

长江经济带化工产业绿色发展效率的 空间分异及驱动因素

向云波^{1, 2} 王圣云² 邓楚雄³¹

(1. 湖南科技大学 建筑与艺术设计学院, 中国湖南 湘潭 411201;

2. 南昌大学 中国中部经济社会发展研究中心, 中国江西 南昌 330031;

3. 湖南师范大学 地理科学学院, 中国湖南 长沙 410081)

【摘要】: 提升化工产业绿色发展效率是破解“化工围江”难题, 实现长江经济带高质量发展的重要路径之一。采用 SBM-Undesirable 模型和泰尔指数, 分析 2001—2016 年长江经济带化工产业绿色发展效率及其空间分异特征, 运用地理探测器揭示长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异的驱动因素。研究表明: ①2001—2016 年长江经济带化工产业绿色发展效率显著提高, 但存在明显的空间分异特征。不考虑能源利用效率和环境因素会高估长江经济带化工产业绿色发展效率。②研究时间段长江经济带化工产业绿色发展效率区域差异总体呈缩小趋势, 区域间差异是长江经济带化工产业绿色发展效率差异的主要来源, 但随着时间演进区域间差异缩小, 区域内差异扩大。③经济水平、科技创新、产业结构和产业集聚对长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异解释力较强, 外商投资强度和环境规制解释力相对较弱。不同因子两两交互作用时均高于单独作用时的影响力。文章的政策启示是, 长江经济带化工产业绿色发展要因地制宜, 采取差异化的转型升级策略, 要加快上中下游交流合作, 着力破解化工产业协同发展的体制机制障碍, 在实施严格环境规制的同时, 将企业技术创新和产业布局优化作为重要措施。

【关键词】: 化工产业 高质量发展 环境规制 转型升级

【中图分类号】: F403.8 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2021) 04-0108-10

当前, 长江经济带面临严峻的“化工围江”局面, 化工产业沿江分布已经成为威胁长江经济带生态环境安全的重要因素。长江沿岸分布着 40 余万家化工企业、七大炼油厂以及上海、南京和仪征等大型石油化工基地^[1]。其中, 约 30% 的环境风险企业位于饮用水水源地周边 5km 范围内, 各类危、重污染源生产储运集中区与主要饮用水水源交替配置, 对长江经济带化工产业高质量发展形成严重威胁和重大挑战^[2]。2018 年 4 月 24 日, 习近平总书记考察湖北、视察长江, 聚焦破解“化工围江”难题。国家各部委出台的《关于加强长江经济带工业绿色发展的指导意见》《长江经济带生态环境保护规划》《坚决打好工业和通信业污染防治攻坚战三年行动计划》等政策文件, 高度关注长江经济带“化工围江”及化工产业转型升级问题。在中国经济由高速增长转向高质量发展的宏观背景下, 传统高能耗、高污染和高排放的化工产业和相关企业面临着转型升级和集约化、高效化和绿

基金项目: 教育部人文社会科学研究项目 (20YJA790071); 国家自然科学基金项目 (42061026)

作者简介: 向云波 (1978-), 男, 土家族, 湖南永顺人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为经济地理与区域发展。

E-mail: xiangyb05@aliyun.com

王圣云 (1977-), 男, 山西河曲人, 研究员, 博士, 博士生导师, 研究方向为福祉地理与区域发展。E-mail: wangshengyun@163.com

色化转变的巨大压力。推进长江经济带化工产业绿色发展意味着要正视化工产业高质量发展与生态环境保护之间的深层次矛盾，寻求长江经济带化工产业绿色可持续发展的新路径^[3]。就此看来，提高化工产业绿色发展效率是新时代促进长江经济带化工产业高质量发展的应有之义。

目前，学术界已经开始关注长江经济带“生态优先、绿色发展”路径^[4-5]，长江经济带各级政府正合力将长江经济带打造成为支撑我国产业高质量发展的横向产业带。与此同时，破解长江经济带“化工围江”的态势成为学界关注和研究的重点内容^[6]。有关长江经济带绿色发展评价的研究成果比较丰富，主要集中在以下两方面：一是构建绿色发展多指标评价体系，评估城市或工业绿色发展水平^[4, 7-8]；二是运用数据包络分析（DEA）测度城市或工业绿色发展效率、绿色全要素生产率或绿色发展绩效等^[9-12]。数据包络分析方法考虑了多种投入与产出且不需要设定具体函数形式^[9]，逐步成为工业绿色发展效率测度的主流方法。李琳等采用方向距离函数及 ML 指数测算长江经济带城市的工业绿色全要素生产率^[10]。吴传清等采用熵权 TOPSIS 和考虑非期望产出的全局 SBM 模型测度了 2011-2015 年长江经济带工业绿色发展绩效^[11]。在工业绿色发展效率的影响因素方面，学术界多探讨环境规制、技术创新和产业集聚等经济社会因素对工业绿色发展效率的驱动作用。Yeh Jiahuey 等研究表明环境规制成本的增加显著改善了化工行业全要素绿色能源效率^[13]。Alessandro Manello 分析了环境规制对意大利和德国化工企业环境经济效率的影响^[14]。黄磊等指出经济发展、环境规制、工业化和对外开放是提升长江经济带城市工业绿色发展效率的直接驱动力，产业集聚、城镇化和技术创新对城市工业绿色发展效率直接推动作用有限^[15]。

