

江苏碳排放效率空间差异性及其影响因素分析

——基于改进的三阶段 SBM-DEA 模型分析¹

徐国泉，栾昊

（苏州科技大学 商学院，江苏 苏州 215009）

【摘要】：基于非期望产出的三阶段 SBM-DEA 模型，剔除环境因素和随机误差的影响，对 2005-2015 年江苏省 12 个城市的碳排放效率进行测算。结果表明，研究期内江苏省整体排放效率呈波动上升趋势，苏州、无锡、盐城的排放效率相对有效，处于排放效率前沿，其他城市的排放效率均有待提高。江苏省区域间碳排放效率呈现“苏中>苏南>苏北”的格局，与传统经济格局存在差异。因此，为提高碳排放效率应着力改善外部环境因素，如政府干预程度、科技支撑强度、所有权结构等因素，并针对不同区域制定差异化的减排政策。

【关键词】：碳排放效率；SBM-DEA 模型；外部环境因素

【中图分类号】：F062.2 **【文献标识码】：**A **【文章编号】：**1671-4407（2018）07-033-06

1、引言

因温室气体过度排放所引起的全球气候变化问题给人类社会的生存与发展带来了巨大威胁。减少温室气体排放，发展低碳经济已成为世界各国的共识。中国是世界上最大的碳排放国家，在减排问题上面临着前所未有的压力。21 届联合国气候变化大会之前，中国如期提交了“国家自主决定贡献”：在 2030 年之前，中国碳排放将达到峰值，并努力尽早达峰；碳排放强度较 2005 年减少 60%~65%。江苏是中国的经济大省，2016 年江苏实现地区生产总值 76086.2 亿元，位列全国第二，但同时江苏也是碳排放量较大的省份^[1]。要在保持江苏经济高速发展的同时控制碳排放量，关键是提高碳排放效率。对碳排放效率的评价问题国内外学者做出了大量研

究。一类是通过单一要素对碳排放效率进行评价，如 Kaya & Yokobori^[2]、潘家华和张丽峰^[3]、龙如银等^[4]从碳生产率的角度进行了研究，Sun^[5]、孙欣和张可蒙^[6]、胡宗义等^[7]通过碳排放强度进行了评价。用单一指标对碳排放进行评价便于理解和操作，但难免有局限性和片面性。另一类是基于全要素框架体系对碳排放效率进行测算。如王群伟等^[8]、华坚等^[9]、董锋等^[10]、陈晓红等^[11]均运用不同的 DEA 模型对我国的碳排放效率进行分析研究。但这些研究均忽略了城市是碳排放的主体，城市排放了 70% 的 CO₂^[12]。鉴于此，本文试图运用三阶段 SBM-DEA 模型，将 CO₂ 作为非期望产出，对 2005-2015 年江苏省 12 个城市的碳排放效率进行测算和评价，并为提高江苏省碳排放效率给出相应的建议。

2、研究方法

¹**【基金项目】：**江苏社会科学基金项目“江苏非均衡发展区域碳排放的时空异质性及跨区域协同减排策略研究”（17GLB026）；苏州科技大学研究生科研创新项目“江苏省碳排放的时空异质性及协同减排策略”（SKCX16-045）

【第一作者简介】：徐国泉（1979-），男，江苏吴江人，博士，副教授，硕导，研究方向为科技管理。E-mail: xiguaquan@163.com

2.1 非期望产出的 SBM-DEA 换喂

SBM (slack-based measure) 模型是由 Tone^[13]提出的一种非径向、非角度的数据包络模型，它解决了径向 DEA 模型投入要素冗余的问题，克服了 DEA 模型仅仅从投入或产出角度进行效率评价的缺陷。其基本形式为：

