

农村清洁用能体系助力 减污降碳及乡村振兴

--中国农村散煤治理综合报告(2022)

能源基金会
清华大学建筑节能研究中心

2022年4月

作者

刘 欣 能源基金会环境管理项目主任
张西雅 能源基金会环境管理项目主管
张容尔 能源基金会环境管理项目助理经理
杨旭东 清华大学教授
单 明 清华大学助理研究员
刘彦青 清华大学科研助理

审稿人

江 亿 中国工程院院士 清华大学教授
陶 澍 中国科学院院士 北京大学教授
段洁仪 北京北控能源有限公司原总经理/教授级高工
李景明 农业农村部农业生态与资源保护总站首席专家/中国沼气协会秘书长
段秀梅 中国投融资担保股份有限公司国际业务部(亚行项目办)高级经济师/主任
李 洁 能源基金会副总裁

致谢

本研究由能源基金会和清华大学共同研究撰写。

清华大学的博士研究生丁星利、陈肖萌、孙涛、聂亚洲、郝富霖、魏冠琼、何馨参与撰写工作。

本研究过程中，研究团队得到了生态环境部环境规划院、北京煤热院的大力支持，在此向他们表示诚挚感谢。

免责声明

此报告内容我们将适时更新，更新版本将发布到能源基金会网站。

目录

CONTENTS

	前言	04
01	中国散煤使用现状	05
	1.1 散煤分类	05
	1.2 民用散煤用量分布	07
02	散煤治理必要性及进展	09
	2.1 散煤治理必要性	09
	2.2 “十三五”散煤治理成效回顾	10
	2.3 散煤治理存在的问题	12
03	农村散煤替代的原则、目标与技术路径	15
	3.1 原则	15
	3.2 目标	17
	3.3 农村可再生能源开发利用分析	17
	3.4 创新技术和综合应用方案	20
	3.5 地方技术应用案例	24
04	农村能源和碳排放预测分析	27
	4.1 农村能源供需平衡预测	27
	4.2 碳排放情景分析	29
05	“十四五”农村散煤替代政策建议	33
	5.1 构建政府综合管理体系	33
	5.2 推动清洁取暖市场化和投融资建设	35
	5.3 散煤替代的成本效益分析	37
06	总结	39
	参考文献	40

前言

PREFACE

中国作为发展中国家，目前仍处在工业化和城镇化进程中。中国每年使用的燃煤中，一半为煤电用煤，三分之一为工业用煤，其余约 15% 为分散燃煤，主要供分布在农村的民用生活、农业生产及村镇企业生产用小型锅炉和小型窑炉等使用。由于燃烧效率低、污染严重，散煤使用近年来受到国家的重视和控制，散煤治理取得了明显的效果。其中民用散煤量大面广、与居民生活息息相关，治理存在更多挑战。由于数据收集有限，本报告所涉及到的农村散煤范围主要针对农村生活民用散煤，主要的研究数据和结论基于能源基金会支持开展的项目成果。

2017 年以来，前四批 63 个北方清洁取暖试点城市在散煤替代过程中取得明显进展，农村空气质量明显改善，农民健康风险明显降低。同时改造也存在一些不足，如节能改造重视不够、“煤改气”和“煤改电直热”等方式存在能源安全隐患和燃气供应不足等风险，初投资或运行费高。本报告对各种供热技术的经济成本进行了比较分析，提出打造降污、节能、减碳、舒适、经济五位一体的散煤替代工作原则，推荐了农村清洁低碳能源系统的关键技术路径。

本研究建议，农村民用散煤替代应设立 2025 年和 2030 年两个阶段性目标。到 2025 年，全国重点城市农村地区清洁取暖比率将达到 60%~80%，可再生能源应用比例达到 50%~70%。京津冀等重点地区在 2025 年前实现散煤清零。2030 年，对于全领域范围，90% 以上的散煤完成替代。

建立科学合理的技术路径是关键。要优先实施精准建筑节能改造，降低农村地区能耗需求。屋顶光伏和生物质清洁利用等是未来农村能源发展的主

要方向。中国农村的屋顶光伏年发电潜力 2.96 万亿千瓦时，约折合 8.9 亿吨标准煤。中国农作物年产生约 6.74 亿吨秸秆和 1.1 亿吨农业废物，加之 1.4 亿吨林业废物、38.1 亿吨（湿重）禽畜粪便、3.4 亿吨生活垃圾，约折合 9.28 亿吨标准煤。巨大的可再生能源开发潜力使得农村消除散煤实现减污降碳协同增效成为可能。

本报告针对未来农村能源需求和供给分析了散煤淘汰的不同情景。在理想情景中，散煤、散烧生物质、市政电力、液化石油气、天然气从农村地区能源中退出，加速太阳能、生物质清洁利用的推进。到 2060 年，农村地区在满足自身能源需求后，还可以向城市输出 1.2 万亿千瓦时的电力和折合 8 亿吨标准煤的生物质富余量，相当于 15 亿吨二氧化碳减排能力。

目前，清洁取暖的推进过于依赖中央和地方政府财政资金。在乡村振兴战略下，应完善散煤治理综合管理机制，推动清洁取暖市场化，提供更多金融渠道，创新和试点建筑能效改造、分布式光储直柔系统、生物质能利用、太阳能光热和新型热泵等，打造可持续、可承受及碳中和的农村清洁能源体系。

实现散煤淘汰可以带来环境、气候、健康、产业和经济等多重收益。通过大力推进散煤治理，每年可减少约 10 亿吨二氧化碳、300 万吨二氧化硫、90 万吨氮氧化物、300 万吨细颗粒物（PM2.5）的排放。中国北方地区的细颗粒物平均浓度可降低 10 微克每立方米。相关政策的颁布可促进可再生能源产业发展和现有产业转型，并推动新兴产业的成长。新兴产业和新项目可以创造 50 多万个就业岗位，进而促进当地社会发展。农村屋顶光伏发电和生物质能产业的发展，预计每年可创造数千亿元收入。



01 中国散煤使用现状

Scattered coal consumption in China

1.1 散煤分类

散煤分布在农村的民用生活、农业生产及中小企业生产用小型锅炉和小型窑炉等使用。由于燃烧效率低、缺乏末端烟气净化装置、排放难以监管等原因，

散煤成为一个重要的污染源。在过去的几年里，中国开展了大规模的削减散煤行动，并取得了一定的成效，见表¹。

表 1 “十三五”前后不同类型散煤削减量

数据来源：中国散煤治理报告 2017¹，中国散煤治理报告 2020²，中国建筑节能年度发展研究报告 2020³。

散煤类型	2015 年剩余量 (百万吨/年)	“十三五”期间减少量 (百万吨/年)	2019 年剩余量 (百万吨/年)
民用散煤	234	59.8	174
小型锅炉用散煤	220	26.4	194
小型窑炉用散煤	236	89.8	146
总计	690	176	514

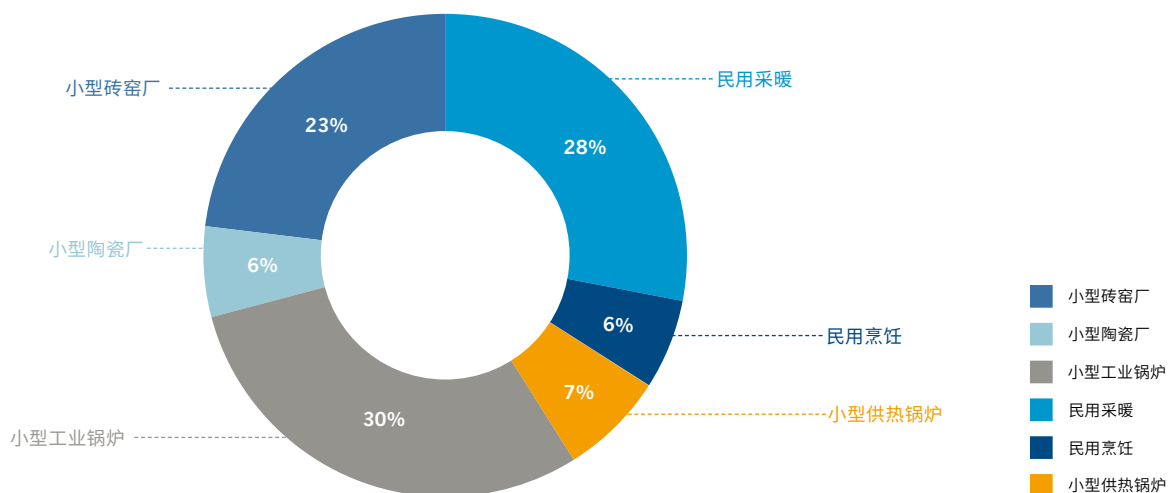


散煤用量没有权威的统计数据，根据相关研究，2019年，中国直接用于烹饪和供暖的民用散煤消费量为1.5亿~1.7亿吨。用于农村地区农业和工业生产的小型锅炉（容量小于14兆瓦的中小型燃煤锅炉）每年消耗的散煤总量约为1.94亿吨。小

型锅炉缺乏环保处理措施，无法稳定达标排放。小型窑炉每年消耗约1.46亿吨散煤，主要用于生产建筑材料，包括砖、瓦、陶瓷和玻璃等。为了节省成本，这些小型窑炉很少安装烟气后处理设施设备。图1详细展示了2019年中国散煤的用量分布。

图1 2019年中国散煤的用量分布

数据来源：中国散煤治理报告2017¹，中国散煤治理报告2020²，中国建筑节能年度发展研究报告2020³。



针对燃煤锅炉治理，“十三五”期间，国家通过严控新增燃煤锅炉、实施节能环保综合改造、提高供热和煤炭质量、加快淘汰小型燃煤锅炉、实施清洁能源替代，在全国范围内共计淘汰小型燃煤锅炉约 10 万台，重点地区已基本淘汰 35 蒸吨以下燃煤锅炉。

在工业散煤治理方面，国家主要采取淘汰落后产能、淡季错峰生产、升级改造、煤改气等措施削减散煤用量，其中淘汰小型散煤窑炉落后产能的治理减散煤用量约 7700 万吨⁴。未来工业散煤应继续通过严格的污染源管控制度加以调控，例如产业结构升级，关闭落后的生产设施。

1.2 民用散煤用量分布

与锅炉治理及工业散煤相比，民用散煤分布更广泛，尤其与农民的生活息息相关。民用散煤燃烧产生了大量的室内外空气污染物和温室气体，对人们的生活环境和健康造成重大影响，提早淘汰民用散煤至关重要。本报告的研究聚焦农村地区民用散煤。

