向环保和气候协同治理、提效降本、致力长效的新时期。“十四五”散煤综合治理将由重点区域延伸至非重点区域，以民用散煤治理为主，遵循清洁、低碳、电气化的方向，致力于可持续发展。在可持续发展方面，本报告提出如下建议：

统筹环境、气候和经济等多维目标，处理好长期和短期的关系、整体与局部的关系、发展与保护的关系，加强顶层设计。建议编制《北方地区冬季清洁取暖规划（2022-2025）》，分区域提出清洁取暖率目标，出台农房建设管理办法，加快推进农村建筑节能的提升，科学选定清洁取暖技术路线。

民用散煤治理技术的选择应兼顾“减污降碳”效果和经济效益，长期来看，将清洁的可再生能源电力供热作为主要的热源。短期来看，在城镇集中供暖区优先选择工业余热、热电联产、地热等方式；在有基础、有条件的城中村（城郊村），优先推广空气源热泵，慎重推广直热式电暖器和蓄热式电暖器，巩固和稳步推进煤改气，鼓励生物质供暖；在生物质、太阳能资源丰富、地热资源丰富、有较好基础、基本具备条件的一般农村，可按照就地取材、多能互补的原则，积极推进“太阳能+热泵”、“太阳能+生物质炉具”、地热取暖等清洁取暖方式；在可再生能源资源匮乏的地区积极推广清洁煤配套炉具取暖；在地处偏远、经济欠发达的偏远农村，应优先发展洁净煤或生物质配套清洁炉具取暖。

进一步调整中央补贴政策，继续推进清洁取暖改造补贴，将以行政级别作为补贴标准，调整为以改造任务量作为补贴标准；在中央大气污染防治资金预算下达时，明确各省运行补贴金额、补贴标准等政策要求，在地方开展补贴效果评估，并据此完善地方运行补贴标准，以及退坡速度和退出时间。在促进中央财政更多地带动地方和社会资本投入方面，建议地方政府加大投入比例，确保中央、地方政府投入占比为 40% 左右；在后续清洁取暖项目城市竞争性评审和清洁取暖项目城市绩效评价中，将中央资金带动地方投入作为一项评价指标。

通过创新提高清洁取暖效率，降低成本，实现清洁采暖成本的合理分摊，并最终走向市场化和商业化。鼓励清洁取暖技术创新，解决各种取暖技术存在的核心技术问题，以及各种技术之间的耦合问题，实现技术的稳定可靠和高效。进行金融创新，提供多元化绿色金融产品，拓宽融资渠道，降低融资成本，从而降低清取暖成本。鼓励商业模式创新，充分调动地方政府、企业和取暖用户的积极性，降低取暖成本，减轻中央和地方的财政压力，实现清洁取暖成本的合理分摊。

利用智慧监管平台提早布局售后运维体系，破解清洁取暖设备点多面散、无监管的难题，打通清洁取暖长效可持续发展的最后“一公里”，提高服务覆盖范围、服务响应效率和故障处理能力，促使用户报修有选择、师傅维修有记录、工单回访可跟踪，有效满足用户、企业、政府三类角色，高效实现使用、服务、监管三类功能。

附：农村清洁取暖典型案例

(一) 生物质清洁取暖山东“阳信模式”

山东省阳信县作为 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

山东省滨州市阳信县，地处京津冀“2+26”大气污染传输通道中心位置，县域总面积 793 平方公里，辖 2 个街道办事处、8 个乡镇、854 个行政村，农户达 11 多万户。

阳信县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。

近年来，中央全面打响“蓝天保卫战”，京津冀及周边地区大气污染防治工作不断加码，散煤治理工作压力陡增。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 年度、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，年生产能力5万吨的牛粪成型燃料资源循环利用项目1个，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8.1万余户，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等农作物秸秆为原料，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”生物质清洁取暖

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。

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 月开始动工建设，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 余摄氏度。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 生物质户专用炉具供暖

生物质户用炉具供暖涉及该县 9 个乡镇，其中河流镇沙窝高村现有户数 135 户，人口 367 人，耕地 482 亩。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和实践，该县积极推广水暖式采暖炉为主的分散式清洁取暖，共推广生物质炉具 21286 台，其中水暖炉具总占比为 75%，三个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取暖炉（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 具有巨大的生态效益

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，林格曼黑度小一级，SO₂ 检测不出。生态环境部门提供的数据显示，阳信县 2017-2020 年连续三年空气质量实现大幅改善。2021 年第一季度，PM2.5 浓度 61 μg/m³，同比改善 22.8%；空气质量综合指数 5.77，同比改善 7.5%，在全省 159 县区列 87 位，全市第 2 位。

6.2 具有可观的经济效益

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、牛粪、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 具有明显的社会效益

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 摄氏度左右，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。

7. 存在问题

一是炉具行业整体技术可提高空间大，产品外形、质量虽有大幅提高，但部分炉具产品质量良莠不齐；农户使用方法不当，使用效率大打折扣。

二是排放标准不规范。目前对于生物质燃料、炉具和锅炉，国家尚未制定统一规范的排放标准。建议加强对生物质能供暖排放的技术指导，尽快研究出台明确的排放标准，为生物质能取暖大范围推广提供依据。

三是政策支持不完善。生物质能开发利用涉及原料收集、加工转化、能源产品消费、伴生品处理等诸多环节，政策分散，难以形成合力。尚未建立生物质能产品优先利用机制，缺乏对生物质成型燃料的终端补贴政策支持。

四是农宅保温效果差。农村居民住宅墙体基本没有保温措施，且门窗密封性差，导致取暖过程中热量损耗较大，不利于节约能源和降低供暖成本。

五是生物质燃料方面。由于燃料的国标没有出台，一些不法厂家，为了谋取私利或短期利益，燃料市场出现了鱼目混杂、参差不齐的现象，因此，政府要加强整合规范监管力度，确保生物质燃料的质量。

8. 后期优化思路

下一步，阳信县将以增强生物质清洁取暖的长效性、可持续性为目标，重点围绕市场化运作、多方式利用、运行体系建设方面，继续深化探索，实现生物质清洁取暖健康可持续发展。

(二) “热源侧+用户侧”改造清洁取暖“鹤壁模式”

鹤壁市坚持试点先行，由点到面，有序推进，积极实施具备鹤壁特色的“企业为主、政府推动、技术创新、居民可承受、运营可持续”的工作思路，形成了“一个中心发力、两侧同步改造、三个基本原则、四条经验做法、五项保障机制”的清洁取暖“鹤壁模式”，清洁取暖试点城市建设取得了显著成效。

