京津冀地区散煤综合治理成本效益分析

杜晓林　冯相昭　王　敏　赵梦雪　梁启迪
(生态环境部环境与经济政策研究中心，北京　100029)

【摘要】本文分别研究了“煤改气”和“煤改电”政策的经济效益和环境效益。按照等热值原理，比较同等热值条件下的天然气、电力和燃煤价格来评估经济效益，以百兆卡热值能源燃煤燃烧时主要污染物的排污量减去天然气燃烧或电力供暖时主要污染物的排污量来评估环境效益。结果显示，在经济效益方面，对于北京市、天津市和河北省，以天然气替代燃煤分别需付出 3.76、3.96 和 3.96 倍于燃煤价格的成本，以电力替代燃煤分别需付出 2.42、2.42 和 2.58 倍于燃煤价格的成本。在环境效益方面，实施“煤改气”政策，北京市的环境净收益最高，天津市次之，河北省最低，而实施“煤改电”政策，北京市和河北省火力发电较直接燃煤可降低一氧化碳和二氧化硫的排放量，但增加二氧化氮和 VOCs 的排放，表明北京市和河北省电力取暖与直接燃煤相比并未产生明显的环境效益，天津市“煤改电”环境效益则更不乐观。

【关键词】散煤治理；煤改气；煤改电；环境效益；经济效益
中图分类号：X21　　文献标识码：A　　文章编号：1673-288X(2018)06-0135-07

近年来，京津冀及周边地区多次出现大范围连续雾霾天气，影响范围大，持续时间长，污染程度较为严重，引起了公众高度关注[1]。如何采取有力措施防治大气污染，提高空气质量，改善人居环境成为京津冀地区当务之急。空气污染与能源结构密切相关，煤炭的大量使用是导致空气污染的主要原因之一。2017 年，原环境保护部发布《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》，提出 2018 年全面完成以电代煤、以气代煤任务。2018 年，生态环境部发布《打赢蓝天保卫战三年行动计划》，提出集中资源推进京津冀及周边地区散煤治理，在 2020 年采暖季前，在保障能源供应的前提下，京津冀及周边地区基本完成生活和冬季取暖散煤替代。根据《2017 年中国生态环境状况公报》有关数据显示：京津冀地区 13 个城市优良天数比例范围为 38.9%～79.7%，平均为 56.0%，比 2016 年下降 0.8 个百分点；平均超标天数比例为 44.0%，其中轻度污染为 25.9%，中度污染为 10.0%，重度污染为 6.1%，严重污染为 2.0%。2017 年 12 月 1 日至 12 月 15 日的监测数据显示，“双代区”(“煤改气”和“煤改电”的地区) $PM_{2.5}$浓度为 61μg/m^3，同比下降 54.81%。监测数据显示，“双代区”空气质量明显好于“非双代区”，“煤改气”、“煤改电”对空气质量改善的贡献率占 30%左右[2]。

使用煤改气、煤改电工程所带来的环境改变效果显著，但环境收益和成本效益如何量化？当前，我国相关环境政策实施的成本效益分析尚处于起步阶段，尚没有规范化的分析框架及方法，因此，建立科学完善的环境政策成本效益分析有助于促进环境政策的有效制定与实施[3]。张世祥等人运用层次分析法研究了电气与气价的煤改清洁能源竞争性分析[4]，巫永平等人运用成本效益分析了天然气替代燃煤的政策评估[5]。本文为研究“煤改气”、“煤改电”政策的成本效益，将从两个方面进行评价：京津冀地区实施煤改气、煤改电政策比燃煤供暖成本增加多少？煤改气、煤改电比使用燃煤能实现多少减排收益？为解决这两个问题，本文采用等热值原理及成本收益分析方法，其中按照等热值原理，比较同等热值条件下的天然气价格、电力价格和燃煤价格，来评估经济效益变化；以百兆卡热值能源“燃煤燃烧时主要污染物的排污量减去天然气燃烧或电力供暖时主要污染物的排污量”来比较煤改气、煤改电的环境成本，以此来评估环境效益。

