

DOI:10.15918/j.jbitss1009-3370.2017.0341

区域大气污染排放效率:变化趋势、地区差距与影响因素 ——基于长江经济带11省市的面板数据

汪克亮¹, 刘蕾¹, 孟祥瑞¹, 杨宝臣²

(1.安徽理工大学 经济与管理学院, 安徽 淮南 232001; 2.天津大学 管理与经济学部, 天津 300072)

摘要: 基于全要素生产理论,运用非径向加权 Russell 方向性距离函数测算 2007—2014 年长江经济带 11 个省市的大气污染排放效率,分析效率的变化趋势并对其进行分解,通过泰尔指数方法诠释长江经济带大气污染排放效率地区差距的形成原因,利用系统广义矩(GMM)估计方法分析长江经济带大气污染排放效率的影响机制。结果表明:研究期内长江经济带大气污染排放效率较低且维持了下降趋势,大气污染减排潜力巨大;长江上游、中游与下游三大地区之间差距和长江上游地区内部差距是长江经济带大气污染排放效率地区差距的主要成因;在长江经济带大气污染排放无效率中,烟粉尘贡献率最高,其次为 SO₂,氮氧化物贡献率最低;经济增长、提升第三产业比重、增加 R&D 投入强度、改善能源消费结构、提高对外开放水平对于长江经济带大气污染排放效率的提升均有明显促进作用。

关键词: 大气污染排放效率; 非径向加权 Russell DDF; 泰尔指数; 系统广义矩估计

中图分类号: F061

文献标识码: A

文章编号: 1009-3370(2017)06-0038-11

一、问题的提出

作为中国经济增长最具潜力的长江经济带在中国经济社会发展中具有无可比拟的战略地位。它横跨中国东、中、西三大区域,包括 9 省 2 市,是中国国土开发和经济布局“T 形”空间结构战略极其重要的一级发展轴,具有独特的区位优势 and 巨大的发展潜力,对中国经济发展有着举足轻重的作用。国务院在 2014 年 9 月 25 日发布的《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》中提出将依托黄金水道推动长江经济带发展,从而正式将长江经济带建设上升为国家战略。改革开放以来,长江经济带以明显高于全国平均水平的 GDP 增速有力支撑了中国社会经济的快速发展,其经济总量和人口规模几乎占到中国的一半。然而,长期以来以要素数量扩张为主的粗放型经济增长积重难返,随之而来的是严重环境污染问题。当前长江经济带开发与生态安全保护之间的矛盾十分尖锐,环境保护面临巨大挑战。由于经济集约化程度不高、产业布局不合理、产业结构层次偏低,导致整个长江经济带正面临严峻的水环境与大气环境危机。本文将聚焦于长江经济带的大气环境污染问题。由于长江沿江重化工业林立,这些高消耗、高污染的化工企业在生产过程中排放大量的废气,严重污染了大气环境。据统计,2014 年长江经济带氮氧化物、SO₂、烟粉尘三大主要大气污染物排放量已分别占到全国的 32%、34%和 28%^[1],大气污染问题日趋严重。当前,以重庆、武汉、沪宁杭为中心的西南、中和华东三大酸雨区已经形成。此外,由城市垃圾焚烧和汽车排放的废气造成的环境污染也日益严重。近年来,长三角与成都平原地区已经成为中国雾霾天数最高的地区之一。为了改善大气环境,有效遏制雾霾天气的频发,推进生态文明建设与绿色发展,长江经济带各省市必须要采取行之有效的大气污染防治对策予以应对。因此,科学测算长江经济带各省市的大气污染排放效率,分析其地区差异与影响因素,准确定位效率的缺失成因,对于有针对性地制定大气污染防治对策有重要意义。

近年来,数据包络分析(DEA)方法在资源环境效率领域得到了广泛应用并取得丰硕研究成果。Hu 和 Wang(2006)^[2]首次基于全要素视角与 DEA 方法测算了中国各省份的能源效率。由于全要素指标充分考虑

收稿日期: 2017-02-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71403003); 国家社会科学基金资助项目(14BJL105); 教育部人文社会科学研究青年基金资助项目(13YJC790136); 中国博士后科学基金资助项目(2014M551787,2015T80643); 安徽省高校优秀青年人才支持计划重点项目资助(gxyqZD2016075)

作者简介: 汪克亮(1980—),男,博士后,副教授,E-mail:klwang@163.com

到投入产出要素之间的替代作用,能够体现实际生产过程的特点,因而使得能效计算结果更具科学性。至此以后,国内外众多学者纷纷采用 DEA 方法测算中国能源效率、环境效率和碳排放效率 (Zhang 等,2008^[3]; Wang 等,2012^[4]; Wang 等,2014^[5];张少华和蒋伟杰,2016^[6]); Chung 等(1997)^{[7]229-240} 改进了传统径向 Shephard 距离函数的缺陷,首次提出了方向性距离函数(DDF)与 Malmquist-Luenberger 生产率指数,该方法的突出优势是可以兼顾经济增长、能源节约与污染减排,在可持续发展与能源环境效率评估中受到了国内外学者的普遍青睐。Zhang 等(2014)^[8]基于序列环境生产技术与 DDF 构建了区域可持续发展效率评价指标,并对中国各省份的可持续发展效率水平进行了实证测算; Yao 等(2015)^[9]基于共同边界理论与非径向 DDF 测算中国各省份的能源效率、碳排放绩效以及各省份的节能减碳潜力; Wang 等(2016)^[10]运用 DDF 与全局 Luenberger 生产率指标测算了世界上 37 个主要 CO₂ 排放国的碳生产率并考察其驱动因素; 涂正革 (2008)^{[11]93-105} 基于 DEA 与方向性环境距离函数, 测算了中国 1998—2005 年中国 30 个省份规模以上工业的环境技术效率并衡量了各地区环境、资源与工业增长的协调性; 陈诗一(2010)^[12]采用 DDF 测算了中国 38 个工业两位数行业 1980—2008 年间的绿色全要素生产率并对其进行了分解; 胡鞍钢等 (2008)^[13] 运用 DDF 对中国各省份 1999—2005 年的环境技术效率进行了排名。然而,上述研究都没有考虑投入产出松弛对效率测算结果的影响,进而会导致决策失误。为此,王兵等(2010)^{[14]95-109} 借鉴 Tone(2001)^[15]和 Fukuyama 等(2009)^[16]的研究成果,基于 SBM 方向性距离函数提出了一种新的环境效率与环境全要素生产率指标并对中国各省份进行了实证研究;朱承亮等(2012)^[17]通过构建基于产出视角的 SBM-Undesirable 模型,对节能减排约束下中国各省份 1998—2008 年的绿色经济绩效进行了考察。

虽然基于 DEA 的中国能源环境效率研究积累了大量具有重要价值的成果,但是以中国大气污染排放效率为研究主题的文献迄今依然鲜见。零散研究包括王奇与李明全(2012)^[18]运用超效率 DEA 模型对中国各省份 2004—2009 年的大气污染治理效率进行了测算;汪克亮等(2017)^{[19]101-110} 基于共同边界理论与径向 DEA 方法测算了技术异质下的中国省域大气污染排放效率,并从技术与管理两个层面将各省份大气污染排放无效率分解为“技术差距无效率”与“管理无效率”;范纯增与姜虹(2016)^[20]利用超效率 DEA-Malmquist 指数计算了中国 36 个工业部门的大气污染治理效率。由于近年来中国连续出现大范围严重雾霾污染天气,大气污染防治问题才再次引起学术界关注,因而关于大气污染排放效率研究的历史积累较少,研究框架也相对较为简单。为了进一步丰富与拓展大气污染排放效率的研究,本文将长江经济带作为研究对象,基于全要素生产视角,采用更加先进的效率测度方法:非径向加权 Russell DDF 来测算大气污染排放效率,该方法综合了 Fare 和 Lovell(1978)^[21]提出的 Russell 测度方法和 Chung 等(1997)^{[7]229-240} 所构建的 DDF 的优势,不仅可以非常便捷地引入“坏”产出,即环境污染因素,而且还可以利用其“可加”特性打开系统“黑箱”,对决策单元无效率因素进行分解从而得以准确定位效率缺失的根源,为研究中国大气污染排放效率问题提供了一种全新思路与有效途径。

