

长三角地区城市工业污染减排效应及潜力分析

姜翔程, 孙 雪

(河海大学商学院, 江苏 南京 211100)

摘要:经济快速发展的同时也带来了工业污染问题。基于 2010—2017 年长三角地区城市面板数据,通过熵值法构建工业污染综合指数评价城市工业污染程度,再利用 LMDI 乘法模型将工业污染综合指数驱动效应分解成经济规模效应、经济结构效应、治污投入强度效应和治污投入效率效应,最后计算各城市工业污染减排潜力。结果表明:长三角地区各城市工业污染综合指数存在空间分布差异,且 2010—2017 年差异正在逐步增大;经济增长和经济结构优化是促使工业污染综合指数增长的首要 and 次要因素,治污投入效率效应和治污投入强度效应分别是抑制工业污染综合指数增长的首要 and 次要因素。

关键词:工业污染综合指数;驱动效应;减排潜力;LMDI 乘法模型

中图分类号:F062.9 文献标志码:A 文章编号:1003-9511(2021)01-0047-07

进入 21 世纪,中国工业化进程持续加快,经济快速发展的同时也带来资源消耗和环境污染问题^[1]。中国主要污染物排放量位于世界前列,其中工业污染量占全国污染总量 70% 以上;2017 年《中国城市统计年鉴》显示,2017 年工业废水排放占全国废水排放总量的 16.20%、工业 SO₂ 排放占全国废气排放的 57.54%、工业烟(粉)尘排放量占全国烟(粉)尘排放总量的 62.16%。城市是工业污染的主要发源地,以江浙沪为核心的长三角地区是中国经济发展速度最快、经济总量规模最大、最具有发展潜力的经济板块,该地区工业基础雄厚,2018 年规模以上工业企业数量占全国总量的 30.15%。SO₂、烟粉尘和工业固体废物过度排放不仅会导致环境质量下降,还会成为区域经济发展的瓶颈。面对如此严峻的考验,国家全力推行工业污染治理战略。“十三五”期间,国家组织实施工业污染源全面达标排放等 25 项重点工程;国务院印发“无废城市”建设设点,旨在源头减少废物排放和资源化利用。

近年来,国内外诸多学者关注环境污染减排与潜力研究。在环境污染减排方面,Antweiler 等^[2]实证检验经济结构效应对全球 SO₂ 排放产生影响;Clive 等^[3]通过分解研究人口效应、经济增长效应和能源输出强度对燃料燃烧产生的污染物排放量变化

影响;Wang 等^[4]采用 DDF 模型分析方法,对我国工业 CO₂ 排放效率进行测度,研究 CO₂ 排放性能;王勇等^[5]用完全分解法考察工业废气和工业废水效应的变化发现,工业结构效应对污染减排影响较小,绿色转型才能大幅度推动污染减排;施本植等^[6]从分权视角下发现我国工业污染治理效率呈现“东 > 西 > 中”基本格局,且效率逐年增长;彭文斌等^[7]对中国工业行业污染物排放量变化采用完全分解模型分解,结果表明经济规模效应、经济空间结构和排放强度 3 种效应叠加使污染排放量产生一定波动;吴凤平等^[8]等采用规模方向距离函数对江苏省 13 个地级市工业废水排放绩效进行测算。

在减排潜力研究方面,Kimitaka 等^[9]研究降低污染是否能够提高企业经济业绩,结果表明降低污染排放的企业通过增加产品需求和技术要求提升企业经济业绩;金桂荣等^[10]通过研究中小企业节能减排效率区域性差异发现,中小企业存在着较严重的投入冗余现象,技术、管理等因素对中小企业节能减排效率影响比较显著;张雪莹等^[11]建立 IRPAEM 模型,实证显示我国目前排污量仍较大,当前实现污染物及废水总量减排的主要途径是强化末端治理;李健等^[12]基于改进后的 SDDF 模型,对中国省区 CO₂ 排放效率及减排潜力进行研究;王瑞等^[13]应用 SFA

基金项目:国家社会科学基金重大项目(19ZDA084);教育部人文社科规划基金(10YJA790080)

作者简介:姜翔程(1968—),男,副教授,博士,主要从事金融工程与投资管理研究。E-mail: xcjiang@hhu.edu.cn

共同前沿两步回归方程计算环境效率与减排潜力,发现改善环境效率可以降低总量减排。

作为中国第一大经济区,长三角地区 2018 年的地区生产总值高达 211 479.24 亿元,占国内生产总值的 23%。研究长三角地区城市工业污染减排效应与减排潜力,可为我国“无废城市”推行提供参考。因此,选取长三角地区作为实证研究对象具有重要的现实意义。此外,现有文献对污染减排研究多是在省级层面或是个别城市,较少涉及长三角地区地级市对比研究;只涉及简单因素分解,缺少对某些重点影响因素的深入分析;通常选择工业“三废”中不同指标作为工业污染指标,鲜少研究将“三废”合成一个综合因子作为工业污染指标。基于此,以长三角地区各城市 2010—2017 年面板数据为主要数据来源,通过熵值法合成工业污染综合指数,以工业污染物排放量为研究对象,将工业污染物排放量影响因素分解为经济规模影响因素、结构影响因素、治污投入强度影响因素和治污投入效率影响因素 4 个因素,运用 LMDI 方法分别计算这 4 个影响因素对工业污染物排放量贡献率,分析这 4 个因素对工业污染的作用方向和强度。与此同时,针对工业污染物排放效应,运用工业污染减排潜力模型定量分析长三角地区城市工业污染减排潜力,这对提升长三角地区城市工业污染减排能力具有一定的理论和现实意义。

