

“气代煤”政策实施环境经济效益评价研究

——以河北省廊坊市为例

摘要：近年来，京津冀地区大气污染日益严重，高强度雾霾频发， $PM_{2.5}$ 等主要环境污染检测指标表明我国环境恶化程度日益加剧。为此，我国于2013年起在京津冀地区推行能源消费结构改革，通过实施“气代煤”“电代煤”等一系列政策降低煤炭在能源消费结构中的比例，以减少煤炭消费带来的环境污染。因廊坊市位于京津之间、区域中心位置，有着较高的研究价值，所以本文选取河北省廊坊市为样本，研究评价“气代煤”政策实施的环境经济效益。本文采用典型抽样、整群抽样、实地调查统计等方式，调查和模拟廊坊市“气代煤”政策实施对环境的影响，利用经济技术评价指标对企业经济效益进行评价，利用污染物浓度下降成本、气候经济动态综合模型、健康模型将其转化为社会经济效益。进而得出结论：通过“气代煤”政策的实施，廊坊市的环境改善明显，带来了可观的经济效益。

关键词：京津冀地区 气代煤 大气污染 环境经济效益

1. 文献综述

中国煤炭利用结构与国外差距较大，美国发电用煤占90%，德国占80%，韩国占60%（另有28%用于炼焦），日本占53%（另有32%用于炼焦）。截至2014年底，中国天然气发电装机容量为 $5567 \times 10^4 kW$ ，仅占全国总装机容量的4.1%，天然气发电量 $1183 \times 10^8 kW \cdot h$ ，占全

国总发电量的 2.1%，远低于 20% 左右的世界平均水平。2014 年中国燃气发电用气占全国天然气消费总量的 15%，远低于美国 (30.4%)、英国 (23.8%)、德国 (36%)、韩国 (44%) 的水平。

根据中国石油天然气集团经济技术研究院研究结果显示，天然气发电与传统煤炭发电相比具有明显优势：①转换效率高：燃气轮机较燃煤机组热效率高 10% 以上，天然气分布式能源的综合能源利用效率可达 70% 以上。②调峰能力强：燃气发电调度灵活、启停速度快，建设周期短、占地面积小，且较其他新能源单机容量大、运行安全稳定。③环保优势突出：燃气电厂的烟尘、SO₂、NO_x 等污染物排放明显低于燃煤电厂，且碳排放相比低 55% 左右。本文就国内有关煤改气相关研究的现状以及经验进行分析。

陈超在《锅炉煤改气工程项目进度管理研究》^[1] 研究中表明在过去的几年中，冬季燃煤供暖锅炉排放是我国北方地区最重要的污染源，国家环境保护部（今生态环境部）自 2012 年开始将 PM_{2.5} 排放浓度纳入《环境空气质量标准》，各级政府部门日益重视环境保护问题，将环境改善的问题纳入政府日常工作。其研究表明，天然气是一种高效清洁的能源，已经逐渐取代燃煤作为冬季供暖锅炉的新型燃料。我国已陆续开展燃煤锅炉改造燃气锅炉工程（以下简称“气代煤”工程）。

重庆大学欧春华等^[2]在对“气代煤”的规模和范围进行调查分类的基础上，对煤改气的技术经济可行性作出了分析：重庆市分布广泛的中小锅炉及餐饮炉灶燃煤污染是造成主城区空气严重污染的主要污染源之一。从设备来看，茶水炉和商业大灶等设施是重庆市主城区

的 SO_2 和烟尘的主要来源。因此,对主城区 10 蒸吨以下(含 10 蒸吨)的工业燃煤锅炉和茶水炉限期实施“气代煤”工程,切实改善了重庆市主城区的大气环境质量,保护了人民群众的身体健 康,提高了重庆市市民生活质量和健康水平。

据温州市燃气有限公司汤燕刚等^[4]对温州市“气代煤”工程实施的研究,温州在淘汰燃煤的过程中遇到不小的困难和阻力,主要表现为:(1)燃煤锅炉企业差异大、分布广、点多;(2)企业运营成本大幅增加,缺乏改造意愿;(3)政府缺乏有效的激励和惩罚性措施。他们提出政府可对“气代煤”工程给予一定的价格补贴,以推进该项工程的实施。在他们的研究中,对“气代煤”工程价格补贴可行性进行了分析。

杭州市热力有限公司何颖等人^[5]对杭州市“气代煤”工程节能、减排效果宏观评估中指出,杭州市针对不同的能源结构有着不同的能源转换方式,合理确定能源转换方式会提高能源利用效率,通过对天然气蒸汽联合循环集中供热机组配置及其热能利用进行分析,发现煤改气前集中供热的总效率只有 51%,而改后的天然气分散供热效率可达 94%,改后的能源利用率提高了 84%,年节约能源折后标煤量 64664 吨。

赵丽莉等^[6]对乌鲁木齐市“气代煤”对 SO_2 浓度时间空间变化的影响研究中发现,乌鲁木齐市冬季采暖期大气污染严重, SO_2 浓度呈现不断增加的趋势,超标频率逐年提高,已成为不容忽视的环境问题。2012 年乌鲁木齐市实施“气代煤”工程,旨在改善乌鲁木齐市大气

环境质量。其通过对自动监测设备采用 Thermo ScientificTEOM1405-F 连续监测仪所检测到的 SO_2 浓度数据进行分析,发现“气代煤”对 SO_2 浓度的降低效果显著,但降低幅度在区域间存在差异,“气代煤”工程前冬季 SO_2 日均浓度普遍存在超标国家二级环境质量标准的现象,全市不同区域超标率在 25%~40%之间;“气代煤”工程实施后,冬季 SO_2 日均浓度在空间上呈现出由南向北逐渐增加的态势,市南(中)区 SO_2 日均浓度基本达标,而北面 SO_2 浓度虽有降低,但超标频率依然较高,值得当地政府在环境治理过程中关注。

中国石油西南油气田公司天然气经济研究所梅琦等^[7]通过在对云南省工业领域“气代煤”发展环境及对策研究中通过对能源消费量 2011-2016 年变化分析,发现煤炭消费量呈下降趋势,年均下降 5%,2016 年已经降至 40.24%;一次电消费增长明显,占比从 2010 年的 23.98%增至 2016 年的 41.69%;石油与天然气消费占比相对稳定,基本保持在 15%和 1%以下。能源结构更加绿色化,能源消费总量和能源消费强度控制取得明显成效。

侯飞飞等^[8]在《太原市实施“煤改气”的影响与效果》中对太原市自实施“气代煤”政策后太原市空气质量的转变得以分析,发现城市空气质量有所好转,尤其是二氧化硫(SO_2)排放,从 2016 年年均浓度 $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$,下降到 2017 年年均浓度 $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。同比下降 20.6%,达到了国家规定标准的范围。 SO_2 浓度下降,充分证明了“气代煤”工程实施带来的直接显著效果。2017 年,太原市重污染天数与 2016 年相比减少了 10 天。2018 年 1—4 月,重污染天数与 2017 年同期

相比减少了 6 天；环境空气质量综合指数为 7.65，与 2017 年同期相比，降低了 11.4%。

京津冀地区属于国家大气污染重点治理地区，单位面积能源消费总量大，燃煤比例大。目前京津冀地区已经具备发展“煤改气”的政策、资源、经济、技术等条件。2020 年该地区“煤改气”的发展目标为 200 亿立方米，约合 2700 万吨标煤。预计 2020 年京津冀三省(市)城市燃气“煤改气”替代量为 15 亿立方米；工业燃料替代量为 125 亿立方米；发电替代量为 60 亿立方米。2015 年“煤改气”替代量至少需要达到 45 亿立方米；2017 年达到 95 亿立方米；2020 年替代量达到 200 亿立方米。