二、指标内涵与测算方法

(一)大气污染排放效率指标内涵界定

本文将生产过程视为利用资本、劳动、能源等要素获得经济产出的过程。另外,在当前技术条件下,生产过程中会不可避免地出现环境污染物这一“副产品”。为了节约资源、保护环境,实现“又好又快”的绿色发展,本文从全要素角度,将“大气污染排放效率”定义为决策单元在追求经济产出最大化的同时,实现要素投入与大气污染物排放最小化的程度,可以采用方向性距离函数(DDF)来具体衡量效率水平的高低。

令 $x \in R_+^N$ 为要素投入向量; $y \in R_+^M$ 为“好”产出向量,即经济产出向量; $b \in R_+^L$ 为“坏”产出向量,即大气污染排放物向量。假设 $P(x)$ 是一个闭集与有界集,“好”产出与要素投入是可自由处置的,并服从“零结合性(Null-jointness)”与产出弱可处置性(Weak disposability)公理。DDF 追求在实现“好”产出最大化的同时实现要素投入与“坏”产出的最小化,从而达到最优效率,可以将其定义为

$$\vec{D}(x, y, b, g) = \sup\{\beta : (x - \beta g_x, y + \beta g_y, b - \beta g_b) \in P(x)\} \quad (1)$$

其中,非零向量 $g = (-g_x, g_y, -g_b)$ 为方向向量,其选择具有主观性,可以根据研究需要来设定。本文假设存在 $j = 1, \dots, k, \dots, J$ 个决策单元(DMU),其投入、“好”产出与“坏”产出向量分别为 $x = (x_1, x_2, \dots, x_N) \in R_+^N$, $y = (y_1, y_2,$

..., y_M) $\in R_+^M$ 与 $b=(b_1, b_2, \dots, b_L) \in R_+^L$ 。基于数据包络分析(DEA)可以得到大气环境生产技术模型为

$$P(x)=\{(y, b): \sum_{j=1}^J z_j y_{mj} \geq y_{mk} \quad m=1, \dots, M \quad \sum_{j=1}^J z_j b_{lj} = b_{lk} \quad l=1, \dots, L$$

$$\sum_{j=1}^J z_j x_{nj} \leq x_{nk} \quad n=1, \dots, N \quad z_j \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, k, \dots, J\}$$
(2)

其中, z_i 为每一个横截面观测值的权重, 非负权重变量表示生产技术的规模报酬不变性。在式(2)中, 好产出与投入变量中的不等式约束表示“好”产出与要素投入均是强可处置的, 而“坏”产出变量的等式约束则表明“好”产出与“坏”产出的联合弱可处置性。

(二) 大气污染排放效率的测算与分解

由于本文追求“好”产出最大化的同时, 最大限度减少要素投入与“坏”产出, 所以方向向量(g_{mk}, g_{mk}, g_{lk}) 设为($-x_{nk}, y_{mk}, -b_{lk}$)。然而, 传统径向 DDF 要求所有投入产出变量同比例增减, 这一要求过于苛刻。为此, 本文打破这一局限, 采用更加先进的非径向加权 Russell DDF^[22]来测算大气污染排放效率, 线性规划如下

$$\vec{D}(x_k, y_k, b_k|g) = \frac{1}{3} \max \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \alpha_n^k + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \beta_m^k + \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \gamma_l^k \right)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^J z_j x_{nj} \leq x_{nk} (1 - \alpha_n^k) \quad \sum_{j=1}^J z_j y_{mj} \geq y_{mk} (1 + \beta_m^k) \quad \sum_{j=1}^J z_j b_{lj} = b_{lk} (1 - \gamma_l^k)$$

$$z_j \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, k, \dots, J$$
(3)

其中, $\vec{D}(x_k, y_k, b_k|g)$ 为全要素大气污染排放无效率值, 即整体无效率, 该值越高, 越表明决策单元大气污染排放效率越低。当且仅当 $\vec{D}(\cdot) = 0$ 时, 决策单元位于生产前沿之上。Russell DDF 的一大优势是可以对无效率进行分解, 具体模式如式(4)~式(7)所示。

$$\text{整体无效率} \quad \frac{1}{3} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \alpha_n^{k*} + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \beta_m^{k*} + \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \gamma_l^{k*} \right)$$
(4)

$$\text{要素投入无效率} \quad \frac{1}{3N} (\alpha_1^{k*} + \alpha_2^{k*} + \dots + \alpha_N^{k*})$$
(5)

$$\text{“好”产出无效率} \quad \frac{1}{3M} (\beta_1^{k*} + \beta_2^{k*} + \dots + \beta_M^{k*})$$
(6)

$$\text{“坏”产出无效率} \quad \frac{1}{3L} (\gamma_1^{k*} + \gamma_2^{k*} + \dots + \gamma_L^{k*})$$
(7)

根据式(4)~式(7)给出的分解方法以及非径向 Russell DDF 的“可加”特性, 我们可以计算得到每种投入、“坏”产出与“好”产出无效率在整体无效率中的贡献率, 从而得以打开系统“黑箱”, 为各决策单元大气污染排放效率的优化提供了有针对性的路径与方向。

三、样本、变量与数据

基于数据可得性, 本文研究区间定为 2006—2015 年, 以长江经济带 9 省 2 市为决策单元, 构建大气排放效率评价 DEA 模型。按照传统地域划分方法, 将长江经济带划分为上游、中游与下游三大地区。其中下游地区包括上海、江苏与浙江 3 省市; 中游包括安徽、江西、湖北与湖南 4 省份; 上游地区包括重庆、四川、云南和贵州 4 省市。由于长期以来中国区域发展不平衡, 不同地区经济社会发展的差异性较大。这一划分主要目的是考察长江经济带大气污染排放效率的地域差异性。根据生产全要素理论, 本文选择的投入指标包括资本、劳动和能源, “好”产出指标为各省市经济产出, “坏”产出指标即为大气污染物。投入产出变量的具体界定如下:

1. 资本。资本投入以各省份资本存量来衡量。由于无法直接获得各省份资本存量数据, 本文采用永续盘存法来进行估算。估算公式为: $K_t = I_t / p_t + (1 - \delta) K_{t-1}$, 其中 K_t 是 t 期的资本存量; δ 是折旧率; p_t 为 t 期的固定资产投资价格指数; I_t 是 t 期的投资额。本文直接根据单豪杰(2008)^[23]的估算方法与结果将各省份资本存量数据更新至 2015 年并以 2006 年为基期进行了调整。