1 研究方法

1.1 构建工业污染排放指标的构建

在构建工业污染综合指数来评价城市工业污染程度的过程中,由于熵值法是根据各项指标值变异程度来确定指标权重,可以避免人为因素带来的偏差^[14],所以采用熵值法可较好地确定指标权重。工业污染物主要分为大气污染、水污染和固体废弃物污染,《2019 年全国大、中城市固体废物污染环境防治年报》显示,2018 年 200 个大、中城市一般工业固体废物产生量为 15.5 亿 t,综合利用量 8.6 亿 t,直接倾倒丢弃量低于 0.1%;2017 年《环境统计年鉴》工业固体废物综合利用率统计表明,长三角地区城市平均利用率达 93.04%,固体废物污染环境防治工作取得成效。本研究工业污染综合指数只对工业废水、工业 SO₂ 及工业烟(粉)尘进行标准化处理,获得各指标熵值、冗余度和权重^[15],然后计算 2010—2017 年的指标权重平均值得到工业废水、工业 SO₂ 及工业烟(粉)尘的权重分别为 0.36、0.32 和 0.32,通过加权求和法得到各城市工业污染综合指数 P_i ,计算公式如下:

$$P_i = \sum_j T_{ij} W_{ij} \quad (1)$$

式中: P_i 为城市 i 的工业污染综合指数; T_{ij} 为城市 i 的指标 j 下不同方案占该指标比重; W_{ij} 为 T_{ij} 的权重; P_i 值越大则代表 i 城市的工业污染越严重。

1.2 核密度估计

核密度估计是一种非参数估计方法,无须对总体分布形式做出假定,而从数据本身获得所需信息。该方法是基于给定核函数来推算样本的密度函数,从而找出其分布状态。给定一个样本数据 x_1, x_2, \dots, x_n ,假定 $f(x)$ 为随机变量 X 的密度函数,处于 x 的概率密度为:

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{x_i - x}{h}\right) \quad (2)$$

式中: N 为观测值个数; $K(\cdot)$ 为核函数,通常取对称的单峰概率密度函数; x_i 为观测值; x 为观测值的均值; h 表示带宽,决定了核密度曲线的光滑程度和估计精度,带宽越小,曲线越不光滑,估计精度越高。带宽 h 的最佳值公式涉及未知密度函数,因此不能直接用于密度函数估计,Silverman^[16] 推导出 Gaussian 函数、Epanechnikov 核函数、Biweight 核函数所对应最优带宽 h_0 分别为 $1.06s_x n^{-1/5}$ 、 $2.34s_x n^{-1/5}$ 和 $2.78s_x n^{-1/5}$,其中 s_x 为样本标准差。在给定样本数比较大时,核函数的选择对估计结果影响不大,根据一般经验,选择常用的高斯函数作为核函数,带宽采用 $h_0 = 1.06s_x n^{-1/5}$ 。核密度函数没有确定的函数表达式,通过观察核密度估计结果得到的图形来了解工业污染综合指数分布的位置、形态等,分析工业污染综合指数分布演化。

1.3 指数分解法

工业污染是经济发展的副产品,经济不断发展驱使污染物排放不断增加,由经济增长导致的工业污染物排放增长称为规模效应;不同产业产生的工业污染物排放量不同,经济总量向高技术水平产业转移有利于污染物减少,这种由于产业结构变动对工业污染排放量产生的影响称为经济结构效应;不同地区治理工业污染投入成本大小差异对于降低工业污染排放量也存在着影响,治理投入成本高,相应工业污染治理效果比较好,该效应称为工业污染治理投入强度效应;由于技术水平存在差异,投入相同治理成本,对于工业污染排放量影响也不尽相同,由于技术水平差异带来的工业污染物排放量变化称为工业污染治理投入效率效应。采用指数分解法对工业污染综合指数驱动效应进行分解。

指数分解法把一个目标变量分解成若干影响因素组合,以此来计算各影响因素贡献,被广泛应用于

环境领域。指数分解法主要有拉氏指数分解法和迪氏指数分解法,因迪氏指数分解法分解更加完全,不存在残差项,应用更为广泛,其中对数平均迪氏指数法(LMDI)既能完全分解余量,又能解决零值问题,因此选择基于LMDI的乘法分解模型。

