

“大气十条”政策的实施对空气质量的影响

罗 知, 李浩然

[摘要] 为改善中国的空气污染状况,特别是减少北方地区供暖季节的雾霾天气,国务院于2013年提出了治理空气污染问题的“大气十条”政策。本文利用258个地级市的数据,对“大气十条”政策的实施是否有助于减轻北方地区冬季供暖对其空气污染的影响进行了研究。结果显示:在控制了地区层面因素、秸秆燃烧点、其他能源使用量、各种气象条件、节假日因素以及各种固定效应后,冬季供暖确实显著加重了北方地区的空气污染。相对于南方地区,实施“大气十条”政策显著减轻了北方地区冬季空气污染程度,但是这一作用仅在供暖季节显现,这说明“大气十条”政策主要是通过与供暖相关的机制改善了北方地区冬季的空气质量。本文进一步设置“煤改气”指标,发现“煤改气”虽然可以改善北方地区冬季空气质量,但是通过测算可知其使用成本远远高于燃煤供热。更进一步地,本文将发电用煤作为清洁用煤的代理变量,发现清洁用煤的增加并不会导致空气质量的恶化。因此,如果用先进燃煤锅炉集中供热,减少散煤和燃煤小锅炉,将有效改善北方地区冬季空气质量,而且更加符合中国“富煤、少油、缺气”的现实资源禀赋状况,长期看有利于国家能源安全。

[关键词] “大气十条”; 空气质量; “煤改气”; 雾霾; 集中供热

[中图分类号]F124 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2018)09-0136-19

一、引言

中国经济快速增长过程中伴随的空气污染问题引起了越来越多的关注,政府在治理空气污染上的决心也是空前坚定。早在2013年9月10日,国务院就发布了《关于印发大气污染防治行动计划的通知》(以下简称“大气十条”政策),出台了大气污染防治十项措施。为贯彻落实国务院“大气十条”政策的任务要求,各地政府相继出台了地区的大气污染防治行动计划。本文试图从冬季供暖这一视角出发,研究“大气十条”政策的颁布和实施是否改善了北方地区冬季的空气质量,从而达到治理空气污染的效果。

[收稿日期] 2018-05-02

[基金项目] 国家社会科学基金重大项目“供给侧结构性改革与发展新动力研究”(批准号16ZDA006);国家自然科学基金面上项目“对中国引进外资的质量和绩效的再审视——基于‘问题’外资企业识别的测度和评估”(批准号71773084);国家自然科学基金面上项目“要素偏向型技术进步对中国收入分配的多维影响:基于DSGE模型的理论分析和数量测度”(批准号71373186)。

[作者简介] 罗知,武汉大学经济发展研究中心副主任,经济管理学院副教授,经济学博士;李浩然,武汉大学经济与管理学院硕士研究生。通讯作者:罗知,电子邮箱:luozhi@whu.edu.cn。感谢匿名审稿专家和编辑部提出的宝贵意见,当然文责自负。

有关北方地区冬季供暖对其空气污染的影响,Chen et al.(2013a)和Ebenstein et al.(2017)利用断点回归和中国淮河流域的年度数据进行了详实的研究,发现供暖会导致北方地区的总悬浮颗粒物和 PM_{10} 显著上升。陈强等(2017)、Liang et al.(2015)和李金珂和曹静(2017)也利用不同层面的数据和方法进一步验证了他们的发现。还有一些学者研究过外生冲击和政策对空气污染的影响。Chen et al.(2013b)、He et al.(2016)、曹静等(2014)研究了2007—2008年间的限排措施对空气质量的影响。Chen et al.(2013b)和He et al.(2016)都发现2008年北京奥运会期间的治污措施较好地提升了北京的空气质量,但曹静等(2014)发现北京的尾号限行对空气质量的影响并不显著。席鹏辉和梁若冰(2015a、2015b、2015c),以及梁若冰和席鹏辉(2016)还将空气污染问题与油价变动、地方环保投入、移民、轨道交通等经济现象相联系,做出了细致的实证分析。

本文则是从大规模治理污染政策的角度,分析政策冲击对于空气污染的影响。与前人的研究不同,本文的研究重点是“大气十条”政策是否有助于减少冬季供暖对于空气污染的影响,如有则效果是否明显。为此,本文搜集了258个地级市2013年1月1日至2015年12月31日的日度空气质量数据和“大气十条”政策实施数据,结合双重差分方法进行分析,结果发现:①北方地区供暖确实会导致其冬季空气污染程度相对于南方地区明显上升;②“大气十条”政策的实施显著缓解了北方城市供暖期的空气污染,几乎可以使得供暖带来的负面影响消除50%以上;③“大气十条”政策中的“煤改气”政策对消除空气污染的影响是显著的,但是通过测算可知燃气供热的使用成本远远高于燃煤供热;④如果可以集中且清洁使用燃煤,那么燃煤数量即使增加也不会使得空气质量恶化。因此,如果将散煤和小燃煤锅炉的取暖模式转变为集中清洁燃煤,也可以有效减少供暖期的空气污染。本文的政策含义是非常清晰的。中国作为一个“富煤、缺油、少气”的国家,在北方地区推广使用“煤改气”供暖,虽然可以有效改善空气污染,但是成本较高,据本文估计,居民使用天然气取暖的成本至少是使用煤炭的2.6倍。然而,集中清洁燃煤供暖模式不仅可以达到环保的效果,同时更加经济,符合中国资源禀赋的特点。

本文在数据上的主要创新点在于:①利用258个地级市的日度数据,结合双重差分方法,研究了“大气十条”政策是否可以缓解冬季供暖对空气污染的负面影响。②由于中国幅员辽阔,即使在供暖地区,供暖时间也有很大差异。本文详尽搜集了各个地级市的供暖起止时间,而非文献中常见的以每年11月15至次年3月15作为采暖季,减少了回归中的度量误差问题。③除了控制各种气象条件、节假日因素、各种固定效应以及固定效应的交互项之外,还搜集并控制了秸秆燃烧点数据。秸秆燃烧的时间与冬季供暖时间基本一致,同时也是导致空气污染的重要因素。因此,遗漏该变量将导致严重的内生性问题。④本文做了大量的稳健性检验和安慰剂检验。除了采用258个地级市样本,本文还将样本控制在华北、华东和华中地区,以及将样本控制在淮河流域,得到的结果都十分稳健。本文余下的结构安排如下:第二部分为理论假说;第三部分为模型和数据;第四部分为回归结果;第五部分为机制讨论;第六部分为结论。

二、理论假说

仅仅从空气质量的统计数据直观看,取暖季节的煤炭燃烧对北方空气污染的影响非常明显。生态环境部公布的城市空气质量状况月报显示,2017年1月京津冀区域13个城市平均空气质量超标天数比重为63.8%;而全国包括京津冀在内的直辖市、省会城市、计划单列市和重点地区共74个城市的平均空气质量超标天数比例为37.7%。到了2017年8月,京津冀区域13个城市平均空气质量优良天数比重上升到67.5%,74个重点城市的优良天气比重为82.5%。显而易见,京津冀地区与

其他城市之间空气质量的差距在夏季明显缩小。可见,冬季是南北空气质量差异较大的时间段。同时,生态环境部公布的城市空气质量状况月报也显示,冬季各地区的首要污染物均是PM_{2.5},而冬季燃煤一直都是PM_{2.5}的主要空气污染源。根据北京市环境保护局和天津市环境保护局2014年发布的PM_{2.5}来源解析研究成果显示,燃煤对北京地区污染的贡献为22.4%,对天津地区污染贡献为20.0%。

一些学者也试图利用各种数据和方法严谨地评估冬季燃煤供暖对空气质量的影响。Almond et al.(2009)首次运用秦岭—淮河一线作为地理断点对1982—1993年中国76个城市的日均TSP、SO₂和NO_x浓度进行分析,估计中国北方地区冬季供暖政策对空气质量的影响,结果显示,相比于南方城市,供暖导致北方城市的空气污染程度显著增加,其TSP浓度较南方高出300mg/m³。Chen et al.(2013a)和Ebenstein et al.(2017)也利用断点回归方法,结合不同年度的中国数据研究了供暖政策对空气污染的影响,并得到了相似的结论。还有学者采用日度数据研究了供暖政策对空气污染的影响。陈强等(2017)使用华北39个城市2013年10月1日至2014年5月31日的面板数据,结合动态面板估计冬季供暖对空气质量的影响,发现冬季供暖使空气污染加剧了约20%。Liang et al.(2015)利用5个城市供暖开始或结束前后2周的数据,发现集中供暖使得PM_{2.5}浓度增加31%—183%。李金珂和曹静(2017)则利用全国范围的数据,将所有供暖城市集中供暖开始或结束的那一周作为基准,采用断点回归的方法估计集中供暖对中国空气污染的影响。为此,本文提出:

