

欢迎按以下格式引用:吴传清,高坤.长江经济带高技术制造业绿色发展效率研究[J].长江大学学报(社会科学版),2022,45(4):65-73.

# 长江经济带高技术制造业绿色发展效率研究

吴传清<sup>1,2,3</sup> 高坤<sup>2,3</sup>

(1.武汉大学 中国发展战略与规划研究院,湖北 武汉 430072;2.武汉大学 经济与管理学院,湖北 武汉 430072;3.武汉大学 区域经济研究中心,湖北 武汉 430072)

**摘要:**基于2005~2019年全国30省份(不包括西藏、香港、澳门、台湾)高技术制造业相关数据,采用DEA方法测度30省份高技术制造业绿色发展效率,并进一步测算30省份环境规制强度,从全国、长江经济带上中下游地区、省域三类空间尺度研判高技术制造业绿色发展效率、环境规制强度、创新投资时空演变特征,重点分析长江经济带高技术制造业绿色发展进程中的比较优势和突出问题。研究表明:长江经济带高技术制造业绿色发展效率和环境规制强度均高于全国水平和长江经济带以外地区水平;上中下游地区绿色发展效率和环境规制强度存在显著差异;沿线11省份技术创新投资对环境规制成本的抑制作用不显著。应从三个方面进一步推动长江经济带高技术制造业绿色发展:一是因地制宜,精准施策;二是循序渐进,留下缓冲;三是强化创新,降低成本。

**关键词:**长江经济带;绿色发展效率;环境规制;高技术制造业

**分类号:**F061.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-1395(2022)04-0065-09

“十三五”时期,国家不断强化长江经济带工业发展进程中的绿色化转型。2016年1月,习近平总书记在重庆主持召开推动长江经济带发展座谈会,强调长江经济带应走生态优先绿色发展之路。2017年6月颁布的《关于加强长江经济带工业绿色发展的指导意见》强调,要推进传统制造业绿色化改造,减少工业发展对生态环境的影响。2017年7月颁布的《长江经济带生态环境保护规划》指出,要以产业绿色发展推动长江经济带绿色发展,以部分高污染产业为重点推动长江经济带制造业绿色发展。2020年12月26日通过的《中华人民共和国长江保护法》,首次运用法律手段明确长江流域保护工作,明确“四个禁止”“三线一单”,加强环境保护和工业污染治理力度。步入“十四五”后,国家“十四五”规

划纲要明确提出,深入实施智能制造和绿色制造工程,完善绿色制造体系,并确立了制造业核心竞争力提升工程的重点支持产业,其中高端新材料、重大技术装备、智能制造与机器人技术、航空发动机及燃气轮机、北斗产业化及运用、高端医疗装备和创新药均属于高技术制造业范畴。2021年11月15日,国家工信部印发的《“十四五”工业绿色发展规划》强调,工业领域碳达峰行动势在必行,要落实工业各行业碳达峰目标、推进梯次达峰,并将长江经济带列为绿色转型升级工程的重点区域之一。

结合以上背景可以看出,环境规制作为有力政策工具,在推动长江经济带制造业高质量发展进程中具有重要作用。关于环境规制对绿色发展效率的影响作用机理和效果,Maeshall(1890)最早在《经济

收稿日期:2022-04-26

基金项目:国家社会科学基金项目“推动长江经济带制造业高质量发展研究”(19BJL061)

第一作者简介:吴传清(1967—),男,湖北石首人,教授,博士生导师,主要从事区域经济、产业经济研究。

通信作者:高坤(1997—),男,湖北麻城人,主要从事区域经济研究,E-mail:425295780@qq.com。

学原理》中将环境规制作为克服工业生产的环境负外部性的有力工具,认为政府部门通过直接的行政命令达到控制污染排放的目的。新古典经济学提出的“遵循成本假说”认为,政府施加的环境规制会影响企业的生产决策,进而给企业施加正式成本,这种“规制成本”会影响企业在市场上的竞争地位。另一方面,Porter(1995)提出的“波特假说”则认为,合理强度的环境规制政策可以迫使企业进行绿色技术研发,从而推动技术进步,提升企业绿色生产效率。<sup>[1]</sup>因此,关于环境规制对绿色发展效率的作用效果,学术界向来众说纷纭。

