

石化经济系列研究(六)

引文格式:姜国刚,李利亭.长三角石化产业碳排放效率评价及其影响因素[J].常州大学学报(社会科学版),2021,22(3):52-58.

长三角石化产业碳排放效率评价及其影响因素

姜国刚,李利亭

摘要:选择长三角石化产业相对集中的13市为研究对象,利用2010—2018年石化产业面板数据,运用超效率SBM模型测算产业碳排放效率,运用Tobit模型分析碳排放效率的影响因素,得出以下研究结论:第一,考察期内,长三角13市石化产业碳排放效率呈现波动变化趋势,并且城市间碳排放效率差异明显。第二,人均主营业务收入、城镇化率对碳排放效率均有显著的正向促进作用;能源消费强度、能源结构、要素禀赋结构与碳排放效率呈负相关;产业聚集对碳排放效率具有积极作用但影响不显著。基于上述结论,提出长三角石化产业应当通过推进产业技术创新、推动产业聚集、加强政府监督、制定差异化碳减排政策等措施提升碳排放效率。

关键词:长三角;石化产业;碳排放效率

作者简介:姜国刚,经济学博士,常州大学经济学院教授、硕士研究生导师,江苏能源战略研究基地研究人员;李利亭,常州大学商学院硕士研究生。

基金项目:江苏省第五期“333工程”科研资助立项项目“江苏省化工行业环保安全压力分析与绿色低碳发展对策”(BRA2019280)。

中图分类号:F205 **文献标志码:**A **Doi:** 10.3969/j.issn.2095-042X.2021.03.006

石化产业为建筑、汽车、日用品等众多领域提供原料与燃料,产业关联度高且经济体量大,为中国经济发展做出了重要贡献。然而,石化产业粗放式发展导致的高碳排、重污染、安全隐患大等问题随之产生。在我国积极应对环境污染问题的背景下,石化产业成为我国节能减排重点关注的对象。长江三角洲地区(以下简称“长三角地区”)是中国石化产业实力雄厚的地区,分布着众多的化工园区。截至2018年年底,长三角地区共有化工园区102家。我国七大世界级石油化工基地中,江苏连云港、浙江宁波、上海漕泾等石化基地均在长三角地区。区域内众多大型石化企业是长三角地区碳排放量累积的重要影响因素。

碳排放效率测度有单要素和全要素两种方法。单要素指标形式多样,包括碳排放量与能源消耗量的比值^[1]、CO₂排放强度^[2]、人均CO₂排放量^[3]、能源强度^[4]等。单要素指标虽然易于测算,但无法体现资本、劳动力、能源投入等生产要素的相互作用对碳排放效率的影响,因此Ramanathan^[5]较早运用数据包络分析法(data envelopment analysis, DEA),构建了包含CO₂排放、能源消耗、经济活动变量的投入产出指标体系,从全要素角度测度碳排放效率。之后,DEA模型^[6]、改进的超效率DEA模型^[7]、三阶段DEA模型^[8]等被广泛使用。运用DEA模型构建投入指标体系时,CO₂排放被作为投入指标。然而,CO₂排放本身是一种非期望产出,将其作为

投入指标可能使结果产生偏差^[9]。因此, 有学者将 CO₂ 排放作为非期望产出指标, 构建考虑非期望产出的 SBM 模型^[10-11]。当前, 越来越多的学者关注碳排放和碳排放效率的影响因素, 其中, LMDI 分解法^[12]、STIRPAT 模型^[13]等应用较为广泛。也有学者利用面板回归模型^[14]、空间计量模型^[15]分析区域及行业碳排放效率影响因素。

关于长三角石化产业的研究并不多见, 任保全等^[16]利用 Malmquist 指数模型研究长三角石化产业的发展效率; 张坚^[17]利用 Malmquist 指数模型研究石化产业碳排放绩效在长三角地区不同省份和城市间的差异。上述研究取得了一定的成果, 但均未涉及碳排放影响因素, 因此, 本文在评价碳排放效率的基础上, 分析长三角地区石化产业碳排放效率影响因素的作用机制, 以为长三角石化产业绿色发展提供依据。