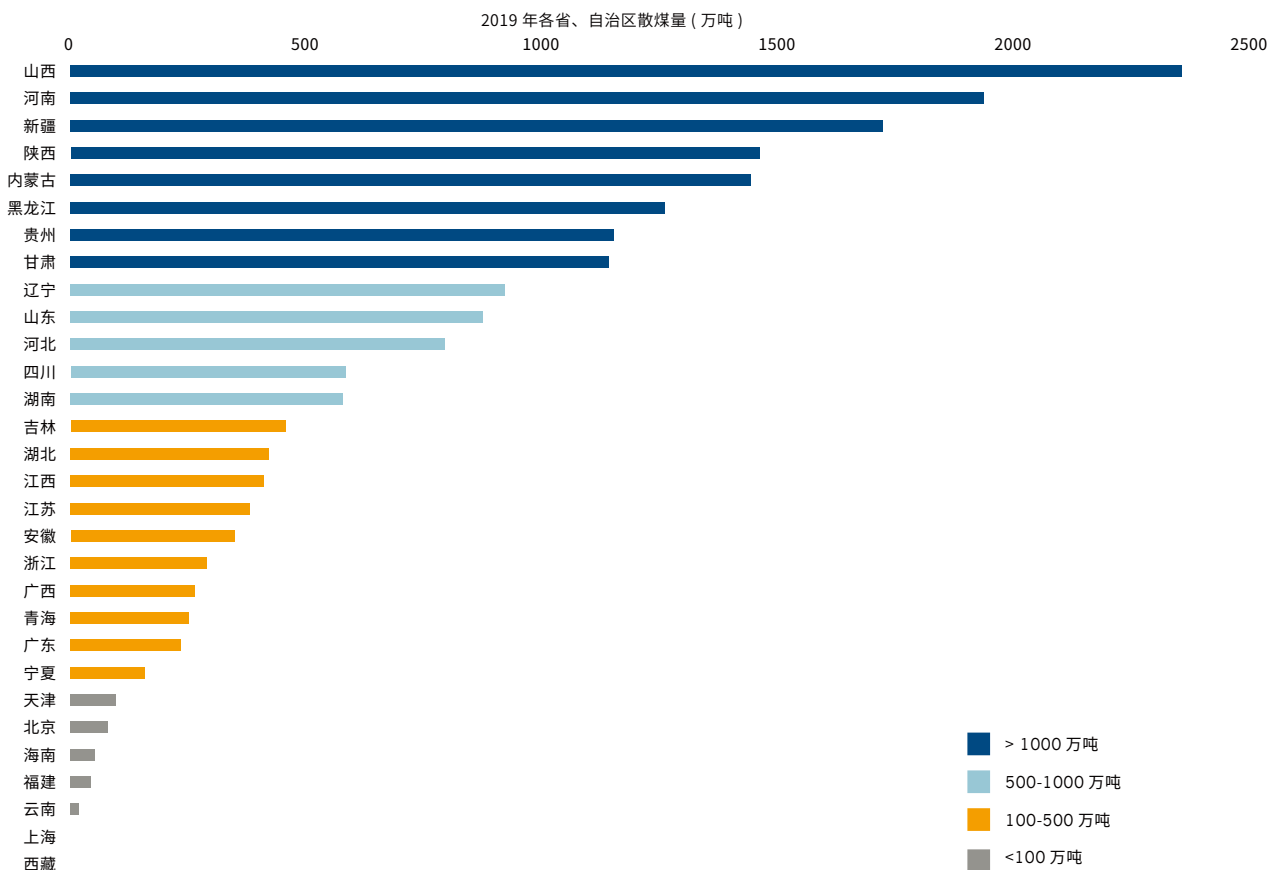
民用散煤分布于上亿户的农村家庭中，由于各地农房保温条件、供暖用能来源、收入水平等各不相同，在满足农户实际需求的基础上，需要因地制宜，实施切实有效的清洁能源替代散煤技术方案。替代路径既要具备技术可行性和可操作性，同时又要让农户承担得起使用费用，否则很容易造成返煤现象。因地制宜地采取技术可行和经济可承受相结合的散

煤治理方案尤为重要。

不同省份的民用散煤消费量如图 2 所示，根据清华大学建筑节能发展研究中心发布的《中国建筑节能年度发展研究报告 2020》，2019 年全国民用散煤消费量为 1.5 亿~1.7 亿吨。其中有 8 个省份每年消费民用散煤逾 1000 万吨。北方省份民用散煤消费量显著高于南方省份，华北平原（含河南、山东、河北）、汾渭平原（含山西、陕西）和东北平原（含黑龙江、辽宁、吉林）是民用散煤的主要消费区域。由于京津两地严格的管理要求和较高的城市化水平，其民用散煤消费水平远低于周边省份。

图 2 2019 年中国各省份民用散煤消耗量（单位：万吨）

数据来源：清华大学建筑节能发展研究中心发布的《中国建筑节能年度发展研究报告 2020》。





图片著作权：清华大学



02 散煤治理必要性及进展

The need and progress of scattered coal go

2.1 散煤治理必要性

散煤的使用造成了很多问题，根据北京大学的有关研究，民用散煤消耗量仅占中国能源消耗总量的2.9%，但细颗粒物、二氧化硫和氮氧化物的排放量分别占29%、11%和2.2%，如图3所示。

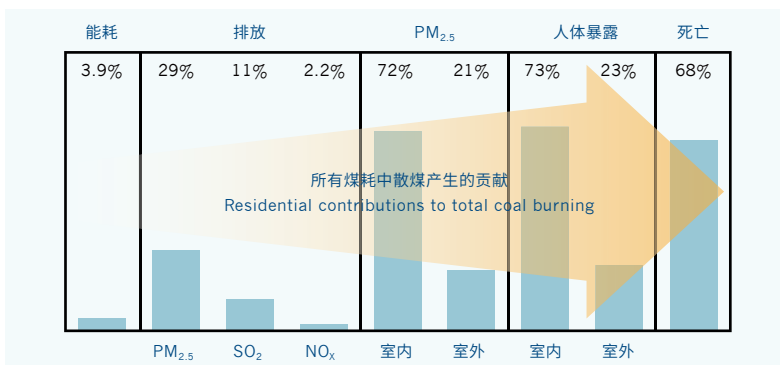
总体来说，散煤治理有三方面好处：

一是有利于促进我国乡村振兴战略的实现。中国政府高度重视农业、农村、农民（简称“三农”）问

题及生态文明建设，加大散煤治理可以加速“三农”相关政策落地，有助于提高农民生活水平，缩小城乡差距。

二是有利于改善空气质量和健康状况。由于缺乏污染处理设备，散煤的二氧化硫、氮氧化物和细颗粒物排放因子分别是同量电厂燃煤的7倍、2倍和66倍。中国农村地区34%的人体健康损害与散煤使用直接相关，造成36万人过早死亡。

图3 Coal is dirty, but where it is burned especially matters⁴, 能源基金会支持北京大学研究





governance

三是有利于协同控制二氧化碳排放。散煤作为化石能源，燃烧产生大量二氧化碳。散煤的淘汰与碳达峰、

碳中和（简称“双碳”）发展目标完全一致。

2.2 “十三五”散煤治理成效回顾

自 2017 年起，国家四部委利用北方地区冬季清洁取暖试点政策，对民用散煤治理开展试点工作，先后分 4 批共在 63 个城市开展清洁取暖试点示范城市建设，取得了明显成效。截至 2021 年 4 月，前三批 43 个试点城市共完成清洁取暖改造面积 39.1 亿平方米（3526 万户），其中城区改造 9.58 亿平方米（869 万户），城乡结合部及农村地区改造 29.51 亿平方米（2657 万户）⁵。

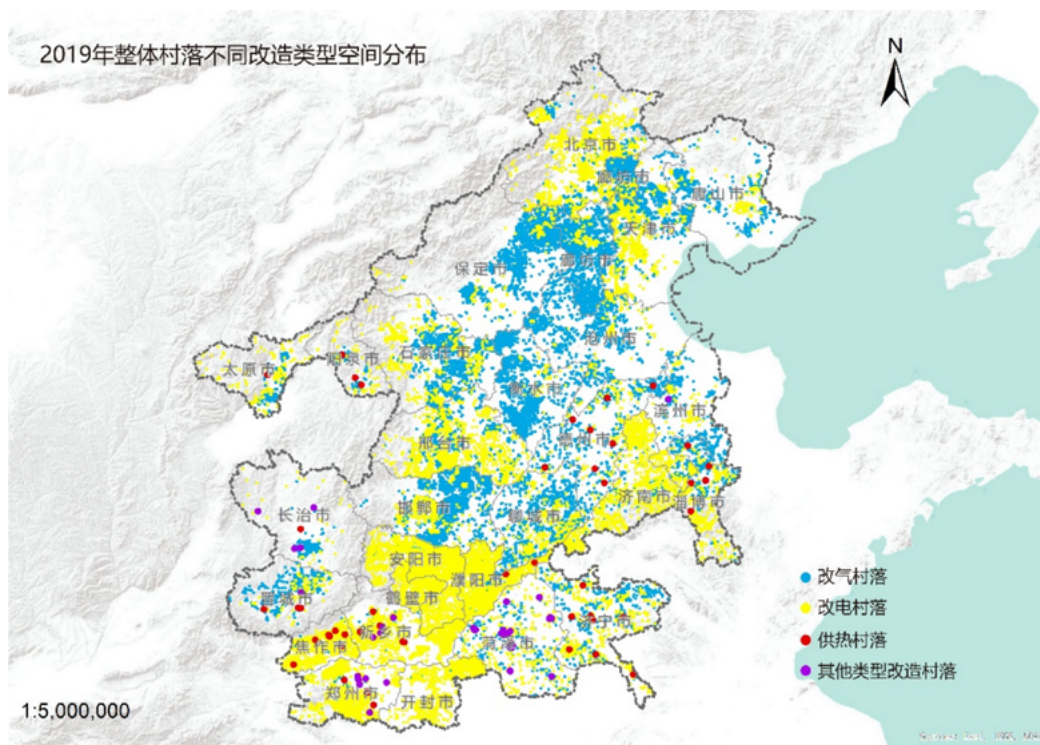
十四五开局生态环境部推动散煤治理继续发力，2020-2021 采暖季，京津冀及周边地区、汾渭平原完成散煤替代 709 万户。其中，河北省 337 万户、山西省 96 万户、山东省 163 万户、河南省 40 万户、陕西省 73 万户。2021-2022 年采暖季期间，重点地区计划完成散煤替代 348 万户。其中，北京、河北、

山西、山东、河南、陕西分别完成 2 万户、78 万户、81 万户、148 万户、4 万户、35 万户。实际超额完成，约 420 万户。

当前民用散煤替代方案主要包括煤改天然气、煤改电、煤改集中供暖供热等。试点后，我国北方地区 43 个试点城市秋冬季空气质量明显改善。2019 年，北京市、天津市、河北省的细颗粒物平均浓度较改造前分别下降 36.4%、11.4% 和 13.8%。