2. 劳动。对于劳动投入, 由于无法获得劳动时间、劳动强度与劳动收入等指标数据, 本文采用各省市“年

未就业人数”来进行代替。

3.能源。本文以各省市能源消费量来测度能源投入,并将各类能源消费量统一折算为万吨标准煤。

4.“好”产出。本文以各省市地区生产总值(GDP)来衡量“好”产出,并将其以2006不变价格进行调整以与资本存量指标保证统计口径的一致性。

5.“坏”产出。因为大气污染物来源于生产过程,是一种“副产品”,严重威胁环境与人体健康,具有典型的负外部性特征,因而本文将其视为“坏”产出。大气污染物种类较多,基于污染物的危害程度和数据的可获得性,本文选择SO₂、氮氧化物(NO_x)与烟粉尘(DUST)作为大气污染物的代表。这3种污染物是雾霾的主要组成部分,也是酸雨形成的罪魁祸首,一直是中国大气污染防治的重点对象。

上述各变量数据来自2007—2015年《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》以及各省份统计年鉴并经过整理得到。样本投入产出变量的描述性统计如表1所示。

四、实证测算与结果分析

(一)长江经济带全要素大气污染排放效率的变化趋势与地区差异

因为决策单元的数目多少直接影响到效率测度结果的准确性,所以为了避免决策单元较少、数据稀疏而无法构造近似光滑的前沿面,进而出现线性规划无解的情况,因此本文采用窗口分析方法构建效率前沿面,这样不仅能够比较同一时期不同决策单元效率的横向差异,还可以考察决策单元效率的跨期变化情况。由于窗口分析法将包括当期在内的前S期的投入产出数据作为当期的参考技术集,因此会使得计算时段减少S-1个周期。本文设定的窗口宽度S=2,即每一年的参考技术由当期和前期的投入产出值来决定,因此本文针对大气污染排放效率的计算时段由2006年推后为2007年。根据式(3)计算得到2007—2014年长江经济带各省市以及长江上游、中游与下游的全要素大气排放无效率如表2、图1与图2所示。

数据表明,长江经济带大气污染排放效率仍亟待提升,2007—2014年间11省市的无效率均值为0.2634。这表明近年来长江经济带在经济快速增长的同时,并未真正实现由低效率向高效率的转型。在当前生产与环境治理技术水平下,各省市大气污染减排潜力仍然是十分可观。这一结果与汪克亮等(2015)^{[24]491-501}关于长江经济带生态效率的测算结果有一定差异,主要在于投入产出指标以及测算方法不同所致。其中,长江上

表1 样本投入产出变量描述性统计(2006—2014年)

变量	单位	均值	标准差	最大值	最小值
资本	亿元	36 190.36	25 043.06	133 444.95	7 199.01
劳动	万人	3 080.15	1 182.00	4 997.60	866.90
能源	万吨标煤	12 608.98	5 735.47	29 863.00	4 660.10
SO ₂	万吨	73.62	26.58	146.50	18.81
NO _x	万吨	57.27	28.79	153.60	18.00
DUST	万吨	42.38	20.50	122.50	8.09
省份 GDP	亿元	14 044.94	9 900.49	51 940.45	2 338.98

表2 长江经济带11省市的大气环境无效率值(2007—2014年)

地区	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
上海	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
江苏	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.218 1	0.210 6	0.216 3	0.205 7
浙江	0.156 5	0.000 0	0.187 2	0.000 0	0.208 0	0.198 0	0.216 8	0.198 5
安徽	0.301 2	0.315 7	0.316 8	0.343 9	0.376 8	0.380 7	0.383 9	0.389 2
江西	0.247 1	0.250 9	0.246 3	0.271 1	0.353 4	0.358 3	0.366 5	0.366 5
湖北	0.235 8	0.243 6	0.252 3	0.277 0	0.345 4	0.312 0	0.346 9	0.346 8
湖南	0.115 3	0.000 0	0.197 8	0.302 3	0.349 3	0.345 2	0.344 3	0.344 3
重庆	0.372 9	0.359 3	0.368 7	0.370 0	0.369 1	0.363 7	0.349 3	0.318 5
四川	0.000 0	0.000 0	0.171 4	0.184 7	0.092 9	0.203 6	0.331 2	0.334 4
贵州	0.507 3	0.457 0	0.469 1	0.467 0	0.492 1	0.494 4	0.495 6	0.492 8
云南	0.391 7	0.402 7	0.416 4	0.419 9	0.456 6	0.462 1	0.460 8	0.461 1
上游地区	0.318 0	0.304 8	0.356 4	0.360 4	0.352 7	0.381 0	0.409 2	0.401 7
中游地区	0.224 9	0.202 6	0.253 3	0.298 6	0.356 2	0.349 1	0.360 4	0.361 7
下游地区	0.052 2	0.000 0	0.062 4	0.000 0	0.142 0	0.136 2	0.144 4	0.134 7
整体	0.211 6	0.184 5	0.238 7	0.239 6	0.296 5	0.302 6	0.319 2	0.314 3

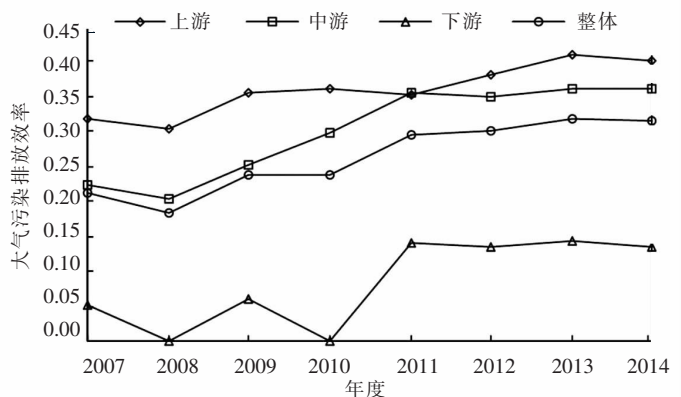


图1 长江经济带不同区域大气污染排放无效率的演变趋势(2007—2014年)

游、中游与下游三大地区的无效率均值分别为 0.360 5、0.300 9 与 0.084 0, 下游地区明显高于中上游地区, 上游地区最低, 呈现与地区经济发展水平表现相一致的“东高西低”梯度分布, 地域差异特征明显。从总体趋势上看, 如图 1 所示, 长江经济带全要素大气污染排放效率呈现不升反降的特点, 无效率值从 2007 年的 0.211 6 上升至 2014 年的 0.314 3, 除了 2008 年和 2014 年, 其他年份的无效率指数都是上升的。这说明当前长江经济带大气环保形势非常严峻, 经济增长与大气环境之间的矛盾仍然十分突出。三大地区无效率指数也基本上呈现与整体无效率指数相同的变化趋势。上游地区无效率指数从 2007 年的 0.318 0 升至 2014 年的 0.401 7, 中游地区从 0.224 9 升至 0.361 7, 下游地区从 0.052 2 上升至 0.134 7。目前在长江经济带各省市, 唯 GDP 至上的政绩考核观仍然大行其道, 各地政府尤其是中上游地区的很多地方政府在招商引资的过程中, 不惜将大量高污染、高消耗的重化工业转移至本地区加以扶持发展, 完全背离了生态优先与绿色发展原则, 这无疑会加剧长江经济带大气环境质量的恶化。值得关注的是, 在 2014 年, 上、中、下游三大地区无效率指数都扭转了上升趋势、转为下降通道, 希望这能成为长江经济带大气污染排放效率积极向好的一个信号。

