

农村地区清洁取暖工作绿色低碳绩效评价及对策建议

——基于石家庄市深泽县和无极县农户调查

赵梦雪, 冯相昭, 王敏, 杜晓林, 梁启迪, 王鹏

(生态环境部环境与经济政策研究中心, 北京 100029)

【摘要】 清洁取暖政策实施效果体现在多个方面。本文基于农户调查结果, 从经济、社会、污染减排和温室气体减排4个维度, 构建“煤改气”“煤改电”绿色低碳绩效评价指标体系, 并采用协同控制效应坐标系分析和减排效果归一化分析, 量化协同减排效益。结果表明: 两种改造路径均取得了显著的污染物和温室气体减排效益; 用气取暖的协同减排能力高于用电取暖, 同时社会满意度水平略高, 运行过程中政府补贴力度更大; 无极县通过全面推广空气源热泵设备, 显著降低了用电取暖的经济运行成本; 总体来说, 两县用电取暖得分更高。由此建议, 地方要创新设备推广机制, 加强群众宣传力度, 制定合理补贴政策, 以保障清洁取暖工作的持续有效开展。

【关键词】 清洁取暖; 农村地区; 绩效评价; 绿色低碳; 问卷调查

中图分类号: X21 文献标识码: A 文章编号: 1673-288X(2020)02-0116-07 DOI: 10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202002116

北方地区冬季清洁取暖是党中央、国务院确定的一项重大决策部署。习近平总书记在原中央财经领导小组第十四次会议上指出, 推进北方地区冬季清洁取暖, 是能源生产和消费革命、农村生活方式革命的重要内容^[1]。当前, “煤改气”“煤改电”是地方清洁取暖改造的主要路径。据统计^[2], 农村清洁取暖改造涉及的19个省份中, 电代煤约299.31万户, 气代煤约545.84万户。实施“煤改气”会使北方农村地区能源消费结构产生巨大变化, 也对居民的生活水平产生重大影响^[3]。空气源热泵作为节能性较高的电取暖设备^[4], 在欧盟^[5]、日本^[6]等国家和地区都得到积极推广应用。由于我国农村地区情况复杂多样, 选择合适的取暖方式对于改善北方地区大气环境、优化农村居民健康状况以及促进我国农村的绿色发展意义重大^[7]。

目前, 有很多学者对清洁取暖适宜路径进行分析, 如刘幼农^[8]从地质、气候、人口、能源等方面分析山区清洁取暖的适宜技术路径; 张科^[9]通过典型案例分析了农村不同清洁取暖技术所取得的经济和环境效益。有学者就目前政策的不足开展研究, 如宋玲玲等^[10]从中央财政政策、技术路线、能源供应保障等方面分析目前存在的困难与问题。还有学者利用数学方法量化评价我国不同采暖路径的实施效益, 如李悦^[11]采用生命周期评价与生命周期成本分析相结合的方法, 量化分析“煤改气”的环境影响和经济成本; 樊金璐^[12]等从技术经济

环境性等方面量化评价不同的取暖技术路径; 张婷^[13]等利用模糊综合评价法, 从能耗、经济、环境三方面评价北京农村“煤改电”技术; 刘军会等^[14]采用线性回归预测法对2018—2020年河南农村电采暖负荷和电量进行测算; 谢伦裕等^[15]通过对北京“煤改气”“煤改电”和“清洁燃煤替代”三种方式的成本收益量化分析, 得出“煤改气”户均收益最高, “清洁燃煤替代”户均成本最低。

但是, 目前我国清洁取暖工作评价主要集中在环境、经济效益方面, 其他方面研究相对较少。温室气体减排是低碳发展的重要基础, 社会满意度水平对于政策实施的有效性、可持续性会产生重要影响。综合经济成本、社会满意度、污染减排和温室气体减排效益多方面评价我国目前清洁取暖工作效果, 对未来清洁取暖改造工作方向具有重要意义。因此, 本文选取的石家庄市深泽县和无极县作为案例地区, 具有很好的代表性, 就燃气取暖和空气源热泵式电取暖两种方式进行绿色低碳绩效评价, 以期和政策制定者提供决策支持。

1 研究区域概况

深泽县和无极县位于石家庄市, 处于京津冀大气污染传输通道地区, 属于污染防治重点地区之一, 实现农村地区散煤替代及清洁取暖尤为关键。依据《河北省2018年冬季清洁取暖工作方案》, 石家庄市政府出台

基金项目: 重点区域农村清洁取暖协同效应评价案例研究项目(2111001)

