

中国大气污染影响因素研究

——基于中国城市动态空间面板模型的分析

刘 军 王慧文 杨 洁

(南京信息工程大学中国制造业发展研究院,江苏南京 210044)

摘 要:准确识别中国大气污染的影响因素,可以为中国大气污染治理政策的合理制定和有效实施提供科学依据。基于 2012—2015 年我国 119 个地级及以上城市面板数据,采用动态空间面板模型实证分析中国大气污染的影响因素。研究结论表明:城市大气污染在空间维度和时间维度上分别存在显著的空间溢出效应和动态效应;大气污染与经济发展水平之间存在显著的倒“U”型关系,验证了环境库兹涅茨曲线的存在;以第二产业占 GDP 比重衡量的产业结构和不断增长的人口密度显著加剧城市大气污染,技术进步和城市绿化有利于改善城市大气污染,而城市环境治理投入对大气污染的改善作用并不显著。依据上述研究结论,提出改善城市大气污染的相应政策建议。

关键词:大气污染;影响因素;空气质量指数

中图分类号:F062.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-4970(2017)05-0061-07

一、引 言

近年来,全国各地经济持续发展,人民生活水平提升过程中也伴随着各地大气环境质量的恶化。我国经济发展进入“新常态”时期以后,绿色发展的理念普遍受到重视,政府在大气污染治理方面采取了一系列措施,开展空气质量检测的城市由 2009 年的 86 个增长至 2015 年的 338 个;2015 年污染治理投入高达 8 806 亿元,其中工业污染源治理专项投资达 773.7 亿元。“十三五”规划期间,党中央、国务院以大气、水和土壤污染治理为重点做出重大决策,将环境文明建设和生态保护放在更加重要的位置,大气污染治理取得积极进展。但是,我国空气污染问题依然严峻,国家环境保护部《2015 年中国环境状况公报》显示,2015 年,在开展空气质量监测的 338 个城市中,265 个城市环境空气质量超标,超标率达 78.4%;338 个城市中空气轻度乃至重度污染的平均天数占全年 23.3%,大气污染状况依然十分严重。引致大气污染的社会经济因素众多,只有考察各相关因素,准确识别其中的关键因素,才能为大

气污染治理政策的合理制定和有效实施提供科学依据。

学者们围绕大气污染影响因素进行了广泛研究,这些影响因素主要集中在经济发展水平、人口集聚、技术创新、污染治理投入和产业结构 5 个方面。

①经济发展水平。经济发展水平对当地环境质量的影响是国内外学者研究的首要因素。西方学者对此问题展开的研究时间较早,Coupé 假设每个地区分为两个经济发展阶段:一是以环境污染为代价的阶段,二是不再以污染环境为代价的阶段。研究发现,在第一阶段的经济发展过程中的消费、投资以及就业都会对环境污染产生重要影响^[1]。Grossman 研究了地区经济产出与环境污染水平之间的关系,并提出“环境库兹涅茨”曲线,研究发现,“环境库兹涅茨”曲线呈倒“U”型,即环境污染状况起初随着地区经济的发展而加剧,在一定阶段后,随着地区经济的发展而得到改善^[2]。彭水军等采用 1996—2002 年省级面板数据研究得出,工业烟尘排放与地区经济发展存在环境库兹涅茨曲线,工业粉尘和 SO₂ 排放与地区经济呈“N”型趋势^[3]。Wang 等采用

收稿日期:2017-06-19

基金项目:国家自然科学基金项目(71673145);国家社会科学基金重大项目(15ZDA053);江苏省社会科学基金项目(16EYB012);江苏高校哲学社会科学重点研究项目(2016ZDIXM018)

作者简介:刘军(1972—),男,安徽宿州人,副教授,博士,从事产业经济和区域经济研究。

1990—2012 中国省际面板数据实证分析发现经济增长与 SO₂ 排放之间存在显著的倒“U”型关系^[4]。黄滢等基于中国 112 个城市数据研究大气污染浓度和我国经济增长之间的关系,发现所有大气污染浓度指标都呈现“U”型,但是根据每个城市特定的时间趋势变量发现高增长并不一定导致高污染^[5]。冷艳丽等基于 2001—2010 年我国省际面板数据考察能源价格扭曲对雾霾污染有正向影响^[6]。