如图 2 所示, 长江下游的上海、江苏与浙江三省位于第一梯队, 全要素大气污染排放无效率值较小, 分别为 0.000 0、0.106 3 与 0.145 6, 位列经济带各省市前三甲。其中, 上海在研究期内一直位于生产前沿面, 是长江经济带大气环境保护的标杆。江苏与浙江两省经济增长与大气环境保护之间的协调度也较高。下游 3 省市所在的长江三角洲区位条件优越, 交通发达, 科技水平较高, 是中国对外开放的窗口, GDP 总量约占整个经济带的一半, 优势资源集中, 产业结构升级较早, 且已基本形成了以电子信息、金融、服务等高科技和知识密集型产业为主的产业布局, 化石能源消耗与污染排放较少, 经济与环境之间的矛盾相对比较缓和。相比之下, 中上游省市大气污染排放效率要低很多。其中安徽省大气污染排放无效率值为 0.351 0, 是中游 4 个省市中最低的, 这与卢丽文等(2016)^[25]基于城市层面测算长江经济带绿色发展效率的结论保持一致。作为地理上最接近长江下游的省份, 安徽具有明显区位优势, 是长三角地区产业转移的前沿阵地。但是近年来安徽承接长三角地区的主要是一些低端制造业与高耗能、高污染产业, 导致污染迁移, 从而拉低了安徽省大气污染排放效率水平。上游地区的四川省大气污染排放效率较高, 无效率指数为 0.164 8, 表明近年来四川通过积极淘汰落后产能、加大技术改造、大力发展高新产业等方式促进经济转型与结构升级, 在节能减排方面取得了明显成效。重庆、贵州与云南 3 个省市的无效率指数分别为 0.358 9、0.484 4 和 0.433 9, 处于末端位次。长江上游开发程度较低, 经济发展与基础设施建设滞后, 虽然煤炭、天然气等能源资源储量丰富, 但由于产业结构层次较低且缺乏资金和技术方面的积累, 能源资源浪费现象比较严重, 大气环境质量也在不断下降, 这些因素都会反映在地区大气污染排放效率上。综上所述, 长江经济带大气污染排放效率存在显著地域差异性, 这就要求对不同地区的大气污染防治不能采取“一刀切”的标准, 应该根据各地实际情况因地制宜地制定科学、合理与可行的大气污染减排目标, 从而最大限度挖掘各地区大气污染减排潜力。另外, 从表 2 还可发现, 2007—2014 年间, 绝大多数省市大气污染排放无效率指数维持了刚性上升趋势, 这表明伴随时间推移, 长江经济带经济增长与大气环境保护之间愈发不协调, 转变发展方式、降低资源环境依赖度势在必行。

(二) 长江经济带全要素大气污染排放效率地区差距的泰尔指数分解

为进一步衡量长江经济带全要素大气污染排放效率的地区差距, 本文利用泰尔(Theil)指数来定量分析大气污染排放效率的地域差异。作为广义熵指标体系的一种特殊形式, 泰尔指数的突出优点是可以将地区间的总体差距分解为地区内部差距和地区间差距, 并由此衡量它们在总体差距中的重要性贡献率。泰尔指数的取值范围为 0~1 之间, 数值越小, 表明地区差距越小; 反之, 则表明差距越大。本文借鉴陈德湖等(2016)^[26]对于泰尔系数及其结构分解的方法, 得到长江经济带全要素大气污染排放效率^①的泰尔指数及其

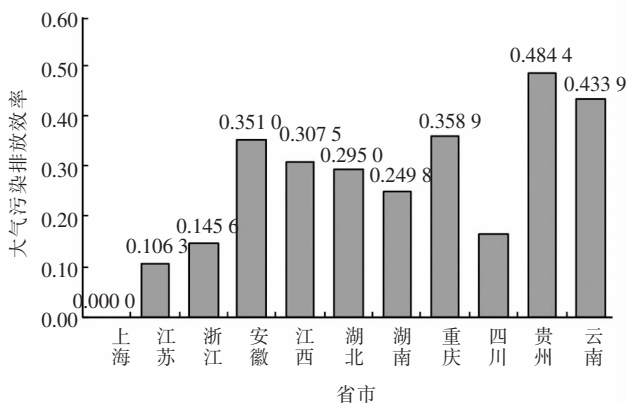


图 2 长江经济带各省市大气污染排放无效率值 (2007—2014 年平均值)

①为了便于计算, 本文界定全要素大气污染排放效率在数值上等于 1 减去全要素大气污染排放无效率。

分解公式如下

$$Theil = Theil_w + Theil_b = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} \frac{e_i}{\bar{e}} \ln \frac{e_i}{\bar{e}} \quad Theil_p = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^{n_p} \frac{e_p}{\bar{e}_p} \ln \frac{e_p}{\bar{e}_p} \quad (8)$$

$$Theil_w = \sum_{p=1}^3 \left(\frac{n_p}{11} \frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right) Theil_p \quad Theil_b = \sum_{p=1}^3 \frac{n_p}{11} \left(\frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right) \ln \left(\frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right) \quad (9)$$

其中, $n_p(p=1,2,3)$ 表示长江经济带上、中、下游各地区的省市数量; \bar{e}_p/\bar{e} 表示各地区的大气污染排放效率均值与整个长江经济带的大气污染排放效率均值之比; $Theil$ 代表长江经济带大气污染排放效率总体差距的泰尔指数; $Theil_p$ 表示某个地区内各省市大气污染排放效率差距的泰尔指数; $Theil_w$ 和 $Theil_b$ 分别表示长江经济带全要素大气污染排放效率的地区内差距与地区间差距的泰尔指数。根据式(8)、式(9)计算得到的泰尔指数及其分解结果如表3所示。

从表3可以看出,2007—2014年,长江经济带全要素大气污染排放效率的泰尔指数除了个别年份偶有上升之外,多数年份出现下降趋势,从2007年的0.0227降至2014年的0.0174,这表明经济带内11省市大气污染排放效率的总体差距在不断缩小。

从指数分解角度来看,研究期间内上、中、下游地区之间的差距与各地区内部省市之间的差距比重随着时间推移在不断进行转换,地区内差距与地区间差距交替成为影响总体差距的主要因素。其中2007年,地区内差距占比达到61.39%,地区间差距占比为38.61%,此时地区内差距是总体差距的主要影响方面。然而,至2014年,地区间差距占比达到了72.55%,地区内差距占比下降至27.45%,即地区间差距成为影响总体差距的主要原因。从泰尔指数的演变与分解结果来看,虽然在研究期内长江经济带各省市之间大气污染排放效率的总体差距在逐渐缩小,但长江上、中、下游地区之间的差距却成为总体差距的主要影响因素,且影响力度有愈来愈大之势,需要给予重点关注。为了进一步减小总体差距,各地区之间必须要打破行政壁垒,破除市场分割与地方保护主义,加大上、中、下游省市之间的交流与合作,形成地区间相互支撑、良性互动的新局面。从地区内部差距来看,上游贡献率最大,中游贡献率较小且最为稳定,下游贡献率近年来有所增加。因此,未来能否缩小地区间差距和上游地区内部差距,是长江经济带大气污染排放效率实现优化提升的关键。

(三)长江经济带全要素大气污染排放效率的分解及差异性

由于非径向加权 Russell 方向性距离函数具有“加性”结构,因而可以从每种投入产出变量方向上对大气污染排放无效率进行分解,打开系统“黑箱”,追溯无效率的产生根源。由于本文研究主题是大气污染防治,因而更加关注3类大气污染物排放无效率在全要素大气污染排放无效率中的贡献率,至于资本、劳动以及经济产出的无效率贡献度在文中没有进行进一步细致分析。根据式(3)~式(7),长江经济带3种大气污染物排放无效率值及其在全要素无效率中的贡献率如表4所示。

