

江苏省生态环境治理绩效动态评价研究

——基于 PCA-SBM 模型和 TFP 指数

卢子芳 邓文敏 朱卫未¹

(南京邮电大学 管理学院, 江苏 南京 210023)

【摘要】: 为研究江苏生态环境治理情况, 文章建立评价指标体系并利用主成分分析法降维, 分别运用 SBM 模型和全要素生产率 (TFP) 指数对江苏省 13 地市 2007-2016 年的生态环境治理绩效进行静态和动态分析。结果显示: 江苏平均生态环境治理绩效值仅为 0.72, 整体有待改进; 江苏南北生态环境治理差距较大, 区域间生态环境治理绩效呈现两极化; 从静态分析角度来看, 江苏生态环境治理绩效呈波动下降趋势; 江苏整体生态环境治理绩效下降, 主要是因为规模不经济的问题; 从动态分析角度来看, 江苏环境治理 TFP 指数整体呈上升趋势。最后, 根据结论提出有针对性的对策建议。

【关键词】: 主成分分析法 SBM 模型 全要素生产率指数 生态环境治理绩效

【中图分类号】: F127; F205 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1007-5097 (2019) 09-0032-07

一、引言

江苏作为我国第二大经济体, 地理位置优越、资源丰富、文化底蕴深厚, 省域经济综合竞争力居全国前列。2018 年, 江苏省的 GDP 达 9.25 万亿元, 实际增速达到 6.7%, 经济实力十分雄厚。但由于江苏省的经济结构侧重于重工业, 所以江苏省面临着巨大的环境治理压力。据《江苏省环境质量状况 (2018 年上半年)》显示, 江苏省共发生了 5 次大范围污染天气过程, 重污染天数比例为 3.9%, 与 2017 年同期相比, 重度及以上污染天数比例上升 2.4%。全省酸雨平均发生率为 9.3%, 南京、无锡等 8 个地市均检测到不同程度的酸雨污染^[1]。江苏省委十三届三次全会指出, 要补齐拉长生态环境这一突出短板。同时, 江苏作为我国生态环境管理制度综合改革试点省份, 势必要起到带头作用。基于此, 本文对江苏省发展的评价也不能仅仅局限于经济发展程度, 还要考虑环境因素影响。

就现有的文献来看, 对环境治理绩效进行的定量研究有两种主流研究方法: 一种是参数法, 如随机前沿分布 (Stochastic Frontier Analysis, SFA)、CD 生产函数回归法; 另一种是非参数法, 如数据包络分析法 (Data Envelopment Analysis, DEA)。因为 DEA 模型既不需要假定生产函数, 也不需要估计参数, 评价结果相对客观公正, 能有效处理多投入多产出决策单元的效率评价问题, 所以 DEA 方法已经成为主流的效率评价工具^[2]。

国外学者 TOSHIYUKI S、Yan Y 和 Mika G (2016) 回顾了在能源与环境方面运用 DEA 模型的国际文献, 发现挑选出的 693 篇

¹**基金项目:** 国家自然科学基金项目“学习效应嵌入下动态决策单元 DEA 效率评价与管理目标设定的研究及应用”(71771126); 江苏省研究生科研与实践创新计划项目“基于全要素生产率的江苏省环境治理绩效动态评价研究”(KYCX18_0943)

作者简介: 卢子芳 (1963-), 男, 河南襄城人, 教授, 硕士生导师, 工学博士, 研究方向: 动态对策理论与应用, 数据分析;

邓文敏 (1995-), 女, 江苏盐城人, 硕士研究生, 研究方向: 系统效率评价与优化;

朱卫未 (1979-), 男, 江苏盐城人, 教授, 硕士生导师, 管理学博士, 研究方向: 系统效率评价与优化, 知识管理与信息管理。

最具有代表性的文章主要集中在环境绩效评价、环境政策效果检验、碳排放绩效评价、碳排放目标设定等方面^[3]。WANG Ke、YU Shiwei 和 ZHANG Wei(2013)使用 DEA 的窗口分析方法,对省际范围内的工业生产能源绩效与环境绩效进行了动态评价^[4]。国内学者董秀海、胡颖廉和李万新(2008)借助 CCR 模型分别从国际和历史角度对中国的环境治理绩效进行了研究^[5]。王亲等人(2012)从七个层面构建评价指标体系,利用 BCC 模型测量了 2003-2009 年中国 270 个城市的环境治理绩效^[6]。刘冰熙、王宝顺和薛钢(2016)改进三阶段 Bootstrapped DEA 方法后,测量了中国 29 省 2007-2013 年地方政府环境治理绩效^[8]。

