

江苏沿江城市工业绿色发展评价 与转型升级路径研究

杨莉 余倩倩 张雪磊¹

【摘要】江苏沿江城市经济发达，但重污染企业布局集中，是社会经济发展与生态环境安全矛盾最突出的地区。综合运用 Global-Malmquist-Luenberger 模型和固定效应模型，测算 2010-2016 年间江苏沿江城市工业绿色全要素生产率，分析工业绿色发展水平及影响因素。结果表明：沿江 8 市整体工业绿色发展效果较好，但苏州、无锡、常州工业绿色全要素生产率相对较低，而扬州、泰州工业绿色全要素生产率相对较高。绿色技术进步缓慢是工业绿色发展水平提高的重要限制因素。科技创新投入和环境保护投资增加能有效提升工业绿色发展水平，但沿江地区工业经济增长、产业结构偏重和工业能源消耗对工业绿色全要素生产率有抑制作用。

【关键词】江苏沿江城市 工业绿色发展 全要素生产率 转型升级

杨莉，南京邮电大学地理与生物信息学院副教授 210093

余倩倩，南京邮电大学经济学院硕士研究生 210093

张雪磊，南京邮电大学管理学院硕士研究生 210093

一、引言

长江是中华民族的母亲河，长江流域也是中国经济发展的重心所在、活力所在。近年来，长江中下游地区工业化、城镇化迅猛发展，经济社会发展取得显著成就，但同时长江流域的生态环境问题日益突出。江苏沿江地区包括南京、镇江、扬州、泰州、无锡、常州、苏州和南通 8 个省辖市（以下简称“沿江八市”），2017 年末总人口 4210.61 万人，地区生产总值 60115.19 亿元，是江苏省人口、经济分布最集中的地区^[1]，沿江工业生产总值占全省工业生产总值 80%以上，其中制造业占工业总产值的比重稳定在 97%左右，形成以化工、冶金等临港产业为主的基础产业带，及电子信息、生物医药等为主的高新技术产业群。工业企业分布集中，2017 年沿江八市工业废水排放量占全省排放总量的 81.25%；化学需氧量、氨氮、二氧化硫、氮氧化物和烟（粉）尘的排放总量分别占全省排放总量的 50.36%、55.06%、63.08%、72.94%和 70.01%^[1]。由于长江（江苏段）污染物排放量大，支流污染状况较为严重。2017 年在 41 条主要入江支流 45 个控制断面中，劣 V 类水质断面占 6.7%^[2]。同时，沿江地区土地和岸线资源无序开发，生态安全空间严重不足；流域生态功能退化，生态系统脆弱；“重化围江”，环境风险隐患突出，重大环境污染事故时有发生。

中共中央高度重视长江经济带绿色发展。习近平总书记在 2016 年 1 月 5 日推动长江经济带发展座谈会上指出，“推动长江经济带发展必须从中华民族长远利益考虑，坚持生态优先、绿色发展的战略定位”。2016 年 1 月 26 日，习近平总书记再次强调，涉及一切经济活动都要以不破坏生态环境为前提，共抓大保护，不搞大开发。江苏省第十三次党代会对长江绿色发展作出重要

¹本文为国家社科基金项目“农村人口城镇化进程中环境基本公共服务供给机制研究”（16BRK024）、江苏省高校哲学社会科学重点研究项目“江苏沿江生态环境安全保障与绿色转型发展协调机制和对策研究”（2017DIXM123）、江苏省“333”人才项目、南京邮电大学“1311”人才计划阶段性成果。

²[1]江苏省统计局：《江苏统计年鉴》，（北京）《中国统计出版社》2018 年。

部署，提出要按照长江经济带建设“共抓大保护、不搞大开发”要求，推动沿江两岸现有产能改造提升、有序转移，腾出服务于高端产业发展和生态建设的空间，让长江母亲河永葆生机活力。国家和江苏省关于长江经济带发展的顶层设计和战略布局，为长江流域的健康发展指明了方向。但总体来看，还存在一些突出矛盾需要协调解决：一是协调好长江黄金水道与长江绿色生态廊道目标定位的关系，二是化解长期积存的社会经济发展与长江生态安全保障的矛盾，三是解决产业绿色转型、生态保护与提高经济效益的关系。对江苏来说，通过推进重污染行业绿色化转型，守住沿江生态环境安全底线，加速沿江岸线整治提升和生态修复，是从源头上解决江苏沿江生态环境问题的关键，也是一项重大而紧迫的研究课题和实践任务。