②人口集聚。截至 2016 年底,我国常住人口城镇化率进一步提高,达 57.35%,比上年高出 1.25%,处于城镇化中期阶段,此阶段对环境影响最大。在新型城市化战略的大背景下,人口集聚和地区空气质量息息相关。Cervero 以 20 世纪 80 年代美国为分析对象发现,在郊区形成就业集聚的原因之一是周围环境^[7]。Bento 等从基于住宅区与就业区的“通达性”视角对影响城市空间演化的因素进行分析发现,居民数量的扩大,当地环境质量也会受到影响^[8]。Padeiro 等以南加利福尼亚地区为对象,研究显示居民更倾向于选择在工作地点附近居住,并认为居住和就业的空间匹配对于缓解环境污染问题有重要意义^[9]。Hargreaves 分析认为公共环境质量和公共交通会对居民的住房和就业地的选择产生影响,进而出现空间分异^[10]。王兴杰等利用 74 个城市数据评估发现,城镇化的快速推进使得能源重化工产业和房地产业高速发展,城市人口密度的不断提高造成大气污染物的大量集中排放^[11]。

③技术创新。由于各行业技术创新不断发展,使得经济和环境质量协调发展存在可能。Stiglitz 认为技术进步是调和经济增长和环境质量的重要因素,因为技术进步利于经济增长^[12]。Levinson 发现,经济发展带来的污染可以通过技术进步来抑制^[13]。Yin 等研究发现,技术进步有利于降低碳排放,从而加速环境库兹涅茨曲线倒“U”型拐点的到来^[14]。于峰等对 1999—2004 年间省级面板数据进行回归分析发现,生产率提高、环保技术创新与推广可以降低中国环境污染^[15]。顾为东基于江苏省 1978—2008 年数据,研究发现农业技术进步能够有效缓解农业面源污染^[16]。杨飞等利用中国 1995—2009 年行业数据实证发现,当全球价值链嵌入低于门槛值时,技术进步会暂时无法有效改善污染问题^[17]。

④污染治理投入。政府的环境污染治理投资有利于协调经济发展和环境污染二者之间的关系。Economides 等在考虑公共投入的前提下,提出研究经济增长与环境污染的内生增长模型框架^[18]。Lopez 等在理论框架下研究财政支出与环境污染的关系,并用经验数据进行实证研究后认为,合理的财

政支出可以有效减少单位 GDP 所产生的污染^[19]。关海玲等采用 1998—2009 年的中国省际面板数据发现,政府财政支出的上升能够减少环境污染的排放^[20]。贺俊等基于内生增长模型检验表明,我国环境治理投资在 GDP 中的占比与环境污染之间存在反“U”形曲线^[21]。

⑤产业结构。产业结构是影响大气污染的重要因素,总体来说,第二产业对环境污染的强度要高于第一产业和第三产业。Grossman 等以中国等亚洲国家为样本分析产业结构与环境污染之间的关系,发现在经济发展到一定程度时,注重生产的重化工业得到快速发展,环境污染矛盾越来越突出,而大气污染问题尤其显著且严重^[22]。Li 等的研究认为,产业结构升级有利于提高绿色全要素生产率,是改善环境的最佳途径^[23]。宋言奇等认为产业结构本身不会引起环境恶化,产业结构调整会对人类的环境质量起到积极的资源集约效应^[24]。邓祥征等发现在青海省进行科学的产业结构调整,环境污染的风险有所减少^[25]。

已有研究取得一定成果,但是以大量地级市为样本作大气污染影响因素的研究文献较少。在当今天气污染严重、政府投入大量资源进行治理的背景下,笔者尝试在以下两个方面作出边际贡献:一是现有文献在实证分析过程中较少同时考虑大气污染的空间溢出效应和动态效应。Hao 等研究发现中国城市雾霾污染存在显著空间效应^[26],邵帅等的研究发现中国雾霾污染在时间维度上呈现出明显的雪球效应^[27]。不考虑空间效应和动态效应,可能会带来估计和分析的偏误。二是现有文献较少采用城市数据进行分析。张可等研究发现,中国省际尺度太大且内部差异性较大,难以准确捕捉大气污染的空间效应^[28-29]。因此,基于中国 2012—2015 年 119 个地级及以上城市面板数据,采用动态空间面板模型实证研究中国大气污染的影响因素。

二、中国大气污染现状分析

1. 空气质量指数(AQI)的季节变化

选取空气质量较佳的三亚、海口等 10 个城市,其年均空气质量指数为 44.80,处于国家空气质量标准中日均值的Ⅰ级,有利于人体健康(图 1);同时,选取大气污染较严重的北京、天津等 10 个城市,其年均空气质量指数为 105.92,达到国家空气质量标准中日均值的Ⅲ级,对人体健康开始产生显著影响,呼吸此空气的健康人群会出现刺激症状(图 2)。