将城市*i*工业污染综合指数 P_i 的变化看作经济规模(以年工业产值 Q_i 表示)、经济结构(城市*i*工业产值占工业生产总值比重)、工业污染治理投入强度(城市治理污染投入成本占工业产值比重)和工业污染治理投入效率(工业污染排放量与城市治理污染投入的成本比值)4种因素共同作用的结果,即工业污染综合指数的变化可以表示为

$$P = \sum_i P_i = \sum_i Q \frac{Q_i}{Q} \frac{M_i}{Q_i} \frac{P_i}{M_i} \quad (3)$$

式中: P 为工业污染综合指数; Q 为工业生产总产值; M 为工业固定资产投资。记 $S_i = Q_i/Q$ 为经济结构影响因素,表示*i*城市工业产值占总产值的比重; $I_i = M_i/Q_i$ 为工业污染治理投入强度; $E_i = P_i/M_i$ 为单位工业污染排放所耗费的治理成本。假设时间从0变化到*T*,则:

$$D_{tot} = \frac{P^T}{P^0} = \frac{\sum_i Q^T \frac{Q_i^T}{Q^T} \frac{M_i^T}{Q_i^T} \frac{P_i^T}{M_i^T}}{\sum_i Q^0 \frac{Q_i^0}{Q^0} \frac{M_i^0}{Q_i^0} \frac{P_i^0}{M_i^0}} = \frac{\sum_i Q_i^T S_i^T I_i^T E_i^T}{\sum_i Q_i^0 S_i^0 I_i^0 E_i^0} \quad (4)$$

其中:

$$D_{act} = \exp \left[\sum_i \frac{L(P_i^T, P_i^0)}{L(P^T, P^0)} \ln \left(\frac{Q_i^T}{Q_i^0} \right) \right] \quad (5)$$

$$D_{str} = \exp \left[\sum_i \frac{L(P_i^T, P_i^0)}{L(P^T, P^0)} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \right] \quad (6)$$

$$D_{int} = \exp \left[\sum_i \frac{L(P_i^T, P_i^0)}{L(P^T, P^0)} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \right] \quad (7)$$

$$D_{eff} = \exp \left[\sum_i \frac{L(P_i^T, P_i^0)}{L(P^T, P^0)} \ln \left(\frac{E_i^T}{E_i^0} \right) \right] \quad (8)$$

式中: $L(a, b) = (a - b) / (\ln a - \ln b)$; D_{tot} 为工业污染综合指数变化率; D_{act} 为经济规模效应,表示经济增长引起的工业污染综合指数变动; D_{str} 为结构效应,表示经济结构变动引起的工业污染综合指数变化量; D_{int} 为治污投入强度效应,表示治理污染投入成本变动对工业污染综合指数影响; D_{eff} 为治污投入效率效应,表示治污投入结构变动引起的工业污染综合指数变化,四者效应变化量乘积正好等于工业污染综合指数变化量。若某个分解效应贡献率大于1,则表示该效应对工业污染综合指数变动有推进作用;若贡献率小于1,表明该效用对工业污染综合指数有抑制作用。

1.4 工业污染减排潜力分析

定义城市*i*工业污染排放强度为

$$\eta_i = \frac{P_i}{Q_i} = \frac{\sum_j T_{ij} W_{ij}}{Q_i} \quad (9)$$

由于各城市之间存在着排放强度差异,在当前经济技术发展水平下,降低工业污染排放的最大潜力为

$$R_d = 1 - \frac{\eta_{\min}}{\eta_d} \quad (10)$$

各城市减排潜力为

$$R_i = 1 - \frac{\eta_{\min}}{\eta_i} \quad (11)$$

式中: η_{\min} 为城市工业污染排放强度 η_i 中的最小值; η_d 为平均城市工业污染排放强度。定义 $C_{ij} = R_i N_{ij}$ 为地区工业污染排放减排空间, N_{ij} 为*i*城市*j*工业污染物排放量,则 C_{ij} 为该城市*j*工业污染物减排潜力的绝对数量。

2 实证研究

2.1 数据来源与处理

以长三角地区三省一市所有41个城市作为基本研究对象,城市工业废水、工业SO₂和工业烟(粉)尘排放量数据来自2010—2018年《中国城市统计年鉴》,工业生产总产值、固定资产投资等数据来源于各省市统计年鉴,研究对象共计41个。

考虑时间变化与价格波动影响,将2010—2017年当年价格计算的各城市工业生产总产值修正为2010年不变价格工业生产总产值。鉴于数据可获得性以及根据现有数据观察发现,第二产业固定资产投资中工业固定资产投资占相当大比例,所以采用城市第二产业固定资产投资作为城市工业固定资产投资变量。为了消除价格因素对城市工业固定资产投资影响,城市工业固定资产投资按2010年不变价格进行调整。