提高全要素生产率是加快工业绿色转型的有效途径。全要素生产率最初是为了反映技术、结构组织在经济增长中的作用。随着环境问题日益突出，学者们考虑发展的同时要考虑资源与环境，便产生了用包含资源环境因素的绿色全要素生产率来衡量经济发展的想法。Fare 等人（1994）将包络数据分析（DEA）方法与 Malmquist 指数相结合，将决策单元与最优前沿面进行对比，测算了绿色全要素生产率指数^[3]。Chung 等（1997）在提出方向性距离函数的基础上，将 Malmquist 指数进一步结合形成 Malmquist-Luenberger 指数^[4]。但无论何种方法，其计算结果均表明绿色全要素生产率低于传统全要素生产率，为经济绿色转型发展提供了有力证明。

关于工业绿色发展评价，国内外学者主要采用以下两种方法进行研究：（一）运用熵权-TOPSIS 方法进行绿色发展水平评价。李琳等（2016）采用熵权-TOPSIS 模型对长江经济带工业绿色发展水平进行了评估^[5]。（二）运用 DEA 等方法进行绿色发展绩效评价。吴旭晓（2016）运用超效率 DEA 分析方法测算了青海、河南和福建的工业绿色效率^[6]。吴传清（2018）采用 SBM-GML 指数模型测算出 2011—2015 年长江经济带工业绿色发展效率呈平稳增长态势^[1]。王建民（2019）运用 Super-SBM 模型与 Malmquist 指数对长江经济带在 2007—2016 年间的 11 省市工业绿色发展效率进行了分析^[2]。

关于工业绿色全要素生产率的影响因素方面，王鹏等（2016）研究表明中国环境管制对工业绿色发展是显著有效的^[3]。张建华等（2017）研究表明政府干预和环境规制的交互作用对其影响是明显的^[4]。吴传清（2018）指出产业结构、人力资本、能源结构、对外开放等因素对长江经济带工业绿色发展效率的作用较为显著^[5]。在工业的绿色转型方面，国内学者主要从调整工业结构、加大技术创新力度、合理工业布局和加强政府管制等方面提出工业绿色的转型路径。李小玉等（2017）指出需从绿色工业选择、绿色技术研发、绿色产品市场体系共建及工业废弃物绿色处理等方面构建协作机制，提升长江中游城市群工业从生产到消费全生命周期的绿色化^[6]。孙冬号等（2017）提出以政府、企业、公众为参与主体，结合生产要素、政府政策、市场环境等因素，从多个方面来探讨了工业绿色化转型的升级路径^[7]。郑玥等（2018）指出需要从技术路径、产业路径、制度路径等方面入手全面推动工业经济和生态环境协调发展^[8]。王建民（2019）提出实施区域联动发展，引导工业绿色发展效率较高的下游区域将先进的生产技术向中上游地区流动^[9]。

³[1]江苏省统计局：《江苏统计年鉴》，（北京）《中国统计出版社》2006—2017 年。

[2]江苏省生态环境厅：《江苏环境状况公报》，（南京）《江苏省生态环境厅》2017 年。

[3]Rolf Fare, Shawna Grosskopf, Mary Norris, Zhongyang Zhang. “Productivity Growth Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries”, *The American Economic Review*, 1994, (84), pp. 66-83.

[4]Chung Y H., Fare R., “Grosskopf S. Productivity and Undesirable Outputs : A Directional Distance Function Approach”, *Journal of Environmental Management*, 1997(51), pp. 229-240.

