



# 京津冀散煤治理实施评估分析 终期报告

Assessment and Analysis Interim Report on Implementation of  
Disaggregated Coal Control in the Beijing-Tianjin-Hebei Region

北京市煤气热力工程设计院有限公司

2021.11.30

## 作者

郑娜，煤热院道石研究院研究员，从事供热领域相关研究，[zhna@gasheat.com.cn](mailto:zhna@gasheat.com.cn)

杨杰，煤热院规划咨询院副院长，从事综合能源相关研究，[yjie@gasheat.com.cn](mailto:yjie@gasheat.com.cn)

## **ABOUT THE AUTHORS**

Zheng Na, Engaged in related research in heating field, [zhna@gasheat.com.cn](mailto:zhna@gasheat.com.cn)

Yang Jie, Engaged in comprehensive energy related research, [yjie@gasheat.com.cn](mailto:yjie@gasheat.com.cn)

## 致谢

本研究由北京市煤气热力工程设计院有限公司（简称：煤热院）统筹撰写，由能源基金会提供资金支持。

本研究是能源基金会环境管理项目组下的课题，课题名称是《京津冀散煤治理实施评估分析》。

研究团队诚挚感谢以下专家在项目研究过程中作出的贡献：

段洁仪 中国能源研究会分布式能源专业委员会 主任

杨旭东 清华大学教授

赵文瑛 国家电网产业投资基金公司 博士

## **ACKNOWLEDGEMENT**

This report is a product of Beijing Gas and Heating Engineering Design Institute Co., Ltd and is funded by Energy Foundation China.

This report is part of the research project under Energy Foundation China's Environmental Management Task Force/Program, which is Assessment and Analysis Report on Implementation of Disaggregated Coal Control in the Beijing-Tianjin-Hebei Region.

The team would like to thank the following experts for their contribution to this research:

Duan Jieyi      Director of Distributed Energy Committee, China Energy Research Society

Yang Xudong    Professor of Tsinghua University

Zhao Wenying    Ph. D. of State Grid Industry Investment Fund

## 目 录

1 京津冀散煤替代的历史过程与发展现状 .....	1
1.1 散煤定义及本报告研究范围 .....	1
1.2 “十三五”散煤治理发展历程 .....	2
1.2.1 国家散煤治理实施过程 .....	2
1.2.2 京津冀散煤治理实施过程 .....	6
1.3 京津冀散煤治理现状 .....	19
1.4 本章小结 .....	31
2 散煤治理技术路线 .....	31
2.1 京津冀清洁取暖现状 .....	31
2.2 清洁能源采暖技术 .....	32
2.3 典型系统流程图 .....	34
2.4 采暖技术分析 .....	36
2.5 本章小结 .....	41
3 问卷调研及数据统计分析 .....	42
3.1 问卷调研与实施 .....	43
3.2 调研数据统计分析 .....	46
3.3 调研过程中发现问题 .....	57
4 清洁取暖方式影响因素及分析 .....	67
4.1 影响因素分析 .....	67
4.2 分析方法和参数说明 .....	70
4.3 “煤改电”成本-收益核算 .....	76
4.3.1 收益核算 .....	76
4.3.2 成本核算 .....	80
4.3.3 收益-成本比 .....	81
4.4 “煤改气”成本-收益核算 .....	84

---

4.4.1 收益核算 .....	84
4.4.2 成本核算 .....	85
4.4.3 收益-成本比 .....	87
4.5 本章小结 .....	88
5 存在问题及对策建议 .....	89
5.1 存在问题及对策建议 .....	89
5.2 愿景畅想 .....	92

# 1 京津冀散煤替代的历史过程与发展现状

## 1.1 散煤定义及本报告研究范围

京津冀地区重污染天气频发时段与集中燃煤在冬季高度重合，以农村民用冬季采暖、工业炉窑散烧为主的散煤燃烧带来的大气污染物排放，对空气质量和人体健康造成一定危害，散煤是大气污染治理的难点和重点，是解决京津冀地区大气污染问题的重要环节。

环保、能源、工业等相关政策中，对于“散煤”的表述各有不同：

- **部分文件强调煤炭质量：**2014年，国家发改委、环保部等六部委制定的《商品煤质量管理暂行办法》提出“京津冀及周边地区、长三角、珠三角限制销售和使用灰分  $A \geq 16\%$ 、硫分  $S \geq 1\%$  的散煤”。
- **部分文件强调煤炭使用方式：**2016年，环保部制定的《农村散煤燃烧污染综合治理技术指南（试行）》指出“散煤指未经成型加工的用于居民炊事、取暖等分散式使用的动力用煤”，国家标准《商品煤质量：民用散煤》（GB 34169-2017）指出，“民用散煤是指未经加工成型的民用煤”。
- **部分文件强调煤改清洁能源途径：**《煤炭清洁高效利用途径（2015-2020年）》指出，“发展热电联供、集中供热等供热方式，以天然气（煤层气）、电力等清洁燃料替代分散中小燃煤锅炉”、“加大民用散煤清洁化治理力度”。

综合目前已有政策文件对“散煤”的定义，民用散煤主要指城镇和农村地区居民家中取暖、厨炊、热水等散烧煤。

根据调研数据，2017年、2018年、2019年散煤削减量分别约6500万吨、6100万吨、4938万吨，其中民用散煤减量约为1800万吨、1680万吨、2469万吨，民用散煤减量贡献率分别为28%、28%、50%。据统计数据，农村采暖散煤减少量占民用散煤减少量90%左右。

所以，本项目研究范围为京津冀地区农村家中采暖散烧煤。

## 1.2 “十三五”散煤治理发展历程

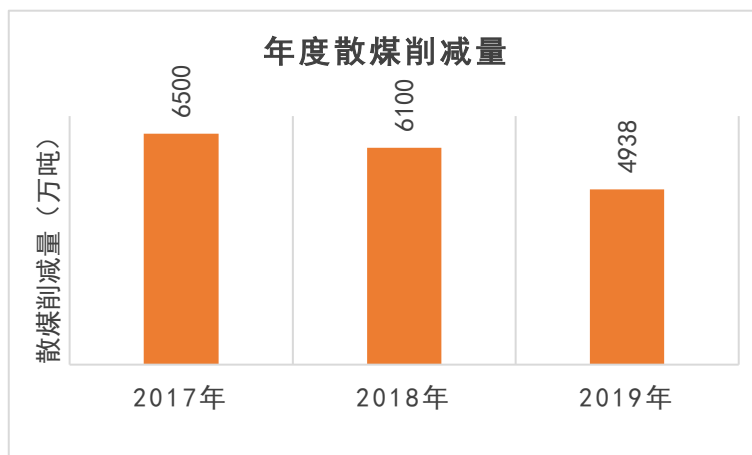
### 1.2.1 国家散煤治理实施过程

“十三五”期间，中央和地方政府出台了一系列散煤治理政策，各部门多措并举、多管齐下，“十三五”期间散煤治理成效显著。环境局、能源局、财政部等多个部门联动，治理力度空前，成效显著。

北方清洁取暖的推进是散煤治理重要抓手。习近平总书记在2016年12月作出了关于加快北方地区清洁取暖重要指示。2017年3月，李克强总理在《政府工作报告》中提出，要加快解决燃煤污染问题。全面实施散煤综合治理，推进北方地区冬季清洁取暖，完成以电代煤、以气代煤300万户以上，全部淘汰地级以上城市建成区燃煤小锅炉。至此，中国散煤综合治理和北方清洁取暖成为政治任务，之后，相关政策密集出台，有序推进。

- **2013年**，国务院发布《大气污染防治行动计划》，提出“通过政策补偿和实施峰谷电价、季节性电价、阶梯电价、调峰电价等措施，逐步推行以天然气或电替代煤炭”，强调了煤改气煤改电的路径选择。
- **2016年**，国家能源局发布《关于推进电能替代的指导意见》，重新强调了电能替代的战略地位，提出“2016-2020年，实现能源终端消费环节电能替代散烧煤、燃油消费总量约1.3亿吨标煤”。
- **2017年12月**，十部委印发的《北方地区清洁取暖规划（2017-2021）》（以下简称《规划》）。《规划》对北方地区清洁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年**，国务院发布了《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（以下简称《计划》）。《计划》明确了减排的指导思想、总体目标、重点范围，提出调整优化产业结构，推进产业绿色发展的思路，并提出了关于加快调整能源结构，构建清洁低碳高效能源体系的相关要求。

“十三五”期间，散煤治理持续深入，散煤治理效果显著。仅 2017-2019 三年间，中国散煤削减总量约 1.75 亿吨。2019 年，民用领域散煤治理贡献率达到 50%。<sup>1</sup>



规划初期，2016 年底，我国北方地区城乡建筑取暖总面积约 206 亿平方米，燃煤取暖面积约占总取暖面积的 83%，清洁能源取暖面积约占总取暖面积的 17%。经过 4 年清洁能源改造，2019 年底，北方地区清洁能源取暖面积约占总取暖面积的 55%<sup>2</sup>。清洁能源取暖率增加 38%，成效显著。

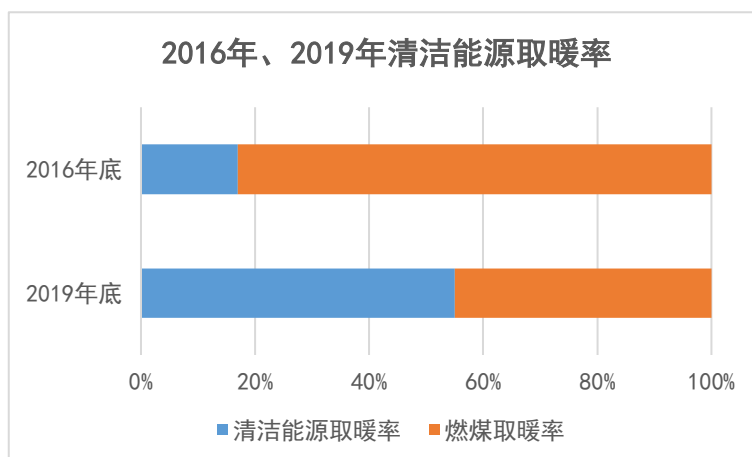


图1.1 2016年、2019年清洁能源取暖率

国家散煤治理的政策脉络较为清晰，在 2013 年“大气十条”和 2018 年“蓝天保卫战”两个政策指引下，相关规划、行动方案、财政支持等各类政策相继出台，有力的保障了散煤治理的顺利实施。



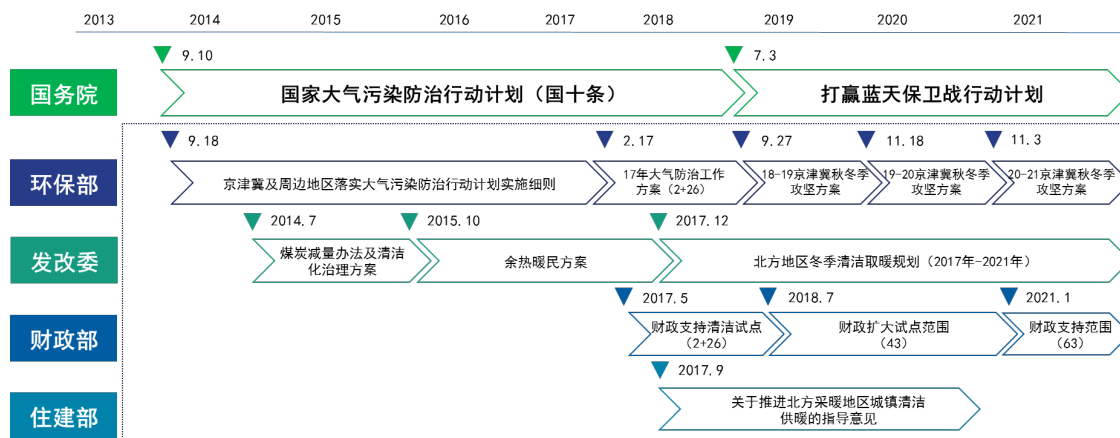


图1.2 近十年国家政策发展脉络图

自 2013 年国家发布大气十条政策以来，国家先后颁布几十项与散煤治理有关的政策，如表 1.2 所示。

尤其是“十三五”以来，国家环保部连续五年发布《京津冀及周边地区秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》，重点从京津冀地区扩展到“2+26”再到增加汾渭平原和其他区域，效果明显。并且从连续几年的实施方案，能够看出考核指标和散煤替代的变化和进展。

表1.1 近五年京津冀及周边地区秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案对比表

	2017-2018年	2018-2019年	2019-2020年	2020-2021年	2021-2022年																																	
实施范围	2+26	2+26	2+26	2+26+汾渭平原	2+26+汾渭平原+河北北部、山西北部、山东东部和南部、河南南部城市																																	
主要指标	京津冀及周边地区PM 2.5 平均浓度同比下降 15%左右，重度及以上污染天数同比减少 15%左右	京津冀及周边地区PM 2.5 平均浓度同比下降 3%左右，重度及以上污染天数同比减少 3%左右	京津冀及周边地区PM 2.5 平均浓度同比下降 4%左右，重度及以上污染天数同比减少 6%左右	2020年10-12月，京津冀PM2.5控制在63微克/立方米以内，重度及以上污染天数控制在5天以内；2021年1-3月，京津冀PM2.5平均浓度均控制在86微克/立方米以内，各城市重度及以上污染天数控制在12天以内	<table border="1"> <thead> <tr> <th>城市</th> <th>PM<sub>2.5</sub>浓度控制目标 (微克/立方米)</th> <th>重度及以上污染天数控制目标 (天)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>北京市</td> <td>45.3</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>天津市</td> <td>53.8</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>石家庄市</td> <td>66.7</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>唐山市</td> <td>57.5</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>秦皇岛市</td> <td>46.4</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>邯郸市</td> <td>63.5</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>邢台市</td> <td>64.3</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>保定市</td> <td>60.4</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>张家口市</td> <td>30.9</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>承德市</td> <td>35.7</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	城市	PM <sub>2.5</sub> 浓度控制目标 (微克/立方米)	重度及以上污染天数控制目标 (天)	北京市	45.3	6	天津市	53.8	4	石家庄市	66.7	12	唐山市	57.5	4	秦皇岛市	46.4	3	邯郸市	63.5	10	邢台市	64.3	10	保定市	60.4	6	张家口市	30.9	4	承德市	35.7	2
城市	PM <sub>2.5</sub> 浓度控制目标 (微克/立方米)	重度及以上污染天数控制目标 (天)																																				
北京市	45.3	6																																				
天津市	53.8	4																																				
石家庄市	66.7	12																																				
唐山市	57.5	4																																				
秦皇岛市	46.4	3																																				
邯郸市	63.5	10																																				
邢台市	64.3	10																																				
保定市	60.4	6																																				
张家口市	30.9	4																																				
承德市	35.7	2																																				
	头三年采用同比百分数作为主要考核指标			近两年采用绝对值作为主要考核指标																																		
散煤替代任务	2017年10月底前完成散煤替代300万户以上	2018年10月底前，完成散煤替代362万户	2019年10月底前，完成散煤替代524万户	2020年10月底前完成散煤替代709万户	2021年采暖季前完成散煤替代348万户																																	
	2018、2019年京津冀地区达到改造峰值，2020、2021年向外围扩展																																					

## 1.2.2 京津冀散煤治理实施过程

2014年2月，习近平总书记在北京主持召开座谈会，指出“实现京津冀协同发展，是探索生态文明建设有效路径、促进人口经济资源环境相协调的需要”。2015年4月，党中央、国务院在新的历史条件下作出了重大决策部署，《京津冀协同发展规划纲要》的出台，明确了今后一个时期区域协同发展的顶层设计。2015年12月，京津冀三地环保厅（局）正式签署的《京津冀区域环境保护率先突破合作框架协议》，以大气、水、土壤污染为主要防治目标，结合联合立法，统一规划、标准、检测，协同治污等十项措施，联防联控，为提升及改善京津冀区域生态环境质量提供工作框架，同时为全国其他类似区域提供示范与借鉴。

京津冀协同推进生态环境保护工作，积极开展秋冬季大气污染综合治理攻坚行动，印发多个散煤治理相关文件，协同推进煤改清洁能源工作。

- **2013年9月**，环境保护部、发展改革委等六部门联合发布《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》，明确了到2017年，北京市、天津市、河北省PM<sub>2.5</sub>浓度在2012年基础上下降25%，实施清洁能源替代，加大天然气、液化石油气、煤制天然气、太阳能等清洁能源的供应和推广力度，逐步提高城市清洁能源使用比重；
- **2017年3月**，生态环境部印发《京津冀及周边地区2017年大气污染防治工作方案》，实施冬季清洁取暖重点工程，将“2+26”城市列为北方地区冬季清洁取暖规划首批实施范围。全面加强城中村、城乡结合部和农村地区散煤治理，北京、天津、廊坊、保定市10月底前完成“禁煤区”建设任务，并进一步扩大实施范围，实现冬季清洁取暖；
- **2017年8月**，环境生态部印发《京津冀及周边地区2017-2018年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》，对供暖期间（2017年10月-2018年3月）大气污染防治工作的主要目标、实施范围、基本思路做了明确指示，其主要任务包括“全面完成以电代煤、以气代煤任务”“严格防止散煤复燃”等，并且对北京市、天津市、河北省各市行动方案做了具体要求；

- **2017年12月**，十部委印发的《北方地区清洁取暖规划（2017-2021）》（以下简称《规划》），本规划所指北方地区包括了北京、天津、河北在内的14个省，其中对于散煤治理，提出两个阶段性目标，到2019年，农村地区清洁取暖率达到40%以上，到2021年，农村地区清洁取暖率达到70%以上。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，有条件的发展天然气或电供暖，适当利用集中供暖延伸覆盖。
- **2018年9月**，环境生态部印发《京津冀及周边地区2018-2019年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》，对供暖期间（2018年10月-2019年3月）大气污染防治工作的主要目标、实施范围、基本思路做了明确指示，其主要任务包括“有效推进清洁供暖”等，并且对北京市、天津市、河北省各市行动方案做了具体要求；
- **2019年10月**，环境生态部印发《京津冀及周边地区2019-2020年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》，对供暖期间（2019年10月-2020年3月）大气污染防治工作的主要目标、实施范围、基本思路做了明确指示，其主要任务包括“有效推进清洁供暖”、“严防散煤复燃”等，并且对北京市、天津市、河北省各市行动方案做了具体要求；
- **2020年10月**，环境生态部印发《京津冀及周边地区、汾渭平原2020-2021年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》，重点任务包括“推进清洁取暖散煤替代工作”等，坚持“宜电则电、宜气则气、宜煤则煤、宜热则热”，按照“宜气定改、以供定需、先立后破”的原则，集中资源大力推进散煤治理。

“十三五”期间，京津冀地区农村散煤治理工作成绩显著。

截止2019年底，京津冀区域农村清洁能源改造用户累计达1027万户，京津冀区域清洁供暖率达73%，其中：

北京市农村清洁供暖用户为114.8万户，农村地区清洁供暖率达85%；

天津市农村清洁供暖用户为103.7万户，农村地区清洁供暖率达96%；

河北省农村清洁供暖用户为808.7万户，农村地区清洁供暖率达69%。

根据 2020 年初计划，到 2020 年底，京津冀区域农村清洁能源改造用户达 1220 万户，京津冀区域清洁供暖率达 85%。2020 年农村清洁取暖改造重点区域是河北，预计 2020 年底，河北省农村清洁取暖用户为 999.9 万户，农村地区清洁取暖率达 84%。

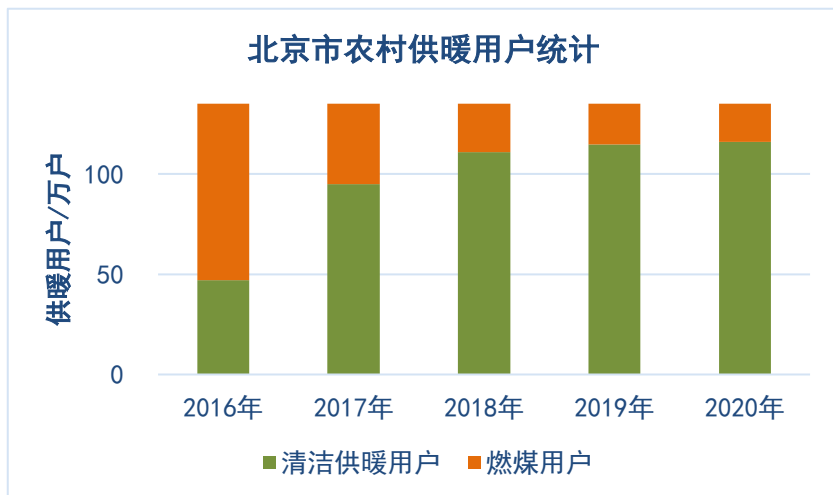


图1.3 北京市农村供暖用户统计<sup>[1]</sup>

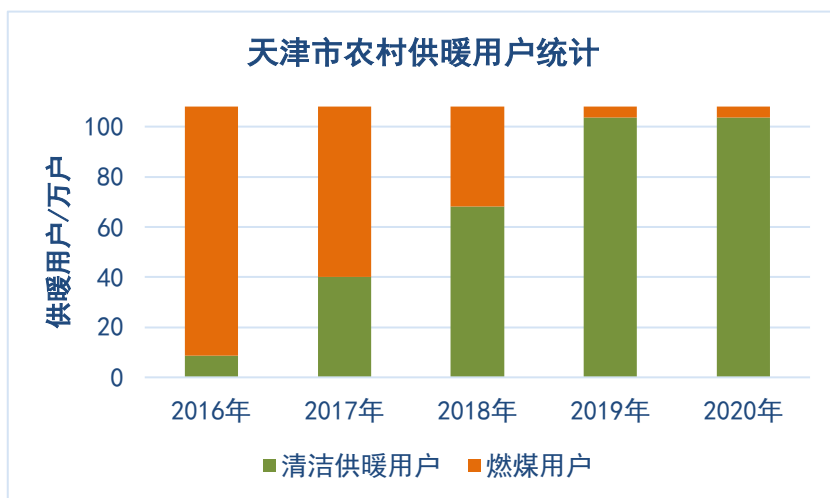
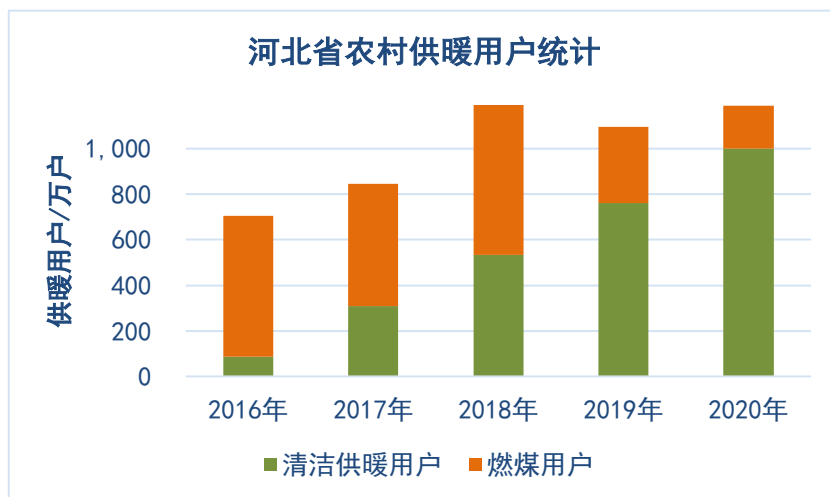


图1.4 天津市农村供暖用户统计<sup>[2]</sup>

图1.5 河北省农村供暖用户统计<sup>[3]</sup>

<sup>[1][2][3]</sup> 数据来源：2016-2019 年数据为北京、天津、河北上报能源局实际统计数据，2020 年数据为 2020 年初计划清洁能源改造用户数据。

### (1) 北京市散煤治理历程

北京市在全国率先开展散煤治理工作，早在 1998 年，以核心区为试点，北京拉开了民用散煤治理序幕。1998 年 12 月 8 日，朱镕基总理在北京市人民政府报国务院《关于采取果断措施控制北京大气污染的紧急请示》上批示：“国务院完全支持北京市为控制大气污染所采取的紧急措施，国务院各部门和中央在京单位必须全力支持和严格遵守。希望北京市加大执法力度，切实监督执行，造福北京人民。”

- **1998 年 12 月 8 日**，朱镕基总理在北京市人民政府报国务院《关于采取果断措施控制北京大气污染的紧急请示》，随后，北京市政府制定了《北京市环境污染防治目标与对策（纲要）（1998-2002 年）》，中心城区老旧平房开始煤改电示范；
- **1999 年 6 月 26 日**，在第九届全国人民代表大会常务委员会第十次会议上，国家环境保护总局局长解振华作出《关于防治北京大气污染的工作报告》，决定在人口稠密的市区，即三环路以内的 160 平方公里和四环路以内的 300 平方公里范围内，分批建设无燃煤区；
- **1998-2010 年期间**，北京连续制定并实施了 16 个阶段的大气污染控制措施，其中第三阶段（1999.10-2000.03）要求自本市四环路内凡使用平房的单位和

从事经营活动的个人必须改用清洁能源采暖，不得用散煤或木柴取暖；第五阶段（2000.11-2001.03）要求加快城近郊区居民平房电采暖试点工作，对试点用电实行低谷电价；第九阶段（2003）要求东城区和西城区东四三条至八条、西四北一条至八条的平房改用电采暖示范工程；第十六阶段（2010）推进首都功能核心区“无煤化”建设；