中国石油大学(华东)的孟亚东与中国能源研究会能源政策研究中心天然气中心的孙洪磊^[9]于 2014 年对京津冀地区煤改气工程进行了研究，指出目前京津冀地区面临最大的环境问题为 $PM_{2.5}$ 大气污染问题。他们根据北京市、天津市、河北省的环保厅(局)发布的 $PM_{2.5}$ 来源解析研究成果得出燃煤是京津冀地区主要污染源之一，燃煤对 $PM_{2.5}$ 的贡献大，过高的煤炭消费比例是亟待解决的经济发展与环境保护的问题。其根据天然气和煤炭的理论转换值以及不同利用行业的热效率，计算了天然气燃烧污染物排放量占煤炭燃烧排放比例情况。其中天然气在工业燃料中排放的 SO_2 、 NO_x 和烟尘量分别为煤炭燃烧排放的 1.7%、15.8%和 8.7%，天然气的理论燃烧污染物排放量明显少于煤炭。在我国，天然气已连续十年保持两位数增长，不断发展和完善的基础设施正在将天然气源源不断地运送到消费端。越来越多的专家认

为,天然气替代煤炭是中国实现节能减排、清洁发展的现实途径之一。

北京市热力集团有限责任公司关欣与北京硕人海泰计量技术研究中心的聂海亮等^[10]研究了北京市煤改气工程对能源安全性和经济性的影响。他们指出由于煤改气工程的推进,天然气需求迅猛增长,能源供应安全问题隐患很大;在经济性方面,煤改气将增加北京市的社会能源成本与百姓的生活能源成本。

通过对相关文献的研究发现,在“气代煤”的环境经济效益评价领域所进行的研究较少,取得的研究结果和相关学术文献较少。针对廊坊市的研究,在目前缺乏系统性的调查研究,加之廊坊市大气质量改善对京津地区影响显著,所以本文对廊坊市“气代煤”工程的环境经济效益评价研究具有较高的实际价值。

本项目将通过对廊坊市近几年颁布的“气代煤”政策进行分析,搜集实施“煤改气”政策前后廊坊市空气质量指标和廊坊市工业锅炉数量及其分布特征,对廊坊市实施煤改气政策前后进行环境效应评估,通过搜集煤改气前后,工业锅炉的生产及维护成本,对煤改气政策为廊坊市带来的经济效益进行评价。最终得出煤改气工程对廊坊市发展所产生的影响。

2. 区域概述

河北省廊坊市位于河北省中部位置,环渤海地区腹地,居于北京、天津两大直辖市之中,北纬 39°29"—39°33",东经 116°38"—116°44",大部分位于凹陷地区,海拔较低,地势呈由北、西、南三面向天津海

河平原倾斜趋势，且全市地貌呈现“大平小不平”状态。

廊坊市为河北省下辖地级市，全市土地总面积为 6500 平方千米，截止 2018 年底，全市人口 479.5 万人，全市生产总值（GDP）3108.78 亿元，并在 2018 年实现可比价格 6.5% 的增长。廊坊市经济发展结构中，第二产业占比较大，但近年来工业占比实现下降，第三产业不断扩大。据 2018 年廊坊市统计局统计数据，第二产业比重为 36.6%，第三产业比重为 57.1%，经济发展更多依靠第三产业的发展。

图 1 廊坊市地理位置示意图



廊坊市与北京市、天津市辖区接界，廊坊城区前往北京中心城区约为 60km，前往天津中心城区约为 90km，其环境质量与治理对京津有着重要的影响。2018 年 7 月 30 日，北京印发《北京市关于全面深化改革、扩大对外开放重要举措的行动计划》的通知，计划出台北京

市通州区与廊坊市北三县地区整合规划，完善统一规划、统一政策、统一管控的体制机制。北京市规划自然资源委与河北省城乡住房建设厅联合组织编制《通州区与廊坊北三县地区整合规划》，立足京津冀协同发展，推动北京城市副中心与河北省廊坊市北三县地区统一规划、统一政策、统一标准、统一管控。所以选取河北省廊坊市作为研究对象，有着较高的代表性和研究价值。

3. “气代煤” 政策研究

3.1 国家发改委对燃煤锅炉治理策略研究

为贯彻落实《关于加快发展节能环保产业的意见》、《大气污染防治行动计划》、《2014-2015 年节能减排低碳发展行动方案》有关要求，国家发改委印发《燃煤锅炉节能环保综合提升工程实施方案》对全国范围内的工业燃煤锅炉进行治理改造。

据国家发改委统计数据，截止 2012 年底，我国在用燃煤工业锅炉达 46.7 万台、178 万蒸吨，年消耗原煤约 7 亿吨，占全国煤炭消耗总量的 18%以上。且我国燃煤工业锅炉整体能效水平较低，其实际运行效率比国际先进水平低 15 %左右。另一方面，我国工业燃煤锅炉也导致了高强度的污染物排放，年排放烟尘、二氧化硫、氮氧化物分别约占全国排放总量的 33%、27%、9%，我国近来频发的严重雾霾天气与工业锅炉有着本质的联系。

从长期看，我国工业燃煤锅炉主要存在着技术装备落后、经济运行水平不高、燃料匹配性差、环保设施不到位、政策法规不完善五方

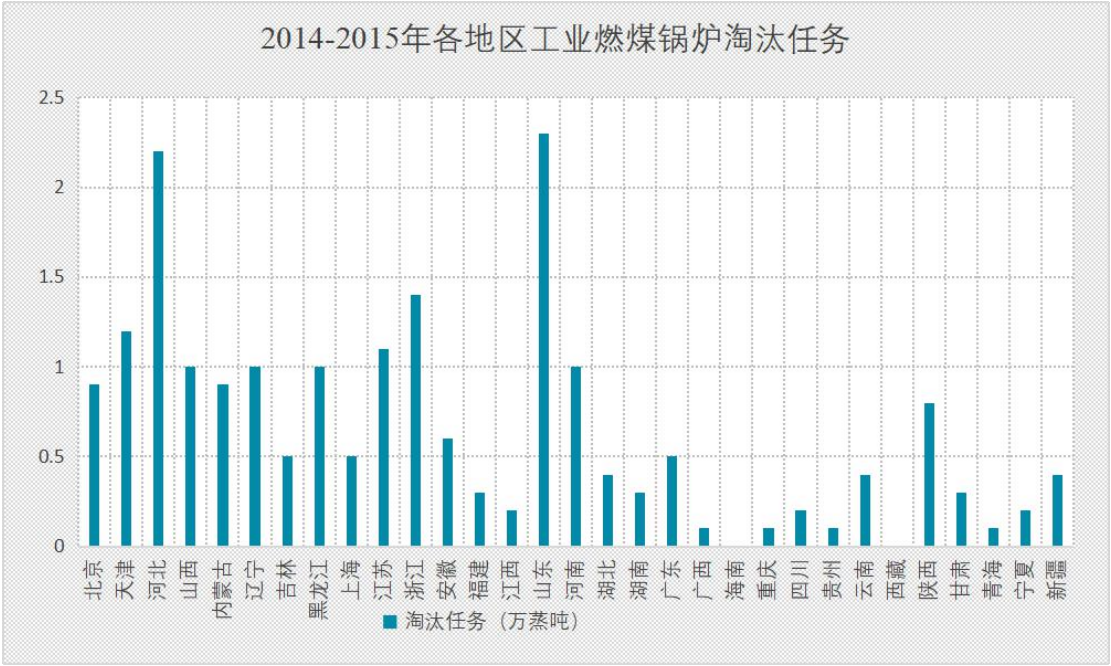
面的问题。我国大多数燃煤工业锅炉容量较小，单台平均容量仅为 3.8 吨/时，其中 2 吨/时以下台数占比达 66.5%，技术装备落后情况显著；加之锅炉选型裕度过大，运行负荷波动大，调节能力有限，进一步降低了锅炉的实际运行效率。在高耗能、低能效的情况下，环境污染问题也日益严峻。锅炉燃料以未经洗选加工的原煤为主，煤种复杂、热值不稳定、灰分和含硫量高。与燃烧洗选煤相比，不仅降低了锅炉效率，还加重了环境污染。10 吨/时以下的燃煤工业锅炉大多没有配置有效的除尘装置，基本没有脱硫脱硝设施，排放超标严重。由于污染源过于分散，环境监管难度大。所以，我国工业燃煤锅炉不仅导致了严重的资源浪费，且环境破坏也是显著而巨大的。