就长江经济带化工产业研究而言，主要研究文献聚焦化工产业布局、环境风险及转型升级策略等。周冯琦等指出长江经济带化学工业布局仍然较为分散，环境污染负荷难以集中监管；产销地分离、长距离运输，环境风险较高；石油化工产业近年来有沿江向上游扩张的趋势，这使得长江流域环境污染负荷随之向上游转移，环境风险加大^[16]。陈庆俊等研究表明长江经济带化学工业仍存在化工企业入园率低，中上游石化产业扩张迅速，环境污染负荷梯度向中上游转移，环境风险大等问题^[17]。邹辉等研究表明长江沿江地区化工产业主要分布在上海和江苏沿江地区，中上游部分地区化工产业呈现明显的增长势头^[18]。赵玉婷等对长江经济带典型流域的重化工业环境风险进行识别^[19]。董昕灵等研究发现中上游地区重化工业分工水平的降低促进了地区污染水平下降，“污染转移”并未随着长江经济带内重化工业的转移而发生^[20]。纪学朋等从入园率的视角，研究了长三角地区化工产业空间演变格局和影响因素^[21]。

文献评述可知，已有研究没有对长江经济带化工产业的绿色发展效率进行测度，同时也缺乏关于长江经济带化工产业绿色发展效率区域空间差异及其驱动因素研究成果。那么，如何对长江经济带化工产业绿色发展效率进行评估？什么因素驱动长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异？厘清这些问题不仅有助于准确把握长江经济带化工产业绿色发展态势，而且也能提升长江经济带化工产业绿色发展效率提供理论支撑。本文考虑非期望产出，运用 SBM-Undesirable 模型和泰尔指数，分析 2001—2016 年长江经济带化工产业绿色发展效率及其空间分异特征，并借助地理探测器揭示长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异的驱动因素，为长江经济带化工产业转型升级及高质量发展提供参考。

1 研究区域、方法与数据

1.1 研究区域及其化工产业概况

长江经济带覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、贵州、重庆、四川和云南等 11 个省市，面积 205 万 km²，约占全国 21%，人口和经济总量超过全国 40%。长江经济带是我国化工产业集聚地区之一。2001—2016 年，长江经济带化工产业销售产值从 6845.32 亿元增长至 82534.03 亿元，销售产值总量扩大了 11 倍，年平均增长率达到 18.05%。2016 年长江经济带 11 省市共实现化工产业销售产值 82534.03 亿元，约占全国 43.46%。下游地区化工产业销售产值 53017.84 亿元，约占全国 27.91%；中游地区化工产业销售产值 18169.56 亿元，约占全国 9.57%；上游地区化工产业销售产值 11346.63 亿元，约占全国 5.97%。其中，江苏省化工产业销售产值最高，为 29548.91 亿元，约占全国 15.56%；云南省化工产业销售产值最低，为 1390.01 亿元，约占全国 0.73%。化工产业 5 个细分行业中，化学原料和化学制品制造业在长江经济带 11 省市化工产业中销售产值最高，所占比

例最大；其次是医药制造业、橡胶和塑料制品业（图1）。

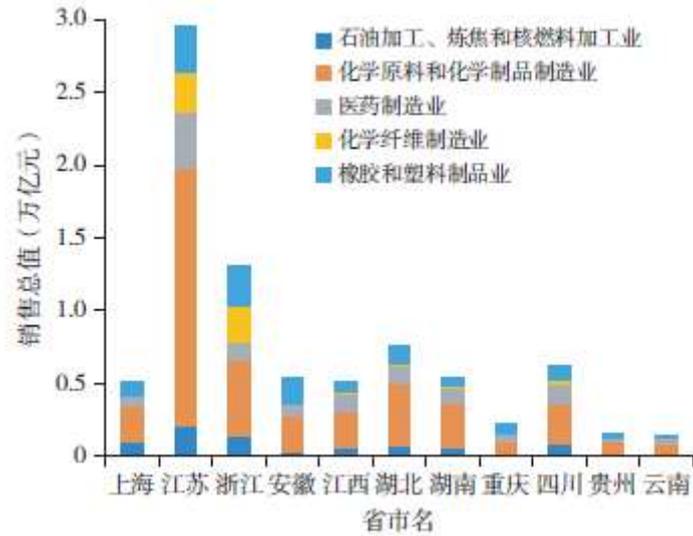


图1 2016年长江经济带化工产业部门

1.2 研究方法

1.2.1 化工产业绿色发展效率测度模型

构建 SBM-Undesirable 模型对化工产业绿色发展效率进行测度，其测算公式为^[22]：假设有 n 个 DMUs，分别为投入向量、期望产出和非期望产出，记为 $x \in R_m$, $y^g \in R_{s1}$ 和 $y^b \in R_{s2}$ 。定义矩阵：

$X = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in R_{m \times n}$, $Y^g = [y_1^g, y_2^g, \dots, y_n^g] \in R_{s1 \times n}$, $Y^b = [y_1^b, y_2^b, \dots, y_n^b] \in R_{s2 \times n}$ 。根据投入产出实际，假设 $x_i > 0, y_i^g > 0, y_i^b > 0$ 。生产性集

合 P，即 N 种要素投入 X 所产生的期望和非期望产出的所有组合，可以定义为： $P = \{(x, y^g, y^b) | x \geq X\lambda, y^g \geq Y^g \lambda, y^b \geq Y^b \lambda (\lambda \geq 0)\}$