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{r0}^b} \right)}$$

$$\text{subject to} \begin{cases} x_0 = X\lambda + S^- \\ y_0^g = Y^g\lambda - S^g \\ y_0^b = Y^b\lambda + S^b \\ S^- \geq 0, S^g \geq 0, S^b \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中：λ 为权重向量， $x=(x_{ij}) \in R^{m \times n}$ 为投入变量， $y=(y_{ij}) \in R^{s \times n}$ 为产出变量，表示共有 m 个投入，s 个产出（s₁ 个期望产出，s₂ 个非期望产出），n 个决策单元；y^g 为期望产出，y^b 为非期望产出；s⁻、s^g、s^b 分别为投入变量、期望产出与非期望产出的松弛变量。ρ 为目标函数即碳排放效率值，并且 0 ≤ ρ ≤ 1，当 ρ=1 时，s⁻=s^g=s^b=0，此时，对于这一特定的决策单元是完全有效率的；当 ρ < 1 时，说明决策单元是无效率的，需通过改善投入变量和产出变量以提高效率。

通过观察公式（1）可以发现，投入产出松弛变量直接代入目标函数进行计算，一方面解决了传统 DEA 模型投入与产出变量松弛性问题，另一方面也有效解决了产出变量中存在期望与非期望产出的问题。因此，采用 SBM 模型更能够有效地评价碳排放效率问题。

2.2 三阶段 SBM-DEA 模型

数据包络模型 DEA 是进行效率评价最为常见的方法，但传统 DEA 模型没有考虑环境因素和随机噪声对决策单元效率评价的影响^[14]。本文采用改进的三阶段 SBM-DEA 模型，剔除环境因素和随机误差的影响，对江苏省各地级市碳排放效率进行评价，使结果更为真实客观。

第一阶段：运用非期望产出的 SBM-DEA 模型计算各决策单元的初始效率以及投入产出的松弛变量。

第二阶段：构建类似随机前沿模型（SFA）剔除环境因素和随机噪声。第一阶段计算得到的投入产出松弛变量受到管理无效率、环境因素和统计噪声的影响^[14]，因此有必要分离这三种影响。

首先，进行投入产出变量的 SFA 回归，构建如下类似 SFA 回归函数：

$$S_{ij} = f(Z_j; \beta_i) + v_{ij} + \mu_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, J) \quad (2)$$

式中：S_{ij} 是第 j 个决策单元第 i 项投入的松弛变量，Z_j 是环境变量，β_i 是环境变量的系数，v_{ij} + μ_{ij} 是混合误差项，v_{ij} 是随机噪声，μ_{ij} 是管理无效率，表示管理因素对投入松弛变量的影响，假设其服从在零点截断的半正态分布，即 $\mu \sim N^+(0, \sigma_\mu^2)$ 。

其次，分离环境因素、管理无效率和随机噪声。对于管理无效率项的分离本文采用罗登跃^[15]、陈巍巍等^[16]推导的公式：

$$E(\mu/\varepsilon) = \sigma_v \left[\frac{f\left(\frac{\lambda \varepsilon}{\sigma}\right)}{\varphi\left(\frac{\lambda \varepsilon}{\sigma}\right)} + \frac{\lambda \varepsilon}{\sigma} \right] \quad (3)$$

式中： $\sigma_v = \frac{\sigma_\mu \sigma_v}{\sigma}$ ， $\sigma = \sqrt{\sigma_\mu^2 + \sigma_v^2}$ ， $\lambda = \sigma_\mu / \sigma_v$ ， $\varepsilon = \mu_{ij} + v_{ij}$ 。这样随机误差项就可以从混合误差项中分离，分离公式为：

$$E[v_{ij} / (v_{ij} + u_{ij})] = S_{ij} - f(Z_j; \beta_i) - E[u_{ij} / (v_{ij} + u_{ij})] \quad (4)$$

最后，进行投入产出变量的调整。分离松弛变量中的管理无效率、环境因素和随机误差是为了将所有的决策单元置于同一外部环境中进行效率评价，这样就有两种调整方式。一种是将所有决策单元调整至较好的外部环境中，可通过减少其他决策单元的投入或者产出进行调整；另一种是调整至较差的外部环境中，增加其余决策单元的投入与产出。本文鉴于数据的可操作性选择第二种调整方式，其公式为：

$$X_{ij}^A = X_{ij} + \left\{ \max[f(Z_j; \beta_i)] - f(Z_j; \beta_i) \right\} + [\max(v_{ij}) - v_{ij}] \quad (5)$$