- 2011-2012 年的大气污染防治计划按年度发布实施；2012 年，国家发展改革委 财政部关于印发《重点区域大气污染防治“十二五”规划》的通知，逐步淘汰农村地区居民散烧供暖煤炉，鼓励使用清洁能源；
- 2013 年，为贯彻落实国家《大气污染防治行动计划》，北京市发布《北京市 2013-2017 年清洁空气行动计划》，逐步推进城六区无煤化，推进城乡结合部和农村地区“减煤换煤”；
- 2015 年，中国中央政府发布了《京津冀协同发展规划纲要》。随后，北京市发布了《北京市贯彻落<京津冀大气污染防治强化措施(2016-2017 年)>实施方案》等文件，限时完成农村散煤清洁化替代，积极推进农村“电代煤”和“气代煤”工作。

之后进入“十三五”时期，十三五时期是散煤治理破题并取得重大突破的时期，中央和政府密集出台了一系列散煤治理政策，各部门多措并举，不仅设立了重点地区精准施政，还投入大量的财政资金。北京市每年都会出台具体文件，对于煤改清洁能源技术、每年煤改清洁能源任务、清洁能源供暖补贴等给与明确指示。总体来看，北京市采取“先中心城区试点→城乡结合部→乡镇、农村”逐渐发展的道路，尤其在 2015 年清空计划、2018 年蓝天保卫战计划的实施，力度空前，并且取得良好效果。

“十三五”期间北京市散煤治理政策汇总详见表 1.3。

## （2）天津市散煤治理历程

天津市散煤治理开始较晚，2013 年，《大气污染防治行动计划》的发布之后，天津市的大气治理才正式拉开了序幕。

- 2013 年，天津市政府发布了《天津市清新空气行动方案》，旨在削减煤炭消费总量，主要包括大力推进清洁能源项目建设，削减农村原煤散烧，推广乡镇、村洁净煤使用，实施建筑节能改造等；

- **2014年10月底**，天津市人民政府发布《天津市散煤清洁化替代工作实施方案》，提出了目标任务：2017年底前，我市煤炭经营企业要建立全密闭配煤中心，逐步形成覆盖所有乡镇村的优质燃煤供应网络，洁净燃煤售卖覆盖率达到90%以上。该方案的主要内容是制定优质燃煤奖励政策，具体任务是到2014年底，散煤清洁化替代率达到60%，2015年底，散煤清洁化替代率达到70%；2016年底，散煤清洁化替代率达到80%；2017年底，散煤清洁化替代率达到90%；
- **2015年**，天津市政府印发《天津市2015年散煤清洁化治理工作方案》，农村地区主要目标如下：农业生产散煤、商业活动散煤、机关企事业单位炊事散煤由无烟型煤等清洁煤替代，有条件的地区鼓励使用电、气等清洁能源替代，覆盖率及替代率达到100%，农村生活散煤全部由无烟型煤替代。同年，制定了《天津市2015年农村生活用无烟型煤资金补贴办法》
- 2015年，天津市人民政府发布《天津市人民政府关于划定高污染燃料禁燃区的通告》，主要内容包括城市居民家用散煤，商业活动散煤，机关、企事业单位炊事散煤，全部由电、天然气、液化石油气等清洁能源替代。2017年底完成禁燃区全部建设任务。

之后进入“十三五”时期，十三五时期是散煤治理破题并取得重大突破的时期，中央和政府密集出台了一系列散煤治理政策，各部门多措并举，不仅设立了重点地区精准施政，还投入大量的财政资金。天津市每年都会出台具体文件，对于煤改清洁能源技术、每年煤改清洁能源任务、清洁能源供暖补贴等给与明确指示。

“十三五”期间天津市散煤治理政策汇总详见表1.4。

### （3）河北省散煤治理历程

河北省散煤治理开始较晚，2013年，《大气污染防治行动计划》的发布之后，河北省散煤治理才拉开了序幕。

- **2013年**，为贯彻落实国务院关于大气污染防治工作的有关部署，河北省人民政府制定了《河北省大气污染防治行动计划实施方案》。该方案的总体目标是：经过5年努力，全省环境空气质量总体改善，重污染天气大幅度减少。力争再利用5年时间或更长的时间，基本消除重污染天气，全省环境空气质



量全面改善，让人民群众呼吸上新鲜空气。其中提出具体实施计划包括推进煤炭清洁利用；削减农村炊事、采暖和设施用煤。

- **2014年**，河北省环保厅制定了《河北省2014年大气污染防治工作实施计划》，提出了年度工作任务，包括：

**减少污染物排放：**深入开展重污染控制区和高污染燃料禁燃区环境综合整治，加快燃烧小锅炉淘汰改造步伐，年底完成600台以上燃煤锅炉淘汰任务，集中供热锅炉煤改气0.3亿平方米；

**严控煤炭消费，增加清洁能源供应：**制定下达2014年削减煤炭任务分解方案，落实到具体企业和项目，确保煤炭消费量比2012年净削减1500万吨。

- **2015年**，《河北省大气污染防治条例（草案）》提交初审，之后提出修订并公开征求意见。
- **2016年3月**，《河北省大气污染防治条例》正式上岗，其中，对燃煤污染防治方面煤炭减量、禁燃区划定、煤质管理、锅炉改造、集中供热、农村清洁能源等六方面进行了详细规定。《条例》对河北燃煤污染防治作出规定，并提出，设区的市人民政府应将不低于城市建成区面积80%的范围划定为高污染燃料禁燃区。

“十三五”期间是散煤治理的关键时期和重要阶段，河北省在“十三五”期间出台系列散煤治理政策，明确了散煤治理的技术路线、改造任务、补贴政策，散煤治理取得重大成果。

“十三五”期间河北省散煤治理政策汇总详见表1.5。

表1.2 近十年国家散煤有关政策汇总表

序号	发文时间	发文单位	文件名称	类别
1	2013-09	国务院办公厅	《大气污染防治行动计划》	指导类
2	2013-09	环保部、发改委等	《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》	方案类
3	2014-12	发改委、工信部等	《重点地区煤炭消费减量替代管理暂行办法》	指导类
4	2015-04	国家能源局	《煤炭清洁高效利用行动计划（2015—2020年）》	指导类
5	2015-10	发改委、住建部	《余热暖民工程实施方案》	指导类
6	2016-05	发改委、能源局等	《关于推进电能替代的指导意见》	指导类
7	2016-12		中央财经领导小组第十四次会议	指导类
8	2017-02	环保部、发改委等	《京津冀及周边地区2017年大气污染防治工作方案》	方案类
9	2017-05	财政部、住建部等	《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》	经济类
10	2017-08	环保部、发改委等	《京津冀及周边地区2017-2018年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》	方案类
11	2017-09	住建部、发改委等	《关于推进北方采暖地区城镇清洁供暖的指导意见》	指导类
12	2017-12	发改委、能源局等	《北方地区冬季清洁取暖规划（2017年-2021年）》	规划类
13	2018-06	国务院	《打赢蓝天保卫战三年行动计划》	指导类
14	2018-07	财政部、生态环境部等	《关于扩大中央财政支持北方地区冬季清洁取暖城市试点通知》	经济类
15	2018-09	生态环境部、发改委等	《京津冀及周边地区2018-2019年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》	方案类
16	2019-10	生态环境部、发改委等	《京津冀及周边地区2019-2020年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》	方案类
17	2017-06	财政部	《关于对2017年北方地区冬季清洁取暖试点城市名单进行公示的通知》	经济类

18	2018-08	财政部	《对第二批中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点城市名单进行公示》	经济类
19	2018-10	财政部	《大气污染防治资金管理办法》	经济类
20	2019-06	财政部	《关于下达 2019 年度大气污染防治资金预算的通知》	经济类
21	2019-10	财政部	《关于提前下达 2020 年度大气污染防治资金预算的通知》	经济类

表1.3 “十三五”期间北京市散煤治理政策汇总

序号	发文时间	发文单位	文件名称	散煤治理主要内容
1	2016年2月	北京市人民政府	《北京市 2013-2017 年清洁空气行动计划重点任务分解 2016 年工作措施》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造任务:</b> 巩固城市核心区“无煤化”治理成效, 实施城乡结合部和农村地区“减煤换煤、清洁空气”行动方案</li> </ul>
2	2016年3月	北京市人民政府	《2016 年北京市农村地区村庄“煤改清洁能源”和“减煤换煤”工作方案》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造任务:</b> 2016 年对 400 个村庄整体进行“煤改清洁能源”改造, 主要以“煤改电”和“煤改气”为主</li> <li>• <b>补贴政策:</b> 明确各种煤改清洁能源方式的投资补贴和运行补贴, 明确节能改造补贴</li> </ul>
3	2018年3月	北京市人民政府	《北京市蓝天保卫战 2018 年行动计划》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造任务:</b> 基本实现全市平原地区村庄“无煤化”</li> </ul>
4	2018年5月	北京市人民政府	《2018 年北京市农村地区村庄冬季清洁取暖工作方案》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造任务:</b> 2018 年 10 月 31 日前, 完成 450 个农村地区村庄住户“煤改清洁能源”任务</li> <li>• <b>补贴政策:</b> 各类清洁能源供暖方式, 外部官网建设、清洁取暖设备、运行使用的支持政策</li> </ul>

5	2019年2月	北京市人民政府	《北京市污染防治攻坚战2019年行动计划》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>控制目标:</b> 明确空气质量目标</li> <li>• <b>改造方式:</b> 以电为主, 推进村庄煤改清洁能源工作</li> <li>• <b>建筑节能:</b> 推进建筑节能</li> </ul>
6	2019年2月	北京市发改委	《关于进一步加快热泵系统应用 推动清洁供暖的实施意见》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造方式:</b> 加强在门头沟、平谷、怀柔、密云、延庆等农村地区推广热泵系统应用, 大力支持热泵系统在美丽乡村建设中的应用, 进一步提高农村地区清洁供暖水平, 到2022年, 新增热泵供暖利用面积150万平方米左右。</li> </ul>
7	2019年4月	北京市生态环境局 北京市财政局	《关于完善北京市城镇居民“煤改电”居民采暖季电价优惠政策的意见》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>补贴政策:</b> 电价补贴政策</li> </ul>
8	2021年3月	北京市人民政府	《北京市深入打好污染防治攻坚战2021年行动计划》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>建筑节能:</b> 加快建筑节能步伐</li> <li>• <b>改造方式:</b> 大力推广使用可再生能源</li> <li>• <b>改造任务:</b> 巩固平原地区“无煤化”成果, 科学有序推进山区村庄煤改清洁能源</li> </ul>

表1.4“十三五”期间天津市散煤治理政策汇总

序号	发文时间	发文单位	文件名称	散煤治理主要内容
1	2017年4月	天津市人民政府	《天津市2017年大气污染防治工作方案》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造任务:</b> 加快推进冬季清洁取暖。在中心城区、滨海新区核心区和其他区政府所在街镇实现城市居民生活散煤“无煤化”, 拆迁改造区域要全部实现洁净煤替代</li> </ul>
2	2017年11月	天津市人民政府	《天津市居民冬季清洁取暖工作方案》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造任务:</b> 全面推进居民冬季清洁取暖, 除山区等不具备清洁取暖条件的采用无烟型煤替代外, 全市居民散煤基本“清零”</li> </ul>

				。实施居民煤改清洁能源取暖 121.3 万户（不含山区约 3 万户），其中城市地区 12.9 万户（含棚户区 and 城中村改造 4.3 万户），农村地区 108.4 万户。
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>补贴政策：</b>运行补贴标准、建设补贴</li> </ul>
3	2017 年 12 月	天津市人民政府	《天津市冬季清洁取暖试点城市中央财政奖补资金分配方案》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造奖金：</b>清洁取暖改造奖金分配情况</li> <li>• <b>节能奖金：</b>建筑节能改造奖金分配情况</li> </ul>
4	2018 年 5 月	天津市人民政府	《天津市 2018 年大气污染防治工作方案》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造任务：</b>稳妥有序推进居民冬季清洁取暖：稳妥有序推进全市剩余的 75.6 万户农村居民散煤清洁能源替代，力争 2018 年 9 月底前完成 40 万户</li> </ul>
5	2018 年 8 月	天津市人民政府	《天津市打赢蓝天保卫战三年作战计划（2018—2020 年）》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造任务：</b>稳妥有序推进居民冬季清洁取暖，稳妥有序推进全市剩余的 75.6 万户农村居民散煤清洁能源替代，力争 2019 年 10 月底前，除山区等不具备条件的以及纳入拆迁改造计划的区域外，全市城乡居民取暖散煤基本“清零”</li> </ul>
6	2018 年 10 月	天津市人民政府	《天津市 2018—2019 年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造任务：</b>有效推进清洁取暖</li> </ul>
7	2020 年 2 月	天津市发改委	《天津市 2020 年至 2023 年居民冬季清洁取暖有关运行政策》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>补贴政策：</b> <b>煤改电：</b>不再执行阶梯电价，执行每日 20 时至次日 8 时 0.3 元/千瓦时的低谷电价。同时，给予 0.2 元/千瓦时的补贴，最高补贴电量 8000 千瓦时/户，由市、区财政按 4:6 比例负担（滨海新区自行负担）。上述政策暂定 3 年，自 2020 年 4 月起至 2023 年 3 月止。</li> </ul>

**煤改气：**不再执行阶梯气价，执行燃气管网居民独立采暖一档用气价格。同时，给予 1.2 元/立方米的补贴，最高补贴气量 1000 立方米/户，由市、区财政按 4: 6 比例负担（滨海新区自行负担）。上述政策暂定 3 年，自 2020 年 4 月起至 2023 年 3 月止。

表1.5“十三五”期间河北省散煤治理政策汇总

序号	发文时间	发文单位	文件名称	散煤治理主要内容
1	2016 年 11 月	河北省大气办	《河北省大气污染防治强化措施实施方案（2016-2017 年）》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造任务：</b>加快推进重点区域无煤化和燃煤清洁利用。削减农村炊事、采暖和设施用煤。到 2017 年，平原地区和有条件的山区洁净煤使用率达到 90%以上</li> </ul>
2	2017 年 4 月	河北省政府	《河北省农村散煤治理专项实施方案》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造方式：</b>主推“气代煤”支持“电代煤”</li> <li>• <b>改造任务：</b>  <b>2018 年，</b>每个设区市确保 3-5 个县(市、区)全域完成气代煤、电代煤等清洁取暖改造，平原农村地区清洁取暖率达到 35%。农业生产散煤治理完成 80%。  <b>2019 年，</b>各设区市全域实现清洁取暖的县(市、区)达到 60%左右，平原农村地区清洁取暖率达到 60%，农业生产散煤治理全面完成。</li> </ul>

				2020年，全省平原农村地区分散燃煤基本“清零”，山坝等边远农村地区分散燃煤80%以上实现洁净燃料和环保炉具覆盖。
3	2018年7月	河北省政府	《河北省2018年冬季清洁取暖工作方案》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造方式：</b>稳妥发展气代煤，加快推进电代煤</li> <li>• <b>改造任务：</b>明确了河北省各市2018年清洁取暖目标任务</li> </ul>
4	2018年10月	河北省财政厅	《关于下达2018年省级大气污染防治资金预算（用于农村地区清洁取暖）的通知》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>预算资金：</b>2018年省级大气污染防治资金预算总额为26.16亿元，明确各县预算金额</li> </ul>
5	2019年4月	大气污染防治领导小组	《河北省2019年大气污染综合治理工作方案》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>改造方式：</b>推进清洁取暖：稳妥推进电代煤、气代煤等清洁能源改造</li> <li>• <b>散煤管控：</b>强化散煤市场和劣质煤管控：</li> </ul>
6	2019年6月	河北省财政厅	《关于下达2019年中央大气污染防治资金（用于北方地区冬季清洁取暖试点城市补助）预算的通知》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>预算资金：</b>2019年中央财政北方地区冬季清洁取暖试点城市补助资金预算为39.2亿元，明确各市预算金额</li> </ul>
7	2020年1月	河北省政府	《河北省农村散煤复燃监督检查方案》	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>散煤管控：</b>行动期间，深入全省51560个村（社区、居委会），入户检查1049.4195万户。</li> </ul>

### 1.3 京津冀散煤治理现状

在国家 and 地方政府的大力推动下，京津冀地区清洁取暖工作总体进展顺利，成效明显。截止 2019 年底，北京、天津、河北地区清洁取暖率如下图所示。

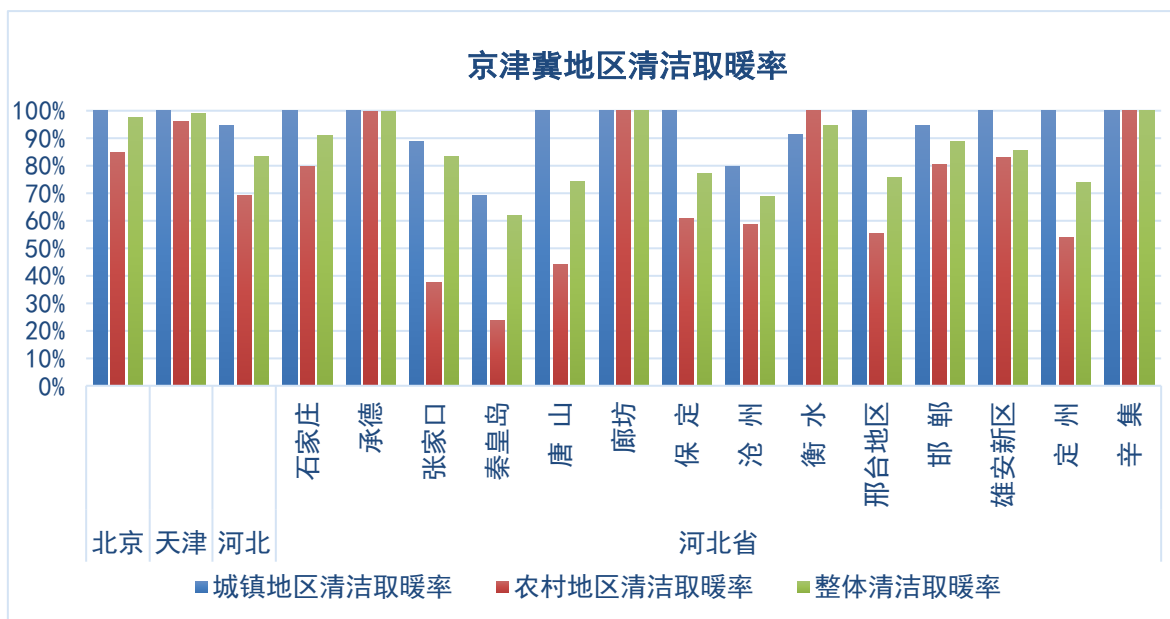


图1.6 京津冀地区清洁取暖率

总体上，城镇地区进展普遍较好，农村地区虽然相对滞后，但治理成果依旧显著，本章节从削减散煤数量、清洁改造数量、改造方式比例、治理环境效益四个方面，介绍京津冀散煤治理现状。

#### (1) 削减散煤数量

根据统计数据，北京市农村民用散煤户均消费量为 3.8 吨/（户·年）<sup>3</sup>，天津市农村民用散煤户均消费量为 2.1 吨/（户·年）<sup>4</sup>，河北省农村民用散煤户均消费量为 2.4 吨/（户·年）<sup>5</sup>。

据统计数据，“十三五”初期，2016 年，北京市农村散煤采暖用户共 88.0 万户，天津市农村散煤采暖用户共 99.4 万户，河北省农村散煤采暖用户共 619.5 万户。2019 年底，北京市农村散煤采暖用户共 20.3 万户，天津市农村散煤采暖用户共 4.3 万户，河北省农村散煤采暖用户共 357.9 万户。



计算得到 2016 年、2019 年，北京、天津、河北农村民用散煤消费总量。计算方法如下：

$$M = H \times m$$

式中：

M ——某城市农村民用散煤消费量，万吨/年；

H ——农村民用散煤消费户数，万户；

m——户均散煤消费量，吨/户·年。

表1.6 2016年初京津冀散煤消耗总量

	北京	天津	河北	
H (万户)	88.0	99.4	619.5	
m (吨/户·年)	3.8	2.1	2.4	
M (万吨)	334.4	208.7	1486.8	2029.9

表1.7 2019年底京津冀散煤消耗总量

	北京	天津	河北	
H (万户)	20.3	4.3	357.9	
m (吨/户·年)	3.8	2.1	2.4	
M (万吨)	77.1	9.0	807.5	893.6

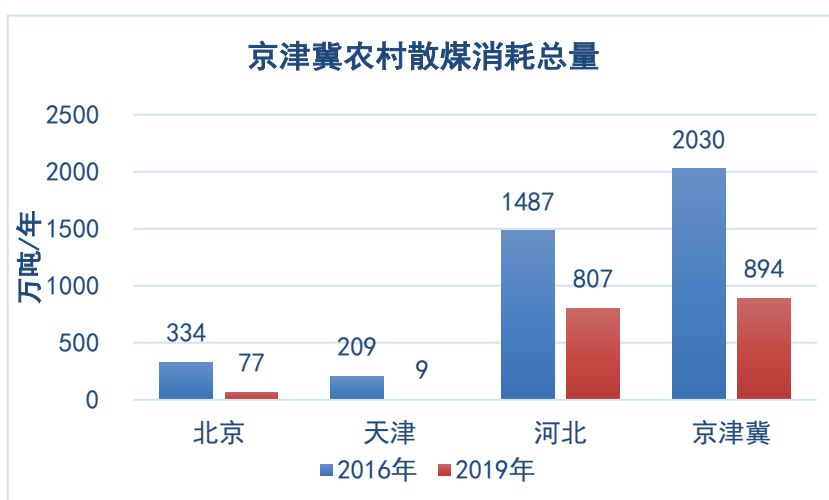


图1.7 京津冀农村散煤消耗总量

据估算，2019年，北京农村散煤消耗总量为77万吨，比2016年减少散煤257万吨；天津农村散煤消耗总量为9万吨，比2016年减少散煤200万吨；河北省农村散煤消耗总量为807万吨，比2016年减少散煤679万吨；京津冀区域农村散煤消耗总量为894万吨，比2016年减少散煤1136万吨。

**(2) 清洁改造数量**

截止2019年底，京津冀农村地区采暖户数为1340万户，清洁取暖户数979万户，按户数计算的清洁取暖率为73%。与2016年相比，农村清洁供暖用户增加836万户。农村清洁供暖率由2016年15%提高至73%。

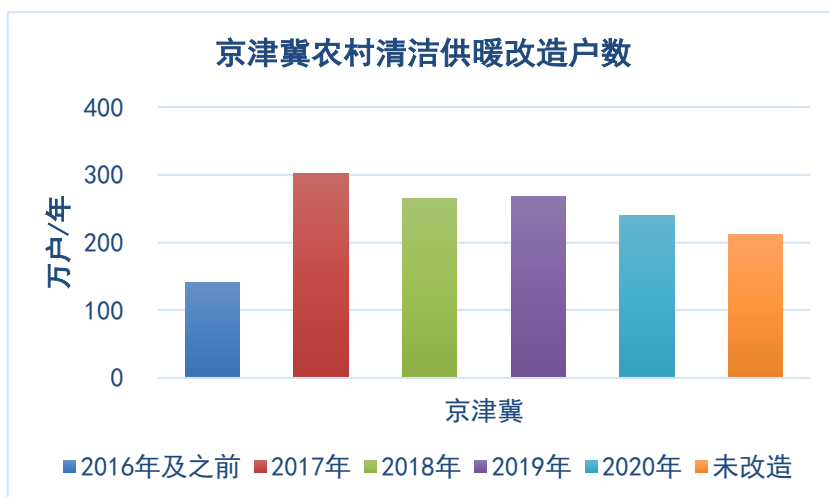


图1.8 京津冀农村清洁供暖改造用户



图1.9 京津冀农村清洁供暖改造比例

截止 2019 年底，北京市城乡总采暖建筑面积为 10.47 亿平方米，总清洁取暖面积为 10.23 亿平方米，总清洁取暖率为 97.7%，其中城市城区清洁取暖面积 8.85 亿平方米，清洁取暖率达到 100%；农村地区采暖户数为 135.2 万户，清洁取暖户数 114.8 万户，按户数计算的清洁取暖率为 85.0 %。

与 2016 年相比，农村清洁供暖用户增加 67.8 万户。农村清洁供暖率由 2016 年 35%提高至 85 %。农村清洁率已经达到《规划》2021 年目标值。