针对此种现象，国家发改委在方案中要求，到 2018 年，推广高效锅炉 50 万蒸吨，高效燃煤锅炉市场占有率由目前的不足 5% 提高到 40%；淘汰落后燃煤锅炉 40 万蒸吨；完成 40 万蒸吨燃煤锅炉的节能改造；推动建成若干个高效锅炉制造基地，培育一批大型高效锅炉骨干企业；燃煤工业锅炉平均运行效率在 2013 年的基础上提高 6 个百分点，形成年 4000 万吨标煤的节能能力；减排 100 万吨烟尘、128 万吨二氧化硫、24 万吨氮氧化物。

为实现这一目标，国家发改委要求加快推广高效锅炉、加速淘汰落后锅炉，2014 年淘汰燃煤小锅炉 5 万台，2014-2015 年淘汰 20 万蒸吨落后锅炉。除必要保留的以外，到 2015 年底，京津冀及周边地区地级及以上城市建成区全部淘汰 10 蒸吨/时及以下燃煤锅炉，北京市建成区取消所有燃煤锅炉；到 2017 年，地级及以上城市建成区

基本淘汰 10 蒸吨/时及以下的燃煤锅炉，天津市、河北省地级及以上城市建成区基本淘汰 35 蒸吨/时及以下燃煤锅炉。

图 2 2014-2015 年各地区工业燃煤锅炉淘汰任务示意图



国家发改委加大节能改造支持力度，积极开展燃煤锅炉“以大代小”工作，重点开展燃烧优化、低温余热回收、太阳能预热，热泵（水源、地源、污水源）技术、自动控制、主辅机优化和变频控制，改善水质及冷凝水回收利用等方面的节能技术改造，到 2017 年底，基本完成能耗不达标的锅炉改造。

在提高工业燃煤锅炉能效的同时，也提升锅炉污染治理水平，按照全面整治小型燃煤锅炉的要求，地级及以上城市建成区禁止新建 20 吨/时以下的燃煤锅炉，其他地区原则上不得新建 10 吨/时及以下的燃煤锅炉。北京、天津、河北、山西、山东等地区地级及以上城市

建成区原则上不得新建燃煤锅炉。新生产和安装使用的 20 吨/时及以上燃煤锅炉应安装高效脱硫和高效除尘设施。提升在用燃煤锅炉脱硫除尘水平，10 吨/时及以上的燃煤锅炉要开展烟气高效脱硫、除尘改造，积极开展低氮燃烧技术改造示范，实现全面达标排放。大气污染防治重点控制区域的燃煤锅炉，要按照国家有关规定达到特别排放限值要求。20 吨/时及以上燃煤锅炉应安装在线监测装置，并与当地环保部门联网。

从能源供给角度考虑，国家发改委要求提高煤炭洗选加工能力，推广符合细分市场要求的专用煤炭产品，到 2018 年，配煤中心示范地区 50%以上的工业锅炉燃用专用煤。在燃气管网覆盖且气源能够保障的区域，可将燃煤锅炉改为燃气锅炉；在供热和燃气管网不能覆盖的区域，可建设大型燃煤高效锅炉或背压热电实现区域集中供热，或改用电、生物质成型燃料等清洁燃料锅炉。

截止 2017 年底，根据国家生态环境部和国家发改委数据，方案目标已经全部实现，部分超额完成。

3.2 河北省燃煤锅炉治理政策研究

2015 年 2 月，河北省政府印发《河北省燃煤锅炉治理实施方案》，针对全省范围内的燃煤锅炉进行治理淘汰和环保综合升级改造，以节能减排削煤，以打好防治大气污染攻坚战。

方案提出当年河北省设区的市和省直管县（市）城市建成区力争淘汰 10 蒸吨/小时及以下的燃煤锅炉、茶浴炉 7176 台，22368 蒸吨。

到 2017 年底，设区的市和省直管县（市）城市建成区淘汰 35 蒸吨/小时及以下的燃煤锅炉、茶浴炉 7402 台，27018 蒸吨，城乡结合部和其他郊区县城镇地区淘汰 10 蒸吨/小时及以下的燃煤锅炉、茶浴炉 3669 台，10478 蒸吨，同时对保留的 23562 台锅炉完成节能环保综合改造提升。

河北省计划于 2015 年至 2017 年期间，通过拆除取缔、置换调整、更新替代、提质提效等手段，分方式分年限完成总量为全省 11071 台、37495 蒸吨的燃煤锅炉治理工作。