作者简介: 赵梦雪, 硕士, 研究方向为环境管理与经济

通讯作者: 冯相昭, 研究员, 研究方向为能源与气候变化经济学研究等

《石家庄市 2018 年冬季清洁取暖工作方案》，并制定《关于调整 2018 年农村地区清洁取暖财政补助政策的通知》(见表 1)，以保障清洁取暖改造工作的落实。

表 1 石家庄市 2018 年电代煤、气代煤用户补贴情况

取暖方式	设备购置补贴	运行补贴
电代煤	每户补贴金额为 7400 元	居民电价给予 0.2 元/kW·h 补贴，每户最高补助 2000 元；采暖季期间实行峰谷电价，峰时(8:00-20:00)电价为：0.55 元/kW·h，谷时(20:00-8:00)电价为 0.3 元/kW·h
气代煤	每户设备补贴金额为 1000 元	采暖期内给予居民用气 1.4 元/m ³ 补贴，每户最高补助 1680 元

另外，有研究显示，家庭能源使用模式随收入状况变化^[16]，随着家庭收入的增加，用户选择将向更清洁的能源转变^[17-23]。《石家庄 2018 年经济年报》^[24] 数据显示，无极县和深泽县农村人均可支配收入排名分别处于石家庄市 17 个县(市、区)中第 9 和第 12，位列中下等水平，居民的清洁能源支出水平较低。因此，针对深泽县和无极县构建绩效评价指标有利于真实地反映重点地区农村改造用户的实际使用情况。

2 数据来源及处理

2.1 数据来源

本文数据来源于两部分，一部分是通过地方调研，获取由当地电力公司及燃气公司统计的两县村民用电和用气的水平数据；另一部分通过随机抽样和居民直接访谈方法对两县清洁取暖改造用户开展问卷调查，获取居民清洁取暖改造前散煤用量、取暖设备购置金额及满意度水平的数据。

本文基金项目课题组于 2019 年 8 月开展问卷调查活动，调查区域涉及 2 县 58 个村，总计 300 户家庭，共发放 300 份问卷，回收有效问卷 290 份，样本有效率达到 97%。样本选取的原因及原则为：(1) 样本村分布尽可能覆盖所有乡镇，保证样本的选择尽可能全面、客观地反映农村地区取暖现状；(2) 同一个村落选取不同收入层次的村民作为样本，保证样本的选择尽可能全面地反映农村各收入阶层的取暖现状；(3) 在距离县城较远的地方尽可能选取更多样本，使得所选取的农户经济水平尽可能真实地反映农村情况；(4) 每一个村落选取同样的村民户数作为样本，基于控制变量方法，保证不同村的取暖现状具有可比性。

2.2 数据处理

首先，对调研问卷的信度和效度进行检验，所有满意度问题的 Cronbach's α 系数为 0.764，大于 0.7，问

卷可信度较高，比较能反映居民的真实情况。

其次，由于指标原始数据在数量和量纲上存在不同，本文采用极差标准化方法^[25]对数据进行线性变换。设 $\min X$ 和 $\max X$ 分别为属性 A 的最小值和最大值，将 A 的一个原始值 x 通过 \max - \min 标准化映射成在区间 $[0, 1]$ 中的值 X ，具体公式如下。

$$A_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (\text{当 } X_{ij} \text{ 为正向指标时}) \quad (1)$$

$$A_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (\text{当 } X_{ij} \text{ 为负向指标时}) \quad (2)$$

式中， A_{ij} 为第 i 种方案的第 j 个评价指标数据标准化后的值； X_{ij} 为第 i 种方案的第 j 个评价指标的原始值； $\max(X_{ij})$ 为第 i 种方案的第 j 个评价指标的最大值； $\min(X_{ij})$ 为第 i 种方案的第 j 个评价指标的最小值。

3 研究方法

3.1 农村地区清洁供暖工作绩效评价指标体系构建

清洁取暖工作的实施效果体现在经济、社会、环境等多个方面。经济成本方面，主要来源于取暖设备购置与运行两部分；社会评价方面，群众的满意水平体现了政策的合理性，影响了政策的可持续性，其中设备购买情况、取暖运行补贴程度、设备取暖效果及售后服务满意度是重要指标；污染减排方面，有关研究显示^[26]，居民燃烧的散煤每吨污染物排放量是火电燃煤排放的 5~10 倍。虽然散煤消耗占比不足煤炭总量的 10%，但其对大气污染的贡献率却高达 50%，其中 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 和 NO_x 是主要污染成分；温室气体排放方面，农村清洁取暖改造会减少 CO_2 和 BC (黑炭)排放。据调研，农村每一套燃煤炉具平均价格为 500 元，而清洁取暖设备购置成本又分为居民自行承担部分和政府补贴部分，由于设备购置属于一次性静态投资，不会对清洁取暖政策的可持续性产生影响，因此我们仅将居民自行承担的设备购置成本列入评价指标进行评分。另外，调查问卷中，满意度问题的最大值均为 5，最小值均为 0。指标体系结构及各指标结果具体如表 2 所示。