除了 DEA 方法,还有学者结合运用了基于熵权的 TOPSIS 方法、博弈的 Bargain Game 模型等不同的研究方法。郭国峰和郑召锋(2009)运用条件广义方差极小法与变差系数法对评价指标体系进行筛选,然后运用 DEA 方法定量分析了河南 1999-2006 年环境污染治理投资绩效^[8]。郭文帅、寇纲(2010)分别运用基于熵权的 TOPSIS 方法和基于 TOWA 和 TOW-GA 的组合评价方法对湖北省环境治理能力进行了静态评价和动态分析^[9]。陶敏(2012)建立了我国环境治理投资效率评价指标体系,将环境治理投资总额纳入评价模型,运用 DEA 模型定量分析了投资绩效^[10]。WU Hua-qing、DU Shao-fu 和 LIANG Liang(2013)运用 DEA 模型和博弈的 Bargain Game 模型对有竞争关系的 DMU 碳减排目标进行了集中化设定方法的研究,并使用欧盟 15 个国家的数据进行了实证研究^[11]。

由于不同的学者在进行研究时选取的研究对象、研究重点、分析角度或统计口径等方面存在差异,所得到的结论也不同。黄英、周智和黄娟(2015)为分析当前中国各地农村经济发展水平下区域间农村生态环境治理效率的异质性变化,运用超效率 DEA 对 2011 年中国内地 31 个省份的农村生态环境治理绩效进行了实证研究^[12]。BIAN Yi-wen 和 YANG Feng(2010)运用基于香农熵的 DEA 方法,建立了评价资源环境绩效的综合效率测量方法,计算了中国 30 个省份的资源环境绩效^[13]。张悟移、陈天明和王铁旦(2013)指出 2010 和 2011 年中国各省均存在资源浪费问题,环境治理绩效偏低,2002-2011 年中国整体环境绩效呈现下降趋势^[14]。

目前国内外关于环境治理绩效评价方面的研究多为使用 DEA 方法,但很少会考虑变量的松弛性问题。针对以上问题,本文首先建立了评价指标体系,并创新性地运用了主成分分析法(PCA)对其进行降维处理;然后分别运用 SBM 模型和全要素生产率(TFP)指数对江苏省 13 个地市 2007-2016 年环境治理情况进行静态分析和动态分析,以获取江苏省近 10 年的环境治理绩效情况和变化趋势。

二、研究方法 with 数据

(一) 主成分分析法(PCA)

本文在对实际问题进行研究的过程中,为了能够更为全面系统地分析问题,往往需要考虑到诸多的影响因素,而这些因素间存在的相关性导致在进行统计数据时出现信息重叠。

主成分分析法(Principal Component Analysis,简称 PCA)是一种利用降维思想,将诸多变量转化成少数几个能反映原来绝大部分内容且所含信息互不重叠的综合变量,也就是所谓的主成分。

主成分分析法的处理步骤如下:

(1) 将原始数据按行排列组成矩阵 X。

(2) 对矩阵 X 进行数据标准化,得到相关系数矩阵 R。

(3) 求得相关系数矩阵 R 的特征值记为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_P (\lambda_1 \geq \lambda_2, \dots, \lambda_P \geq 0)$, 求得相关系数矩阵 R 的特征向量记为 $I_1, I_2,$

$\cdots, IP, Ii = (Ii1, Ii2, \cdots, IiP)$ 。

(4) 通过改变 θ 值计算累计贡献率 η_s ，确定主成分维数 S 。

$$\eta_s = \sum_{k=1}^S \lambda_k \left(\sum_{k=1}^P \lambda_k \right)^{-1} \geq \theta$$

方差累计贡献率：，通常情况下要求 $\eta_s \geq 0.85$ 。

主成分维数确定： $S_i = XI_i$ 。

计算所得的 S 维向量， $i=1, 2, \cdots, S$ ，就是可以体现原始数据特征的主成分。

(二) SBM 模型

数据包络分析法 (Data Envelopment Analysis, 简称 DEA) 最早由美国著名的运筹学家 CHARNES A、COOPER WW 和 RHODES E 提出，以此评价 DMU 的相对有效性^[2]。TONEK 于 2001 年提出 SBM 模型，可以直接将松弛变量纳入如下目标函数中^[15]：

$$\begin{aligned} \min \rho &= \frac{1 - 1/m \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{io}}{1 + 1/s \sum_{r=1}^s s_r^+ / y_{ro}}; \\ \text{s.t. } &\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}, \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{io}, \quad i = 1, \cdots, m, \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{ro}, \quad r = 1, \cdots, s, \\ &\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \cdots, n, \\ &s_i^- \geq 0, \quad i = 1, \cdots, m, \\ &s_r^+ \geq 0, \quad r = 1, \cdots, s. \end{aligned} \quad (1)$$