1　研究方法和数据来源

1.1　“煤改气”政策的经济效益分析

天然气替代燃煤的经济效益关注使用天然气相比使用燃煤的价格变化。在评估煤改气经济效益的过程中，

项目资助：国家环境保护战略决策支持(202300401)；“京津冀地区散煤综合治理成本效益分析”青年基金项目
作者简介：杜晓林，硕士，助理工程师，主要研究气候和大气领域相关环境政策
通讯作者：冯相昭，博士，副研究员，主要开展能源领域、大气领域及气候变化相关政策研究
引用文献格式：杜晓林，冯相昭，王　敏，等. 京津冀地区散煤综合治理成本效益分析[J]. 环境与可持续发展，2018，43(6)：135-141.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

按照等热值原理比较同等热值条件下的天然气和燃煤价格。鉴于数据的可得性，本文在进行经济效益分析时未考虑配套基础设施建设成本，统一只考虑燃料成本价格的比较。

(1) 首先计算天然气和燃煤的热值比。$1m^3$ 天然气的热值约为 8000～9000 大卡，这里设定 $1m^3$ 天然气的热值为 8500 大卡。我国规定 1kg 标准煤的热值为 7000 大卡。因此按照热当量换算，$1m^3$ 天然气提供的热值相当于 1.214kg 标准煤提供的热值。

(2) 其次计算天然气和燃煤的原始价格比。计算公式为:

$$\text{原始价格比} = \frac{\text{天然气单价}}{\text{标准煤单价}} = \frac{\text{天然气单价}}{\text{原煤单价} \times \text{原煤热量} / \text{标准煤热量}}$$

天然气价格使用各省市发展和改革委员会或物价局公布的居民生活用气中第一档的价格[6]。标准煤价格使用在 2017-2018 年度采暖期结束后的秦皇岛港 5500 大卡动力煤的价格进行折算后得出。由 Wind 资讯终端查询的数据知，秦皇岛港 5500 大卡动力煤 2018 年 3 月 20 日(华北地区采暖季全部结束)的平仓价为 635 元/t，由计算公式标准煤单价=原煤单价×原煤热量/标准煤热量可得，标准煤单价为 498.9 元/t。分别计算北京市、天津市及河北省使用天然气与使用燃煤的价格比[7]，见表 1。

表 1 北京、天津、河北天然气和燃煤的原始价格比

项目	北京	天津	河北
天然气单价(元/m^3)	2.28	2.40	2.40
标准煤单价(元/kg)		0.4989	
原始价格比	4.57	4.81	4.81

(3) 最后计算同等热值条件下天然气与标准煤的实际价格比。需按照能源等热值原理进行换算，计算公式为实际价格比=原始价格比/天然气与标准煤热值比。

2.2 基于成本收益分析的“煤改气”政策的环境收益与环境成本的综合评估

在计算环境收益时可使用成本收益分析法。根据同等热值条件下天然气、燃煤和石油燃烧时主要污染物的排污量，即可计算出一个热值单位能源替代的环境收益和环境成本。环境成本指生产过程中主要污染物的排污量，测算过程如图 1 所示，由京津冀三省市产生百兆卡热值所需的天然气支出进行推算；环境收益为主要污染物的燃煤排污量减去天然气的排污量。

2.2.1 环境成本测算

根据天然气和标准煤的单价及计算公式“能源支出=能源单价×百兆卡/能源热值”可知，京津冀三省市产生百兆卡热值所需的天然气支出分别为 26.82、28.24 和 28.24 元，产生百兆卡热值所需的燃煤支出约为 7.13 元，因此超额支出分别为 19.70、21.11 和 21.11 元。而这部分超额支出只能由营业利润来支付。由于缺乏三大产业总营业利润的准确数据，以工业企业营业利润做近似推算。由国家统计局中地区数据的分省年度数据可知，2016 年京津冀三省市工业企业营业利润分别为 1407.36、1993.42 和 2781.79 亿元，工业增加值分别为 4026.68、6805.13 和 13387.46 亿元，因此可得三省市营业利润分别约占国内生产总值的 34.95%、29.29%和 20.78%。这意味着北京市 19.70 元的超额支出需要 56.36 元的总产出支付，天津市 21.11 元的超额支出需要 72.07 元的总产出支付，河北省 21.11 元的超额支出需要 101.58 元的总产出支付。