理论假说1:冬季供暖使得北方地区空气质量相对于南方地区显著恶化。

事实上,中央政府早在2013年9月10日就出台了大气污染防治十项措施,旨在改善空气质量。针对污染较为严重的京津冀及周边地区,国家环境保护部、国家发展和改革委员会等6部门在2013年9月17日联合发布《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》,其中重点任务的第一条就是“全面淘汰燃煤小锅炉,加快热力和燃气管网建设,通过集中供热和清洁能源替代,加快淘汰供暖和工业燃煤小锅炉”。2017年多部门和多地政府在2月17日联合下发《京津冀及周边地区2017年大气污染防治工作方案》,要求将“2+26”城市列为北方地区冬季清洁取暖规划首批实施范围,10月底前“禁煤区”完成小燃煤锅炉“清零”工作,全部“2+26”城市完成以气代煤、以电代煤。

政府之所以要将清理燃煤小锅炉、以气代煤、以电代煤作为大气污染防治的首要目标,是与中国的供暖现状紧密联系的。集中供暖以煤炭及其制物作为主要热源,煤炭在供热能源消耗结构中占98%,大部分地区冬季供暖仍以分散式火炉为主,散煤供暖占住宅供暖规模的3/4以上。由于集中供暖设施与住宅紧密相连,因此在供热区的大部分中小城镇的老式社区、住宅和乡村中,煤炉等传统采暖方式仍占据很大的比重。然而,天然气则是一种较为清洁的能源。根据天然气和煤炭的理论转换值以及不同行业的热效率,可以计算出天然气燃烧污染物排放量占煤炭燃烧排放比例的情况。计算结果显示,天然气在工业燃料中排放的二氧化硫、氮氧化物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(孟亚东和孙洪磊,2014)。因此,理论上,供热站实行燃煤锅炉“煤改气”后能够显著减少原煤消耗,主要大气污染物排放浓度明显下降,特别是二氧化硫及烟尘的大幅度减少,对改善当地空气质量起到积极作用。为此,本文提出:

理论假说2:“大气十条”特别是“煤改气”的有效实施将显著改善北方冬季供暖地区的空气质量。

一些专家指出,治理北方地区供暖季节空气污染的重点实际上应该是改造农村和城乡结合部的散煤使用方式。2017年11月,清华大学环境学院、国务院发展研究中心发布了《2017年中国散煤

治理调查报告》,指出在河北、山西、天津、山东等农村及城郊区域,散煤取暖普遍存在,全国散煤的消费量达到了近8亿吨。散煤是指除了电力及工业的集中用煤之外的煤炭。在散煤利用中,民用散煤、工业小锅炉、工业小窑炉各占1/3,采暖中的散煤占到民用散煤的大部分,每年耗费2.2亿吨,基本上是在农村地区和城乡接合部。散煤主要是灰分、硫分含量高的劣质煤,在燃烧过程中往往没有脱硝、脱硫、除尘处理,采取直接燃烧、直接排放,点多面广。在京津冀地区,每年取暖季散煤的使用量能够达到4000万吨,占这些地区煤炭使用总量的10%左右,但对该区域的污染物贡献量能够达到50%。在京津冀地区,90%以上的散煤是用于冬季采暖,其燃烧过程中对大气PM_{2.5}的贡献量每年达到了9.2微克/立方米。在这个意义上,民用采暖清洁化是减轻大气污染的重要途径。

虽然“煤改气”取暖能够改善空气质量,但是其经济成本则相当高昂。王善才(2018)指出“煤改气”取暖的成本是散煤成本的2—3倍,在改造的过程中不仅仅是取暖设施及燃烧设备的改造与淘汰,还包括电网建设、燃气管道铺设等成本在内。根据刘应红(2017)估算的结果,燃气采暖费会占到城镇低收入居民家庭可支配收入的7.7%,农村低收入家庭可支配收入的32.4%。如果按照通州区2015年的补贴力度在北京农村地区推行“煤改气”,第一年需要向北京市农村居民补贴购置费和燃气费77.8亿元,以后每年补贴燃气费25.5亿元。可见,无论是由消费者承担或者由政府财政负担,“煤改气”都需要支出一笔不小的成本。

江亿等(2014)通过比较北京市燃气热电联产供热和燃煤热电联产供热两种方式排放的氮氧化物量,发现热电联产“煤改气”措施并没有显著降低氮氧化物的排放量,反而会大幅增加天然气用量。高峰(2014)指出,上海外高桥第三发电厂通过实施零能耗脱硫技术、全天候脱硝系列技术以及其他创新技术,污染物排放可降低90%,大大优于中国燃气轮机发电机组的排放标准。刘虹(2015)也指出,以现有先进的燃烧技术水平,单位供热量的燃气与燃煤两种技术所排放的氮氧化物量已经相差无几。然而,燃气热电联产与燃煤热电联产相比较,燃气的电多热少,所以在提供相同热量的条件下,燃气热电联产需要消耗更多的燃料热值,造成燃气热电联产比燃煤热电联产排放出更多的氮氧化物。

“煤改气”不仅成本高昂,而且根据热力专家的研究结果,先进的燃煤热电联产技术并不会比使用天然气带来更多的空气污染。事实上,“煤改气”之所以可以减轻空气污染,有两方面的原因:一是排污大的散煤使用量下降;二是比较洁净的天然气替代了煤炭。两个机制中作用更大的其实是第一个,这是因为即使天然气属于清洁能源,但仍然有污染物的排放。因此,即使不使用天然气,而是采用其他替代能源,只要能减少排放污染物多的煤炭使用量,就能减轻空气污染程度。前文中也提到了,散煤的使用是导致北方空气污染的重要原因,且散煤的能效很低,而大型燃煤热电联产的污染物排放量几乎与使用天然气相同。如果能够利用清洁燃煤技术和集中供暖,那么一方面将通过提高效率的方法直接减少散煤的使用量;另一方面还会通过供热厂的脱硝、脱硫、除尘处理技术减少污染物的排放,这两个机制都将改善北方冬季的空气质量,而这也更符合中国的能源结构。中国是典型的“富煤、缺油、少气”的国家,国内生产的天然气不足以满足消费需求,天然气需求的大量增加导致一些地区无法供暖或者供暖温度不足,天然气价格也大幅上涨,2017年各地的“煤改气”热潮引发了“气荒”的出现就是一个典型的案例。生意社数据^①显示,2017年12月25日液化天然气参考价攀上8477.78元/吨的去年纪录高位,与2017年12月1日的6558.33元/吨相比上涨了29.27%,这进一步增加了用气成本。而中国的煤炭供应则十分充足,是世界煤炭储量第三的国家,煤炭价格合理,供热成本低廉,同时也不依赖于外国进口,完全可以自给自足。为此,本文提出:

① 资料来源:陈其珏. LNG价格一周跌逾33%，“气荒”吹大的价格泡沫破了[N]. 上海证券报,2018-01-04.

理论假说 3:采用清洁燃煤技术和集中供暖可有效控制空气污染,而且成本较低,更为经济。

三、模型和数据

1. 回归模型

本文试图利用双重差分方法,采用各种控制变量和固定效应控制住不同地区的差异。具体回归模型设计如下:

(1)供暖与空气质量:双重差分模型。首先,文中利用双重差分模型检验供暖对空气质量带来的影响。文中将供暖城市作为处理组,非供暖城市作为对照组进行双重差分。基准的双重差分模型的设定如下:

$$AQI_{it} = \alpha + \gamma Heat_{it} + \phi X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 代表城市, t 代表时间, AQI_{it} 为空气质量。 $Heat_{it}$ 为城市 i 在时间 t 是否集中供暖的虚拟变量,参数 γ 为集中供热对空气质量的影响。 X_{it} 为控制变量, μ_i 为地区固定效应, η_t 为日度的时间固定效应。

(2)“大气十条”政策的影响。随着“大气十条”政策的公布,一些城市实施了各种大气污染防治措施,然而不同城市的政策实施时间是不同的。基于此,本文在双重差分设定中引入是否实施了“大气十条”政策的差异,检验供暖城市实施了“大气十条”政策之后是否达到了政府改善空气质量的目的。因此,新模型的设定如下:

$$AQI_{it} = \alpha + \theta Heat_{it} \cdot Airten_{it} + \beta \cdot Airten_{it} + \gamma Heat_{it} + \phi X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, $Airten_{it}$ 为各城市颁布“大气十条”政策后的虚拟变量,即城市 i 在时间 t 之后颁布了“大气十条”政策则为 1,否则取 0,以此度量该城市是否实施了“大气十条”政策。本文最关心的核心系数为方程中的 θ ,即实施“大气十条”政策后,供暖城市的供暖期“超额污染”是否得到缓解。下文中还将设置一个衡量“煤改气”的指标 mgq ,用来替换方程(2)中的 $Airten$ 指标,进一步验证“大气十条”政策中“煤改气”的作用机制。