图 3 河北省 10 蒸吨及以下燃煤锅炉分方式治理计划示意图

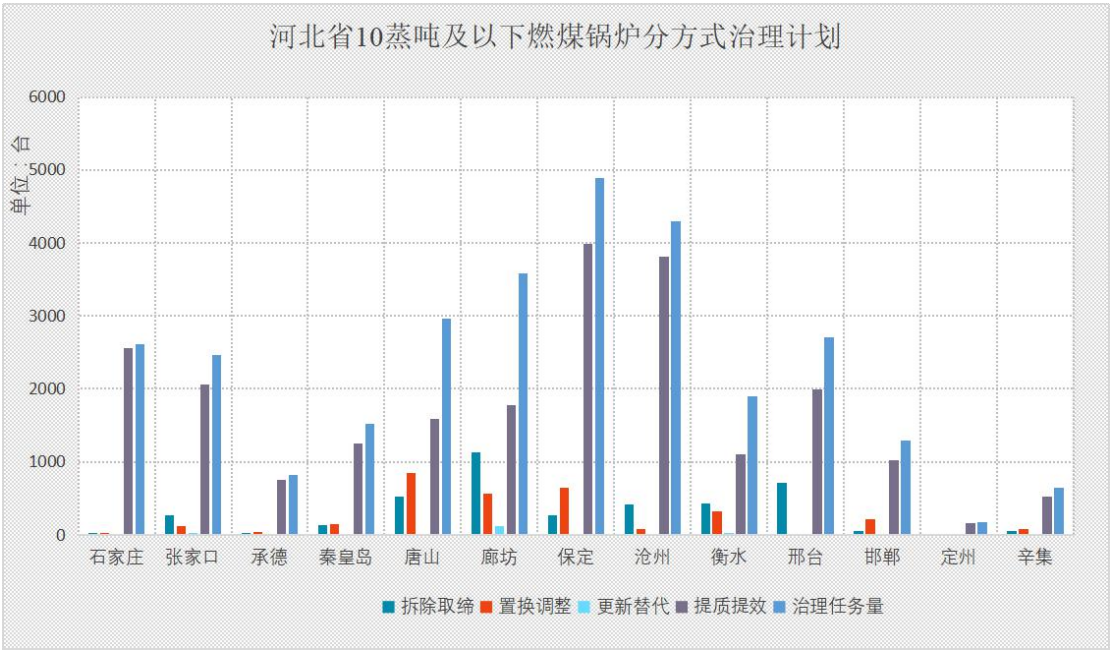


图 4 河北省 10（不含）-35 蒸吨（含）燃煤锅炉分方式治理计划示意图

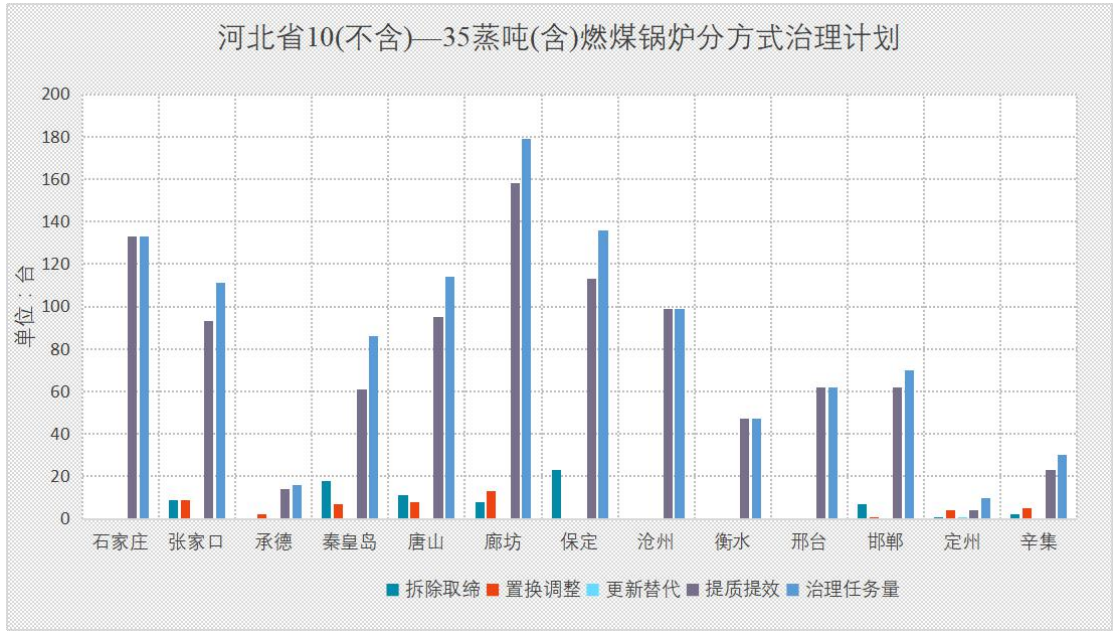


图 5 河北省 10 蒸吨及以下燃煤锅炉分年限治理计划示意图

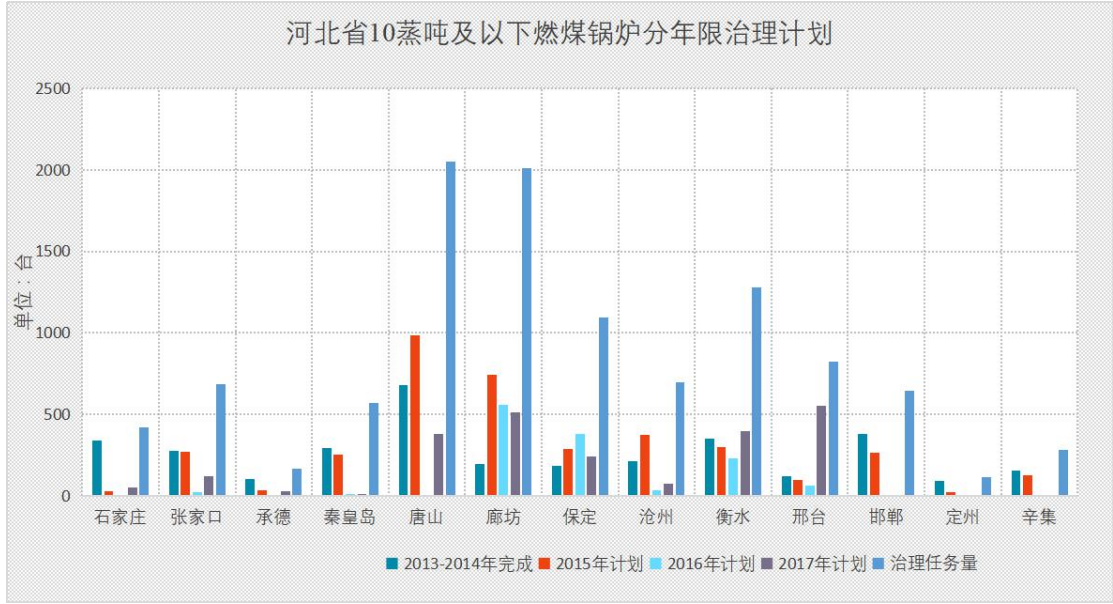
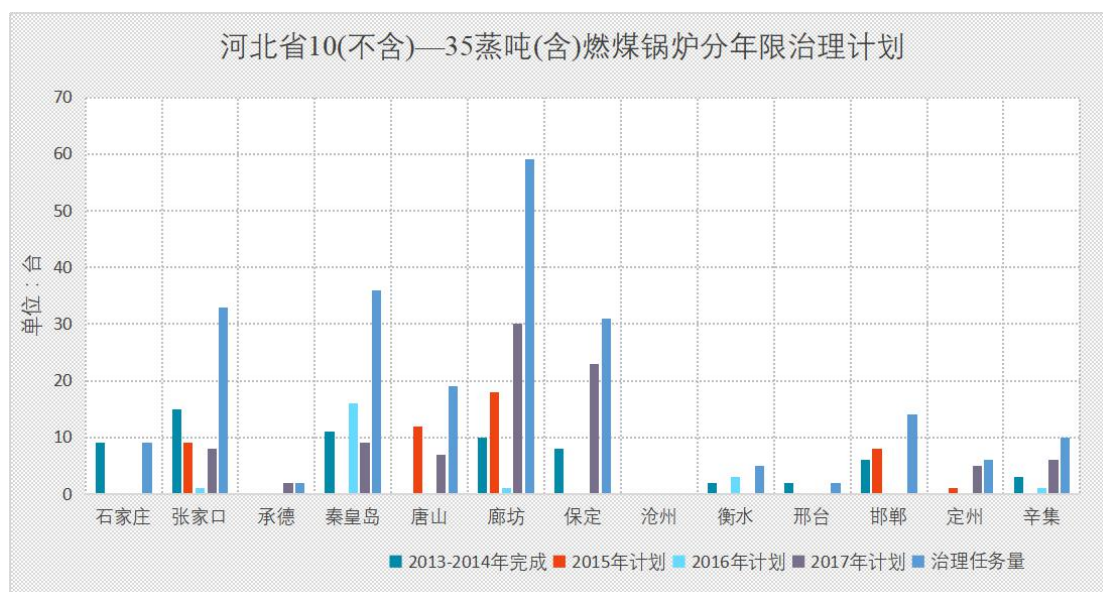


图 6 河北省 10（不含）-35 蒸吨（含）燃煤锅炉分年限治理计划示意图



根据方案的任务安排，河北省将采用新增集中供热的方式拆除取缔一批锅炉，例如在城市集中供热管网覆盖区域加快推进热电联产，推进供热站提效改造，扩大集中供热能力；在城市集中供热管网未覆盖区域，加快建设大型高效的可实施区域集中供热的达到燃气排放标准的燃煤锅炉；限期拆除实现集中供热区域内的小型分散燃煤锅炉等。计划于 2017 年底，取缔拆除现有燃煤锅炉 4125 台、13731 蒸吨。

河北省通过优化用能结构的方式，置换调整一批燃煤锅炉。对于集中供热管网暂时不能覆盖、有用热刚性需求并具备条件的分散燃煤锅炉以及全省机关事业单位和洗浴、宾馆等分散燃煤锅炉、茶浴炉等实施改造，加快推进煤改气、煤改电的实施以及新能源的应用。力争于 2017 年底，置换调整现有锅炉 3111 台、11024 蒸吨。

针对河北省远郊市（县、区）的城镇及热负荷相对集中的开发区、工业聚集区，河北省大力推广高效节能环保锅炉，引进有实力的专业

化大型企业集团，采用 BOO、BT、BOT 等服务外包模式，建设运行效率高、排放达到燃气标准的大型煤粉高效锅炉，实施“以大代小”，力争于 2017 年底，更新替代现有燃煤锅炉 159 台、570 蒸吨。

对于在城镇地区保留的和农村地区分散小型燃煤锅炉，河北省通过实施节能改造和推广优质、洁净煤，提质提效。通过开展燃烧优化、自动控制、低温烟气余热回收等节能技术，推广使用低灰、低硫、高热值的洁净型燃煤，实现节能减排和提质提效，力争于 2017 年底，提质提效现有燃煤锅炉 23562 台、81988 蒸吨。