目前学术界在环境规制框架下针对长江经济带所作的大量研究中,具体话题主要集中于产业结构优化升级<sup>[2~4]</sup>、绿色技术创新<sup>[5,6]</sup>、与外商直接投资之间的交互效应<sup>[7,8]</sup>、产业绿色发展效率等方面,所测度的效率值主要有绿色发展效率<sup>[9~11]</sup>、生态效率<sup>[12]</sup>、绿色经济(增长)效率<sup>[13,14]</sup>、环境效率<sup>[15]</sup>、绿色创新效率<sup>[16,17]</sup>、能源效率<sup>[18,19]</sup>等诸多效率指标,研究的产业对象主要包括农业、工业(制造业)、污染密集型产业等。以上效率指标的测度方法均立足于柯布一道格拉斯生产函数模型,将效率定义为生产过程中其他因素(不包括资本和劳动)对经济效益增长贡献的余值。因此,绿色发展效率与生态效率、绿色经济效率等指标的内涵和测度方法并无太大差异,只是关注重点侧重于不同方面,其最终目标均为提升产业或企业的生产率,提高可持续发展能力,促进资源环境高效利用、协调发展。学术界针对长江经济带产业绿色发展诸多效率问题所作大量研究得出的主要观点可分为三个方面:(1)影响效率指标的

因素主要包括环境规制、产业集聚、技术创新、城镇化、人力资本、对外开放、产业结构、外商投资、能源结构和其他因素等;(2)各类效率指标在长江经济带上中下游之间、城市群之间、省域之间、市域之间存在明显的空间异质性,大多数研究表明下游地区绿色发展效率较高;(3)各种影响因素或直接影响了绿色发展效率,或通过与其他因素的交互作用对效率产生间接影响。

现有高技术制造业研究成果多从创新角度出发,研究其创新效率的影响因素和空间异质性,在长江经济带区域鲜有关注高技术制造业绿色发展效率的相关文献。因此,本文运用DEA方法测度全国30省份(由于数据可得性,不包括西藏、香港、澳门、台湾地区)高技术制造业绿色发展效率,基于此进一步测算环境规制强度,重点研判长江经济带高技术制造业相关指标的时空演变特征,不仅有利于分析长江经济带高技术制造业绿色发展的比较优势,而且对于未来传统制造业向高技术转型后的绿色提升路径也具有重要借鉴和指导意义。

### 一、研究方法 with 数据说明

#### (一)研究方法

##### 1. 高技术制造业绿色发展效率测算方法

首先,构建基于投入产出要素关系的DEA测算指标体系(见表1)。其中,2005~2006年地方财政科技支出采用科学事业费(亿元)和科技三项费用(亿元)加总得出。另外,2005~2008年 $X_2$ 的代理指标为R&D项目经费(万元), $E_1$ 的代理指标为新产品开发项目数(项)。

表1 高技术制造业绿色发展效率DEA测算指标体系

阶段	要素产出	标号	指标名(单位)
投入	资金	$X_1$	地方财政科技支出(亿元)
		$X_2$	新产品开发经费支出(万元)
	人力能源	$X_3$	从业人员年平均数(万人)
		$X_4$	能源消费总量(万吨标准煤)
产出	期望产出	$E_1$	新产品销售收入(亿元)
		$E_2$	主营业务收入(亿元)
	非期望产出		工业废水排放量(万吨)
			工业烟(粉)尘排放量(万吨)
			一般工业固体废物产生量(万吨)
		工业二氧化硫排放总量(万吨)	

注:所有指标均为规模以上高技术制造业企业数据,采用四项污染指标加总求得非期望产出。

之后,利用产出导向的方向性距离函数(DODF)测度 2005~2019 年全国 30 省份高技术制造业绿色发展效率。定义无环境规制的高技术制造业绿色发展效率为,生产主体无需考虑减少非期望产出(即污染),投入生产要素,从而实现最大化的期望产出。此时 DODF 可表示为:

$$\vec{D}_0(x, y, b; \theta_y, -\theta_b) = \max\{\beta: (y + \beta\theta_y, b) \in P(x)\} \quad (1)$$

式(1)中,  $(x, y, b)$  表示生产可能性集合,  $x$  为生产要素,  $y$  为期望产出,  $b$  为非期望产出;  $\theta_y, \theta_b$  分别为期望产出和非期望产出向生产前沿面的移动方向,  $\beta$  为产出增长或降低的比率,即为绿色发展效率。

对式(1)的线性规划形式(式(2)),采用 DEA 方法求解测得效率值  $tc_1$ :

$$\vec{D}_0(x, y, b; \theta_y, 0) = \max\beta \quad (2)$$

$$\begin{cases} \sum_i \lambda_i x_{in} \leq x_{oi}, n = 1, 2, \dots, N \\ \sum_i \lambda_i y_{im} \leq y_{om} + \beta y_{om}, m = 1, 2, \dots, M \\ \sum_i \lambda_i b_{iz} \leq b_{oz}, z = 1, 2, \dots, Z \\ \lambda_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, I \end{cases}$$