2.2 长三角地区城市工业污染综合指数时空变化特征

长三角地区城市工业污染综合指数(图1)总体呈现先降后升趋势,工业污染综合指数从0.333下降至0.328,降幅为1.40%。分时段来看:从2010—2014年呈下降趋势,降幅为4.42%,主要是2010年国家提出“调整产业结构,发展低碳经济”政策,明确规定污染物排放硬指标,同时开展环境税征收试点工作,一系列措施使得2010—2014年的工业污染综合指数不断下降;2014—2017年工业污染综合指数整体上升,这是因为2014年首次将雾霾天气纳入2013年自然灾情进行通报,将原本未统计的细颗粒物也纳入烟(粉)尘排放量指标,致使工业污染综合

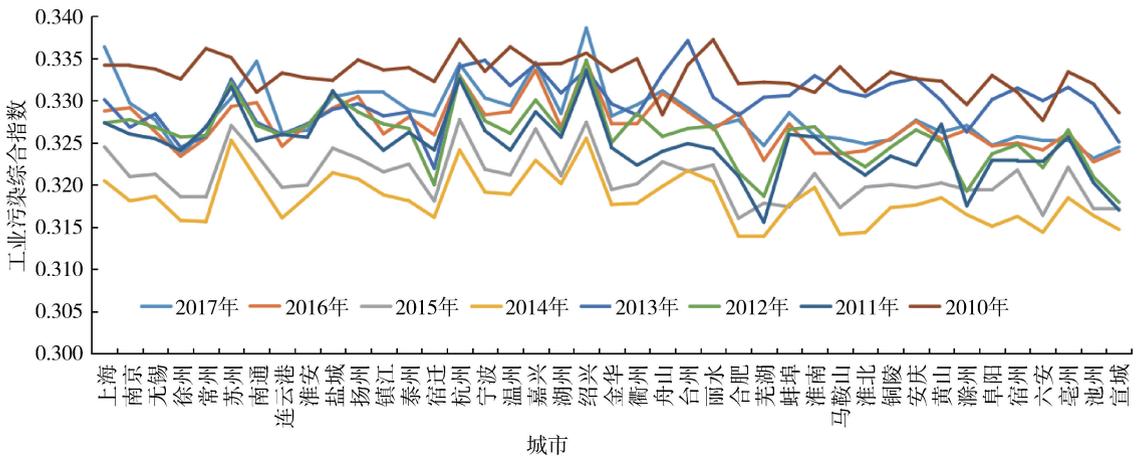


图1 2010—2017年长三角地区城市工业污染综合指数变化趋势

指数上升。从变化幅度上看:苏州、杭州、绍兴、丽水工业污染综合指数变化较大,其中,绍兴变化幅度最大,2017年工业污染综合指数值达到近8年来的最大值。究其原因,这是由于绍兴主要工业产业为非金属矿物制品业、化学纤维制造业等,且工业生产结构单一,高污染、高耗水工业占比高;苏州虽制造业中新兴产业在不断发展,但传统制造业如普通机械制造业、化学原料及化学制品制造业等仍占较大比重,且2018年占比46.7%,占比较大比重的高污染工业使得苏州工业污染综合指数也高于其他城市。

2.3 长三角地区城市工业污染演化特点

图2是2011—2017年长三角城市工业污染综合指数核密度曲线,采用2011、2015、2016、2017共4年的数据。分布图中横轴表示工业污染综合指数,纵轴表示核密度值。2011—2017年工业污染综合指数呈单峰分布,总体态势不变。就核密度曲线的位置和平移来看,2017年相对2011年峰值下降,曲线平缓,整体稍呈左移的趋势,说明这期间工业污染综合指数整体呈下降趋势,长三角地区城市工业污

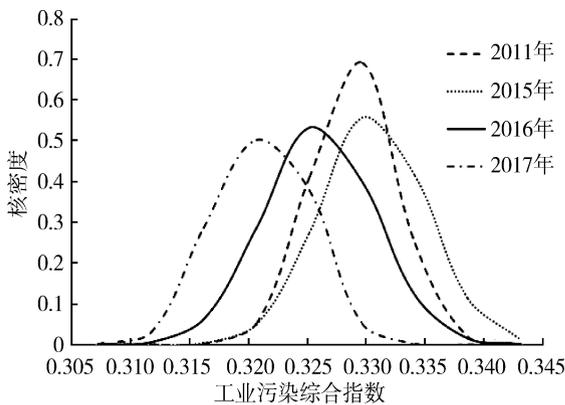


图2 2011、2015、2016、2017年长三角城市工业污染综合指数核密度估计分布

染综合指数下降,各城市工业污染治理水平上升。从分布延展性来看,从2011—2017年长三角地区城市工业污染综合指数两尾之间的绝对距离在逐步增大,城市之间工业污染水平差距在加大。