1. 坚持因地制宜，科学确定清洁取暖技术路线

一是夯实工作基础，充分开展调研。鹤壁市尊重群众意愿，积极开展全方位、广覆盖、多角度的调研活动，深入了解城乡既有建筑结构类型、保温性能和居民用热习惯、经济承受能力等关键信息，为试点城市科学有序推进提供决策依据。

二是坚持因地制宜，制定技术路线。鹤壁市统筹考虑本地气候条件、资源禀赋、取暖成本、居民承受能力、污染排放、推进难度等多个因素，科学确定清洁取暖技术路线，实现取暖清洁化和建筑能耗降低双保障。

三是试点示范在先，形成工作机制。为验证技术思路可行性，鹤壁市按照“试点示范、以点带面”的原则，探索完善建设思路和工作机制。率先在 18 个村庄开展清洁取暖试点建设，探索形成了“成立项目组、签订协议书、两委先示范、召开动员会、五方共验收”的标准化工作机制。

2. 强化政策引导，不断提升清洁取暖建设能力

一是建立健全政策体系，规范项目实施高效推进。印发《鹤壁市冬季清洁取暖试点

城市项目招投标工作指导意见（试行）》《鹤壁冬季清洁取暖专项资金管理暂行办法》等一系列配套政策文件，对工程验收、绩效考核、项目招标、项目监管等提出要求，初步建立了多层次的清洁取暖制度框架和政策体系。

二是强化提升技术体系，保障工程建设达质达标。“热源侧”方面，印发了《鹤壁市清洁取暖技术推广目录》《鹤壁市清洁能源替代散煤供暖技术导则》《鹤壁市清洁取暖系统工程标准》等技术文件，明确城乡主推技术路径，规范建设标准；“用户侧”方面，印发《鹤壁市既有农房能效提升整村推进技术方案》《鹤壁市既有建筑节能改造技术方案节能性及经济性指导手册》等系列指导文件，明确工作思路，规范建设流程。

三是完善资金筹措管理，积极引导社会资本投入。发挥政府引导和市场主导作用，加大政策扶持力度，通过招商引资、特许经营等模式引进浙江盾安等有资质、实力强、服务好的企业承担城区和县城集中供热项目建设运营。农村地区政府补贴为主、农民适当投入，拓宽了筹资途径，通过试点示范和公开招标，引进格力、美的、海尔等大品牌，不断提高产品和服务质量。

3. 注重多措并举，不断提升清洁取暖建设水平

一是加大宣传力度，全面深化公众参与。充分尊重农民意愿，以“农民可承受、使用更方便”为出发点，做到取暖方式“接地气”，补偿标准“暖人心”。不断加大宣传力度，积极借助广播、电视、互联网等多种途径，进行舆论宣传引导。提高农民协作程度，增强农民对清洁取暖改造的主动性。同时，农村地区村两委及党员带头示范，通过样板工程，提高农民的认知度和参与度。

二是示范引领带动，规范项目推广流程。按照“先典型试点，后规模推广”的思路，充分论证清洁取暖新技术、新思路、新材料的实际效果，尤其在农村既有建筑能效提升改造方面，对多种类型农房进行建模分析、改造测评，对保温窗帘、节能吊顶等新技术进行试装，充分验证各类农村清洁取暖改造技术的可行性和可推广性，梳理出标准化的农村清洁取暖工作流程。

三是完善评估机制，强化质量效果保障。加强对清洁取暖工程取暖指标的监测分析，及时分析评价设备运行效果，有效预警运行问题，提升设备运行水平。通过第三方评估，综合分析“热源侧”和“用户侧”同步改造实际成效，低温空气源热风机、生物质能取暖等设备运行效果、环境效果、采暖成本，查找问题，改进工作，保障项目建设质量。

四是注重统筹推进，促进幸福指数提升。将清洁取暖与“大气污染攻坚、百城建设提质、乡村振兴战略、脱贫攻坚”等全市重点工作结合起来统筹推进，逐渐改变农村取暖无规划、无管理、无支持的现状，营造良好村容村貌，促进农民生活方式的转变，提升农户生活幸福指数。

4. 完善长效机制，有力保障清洁取暖持续运营

一是优化长效工作机制，形成齐抓共管局面。建立健全农村清洁取暖长效工作机制，加强市、县、乡三级协同，强化城管、财政、发改、住建、环保工作配合，形成上下联

动工作格局，统筹协调能源供应、环保监测、项目用地、资金支持等各类问题；构建政府主导、社会参与、市场运作的模式，推动农村清洁取暖市场化、产业化运营。

二是建立成本可持续体系，保障设备运行效果。严控清洁取暖产品质量，有效降低用户使用成本、维修成本，空气源热风机、生物质炉均实现智能化控制、一键式操作，使用方便，故障率低。单台低温空气源热风机平均耗电 0.75 ~ 1℃ / 小时，冬季农民户均取暖成本 670 ~ 1120 元左右；数字智能化生物质炉户均取暖做饭成本 560 ~ 1150 元左右，成本较改造前使用散煤大幅度下降，确保农民用得起，运行可持续。

三是建设长效运维机制，提升服务管理水平。建成北方地区首个“清洁取暖智慧监管平台”，具备信息管理、建设监管、招标管理、效果评估、报修运维等 113 项实用性功能，配备专职人员，施行一站式服务，集报修微信小程序、维修师傅 APP、报修工单 9 监管平台三位一体，形成农村 13 万户群众报修电脑、电话、微信三端融合，实现报修可预约、工单可追踪、回访有记录、故障有统计的人性化服务；同时，做好设备故障分析、智慧监管运维工作，提升管理水平，实现取暖设备规模化监管，确保城乡清洁取暖项目健康持续发展。

5. 夯实建设成果，全面巩固清洁取暖试点成效

一是清洁取暖考核成绩全国领先。鹤壁市在 43 个清洁取暖试点城市中是全国唯一连续三年考核成绩优秀的试点城市，且始终名列首批试点城市第一名。2019 年清洁取暖规划中期评估优秀，作为典范试点城市，鹤壁模式和经验详细写入国家四部委呈送国务院的评估报告中。

二是清洁取暖模式受到广泛认可。2018 年全国“北方十五省（区、市）农村清洁取暖用户侧能效提升现场经验交流会”在鹤壁市成功召开。全国北方地区冬季清洁取暖试点工作推进会议，鹤壁市受邀做经验介绍发言。清洁取暖工作多次受到财政部、生态环境部、住房和城乡建设部、国家能源局等多个部委关心和支持；生态环境部赵英民副部长、住建部陈宜明总工等领导亲临现场指导。

三是清洁取暖建设硕果累累。2019 年被授予“北方农村清洁取暖典型模式示范基地”。参编《河南省农房建筑能效提升导则》，获批 2019 年河南省建设科技进步一等奖。《人民日报》《建筑科技》《中国建设报》《河南日报》等权威媒体先后推荐或报道“鹤壁模式”。