由图 1 可知,各季节空气质量较好的城市中,一年四季空气质量指数都处于国家空气质量标准中日

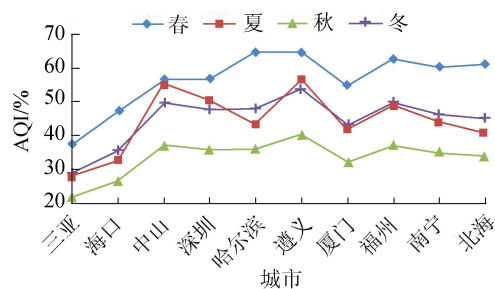


图1 2016年中国10个空气质量较佳城市空气质量指数随季节变化趋势

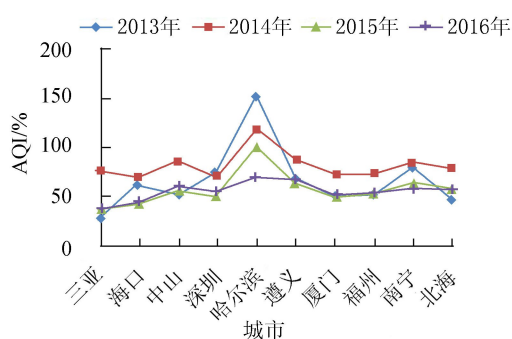
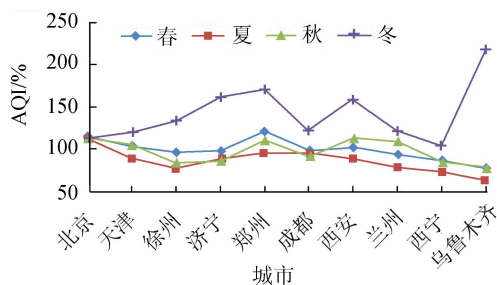


图3 2013—2016年10个空气质量较佳城市空气质量年度变化趋势



注:空气污染指数(AQI)的取值范围固定为0~500,其中0~50(Ⅰ级:空气质量优)、51~100(Ⅱ级:空气质量良)、101~200(Ⅲ级:轻度污染)、201~300(Ⅳ级:重度污染)和大于300(Ⅴ级:严重污染)

图2 2016年中国10个空气质量较差城市空气质量指数随季节变化趋势

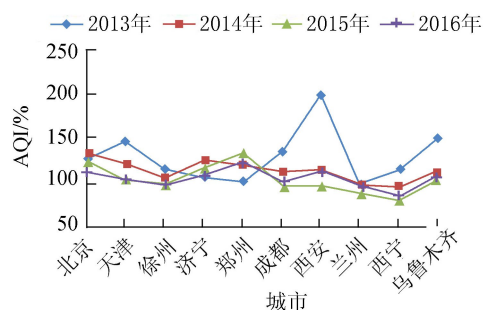


图4 2013—2016年10个空气质量较差城市空气质量年度变化趋势

均值的Ⅰ级和Ⅱ级,尤其秋季空气质量普遍最佳。由图2可知,各季节空气质量较差的城市中,冬季空气污染最严重、夏季空气质量转好。污染严重10个城市中,北京的空气质量指数升降不明显,一年中空气质量一直较差;乌鲁木齐冬季空气质量最差,平均指数达到219,空气已被重度污染,健康人群普遍出现刺激症状,而该地区夏季空气质量最好,空气指数为63.33。天津、徐州、济宁、郑州、成都、西安、兰州和西宁冬季的平均空气质量指数都超过100,空气污染严重,而夏季时指数下降,空气质量有所改善。

观察图1、2可知,中国受污染程度较轻城市与受污染程度较高城市之间空气质量指数相差极大。

2. 2013—2016年空气质量变化趋势

2013—2016年,10个空气质量较佳城市大气污染水平总体得到有效控制和改善(图3、4)。以哈尔滨为例,4年期间空气质量指数逐年下降,说明该城市大气污染得到有效治理,而10个空气质量较差城市空气污染水平总体加重,除兰州年均空气质量指数无明显变化外,北京、天津等9个城市空气污染情况在四年间都有较大浮动。2013年以来,郑州空气质量指数保持上升态势;北京空气质量指数年平均数保持在区间100—150,这表明北京市大气污染治理效果不明显;天津和乌鲁木齐两市的空气质量指数在2013年达到4年中的最大值,在2014年空气

环境有所改善,在2015年、2016年得到有效控制;徐州2013年的空气质量指数年平均数达到最大值,为115.28;济宁2014年空气污染情况最严重,空气质量指数达到126.58,在2015年、2016年空气污染情况有略微改善;2013年,西安空气质量指数年平均数达到最大值199,但是2013年以来,西宁空气质量指数一直保持在区间50—100,空气质量良好,这表明其大气污染治理成果显著。