为此，SBM-Undesirable 模型可以表述为：

$$p^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{X_{i0}}}{1 + \frac{1}{S_1 + S_2} \left(\sum_{r=1}^{S_1} \frac{S_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{S_2} \frac{S_r^b}{y_{r0}^b} \right)}$$

$$s.t. \begin{cases} X_0 = X\lambda + S^- \\ y_0^g = Y^g \lambda + S^g \\ y_0^b = Y^b \lambda + S^b \\ S^- \geq 0, S^g \geq 0, S^b \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases}$$

式中：S-i、Sgr、Sbr 分别表示第 i0 个决策单元投入冗余量、期望产出不足量和期望产出超标量；S-i、Sgr、Sbr 分别为其对应的向量，λ 为权重向量。上述公式的最优解为 (λ*, S*, Sg*, Sb*)，即在坏产出存在的情况下只有当 P*=1，即 S*=0，Sg*=0，Sb*=0 时，DMU0 有效率。

1.2.2 泰尔指数及其空间分解

运用泰尔指数解析长江经济带化工产业绿色发展效率的地区差异，其计算公式为^[23]：

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{R} \log \frac{R_i}{R}$$

式中：n 表示长江经济带省市数量；R1 表示 i 省市化工产业绿色发展效率；R 表示化工产业绿色发展效率的均值。泰尔指数可以分解为区域内差异和区域间差异两部分，据此，将化工产业绿色发展效率泰尔指数进行如下分解：

$$T = T_b + T_w$$

$$T_b = \bar{R}_d \log \left(\bar{R}_d \frac{n}{n_d} \right) + \bar{R}_z \log \left(\bar{R}_z \frac{n}{n_z} \right) + \bar{R}_x \log \left(\bar{R}_x \frac{n}{n_x} \right)$$

$$T_w = \sum_{i=1}^{n_d} \bar{R}_i \log \left(n_d \frac{\bar{R}_i}{\bar{R}_d} \right) + \sum_{i=1}^{n_z} \bar{R}_i \log \left(n_z \frac{\bar{R}_i}{\bar{R}_z} \right) + \sum_{i=1}^{n_x} \bar{R}_i \log \left(n_x \frac{\bar{R}_i}{\bar{R}_x} \right)$$

式中：Tb 表示上中下游地区间差异；Tw 表示上中下游地区内差异；d、z、x 分别表示上游地区、中游地区和下游地区；n 为省市数量；nd、dz、nx 分别表示上游地区、中游地区和下游地区省市数量；Ri 表示 i 省市化工产业绿色发展效率与长江经济带化工产业绿色发展效率比值^[1]； $\bar{R}_d, \bar{R}_z, \bar{R}_x$ 分别表示上游地区、中游地区和下游地区化工产业绿色发展效率与长江经济带化工产业绿色发展效率比值。

1.2.3 地理探测器

利用地理探测器对长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异的驱动因素进行分析。地理探测器计算模型如下^[24]：

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2$$

式中：q 为化工产业绿色发展效率空间分异的驱动因素探测力指标；Nh 是次一级区域样本单元数；N 为整个区域样本数；J 为次级区域个数；σ² 为整个区域化工产业绿色发展效率的方差；σ²_h 为次一级区域化工产业绿色发展效率的方差。q 的取值范围为 [0, 1]，q=0 时，表明化工产业绿色发展效率是随机分布的，取值越大，说明分区因素对化工产业绿色发展效率空间分布的影响越大。交互作用探测器可以探测两个因子 X1 和 X2 单独对风险的决定力以及两个因子共同对事物的决策力，比较两个因子共同作用对事物 Y 解释力大小。其中，交互作用探测器将 X1 和 X2 双因子交互作用划分为 5 种类型：q(X1∩X2) < min[q(X1), q(X2)] 非线性减弱；min[q(X1), q(X2)] < q(X1X2) < max[q(X1), q(X2)] 单因子非线性减弱；q(X1∩X2) > max[q(X1), q(X2)] 双因子增强；q(X1∩X2) = q(X1) + q(X2) 独立；q(X1∩X2) > q(X1) + q(X2) 非线性增强。

1.3 指标选取与数据处理

根据已有研究成果,结合化工产业分类与特点,遵循数据科学性、易获取性、权威性和代表性等原则,在投入指标选择方面,选取化工产业从业人员年平均人数作为劳动力投入;化工产业固定资产净值代替资本存量作为资本投入;化工产业总能源消耗量作为能源投入。在产出指标方面,选择化工产业销售产值作为期望产出指标;化工产业环境综合指数作为非期望产出指标。

由于《中国工业统计年鉴》中没有专门的化工产业统计数据,结合《中国化学工业年鉴》和《中国工业统计年鉴》产业分类方法,将化工产业范围界定为制造业中的石油加工、炼焦及核燃料加工业、化学原料和化学制品制造业、医药制造业、化学纤维制造业、橡胶和塑料制品业5个细分行业。相关数据来源于2002—2017年《中国工业统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国统计年鉴》及各省统计年鉴,个别缺失数据采用插值法或趋势外推法进行估算。化工产业能源消耗量和三废排放量等统计年鉴中没有直接统计数据,借鉴陈翔等的方法进行估算^[25]。对化工产业固定资产净值和工业销售产值,分别用对应省市固定资产投资价格指数和工业生产者出厂价格指数进行价格平减,平减到2000年水平。在非期望产出方面,选取化工产业废水排放量、固体废弃物生产量和工业SO₂排放量3个指标,借鉴韩晶的处理方法^[26],运用极差值法对原始指标进行标准化,采用均权重,计算得出化工产业环境综合指数。