(3)清洁燃煤的作用。为了检验理论假说 3,即采用清洁燃煤也能够有效控制空气污染,下文将试图找到清洁燃煤的代理指标 $cleancoal$,并对方程(3)进行回归:

$$AQI_{it} = \alpha + \phi Heat_{it} \cdot cleancoal_{it} + \beta \cdot cleancoal_{it} + \gamma Heat_{it} + \phi X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, $cleancoal_{it}$ 代表城市 i 第 t 年新增清洁用煤数量。方程(3)中的核心系数是方程中的 ϕ ,当 ϕ 为正值且显著时,则说明即使采用清洁燃煤方式仍然会导致北方地区在供暖期的空气质量不断恶化,反之则说明清洁燃煤即便增加,也不会进一步恶化空气质量。

2. 空气质量指标

本文所使用的空气质量标准为空气质量指数(Air Quality Index,以下简称AQI),AQI是定量描述空气质量状况的无量纲指数,其重点是评估污染空气对健康的影响。环境保护部数据中心发布了2014年1月1日以来的重点观测城市AQI日度历史数据。然而,在2014年之前,中国只公布了空气污染指数(Air Pollution Index,以下简称API)。API衡量空气污染程度的污染物仅为 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 三项,AQI中新增了 $PM_{2.5}$ 、 CO 和 O_3 三项,其中 $PM_{2.5}$ 是雾霾天气的主要成因,因此AQI是更好的空气质量标准。本文利用环境保护部公布的2013年884个国控监测点的环境空气质量监测数据,并根据《环境空气质量指数(AQI)技术规定》和《环境空气质量评价技术规范(试行)》中的计算公式计算得到2014年之前的AQI数据。

3. “大气十条”指标

本文搜集了《大气污染防治行动计划》颁布后各省市转载并制定市级大气污染防治方案的时间,并根据该事件设定了“大气十条”政策 $Airten_{it}$ 虚拟变量。当地级市 i 在时间 t 公布了地方“大气十条”政策则取值为 1,反之取值为 0。

4. 北方冬季供暖指标

虽然中央政府基本依据秦岭和淮河为界划定了北方集中供暖区域,大部分地区每年 11 月 15 日开始供暖,次年 3 月 15 日停止供暖,但实际上各个地区的供暖时间存在较大的差异。北方各省份根据当地气候的差异调整了实际供暖时间,如黑龙江省实际供暖日期超过 150 天。因此,本文根据城市热力公司和官方媒体报道尽可能地搜集了各城市实际供暖日与停暖日数据,用各地区供暖起止日期来定义 $heat_{it}$ 虚拟变量,时间 t 时城市 i 在供暖期内该变量取 1,反之取 0。

5. 控制变量

(1)气象情况。由于城市空气污染状况受到气象情况的直接影响,因此回归中控制了城市级别的日度气象情况,数据来源为 ip138 查询网。文中使用的气象数据包括日最高温度、日最低温度、天气类型、风速等级和风向。最高温度和最低温度数据直接用温度值表示。天气类型、风速等级和风向数据则为一系列虚拟变量组成的变量集合。

(2)秸秆焚烧点。值得指出的是,此前的研究中都没有考虑秸秆焚烧对回归结果的干扰。秸秆焚烧一般发生在冬天和初春,正好与供暖时间同步,同时也是雾霾天气产生的重要原因,各地都出台过相应措施来禁止秸秆焚烧,以减少对空气污染的影响。因此,如果遗漏了秸秆焚烧这一重要变量,很可能导致严重的内生性。为此,本文从环境保护部发布的气象卫星秸秆焚烧火点监测日报中搜集了 2013 年 6 月 25 日至今的秸秆焚烧火点数据。秸秆焚烧火点监测日报报告了通过卫星遥感监测到的各市辖区内秸秆火点数目,由于秸秆焚烧产生的烟雾极具扩散性,因此本研究用城市日火点数据在省级层面加总,作为秸秆焚烧的控制变量。

(3)地区层面指标。地区经济发展水平同地区污染状况存在一定的相关关系,与地区能源消费水平也存在相关性,若不对地区经济发展水平加以控制,也会产生内生性。因此,本文还加入了地级市级别的地区生产总值、地区生产总值的增加值和第二产业比重作为控制变量,数据来源为 2013—2016 年的《中国城市统计年鉴》。

(4)其他能源使用量。文中还控制了其他途径的煤炭和天然气使用量,包括火电煤炭使用量、煤炭使用总量、天然气使用总量和热电联产热能。加入这些变量一方面可以控制其他能源使用对空气污染的影响,另一方面还可以剔除地区去产能的影响。中国的过剩产能多集中在高能耗、高污染的行业,例如水泥、钢铁、电解铝等。然而,目前并没有数据可以很好地度量各个地区究竟关闭了多少过剩产能,但是去产能必然与能耗消耗量相关。因此,控制住其他来源的能源消费量,也可以在一定程度上控制住去产能对空气污染的影响。

(5)固定效应。为了尽可能减少由于遗漏的个体或时间效应带来的内生性问题,回归中控制了诸多固定效应及交互项,包括:天气类型固定效应、风速固定效应、风向固定效应、城市固定效应、日度固定效应、星期固定效应(周一到周日 7 个虚拟变量)、月度固定效应、年份固定效应、年份和城市固定效应的交互项、月度和城市固定效应的交互项,用来控制节假日、季节效应、地理特征和年份特征等变量产生的影响,并将回归标准误在城市年度层面聚类。^①

^① 由于文章篇幅有限,这里没有报告变量的统计性描述,感兴趣的读者,可登陆《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)公开附件中查阅。

四、实证研究

1. 双重差分回归结果

双重差分方程(1)的回归结果见表1。列(1)是利用258个地级市样本的回归结果,回归中控制了秸秆燃烧火点数、日最高气温、日最低气温、地区生产总值、地区生产总值的增加值、第二产业比重、火电煤炭使用量、煤炭使用总量、天然气使用总量、热电联产热能、天气类型、风速、风向、城市固定效应、日度固定效应、星期固定效应、月度固定效应、年份固定效应、年份和城市固定效应的交互项、月度和城市固定效应的交互项。回归结果显示,北方冬季供暖使得空气质量明显下降,AQI上升15.9203。

由于地理因素对空气污染和能源消费结构均会产生较大影响,因此列(2)进一步将样本限定在华北、华中和华东地区,包括山东、江苏、安徽、浙江、福建、上海、湖北、湖南、河南、江西、北京、天津、河北、山西和内蒙古15个省份。华北、华中和华东地区的地理气候条件和空间距离较为接近,所得的结果更具有说服力。回归结果仍然显示供暖显著增加了AQI数值。考虑到此前文献在使用断点回归方法时均利用淮河周边的样本,因此,本文将样本限制到淮河流域4省份,重复之前的回归得到列(3)的回归结果,仍然稳健。

表1 双重差分回归结果

	(1) 全样本	(2) 华北、华中、华东地区	(3) 淮河流域
<i>Heat</i>	15.9203*** (2.0272)	12.5171*** (2.4960)	8.3849** (3.6233)
观测值数	147023	92571	31602
R-squared	0.4564	0.4738	0.4295

注:利用Stata软件计算而得。*、**、***分别表示变量在10%、5%、1%的显著性水平上显著。控制变量包括秸秆燃烧火点数、日最高气温、日最低气温、地区生产总值、地区生产总值的增加值、第二产业比重、火电煤炭使用量、煤炭使用总量、天然气使用总量、热电联产热能。回归中控制的固定效应包括天气类型、风速、风向、城市固定效应、日度固定效应、星期固定效应、月度固定效应、年份固定效应、年份和城市固定效应的交互项、月度和城市固定效应的交互项。未报告的控制变量的回归结果,详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)公开附件。下表同。

2. 平行趋势检验

考虑到之后的分析均建立在双重差分方程(1)的基础之上,因此,检验实验组和控制组的平行趋势十分必要。本文首先检验供热前后15天的空气质量变化趋势,回归方程为:

$$AQI_{it} = \alpha + \sum_{l=1}^{15} F_l Heat_{i,t+l} + \sum_{l=0}^{15} L_l Heat_{i,t-l} + \phi X_{it} + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, $Heat_{i,t-1}$ 为虚拟变量,当城市*i*在时间*t-1*集中供暖时取1,否则取0。 F_1 到 F_{15} 代表供暖前15天的回归系数, L_0 到 L_{15} 为供暖当天到供暖15天之后的回归系数,回归结果见表2。^①