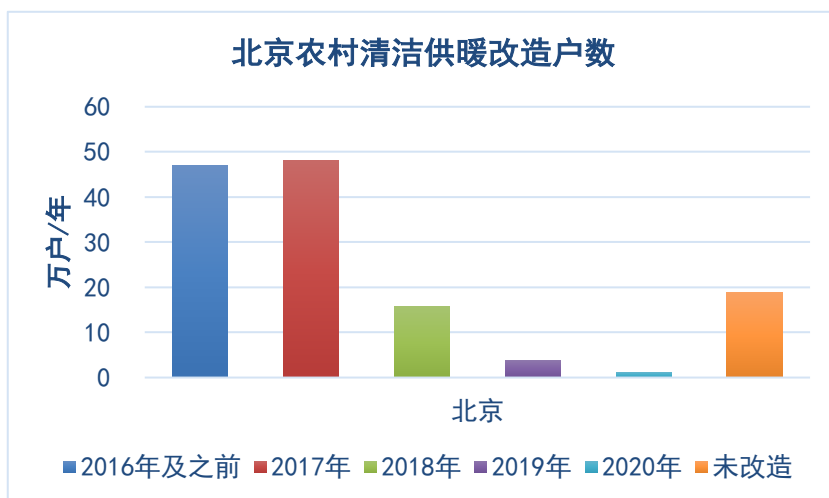


图1.10 北京农村清洁供暖改造用户

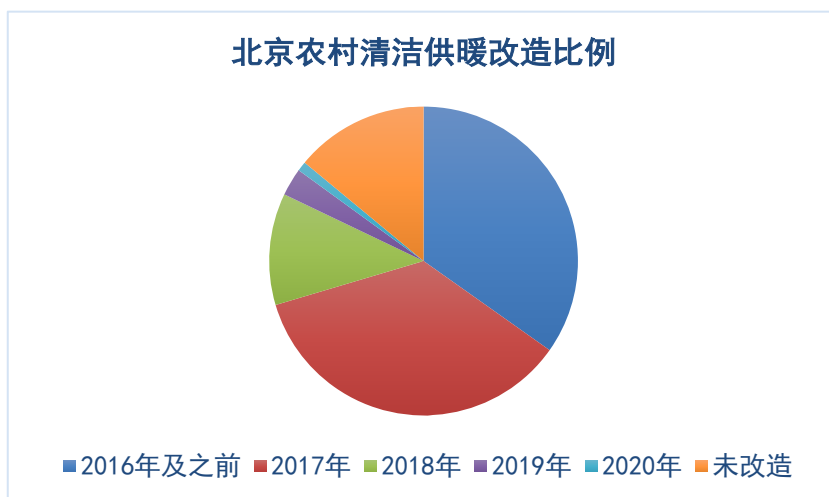


图1.11 北京农村清洁供暖改造比例

截止 2019 年底，天津市城乡总采暖建筑面积为 6.50 亿平方米，总清洁取暖面积为 6.44 亿平方米，总清洁取暖率为 99.2%，其中城市城区清洁取暖面积 2.58 亿平方

米，清洁取暖率达到 100%；县城和城乡结合部清洁取暖面积 2.50 亿平方米，清洁取暖率达到 100%；农村地区采暖户数为 108 万户，清洁取暖户数 103.7 万户，按户数计算的清洁取暖率为 96%。

与 2016 年相比，农村清洁供暖用户增加 95.04 万户。农村清洁供暖率由 2016 年 8%提高至 96%。农村清洁率已经接近《规划》2021 年目标值 70%。

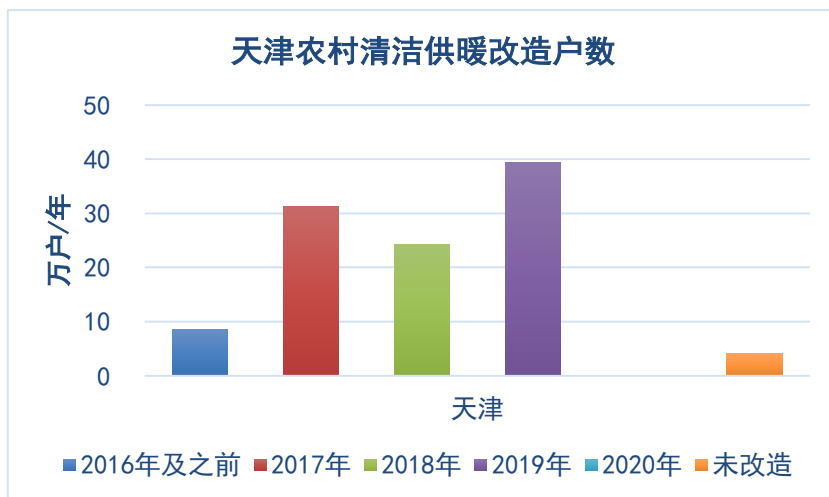


图1.12 天津农村清洁供暖改造用户

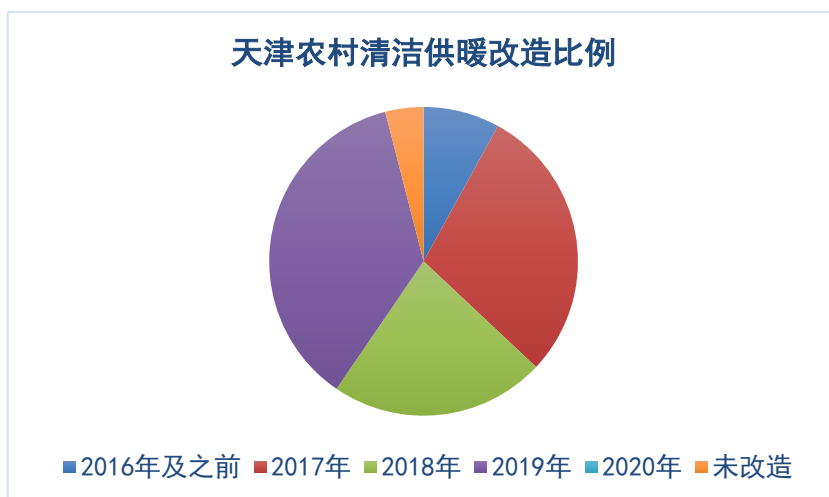


图1.13 天津农村清洁供暖改造比例

截止 2019 年底，河北省城乡总采暖建筑面积为 27.75 亿平方米，总清洁取暖面积为 23.16 亿平方米，总清洁取暖率为 83.5%，其中城镇地区清洁取暖面积 14.72 亿

平方米，清洁取暖率达到 94.5%；农村地区采暖户数为 1097 万户，清洁取暖户数 760.2 万户，按户数计算的清洁取暖率为 69.3 %。

与 2016 年相比，农村清洁供暖用户增加 673.3 万户。农村清洁供暖率由 2016 年 12%提高至 69%。农村清洁率已经达到《规划》2021 年目标值。

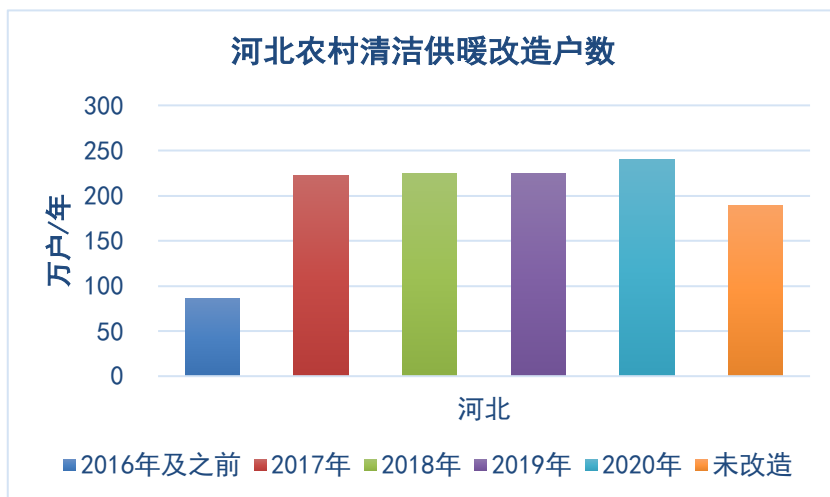


图1.14 河北农村清洁供暖改造用户



图1.15 河北农村清洁供暖改造比例

### (3) 改造方式比例

京津冀农村地区煤改清洁能源主要方式是煤改电、煤改气、煤改其他方式（包括集中供暖、太阳能取暖、生物质取暖等）。在具体方式选取上，有明显区域性。2018 年底，北京农村 62%农户进行煤改电，16%农户进行煤改气，剩余 23%通过拆迁上楼

实现清洁能源供暖；天津农村 63%农户进行煤改电，31%农户进行煤改气，6%农户进行煤改其他能源；2019 年底，河北农村 14%农户进行煤改电，81%农户进行煤改气，5%农户进行煤改其他能源。

可以看出，河北更倾向于煤改气，而北京、天津更倾向于煤改电。主要受当地资源条件影响居多。

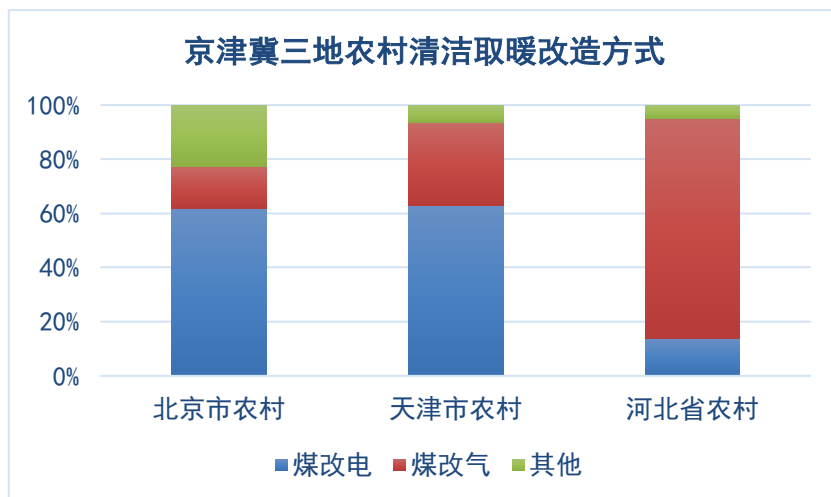


图1.16 2018年/2019年底京津冀三地清洁取暖改造方式<sup>[1]</sup>

<sup>[1]</sup>说明：北京市、天津市为 2018 年底数据，河北省为 2019 年底数据。

截至 2018 年底，北京市农村地区实现清洁取暖共 110.8 万户，清洁取暖户数比例为 82.1%，其中煤改电共 68.36 万户，煤改气共 17.45 万户，另有 25 万户通过拆迁上楼实现清洁取暖。<sup>6</sup>

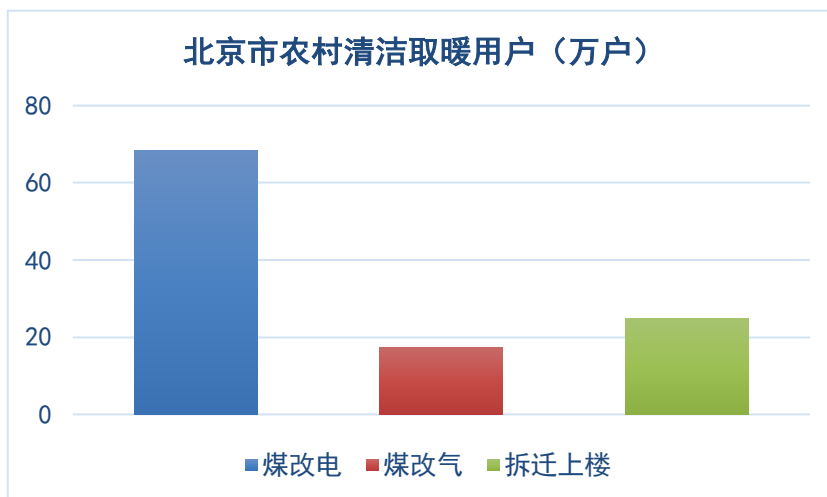


图1.17 2018年底，北京市农村不同改造方式清洁取暖用户

截至 2018 年底，天津市农村地区实现清洁取暖共 64.3 万户，清洁取暖户数比例为 64.3%，其中煤改电共 40.51 万户，煤改气共 19.67 万户，煤改其他方式共 4.08 万户。<sup>7</sup>

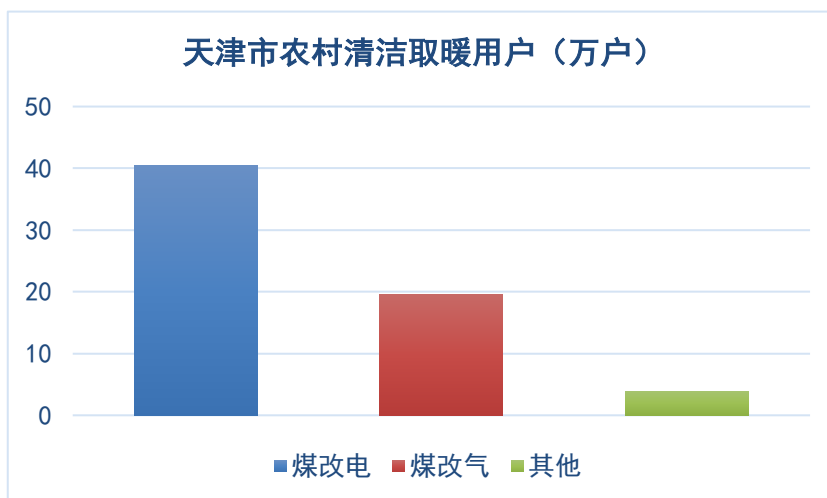


图1.18 2018年底，天津市农村不同改造方式清洁取暖用户

截至 2019 年底，河北省农村地区实现清洁取暖共 760.2 万户，清洁取暖户数比例为 69%，其中煤改电共 105.42 万户，煤改气共 619.34 万户，煤改其他方式共 37.41 万户。<sup>8</sup>

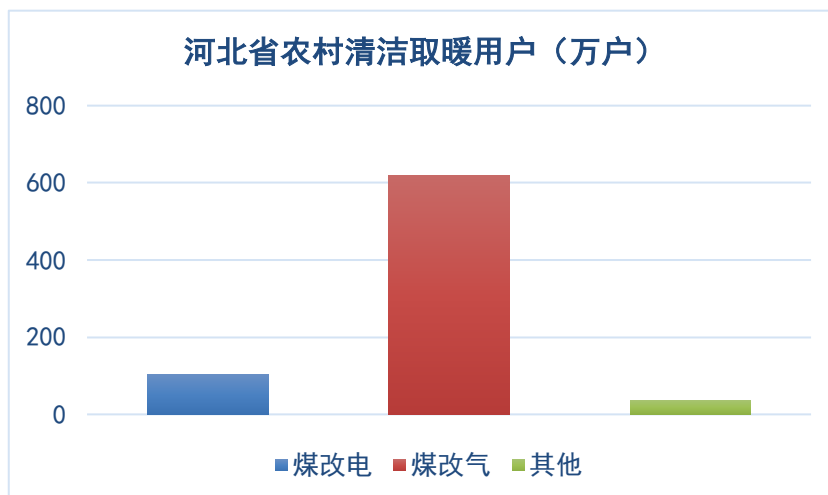


图1.19 2019年底，河北省农村不同改造方式清洁取暖用户

#### （4）治理环境效益

近几年来，京津冀地区空气质量总体上有明显改善，但是采暖季的污染依然高于夏季，其污染来源主要是散煤燃烧等带来的污染物排放<sup>9</sup>。近几年燃煤排放的污染物对京津冀地区PM<sub>2.5</sub>贡献率达到23.3%~46.6%<sup>10</sup>。其他研究也表明，散煤燃烧特别是农村地区散煤取暖是近年来我国北方地区冬季雾霾天气频发的重要原因之一。对大气环境而言，散煤燃烧直燃直排1吨散煤燃烧排放的污染物是电厂相应排放量的5倍~10倍<sup>11</sup>。

在开始煤改清洁能源工程之初的2013年，《中国环境状况公报（2013年）》中显示，京津冀区域环境不达标天数比例为62.5%，而在超标天数中，重度污染及以上天数比例为20.7%。

据《中国环境状况公报（2019）》，京津冀地区环境不达标天数比例为46.9%，比2013年下降25%；重度污染及以上天数比例为5.5%，比2013年下降73%。



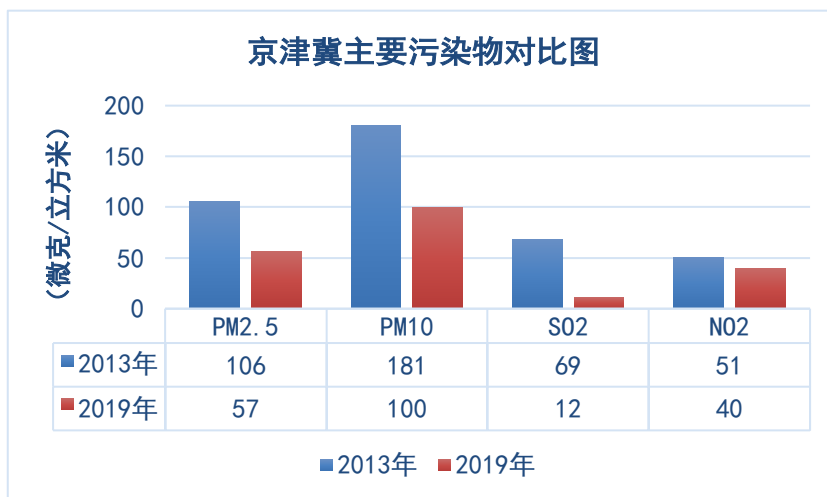


图1.20 京津冀主要污染物对比图

据《北京市生态环境状况公报（2019）》，空气质量达标（优和良）天数为 240 天，达标比例为 65.8%，比 2013 年增加 64 天。空气重污染（重度和严重污染）天数为 4 天，比 2013 年减少 54 天。首次全年未出现严重污染日。

2019 年，北京市空气中细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）年平均浓度值为 42 微克/立方米，比 2013 年降低 53%；可吸入颗粒物（PM<sub>10</sub>）年平均浓度值为 68 微克/立方米，比 2013 年降低 37%；二氧化硫（SO<sub>2</sub>）年平均浓度值为 4 微克/立方米，比 2013 年降低 85%；二氧化氮（NO<sub>2</sub>）年平均浓度值为 37 微克/立方米，比 2013 年降低 34%。

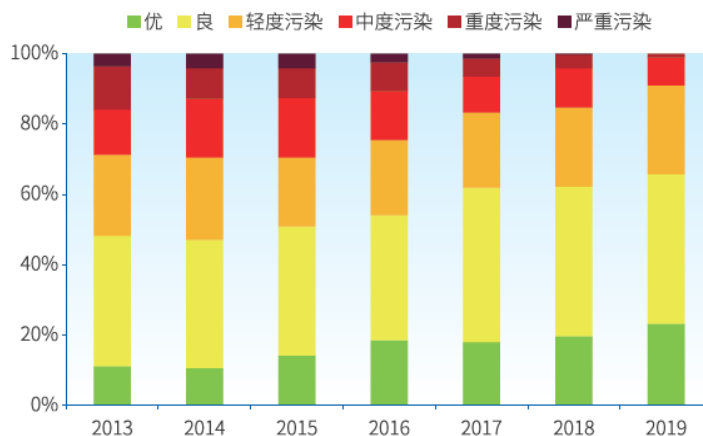


图1.21 北京市2013—2019年空气质量级别比例图

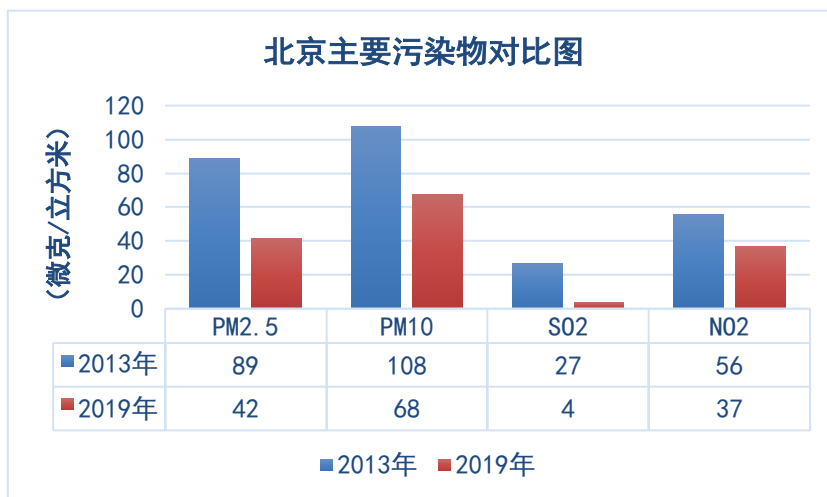


图1.22 北京市主要污染物对比图

据《天津市生态环境状况公报(2019)》，2019年，天津市空气中细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)年平均浓度值为51微克/立方米，比2013年降低51%；可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)年平均浓度值为76微克/立方米，比2013年降低47%；二氧化硫(SO<sub>2</sub>)年平均浓度值为11微克/立方米，比2013年降低81%；二氧化氮(NO<sub>2</sub>)年平均浓度值为42微克/立方米，比2013年降低22%。

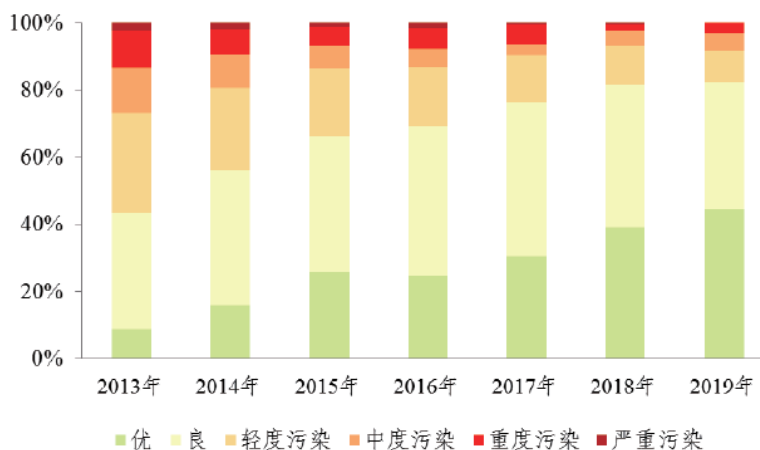


图1.23 天津市2013—2019年空气质量级别比例图

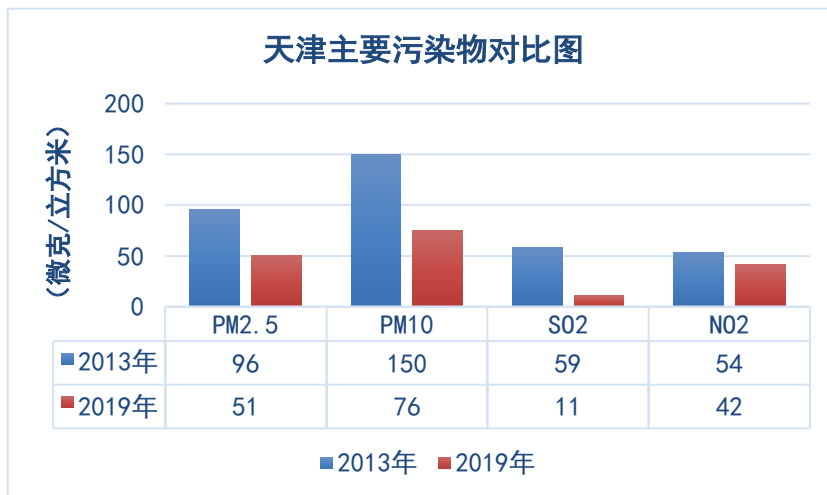


图1.24 天津市主要污染物对比图

据《河北省生态环境状况公报(2019)》，2019年，河北省空气中细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)年平均浓度值为50微克/立方米，比2013年降低54%；可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)年平均浓度值为93微克/立方米，比2013年降低51%；二氧化硫(SO<sub>2</sub>)年平均浓度值为15微克/立方米，比2013年降低80%；二氧化氮(NO<sub>2</sub>)年平均浓度值为39微克/立方米，比2013年降低24%。

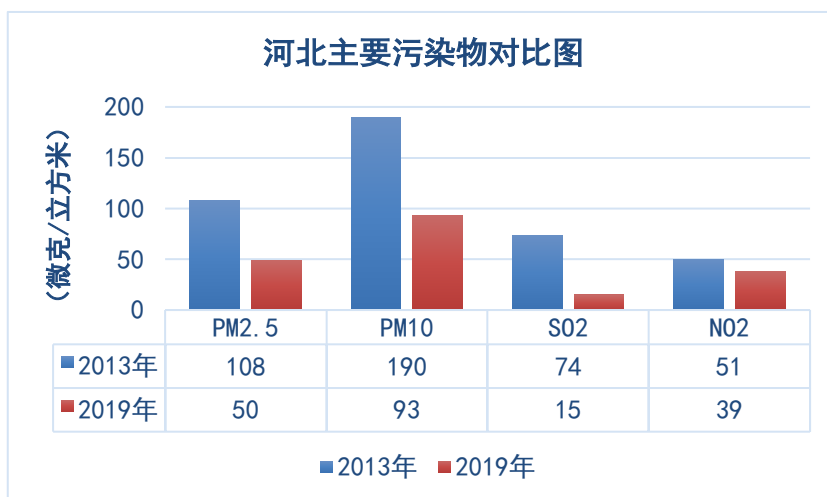


图1.25 河北主要污染物对比图

## 1.4 本章小结

中央政府通过两个行动计划以及数十个配套规划、方案等配套政策，促进重点地区的散煤治理，尤其是国家财政资金从 2017 年投入到清洁取暖领域以后，效果尤其明显，体现了“顶层设计、配套保障、监督执行、评估”的公共政策制定思路，从近 10 年的散煤治理效果看，成效显著。

北京市自 1997 年开始，采取“先中心城区试点、城乡结合部、乡镇、农村”逐渐发展的道路，尤其是在 2015 年清空计划、2018 年蓝天保卫战计划的实施下，力度空前，并且取得良好效果。