3.2 评价指标权重的确定

层次分析法(AHP)^[27]是在多目标评估或决策问题中确定各指标权重的有效方法。本文邀请我国在散煤治理、清洁供暖等专业领域具有丰富经验的 6 位专家，根据 Santy^[28]等人提出的 1~9 比例标度评价表，对同层次各指标的相对重要性进行两两对比打分，进而求得矩阵特征向量并进行归一化，得出权重系数。层次分析结构如图 1 所示，具体权重分配如表 3 所示。

表2 2018年无极县清洁取暖绩效评价指标体系

目标层	准则层	因素层	指标层	属性
农村清洁取暖绿色低碳绩效评价水平	经济成本	居民成本比值	居民设备购置成本比	正向指标
			运行成本比	正向指标
	社会评价	群众满意度	设备满意度	正向指标
			取暖运行补贴满意度	正向指标
			取暖效果满意度	正向指标
			售后服务满意度	正向指标
			SO ₂ 减排率/%	正向指标
	污染减排效益	污染物减排效益	NO _x 减排率/%	正向指标
			PM _{2.5} 减排率/%	正向指标
			CO ₂ 减排率/%	正向指标
	低碳效益	温室气体减排效益	BC(黑炭)减排率/%	正向指标

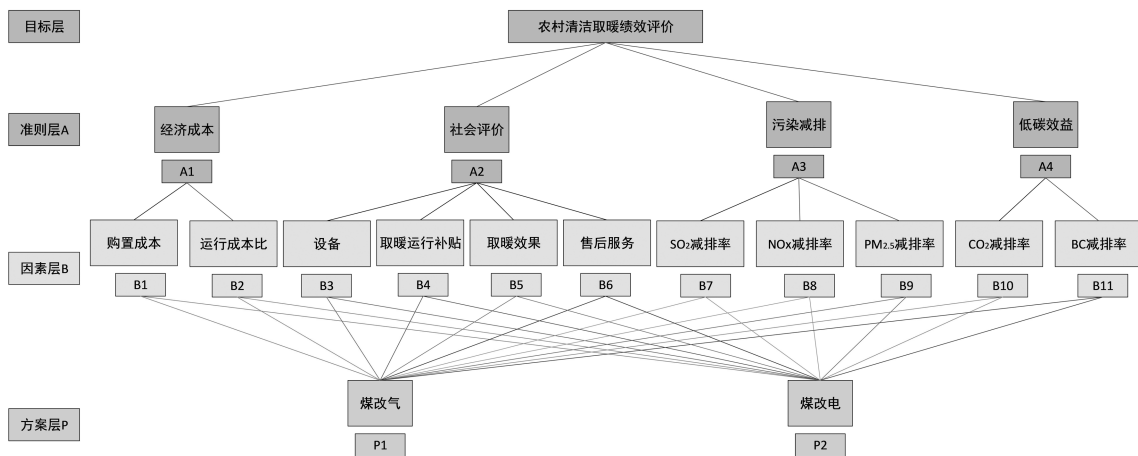


图1 层次分析结构

表3 各指标标准化值及其权重

指标层	权重	标准化值	
		煤改气	煤改电
B1	9.20	25.00	50.00
B2	27.61	82.56	100.00
B3	3.27	85.67	84.00
B4	5.24	85.34	82.00
B5	5.24	88.43	84.00
B6	5.24	84.26	84.00
B7	8.30	100.00	99.18
B8	7.33	66.14	78.88
B9	14.59	100.00	99.69
B10	3.50	56.32	22.07
B11	10.49	100.00	99.91

3.3 综合评价得分计算

绩效评价综合得分受众多指标因素影响。本研究采用综合指数法^[29]进行量化评价，具体计算公式如下：

$$E = \sum_{j=1}^n A_{ij}W_j \quad (3)$$

式中， E 为绩效综合评价得分； A_{ij} 为标准化后的指标数据量值； W_j 为第 j 个指标的权重； n 为指标总个数。其中， E 越大说明绩效水平越高。