图 4 展示了 2019 年京津冀和周边试点农村地区采用不同散煤替代技术路径的村落分布情况，其中，北京、河南主要采用电替代，河北、山东主要采用天然气替代。

图 4 2019 年农村地区采用不同散煤替代技术路径的村落分布

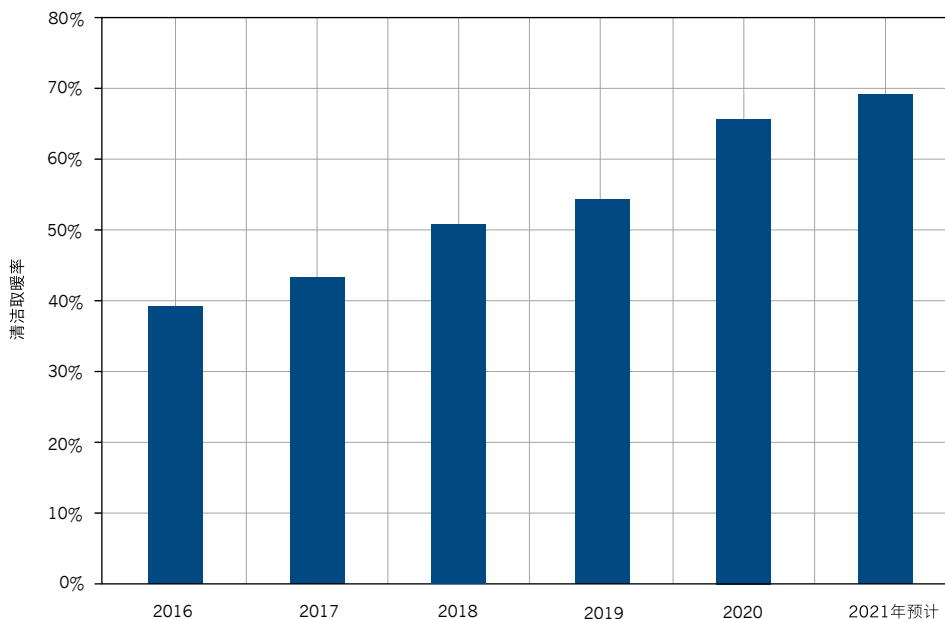


根据各地统计，截至 2020 年底，北方地区 15 个省份中，有 8 个省份清洁取暖率超过 70%，其中 6 个省份超过 80%。除少数地区外，绝大多数省份

城镇取暖率已提前完成清洁取暖规划目标，部分省份农村清洁取暖率仍然偏低，如东北、西北部分地区的农村清洁取暖率仍低于 35%。

图 5 2016 年至今北方地区冬季清洁取暖率变化趋势

数据来源：2016-2020 年数据来自《中国清洁供热产业发展报告 2021》，2021 年为根据各省报送资料预测数据。



2.3 散煤治理存在的问题

散煤“双替代”——“煤改电”和“煤改气”对于改善大气环境、提升农村人民群众生活水平具有重要意义，作为主要技术路径，取得了显著成效。然而，煤改电和煤改气替代散煤在实践中也存在一些问题，包括：

(1) 建筑节能改造投资未得到有效重视（仅占总投资的15%）。

(2) 可再生能源替代案例少，技术方案以“煤改气”和“煤改电直热”替代为主，农宅的角色定

位以消费为主，作为可再生能源的生产和供应角色尚未充分开发。

(3) 改造工程存在安全隐患。“煤改气”设备存在运行安全隐患、气荒等问题。北京市煤气热力工程设计院有限公司（以下简称煤热院）2021年调研发现的安全隐患如图6所示。一方面，由于煤改气施工队伍多、散、弱，重要岗位技术人员不足，加之设计图纸不到位，没有严格遵守相关规范和要求施工，造成工程质量安全问题；另一方面，居民在使用燃气取暖过程中，存在使用不规范现象。

图6 项目调研中发现的安全隐患

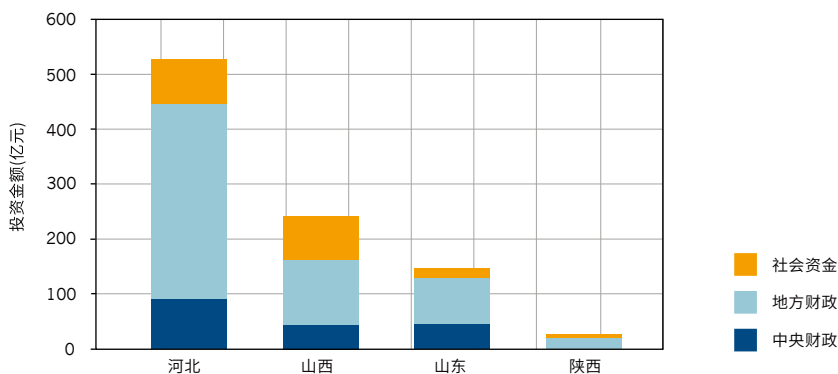
图片来源：能源基金会支持，北京市煤气热力工程设计院有限公司承担的京津冀散煤治理实施评估分析项目



(4) 未建立市场化的商业运行模式，很难实现“能承受、可持续”。替代工程主要依靠政府财政补贴，公共财政压力巨大。平均70%的改造资金来

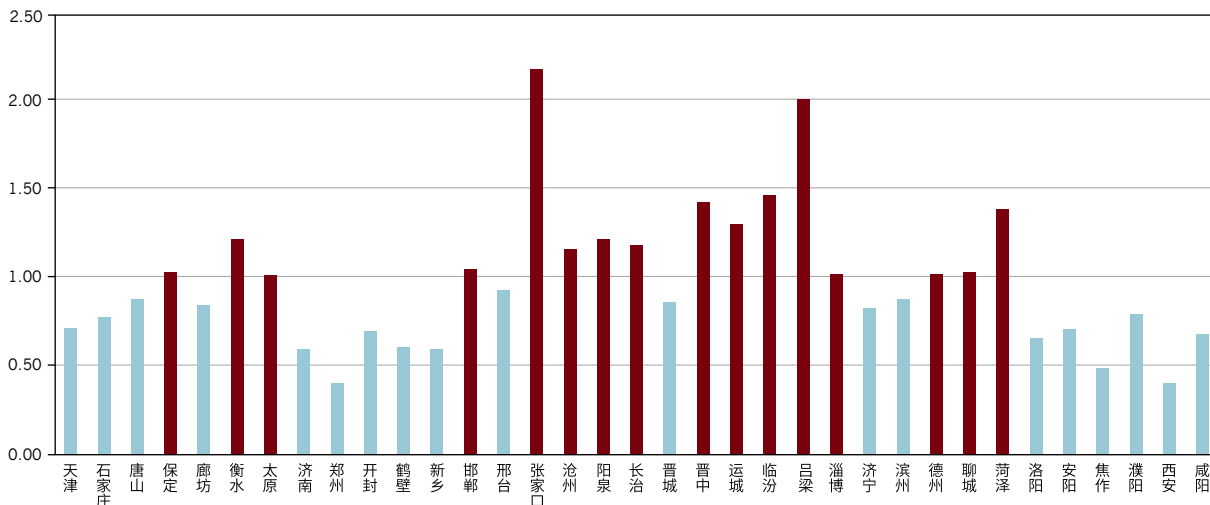
源于政府，在大多数省份，中央和地方政府的补贴资金占总投资的67.6%~88.6%，如图7所示。

图7 四个省份资金支持情况



现有改造技术的建设和运行成本较高，16个煤改气和33个煤改电城市居民改造后的供暖支出超过承受能力。

图 8 不同城市的煤改清洁能源支付压力系数



如图 8 所示，张家口、吕梁等 16 个城市的煤改清洁能源支付压力系数均超过 1.0。支付压力系数为实际供暖费用与可负担供暖费用的比值，比值越高，表明支付压力越大。

(5) 由于农民消费者习惯了传统的生活和生产方式且经济负担能力不足，其进行散煤替代的意愿不强。

清华大学课题组比较了不同技术方案所对应的设备、运行和基础设施的成本，并给出了减污降碳效益，如下表 2 所示。一般来说，与天然气取暖相比，电取暖的设备成本较高，但运行成本相对较低。而生物质技术的设备和运行成本均较低。低温空气源热泵热风机技术和生物质清洁炉具技术在经济效益和减碳效益方面都有着较大的优势。但后者需要解决污染排放稳定达标的问题。

表 2 不同供暖技术的成本比较（数据以华北地区典型农宅为基础估算）

备注：
 1. 建筑信息：地点北京；建筑取暖面积 80 m²，室内设计温度 16°C；建筑原围护结构为三七砖外墙，坡屋顶，单层塑钢窗，经靶向保温改造后实际节能率 30%；
 2. 实际采暖需热量：直热式与热泵热风机具有调节性，可实现间歇性取暖，能耗低于其他几种连续采暖技术；
 3. 管网敷设与农网改造费：数据来自于华北农村地区的实际调研，其中热泵农户均供电容量 3~5kW，直热式电网容量需满足 8~10kW，蓄热式电网容量需满足 10~12kW，各地因为基础条件以及改造需求会有所差别；
 4. 年运行费：计算基于无补贴的条件，燃料单价来源于实际调研。

项目	类型	实际采暖需热量 (kWh/年)	热效率 (%)	初投资 (元)			燃料单价 (元)		年运行费 (元)	污染物排放量 (kg/户年)				特点
				设备费	末端设施	管网敷设费/农网改造	无补贴	补贴		PM _{2.5}	SO ₂	NO _x	CO ₂	
煤改气	燃气壁挂炉	5710	75	5000	2400	6000	3.0Nm ³ /元		2310	0.23	0.49	1.42	1681	减污降碳，运行费用高（节能不省钱）
煤改电直热	直热式	4683	95	4800		8000	0.5kWh/元		2465	0.39	1.92	1.78	4052	减污不降碳，运行能耗高
	蓄热式	5710	95	6000		12700	0.5/0.3 kWh/元		2405	0.48	2.35	2.16	4941	减污降碳，需电力扩容，运行需电价补贴
煤改热泵	热泵热风机	4569	250	9000			0.5kWh/元		914	0.15	0.71	0.66	1502	减污降碳节能协同
	热泵热水机	5710	220	15000	2400		0.5kWh/元		1298	0.21	1.01	0.94	2133	减污降碳节能协同，初投资偏高
煤改电直热	生物质成型燃料取暖炉	5710	84	4500	2400		1000吨/元		1629	1.81	0.46	5.94	0	近零碳，需降低污染和集运成本
维持现状	散煤	5710	45	1500	2400		1000吨/元		1985	7.40	3.53	4.07	4954	

农村取暖是涉及上亿户家庭和大量中小企业的系统问题。在中央财政可能撤补、地方财政支持力度下滑的情况下，农村居民承担采暖运行成本的能力直接决定了清洁取暖的可持续性。清洁取暖的初投资加运行成本一般要高于过去传统的燃煤供暖。迫切需要开发和应用效率高、经济性好的清洁取暖新技术如低温空气源热泵。目前，供热行业正处于向

市场化经营转型的过程中，经营成本也给供热企业提出了挑战，随着供热面积的增加，许多企业反映供热价格和成本倒置问题越来越严重。

综上所述，技术路径的选择直接关系到清洁取暖改造的可持续性，一旦政府补贴取消后，农村居民即可能无法负担取暖费用而重返使用散煤。





03 农村散煤替代的原则、目标与技术路径

The principles, goals and technical pathway

3.1 原则

农村散煤替代的源动力在于中国政府对于“三农”问题及生态文明建设的高度重视。习近平主席指出，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。

《乡村振兴战略规划（2018—2022年）》强调，人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾在乡村最为突出，全面建成小康社会和全面建设社会主义现代化强国，最艰巨、最繁重的任务在农村，最广泛、最深厚的基础在农村，最大的潜力和后劲也在农村。

在“双碳”目标提出的新形势下，应将农村散煤替代作为减污降碳的优先领域，推动农村地区率先实现碳中和，用空气质量驱动实现美丽中国和健康中国，通过农村清洁能源革命，实现农村由能源消