天津市和河北省在国家十条、蓝天保卫战两个行动计划出台后，相继制定各自方案按照国家统一部署实施，散煤替代技术路线基本稳定。

2016 年“煤改电”以北京为主战场，煤改气”以河北为主战场；2017 年北方清洁取暖被纳入政策体系，以“煤改电”和“煤改气”为主，“双替代”市场开始迅速拓展；气荒”之后，“煤改气”政策强调“以气定改、先立后破”，加之“双替代”成本居高不下；2018 年，“煤改气”理性回落；随着北京无煤化而退出市场，“煤改电”市场逐步向天津、河北、内蒙等地拓展，2018 年实现“煤改电”小幅增长。2019、2020 年北方清洁取暖政策要求既要清洁取暖，也要温暖过冬，在不具备条件的地区允许使用洁净煤和节能环保炉具。在技术路线选择方面强调“因地制宜”，宜电则电、宜气则气、宜煤则煤、宜热则热。

## 2 散煤治理技术路线

### 2.1 京津冀清洁取暖现状

在国家和地方政府的大力推动下，京津冀地区清洁取暖工作总体进展顺利，成效明显。

京津冀农村地区取暖以传统家庭为单位的分户式取暖方式为主，清洁取暖改造之前，普遍使用的传统取暖方式包括煤炉、土暖气、电供暖、火炕、木柴等。农村住宅多数是个人建造的独立性建筑，围护结构屋顶为平顶或坡顶，内部少数有吊顶，大部

分没有采取保温措施，保温隔热效果差，门窗密封性能一般。农村地区建筑取暖用能总量大，并且能源利用效率低<sup>12</sup>，多以燃料直接燃烧为主，燃烧效率较低，散煤燃烧效率仅有30%~40%，不及区域大型锅炉的一半。北方地区供暖平均综合能耗（折合标煤）约为22 kg/m<sup>2</sup>，其中城镇约为19 kg/m<sup>2</sup>，农村地区约为27 kg/m<sup>2</sup><sup>13</sup>。

在农村清洁取暖热源方面，农村地区清洁取暖路径以天然气取暖和电取暖为主，其中，“煤改气”占比为52%，“煤改电”占比为39%，生物质能、地热、太阳能、工业余热等其他清洁能源取暖比例为9%。可见清洁取暖工作实施以来，农村地区清洁取暖90%以上选择了“煤改气”“煤改电”，其中燃气壁挂炉是应用最多、发展最快的一种方式，其他方式发展较慢。

## 2.2 清洁能源采暖技术

清洁取暖是指利用电力、天然气、地热、太阳能、生物质、工业余热、洁净煤、核能等清洁化能源，通过高效用能系统实现低排放、低能耗的取暖方式。

通过调研京津冀地区主要的清洁能源采暖技术为电采暖、热泵采暖、太阳能采暖、燃气采暖、生物质采暖五类。其中：

- 电采暖技术具体应用设备主要包括低温发热电缆、电热膜、碳晶电热板、直热电锅炉、固体蓄热式电暖器和蓄热电锅炉等；
- 热泵采暖技术具体应用设备包括空气源热泵、土壤源热泵等；
- 太阳能采暖技术受气象条件影响比较大，一般与燃气壁挂炉、空气源热泵、土壤源热泵联合使用；
- 燃气采暖技术具体应用设备为燃气壁挂炉；
- 生物质采暖技术具体应用设备为生物质采暖炉。



图2.1 蓄热式电锅炉



图2.2 蓄热式电暖气



图2.3 直热式电暖气



图2.4 空气源热泵



图2.5 太阳能集热器



图2.6 燃气壁挂炉



图2.7 生物质炉

图片来源:

图 2.1 蓄热式电锅炉: 河北省张家口市怀来县存瑞镇北三营村, 调研拍摄;

图 2.2 蓄热式电暖气: 河北省张家口市怀来县存瑞镇北三营村村委会, 调研拍摄;

图 2.3 直热式电暖气: 河北省张家口市桥东区大仓盖镇李指挥庄村, 调研拍摄;

图 2.4 空气源热泵: 北京市房山区大石窝镇, 调研拍摄;

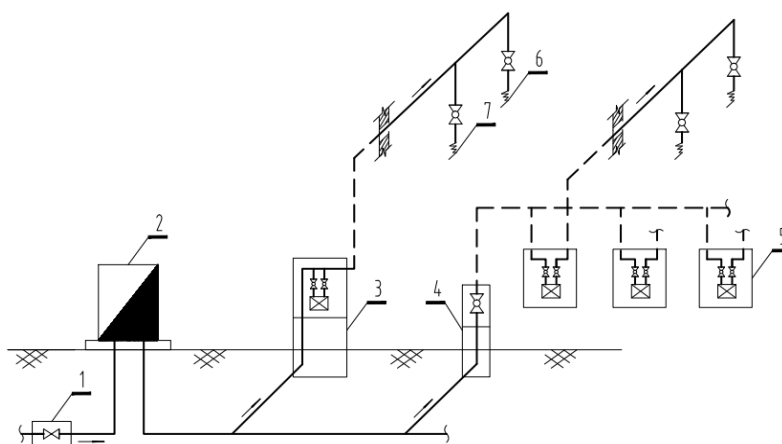
图 2.5 太阳能集热器: 河北省张家口市桥东区大仓盖镇李指挥庄村, 调研拍摄;

图 2.6 燃气壁挂炉: 河北省廊坊市文安县大柳河镇, 调研拍摄;

图 2.7 生物质炉: 河北省邯郸市涉县, 调研拍摄。

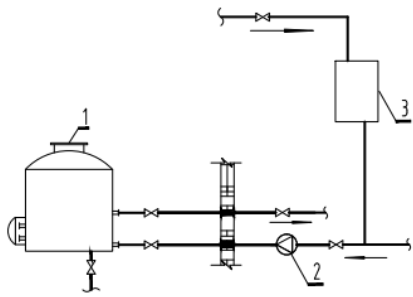
### 2.3 典型系统流程图

图 2.8-图 2.14 为典型清洁能源采暖系统流程示意图。其中图 2.8 为燃气系统, 通常只看到室内的壁挂炉、小型热水锅炉、灶具等, 实际室外还需要建设一系列输配管线和燃气设施, 首先由中压燃气管线 (或 LNG 气化站) 接引中压燃气管线埋地敷设至村镇, 设置中—低压调压箱, 低压管线在用户附近加设保护台由埋地敷设出地面, 经阀门、计量表具后, 在穿墙套管的保护下引入室内接至用气点。图 2.14 为太阳能热泵耦合系统, 通过太阳能聚热板吸热并传给板内工质, 在热泵的作用下, 提取热量传递给储热水箱, 不但可以用于供暖, 还可满足洗浴等热水需求; 这种耦合系统相对电锅炉节能约 80%, 比燃气节能约 60%, 比空气源热泵节能约 50%。



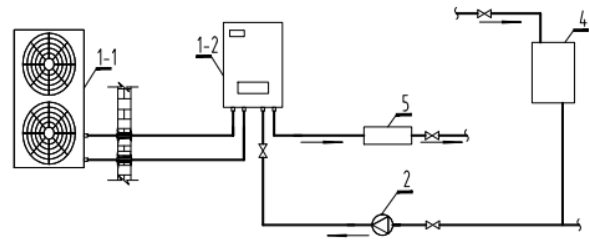
1-阀室 2-中低压调压箱 3-引入口阀门仪表一体箱 4-支管阀门箱 5-表箱 6-接壁挂炉 7-接双眼灶

图2.8 燃气供热系统流程示意图



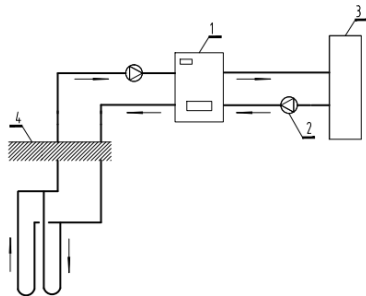
1-蓄热式电加热水罐 2-循环水泵  
3-膨胀水箱

图2.9 蓄热式供热系统流程示意图



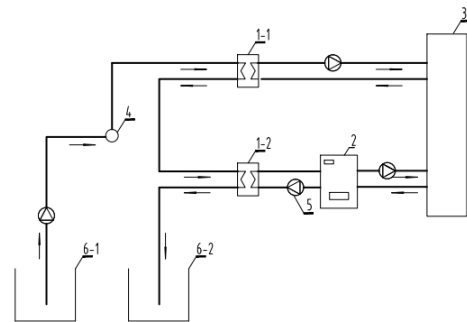
1-空气源热泵机组 2-循环水泵 3-闭式蓄热水箱  
4-膨胀水箱 5-电辅热

图2.10 空气源热泵供热系统流程示意图



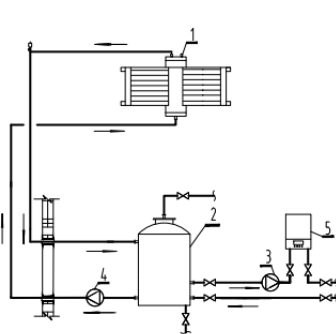
1-地源热泵机组 2-循环水泵 3-建筑末端  
4-埋管系统

图2.11 地源热泵供热系统流程示意图



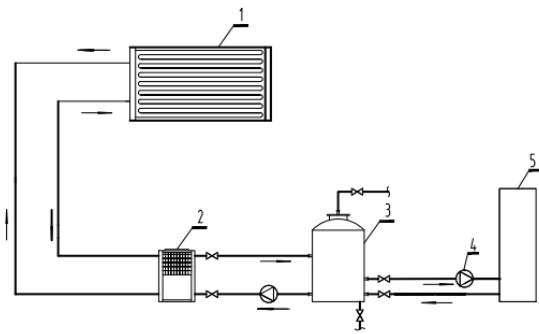
1-板式换热器 2-地源热泵机组 3-建筑末端  
4-旋流除砂器 5-循环水泵 6-地热井

图2.12 中深层地热供热系统流程示意图



1-太阳能集热器 2-蓄热水箱 3-循环水泵  
4-室外循环水泵 5-智能电壁挂炉

图2.13 太阳能供热系统流程示意图



1-聚热板 2-循环主机 3-蓄热水罐 4-循环水泵  
5-建筑末端

图2.14 太阳能热泵耦合供热系统流程示意图



## 2.4 采暖技术分析

结合清洁采暖技术在京津冀地区的应用情况以及产品技术的成熟程度，本报告主要选取下列 9 种常用采暖方案，从设备投资、运行成本、节能量、减排量四个方面进行对比分析。

- 方案 1：电热水锅炉
- 方案 2：蓄热式电锅炉
- 方案 3：蓄能电采暖器
- 方案 4：空气源热水热泵
- 方案 5：空气源热风热泵
- 方案 6：太阳能热水采暖+空气源热泵
- 方案 7：燃气壁挂炉
- 方案 8：生物质采暖炉
- 方案 9：清洁煤采暖炉

本报告设备投资、运行成本、节能量、减排量均选取实际运行数据，选用典型农宅进行分析，采暖面积为 80m<sup>2</sup>，农宅室内设计温度为 18℃。

### (1) 设备投资

在农村清洁能源供暖改造中，配套基础设施投资一般是电力公司、燃气公司承担，农户承担改造成本主要是设备投资，主要指采暖技术的供热热源设备、各类辅助设备、管路系统及供热末端等部分的投资。

表2.1 供暖方案设备投资

方案	采暖技术	设备初投资 (万元)	平均单位面积 设备初投资 (元/m <sup>2</sup> )
方案一 <sup>[1]</sup>	电热水锅炉	0.8-1.2	125.00
方案二 <sup>[2]</sup>	蓄热式电锅炉	1.2-1.8	187.50
方案三 <sup>[3]</sup>	蓄能电采暖器	0.4-0.6	62.50
方案四 <sup>[4]</sup>	空气源热水热泵	1.3-1.8	193.75
方案五 <sup>[5]</sup>	空气源热风热泵	0.9-1.2	131.25

方案六 <sup>[6]</sup>	太阳能热水采暖+ 空气源热泵	4.0-4.8	550.00
方案七 <sup>[7]</sup>	燃气壁挂炉	0.5-1.0	93.75
方案八 <sup>[8]</sup>	生物质采暖炉	0.3-0.4	43.75
方案九 <sup>[9]</sup>	清洁煤采暖炉	0.11-0.15	16.25

数据来源:

- [1]: 项目组现场调研数据;
- [2]: 项目组现场调研数据;
- [3]: 项目组现场调研数据;
- [4]: 项目组工程经验;
- [5]: 项目组工程经验;
- [6]: 访谈杨旭东老师所得, 其团队北京、河北、河南现场调研数据;
- [7]: 项目组工程经验;
- [8]: 项目组现场调研数据;
- [9]: 访谈杨旭东老师所得, 其团队北京、河北、河南现场调研数据;

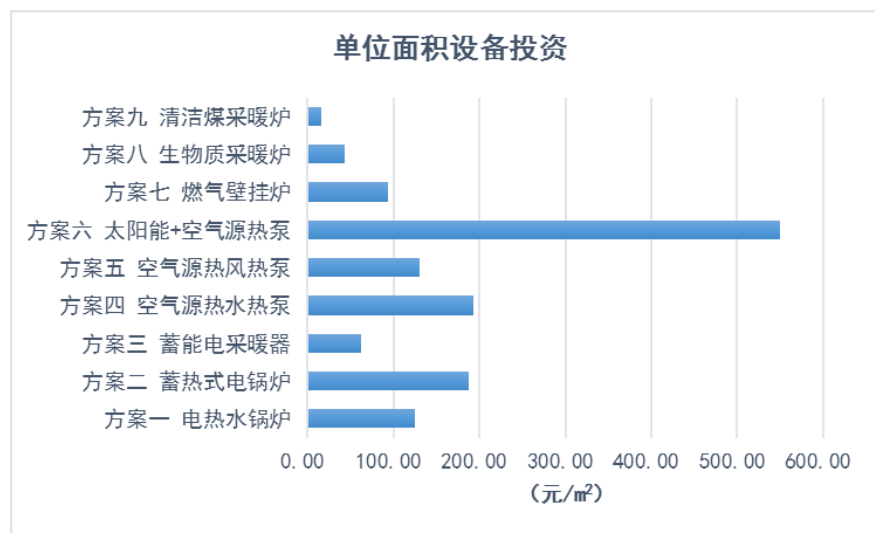


图2.15 各方案单位面积设备投资对比图

设备投资小结:

- 太阳能复合能源采暖技术（方案六）初投资要远高于单一能源采暖技术;

- 单一能源形式采暖方案中，单位面积设备投资低于 100 元/m<sup>2</sup> 的技术主要有生物质采暖炉、蓄能电采暖器、燃气壁挂炉；单位面积设备投资较高的技术主要有空气源热水热泵、蓄热式电锅炉。

## (2) 运行成本

本项目运行成本主要是热源消耗燃料实物量（如燃气锅炉的耗气量、电采暖及热泵的耗电量、煤炉具的耗煤量等）及费用、系统辅助设备的耗能（如水泵）产生的费用。系统维护和检修费用、折旧和摊销费用暂时不计。

表2.2 供暖方案运行成本

方案	采暖技术	燃料类型	全年能源耗量	平均采暖费用 <sup>[1]</sup> (元/年)	单位面积 年运行费用 元/(m <sup>2</sup> ·年)
方案一	电热水锅炉	电	8500-9500 kWh	3600	45.0
方案二	蓄热式电锅炉	电	8500-9500 kWh	2700	33.8
方案三	蓄能电采暖器	电	8000-9000 kWh	2550	31.9
方案四	空气源热水热泵	电	3600-4000 kWh	1520	19.0
方案五	空气源热风热泵	电	2000-2800 kWh	960	12.0
方案六	太阳能热水采暖 空气源热泵	电	1500-2000 kWh	700	8.8
方案七	燃气壁挂炉	燃气	800-1000 m <sup>3</sup>	2160	27.0
方案八	生物质采暖炉	生物质 颗粒	1.5-2.5 t	1000	12.5
方案九	清洁煤采暖炉	型煤	1.0-2.0 t	1500	18.8

<sup>[1]</sup> 采暖费用是指补贴前费用；

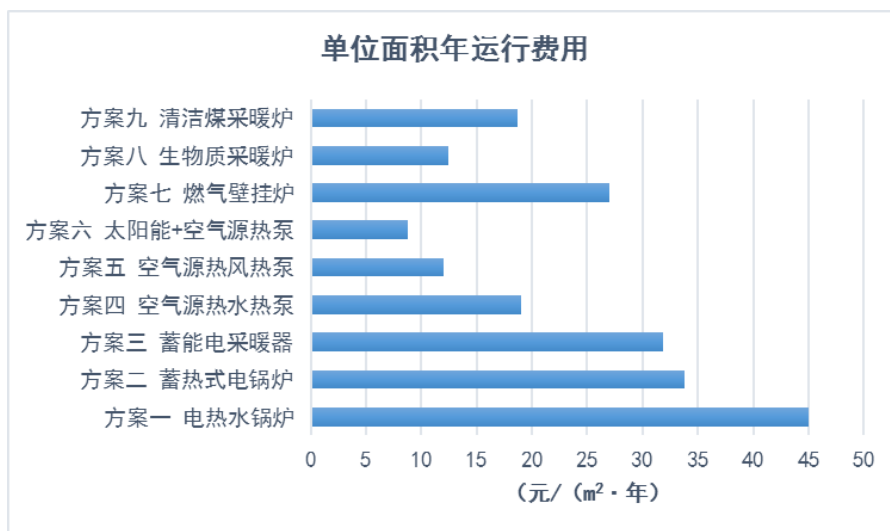


图2.16 各方案单位面积年运行费用对比图

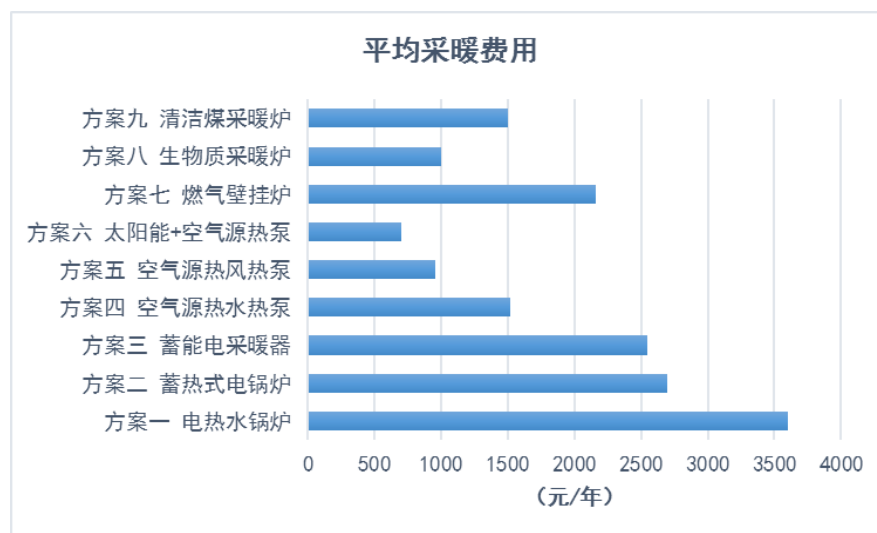


图2.17 各方案年平均采暖费用对比图

运行成本小结：

- 常规能源的采暖能耗高于新能源与可再生能源采暖能耗；太阳能复合能源采暖能耗低于单一能源采暖能耗；
- 利用电能直接加热采暖的技术（电热水锅炉）运行成本较高；采用蓄能技术进行采暖由于利用了低谷电的政策，运行成本要比直接电采暖低约 30%；空气源热泵的运行成本仅为直接电加热采暖 30%左右，且低于常规类型的煤及燃气采暖技术；

- 空气源热水系统运行成本高于空气源热风系统，主要是由于空气源热水系统辅助设备（水泵）能耗，导致整个系统综合效率降低；
- 太阳能与其他能源复合采暖技术的运行成本较低，太阳能与热泵类产品复合采暖技术，运行成本仅为9元/m<sup>2</sup>，约为清洁煤采暖的20%。

### （3）节能量

本课题中，单一能源的电采暖、燃气采暖及清洁煤采暖属一次常规能源，不进行节能量的计算，包括方案一、方案二、方案三、方案七、方案九；对不同类型的可再生能源采暖技术节能量估算见下表。

表2.3 供暖方案运行成本

方案	采暖技术	燃料类型	折合单位面积标准煤 <sup>[1]</sup> (kgce/m <sup>2</sup> )	年节标煤量 (tce/年)
方案一	电热水锅炉	电	13.89	——
方案二	蓄热式电锅炉	电	13.89	——
方案三	蓄能电采暖器	电	13.03	——
方案四	空气源热水热泵	电	5.84	0.62
方案五	空气源热风热泵	电	3.69	0.79
方案六	太阳能热水采暖 空气源热泵	电	2.69	0.87
方案七	燃气壁挂炉	燃气	13.72	——
方案八	生物质采暖炉	生物质颗粒	13.23	1.06
方案九	清洁煤采暖炉	型煤	13.57	——

<sup>[1]</sup> 折算系数取值：电 0.1229kgce/kWh；煤 0.7143kgce/kg；天然气 1.2143 kgce/m<sup>3</sup>；生物质颗粒 0.529 kgce/kg。

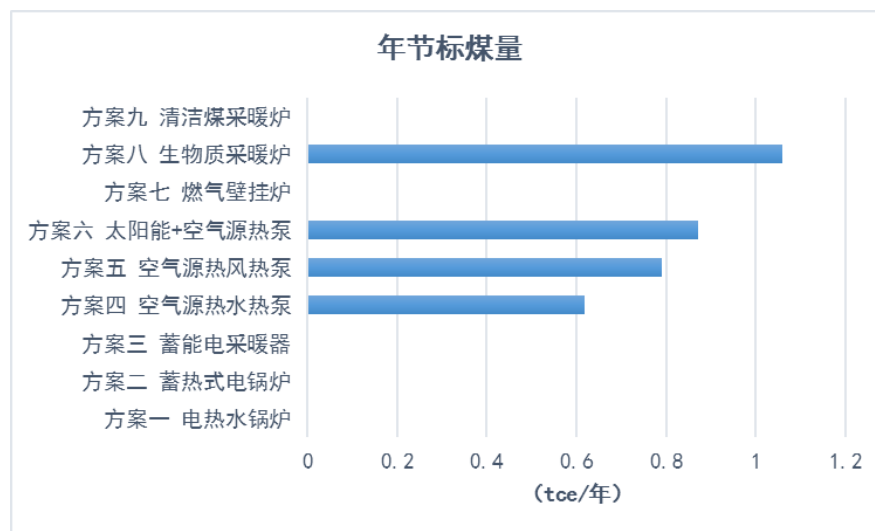


图2.18 各方案年节标煤量对比图

节能量小结：

- 采用热泵、可再生能源技术节能效果明显，全年节能量为 0.6-1.1t 标准煤。
- 生物质采暖炉节能量最大，为 1.1 t 标准煤，其次是太阳能+空气源热泵、空气源热风热泵、空气源热水热泵。

## 2.5 本章小结

电直热供暖技术：对应方案一，户内投资不足万元，但运行费用高，单位面积年采暖费用约 45 元。建筑能耗低、电力供应充足、经济条件较好、户内人员较少的农户，可采用电直热采暖。碳晶板采暖即插即热，开断灵活，温控方便，不需敷设管线，不需土建施工，改造对生活的影响很小；采用土暖气供暖的用户，可直接用直热式电锅炉替换燃煤小锅炉，施工快，影响小；发热电缆或电热膜，需将电缆或电热膜敷设在墙壁或地面里，改造对用户影响比前两种较大。经调研，个别采用电直热采暖的用户，存在因费用高而改回燃煤采暖的现象。

蓄热式电锅炉：对应方案二，户内投资约 1~2 万元，单位面积年运行费用 34 元。该技术电力消耗与电直热技术相等，但由于充分利用了峰谷电价，运行费用比直热技术低。因其对电力具有削峰填谷作用，电力公司鼓励用户采用该技术。蓄热电锅炉可直接利用户内散热器采暖末端，改造对农户生活影响较小。

固体蓄能电暖器：对应方案三，户内投资不足万元，单位面积年运行费用 30~35 元，低于电直热供暖技术。该设备可直插直用，不需要户内改造，不需要专门设备房间和管线安装，改造对农户影响很小，运行费用较低，在有一定市场。

空气源热泵：对应方案四、方案五，户内投资 1~2 万元，单位面积年运行费用 12~20 元，户内末端为风机盘管或地板采暖。近几年空气源热泵技术进步明显，据厂家测试-10 度时（北京市采暖室外计算温度-9.7 度）COP=2.3，适宜京津冀气候使用。

太阳能复合能源采暖系统：对应方案六，不仅可以解决住宅的采暖，同时可以满足生活热水的供应，且运行费用低，节能减排效益明显；但系统初投资较高，设计安装相对较复杂，适用于经济收入水平较高的地区或新农村新民居建设过程中推广应用。在辅助能源的选择上，低温空气源热泵适用范围较广，土壤源热泵由于在山区打井难、费用增大等问题，一般适用于平原地区应用；燃气辅助对于天然气供应便利的农村的地区是良好的采暖解决方案，但在碳中和背景下，不建议采用。

燃气壁挂炉：对应方案七，户内投资约 0.5~1 万元，单位面积年运行费用 27 元，户内末端为暖气片或地板采暖。可利用户内现有暖气片与管路，减小户内投资和改造影响。该方式投资较低，费用适中，可提供生活热水并解决炊事用能问题，农民接受度高。在气源稳定、充足的情况下，在燃气管网 1500 米范围之内，或具有 CNG、LNG 的村庄可采用燃气采暖。但是在碳中和背景下，燃气作为化石能源，并不是最佳清洁能源改造选择。