一、模型构建与变量选取

(一) 数据包络模型

Tone^[18]提出超效率 SBM 模型, 不仅能够测算效率大于 1 的情况, 对有效决策单元进一步做出比较, 而且引入松弛变量, 解决投入-产出松弛问题。本文构建超效率 SBM 模型测算 CO₂ 排放效率。

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{x_{io}}}{\frac{1}{S_1 + S_2} \left[\sum_{r=1}^{S_1} \frac{S_r^g}{y_{ro}^g} + \sum_{r=1}^{S_2} \frac{S_r^b}{u_{ro}^b} \right]}$$

$$\text{s. t. } x_{io} = \sum_{i=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j + S_i^-, y_{io}^g = \sum_{i=1, j \neq k}^n y_{ij}^g \lambda_j - S_i^g, u_{io}^b = \sum_{i=1, j \neq k}^n u_{ij}^b \lambda_j - S_i^b \quad (1)$$

式中: ρ^* 为决策单元效率, 当 $1 \leq \rho^* \leq 5$, $S^- = 0$, $S^g = 0$, $S^b = 0$ 时, 表示有效; 当 $0 \leq \rho^* < 1$ 时, 表示无效。 x_{ij} 为第 j 个决策单元第 i 个投入要素, y_{ij}^g 为第 j 个决策单元第 i 个期望产出, u_{ij}^b 为第 j 个决策单元第 i 个非期望产出。 S^- , S^g , S^b , 分别为投入、期望产出、非期望产出的松弛量, 且 $S^- \geq 0$, $S^g \geq 0$, $S^b \geq 0$ 。 λ_j 为投入产出指标权重, 且 $\lambda_j \geq 0$ 。

DEA 模型的准确度取决于所使用的投入和产出指标^[19]。以石化行业劳动力投入 (劳动力人数)、资本投入 (固定资产净值) 作为两个基本投入指标, 以能源消费量作为能源投入指标; 期望产出为主营业务收入, 非期望产出为 CO₂ 排放量。则 CO₂ 排放量估算公式为:

$$T_{CO_2} = \sum_{i=1}^5 T_{CO_2i} = \sum_{i=1}^5 E_i \cdot NCV_i \cdot CEF_i \cdot COF_i \cdot (44/12) \quad (2)$$

式中: E_i ($i=1, 2, 3, 4, 5$) 为原煤、汽油、柴油、燃料油、煤油等 5 种能源终端消费量 (实物量), NCV_i 为净发热值, CEF_i 为含碳量, COF_i 为碳氧化因子, 44/12 为气化系数。能源的净发热值来源于《中国能源统计年鉴》, CO₂ 排放量计算公式及指标来源于《IPCC 国家温室气体排放清单指南 2006》。

(二) 面板模型构建

构建 Tobit 面板模型分析可能影响长三角石化产业碳排放效率的因素。SBM 模型测算结果显示, CO₂ 排放效率分布存在切割或截断情况, 而 Tobit 回归结果显示被解释变量属于截断的离散分布数据, 该模型的回归结果更加接近实际情况。构建碳排放效率影响因素回归模型:

$$y_{it} = \alpha + \beta_1 Inten_{it} + \beta_2 \ln Endow_{it} + \beta_3 \ln Reven_{it} + \beta_4 Struc_{it} + \beta_5 Agglo_{it} + \beta_6 Urban_{it} + \xi_{it} \quad (3)$$

式中: $Inten_{it}$ 为能源消费强度, 用能源消费总量与主营业务收入的比值表示。 $Endow_{it}$ 为要素禀赋结构, 用固定资产净值与从业人数比值表示。 $Reven_{it}$ 为人均主营业务收入, 用石化产业主营业

务收入与从业人数的比值表示。 $Struc_{it}$ 为能源结构，用石化产业煤炭消费量占能源消费总量的比重表示。 $Agglo_{it}$ 为产业聚集程度，基于各类指数的适用范围和数据可获得性，选取区位商指数作为石化产业聚集水平的测度指标。 $Urban_{it}$ 为城镇化率，用城镇人口占总人口的比重表示。 y_{it} 为碳排放效率， α 作为常数项， $\beta_1 \sim \beta_6$ 为系数， ξ_{it} 为随机干扰项。