图 1 “煤改气”环境成本测算流程图

支付这笔超额支出必须以生产活动作为基础，生产产生能耗，接下来计算多产生的能耗会带来多少污染物排放。2016 年京津冀三省市的能源消费总量分别为 6961.7、8041.4 和 29794.4 万 t 标准煤，国内生产总值分别为 25669.1、17885.4 和 32070.5 亿元，所以三省市单位 GDP 能耗分别为 0.27、0.45 和 0.93t 标准煤/万元。故对于北京市，创造 56355.91 元的总产出需消耗 1.53t 标准燃煤，即 10.69 兆卡热值，对于天津市，创造 720673.10 元的总产出需消耗 3.24t 标准燃煤，即 22.70 兆卡热值，对于河北省，创造 101579.16 元的总产出需消耗 9.44t 标准燃煤，即 66.06 兆卡热值。

表 2 煤改气环境成本的计算数据

计算参数	北京	天津	河北
产生百兆卡热值所需的天然气支出(元)	26.82353	28.23529	28.23529
产生百兆卡热值所需的燃煤支出(元)		7.12714	
超额支出(元)	19.69639	21.10815	21.10815
营业利润占工业增加值的比例(%)	34.95	29.29	20.78
承担超额支出所需的总产出金额(元)	56.35591	72.06606	101.57916
2016 年京津冀 GDP 能耗值(吨标准煤/万元)	0.271	0.450	0.929
所需标准燃煤量(吨标准煤)	1.527×10^{-3}	3.243×10^{-3}	9.437×10^{-3}
热值(兆卡)	10.689	22.701	66.059

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由2017年各省市统计局公布的各省市的统计年鉴中的数据可知，对于北京市，2016年能源消费构成中，煤炭、石油、天然气、一次电力及其他能源分别占能源消费总量的百分比及其所对应的热值消耗量列表见表3。

表3　2016年京津冀地区能源消费结构情况　单位：兆卡

	煤炭		石油		天然气		一次电力及其他能源	
	能源消费构成	煤炭消耗热值	能源消费构成	石油消耗热值	能源消费构成	天然气消耗热值	能源消费构成	一次电力及其他能源消耗热值
北京	29.59%	3.16	30.94%	3.31	14.58%	1.56	24.89%	2.66
天津	51.31%	11.65	17.39%	3.95	0.90%	0.20	30.58%	6.94
河北	85.01%	56.16	8.63%	5.70	3.14%	2.07	3.22%	2.13

根据上述数据，计算各污染物排污量，以各省市百兆卡热量天然气、燃煤和石油的排污量为权数，以前文计算求得的三者对应的消耗的热值为权重，然后加总计算。计算公式为：

$$\text{排污量} = \text{燃煤消热值} \times \frac{\text{兆卡热量燃煤排污量}}{100} + \text{石油消耗热值} \times \frac{\text{兆卡热量石油排污量}}{100} + \text{天然气消耗热值} \times \frac{\text{兆卡热量天然气排污量}}{100}$$

综上所述，环境成本计算结果见表4。

表4　京津冀三省市“煤改气”环境排污量

燃烧产物	天然气(同等热量排污量)	燃煤(同等热量排污量)	石油(同等热量排污量)	北京市环境排污量	天津市环境排污量	河北省环境排污量
灰分	1	148	14	5.16	17.79	83.93
二氧化硫	1	700	400	35.38	97.33	415.92
二氧化氮	1	10	5	0.50	1.36	5.92
一氧化碳	1	29	16	1.46	4.01	17.22
二氧化碳	3	5	4	0.34	0.75	3.10