当且仅当 $\rho=1$ 时，DMU 为 SBM 有效，此时投入产出结构合理，生产处于理想状态。

(三) 全要素生产率 (TFP) 指数

Malmquist 指数是一种广泛应用于经济、工业、医院等部门进行生产效率测算的方法，最早由 MALMQUISTS 于 1953 年提出^[16]，随后被 FÄRER 等人于 1980 年进行改进。

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

1994 年，FÄRER 等人将 Malmquist 指数进行了进一步改进，将其与 DEA 方法结合起来，在规模收益可变（VRS）的假设下将其进行分解^[17]。

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \times \left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} = \text{EFFCH} \times \text{TECHCH} \quad (3)$$

$$\frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)}$$

其中，为技术效率变化（EFFCH），表示相对技术效率变动情况；

$$\left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2}$$

为技术变化（TECHCH），表示技术生产变动情况。前者可以进一步分解：

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}/\text{VRS})}{D^t(x^t, y^t/\text{VRS})} \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}/\text{CRS})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}/\text{VRS})} \times \frac{D^t(x^t, y^t/\text{VRS})}{D^t(x^t, y^t/\text{CRS})} \left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} = \text{PEFFCH} \times \text{SCH} \times \text{TECHCH} \quad (4)$$

$$\frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}/\text{VRS})}{D^t(x^t, y^t/\text{VRS})}$$

其中，为纯技术效率变化（PEFFCH），代表 DMU 在一定投入要素配置结构下的生产效率；

$$\frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}/\text{CRS})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}/\text{VRS})} \cdot \frac{D^t(x^t, y^t/\text{VRS})}{D^t(x^t, y^t/\text{CRS})}$$

为规模效率变化 (SCH)，代表从长期来看向最优规模靠近程度的变动情况； $M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t)$ 代表生产率水平的变动情况，大于 1 代表提升，小于 1 代表下降。

其中，方向距离函数 $D_0^t(x_0^t, y_0^t)$ 可以通过下面的线性规划方程求出：

$$\begin{aligned} D_0^t(x_0^t, y_0^t) = \min & \theta; \\ \text{s.t. } & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t \leq \theta x_{i0}^t, \quad i = 1, \dots, m, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^t \geq y_{r0}^t, \quad r = 1, \dots, s, \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (5)$$

三、结果与分析

(一) 评价指标选取与数据来源

环境治理从一定程度上来说是投入人力、物力、财力对环境进行治理的过程，因此本文选取的投入指标有：人力投入以从事环境保护工作的人员数（万人）来衡量，这一指标来源于《中国城市统计年鉴》；物力投入通过污水处理厂座数（座）、生活垃圾无害化处理厂座数（座）来衡量；财力投入以污水处理费（万元）、无害化处理费（万元）来衡量。本文选取的产出指标有：污水处理厂集中处理量（万立方米）、生活垃圾无害化处理量（万吨），这些指标均来源于《中国城市建设统计年鉴》，由于本文撰写时该年鉴只更新到 2016 年，故选择 2007–2016 年这 10 年的数据进行分析。

在指标数量方面，DEA 模型有一定的要求。DEA 的投入产出指标数与 DMU 数要满足 $n \geq 2(m+s)$ ，其中， n 代表 DMU 数， m 和 s 分别代表投入和产出指标数。本文研究的是江苏省 13 地市的环境治理绩效，选择了 5 个投入指标，2 个产出指标，不符合这一经验法则，故而我们在进行 DEA 运算前要使用上文提到的主成分分析法对指标进行预处理。经过降维处理，上述的投入指标由 5 个变成 3 个，满足经验法则。

(二) 基于 PCA-SBM 模型的静态分析

运用 SBM 模型对江苏 13 地市 2007–2016 年的数据进行分析，并与 CCR 模型的计算结果加以对比，如图 1、图 2 和表 1 所示。

1. 江苏整体环境治理绩效变化趋势分析

由图 1 可见，SBM 模型和 CCR 模型计算的环境治理绩效的变化趋势大体上相同，但 SBM 效率值明显低于 CCR 效率值，说明 SBM 模型比 CCR 模型更能够有效识别 DMU 的效率，区分度更高。