费端转向风光和生物质、地热等可再生能源的生产和供应端，打造农村可再生能源产业链，推动乡村振兴，最终实现城乡社会和环境公平发展，人人享有公平的用能权利

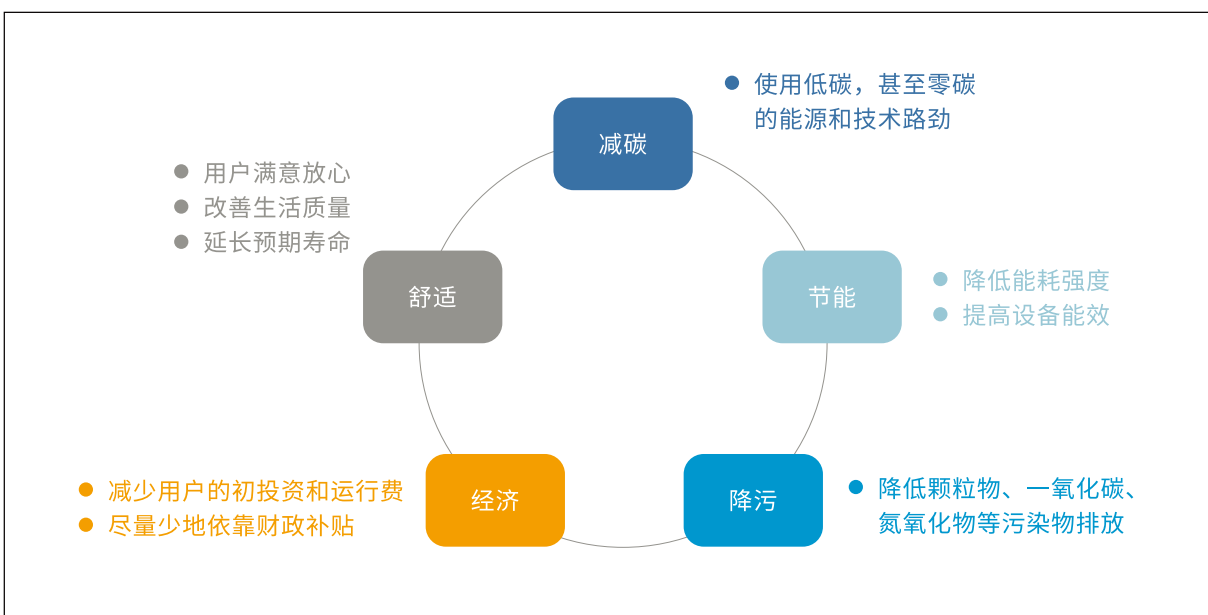
农村散煤替代，源于降低污染、改善大气质量的驱动，也要在农村能源转型和消除贫困的过程中，充分实现社会、气候和环境的协调发展、公平发展。因此本研究提出了农村散煤替代应遵循五位一体的原则：节能改造优先、减少污染改善空气质量、低碳零碳、成本经济可承受、改造效果舒适便捷，如图9所示。这五个方面缺一不可，必须统筹兼顾。



目标与技术路径

Goals and technical paths for rural scattered coal reduction

图9 农村散煤替代原则



3.2 目标

基于散煤替代带来的环境、健康、气候、能源以及社会经济等多重收益，在实现碳中和及美丽中国的战略背景下，应以消除散煤为首要突破口，设立可行且具有一定挑战性和前瞻性的目标体系，分阶段有步骤的消除全国的民用散煤和其他散煤。

农村民用散煤替代目标，包括 2025 年和 2030 年两个阶段性目标。

到 2025 年，全国农村地区清洁取暖比例将达到 60%~80%，可再生能源应用比例达到 50%~

70%。2025 年京津冀及周边地区实现散煤清零，2027 年汾渭平原等其他北方重点地区实现散煤清零。

2030 年，全国范围 90% 以上的散煤将完成替代。

农村非民用领域散煤替代目标是：2025 年小型锅炉淘汰存量的 50%~60%，小型窑炉淘汰存量的 65%~70%。2030 年，90% 以上的散煤将完成替代。

3.3 农村可再生能源开发利用分析

在未来碳中和背景下，农村应大力推广利用可再生能源进行散煤替代，推动可再生能源在农村就地消纳，节省初始投资和运营费用，降低农户用能成本。2021 年，国家能源局印发《关于因地制宜做好可再生能源供暖工作的通知》（国能发新能〔2021〕

3 号，以下简称《通知》），提出因地制宜推广各类可再生能源供暖技术，积极推广地热能开发利用，合理发展生物质能供暖，继续推进太阳能和风电供暖。本章着重围绕生物质、光伏、地热在农村地区的开发利用潜力进行了分析。

3.3.1 生物质能开发潜力分析

生物质与煤、石油等化石能源以及风能、太阳能等可再生能源显著不同的是，其大部分来源于农业秸秆和林业废弃物，这些资源必然会产生，因此也必须进行消纳。如果放任不管或者采用了如散烧等错误的消纳方式，则对环境产生负面影响，而如果合理消纳，则能够成为能源结构中的重要一环，对于减少碳排放，缓解能源问题具有重要意义。

生物质主要包括农作物秸秆、农业废弃物、林业废弃物、畜禽粪便、生活垃圾和能源作物等六种。我国农作物秸秆和农业废弃物主要集中在东北、华北和长江中下游等农业主产区，主要为玉米、水稻和小麦秸秆，考虑可收集利用系数，能够产生 6.74 亿吨秸秆和 1.1 亿吨农产品加工剩余物。此外，森

林砍伐和木材加工每年产生约 1.4 亿吨林业废弃物，树木剪枝每年产生约 1 亿吨林业废弃物。全国每年共产生约 38.1 亿吨的畜禽粪便（湿重），以及总量约 3.39 亿吨的生活垃圾，其中厨余垃圾约为 1.2 亿吨。目前，生活垃圾的主要处理方式是填埋，而妥善的焚烧处理可以促进生活垃圾的能源化利用。

此外，能源作物也是未来生物质的重要来源，中国有大量的边际土地可以用来种植能源作物，如多年生草本植物和木本植物，这些作物将提供大约 2 亿吨的潜在生物质供应量。表 3 给出了对上述数据进行汇总并转化为标准煤的资源量情况。

表 3 按重量和能源类别估计中国可利用的生物质资源量

类别	生物质量 (亿吨)	生物质能源 (亿吨标准煤)
农作物秸秆	6.74	3.31
农业废弃物	1.1	0.62
畜禽粪便	38.1(湿重)	2.14
林业废弃物	2.40	1.73
生活垃圾	3.39	0.34
能源作物	2	1.14
合计		9.28

3.3.2 太阳能开发潜力分析

作为可再生能源的一种，太阳能是未来能源低碳发展的重要方向之一。尤其在太阳能光伏资源丰富的地区，随着太阳能光伏板价格不断降低，发展速度逐渐提升。与建筑相结合的屋顶光伏系统已经得到了广泛关注，在某些农村地区，屋顶光伏发电不仅能够满足农户自身用能需求，富余电量还能够向外部供应。

中国农村地区屋顶总面积估计约为 270 亿平方米，考虑可利用率后仍有 131 亿平方米能够用于安装光伏板，每年可发电约 2.96 万亿千瓦时，按照当发电煤耗水平相当于约 8.9 亿吨标准煤。

屋顶光伏发电潜力是依据太阳辐照、屋顶面积的分布，再考虑光伏利用系数后获得的。

3.3.3 地热能开发潜力分析

地热能资源是指能够经济地被人类所利用的地球内部的地热能、地热流体及其有用组分。根据赋存埋深及温度不同，地热能资源可分为浅层地热能资源、中深层（水热型）地热能资源及干热岩资源。目前可利用的地热能主要包括通过热泵技术开采利用的浅层地热能、通过天然通道或人工钻直接开采利用的水热型地热能，以及干热岩体中的地热能。

中国地热资源储量丰富，分布广泛。受地质构造、岩浆活动、地层岩性、水文地质条件等因素的影响，

地热资源分布具有明显的规律性和地带性。中国地处地中海 - 喜马拉雅地震带和环太平洋地震带上，西南地区属于地热异常区，拥有高温地热资源，主要分布在藏南、滇西、川西；其余地区分布着中低温地热资源，集中于东北平原、华北平原、江汉平原、山东半岛和东南沿海地区等。地处环渤海经济区的河北、山东等省份地热储层多、储量大、分布广，是中国最大的地热资源开发区。中国地热资源分布如表 4 所示。

表 4 中国地热资源分布

数据来源：能源基金会支持，中国国际工程咨询有限公司承担的治理散煤空气污染——浅层地热利用政策、技术导则及商业模式研究

资源类型		分布地区	
浅层地热资源		东北地区南部、华北地区、江淮流域、四川盆地和西北地区东部	
水热型 地热资源	中低温	沉积盆地型	东部中、新生代平原盆地，包括华北平原、河-淮盆地、苏北平原、江汉平原、松辽盆地、四川盆地以及环鄂尔多斯断陷盆地等地区
		隆起山地型	藏南、川西和滇西、东南沿海、胶东半岛、辽东半岛、天山北麓等地区
	高温	藏南、滇西、川西等地区	
干热岩资源		主要分布在西藏，其次为云南、广东、福建等东南沿海地区	

中国地质调查局 2015 年的调查评价结果显示，全国 336 个地级以上城市浅层地热能年可开采资源量折合 7 亿吨标准煤。全国水热型地热资源量折合 1.25 万亿吨标准煤，年可开采资源量折合 19 亿吨标准煤；埋深在 3000 ~ 10000 米的干热岩资源量折合 856 万亿吨标准煤。

根据“内蒙古自治区‘十四五’可再生能源发展规划”，在“十四五”期间内蒙古自治区将从推进重点区域地热勘查，推广浅层地热供暖，和探索中深层地热资源开发三方面科学有序推进地热能开发利用；到 2025 年地热能供暖面积力争达到 1000 万平方米。



3.4 创新技术和综合应用方案

为实现可持续、可承受及碳中和的目标，推荐的农村清洁取暖主要技术途径包括建筑节能改造、光储直柔系统、生物质能源、太阳能光热利用和空气源热泵热风机等节能低碳技术。在风光资源相对丰

富的西北、生物质资源相对丰富的东北、京津冀和汾渭平原等开展十省百县千村改造示范工程，加速开发当地可再生能源，推动农村生产生活电气化，持续提升农村电网服务水平，实现散煤替代目标。

3.4.1 建筑节能改造

从需求侧出发，降低农户用能需求，是推进农村用能低碳化的基础。需要研究农宅围护结构改造如何设计、实施，提出更加经济适用的解决方案，以标准作为改造的指导，采用适当的技术和试点示范验证其可行性。

由于特定的生活方式、建筑形式和基础设施情况等，农宅节能改造应因地制宜，而不是简单地照搬城市地区的改造方法。2012年，中国工程建设标准化协会发布了由中国建筑标准设计研究院、清华大学等单位负责编写的《农村单体居住建筑节能设计标准》（CECS332：2012），提出了不同气候区农村建筑围护结构热工性能指标参考建议。2013年，住房和城乡建设部发布了国家标准《农村居住建筑节能设计标准》（GB/T 50824—2013），也

提出了针对农宅围护结构节能设计的性能指标。

由于北方农村地区冬季每户常用的房间一般只有一个或两个，与整体保温改造方案相比，对这些常用房间围护结构进行局部保温改造的方案更可取。通过加强北墙、门窗和屋顶的保温性能，可以在节约成本的同时达到满意的节能效果。

如图10所示，在天花板上增加保温材料，或为楼层高度较高的房间增加带有保温树脂隔热板的吊顶，可以减少房间上部无人区域的无效热损失。以北外墙为主，东西外墙为辅，改善常用房间的墙体保温，既简单又经济，内保温材料可采用聚合物树脂保温板或保温墙纸。