[5]李琳、张佳：《长江经济带工业绿色发展水平差异及其分解——基于 2004—2013 年 108 个城市的比较研究》，（成都）《软科学》2016 年第 11 期。

[6]吴旭晓：《区域工业绿色发展效率动态评价及提升路径研究——以重化工业区域青海、河南和福建为例》，（昆明）《生态经济》2016 年第 2 期。

⁴[1]吴传清、黄磊：《长江经济带工业绿色发展绩效评估及其协同效应研究》，（武汉）《中国地质大学学报（社会科学版）》2018 年第 3 期。

[2][9]王建民、仇定三、蒋倩颖、张敏：《长江经济带工业绿色发展效率测量与提升路径研究》，（广州）《科技管理研究》2019 年第 12 期。

[3]王鹏、尤济红：《中国环境管制效果的评价研究——基于工业发展的一个空间视角》，（北京）《经济社会体制比较》2016 年第 2 期。

[4]张建华、李先枝：《政府干预、环境规制与绿色全要素生产率——来自中国 30 个省、市、自治区的经验证据》，（哈尔滨）《商

综上所述,当前学者主要运用熵权-TOPSIS法、DEA方法对全国和省域范围内工业绿色发展与绩效水平进行评估与分析,市域范围研究成果相对较少;且研究多侧重从科技进步、经济发展、产业结构和环境规制等方面分析工业绿色全要素生产率的影响因素,相应提出促进工业绿色发展的措施与建议。基于此,本文在对2010—2016年间江苏“沿江八市”产业发展与生态环境数据分析基础上,运用非期望产出模型对工业绿色全要素生产率进行了测算,从经济发展、产业结构、技术创新、财政投资、环境规制等方面全面分析沿江八市工业绿色全要素生产率的影响因素,并尝试从加强技术创新、调整产业结构、强化环境规制、优化产业布局等方面系统地提出促进工业绿色转型升级的路径和措施。

二、研究方法 with 数据来源

1. 工业绿色全要素生产率计算

(1) 工业绿色全要素生产率指标选取

本文测算绿色全要素生产率,从资本、劳动和能源三方面选取投入指标。参考袁宝龙[9]等指标选取方法,以资本存量作为资本投入指标。由于现有的统计数据和官方公布资料中没有关于资本存量的直接数据,因此,参考张军等研究成果^[1],采用“永续盘存法”进行估算,其中借鉴单豪杰的研究,以2010年为基期,以10.96%的资产折旧率估算出2011—2016年的资本存量^[2]。另外,选取工业能源消费总量来表征能源投入,选取年末从业人员数表示劳动力投入。

产出指标分为期望产出和非期望产出。选取沿江八市工业总产值作为期望产出,非期望产出的计算方法参考尚云云的做法^[3]:首先,搜集各市工业废水排放量、工业二氧化硫排放量和工业固体废物产生量3个指标,然后采用熵值法计算各市环境污染综合评价价值,以此综合值作为非期望产出指标。具体指标选取如表1所示。

表1 投入产出指标说明表

指标类型	指标说明	具体变量
投入指标	资本投入	工业固定资产投资额
	动力投入	年末从业人员人数
	能源投入	工业能源消费总量
产出指标	期望产出	工业总产值
	非期望产出	环境污染综合评价价值

(2) 工业绿色全要素生产率指数构建假设共有 i 个生产决策单元,在每个生产时期 t ,使用 k 种生产要素生产出 n 种产出所对应的生产要素投入向量 x 、产出向量 y 。借鉴 Tone 的非期望产出 SBM 模型^[4]5:

业研究》2017 第 10 期。

[5] 吴传清、黄磊:《长江经济带工业绿色发展效率及其影响因素研究》,(南昌)《江西师范大学学报(哲学社会科学版)》2018 年第 3 期。

[6] 李小玉、邱信丰:《长江中游城市群工业绿色发展协作机制研究》,(长春)《经济纵横》2017 年第 10 期。

[7] 孙冬号、郗永勤:《我国工业绿色化转型升级路径研究——基于“钻石模型”与产业价值链融合的视角》,(武汉)《物流工程与管理》2017 年第 11 期。

[8] 郑玥、郗永勤:《邵武市工业绿色转型路径研究》,(南京)《海峡科学》2018 年第 1 期。

[9] 袁宝龙、李琛:《环境规制政策下创新驱动中国工业绿色全要素生产率研究》,(南京)《产业经济研究》2018 年第 5 期。

⁵[1] 张军、吴桂英、张吉鹏:《中国省际物质资本存量估算:1952—2000》,(北京)《经济研究》2004 年第 10 期。

[2] 单豪杰:《中国资本存量 K 的再估算:1952—2006 年》,(北京)《数量经济技术经济研究》2008 年第 25 期。

$$\min \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} \frac{s_r^+}{y_{rk}} + \sum_{r=1}^{q_2} \frac{s_r^{b-}}{b_{rk}} \right)}$$

$$s.t. \begin{cases} X\lambda + s^- = x_k \\ Y\lambda - s^+ = y_k \\ B\lambda + s^{b-} = b_k \\ \lambda, s^-, s^+ \geq 0 \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, q \quad (1)$$

其中， λ 为权重向量， s 表示产出、投入的松弛量。 x_{ik} , y_{rk} , b_{rk} 分别表示投入、期望产出和非期望产出。当 $\rho = 1$ ，即达到效率值有效； $\rho < 0$ ，则表明 DMU 的效率值无效，在投入产出中需要进一步加强改进。

采用 Global-Malmquist - Luenberger (GML) 指数法。从 t 到 $t+1$ 时期的 GML 指数公式如下：

$$GML = \left[\frac{1 + D_0'(x_t, y_t, d_t; y_t, -d_t)}{1 + D_0'(x_{t+1}, y_{t+1}, d_{t+1}; y_{t+1}, -d_{t+1})} \times \frac{1 + D_0^{t+1}(x_t, y_t, d_t; y_t, -d_t)}{1 + D_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, d_{t+1}; y_{t+1}, -d_{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

GML 指数可进一步分解为绿色技术进步指数 (TC) 和绿色综合技术效率指数 (EC)。在规模效率可变的情况下，EC 可再分解成纯绿色技术效率指数 (PEC) 和绿色规模效率指数 (SEC)，表示为：

$$GML = TC * EC = TC * PEC * SEC \quad (3)$$

$$TC = \left[\frac{1 + D_0^{t+1}(x_t, y_t, d_t; y_t, -d_t)}{1 + D_0'(x_t, y_t, d_t; y_t, -d_t)} \times \frac{1 + D_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, d_{t+1}; y_{t+1}, -d_{t+1})}{1 + D_0'(x_{t+1}, y_{t+1}, d_{t+1}; y_{t+1}, -d_{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$TC = \frac{1 + D_0'(x_t, y_t, d_t; y_t, -d_t)}{1 + D_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, d_{t+1}; y_{t+1}, -d_{t+1})} \quad (5)$$

SEC 表示跨期前沿技术相对使用效率的变动，表示技术效率的改善；PEC 表示生产前沿的变动，表示纯技术的效率。当 GML、EC 和 TC 大于 1 时表示绿色全要素生产率增长、环境效率改善及绿色技术进步；当 GML、EC 和 TC 小于 1 时，分别表示绿色全要素生产率下降、环境效率恶化及绿色技术衰退。

2. 工业绿色全要素生产率影响因素分解

参考周五七^{[1]6}的研究，从产业结构、经济发展水平、能源结构、政府干预、科技水平和环境规制等方面选取影响指标。以工业绿色全要素生产率 (GML) 为被解释变量，第二产业增加值占 GDP 比重 (CY)、工业能源消费量 (NY)、人均 GDP (GDP)、财政支出占 GDP 比重 (CZ)、R&D 经费支出占 GDP 比重 (RD) 和环境污染治理投资占 GDP 比重 (HJ) 为解释变量。

[3] 尚云云：《福建省工业绿色全要素生产率测度与影响因素研究》，(福州)《福建商学院学报》2018 年第 3 期。

[4] 成刚：《数据包络分析方法与 MaxDEA 软件》，(北京)《知识产权出版社》2014 年，第 89-136 页。

⁶[1] 周五七：《长三角工业绿色全要素生产率增长及其驱动力研究》，(石家庄)《经济与管理》2019 年第 1 期。

由于计算工业绿色全要素生产率选取“工业生产总产值”为产出指标，为避免出现指标共线性问题，进行“第二产业增加值占 GDP 比重”与“工业生产总产值”之间的相关性分析，结果显示：相关系数 r 为 0.068，且 P 值为 0.65，未通过显著性检验，即表明两个指标之间不存在显著的相关关系。