注：此处的排污量为排污相对量，其中天然气排污量为标准量，燃煤和石油排污量为比较量，体现同等热值条件下能源燃烧释放的排污量之比。

2.2.2　环境收益、环境净收益测算

根据环境收益=主要污染物的燃煤排污量-天然气排污量。由此计算京津冀三省市的环境收益。由环境收益减去环境成本即为环境净收益。

2.3　“煤改电”政策的经济效益

评估煤改电的经济效益同样要按照等热值原理比较同等热值条件下的电力和燃煤价格。

(1)首先计算电和燃煤的热值比。国家统计局规定等价热值的电力折算标准煤系数为0.404kg/(kW·h)时，即1kW·h电提供的热值相当于0.404kg标准煤提供的热值。按照1千克标准煤的热值为7000大卡换算，1千瓦时电提供的热值为2828大卡。

表5　燃煤和电力等热值对比

项目	标煤(千克标准煤)	热值(大卡)
1kg标准煤	1	7000
1kW·h电力	0.404	2828

(2)其次计算电和燃煤的原始价格比。计算公式为原始价格比=电单价/标准煤单价。电价使用各省市发展和改革委员会或物价局公布的居民生活用电中的一户一表第一档的价格。接下来分别计算北京市、天津市及河北省使用电力与使用燃煤的价格比。

(3)最后计算同等热值条件下电力与标准煤的实际价格比。需按照能源等热值原理进行换算，计算公式为实际价格比=原始价格比/电与标准煤热值比。

2.4　“煤改电”政策的环境效益综合评估

由国家统计局中地区数据的分省年度数据可知，2016年度京津冀三省市的发电量分别为434、618和2631亿kW·h。由2017年《中国能源统计年鉴》中公布的各省市2016年火力、水力、核能、风力、太阳能发电量数据计算京津冀三省市火力发电量，进一步计算产生的污染物，并将火力发电中产出电力与投入热力提供的热值之和，和所需的提供同等热值的原煤的排污量进行比较，以此分析煤改电政策的环境效益。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.4.1 京津冀三省市火力发电产生的污染物排放量

由 2017 年度《中国能源统计年鉴》中的各省市的能源平衡表中的数据及《城市大气污染物排放清单编制技术手册》《4411 火力发电行业产污系数使用手册》中提供的火力发电行业中各类原料产生各种污染物的产污系数数据，并根据计算公式“产污量 = 燃料消耗量×产污系数”，计算得出京津冀三省市火力发电中 9 种投入原料相应的排污量。经计算得到的京津冀三省市的火力发电各类原料排污量见表 6。

2.4.2 提供同等热值原煤的污染物排放量

2017 年《中国能源统计年鉴》中公布的 2016 年京津冀火力发电的电力产出量分别为 417.76、611.51、2372.47 亿 kW·h，投入的热力分别为 0、169.12、4668.24 万百万千焦(1010kJ)，将产生电力所耗费的热量换算成标准煤的数量，再换算成原煤即除以原煤的折标准煤系数 0.7143，得到需要原煤的数量分别为 718.53、1342.66、12109.78 万 t。换算过程见表 3-7。

表 6 北京市火力发电各类原料排污量 单位：t

排放物	煤炭	煤矸石	燃油	石油焦	焦炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	天然气	其他能源	总量
一氧化碳	1880.00	0.00	11.22	25.68	0.00	0.00	0.00	10463.38	324.66	12704.94
二氧化氮	5141.80	0.00	109.21	249.95	0.00	0.00	0.00	27635.00	3160.02	36295.98
二氧化硫	12765.20	0.00	374.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13139.20
VOCs	2030.40	0.00	53.86	1412.40	0.00	0.00	0.00	77268.00	70.34	80835.00

表 7 天津市火力发电各类原料排污量 单位：t

排放物	煤炭	煤矸石	燃油	石油焦	焦炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	天然气	其他能源	总量
一氧化碳	42468.00	0.00	82.62	124.32	115.38	1225.25	268.13	3635.13	45.18	47964.00
二氧化氮	116149.98	0.00	804.17	1210.05	139.97	201.28	44.05	9600.79	439.75	128590.04
二氧化硫	288357.72	0.00	2754.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	291111.72
VOCs	45865.44	0.00	396.58	6837.60	142.00	3770.00	825.00	26844.00	9.79	84690.41