四是联合知名院校开展课题调研。住房和城乡建设部科技与产业发展中心、生态环境部环境规划院、中国建筑科学研究院、中国科学院、清华大学、武汉大学、浙江大学等多个单位和院校来鹤壁开展课题研究。鹤壁清洁取暖完成从“请进来”到“输出去”的角色转变。

五是多地赴鹤壁考察参观学习经验。2017 年以来，河北唐山、保定，陕西咸阳，山东济南，甘肃兰州等 30 多个地市、近 3000 余人（次）赴鹤壁考察学习清洁取暖建设经验，“鹤壁模式”已在北方多个地区复制推广。

附：清洁取暖“鹤壁模式”介绍

鹤壁市秉承“企业为主、政府推动、技术创新、居民可承受、运营可持续”的工作思路，形成了“一个中心发力、两侧同步改造、三个基本原则、四条经验做法、五项保障机制”的清洁取暖“鹤壁模式”。

1. 一个中心发力

紧紧围绕“三年清洁取暖率100%，散煤取暖全部清零”的工作中心，因地制宜，多措并举。坚持以《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021年）》为指导，立足本地资源禀赋、经济实力、基础设施等条件及大气污染防治要求，制定了适宜的政策，明确了清晰的技术路线。

2. 两侧同步改造

推广“热源侧”和“用户侧”双侧同步改造。热源侧全面加快热源清洁化改造，按照“集中为主，分散为辅”“宜气则气，宜电则电”的原则，全面实现城区、县城、城乡接合部清洁取暖全覆盖。积极推进城乡用户侧建筑能效提升，严格执行建筑节能标准，坚持“宜改则改”，实施既有建筑节能改造。

3. 三个基本原则

一是聚焦“三类地区”精准发力。考虑城区和农村不同客观因素，统筹推进城区、县城和城乡接合部、农村三类地区的清洁取暖工作。

二是突出“三个环节”多策并举。热源端，城市充分挖掘超低排放热电联产的集中供热能力，农村地区采用高效的热泵类电力供暖，最大限度地降低居民取暖成本。热网端，城区加大老旧管网替换改建，农村加大电网改造力度，不断降低能源输配损耗。用户端，重点推进既有居住建筑节能改造，优先改造使用清洁能源取暖的既有建筑，最大限度降低居民的取暖负荷和取暖支出。

三是做好“三相结合”全面推进。与大气污染防治攻坚相结合，两县五区把清洁取暖项目和大气污染防治重点区域相统筹，清洁取暖建设区即是大气污染防治攻坚区。与百城提质相结合，把清洁取暖工程作为提升城市基础承载能力的重要抓手，同步规划、同步实施、同步建设。与乡村振兴战略相结合，加快推进城乡融合发展，对补齐农村取暖基础设施短板、缩小城乡公共服务差距、建设美丽乡村起到重大作用。

4. 四条经验做法

4.1 “清洁供、节约用、投资优、可持续”的总体思路

一是热源精选清洁供。确定低温空气源热风机为农村主导技术路径，该技术路径能效比高、安装便捷、随用随开、维护简单，契合农民节省理念和用热习惯。同时选择规模小、距城区远、生物质资源丰富的村庄探索推进数字化智能生物质炉取暖，做到原料就近收集、加工和消费，降低运行成本。

二是降低能耗节约用。提高建筑用能效率，新建居住建筑全面执行 75% 的节能设计标准，既有建筑能效提升改造效果不低于 30%。根据城乡差异，因地制宜选择适用的清洁取暖技术路线。制定系列服务手册，引导农户科学使用清洁取暖设备。

三是合理配比投资优。着眼农民拿得起，出台补贴政策，补贴后农民“热源侧”和“用户侧”改造户均付费 3500 元左右，相当于 2019 年鹤壁农村居民人均可支配收入的 19%；着眼财政补得起，“双侧同推”农户均补贴 1 万元左右，地方财政可承受。

四是后期运行可持续。使用成本可持续，单台低温空气源热风机平均耗电 0.75 ~ 1℃ / 小时，农户均取暖成本 670 ~ 1120 元；数字智能化生物质炉户均取暖做饭成本 700 ~ 1150 元，成本较改造前使用散煤大幅下降。简便使用可持续，严控清洁取暖产品质量，低温空气源热风机、生物质炉均实现智能化控制，使用方便，故障率低。服务到位可持续。推行一站式服务，采用服务商模式，规范企业标准，确保清洁取暖项目持续健康发展。

4.2 “电取暖、气做饭、房保温、煤清零”的技术路径

一是坚持“电采暖”为主进行农村热源清洁化改造。结合各类能源使用成本，尊重农民用热习惯，积极推进分散电采暖，农村电网改造同步跟进，保证农民取暖成本自控、安全清洁、经济可持续。

二是坚持“气做饭”为主优化农村餐炊用能。平原地区实现管道天然气“村村通”，丘陵和山区等偏远地区通过燃气瓶组站实现天然气覆盖，推进农民“餐炊洁化”，实现电气“阶梯”用量优化组合，降低农村居民用能支出。

三是坚持“房保温”和热源改造同步推进。大力推进能效提升改造，改善既有居住建筑热性能，推动农房降低能耗，提高农房居住舒适度，降低冬季采暖支出，确保清洁取暖项目运行效果可持续、有保障。

四是坚持改造区域取暖做饭“煤清零”。通过取暖和餐炊方式的变革，按照“宜电则电，宜气则气”的原则，2020 年实现城镇和农村地区居民生活“散煤清零”。

4.3 “补初装不补运行”的财政补贴机制

结合农村清洁取暖户均面积及技术参数，根据农民日常和节假日居住人数变化、家中早晚规律性用热、室内用暖区域有限等特点，通过认真调研和科学比对，推荐使用节能高效设备，确保取暖成本可控，明确了中央财政资金只补贴清洁取暖改造初期投资，不再制定市级的电价、气价价格优惠政策，较好地调动了农民安装使用清洁取暖设备、科学节约用能的积极性、主动性。

4.4 “六个一”的建设推广标准

一是整村明确一个清洁取暖技术路径。实现技术统一、品牌一致、运营维护一体，确保清洁取暖建设运行稳定有序。二是能效提升改造遵循一套技术标准。设计出适合不同建设风格的多种节能改造模型，做到改造技术统一、项目施工规范、能效提升达标。三是户均清洁取暖改造费用控制在 1 万元左右。坚持居民和政府可承