2 长江经济带化工产业绿色发展效率测度与分析

使用MaxDEA软件,采用SBM-Undesirable模型,测算2001—2016年长江经济带化工产业绿色发展效率。同时,为了与不考虑能源利用效率和环境因素的传统技术效率相比较,采用CCR模型,对不包含能源投入和非期望产出的化工产业传统技术效率进行测算。

2.1 时序演进

2001—2016年长江经济带化工产业绿色发展效率整体呈上升趋势。尤其是2011年之后提升幅度较大(图2)。2008年金融危机后,随着国家《石化产业调整和振兴规划》等政策措施出台,长江经济带化工产业绿色转型升级步伐加快,化工产业绿色发展迎来“危中之机”,逐渐摆脱低迷发展态势,化工产业绿色发展效率明显提升。特别是“十八大”以来,生态文明建设制度不断完善以及《关于做好〈石化产业规划布局方案〉贯彻落实工作的通知》《促进石化产业调结构促转型增效益指导意见》等政策文件出台,长江经济带各省市更加注重化工产业结构调整和优化,技术和工艺改造,绿色创新能力提升,化工产业绿色发展效率显著提升。

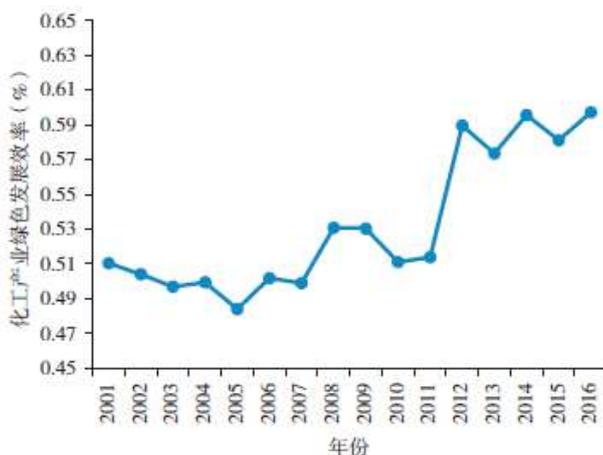


图 2 长江经济带化工产业绿色发展效率演变趋势

2.2 区域比较

可知，2001—2016 年长江经济带 11 省市化工产业绿色发展效率平均值为 0.5325，仅达到最优水平 53.25%，表明长江经济带化工产业绿色发展效率还具有较大提升空间和发展潜力。从上中下游三大区域看，长江经济带化工产业绿色发展效率水平呈现出从上游到中游再到下游递增的空间格局。下游地区化工产业绿色发展效率水平最高，中游地区次之，上游地区最低。上游地区化工产业绿色发展效率均值仅为下游地区 34.03%，区域空间差异十分显著。从年均增长率看，中上游地区较下游地区增长快。分省市看，上海、江苏和浙江 3 省市化工产业绿色发展效率均值分别为 1.000、0.9837 和 0.9676，排名居前三位，安徽、江西、湖北、湖南、贵州、重庆、四川和云南 8 个省市化工产业绿色发展效率均值都低于 0.6000。究其原因，上海、江苏和浙江 3 省市化工产业结构、竞争水平以及管理水平和跨国公司入驻数量，都居于全国领先水平^[27]，特别是上海在全国较早开展“绿色化工区”建设，其万元产值环境经济指标领先全国同行业水平。云南和贵州 2 省化工产业绿色发展效率水平最低，分别为 0.2690 和 0.2280，排名第 10 和第 11 位。云南和贵州两省化工产业普遍存在企业分散，小规模企业偏多，产品结构不合理，资源综合利用不足，“三废”治理率偏低等问题，在规模、技术和市场等方面，与长江经济带其他省市化工企业相比较都存在较大差距^[28-29]。

从传统技术效率 (TE) 和绿色发展技术效率 (GTE) 比较看，不考虑能源利用效率和环境因素，2001—2016 年长江经济带化工产业传统技术效率均值为 0.7438，比绿色发展效率均值高 0.2114 (图 3)。这说明不考虑能源利用效率和环境因素会高估长江经济带化工产业绿色发展效率。其中，上海市化工产业传统技术效率值与绿色发展技术效率值相同，均达到最优 1.0000。江苏省化工产业传统技术效率值低于绿色发展技术效率值，即考虑能源利用效率和环境因素后，江苏省化工产业绿色发展效率水平更高。这说明江苏省化工产业绿色发展效率具有突出与强化高效率水平的能力^[30]。除上海市和江苏省之外，长江经济带其他 9 个省市化工产业传统技术效率值均高于绿色发展技术效率值。这表明在考虑能源利用率和环境因素情况后，这 9 个省市化工产业绿色发展技术效率明显下降。