选取长三角地区石化产值占工业总产值比重超过 20% 且石化产业发展水平较高的城市，包括上海、南京、杭州、合肥、南通、盐城、镇江、连云港、嘉兴、绍兴、宁波、舟山、安庆等 13 市。13 市石化产值之和占长三角地区石化产值 50% 以上，具有较强代表性。上海的数据来源于 2010—2019 年《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《上海统计年鉴》；镇江市固定资产净值数据来源于《江苏省统计年鉴》；其他数据均来源于 2010—2019 年各市地方统计年鉴。

二、长三角石化产业碳排放效率测算结果与分析

依据 2010—2018 年长三角 13 市石化产业碳排放效率的测算结果（见表 1），绘制效率箱图（如图 1）。表 1 和图 1 显示了长三角 13 市石化产业碳排放效率的统计特征：其一，长三角石化产业效率均值总体呈现先缓慢上升后波动下降的趋势。石化产业经过多年发展与积累，对环境的负面影响逐渐显现。“十三五”期间，政府对石化产业进行大规模的重新规划，一大批生产技术过时、产品质量低下、管理水平落后、对环境污染严重的化工企业被强制性关停。重新规划有助于石化产业非期望产出碳排放量的减少；同时，作为期望产出的石化产业主营业务收入也因为重新规划而受到冲击。其二，长三角各市石化产业碳排放效率存在较大的差异。2010—2018 年，碳排放效率年均值最高的三所城市是上海、舟山、绍兴，年均值都高于 0.97。碳排放效率年均值最低的四所城市分别是合肥、盐城、嘉兴、连云港，年均值都低于 0.52，与效率最高的三所城市相差 0.45 以上，具有较大的提升空间。

表 1 2010—2018 年长三角石化产业碳排放效率（超效率 SBM 模型）

分类	城市	年份									年均值
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
高效率	上海	1.202	1.316	1.438	1.439	1.323	1.172	1.227	1.530	1.607	1.354
	绍兴	1.037	1.045	1.044	1.059	1.045	1.076	1.095	0.714	1.021	1.008
	舟山	0.667	1.142	1.191	1.163	1.210	1.157	1.287	1.087	0.378	0.973
	均值	0.940	1.162	1.213	1.210	1.187	1.134	1.200	1.059	0.853	1.112
中效率	南京	1.111	1.055	1.040	1.040	1.052	0.424	0.483	1.026	1.151	0.882
	镇江	0.654	0.499	0.640	0.927	1.047	1.092	1.060	1.079	0.475	0.790
	宁波	1.005	1.036	1.030	1.010	0.622	0.425	0.460	0.731	0.800	0.752
	杭州	0.945	0.878	1.028	0.735	0.695	0.422	0.444	1.039	0.672	0.727
	安庆	1.108	1.028	0.598	0.641	1.012	0.647	0.498	0.695	0.546	0.723
	南通	0.549	0.554	0.822	0.774	0.683	0.584	0.579	0.688	0.612	0.643
	均值	0.865	0.805	0.838	0.842	0.831	0.562	0.558	0.859	0.679	0.752
低效率	连云港	0.428	0.494	0.571	0.688	0.563	0.540	0.772	0.490	0.246	0.510
	嘉兴	0.483	0.495	0.444	0.489	0.502	0.369	0.394	0.486	1.006	0.497
	盐城	0.441	0.438	0.473	0.469	0.485	0.445	0.587	0.538	0.234	0.445
	合肥	0.433	0.302	0.377	0.386	0.379	0.327	0.393	0.329	0.308	0.357
	均值	0.446	0.424	0.461	0.496	0.478	0.413	0.515	0.453	0.366	0.452
总体	均值	0.719	0.719	0.759	0.778	0.761	0.601	0.650	0.741	0.592	0.743