定义环境规制驱动下的高技术制造业绿色发展效率为,生产主体不仅意在提升经济效益,同时希望以相同比率减少污染。此时方向向量取  $(g_y, -g_b)$ , DODF 可表示为:

$$\vec{D}_0(x, y, b; \theta_y, -\theta_b) = \max\{\beta: (y + \beta\theta_y, b - \beta\theta_b) \in P(x)\} \quad (3)$$

同样求得式(3)线性规划形式(式(4))下的效率值  $tc_2$ :

$$\vec{D}_0(x, y, b; \theta_y, -\theta_b) = \max\beta \quad (4)$$

$$\begin{cases} \sum_i \lambda_i x_{in} \leq x_{oi}, n = 1, 2, \dots, N \\ \sum_i \lambda_i y_{im} \leq y_{om} + \beta y_{om}, m = 1, 2, \dots, M \\ \sum_i \lambda_i b_{iz} \leq b_{oz} - \beta b_{oz}, z = 1, 2, \dots, Z \\ \lambda_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, I \end{cases}$$

### 2. 环境规制强度和高技术制造业创新投资测算方法

根据上一步所求的两种情况下高技术制造业绿色发展效率值,采用以下方法测算环境规制强度:

$$int_{it} = \left(1 - \frac{tc_{2it}}{tc_{1it}}\right) \cdot gm f_{it} \quad (5)$$

式(5)中,  $tc_{1it}$  为无环境规制时的绿色发展效率值,  $tc_{2it}$  为环境规制驱动下的绿色发展效率值,  $gm f_{it}, int_{it}$  分别为  $t$  年  $i$  地区规上高技术制造业企业主营业务收入(亿元)和环境规制成本(亿元),表示高技术制造业企业应对环境规制付出的营业收入,以此作为绿色减排成本,付出成本越大,环境规制强度越高。

同时,为研判创新投资和环境规制对绿色发展效率的联合作用,加入创新投资指标,以 R&D 经费内部支出(万元)/R&D 人员折合全时当量(人)表征。

### (二)数据说明

以 2005~2019 年全国 30 省份(不含西藏和港澳台地区)高技术制造业为研究对象,重点研判不同空间尺度下长江经济带高技术制造业绿色发展效率的比较优势和时空演变特征。相关研究数据均采自《中国工业经济统计年鉴(2006~2012)》《中国工业统计年鉴(2013~2020)》《中国统计年鉴(2006~2020)》《中国环境统计年鉴(2006~2020)》《中国能源统计年鉴(2006~2020)》《中国高技术产业统计年鉴(2006~2017, 2019~2020)》《中国科技统计年鉴(2006~2009)》,部分缺失数据通过各省份统计年鉴和移动平均法补全。

## 二、测度结果与分析

为分析长江经济带高技术制造业绿色发展进程中的比较优势和突出问题,从全国、长江经济带中下游地区、省域三类空间尺度研判高技术制造业绿色发展效率、环境规制强度、创新投资时空演变特征。

### (一)全国尺度绿色发展效率和环境规制强度的时空演变特征

分析对比长江经济带和长江经济带以外地区的历史变化趋势,研判长江经济带区域整体高技术制造业绿色发展效率、环境规制强度和创新投资的时空演变特征(见表 3 和表 4)。

#### 1. 绿色发展效率的时空演变特征

表 3 显示,由于 2005~2008 年所选取指标  $X_2, E_1$  的不同,无论是否施加环境规制,此时间内长江经济带以外地区的绿色发展效率均较高。2009~2019 年,环境规制下全国、长江经济带、长江经济带以外地区绿色发展效率基本处于 0.75~0.90 这一区间,在 2014 年左右到达“波谷”,整体呈现出“N”型变化趋势,表现为长江经济带以外地区 < 全国 < 长江经济带。在整个研究时段内,三类空间尺度下无环境

规制的绿色发展效率均高于有环境规制时的效率值,说明环境规制可能在一定程度上对绿色发展效率产生抑制作用,然而2014年以后绿色发展效率开始逐渐上升,且有环境规制时的效率值增速更快,因此环境规制对绿色发展效率的影响可能具有长期复杂性。长江经济带绿色发展效率于2011年首次超过长江经济带以外地区,尤其是2013年以来,两区域绿色发展效率之间的差距逐渐增大。2005~2019年,全国、长

江经济带、长江经济带以外地区在环境规制下的绿色发展效率年平均值分别为0.833、0.839、0.829。而2009~2019年则分别为0.824、0.841、0.814,绿色发展效率年均增速分别为1.45%、1.93%、1.16%,增幅分别达到15.46%、21.08%、12.20%,可以看出相较于长江经济带以外地区,长江经济带高技术制造业绿色发展效率更具优势和潜力。