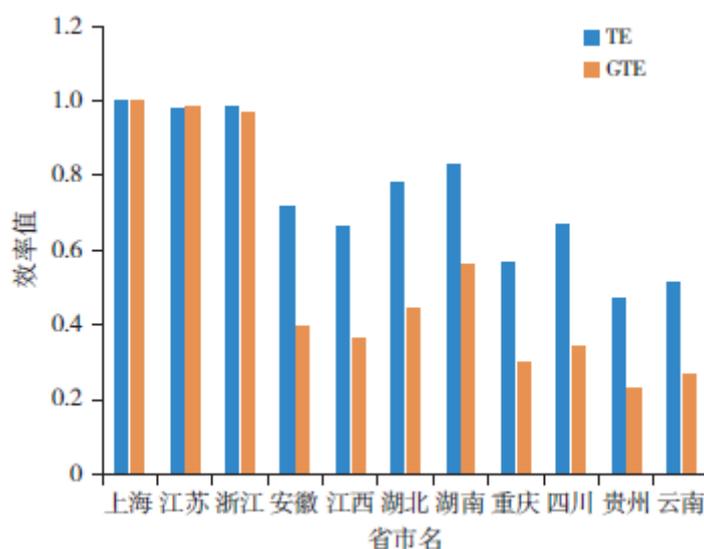


图 3 长江经济带化工产业绿色发展效率水平

3 长江经济带化工产业绿色发展效率的区域差异分析

3.1 空间差异分析

泰尔指数 (T)、基尼系数 (G) 和对数离差均值 (LI)，分别对上层、中层和下层收入水平变动比较敏感，并且值越大，区域差异越大。运用泰尔指数、基尼系数和对数离差均值，对长江经济带化工产业绿色发展效率水平上层、中层和下层省市区域差异进行更为精准的测度 (图 4)。

①2001—2016 年泰尔指数、基尼系数和对数离差均值总体表现出波动中下降的相似变化趋势。其中，2001—2011 年泰尔指数、基尼系数和对数离差均值整体表现出波动中下降趋势，说明处于上层、中层和下层水平的省市化工产业绿色发展效率区域差异波动中缩小。而 2002、2003、2006、2007 和 2009 年三大指数均比前一年上升，说明区域差异扩大。2011—2013 年三大指数均呈上升态势，说明上层、中层和下层水平的省市化工产业绿色发展效率区域差异扩大。2013 年以后，泰尔指数、基尼系数和对数离差均值表现出较大幅度下降，说明上层、中层和下层水平省市化工产业绿色发展效率区域差异缩小。

②从增长率变化情况看，泰尔指数、基尼系数和对数离差均值均表现出“同增同减”变化趋势，表明处于长江经济带化工产业绿色发展效率上层、中层和下层水平的省市区域差异具有相同的变化趋势。2001—2016 年泰尔指数、基尼系数和对数离差均值增长幅度最大值分别为 27.63%、12.32% 和 29.48%，均出现在 2010 年，说明 2010 年长江经济带化工产业绿色发展效率处于上层、中层和下层水平省市地区差异变动最大。2010 年之后，泰尔指数、基尼系数和对数离差均值出现较大幅度下降，说明长江经济带化工产业绿色发展效率上中下层水平省市的地区差异缩小趋势明显，空间非均衡减弱。

③总体而言，2001—2016 年泰尔指数、基尼系数和对数离差均值三大指标中，基尼系数值相对最大，说明长江经济带化工产业绿色发展效率处于中层水平的省市区域差异最大，上层和下层水平的省市区域差异相对较小。从泰尔指数、基尼系数和对数离差均值 3 个指标的变化情况看，基尼系数值变

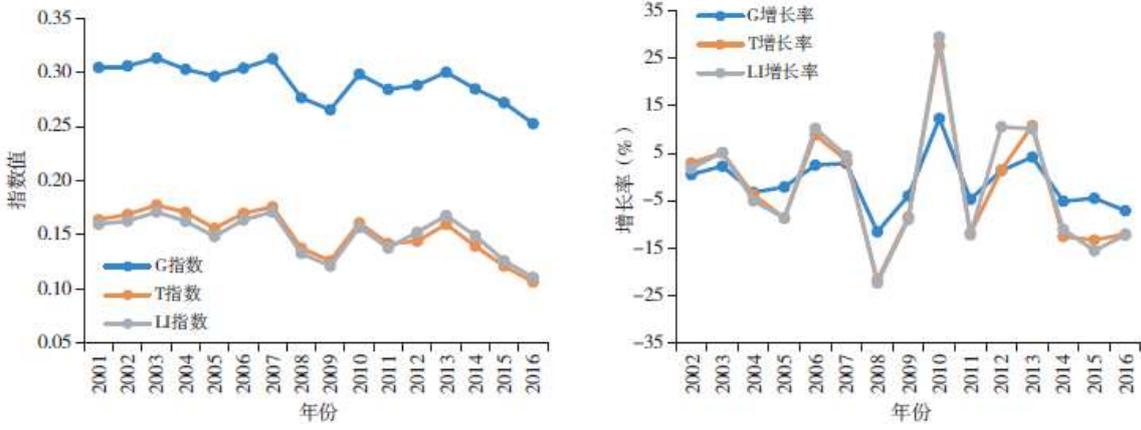


图 4 化工产业绿色发展效率泰尔指数、基尼系数和对数离差均值及其变化

化幅度相对较小，泰尔指数和对数离差均值变化幅度相对较大，说明长江经济带化工产业绿色发展效率处于中层水平省市区域差异变动幅度较小，处于两端水平省市区域差异变动幅度较大。

3.2 空间差异分解

根据泰尔指数分解公式，计算长江经济带中下游地区化工产业绿色发展效率的泰尔指数和分解指标，对长江经济带化工产业绿色发展效率空间差异特征和趋势进行分析。

2001—2016 年长江下游地区化工产业绿色发展效率泰尔指数均值为 0.0318，中游地区为 0.0081，上游地区为 0.0026，说

明下游地区化工产业绿色发展效率地区差异最大，中游地区次之，上游地区最小。下游地区上海、江苏、浙江 3 省市化工产业绿色发展效率均值达到或接近 1.0000，与安徽省之间化工产业绿色发展效率差异大，解释了下游地区差异大的主要原因；中游地区的江西、湖南和湖北 3 省之间化工产业绿色发展效率水平比较接近，其泰尔指数相对较小；上游云南、贵州与四川、重庆 2 之间差异不大，都处于较低水平，泰尔指数相对小。