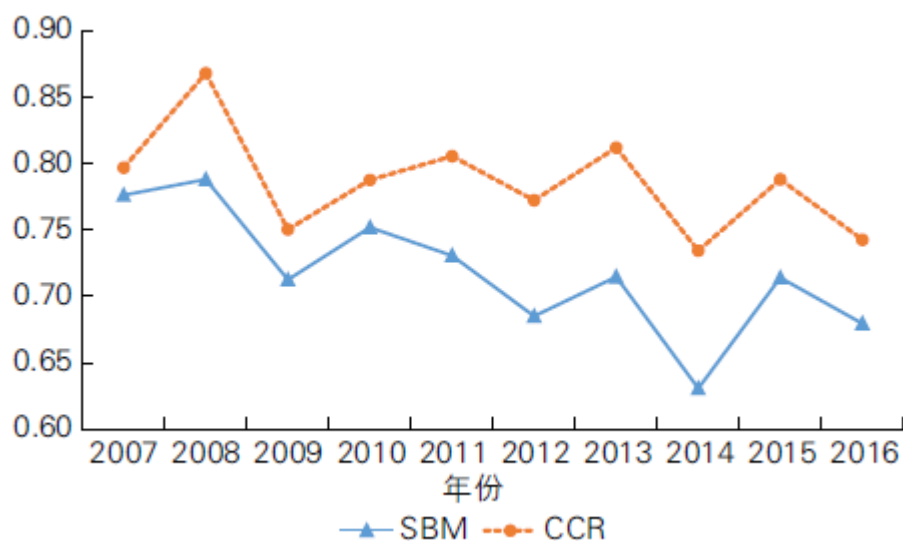


图1 江苏平均环境治理绩效变化趋势

2007-2016 年，江苏省整体的环境治理呈现波动下降的变化趋势，说明江苏省整体的环境治理有待进一步提高。2007-2008 年，江苏省经济快速发展，政府大力贯彻落实科学发展观，各地市积极响应，注重自身环境保护，环境治理绩效上升；2008-2009 年，江苏省的环境治理绩效出现大幅度下降，主要是因为次贷危机使得经济发展与环境保护之间的平衡被破坏，但由于加快转变经济发展方式的提出，政府积极响应，因此 2009-2010 年江苏省的环境治理绩效出现回升；2010-2012 年，江苏省将重点放在了农村环境综合整治试点工作上，对于生态环境的保护和治理没有落实到位，因此环境治理绩效又出现下降；2012-2013 年，江苏全省深入贯彻落实党的十八大“五位一体”精神，切实加大污染减排力度，持续加强环境执法监管，不断深化环保领域改革创新，环境治理绩效上升；2013-2014 年，环境治理绩效为 10 年间的最低值，主要是因为江苏省将工作重心放在了改革创新上，对环境治理重视不足；2014-2015 年，江苏省经济进入新常态后，随着节能减排的不断推进，江苏在注重产业转型升级的同时，也更加重视工业污染物治理问题，利用先进治理技术与设备提高环境治理绩效；2015-2016 年，为给“十二五”规划交出令人满意的答卷，侧重于经济水平的提高，故而对环境保护和治理的重视程度有所下降。

2. 江苏环境治理绩效区域差异分析

从地理位置上可以将江苏划分为苏南、苏中、苏北三个区域，苏南包括南京、苏州、无锡、常州和镇江；苏中包括扬州、泰州和南通；苏北包括徐州、连云港、宿迁、淮安和盐城。图 2 是江苏省 2007-2016 年分区域平均环境治理绩效的变化情况，可见 10 年间苏南的环境治理绩效持续走低，近两年趋于稳定；苏中的环境治理绩效变化较为稳定，2015 年首次超过苏南；苏北的环境治理绩效是三个区域中最低的，其变化趋势与江苏省整体的变化趋势基本保持一致，可见苏北对政策形势等大环境更为敏感。