式中： X_{ij}^A 为调整后的投入变量， X_{ij} 为调整前的投入变量，综上，所有决策单元将置于同一外部环境之中。

第三阶段：运用调整后的投入与产出变量对所有决策单元重新测算，此时的效率值剔除了环境因素和随机误差的影响，结果相对真实有效。

3、数据收集与整理

鉴于数据的可获得性，本文以 2005–2015 年为计算年度，分别对江苏省 12 个地级市的碳排放效率进行评价。由于宿迁的数据难以获得，故不作考虑。原始数据主要来源于 2006–2016 年的《江苏统计年鉴》《中国城市统计年鉴》以及江苏 12 个城市的统计年鉴。特别说明的是泰州和淮安个别年份有部分数据缺失，以上下年份的平均数补齐的方式加以处理。

3.1 投入产出变量的选取与处理

SBM-DEA 模型是基于投入与产出的非参数效率评价模型，本文分别选择了资本、能源消耗和劳动力投入作为投入变量，产出变量则是期望产出的各城市 GDP 和非期望产出的碳排放量。

资本存量：各统计年鉴中没有资本的统计量，故采用资本存量表示资本投入。资本存量的估算使用的是永续盘存法，在基期资本存量计算中借鉴了单豪杰^[17]的方法。由于城市统计年鉴中缺失了大部分固定资本形成总额指数，故统一选用商品零售价格指数进行平减计算。

能源消耗：为了统一比较，将各城市的煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气以及电力 9 种能源的消耗量折算为“万吨标准煤”作为能源投入。

劳动力：以城镇单位从业人员期末人数来表示，单位为万人。

期望产出：选取各城市历年 GDP 为期望产出，GDP 均以 2005 年为基期折算为实际 GDP。

非期望产出：选用各城市碳排放量表示。由于我国尚没有碳排放量的直接监测数据，本文以《IPCC 国家温室气体排放清单指南》提出的计算公式和碳排放系数为依据，计算江苏省各城市的碳排放量，计算结果见表 1。

表 1 2005-2015 年江苏省各城市碳排放估算量（万吨）

城市	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
南京	10079.7	10311.6	10852.8	10354.5	10918.0	12782.3	14386.0	14382.9	15407.7	15645.7	16554.1
无锡	4885.1	5476.5	5808.3	5832.1	6136.5	6611.8	7042.8	7026.4	7629.9	7174.3	6659.5
徐州	5886.1	6092.9	6797.2	7440.2	7849.6	8900.6	10107.0	10681.2	10998.2	9908.1	9374.5
常州	2208.9	2577.3	3177.8	3072.0	3094.8	3260.7	3621.0	3478.7	3965.3	3967.3	3826.1
苏州	7644.1	9315.9	10937.7	11206.7	12096.3	13034.1	13989.2	14196.6	14779.4	14740.8	14367.7
南通	2281.6	2447.0	2578.6	2638.4	2568.8	3802.7	4117.3	4066.3	4090.3	4600.0	4487.3
连云港	882.7	987.2	954.7	1003.8	1248.2	1664.7	2021.0	2213.7	2533.4	2770.0	2956.1
淮安	1746.8	1818.0	1959.8	1973.4	2112.5	2216.2	2343.0	2493.4	2535.8	2489.9	2536.4
盐城	1207.7	1320.4	1391.5	1394.5	1391.3	1386.6	1258.7	1309.1	2328.2	2526.9	2502.5
扬	1930.4	2109.8	2779.2	2799.8	3106.2	3118.2	3124.6	2960.6	3115.5	2963.1	2732.1
镇江	2737.6	2886.5	2787.8	2750.3	2959.7	3108.2	3691.0	3985.4	4162.3	4770.6	4322.9
泰州	1298.4	1716.7	2095.6	2680.7	2916.3	3067.0	3208.8	2994.3	3116.3	3043.3	3655.6
合计	42789.0	47059.8	52121.0	53146.5	56398.1	62953.0	68910.3	69788.6	74662.4	74600.0	73974.9

3.2 环境变量

环境变量的选取是为了剔除这些因素的干扰，从而客观地对效率进行评价，所以选取的环境变量一定是各城市客观存在的，而非主观上可以控制的且对效率评价具有显著影响的外部环境因素。环境变量的选取如下：