中国主要区域中华南地区的年均空气质量最好、华北地区的年均空气质量最差(图5)。总体看来,4年间空气质量较差的城市或地区与空气质量较好的城市或地区差距并没有因为时间的推移而缩小,虽然空气质量指数较高城市和地区的空气质量指数没有太大起伏变化,这表明大气污染一直在各个城市和地区的控制范围内,但是大气污染问题整体严峻,仍需要继续加大治理力度以达到显著改善

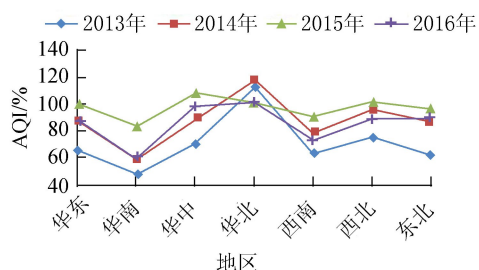


图5 2013—2016年区域年均空气质量指数年度变化趋势

三、模型建立、变量说明与数据来源

1. 模型建立

Ehrlich 等提出 IPAT 分析框架来确定环境压力,把环境压力分解为 3 个部分,即 $I=PAT$,其中, I 表示环境压力、 P 表示人口数量、 A 表示富裕度、 T 表示技术水平^[30]。IPAT 模型简单明确,被广泛应用于研究经济以及人口因素对环境的影响。在 IPAT 模型的基础上,York 等引入随机项,提出 STIRPAT 模型,基本形式为: $I_{it} = \alpha P_{it}^\beta A_{it}^\gamma T_{it}^\delta \varepsilon_{it}$,其中, i 表示地区, t 表示时间, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 为估计参数, ε 为随机误差项^[31]。在 STIRPAT 模型的基础上,笔者引入产业结构变量、绿化水平变量、环境污染治理投资变量来研究其对大气污染的影响,将 STIRPAT 模型扩展为:

$$I_{it} = \alpha P_{it}^\beta A_{it}^\gamma T_{it}^\delta X_{it}^\eta \varepsilon_{it} \tag{1}$$

式中 X 表示新引入的解释变量:产业结构变量、绿化水平变量、环境污染治理投资变量, η 表示解释变量对大气污染的影响弹性。结合已有文献,在模型(1)的基础上构建如下普通面板数据模型:

$$\ln AQI_{it} = \alpha + \beta \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \tag{2}$$

式中 AQI 为被解释变量,表示空气质量指数; X 表示解释变量,包括经济发展水平(GDP)、产业结构(STR)、技术水平($TECH$)、人口密度(DEN)、绿化水平(GRE)、环境治理投资(ENV);下标 i 和 t 分别表示城市和时间;其他字母分别表示常数项、变量系数、残差。模型(2)是基本的面板数据模型,技术、劳动力以及资源等都不存在跨区域流动。然而这与实际的经济运行情况不符,会导致模型(2)的估计会带来较大的偏差。基于此,笔者采用动态空间计量模型进行回归分析,不仅考虑到地区之间的关系以解决空间溢出效应,还可以充分考虑时间因素,研究前期相关因素对本期的影响。在模型(2)基础上构建的动态空间计量模型如下:

$$\begin{aligned} \ln AQI_{it} = & \tau \ln AQI_{it}(t-1) + \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} \ln AQI_{jt} + \\ & \beta \ln X_{it} + \eta_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \\ \varepsilon_{it} = & \lambda \sum_{j=1}^N W_{ij} \varepsilon_{jt} + \mu_{it} \end{aligned} \tag{3}$$

式中: τ 表示空气质量指数 AQI 一阶滞后的回归系数,反映前期相关因素对本期的影响; ρ 和 λ 分别表示空间滞后回归系数和空间误差回归系数,反映大气污染的空间溢出效应; W_{ij} 表示空间权重矩阵,反映各地区之间的空间联系,以各地级市之间直线距离作为权重,考虑空间临近但不相邻的两个城市之间也可能存在相互作用; η_i 表示地区效应, ν_t 表示时

间效应, ε_{it} 为随机扰动项,分别表示影响空气质量指数的不同维度随机干扰。为验证经济发展水平 GDP 对空气质量的影响是否存在倒“U”型关系,将进一步在模型中引进经济发展水平 GDP 的二次项进行检验。