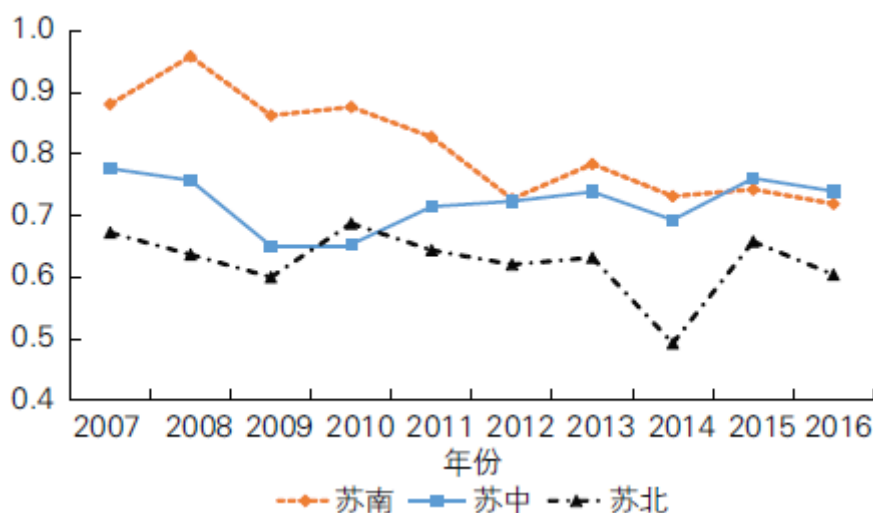


图2 江苏分区域平均环境治理绩效变化趋势

由表1可以看出，苏南平均环境治理绩效排名为无锡（1.00）、南京（0.94）、苏州（0.87）、常州（0.67）、镇江（0.57），整体平均治理绩效为0.81，环境质量良好。从自身条件来看，苏南地理位置优越，交通便利，优质资源丰富，无论是人才、技术还是资金的供给相对于苏中和苏北而言都更加充足，因此能够稳步开展环保制度改革，合理控制污染排放水平。无锡是所有地市中环境治理绩效最好的，10年均均为SBM有效，主要归功于无锡积极推行环保政策。常州和镇江的环境治理低于苏南平均水平，常州和镇江要把保护生态环境、治理环境作为重点，减少有害污染物的排放，同时还要节约能源和资源。

苏中平均环境治理绩效排名为南通（0.96）、扬州（0.75）、泰州（0.45），整体平均治理绩效为0.72。南通在所有地市中环境治理绩效排第二，有8年为SBM有效，环境治理情况较好。泰州作为苏中城市，环境治理绩效并不尽如人意，主要是由于工业比重较大，因此需要积极推进经济结构调整，加强对环境的监管力度和高污染企业的整治力度，提高环境治理技术水平。

苏北平均环境治理绩效排名为徐州（0.87）、淮安（0.81）、连云港（0.64）、盐城（0.47）、宿迁（0.33），整体平均治理绩效为0.62。徐州和南京一样有6年为SBM有效，是苏北环境治理绩效最好的城市。宿迁的平均环境治理绩效是所有地市中最低的，仅为0.33，表明各地市环境治理绩效水平之间存在显著差异，可见经济发展特点与所处环境也会对环境治理结果产生影响。苏北主要是受经济发展水平的影响，生产技术的落后使得生产过程中的能源消耗过高，污染物排放也较多。

表1 江苏省13地市2007-2016年环境治理绩效

地区	2007 年		2008 年		2009 年		2010 年		2011 年	
	SBM	CCR	SBM	CCR	SBM	CCR	SBM	CCR	SBM	CCR
南京	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
无锡	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
徐州	0.813	0.823	0.633	0.778	0.501	0.607	0.800	0.852	1.000	1.000
常州	0.809	0.840	0.790	0.918	0.805	0.857	0.899	0.998	0.600	0.619
苏州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
南通	0.842	0.863	0.773	0.821	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
连云港	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.409	0.517
淮安	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.762	0.991

盐城	0.304	0.381	0.334	0.564	0.250	0.313	0.389	0.399	0.570	0.724
扬州	1.000	1.000	0.805	0.896	0.554	0.623	0.589	0.696	0.758	0.846
镇江	0.593	0.630	1.000	1.000	0.507	0.610	0.480	0.577	0.537	0.616
泰州	0.486	0.505	0.693	0.913	0.398	0.469	0.371	0.459	0.385	0.479
宿迁	0.244	0.317	0.216	0.395	0.248	0.276	0.246	0.259	0.478	0.680
地区	2012 年		2013 年		2014 年		2015 年		2016 年	
	SBM	CCR	SBM	CCR	SBM	CCR	SBM	CCR	SBM	CCR
南京	0.838	0.947	1.000	1.000	0.937	0.974	0.869	0.995	0.762	0.879
无锡	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
徐州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
常州	0.523	0.536	0.566	0.699	0.494	0.601	0.602	0.689	0.585	0.710
苏州	0.766	0.928	0.796	0.950	0.746	0.863	0.686	0.884	0.719	0.938
南通	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
连云港	0.396	0.536	0.336	0.433	0.309	0.369	0.457	0.511	0.473	0.516
淮安	0.768	0.968	0.754	0.937	0.394	0.604	0.742	0.915	0.668	0.753
盐城	0.633	0.749	0.550	0.696	0.446	0.749	0.661	0.784	0.567	0.644
扬州	0.764	0.867	0.748	0.846	0.681	0.802	0.837	0.867	0.769	0.807
镇江	0.507	0.625	0.555	0.713	0.479	0.649	0.555	0.621	0.529	0.575
泰州	0.405	0.516	0.467	0.573	0.397	0.477	0.444	0.513	0.449	0.489
宿迁	0.305	0.369	0.518	0.708	0.315	0.460	0.430	0.467	0.313	0.343

（三）基于 TFP 指数的动态分析

基于 PCA-SBM 模型的静态分析主要是从时间序列和空间分布两个角度进行的，运用 Malmquist 指数方法可对江苏省 13 地市进行动态分析，从而更好地了解江苏省环境治理绩效的一个动态变化过程，计算得到的 TFP 指数及其分解指标见表 2 和表 3 所列。