以长三角地区 13 市碳排放效率年均值为指标,采用 K-均值聚类分析法,将长三角地区 13 市划分为高效型、中效型、低效型等三种类型。第一,高效型地区包括上海、舟山、绍兴。2010—2018 年上海石化产业碳排放效率均维持在 1 以上,且呈现增长趋势。上海拥有中国最先进的石化产业基地,领先的石化技术有利于提升产业劳动生产率,优化能源结构,进而提高碳排放效率。2010—2018 年,舟

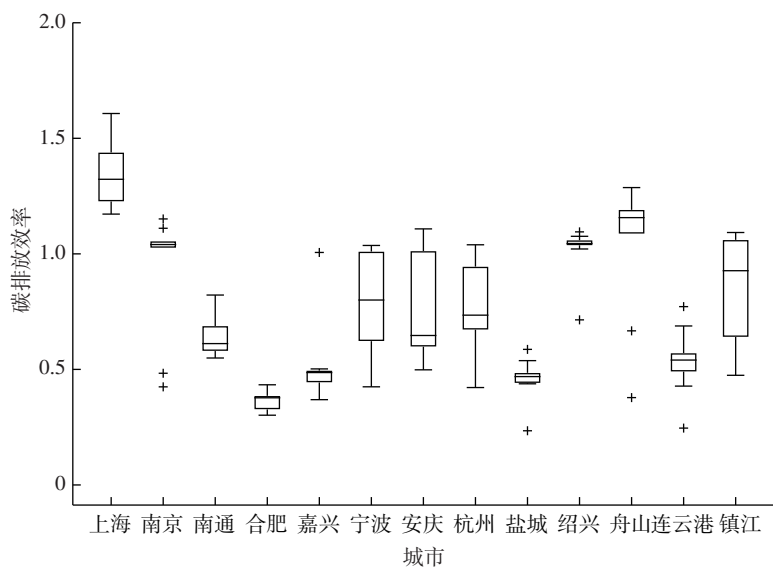


图 1 2010—2018 年长三角 13 市石化产业碳排放效率箱图

山、绍兴的碳排放效率年均值仅次于上海,两市石化产业发展态势良好,能在控制碳排放的前提下合理开发、科学配置优势资源。第二,中效型地区包括南京、镇江、南通、宁波、杭州、安庆。除 2015、2016 年以外,其他年份南京都维持在高效率水平。南京是中国最具代表性的化工生产地,石化产业规模化、标准化程度较高。2010—2017 年,镇江碳排放效率由 0.654 波动增长至 1.079,石化产业发展势头良好。然而,随着江苏沿海开发战略的实施,苏南地区石化产业发展优势逐渐减弱。目前,南京正在缩小石化产业规模,大批石化生产企业被迫关停或迁移。在产业布局调整时期,碳排放效率难免会受到影响。2010—2018 年,南通的碳排放效率由 0.549 波动上升至 0.612,效率最高值达到 0.822。作为沿海城市,南通与上海一江之隔,区位和资源优势明显,效率提升潜力较大。杭州、宁波是浙江省石化产业的重点发展城市,区位、交通、市场、产业优势得天独厚,产业发展优势明显。尽管如此,它们也面临中高端产品稀缺、安全环保压力大等瓶颈。在 2014 年之前,宁波的碳排放效率稳定在 1 之上,2015 年降至 0.425,随后稳步回升至 0.800。2010—2018 年,杭州的碳排放效率起伏较大,大部分年份的效率低于宁波,这与杭州集中优势发展信息经济产业有关。安庆的碳排放效率波动较大,2010—2018 年间仅有三年的效率大于 1,其他年份都处于 0.7 以下的中低水平。安庆的石化产业初具规模,拥有亚洲规模最大的氰基化学品生产基地。尽管如此,与其他长三角地区城市相比,安庆在人才、技术等方面并没有明显优势。第三,低效型地区包括嘉兴、合肥、盐城、连云港。嘉兴、合肥的碳排放效率一直处于低效率水平,增长缓慢甚至有退步的趋势。盐城、连云港依托海域优势,逐步发展成为江苏省重要的石化产业基地,2010—2016 年,连云港的碳排放效率由 0.428 增长至 0.772,增幅明显。值得注意的是,2018 年,盐城、连云港的碳排放效率低于 0.25,这可能是因为,2018 年江苏省人民政府发布了《全省沿海化工园区(集中区)整治工作方案的通知》,严厉整治了南通、连云港、盐城等地区的化工园区,连云港、盐城的石化产值减半,碳排放效率也因此而降低。