3.4 农村地区清洁供暖工作污染物与温室气体协同效应评价方法

协同性评价主要通过以下方法^[30]进行。

(1)协同控制效应坐标系分析法：通过在三维空间坐标系中，以不同的坐标表达某种清洁取暖方式对于不同污染物的减排效果，可直观地反映减排措施对于不同污染物的减排效果及协同程度。

(2)减排效果归一化法：通过计算协同减排评价线性指标值及协同控制比，量化减排措施对空气污染物和温室气体的综合减排效果，计算公式如下。

$$APeq = \alpha \times S + \beta \times N + \gamma \times P + \delta \times C + \varepsilon \times B \quad (4)$$

式中， S 、 N 、 P 、 C 分别代表SO₂、NO_x、PM_{2.5}、温室气体的减排效果； α 、 β 、 γ 、 δ 分别为SO₂、NO_x、PM_{2.5}、温室气体的基于专家及决策者对污染物控制紧迫性认识和判断^[31]的权重赋值。

本文对于各污染物的权重参考排污价格和CO₂交

易价格的确定, 见表4。

表4 大气污染物和二氧化碳排放影响的

货币化参数			
单位: 元/kg			
SO ₂	NO _x	PM _{2.5}	CO ₂
0.14749	0.14749	0.15526	0.00053

根据问卷调查结果, 计算大气污染物减排量。对于温室气体减排量, 本文根据100年全球增温潜势值(即900)将BC(黑炭)减排量换算为当量CO₂减排量, 并与CO₂减排量(CO₂增温潜势值为1)加和, 得到温室气体减排量(参见表5)。

表5 大气污染物和温室气体减排量

	煤改气	煤改电
SO ₂ (kg)	43.02	42.67
NO _x (kg)	2.75	3.28
PM _{2.5} (kg)	18.33	18.27
温室气体(kgCO ₂ e)	8188.34	6722.07

此外, “协同控制比”是温室气体减排与大气污染物减排归一化结果的比值, 反映了减少单位大气污染物的同时对温室气体减排的影响程度, 表明了措施的协同减排效率^[32]。比值越大, 协同减排效果越好。

4 结果与分析

4.1 “煤改气”和“煤改电”污染物与温室气体协同效应分析

4.1.1 协同控制效应坐标系分析

不同方案的协同控制效应坐标系参见表6所示, 其中, X坐标表示SO₂的减排得分, Y坐标表示温室气体(CO₂和BC)的减排得分, Z坐标表示NO_x的减排得分。

表6 协同控制效应坐标系

	煤改气	煤改电
(SO ₂ , 温室气体, NO _x)	(100, 156, 66)	(99, 122, 79)

将坐参数反映到空间坐标系中, 原点设为(90, 100, 0), 得到图2。所有坐标点均于第一卦限, 说明各清洁取暖方案均可实现污染物与温室气体的协同减排。坐标点到原点连线与X坐标轴的夹角越大, 表明该方案在减排等量SO₂的同时, 对温室气体的减排效果越好, 这里我们借助坐标点在XOY面上的投影加以反映; 坐标点到原点连线与Z坐标轴的夹角越大, 表明该方案在减排等量NO_x的同时, 对温室气体的减排效果越好, 这里我们借助坐标点在YOZ面上的投影加以反映。可以看出, 煤改气与X轴、Z轴夹角最大, 煤改电与X轴、Z轴夹角最小。说明煤改气方案2种污染物与温室

气体的协同减排能力均高于煤改电方案。

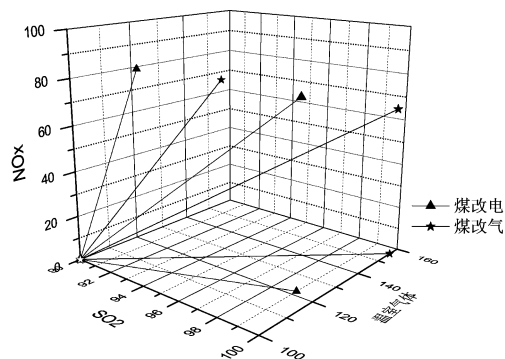


图2 各清洁取暖方案污染物与温室气体协同控制效应坐标系示意图

4.1.2 减排效果归一化分析

计算两种方案的协同减排评价线性指标值及协同控制比, 其结果参见表7。

表7 协同控制效果分析

项目内容		煤改气	煤改电
污染物 减排效益	SO ₂	6.34	6.29
	NO _x	0.41	0.48
	PM _{2.5}	2.85	2.84
	污染物减排能力	9.60	9.61
	温室气体减排能力	4.34	3.56
协同减排评价线性指标值(APEq)		13.94	13.18
协同控制比		0.45	0.37