受，不断优化建设成本，“热源侧”和“用户侧”户均改造初期总投资尽量控制在1万元左右，原则上不超过1.5万元。四是取暖季户均运行成本控制在1千元左右。通过技术优选和规范使用，确保清洁取暖项目可持续、易推广。五是取暖设备使用实现一键化操作。选用自动化、智能化的取暖设备，方便农民独立使用。六是运营维护实现统一平台服务。建设清洁取暖智慧监管平台，农户设备数据实现远传远控，建立乡村两级服务站点网络，形成全覆盖的服务体系。

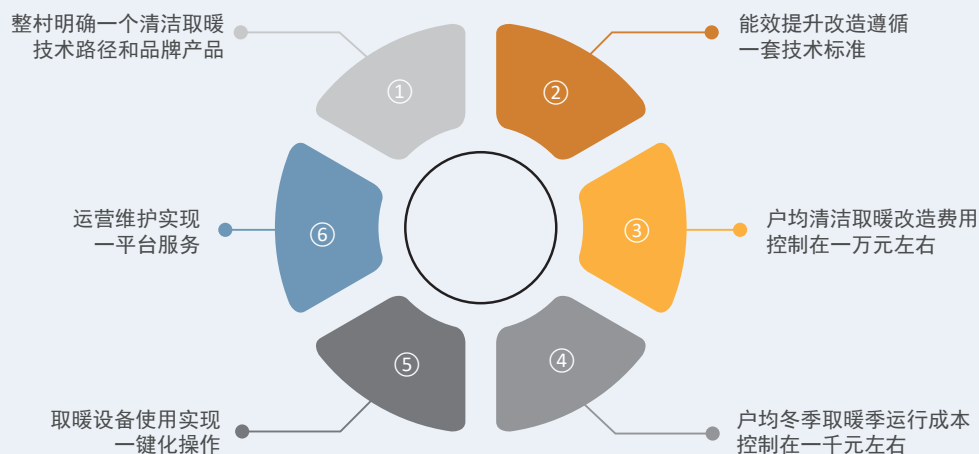


图 1：鹤壁市“六个一”建设推广标准

5. 五项保障机制

一是高效的组织领导机制。不断完善清洁取暖领导机制，试点城市建设市县乡三级协同推进，形成了市委市政府宏观指导、各部门协调联动、县区主力推进的高效推进工作模式，全程引领工作推动。二是完备的工作推进机制。统筹协调能源供应、项目建设、资金支持、环保监测等各类资源，推动农村清洁取暖市场化和产业化发展，确保工作有计划、项目有监管、绩效有考评、日常有督导。三是系统的政策引导机制。印发了《鹤壁市冬季清洁取暖建设资金筹集及分配方案》《关于开展全市清洁取暖建设工作督导的通知》等系列配套文件，建立起多层次的清洁取暖制度框架和政策体系。四是领先的技术创新机制。热源清洁化技术方面，试点城市中率先创新选用低温空气源热风机和数字化成型生物质技术，指导企业全面下沉鹤壁平原、丘陵、山区各类农户，动态监控百姓开机时段、使用时长、室温波动、消耗电量、累计电费运行效果，多次受邀到全国各类高峰论坛分享技术选用和使用经验。建筑能效提升方面，参与编制《河南省既有农房能效提升技术导则（试行）》《河南省既有农房能效提升施工工法—围护结构篇》等省级技术性指导文件，贡献了鹤壁经验做法。五是科学的资金补贴机制。采取因素法测算分配并按照先预拨、后清算的方式拨付专项资金。积极创新清洁取暖资金筹措途径，鼓励采用特许经营、合同能源管理等多种模式，推进清洁取暖项目建设。农村地区执行让利于民的财政补贴政策，科学引导企业投资清洁取暖建设，拓宽资金筹措途径。

(三) 秸秆打捆直燃清洁取暖黑龙江“绥化”模式

1. 项目简介

项目实施地点位于黑龙江省绥化市海伦县（市）海北镇海北村，该村地处松嫩平原地区，属寒温带大陆性气候。海北村共有两个自然屯，17 个村民小组，全村总户数 1721 户，总人口 5935 人，土地面积 3 万余亩，主要以玉米、大豆作物种植为主。作为粮食产区，该村面临着与其他种植业村屯一样的秸秆禁烧与秸秆资源化利用的环境压力与政策制约。

此外，海北村经过统一规划拆迁，建设了新的居住小区，小区住宅面积约 15 万平方米，占全村居民住宅面积的 83%，入住居民 1428 户。但多年来，由于沿用老式燃煤锅炉进行集中供暖，每年供热期都造成了区域环境黑烟污染，且电机噪音影响小区生活，年消耗燃煤 8225 吨，燃料费用成本达 530 余万元/年，供暖技术模式急需变革。

针对冬季采暖能耗高、污染大、效率低等问题，充分利用区域资源条件与生态优势，采用秸秆打捆直燃技术，对海北村原有落后的集中供暖设备及工艺实施改造，打造了可复制、可推广的北方寒区秸秆打捆直燃清洁取暖技术模式。

2. 技术路线

2.1 技术方案

秸秆打捆直燃清洁取暖就是将秸秆田间打包后直接送至锅炉燃用，实现从田头到炉头无缝衔接，减少了秸秆燃料二次加工及转运环节，降低了供暖成本，一般每平方米供暖可消耗秸秆 65-100kg。

同时，锅炉设备运行相对稳定，结构相对简单，对运维人员能力素质要求不高。秸秆燃料由自动给料装置输送至秸秆直燃锅炉的炉排内燃烧，运用逆流燃烧理论和二次燃烧技术，配合合理的烟气流速，应用双炉排热水锅炉装备，固体强化主燃区和固态可燃物燃烧区实现分区分级分相燃烧。在半气化燃烧区，可采用往复炉排对燃料破散、抛落，保证生物质通透性，并实现逐层燃烧，从而进一步提升燃烧效率。直燃锅炉热效率一般可达 83%-88%，高于普通燃煤锅炉的 70% 左右，燃烧后产生的热量将一次网循环水加热至 80℃，通过换热器将二次网循环水加热至 70℃，用于户用供暖，并采用变频控制，可根据气温变化或用户采暖需求，调节供水温度和流量。

此外，燃料产生的烟气在尾部烟道中依次经过过滤袋除尘器和高效烟气净化装置进行除尘、脱硫、脱氮，净化达标后排入大气，一般打捆直燃锅炉颗粒物排放量约 2.0kg/h，SO₂ 排放 0.9kg/h，NO_x 排放 6.8kg/h，完全符合国家《锅炉大气污染物排放标

准》，而秸秆燃烧后的灰渣又可作为肥料还田，减少化肥投入。

海北村通过集中供暖锅炉装备技术改造，新上一台 14MW 秸秆直燃锅炉，替代了 10 吨老式燃煤锅炉热源，改造秸秆破包设备，锅炉温控监测，电机、风机、除尘器等配套设施一套。同时，增设秸秆原料收储场地 1 处，厂区总面积括至 1.26 万平方米，其中厂房面积 2600 平方米，原料储存场地约 8000 平方米。