从表 2 可以看出，江苏省环境治理绩效年均增长率为负值，为-0.2%，说明环境治理情况没有得到显著改善。南京 TFP 指数为 1，说明南京的生产率无明显变化；无锡、徐州、南通、盐城、扬州和泰州 6 个地市 TFP 指数大于 1，说明这 6 个地市的生产率提高；TFP 小于 1 的常州、苏州、连云港、淮安、镇江和宿迁的生产率水平则是下降了，其中连云港的全要素生产率最低，为 0.721。从分解指标来看，江苏省环境治理绩效的纯技术效率提高 0.2%，技术效率及其分解指标均下降，分别下降了 0.9%、1.2% 和 1.0%，可见江苏省环境治理绩效低下主要是技术效率引起的，规模效率低下主要是因为江苏在经济发展过程中存在规模不经济的现象，部分地市可能投资过度或闲置资源。徐州、南通、盐城和泰州的 TFP 指数及其分解指标均大于 1，说明这 4 个地市无论是技术水平还是管理水平或者是投入产出结构都处于进步状态，在环境治理和污染减排等方面都具备一定的优势；相比之下，所有指标均在 1 以下的连云港和淮安则呈现出衰退趋势，在生态环境保护和环境治理绩效提高方面仍然面临着巨大的压力；苏州的技术变化小于 1，但技术效率变化等于 1，说明苏州的环境治理技术有待进一步提高。就平均值而言，江苏省 13 地市可以通过提高技术效率变化来有效拉动 TFP 指数。

表 2 江苏环境治理绩效 TFP 指数及其分解（分市）

地区	EFFCH	TECHCH	PEFFCH	SCH	TFP
南京	0.986	1.014	1.000	0.986	1.000

无锡	1.000	1.012	1.000	1.000	1.012
徐州	1.021	1.065	1.020	1.001	1.087
常州	0.981	1.001	0.977	1.005	0.983
苏州	1.000	0.974	1.000	1.000	0.974
南通	1.016	1.041	1.000	1.016	1.058
连云港	0.929	0.776	0.996	0.933	0.721
淮安	0.975	0.908	1.000	0.975	0.885
盐城	1.071	1.014	1.032	1.038	1.086
扬州	1.000	1.024	1.000	1.000	1.024
镇江	0.956	1.031	0.993	0.963	0.986
泰州	1.043	1.004	1.005	1.038	1.047
宿迁	0.918	1.021	1.000	0.918	0.938
平均值	0.991	0.988	1.002	0.990	0.980

表 3 是 2007-2016 年江苏省整体的发展动态变化, 为了便于观察, 将其绘制成折线图 (图 3 和图 4)。可见江苏省 13 地市 2007-2016 年环境治理 TFP 指数整体呈上升趋势, 而技术效率变化和技术变化则呈现出上下波动的不稳定变化趋势。虽然 10 年间 TFP 指数小于 1 的年份要多余大于 1 的年份, 但从其变化趋势来看, 生产率水平是提升的。十年间技术效率和规模效率变化趋势比较接近, 纯技术效率则在 1 左右上下波动。由图、表可知, 影响 TFP 的主要是技术变化, 而影响技术效率的主要是规模效率, 这说明, 提高技术水平可以有效提高江苏省 13 地市的环境治理绩效。

表 3 江苏环境治理绩效 TFP 指数及其分解 (分年)

时期	EFFCH	TECHCH	PEFFCH	SCH	TFP
2007-2008 年	1.084	0.816	1.011	1.072	0.884
2008-2009 年	0.935	0.904	0.971	0.964	0.846
2009-2010 年	1.002	1.162	1.032	0.970	1.164
2010-2011 年	1.046	0.809	1.001	1.044	0.846
2011-2012 年	0.949	1.046	1.003	0.946	0.992
2012-2013 年	1.051	0.968	1.007	1.043	1.017
2013-2014 年	0.925	1.069	0.982	0.942	0.988
2014-2015 年	1.023	1.018	0.996	1.027	1.041
2015-2016 年	0.923	1.178	1.013	0.911	1.088
平均值	0.991	0.988	1.002	0.990	0.980