生物质采暖炉：对应方案八，户内投资约 0.3~0.4 万元，单位面积年运行费用 13 元，户内末端为暖气片或地板采暖。建议在生物质资源较为丰富的地区和用户取暖负荷较为分散的地区推广生物质分散式取暖，建议取消对生物质只有集中使用才算清洁能源的认知，建议为村镇地区使用生物质分户式取暖制定科学可行的排放指标，科学计算减排因子，纳入清洁取暖考核范围。

### 3 问卷调研及数据统计分析

本报告采用的数据主要来自课题组 2020 年河北省、天津市、北京市实地调研。河北省、天津市调研工作主要依托于河北工业大学能源环境工程系“美丽乡村”社会

实践活动，课题组负责整个问卷设计、调查员培训、数据校对、数据分析、报告撰写、样本抽样和数据回访等工作；河北工业大学负责调查访员招募与过程管理等工作。北京市调研工作完全由课题组策划、组织、整理及报告撰写。

### 3.1 问卷调研与实施

#### (1) 调研问卷和内容

本次问卷调研开展时间为 2021 年 4 月-9 月，首先以村庄为研究对象，考察截至调研开展时，河北省、天津市、北京市参与政策的村庄比例和各个村庄所采用的散煤治理替代方式。然后，针对调研村庄，进一步分析村内用户的家庭基本情况、取暖用能情况、散煤治理政策实施情况、参加政策居民的主观体验等。所以，本次调研主要包括两类问卷，一类是《农村散煤治理调查问卷》，该问卷旨在了解农村清洁能源改造整体情况；另一类是《农户散煤治理调查问卷》，该问卷调研工作要求深入农户家中，了解清洁能源具体使用情况。

##### 一、《农村散煤治理调查问卷》

根据课题需求，需了解村庄是否已经进行了清洁能源改造、改造时间、改造方式、改造数量、是否进行了节能改造等，并且需要深度挖掘清洁能源改造后存在问题和建议。因此，调研问卷包括如下内容：

- 村庄基本信息：包括村庄名称、村庄总户数；
- 供暖改造信息：包括清洁能源改造时间、煤改电户数、煤改气户数、煤改其他能源户数、散煤供暖户数及散煤供暖原因；
- 建筑信息：村庄房屋情况描述、完成节能改造户数；
- 意见反馈：描述调研过程中农户反馈的意见建议或调研者发现的问题。

##### 二、《农户散煤治理调查问卷》

根据课题需求，需了解居民家庭和供暖可能相关的基本信息、清洁取暖改造信息、用户对清洁取暖的态度等，因此，调研问卷包括如下内容：



- 农户基本信息：包括户主姓名、门牌号、常住人口、房屋面积、采暖面积、室内采暖平均温度、房屋保温情况、哪年完成清洁能源改造、最大可承受清洁能源改造投资、最大可承受取暖运行费用；
- 采暖形式：包括采暖热源形式、采暖原料、上一采暖季能源消耗量、未实施清洁取暖时燃煤量、日均采暖时间；
- 改造投资情况：清洁改造总投资；
- 运行情况：包括补贴前能源价格、采暖费用；
- 用户习惯：包括是否经常开门、是否经常开窗；
- 总体情况：是否能够承受现有采暖方式、是否支持煤改清洁能源取暖、供暖满意度打分。

## (2) 抽样方式

- 河北省、天津市抽样说明

本次调研，河北省、天津市采用一定分布下的随机抽样方式，调研农户要尽量涵盖不同的取暖方式、不同建筑类型、不同家庭收入，样本尽量多样化。

本次调研最初设计，调研村庄分布要求覆盖保定市 70%以上的县，覆盖石家庄市、唐山市、秦皇岛市、邯郸市、邢台市、张家口市、承德市、沧州市、廊坊市、衡水市 50%以上的县，每一个县选择不多于 5 个典型村进行调研。后来，根据调研员招募情况，对最初计划进行微调整，最终共调研了河北省 127 个县，297 个村庄，深入调研 2751 户农户家庭，村庄分布覆盖了河北省 74%的县城，样本分布广泛且均匀。河北省调研地区如下：

表3.1 河北省调研范围分布

序号	市	调研县城/区数量	县城覆盖率	调研村庄数量	调研农户数量
1	保定市	20	80%	50	463
2	石家庄市	15	68%	33	325
3	唐山市	8	44%	14	116
4	秦皇岛市	5	71%	16	150
5	邯郸市	17	100%	34	328
6	邢台市	19	95%	46	347
7	张家口市	7	41%	18	170

8	沧州市	11	69%	24	240
9	廊坊市	4	50%	13	128
10	衡水市	11	100%	29	285
11	承德市	10	91%	20	199
河北省 合计		127	74%	297	2751

本次调研天津市要求被调研农村尽量分散，共调研 30 个村庄，深入调研 290 户农户家庭，村庄分布覆盖了天津市 31%的区。天津市最终调研地区如下：

表3.2 天津市调研范围分布

序号	区	调研村庄数量	调研农户数量
1	荆州区	4	40
2	西青区	1	10
3	宁河区	5	50
4	北辰区	12	115
5	武清区	8	75
合计		30	290

- 北京市抽样说明

通过课题组走访了解，北京农村煤改电与煤改气比例约为 4:1，北京市煤改气虽总量没有煤改电多，但煤改气存在问题更突出，所以在调研样本选取时，倾向性多选择煤改气村庄、农户进行调研，本次共调研了北京市 44 个村庄，深入调研 207 户农户家庭，村庄分布覆盖了北京市 44%的区。最终北京市调研地区如下：

表3.3 北京市调研范围分布

序号	区	调研村庄数量	调研农户数量
1	密云区	2	10
2	平谷区	12	55
3	延庆区	3	15
4	房山区	10	50
5	通州区	15	67
6	顺义区	1	5
7	大兴区	1	5

---

合计	44	207
----	----	-----

---

### (3) 问卷实施与质量控制

为保证调研结果准确真实，在正式调研之前，组织一次试调研，试调研时间为2021年5月，针对试调研问卷结果进行总结归纳，及时发现问题，并解决问题。

实地调研前，对所有入选调研员进行2次集中培训，第1次集中培训时间为2021年4月（试调研之前），第2次集中培训时间为2021年6月（试调研之后，正式调研之前）。集中培训内容包括调研问卷讲解、调研方法、注意事项、调研成果验收条件等。

实地调研中，要求调查员按照《问卷调研计划》和培训中提出的相关要求，开展问卷调查和资料收集工作，并保留调研过程中照片、视频等现场资料。课题组相关人员担任调研团队联系人，跟踪团队调研工作进展，传达相关通知。

实地调研后，课题组成员负责筛查审核调研问卷，确保调研结果准确有效性。对具有代表性的村庄、农户，课题组进行实地回访，同时核验问卷有效性。

## 3.2 调研数据统计分析

课题组详细整理调研问卷，对调研数据进行统计，通过系统分析，充分挖掘河北省、天津市、北京市三地散煤治理异同之处，进一步针对性分析京津冀三地农村煤改清洁能源效果。

### (1) 样本基本信息分析

- 家庭常住人口

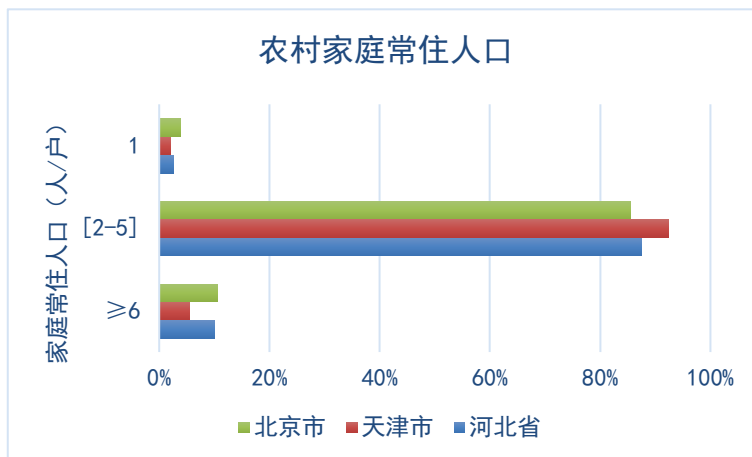


图3.1 农村家庭常住人口

根据本次调研样本分析，超过 85%的农户家庭常住人口为 2-5 人，农村家庭常住人口数量呈逐年减少趋势。很多农村中，25-50 岁年龄段的多数人员由于自身工作、孩子上学等原因，常年居住在城镇。调研的家庭样本中，很多家庭常住人口为老人，所以考虑到农村取暖人群特殊性，在进行清洁能源改造时，需要考虑其经济性、安全性、便捷性等。

- 家庭住房面积、采暖面积

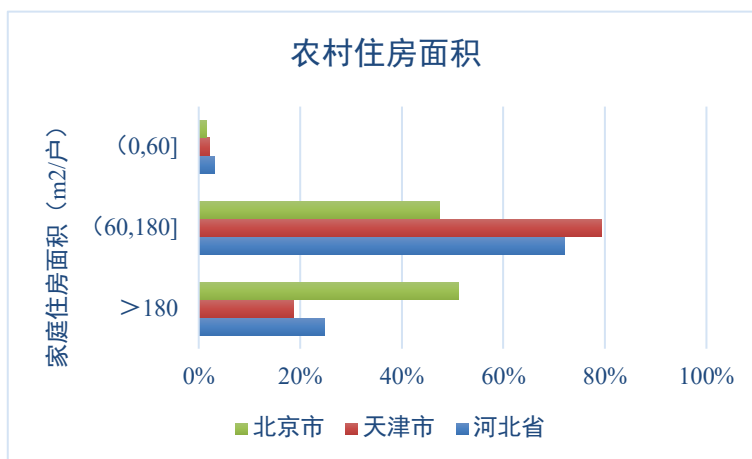


图3.2 农村住房面积

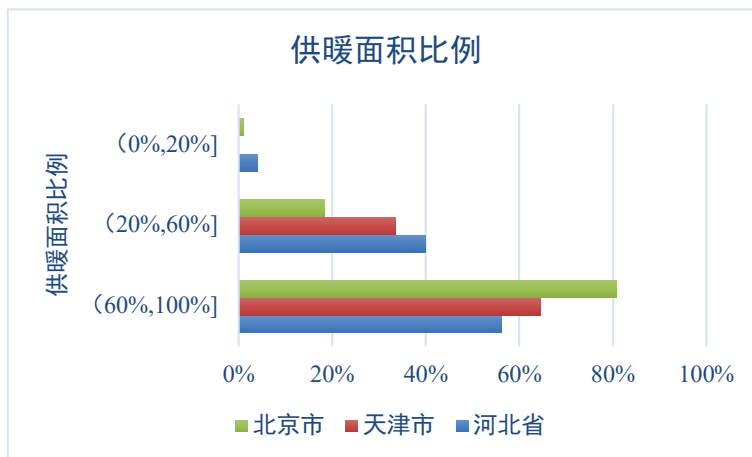


图3.3 供暖面积比例

根据本次调研样本分析，可以看出：

天津市、河北省家庭住房面积 60-180 平米居多，接近总样本数 80%。接近 60% 的家庭样本中，住房面积 60%-100%冬季进行采暖，而 40%的家庭，供暖面积不超过住房面积 60%。

北京市农户家庭，50%的家庭住房面积为 60-180 平米，50%的家庭住房面积超过 180 平米。接近 80%的家庭样本中，住房面积 60%-100%冬季进行采暖。北京市农户家庭住宅面积、采暖面积、采暖比例都明显大于天津市、河北省农户家庭。

- 室内平均采暖温度

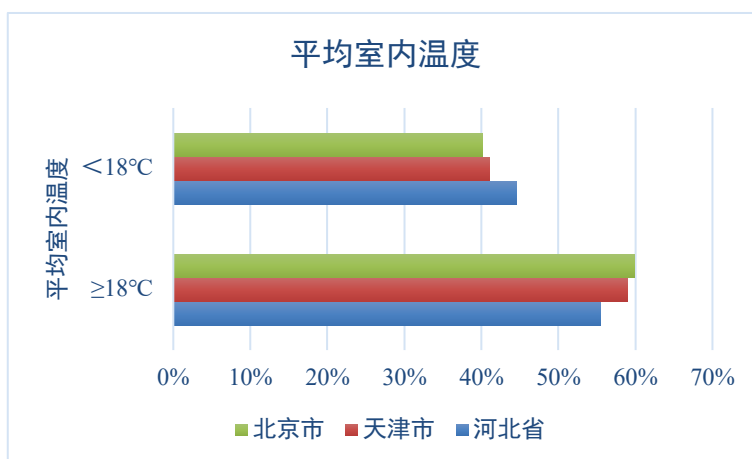


图3.4 平均室内温度

根据本次调研样本分析，京津冀农户家庭仅有 60%冬季采暖平均温度可以达到 18℃，超过 40%的农户家庭采暖温度不到 18℃。

虽然受生活方式、生活习惯影响，农户要求的冬季室内温度会低于城镇居民，但目前的室温偏低情况并不完全是农户“主观为之”。调研过程中，超过一半农户反馈，清洁能源改造后取暖效果不理想。大多数农户反馈，主要原因是运行成本太高，负担不起，所以减少供暖设备开机时间，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气现象，供暖设备设计不合理，导致温度偏低。

- 房屋保暖情况

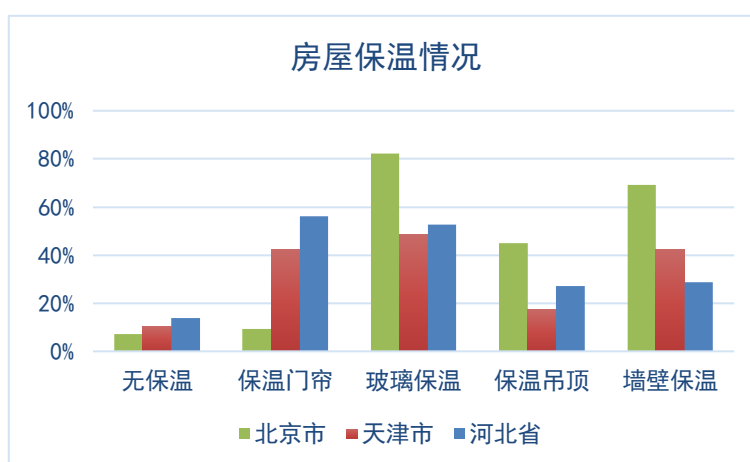


图3.5 房屋保温情况

根据本次调研样本分析，北京市农村房屋保温、建筑节能情况最优，天津市次之，河北省房屋保温情况较差。

北京市调研样本中，仅 7.2%农村房屋没有采取任何保温措施。农户家庭采用的房屋保温措施主要有：墙壁保温、保温吊顶、玻璃保温，少数家庭还会增加保温门帘。这几种保温方式并不是孤立的，多数家庭同时采取多种保温方式。82%的农户家庭安装双层玻璃，65%的农户家庭进行了外墙保温，45%农户家庭进行保温吊顶，10%农户家庭增加了保温门帘。调研样本家庭中，采用保温门帘家庭全部进行了外墙保温，且大多数安装双层玻璃；进行保温吊顶的家庭，基本全部安装了双层玻璃，其中近一半家庭进行了外墙保温；进行外墙保温的家庭中，多数安装了双层玻璃。

天津市调研样本中，10.7%农村房屋没有采取任何保温措施。49%的农户家庭安装双层玻璃，43%的农户家庭进行了外墙保温，18%农户家庭进行保温吊顶，42%农

户家庭增加了保温门帘。调研样本家庭中，进行保温吊顶的家庭，近一半安装了双层玻璃，且近一半家庭进行了外墙保温；采用保温门帘家庭近一半进行了墙壁保温，其中多数为外墙保温，少数为内墙保温，40%家庭安装了双层玻璃；进行外墙保温的家庭，近一半安装了双层玻璃。

河北省调研样本中，13.9%农村房屋没有采取任何保温措施。53%的农户家庭安装双层玻璃，29%的农户家庭进行了外墙保温，27%农户家庭进行保温吊顶，56%农户家庭增加了保温门帘。调研样本家庭中，进行保温吊顶的家庭，超一半安装了双层玻璃，仅其中10%家庭进行了外墙保温；采用保温门帘家庭，仅其中9%进行了墙壁保温，超一半家庭安装了双层玻璃；进行外墙保温的家庭，其中62%安装了双层玻璃。

## （2）采暖形式

- 清洁取暖方式

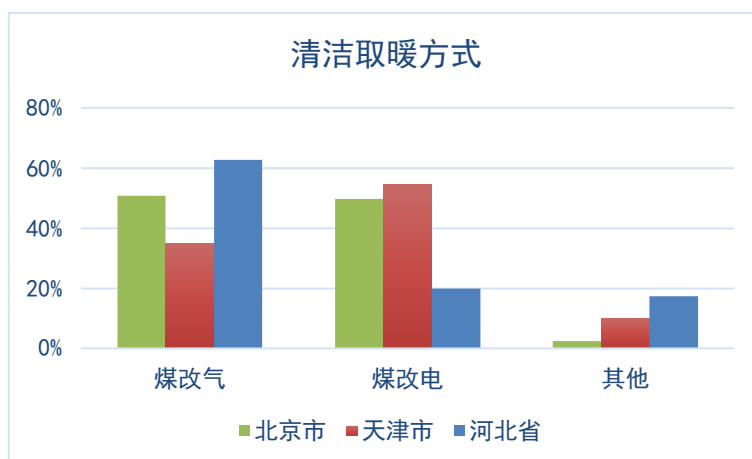


图3.6 清洁取暖方式

本次调研样本中，90%的农户家庭进行了煤改气、煤改电改造。样本中，北京市农村煤改气、煤改电比例接近1:1，而实际上北京市农村煤改气、煤改电比例为4:1，两者不统一原因主要是调研样本选取时，因北京市煤改气问题更突出，所以课题组倾向性多选择煤改气村庄、农户进行调研；天津市55%农户家庭进行了煤改气，35%农户家庭进行了煤改电，这与天津市整体改造比例相吻合；河北省63%农户家庭进行了煤改气，20%农户家庭进行了煤改电，这与河北省整体改造比例相吻合。

京津冀三地在供暖方式选择上，煤改气供暖方式基本一样，主流方式是燃气壁挂炉，超过97%农户家庭采用燃气壁挂炉取暖，剩余农户家庭采用燃气锅炉。煤改电方

式选择上，却体现出很大差异性。煤改电样本中，北京市 95%农户家庭采用空气源热泵取暖；天津市 58%农户家庭采用空气源热泵取暖，34%农户家庭采用直热电暖气取暖；河北省 53%农户家庭采用直热电暖气取暖，33%农户家庭采用空气源热泵取暖，14%农户家庭采用蓄热热电暖气取暖。

- 清洁能源改造时间

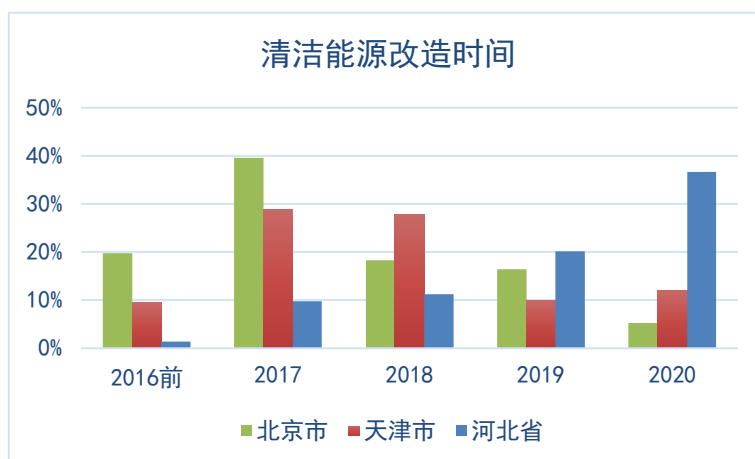


图3.7 完成清洁能源改造时间

根据本次调研样本分析，可以看出京津冀三地清洁能源改造政策执行时间差异性，北京市最早开始清洁能源，2016年之前，调研样本家庭 20%已经完成清洁能源改造，之后 2017-2019 年三年时间持续推进，2020 年之后基本改造完成；天津市清洁能源改造时间集中在 2017-2019 年，三年时间完成了 70%农户家庭清洁能源改造；河北省清洁能源改造启动最慢，2017 年才开始大范围改造。



### (3) 改造投资

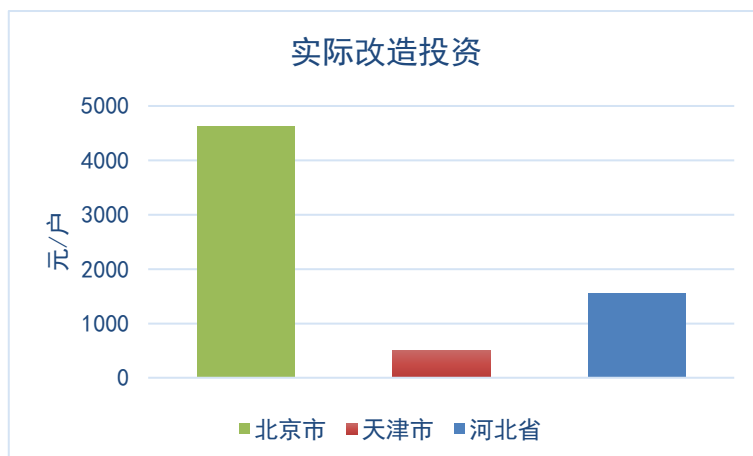


图3.8 实际改造投资

根据本次调研样本分析，北京市农户家庭实际投资最多，约 4500 元；河北省次之，约 1500 元；天津市最少，约 500 元。

河北省、天津市、北京市基本设备补贴政策如下，各县各区在具体执行过程中会略有不同，但不影响整体补贴情况。

表3.4 京津冀三地设备补贴政策

区域	煤改气		煤改电	
	最大补贴份额	最多补贴金额	最大补贴份额	最多补贴金额
北京市	90%	7650 元	100 元/m <sup>3</sup>	12000 元
天津市		6200 元		蓄热电暖气：4400 元/台 空气源热泵：25000 元/户
河北省 <sup>[1]</sup>	70%	2700 元	85%	7400

[1]: 河北省具体补贴政策各市会有不同。

从补贴政策可以看出，三地补贴差距较大。煤改气设备补贴，北京市、天津市远大于河北省补贴；煤改电设备补贴，北京市、天津市远大于河北省补贴，天津市补贴力度尤其大，基本可以覆盖居民设备投资。

不管是煤改电还是煤改气，天津市设备补贴额度最大，基本可以覆盖居民整体投资，所以农户家庭实际支出最少，约为 500 元；北京市补贴力度大于河北省，但河北省农户家庭实际投资却小于北京市，主要原因是北京市煤改空气源热泵样本数量多，

进行 12000 元设备补贴后，北京市农户家庭实际投资额度还是比较高，而河北省煤改气用户居多，煤改气补贴 70%后，河北省农户家庭实际投资额度比较低。

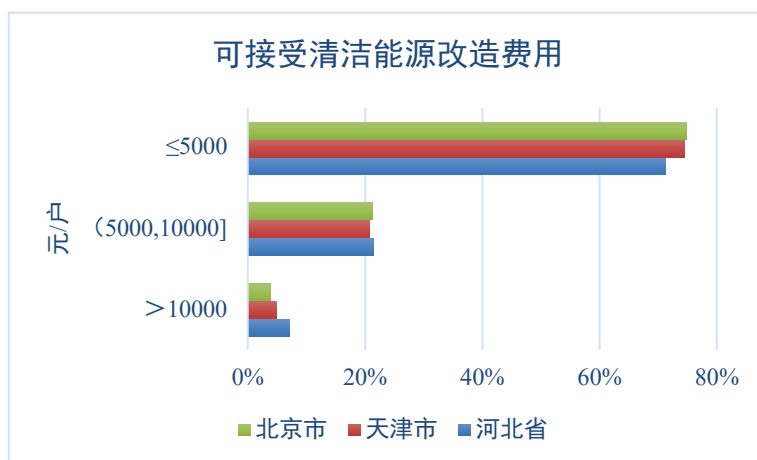


图3.9 可接受清洁能源改造费用

根据本次调研样本分析，75%农户家庭可接受清洁能源改造费用为不高于 5000 元，20%农户家庭可接受清洁能源改造费用为 5000-10000 元，超过 10000 元农户表示难以负担。

2020 年，河北省农村居民人均可支配收入为 16467 元，天津市农村居民人均可支配收入为 25691 元，北京市农村居民人均可支配收入为 30126 元。本次调研样本中，家庭人员数平均为 3.5 人，所以河北省、天津市、北京市家庭可支配收入约为 57635 元、89919 元、105441 元。虽然，三地家庭可支配收入差距较大，但农户家庭可接受的清洁能源改造费用均为 5000 元以内，且在调研过程中，大多数河北省农户家庭反馈，更愿意接受的改造费用是不超过 3000 元，也就是说，农户家庭愿意接受的清洁能源改造费用占家庭可支配收入的 5%以内。