表2列(1)为全样本回归结果,列(2)为华北、华中和华东地区回归结果,列(3)为淮河流域回归结果。全样本和华北、华中、华东地区的回归结果显示,在供暖前6天,这些地区的AQI就开始出现了明显的增高,但是供暖前7天之前系数符号有正有负,并没有明显规律,供暖开始之后系数几乎

① 考虑到文章篇幅有限,回归表格中并没有报告 L_0 到 L_{15} 的回归结果(L_0 到 L_{15} 的系数基本为正值且显著)。感兴趣的读者,可登陆《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)公开附件中查阅。

表 2 供暖前 15 天的平行趋势检验

	(1) 全样本	(2) 华北、华中、华东地区	(3) 淮河流域
F1	14.5725*** (4.2069)	16.9832*** (4.9379)	21.2277* (12.7265)
F2	11.9406*** (4.1280)	18.1016*** (4.4092)	28.3790*** (10.5845)
F3	9.2366* (4.9926)	8.4276* (4.7111)	18.2093* (9.5106)
F4	7.6852** (3.8549)	8.4434** (4.2383)	21.0506*** (7.5581)
F5	5.0682 (4.0992)	10.1137* (5.2912)	8.5492 (8.5917)
F6	7.3390** (3.5836)	17.8200*** (4.4490)	4.0422 (8.4564)
F7	-6.0480 (3.7431)	-1.9363 (4.0565)	-10.5507 (7.3113)
F8	-21.6994*** (3.6193)	-21.2178*** (4.3002)	-16.0724** (6.7615)
F9	-16.3808*** (3.0314)	-13.5076*** (4.0890)	-28.2444*** (8.1681)
F10	11.5398*** (3.6343)	18.6465*** (4.9731)	40.2846*** (11.4268)
F11	2.9821 (3.7073)	1.6093 (4.0309)	8.1974 (8.3884)
F12	-9.2642*** (3.1589)	-6.9745* (3.6422)	-7.2844 (7.8548)
F13	-1.8374 (3.5447)	4.9166 (4.9100)	-14.2662 (8.7918)
F14	0.7105 (3.3118)	10.3237** (4.5362)	-0.0450 (7.6998)
F15	-0.1340 (3.1220)	9.1622** (4.1318)	29.8927*** (8.9146)
观测值	146093	91926	31453
R-squared	0.4554	0.4749	0.4377

全部为正值,且部分显著。淮河流域的回归结果也显示,在供暖的前 6 天,空气质量指数出现了显著上升,但是在开始供暖 6 天之前,仅有前第 10 天和前第 15 天的回归系数显著为正,其他系数没有出现趋势性变化。这说明控制组和实验组的平行趋势在供暖前 1 周之外是成立的,但是在供暖前 1 周以内并不成立。产生这一结果的原因很可能是,供暖之前一些地区都会提前试暖,在此期间已经开始使用燃煤,从而有可能导致北方地区污染物的排放量增加,空气质量指数上升。此外,一些地区特别是东北城市,有可能在某些年份遭遇严寒天气,部分家户或者小区会选择提前开始使用燃煤供

暖,这也会导致供暖前1周空气质量就开始恶化。另外,在供暖前第14天和第15天,华北、华中、华东地区的回归结果和淮河地区的回归系数也出现了正的显著性,本文通过查找气象资料,发现山东省的大部分地区在2013年的10月27日出现了持续一周的重污染天气,AQI突然从100左右最高上升到263。很有可能是这一异常值导致F15和F14系数异常。

事实上,导致天气质量发生变化的因素很多,虽然控制了各种固定效应和固定效应的交互项,也并不能完全剔除掉随机因素,而这些随机性的因素一方面和冬季有关,另一方面也会影响空气质量,从而对回归结果造成干扰。为了进一步检验平行趋势,本文参考He et al.(2016)的做法,用一段时间内的空气质量平均值数据检验平行趋势假设,月度空气质量的平均值可以较好地平滑随机因素造成的波动。但是使用月度数据的问题在于,不同地区的供暖时间差异很大,对于供暖时间有差异的地区,本文无法进行回归。为此,只能将样本缩小到供暖时间一致的淮河流域,以每个月的上月16日至本月15日作为一个时间段对空气质量指数取平均值,然后检验实验组和控制组的平行趋势是否成立,平行趋势检验的结果图1所示。图1显示,在11月15日淮河以北地区供暖之前,供暖地区的空气质量并没有表现出与非供暖地区有显著差异,且回归系数基本为负值。但是在11月15日供暖之后,AQI指数显著上升,且均为正值。因此,在月度层面上,淮河流域的平行趋势检验是成立的。

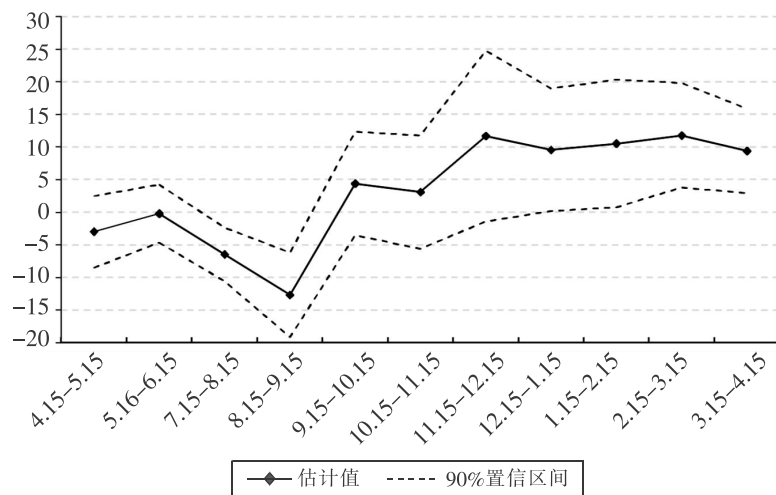


图1 平行趋势检验(月度数据)

3. 核心结果

如前文所述,2013年下半年开始,各地陆续开始实施本地区的大气污染防治计划,为了考察“大气十条”政策如何影响冬季供暖时的空气质量,本文对方程(2)进行回归,回归结果见表3。列(1)是利用全部样本的回归结果,列(2)是华北、华中和华东地区的回归结果,列(3)是淮河地区的回归结果。回归结果均显示,实施“大气十条”政策将使得北方地区供暖时的空气质量明显改善。*Heat*变量的回归系数为北方地区供暖对大气污染的直接影响,*Heat×Airten*变量的回归系数是“大气十条”政策的实施对于北方地区供暖期空气污染的影响。通过两个系数的比较,对于全国地区的样本而言,供暖使得AQI指数上升25.93,但是“大气十条”可以使AQI下降12.24,即将供暖造成的负面影响下降约47.20%。对于华北、华中和华东地区,“大气十条”政策的实施将使得供暖造成的负面影响下降约56.88%。对于淮河流域,“大气十条”政策的推行使得供暖造成的负面影响下降约70.10%。

表3 “大气十条”政策、冬季供暖与空气质量

	(1) 全样本	(2) 华北、华中、华东地区	(3) 淮河流域
<i>Heat</i> × <i>Airten</i>	-12.2405*** (3.2771)	-13.4317*** (4.0989)	-13.0891** (6.1545)
<i>Heat</i>	25.9295*** (3.5221)	23.6128*** (4.4741)	18.6717*** (6.2529)
<i>Airten</i>	-1.7596 (1.9188)	0.4910 (2.5971)	-7.6408** (3.4554)
观测值数	147023	92571	31602
R-squared	0.4574	0.4747	0.4316

因此,可以说,“大气十条”政策的推行使得供暖对于空气污染的影响大幅下降^①。

4. 安慰剂检验

“大气十条”政策在颁布之时,一共出台了十条具体的减少大气污染的政策,包括:①减少污染物排放;全面整治燃煤小锅炉,加快重点行业脱硫脱硝除尘改造;整治城市扬尘;提升燃油品质,限期淘汰黄标车。②严控高耗能、高污染行业新增产能,提前一年完成重点行业“十二五”落后产能淘汰任务。③大力推行清洁生产,大力发展公共交通。④加快调整能源结构,加大天然气、煤制甲烷等清洁能源供应。⑤强化节能环保指标约束,对未通过能评、环评的项目,不得批准开工建设,不得提供土地,不得提供贷款支持,不得供电供水。⑥推行激励与约束并举的节能减排新机制等,加大排污费征收力度;加大对大气污染防治的信贷支持;加强国际合作,大力培育环保、新能源产业。⑦用法律、标准“倒逼”产业转型升级,加大违法行为处罚力度。⑧建立环渤海包括京津冀、长三角、珠三角等区域联防联控机制,加强人口密集地区和重点大城市PM_{2.5}治理,构建对各省(区、市)的大气环境整目标责任考核体系。⑨将重污染天气纳入地方政府突发事件应急管理。⑩树立全社会“同呼吸、共奋斗”的行为准则等。