根据河北省统计数据，全省 2017 年各市（含定州、辛集市）建成区 35 蒸吨/小时及以下的燃煤锅炉、县城 10 蒸吨/小时及以下燃煤锅炉基本清零。

2018 年，河北省印发《河北省燃煤锅炉改造提升三年作战计划》，全省将通过推进集中供热设施建设，加快清洁能源替代，加大燃煤锅炉节能环保提升改造力度和污染物排放及煤质管控力度，加快推进气代煤、电代煤实施推进力度等方式，进一步淘汰和治理燃煤锅炉，计划将于 2020 年全省实现 35 蒸吨/小时及以下锅炉“无煤化”，保留的 35 蒸吨/小时及以上燃煤锅炉实施节能环保提效改造。

3.3 廊坊市燃煤锅炉治理政策研究

为全面贯彻落实国家、河北省下达廊坊市的燃煤锅炉治理任务要求，自 2013 年以来，廊坊市出台了相关工作方案，推进燃煤锅炉治理。2018 年，廊坊市印发《廊坊市 2018 年燃煤锅炉治理工作实施方

案》，深入推进燃煤锅炉治理工作。

根据《廊坊市 2018 年燃煤锅炉治理工作实施方案》，廊坊市在实施“气代煤”改造前，深入排查、夯实底数。廊坊市全面摸摸查辖区内已淘汰改造和现存燃煤锅炉数量及治理情况，更新完善锅炉信息，以最大化的完成燃煤锅炉淘汰改造任务。在河北省下达任务基础上，多次通过组织各县（市、区）对辖区内现存燃煤锅炉进行拉网式排查，以确保不留死角，无一遗漏。同时制定专项工作方案，建立工作台账，逐台明确治理方式和完成时限，倒排工期，逐台抓好落实，确保按时完成淘汰改造任务。

在实施改造过程中，强化督导，定期调度。一是建立燃煤锅炉周调度制度，每周上报工作进度，并将各县（市、区）进展情况在全市大气污染防治调度会上进行通报。二是不断强化督导检查，加大执法监管，对燃煤锅炉淘汰未按照省要求标准落实到位的，督促其迅速整改；对发现的台账外锅炉，坚决予以取缔；通过驻厂监督、在线监测等方式，加大日常监管，对超标排放的燃煤设施使用单位依法予以处罚。三是将燃煤锅炉治理工作纳入各地大气污染考核体系，对工作任务不落实，治理进度滞后、推动不力的县（市、区）和企业实施预警和约谈，到期未按要求完成任务的，按照有关规定实施问责。

廊坊市注重政策引导，加强宣传。积极争取国家、河北省两级大气污染防治财政奖补资金的支持，统筹安排大气污染治理资金，加大燃煤锅炉治理专项资金支持力度；在全市主要新闻媒体加大燃煤锅炉治理必要性和重要意义的宣传力度，广泛发动社会群众，引导各级各

部门各企业及广大人民群众理解、支持、参与、监督燃煤锅炉治理工作，营造浓厚的舆论氛围，以形成治理燃煤锅炉的全民共治的良好局势。

2013 年以来，廊坊市一是通过取缔关闭、集中供热替代、实施煤改气、煤改电或改其他清洁能源等方式加快推进燃煤锅炉淘汰；二是通过增上脱硫除尘治理设施全面实施大型燃煤锅炉提标改造，确保稳定达标排放；三是通过推进热电联产建设，增加城市供热覆盖面积，并网拆除一些集中供热锅炉。全面完成我市燃煤锅炉治理任务，有效降低污染排放，取得较为理想成果。

（一）燃煤锅炉淘汰改造全部完成。几年来，廊坊市累计淘汰 10 蒸吨及以下燃煤锅炉 9285 台 15185.53 蒸吨；淘汰 10-35 蒸吨/小时燃煤锅炉 33 台 658 蒸吨。其中：2013 年淘汰 446 台 850.26 蒸吨；2014 年淘汰 782 台 1201.06 蒸吨；2015 年淘汰 1869 台 3601.71 蒸吨；2016 年淘汰 2013 台 2505 蒸吨；2017 年淘汰 4175 台 7027.5 蒸吨，截至 2017 年底基本实现了全市域 10 蒸吨及以下燃煤锅炉“清零”。2018 年全市辖区内淘汰 10-35 蒸吨/小时燃煤锅炉 33 台 658 蒸吨，全部完成省定任务。

（二）大型燃煤锅炉提标改造全面实施。按照国家、河北省相关文件要求，自 2015 年以来，廊坊市不断加强大型集中供热锅炉提标改造工作，通过环保标准倒逼，持续推进燃煤锅炉治理和提升。截至 2017 年 9 月底，我市完成省定 35 蒸吨及以上燃煤锅炉提标改造任务，并安装在线监测装置与环保部门联网，确保取暖季期间排放稳定达到

《锅炉大气污染物排放标准》(GB13271-2014)表3特别排放限值要求。

(三)实行热电联产推进锅炉并网拆除。为加大我市集中供热覆盖率,进一步淘汰市主城区燃煤供热锅炉,2016年,廊坊市全力推进市区热电联产工程建设,实现供热800万平方米,替代各类供热锅炉100多台。2017年,在热电联产供热范围内,又新建、改造管网26.22公里,新建、改造换热站174座并全部安装自控系统,增容面积约400万平方米。工程完工后可大幅提高供热质量及稳定性,保证居民室内温度达标,在保障供暖安全的同时,可极大改善空气质量,推进生态文明建设,对于促进经济社会可持续发展具有十分重大的意义。