2.4 长三角地区各城市工业污染综合指数变化效应分解分析

根据公式(4)~(7)分别计算经济、结构、投入强度、投入效率对工业污染综合指数贡献,表1是2017年相对2011年的各效应对工业污染综合指数变化贡献值。

首先对长三角地区城市工业污染综合指数变化驱动因素进行分析,从表1看出经济效应、结构效应大于1,治污投入强度效应、治污投入效率效应小于1,经济增长对工业污染综合指数施加正向影响,是导致工业污染排放量增加的主要因素,长三角地区城市年度平均经济效应为1.0103,即经济规模每年促进工业污染综合指数增长1.03%。经济结构变动对工业污染亦起到正向作用,长三角地区年度平均经济结构效应增值为0.01%,对工业污染综合指数作用比较小。对工业污染综合指数起抑制作用比较大的是治污投入效率效应,工业污染治理投入效率对于工业污染综合指数每年平均抑制值为2.07%。治污投入强度对工业污染综合指数亦具有抑制作用,长三角地区城市每年平均治污投入强度抑制值为0.03%。

为了更清楚地反映各效应在2011—2017年对长三角地区城市工业污染综合指数的动态影响,将2011年设为基年,计算得到各效应对工业污染综合指数变化影响。其中,经济规模效应和治污投入效率效应对工业污染综合指数影响是比较显著,经济效应和投入效率效应对长三角地区各城市工业污染综合指数累计贡献作用如图3和图4所示。

表1 长三角地区城市工业污染综合指数变化效应分解

省市	城市	D_{act}	D_{str}	D_{int}	D_{eff}	D_{tot}
上海	上海	1.0115	0.9738	0.9507	1.0067	0.9426
	南京	1.0229	1.0031	0.9699	0.9864	0.9817
	无锡	1.0141	0.9937	0.9979	0.9761	0.9816
	徐州	1.0109	1.0017	1.0078	0.9626	0.9823
	常州	1.0139	1.0015	1.0074	0.9690	0.9911
	苏州	1.0407	0.9865	0.9697	0.9282	0.9240
	南通	1.0176	1.0030	1.0026	0.9672	0.9898
	连云港	1.0085	1.0029	1.0004	0.9854	0.9970
	淮安	1.0096	1.0030	1.0052	0.9708	0.9881
	盐城	1.0201	1.0052	0.9999	0.9594	0.9837
江苏	扬州	1.0106	1.0027	1.0086	0.9752	0.9967
	镇江	1.0084	1.0006	0.9979	0.9809	0.9877
	泰州	1.0084	1.0019	1.0041	0.9715	0.9855
	宿迁	1.0081	1.0033	1.0003	0.9924	1.0040
	杭州	1.0229	0.9911	0.9900	0.9391	0.9426
	宁波	1.0163	1.0005	1.0092	0.9634	0.9887
	温州	1.0019	0.9963	1.0124	0.9776	0.9879
	嘉兴	1.0203	1.0008	1.0052	0.9694	0.9950
	湖州	1.0078	0.9988	1.0023	0.9829	0.9918
	绍兴	1.0157	0.9908	1.0176	0.9526	0.9755
浙江	金华	1.0045	0.9973	1.0044	0.9830	0.9891
	衢州	1.0714	1.0592	0.9398	0.9885	1.0542
	舟山	1.0006	0.9989	1.0033	0.9940	0.9968
	台州	1.0049	0.9974	1.0116	0.9780	0.9917
	丽水	1.0029	0.9979	1.0048	0.9820	0.9875
	合肥	1.0069	1.0016	1.0011	0.9882	0.9977
	淮北	1.0019	0.9995	1.0016	0.9935	0.9964
	亳州	1.0030	1.0007	1.0024	0.9917	0.9978
	宿州	1.0042	1.0005	1.0081	0.9770	0.9896
	蚌埠	1.0039	1.0012	1.0021	0.9884	0.9955
安徽	阜阳	1.0037	1.0013	1.0004	0.9938	0.9991
	淮南	0.9995	0.9917	1.0162	0.9724	0.9795
	滁州	1.0062	1.0019	1.0034	0.9854	0.9968
	六安	1.0014	0.9995	1.0007	0.9926	0.9941
	马鞍山	1.0038	0.9969	1.0110	0.9885	1.0001
	芜湖	1.0034	0.9997	1.0051	0.9926	1.0008
	宣城	1.0039	1.0007	1.0028	0.9864	0.9938
	铜陵	1.0047	1.0004	1.0091	0.9830	0.9969
	池州	1.0015	1.0001	1.0027	0.9930	0.9973
	安庆	1.0018	0.9980	1.0046	0.9887	0.9929
黄山	1.0004	0.9998	0.9999	0.9989	0.9990	
综合		1.0103	1.0001	0.9997	0.9793	0.9892

经济规模效应是促进工业污染综合指数增加的主要因素。从图3可以看出,从2011年起,经济规模对各个城市工业污染作用是增加的,苏州经济规模对工业污染综合指数作用尤为明显,2017年累计增长贡献值为4.07%,这与苏州实际情况是相符的,工业高速发展为其带来了高工业污染综合指数后果。南京、盐城,这与经济发展状况也是相符合的;杭州和嘉兴两个城市的经济规模效应对于工业污染综合指数影响也是不断增长地;而安徽省内城市经济规模效应随年份的累计贡献比较平缓。