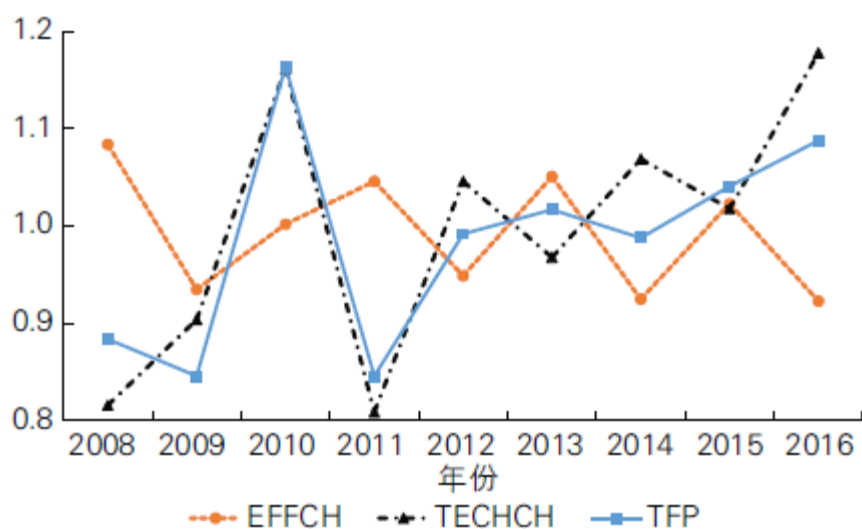


图 3TFP 指数及其分解指标

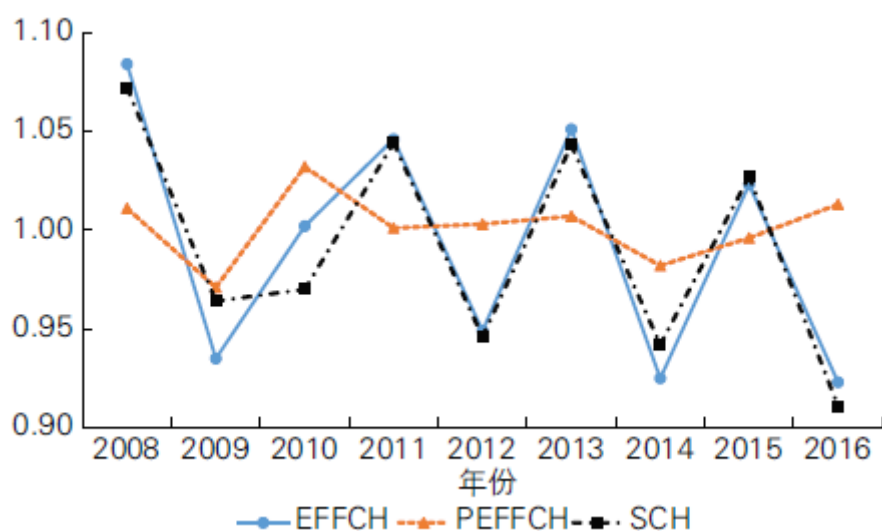


图 4 技术效率及其分解指标

四、结论与启示

（一）研究结论

通过运用 PCA-SBM 模型和 Malmquist 指数对江苏 13 地市的环境治理绩效进行测算，可以看出：

（1）江苏环境治理情况整体有待改进。由 PCA-SBM 模型得到的计算结果可知，江苏只有小部分地市的环境治理绩效在 0.85 以上，且全省平均环境治理绩效值仅为 0.72，表明江苏环境治理情况整体不佳，还有很大的提升空间。

（2）江苏省区域间环境治理绩效呈现两极化。由 PCA-SBM 模型得到的计算结果可知，江苏省苏南地区的平均环境治理绩效

为 0.81，而苏北为 0.62，这还是在苏北城市徐州和淮安的环境治理绩效在 0.8 以上得到的五市平均值，可见江苏省区域间环境治理绩效受经济发展水平、地理位置等诸多因素影响，呈现两极化。

(3) 江苏省环境治理绩效呈波动下降趋势。2007-2016 年 10 年间，江苏省平均环境治理绩效在 2008 年达到峰值 0.79，此后受到次贷危机影响而下降，在 2014 年平均环境治理绩效最低，仅为 0.63，且从整体来看，呈现波动下降的变化趋势。

(4) 江苏存在规模不经济的现象。江苏省整体环境治理绩效下降，主要是由技术变化的分解指标规模效率低下引起的，可见江苏省在经济发展过程中存在规模不经济的现象，部分地市可能投资过度或闲置资源，需要进行进一步调整。

(5) 江苏环境治理 TFP 指数整体呈上升趋势。从 TFP 指数的分解指标来看，技术效率变化和技术变化导致 TFP 指数呈现出上下波动的不稳定变化趋势，但从其变化趋势来看，生产率水平是提升的。

(二) 管理启示

根据研究得出的结论，结合每个地市自身的发展特点，提出的提高环境治理绩效的路径也有所区别，具体如下：

(1) 针对江苏省整体环境治理绩效不佳的情况，应当坚持实施创新驱动发展战略。江苏各地市可以从发展方式、内部组织管理、制度、市场、知识和技术等多方面进行创新，逐步改善江苏省能源消费总量大、生态环境污染严重、生态环境系统退化等问题。