从污染物减排效益可以看出, 两种路径减排能力得分基本相同, 其中“煤改气”SO₂得分略高; “煤改电”NO_x得分略高; 具体分析各项污染物减排能力可知, 清洁取暖措施带来的SO₂的减排效益最高, 约是PM_{2.5}的2倍, NO_x最低。从温室气体减排效益得分可以发现, 燃气取暖的减排能力高于用电取暖。从“协同控制比”结果, 可以看出“煤改气”高于“煤改电”, 表明用气取暖的协同效果好于用电取暖。

4.2 “煤改气”和“煤改电”绩效得分分析

利用综合指数计算公式(3)得到各指标得分值及综合分值, 参见表8。

总体来讲, 两种改造路径得分水平都比较高, 其中“煤改电”得分高于“煤改气”的6.25分, 这主要是由于“煤改电”的经济成本较低(得分较高)。为进一步评价两种清洁取暖路径在经济、社会、污染减排及温室气体减排四方面的绩效水平, 本文分别计算经济成本、社会评价、污染物减排和温室气体减排四项得分值(参见表9)。

依据两种清洁取暖改造路径, 以经济、社会、污染减排及温室气体减排四方面指标评分结果及各评价指标值做出雷达图(参见图3)。其中, 外圈圆环是“煤改

气”的四项评价指标值，里圈是“煤改电”的四项指标评价价值。可以看出，“煤改电”四项指标得分基本相当；“煤改气”得分差异较大，其中污染减排效益得分最高，经济成本得分最低。对各项指标的具体分析如下。

表 8 各项指标得分及综合评分值

指标		煤改气	煤改电
经济成本	设备购置成本	2.30	4.60
	运行成本比	22.79	27.61
社会评价	设备满意度	2.80	2.75
	取暖运行补贴满意度	4.47	4.30
	取暖效果满意度	4.63	4.40
	售后服务满意度	4.41	4.40
污染物减排率	SO ₂	8.30	8.23
	NO _x	4.85	5.79
	PM _{2.5}	14.59	14.55
温室气体减排率	CO ₂	1.97	0.77
	BC(黑炭)	10.49	10.48
综合得分		81.61	87.86

表 9 两种清洁取暖改造路径各指标评分百分制结果

评价指标	无极县	
	煤改气	煤改电
经济成本	68.17	87.50
社会评价	85.96	83.46
污染物减排率	91.78	94.50
温室气体减排率	89.08	80.45

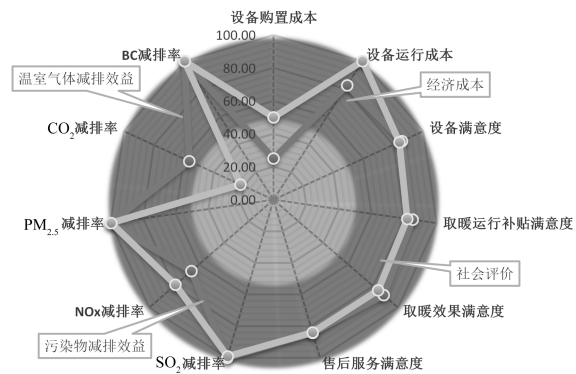


图 3 两种改造路径比较

从经济成本方面看，“煤改电”要显著高于“煤改气”得分，其中“煤改电”的运行成本得到满分，即取暖用电已经与燃煤取暖的消费水平相当。进而结合调研情况与地方补贴政策，对采暖运行过程中政府和居民各自承担成本(表 10)分析发现，用电取暖的政府平均补贴金额为 905.88 元，占用居民消费总额的 47%；而用气政府补贴为 1252.10 元，是用电补贴的 1.4 倍，占用气居民消费总额的 54%；且居民自行承担部分中，用气比用电每户平均高 31 元左右。可知，无论是政府

补贴力度，还是居民自行承担成本，用气均比用电要高。

表 10 无极县取暖过程居民平均成本及政府平均补贴情况

项	煤改气	煤改电
居民运行成本/元	1056.42	1024.83
政府运行成本/元	1252.10	905.88

从社会评价方面看，“煤改气”的总体满意度水平略高于“煤改电”，尤其是对取暖效果和运行过程中政府补贴方面的满意度。污染减排效益方面，两种清洁取暖改造路径得分水平均较高，其中“煤改电”路径高于“煤改气”2.72 分，说明两种路径均取得了不错的污染减排效果，但用电取暖的污染减排效益更高，尤其是对于 NO_x 的减排，用电取暖要显著高于用气取暖。温室气体减排方面，燃气取暖的 CO₂ 减排效益要显著高于用电取暖。