政府干预程度：政府政策一定程度上影响了二氧化碳的排放。政府的干预作用往往会影响市场配置资源功能的作用，一个有活力的市场机制会提高碳排放绩效。政府干预程度采用地方财政支出与当地 GDP 之比表示。

产业结构：林善浪等^[18]认为碳生产率提高主要受空间集聚和产业结构的影响，技术创新的作用在现阶段往往事倍功半，必须着力于加快产业结构升级并促进产业结构合理布局。龙如银和邵天翔^[19]分析了我国长三角、珠三角、京津冀三大经济圈的碳生产率影响因素，并指出第二产业结构变动是影响碳生产率变化的主要因素。同时张丽峰^[20]采用因素分解法，在分析我国碳生产率影响因素中指出：改善碳排放结构即改善产业结构在节能减排中发挥主导作用。本文选用第二产业比重表示产业结构的影响。

能源结构：能源消费结构是影响碳排放的重要因素。我国能源的可采储量结构决定了我国的能源消费结构，即以煤炭为主的能源消费结构。本文采用煤炭消费量占能源消费总量的比例表示能源结构的影响。同时将煤炭消费量与能源消费总量都转化为标准煤进行计算。

所有权结构：国有企业往往缺乏有效监督，导致经营水平和技术水平不高、运行效率低下^[21]。所以国有企业产值比例越高，地方碳排放绩效越低。本文采用国有企业工业总产值与各城市 GDP 的比值表示所有权结构的影响。

科技支撑强度：技术进步是碳减排的主要因素，推动技术进步、提高能源效率是实现节能减排的重要手段。潘家华^[22]指出我国受当前发展阶段和资源禀赋的制约，发展低碳经济靠调整产业结构和能源结构受到很大的约束；提高能源利用效率、发展可再生能源是短期内碳减排最有效的方式。因此，本文采用科学技术支出与 GDP 的比值表示科技支撑强度。

4、实证结果与分析

4.1 第一阶段实证结果分析

第一阶段，基于 SBM-DAE 模型，通过 DEA-Solver5.0 软件计算江苏省各城市 2005-2015 年碳排放的初始效率值，计算结果见表 2。由表 2 可知，无锡和盐城属于第一梯队，碳排放效率值为 1，这表明无锡和盐城在保证经济发展的同时又注重碳排放的控制。苏州、南通、连云港、扬州、镇江和泰州平均初始效率均大于 0.7，这些城市的碳排放效率均处于较高水平，但还有改善空间。而南京、徐州、常州、淮安的碳排放效率水平较为一般，均低于 0.7。在 12 个城市中，碳排放效率最低的为南京，效率值为 0.509，这一点似乎令人意外，2005-2015 年南京碳排放量为全省排放总量的 21%，这表明南京的经济发展是以牺牲环境为代价的。而 2005-2015 年各城市碳排放效率均值保持在较为稳定的水平，一直在 0.82 上下徘徊。

表 2 第一阶段江苏省各城市碳排放效率值

城市	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	均值
南京	0.477	0.499	0.513	0.525	0.510	0.534	0.516	0.517	0.521	0.504	0.485	0.509
无锡	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
徐州	0.512	0.535	0.548	0.550	0.555	0.572	0.564	0.568	0.603	0.642	0.657	0.573
常州	0.740	0.696	0.668	0.665	0.649	0.665	0.595	0.614	0.736	0.741	0.744	0.683
苏州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.977	0.967	0.957	0.991
南通	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.888	0.794	0.811	0.954
连云港	1.000	1.000	0.884	0.850	0.809	0.772	0.726	0.722	0.776	0.749	0.753	0.822
淮安	0.556	0.562	0.588	0.591	0.688	0.723	0.696	0.707	0.803	0.797	0.793	0.682
盐城	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
扬州	0.797	0.824	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.965
镇江	0.809	0.829	0.955	0.950	1.000	0.915	0.801	0.742	1.000	1.000	1.000	0.909
泰州	0.956	0.817	0.811	0.738	0.733	0.760	0.675	0.678	0.737	0.733	0.662	0.755
均值	0.821	0.814	0.831	0.822	0.829	0.828	0.798	0.796	0.837	0.827	0.822	