治污投入效率效应对于工业污染综合指数增长

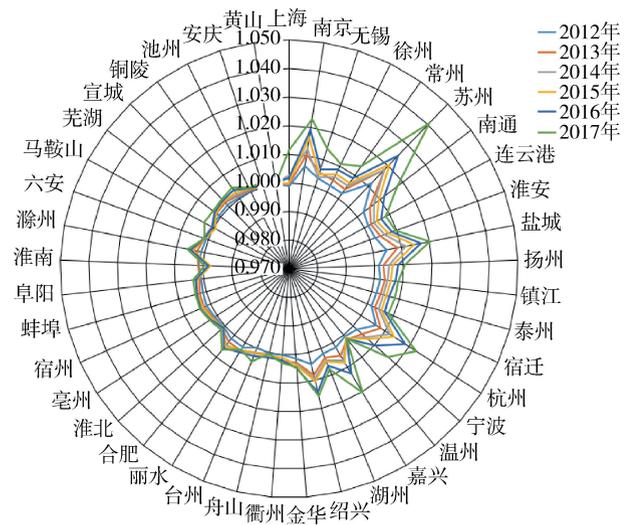


图3 长三角城市2011—2017年经济规模效应累计贡献

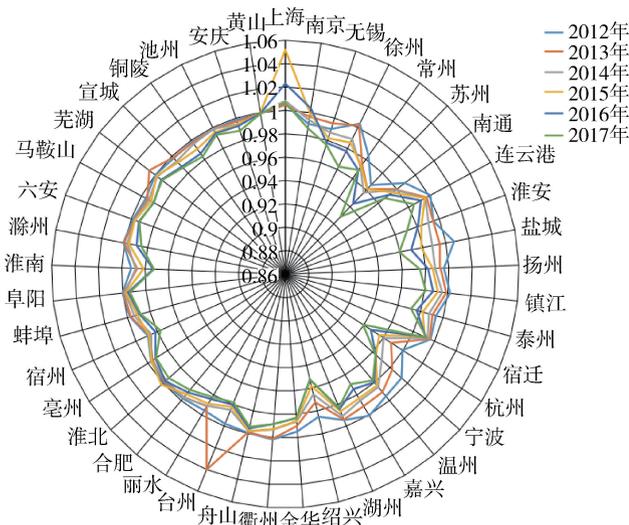


图4 长三角城市2011—2017年治污投入效率效应累计贡献

存在抑制作用。从图4来看,随着年份的增长,长三角地区城市治污投入效率也在逐渐增长,苏州在保持经济快速增长同时,工业污染治理投入效率效应也在不断增加,2012—2017年累计抑制为7.18%;杭州治污投入效率对工业污染抑制也是不断优化的,2017年累计抑制5.74%;上海治污投入效率效应从2012年起也是在不断加强,但是工业污染治理投入效率效应的作用不显著。

2.5 长三角地区城市工业污染减排潜力测算与分析

将原始数据代入工业污染减排潜力测算公式,得到表2所示的长三角地区各城市减排潜力、减排潜力排名以及工业污染减排空间。其中,徐州工业污染排放强度最小,各工业污染物减排空间均为0,是当前情况下工业污染排放结构最优,不存在减排

表2 长三角地区各城市工业污染减排潜力

省市	城市	减排潜力	排名	减排空间		
				工业废水/ 万t	工业 SO ₂ /t	工业烟(粉) 尘/t
上海	上海	0.62	23	19731.56	7902.99	18904.47
	南京	0.65	20	10268.35	10076.18	26297.04
	无锡	0.69	17	14354.11	34639.66	39894.24
	徐州	0.00	41	0.00	0.00	0.00
	常州	0.70	15	9336.97	19751.75	38509.14
	苏州	0.75	9	31637.97	62998.24	35605.04
	南通	0.68	18	9075.10	9852.85	5307.84
	江苏	连云港	0.72	12	3506.77	13103.50
淮安		0.55	30	2013.55	9962.96	3942.51
盐城		0.75	8	8257.89	14394.83	10914.70
扬州		0.55	28	3716.60	6136.07	4244.34
镇江		0.54	31	3020.75	4857.94	3686.81
泰州		0.40	36	1836.18	4682.74	2687.95
宿迁		0.73	11	4136.50	9978.24	9046.58
浙江		杭州	0.77	7	18954.42	20450.15
	宁波	0.55	29	7900.44	13984.32	10800.81
	温州	0.42	34	1791.98	5013.67	1507.73
	嘉兴	0.85	4	16714.26	19108.32	9295.32
	湖州	0.82	5	6975.99	18215.82	12386.30
	绍兴	0.88	1	22036.82	14152.39	8388.36
	金华	0.69	16	4432.27	10340.81	10424.56
	衢州	0.35	38	3764.54	6682.52	6929.53
安徽	舟山	0.67	19	833.72	1111.18	1177.88
	台州	0.54	32	2746.39	5872.18	4707.17
	丽水	0.81	6	2430.86	7665.30	7385.35
	合肥	0.11	40	493.67	1054.94	1529.60
	淮北	0.60	25	1043.56	7171.38	5426.27
	亳州	0.74	10	1426.23	11759.38	2315.59
	宿州	0.72	14	1602.47	9026.29	4832.42
	蚌埠	0.52	33	893.36	1892.46	1973.20
安徽	阜阳	0.63	22	1357.19	12514.75	4800.80
	淮南	0.88	2	4387.17	25764.09	11045.27
	滁州	0.57	27	1349.75	3715.24	4481.05
	六安	0.17	39	115.23	438.07	776.04
	马鞍山	0.86	3	7389.26	14795.69	58730.87
	芜湖	0.42	35	1493.65	8876.25	11317.90
	宣城	0.57	26	927.49	6293.77	7311.72
	铜陵	0.72	13	2285.94	8243.74	15176.31
安徽	池州	0.36	37	176.66	2694.99	5174.42
	安庆	0.61	24	1631.62	4013.69	4522.38
	黄山	0.64	21	451.26	1861.77	1488.52