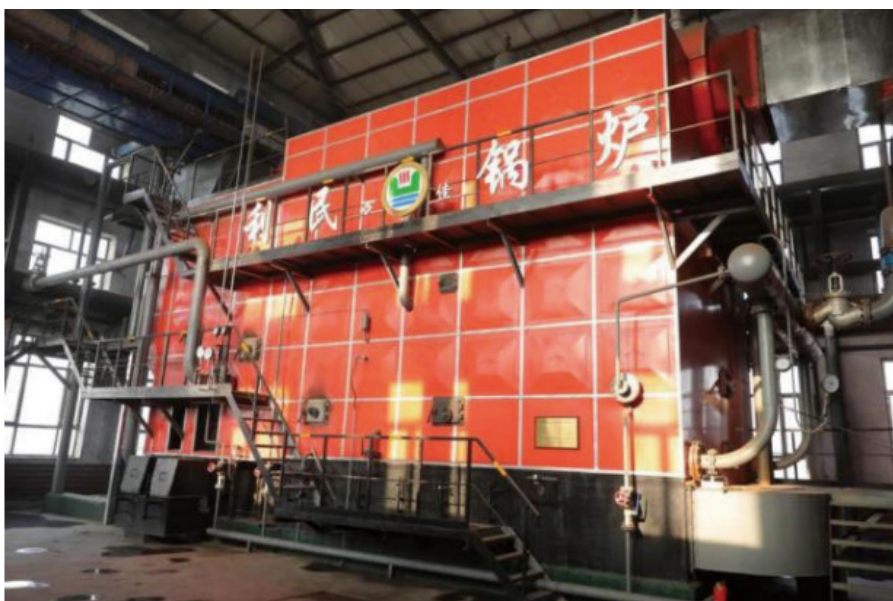


图 2：海北村秸秆打捆直燃集中供暖锅炉



图 3：秸秆打捆储存场地

项目完成后，实现了“秸秆收储—自动上料—秸秆整捆破碎—进料燃烧—小区供热—灰渣排出一肥料还田”整套生产工艺流程，为村镇 1428 户居民住宅小区和全镇公共设施进行集中清洁供暖，总供暖面积 23.5 万平方米，惠及人口占全村人口 83%。

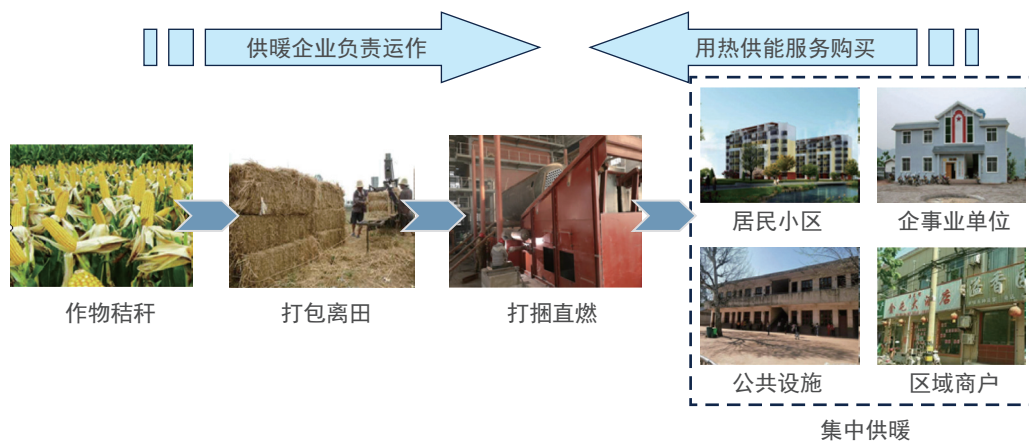


图 4：秸秆打捆直燃清洁采暖技术模式流程

2.2 建设和运营模式

该项目采用政府支持，企业实施并管理，技术单位合作的方式。以海北村原君佳供热企业为主体，依托海伦利民锅炉有限公司与黑龙江省农业科学院农村能源与环保研究所作为技术支持，协调工程建设。技术装备升级改造投资总金额 325 万元，其中政府项目资金支持 60 万元。

项目运营管理方面，由供暖企业负责或与合作社合作将秸秆在田间打包成型，运往企业集中存放备用，或可就地存放，分期拉运，实现秸秆的收储并当季消纳。此外，由供热企业来协调管理，对采暖农户，相关设施和单位，采用供热服务购买方式，保障企业经济效益。

3. 项目效益

通过技术合作与项目推广建设，形成了适合北方寒区的秸秆打捆直燃清洁取暖模式。技术装备设备额定出水压力 1.0MPa，设计效率 91%，锅炉热效率达到 86%，颗粒物排放量 $48\text{mg}/\text{m}^3$ ， SO_2 排放 $7\text{mg}/\text{m}^3$ ，NOX 排放 $197\text{mg}/\text{m}^3$ 。项目推广建设每个供热期消耗秸秆 1.48 万吨，替代燃煤 8225 吨，减排 CO_2 1.5 万吨，年产生生物质炭灰 2600 吨，可替代化肥 43 吨，减排 CO_2 约 300 吨。

通过技术示范应用，有效降低了农村采暖能耗成本，促进了区域能源消费结构的优化，实现清洁取暖替代 89%，缓解了区域秸秆禁烧压力，极大地改善了农村人居环境，提升了居民幸福感。采暖期农户家庭室内温度保持在 $20\sim 25^\circ\text{C}$ ，秸秆原料成本为 150 元

/吨，相比原有燃煤锅炉，按每吨燃煤 650 元价格计算，原料成本节支可达 321.5 万元 /年。同时，根据项目实际运营情况，供热成本由原燃煤供暖 27.8 元 /m²，降至 14.5 元 /m²，按每 23 元 /m² 采暖费用收取，年直接经济收益合计约 200 余万元。

表 1: 14WM (20 蒸吨) 秸秆打捆直燃锅炉与燃煤锅炉对比

供暖方式	燃煤供暖	秸秆直燃	增效
燃料价格 (元 / 吨)	650	150	
单位面积燃料消耗 (吨 / m ²)	35	63	
单位面积燃料费用 (元)	22.8	9.5	13.3
取暖期总消耗量 (吨)	8225	14805	
年燃料费用 (元)	534.6	222.1	312.5
运行费用 (元 / m ²)	5	5	0
单位供暖成本 (元 / m ²)	27.8	14.5	13.3
年供热成本 (元)	653.3	340.8	312.5
CO ₂ 减排 (万吨 / 年)		1.5	1.5