表2 相关指标变量和绿色发展效率、环境规制强度测算结果的描述性统计

代号	数量	均值	标准差	最小值	最大值	中位数
$X_1$	450	85.08	128.15	1.29	1169.00	40.65
$X_3$	450	375.80	700.50	3.80	3894.00	179.10
$X_4$	450	1271.00	1627.00	24.46	10939.00	816.70
$E_2$	450	3362.00	6402.00	6.90	46747.00	1201.00
NE	450	8391.00	12330.00	84.94	71233.00	4742.00
$tc_1$	450	0.90	0.10	0.70	1.00	0.92
$tc_2$	450	0.83	0.16	0.54	1.00	0.85
int	450	80.31	122.23	0.00	723.76	21.21

注:由于2009~2019年 $X_2$ 和 $E_1$ 两项指标和2005~2008年所采取的数据不同,因而此处未列出。表中数据根据测算结果整理得到。

表3 2005~2019年全国尺度高技术制造业绿色发展效率

地区/年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
A0	0.90	0.88	0.89	0.93	0.85	0.88	0.90	0.91
B0	0.92	0.91	0.92	0.96	0.85	0.90	0.88	0.89
C0	0.91	0.90	0.91	0.95	0.85	0.89	0.89	0.90
A1	0.83	0.81	0.82	0.88	0.75	0.80	0.83	0.84
B1	0.86	0.85	0.86	0.92	0.75	0.83	0.81	0.82
C1	0.85	0.83	0.85	0.91	0.75	0.82	0.82	0.83
地区/年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	年平均值
A0	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.91
B0	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89	0.90	0.91	0.90
C0	0.89	0.89	0.90	0.90	0.91	0.92	0.92	0.90
A1	0.82	0.83	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.84
B1	0.81	0.80	0.82	0.82	0.82	0.84	0.84	0.83
C1	0.81	0.81	0.83	0.83	0.84	0.85	0.87	0.83

注:表中A表示长江经济带,B表示长江经济带以外地区,C表示全国;1表示有环境规制,0表示无环境规制。A0表示无环境规制时长江经济带高技术制造业绿色发展效率,A1、B1、B0、C1、C0类似。表中数据根据测算结果整理得到。

## 2. 环境规制强度和创新投资的时空演变特征

表4显示,2005~2019年,全国30省份高技术制造业主营业务收入逐年增长,全国、长江经济带以外地区环境规制成本(即环境规制强度)呈现出波动上升态势,而长江经济带整体表现出明显的“倒U型”趋势,2013年环境规制成本骤然由100.43亿元增加至169.30亿元,保持缓慢增长至2015年的峰值后开始下

降,这与长江经济带以外地区的变化趋势具有显著差异。2005~2019年,全国、长江经济带、长江经济带以外地区高技术制造业环境规制成本(亿元)均值分别为80.31、114.54、60.48,年均增速分别为9.71%、17.56%、5.77%,增幅分别达到265.91%、863.12%、119.31%。长江经济带环境规制强度自2009年起一直高于全国和长江经济带以外地区,其增幅、增速

均保持较高水平,体现出长江经济带环境规制政策在全国范围内较为严格。2014~2019 年长江经济带创新投资则不断增长,推动绿色发展效率不断提升,同时所取得的技术进步收益为环境规制成本下降提供稳定支持。

2005~2019 年,全国、长江经济带、长江经济带以外地区高技术制造业创新投资(万元/人)均值分

别为 29.51、28.20、30.27,年均增速分别为 7.94%、7.56%、8.14%,增幅分别达到 191.30%、177.53%、199.15%,因此长江经济带高技术制造业面对环境规制时存在“创新投入较少、成本牺牲较多”的问题,但 2015~2019 年创新投资的增加有力促进了长江经济带环境规制成本的降低,但长江经济带以外地区该促进作用并不明显。

表 4 2005~2019 年全国尺度高技术制造业环境规制强度和 innovation 投资

地区/年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
A1	17.99	28.32	31.99	25.44	72.82	93.65	90.37	100.43
B1	42.43	43.33	49.26	37.82	42.36	37.16	40.04	45.62
C1	33.47	37.82	42.93	33.28	53.53	57.87	58.50	65.72
A2	15.95	15.62	18.21	18.31	20.07	20.70	27.81	25.71
B2	16.21	17.83	22.69	17.69	21.06	27.14	28.25	27.05
C2	16.12	17.02	21.05	17.92	20.70	24.78	28.09	26.56
地区/年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	年平均值
A1	169.30	191.86	203.94	198.01	168.12	152.66	173.27	114.54
B1	67.77	70.41	79.60	72.60	85.52	100.29	93.06	60.48
C1	104.99	114.94	125.19	118.58	115.80	119.49	122.47	80.31
A2	29.92	32.47	34.06	38.15	39.52	42.27	44.28	28.20
B2	29.68	29.88	35.51	39.59	45.68	47.24	48.50	30.27
C2	29.77	30.83	34.98	39.06	43.42	45.42	46.95	29.51