5 结论与建议

5.1 研究结论

5.1.1 两种改造路径污染物与温室气体减排效益显著

通过实施清洁取暖改造工作，农村污染物与温室气体排放水平显著降低，但不同的改造路径还存在明显的排放差异。“煤改气”路径下，空气中的氮由于燃烧过程的高温转化而造成一定的 NO_x 污染；火电厂随着排放标准的不断加严，各项污染物排放水平均比较低，但由于电力行业是以化石燃料为主，CO₂ 的排放水平要高于用气取暖。从协同减排程度来看，用气取暖的协同控制能力要高于用电取暖，但用电取暖的污染物减排效益更高。

5.1.2 “煤改气”路径的政府补贴力度更大

空气源热泵的运行成本低于燃气取暖用户。为了进一步证明空气源热泵节能特性，我们对两种取暖方式的经济成本进行简单测算。空气源热泵性能系数(COP 值)是衡量空气源热泵系统制热效果的标准之一，一般在 3.0~4.0 之间浮动，当外界温度低于零下 20℃ 时，COP 值也可能降到 2.0。本文假定制热效率取值为 3.0，那么 1kW·h 的电完全转化为热量是 860kcal，1kW·h 的电通过空气源热泵制热量为 2580kcal，按峰时电价 0.55 元/kW·h 计算，2580kcal 的电采暖成本为 0.55 元；天然气热值是 9300kcal/m³，相当于 10kW·h 的电，但天然气壁挂炉一级能效为 90% 左右，所以每 m³ 天然气制热输出 8370kcal，按 2.4 元/m³ 气价计算，2580kcal 需要花费天然气 0.74 元，是空气源热泵的 1.3 倍。因此，在提供相同热量时，空气源热泵运行成本更低。目前，政府对用气居民的补贴力度高于用电居民，未来随着政

府补贴机制的退出,利用空气源热泵的电取暖用户取暖经济负担会低于燃气取暖用户。

5.1.3 “煤改气”的社会满意度总体得分高于“煤改电”

从社会满意度得分可以看到,“煤改气”要高于“煤改电”2.5分,其中在运行过程中政府补贴力度和取暖效果方面燃气取暖得分较高。从目前取暖运行过程总成本可以看出,用电取暖的总成本更低,因此预计未来当政府补贴机制退出后,用电取暖的满意度水平会提高。在取暖效果方面,对用电取暖效果满意度在3分以下的居民调查发现,40%的人因为运行成本高而降低了设备使用功率导致温度达不到要求,55%的人认为取暖后室内温度低,还有一小部分人认为设备达不到使用温度要求。由电力公司出具的居民用电量水平数据可知,用电取暖的消费实际是远低于用气取暖的,但农村居民对于用电消费敏感度较高,因此容易产生“不敢取暖”思想。同时,农村住房由于未采取节能改造等措施,散热程度高,导致取暖效果受到影响。另外,还有居民由于对取暖设备的使用操作不熟悉,导致采暖温度无法达到预期。

设备售后服务问题也不容忽视。通过调研我们发现,群众在售后反馈不及时、收费不合理、维修水平参差不齐等问题上满意度较低,其中对售后不及时问题反馈人数较多。因此,清洁取暖改造要对售后服务水平的提升予以重视。

5.1.4 设备购置成本对清洁取暖工作推广产生重要影响

从设备购置成本得分可以看出,清洁取暖设备购买金额都要显著高于传统的燃煤炉具,且不同的取暖设备会随着产品类型、品牌、产地等有很大价格波动,对于部分农村居民会产生较大的经济压力,因此科学地推广清洁取暖设备,减少居民购买压力是亟待解决的问题。

目前空气源热泵设备的市场平均价格在30000元左右,虽然空气源热泵取暖运行成本较低,但高昂的价格使得在很多农村地区无法得到广泛推广普及。无极县通过探索政府和设备生产企业共同管理的模式,显著降低了设备购置成本。具体来讲,便是将政府的社会管理和央企的社会责任有机结合起来,由政府承担政策补贴部分资金,央企通过规模化效应也承担一部分设备购置费用,将成本降低部分让利于民,使得居民仅承担中标价与补贴款差价中的小部分。在设备运营中,央企设立服务中心,负责产品的质量保障和产品使用安全培训,并由政府负责监督,其中建设资金作为央企建设运维质保金,由政府掌握。央企质保金可同时转化为对政府的融资,进而获得合理的经济收益。