表 8 河北省火力发电各类原料排污量 单位：t

排放物	煤炭	煤矸石	燃油	石油焦	焦炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	天然气	其他能源	总量
一氧化碳	178607.80	42572.00	18.78	0.00	3383.25	113478.63	8617.38	1.63	741.18	347420.64
二氧化氮	488492.33	159645.00	182.79	0.00	4104.37	18642.27	1415.66	4.29	7214.15	679700.87
二氧化硫	1212746.96	60452.24	626.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1273825.20
VOCs	192896.42	45977.76	90.14	0.00	4164.00	349165.00	26515.00	12.00	160.59	618980.92

表 9 2016 年京津冀火力发电的电力产出量对应的原煤量换算表

地区	电力(亿 kW·h)	产生的热量(亿大卡)	投入热力(万百万千焦)	换算的热力(亿大卡)	产生电力耗费的热量(亿大卡)	需要的标准煤的数量(万 t)	需要原煤的数量(万 t)
北京	417.76	359273.60	0.00	0.00	359273.60	513.25	718.53
天津	611.51	525898.60	169.12	145443.20	671341.80	959.06	1342.66
河北	2372.47	2040324.20	4668.24	4014686.40	6055010.60	8650.02	12109.78

根据《城市大气污染物排放清单编制技术手册》中提供的民用源燃煤产生各种污染物的产污系数数据，以及《4411 火力发电行业产污系数使用手册》中提供的火力发电行业中原煤产生二氧化硫的产污系数数据，并根据计算公式“产污量 = 燃料消耗量×产污系数”，计算得出京津冀三省市原煤在火力发电时的排污量，进而得到提供同等热值所需原煤在火力发电时产生的排污量，结果见表 10。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 10　原煤燃烧时的产污系数及提供同等热值对应原煤消耗量

污染物指标	产污系数(kg/t)	北京原煤消耗量(万 t)	天津原煤消耗量(万 t)	河北原煤消耗量(万 t)	北京排污量(t)	天津排污量(t)	河北排污量(t)
一氧化碳	144	718.53	1342.66	12109.78	1034683.20	1933430.40	17438083.20
二氧化氮	0.91				6538.62	12218.21	110199.00
二氧化硫	13.58				97576.37	182333.23	1644508.12
VOCs	3.67				26370.05	49275.62	444428.93

3　研究结果与讨论

3.1　“煤改气”的经济效益和环境效益

3.1.1　经济效益

北京市、天津市和河北省的天然气实际价格分别为标准煤实际价格的 3.76、3.96 和 3.96 倍。计算结果表明，在任意的热值条件下，对于北京市、天津市和河北省，以天然气替代燃煤分别需付出 3.76、3.96 和 3.96 倍于燃煤价格的成本，如图 2 所示。

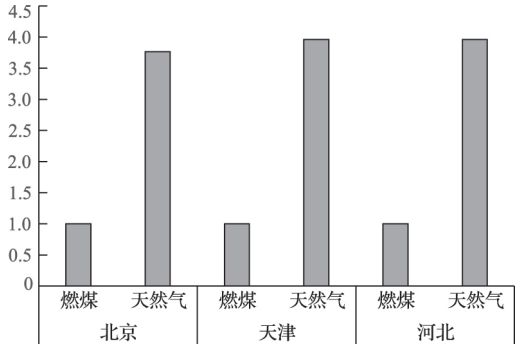

图 2　同等热值条件下燃煤和天然气的成本价格对比

3.1.2　环境效益

北京市、天津市及河北省能源替代的环境收益、环境成本见表 11。

表 11　京津冀三省市能源替代的环境收益、环境成本和净收益　　单位：百兆卡

燃烧产物	天然气	石油	环境收益	北京市		天津市		河北省	
				环境成本	环境净收益	环境成本	环境净收益	环境成本	环境净收益
灰分	1	14	147	5.16	141.84	17.79	129.21	83.93	63.07
二氧化硫	1	400	699	35.38	663.62	97.33	601.67	415.92	283.08
二氧化氮	1	5	9	0.50	8.50	1.36	7.64	5.92	3.08
一氧化碳	1	16	28	1.46	26.54	4.01	23.99	17.22	10.78
二氧化碳	3	4	2	0.34	1.66	0.75	1.25	3.10	−1.10