4.2 第二阶段实证结果分析

第二阶段是利用类似随机前沿模型分离环境因素、随机噪声和管理无效率。运用 Frontier4.1 软件,以产业结构、所有权结构、政府干预程度、科技支撑强度和能源结构为自变量分别对资本存量、劳动力投入和能源消费的松弛变量进行 SFA 回归分析。表 3 中,投入松弛变量单边的广义似然比检验结果分别为 160.69、54.26、215.24,均位于 99%置信区间以外,拒绝原假设 σ^2 ,所以管理无效率项存在,使用 SFA 回归是合理的。对于 γ 值而言,SFA 分析的结果均大于 0.8,说明松弛变量变动的因素很大一部分是由管理无效率引起的。

表 3 第二阶段 SFA 估计结果

松弛变量	资本存量松弛变量		劳动力松弛变量		能源消费松弛变量	
	参数值	t 值	参数值	t 值	参数值	t 值
常数项	1256.56	3.00**	48.38	4.19***	1251.51	2.67**
产业结构	-6.51	-9.6***	-1.32	-2.39**	-23.04	-3.01**
所有权结构	8.39	1.61*	-0.7	-1.63*	9.35	0.77
政府干预程度	9.95	1.72*	-0.29	-5.78***	0.45	2.05**
科技支撑强度	-454.2	-3.23**	11.86	2.58**	27.86	1.91*
能源结构	-19.65	-8.13***	0.19	8.63***	-0.97	-3.13**
σ^2	427257.7	397881.11***	1549.37	2.49**	1269107	1268738.8***
γ	0.91	76.09***	0.81	9.88***	0.96	186.17***
LR 单边误差检验	160.69***		54.36***		215.24***	

注：上角标***、**、*分别代表通过显著性水平为 1%、5%、10%的检验。

投入松弛变量是原始投入与目标投入的差值,即为了改善碳排放效率所要减少的投入冗余。当环境因素的参数值与投入松弛变量为负相关时,则有利于碳排放效率的提高;当环境因素与投入松弛变量呈现正相关时,环境变量则变成了提高碳排放效率的抑制因素。样本期内,产业结构因素抑制了资本存量、劳动力和能源消费投入冗余的增加,是有利于碳排放效率提高的。产业结构的抑制作用与江苏省自身的产业结构特色密切相关。江苏省国有及国有控股企业产值比例较低,中小私营企业众多,且多数私营企业为出口加工企业,并非能源密集型企业,碳排放水平较低,因此产业结构是优势外部环境因素。

所有权结构对资本存量呈正相关,对劳动力松弛呈负相关。这表明所有权结构促进了资本存量投入冗余的增加,有利于劳动力投入冗余的减少。对于能源消费来说,t 值未通过显著性检验,总体而言不利于排放效率的提高。

政府干预程度对资本存量松弛变量和能源消费松弛变量均呈现出显著的正相关,仅仅对劳动力投入冗余呈现出微弱的负向作用,这表明政府干预不利于碳排放效率的提高,政府政策一些不合理的干预使市场在资源配置中未能发挥决定性作用。

科技支撑强度对资本存量松弛变量的抑制作用最为明显,达到了-454.2,但与劳动力和能源消费松弛变量呈显著正相关,这表明科技支撑强度是一个劣势外部环境因素,应当继续加强科学技术支出,同时要实现科研经费的有效配置。

能源结构因素是较为复杂的外部环境因素,能源结构对资本存量和能源消费松弛变量呈显著的负相关,对劳动力松弛呈正相关。表示能源结构因素有利于减少资本存量和能源消费的投入冗余,却促进了劳动力投入冗余的增加,总体而言能源结构因

素有利于提高碳排放效率。较高的煤炭消费结构是我国能源消费结构的主要特征，也是制约提高碳排放效率的重要因素，但江苏省受资源禀赋的限制，大力发展风能等清洁能源，其煤炭消费比例远低于全国平均水平，因此，能源结构为优势外部环境因素。