2. 变量说明

①空气质量水平(AQI):采用空气质量指数作为代理变量,空气质量指数是定量描述空气质量状况的无量纲指数,数值越大,大气污染状况越严重。

②经济发展水平(GDP):环境库兹涅茨曲线表明环境污染和经济发展有着密切的关系,采用地区 GDP 来衡量经济发展水平,预期经济发展水平对大气污染有正向影响。

③产业结构(STR):产业结构影响空气质量,工业污染的排放集中在以制造业为主的第二产业,第二产业所占比重越大,环境压力越大,相应的空气污染就会越严重。用第二产业占 GDP 比重衡量各地区产业结构,预期产业结构对空气污染有正向影响。

④技术水平($TECH$):技术进步实是利用已有资源或引进技术进行发明创造,将绿色生产技术用于实际生产环节中减少生产环节中污染物的排放、降低对空气污染的影响,从而改善大气质量。参考刘军等^[32]的方法,采用各地区资本劳动比作为技术进步的代理变量,预期技术水平对空气污染有负向影响。

⑤人口集聚程度(DEN):人口数量对环境有直接影响,人口数量越大,大气污染物在城市局地范围内、短时间、大量集中排放,远超城市大气环境容量,空气污染越严重。由于中国地级市之间面积差异较大,直接用人口数量衡量人口对环境的影响稍不准确,用各市年人口密度衡量,预期人口密度对空气污染有显著正向影响。

⑥绿化水平(GRE):森林覆盖率对空气有直接影响,绿色植物能够有效净化空气,特别是对空气中的二氧化硫、粉尘等有较强吸收作用,对于空气质量有积极影响,森林覆盖率也反映地区整体环境状况,森林覆盖率越高、空气中的污染物越少、空气质量越好。用人均绿化面积表示绿化水平,预期绿化面积能有效改善空气质量,预期有负向影响。

⑦污染治理投入(ENV):政府环境污染治理投资有利于协调经济发展和环境污染二者之间的关系。一般来说,政府环境治理投入越多、空气质量越好,预期有负向影响。

3. 数据来源

选取中国 119 个地级地理单元 2012—2015 年变量数据作为样本,数据来自《中国城市年鉴》《中

国环境统计年鉴》以及各省市的统计年鉴和环境状况公报。各主要变量的数据特征见表 1。

表 1 主要变量指标的描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
lnAQI	476	4.3348	0.2946	3.0449	5.2933
lnGDP	476	17.0491	0.8843	14.6242	19.3419
lnSTR	476	3.8935	0.2415	2.8887	4.4768
lnTECH	476	3.6577	0.3218	2.5897	4.6224
lnDEN	476	6.0429	0.7732	3.6579	7.8816
lnGRE	476	3.7741	0.5617	2.3336	5.9539
lnENV	476	11.8011	2.9148	0	17.0896

四、实证分析

1. 空间相关性分析

采用 Moran’s I 指数进行全局空间自相关分析,其计算公式如下:

$$\text{Moran's } I = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (y_i - \bar{y}) (y_j - \bar{y}) / S^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij}}$$
 (4)

式中: y_i 为城市 i 大气污染程度; $\bar{y}$ 和 S^2 分别为城市大气污染程度平均值和方差; N 为城市总数; W_{ij} 为空间权重矩阵。Moran’s I 指数取值范围为 $(-1,1)$, 如果其值大于 0,表明大气污染程度之间具有空间正相关性。另外,采用标准统计量 Z 来检验 Moran’s I 指数的显著性水平,其计算公式为:

$$Z(\text{Moran's } I) = \frac{\text{Moran's } I - E(\text{Moran's } I)}{\sqrt{VAR}}$$

$$E(\text{Moran's } I) = -\frac{1}{n-1}$$
 (5)

根据 2012—2015 年大气污染程度,综合上述计算公式,可得历年 Moran’s I 指数及其统计检验(表 2)。

表 2 2012—2015 年城市空气质量指数的 Moran’s I 指数

指标	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
I 指数	0.0415***	0.0505***	0.0507***	0.0415***
Z 得分	3.252	3.920	3.930	3.252
P 值	0.001	0.000	0.000	0.001

注: *、**、*** 分别表示通过 10%、5%、1% 水平下的显著性检验

从表 2 可以看出,中国城市环境污染程度 Moran’s I 指数在 2012—2015 年均为正,且都通过 1% 的显著性检验,这表明城市大气污染之间存在非常显著的全局空间正相关性。而且,Moran’s I 指数在 2014 年增至最高幅度,城市之间大气污染程度的差距届时达到最大值。上述 Moran’s I 指数表明,城市环境污染具有全局空间自相关性,但这种全局空间自相关分析由于忽视空间异质性的存在,无法进一步分析地理位置的局部空间关联模式。为了能识别这种空间异质性,需要使用局部空间关联指标