从表 11 中的计算结果可得，对于三省市的各项污染物，除河北省的二氧化碳，其他环境收益均高于环境成本，即环境净收益大于零。对于各项污染物的环境成本占环境收益的比例范围，北京市为 4%～17%，天津市为 12%～37%，河北省为 57%～155%。同时，京津冀三省市中，北京市的环境净收益最高，天津市次之，河北省的环境净收益相对最低，表明北京市的能源替代环境收益要大于天津市及河北省的能源替代环境收益，这在一定程度上说明北京市的环保成本更低，推行煤改气政策的收益在京津冀地区中是相对来说最高。从能源构成上分析，河北省煤炭占总能源消耗的占比远远大于北京市和天津市，这也是导致河北省环境成本较高的原因之一。可以推测，在北京市和天津市这两个煤炭消费量占比相对较低的城市，增加天然气的消费量可以更大程度地减少环境成本，从而提高能源替代的环境收益。环境净收益大于零是环境政策实施的前提条件，但由于天然气的价格较高，使用天然气代替燃煤政策的效果并不如通常认为的那么好，环境收益是否大于包含机会成本的经济成本还需要根据更多的数据进行进一步地计算与分析。

表 12　煤改电经济效益统计数据

计算参数	北京	天津	河北
电力单价(元/kW·h)	0.49	0.49	0.52
标准煤单价(元/kg)		0.50	
原始价格比	0.98	0.98	1.04
电力与标准煤的热值比		0.404	
实际价格比	2.42	2.42	2.58

3.2　“煤改电”的经济效益和环境效益

3.2.1　经济效益

北京市、天津市和河北省的电力实际价格分别为标准煤实际价格的 2.42、2.42 和 2.58 倍。计算结果表明，在任意的热值条件下，对于北京市、天津市和河北

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

省，以电力替代燃煤分别需付出 2.42、2.42 和 2.58 倍于燃煤价格的成本。

3.2.2 环境效益

将京津冀三省市火力发电产生的污染物，并与火力发电中产出电力与投入热力提供的热值之和，和所需的提供同等热值的原煤的排污量进行比较，结果见表 13。

在环境效益方面，比较各省市火力发电各类原料排污量之和与提供同等热值所需原煤产生的排污量结果。如表 13 所示，对于北京市，火力发电所产生的一氧化碳、二氧化硫比燃烧原煤所产生的污染物排放量要少，二氧化氮及 VOCs 比使用原煤产生的量要多，表明使用火力发电较直接燃煤并未有效降低二氧化氮和 VOCs 的排放，反而增加了两者的排放量。

表 13 京津冀火力发电与同等热值所需原煤产生的排污量对比 单位：万 t

排放物	北京				天津				河北			
	电力①	原煤②	差值 ①-②	比值 ①/②	电力③	原煤④	差值 ③-④	比值 ③/④	电力⑤	原煤⑥	差值 ⑤-⑥	比值 ⑤/⑥
一氧化碳	1.27	103.47	-102.20	0.01	4.80	193.34	-188.55	0.02	34.74	1743.81	-1709.07	0.02
二氧化氮	3.63	0.65	2.98	5.55	12.86	1.22	11.64	10.52	67.97	11.02	56.95	6.17
二氧化硫	1.31	9.76	-8.44	0.13	29.11	18.23	10.88	1.60	127.38	164.45	-37.07	0.77
VOCs	8.08	2.64	5.45	3.07	8.47	4.93	3.54	1.72	61.90	44.44	17.46	1.39