目前，清洁取暖方式中，只有生物质采暖炉设备投资小于 5000 元，电热水锅炉、直热电采暖器、蓄热电采暖器、燃气壁挂炉设备投资可以控制在 10000 元以内，热泵、太阳能等设备投资超过 10000 元。也就是说，如果没有国家投资补贴，清洁取暖改造会给农户家庭造成巨大经济压力。

#### (4) 运行费用

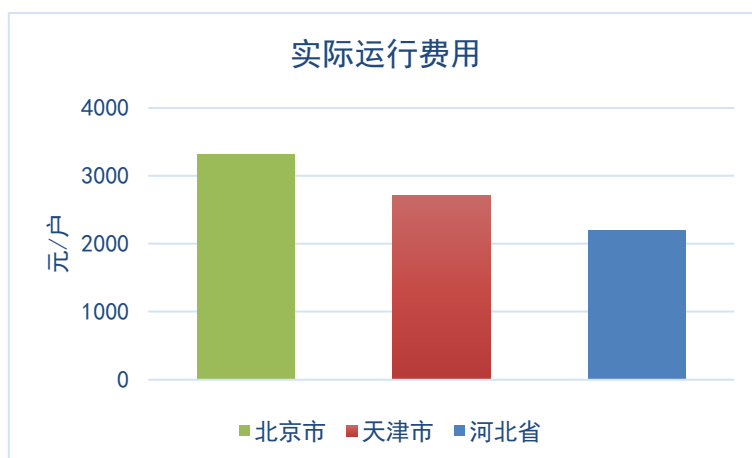


图3.10 实际运行费用

根据本次调研样本分析，北京市农户家庭实际运行费用最多，约 3300 元；天津市次之，约 2700 元；河北省最少，约 2200 元。

河北省、天津市、北京市基本补贴政策和能源价格如下，各县各区在具体执行过程中会略有不同，但不影响整体补贴情况。

表3.5 京津冀三地取暖运行补贴政策

区域	煤改气			煤改电		
	补贴单价	最多补贴数量	最多补贴金额	补贴单价	最多补贴数量	最多补贴金额
北京市	1.0 元/m <sup>3</sup>	1200 m <sup>3</sup>	1200 元	0.2 元/kWh	10000 kWh	2000 元
天津市	1.2 元/m <sup>3</sup>	1000 m <sup>3</sup>	1200 元	0.2 元/kWh	8000 kWh	1600 元
河北省	1.0 元/m <sup>3</sup>	1200 m <sup>3</sup>	1200 元	0.2 元/kWh	10000 kWh	2000 元

表3.6 京津冀三地取暖能源价格

区域	煤改气	煤改电	
	燃气单价	峰时段	谷时段
北京市	2.61 元/m <sup>3</sup>	12 h: 8:00-20:00 0.49 元/kWh	12h: 20:00 - 次日 8:00 0.30 元/kWh
天津市	2.40 元/m <sup>3</sup>	15 h: 6:00-21:00 0.49 元/kWh	9h: 21:00 - 次日 6:00 0.30 元/kWh
河北省 <sup>[1]</sup>	2.65-2.80 元/m <sup>3</sup>	14 h: 8:00-22:00	10h: 22:00 - 次日 8:00

0.57 元/ kWh

0.31 元/ kWh

采暖期（每年 11 月至次年 3 月）可选择执行峰谷电价，各地电价会略有不同。

从补贴政策可以看出，三地补贴力度相当。从能源价格可以看出，天然气价格河北省最高，北京市次之，天津市最低；电力价格综合考虑谷时段时长、各时段电价可以看出，河北省最高，天津市次之，北京市最低。

不管是煤改电还是煤改气，河北省在能源价格方面均不占优势，但从实际调研情况看，河北省农户家庭实际运行费用最低，主要原因是河北省家庭平均供暖面积小、平均室内温度最低等，低运行费用是牺牲供暖舒适度换来的。北京市在能源价格方面有明显优势，但北京市农户家庭实际运行费用最高，主要原因是北京市家庭平均供暖面积明显大于河北省与天津市、平均室内温度较高等。

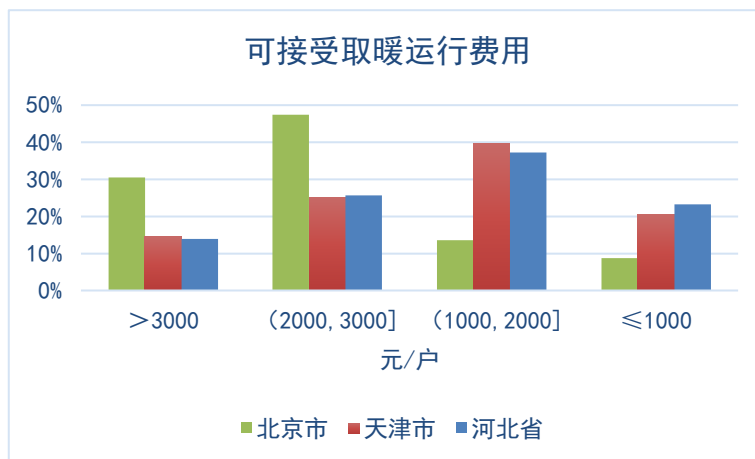


图3.11 可接受取暖运行费用

根据本次调研样本分析，可以看出京津冀三地农户家庭可接受取暖运行费用存在明显差异性，北京市 80%农户家庭表示可以接受超过 2000 元采暖费，其中 30%农户家庭可以接受超过 3000 元采暖费；天津市、河北省 60%农户家庭只能接受少于 2000 元取暖费，仅 40%农户家庭表示可以接受超过 2000 元采暖费。

如前所述，河北省、天津市、北京市家庭可支配收入约为 57635 元、89919 元、105441 元。经过调研数据分析，河北省、天津市、北京市农户家庭可接受取暖费用平均为 1832 元、2310 元、2968 元，占家庭可支配收入比例分别为 3.2%、2.6%、2.8%。可以看出，农户家庭更愿意接受家庭可支配收入 3%用于冬季取暖。

目前，清洁取暖方式中，在保证室内温度的前提下，只有生物质采暖炉、空气源热泵取暖运行成本小于 2000 元，其他采暖方式运行成本高于 2000 元，也就是说，如果没有国家运行补贴，清洁取暖取暖费用会给天津市、河北省农户家庭造成巨大经济压力。蓄热电锅炉、蓄热电暖气、直热电暖气、燃气壁挂炉等运行成本均可控制在 3000 元以内，在北京市农户家庭可接受范围内，清洁能源改造方式选择性更多。

(5) 用户习惯

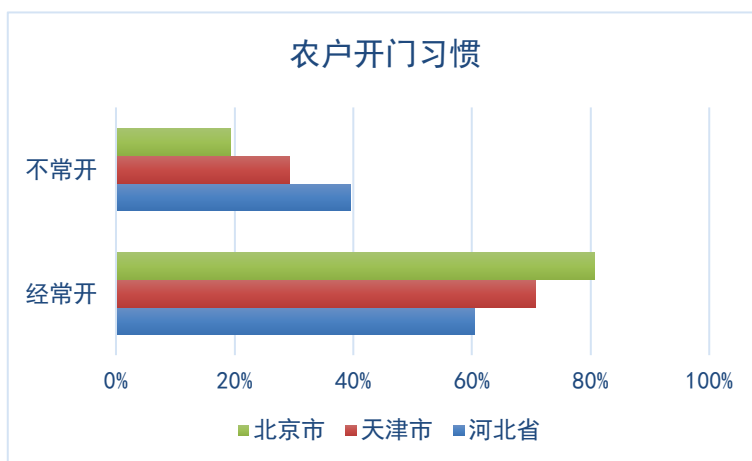


图3.12 农户开门习惯

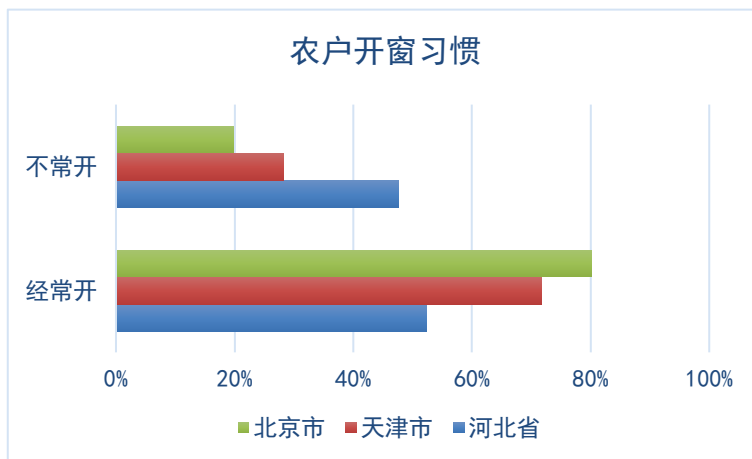


图3.13 农户开窗习惯

冬季取暖时，农户家庭的生活习惯不同于城镇家庭，城镇家庭基本不开门，偶尔会开窗透气，但农户家庭则会经常性开门开窗。北京市 80%农户家庭会选择经常性开门开窗，天津市 70%农户家庭会选择经常性开门开窗，河北省 60%农户家庭会选择经

常性开门开窗。这些习惯，导致农户家庭单位能耗高于城镇家庭，也是平均室内温度相对较低的主要原因之一。

## （6）整体评价

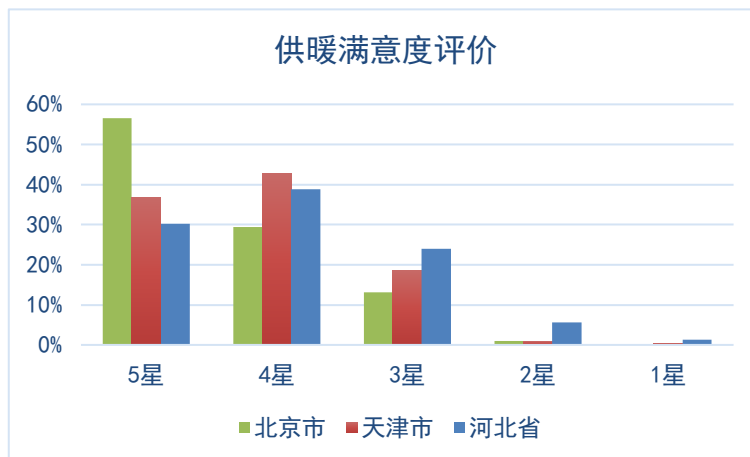


图3.14 供暖满意度评价

综合考虑，清洁取暖投资费用、运行费用、使用体验、用户感受等多方因素，调研样本农户家庭对清洁取暖给出满意度评价。根据调研结果可以看出，北京市超过 55% 的农户家庭给出五星满分评价，超过 86% 的农户家庭给出四星满意度；河北省、天津市 35% 的农户家庭给出五星满分评价，超过 70% 的农户家庭给出四星满意度。整体而言，大多数农户家庭比较支持清洁能源改造。

调研过程中，大多数农户家庭反馈，清洁取暖改造后，家里空气明显得到改善，并且也不需要添加炭火，很多设备可以实现一键式取暖，方便很多，比较支持清洁能源改造；但河北省 10%、天津市 4%、北京市 1% 的样本农户家庭则表示完全不能接受清洁能源改造，这部分家庭常住人口主要是老人，家庭收入比较低，且比较习惯于原散煤取暖方式，因此不愿做出改变。

## 3.3 调研过程中发现问题

### （1）煤改气存在问题

课题组在调研过程中，发现农村煤改气存在问题较多，包括安全隐患、供气不足、成本过高、取暖效果不佳等。

- 安全隐患

参与调研样本村庄中，超一半煤改气村庄存在各种各样安全隐患。引起安全问题的原因主要是两方面：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，也存在使用不规范现象，存在各种安全隐患。下面列出课题组在调研过程中发现比较典型的重大隐患、中等隐患问题。



图3.15 LNG供气站与站外配电设施距离不足（重大隐患）



图3.16 引入口与建筑物距离大，未加任何保护措施（重大隐患）

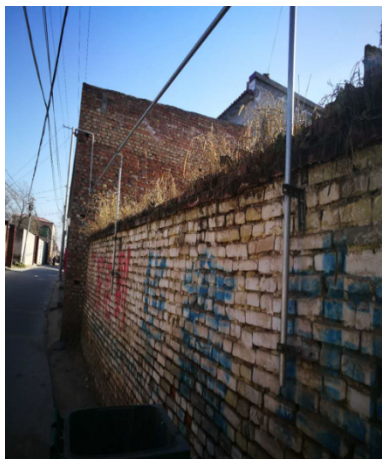


图3.17 管道支撑在危墙上（重大隐患）

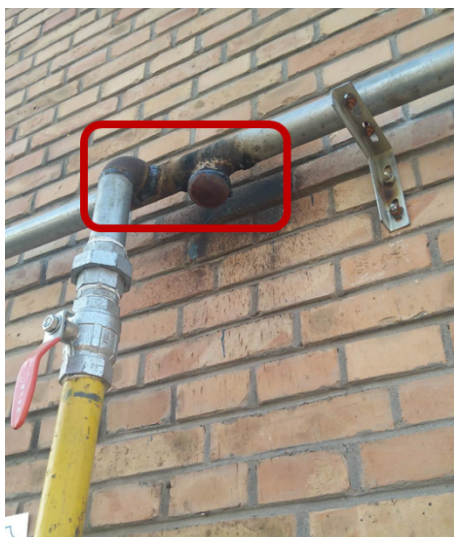


图3.18 焊口没有防腐（重大隐患）



图3.19 出地面管道无保护台（重大隐患）



图3.20 燃气管线穿越河道未采用直埋，在河道中央设置支架（重大隐患）





图3.21 穿墙套管为塑料管（重大隐患）



图3.22 燃气管挡窗户（重大隐患）

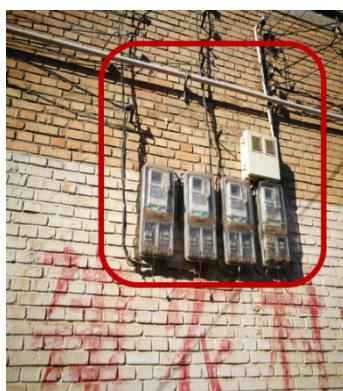


图3.23 燃气管线与电线、电力设施距离不符合要求，且未进行保护处理（中等隐患）



图3.24 管道穿越现状雨水管，未采用任何避让、保护措施，直接野蛮穿越（中等隐患）



图3.25 阀门处均无固定关卡（中等隐患）



图3.26 镀锌管直接开岔口，直接焊接，但也有用管件的，标准不统一（中级隐患）



图3.27 同等条件下管材选用标准不统一（中等隐患）



图3.28 末端盲肠太长，有隐患（中等隐患）



图3.29 燃气设施未闭合（中等隐患）



图3.30 胶管室内敷设过长及燃具随意放置（中等隐患）



- 供气不足

参与调研样本村庄中，超 20%煤改气村庄存在供气不足问题。导致供气不足原因主要是两方面：一方面是由于设计不合理，燃气管道管径过细，过流能力低，末端用户供气不足；另一方面则是由于气荒，天然气能源供应不足，气荒问题已经成为近几年煤改气面临的重大挑战。



图3.31 管径过细，过流能力低，用户反映只能关闭壁挂炉才能做饭（设计导致供气不足）

- 成本过高

根据本次调研样本分析，京津冀煤改气农户家庭供暖季实际运行费用在 2500-3500 元之间，天津市、河北省 60%农户家庭表示难以接受超过 2000 元取暖费，高额的取暖费用给农户家庭造成很大压力。

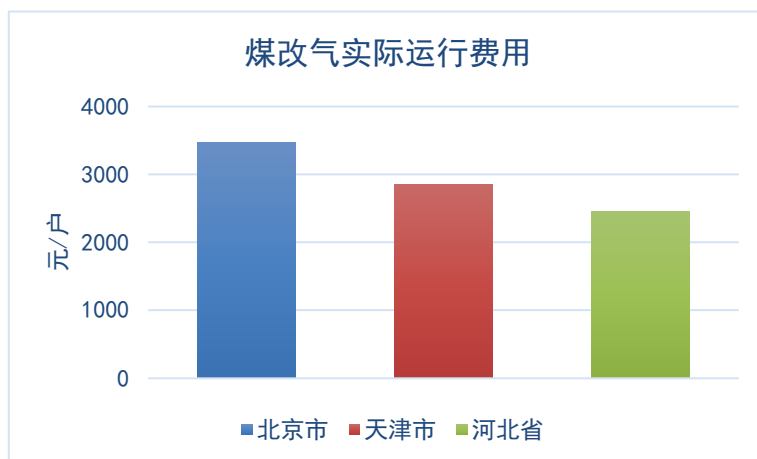


图3.32 煤改气实际运行费用

- 取暖效果不佳

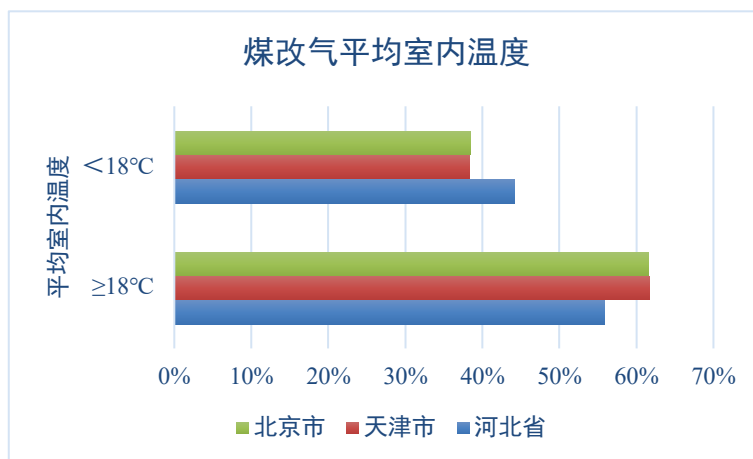


图3.33 煤改气平均室内温度

根据本次调研样本分析，京津冀煤改气农户家庭约 60%冬季采暖平均温度可以达到 18°C，约 40%的农户家庭采暖温度不达标。

调研过程中，超过一半农户反馈，清洁能源改造后取暖效果不理想。大多数农户反馈，主要原因是运行成本太高，负担不起，所以减少供暖设备开机时间，牺牲了室内温度；对于煤改气用户，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。

**(2) 煤改电存在问题**

相对煤改气，煤改电存在问题较少。通过调研，农村煤改电存在成本过高、采暖效果不佳等问题。

- 成本过高

根据本次调研样本分析，京津冀煤改电农户家庭供暖季实际运行费用在 1500-2500 元之间，河北省农户家庭普遍反馈取暖时舍不得用电，天津市 40%农户家庭表示目前取暖费用偏高，北京市农户家庭则表示取暖费用尚可接受。

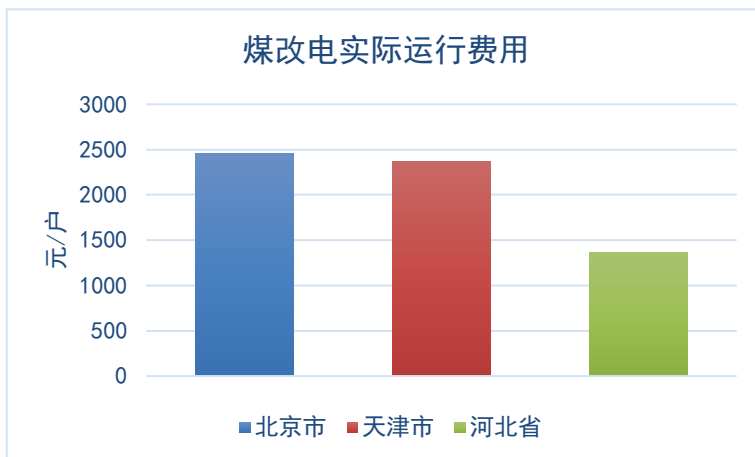


图3.34 煤改电实际运行费用

- 采暖效果不佳

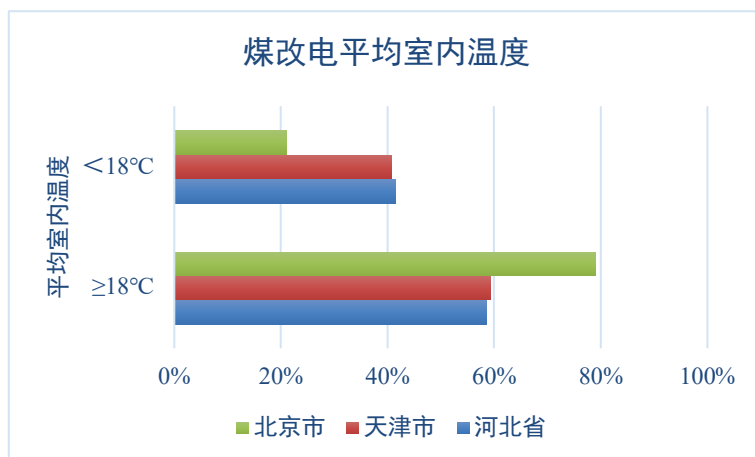


图3.35 煤改电平均室内温度

根据本次调研样本分析，河北省、天津市煤改电农户家庭仅有 60%冬季采暖平均温度可以达到 18°C，超过 40%的农户家庭采暖温度不达标。北京市超过 20%的农户家庭采暖温度不达标。

调研过程中，超过一半农户反馈，清洁能源改造后取暖效果不理想。大多数农户反馈，主要原因是运行成本太高，负担不起，所以减少供暖设备开机时间，牺牲了室内温度；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气现象，供暖设备设计不合理，导致温度偏低。

### （3）散煤复燃问题

调研农户家庭反馈，散煤复燃原因主要是两大类，一类是主动散煤复燃，即进行了清洁能源改造，但居民家庭由于运行费用贵、家里老人使用不习惯等问题，居民选择整个供暖季散煤取暖；另一类是被动散煤复燃，复燃主要原因是由于供气不足、气荒等原因，导致居民不得不在个别时间内选择散煤复燃取暖。由于被动散煤复燃现象的不确定性，课题组无法做详细调研和统计，所以课题组本次调研，主要统计了主动选择散煤复燃现象，被动选择散煤复燃现象则难以统计。

参与调研村庄样本中，北京市调研村庄不存在主动散煤复燃问题；天津市调研村庄仅一村 30 户农户存在主动散煤复燃问题，复燃农户常住人口为老人，困难以负担清洁能源取暖费，所以采用散煤取暖；河北省调研村庄中，主动散煤复燃现象相对严重。

河北省共调研 297 村，村庄农户总数为 183894 户，其中进行清洁能源取暖改造用户为 149344 户，有 1877 户农户存在散煤复燃现象，整体主动散煤复燃率为 1.26%。根据调研，唐山市、邢台市散煤复燃现象较为严重，分别占 5.07%、4.38%；保定市、石家庄市、张家口市、沧州市、衡水市存在少数散煤复燃现象，比例不足 1%；秦皇岛市、邯郸市、廊坊市、承德市根据调研，没有发现散煤复燃现象。

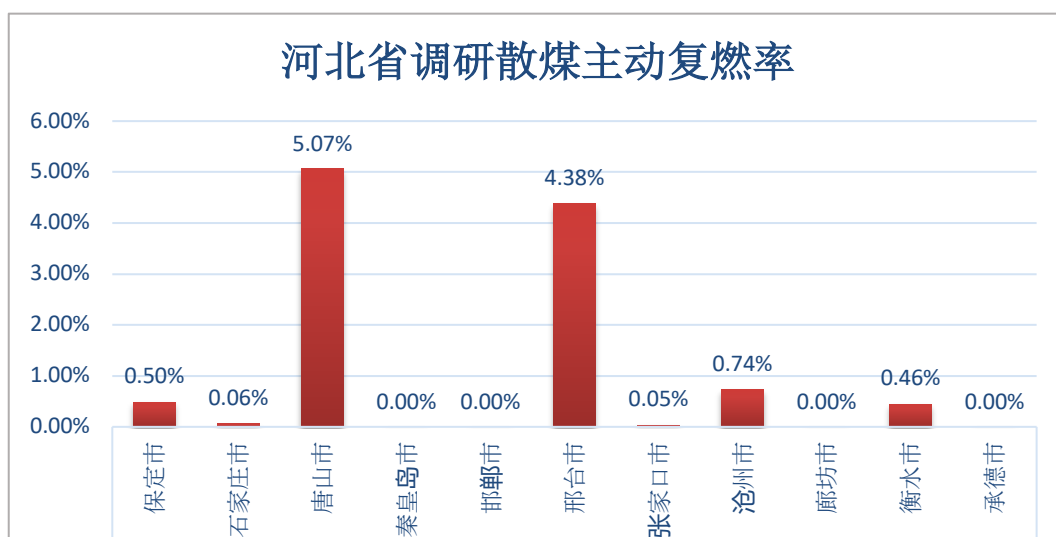


图3.36 河北省调研散煤主动复燃率

虽未对被动散煤复燃现象进行详细统计，但调研过程中，我们发现河北各市针对散煤复燃现象，均采取了针对性措施，主要包括入户检查、无人机、散煤复燃检查 App 等。所以，2020-2021 年供暖季河北散煤复燃现象还是得到明显控制。

## 4 清洁取暖方式影响因素及分析

课题组对北京市、天津市、河北省农村煤改清洁能源取暖开展了大范围调研。

北京市农村清洁能源改造最明显特征是经济驱动，北京市清洁取暖改造率高、效果好，离不开北京市财政强有力的支撑，北京市煤改清洁能源设备补贴、运行补贴力度均为全国之最，北京市农村清洁能源改造模式难以在全国范围内复制。