LISA 进行统计性分析。

采用 LISA 集聚图分析城市空气质量的局部空间集聚模式。从 LISA 集聚图^①可以发现:2012 年,城市大气污染低值聚集区主要集中在东南地区;高值聚集区主要集中山西、京津冀和山东地区。到 2015 年,城市大气污染低值聚集区有所扩大,主要集中在四川西部和青海地区;而环境污染高值聚集区显著增多,主要集中在内蒙古、山西、河南、山东、京津冀和长三角地区,这主要是因为这些地区工业聚集水平较高,高能源消耗和高污染物排放致使大气污染较为严重。这一结果表明:一方面,随着时间推移,环境污染高值聚集区不但没有缩小,反而呈现扩大趋势,环境污染形势依然十分严峻;另一方面,大气污染与产业聚集密切相关,在产业聚集水平较高的地区,环境污染较为严重。

2. 回归结果分析

为得到稳健的结论,将分别采用固定效应(FE)、随机效应(RE)和可行的广义最小二乘法(FGLS)以及动态空间面板(Dynamic Panel)进行估计。表 3 的方程 1~4 分别为可行的广义最小二乘法(FGLS)、固定效应(FE)、随机效应(RE)和动态空间面板的估计结果。

表 3 总体回归结果分析

解释变量	方程 1 (FGLS)	方程 2 (FE)	方程 3 (RE)	方程 4 (动态空间面板)
lnGDP	0.0701*** (-3.80)	0.5252*** (3.76)	0.1195*** (4.69)	0.3451** (2.08)
(lnGDP) ²				-0.0179* (-1.72)
lnSTR	0.0688** (1.39)	0.1340 (0.84)	0.1615** (2.31)	0.0166* (1.74)
lnTECH	-0.0661** (-1.96)	-0.4470*** (-4.40)	-0.1361** (-2.59)	-0.0850** (-2.15)
lnDEN	-0.0016 (-0.010)	0.4076 (0.95)	-0.0372 (-1.35)	0.0279*** (3.79)
lnGRE	-0.0573*** (-2.73)	0.0567 (0.92)	-0.0333 (-1.10)	-0.0513** (-2.40)
lnENV	-0.0032 (-0.64)	0.0039 (0.61)	-0.0034 (-0.69)	0.0663 (1.34)
常数项	3.3784** (9.14)	-6.2309* (-1.88)	2.5581*** (5.42)	2.8682*** (4.08)
τ				0.2853** (2.42)
ρ				0.0028** (2.20)
R^2		0.0348	0.0794	
OBS	476	476	476	357

注:括号中数值为 t 值;***、**、* 分别表示变量系数通过了 1%、5%、10% 的显著性检验;OBS 表示样本观察值个数(下同)

表 3 中,方程 1、2、3 是模型(1)的回归结果。根据 Hausman 检验,P 值为 0.0000,小于 0.05,固定

①因篇幅所限,未给出图形,如读者需要,可联系作者索取。

效应优于随机效应。由于可行的广义最小二乘法 (FGLS) 在一定程度上消除了可能存在的异方差性和序列相关性,因此认为方程 1 是稳健的。但是,方程 1 和方程 4 的回归结果存在一些差异,且模型 (1) 没有考虑空间溢出效应和地理因素,而忽视大气污染的空间联动,可能会带来估计和分析的偏差。基于模型 (2) 的方程 4 不仅考虑空间溢出效应和时间因素,还引入 GDP 二次项来验证经济发展水平是否会降低空气污染。在动态空间面板模型回归结果中,空间溢出效应系数为正且通过 5% 的显著性检验,这充分说明大气污染存在显著区域间联系和空间溢出效应。与此同时,可以发现当加入一阶滞后变量后,其系数为正且通过 5% 的显著性检验,验证大气污染的连续性特征,即前一期变量对大气污染的影响必将会延续到本期以及滞后若干期。通过方程 4 可以发现,各解释变量的符号方向均与之前的预期一致,而且大多变量通过显著性检验。

①经济发展水平的一次项系数显著为正、二次项系数显著为负,这表明经济发展水平与大气污染之间存在倒“U”型曲线关系,从而验证环境库兹涅茨曲线在我国存在。当前,我国大多数地区经济发展水平还没到达门槛值,经济发展尚未越过有助于改善大气污染质量的转折点,空气污染会随着 GDP 的增加而加剧。但是,随着经济发展水平的不断提升,经济发展所带来的结构效应和技术效应会带来环境污染的逐步改善。

②产业结构对空气污染有正的影响,且通过 10% 的显著性检验,即当第二产业比重增加 1% 时,空气污染增加 0.016 6%,这表明第二产业占 GDP 比重越大,空气污染越严重。这主要是因为工业是大气污染排放的主要来源,而各地区在推动经济增长的过程中又过多依赖工业发展,从而带来空气污染的不断加剧。