5.1.5 选择合适改造路径是提升综合绿色低碳绩效的有效手段

从两种改造路径的总体得分水平来看,“煤改电”得分要高于“煤改气”,这与无极县取暖设备的创新推广机制、低廉的用电运行成本等方面密切相关。而对于不同地区,要根据地方实际情况,综合考虑地形条件、资源禀赋情况、地区管理模式等实际特点,选择合适的改造方式和改造设备。

5.2 相关政策建议

首先,要继续加大环境治理力度,实现协同治理目标。推广使用加装低氮氧式燃烧器的燃气壁挂炉,减少NO_x排放,同时提升热网系统效率,降低用户取暖能耗。其次,要加强对农村取暖设备使用操作方面的宣传力度,确保每户居民不会因为操作问题导致设备无法正常工作,甚至形成安全隐患;对于清洁取暖运行方面取得较高收益的地区,政府要加强用户宣传,为用户算一笔经济账,切实让百姓不仅享受到清洁取暖带来的收益,也要实际看到“兜里钱”没有减少,保障农民从思想上接受取暖、“敢”取暖。同时,对于取暖设备的售后服务、产品质量问题,要督促有关厂家负责到底,加强政府对设备供应商的监督、管理职能,保证居民取暖设备的有效运行。再者,要制定科学的补贴政策。特别是对于“煤改气”用户实行差异化的补贴标准,同时鼓励地方政府、金融机构、城市燃气企业等创新合作机制和投融资模式,加大对“煤改气”的融资支持。最后,要全面创新模式机制,降低设备采购成本,切实保障高效的取暖设备可以被农民广泛使用。

6 研究小结

本文基于石家庄市深泽县和无极县农户调查结果,从经济、社会、污染减排和温室气体减排4个维度,构建“煤改气”“煤改电”绿色低碳绩效评价指标体系,并采用协同控制效应坐标系分析和减排效果归一化分析,量化协同减排效益。结果表明:两种改造路径均取得了显著的污染物和温室气体减排效益;用气取暖的协同减排能力高于用电取暖,同时社会满意度水平略高,运行过程中政府补贴力度更大;无极县通过全面推广空气源热泵设备,显著降低了用电取暖的经济运行成本。总体来说,两县用电取暖得分更高。由此建议,地方要创新设备推广机制,加强群众宣传力度,制定合理补贴政策,以保障清洁取暖工作的持续有效开展。

参考文献:

- [1] 新华社. 中央财经领导小组第十四次会议 [N/OL]. (2016-12-21). http://www.gov.cn/xinwen/2016-12/21/content_5151201.htm.
- [2] 生态环境部环境规划院,南京大学环境学院,清华大学环境学院.《大气污染防治行动计划》实施费用效益评估报告[R]. 2019.
- [3] WANG, R, JIANG, Z. J. Energy consumption in China's rural areas: A study based on the village energy survey [J]. Journal of Cleaner Production, 2017 (143): 452-461.
- [4] 李素花,代宝民,马一太.空气源热泵的发展及现状分析[J].制冷技术,