(2) 针对江苏省区域间环境治理绩效呈现两极化的问题，各区域应当加强同其他区域交流和合作，缩小区域间的环境治理差距，坚持协调发展。苏南地区应当充分发挥辐射带头作用，将优质的人才资源、技术资源等向苏中和苏北进行跨区域输送，将环境治理的先进经验传授给苏中和苏北，积极推动全省各地市的协同发展，实现共赢。目前徐州、南通、盐城和泰州已经充分认识到环境治理的重要性，并已采取了有效的措施对环境进行了治理，且治理效果良好；其余环境治理绩效不佳的地市应当积极学习他们的环境治理经验，并结合本市的实际情况加以调整。

(3) 针对江苏省环境治理绩效下降的问题，应当加快转变江苏省的经济发展方式，积极引导传统高耗能、高污染产业转型升级优化。技术创新是提高资源配置效率和资源使用效率的关键，因此江苏省各地市还应加大对环境治理技术的投入，提高对人才资源的吸引力，引进国内外先进的管理制度、科学技术和设备器材，同时还应加强对科研经费等的监管力度，节约资源和能源。

(4) 针对江苏省存在的技术变化指数低下和规模不经济的问题，规模效率低下的南京、淮安、盐城、泰州和宿迁应该调整其投入要素的配置结构，做好人财物三者的有机协调统一，来提升至最高的生产率水平；常州、连云港和镇江不但要调整投入要素配置结构，更要将重点放在加强对内部的管理、充分发挥技术的作用上；而苏州、连云港和淮安不但要加强内部管理，更要重视对环境治理技术的投入，不断攻克环境治理技术难关，实现突破和创新，以此提高技术变化指数。

参考文献：

[1]江苏省生态环境厅.江苏省环境质量状况(2018年上半年)[EB/OL].(2019-03-12)[2019-05-12].<http://hbt.jiangsu.gov.cn/col/col1649/index.html>.

[2]CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European journal of operational research, 1978, 2(6): 429-444.

-
- [3]TOSHIYUKI S,YAN Y,MIKA G. A Literature Study for DEA Applied to Energy and Environment[J].Energy Economics,2017,62(2):104-124.
- [4]WANG Ke,YU Shi-wei,ZHANG Wei.China' s regional energy and environmental efficiency:A DEA window analysis based dynamic evaluation[J]. Mathematical and Computer Modelling,2013,58(5/6):1117-1127.
- [5]董秀海,胡颖廉,李万新.中国环境治理效率的国际比较和历史分析——基于 DEA 模型的研究[J].科学学研究,2008,26(6):1221-1230.
- [6]王亲,郭峰,许新宇,等.中国城市环境治理效率评估及其时空变异研究[J].世界地理研究,2012,21(4):153-162.
- [7]刘冰熙,王宝顺,薛钢.我国地方政府环境污染治理效率评价——基于三阶段 BootstrappedDEA 方法[J].中南财经政法大学学报,2016(01):89-95,160.
- [8]郭国峰,郑召锋.基于 DEA 模型的环境治理效率评价——以河南为例[J].经济问题,2009(1):48-51.
- [9]邬文帅.城市环境治理能力提升:一种基于熵权的动态组合评价方法[C].中国系统工程学会.经济全球化与系统工程——中国系统工程学会第16届学术年会论文集.香港:上海系统科学出版社,2010:7.
- [10]陶敏.我国环境治理投资效率评价及其关键影响因素[J].长江流域资源与环境,2012,21(1):111-116.
- [11]WU Hua-qing,DU Shao-fu,LIANG Liang,et al.A DEAbased approach for fair reduction and reallocation of emission permits [J]. Mathematical and Computer Modelling.2013,58(5):1095-1101.
- [12]黄英,周智,黄娟.基于 DEA 的区域农村生态环境治理效率比较分析[J].干旱区资源与环境,2015,29(3):75-80.
- [13]BIAN Yi-wen,YANG Feng.Resource and environment efficiency analysis of provinces in China:a DEA approach based on Shannon's entropy[J]. Energy Policy,2010,38(4):1909-1917.
- [14]张悟移,陈天明,王铁旦.基于 DEA 和 Malmquist 指数的中国区域环境治理效率研究[J].华东经济管理,2013,27(2):172-176.
- [15]TONE K.A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J].European journal of operational research,2001,130(3):498-509.
- [16]MALMQUIST S. Index numbers and indifference surfaces[J].Trabajos de Estadística,1953,4(2):209-242.
- [17]FARE R,GROSSKOPF S,NORRIS M,et al.Productivity growth,technical progress,and efficiency change in industrialized countries[J]. The American economic review,1994,84(1):66-83.