4. 推广建议

近年来，秸秆打捆直燃作为新技术在我国东北地区逐步进入快速发展阶段。以黑龙江省为例，全省现有秸秆直燃供热项目 40 余处，年设计消耗秸秆能力约 47 万吨，年可替代燃煤约 24 万吨。利用该技术模式可有降低农村采暖能耗成本，使区域供热由传统能源消耗转变为可再生资源供热，从而促进区域能源消费结构的优化，补齐农业农村发展短板，根本上解决秸秆露天焚烧导致的环境污染问题，提升了区域秸秆综合利用率，改善农村人居环境。

秸秆打捆直燃清洁取暖技术模式适用于北方地区以种植业为主的乡镇村屯，该区域作物秸秆资源丰富、原料易获得、秸秆打包收储较便捷，结合大中型锅炉改造，对住宅小区、公共服务设施、企事业单位等进行集中供热，将秸秆综合利用与区域环境治理、农民增收、乡村治理“三位一体”统筹管理，实现区域清洁方式采暖替代散煤取暖，推广应用前景广阔。

(四)KWB 生物质锅炉集中供暖山东省“阳信县程坞学校模式”

1. 项目概况

阳信县地处山东省西北部，滨州市中西部，属暖温带大陆性季风气候，四季分明，冬季取暖时长 4 个月。作为中国鸭梨之乡、全国畜牧百强县、中国古典家具文化产业基地，阳信县梨树枝条、农作物秸秆、畜禽粪便等生物质原料充足，具备得天独厚的生物质资源优势。近年来，阳信县立足自身优势，因地制宜，积极探索实施生物质清洁取暖改造试点，创新实施生物质燃料 + 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供暖“三种模式”，趟出了一条低碳环保、生态循环、集约惠民的清洁取暖新路子。

程坞学校位于阳信县城西南，是一所新建学校，具体为四层楼、建筑面积 5500m²，外墙做有 50mm 泡沫板保温。采用地暖系统换热，地热管实际铺设面积约 4600m²。由于学校间歇性取暖的特殊性，要求锅炉安全可靠，实现智能调控、经济运行。2019 年，在中国农村能源行业协会及北京化工大学等专家团队的大力支持下，阳信县从奥地利引进了国际先进的 KWB 生物质锅炉供暖系统，用于全校师生冬季取暖。该系统具有全方位智控及监测功能，可根据学校间歇式取暖需求，实现低温供热和智能温控，最大化降低能源使用量，提高供热效率。锅炉采用木头削片为燃料，由于不需要成型燃料的加工转运过程，燃料成本低廉。目前该项目已实现 2019-2020、2020-2021 两个采暖季的稳定运行，作为全国首个农村学校采用欧洲全智动生物质锅炉清洁供暖工程，具有重要的示范意义。



图 5：阳信县程坞小学



图 6：锅炉房外景



图 7：3 台生物质锅炉并联运行

2. 技术路线

2.1 技术方案

该生物质锅炉供暖系统主要由锅炉、进料系统、远程控制系统、缓冲罐、烟囱、泵、管道和阀门等组成。根据当地冬季取暖热指标 $60\text{W}/\text{m}^2$ 计算，项目选用 3 台 120kW 的生物质全智动热水锅炉并联运行为学校供暖。该系统具备以下特点：

一是组合灵活，应用范围广。该产品拥有 $20 \sim 360\text{kW}$ 超大功率范围，可根据供暖面积进行模块化灵活组合，可广泛应用于大型单一住宅和小型区域供暖。此外，该锅炉系统还具有空间占有率低和组~装简单等特点。

二是采用履带式燃烧器，燃料适应性强。锅炉采用具备自清洁功能的履带式燃烧器，解决了生物质燃料结渣难题，质量不一的木质颗粒、木柴、木片均可实现高效燃烧。

三是自动化程度高。锅炉进料系统、一次风、二次风、引风均由电脑控制。燃料由中央储料仓中的蜂窝轮闸门进行燃料高效输送，料斗连接燃料储存室，仅在料斗为空时输送木片，启动频率较低，最大限度地降低噪音和用电量；锅炉采用独立控制的一次风、二次风，内部配备多个探头对含氧量、一氧化碳、炉膛温度等进行实时测量和智动调控，提高运行效率；设备运行期间无须人员值守，三天加一次料，一周清一次灰，锅炉可自动除灰，大大减少了人工劳动强度。

四是双重操作，远程控制。锅炉可以通过自带的触摸屏幕和手机、电脑等远程控制平台进行远程双重控制。锅炉控制系统拥有多种拓展模块，可以任意设定启停时间和温度需求，实现锅炉自动节能运行。同时，锅炉具有故障诊断和自动报警功能，确保系统安全稳定运行。

五是清洁高效燃烧。据权威机构检测，锅炉热效率高达 94%，烟气中颗粒物排放浓度 $46\text{mg}/\text{m}^3$ ， SO_2 排放浓度 $3\text{mg}/\text{m}^3$ ，NOX 排放浓度 $91\text{mg}/\text{m}^3$ ，CO 排放浓度 $315\text{mg}/\text{m}^3$ ，明显低于《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）规定的新建燃煤锅炉排放限制，且无需加设后端除尘设备即可实现污染物达标排放。