从泰尔指数变化趋势看，下游地区化工产业绿色发展效率泰尔指数总体呈现波动中下降发展趋势，说明研究时间段下游地区化工产业绿色发展效率区域差异缩小；中游地区化工产业绿色发展效率泰尔指数总体呈现波动中先上升，再下降的演变趋势，表明中上游地区化工产业绿色发展效率区域差异先扩大，再缩小；上游地区化工产业绿色发展效率泰尔指数总体呈现波动中上升演变趋势，表明上游地区化工产业绿色发展效率区域差异扩大。2001—2016 年长江经济带、上游地区、中游地区和下游地区化工产业绿色发展效率地区泰尔指数最大值分别为 0.1775、0.0059、0.0286 和 0.0400，分别出现在 2003、2016、2013 和 2003 年，说明相对年份上述区域化工产业绿色发展效率区域差异最大。

进一步对泰尔指数进行分解，2001—2016 年长江经济带化工产业绿色发展效率区域间差异贡献率相对较大，区域间差异明显高于区域内差异。从变化趋势看，2001—2016 年区域间差异总体呈现波动中下降趋势，区域内差异呈现波动上升发展态势。从差异贡献率看，2001—2016 年区域间贡献率均值 71.20%，远高于区域内贡献率均值 28.79%，这说明区域间差异是影响长江经济带化工产业绿色发展效率总体差异的主要因素。随着时间演进，区域内差异贡献率逐渐提升，区域间差异贡献率有所下降。由此可见，解决长江经济带化工产业绿色发展效率差异的关键在于缩小区域间差异，但也要关注区域内差异扩大的问题。

4 化工产业绿色发展效率空间分异的驱动因素分析

长江经济带化工产业绿色发展效率存在明显的空间分异和不平衡发展特征，本文借助地理探测器探讨长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异的驱动因素。

4.1 驱动因子选取

根据已有研究成果^[13-15]，结合长江经济带化工产业发展特征，选取企业规模、环境规制、科技创新、产业结构、外资强度、经济水平和产业集聚等 7 个因素，作为长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异的主要驱动因子，探测长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异因素。企业规模用化工产业销售总值与化工企业数量比值表示，不同规模的企业资金、人才和技术等要素存在一定差异，会对化工产业绿色发展效率产生影响；环境规制用工业污染治理项目投资总额占 GDP 比例表示，环境规制能够促进或阻碍化工企业技术创新；科技创新用科技支出占地方财政支出比例代表，科技投入是科技创新的基础，增加科技投入有助于化工产业从要素驱动向创新驱动转变；产业结构用第二产业占 GDP 比例表示，产业结构从资源利用、能源消耗和技术创新等方面对化工产业绿色发展效率产生影响；外资强度用实际直接利用外资额占 GDP 比例表示，外商投资既可能存在“污染天堂”假说，也可能产生管理、技术等外溢效应；经济水平用人均 GDP 表示，经济水平对化工产业绿色发展效率产生综合影响；产业集聚选用化工产业区位商即（某省市化工业销售产值/某省市工业销售总值）/（全国化工业销售产值/全国工业销售总值）表示。

4.2 探测结果分析

4.2.1 驱动因子分析

借助于 ArcGIS 软件，运用自然断裂点方法，将 7 个驱动因子转换为类型变量。通过地理探测器法，测度 7 个驱动因子对长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异驱动力的 q 值大小，q 值越大说明该因素对长江经济带化工产业绿色发展效率的影响力越强。研究发现长江经济带化工产业绿色发展效率驱动因子 q 值大小依次为：经济水平（0.9555）>科技创新（0.9267）>产业

集聚 (0.9179) > 产业结构 (0.9163) > 企业规模 (0.7088) > 外资强度 (0.6251) > 环境规制 (0.4246)。这说明 7 个驱动因子均对长江经济带化工产业绿色发展效率具有较强的驱动作用。其中, 经济水平、科技创新、产业集聚和产业结构 4 个驱动因子的 q 值大于 0.9000, 对长江经济带化工产业绿色发展效率解释力强; 外资投资强度和 环境规制 2 个驱动因子解释力相对较弱。这表明长江经济带化工产业绿色发展效率与区域已有的经济发展水平、科技创新能力、产业集聚和产业结构体系等存在紧密关联性, 区域原有的经济社会条件、科技水平和工业结构体系等深刻地影响化工产业绿色发展效率。如: 江苏、上海和浙江 3 省市经济发达、工业基础好, 工业化水平和科技创新能力强, 化工产业绿色发展效率水平也高。与之相反, 云南和贵州两省经济发展水平较低, 工业基础相对薄弱, 工业化水平和科技创新能力都相对较弱, 其化工产业绿色发展效率水平也低。外资强度对长江经济带化工产业绿色发展效率驱动作用相对较弱, 究其原因, 在招商引资竞争压力之下, 一些省市降低了外资企业环境准入门槛, 在引进外资的同时也带来一系列资源环境问题, 制约了化工产业绿色发展效率提升。环境规制对长江经济带化工产业绿色发展效率驱动作用较弱, 究其原因, 由于不同省市化工产业资源禀赋、技术创新能力和能源结构等存在一定差异, 这就造成相同的环境规制在不同地区驱动效应不同, 一定程度上弱化了环境规制对化工产业绿色发展效率的整体驱动作用。