注:表中 A 表示长江经济带,B 表示长江经济带以外地区,C 表示全国;1 表示环境规制强度(亿元),2 表示创新投资(万元/人)。A1 表示长江经济带高技术制造业环境规制强度,A2、B1、B2、C1、C2 类似。表中数据根据测算结果整理得到。

## (二)长江经济带上中下游地区尺度绿色发展效率和环境规制强度的时空演变特征

本部分将分析对比长江经济带上中下游地区的历史变化趋势,研判长江经济带上中下游地区高技术制造业绿色发展效率和环境规制强度的空间异质性(见表 5 和表 6)。

### 1. 绿色发展效率的时空演变特征

表 5 显示,考虑环境规制时,长江经济带上中下游地区高技术制造业绿色发展效率相较于无环境规制时均要更低,与上文研究结果一致。2005~2008 年,无论是否存在环境规制,上中下游地区绿色发展效率空间布局均表现为下游地区>上游地区>中游地区。2009~2019 年,绿色发展效率出现明显的空间分层特征,由上中下游逐层递增;环境规制作用下,上中下游地区绿色发展效率的时间变化趋势总体呈现为波动上升,下游地区绿色发展效率提升较为稳定,中游地区经历了先增长再下降再增长的过程(2016 年到达“波峰”),上游地区绿色发展效率则从 2016 年后开始高速增长,因此中上游地区绿色发展效率之间的差距呈现先扩大后缩小的态势,但与

下游地区仍存在不小差距。2005~2019 年,长江经济带上中下游地区在环境规制下的绿色发展效率年平均值分别为 0.79、0.78、0.93。而 2009~2019 年则分别为 0.77、0.82、0.93,绿色发展效率年均增速分别为 2.44%、2.70%、1.06%,增幅分别达到 27.23%、30.48%、11.12%,可以看出虽然中游地区绿色发展效率相对不高,但其增速快、增幅大,应对环境规制时高技术制造业生产效率能够得到较快调整。

### 2. 环境规制强度和 innovation 投资的时空演变特征

表 6 显示,长江经济带上中下游地区高技术制造业环境规制强度具有显著差异,各自的峰值和谷值均处于不同时间,上中下游地区分别在 2016 年、2018 年、2013 年环境规制强度最高。总体上看,中游地区付出的环境规制成本最高,呈现出“N 型”变化趋势,环境规制强度具体表现为中游>上游>下游。2005~2019 年,上中下游地区创新投资一直保持波动上升态势,与环境规制强度的变化趋势不一致,因此创新投资和环境规制强度对高技术制造业绿色发展效率的影响可能具有不同效果。然而自 2012 年以来,随着环境规制强度的大幅提升,创新

投资增速持续加快。2005~2019年,长江经济带中上下游环境规制成本(亿元)均值分别为96.87、174.70、87.10,年均增速分别为22.83%、12.37%、36.04%,增幅分别达到1679.42%、411.58%、7333.34%;创

新投资均值(万元/人)分别为26.07、26.85、31.35,年均增速分别为9.85%、14.04%、3.98%,增幅分别达到272.59%、529.00%、72.74%,可以看出中游地区的创新投入与其环境规制强度不匹配。

表5 2005~2019年长江经济带中上下游地区绿色发展效率

地区/年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
S0	0.90	0.88	0.90	0.93	0.80	0.85	0.86	0.86
Z0	0.78	0.81	0.81	0.84	0.80	0.86	0.88	0.89
X0	0.99	0.94	0.95	1.00	0.93	0.93	0.96	0.97
S1	0.83	0.80	0.83	0.88	0.67	0.74	0.77	0.77
Z1	0.64	0.68	0.68	0.74	0.67	0.75	0.80	0.81
X1	0.98	0.91	0.92	1.00	0.89	0.88	0.92	0.94
地区/年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	年平均值
S0	0.86	0.85	0.86	0.86	0.88	0.89	0.92	0.87
Z0	0.88	0.90	0.92	0.94	0.93	0.92	0.93	0.87
X0	0.94	0.95	0.96	0.96	0.98	0.99	1.00	0.96
S1	0.78	0.75	0.76	0.76	0.80	0.82	0.86	0.79
Z1	0.80	0.83	0.85	0.90	0.87	0.86	0.88	0.78
X1	0.88	0.90	0.92	0.93	0.96	0.98	0.99	0.93