采用面板回归模型对沿江八市工业绿色全要素生产率的影响因素进行研究，构建面板回归模型如公式 (6)：

$$GML_{it} = a_i + b_1 \ln(CY)_{it} + b_2 \ln(NY)_{it} + b_3 \ln(GDP)_{it} + b_4 \ln(CZ)_{it} + b_5 \ln(RD)_{it} + b_6 \ln(HJ)_{it} + \mu_{it}, i=1,2,\dots,8, t=2011,\dots,2016 \quad (6)$$

3. 数据来源与处理

本文测算了沿江 8 市 2010—2016 年间工业绿色全要素生产率，并分析其影响因素。选取“工业固定资产投资额”、“年末从业人数”、“工业能源消费总量”作为投入指标；“工业总产值”作为期望产出指标，采用熵权法综合“工业废水排放量”、“工业二氧化硫排放量”、“工业固体废物产生量”三个指标为“环境污染综合评价价值”作为非期望产出指标，以上指标数据来自《江苏统计年鉴》(2011—2017)及江苏沿江各城市同期统计年鉴。“第二产业增加值占 GDP 比重”、“工业能源消费量”、“人均 GDP”、“财政支出占 GDP 比重”、“R&D 经费支出占 GDP 比重”、“环境污染治理投资占 GDP 比重”作为工业绿色全要素生产率影响因素指标，研究数据来自《中国城市统计年鉴》(2011—2017)及江苏沿江各城市同期统计年鉴。考虑到各影响因素数据量纲不同可能引致异方差问题，对影响因素进行对数标准化处理。

三、江苏沿江城市工业绿色全要素生产率计算

1. 工业绿色全要素生产率动态变化

研究运用 MaxDea 软件，依据工业绿色全要素生产率评价投入与产出指标，测算江苏沿江八市的工业绿色全要素生产率指数(如表 2)。总体来看，江苏沿江各市在 2010—2016 年间工业绿色全要素生产率指数平均值均大于 1，这说明沿江各市工业绿色发展效果较好，即 6 年间工业生产中期望产出在增多，非期望产出在变少，工业生产和环境污染之间的关系逐步趋于协调。具体来看，在 2010—2016 年间，工业绿色全要素生产率增速呈现出“W”形趋势变化，即 2010—2013 年沿江八市工业绿色全要素生产率平均值均大于 1，表明 4 年间工业绿色全要素生产率均呈有效状态；但 2013—2014 年间各市工业绿色全要素生产率平均值 1.0512，较 2010—2011 年间各市工业绿色全要素生产率平均值下降 5.2%，说明工业绿色发展速度逐步趋缓。在 2014—2016 年间，各市工业绿色全要素生产率平均值均小于 1，说明沿江城市工业绿色发展呈无效状态，即环境污染开始呈现非协调发展特征，原因在于近年来化工、钢铁、建材和装备制造等高耗能、高耗水、高排放的工业倾向于布局在临江地区，因此污染物种类增长，排放量增加，工业岸线资源占用量增加；同时沿江八市划定的国家和省级生态保护红线面积均占全省同类生态保护红线面积的 50%以上^[17]，各城市面临的资源环境约束趋紧，因此沿江工业发展与生态环境承载力之间的矛盾日渐突出。

表 2 2010—2016 年沿江八市工业绿色全要素生产率测算结果

时间	常州	南京	南通	苏州	泰州	无锡	扬州	镇江	城市均值
2010—2011	0.9817	1.0827	1.0287	1.0000	1.4864	0.9477	1.2750	1.1558	1.1096
2011—2012	0.9955	1.0666	1.1842	0.9896	0.9742	0.9483	1.0013	1.1042	1.0035
2012—2013	1.0840	1.2152	1.1134	1.0103	1.0320	0.9811	1.1088	1.1312	1.0680