4.3 第三阶段实证结果分析

第三阶段是对调整后的投入产出数据利用 DEA-Solver5.0 软件再次进行测算，测算结果见表 4。

表 4 第三阶段江苏省各城市二氧化碳排放效率值

城市	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	均值
南京	0.550	0.576	0.584	0.597	0.594	0.592	0.572	0.575	0.577	0.561	0.541	0.575
无锡	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
徐州	0.567	0.577	0.569	0.565	0.567	0.566	0.553	0.563	0.576	0.593	0.616	0.574
常州	0.765	0.750	0.703	0.722	0.720	0.749	0.708	0.730	0.797	0.798	0.799	0.749
苏州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
南通	0.920	0.950	1.000	1.000	1.000	0.919	0.901	0.919	0.901	0.817	0.827	0.923
连云港	0.841	0.829	0.823	0.808	0.774	0.730	0.670	0.669	0.712	0.685	0.696	0.749
淮安	0.656	0.662	0.664	0.667	0.676	0.697	0.680	0.690	0.795	0.794	0.793	0.707
盐城	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
扬州	0.732	0.734	0.668	0.680	0.718	0.723	0.719	0.808	0.883	0.907	1.000	0.779
镇江	0.637	0.646	0.702	0.713	0.733	0.681	0.625	0.624	0.812	0.781	0.792	0.704
泰州	0.812	0.815	0.783	0.731	0.718	0.683	0.628	0.685	0.784	0.798	0.721	0.742
苏南	0.790	0.794	0.798	0.806	0.809	0.804	0.781	0.786	0.837	0.828	0.826	0.806
苏中	0.822	0.833	0.817	0.803	0.812	0.775	0.749	0.804	0.856	0.841	0.849	0.815
苏北	0.766	0.767	0.764	0.760	0.754	0.748	0.726	0.730	0.771	0.768	0.776	0.757
均值	0.790	0.795	0.791	0.790	0.792	0.778	0.755	0.772	0.820	0.811	0.815	0.792

4.3.1 总体与各城市分析

对比第一阶段结果，在剔除了环境因素和随机误差的影响后，2005-2015 年各城市碳排放效率均值均有所下降，但效率结果更为客观，呈现出波动上升的趋势，从 2005 年的 0.79 上升为 2015 年的 0.815。在 2010 年和 2011 年排放效率略有下降，可能的原因是金融危机后部分地区为刺激经济复苏而加大投资，导致碳排放增加。

对于各城市而言，调整后的第三阶段效率值对比第一阶段差异很大。无锡、苏州、盐城保持着较高的排放效率水平，效率值为 1，表明这三个城市处于排放效率的前沿，其中苏州为调整后新增的前沿城市。南通的排放效率水平较高，效率均值为 0.923。调整后大多数城市效率均值均处于 0.7~0.8 的区间水平，这些城市分别为常州、连云港、淮安、扬州、镇江、泰州。南京和徐州的效率均值较低，均低于 0.6，南京和徐州很大一部分企业是高能耗的重工业企业，这严重影响了碳排放效率。

表 5 第一阶段与第三阶段效率均值的比较

城市	第一阶段		第三阶段		效率变化值
	效率值	排名	效率值	排名	
南京	0.509	12	0.575	11	0.0655
无锡	1.000	1	1.000	1	0.0000
徐州	0.573	11	0.574	12	0.0004
常州	0.683	9	0.749	6	0.0660
苏州	0.991	3	1.000	1	0.0090
南通	0.954	5	0.923	4	-0.0308
连云港	0.822	7	0.749	7	-0.0731
淮安	0.682	10	0.707	9	0.0243
盐城	1.000	1	1.000	1	0.0000
扬州	0.965	4	0.779	5	-0.1861
镇江	0.909	6	0.704	10	-0.2050
泰州	0.755	8	0.742	8	-0.0130

效率值未发生变化的城市为无锡和盐城。南京、徐州、常州、苏州、淮安的效率值均有所上升，说明这些城市之前的低效率并非完全是自身的管理无效率，而是与劣势的外部环境有关。其中常州的效率值上升最多，上升了 0.066，涨幅为 9.7%，排名由第 9 名上升至第 6 名。排放效率值下降的城市为南通、连云港、扬州、镇江、泰州，表明这些城市第一阶段表现出较高的效率值是因为处于较好的外部环境中。其中镇江的效率值下降最多，下降了 0.205，降幅达 22.6%，排名由原先的第 6 名下降至第 10 名。