空间。2011—2017年长三角地区工业污染减排潜力整体出现下滑趋势。就城市而言,绍兴减排潜力最大,工业废水减排空间为22036.82万t、工业SO₂减排潜力为14152.39t、工业烟(粉)尘减排空间为8388.36t,绍兴在经济发展过程中工业污染减排工作应该及时跟进,具有巨大的改进潜力。其次是淮南,工业废水减排空间为4387.17万t、工业SO₂减排空间为25764.09t、工业烟(粉)尘减排空间为11045.27t。从减排潜力排名上来看,苏州、杭州、上海、无锡的减排潜力不是很靠前,但是工业污染排放基数大,苏州工业废水减排空间为31637万t、工

业SO₂减排空间为62998.24t、工业烟(粉)尘减排空间为35605.04t,减排潜力巨大。长三角地区总体工业废水减排空间为236498.48万t,工业SO₂减排空间为451051.11t,工业烟(粉)尘减排空间为439331.06t,在节能减排上还有很大提升空间。

3 结论和建议

3.1 结论

利用LMDI乘法模型和减排潜力模型对长三角地区城市2010—2017年工业污染综合指数进行研究,对研究期间工业污染综合指数时空分布和分布动态趋势进行分析,得到各城市工业污染减排潜力,并进行排序和计算减排空间。结论如下:

a. 研究期间,长三角地区各城市工业污染综合指数有所下降,平均从0.333下降至0.328,降幅为1.40%。从空间分布和动态演变来看,长三角地区各城市工业污染综合指数空间分布上存在差异,且2010—2017年差异正在逐步增大。

b. 将工业污染综合指数驱动效应分解成经济效应、经济结构效应、治污投入强度效应、治污投入效率效应。经济增长和经济结构优化是促使工业污染综合指数提升的首要 and 次要因素,治污投入效率效应和治污投入强度效应是抑制工业污染综合指数增长的首要 and 次要因素。由于治污投入效率和强度增加对工业污染综合指数的促减作用大于经济增长带来的工业污染综合指数增长,最终导致工业污染综合指数下降。

c. 在减排潜力方面,2011—2017年长三角地区工业污染减排潜力整体呈现下滑趋势,但是长三角地区总体工业废水减排空间为236498.48万t,工业SO₂减排空间为451051.11t,工业烟(粉)尘减排空间为439331.06t,在节能减排上还有较大的提升空间。

3.2 建议

工业污染是影响社会进步与可持续发展的热点问题,为了避免工业污染给环境带来不可逆转的结果,我国应当高度关注工业污染问题,具体建议如下:

a. 长三角地区各城市工业污染综合指数存在空间分布上差异,且差异正在逐步增大,其主导因素也存在明显差异,在制定工业污染治理政策时需要采取差异化策略。如苏州经济快速发展带来工业污染加重,治污投入效率虽在逐步增强,但是治污投入强度作用不明显,所以苏州在工业污染减排方面还有很大的空间。另外,工业污染存在空间溢出效应,所以在环境治理时要加强区域合作,联防联控才能遏制污染外溢。

b. 解决工业污染的根本举措是降低工业污染排放,长三角地区城市工业污染减排空间很大,所以促进产业结构升级,淘汰落后及产能过剩产业是当前工业污染治理的首要任务。同时,环境规制可以大幅度降低污染物排放,有力地推进产业结构省级和落后产能淘汰,严格的环境规制可以倒逼企业进行技术创新,提升治污水平。

参考文献:

- [1] 董纪新,曹曦文. 江苏省水污染、环境规制与高质量发展[J]. 水利经济,2020,38(3):7-12.
- [2] ANTWEILER W, COPELAND B R., TAYLOR M S. Is free trade good for the environment? [J]. American Economic Review,2001(91):877-908.
- [3] CLIVE H, HAL T. Determinants of emissions growth in OECD countries[J]. Energy Policy,2001,30(3):63-71.
- [4] WANG Q W, ZHOU P, SHEN N, et al. Measuring carbon dioxide emission performance in Chinese provinces: a parametric approach [J]. Renewable and Sustainable Energy review,2013(21):324-330.
- [5] 王勇,刘厚莲. 中国工业绿色转型的减排效应及污染治理投入的影响[J]. 经济评论,2015(4):85-91.
- [6] 施本植,汤海滨. 中国式分权视角下我国工业污染治理效率及其影响因素研究[J]. 工业技术经济,2019,38(5):152-160.
- [7] 彭文斌,程芳芳. 中国区域污染减排效应与潜力研究

[J]. 湖南社会科学,2016(5):111-114.