^[17]江苏省生态环境评估中心：《长江经济带战略环境评价江苏省“三线一单”技术报告》，(南京)《江苏省生态环境厅》2019 年。

2013-2014	1.0442	1.0337	0.9714	0.9955	0.9918	1.1341	1.0089	1.0671	1.0512
2014-2015	0.9821	0.9537	1.0435	0.9942	1.0083	0.8308	1.0000	1.0419	0.9552
2015-2016	1.0501	0.9838	1.0146	1.0106	1.0000	0.9487	1.0000	0.9666	0.9886
时间均值	1.0229	1.0559	1.0593	1.0000	1.0821	0.9561	1.0657	1.0778	1.0411

从沿江各市情况来看，2010—2016年间泰州市工业绿色全要素生产率年均值最高，为1.0821；扬州市各年工业绿色全要素生产率均在1以上，年均值相对较高，为1.0657，泰州和扬州市工业绿色发展绩效较好，且扬州市各年发展情况相对稳定。2012—2016年间镇江、南通和南京工业绿色全要素生产率年均值在1.05以上，且各年之间差异不明显；常州和苏州工业绿色全要素生产率年均值分别为1.0229和1.0000，但年份之间差异显著。无锡市工业绿色全要素生产率年均值为0.9561，除2013—2014年外，其它各年工业绿色全要素生产率均小于1，这说明，与其它城市相比，无锡市工业绿色发展绩效相对较低，年份之间波动变化较大。从各市工业绿色全要素生产率动态变化特征看，在2010—2011年间，常州市和无锡市工业绿色全要素生产率小于1，其余6个城市的工业绿色全要素生产率均大于1；在2015—2016年间，工业绿色全要素生产率小于1的城市变为3个，分别为南京、无锡和镇江，这说明，在6年间沿江八市不仅工业绿色发展绩效平均水平降低，且绿色发展呈无效状态的城市数量在增长。

形成以上情况的原因可能在于沿江部分城市发展主要依靠传统制造业，工业绿色转型升级动力不足，污染物排放量较高。如在2010—2016年间，扬州市和泰州市主导产业分别为交通运输设备制造业和金属制品业、交通运输设备制造业等，均不属高耗能、高污染的产业，工业废水与工业二氧化硫排放量和工业固废产生量相对其它城市均较低。而无锡、苏州和常州同期主导产业以化学原料和化学制品制造业、黑色金属冶炼和压延加工业为主，属高耗能、高污染产业，工业主要污染物排放量（产生量）均较其它城市高。

2. 工业绿色全要素生产率分解变化

从工业绿色全要素生产率分解变化来看，在2010—2016年间，江苏沿江八市的绿色全要素生产率（GTFP）增长了4.11%，其中绿色技术进步指数增长0.91%，绿色综合技术效率指数增长3.11%；绿色综合技术效率指数再分解后的绿色纯技术效率指数和绿色规模效率变化分别增长了1.32%和1.96%。分析可见，沿江各市工业绿色全要素生产率增长主要的贡献主要来自于绿色纯技术效率和绿色规模效率的快速增长。一些城市的绿色技术进步指数增长缓慢，表明这些城市绿色自主技术创新动力较弱，工业企业在生产过程中对于技术的创新和改造能力都需要进一步提升。

从各城市工业绿色全要素生产率分解值来看，常州和苏州2个城市的绿色综合技术效率指数（EC）为1，南京、南通、泰州、扬州和镇江5个城市的绿色综合技术效率指数皆大于1，可见除无锡市外，大部分城市在考虑非期望产出的资源配置能力、资源使用效率等方面表现较好。然而，各城市绿色技术进步指数（TC）相对较低，大于1或等于1的城市有5个，而南京、无锡和镇江3个城市的绿色技术进步指数分别为0.9865、0.9908和0.9965，均小于1，表明这些城市的绿色技术进步仍有待提高，需重视提升节能、环境友好的清洁生产技术。此外，沿江8市工业绿色纯技术效率变化（PEC）呈现较均衡的变化特征，除无锡之外的7个城市的均值是大于1或者等于1，说明其在已有的清洁生产技术水平、规定制度和管理水平下所投入要素的使用是有效率的。此外，南京和无锡2个城市的绿色规模效率指数略低于其它6个城市，反映这两个城市的工业要素投入比例及工业企业的规模需要进一步优化。