4.3.2 区域分析

江苏省各城市由于地理位置、资源禀赋、经济发展水平等存在差异，各区域碳排放效率也存在差异。本文按照传统的区域划分法将江苏省分为苏南、苏中、苏北三大区域，以此来分析碳排放效率在区域中的差异性。具体划分方法为苏南：南京、苏州、无锡、常州、镇江；苏中：南通、扬州、泰州；苏北：盐城、连云港、徐州、淮安。江苏省三大区域第三阶段碳排放效率变动趋势比较见图 1。

由图 1 可知，第三阶段碳排放效率呈现出波动上升的趋势，说明各区域碳排放效率的内部管理水平不断提高。其中，苏中地区效率波动最为明显，在 2010 年和 2011 年出现了严重下滑，这主要是因为泰州在 2010 年和 2011 年效率水平下滑严重，表明泰州 2010 年和 2011 年碳排放效率的内部管理出现问题。在 2011 年之后，三大区域碳排放效率值呈现出“苏中>苏南>苏北”的格局，这与传统的经济发展格局存在差异。苏南地区经济发展水平较高，低碳理念先进，无锡和苏州一直处于碳排放效率的前沿，因此，苏南地区碳排放效率低于苏中地区的主要原因是南京和镇江的效率值较低。苏北地区经济发展水平较低，技术和管理水平相对落后，部分地区的经济发展依赖的是高能耗、高投入、高排放的重工业，这些因素严重阻碍了苏北地区碳排放效率的提高。

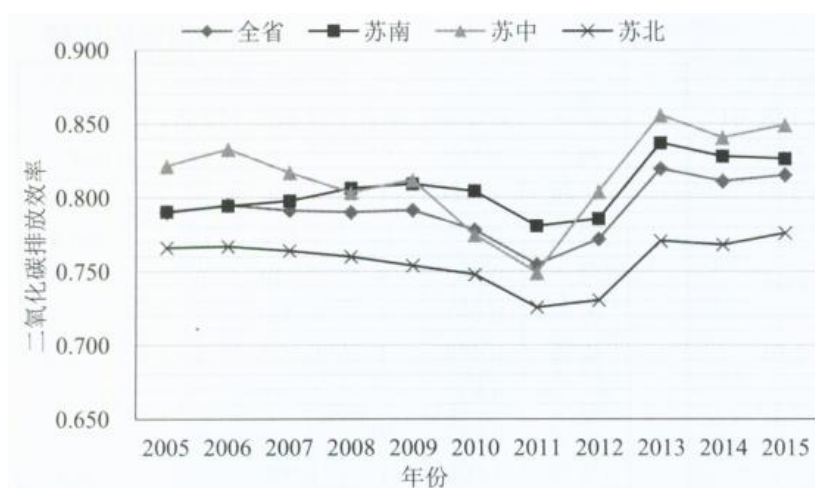


图 1 第三阶段江苏省各区域碳排放效率变动趋势图

5、结 论

本文利用非期望产出的三阶段 SBM-DEA 模型，在剔除外部环境因素和随机误差影响的基础上测算了 2005—2015 年江苏省 12 个城市碳排放效率，并对实证结果进行分析，得出如下结论：（1）样本期内，产业结构、能源结构因素是有利于碳排放效率提高的外部环境因素；所有权结构、政府干预程度、科技支撑强度因素抑制了碳排放效率的提高，是劣势外部环境因素。（2）总体上看，江苏省碳排放效率呈现波动上升趋势，这表明排放效率的技术和管理水平不断提高。（3）江苏省碳排放效率区域间显著不平衡。苏州、无锡、盐城碳排放效率相对有效，处于排放效率的前沿；南京、徐州的碳排放效率相对较低，急需加强改善；其他城市的碳排放效率较为一般，均有待提高。三大区域碳排放效率呈现出“苏中>苏南>苏北”的格局，这与传统的经济发展格局存在一定差异。