由表4可知,长江经济带大气污

表3 长江上、中、下游地区内部及地区间差距对大气污染排放效率总体差距的贡献 (2007—2014年)

年份	总体差距	地区之间差距		地区内部差距		上游 贡献率/%	中游 贡献率/%	下游 贡献率/%
		数值	贡献率/%	数值	贡献率/%			
2007	0.0227	0.0088	38.61	0.0139	61.39	50.97	5.94	4.47
2008	0.0242	0.0108	44.37	0.0135	55.63	39.64	16.00	0.00
2009	0.0181	0.0115	63.38	0.0066	36.62	25.00	3.19	8.43
2010	0.0227	0.0183	80.56	0.0044	19.44	18.19	1.25	0.00
2011	0.0202	0.0087	42.94	0.0115	57.06	45.74	0.30	11.02
2012	0.0180	0.0104	58.02	0.0075	41.98	29.16	1.37	11.45
2013	0.0171	0.0123	72.23	0.0047	27.77	13.19	0.63	13.95
2014	0.0174	0.0126	72.55	0.0048	27.45	14.92	0.78	11.74
平均	0.0201	0.0117	59.08	0.0084	40.92	29.60	3.68	7.63

表4 长江经济带三种大气污染物排放无效率值及其贡献率(2007—2014年)

年份	SO ₂		NO _x		DUST		全要素 无效率值
	无效率值	贡献率/%	无效率值	贡献率/%	无效率值	贡献率/%	
2007	0.0401	18.94	0.0245	11.59	0.0617	29.14	0.2116
2008	0.0391	21.19	0.0193	10.47	0.0500	27.13	0.1845
2009	0.0483	20.24	0.0267	11.19	0.0656	27.46	0.2387
2010	0.0515	21.49	0.0284	11.87	0.0622	25.96	0.2396
2011	0.0661	22.31	0.0479	16.15	0.0729	24.60	0.2965
2012	0.0685	22.65	0.0498	16.46	0.0726	24.00	0.3026
2013	0.0707	22.13	0.0506	15.86	0.0799	25.03	0.3192
2014	0.0733	23.34	0.0506	16.10	0.0726	23.10	0.3143
平均	0.0572	21.72	0.0372	14.14	0.0672	25.51	0.2634

染排放整体无效率中,SO₂、氮氧化物与烟粉尘分别贡献了 21.72%、14.14%与 25.51%,其中烟粉尘贡献率最高,其次为 SO₂,氮氧化物最低。随着时间推移,烟粉尘贡献率有所下降,而 SO₂ 与氮氧化物的贡献率则有不断抬升趋势。其中原因可以从两个方面加以解释:一方面可能是由于近年来长江经济带能源结构的优化导致煤炭消费比重有所下降,一定程度上减少了烟粉尘排放量,因为相对于石油与天然气,煤炭燃烧产生的烟粉尘要多得多。另一方面,近年来长江流域各省市机动车保有量在持续增加,汽车尾气污染日益严重,SO₂ 与氮氧化物排放量直线上升,导致近期这两类大气污染物排放的无效率贡献度在不断提升,必须要引起经济带各省市相关决策部门的充分警惕,今后在大气污染治理的同时,一定要做好重点污染物的重点防控。

从地区差异角度来看,如表 5 所示,下游地区三大污染物排放对于整体无效率的贡献率分别为 8.62%、9.13%与 10.26%;中游地区三大污染

物的贡献率分别为 40.95%、41.80%与 45.54%;上游地区三大污染物的贡献率分别为 50.44%、49.06%与 43.91%,中上游地区与下游地区的差距非常明显,再次彰显了长江经济带大气污染防控水平的显著地区差异性。从 20 世纪 90 年代以来,经过 20 多年的开发开放,长三角地区基本完成了高消耗、高污染产业的对外转移,以知识密集、技术密集型产业为主的产业结构已经形成,在实现经济高质量增长的同时也明显减少了污染排放;然而,相比于下游地区,长江中上游地区开放程度较低,大多省市属于典型的资源型省份,能源资源丰富,区域主导产业以资源优势为基础,极易形成以高耗能、高污染为特征的“资源依赖”型产业结构,再加上近年来又大量承接了下游地区的资源环境密集型产业,使得地区内环境质量进一步下降,这是中上游地区大气污染排放效率较低且被长期“锁定”的一个重要原因。

(四)长江经济带大气污染排放效率的影响因素分析

前文分析了长江经济带全要素大气污染排放效率的变化趋势与地区差距,并基于每一种大气污染物对整体大气污染排放无效率指数进行了解构。这一部分将重点分析长江经济带大气污染排放效率的影响机制。大气污染排放效率的影响因素众多,本文根据理论分析、前人研究成果以及相关变量的数据可得性,最终选择了以下 6 类影响因素:(1)经济发展水平。本文选择以 2006 年不变价格表示的人均 GDP 来作为经济增长的度量指标,为了消除异方差的干扰,对其进行对数化处理;经济发展水平越高,公众的环保意识与环保诉求也越高,政府在生产工艺改进与污染治理领域的资金投入力度也越大,无疑会对大气污染排放效率的提升产生积极影响。该变量预期符号为正。(2)技术水平。节能减排领域的技术创新无疑是防治大气污染的一条重要途径。本文以 R&D 投入占省份 GDP 的比重来反映各省市的研发投入强度,其值越高越表明该省市的技术创新能力越强,越有利于大气污染防治水平的提升。该变量预期符号为正。(3)产业结构。地区不同产业比重的高低无疑会对大气污染排放效率产生影响。由于第二产业主要以工业为主,众所周知,工业生产与化石能源利用是当前中国大气污染的主要来源。因此地区第二产业比重越高,带来的大气污染防治压力也越大。本文选取各省市第二产业增加值占 GDP 的比重来反映一个地区的产业结构状况。该变量预期符号为负。(4)能源消费结构。当前中国能源消费以常规能源为主,主要包括煤炭、石油、天然气和电力。由于本身性质差异,不同品种能源效率以及利用过程中排放的大气污染物数量都存在很大差别。本文以各省市煤炭消费量占能源消费总量的比重作为能源消费结构的衡量指标。事实表明,煤炭燃烧是中国大气污染与雾霾天气频发的首要根源。因此,煤炭消费比重的增加无疑会抑制大气污染排放效率的提高。该变量预期符号为负。(5)对外开放水平。以外商直接投资(FDI)表征的对外开放水平的提升对于中国环境污染的影响,不同文献的研究结论并不一致,存在“污染晕轮”与“污染避难所”两种假说(邵帅等,2016^{[27]73-88})。“污染晕轮”假说认为外商直接投资有利于引进国外先进的生产设备与环境治理技术,从而有利于改善东道国的环境质量;“污染避难所”假说则认为外商会将高污染产业转移到东道国,从而降低了东道国的环境质量。本文采用 FDI 占 GDP 比重度量对外开放水平来考察其对长江经济带大气污染排放效率的影响,同时检验上述两种假说在长江经济带的适用性。该变量预期符号不确定。(6)环境规制力度。地方政府的环境规制力度会在一定程度上影响到各地区的污染排放量。一般来说,政府环境规制力度越大,企业面临的减排压力也越大,在

表 5 上、中、下游三大地区 3 种大气污染物排放无效率值及其贡献率
(2007—2014 年)

污染物	下游地区		中游地区		上游地区		整体
	无效率值	贡献率/%	无效率值	贡献率/%	无效率值	贡献率/%	
SO ₂	0.162 7	8.62	0.579 7	40.95	0.714 1	50.44	0.514 8
NO _x	0.112 3	9.13	0.385 3	41.80	0.452 2	49.06	0.335 2
DUST	0.227 4	10.26	0.762 2	45.84	0.730 1	43.91	0.604 7