图 10 经济型吊顶和外墙内保温



经济型保温技术可与农村建筑的实际情况、取暖需求和经济水平相结合，实现针对性更强、更加高效的保温目标。采取大用大保（温）、小用小保、不用不保的原则，开展吊顶保温、北墙内保温贴、

外窗保温帘、外门保温帘等靶向保温改造，在实现节能30%的基础上确保单户改造总投资平均小于4000元。

3.4.2 光储直柔系统

中国未来低碳能源体系将以发展低碳电力为主。因此，在电气化趋势下未来农村能源也将转为以电为主的形式，构建适应未来电力供给和需求模式的新建筑供配电系统具有重要意义。农村光储直柔

系统是发展农村屋顶光伏的重要途径，如图 11 所示。农村发展光伏产业可以创造新的就业机会和商业机会，需要从技术研发、试点、监控和电网响应等方面进行研究。

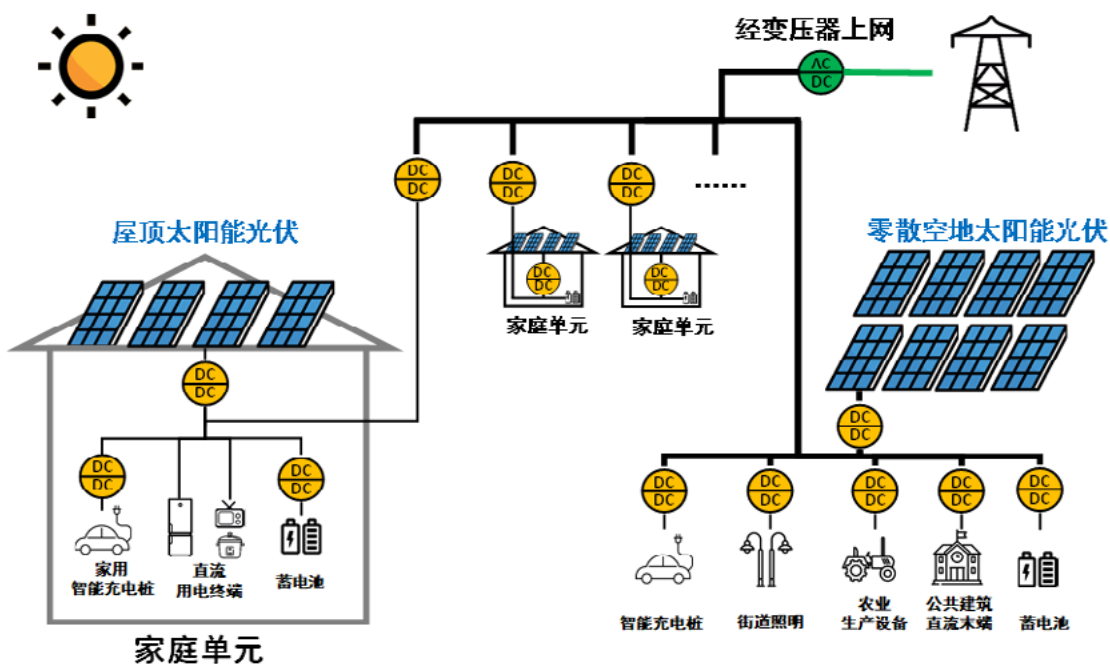
图 11 农村分布式屋顶光伏



光储直柔系统的原理如图 12 所示，它可以同时与农村冬季取暖和电气化系统相集成，通过光伏板和蓄电池相结合，利用低压直流电为电网成本高的地区提供分布式离网电源。在功率损耗方面，分布

式电源的成本明显优于远程传输。未来农村家庭光储直柔系统将提供价格合理、清洁且环保的电能，显著改善生活条件和生活质量⁷。

图 12 村级光储直柔系统



3.4.3 生物质能源多途径清洁利用

生物质能源的收集、运输、储存、加工和利用应进行一体化的综合设计和实施。采用分布式生物质颗粒燃料加工新模式可以有效地避免大规模集中处

理生物质能源的弊端，是保证生物质能源清洁利用的有效途径，如图 13 所示。

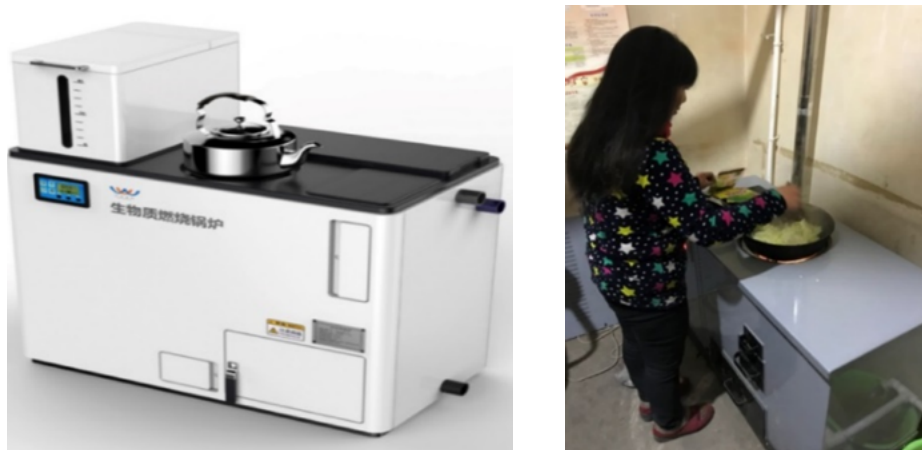
图 13 分布式生物质成型燃料加工模式⁸



生物质颗粒燃料的特性决定了其燃烧的特殊性。通过对生物质炉具进行合理化供风设计，可以显著减少颗粒物和一氧化碳等污染物的排放，实现燃烧木质颗粒的细颗粒物排放因子降低至每千克干燃料 0.3 克、燃烧秸秆颗粒的排放因子降低至每千克干燃料 0.8 克的水平，两者都远低于散煤的排放因子，且热效率可达到 80% 以上，远高于散煤土暖气（约 30%）。

考虑到农村居民的烹饪需求，一些生物质颗粒取暖炉还配备了烹饪功能，如图 14 所示。该炉还可以有效利用原有的散热器，解决家用热水问题，从而提高农村居民生活质量。此外，每个家庭都是一个独立的系统，不涉及外部网络改造，也不会增加对电网的需求。

图 14 取暖与烹饪两用型生物质炉具



未来生物质能的利用还可以充分和光储直柔系统相结合，构建一体化的农村可再生能源系统。未来农村屋顶光伏发电量将远高于自身用电量，多余电力可以用于制造生物质成型燃料。农村大规模推进屋顶光伏的安装，使得光伏电冬夏不平衡的特性日趋凸显，生物质能可充分发挥零碳优势，建立调峰

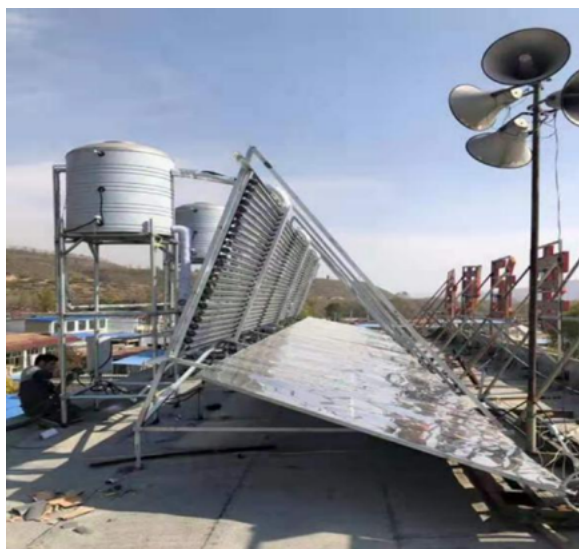
电厂，平抑光伏电的季节不平衡性，同时作为电网的应急和备用电源。随着农村屋顶光伏电力不断发展，富余电力也可以用于给生物质运输载具和电动农机具充电，大幅降低收集和运输成本，利于生物质能的推广应用。

3.4.4 太阳能光热利用

传统的太阳能光热取暖已经在不同的地区进行了尝试，但将这项技术推向市场还需要在现有基础上进行技术创新。图 15 所示的设计通过耦合太阳能集热器和反射器，有效解决了冬季和夏季太阳辐射

强度和需求之间的不匹配问题，将水平太阳能集热器阵列与底部以一定倾斜角度放置的反射器相结合，可以提高冬季收集的热量，减少夏季过热，从而更适合应用于冬季取暖。

图 15 带有反光镜的真空管集热器太阳能户用取暖系统



3.4.5 高效空气源热泵热风机

近年来，中国在低温空气源热泵热风机技术方面取得了显著的进步，如图 16 所示，通过双级压缩

机技术、变频技术和新的系统设计，空气源热泵热风机可运行的最低环境温度已降至 -30°C 。

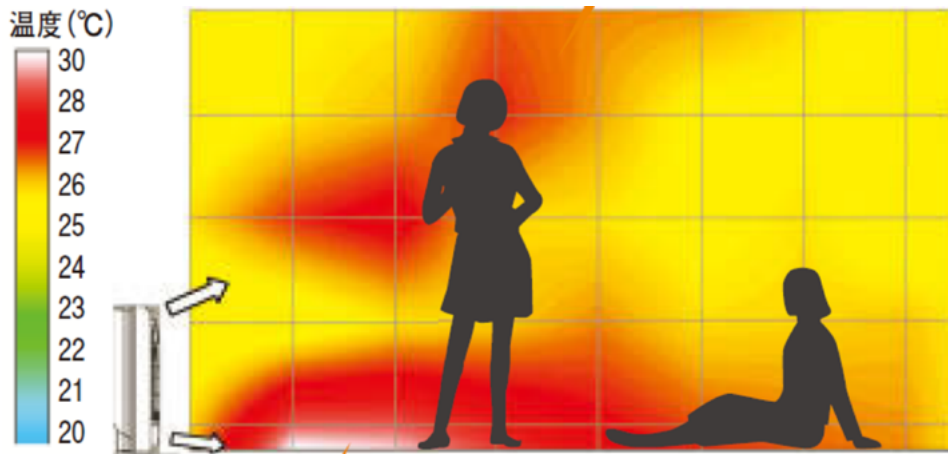
图 16 空气源热泵热气机的室内机和室外机



作为分体式取暖设备，空气源热泵热气机的安装与传统家用空调相同，可以单独安装在每个房间，独立控制、间歇操作，从而促进用户主动参与需求侧调节，具有很大的节能潜力⁹。

室内机安装在地面上，使热空气靠近地面流动，从而对人员所处区域的空气进行加热，如图 17 所示，它加热房间的速度比传统的地板采暖或散热器更快。

图 17 空气源热泵热风机温度分布



此外，空气源热泵热风机对配电容量的需求远低于热水热泵和其他电加热形式，可以降低电网升级改造投资。由于每套机组都是一个独立的供暖系统，

没有水系统，可以避免冬季管道冻结等问题。该技术已成为一种十分可靠的取暖技术，适合除高寒地区以外的广大农村地区的实际情况和取暖需求。

3.5 地方技术应用案例

3.5.1 山东省商河县空气源热泵示范项目

商河县位于山东省济南市北部，属寒冷地区，2017年以前农户取暖方式以燃煤炉和散热器为主，

如图 18 所示。户均取暖能耗为 937 千克标准煤 / 年，花费 1000 元以内。

图 18 2017 年以前商河县典型农宅及取暖方式



该示范项目以“四一”模式（用户初投资不超过一万元、无补贴的年取暖运行费每年不超过一千元、设备一键式智能化操作，项目整体基于一个顶层规划）为整体目标，从经济型建筑节能改造、清洁热源和远程能耗监测平台（见图 19）三个方面开展工作。经济型农宅保温技术包括室内吊顶保温隔热包、

