

绿色发展效率与工业集聚水平的相关性分析——基于 30 个省的 SBM-DEA 模型分析

朱威宇

浙江师范大学，浙江金华，321000；

摘要：本文利用 2010–2019 年的面板数据，基于 SBM-DEA 模型估算 30 个省的绿色发展效率，探究工业集聚度对于绿色发展效率的作用是促进还是阻碍。结果表明：（1）2010–2019 年样本省份平均绿色发展效率呈现波动上升的趋势，且表现出明显的空间差异；（2）产业结构、产业集聚水平不利于绿色发展效率的提高；（3）外商直接投资对于绿色发展效率具有显著的正向作用。在以上结论的基础上，为促进绿色发展效率的提高和产业优化升级提出了相关建议。

关键词：绿色发展效率；SBM-DEA；工业集聚水平

DOI：10.69979/3029-2700.25.01.051

引言

为优化地区产业结构和布局，各省通过产业整合和资源重组，推动核心产业和产业组织向大都市圈和大商业圈集聚。尽管国家制定和实施了多项产业改革与发展的政策措施，但在以东北为主的大部分城市的产业结构仍然以重化工企业等资源密集型产业为主，而这种产业结构给城市环境带来了巨大的压力，给人们的健康生活带来巨大的危害。在经济新常态和“双碳”的联合背景下，绿色发展为产业的转型升级提供了新的视角，产业集聚可能在地区的发展中起到了重要的作用。因此，综合研究绿色发展效率与工业集聚水平的关系存在着重要的现实意义。进一步而言，本文希望通过计量分析有助于进一步探究绿色发展效率的提升与工业集聚水平之间相关性，同时对这些现实问题的探究也将有利于进一步提高绿色发展效率，建设环境友好型、资源节约型社会。

1 文献综述

1.1 绿色发展效率

国际上关于绿色发展的研究领域十分广泛，其中涵盖了绿色建筑、绿色经济和可持续发展、绿色国内生产总值和绿色供应链。其中，绿色发展效率就是从绿色发展的整体中演变而来（黄泰岩等，2017），聚集与生产角度推动绿色发展。自王兵和黄人杰（2014）首次提出“绿色发展效率”后，延伸出了多个相近概念。对此国际上学者主要注重政策建议，强调政府在经济发展的过程中应当多关注全球环境问题，如温室效应和气候变化。

国内关于绿色发展的主要研究方向集中在绿色发展的主要研究方向集中在绿色发展的
问题和发展路径的分析上、绿色发展的驱动机制以及绿色发展的评价和区域发展差异。

1.2 产业集聚

产业集聚对绿色发展有两个影响，当区域增长有区位经济向规模经济发展史，产业集聚可能是温和的，企业在空间上集聚则必然产生显著的集聚特征。所以，温和的产业集聚能够加强企业之间的交流合作，深化产业之间的联系和分工，从而实现生产全过程的生态循环与技术创新，并且改善环境质量、加快绿色发展。随着产业集聚程度的不断提升，逐渐呈现出集聚过度的特征，而当产业集聚出现空间极化时，其结果未必具有绿色属性。这种挤占效应将带来生产投入的快速增加，并且会诱发反弹效应，最终导致地区环境的恶化、能源消耗的增加、环境治理成本的不断增加。

2 研究区域、方法和变量描述

2.1 研究区域和数据来源

本文选取了全国内地 30 个省作为研究区域，其中由于数据不完整，西藏省未纳入分析。数据是要来源于国家统计局、《中国统计年鉴》、《中国工业统计年鉴》以及个省的统计年鉴，该样本涵盖了研究区域 2010–2019 年共十年的数据。