图 1 显示,13 市的方差呈现不同的特征。2010—2018 年,上海、舟山、绍兴等高效率城市的效率方差相对较小,碳排放效率相对稳定。宁波、安庆、杭州、镇江等效率方差较大的中效率城市,碳排放效率均存在大于 1 的年份,表明这些城市碳排放效率的提升空间较大。对于碳排放

效率较高、效率方差较小但异常值多的南京、舟山,政府应该给予更多的关注,确保这些城市积极应对产业转型升级中的薄弱环节,稳步提高碳排放效率。嘉兴、盐城、连云港、合肥等低效率城市的效率方差较小,一直保持较低的碳排放效率,且提升缓慢,这主要是因为:这些城市凭借劳动力及环境资源成本优势吸引化工产业园区进驻。在环保政策体系不完善的情况下,化工产业粗放式发展模式阻碍了石化产业碳排放效率的提升。这些地区的政府应当借鉴高效率水平地区的治理经验,结合当地石化产业发展情况,实施节能减排政策,提高碳排放效率水平。

三、石化产业碳排放效率的影响因素

将上述超效率 SBM 模型测算得到的碳排放效率作为被解释变量,6 个影响因素作为解释变量,运用 Tobit 回归模型对面板数据进行处理。回归结果见表 2。

第一,能源消费强度与碳排放效率的回归系数为负,通过了 1% 的显著性水平检验,表明降低能源强度是提升碳排放效率的有效方式。随着节能技术的发展,能源利用效率提高,能源强度降低。因此,企业要增加节能减排设备,积极推动生产技术改造和节能减排技术创新,提高碳排放效率。第二,要素禀赋

表 2 长三角 13 市石化产业碳排放效率影响因素 Tobit 回归结果

变量	系数	标准差	Z 值	P 值	[95%置信度]	
$Inten_{it}$	-0.671	0.255	-2.63	0.009 ³⁾	-1.170	-0.171
$\ln Endow_{it}$	-0.707	0.075	-9.47	0.000 ³⁾	-0.854	-0.561
$\ln Reven_{it}$	0.710	0.087	8.17	0.000 ³⁾	0.540	0.880
$Struc_{it}$	-0.463	0.157	-2.95	0.003 ³⁾	-0.769	-0.156
$Agglo_{it}$	0.122	0.078	1.56	0.118	-0.031	0.275
$Urban_{it}$	1.341	0.332	4.03	0.000 ³⁾	0.690	1.992
常数项	-0.949	0.354	-2.68	0.007 ³⁾	-1.643	-0.254

注:1)、2)、3)分别表示在 5%~10%、1%~5%、1% 水平下相关。

结构与石化产业碳排放效率呈负相关,且通过了 1% 的显著性水平检验,资本劳动比率每上升 1%,碳排放效率随之下降 0.707%。石化产业本身属于高碳排放的产业,增加资本要素投入,会抑制碳排放效率的提升。同时,石化产业属于重资产产业,需要增加绿色资本投入带动石化产业升级。第三,人均主营业务收入与石化产业碳排放效率呈正相关,且通过了 1% 的显著性水平检验,表明提升经济发展水平能够提高长三角石化产业碳排放效率。第四,能源结构在 1% 的显著水平上对碳排放效率产生负向影响。长三角地区工业发达,煤炭消费量较高。受能源资源禀赋和技术条件的限制,长三角地区石化产业能源使用效率整体不高,对碳排放效率产生负面影响。要改善长三角地区能源结构,不仅要积极开发煤炭清洁技术,推进煤炭清洁高效开发利用,而且要提高诸如光伏能源、风能、生物质能等清洁能源使用比重。第五,产业聚集程度与碳排放效率的回归系数为正,但未通过显著性水平检验。长三角地区聚集众多化工园区,大多园区内企业之间尚未形成完善的产业链,且企业的安全环保水平良莠不齐,安全事故频发,无法形成集聚效应。第六,城镇化率与石化产业碳排放效率呈正相关,且通过了 1% 的显著性水平检验。城镇化水平越高,城市居民受教育的机会就越多,这既能够提升居民环保意识,又能提升人力资本水平促进劳动生产率提升,从而提高碳排放效率水平。