注:上游包括川渝滇黔,中游包括湘鄂赣,下游包括沪苏浙皖(表6同)。以S表示上游地区,Z表示中游地区,X表示下游地区;1表示有环境规制,0表示无环境规制。S0表示无环境规制时长江经济带高技术制造业绿色发展效率,S1、Z1、Z0、X1、X0类似。表中数据根据测算结果整理得到。

表6 2005~2019年长江经济带中上下游地区环境规制强度和创新投资

地区/年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
S1	9.48	21.05	22.99	10.98	64.95	81.33	79.43	88.28
Z1	51.33	60.40	71.76	77.91	129.73	135.63	150.65	188.74
X1	1.49	11.54	11.15	0.56	38.01	74.47	56.10	46.36
S2	11.02	13.65	14.68	12.89	17.25	18.64	28.73	22.97
Z2	7.00	7.96	11.24	16.15	22.22	19.19	27.06	25.29
X2	27.61	23.34	26.97	25.36	21.29	23.89	27.45	28.75
地区/年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	年平均值
S1	57.29	137.07	172.08	193.06	168.12	178.14	168.77	96.87
Z1	246.81	252.32	256.79	211.88	249.69	274.27	262.61	174.70
X1	223.17	201.30	196.16	192.57	106.94	35.96	110.77	87.10
S2	27.88	31.84	34.52	40.37	38.16	37.45	41.04	26.07
Z2	33.17	32.02	33.14	37.95	38.77	47.59	44.04	26.85
X2	29.53	33.45	34.28	36.09	41.43	43.11	47.69	31.35

注:以S表示上游地区,Z表示中游地区,X表示下游地区;1表示环境规制强度(亿元),2表示创新投资(万元/人)。S1表示长江经济带上游地区高技术制造业环境规制强度,S2、Z1、Z2、X1、X2类似。表中数据根据测算结果整理得到。

### (三)省域尺度绿色发展效率和环境规制强度的时空演变特征

本部分将基于全国30省份高技术制造业绿色发展效率和环境规制强度测算结果,着重研判长江经济带沿线11省份所具备的水平,之后进一步横向

对比长江经济带各省份绿色发展效率和环境规制强度的时空演变特征(见表7和图1)。

#### 1.绿色发展效率的时空演变特征

在全国30省份空间尺度下,按照我国地域“四大板块”的划分,2005~2019年有无环境规制两种

情况下绿色发展效率均值的空间分布均为东部地区 > 中部地区 > 西部地区 > 东北地区。无论是否存在环境规制,仅北京、天津绿色发展效率均值为 1,说明在不考虑减少污染物排放的情况下,北京、天津的高技术制造业企业相较于其他省份,能够极度充分利用投入要素转化为经济效益产出,并且即使考虑环境规制,北京、天津高技术制造业企业生产效率也未受到明显影响,其创新效率也较高。存在环境规

制时,长江经济带沿线 11 省份中,进入全国 30 省份绿色发展效率前十位的省份有上海、江苏、浙江、江西,处于后十位的有云南、湖北、贵州。对比 2009~2019 年长江经济带沿线 11 省份高技术制造业绿色发展效率(见表 7),可以看出 2019 年长江经济带下游省份绿色发展效率普遍较高,而上游省份中仅有重庆绿色发展效率较高。江苏、浙江、江西绿色发展效率均值较高,安徽、重庆绿色发展效率增速较快。

表 7 2009~2019 年长江经济带 11 省份高技术制造业绿色发展效率

省份/年份	2009	2011	2013	2015	2017	2019	年平均	均值排名	增速/%
上海	1.00	1.00	0.85	0.86	0.97	1.00	0.95	5	-0.05
江苏	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1	-0.36
浙江	0.95	0.95	0.94	1.00	0.96	1.00	0.97	2	0.56
安徽	0.62	0.74	0.75	0.81	0.91	1.00	0.80	7	4.93
江西	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	3	2.27
湖北	0.65	0.68	0.68	0.75	0.81	0.84	0.73	9	2.60
湖南	0.58	0.73	0.73	0.81	0.81	0.81	0.77	8	3.35
重庆	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	4	4.73
四川	0.85	0.86	0.97	0.82	0.88	0.89	0.87	6	0.50
贵州	0.58	0.57	0.57	0.63	0.68	0.69	0.61	11	1.67
云南	0.63	0.63	0.56	0.60	0.65	0.85	0.65	10	2.97

注:表中为存在环境规制时的绿色发展效率值(即  $tc_2$ )。由于效率测算指标体系的变化,均值和增速测算时间段为 2009~2019 年,此处仅展示奇数年测度结果。表中数据根据测算结果整理得到。