2.2 SUPER-SBM-DEA 模型

本文将 DEA 模型引入绿色发展领域，借鉴了 Tone (2001) 提出的 SBM 模型研究了 30 个省的投入产出有效性。

DEA 将每个城市作为决策单位 (DMU)，主要是运用线性规划技术对 DMU 进行生产评价，其评价结果与投入输出的指标纬度无关。然而，传统的 DEA 模型主要分为 CCR -DEA 模型和 BBC-DEA 模型，并没有解决非期望产出的输出问题，而只是将其作为期望输出。本文以 2010-2019 年的年度各省截面数据为基础，以城市为 DMU 构建绿色发展前沿面。模型的定义为：

$$\begin{aligned} \rho = \min & \frac{1 - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M s_m^x / x_{k'm}^{t'}}{1 + \frac{1}{N+I} \left[\sum_{n=1}^N s_n^y / y_{k'n}^{t'} + \sum_{i=1}^I s_i^b / b_{k'i}^{t'} \right]} \\ \text{s. t. } & \begin{cases} x_{k'm}^{t'} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \lambda_k^t x_{kn}^t + s_m^y, m = 1, \dots, M \\ y_{k'n}^{t'} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \lambda_k^t y_{kn}^t - s_n^y, n = 1, \dots, N \\ b_{k'i}^{t'} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \lambda_k^t b_{ki}^t + s_i^b, i = 1, \dots, I \\ s_m^x \geq 0, s_n^y \geq 0, s_i^b \geq 0, \lambda_k^t \geq 0, k = 1, \dots, K \end{cases} \end{aligned}$$

其中，M、N、I 分别是投入指标、理想产出指标、不理想产出指标的个数，x 为投入，y 是理想产出， s_m^x 为输入冗余变量， s_n^y 为期望产出冗余变量， s_i^b 为非期望产出冗余变量， $x_{k'm}^{t'}$ 、 $y_{k'n}^{t'}$ 、 $b_{k'i}^{t'}$ 分别是 k' 城市在 t' 年的投入与产出值， λ_k^t 为系数， ρ 为绿色发展效率，由 s_m^y 、 s_n^y 、 s_i^b 组成且严格单调递减，SBM 下的值介于 0~1 之间。当 $\rho = 1$ 时， $s_m^x = s_n^y = s_i^b = 0$ ，表示 DMU 是有效的，即输入没有冗余或者不足；当 $\rho < 1$ 时，就说明 DMU 无效，效率有缺失。这种情况下，有必要采取措施对于产出规模进行优化来提升绿色发展的效率。而针对长三角地区，由于其绿色发展效率显然会呈现较高水平，为防止出现大量 $\rho = 1$ 的情况，模型采用了具有超效率的 Super-SBM-DEA，使得各个城市之间的绿色发展效率可以突破 1 以便于比较分析。

2.3 变量选择

(1) 被解释变量

本文从经济、环境和资源的三个角度对绿色发展效率进行了测算。如表 1 所示，为了推导出期望产出指标和非期望产出指标，文章采用 GDP 作为期望产出的指标，而工业 SO2 排放量和化学需氧量排放量作为非期望产出的指标。

表 1 指标描述

种类	指标	具体指标	指标描述
输入	生产要素	劳动力	就业人口
		资本	规模以上工业 企业流动资产 合计
	期望输出指标	资源消耗 技术进步 经济发展	全社会用电量 科技总投资 全社会 GDP
输出	非期望输出指标	工业二氧化硫	二氧化硫排放 量
		工业其余废物排放	化学富氧量排放量

(2) 核心解释变量

为了计算产业集聚水平，以往的研究主要采用各种系数来衡量产业集聚，如赫芬达尔指数、胡弗系数或者是熵指数。考虑到数据的可获得性以及文章的研究目的，本文采用区位熵来衡量集聚水平，因此，产业集聚水平的熵指数定义为：

$$LAI = EI = \frac{\text{省内工业生产总值}/\text{省内生产总值}}{\text{国内工业生产总值}/\text{国内生产总值}}$$

式中 LAI 为产业集聚水平，EI 为熵指数，当 EI 值接近于零时，表明产业集聚程度较低，EI 较高时，表示产业集聚水平较高。其中，工业的增加值与产业集聚水平正相关，工业的增加值越高则产业的集聚水平就越高。

(3) 其余变量

外商的直接投资 (FDI) 可以为当地的企业提供先进的技术设备和绿色发展理念，有利于通过技术革新和发展模式绿色化带动生产力、优化产业结构。本文采用外商直接投资的资本合计来表示外商的投资水平。

以往的研究证明，巨大多数的能源消耗和环境污染都来源于第二产业，第二产业已然成为能源消耗和环境污染的主要来源。因此，本文引入产业结构 (IS)，用第二产业对于经济的增长贡献占比来衡量。