- [8] 吴凤平,梁蔓琪. 用水总量控制下江苏省工业废水排放绩效及减排潜力研究[J]. 中国人口·资源与环境,2018,28(8):79-86.
- [9] KIMITAKA N, SHINJI K, HIDEMICHI F, et al. Effects of the reduction of pollution emissions on the economic performance of firms: an empirical analysis focusing on demand and productivity[J]. Journal of Cleaner Production,2011(17):1956-1964.
- [10] 金桂荣,张丽. 中小企业节能减排效率及影响因素研究[J]. 中国软科学,2014(1):126-133.
- [11] 张雪莹,温宗国. 基于污染防治技术模拟的造纸行业环境管理方法研究[J]. 环境科学,2014,35(11):4395-4403.
- [12] 李健,邓传霞. 基于 SDDF 的中国省区二氧化碳排放效率及减排潜力测度[J]. 软科学,2015,29(3):70-73.
- [13] 王瑞,诸大建. 中国环境效率及污染物减排潜力研究[J]. 中国人口·资源与环境,2018,28(6):149-159.
- [14] 艾亚迪,魏传江,马真臻. 基于 AHP-熵权法的西安市水资源开发利用程度评价[J]. 水利水电科技进展,2020,40(2):11-16.
- [15] 王栋,梁忠民,常文娟,等. 基于模糊集对分析的引江济太调水效益综合评价[J]. 水资源保护,2017,33(1):35-40.
- [16] SILVERMAN B W, Density estimation for statistical and data analysis[M]. London: Chapman and Hall,1986.

(收稿日期:2020-03-10 编辑:高虹)

(上接第39页)

参考文献:

- [1] 曹士圻,胡庆芳,蒋思佳,等. 1995—2016年深圳市用水量变化与节水潜力分析[J]. 水资源保护,2019,35(6):76-81.
- [2] 朱启林,申碧峰,孙静. 世界城市居民生活水价概况及其对我国大、中型城市水价改革的启示[J]. 价格月刊,2015(12):42-45.
- [3] IWA. International Statistics for Water Services, 2018 [EB/OL]. (2018-10-20) [2019-09-27]. <https://iwa-network.org/news/international-statistics-for-water-services-2018/>.
- [4] 董石桃,蒋鸽. 英国水价管理制度的运行及其启示:基于泰晤士水务的分析[J]. 价格理论与实践,2016(12):86-89.
- [5] 朱启林. 北京与世界城市居民生活水价的比较分析[J]. 北京水务,2011(6):26-29.
- [6] 张璐琴,黄睿. 典型国家城市供水价格体系的国际比较及启示[J]. 价格理论与实践,2015(2):65-68.
- [7] 曹瑜,于翠松. 国内外水价比较研究[J]. 节水灌溉,2010(7):81-84.
- [8] PUB. Water Price,2018[EB/OL]. (2018-11-15) [2019-09-

27]. <https://www.pub.gov.sg/watersupply/waterprice>.

- [9] 陈剑,陆俊肖,王西琴,等. 我国东中西部城镇居民水费支出现状分析[J]. 中国物价,2017(8):29-31.
- [10] 张德震,陈西庆. 我国水价的变化过程及其区域特征的研究[J]. 地理科学,2002(4):483-488.
- [11] 张宏霞,田辉,吉亚辉. 兰州市部分地区居民用水状况的调查报告[J]. 甘肃省经济管理干部学院学报,2006(3):37-39.
- [12] 杜勇,申碧峰,孙静,等. 北京市居民生活水价支付意愿及影响因素研究[J]. 水利经济,2016,34(4):39-41.
- [13] 朱彩飞. 居民可承受能力与居民水价定价:国外水价管制的实践、经验与启示[J]. 西部论坛,2013,23(3):35-41.
- [14] 郭杰,丁阳璐. 我国城市居民用水价格的可承受能力问题分析[J]. 中央财经大学学报,2005(6):63-66.
- [15] 韦慧. 居民水价承受能力和福利影响研究[J]. 广东化工,2016,43(20):36-37.
- [16] 杨明云,周明,肖魁,等. 鄂北地区水资源配置工程水价承受能力分析[J]. 水利水电技术,2016,47(7):53-56.
- [17] 朱颂梅. 基于居民承受能力的全成本水价形成机制[J]. 价格月刊,2013(10):14-16.
- [18] 陈献,张瑞美,郭利君,等. 关于落实“节水优先”方针的问题与建议[J]. 水利经济,2020,38(5):45-49.

(收稿日期:2020-01-21 编辑:罗丹)