## 2. 环境规制强度和创新投资的时空演变特征

2005~2019 年,在全国 30 省份空间尺度下,高技术制造业环境规制强度的空间格局为中部地区 > 东北地区 > 东部地区 > 西部地区,而创新投入的空间格局为东部地区 > 东北地区 > 西部地区 > 中部地区,可以看出中部地区并未因为环境规制强度的提升而加大创新投入。在 30 省份中,由于北京、天津极高的绿色发展效率,其环境规制成本为 0;湖北环境规制强度最高,其绿色发展效率位于第 27 位,创新投入处于中等水平。对比 2005~2019 年长江经济带沿线 11 省份高技术制造业相关指标(见图 1),主营业务收入较高的省份有江苏、上海、浙江,较低的省份有云南、贵州、安徽,表明安徽在下游地区中高技术制造业产值规模不具备比较优势。创新投资排在前三位的依次为上海、湖北、四川,说明三个省份可能分别为下中上游地区的创新投资高地,长江经济带沿线 11 省份创新投资差异较大,最高的为 44.97 万元/人(上海),最低的仅 22.35 万元/人(江西)。环境规制成本最高的三个省份依次为湖北、四川、湖南,且 11 省份环境规制成本差异巨大,前三位(湖北、湖南、四川)环境规制成本均值为 242.38 亿

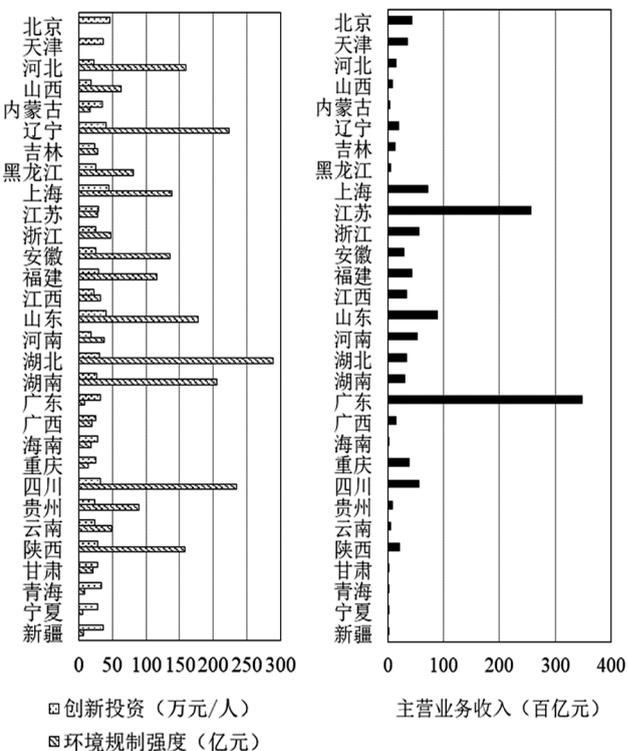
元,其他 8 个省份均值仅 66.60 亿元。

## 三、研究结论与政策建议

### (一) 研究结论

本文测算了全国 30 省份高技术制造业有无环境规制两种情形下的绿色发展效率,基于此进一步测算了全国 30 省份环境规制强度,结合创新投资指标,在全国、长江经济带上中下游地区、省域三类空间尺度下对长江经济带高技术制造业绿色发展效率和环境规制强度进行了时空演变特征的描述和比较分析,得出以下主要结论:

(1) 长江经济带高技术制造业绿色发展效率和环境规制强度均高于全国水平和长江经济带以外地区水平。长江经济带绿色发展效率增速、增幅均较高,具有一定优势和潜力,国家大力推动长江经济带制造业高质量发展、打造“生态优先、绿色发展”主战场的战略目标取得一定成效。长江经济带环境规制强度整体表现出明显的“倒 U 型”趋势,面对环境规制时存在“创新投入较少、成本牺牲较多”的问题。国家出台一系列政策不断强化长江经济带的环境保护,进而使得长江经济带地区面临环境规制所牺牲



资料来源:根据测算结果整理。

图1 2005~2019年全国30省份高技术制造业创新投资、环境规制强度、主营业务收入均值

的成本增加,然而长江经济带绿色发展效率依然保持了较高水平。

(2)长江经济带上中下游地区绿色发展效率和环境规制强度存在显著差异。上中下游地区绿色发展效率存在逐层递增效应,中游地区增速较高。环境规制强度空间格局表现为中游>上游>下游,而中游地区创新投资却远低于下游地区,其创新投入与其环境规制强度不匹配。

(3)长江经济带沿线11省份技术创新投资对环境规制成本的抑制作用不显著。全国高技术制造业绿色发展效率的空间格局为东部>中部>西部>东北,在全国30省份中,长江经济带11省份绿色发展效率有近一半位于前十,绿色发展效率的省际差异显著。全国高技术制造业环境规制强度的空间格局均为中部地区>东北地区>东部地区>西部地区,湖北在30省份中承担最高的环境规制强度,“波特假说”在某些地区成立,而在其他区域可能不成立。