4. 廊坊市“气代煤”政策环境效益评价

4.1 廊坊市“气代煤”实施效果研究

图 7 廊坊市燃煤锅炉分年限治理情况示意图（单位：台数）



图 8 廊坊市燃煤锅炉分年限治理情况示意图（单位：蒸吨）

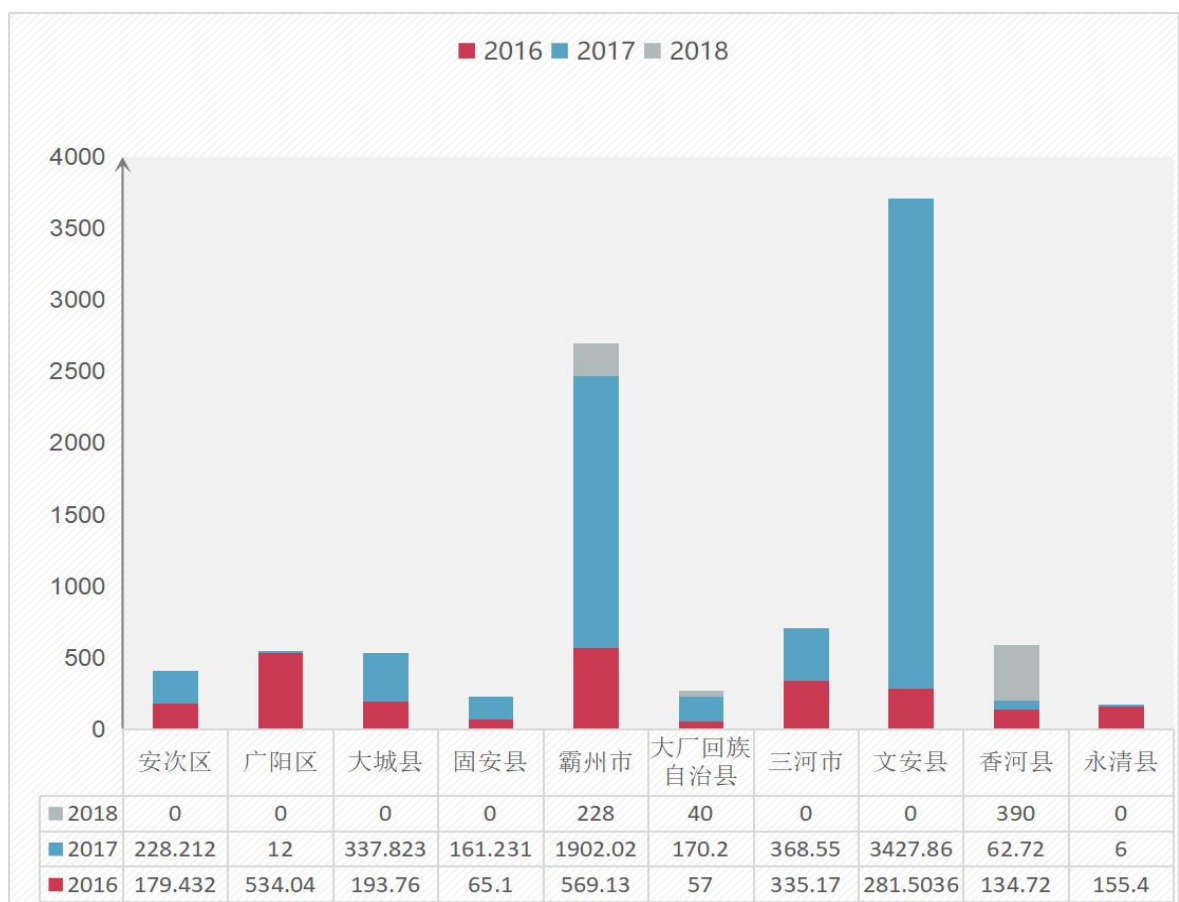


图 9 廊坊市分区县市燃煤锅炉分年限留存情况示意图（单位：台数）

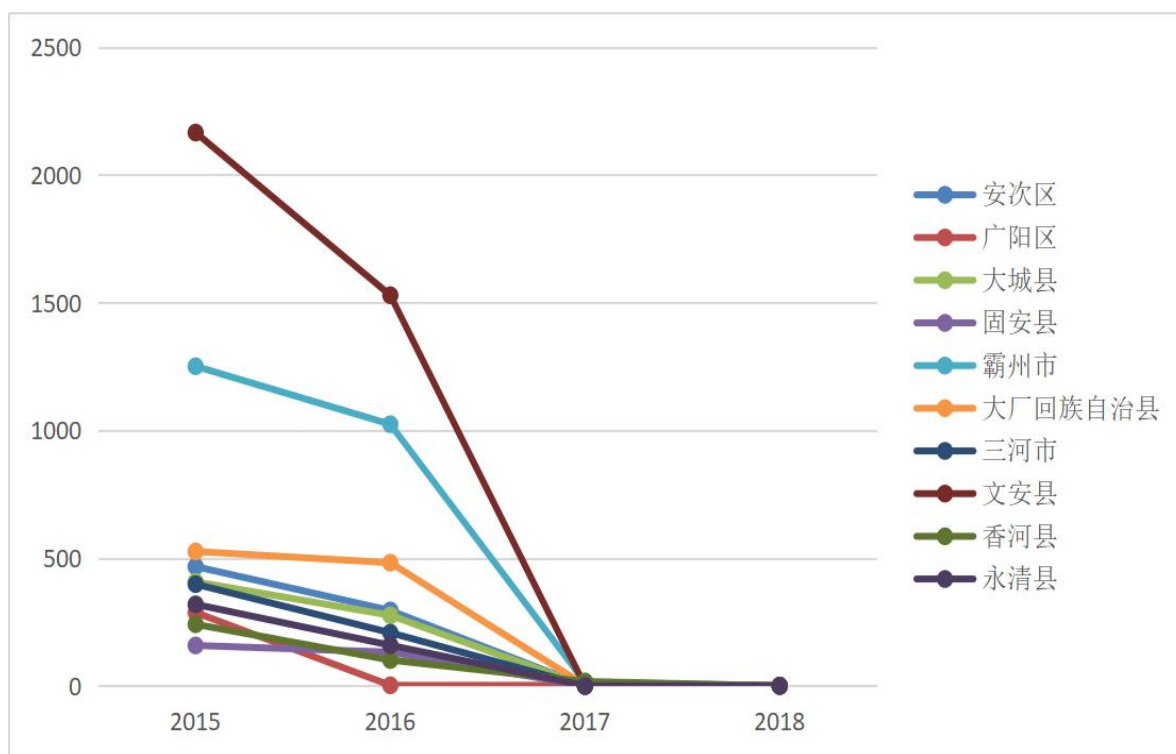
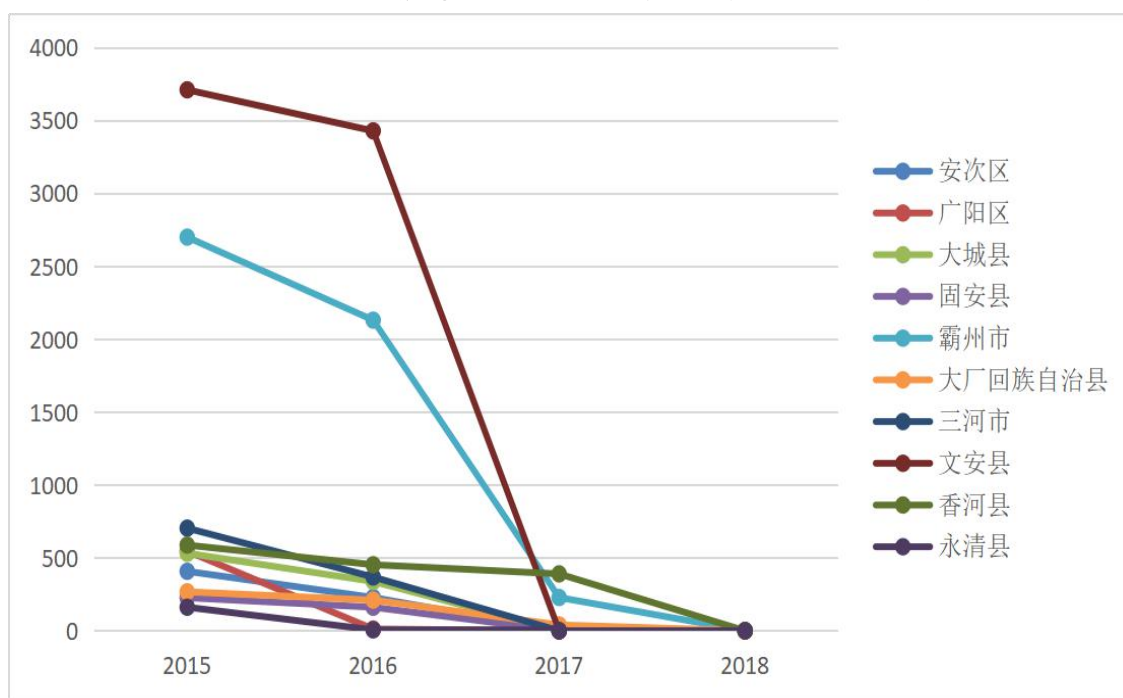


图 10 廊坊市分区县市燃煤锅炉分年限留存情况示意图（单位：蒸吨）



根据国家、河北省的政策要求，廊坊市通过为期三年的集中整治，取得了显著成果，至 2018 年底，全市范围内淘汰所有 35 蒸吨及以下

燃煤锅炉（含 35 蒸吨），“气代煤”工程实施取得显著成果。

4.2 廊坊市“气代煤”实施环境效应研究

表 1 2013 年-2018 年廊坊市空气质量指数统计表

项目 年度	SO ₂ (μg/m ³)	NO ₂ (μg/m ³)	PM ₁₀ (μg/m ³)	PM _{2.5} (μg/m ³)	CO 第 95 百分位浓 度 (mg/m ³)	O ₃ 第 90 百分位浓 度 (μg/m ³)	空气质 量综合 指数	优良天 数	重度污 染天数
2013 年	46	48	184	110	4.4	141	9.72	132	46
2014 年	36	49	159	100	3.6	155	8.86	153	47
2015 年	24	47	137	85	3.4	171	7.89	185	52
2016 年	18	52	112	66	3.5	182	7.11	208	30
2017 年	14	48	102	60	2.0	207	6.61	214	25
2018 年	11	47	97	52	2.0	192	5.04	222	12

(数据来源：廊坊市环境保护局)