室内新增高分子树脂保温吊顶、北外墙内侧高分子树脂保温板、门窗内保温窗帘等。此外，该项目选用低温空气源热泵热风机作为取暖设备，并按照县政府统筹领导的原则，以清华大学作为技术咨询单位，确保项目技术层面的可实现性。

图 19 商河县热泵热风机运行大数据监测平台



为探索和验证空气源热泵热风机的应用效果，项目团队对当地典型户进行了为期 90 天的测试。该建筑总面积为 186.2m²，并在客厅安有一台热风机，由于用户经常出入房间且着装较多，室内温度维持在 12℃左右即可接受，结果显示其日均耗电量仅为 10.3 千瓦时，节能效果明显。

通过经济型建筑节能和清洁热源改造，以及智慧

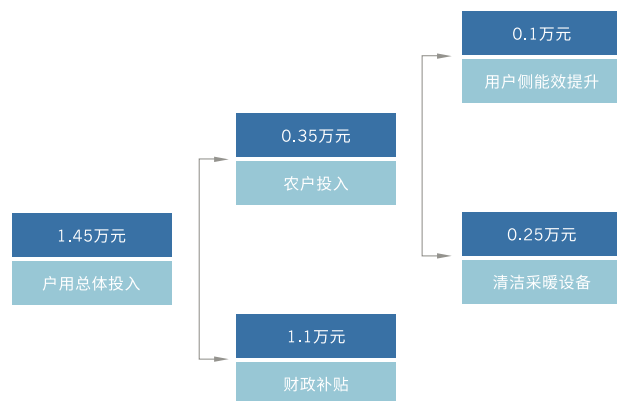
大数据平台为整个项目赋能，商河县走出了一条“清洁供、节约用、能承受、可持续”的农村清洁取暖创新道路。2019 年 3 月 5 日，住房和城乡建设部在商河县组织召开首届中国农村清洁供热国际研讨及现场交流大会并对“商河模式”给予高度评价，认为其值得在全国推广。此外，商河县还被生态环境部授予“国家生态文明建设示范县”，成为商河县社会发展的里程碑。

3.5.2 河南省鹤壁市生物质能清洁取暖示范项目

鹤壁市位于河南省北部，总人口 165 万人，作为全国重要的粮食、禽类产地，其秸秆、禽畜粪便、能源林等生物质资源丰富。清华大学项目团队针对当地 7 类农房建筑设计出对应的节能改造方案，并

编制了《鹤壁市既有农房能效提升技术导则（试行）》10；此外，按照“企业为主、政府推动、居民可承受、运行可持续”的原则，还提出了“补初装不补运行”的财政补贴机制（图 20）。

图 20 鹤壁市“补初装不补运行”补贴模式



鹤壁市通过围护结构节能改造，实现建筑能效提升 41%。通过实施低温空气源热泵热风机或生物质取暖两种模式，确保居民清洁取暖年运行成本控制在 1000 元左右。此外，该市还建立了生物质全产业链运行服务链，并已推广安装 1.26 万户智能化生物质颗粒取暖炉，测试显示其平均出水温度为 44℃ ~

56℃，供暖季平均消耗颗粒燃料 2 吨，年运行费用约 1000 元。对典型农户内热风机运行效果的测试显示，供热期间室内温度保持在 17℃以上，日均电耗为 0.37kWh/m²，户均取暖费用在 800~1200 元左右，用户可以完全承受。

鹤壁市清洁取暖“补初装不补运行”的补贴机制与“四一模式”相结合，有效推进了农村地区居民生活的“无煤化”，多次受到住建部、生态环境部

等国家部委的认可，成为多地市考察学习的优秀案例。

3.5.3 河北省雄安新区地热供暖

河北省雄县是我国最早开展地热供暖的地区之一，截至2017年7月底，雄县区域地热供暖能力已超过450万平方米，以地下水作为媒介，将地下水热能源与自来水进行热量转化，只取热不采水，进行百分之百同层回灌，零排放、零污染，不浪费水资源，不污染地下水，实现地热资源可持续开发。项目采用“建设、拥有、经营”（BOO）的经营方式，企业采取“自主投资、自主运营，自负盈亏”的方式，为雄县提供地热供暖服务。在我国华北地区地热资

源条件良好，地质条件便于回灌的地区（如沧县隆起南翼、鲁西隆起区、关中盆地北缘和冀鲁豫结合部等）适宜采用地热供暖。

同时，地热供暖也存在一定不足，如前期勘探时间长、建设投资大、投资回收期长、快速发展比较困难。如果地热水回灌不能得到有效执行，将会破坏地下水资源，引发严重负面效应。



图片著作权：清华大学



04 农村能源和碳排放预测分析

Outlook of rural energy use and carbon em

4.1 原则

中国农村地区现状建筑用能折算直接和间接碳排放约 4.7 亿吨，随着北方清洁取暖行动的推进，以及城镇化进程带来的农村建筑用能面积减小，农村地区生活用能已于 2016 年达到峰值。设计未来碳中和的路径，首先要从需求侧出发，降低农户的用

能需求，提高能源效率，这是农村用能低碳化的基础；从供给侧，应大力发展以生物质能源和屋顶光伏为主的可再生能源。以下从需求侧、供给侧两个角度，对农村能源供需平衡情景做出了分析预测。

4.1.1 能源需求侧情景预测

农村建筑碳中和的路径分析离不开对农村建筑能源的分析，如 3.3 所述，未来农村能源应以围护结构节能改造为基础，大力发展生物质能源和屋顶光

伏。按照未来发展速度不同，可将能源需求侧发展情景分为三种，包括理想情景、保守情景和维持现状情景，各情景具体改造情况和能耗占比见表 5。

表 5 能源需求侧发展情景分析

能源需求侧发展情景类型	农村采暖建筑围护结构节能改造情况	农村采暖和炊事用能中可再生能源占比
理想情景	2030年达到30%，2060年达到90%	2030年达到70%，2040年达到100%
保守情景	2030年达到10%，2060年达到30%	2030年达到30%，2050年达到100%
维持现状情景	不改造	无变化

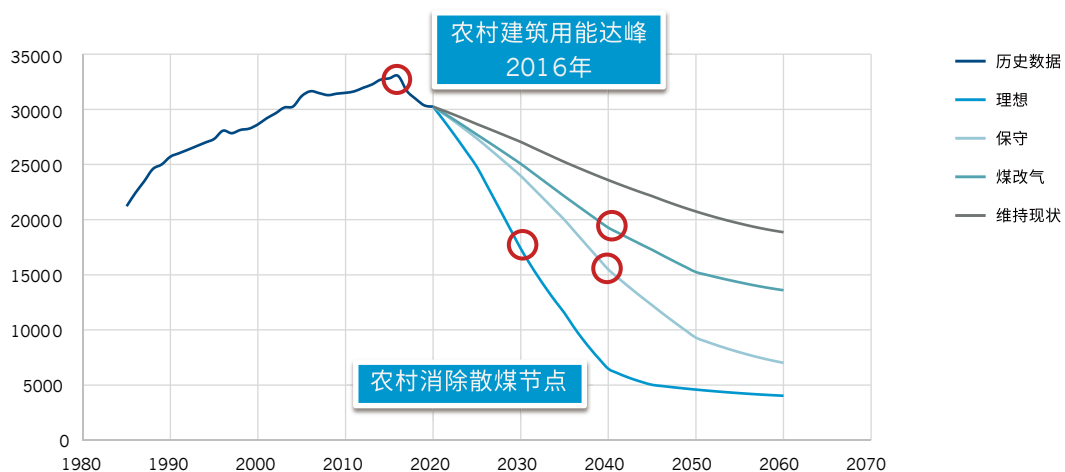


析 ission

按照上述各类情景发展，从农村历史能耗曲线上延伸，得到不同发展曲线，虽然总体都向下降，但其驱动因素和下降程度是不同的。如果维持现状，那么下降原因只是农村人口变少，而真正的驱动因

素为低效燃烧的散煤和散烧生物质等能源的替代，图 21 中红圈表示散煤替代时间节点，理想情景下，2030 年完成散煤替代，保守情景和煤改气情景下，则需要到 2040 年才能完成散煤替代。

图 21 各情景下农村用能变化预测



4.1.2 能源供应侧情景预测

与之相对，能源供应侧则可以按照屋顶光伏资源和生物质资源的开发速度，分为理想供给情景、适中供给情景和保守供给情景，具体分析见表 6。

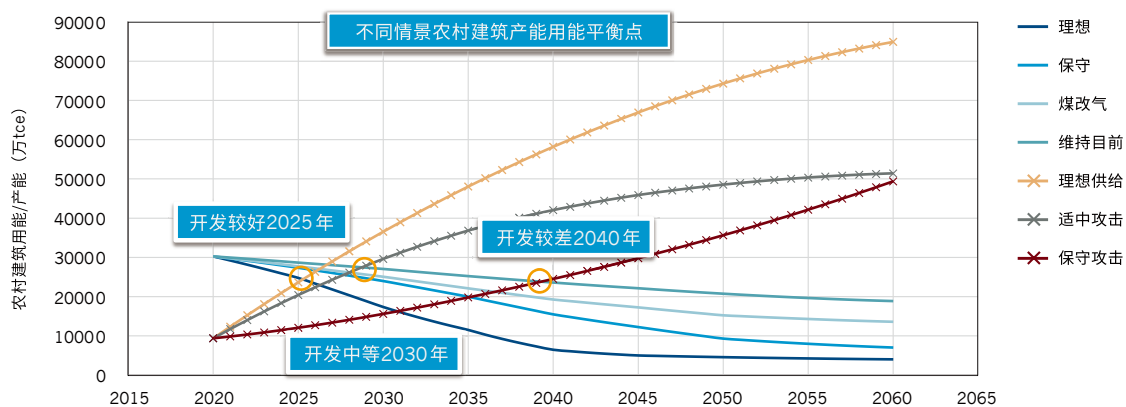
表 6 能源供给侧发展情景分析

能源供给发展情景	屋顶光伏资源开发比例	生物质资源开发比例（现状10%）
理想供给情景	2030年达到30%，2060年达到90%	2030年达到30%，2060年达到90%
适中供给情景	2030年达到15%，2050年达到50%	2030年达到25%，2060年达到50%
保守供给情景	2030年达到5%，2060年达到30%	2030年达到15%，2060年达到50%

进一步将农村能源需求和供应曲线一同绘制，基于实现散煤全部替代的时间节点提出了理想情景（激进目标）、保守情景（强化情景）和维持现状情景三种发展情景，如图 22 所示。

在理想情景中，需求侧和供应侧均开发较好的情况下，到 2025 年农村将全面淘汰散煤，实现产用能平衡；在适中供给情景中，这一进展将放缓，到 2028—2030 年农村散煤得以消除；而在保守供给情景中，则要到 2040 年农村才能全面淘汰散煤。