天津市农村清洁能源改造最明显特征是体量小，天津市农村地区采暖总户数为 108 万户，低于北京市 135 万户、河北省 1016 万户。天津市农村地区多为平原，清洁取暖改造阻力小。天津市 2020 年的 GDP 总量在我国各大城市中排行第 11 位，对农村煤改清洁能源工作，天津市财政可以给予大力支持，煤改清洁能源设备补贴、运行补贴力度均为全国前列。天津市农村清洁能源改造模式在全国范围内不具有代表性。

河北省农村清洁能源改造最明显特征是政策驱动，在政策目标指导下，河北省有序推进清洁能源改造工作。这种模式也是国内其他省农村煤改清洁能源主要模式。本课题在河北省样本分布广泛且均匀，河北省涉及供暖方式较全面，所以本章以河北省为例，对散煤治理的收益-成本进行分析，从而对各种农村清洁取暖方式进行客观评价和排序。

### 4.1 影响因素分析

在对民用散煤治理各类清洁取暖方式进行量化分析之前，需先构建科学而全面的评估指标体系，将定性、半定量、定量的指标纳入指标体系，再对其建立数学模型，对各类技术的应用效果进行真实、客观、量化评估。

评估指标体系的一级指标主要包括节能减排效益、经济性、有效性、适用性。



节能减排是国家提出清洁能源改造着力解决的问题根源，是保障区域内全体民众切身生活的关键，是煤改清洁能源技术选择的重要因素。节能减排效益可用能源消耗减少量、碳减排量、污染物减排量等二级指标评估。

经济性是维系清洁取暖可持续发展的关键因素，直接关系到用户成本、政府成本。经济性可以通过居民设备安装投资、居民取暖运行成本、政府基础设施建设投资、政府一次性设备安装补贴、政府运行费用补贴等二级指标评估。

有效性是指技术路线是否可以给用户安全、可靠、舒适、可持续的供应。有效性可以用居民取暖清洁度与舒适度、设备运行持续性与稳定性等二级指标评估。

适用性是指技术路线的应用与本地区近远期发展、产业规划资源的分布、应用潜力、持续稳定供应的结合程度，是否考虑电网与天然气管网等能源基础设施的建设水平，是否与当地实际情况协同。适用性可以通过协同性（与当地情况是否协同，如经济水平、自然条件、气候条件等）、基础设施匹配性、资源条件匹配性等二级指标评估。

表4.1 技术评估指标体系

序号	一级指标	二级指标
1	节能减排效益	能源消耗减少量：散煤、电力、天然气
2		碳减排量：CO <sub>2</sub>
3		污染物减排量：PM <sub>2.5</sub> 、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、CO、TSP、PM <sub>10</sub>
4	经济性	居民设备安装投资
5		居民取暖运行成本
6		政府基础设施建设投资
7		政府一次性设备安装补贴
8		政府运行费用补贴
9	有效性	居民取暖清洁度与舒适度
10		设备运行持续性与稳定性
11	适用性	协同性（与当地情况是否协同，如经济水平、自然条件、气候条件等）
12		基础设施匹配性
13		资源条件匹配性

节能减排效益为定量指标，能源消耗减少量、碳减排量、污染物排放量都可以通过调研结果、理论计算得到。

经济性为定量指标，居民居民设备安装投资、居民取暖运行成本、政府基础设施建设投资、政府一次性设备安装补贴、政府运行费用补贴都可以通过调研结果得到。

有效性为半定量指标，居民取暖清洁度与舒适度、设备运行持续性与稳定性可以通过居民满意度问卷调研得到，由于居民对供暖满意度带有一定主观性，得到结果需要进行量化处理。

适用性为定性指标，适用性直接决定采用何种清洁取暖方式，如北京煤改电居多主要原因是北京农网基础设施建设很好，电力资源丰富，且北京经济收入高、电力补贴力度大；河北煤改气居多主要原因是河北农网基础设施建设薄弱，河北燃气企业对煤改气基础建设参与热情高。同时，适用性中二级指标协同性、基础设施匹配性、资源条件匹配性并不是孤立的，这三个指标与前面提到节能减排效益、经济性、有效性相互关联，如协同性可通过经济性、有效性指标进行具体体现，基础设施匹配性与经济性中政府基础设施建设投资相关，资源条件匹配性与有效性中居民取暖清洁度与舒适度相关等，所以适用性虽为定性指标，难以进行定量处理，但其与前三类定量、半定量指标息息相关，适用性指标在前三类指标中均有体现，在后续收益-成本分析中，可不进行单独处理。

本章将采用成本-收益核算方法（cost-benefit analysis, CBA），对河北省农村清洁能源取暖政策效果分别进行量化，并对政策效果进行对比分析。

成本-收益核算方法所计算的收益包含了对社会、对个人的收益两个部分。对社会收益根据污染物排放的社会成本和排放量计算而得，对应技术指标评估体系中节能减排效益。对个人收益根据清洁取暖政策实施后，居民家庭取暖时的清洁性、舒适度等主观感受方面有所改善，根据实地调研居民供暖满意度而得，对应技术指标评估体系中有效性。在成本方面，对整个社会而言，实施清洁取暖的成本由政府 and 居民共同承担，因而政策的成本分为政策实施后居民取暖支出增加和政府补贴增加两个部分，对应技术指标评估体系中经济性。

## 4.2 分析方法和参数说明

### (1) 分析方法

本章将采用成本-收益核算方法 (cost-benefit analysis, CBA), 成本收益分析是一种将项目或政策的成本和收益进行量化并以货币价值的形式进行衡量, 从而对项目或政策的成本和收益进行比较, 为政策制定者选择和评估方案提供决策信息的经济评价方法。

与其他绩效评价方法相比, 成本收益分析的评价方法有三个主要特点: 第一, 在研究范围上, 该方法从政府角度出发, 考虑社会整体的公共福利。第二, 在研究对象上, 往往会包含对非市场交易的商品或服务的价值的衡量。例如, 在本研究中包含污染物排放减少产生的环境改善的价值、清洁能源政策实施后人们主要感受的变化等。第三, 在计量单位上, 要求以统一的计量单位衡量项目的各方面成本及收益, 一般以货币为单位。

- 收益的核算方法

衡量河北省清洁取暖政策的收益主要包括清洁取暖政策实施后带来的环境外部性收益和个人主观体验变化收益。

环境外部性收益主要是散煤被电、天然气替代后, 平均每户改造的收益, 计算公式为:

$$\text{Environment Benefit}_j = \sum_{i=1}^n (\Delta E_{i,0} \times C_i) - \sum_{i=1}^n (\Delta E_{i,j} \times C_i)$$

式中:

$\Delta E_{i,j}$  表示在政策实施后, 河北平均每户家庭一个供暖季使用燃料  $j$  能源取暖时空气污染物  $i$  排放量的变化量, 单位为吨;

$j=0, 1, 2$ , 分别对应使用散煤、电力、天然气取暖;

$C_i$  表示每单位污染物排放量的社会成本, 单位为元/吨;

$n$  表示所排放物的种类量。

清洁取暖政策前后, 使用  $j$  能源供暖时, 平均每户家庭污染物  $i$  的排放变化量:

$$\Delta E_{i,j} = \Delta A_j \times EF_{ij}$$

式中：

$\Delta A_j$ 表示政策实施前后平均每户家庭  $j$  能源消耗的变化量，单位为吨/户、千瓦时/户或立方米/户；

$j=0, 1, 2$ ，分别对应使用散煤、电力、天然气取暖；

$EF_{ij}$ 表示使用  $j$  能源时污染物  $i$  的排放因子，单位为千克/吨、克/千瓦时、克/立方米。

能源消耗的变化量 $\Delta A_j$ 利用问卷调研得到的数据，根据平均每户家庭在清洁取暖政策实施前后能源消耗的差值进行估计，公式如下：

$$\Delta A_j = Q'_j - Q_j$$

式中：

$Q'_j$ 表示清洁取暖政策实施后每户家庭的  $j$  能源的平均消耗量；

$Q_j$ 表示清洁取暖政策实施前每户家庭的  $j$  能源的平均消耗量。

其中，煤改电政策主要考虑散煤和电力的能源使用变化量，而煤改气政策主要考虑散煤和天然气的能源使用变化量。

个人主观体验变化收益主要是散煤被电、天然气替代后，居民满意度变化的收益。个人主观感受难以进行估量货币化价值，在本章中，将个人主观体验变化收益作为核算结果的调整系数进行整体体现。

- 成本的核算方法

清洁取暖政策的成本主要包括居民家庭供暖开支的增加和政府财务支出的增加两个方面。政策实施后，分摊到每户家庭的成本计算公式为：

$$\text{Cost}_j = C_j + S_j$$

式中：

$C_j$ 表示参加清洁取暖政策的每户家庭使用  $j$  能源替代散煤取暖后取暖成本增加的平均值，单位为元/户；

$j=1, 2$ ，分别对应参加“煤改电”、“煤改气”的家庭；

$S_j$ 表示政府对每户家庭使用  $j$  能源替代散煤进行补贴的平均值，单位为元/户。

具体而言，居民的采暖成本包括更换取暖设备的一次性投资和每年取暖季取暖支出的增加两个部分。其中，更换取暖设备的一次性投资按 10 年使用寿命采取“平均年限折旧法”换算成年化成本。总成本中，居民采暖成本的计算公式为：

$$C_j = \left[ P_{j,m} \times \frac{(1 - \alpha_{j,m})}{n_{j,m,year}} \right] + (HC_{j,m} - HC_{coal,m})$$

式中：

$j=1, 2$ ，分别对应参加“煤改电”“煤改气”的家庭；

$m=1, 2, \dots, k$ ，表示使用  $j$  能源取暖时可供选择的取暖设备的类型；

$P_{j,m}$ 表示使用  $j$  能源取暖、选用  $m$  取暖设备的家庭平均每户的设备开支（扣除补贴），单位为元/户；

$n_{j,m,year}$ 表示  $m$  取暖设备的取暖年限，单位为年；

$\alpha_{j,m}$ 表示设备的净残值；

$HC_{j,m}$ 表示平均每户家庭使用  $j$  能源、 $m$  取暖设备时采暖成本。

由清洁取暖政策的实施而导致政府财政支出的增加主要包括两方面：基础设施的投资和提供给居民改用电力、天然气取暖的补贴。具体来说，基础设施投资主要包括电网升级和天然气管道敷设的费用，提供给居民的补贴包括对居民更换取暖设备的补贴和能源消耗的补贴。政策实施导致政府财政支出的增加为：

$$S_j = I_j \times \frac{(1 - \alpha_j)}{n_{j,year}} + SP_{j,m} \times \frac{(1 - \alpha_{j,m})}{n_{j,m,year}} + SP_j \times \bar{Q}'_j$$

式中，第一项表示政府对基础设施的投资分摊到每户的成本，第二项表示对每户居民家庭更滑取暖设备的补贴，按 10 年使用寿命采取“平均年限折旧法”换算为年化成本；第三项表示对于每户家庭消耗能源的补贴。

$j=1, 2$ ，分别对应参加“煤改电”“煤改气”的家庭；

$m=1, 2, \dots, k$ ，表示使用  $j$  能源取暖时可供选择的取暖设备的类型；

$I_j$ 分别表示对应改用  $j$  能源取暖时平均每户的基础设施投资额，通过平均年限折旧的方法进行年化成本计算，单位为元/户；

$n_{j,year}$  ( $j=1, 2$ ) 表示新建电网和天然气管道的使用年限，单位为年；

$\alpha_j$ 为基础设施的净残值率；

$SP_{j,m}$  分别表示使用  $j$  能源取暖、选用  $m$  取暖设备家庭平均每户的设备补贴额，单位为元/户；

$n_{j,m,year}$  表示  $m$  取暖设备的使用年限，单位为年；

$\alpha_{j,m}$  为  $m$  取暖设备的净残值率；

$SP_j$  为对居民家庭取暖消耗  $j$  能源的单位补贴，单位为元/吨、元/千万时和元/立方米。

在本报告计算中，设备折旧按照《企业会计准则》的要求，假设设备使用年限为 10 年，净残值为 5%；电网基础设施折旧按照《省级电网输配电价定价办法》，假设折旧年限为 30 年，净残值为 5% 进行计算。

- 收益-成本比

对于某种清洁取暖方式，收益-成本比值越大，说明该清洁取暖方式单位成本收益越高，间接说明其综合效果越好。收益-成本比的计算公式为：

$$\text{Ratio} = \text{Coef}_{\text{Resident Benefit}} \times \frac{\text{Environment Benefit}_j}{\text{Cost}_j}$$

式中：

$\text{Cost}_j$  为清洁取暖政策的成本；

$\text{Environment Benefit}_j$  为清洁取暖政策的环境外部性收益；

$\text{Coef}_{\text{Resident Benefit}}$  为清洁取暖政策的个人主观体验变化收益调整系数。

## (2) 数据来源和参数说明

- 环境外部性收益相关参数

环境外部性收益涉及到主要参数为能源消耗的变化量、污染物排放因子、主要污染物排放物社会成本。能源消耗的变化量通过问卷调研得到。污染物排放因子、主要污染物排放物社会成本通过文献调研得到。

散煤燃烧的主要排放物包括多种空气污染物和二氧化碳。不同的煤和燃烧条件会影响排放因子。本节总结以往的相关文献，最终选取过往研究中的平均值作为散煤燃烧污染物排放因子。

表4.2 散煤的污染物排放因子

文献来源	研究对象	能源	污染物 (kg/t)
------	------	----	------------

			类型	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	TSP <sup>[1]</sup>	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>
梁云平等, 2017	北京农村	散煤	-	1.62	2.2	86.3	-	-	-	-
徐钢等, 2016	京津冀	散煤	-	17.12	2.8	65.24	6.37	-	-	-
支国瑞等, 2015	保定农村	散煤	6.99	20.72	1.62	-	-	-	-	-
孔少飞等, 2014	中国城乡	块煤	9.87	-	-	-	-	11.93	-	-
Shen et al., 2010	榆林/太原	块煤	-	-	-	288	-	-	-	2286
虞江平等, 2008	中国农村	烟煤	-	-	1.88	-	1.3	-	-	-
刘源等, 2007	北京	散煤	4.91	-	-	-	-	-	-	-
散煤平均值			7.26	13.15	2.13	146.51	3.84	11.93	2286	

<sup>[1]</sup> 英文 total suspended particulate 的缩写, 即总悬浮微粒, 又称总悬浮颗粒物;

在散煤使用减少的同时, 电力、天然气的消耗量增加。在终端, 电力消耗不会产生空气污染, 然而在发电过程中会产生空气污染物和碳排放。采用文献梳理的方法, 得到电力主要污染排放物的排放因子如下:

表4.3 电力主要污染物排放因子

文献来源	污染物 (g/kWh)					
	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>
Ohara et al., 2007	-	8.085	2.974	1.698	-	-
Zhang et al., 2009	0.514	6.397	3.209	0.824	0.864	-
Zhao et al., 2013	0.170	2.187	2.289	0.333	0.293	773
孙洋洋, 2015	0.276	6.942	2.675	-	-	-
孙爽, 2016	-	1.327	1.651	-	-	624
邢有凯, 2016	0.168	1.100	1.100	-	-	478
电力平均值	0.282	4.340	2.316	0.952	0.579	625

天然气在燃烧过程中会产生空气污染物和碳排放。采用文献梳理的方法, 得到天然气主要污染排放物的排放因子如下:

表4.4 天然气主要污染物排放因子

文献来源	污染物 (g/m <sup>3</sup> )					
	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>
庞军等, 2015	-	0.63	1.843	-	-	2184
王春兰等, 2017	-	0.61	1.820	-	-	-
贺洪燕, 2015	-	0.001	1.844	-	-	-

Chen et al.,2013	-	-	-	-	-	1994
张凤霞, 2017	-	0.14	4.99	-	-	
天然气平均值	-	0.345	2.624	-	-	2089

排放的社会成本 $C_j$ 被定义为由污染物造成的社会和环境损害的经济损失。通过梳理文献,列出单位排放的社会成本。由于污染物排放的社会和环境的经济成本因国家和地区而异,因此在本章中,用近年来中国地区的平均值来衡量排放的经济损失。

表4.5 主要污染排放物社会成本

文献来源	研究对象	污染物 (美元/t)						
		PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	TSP	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>
Yang et al.,2013	China	-	902	1006	-	-	7714	-
World Bank,2010	China	-	379	269	-	5801	-	-
Song, 2014	China	85771	12329	10687	1146	-	76867	29
魏学好和周浩, 2003	China	-	948	1264	158	348	-	3.6
丁淑英等, 2007	China	-	7057	4579	-	-	5032	19
平均值 (美元)		85771	4323	3561	652	3075	29871	17
平均值 (人民币) <sup>[1]</sup>		547219	27581	22719	4160	19615	190577	110

<sup>[1]</sup> 按照 2021 年 10 月 26 日外汇中间价 6.38 元/美元计算

- 个人主观体验变化收益

个人主观体验变化收益涉及到主要参数为个人主观体验变化收益调整系数,通过问卷调研得到。在调研问卷中,详细设置了居民对原散煤采暖方式的满意度、对清洁供暖方式的满意度选项,满意度通过星级评级体现,分别是一星、二星、三星、四星、五星。对星级评价进行归一化处理,一星、二星、三星、四星、五星分别对应系数为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0,从而可以得到清洁取暖政策实施前后居民满意度系数差值  $\Delta\text{Coef}_{\text{Before,After}}$ 。个人主观体验变化收益调整系数为:

$$\text{Coef}_{\text{Resident Benefit}} = 1 + \Delta\text{Coef}_{\text{Before,After}}$$

- 居民家庭供暖开支的增加成本

居民家庭供暖开支的增加成本涉及到主要参数为更换取暖设备的一次性投资、每年取暖季取暖支出的增加,这两个参数均通过问卷调研所得。

- 政府财务支出的增加成本



政府财务支出的增加成本涉及到主要参数为基础设施的投资、提供给居民更取暖设备的补贴、能源消耗的补贴。基础设施的投资通过调研清洁取暖改造农村村委会村干部口述得到；提供给居民更取暖设备的补贴、能源消耗的补贴通过了解当地清洁取暖政策得到。

### 4.3 “煤改电”成本-收益核算

#### 4.3.1 收益核算

##### (1) 散煤消耗量的变化

计算“煤改电”政策收益，首先对清洁取暖政策前后的散煤使用量变化进行统计核算，具体方法说明如下：

**散煤使用量：**本次调研在农户调研问卷中详细设置了问题，询问每户居民家庭在“煤改电”政策前后取暖季所使用的散煤用量，时间区间为一个供暖季使用量，均由居民通过回忆填写。标准单位为吨/（户·季）。

**散煤使用变化量：**不考虑少数散煤复燃现象，“煤改电”政策实施后，居民不再使用散煤取暖。

表4.6“煤改电”家庭样本散煤使用情况

取暖方式	样本户数	样本比例	改造前散煤用量 (吨/户·季)	改造后散煤用量 (吨/户·季)
直热电暖气	294	54%	2.25	0
蓄热电暖气	75	14%		
空气源热泵热风机	106	19%		
空气源热泵热水机	73	13%		
合计	548	100%		

在河北省 548 户参与“煤改电”政策的有效家庭样本中，有 294 户选择直热电暖气取暖，有 75 户选择蓄热电暖气取暖，有 106 户选择空气源热泵热风机取暖，有 73 户选择空气源热泵热水机取暖。“煤改电”政策实施前，平均散煤用量为 2.25 吨/（户·季），平均减少散煤用量为 2.25 吨/（户·季）。

## (2) 电力消耗量的变化

电力变化量统计了“煤改电”政策实施前家庭供暖季用电量和“煤改电”政策实施后家庭供暖季用电量，用电量的变化值为煤改电政策实施后电力消耗量的变化值。具体调研结果如下：

表4.7 煤改电样本家庭电力消耗量

取暖方式	样本户数	样本比例	改造前 $Q_{\text{电力}}$ (kWh/户·季)	改造后 $Q_{\text{电力}}$ (kWh/户·季)	$\Delta A_{\text{电力}}$ (kWh/户·季)
直热电暖气	294	54%	200	5370	5170
蓄热电暖气	75	14%	208	5745	5537
空气源热泵热风机	106	19%	188	3622	3434
空气源热泵热水机	73	13%	199	4204	4005
合计	548	100%			4729
平均值			199	4928	5170

## (3) 煤改电政策收益核算

河北省煤改电政策的收益为能源替代后对应的环境外部性收益和个人主观体验变化收益两部分。环境外部性收益通过对应污染物排放量变化所对应的社会成本计算得到。个人主观体验变化收益通过调整系数的形式在“收益-成本比”章节体现。

对于煤改电政策实施用户，本次主要调研了四种煤改电清洁取暖具体形式，分别是直热电暖气、蓄热电暖气、空气源热泵热风机、空气源热泵热水机。下面核算四种清洁取暖形式的环境外部性收益。

表4.8 直热电暖气取暖形式环境外部性收益核算

能源形式	名称	各类排放物						合计
		PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	TSP	PM <sub>10</sub>	
散煤炉	能源总量 (t/户)	2.25						
	排放物 (t/户)	0.016	0.030	0.005	0.330	0.009	0.027	5.144
	社会成本	8935	816	109	1371	169	5116	564

		(元/户)							
电 力 暖 气	直热	能源总量 (kWh/户)	5170						
	电	排放物 (t/户)	0.0015	0.0224	0.0120	0.0049	0.0000	0.0030	3.2313
	暖	社会成本 (元/户)	798	619	272	20	0	570	355
		合计环境外部性收益							
		8137	197	-163	1351	169	4546	210	14446

表4.9 蓄热电暖气取暖形式环境外部性收益核算

能 源 形 式	取 暖 方 式	名称	各类排放物						合计
			PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	TSP	PM <sub>10</sub>	
散 煤 炉	散煤炉	能源总量 (t/户)	2.25						
		排放物 (t/户)	0.016	0.030	0.005	0.330	0.009	0.027	5.144
		社会成本 (元/户)	8935	816	109	1371	169	5116	564
电 力 暖 气	蓄热电暖气	能源总量 (kWh/户)	5537						
		排放物 (t/户)	0.0016	0.0240	0.0128	0.0053	0.0000	0.0032	3.4606
		社会成本 (元/户)	854	663	291	22	0	610	380
		合计环境外部性收益							
		8080	154	-183	1349	169	4505	185	14259

表4.10 空气源热泵热风机取暖形式环境外部性收益核算

能 源 形 式	取 暖 方 式	名称	各类排放物						合计
			PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	TSP	PM <sub>10</sub>	

形 式									
散煤炉	能源总量 (t/户)	2.25							
	排放物 (t/户)	0.016	0.030	0.005	0.330	0.009	0.027	5.144	
	社会成本 (元/户)	8935	816	109	1371	169	5116	564	17080
空气源热泵	能源总量 (kWh/户)	3434							
	排放物 (t/户)	0.0010	0.0149	0.0080	0.0033	0.0000	0.0020	2.1463	
	社会成本 (元/户)	530	411	181	14	0	379	236	1749
合计环境外部性收益									
		8405	405	-72	1358	169	4737	329	15331

表4.11 空气源热泵热水机取暖形式环境外部性收益核算

能 源 形 式	取 暖 方 式	名 称	各 类 排 放 物						合 计
			PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	TSP	PM <sub>10</sub>	
散煤炉		能源总量 (t/户)	2.25						
		排放物 (t/户)	0.016	0.030	0.005	0.330	0.009	0.027	5.144
		社会成本 (元/户)	8935	816	109	1371	169	5116	564
空气源热泵		能源总量 (kWh/户)	4005						
		排放物 (t/户)	0.0011	0.0174	0.0093	0.0038	0.0000	0.0023	2.5031
		社会成本 (元/户)	618	479	211	16	0	442	275

## 合计环境外部性收益

8317	337	-102	1355	169	4674	290	15040
------	-----	------	------	-----	------	-----	-------

## 4.3.2 成本核算

## (1) 居民采暖的支出变化

煤改电政策带来的居民家庭采暖成本的增加主要包括两部分，一是设备安装投资费用，二是取暖运行成本。根据调研，“煤改电”政策实施前后，居民采暖支出如下：

表4.12“煤改电”政策实施前后居民采暖的支出变化

取暖方式	样本户数	样本比例	设备安装投资费用 (元/户)	改造前运行成本 (元/户季)	改造后运行成本 (元/户季)	居民采暖支出变化 (元/户季)
直热电暖气	294	54%	1005	1238	1638	496
蓄热电暖气	75	14%	1105	1238	1530	397
空气源热泵热风机	106	19%	2765	1238	1149	174
空气源热泵热水机	73	13%	3225	1238	1154	223
平均值			2025	1238	1368	323

设备安装投资费用、改造前运行成本、改造后运行成本根据调研问卷结果得到。居民的采暖成本包括更换取暖设备的一次性投资和每年取暖季取暖支出的增加两个部分。更换取暖设备的一次性投资按 10 年使用寿命采取“平均年限折旧法”换算成年化成本，残值率取 5%。每年取暖季取暖支出的增加由改造前和改造后运行成本差值确定。