四、结论与启示

基于 2010—2018 年石化产业的面板数据,利用超效率 SBM 模型测算了长三角 13 市石化产

业碳排放效率并按效率进行聚类分析, 运用 Tobit 回归模型分析了能源消费强度、禀赋结构、人均主营业务收入、能源强度、产业聚集程度、城镇化率对长三角地区 13 市石化产业碳排放效率的影响。

整体上, 长三角地区 13 市碳排放效率呈现波动变化趋势, 各市之间碳排放效率差异明显。除 2018 年舟山的效率出现异常值, 其他高效率城市的效率基本稳定, 保持良好的发展状态。中效率地区中, 南通、宁波等具有较大的效率提升潜力。低效率地区中, 合肥、嘉兴是长三角石化产业碳排放效率提升的瓶颈地区。就影响因素而言, 人均主营业务收入、城镇化率的提升对碳排放效率具有积极的影响。这说明经济发展水平越高, 碳排放效率提升越容易, 绿色经济发展模式越容易实现。能源消费强度、能源结构、要素禀赋结构与碳排放效率呈现显著负相关, 这说明石化产业能够通过技术创新、优化能源消费结构、提高投资效率等方式提升自身的碳排放效率。现阶段产业聚集对碳排放效率具有正向影响但不显著, 但持续推进石化产业聚集仍有助于提升碳排放效率。

据此, 可得到以下启示: 第一, 技术进步是降低能源消费强度、优化能源消费结构、提高长三角石化产业碳排放效率的主要驱动力。应该转变末端治理的减排方式, 加大绿色投资力度, 对生产线进行技术改造, 增加节能减排技术、装备的投入, 实现源头减排; 开发先进的煤炭清洁技术, 提升煤炭的利用效率, 积极开发可利用的再生能源和新能源, 降低煤炭在能源使用中的比重。第二, 推动产业聚集是长三角地区石化产业绿色发展的重要手段。应持续推动石化企业迁入化工园区, 加大精准招商力度, 实施产业补链强链措施, 促进园区内企业形成产业链配套关系, 进一步形成集聚效应; 推动信息技术与产业链的深度融合, 规划建设智慧工业园区。第三, 政府是石化产业转型升级的引导者和监督者。政府应一方面加强对企业环保改造的资金和政策支持, 积极引进技术创新项目, 引导企业绿色发展; 另一方面完善环保法律建设, 长期关注石化企业碳排放状况和安全生产状况, 倒逼企业转型升级。第四, 长三角地区碳排放效率存在明显的区域差异和不均衡现象, 政府应制定差异化的碳减排政策。在长三角一体化建设的基础上, 着力破除跨行政区域合作壁垒, 以效率最高的上海为核心向苏、浙、皖三省辐射, 以南京为安徽地区碳排放效率提升的纽带, 三省一市协同合作, 稳步提升长三角石化产业碳排放效率。

参考文献:

- [1] MIELNIK O, GOLDEMBERG J. Communication the evolution of the “carbonization index” in developing countries [J]. Energy policy, 1999, 27 (5): 307-308.
- [2] SUN J W. The decrease of CO₂ emission intensity is decarbonization at national and global levels [J]. Energy policy, 2005, 33 (8): 975-978.
- [3] STRETESKY P B, LYNCH M J. A cross-national study of the association between per capita carbon dioxide emissions and exports to the United States [J]. Social science research, 2009, 38 (1): 239-250.
- [4] ANG B W. Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change? [J]. Energy policy, 1999, 27 (15): 943-946.
- [5] RAMANATHAN R. Combining indicators of energy consumption and CO₂ emissions: a cross-country comparison [J]. International journal of global energy issues, 2002, 17 (3): 214.
- [6] 姜国刚, 朱俊伟, 阮婉妮, 等. 江苏石油化工产业转型升级进程中绿色竞争力提升对策研究 [M]. 长春: 吉林大学出版社, 2019.
- [7] 廖果平, 王云婷. 长三角城市群环境治理绩效测算及影响因子分析 [J]. 常州大学学报 (社会科学版), 2020, 21 (2): 70-78.
- [8] 姜国刚, 阮婉妮, 郭铁军. 基于三阶段 DEA 的江苏石化产业碳排放效率分析 [J]. 环境科学与技术, 2019, 42 (3):

- 172-179.
- [9] LIU W B, MENG W, LI X X, et al. DEA models with undesirable inputs and outputs [J]. Annals of operations research, 2010, 173 (1): 177-194.
- [10] ZHANG J R, ZENG W H, WANG J N, et al. Regional low-carbon economy efficiency in China: analysis based on the Super-SBM model with CO₂ emissions [J]. Journal of cleaner production, 2017, 163: 202-211.
- [11] 王卫星, 王亚萍. 石油化工行业绿色创新效率及其影响因素研究 [J]. 常州大学学报(社会科学版), 2020, 21 (4): 51-61.
- [12] 汪中华, 于孟君. 中国石化行业二氧化碳排放的影响因素分解: 基于广义迪氏指数分解法 [J]. 科技管理研究, 2019, 39 (24): 268-274.
- [13] 刘晓燕. 基于 STIRPAT 模型的工业能源消费碳排放影响因素分析 [J]. 生态经济, 2019, 35 (3): 27-31.
- [14] 田云, 王梦晨. 湖北省农业碳排放效率时空差异及影响因素 [J]. 中国农业科学, 2020, 53 (24): 5063-5072.
- [15] 袁长伟, 张帅, 焦萍, 等. 中国省域交通运输全要素碳排放效率时空变化及影响因素研究 [J]. 资源科学, 2017, 39 (4): 687-697.
- [16] 任保全, 董也琳. 基于 Malmquist 生产率测度的长三角石油石化产业发展效率评价研究 [J]. 科技管理研究, 2017, 37 (13): 57-63.
- [17] 张坚. 长三角石化产业碳排放绩效区域分异的动态实证研究 [J]. 社会科学, 2016 (6): 54-62.
- [18] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. European journal of operational research, 2001, 130 (3): 498-509.
- [19] 张立新, 朱道林, 杜挺, 等. 基于 DEA 模型的城市建设用地利用效率时空格局演变及驱动因素 [J]. 资源科学, 2017, 39 (3): 418-429.

Evaluation of Carbon Emission Efficiency of Petrochemical Industry and Its Influencing Factors in the Yangtze River Delta

Jiang Guogang, Li Liting

Abstract: Taking 13 cities where petrochemical industry clusters in the Yangtze River Delta as research objects, based on the panel data of petrochemical industry from 2010 to 2018, by using the super efficiency SBM model to evaluate the industrial carbon emission efficiency and Tobit model to analyze its influencing factors, it is found out that, first, during the period from 2010 to 2018, the carbon emission efficiency of petrochemical industry in the 13 cities shows a trend of fluctuation, and there are obvious differences in the carbon emission efficiency in these cities. Second, per capital prime operating revenue and the urbanization rate play a significant positive role in improving carbon emissions efficiency; energy consumption intensity, energy structure, and factor endowment structure have significant negative impacts on carbon emission efficiency; industrial agglomeration plays a positive but not significant role in carbon emission efficiency. Accordingly, carbon emission efficiency of petrochemical industry in the Yangtze River Delta should be improved by enhancing industrial technology innovation, promoting industrial agglomeration, strengthening government supervision and making differentiation carbon emission reduction policies, etc.

Keywords: the Yangtze River Delta; petrochemical industry; carbon emission efficiency

(收稿日期: 2020-12-18; 责任编辑: 沈秀)