图 22 农村未来供需平衡情景预测

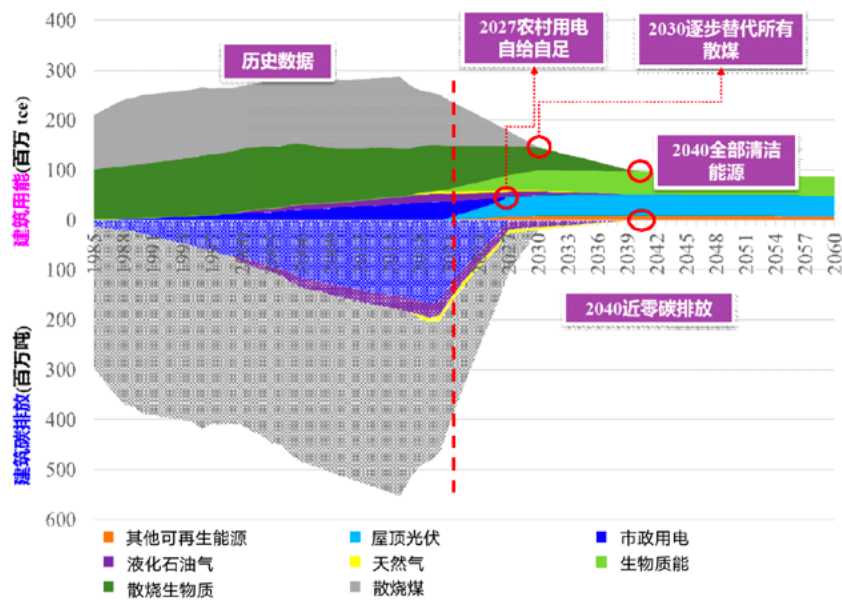


4.2 碳排放情景分析

在理想的发展情景下，农村能源消费量与碳排放量预测如图 23 所示，横坐标上方为农村建筑能耗历史构成和预测构成，横坐标下方为农村建筑碳排放的历史构成和预测构成。在理想情景下，农村 2027 年可实现屋顶光伏电力自给自足，2030 年

全部淘汰散煤，2040 年实现近零碳排放。这些过程可以总结为“五退两进”，“五退”指散煤、散烧生物质、高碳电力、液化石油气和天然气，“两进”指屋顶光伏和生物质成型燃料。

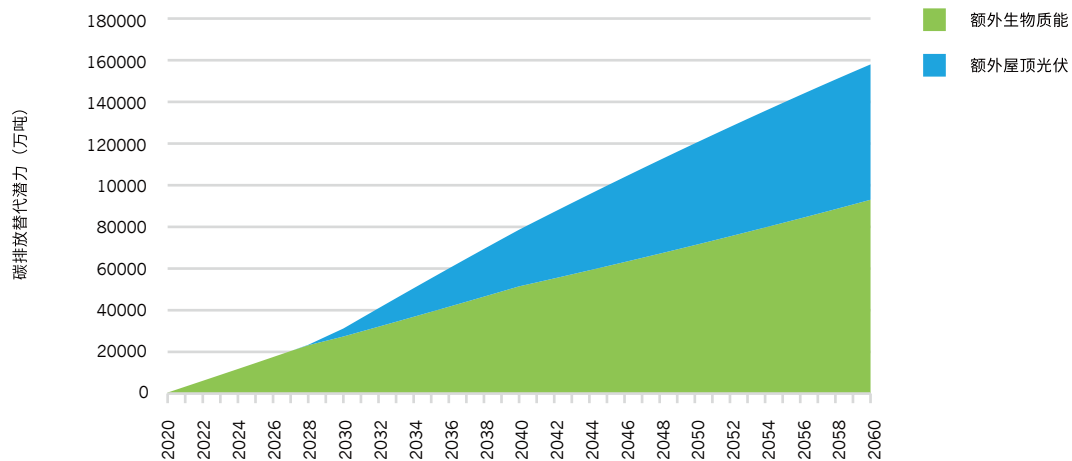
图 23 理想情景下农村能源消费量和碳排放量预测



以理想情景为目标大力发展农村可再生能源，至2060年农村满足自用后，额外屋顶光伏发电量能达到1.2万亿千瓦时，额外的生物质能达到7.9亿

吨标准煤，这些可再生能源将产生超过15亿吨的碳排放替代能力，如图24所示。

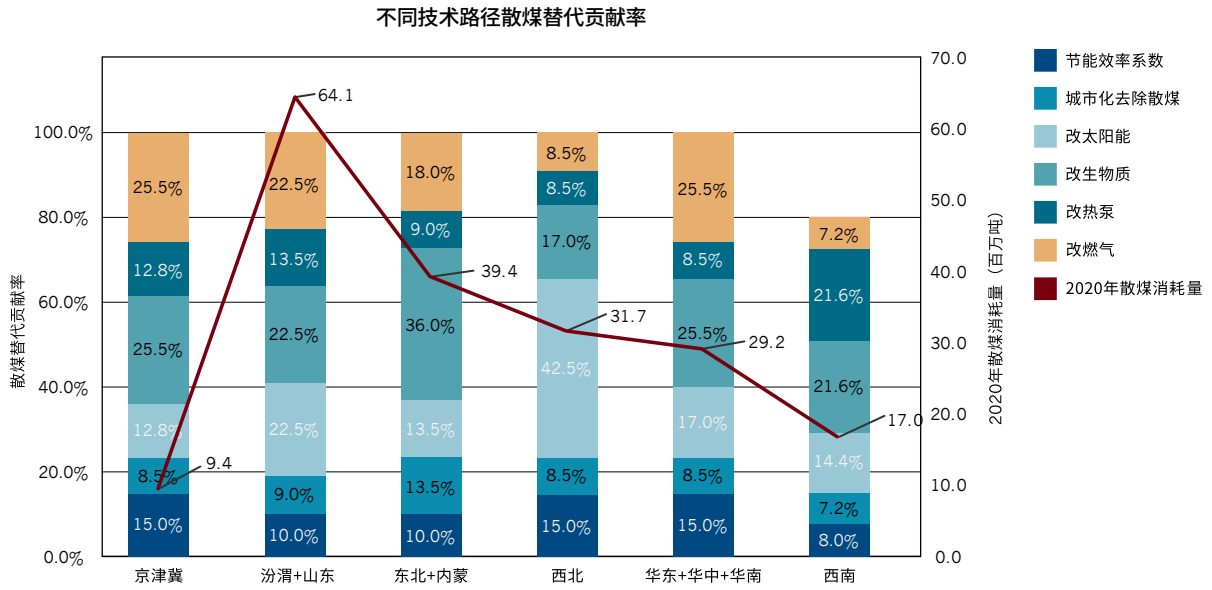
图 24 中国农村能源商业化的碳排放替代能力预测



基于全国农村用能需求、风光及生物质、地热等资源禀赋和经济承受能力，结合国家碳达峰、碳中和的整体目标，本研究提出了各区域实现消除散煤的技术路径。按照气候不同，我们将全国各省份划分为六类地区：京津冀地区、汾渭平原和山东地区、东北地区 and 内蒙古自治区、西北地区、西南地区，以及华东、华中和华南地区，并将替代路径设置为提高节能效率、城镇化农民上楼、改太阳能、改热泵、改燃气等方式。在理想情景下，至2025年，除西南地区外，其他区域均可实现散煤基本清零，各地

区淘汰散煤的技术路径及相应散煤替代贡献率如图25所示。在农村开展分布式光储直柔、生物质清洁供暖、低温空气源及地源热泵等可再生能源替代方式将占据主导地位。其中，东北、内蒙古等地区要充分利用当地秸秆等生物质资源丰富的优势，大力发展生物质燃气、生物质颗粒、配以高效净化设施的生物质锅炉等。西北地区则应大力发展光储直柔，以及太阳能直热、太阳能暖房等。而短期内，燃气在平原地区农村推广可能仍有一定效率优势。

图 25 分区域散煤替代理想情景预测（综合替代模式）





图片著作权：清华大学



05 “十四五”农村散煤替代政策建议

Suggestions for rural scattered coal reduction

为了支持农村清洁能源产供用技术路径的实现，需要从行政和市场两个角度完善政策机制，推进散

煤治理市场化，促进清洁供暖产业的相关投资。

5.1 构建政府综合管理体系

综合考虑农村可持续发展、农业绿色生产和农民生活状况，各部门应充分协作，制定农村清洁用能的目标、重点战略、路线图和“建设施工图”。进一步建立完善农村清洁供暖散煤替代的部际联席制度，形成一个统一领导、统一规划、顶层设计的局面，以解决重叠和不统一的管理问题。各级政府可以向试点城市学习，组建协同委员会管理清洁供暖，协调能源配置、环境要求、基础设施投资和财政支持。在制定目标、重点战略和路线图时，需要从农村、可持续发展、农业绿色生产和农民生计等多方面综合考虑。

上述机制可以由国家发展改革委牵头，其他有关部门分工负责。国家发展改革委应加强农村生物质能等清洁利用发展规划、基础设施投资。生态环境部应强化国家和关键区域散煤逐步淘汰战略和目标的制定，在非大气治理重点地区松绑生物质能清洁开发的限制，提出清洁使用要求。国家能源局应进一步加强生物质能可再生能源推广政策和定价机制。住房和城乡建设部应出台强化建筑节能和可再生能源供暖设备技术，支持农村清洁采暖产业的政策。财政部应加强优化补贴的针对性和有效性，建立重点区域环保基金、区域共同治理基金，

政策建议

Policy Recommendations in 14th Five Year Plan

支持建立可再生能源替代散煤的激励政策。农业农村部和国家乡村振兴局在散煤替代中发挥更重要的作用，重塑农村能源核算体系，以生物质加工和清洁利用为核心，制定农村能源发展规划。国家卫生健康委应将农村居民健康改善计划纳入“健康中国行动”，严控散煤和生物质直燃。

不同部门可能的职责分配示例如下：

- 国家发展改革委应制定农村清洁能源规划、清洁供暖暨散煤替代十四五规划，将农村能源发展基础设施投资建设作为双碳战略的重要构成。
- 生态环境部应开展国家和重点区域的散煤淘汰战略和目标设定，并研究将散煤治理效益纳入碳市场。
- 国家能源局应加强农村地区用能基础统计调查，研究制定农村地区基于产供用一体化的可再生能源推广政策和定价机制等。

- 住房和城乡建设部负责建筑节能与可再生能源装备技术、农村清洁取暖产业扶持政策等。

- 财政部应优化补贴政策、建立环保基金、区域共治基金等。

- 工业和信息化部应加大工业散煤淘汰和原料燃料煤替代技术研发等。

- 农业农村部、国家乡村振兴局应将散煤治理目标纳入乡村振兴规划、加快低碳零碳村庄建设、生物质能多途径清洁利用等。

- 国家卫生健康委应将农村居民健康改善计划融入“健康中国行动”的目标，加强对农户室内空气质量的监测和评估，积极宣传固体燃料的健康风险。

5.2 推动清洁取暖市场化和投融资建设

为促进可再生能源清洁取暖技术的开发、推广和利用，政府、企业、金融机构需要协作加强投融资

和商业模式开发，支持农村地区可再生能源的市场化、规模化发展。

5.2.1 完善财政和价格政策引导

完善精准补贴机制。补贴是培育市场、建立价格调节机制的有效手段。清洁取暖补贴首先要着力鼓励农村建筑节能改造，围护结构热性能改善后，取暖运行成本将大大降低。此外，对低收入社区应有优惠政策，调动居民合作，消除不平等。最后，通过补贴分担鼓励农村居民采用清洁取暖方式。