六是一次投入，长期收益。锅炉制造工艺先进，关键部件采用特殊耐超高温、防腐蚀材料，大幅度提升产品质量和寿命，产品使用寿命长达 30 年以上，长期运行效益显著。

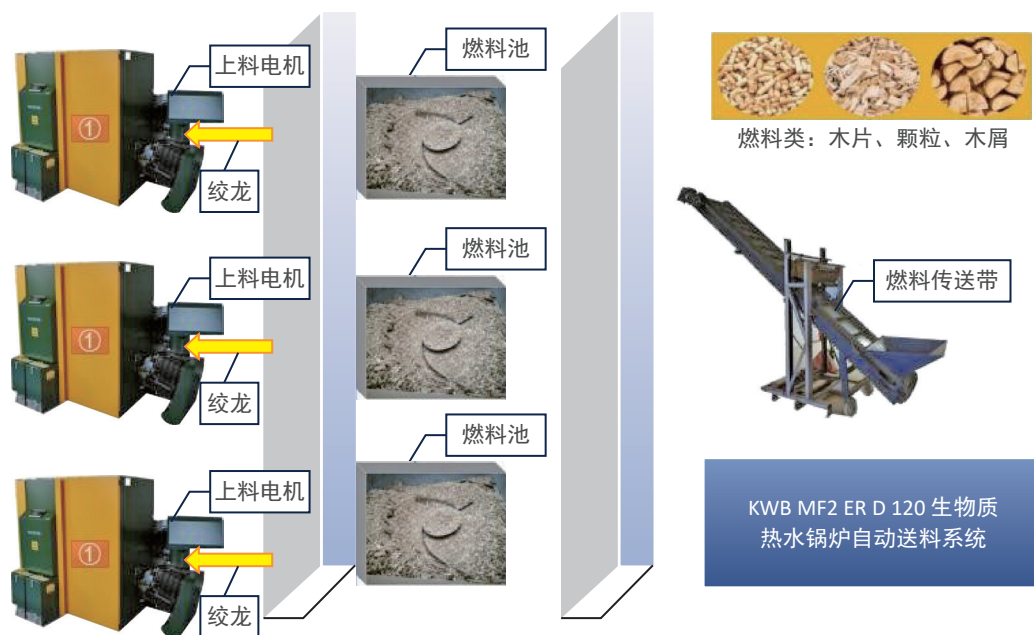


图 8：生物质锅炉进料系统

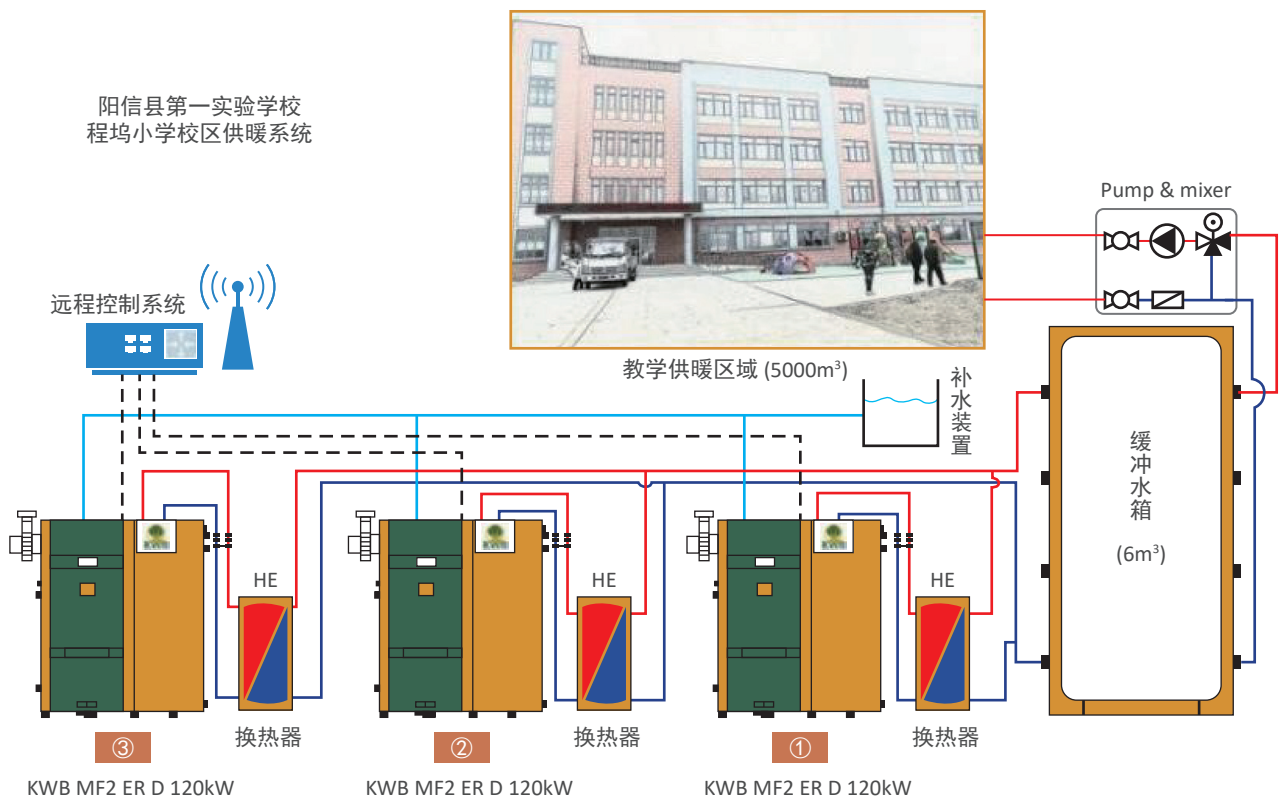


图 9：生物质锅炉运行系统

2.2 建设和运营模式

该项目由阳信县政府投资建设，中国农村能源行业协会、化工大学进行沟通协调，奥地利 KWB 生物质供热公司负责设备提供及技术指导，阳信县利民生物质能技术有限公司负责燃料供应及锅炉日常运行维护。

3. 项目效益

3.1 经济效益

工程总投资 126.8 万元，包括 3 台锅炉进口费用、锅炉关税、安装费、进料仓、水电暖安装、五金电料、钢结构仓库及配件等费用。2019 年采暖季，燃用松木片 95 吨，木片 800 元 / 吨，燃料费用约 7.84 万元，燃料成本约 17 元 / m²，与天然气取暖和电取暖相比，燃料成本分别降低 55%、65%，经济效益明显。

3.2 社会与环保效益

该项目可年利用农林废弃物 95 吨，相当于节约标煤 55 吨 / 年。与燃煤锅炉相比，SO₂ 排放减少 99%，CO₂ 实现了零排放，减轻了大气污染，缓解了温室效应。与天然气取暖和电取暖相比，运行成本低廉。全智能生物质锅炉高效低排、安全可靠，室内

供暖温度可稳定保持 24-26℃，实现了精准供暖、智慧供暖，保障清洁取暖工程良好运行和全校师生温暖过冬。

4. 推广建议

该技术模式具有布局灵活、适应性强、清洁环保、经济高效、安全可靠、长期运行效益好等特点，适用于生物质资源丰富、收储运体系完善的城乡公共服务设施、新型农村社区等大型单一建筑和小型区域集中供暖。建议加强对外交流合作，通过技术合作实现锅炉本地化生产，降低一次投资建设成本；在生物质资源等富的地区，大力推广生物质锅炉集中供暖，优先解决县城集中供热管网辐射不到的学校、商场、医院、办公楼、乡镇政府单位等公共服务设施的清洁供暖。在具备建筑节能条件的新型农村社区进行试点推广；推动市场化运营，不断完善的售后服务体系，保障项目安全高效运行。

(五) 清洁蜂窝煤取暖山西“晋城模式”

1. 项目概况

为有效治理燃煤污染，进一步改善大气环境质量，山西省晋城市立足本地丰富的优质无烟煤资源，从规划立项、政策扶持、财政补贴、标准执行、燃料直供、全程监管等多方面发力，高效地推进了清洁蜂窝煤好煤配好炉清洁取暖“晋城模式”。