很显然,这些政策都有助于改善空气质量。这些政策可分为两大类:第一类是在冬季供暖期才会起作用的,例如供热用煤改为供热用气或供热用电;第二类是在全年都会起作用的,例如淘汰落后产能、提升油品质量、淘汰黄标车、发展公共交通工具、强化节能环保指标约束、推进产业转型升级、推行激励与约束并举的节能减排新机制、建立联防联控机制等政策。那么,在前文表3中观察到“大气十条”政策的颁布可以显著降低冬季北方地区的空气污染,究竟是通过第一类政策(仅在冬季供暖期执行的政策)还是通过第二类政策(在全年都执行的政策)达到效果的,或者是两种政策的合力,是需要进一步讨论的。

从逻辑上说,第一类政策之所以可以使得冬季北方地区的空气质量相对于南方地区有所改善,主要原因是燃煤改气或燃煤改电用于供暖只发生于冬季的北方地区,这类政策在冬季对于南、北方地区而言存在差异。而第二类政策是在全国层面推行,如果第二类政策在全国推行的力度相同,就无法看到第二类政策对空气质量改善的作用在南方和北方地区有差异。但是,如果第二类政策在全国推行的力度不一样,特别是由于北方空气污染严重,导致北方地区淘汰更多落后产能、更加大力

① 为了检验结果的稳健性,本文还将样本控制在供暖前后7天的时间范围内,得到的回归结果同表3类似。

提升油品质量、淘汰黄标车、发展公共交通工具等,那么就能观察到第二类政策对空气质量改善的作用在北方地区大于南方地区。然而,还需要指出的是,第二类政策没有必要一定选在冬季推行,很有可能是全年推行,而且这些政策一旦实施便会全年有效,例如淘汰的黄标车不可能再次利用,淘汰的落后产能也被永久性关停,公共交通基础设施一旦投入就可以持续使用。这就意味着,如果第二类政策对北方和南方地区空气质量的改善作用有所差别,那么这种差别应该是全年存在,或者至少不应该只在供暖季节存在。

上文的回归证明了“大气十条”政策对冬季北方地区空气质量的改善作用高于南方地区,即这种政策差异在冬季供暖期是有效果的。但是,如果同时发现“大气十条”政策在非供暖期对北方地区空气质量改善的作用也高于南方地区,那么就说明第二类政策也起到了作用(因为第一类政策只在供暖期实施,而第二类政策在全年都有效),进而导致表3的回归结果中混合了这些效应。相反,如果发现“大气十条”政策在非供暖期对北方地区空气质量改善并没有产生更大的作用(相对于南方地区),那么就可以在一定程度上排除掉第二类政策提升北方地区空气质量这一机制。值得指出的是,这一回归结果并不是否认第二类政策对治理空气污染的效果,这只能说明第二类政策治理空气污染的效果在北方和南方地区之间没有明显差异,没有差异的原因有可能是由于这些政策的执行力度在全国都是几乎一致的。^①

因此,需要检验“大气十条”政策在非供暖期的作用。下文将利用安慰剂检验,把北方地区真实的供暖变量虚拟设置到每年的4月、5月、6月、7月、8月和9月(这些月份中基本没有地区供暖,而其他月份都有地区在大面积供暖),如果这些“虚假的供暖变量”与“大气十条”政策实施变量交互项的回归系数与表3中交互项的符号及显著性是一致的,则说明“大气十条”政策中第二类政策很可能在供暖期也起到了提高北方地区空气质量的作用。反之,则可以在一定程度上排除第二类政策的效果。回归结果见表4。

表4中Panel 1—Panel 6分别代表把供热变量虚拟设置到每年的4月、5月、6月、7月、8月和9月的回归结果,列(1)为全样本回归结果,列(2)为华北、华中、华东地区样本的回归结果,列(3)为淮河流域的回归结果。可以发现,除了华北、华中、华东地区在Panel 6中“虚拟的供暖变量”与“大气十条”政策变量的交互项显著为负之外,其他回归结果中无论是使用哪个样本,交互项的系数绝大多数为正值且显著,少数情况为负值但并不显著,与表3的结果截然不同。因此,基本上可以排除第二类政策会导致冬季北方地区的空气质量改善比南方地区更加明显这一机制。

五、机制讨论

如前文所述,“大气十条”政策减轻冬季燃煤污染的具体机制有两个:一是通过天然气替代煤炭,减少污染物排放量;二是通过改善供热方式,清理燃煤小锅炉,减少散煤使用。前者是通过较为清洁的能源替换排放污染物较多的煤炭,进而达到治理空气污染的作用,而后者则是通过提高能效减少煤炭的使用量,进而改善空气质量。

1. “煤改气”的影响

作为“大气十条”政策的实施细则,无论是2013年9月17日联合发布的《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》(以下简称《实施细则》),还是2017年多部门和多地政府在2

^① 当然,还有一种可能性是,第二类政策在南方推行力度比北方地区推行力度大,这样将观察到第二类政策对北方地区空气质量改善的效应相对于南方地区是负的。这种情况出现时,意味着在表3中低估了第一类政策对北方地区空气质量改善的正向效应,更加有利于本文的结论。

表 4 安慰剂检验

	(1) 全样本	(2) 华北、华中、华东地区	(3) 淮河流域
Panel 1: 把供暖时间虚拟设置在每年 4 月			
<i>Heat</i> × <i>Airten</i>	10.3090*** (3.4481)	13.9159*** (3.4173)	10.1708*** (3.1975)
<i>Heat</i>	-12.9784*** (3.4604)	-17.9732*** (3.4044)	-11.0129*** (2.9601)
Panel 2: 把供暖时间虚拟设置在每年 5 月			
<i>Heat</i> × <i>Airten</i>	6.5541* (3.4579)	8.1326** (3.2667)	14.7480*** (3.4817)
<i>Heat</i>	-10.1548*** (3.3026)	-15.4057*** (3.1525)	-16.0353*** (3.1448)
Panel 3: 把供暖时间虚拟设置在每年 6 月			
<i>Heat</i> × <i>Airten</i>	4.8450 (3.2514)	0.0063 (3.6529)	3.5514 (8.4859)
<i>Heat</i>	-5.8193* (3.3038)	-2.4099 (3.7829)	-7.3379 (8.4054)
Panel 4: 把供暖时间虚拟设置在每年 7 月			
<i>Heat</i> × <i>Airten</i>	22.0034*** (3.5441)	21.6163*** (4.2560)	21.5452*** (7.7731)
<i>Heat</i>	-22.7807*** (3.6096)	-19.5516*** (4.3722)	-22.6800*** (7.8507)
Panel 5: 把供暖时间虚拟设置在每年 8 月			
<i>Heat</i> × <i>Airten</i>	15.1215*** (3.1867)	15.6951*** (3.9909)	16.4785*** (4.3281)
<i>Heat</i>	-25.2084*** (3.2149)	-22.8656*** (4.0485)	-24.4047*** (4.7125)
Panel 6: 把供暖时间虚拟设置在每年 9 月			
<i>Heat</i> × <i>Airten</i>	-1.5728 (2.6273)	-5.5042** (2.7129)	-0.2828 (3.6391)
<i>Heat</i>	-13.2489*** (2.5726)	-8.2262*** (2.7848)	-7.8570** (3.9062)

月 17 日联合下发的《京津冀及周边地区 2017 年大气污染防治工作方案》，都提出加快热力和燃气管网建设，以气代煤、以电代煤，也就是说“煤改气”是一些地区实施“大气十条”政策的重中之中。“煤改气”能减少空气污染的原因事实上也可以分解为两个：污染物排放多的燃煤使用量减少和清洁的燃气使用量增多。但是，各地并没有对是否实施了“煤改气”或其推行的强度进行过系统的报道。为了刻画“煤改气”，本文设定了一个“煤改气”指标 mgq ，该变量为一个虚拟变量，当地区供热用煤减小且供热用气增加时该指标取 1，反之取 0。