截至 2017 年 3 月，北京市关闭了全部燃煤电厂，进入无煤发电时代，成为全国首个全部实施清洁能源发电的城市，可推测北京市用于火力发电的煤炭使用量逐渐减少。2017 年《中国能源统计年鉴》中公布的 2016 年度北京市火力发电的煤合计为 94.07 万 t，而 2015 年度的煤合计数据为 161.25 万 t，降幅达 41.66%，进一步证明用于火力发电的煤炭使用量近三年大幅降低，污染物也会变得更少，故在北京市实施煤改电政策是相对比较有利的，但要注重二氧化氮和 VOCs 的排放控制。对于天津市，二氧化氮、二氧化硫和 VOCs 各项排放物排放量使用火力发电均大于直接燃煤排放，且三者的排放量火力发电是直接燃煤的 10.52、1.60、1.72 倍，仅一氧化碳的排放量明显降低，说明对于天津市实施煤改电的政策对环境不利。对于河北省，使用火力发电使得一氧化碳和二氧化硫的排放量降低，二氧化氮和 VOCs 使用火力发电产生量仍然大于直接燃煤的产生量，表明使用火力发电并没有较直接燃煤方式所降低所有的污染物排放，可得出河北省电力取暖比直接燃煤并未有明显的环境效益。即使计算得出的各类原料排污量之和的数据会较实际偏大，但根据前后两者数值相对量与绝对量的大小，仍有理由认为二氧化氮、VOCs 以及天津市二氧化硫的电力排放量之和确实大于原煤的直接排放。

4 结 论

对于煤改气政策，一是成本效益方面，在任意的热值条件下，对于北京市、天津市和河北省，以天然气替代燃煤分别需付出 3.76、3.96 和 3.96 倍于燃煤价格的成本。二是在环境效益方面，在京津冀三省市中，北京市的环境净收益最高，天津市次之，河北省的环境净收益相对最低，表明北京市的能源替代环境收益要大于天津市及河北省的能源替代环境收益，这在一定程度上说明北京市的环保成本更低，推行煤改气政策的收益在京津冀地区中是相对来说最高。从能源构成上分析，河北省煤炭占总能源消耗的占比远远大于北京市和天津市，这也是导致河北省环境成本较高的原因之一。可以推测，在北京市和天津市这两个煤炭消费量占比相对较低的城市，增加天然气的消费量可以更大程度地减少环境成本，从而提高能源替代的环境收益。环境净收益大于零是环境政策实施的前提条件，但由于天然气的价格较高，使用天然气代替燃煤政策的效果并不如通常认为的那么好，环境收益是否大于包含机会成本的经济成本还需要根据更多的数据进行进一步的计算与分析。

对于煤改电政策，一是成本效益方面，在任意的热值条件下，对于北京市、天津市和河北省，以电力替代燃煤分别需付出 2.42、2.42 和 2.58 倍于燃煤价格的成本；二是在环境效益方面，对于北京市，火力发电所产生的一氧化碳、二氧化硫比燃烧原煤所产生的污染物排放量要少，二氧化氮及 VOCs 比使用原煤产生的量要多，表明使用火力发电较直接燃煤并未有效降低二氧化氮和 VOCs 的排放，反而增加了两者的排放量，在北京市实施煤改电政策是相对比较有利的，但要注重二氧化氮和 VOCs 的排放控制。对于天津市，二氧化氮、二氧化硫和 VOCs 各项排放物排放量使用火力发电均大于直接燃煤排放，且三者的排放量火力发电是直接燃煤的 10.52、1.60、1.72 倍，仅一氧化碳的排放量明显降低，说明对于天津市实施煤改电的政策对环境不利。对于河北省，使用火力发电使得一氧化碳和二氧化硫的排放量降低，二氧化氮和 VOCs 使用火力发电产生量仍然大于直接燃煤的产生量，表明使用火力发电并没有较直接燃煤方式所降低所有的污染物排放，可得出河北省电力取

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

暖比直接燃煤并未有明显的环境效益。

参考文献：

[1] 魏国强. 京津冀各地散煤治理经验探析 [J]. 环境保护，2016(6)：28-34.