应进一步调整清洁取暖的电价和天然气消费价格，鼓励农村居民参与能源转型（煤改电、煤改天然气、煤改可再生能源等）。地方政府可以通过调整峰谷电价、延长峰谷电价的谷电时间，降低清洁取暖的电费成本。同样，对清洁取暖过程中的天然气消费，也要调整天然气价格和阶梯式用气标准。

建立鼓励清洁能源利用的价格机制。同时，政府

5.2.2 扶持农村清洁能源投资运营商

设立农村清洁能源综合运营商，负责当地农村散煤治理项目的投资和运营，以及发展分布式可再生能源维护及服务、生物质成型燃料加工等乡村能源站等清洁能源开发工作。采用政府购买服务与用户缴费相结合的方式，保证相关项目的投资收益，

政府协助相关项目争取政策性绿色贷款。允许有能力、有意愿的企业以建设-运营-转让（BOT）、公私合营、合同能源管理等多种商业模式参与项目的投资、建设和运营过程。

5.2.3 推动商业机构投融资

清洁取暖项目初期投资和运营成本高，单纯依靠政府补贴难以长期推广，因此，推动项目商业化发展势在必行。

低风险。二是鼓励投资风电光伏生物质能等技术相对成熟前期基础设施投资规模较低、投资回收周期较短供暖改造项目，稳定收益。三是将政府持续稳定的补贴作为稳定金融机构预期，提高其进入市场意愿的重要手段，使清洁取暖企业更容易获得信贷支持。

(1) 推动政策性银行落实政府制定的清洁取暖发展政策，安排政策性贷款和优惠贷款。例如，国家开发银行在推动清洁取暖企业融资过程中，融合自身融资优势与政府组织优势，形成系统优势进行市场建设，弥补清洁供热市场缺陷。

(3) 政府引导设立农村散煤治理专项绿色基金，授权专业投资机构进行管理，进行股权和债券投资，并联合金融机构对被投资企业和项目进行投贷联动的服务支持，放大政府投入农村散煤治理领域的支持。

(2) 引导商业性银行投资盈利性的清洁取暖项目。一是以县级政府为单位打包申请项目提升规模、降

5.2.4 丰富绿色金融产品

(1) 碳减排工具再贷款等

2021年11月，人民银行推出碳减排支持工具这一结构性货币政策工具，发放对象暂定为全国性金融机构。人民银行通过“先贷后借”的直达机制，对金融机构向碳减排重点领域内相关企业发放的符合条件的碳减排贷款，按贷款本金的60%提供资金支持，利率为1.75%。金融机构向重点领域发放碳减排贷款后，可向人民银行申请资金支持。该工具

的作用是支持清洁能源、节能环保、碳减排技术等重点领域快速发展，适用范围包括民用清洁采暖领域，以此来撬动更多社会资金促进碳减排。

银行应适度放宽清洁取暖产业的信贷政策，对不信同清洁取暖企业适用差异化信贷政策：一是增强对贷资金去向的规划调配，优先满足清洁取暖项目资金需要；二是对发展前景好且运营稳定的清洁取暖项目，适当延长贷款期限并适度降低贷款利率；

是建立绿色通道，简化清洁取暖贷款审批流程，加快清洁取暖贷款审批速度。

(2) 与碳市场的联通

民用散煤有上亿吨，考虑碳减排潜力，中长期形

成市场化。企业出售低碳设备助力居民碳减排，可赋予企业获得碳减排额度，纳入碳市场交易，形成激励机制。企业除了销售设备之外，还可以获得碳减排方面的收益。

5.2.5 形成政府、金融机构、企业协作机制

财政部、人民银行、生态环境部、国家发展改革委等几个部门合作，与金融机构对接，形成对接平台。可参考浙江的湖州市国家绿色金融改革创新试验区模式，设置对接平台，由金融机构竞价，政府出台配套政策，形成良好的对接机制。国有平台外部评级比较高，在银行融资还是发债方面都会有优势，地方政府、企业、农户在共同利益平台上做事，能够把中央各个方面的激励政策有效贯彻到执行层面。

金融主管部门运用相关措施鼓励金融机构在支持相关项目时综合考量经济效益和社会效益，履行相应的社会责任。例如，2019年以来，人民银行在山西长治市长子县开展了试点工作，引领金融机构推进绿色金融改革，尤其是推动清洁取暖的金融支持，助力打赢蓝天保卫战。人民银行长治市中心支行印发了《长治市金融支持农村清洁取暖试点的指

导意见》，要求金融机构调研项目特点、规律、信贷需求，构建特色服务工作机制。在长治市建立了常态化银政企沟通协作机制，推动政府配套政策落地落实。该行还制定了《清洁供暖贷款规范标准》，有效规范信贷行为。推出“燃电贷”和“沼气贷”两款特色产品。截至2021年10月末，长子县辖区金融支持清洁供暖贷款余额2.86亿元，较年初增加0.65亿元，增长29.5%；同比增加1.85亿元，增长184.2%。人民银行长治市中心支行建立了金融支持清洁供暖信息平台，将市县发展改革部门、财政部门，以及长子县辖区六家金融机构和七家清洁供暖企业全部纳入，促进信息共享、经验交流，降低了金融机构和企业的信息搜寻成本，对掌握项目进度、及时解决堵点难点、促进项目落地起到积极作用。



5.3 散煤替代的成本效益分析

散煤替代收益主要包括健康、环境、气候和经济方面的改善。从健康角度来看，散煤燃烧会产生大量的细颗粒物和有害气体，而且基本上是直排，所以会直接危害人体健康。根据北京大学相关研究，散煤替代可以有效防止中国每年 36 万人过早死亡。

从环境和气候角度来看，大力促进散煤治理每年可以有效避免 10 亿吨二氧化碳、300 万吨二氧化硫、90 万吨氮氧化物和 300 万吨细颗粒物的排放，使中国北方地区的细颗粒物平均浓度降低 10 微克每

立方米。此外，到 2060 年，额外的可再生能源应用可能带来 15 亿吨碳排放减排能力。逐步淘汰散煤不仅将对健康、环境和气候产生明显效益，还会在经济方面发挥重要作用。首先，相关政策促进了可再生能源产业的发展，一方面涉及现有产业的转型，另一方面涉及新兴产业的增长。其次，新兴产业和新项目可以创造 50 多万个就业机会，同时促进当地社会发展。最后，发展农村光伏发电和生物质能产业每年可创造 2736 亿元（430 亿美元，汇率 6.36）的收入。

表 7 中国完成散煤淘汰的潜在共同效益

数据来源：由能源基金会支持，清华大学实施的“可再生能源替代农村散煤战略研究”¹¹。

领域	内容	数量
健康	预防过早死亡	36万人 ⁴
环境和气候	减少CO ₂ 排放	10亿吨
	减少SO ₂ 排放	300万吨
	减少NO _x 排放	90万吨
	减少PM _{2.5} 排放	300万吨
	到2060年可再生能源带来的碳排放替代能力	15亿吨
经济	促进可再生能源产业发展	300万吨
	创造就业机会	超过50万个
	光伏发电和生物质能产业的额外收入（清洁能源领域）	2736亿元（430亿美元）





随着民用散煤治理工作的不断推进，选择因地制宜的路径显得尤为重要。在双碳背景下，应在以下领域重点布局。

- 加强农村用能数据统计分析。希望能源、住建、农业农村等有关部门可以建立系统的农村用能统计系统，统筹整合数据，加强分析，为管理决策提供支撑。

- 推动农村产供用一体化可再生能源系统。以减污、降碳、节能、舒适、经济五位一体为原则，走全面电气化之路，用电力提供生产、生活和交通全面用能，促进现代化农村屋顶光伏资源和生物质能等可再生能源的发展。

- 构建政府统筹协调的综合管理体系。形成统一领导、统一规划、顶层设计的局面，明确部门职责，制定十四五农村清洁能源发展规划和清洁供暖暨散煤替代工作计划。

- 多渠道投融资和市场机制助力。形成政府、金融机构、企业协作机制。财政部、人民银行、生态环境部、国家发展改革委等部门合作，与金融机构对接，形成对接平台。金融主管部门运用相关措施鼓励金融机构在支持相关项目时综合考量经济效益和社会效益，履行相应的社会责任。

参考文献

REFERENCES

1. Children's Investment Foundation, Hewlett Foundation, Natural Resources Defense Council, Energy Foundation, China Energy Conservation Association, China Dispersed Coal Management Report 2017.
2. Children's Investment Foundation, Hewlett Foundation, Natural Resources Defense Council, Energy Foundation, China Energy Conservation Association, China Dispersed Coal Management Report 2020.
3. 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 2020[M]. 中国建筑工业出版社, 北京, 2020.
4. Shu T. et al., Coal is dirty, but where it is burned especially matters, Environ. Sci. Technol. 2021, 55, 11, 7316–7326
5. 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
6. World Bank Group, China Urban-Rural Construction Statistical Yearbook 2020. 2020.
7. 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 2016[M]. 中国建筑工业出版社, 北京, 2016.
8. 农村地区的新能源系统: 分布式革命的第一步. 中国科学新闻 2020-03-18(003).
9. Ma, R. J.; Mao, C. L.; Ding, X. L.; Deng, M. S.; Baumgartner, J.; Wang, X. L.; Wang, X. C.; Yang, W.; Liu, H. C.; Shan, M.; Yang, X. D., Diverse heating demands of a household based on occupant control behavior of individual heating equipment[J]. Energy Build 2020, 207.
10. 杨旭东, 单明, 邢永杰, 等. 我国北方农村清洁取暖适宜模式研究——基于河南省鹤壁市和山东省商河县的实践 [J]. 环境与可持续发展, 2021,46(03):67-74.
11. Strategy of rural area scattered coal phase-out with renewable energy, Tsinghua University, supported by EFC.

注: 能源基金会环境管理项目支持的散煤治理的主要课题包括:

1. 中国矿业大学(北京)联合煤炭科学研究总院承担《基于经济承受能力的分散燃煤治理途径和政策措施》
2. 中国投融资担保股份有限公司承担《散煤污染治理的资金机制研究》
3. 中国节能协会和 NRDC 承担《中国散煤综合治理调研报告 2019》
4. 生态环境部环境规划院承担《民用取暖散煤污染控制可视分析平台》
5. 中国国际工程咨询有限公司承担《治理散煤空气污染——浅层地热能利用政策、技术导则及商业模式研究》
6. 生态环境部环境规划院承担《建立中国环境政策的费用效益分析机制(第二期)——以汾渭平原“蓝天保卫战三年行动计划”跟踪评估为例》
7. 北京大学承担《中国农村空气污染的健康与气候影响及控制策略》
8. 北京市煤气热力工程设计院有限公司承担《京津冀散煤治理实施评估分析》
9. 生态环境部环境规划院承担《“十四五”国家散煤污染控制策略研究》
10. 清华大学承担《中国农村清洁能源体系及支撑技术》
11. 清华大学承担《青海省与内蒙古自治区农村散煤治理技术策略及商业模式研究》





Tel: +86-10-5821-7100

Email: china@efchina.org

Web: <https://www.efchina.org/Front-Page-zh>
Add: 北京市朝阳区建国门外大街19号国际大厦2403,
2403,CITIC Building,19 Jianguomenwai Street,
Chaoyang District,Beijing
Postal code:100004