为了刻画出“煤改气”指标，本文需要使用《中国能源统计年鉴》。《中国能源统计年鉴》中的地区

能源平衡表统计了本地区能源消费量、能源加工转换的投入产出、能源损失量和终端消费量。能源加工转换平衡表反映了本地区二次能源的生产部门(如发电厂、热力部门、炼油厂、焦化厂、煤气厂等)通过投入一次能源产出火力发电、热力、洗煤、炼焦、炼油和煤气等二次能源的生产信息。其中,热力生产是指将燃料投入蒸汽锅炉和热水锅炉,对热介质(水)进行高温加热而生成蒸汽和热水(简称热力)。根据2013—2016年《中国能源统计年鉴》,本文收集了2012—2015年各省份能源平衡表中供热和火力发电在加工转换过程中煤炭(包括原煤、洗精煤、煤制品和焦炭等品种)和天然气的年投入量。这些投入量并不能简单相加,因为不同类型的煤炭所产生的热能并不相同,比如原煤产生的热能较低,而洗精煤产生的热能较高,则很有可能出现原煤使用量大幅下降,洗精煤使用量小幅上升,总煤炭使用量下降,但是产生热能增加的情况。为此,本文需要根据《能源统计知识手册》中的各种能源折标准煤参考系数,将原始数据中的能源实物量折算为标准煤使用量。有了这些指标,本文就可以判断出供热煤炭量是否下降,供热天然气是否上升。评估“煤改气”效果的回归方程如下:

$$AQI_{it} = \alpha + \theta Heat_{it} \cdot mgq_{it} + \beta \cdot mgq_{it} + \gamma Heat_{it} + \phi X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

由于方程(5)的核心变量是省级层面的指标,误差项很有可能在省级层面相关,因此该回归的误差在省级层面聚类,回归结果见表5。列(1)为全样本回归结果,列(2)为华北、华中和华东地区的样本回归结果,列(3)是采用淮河流域样本的回归结果。回归结果显示,在全样本和华北、华中及华东地区,“煤改气”显著改善了北方地区冬季供暖时期的空气质量。从全样本看,冬季供暖使得北方地区的空气质量指数上升17.68,但是“煤改气”的实施则使得空气质量指数下降17.32,几乎能抵消供暖对空气质量带来的负面影响。在华北、华中、华东地区的样本中,冬季供热使得空气质量指数上升13.38,而“煤改气”的实施则可以使得供暖造成的负面影响下降75.60%。但是在淮河流域,虽然回归结果仍然显示出供暖会使得空气质量发生显著恶化,然而“煤改气”的回归系数为正值且不显著,即淮河流域的回归结果并没有显示出“煤改气”对淮河流域的供暖城市的空气质量有显著提升影响。下面将利用环境专家和热能专家的观点来说明为什么有可能产生列(3)中的结果。

表5 “煤改气”对北方地区冬季供暖期空气质量的影响

	(1) 全样本	(2) 华北、华中、华东地区	(3) 淮河流域
<i>Heat</i> × <i>mgq</i>	-17.3214*** (4.6334)	-10.1155* (5.8589)	0.0521 (2.9994)
<i>Heat</i>	17.6843*** (3.7567)	13.3800*** (4.0251)	8.3809*** (1.3639)
<i>mgq</i>	4.3239 (2.6498)	5.0276 (3.4803)	-9.2189 (61.3855)
观测值数	147023	92571	31602
R-squared	0.4574	0.4742	0.4295

产生这一现象的原因可能是,在度量“煤改气”时,本文计算的供热用燃煤使用量和供热用燃气使用量的变化值都是省级层面的(之前的“大气十条”指标是地级市层面),因此,在淮河流域,该变量的方差很小,导致回归系数的标准误很大、系数不显著。

根据环境专家的研究,“煤改气”也并不必然带来空气质量的改善。江亿等(2014)指出,重污染天气主要是二次形成的颗粒物,雾霾现象与PM_{2.5}污染主要是由于氮氧化物、挥发性有机化合物和二氧化硫增加了大气的氧化锌,所以控制雾霾天气重在控制氮氧化物和挥发性有机化合物的增加。他们通过定量计算比较了北京市燃气热电联产供热和燃煤热电联产供热两种方式排放的氮氧化物量,发现热电联产“煤改气”措施并没有显著降低氮氧化物的排放量,反而会大幅增加天然气用量。杨麟和王杨(2017)指出,燃气锅炉是燃煤锅炉每立方米烟气量中所含的水汽为燃煤锅炉的4倍多,水雾随烟气一起排入大气中会大大增加氮氧化物融入水雾中的概率,反而会增加PM_{2.5}。刘虹(2015)也持有类似观点。他指出,在提供同等热量的条件下,燃气热电联产需要消耗更多的燃料,“一刀切”式的“煤改气”工程会在短时期内给北京上空增加大量的氮氧化物气体和水蒸气,极有可能进一步加重北京重度雾霾天气的形成。他还举例,2012年北京市实际比2011年增加了18亿立方米的天然气使用量。但从2012年起,北京重度雾霾天气并没有得到好转,反而有所增加。因此,结合环境专家和热能专家的观点,表5列(3)中“煤改气”的系数为正值且不显著的原因,还有可能是由于“煤改气”的成本很高,除了北方地区空气重污染区之外,“煤改气”发生在经济发达省份的可能性较大,甚至是发达省份的发达地区。如果这些地区的供热本身就是采用燃煤锅炉集中供热,而供热厂的废气排放受到环保部门的监督,那么燃煤锅炉集中供热转变为燃气供热对空气质量所产生的影响并不会很明显。

进一步地,即使“煤改气”对北方地区空气质量产生了显著的正向效应,但是这种效应所需要的经济成本有多高呢?本文以家庭为单位来计算城镇和农村居民平均的取暖成本,进而对“煤改气”的成本做一个局部分析。2016年国家统计局公布的城镇居民人均住房面积为36.60平方米,农村居民人均住房面积为45.80平方米。而《中国家庭发展报告2016》中指出中国城镇家庭户均规模为3.07人,农村为3.56人,因此可以得到城镇家庭的平均住房面积为112.36平方米,农村为163.05平方米。住建部颁布的《城镇供热规划规范》(GB/T51074-2015)中给出了建筑的采暖热负荷(每小时)计算公式:

$$Q_h = \sum_{i=1}^n q_{hi} \cdot A_i \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

其中, Q_h 为每小时采暖热负荷(千瓦), q_{hi} 为采暖热指标(瓦/平方米), A_i 为各类建筑的建筑面积(平方米), i 为建筑类型。同时,《城镇供热规划规范》(GB/T51074-2015)还给出了不同建筑的采暖热指标,其中低层住宅的(每小时)采暖热指标为40—75瓦/平方米,高层建筑为35—64瓦/平方米,即住房的(每小时)采暖热指标在35—75瓦/平方米之间。假设冬季采暖日为120天,可以计算出供暖地区的城镇家庭平均需要11325.88—24269.76千瓦热负荷,相当于40773.16—87371.14兆焦;农村家庭平均需要16435.44—35218.80千瓦热负荷,相当于59167.58—126787.68兆焦。根据国标《天然气》(GB17820-2012),一类天然气的高位发热量为36.00兆焦/立方米,而根据《综合能耗计算通则》(GBT2589-2008),原煤的低位发热量为20.91兆焦/公斤。在不考虑热量损失的情况下,可以计算出,供暖地区的城镇家庭平均需要1132.59—2426.98立方米天然气,或1949.94—4178.44公斤煤;农村地区的家庭平均需要1643.54—3521.88立方米天然气,或2829.63—6063.49公斤煤。

2017年中国的动力煤现货指数全年平均值为634元/吨,而各省份的居民天然气价格(除去天然气产地)都在2.25—3.45元/立方米之间。本文按照634元/吨计算原煤价格,2.85元/立方米(2.25和3.45的平均值)计算天然气价格,可以得到供热地区的家户在不同能源使用情况下的成本,见表6。从表中可以发现,使用天然气供热和煤炭供热的成本差距很大,是使用煤炭的2.6倍。这一数值还很可能被低估,因为各地政府对居民天然气的使用均有不同程度的补贴,同时对于超出一定配额

表 6 不同能源使用情况下的采暖成本

	使用天然气的成本(元)		使用煤的成本(元)	
	下限	上限	下限	上限
城镇家庭	3227.88	6916.89	1236.26	2649.13
农村家庭	4684.09	10037.36	1793.99	3844.25

的天然气还会实施阶梯气价,例如北京市的居民用天然气价格为 2.28 元/立方米,但是超过 350 立方米之后会上升到 2.50 元/立方米,超过 500 立方米之后则会大幅上升到 3.90 元/立方米。可见,“煤改气”的使用成本相当高昂。当然,成本和收益之间并不能简单的权衡,特别是空气质量问题关乎居民的健康和建设美好生活。

2. 改变用煤方式

考虑到“煤改气”的高昂成本,事实上降低冬季北方地区空气污染的另一个渠道是燃煤小锅炉的改造,减少散煤的使用。如前文所述,散煤的燃烧是导致空气污染的重要原因,一方面散煤的质量较差;另一方面散煤的能效较差。因此,如果将散煤燃烧方式改为大型供热企业集中供暖,不仅会增加供热能效,而且集中供热企业对于煤炭质量的控制、废气的处理都有更高标准。也就是说,有先进的燃煤锅炉技术和在严格的环境监控下,即使大型供热企业增加煤炭使用量,也不一定会导致空气质量恶化。为了证明这一观点,本文检验回归方程(3)。在方程(3)中 $cleancoal$ 代表 i 地级市第 t 年清洁燃煤的增加额。