3 实证分析

本文使用 R 语言对目标变量之间进行回归运算，得到结果如表 3 所示，从表 3 可以看到，外商直接投资、产业集聚水平以及产业结构三个自变量对于绿色发展效率的影响均是显著的。并且由于三个变量在 99% 的置信区间下显著，这说明变量对于绿色发展效率具有较强的解释力。在系数方面，从图中可以看到外商直接投资的系数为正数且较大，这说明该变量对于绿色发展效率具有较强的正向影响。这种积极的影响可以归因于两个原因：一方面，外商直接投资解决了经济发展的融资困境，外商投资企业采用比本地企业更先进的工业技术和设备，改造了传统工业，实现了低消耗、低污染。另一方面，外商直接投资对绿色发展产生积极影响的另一个可能原因是东北振兴以来市场改革成效显著，市场经济水平的提高吸引了企业的投资。而产业结构和产业集聚水平对于绿色发展效率具有显著的负向作用，表明产业结构阻碍绿色发展。从实证上看，第二产业产生的工业污染高于第三产业。这一发现是基于样本选取的年份内经济发展依赖于工业化的不断推进，资源型产业相对发达，以东北地区为主的高能量、高排放、高污染的

传统产业结构升级进展缓慢。更糟糕的是，在东北地区以重化工为基础的重污染产业链已经形成。在这种情况下，我们很容易理解，第二产业比重较高的城市，绿色发展效率下降更快。因此，产业结构越重，绿色发展效率越难提高。

表 2 回归结果

Residuals:					
Min	1Q	Median	3Q	Max	
-0.074376	-0.037016	0.001857	0.026402	0.183891	
Coefficients:					
Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)		
(Intercept)	1.029260	0.029292	35.138	< 2e-16	***
InFDI	0.685160	0.006976	98.212	< 2e-16	***
InIS	-0.688192	0.008270	-83.215	< 2e-16	***
InLAI	-0.067973	0.009602	-7.079	1.06e-11	***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 ''	0.1 '' 1
Residual standard error:	0.0432	on 296 degrees of freedom			
Multiple R-squared:	0.9758	Adjusted R-squared:	0.9756		
F-statistic:	3980	on 3 and 296 DF,	p-value:	< 2.2e-16	

4 结论与政策建议

4.1 结论

全国 30 个地区的平均绿色发展效率在 0.72--0.81 之间，随着时间的推移出现先下降后上升的趋势，而且样本的绿色发展效率在空间上存在显著的空间差异。其中东部地区的绿色发展效率最高。随着产业集聚水平的不断提升，绿色发展经历了先下降后上升的过程，说明产业集聚水平对于绿色发展的影响存在影响阈值，当产业集聚到一定程度后会出现拐点，使得其与绿色发展效率呈现出负相关。本文除了验证产业集聚对于绿色发展效率具有显著的负相关外，还验证了其他关键的影响因素，如外商直接投资、产业结构等因素对于绿色发展具

有着不同程度的影响。

4.2 政策建议

首先以东北地区为主的绿色发展效率较低的城市应大力发展生态产业集聚区，优化产业布局，提高能源的利用效率。第二，经济的发展是提升绿色发展效率的最强、最直接驱动力，这表明效率较低的地区可以利用经济溢出效应，最大限度地发挥区域生产要素的潜力，实现生产要素之间的协调。第三，虽然外资对于绿色发展有着极为显著的促进作用，但政府在承接对外产业转移过程中，要有选择性地引导外资投向以高端技术产业、现代服务业和旅游产业为代表的绿色生产领域，有目的地限制低技术、高消费的外商投资项目，防止盲目引入高污染的外资产业。

参考文献

- [1] 黄泰岩, 特木钦. 2017. 绿色经济问题研究新进展 [J]. 工业技术经济, 36(12): 3-9.
 - [2] 王兵 黄人杰. 2014. 中国区域绿色发展效率与绿色全要素生产率: 2000-2010——基于参数共同边界的实证研究 [J]. 产经评论, (1): 16-35.
 - [3] Tone K. A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 32-41.
- 作者简介：朱威宇（1998—），男，汉族，浙江湖州人，硕士，单位：浙江师范大学，研究方向：能源经济。