## (2) 政府支出

“煤改电”政策的政府补贴包括基础设施建设费用、一次性设备安装补贴、运行费用补贴。

基础设施建设费用：课题组调研参与煤改电村庄村委会村干部口述得到。

一次性设备安装补贴：河北省给予煤改电用户一次性设备补贴 85%，最高补贴 7400 元。

运行费用补贴：河北省给予采暖期居民用电 0.2 元/千瓦时补贴，由省、市、县各承担 1/3，每户最高补贴电量 1 万千瓦时，即补贴最高金额为 2000 元/户。

表4.13 煤改电补贴情况

取暖方式	基础设施建设费用 (元/户)	一次性设备安装补贴 (元/户)	运行费用补贴 (元/户年)	政府支出 (元/户年)
直热 电暖气	21085	6700	1074	2378
蓄热 电暖气	21928	7367	1149	2543
空气源热泵 热风机	16868	7400	724	1962
空气源热泵 热水机	16868	7400	841	2078
平均值	19187	7217	947	2240

政府的采暖成本包括基础设施建设费用、一次性设备安装补贴、运行费用补贴三个部分。基础设施建设费用按 30 年使用寿命采取“平均年限折旧法”换算成年化成本，残值率取 5%。一次性设备安装补贴按 10 年使用寿命采取“平均年限折旧法”换算成年化成本，残值率取 5%。

#### 4.3.3 收益-成本比

在不考虑个人主观体验变化收益调整系数时，“煤改电”四种取暖方式收益、成本、收益成本比计算结果如下。

表4.14 不考虑调整系数，“煤改电”政策收益成本汇总表

取暖方式	收益 (元/户季)		成本 (元/户年)			收益成本比
	环境外部性	合计	居民采暖支出	政府支出	合计	
直热 电暖气	14446	14446	496	2378	2874	5.03
蓄热	14259	14259	397	2543	2941	4.85

电暖气						
空气源热泵 热风机	15331	15331	174	1962	2136	7.18
空气源热泵 热水机	15040	15040	223	2078	2301	6.54
平均值	14769	14769	323	2240	2563	5.90

根据上述分析，在不考虑个人主观体验变化收益调整系数时，可以看出空气源热泵热风机收益成本比最高，为 7.18；蓄热电暖气收益成本比最低，为 4.85；四种“煤改电”清洁取暖方式，从收益成本比的角度而言，推荐顺序分别为空气源热泵热风机 > 空气源热泵热水机 > 直热电暖气 > 蓄热电暖气。

在调研问卷中，详细设置了居民对原散煤采暖方式的满意度、对清洁供暖方式的满意度选项，满意度通过星级评级体现，分别是一星、二星、三星、四星、五星。对星级评价进行归一化处理，一星、二星、三星、四星、五星分别对应系数为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0，从而可以得到清洁取暖政策实施前后居民满意度系数差值  $\Delta\text{Coef}_{\text{Before,After}}$ 。

根据调研结果统计，“煤改电”政策实施前后，个人主观体验变化收益调整系数如下：

表4.15 煤改电政策前后个人主观体验变化收益

取暖方式	散煤取暖个人主观 体验平均系数	煤改电后个人主观 体验平均系数	居民满意度 系数差值	个人主观体验变化 收益调整系数
直热 电暖气	0.737	0.795	0.058	1.058
蓄热 电暖气		0.699	-0.038	0.962
空气源热 泵热风机		0.815	0.078	1.078
空气源热 泵热水机		0.814	0.077	1.077
平均值		0.737	0.781	0.044

居民满意度是居民根据自身感受，综合考虑清洁取暖各种费用、清洁度、使用便捷度等多方因素，给出的整体评价。从调研结果可以看出，居民对改造前散煤取暖方式给出的个人主观体验平均星级评分是 3.69 星，折合平均系数是 0.737；“煤改电”清洁取暖改造后，对空气源热泵热风机和空气源热泵热水机给出的个人主观体验平均星级评分最高且相近，为 4.08 星和 4.07 星，折合平均系数是 0.815 和 0.814；其次为直热电暖气，给出的个人主观体验平均星级评分为 3.98 星，折合平均系数是 0.795；最低为蓄热电暖气，给出的个人主观体验平均星级评分为 3.50 星，折合平均系数是 0.699，低于原散煤取暖方式，可能原因是蓄热电暖气投资成本略高、运行成本节约有限、与居民习惯不符等。

考虑个人主观体验变化收益调整系数后，“煤改电”四种取暖方式收益成本比计算结果如下。

表4.16 考虑调整系数，“煤改电”政策收益成本汇总表

取暖方式	调整前 收益成本比	调整系数	调整后 收益成本比
直热电暖气	5.03	1.058	5.32
蓄热电暖气	4.85	0.962	4.66
空气源热泵热风机	7.18	1.078	7.74
空气源热泵热水机	6.54	1.077	7.04
平均值	5.90	1.044	6.16

根据上述分析，考虑个人主观体验变化收益调整系数后，会影响收益成本比具体数值，但不会影响四种“煤改电”清洁取暖方式排序，推荐顺序依旧为空气源热泵热风机>空气源热泵热水机>直热电暖气>蓄热电暖气。



## 4.4 “煤改气”成本-收益核算

### 4.4.1 收益核算

#### (1) 散煤消耗量的变化

本次调研中，煤改气的具体采暖形式主要是燃气壁挂炉，本次调研中，有效样本中采用燃气壁挂炉取暖家庭达 1667 户，所以“煤改气”成本-收益核算以燃气壁挂炉为典型代表进行分析。

计算“煤改气”政策收益，首先对清洁取暖政策前后的散煤使用量变化进行统计核算，“煤改气”政策实施前后散煤使用情况如下：

表4.17 “煤改气”家庭样本散煤使用情况

取暖方式	样本户数	改造前散煤用量 (吨/户·季)	改造后散煤用量 (吨/户·季)
燃气壁挂炉	1667	2.25	0

“煤改气”政策实施前，平均散煤用量为 2.25 吨/（户·季），平均减少散煤用量为 2.25 吨/（户·季）。

#### (2) 燃气消耗量的变化

燃气变化量统计了“煤改气”政策实施前家庭一个供暖季用气量和“煤改气”政策实施后家庭一个供暖季用气量，用气量的变化值为煤改气政策实施后燃气消耗量的变化值。通过调研发现，在煤改气之前，被调研样本家庭燃气消耗量基本为零，也就是煤改气之前，基本不使用燃气。

根据调研，煤改气家庭燃气消耗量的变化值为 967 m<sup>3</sup>/户·季。

表4.18 煤改气样本家庭燃气消耗量

取暖方式	样本户数	改造前 Q <sub>天然气</sub> (m <sup>3</sup> /户·季)	改造后 Q <sub>天然气</sub> (m <sup>3</sup> /户·季)	ΔA <sub>天然气</sub> (m <sup>3</sup> /户·季)
燃气壁挂炉	1667	0	967	967

### (3) 煤改气政策收益核算

河北省煤改气政策的收益为能源替代后对应的环境外部性收益和个人主观体验变化收益两部分。环境外部性收益通过对应污染物排放量变化所对应的社会成本计算得到。个人主观体验变化收益通过调整系数的形式在“收益-成本比”章节体现。

对于煤改气政策实施用户的环境外部性收益如下。

表4.19 燃气壁挂炉取暖形式环境外部性收益核算

能源形式	取暖方式	名称	各类排放物						合计	
			PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	TSP	PM <sub>10</sub>		CO <sub>2</sub>
散煤	散煤炉	能源总量 (t/户)	2.25							
		排放物 (t/户)	0.016	0.030	0.005	0.330	0.009	0.027	5.144	
		社会成本 (元/户)	8935	816	109	1371	169	5116	564	17080
天然气	燃气壁挂炉	能源总量 (m <sup>3</sup> /户)	967							
		排放物 (t/户)	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	2.020	
		社会成本 (元/户)	0	9	58	0	0	0	222	289
合计环境外部性收益			8935	807	51	1371	169	5116	343	16792

#### 4.4.2 成本核算

##### (1) 居民采暖的支出变化

煤改气政策带来的居民家庭采暖成本的增加主要包括两部分，一是设备安装投资费用，二是取暖运行成本。根据调研，“煤改气”政策实施前后，居民采暖支出如下：

表4.20“煤改气”政策实施前后居民采暖的支出变化

取暖方式	样本户数	设备安装投资费用 (元/户)	改造前运行成本 (元/户季)	改造后运行成本 (元/户季)	居民采暖支出变化 (元/户季)
燃气壁挂炉	1667	2146	1238	2462	1428

设备安装投资费用、改造前运行成本、改造后运行成本根据调研问卷结果得到。居民的采暖成本包括更换取暖设备的一次性投资和每年取暖季取暖支出的增加两个部分。更换取暖设备的一次性投资按 10 年使用寿命采取“平均年限折旧法”换算成年化成本，残值率取 5%。每年取暖季取暖支出的增加由改造前和改造后运行成本差值确定。

## (2) 政府支出

“煤改气”政策的政府补贴包括基础设施建设费用、一次性设备安装补贴、运行费用补贴。

**基础设施建设费用：**基础设施投资包括气源部分、村内部分两部分，气源部分是指市政管线至村口调压箱部分，包括工程费、外部市政配套费、建设用地及拆迁补偿费、工程建设其他费、预备费等，单户投资水平 1.2 万元；村内部分指调压箱至用户燃气表（含）部分，包括工程费、工程建设其他费、预备费等，单户投资水平 0.8 万元。气源部分投资通过调研燃气公司得到，村内部分投资通过调研村委会村干部得到。

**一次性设备安装补贴：**河北省给予煤改气用户一次性设备补贴 70%，最高补贴 2700 元。

**运行费用补贴：**河北省给予采暖用气 1 元/立方米的气价补贴，每户每年最高补贴气量 1200 立方米，即补贴最高金额为 1200 元/户。

表4.21 煤改气补贴情况

取暖方式	基础设施建设费用 (元/户)	一次性设备安装补贴 (元/户)	运行费用补贴 (元/户年)	政府支出 (元/户年)
燃气壁挂炉	20000	2700	967	1857

政府的采暖成本包括基础设施建设费用、一次性设备安装补贴、运行费用补贴三个部分。基础设施建设费用按 30 年使用寿命采取“平均年限折旧法”换算成年化成本，残值率取 5%。一次性设备安装补贴按 10 年使用寿命采取“平均年限折旧法”换算成年化成本，残值率取 5%。

#### 4.4.3 收益-成本比

在不考虑个人主观体验变化收益调整系数时，燃气壁挂炉取暖方式收益、成本、收益成本比计算结果如下。

表4.22 不考虑调整系数，“煤改电”政策收益成本汇总表

取暖方式	收益（元/户季）		成本（元/户年）			收益成本比
	环境外部性	合计	居民采暖支出	政府支出	合计	
燃气壁挂炉	16792	16792	1428	1857	3285	5.11

在调研问卷中，详细设置了居民对原散煤采暖方式的满意度、对清洁供暖方式的满意度选项，满意度通过星级评级体现，分别是一星、二星、三星、四星、五星。对星级评价进行归一化处理，一星、二星、三星、四星、五星分别对应系数为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0，从而可以得到清洁取暖政策实施前后居民满意度系数差值  $\Delta\text{Coef}_{\text{Before,After}}$ 。

根据调研结果统计，“煤改气”政策实施前后，个人主观体验变化收益调整系数如下：

表4.23 煤改电政策前后个人主观体验变化收益

取暖方式	散煤取暖个人主观体验平均系数	煤改电后个人主观体验平均系数	居民满意度系数差值	个人主观体验变化收益调整系数
燃气壁挂炉	0.737	0.697	-0.040	0.960

居民满意度是居民根据自身感受，综合考虑清洁取暖各种费用、清洁度、使用便捷度等多方因素，给出的整体评价。从调研结果可以看出，居民对改造前散煤取暖方式给出的个人主观体验平均星级评分是 3.69 星，折合平均系数是 0.737；采用燃气壁挂炉清洁取暖改造后，给出的个人主观体验平均星级评分为 3.49 星，折合平均系数

是 0.697；低于原散煤取暖方式，根据调研结果，很多人反馈煤改气取暖方式存在安全隐患、供气不足、费用过高等问题，这些问题是导致居民对其评价偏低的主要原因。

考虑个人主观体验变化收益调整系数后，燃气壁挂炉收益成本比计算结果如下。

表4.24 考虑调整系数，“煤改气”政策收益成本汇总表

取暖方式	调整前 收益成本比	调整系数	调整后 收益成本比
燃气壁挂炉	5.11	0.960	4.91

#### 4.5 本章小结

表4.25 “煤改清洁能源”政策收益成本汇总表

分类	取暖方式	调整前 收益成本比	调整前 推荐排序	调整系数	调整后 收益成本比	调整后 推荐排序
煤改电	直热电暖气	5.03	4	1.058	5.32	3
	蓄热电暖气	4.85	5	0.962	4.66	5
	空气源热泵热风机	7.18	1	1.078	7.74	1
	空气源热泵热水机	6.54	2	1.077	7.04	2
煤改气	燃气壁挂炉	5.11	3	0.960	4.91	4

以本次河北省农村煤改清洁能源取暖调研数据为基础，采用成本-收益核算方法，不考虑个人主观体验变化收益调整系数，得出清洁能源取暖方式排序为空气源热泵热风机>空气源热泵热水机>燃气壁挂炉>直热电暖气>蓄热电暖气；考虑个人主观体验变化收益调整系数，清洁能源取暖方式排序为空气源热泵热风机>空气源热泵热水机>直热电暖气>燃气壁挂炉>蓄热电暖气。直热电暖气、燃气壁挂炉在考虑个人主观体验变化收益调整系数后，推荐顺序会发生变化。采用空气源热泵、直热电暖气采暖后，居民采暖满意度高于原散煤采暖方式，但居民对燃气壁挂炉、蓄热电暖气的评价低于原散煤采暖方式。

## 5 存在问题及对策建议

我国农村散煤治理取得了很好的成效，但是由于“时间紧迫、任务繁重、情况复杂”，在座谈和实地调研过程中，发现存在一些问题，煤改清洁能源工作存在改进空间。本报告详细梳理分析存在问题，并相应提出对策建议。

### 5.1 存在问题及对策建议

#### (1) 顶层设计

- 存在问题

总体规划和针对性的技术指导不足。从目前散煤治理实施情况看，基于本地资源条件、基础设施建设和技术路径适用性、经济可行性的分析论证较弱，严谨的科学引导不足。尤其农村独有的丰富可再生资源，包括太阳能、水能、风能、地热能和以秸秆、柴薪、牲畜粪便为主的生物质能的认识和利用不足。

差异化补贴和可再生能源利用政策不完善。财政补助政策未充分体现试点城市基本情况和改造任务量的差异，同一级别相同金额，造成实际每户可获得的补贴力度差异较大。目前政策对可再生能源利用的引导不明确，补贴力度不足。

- 对策建议

补贴政策精准化。根据调研反馈，北京、天津清洁取暖补贴后，居民清洁取暖成本增加不多甚至局部降低，农户表示普遍可以承受；而河北均摊到每户的清洁取暖补贴力度较小，很多农户难以承受清洁取暖投资费用和运行费用。建议改变补贴按照行政级别支付定额补助的方式，应根据改造地区具体户数、其适宜采取的技术路径成本差异等优化补贴定额。

散煤治理协同化。一是区域的协同，建议从国家层面将京津冀清洁取暖工作纳入京津冀一体化协同发展统筹考虑，研究建立京津冀清洁取暖一体化资金、价格、市场保障体系，缩小三地之间的差距，研究建立“京津冀协同散煤治理”工作机制，推进京津冀清洁供暖工作。二是部门间的协同，建议涉及清洁取暖各部门，在厘清职责的基础上，相互协同制定政策，避免出现各自为政甚至发生冲突。

考核评估科学化。建议考核评估要“质”与“量”结合，引入对实施效果的评估，建立起针对清洁取暖工程的数据运行监测平台，以定量数据对实施效果进行客观评价，并且通过每一年的督查、考核结果，总结教训推广经验，正确引导后续工作。

绿色能源优先化。结合“双碳”目标，探讨农村能源系统“一步到位”方案，将农村取暖能源与国家整体能源政策规划相结合。建议相关政策中明确对太阳能、地热、生物质能等可再生能源利用的引导，并将可再生能源利用放在优先位置。补贴政策中，明确对可再生能源取暖的各项补贴。

## （2）建筑节能

### • 存在问题

农村既有建筑围护结构以粘土砖为主，窗户多为单层铝合金、塑钢窗，保温性能普遍较差，其热负荷指标、耗热量为城镇建筑的1.5~2.5倍。许多试点城市对建筑节能改造工作投入不足，取暖效果差、费用高，浪费能源且直接影响农户参与清洁取暖的积极性。

### • 对策建议

建议更新农房建筑节能标准，并加大监管力度。鼓励农房按照节能标准建设和改造，提升围护结构保温性能。建立和完善推进农村村民住宅建筑节能工作激励机制，加大资金投入，统筹安排专项资金对农住宅建筑节能进行奖补，稳步推进既有建筑节能改造。提高对建筑门窗等关键部位节能性能的要求，实施农宅保温工程，节省燃料消耗量，降低取暖成本。鼓励和引导农户按照节能标准新建或改造房屋，逐步将农村建筑节能纳入政府监管范围。

## （3）工程质量

### • 存在问题

土地规划手续不齐全；施工资料、招投标资料、竣工资料不完善；相关资料未存档；设备、材料的质量检验和隐蔽工程验收不到位等问题多有发生。

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。煤改电、煤改气具体问题如第3章所述，太阳能系统的屋面承重问题等，存在安全隐患。

### • 对策建议

加强技术力量，基于各地气候条件、资源禀赋、经济水平等，对可实施的技术路径进行深入系统的分析比较论证，优化出适合本地区实际的合理技术方案。建议由专业技术团队进行统筹规划、科学指导，使清洁取暖改造更具针对性，为取得更好的实施效果奠定基础。强化施工工程管理，选择独立第三方作为施工监理团队，要求施工过程规范，保证施工质量。

#### （4）安全运行及试用体验

- 存在问题

施工安装不规范以及安全意识薄弱，导致改为清洁能源后，在使用过程中也出现许多安全隐患。如煤改电工程中的产品市场秩序乱，质量良莠不齐；设备温控器不能正常工作；极寒天气容易出现室外机结冰现象；设备选型、安装位置不合理等。煤改气工程中的存在多火源（天然气、液化石油气、炭火）同室共用情况；个别农户私接燃气管道和随意拆改；连接用气设备的软管过长；壁挂炉、灶具安装位置不符合要求等。太阳能系统的非采暖季保养问题等。

散煤治理，各地政府针对投资和运行有不同程度的补贴，这部分费用造成政府的巨大财政压力。

运营商，尤其对于燃气企业，建设投资高，但达不到预期的用气量，造成投资回收期长、回报低，运行维护不积极，应急预案不完善；同时冬季用气紧张，保供压力大，甚至有“断供”现象发生。以北京某燃气企业为例，2018-2020年，气源部分投资为19761元/户，按照25年进行折旧，每年每户折旧为790元/（户·年）；公司每年因煤改气用户增加运维成本约为346元/（户·年）；以北京市目前门站价格1.86元/m<sup>3</sup>为准，不考虑大网到趸售计量点的配送成本，农户每年用气量约为1000m<sup>3</sup>/（户·年），则公司的购气成本为1860元/（户·年），合计经营成本费用为2206元/（户·年）；目前煤改气用户执行民用气价为2.61元/m<sup>3</sup>（一档气），计算企业售气收入为2610元/（户·年）；不考虑税金，计算管网折旧后，企业总成本费用为2996元/（户·年），利润总额为-386元/（户·年），即企业亏损难以盈利。

改清洁能源后，取暖费用普遍增高，虽然有政府给予一定的运行补贴，但不少居民仍反应成本高、用不起，室温反而不及燃煤取暖；也存在一些如设备噪声大、维修不及时等问题。



- 对策建议

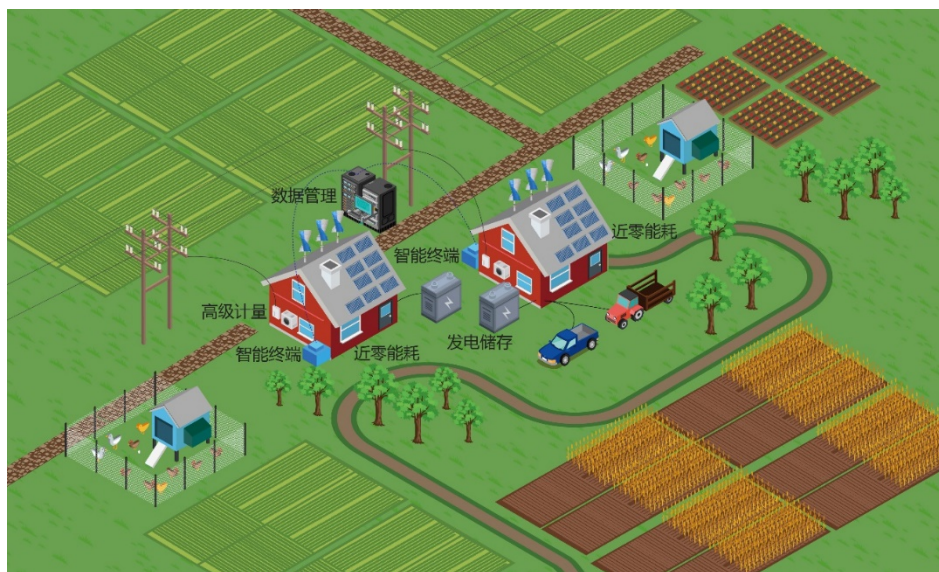
建议探索“市场为主、政府推动、居民可承受”的新型清洁取暖运作模式，形成长效的可持续的市场机制。政府应鼓励社会资本参与到农村清洁取暖改造中，政府可以采取以政府投资补贴和运行补贴为标的招标特许经营商的模式，特许经营商不仅仅负责设备的采购，还包括煤改清洁能源项目改造、运行、后期维护。责任到特许经营商，特许经营商利用自身技术优势、经营优势，切实解决目前清洁取暖遇到的诸如工程质量、运行安全以及维护维修等一系列问题。

政府还可以通过设立绿色发展基金的方式，按照商业化的企业模式运作，吸引更多社会资金用于地方散煤治理，发挥企业的市场主体地位。

## 5.2 愿景畅想

根据“2030年前碳达峰行动方案”，推进农村建设和用能低碳转型，加快生物质能、太阳能等可再生能源在农业生产和农村生活中的应用，加强农村电网建设，提升农村用能电气化水平。提高建筑终端电气化水平，建设集光伏发电、储能、直流配电、柔性用电于一体的“光储直柔”建筑。

下图所示，为未来的农村全景能源生态系统。该系统是碳中和背景下，农村综合用能终极解决方案，也是农村散煤治理的努力方向。



新型农宅，应是通过加强保温和被动式太阳能等实现用户侧近零能耗的建筑。

充分利用场地条件建设风力发电、太阳能发电装置；建筑采用低压直流配电系统，直接消纳可再生能源电力；配置一定容量的储能装置，作为电力系统的灵活性资源和备用电源；家用电气设备如空气源热泵、洗衣机、洗碗机等包括家用电动汽车、电动农机车辆，都具有可中断性、可调节性，可集中接收吸纳峰段电力并具有蓄电能力。

农户设置智能终端，一方面调控自身能源系统，一方面通过高级计量装置及交直流互转装置与大电网的数据管理系统对接，实现电力双向交互。

农村丰富的生物质资源，建立收、储、运、用一体化的产业链体系，集中利用效率更高、环境更友好。

---

<sup>1</sup> 中国散煤综合治理研究报告 2020，散煤治理研究课题组，煤控研究项目，2020.09

<sup>2</sup> 2020 全国能源工作会议，王怡，中国电力报，2020.02

<sup>3</sup> 北京日报：<http://beijing.qianlong.com/2018/0606/2618003.shtml>

<sup>4</sup> 中国新闻网：<https://www.chinanews.com/ny/2015/04-02/7179363.shtml>

<sup>5</sup> 人民网：<http://energy.people.com.cn/n1/2016/0713/c71661-28550508.html>

<sup>6</sup> 北方地区冬季清洁取暖规划北京市中期自评报告，北京市城市管理委员会，2019.06.

- <sup>7</sup> 天津市农村清洁取暖中期评估, 生态环境部环境与经济政策研究中心.
- <sup>8</sup> 河北省清洁取暖年度评估报告(2019年度), 2020.07
- <sup>9</sup> 雷宇. 散煤治理与大气污染防治[J]. 化工管理, 2016(31): 33-34.
- <sup>10</sup> 王彦超, 蒋春来, 贺晋瑜, 等. 京津冀大气污染传输通道城市燃煤大气污染减排潜力[J]. 中国环境科学, 2018, 38(7): 2401-2405.
- <sup>11</sup> 叶建东, 章永洁, 蒋建云, 等. 农村型煤替代散煤采暖对比分析[J]. 建筑节能, 2016(11): 102-103.
- <sup>12</sup> 董乐意. 对农村清洁供热工作的几点思考[J]. 区域供热, 2019(4): 31-36.
- <sup>13</sup> 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]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

## 免责声明

- 若无特别声明, 报告中陈述的观点仅代表作者个人意见, 不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性, 不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。
- 凡提及某些公司、产品及服务时, 并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐, 或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。

## Disclaimer

- Unless otherwise specified, the views expressed in this report are those of the authors and do not necessarily represent the views of Energy Foundation China. Energy Foundation China does not guarantee the accuracy of the information and data included in this report and will not be responsible for any liabilities resulted from or related to using this report by any third party.
- The mention of specific companies, products and services does not imply that they are endorsed or recommended by Energy Foundation China in preference to others of a similar nature that are not mentioned.