压力驱使下企业将会加大生产技术革新与污染治理方面的资金投入力度,以更加环境友好的方式进行生产。本文以各省市排污费收入占GDP的比重来衡量政府环境规制力度。该变量预期符号为正。上述各变量数据均来自《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境年鉴》《中国科技统计年鉴》。指标的描述性统计如表6所示。

表6 主要影响因素指标的描述性统计(2007—2014年)

指标	符号	平均值	标准差	最大值	最小值
经济发展水平	ln PGDP	10.108	0.591	11.386	8.908
技术水平	R&D	0.015	0.007	0.037	0.005
产业结构	INDUS	0.413	0.070	0.648	0.309
能源消费结构	ECS	0.624	0.115	0.807	0.315
对外开放水平	FDI	0.027	0.013	0.064	0.003
环境规制力度	ERL	0.043	0.025	0.160	0.009

本文将长江经济带各省市全要素大气污染排放效率(TFAPEE)作为被解释变量,以经济发展水平、技术水平、产业结构、能源消费结构、对外开放水平与环境规制力度作为解释变量。由于现实中包括污染排放等在内的宏观经济变量可能存在一定的路径依赖效应(Fan等,2015^[28]),如产业结构、能源消费结构、科技水平等影响大气污染排放效率的重要因素本身就具有明显的滞后性(邵帅等,2016^[27]73-88)。另外,因变量大气污染排放效率与自变量存在双向交互影响。例如,较高的经济发展水平有利于促进全要素大气污染排放效率的提升,反过来,代表资源综合利用水平的全要素大气污染排放效率的改善也会对促进地区经济发展产生积极影响。这表明两者之间存在双向因果关系的内生性问题,另外考虑到大气污染排放效率会与遗漏变量产生关联性,所以本文选取全要素大气污染排放效率的滞后一期作为自变量来构建动态面板数据模型,并采用广义矩阵估计方法(GMM)来处理内生性问题。动态面板计量模型如式(10)所示

$$TFAPEE_{i,t} = c + \alpha_1 TFAPEE_{i,t-1} + \alpha_2 \ln PGDP_{i,t} + \alpha_3 R\&D_{i,t} + \alpha_4 INDUS_{i,t} + \alpha_5 ECS_{i,t} + \alpha_6 FDI_{i,t} + \alpha_7 ERL_{i,t} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

$$\varepsilon_{it} = \eta_i + v_{it}$$

其中, $TFAPEE_{i,t}$ 为被解释变量,代表长江经济带各省市的全要素大气污染排放效率; $TFAPEE_{i,t-1}$ 为滞后一期的全要素大气污染排放效率(解释变量); $\ln PGDP$ 、 $R\&D$ 、 $INDUS$ 、 ECS 、 FDI 和 ERL 为解释变量; ε_{it} 为扰动项,可将其分解为随机扰动项 v_{it} 和个体差异 η_i 。

动态GMM估计方法分为一阶差分GMM与系统GMM两种。由于系统GMM方法可以同时利用水平值的滞后项与差分变量的滞后项来构造工具变量,增加了可用工具变量的个数,从而比一阶差分GMM方法具有更好的有限样本性质(Arellano和Bover^[29]29-51,1995;Blundell和Bond,1998^[30]),因而本文将采用系统GMM估计方法进行计量检验。另外,动态GMM估计方法又分为一步估计(one-step)与两步估计(two-step)。考虑到两步估计得到的标准误差能显著降低小样本情况下的估计偏差(宋马林等,2016^[31]),本文采用两步GMM估计方法。为了验证每个解释变量对大气污染排放效率的影响以及提高模型估计的稳健性,本文逐一将解释变量引入模型估计之中,估计结果如表7所示。其中,模型1中仅仅引入大气污染排放效率的滞后一期项与经济发展水平,然后模型2~模型6再一一引入产业结构、技术水平、能源消费结构、对外开放水平与环境规制力度等解释变量。Sargan检验所对应的p值都大于0.1,表明模型工具变量的选取是有效的。AR(1)与AR(2)检验结果表明模型残差项存在一阶序列相关,但不存在二阶序列相关。F检验结果表明模型在整体上显著。此外,模型1~模型6中所有估计系数的符号以及显著性并未发生明显变

表7 系统GMM估计结果(2007—2014年)

解释变量	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6
TFAPEE _{t-1}	0.035 2*** (0.000 0)	0.017 8*** (0.000 0)	0.027 2*** (0.000 2)	0.042 9*** (0.006 1)	0.152 9** (0.024 8)	0.098 0** (0.046 7)
ln PGDP	0.421 2*** (0.000 0)	0.321 9*** (0.000 4)	0.417 8*** (0.000 0)	0.325 4*** (0.001 3)	0.269 3*** (0.005 9)	0.352 0** (0.003 3)
INDUS		0.172 3*** (0.000 9)	0.201 6** (0.024 1)	0.103 8*** (0.093 3)	0.149 6** (0.045 0)	0.198 8** (0.041 3)
R&D			0.852 1*** (0.000 0)	0.872 4*** (0.001 5)	1.025 3*** (0.000 0)	0.855 3*** (0.000 0)
ECS				-0.047 5** (0.013 0)	-0.124 7* (0.065 4)	-0.065 1** (0.032 6)
FDI					0.741 1*** (0.001 6)	0.354 2** (0.017 7)
ERL						-0.005 5* (0.065 3)
Constant	1.214 6*** (0.000 0)	0.898 5*** (0.000 0)	1.321 2*** (0.001 5)	0.415 6* (0.058 9)	0.652 2** (0.021 4)	0.885 7* (0.088 4)
F test	212.35*** (0.000 0)	457.59*** (0.000 0)	524.69*** (0.000 0)	129.55*** (0.000 0)	479.63*** (0.000 0)	489.25*** (0.000 0)
AR(1) test	-2.54 (0.004 1)	-2.58 (0.004 3)	-2.60 (0.003 9)	-2.68 (0.004 8)	-2.62 (0.004 6)	-2.60 (0.004 5)
AR(2) test	-0.31 (0.431 0)	-0.36 (0.456 9)	-0.40 (0.525 3)	-0.52 (0.647 3)	-0.64 (0.521 1)	-0.70 (0.610 7)
Sargan test	323.45 (0.289 1)	356.98 (0.345 0)	404.12 (0.421 0)	381.21 (0.373 3)	389.75 (0.354 7)	420.12 (0.395 8)

注:***、**、* 分别代表了1%、5%与10%的显著性水平;括号中为真实概率p值。

化,表明模型估计的结果是稳健的。下面讨论各解释变量影响机制:

1.大气污染排放效率的滞后变量。将被解释变量的滞后项纳入到方程解释变量之中不仅可以有效避免方程估计中的遗漏变量,还可以定量衡量变量的滞后效应(Arellano 和 Bover^{[29]29-51,1995};王兵与王丽^{[32]3-19,2010})。在模型 1~模型 6 中,笔者发现被解释变量一阶滞后变量所对应的系数均为正且在 1%的水平下都是显著的,表明长江经济带上一期大气污染排放效率会对下一期大气污染排放效率产生正向的影响。