四、江苏沿江城市工业绿色全要素生产率影响因素研究

依据2010—2016年间沿江八市各影响因素数据，采用R软件构建工业绿色全要素生产率影响因素的面板回归模型（如表3）。采用Fisher-ADF检验法对解释变量做平稳性检验，解释变量第二产业增加值占GDP比重、人均GDP和工业能源消费量、R&D支

出占 GDP 比重、财政支出占比和环保投资占比的 P 值均小于 0.05，则所研究的数据为平稳序列。

对面板数据模型进行 F 检验和 Hausman 检验，采用个体固定效应模型进行影响因素分析。第二产业增加值占 GDP 比重、人均 GDP 和工业能源消费量、R&D 支出占 GDP 比重、财政支出占比和环保投资占比均通过显著性检验，各变量的回归结果见表 3。

表 3 影响因素回归结果

变量	个体固定效应 模型回归参数	时点固定效应 模型回归参数	个体时点双固定效应 模型回归参数
ln(CY)	-1.0342 (**)	-0.0145 (*)	-2.3122 (*)
ln(GDP)	-0.3843 (**)	0.0859	-0.2850 (*)
ln(NY)	-0.1539 (***)	-0.0783 (**)	-0.1429 (**)
ln(CZ)	-0.0427 (*)	-0.0369	-0.1034
ln(RD)	0.1707 (**)	-0.1043 (*)	0.0835
ln(HJ)	0.0289 (*)	-0.0095	0.0099

注：*、**和***分别为在 10%、5%和 1%水平条件下显著。

(1) 第二产业增加值占 GDP 比重 (CY) 对工业绿色全要素生产率呈显著负向影响作用，且 ln(CY) 增加 1%，工业绿色全要素生产率会降低 1.03%。这表明工业发展的越快，占 GDP 比重越大，就越会抑制绿色全要素生产率提高。原因在于沿江各市多以化工、钢铁等重污染行业为主导产业，产业结构中制造业占比偏重，能耗相应较高，环境成本较大，不利于提高工业绿色发展水平。

(2) 人均 GDP (GDP) 对工业绿色全要素生产率产生显著负向影响作用，且 ln(GDP) 每增加 1%，工业绿色全要素生产率就会降低 0.38%，这说明当前沿江城市粗放型经济增长方式不利于工业绿色全要素生产率提升，因此调整工业结构，大力发展高新技术产业和先进制造业，同时转变经济增长方式，积极推进现代服务业，提高第三产业比重，努力增加经济结构“含绿量”是促进绿色发展的有效途径。

(3) 工业能源消费量 (NY) 对绿色全要素生产率产生显著的负向影响作用，且 ln(NY) 每增加 1%，工业绿色全要素生产率就会降低 0.1539%，这说明工业能源消费量会抑制绿色全要素生产率提高。可能的原因在于沿江城市高能耗产业集聚，且规模以上工业企业能源消费以煤炭为主，使用过程中颗粒物、氮氧化物和硫氧化物等主要污染物排放量大。因此要通过绿色技术研发与应用，提高企业清洁生产水平等方式促进工业绿色全要素生产率提升。

(4) R&D 支出占 GDP 比重 (RD) 对绿色全要素生产率产生显著正向影响作用，且 ln(RD) 每增加 1%，工业绿色全要素生产率会提高 0.1707%，这表明，随着 R&D 支出占 GDP 比重增长，工业绿色全要素生产率会显著提升。增加科技投入，会加大绿色技术研发力度，提高企业生产技术水平，提高能源利用效率与污染物处理效率，减少工业能耗与污染物排放量，促进工业绿色发展。