基于此，为提高江苏省碳排放效率，本文提出几点建议：（1）改善碳排放效率的外部环境。保持优势的外部环境因素，继续加大产业结构升级力度，大力发展低能耗、高附加值的工业；进一步优化能源消费结构，增加风能、生物能、太阳能等清洁能源比重。改善劣势的外部环境因素，增强国有企业竞争活力；减少政府对市场的不合理干预；增加科学技术支出，合理分配科研经费等。（2）加强区域间交流与合作，提高排放效率。为了缩小区域间排放效率的差异，应加强区域间人才技术的交流与合作。苏州、无锡等苏南地区加快先进技术的溢出，帮助苏北地区提高排放效率；苏中、苏北地区借鉴先进地区的技术与经验，缩小与先进地区的差距，加快传统工业产品的更新换代和技术改造。根据各区域间的客观实际，制定差异化的减排政策，从而实现各区域间协同减排。

[参考文献]:

-
- [1]梁洁, 史安娜, 朱恒金. 江苏省碳排放强度变化趋势及其影响因素分析[J]. 南京社会科学, 2013 (5) : 143-148.
- [2]Kaya Y, Yokobori K. Environment, energy and economy: Strategies for sustainability[M]. Tokyo: United Nations University Press, 1997.
- [3]潘家华, 张丽峰. 我国碳生产率区域差异性研究[J]. 中国工业经济, 2011 (5) : 47-57.
- [4]龙如银, 周颖, 王宇恒. 技术进步对碳生产率的区域比较研究[J]. 南京航空航天大学学报(社会科学版), 2016 (2) : 10-14.
- [5]Sun J W. The decrease of CO₂ emission intensity is decarbonization at national and global levels[J]. Energy Policy, 2005, 33 (8) : 975-978.
- [6]孙欣, 张可蒙. 中国碳排放强度影响因素实证分析[J]. 统计研究, 2014 (2) : 61-67.
- [7]胡宗义, 唐李伟, 苏静. 省域碳排放强度的收敛性与动态演进[J]. 资源科学, 2015 (1) : 142-151.
- [8]王群伟, 周德群, 周 鹏. 区域二氧化碳排放绩效及减排潜力研究——以我国主要工业省区为例[J]. 科学学研究, 2011 (6) : 868-875.
- [9]华坚, 任俊, 徐敏, 等. 基于三阶段 DEA 的中国区域二氧化碳排放绩效评价研究[J]. 资源科学, 2013 (7) : 1447-1454.
- [10]董锋, 刘晓燕, 龙如银, 等. 基于三阶段 DEA 模型的我国碳排放效率分析[J]. 运筹与管理, 2014 (4) : 196-205.
- [11]陈晓红, 易国栋, 刘翔. 基于三阶段 SBM-DEA 模型的中国区域碳排放效率研究[J]. 运筹与管理, 2017 (3) : 115-122.
- [12]魏楚. 中国城市 CO₂ 边际减排成本及其影响因素[J]. 世界经济, 2014 (7) : 115-141.
- [13]Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130 (3) : 498-509.
- [14]Fried H O, Lovell C A K, Schmidt S S, et al. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis[J]. Journal of Productivity Analysis, 2002, 17 (1-2) : 157-174.
- [15]罗登跃. 三阶段 DEA 模型管理无效率估计注记[J]. 统计研究, 2012 (4) : 104-107.
- [16]陈巍巍, 张雷, 马铁虎, 等. 关于三阶段 DEA 模型的几点研究[J]. 系统工程, 2014 (9) : 144-149.
- [17]单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算: 1952—2006 年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008 (10) : 17-31.
- [18]林善浪, 张作雄, 刘国平. 技术创新、空间集聚与区域碳生产率[J]. 中国人口·资源与环境, 2013 (5) : 36-45.
- [19]龙如银, 邵天翔. 中国三大经济圈碳生产率差异及影响因素[J]. 资源科学, 2015 (6) : 1249-1257.

[20]张丽峰. 基于 LMDI 分解法的我国碳生产率影响因素研究[J]. 资源与环境, 2013 (7) : 742-745.

[21]沈能, 王群伟. 中国能源效率的空间模式与差异化节能路径——基于 DEA 三阶段模型的分析[J]. 系统科学与数学, 2013 (4) : 457-467.

[22]潘家华. 怎样发展中国的低碳经济[J]. 中国市场, 2010 (11) : 61-65.