- 2014(1): 46-52.
- [5] 杨亮, 王潇洋. 空气源热泵采暖的技术难点与应用价值 [J]. 建设科技, 2016(10): 58-59.
- [6] 田中俊六, 郭廷杰. 日本大力推广热泵、蓄热系统应用情况简介(一): 从热能和电能的价值看热泵技术的重要性 [J]. 节能, 2009, 28(6): 5-8.
- [7] LU W, MA Y T. Image of energy consumption of well off society in China [J]. Energy Conversion and Management, 2004(45): 1357-1367.
- [8] 刘幼农, 侯隆澍. 北京市山区农村清洁取暖适宜技术路径研究 [J]. 建筑科学, 2019, 35(6): 128-134.
- [9] 张科. 山东地区农村清洁取暖典型案例分析 [D]. 济南: 山东建筑大学, 2018.
- [10] 宋玲玲, 何军, 武娟妮, 等. 我国北方地区冬季清洁取暖试点实施评估研究 [J]. 环境保护, 2019, 47(9): 64-68.
- [11] 李悦. 北方农村地区“煤改气”取暖生命周期环境与经济影响集成评价研究 [D]. 济南: 山东大学, 2019.
- [12] 樊金璐. 基于用户可承受能力的清洁取暖技术经济性评价 [J]. 煤炭经济研究, 2019, 39(1): 39-44.
- [13] 张婷, 于森. 北京农村电采暖方式综合评价与总量预测 [J]. 北京规划建设, 2018(2): 118-123.
- [14] 刘军会, 陈重, 李虎军, 等. 2018—2020年取暖季河南农村“煤改电”负荷和电量测算 [J]. 河南科技, 2018(29): 144-145.
- [15] 谢伦裕, 常亦欣, 蓝艳. 北京清洁取暖政策实施效果及成本收益量化分析 [J]. 中国环境管理, 2019, 11(3): 87-93.
- [16] VAN DER KROON B, BROUWER R, VAN BEUKERING P J H. The energy ladder: theoretical myth or empirical truth? Results from a meta-analysis [J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2013(20): 504-513.
- [17] HOSIER R H, DOWD J. Household fuel choice in Zimbabwe: an empirical test of the energy ladder hypothesis [J]. Resources and energy, 1987, 9(4): 347-361.
- [18] REDDY A K N, REDDY B S. Substitution of energy carriers for cooking in Bangalore [J]. Energy, 1994, 19(5): 561-571.
- [19] LEACH G. The energy transition [J]. Energy policy, 1992, 20(2): 116-23.
- [20] HELTBERG R. Fuel switching: evidence from eight developing countries [J]. Energy economics, 2004, 26(5): 869-87.
- [21] RAJMOHAN K, WEERAHEWA J. Household energy consumption patterns in Sri Lanka [J]. SriLankan journal of agricultural economics, 2010(9): 55-77.
- [22] SATHAYE J, TYLER S. Transitions in household energy use in urban China, India, the Philippines, Thailand, and Hong Kong [J]. Annual review of energy and the environment, 1991(16): 295-335.
- [23] SMITH K R, APTE M G, MA Y Q, et al. Air pollution and the energy ladder in Asian cities [J]. Energy, 1994, 19(5): 587-600.
- [24] 石家庄市统计局. 2018 石家庄统计年鉴 [J]. 石家庄: 中国统计出版社, 2018.
- [25] 解钰茜, 张林波, 罗上华, 等. 基于双目标渐进法的中国省域生态文明发展水平评估研究 [J]. 中国工程科学, 2017, 19(4): 60-66.
- [26] 钟连红, 刘晓, 李志凯, 等. 北京居民生活用煤大气污染控制思路与对策 [J]. 环境保护, 2015(1), 77-78.
- [27] 曹茂林. 层次分析法确定评价指标权重及 EXCEL 计算 [J]. 江苏科技信息, 2012(2): 39-40.
- [28] 黄德才, 胥琳. AHP 法中判断矩阵的比例标度构造法 [J]. 控制与决策, 2002(7).
- [29] 郭荣中, 杨敏华, 申海建. 长株潭地区耕地生态安全评价研究 [J]. 农业机械学报, 2016, 47(10): 193-201.
- [30] 胡涛, 毛显强, 钱翌, 等. 协同控制空气污染物与温室气体: 以乌鲁木齐市为案例 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2016.
- [31] 毛显强, 邢有凯, 胡涛, 等. 中国电力行业硫、氮、碳协同及安排的环境经济路径分析 [J]. 中国环境科学, 2012, 32(4): 748-756.
- [32] 生态环境部环境规划院, 南京大学环境学院, 清华大学环境学院. 《打赢蓝天保卫战三年行动计划》费用效益与评估报告 [R]. 2019.

Green and low-carbon performance evaluation of clean heating program in rural areas and countermeasures: based on the household survey of Shenze and Wuji Counties of ShiJiazhuang

ZHAO Mengxue, FENG Xiangzhao, WANG Min, DU Xiaolin, LIANG Qidi, WANG Peng

(Policy Research Center for Environment and Economy, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100029, China)

Abstract: The effects of Clean Heating Program is reflected in many aspects. Based on the survey results, the paper constructed a Green and Low-Carbon Performance Evaluation index system of four dimensions, such as economic, social, pollution emission reduction and greenhouse gas emission reduction, and by using the method of coordinate analysis of cooperative control effect and normalized analysis of emission reduction effect, the coordinated emission reduction benefits of Clean Heating Program is evaluated. The result shows that, the different transformation paths have achieved significant pollutant and greenhouse gas emission reduction benefits. The collaborative emission reduction capacity of heating with gas is higher than that of electricity, the level of social satisfaction of which is slightly higher, and the government subsidies are more powerful in the operation process. The economic operation cost of electric heating was significantly reduced by widely spreading the air source heat pump equipment in Wuji County. In general, the score of heating with electricity is higher. Visibly, the benefit of Clean Heating Program is obvious. Local governments should innovate the mechanism of equipment promotion, strengthen mass publicity and formulate reasonable subsidy policies to ensure the continuous and effective implementation of Clean Heating Program.

Keywords: Clean Heating Program; rural areas; performance evaluation; green and low-carbon effect; questionnaire survey