2.经济发展水平。正如笔者预期那样,地区经济发展会促进长江经济带大气污染排放效率的提升,模型 1~模型 6 中该变量回归系数均在 1%的水平下显著为正。这与王群伟等(2010)^[33]关于中国省域 CO₂ 排放绩效、何枫等(2016)^[34]关于中国省域环境技术效率以及汪克亮等(2015)^{[24]1491-1501}关于长江经济带工业生态效率影响因素研究结论保持一致。雄厚的经济实力为地方政府大气污染防治提供了人力、物力与财力方面的重要支撑,同时经济发达地区的公众环境保护意识也明显高于经济欠发达地区。因而,促进经济发展是提高长江经济带大气环境质量的基础保障。

3.产业结构。模型 2~模型 6 的回归结果表明,增加第三产业产值比重对长江经济带大气污染排放效率的提升产生了积极的影响,5 个方程的回归系数在 5%的检验水平下都显著为正,与预期一致,与李静(2009)^[35]、杨俊等(2010)^[36]关于地区环境效率的研究结论相同。第三产业主要以服务业为主,资源消耗与污染排放明显低于第二产业。因此,制定实施有效的产业引导政策,大力发展第三产业,逐渐降低以重工业为代表的第二产业比重,促进产业结构的“绿色”升级,是长江经济带遏制雾霾污染,提升大气环境质量的基本途径之一。

4.技术水平。R&D 经费投入强度增加有利于促进长江经济带大气污染排放效率的提升,模型 3~模型 6 的回归系数在 1%的水平下显著为正,回归结果符合理论预期。一个地区研发活动经费投入量的加大会带来显著的技术创新效应,特别是节能减排领域的技术革新会带来更为直接的环境治理效果。这与张伟和吴文元(2011)^[37]、汪克亮等(2015)^{[24]1491-1501}的研究结论保持一致。因此,加大环境治理技术领域研发资金的投入,提升大气污染防治技术,是长江经济带改善大气环境、遏制雾霾天气的一项关键举措。

5.能源消费结构。煤炭消费比重的增加对长江经济带大气污染排放效率的提升产生明显不利的影响,与多数文献的研究结论保持一致。模型 4~模型 6 中,除了模型 5 之外,该变量的回归系数在 5%的水平下都显著为负。一直以来,煤炭是中国主要常规能源,也是工业生产最重要的燃料。作为一种典型的低质、低效能源,煤炭的大量燃烧无疑对大气环境污染负首要责任。因此,降低煤炭消费比重,提升非煤能源比重,大力发展洁净能源,尽快实现能源结构的绿色调整,是长江经济带有效遏制包括雾霾天气在内的大气污染问题的一项重要方略。

6.对外开放水平。对外开放水平的提高有利于改善长江经济带大气污染排放效率。针对大气污染排放的“污染避难所”假说在此不成立。这与涂正革(2008)^{[11]93-105}、王兵和王丽(2010)^{[32]3-19}、汪克亮等(2017)^{[19]101-110}的研究结论不同,原因在于他们是以全国作为研究对象,而本文则是针对长江经济带这一特定区域。外商直接投资一方面会提高东道国的收入水平从而为当地环境治理提供了资金支持,同时也会通过推行国际环保标准和环保技术溢出效应,有利于东道国环境质量的改善。因此,长江经济带应充分发挥外商直接投资的“污染晕轮”效应来有效提升当地的环境治理技术水平,促进外商直接投资在大气污染防治方面发挥积极作用。

7.环境规制力度。政府加大环境规制力度并不能促进长江经济带大气污染排放效率的提升,模型 6 的回归系数为-0.004 9,但未通过 5%水平的显著性检验,与预期不符,与王兵等(2010)^{[14]95-109}、庞瑞芝等(2011)^[38]的研究结论保持一致。理论上来说,政府加大环境规制力度,会倒逼企业改进生产流程与治污技术,产生保护环境的反向激励,有利于改善环境质量,但本文回归结果并不支持这一理论,原因在于三点:一是各地排污费收入占 GDP 比重可能并不是一个理想的环境规制指标;二是当前中国排污收费制度仍有不合理之处,需要进一步优化;三是往往环境质量越差的地区,政府管制也越强,排污收费力度也就越大。因此,若要科学检验政府环境规制对大气污染排放效率的影响机制,一方面需要找到其他更科学的环境规制指标,另一方面政府应对当前排污收费政策进行更合理的再设计,以充分发挥环境规制在治理大气污染中的重要作用。

五、结论与启示

本文从全要素生产理论出发,基于非径向加权 Russell DDF 与面板动态广义矩估计方法,系统考察了长江经济带 9 省 2 市的全要素大气污染排放效率的地域差异与影响因素。研究结果表明,2007—2014 年,

长江经济带全要素大气污染排放无效率平均值为0.2634,还存在一定的大气污染减排潜力,经济增长与大气环境保护并未实现协调发展;在研究期间内长江经济带全要素大气污染排放效率维持了刚性增长趋势,大气环境保护压力巨大;长江下游地区大气污染排放效率明显高于长江中上游地区,长江经济带省市大气污染排放效率地区差距主要来自于上、中、下游三大地区之间的差距以及上游地区省市内部之间的差距;三大大气污染物中对于大气污染排放无效率的贡献率分别为35.26%、22.36%与42.38%,其中烟粉尘贡献率最高,其次为SO₂,氮氧化物最低,且近期SO₂与氮氧化物的贡献率有所提升;系统GMM估计方法显示,长江经济带大气污染排放效率具有一定的延迟滞后效应,上期会对下期效率产生明显正向影响;经济发展水平的提升、第三产业比重的增加、R&D投入强度的加大、能源消费结构的优化以及对外开放水平的提升显著促进了长江经济带大气污染排放效率的提升,而排污收费占GDP比重的增加对大气污染排放效率没有产生明显影响。

上述结论蕴含如下政策含义:要着力改变长江经济带特别是长江中上游地区长期高消耗、高污染的经济增长方式,促进产业结构的转型与升级,注重经济发展方式的绿色转变,中上游地区要限制高耗能高污染的重化工业的发展,增加服务业等第三产业比重,从根本上遏制大气污染与雾霾天气;长江上、中、下游三大地区应立足于各自比较优势,以产业布局带动产业转型,提高要素配置效率,激发内在发展活力。长江中上游地区要有序承接产业转移,引导产业合理布局,防止污染过度内迁;为有效促进长江经济带大气环境保护水平的提升,需要解放思想打破区域壁垒,建设统一开放和竞争有序的全流域现代市场体系,健全区域间互动合作机制,让先进的环境治理理念与治理技术实现跨区域自由流动。减少经济发展对煤炭资源的依赖性,提升水电、天然气、风能等洁净能源的消费比重;实施创新驱动策略,不断提高科技发展水平特别是节能减排领域的技术水平,重点开发清洁能源技术,改善传统能源的利用效率,不断减少各类大气污染物的排放总量,进而改善长江经济带的大气环境;对于外资引入应持有理性态度,切勿因经济效益而忽视环境效益,特别是长江中上游省市更不能主动降低环境标准,出现GDP锦标赛式的“逐底竞争”,应充分发挥外资的技术与管理溢出效应,通过引进外资不断提高当地企业的环境治理技术与环保理念,进而促进当地大气环境的改善;要针对当前中国排污收费制度的内在缺陷进行科学、合理的再设计,在当前日益严峻的环保形势下,建议政府设计更为严格的排污收费制度,以充分发挥其环境保护力度。相信通过多种举措和各方努力,长江经济带一定能够实现经济增长与大气环境保护的双赢。

参考文献:

- [1] 任毅,丁黄艳. 长江经济带工业能源效率影响因素与产业转型策略研究[M]. 北京:经济科学出版社,2015.
- [2] HU J L, WANG S C. Total-factor energy efficiency of regions in China[J]. *Energy Policy*, 2006, 34(17): 3206-3217.
- [3] ZHANG B, Bi J, FAN Z Y, et al. Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach[J]. *Ecological Economics*, 2008(68): 306-316.
- [4] WANG K, WEI Y M, ZHANG X. A comparative analysis of China's regional energy and emission performance: which is the better way to deal with undesirable output? [J]. *Energy Policy*, 2012(46): 574-584.
- [5] WANG Z H, FENG C, ZHANG B. An empirical analysis of China's energy efficiency from both static and dynamic perspectives [J]. *Energy*, 2014(74): 322-330.
- [6] 张少华, 蒋伟杰. 能源效率测度方法: 演变、争议与未来[J]. *数量经济技术经济研究*, 2016(7): 3-24.
- [7] CHUNG Y H, FARE R, GROSSKOPF S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach[J]. *Journal of Environmental Management*, 1997, 51(3): 229-240.
- [8] ZHANG N, KONG F B, CHOI Y. Measuring sustainability performance for China: a sequential generalized directional distance function approach[J]. *Economic Modelling*, 2014(41): 392-397.
- [9] YAO X, ZHOU H, ZHANG A Z, et al. Regional energy efficiency, carbon emission performance and technology gaps in China: a meta-frontier non-radial directional distance function analysis[J]. *Energy Policy*, 2015(84): 142-154.
- [10] WANG K, XIAN Y J, WEI Y M, et al. Sources of carbon productivity change: a decomposition and disaggregation analysis based on global Luenberger productivity indicator and endogenous directional distance function[J]. *Ecological Indicators*, 2016(66): 545-555.
- [11] 涂正革. 环境、资源与工业增长的协调性[J]. *经济研究*, 2008(2): 93-105.
- [12] 陈诗一. 中国的绿色工业革命: 基于环境全要素生产率视角的解释(1980—2008)[J]. *经济研究*, 2010(11): 21-35.
- [13] 胡鞍钢, 郑京海, 高宇宁, 等. 考虑环境因素的省级技术效率排名: 1999—2005[J]. *经济学(季刊)*: 2008, 4(3): 933-960.
- [14] 王兵, 吴延瑞, 颜鹏飞. 中国区域环境效率与环境全要素生产率增长[J]. *经济研究*, 2010(5): 95-109.
- [15] TONE K. A slack-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498-509.

- [16] FUKUYAMA H, WEBER W L. A directional slacks-based measure of technical inefficiency[J]. *Social-Economic Planning Sciences*, 2009(43):274-287.
- [17] 朱承亮, 岳宏志, 安立仁. 节能减排约束中国绿色经济绩效研究[J]. *经济科学*, 2012(5):33-44.
- [18] 王奇, 李明全. 基于 DEA 方法的中国大气环境治理效率评价[J]. *中国环境科学*, 2012, 32(5):942-946.
- [19] 汪克亮, 孟祥瑞, 杨宝臣, 等. 技术异质下中国大气污染排放效率的区域差异与影响因素[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(1):101-110.
- [20] 范纯增, 姜虹. 中国工业大气污染治理效率及产业差异[J]. *生态经济*, 2016, 32(8):153-157.
- [21] FARE R, LOVELL C A K. Measuring the technical efficiency of production[J]. *Journal of Economic Theory*, 1978(19):150-162.
- [22] BARROS C P, MANAGI S, MATOUSEK R. The technical efficiency of the Japanese banks: Non-radial directional performance measurement with undesirable output[J]. *Omega*, 2012(40):1-8.
- [23] 单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算:1952—2006[J]. *数量经济技术经济研究*, 2008(10):17-31.
- [24] 汪克亮, 孟祥瑞, 杨宝臣, 等. 基于环境压力的长江经济带工业生态效率研究[J]. *资源科学*, 2015, 37(7):1491-1501.
- [25] 卢丽文, 宋德勇, 李小帆. 长江经济带城市发展绿色效率研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(6):35-42.
- [26] 陈德湖, 潘英超, 武春友. 中国二氧化碳的边际减排成本与区域差异研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(10):86-93.
- [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] FAN M T, SHAO S, YANG L L. Combining global Malmquist-Luenberger index and generalized method of moments to investigate industrial total factor CO₂ emission performance: a case of Shanghai (China)[J]. *Energy Policy*, 2015(79):189-201.
- [29] ARELLANO M, BOVER O. Another look at the instrument variable estimation of error-component models[J]. *Journal of Econometrics*, 1995(68):29-51.
- [30] BLUNDELL R, BOND S R. Initial Conditions and moment restriction in dynamic panel data models[J]. *Journal of Econometrics*, 1998(87):115-143.
- [31] 宋马林, 金培振. 地方保护、资源错配与环境福利绩效[J]. *经济研究*, 2016(12):47-61.
- [32] 王兵, 王丽. 环境约束下中国区域工业技术效率与生产率及其影响因素实证研究[J]. *南方经济*, 2010(11):3-19.
- [33] 王群伟, 周鹏, 周德群. 我国二氧化碳排放绩效的动态变化、区域差异及影响因素[J]. *中国工业经济*, 2010(1):45-54.
- [34] 何枫, 马栋栋, 祝丽云. 雾霾约束下中国环境技术效率测度及影响因素研究[J]. *研究与发展管理*, 2016, 28(5):15-24.
- [35] 李静. 中国区域环境效率的差异与影响因素研究[J]. *南方经济*, 2009(12):24-35.
- [36] 杨俊, 邵汉华, 胡军. 中国环境效率评价及其影响因素实证研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(2):49-56.
- [37] 张伟, 吴文元. 基于环境绩效的长三角都市圈全要素能源效率研究[J]. *经济研究*, 2011(10):95-109.
- [38] 庞瑞芝, 李鹏, 路永刚. 转型期间我国新型工业化增长绩效及其影响因素研究——基于“新型工业化”生产力的视角[J]. *中国工业经济*, 2011(4):64-73.

Study on the Trend, Regional Difference and Influencing Factors of Air Pollution Emission Efficiency

—Based on Provincial Panel Data from 11 Provinces of Yangtze River Economic Zone

WANG Keliang¹, LIU Lei¹, MENG Xiangrui¹, YANG Baochen²

(1.School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui 232001, China;

2.College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Using non-radial weighted Russell directional distance function, this paper first calculated the air pollution emission efficiency of 11 provinces from Yangtze River Economic Zone, and then investigated the trend of efficiency from 2007 to 2014. Theil index was adopted to explain the reasons for regional differences of air pollution emission efficiency of Yangtze River Economic Zone. Furthermore, the system generalized method of moments (SGMM) was used to investigate the determinants of air pollution emission efficiency. It was found that the air pollution emission efficiency of Yangtze River Economic Zone was relatively low and kept declining in recent years, indicating the large potential of air pollution emission reduction. The efficiency gap between the upstream, midstream and downstream areas and the internal efficiency gap of upstream areas were the key factors for the regional differences of Yangtze River Economic Zone's air pollution emission efficiency. Among the contributors to air pollution emission inefficiency of Yangtze River Economic Zone, ranked No. 1 was smoke and dust, followed by SO₂, and ranked last was nitrogen oxide. Economic growth, increasing the proportion of the third industry, increasing investment in R&D, optimizing energy consumption structure, and raising the level of opening to the outside world could significant promote the air pollution emission efficiency of Yangtze River Economic Zone.

Key words: air pollution emission efficiency; non-radial weighted russell directional distance function; their index; system generalized method of moments