③技术水平对空气污染影响为负,且通过 5% 的显著性检验,即当技术水平提高 1% 时,空气污染缓解 0.085%。这主要是因为随着技术水平的提高,企业会将绿色生产技术应用与实际生产环节,基于高效能源的利用,减少生产环节中污染物排放,降低对空气污染的影响,从而改善大气质量。

④人口聚集程度对空气污染的影响为正,跟预期一致。通常认为,人口的增加会带来更多的能源消耗,从而增加空气污染。由于人口集聚程度越高,工业化和城镇化发展越迅速,能源重化工和房地产等产业高速发展,会造成大气污染物的排放量远超城市大气环境容量。

⑤绿化水平对空气污染的影响为负,且通过

5% 的显著性检验,即当人均绿化面积增加 1% 时,空气污染降低 0.051 3%。城市绿化可以降低空气中有害气体的浓度、减少空气中的放射物质以及灰尘和细菌,从而提高空气质量,这表明各地区可以通过扩大绿化面积来降低空气污染。

⑥污染治理投入对空气污染的影响为正,但没有通过显著性检验,与预期不一致。一般来说,政府的环境污染治理投资有利于协调经济发展和环境污染二者之间的关系,政府环境治理投入越多,空气质量越好。但此次研究结果显示,目前我国各地区污染治理投入的加大并没有降低空气污染,这与贺俊等人的研究结论一致。贺俊等基于内生增长模型检验环境污染治理投入与环境污染之间的联系,结果表明,我国环境治理投资在 GDP 中的占比与环境污染之间存在倒“U”形曲线,二者比重超过 1.8% 时才能遏制环境污染加剧的情况^[22]。这表明各地区投资总量不足以制约空气质量进一步改善,需要通过加大环境治理投资额,争取早日达到拐点、降低空气污染。

五、结论与政策建议

基于 2012—2015 年 119 个地级及以上城市的面板数据,研究我国大气污染的影响因素。研究结论表明:第一,经济发展水平与大气污染之间存在环境库兹涅茨曲线,但当前我国正处于该拐点的左边,因而要加快经济发展水平,使得经济增长越过有助于改善环境质量的转折点。第二,以第二产业占 GDP 比重衡量的产业结构和不断增长的人口密度加剧我国城市大气污染,技术进步和城市绿化有利于改善城市大气污染,而城市环境治理投入对大气污染的改善作用并不显著。基于以上结论,提出以下政策建议。

①转变经济发展方式,改善产业结构。根据研究结果,我国经济发展水平正处于初级阶段,空气污染随 GDP 的上升而增加,同时第二产业占 GDP 比重越大、空气污染越严重。改革开放以来,我国一直是以重工业为主的出口导向型经济增长模式,能源消耗过大,为此,应转变经济发展方式、减小能源消耗大的重工业在国民经济中的比重,注重第二产业内部的结构优化调整。同时,大力推动第三产业发展,尤其是生产性服务业的发展。②加强城市绿化建设,优化环境治理投资结构。根据研究结果,城市绿化水平可以显著抑制空气污染,同时,政府在水污染治理方面投入越多、空气质量越佳。我国水污染治理投资占国内生产总值的比例逐年上升,但大气污染治理效果不显著。在我国城市环保投资结构

上,用于大气污染治理的专项投资较为有限。因此,在大力提升城市绿化的同时,需要扩大大气污染治理投资规模、提高环境治理投资效率。③增强能源清洁技术,提高能源利用效率。根据研究结果,技术水平对空气污染有显著负影响,绿色生产技术的提高可以显著改善城市空气质量,而且技术进步是提高空气质量的长期决定因素。为此,根治污染,必须依靠科技力量。高质量、低能耗、高效率的适用生产技术应被重点投入使用,研制和生产技术含量高、附加值高、符合大气环保要求的产品作为环境保护工程的重中之重。

参考文献:

[1] COUPÉ B E M G. Regional economic structure and environmental pollution; an application of interregional models[M]. Netherlands: Springer Science & Business Media, 1976.

[2] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Economic growth and the environment[R]. National Bureau of Economic Research, 1994.

[3] 彭水军, 包群. 经济增长与环境污染[J]. 财经问题研究, 2006, 8(8): 3-11.

[4] WANG Y, HAN R, KUBOTA J. Is there an Environmental Kuznets Curve for SO₂ emissions? A semi-parametric panel data analysis for China [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016 (54): 1182-1188.

[5] 黄滢, 刘庆, 王敏. 地方政府的环境治理决策: 基于 SO₂ 减排的面板数据分析[J]. 世界经济, 2016 (12): 166-188.