[2] 河北省环境保护厅. 我省“双代煤”对空气质量改善贡献率占30%左右 [N]. 河北日报，2018-1-8.

[3] 李红祥，徐鹤，董战锋，葛察忠，翁青青. 环境政策实施的成本效益分析框架研究 [J]. 观察，2017. 04. 011：54-58.

[4] 张世翔，苗安康，李林沣. 基于电价与气价的煤改清洁能源竞争性分析研究 [J]. 价格月刊，2018(1)：38-45.

[5] 巫永平，喻宝才，李拂尘. 基于成本收益分析的“天然气替代燃煤政策”评估 [J]. 公共管理评论，2018(16)：3-14.

[6] 国家发展改革委关于理顺居民用气门站价格的通知(发改价格规〔2018〕794号)

[7] 《天津市发展改革委关于我市居民用气实行阶梯气价的通知》(津发改价管〔2015〕984号；《天津市发展改革委关于降低非居民管道天然气销售价格的通知》(津发改价管〔2017〕746号).

Cost-benefit Analysis of Integrated Coal Treatment towards Clean Heating in Beijing-Tianjin-Hebei Region

DU Xiaolin　FENG Xiangzhao　WANG Min　ZHAO Mengxue　LIANG Qidi

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

Abstract: This paper studies the economic and environmental benefits of coal-to gas heating and coal-to-electricity heating policies. According to the principle of isothermal value, compare the price of the natural gas, electric power and coal burning under the same calorific value to evaluate the economic benefit, and evaluate the environmental benefits by contaminants from coal combustion subtracting the amount of pollutants during natural gas combustion or electric heating while using 100 megacalories of calorific value energy burning. The results show that in terms of economic benefits, for Beijing, Tianjin and Hebei provinces, the replacement of coal by natural gas requires 3.76, 3.96 and 3.96 times the cost of coal burning, and the replacement of coal by electricity requires 2.42, 2.42 and 2.58 times respectively. In terms of environmental benefits, Beijing´s environmental net income is the highest, Tianjin is second, Hebei Province is the lowest by the way of coal to gas policy. As for coal-to electricity policy in clean heating, the thermal power generation in Beijing and Hebei Province can reduce carbon monoxide and sulfur dioxide emissions compared to direct coal combustion, but increase emissions of nitrogen dioxide and VOCs, indicating that Beijing and Hebei provinces have no obvious environmental benefits compared with direct coal combustion. Thermal power generation in Tianjin increases the emissions of nitrogen dioxide, sulfur dioxide and VOCs, so the policy of implementing coal-to-electricity policy in Tianjin is more unfavorable to the environment.

Keywords: disposal of coal; coal-to-gas heating; coal-to-electricity heating; environmental benefits; economic benefits

《环境与可持续发展》列入原国家新闻出版广电总局学术期刊名单

2017年，原国家新闻出版广电总局正式公布第二批学术期刊名单，《环境与可持续发展》(编号189)名列其中，被认定为A类学术期刊。

《环境与可持续发展》2017年学术影响因子位列全国收录72种环境科学类期刊第九名

据知网《中国学术期刊影响因子年报(自然科学与工程技术·2017版)》，我刊期刊综合影响因子为1.309，位列全国环境科学类期刊第9名，复合影响因子为1.521，位于全国环境科学类期刊第13名。另据知网发布的《2017年发行与传播统计报告》：我刊机构用户总计近5000个，遍布于30余个国家和地区，如美国国会图书馆、代顿ITS公司、美国海军军事学院、法国国防部、牛津大学、韩国最高法院、韩国最高检察院、日本国会图书馆、新加坡国家图书馆、伊士曼化学公司、陶氏化学、NSD生物技术咨询、南澳大利亚大学等国外机构，我刊已成为国际平台上展示我国环保成就和研究成果的重要窗口。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net