(5) 财政支出占比 (CZ) 对绿色全要素生产率产生显著负向影响作用，且 ln(CZ) 每增加 1%，工业绿色全要素生产率会降低 0.0427%，这说明沿江城市财政支出占比并不能有效地促进工业绿色全要素生产率提高。研究进行节能环保支出占比分析，结果显示 2016 年沿江八个城市节能环保占财政支出比重均不超过 5%，其中南通市仅为 1.63%，与其它各财政支出项比，占比较低。这说明由于政府财政支出向工业污染治理、环保设施等领域投入不足，工业绿色全要素生产率难以提高。

(6) 环境保护投资占比(HJ)对工业绿色全要素生产率产生正向影响作用,且 $\ln(HJ)$ 每增加 1%,工业绿色全要素生产率提高 0.0289%,这说明投资型环境规制对工业转型的起促进作用。随着环境规制力度增大,工业企业对于环境污染治理的成本随之提高,一方面污染密集的小企业无法承担成本而逐渐被淘汰,另一方面工业企业积极配合环境治理,提高清洁生产水平,进而促进工业绿色发展。

五、结论及建议

以江苏沿江 8 市为研究对象,综合运用非期望产出的 Global-Malmquist-Luenberger 模型和固定效应模型,测算了 2010—2016 年间工业绿色全要素生产率,并分析其影响因素。结果表明:(1)在 2010—2016 年间,沿江 8 市工业绿色全要素生产率均值大于 1,这说明沿江整体工业绿色发展效果较好。(3)无锡、常州和苏州工业绿色全要素生产率相对较低,而扬州、泰州、南通工业绿色全要素相对较高,这说明经济发达地区并非工业绿色发展水平高,绿色技术进步缓慢是工业绿色发展水平提高的限制因素。(5)“第二产业增加值占 GDP 比重”“人均 GDP”“工业能源消费量”“财政支出占比”对工业绿色全要素生产率有显著负向影响,而政府财政支出“R&D 支出占 GDP 比重”和“环境保护投资占比”对工业绿色全要素生产率有显著正向影响。

基于上述结论,提出推进江苏沿江城市工业绿色转型升级的发展路径:(一)以技术创新引领工业绿色化发展。切实加大科技投入,大力推进绿色技术创新,引领供给侧结构性改革,创造工业绿色发展新的增长点。以高新技术装备取代传统产业技术、落后设备,实现减污增效,形成绿色工业新的增长点;大力发展生态环保绿色产业,创造绿色工业新的增长点;以技术革新推动群众绿色生活方式转变,催生绿色工业新的增长点。(二)加快产业结构调整,改变沿江城市“产业结构偏重”“能源结构偏煤”的结构性问题。加大企业清洁技术改造,淘汰落后产能和重污染企业,推动沿江钢铁、石化等传统高污染、高排放产业绿色转型升级;大力发展高新技术产业和先进制造业,推进沿江城市打造电子信息高端装备、汽车、家电、纺织服装等世界级制造业集群;推进工业能源结构调整,淘汰高耗能产业,积极发展风电、核电等新能源,减少煤炭使用量。(三)落实“三线一单”制度,科学优化沿江产业空间布局。落实“三线一单”(即生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入清单)制度,把环境承载力作为产业布局和结构调整的刚性约束条件,以容量定产业、定项目、定规模,有序推进沿江地区产业向生态承载力强的地区转移。(四)强化环境规制,完善环境政策机制保障。牢固树立绿色发展导向,建立完善绿色发展评价体系、考核机制和奖惩办法,实施绿色发展评估,强化政绩考核;加大生态环境投入机制,搭建投融资平台,推进政府、社会团体、企业等组织加大生态环境投入;建立工业绿色发展预警联动机制,加强沿江工业绿色发展评价,将沿江工业项目建设和工业绿色发展评价指数、区域生态环境承载力、环境质量改善情况等挂钩,及时发布预警信息,对环境质量改善未达到目标要求的地区,严禁审批重污染项目;对环境质量持续恶化的地区,实施除民生项目、环境基础设施项目以外的区域限批。对工业绿色发展较差的地区,严格限制高物耗、高能耗、高排放项目建设,所需排放指标必须由本地区通过淘汰落后产能,按减量替代的方式获得。