文中使用发电用煤作为清洁燃煤的代理变量,这是由于电厂基本都是受到当地环保部门严格监督的企业,且以国有企业居多,因此对环保成本并不敏感,可以认为是一种集中燃煤且清洁燃煤的用煤方式,因此本文将发电用煤的增加量作为清洁燃煤增加的代理指标。如果方程(3)中 $heat \times cleancoal$ 的回归系数为正且显著,则说明清洁用煤的增加也会导致北方地区供暖时期的空气质量恶化,反之如果该系数为负或者不显著则说明,如果能使用先进大锅炉集中清洁用煤,燃煤增加也并不必然带来空气质量的恶化。

在《中国能源统计年鉴》上发电用煤的增加额只有省级数据,但是这一指标直接用于地级市数据有可能导致结果的误判。这是因为省级数据的方差较小,直接匹配到地级市数据中容易使得回归的标准误很大,系数不显著,如果换成更细致的数据,变量方差增加,回归标准误减少,系数就有可能从不显著变为显著,从而改变甚至逆转结论。为此,本文需要尽可能找到地级市层面的发电用煤数据。2016年《全国火电厂分布图》中详细记录了各个地级市的煤电厂、核电厂和气电厂,不仅包括投产运行的电厂,还包括在建规划的电厂。本文手工整理了所有地区的煤电厂已经投产运行的机组容量,然后利用机组容量加权的方法,将各年份各省的发电用煤量的增量分配到各个电厂得到 $elec_{k,j,t}$,具体为:

$$elec_{k,j,t} = elec_{j,t} \times \frac{jzrl_{k,j,t}}{\sum_k jzrl_{k,j,t}} \quad (7)$$

其中, $elec_{j,t}$ 为 t 年 j 省的发电用煤的增量, $jzrl_{k,j,t}$ 为 t 年 j 省 k 煤电厂的机组容量。进一步在城市层面上加总该城市所有煤电厂发电煤的增量,得到 2013—2015 年各地级市的发电用煤增量 $cleancoal_{i,t}$,并将其作为清洁用煤增量的替代指标进行回归。同回归方程(5)相似,清洁用煤增量的替代指标是由省级指标计算得到的,因此仍然需要将标准误在省级层面聚类,回归结果见表 7。

表 7 清洁燃煤增加对北方地区供暖期空气质量的影响

	(1) 全样本	(2) 华北、华中、华东地区	(3) 淮河流域
<i>Heat×cleancoal</i>	0.0239 (0.0173)	0.0233 (0.0178)	0.0903 (0.0787)
<i>Heat</i>	15.9087*** (3.8884)	12.5226*** (4.1009)	10.5116** (1.9512)
<i>cleancoal</i>	-0.0063 (0.0125)	0.0010 (0.0144)	-0.0028 (0.0096)
观测值	147023	92571	31602
R-squared	0.4566	0.4740	0.4299

表 7 列(1)是采用全样本回归的结果,列(2)是采用华北、华中和华东地区的样本回归结果,列(3)是采用淮河流域样本的回归结果。回归结果显示,无论在哪个地区,发电用煤的使用量增加都没有使得北方地区在供暖季节空气质量进一步恶化。这意味着,如果清理燃煤小锅炉,采用集中清洁燃煤方式,一方面散煤使用量的下降会使得北方地区供暖期空气质量改善,另一方面即使增加用煤量也不会使得空气污染更加严重。结合上文的回归结果,虽然“煤改气”政策可以显著缓解北方地区冬季供暖时的空气污染问题,但是减少散煤燃烧、集中清洁用煤也可以达到类似的效果,同时集中清洁用煤的成本远远低于“煤改气”。

上述的回归结果与目前先进的热电联产供热方式也十分吻合。热电联产是指将供热与发电合一,以热电厂作为载体,通过能量的分级将不同梯级不同品质的能量分别用于供热和发电,从而同时供应热力和电力的能源复合利用系统。在热电联产系统下,温度较低的热能被用作工业热力和居民供热,温度较高的热能被用以发电。热电厂热电联产的供热规模大、能源利用率高、污染排放少。热电联产的污染物排放主要来自火电厂,火电厂所排放的煤烟气由烟尘、二氧化硫和氮氧化物三种污染物构成。近年来,政府部门不断强化火电行业的限排力度,并大力扶持脱硫脱硝等相关环保行业的发展。治理火电煤烟气污染是“十二五”规划的重点整治项目,2011年中国颁布了《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011),对火电行业大气污染物排放提出了更为严格的控制。2015年12月2日国务院更进一步提出了燃煤电厂超低排放和节能改造,针对燃煤烟气中的氮氧化物、二氧化硫和烟尘提出了超低排放浓度限额,并通过电价支持、政府补贴等政策对达到超低排放标准的燃煤发电企业给予上网电价补贴。石光等(2016)还证明了国家补贴政策有效地激励了燃煤电厂投运脱硫设施和二氧化硫减排。因此,无论是从技术上,还是从国家的环保政策上,热电联产供热方式完全可以实现清洁、高效使用煤炭供热,同时并不增加空气中污染物的排放。而且,这种供热方式也更加符合中国的能源结构。根据《BP世界能源统计年鉴 2016》,中国煤炭储量占世界储量的 21.40%,产量占 46.10%。而天然气储量仅占全球储量的 2.90%,产量占 3.90%,消费量占全球的 5.90%,几乎 1/2 的天然气需要依赖进口。2016 年中国进口管道天然气 380 亿立方米,进口液化天然气 343 亿立方米。综合以上两方面的因素,可以说,燃煤热电联产不仅在技术上能够达到超低排放标准,而且还能减少散煤使用,进一步改善空气污染,同时成本较低,也有利于国家能源安全。

六、结论和政策建议

中国的北方地区由于推行集中供暖制度,在冬季往往面临严重的空气污染问题,雾霾天气频发严重影响着居民的身心健康和生产生活。国务院于2013年9月10日提出了治理空气污染问题的“大气十条”政策。本文利用258个地级市2013年1月1日至2015年1月1日的日度空气质量数据,对“大气十条”政策的实施是否有助于减轻冬季北方地区供暖对空气污染的影响进行了研究。文中将空气质量指数作为被解释变量,通过政府报告、官方媒体和热力公司搜集了供热城市的实际供暖和停暖日期,并控制了地区层面因素、秸秆燃烧点数据、其他能源使用量、各种气象条件、节假日因素、各种固定效应以及固定效应的交互项,分析结果显示:①冬季供暖确实显著提高了北方地区的空气污染水平,双重差分中实验组和控制组的平行趋势检验也是成立的。②实施“大气十条”政策显著缓解了北方地区在供暖季的空气污染,而且“大气十条”政策的作用仅仅在冬季体现,这说明“大气十条”政策是通过供暖机制起作用的。③为了研究“大气十条”政策的具体作用机制,本文设置了“煤改气”指标,结果显示“煤改气”显著改善了北方地区冬季的空气质量,但是“煤改气”的成本非常高,使用燃气供暖至少是燃煤供暖的2.6倍。④进一步地,本文利用发电用煤作为先进燃煤锅炉清洁用煤的代理变量,分析结果发现,高效清洁用煤的增加并不会导致空气质量的恶化。因此,如果用先进燃煤锅炉集中供热,减少散煤和燃煤小锅炉,也将有效改善北方地区采暖季节的空气质量,同时更加经济。根据本文的实证研究结果,本文提出以下政策建议:

(1)对于控制冬季燃煤供暖所造成的空气污染而言,治理不规范的燃煤小锅炉才是工作的重心。根据《工业锅炉统计年鉴》2015年的数据,中国装机量在4吨以下的锅炉台数占全国锅炉总台数的45%,而产出的热能蒸吨占比仅为10%。装机量在4—10吨之间的锅炉台数占34%,产出热能蒸吨占比仅为22%;装机量在10吨以上的大型锅炉仅占总台数的21%,却能够产出68%的热能。即使不考虑大型锅炉和小锅炉在废气治理方面的差距,仅将小锅炉替换成大型锅炉带来的能源效率提升便能显著改善集中供暖导致的空气污染。从直观证据看,本文观察到的AQI数值下降与北京、河北、山东等地治理燃煤小锅炉行动在时间上相一致。从本文实证结果看,虽然“煤改气”可以减少北方地区冬季供暖导致的空气污染,但是成本极高,而清洁集中用煤并不会导致空气质量恶化。因此继续清理燃煤小锅炉,在城乡结合部等地区推进大型锅炉和大型热电联产,避免居民使用散煤取暖,将可以有效控制北方地区供暖期的空气污染问题。