晋城无烟煤具有热稳定性好、发热量大、机械强度大、低灰、低硫、低挥发分、固定碳含量高、化学活性高、灰熔点高等特性，尤其是硫分仅 0.3% 左右，远低于 1% 的国标。

清洁蜂窝煤好煤配好炉清洁取暖“晋城模式”，依托山西省晋城市丰富的优质无烟煤为主要原料生产清洁蜂窝煤，通过政府立项，定点生产，原料直供，统一配送，全程监管，质量追溯等完善的标准化运营体系送达终端用户，替代劣质散煤，最终形成“清洁蜂窝煤 + 专用炉具”取暖模式，实现农村清洁取暖的经济、可持续，保证农村居民温暖过冬。



图 10：洁净蜂窝煤生产仓储供应中心

2018 年开始，晋城市在高平市、阳城县、泽州县、陵川县等 4 个市区“双替代”之外的农村地区推广清洁蜂窝煤，该项目按照“政府补一点、煤矿贴一点、煤球生产企业让一点”原则，每户供应 700 块蜂窝煤，供应价格由用户承担一部分，政府承担一部分，保障了 30 多万户农村居民温暖过冬，取得了政府、百姓、环境“三赢”效果。

2. 技术路线

2.1 技术方案

“清洁蜂窝煤 + 专用炉具”，即好煤配好炉。好煤即“清洁蜂窝煤”，指利用晋城地区丰富的无烟末煤通过固硫、固灰、粘合加工成型后达到相关标准的洁净型煤，不需要烘干，自然固化，节省能源，经过塑封后储运不破碎、无污染、燃烧无烟、无味、无尘，排放指标大大优于 GB34170-2017《国家商品煤质量民用型煤》中的蜂窝煤 1 号指标，适配专用好炉，效果更佳。“好炉”即清洁炉具，炉具的技术参数、性能指标符合《NB/T34006-2020 清洁采暖炉具技术条件》采暖热效率和大气污染物排放指标及分级中的 1 级要求。



图 11：“灶薪”超市洁净蜂窝煤自动化生产工艺流程

2.2 建设和运营模式

2018 年开始，晋城市委、市政府本着“因地制宜，科学决策”的原则，在全域推进优质蜂窝煤清洁取暖，出台了《优质煤球供应保障机制》，统一供应清洁蜂窝煤替代原来参差不齐的劣质散煤，主要通过以下几方面进行运营管理：

一是政府立项。各县对辖区内非禁煤区的常住居民户以乡镇为单位进行全面统计，核实符合供应条件的居民户信息，由县（市）主管部门汇总后，初步确定蜂窝煤的总供应数量，进行招标立项。

二是公开招标。通过公开招标的方式，选择工艺先进、手续齐全、环保设施完善、生产仓储供应能力强、运输车辆达到国 V 以上标准，价格合理的优质蜂窝煤厂若干家，确定为本县（市）优质蜂窝煤生产供应企业。

三是监管到位。由市场监督管理局定期或不定期对生产原料和成品进行监督检验，环保部门要加强对生产和运输过程中进行监督检查，确保清洁生产和运输。生产企业公开服务电话，产品上要有明显的二维码标识，方便客户进行查询和投诉。

四是三个一点。政府补一点，指每吨补 200 元，谁用给谁补，精准补贴，先购后补，避免了过去用不用都发钱，浪费财政资源的现象；煤矿贴一点，指由指定煤矿供应原料，每吨比市场价低 100 元以上供应；企业让一点，指生产企业每块蜂窝煤给老百姓让利 2 ~ 3 分钱。

五是四个统一。统一标准是优质蜂窝煤供应企业生产的产品必需达到《GB34170-2017 商品煤质量民用型煤》“蜂窝煤 I 号”的标准；统一收款是按照规定的供应价格，由各村统一对用户收款并造册登记后报乡镇汇总，以乡镇为单位与供应煤球企业对接，签订供应合同后将蜂窝煤款汇至供应企业指定账户；统一分配是根据中标企业供应量，政府安排煤矿对口供应原煤及煤泥至生产供应企业，定点生产；统一配送是蜂窝煤供应企业根据各乡镇的实收款名单，在规定时间内负责将优质蜂窝煤配送到村。

2019 年采暖季，优煤易购供应链管理股份有限公司联合北京大学、北京化工大学、老万集团、多乐集团等单位，在阳城县东冶镇、白桑乡的三个村开展试点，试烧的 100 个用户均反馈设备运行稳定，采暖效果好，操作方便，干净卫生。

3. 项目效益

3.1 经济效益

配套专用清洁炉具价格实惠，仅需 200 ~ 800 元 / 台。政府无需补贴，减轻了财政负担，实现可承受、可持久目的。

清洁蜂窝煤经济实惠，比洁净煤球节省 20% 以上，比兰炭节省 30% 以上，比无烟块煤节省 40% 以上，比天然气，空气能取暖更省。一个家庭用户，一台炉具，一天 4 ~ 5 块清洁蜂窝煤，一个采暖季仅需 300 ~ 400 元，即可达到室内温暖如春的效果，而且用的好，用得起，即使政府退出补贴，也仅需 600 ~ 700 元，老百姓也能接受。

3.2 社会效益

晋城无烟煤已探明储量 293 亿吨，年产优质无烟沫煤 5000 万吨以上，可提供 4000 万吨以上的蜂窝煤原料，而山西省农村即使全部使用蜂窝煤，原料需求也不会超过 1000 万吨，可保证供应。资源上有充足保障；蜂窝煤经济实惠，符合老百姓的使用习惯，百姓更易接受，而且负担不大，推广可持续。同时，在晋城无烟煤产区包装生产，原料由煤矿直供，能够杜绝原料掺假。市场管理部门定期抽检，保护消费者权益。



图 12：洁净蜂窝煤统一配送

3.3 环保效益

晋城无烟煤直燃直排即可达到国家排放标准，无烟沫煤与优质煤泥经科学配方，蜂窝煤的指标大大优于 GB34170-2017《民用型煤》（蜂窝煤 1 号）国家标准，完全符合环保要求；排放符合国家标准，有利于防治大气污染。原产地生产，原料变商品，塑封包装，直接供应到村，避免了在消费地再生产和装卸运输过程中产生的二次污染。

4. 项目意义

“晋城模式”立足广大农村地区经济水平和居民习惯，在山西省全方位推广有利于空气质量的改善；立足农村现有采暖模式实施提质增效，采取“清洁蜂窝煤 + 环保炉具”替代“劣质散煤 + 低效炉具”，不仅可以实现“以煤减煤”，使减煤减排效应最大化，而且兼顾了农村传统生活习惯，居民易接受、可承受、可持续，是当前发展阶段适宜农村地区清洁取暖最经济可行。

邮箱 : contact@ccetp.cn

网址 : <https://energy.pku.edu.cn/>