图 11 2013-2018 年廊坊市空气质量六大衡量指标变动图

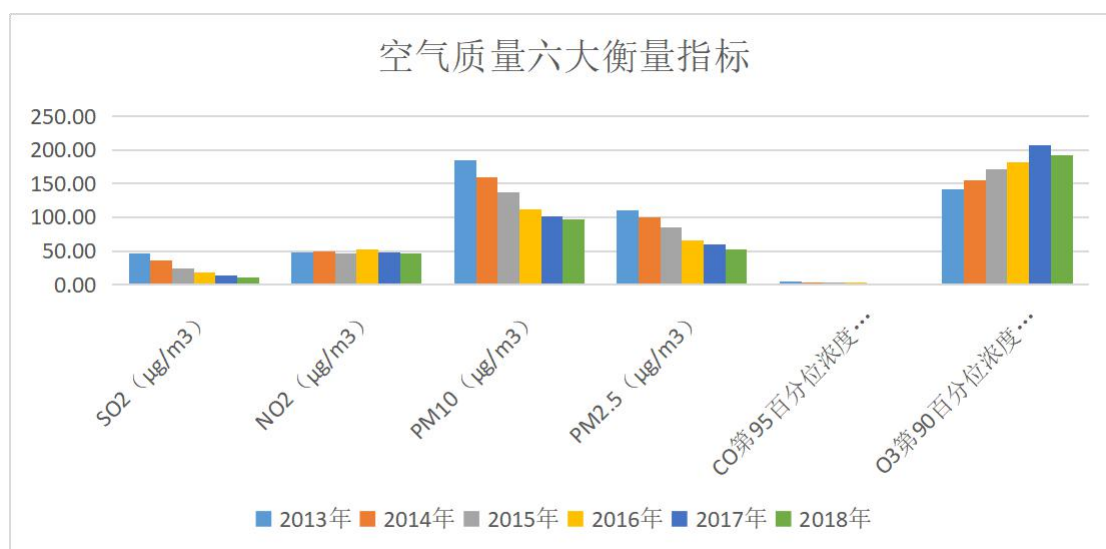
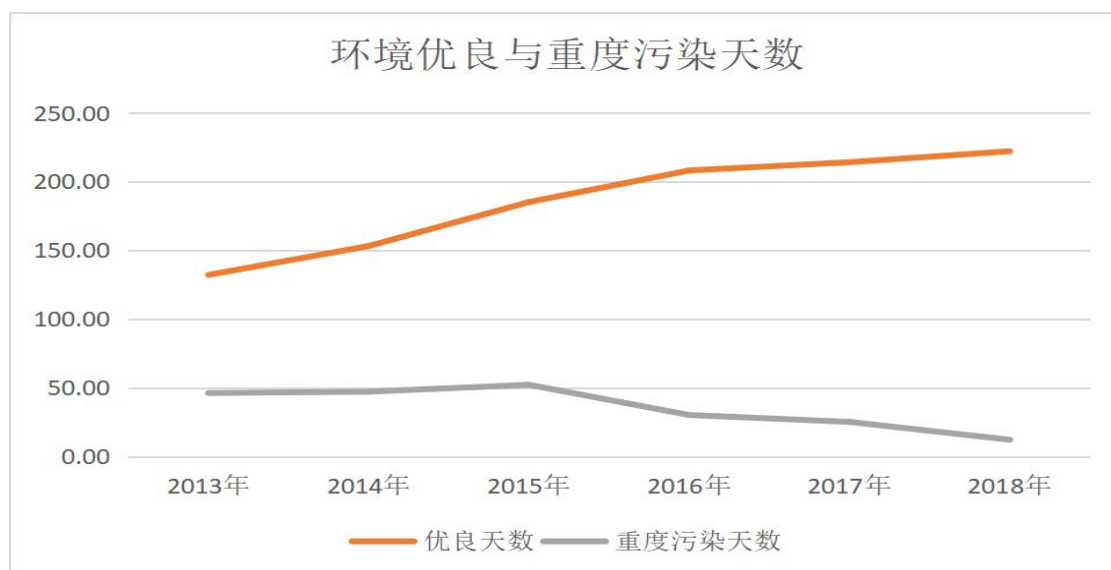


图 12 2013-2018 年廊坊市环境优良与重度污染天数变动图



据相关统计数据可得，2013 年至 2018 年廊坊市空气质量优良天数在不断增加，重污染天数在日益减少；此外，大部分空气质量衡量指标均表现为下降，但臭氧的含量有持续上升。

PM_{2.5} 与空气质量联系密切，实际上 PM_{2.5} 只是环境空气质量评价中的一个指标，因为其为灰霾天气重要成因，所以近些年受到关注。

但臭氧与灰霾相比其外部体现并不明显，但高浓度的臭氧对人体的损害非常大。臭氧是天然大气的重要微量组分，大部分集中分布于地面上方 10 至 20km 的平流层，在对流层中仅占 10%，其阻挡了高能量的紫外辐射到达地球，成为生命系统的保护层。不同于平流层中的臭氧。近地面臭氧的产生于光照、气温等密切相关，它属于二次污染物，是汽车尾气、石油化工等排放的氮氧化物和挥发性有机化合物在高温、强光辐射的作用下，经过一系列复杂的光化学反应而形成的另外，区域传输也是污染形成的原因。通过臭氧的形成机制，可以推断出臭氧污染通常出现在天气晴朗的夏季城市，机动车排出的尾气中同时含有氮氧化物和碳氢化物，是形成臭氧的绝佳条件。

5. 廊坊市“气代煤”政策经济效益评价

5.1 企业角度考察廊坊市“气代煤”政策经济效益评价

5.1.1 企业“气代煤”经济技术效益评价

表 2 燃煤锅炉与燃气锅炉经济效益对比

评价指标	成本				经济效益
	燃料	设备	运输	其他管理费用	盈利能力
燃煤锅炉	150 元/吨	350000/台	50 元/吨	19.5 元/小时	139.5 万元/年
燃气锅炉	2.2 元/立方米	350000/台	无	19.5 元/小时	132.9 万元/年

我们选择了同规格、同技术指标的两种不同供能方式的锅炉用于研究。因燃煤锅炉和燃气锅炉的主要设计区别主要在于供应口，该部分属于辅助性设备，不计入锅炉成本，所以锅炉的实际设备成本近乎相等，其主要区别在于燃料成本。

在经济效益指标评价中，所有数据来源于锅炉公司，二手锅炉交易平台；所有计算数值采用全国平均运输价格及运费，全国标准煤及天然气热值数据。

5.1.2 燃气锅炉经济效益指标计算

在本部分中，均采用小时为单位进行计算和评价。

5.1.2.1 成本计算

燃料成本：1吨天然气燃气锅炉每小时消耗天然气70立方米，如果天然气单价是2.2元，那么，1吨天然气燃气锅炉燃料成本每小时为154元。

电费：烧气锅炉正常使用过程中，用电功率是满负荷功率的0.65倍，那么锅炉的用电功率为 $(0.7\text{kw}+2.2\text{kw}+2\text{kw})\times 0.65=3.7\text{kw}$ ，若电费是1元/度，那么锅炉每小时电费是 $3.7\text{kw}\times 1=3.7$ 元；

水费：1吨燃气锅炉一个小时能使1吨的水变成1吨的蒸汽，中间由于排污和软化水处理等原因，正常使用过程中出1吨蒸汽需要1.1吨的水，水按照3元/吨计算，那么燃气锅炉每小时用水费用是： $1.1\times 3=3.3$ 元；

人工：由于燃气锅炉为自动化非常高的锅炉，不需要多人轮流操

作，一名司炉工即可，若按照每月 3000 元的工资来计算，一天工作 8 小时，锅炉人工成本是每小时 $3000/30/8=12.5$ 元；

固定资产折旧：一般燃气锅炉设计使用寿命为 1 年，假设在一年中锅炉始终以全功率供热，最后固定资产净残值约为 800 元，供暖 8760 小时，每小时成本约为 40 元