[6] 冷艳丽, 杜思正. 能源价格扭曲与雾霾污染——中国的经验证据[J]. 产业经济研究, 2016(1): 71-79.

[7] CERVERO R, WU K L. Sub-centring and commuting: evidence from the San Francisco Bay area, 1980-90[J]. Urban studies, 1998, 35(7): 1059-1076.

[8] BENTO A M, GOULDER L H, JACOBSEN M R, et al. Distributional and efficiency impacts of increased US gasoline taxes [J]. The American Economic Review, 2009, 99(3): 667-699.

[9] PADEIRO M. Transport infrastructures and employment growth in the Paris metropolitan margins[J]. Journal of Transport Geography, 2013, 31(2): 44-53.

[10] HARGREAVES A D, SWAIN M T, HEGARTY M J, et al. Restriction and recruitment—gene duplication and the origin and evolution of snake venom toxins[J]. Genome Biology and Evolution, 2014, 6(8): 2088-2095.

[11] 王兴杰, 谢高地, 岳书平. 经济增长和人口集聚对城市环境空气质量的影响及区域分异——以第一阶段实施新空气质量标准的 74 个城市为例[J]. 经济地理, 2015(2): 10-13.

[12] STIGLITZ J. Growth with exhaustible natural resources: efficient and optimal growth paths[J]. The review of economic studies, 1974(41): 123-137.

[13] LEVINSON A. Technology, international trade, and pollution from US manufacturing [J]. The American Economic Review, 2009, 99(5): 2177-2192.

[14] YIN J H, ZHENG M Z, CHEN J. The effects of environmental regulation and technical progress on CO₂ Kuznets Curve: an evidence from China [J]. Energy Policy, 2015 (77): 97-108.

[15] 于峰, 齐建国, 田晓林. 经济发展对环境质量影响的实证分析——基于 1999-2004 年间各省市的面板数据[J]. 中国工业经济, 2006 (8): 36-44.

[16] 顾为东. 中国雾霾特殊形成机理研究[J]. 宏观经济研究, 2014 (6): 3-7.

[17] 杨飞, 孙文远, 张松林. 全球价值链嵌入, 技术进步与污染排放——基于中国分行业数据的实证研究[J]. 世界经济研究, 2017 (2): 126-134.

[18] ECONOMIDES G, PHILIPPOPOULOS A. Growth enhancing policy is the means to sustain the environment [J]. Review of Economic Dynamics, 2008, 11(1): 207-219.

[19] LOPEZ R, GALINATO G I, ISLAM A. Fiscal spending and the environment: theory and empirics[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2011, 62 (2): 180-198.

[20] 关海玲, 张鹏. 财政支出, 公共产品供给与环境污染[J]. 工业技术经济, 2013 (10): 46-54.

[21] 贺俊, 刘亮亮, 张玉娟. 税收竞争, 收入分权与中国环境污染[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(4): 1-7.

[22] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Environmental impacts of a north American free trade agreement [R]. NBER Working Paper, 1991: 6833.

[23] LI K, LIN B Q. Economic growth model, structural transformation, and green productivity in China [J]. Applied Energy, 2017 (187): 489-500.

[24] 宋言奇, 傅崇兰. 城市化的生态环境效应[J]. 社会科学战线, 2005 (3): 186-188.

[25] 邓祥征, 刘纪远. 中国西部生态脆弱区产业结构调整 的污染风险分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(5): 55-62.

[26] HAO Y, LIU Y M. The influential factors of urban PM 2.5 concentrations in China: a spatial econometric analysis [J]. Journal of Cleaner Production, 2016 (112): 1443-1453.

[27] 邵帅, 李欣, 曹建华, 等. 中国雾霾污染治理的经济政策 选择——基于空间溢出效应的视角[J]. 经济研究, 2016 (9): 73-88.

[28] 张可, 汪东芳. 经济集聚与环境污染的交互影响及空间 溢出[J]. 中国工业经济, 2014 (6): 70-82.

[29] CHENG Z H. The spatial correlation and interaction between manufacturing agglomeration and environmental pollution [J]. Ecological Indicators, 2016, 61(2): 1024-1032.

[30] EHRLICH P R, HOLDREN J P. Impact of population growth[J]. Science, 1971, 171(3977): 1212.

[31] YORK R, ROSA E A, DIETZ T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. Ecological economics, 2003, 46(3): 351-365.

[32] 刘军, 徐康宁. 产业聚集, 经济增长与地区差距—— 基于中国省级面板数据的实证研究[J]. 中国软科学, 2010 (7): 91-102.

(责任编辑:高虹)