4.2.2 驱动因子交互作用探测

长江经济带化工产业驱动因子两两之间均为双因子增强关系, 没有独立或者减弱的关系。在化工产业 21 对两两交互因子中, 有 20 对驱动因子交互作用解释力大于 0.9000。其中, 环境规制和科技创新交互因子作用解释力 $q=1.0000$, 表明这两种驱动因子组合的交互作用解释力与化工产业绿色发展效率空间分异上具有一致性, 极强解释了长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异程度。环境规制、科技创新与化工产业要素使用效率、配置效率、技术发展水平和污染物排放等紧密相关, 两因素交互作用能够显著影响长江经济带化工产业绿色发展效率, 因此, 在长江经济带化工产业绿色转型发展过程中, 在加强长江经济带环境规制建设的同时, 也要注重区域科技创新能力培育。同时, 环境规制和产业结构、经济水平和科技创新、科技创新和企业规模 3 组交互因子作用解释力均大于 0.9900, 这几组驱动因子组合也很强地解释了长江经济带化工产业绿色发展效率的空间分异程度, 要注重这几组因素交互作用对长江经济带化工产业绿色发展效率的驱动效应。

总体来看, 长江经济带化工产业绿色发展效率与环境规制、经济水平、科技创新、产业集聚和企业规模等因素紧密相关, 这些要素综合交互作用能够有效影响长江经济带化工产业绿色发展效率。如上海经济发展水平高, 产业结构优, 产业集聚度高, 其化工产业绿色发展效率高; 贵州经济发展水平较低, 科技创新能力弱, 小规模企业偏多, 布局分散, 其化工产业绿色发展效率低。为此, 长江经济带化工产业在加强环境规制建设和创新驱动能力培育同时, 也要促进区域经济发展水平, 优化区域产业结构, 提升化工产业集中度, 建设集群式绿色化工产业群落, 构建多因素“组合式”的化工产业绿色发展效率提升策略。

5 结论与政策启示

5.1 结论

运用 SBM-Undesirable 模型和泰尔指数, 分析 2001—2016 年长江经济带化工产业绿色发展效率及其空间分异特征, 运用地理探测器揭示长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异的驱动因素。得出以下主要结论:

第一, 2001—2016 年长江经济带化工产业绿色发展效率显著提高, 但空间差异明显。长江经济带化工产业绿色发展效率水平呈现上中下游梯度递增的空间分异特征。下游地区上海、江苏和浙江化工产业绿色发展效率水平高, 达到或接近最优水平; 中上游地区省市化工产业绿色发展效率处于较低水平, 提升中上游地区化工产业绿色发展效率, 仍然是长江经济带化工产业绿色转型升级的重点任务。2001—2016 年长江经济带化工产业绿色发展效率区域差异缩小。研究时间段长江经济带化工产业绿色发展效率泰尔指数、基尼系数和对数离差均值总体表现出波动中下降趋势。泰尔指数分解发现, 区域间差异是长江经济带化工产业绿色发展效率差异的主要来源。随着时间演进区域间差异缩小, 区域内差异扩大。今后在缩小长江经济带化工产业绿色发展效率区域间差异的同时, 也要关注区域内部化工产业绿色发展效率差异扩大问题。

第二，评价化工产业绿色发展效率必须考虑能源利用效率和环境因素。长江经济带 11 个省市中，2001—2016 年上海市化工产业绿色发展效率均值与传统技术效率均值相同，达到 1.000，江苏省化工产业绿色发展技术效率均值高于传统技术效率均值，其他 9 个省市绿色发展技术效率均值低于传统技术效率均值。可见，不考虑能源利用效率和环境因素，会高估长江经济带化工产业绿色发展效率。

第三，长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异是环境规制、企业规模、科技创新、产业结构、外资强度、经济水平和产业集聚等多因素共同作用的结果。经济实力、科技创新水平、产业集聚和产业结构 4 个因素对长江经济带化工产业绿色发展效率空间分异解释力最强；外资投资强度和规制解释力相对较弱。因此，经济发展水平、科技创新能力、产业集聚和产业结构等是化工产业绿色发展效率提升，需要综合考量的因素。不同因子两两交互作用时均高于单独作用时的驱动力。环境规制和科技创新、环境规制和产业结构、经济水平和科技创新、科技创新和企业规模等交互作用对长江经济带化工产业绿色发展效率解释力强。因此，要注重多因素协同对化工产业绿色发展效率的驱动效应。

5.2 政策启示

第一，基于长江经济带化工产业绿色发展效率的区域异质性，长江经济带化工产业绿色发展要因地制宜，采取差异化的转型升级策略。下游地区要通过关转停以及产业转移，有序地开展传统化工产业的“腾笼换鸟”和新兴化工产业培育；注重化工新兴产业、新业态培育，推动化工企业数字化、智能化和信息化建设，要促进化工产业结构优化和价值链攀升，提升长江下游地区化工产业竞争力。中上游地区要严格传统企业准入制度，同时要着力推动传统化工产业的技术改革和产品升级；重点治理环境影响大、生态压力大的磷化工中小企业，依据区域生态环境承载力，提升化工企业规模和产业集中度，优化营商环境，培育和打造具有地域特色的现代化化工产业体系。

第二，加快上中下游交流合作，着力破解化工产业协同发展和协同治理中的机制体制障碍。推动资金、技术和人才等要素的跨省市流动，发挥各自优势，强化资源、技术和成果的共享，促进化工产业知识技术外溢、扩散，构建化工产业协同发展平台，推动长江经济带化工产业绿色发展效率协同提升，缩小区域间差异。同时，从产业布局、污染防治、环境突发事件处置等方面，构建长江经济带化工产业联防联控机制。