5.1.2.2 盈利计算

我国每户家庭燃气供暖费为 0.16 元/千瓦时，锅炉一小时提供的能量为 42MJ，按照一个锅炉可以给一个小区 200 户人家供暖，每小时收益为 372.8 元

5.1.2.3 收益计算

燃气锅炉每小时收益为 $372.8-40-12.5-3.3-3.7-154=159.3$ 元

燃气锅炉年收益： $159.3 \times 8760=139.5$ 万元

5.1.3 燃煤锅炉经济效益指标计算

在本部分中，均采用小时为单位进行计算和评价。

5.1.3.1 成本计算

燃料成本：1 吨燃煤锅炉每小时消耗燃煤 0.1 吨，我国燃煤平均价格 150 元/吨，同时，按照全国平均价格及距离计算，一吨煤的运输成本为 50 元，那么，1 吨燃煤锅炉燃料成本每小时为 200 元，即每小时消耗燃料 20 元。

电费：燃煤锅炉正常使用过程中，用电功率是满负荷功率的 0.65 倍，那么锅炉的用电功率为 $(0.7\text{kw}+2.2\text{kw}+2\text{kw}) \times 0.65=3.7\text{kw}$ ，若电

费是 1 元/度，那么锅炉每小时电费是 $3.7\text{kw}\times 1=3.7$ 元；

水费：1 吨燃煤锅炉一个小时能使 1 吨的水变成 1 吨的蒸汽，中间由于排污和软化水处理等原因，正常使用过程中出 1 吨蒸汽需要 1.1 吨的水，水按照 3 元/吨计算，那么燃气锅炉每小时用水费用是： $1.1\times 3=3.3$ 元；

人工：由于现在燃煤锅炉为自动化非常高的锅炉，不需要多人轮流操作，一名司炉工即可，若按照每月 3000 元的工资来计算，一天工作 8 小时，锅炉人工成本是每小时 $3000/30/8=12.5$ 元；

固定资产折旧：一般燃气锅炉设计使用寿命为 1 年，假设在一年中锅炉始终以全功率供热，最后固定资产净残值约为 800 元，供暖 8760 小时，每小时成本约为 40 元

5.1.3.2 盈利计算

我国每户家庭燃气供暖费为 0.16 元/千瓦时，锅炉一小时提供的能量为 42MJ，按照一个锅炉可以给一个小区 200 户人家供暖，每小时收益为 372.8 元

5.1.2.3 盈利计算

燃气锅炉每小时收益为 $372.8-40-12.5-3.3-3.7-154=151.7$ 元

燃气锅炉年收益： $151.7\times 8760=132.9$ 万元

5.2 社会角度考察廊坊市“气代煤”政策经济效益评价

我们分别用 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降成本和 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度带来健康经济损失为指标来对“煤改气”工程带来的环境效益进行经济评估。

5.2.1 以 $PM_{2.5}$ 浓度下降成本为指标进行评估

陕西师范大学国际商学院裴辉儒等人^[11]借助气候经济动态综合模型 (DICE-2013R), 综合分析廊坊市 $PM_{2.5}$ 社会成本有关的福利目标、经济变量和地球物理等模型, 估算廊坊市 $PM_{2.5}$ 的社会成本。研究结果发现: 廊坊市为治理 $PM_{2.5}$ 所支付的各类成本为 0.62 亿元/ ($\mu g/m^3$)。通过对裴辉儒等人文献的研究, 我们认为其研究方法和选取的样本合适, 故采用其研究结果。

据此我们可以计算出, 廊坊市 2014-2018 年每年的经济效益值。

表 3 廊坊市 $PM_{2.5}$ 浓度下降成本经济效益评估

年份	与去年相比 $PM_{2.5}$ 浓度下降值 ($\mu g/m^3$)	经济效益 (亿元)
2014	10	6.20
2015	15	9.30
2016	19	11.78
2017	6	3.72
2018	8	4.96

5.2.2 以 $PM_{2.5}$ 浓度带来健康经济损失为指标进行评估

中国环境科学研究院傅尧等人^[12]根据世界卫生组织推荐的环境疾病损失计算方法, 通过运用泊松回归模型评价廊坊市大气污染对人群的健康影响, 得出 $PM_{2.5}$ 浓度带来的健康经济损失为 0.56 亿元/ ($\mu g/m^3$)。

据此我们可以计算出, 廊坊市 2014-2018 年每年的经济效益值。

表 4 廊坊市 PM_{2.5} 浓度导致健康经济损失经济效益评估

年份	与去年相比 PM _{2.5} 浓度下降值 (μg/m ³)	经济效益 (亿元)
2014	10	5.60
2015	15	8.40
2016	19	10.64
2017	6	3.36
2018	8	4.48

6. 总结与展望

根据对廊坊市“气代煤”工程的环境经济效益评价可得出结论，廊坊市通过对小功率分散型燃煤锅炉的淘汰和治理，取得了显著的成效，截止 2018 年底全市范围内所有 35 蒸吨及以下燃煤锅炉均已淘汰完毕，环境质量明显改善，环境质量改善带来的社会健康经济效益显著。再者通过“气代煤”政策的实施，廊坊市淘汰了落后的产能，实现了能源消费结构的升级，能源消费更加清洁化，从长远来看，企业经济效益也将有较大提高，廊坊市经济发展可持续化程度日益增加。

由于廊坊市“气代煤”政策的实施在全国范围内具有较高的普遍性，所以其经验可以供其他地区借鉴和推广。通过选取对燃煤锅炉实施的“气代煤”政策研究发现，“气代煤”的实施在短期内造成较高的费用，但长期来看有利于企业可持续发展和地区经济发展转型升级。“气代煤”的实施必将带来环境质量的明显改善。所以，无论从企业与地区经济发展还是环境质量改善与社会健康提高方面考虑，“气代煤”工程的经济价值是显著的，这一结论在全国范围内具有普适性。所以，我们认为随着“气代煤”工程的日益深入和广泛，我国的环境质量会有显著改善，这也将取得显著的环境经济效益。

参考文献

- [1] 陈超. 锅炉煤改气工程项目进度管理研究[D].
- [2] 欧春华, 李蜀庆, 张军, 等. 重庆市煤改气及其环境效益分析[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2004, 27(11):100-104. DOI:10.3969/j.issn.1000-582X. 2004. 11. 027.
- [3] 白明强, 刘秋新, 陶小龙, et al. 锅炉煤改气工程节能与减排的若干问题研究[C]// 湖北省暖通空调制冷及热能动力学术年会. 2009.
- [4] 汤燕刚, 黄迪华, 郭华斌, et al. 温州“煤改气”工程价格补贴可行性及相关政策研究[J]. 城市燃气, 2014(6).
- [5] 何颖, 王志远. 杭州主城区集中供热煤改气改造工程不同方案节能、减排效果宏观评估[J]. 区域供热, 2008(1):34-37.
- [6] 赵丽莉, 魏疆, 陈学刚, et al. 乌鲁木齐市“煤改气”对SO₂浓度空间变化的影响[J]. 干旱区地理, 2014, 37(4).
- [7] 梅琦, 杨蕾, 杨蓓, et al. 云南省工业领域“煤改气”发展环境及对策研究[J]. 天然气技术与经济, 2018, v. 12; No. 68(02):72-76+90.
- [8] 侯飞飞, 侯宗斌. 太原市实施“煤改气”的影响与效果[J]. 经营与管理, 2018, 411(09):136-139.
- [9] 孟亚东, 孙洪磊. 京津冀地区“煤改气”发展探讨[J]. 国际石油经济, 2014, 22(11):84-90.
- [10] 关欣, 聂海亮, 宋立丽. 北京煤改气问题分析[J]. 区域供热, 2015(6):22-25.
- [11] 裴辉儒. PM_{2.5}污染的社会成本——基于74城市动态气候经济综合模型分析[J]. 统计与信息论坛, 2017, 32(07):81-87.
- [12] 傅尧, 王琛, 王乐, 唐祎骅, 李晓星, 狄雅肖. 河北省PM_{2.5}污染变化特征及暴露人群健康效应评估研究[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(12):187-190.