(2)供热行业应借鉴热电行业的先进治污经验,将科学用煤、清洁用煤作为未来发展的方向。煤炭储量巨大是中国自然资源禀赋的主要特点之一,同时煤炭价格低廉、运输便捷。因此,若将煤炭资源弃之不用是有待商榷的。火电行业的先进经验证明,煤炭使用和控制空气污染是可以兼得的。供热行业可以借鉴热电行业经验,执行标准化的污染物排放标准,积极使用和发展洁净煤技术,综合运用政府补贴和市场化改革等手段提高行业治污水平,以实现煤炭的清洁供热。

(3)需要仔细评估天然气供热的环境效益和经济效益。如前文所述,很多专家撰文指出,以天然气替代煤炭对于缓解氮氧化物造成的污染并无明显帮助,反而会增加空气中的水雾,增加氮氧化物溶于空气中的数量。而另一方面,中国的天然气基础储量不高且使用成本相对较高。根据《中国统计年鉴》2016年的统计数据,中国的天然气储量只有5.4万亿立方米,仅占全球储量的2.9%。中国石油新闻中心的报道^①指出,2017年中国全年天然气进口量的实际数据虽然尚未得到,但预计在930

^① 资料来源:陆如泉.中国天然气进口的现状与未来[N].宁波日报,2018-01-08.

亿立方米左右。中国 2017 年天然气消费总量在 2350 亿立方米左右,对外依存度接近 40%,供需关系不平衡。这种供需矛盾随着 2017 年底“煤改气”的大面积推广更是凸显出来,中国从北方到南方都经历了大面积和较长时间的气荒。而且,用气量激增也进一步推高了进口天然气的价格。截至 2017 年 12 月 1 日,液化天然气价格经历 17 连涨,多个地区政府发文上调非居民天然气价格,大部分地区的调价幅度超过 10%,甚至高达 20%。较高的天然气价格不仅增加企业和居民的用气成本,而且一些地区的集中供暖实行补贴式定价,若以天然气进行大范围供暖,将会使得热价与气价倒挂,加重政府的财政负担。更重要的是,大面积推广天然气会增加能源进口量,影响中国的能源安全。因此,相关部门应该详细核算“煤改气”所产生的成本以及成本的转嫁问题,分析“煤改气”可能造成的天然气进口量和进口价格的变化,既保障民生,又保障国家能源安全。

(4)无论是“大气十条”政策还是 2013 年 9 月 17 日联合发布的《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》,甚至是 2017 年 12 月 4 日向京津冀周边“2+26”个城市下发的《关于做好散煤综合治理确保群众温暖过冬工作的函》中,政府均没有要求全面使用天然气代替燃煤,而是要求使用清洁能源、热电厂能源、洁净煤或者新能源。而清洁能源包括太阳能、风能、核能、水能、地热能、生物能等等。结合前文提到的使用天然气的成本问题、污染问题和国家能源安全问题,各地在散煤取暖的替代过程中,应该综合各方面因素,多渠道使用经济、高效、环保的能源,提高锅炉的技术水平,加强对锅炉排放标准的监管,才能满足人民日益增长的美好生活需要,促进社会和谐发展。

[参考文献]

- [1]曹静,王鑫,钟笑寒. 限行政策是否改善了北京市的空气质量[J]. 经济学(季刊), 2014,(3):1091-1126.
- [2]陈强,孙丰凯,徐艳娟. 冬季供暖导致雾霾?来自华北城市面板的证据[J]. 南开经济研究, 2017,(4):25-40.
- [3]高峰. 煤改气无助于控制氮氧化物排放[N]. 中国环境报, 2014-06-26.
- [4]江亿,唐孝炎,倪维斗,王静怡,胡珊. 北京 PM_{2.5} 与冬季采暖热源的关系及治理措施[J]. 中国能源, 2014,36(1):7-13.
- [5]李金珂,曹静. 集中供暖对中国空气污染影响的实证研究[J]. 经济学报, 2017,(4):138-150.
- [6]梁若冰,席鹏辉. 轨道交通对空气污染的异质性影响——基于 RDID 方法的经验研究[J]. 中国工业经济, 2016,(3):83-98.
- [7]刘虹. “煤改气”工程且行且慎重——基于北京市“煤改气”工程的调研分析[J]. 宏观经济研究, 2015,(4):9-13.
- [8]刘应红. 从价格承受能力看居民采暖“煤改气”——以北京市城乡为例[J]. 国际石油经济, 2017,(6):45-50.
- [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,(11):84-90.
- [10]石光,周黎安,郑世林,张友国. 环境补贴与污染治理——基于电力行业的实证研究[J]. 经济学(季刊), 2016,(4):1439-1462.
- [11]王善才. “煤改气”的是是非非[J]. 生态经济, 2018,(2):10-13.
- [12]席鹏辉,梁若冰. 城市空气质量与环境移民——基于模糊断点模型的经验研究[J]. 经济科学, 2015a,(4):30-43.
- [13]席鹏辉,梁若冰. 空气污染对地方环保投入的影响——基于多断点回归设计[J]. 统计研究, 2015b,(9):76-83.
- [14]席鹏辉,梁若冰. 油价变动对空气污染的影响:以机动车使用为传导途径[J]. 中国工业经济, 2015c,(10):100-114.
- [15]杨麟,王杨. 工业锅炉清洁能源替代(煤改气)现状分析与建议[J]. 工业锅炉, 2017,(4):29-32.
- [16]Almond, D., Y. Chen, M. Greenstone, and H. Li. Winter Heating or Clean Air? Unintended Impacts of China's Huai River Policy[J]. American Economic Review: Papers & Proceedings, 2009,99(2):184-190.

- [17]Chen, Y., A. Ebenstein, M. Greenstone, and H. Li. Evidence on the Impact of Sustained Exposure to Air Pollution on Life Expectancy from China’s Huai River Policy [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013a,110(32):12936–12941.
- [18]Chen, Y., G. Jin, N. Kumar, and G. Shi. The Promise of Beijing: Evaluating the Impact of the 2008 Olympic Games on Air Quality[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2013b,(66):424–443.
- [19]Ebenstein, A., M. Fan, M. Greenstone, G. He, and M. Zhou. New Evidence on the Impact of Sustained Exposure to Air Pollution on Life Expectancy from China’s Huai River Policy [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017,114(39):10384–10389.
- [20]He, G., M. Fan, and M. Zhou. The Effect of Air Pollution on Mortality in China: Evidence from the 2008 Beijing Olympic Games[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2016,(79):18–39.
- [21]Liang, X., T. Zou, B. Guo, S. Li, H. Zhang, S. Zhang, H. Huang, and S. Chen. Assessing Beijing’s PM_{2.5} Pollution: Severity, Weather Impact, APEC and Winter Heating [J]. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science*, 2015,471(2182):1–20.

The Impact of “Atmosphere Ten Articles” Policy on Air Quality in China

LUO Zhi^{1,2}, LI Hao-ran²

(1. Center for Economic Development Research, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Economic and Management School, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to improve the air quality in China, and particularly reduce the haze during the heating season in the north, the State Council proposed the “Atmosphere Ten Articles” to address air pollution problems in 2013. The government took the lead in managing the coal-fired small boilers and accelerating the implementation of coal to gas transformation in the “Atmospheric Ten Articles”. This paper uses the unbalanced panel data of 258 cities from January 1, 2013 to December 31, 2015 to study whether the implementation of “Atmospheric Ten Articles” can help reduce the impact of heating on air pollution in the northern winter. The regression results show that: ①After controlling the interactions of regional factors, straw burning point data, other energy usage, various meteorological conditions, holiday factors, various fixed effects, and fixed effects, heating in winter has increased the northern region’s AQI significantly. ②The implementation of “Atmospheric Ten Articles” has significantly reduced the air pollution in the northern region during the heating season, and this effect is only reflected in the winter season. This shows that “Atmospheric Ten Articles” works through the channel of heating. ③In order to study the specific mechanism of the “Atmospheric Ten Articles”, we set the “coal to gas” indicator. The results show that “coal to gas” has significantly improved the air quality in the north in the winter. ④Further, we use coal for power generation as the proxy variable for clean coal usage. The analysis results show that the increase in efficient clean coal does not lead to deterioration of air quality. Therefore, if centralized heating with advanced coal-fired boilers and reduction of bulk coal and coal-fired small boilers will also effectively improve the air quality in the northern heating season. It is more in line with the reality of China’s resource endowment, coal-rich, oil- and gas-short. And it is conducive to national energy security.

Key Words: “Atmosphere Ten Articles”; air quality; coal to gas transformation; haze; centralized heating

JEL Classification: Q53 Q58 H89

[责任编辑:覃毅]