第三，在“只抓大保护，不搞大开发”的总体要求下，长江经济带化工产业绿色发展要把企业技术创新和空间布局优化作为重要抓手。要在实施严格环境规制的同时，鼓励和促进产业新业态、新模式，提升化工产品的绿色化程度，构建科技含量高、资源能源消耗低、污染排放少的集群式化工产业生态园。进一步优化化工产业空间布局，制定相关政策引导化工产业向沿海地区化工产业园集聚。长江经济带化工产业绿色发展效率受多因素交互作用。随着《中华人民共和国长江保护法》颁布，长江经济带环境规制和政策法规进一步完善，法制因素势必成为倒逼长江经济带化工产业转型升级和迭代更新的一大利器。

参考文献：

- [1]张厚明,秦海林.长江经济带“重化工围江”问题研究[J].中国国情国力,2017(4):38-40.
- [2]环境保护部,国家发展和改革委员会,水利部.长江经济带生态环境保护规划[EB/OL]http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201707/t20170718_418053.htm,2017-07-18.
- [3]高赢.中国八大综合经济区绿色发展绩效及其影响因素研究[J].数量经济技术经济研究,2019,36(9):3-23.
- [4]钟茂初.长江经济带生态优先绿色发展的若干问题分析[J].中国地质大学学报:社会科学版,2018,18(6):8-22.

-
- [5]向云波. 长三角海洋经济区域一体化与高质量发展研究[M]. 南昌:江西人民出版社, 2020.
- [6]成长春. 破除“重化工围江”促进高质量发展[N]. 经济日报, 2019-03-16.
- [7]陈佳敏, 霍增辉. 长江经济带沿线区域绿色发展水平的评价与比较[J]. 科技管理研究, 2020, 40(1):244-249.
- [8]熊曦, 张陶, 段宜嘉, 等. 长江中游城市群绿色化发展水平测度及其差异[J]. 经济地理, 2019, 39(12):96-102.
- [9]吴超, 杨树旺, 唐鹏程, 等. 中国重污染行业绿色创新效率提升模式构建[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5):40-48.
- [10]李琳, 刘琛. 互联网、禀赋结构与长江经济带工业绿色全要素生产率——基于三大城市群 108 个城市的实证分析[J]. 华东经济管理, 2018, 32(7):5-11.
- [11]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[J]. 中国地质大学学报:社会科学版, 2018, 18(3):46-55.
- [12]闫华飞, 肖静, 冯兵. 长江经济带工业绿色技术创新效率的时空分异研究[J]. 重庆社会科学, 2020(3):6-17.
- [13]Yeh Jiahuey, Yi Liu, Yanni Yu. Measuring green growth performance of China's chemical industry[J]. Resources, Conservation & Recycling, 2019, 149:160-167.
- [14]Alessandro Manello. Productivity growth, environmental regulation and win-win opportunities: The case of chemical industry in Italy and Germany[J]. European Journal of Operational Research, 2017, 262:733-743.
- [15]黄磊, 吴传清. 长江经济带城市工业绿色发展效率及其空间驱动机制研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(8):40-49.
- [16]周冯琦, 陈宁. 优化长江经济带化学工业布局的建议[J]. 环境保护, 2016, 44(15):25-30.
- [17]陈庆俊, 吴晓峰. 长江经济带化工产业布局分析及优化建议[J]. 化学工业, 2018, 36(3):5-9.
- [18]邹辉, 段学军. 长江沿江地区化工产业空间格局演化及影响因素[J]. 地理研究, 2019, 38(4):884-897.
- [19]赵玉婷, 李亚飞, 董林艳, 等. 长江经济带典型流域重化产业环境风险及对策[J]. 环境科学研究, 2020, 33(5):1247-1253.
- [20]董昕灵, 张月友. 产业分工、环境污染与区域经济发展——基于长江经济带重化工产业的实证[J]. 经济经纬, 2020, 37(3):20-28.
- [21]纪学朋, 宋娅娅, 孙延伟, 等. 入园率视角下长三角地区化工产业时空格局演化及影响因素[J]. 地理研究, 2020, 39(5):1116-1127.
- [22]刘杨, 杨建梁, 梁媛. 中国城市群绿色发展效率评价及均衡特征[J]. 经济地理, 2019, 39(2):110-117.

-
- [23]廖直东,王春磊.中国公共研发机构 R&D 资本的区域差异及其成因:2002—2015[J].财经理论研究,2018(3):54-65.
- [24]王劲峰,胡艺.基于地理探测器的环境健康风探测[J].环境建模与软件,2012,33(7):114-115.
- [25]陈翔,肖序.中国工业产业循环经济效率区域差异动态演化研究与影响因素分析——来自造纸及纸制品业的实证研究[J].中国软科学,2015(1):160-171.
- [26]韩晶.中国区域绿色创新效率研究[J].财经问题研究,2012(11):130-137.
- [27]傅向升.长三角石化产业一体化发展之思考[N].中国化工报,2019-10-15.
- [28]马航.云南精细磷化工产业发展概况及转型升级建议[J].云南化工,2019,46(11):57-63.
- [29]匡国明.贵州磷化工产业转型升级,高质量绿色发展战略研讨[J].磷肥与复肥,2020,35(1):1-3.
- [30]钱争鸣,刘晓晨.中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析[J].中国人口·资源与环境,2013,23(7):104-109.