结合长江经济带高技术制造业绿色发展效率、环境规制强度、创新投资和主营业务收入的时空演变特征,基本可以看出,环境规制的增强一定程度上倒逼某些地区加大创新投资,而创新投资的增加也

有利于环境规制成本的降低,从而提升绿色发展效率。但在另外一些地区,这种良性机制可能不成立,因此环境规制、创新投资对绿色发展效率的影响作用具有复杂性,相互之间可能存在交互作用。

(二)政策建议

第一,因地制宜,精准施策。着眼长江经济带上中下游地区环境规制政策存在的显著差异,实行一地一策。降低中游地区湖北、湖南等省份应对环境规制时付出的减排成本,保障环境保护与经济收益的双向平衡。适当严格上游地区的环境规制,倒逼上游地区高技术制造业绿色发展效率快速提升。减小下游地区绿色发展效率存在的省际差异,推动技术进步的省际溢出,支持推动安徽高技术制造业快速发展、补齐差距。

第二,循序渐进,留下缓冲。切忌环境规制政策执行过程中“用药过猛”和“一刀切”等做法,应根据不同行业特点制定循序渐进的差异化政策。拉长环境规制政策的限定时间,以合理速度推动高技术制造业企业绿色转型升级,确保高技术制造业企业生产具有较长的时间来抵消或减少绿色减排成本。

第三,强化创新,降低成本。加快建设高技术制造业创新载体,对于国家认定的国家级高新技术企业、国家级创新平台、省级创新平台和科技创新专项分别给予补助奖励,鼓励其开展绿色技术创新活动和成果交汇共享。大力推动高技术制造业高端人才、专业队伍队伍建设,实施优秀企业家培养工程,着力打造各类人才平台。

参考文献:

[1]Michael E Porter, Claas van der Linde. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. Journal of Economic Perspectives, 1995(4).

[2]张楨钰, 吴杰, 别凡. 环境规制、产业结构升级对生态文明的影响——基于长江经济带的实证[J]. 统计与决策, 2021(22).

[3]徐晓慧, 廖涵. 环境规制、FDI与制造业产业结构升级——基于长江经济带面板数据的实证检验[J]. 湖北社会科学, 2021(7).

[4]何文海, 张永姣. 环境规制、产业结构调整与经济高质量发展——基于长江经济带11省市PVAR模型的分析[J]. 统计与信息论坛, 2021(4).

[5]张建清, 龚恩泽, 孙元元, 等. 长江经济带环境规制与制造业全要素生产率[J]. 科学学研究, 2019(9).

[6]吴传清, 张雅晴. 环境规制对长江经济带工业绿色生产率的门槛效应[J]. 科技进步与对策, 2018(8).

[7]郭庆宾, 刘琪, 张冰倩, 等. 不同类型环境规制对国际R&D溢出效应的影响比较研究——以长江经济带为例[J]. 长江流域资源与环境, 2017(11).

[8]杨恺钧, 王婵. 双向FDI、环境规制与环境污染——基于长江经济

- 带面板数据的门槛模型分析[J].管理现代化,2018(4).
- [9]向云波,王圣云,邓楚雄,等.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[J].经济地理,2021(4).
- [10]黄磊.产业集聚提升了长江经济带城市工业绿色发展效率吗?[J].湖北大学学报(哲学社会科学版),2021(1).
- [11]杜宇,吴传清,邓明亮,等.政府竞争、市场分割与长江经济带绿色发展效率研究[J].中国软科学,2020(12).
- [12]陈立泰,李金林,叶长华,等.长江经济带城市群产业结构变迁对生态效率的影响研究:2006—2014[J].数理统计与管理,2020(2).
- [13]白洁,夏克郁.政府干预、区域差异与绿色经济效率测度——基于长江经济带 107 个地级及以上城市的数据[J].江汉论坛,2019(7).
- [14]吴遵杰,巫南杰.长江经济带绿色经济效率测度、分解及影响因素研究——基于超效率 SBM-ML-Tobit 模型的分析[J].城市问题,2021(1).
- [15]文传浩,赵柄鉴,李乾,等.长江经济带工业环境效率空间动态分析及收敛性研究[J].理论月刊,2020(11).
- [16]骆灿,陆菊春.绿色创新效率的空间网络关联特征及形成机理——以长江经济带城市为例[J].科技管理研究,2021(24).
- [17]肖沁霖,肖黎明.绿色创新效率与生态治理绩效耦合协调的时空分异及响应——以长江经济带 108 个城市为例[J].世界地理研究,2022(1).
- [18]吴传清,杜宇.偏向型技术进步对长江经济带全要素能源效率影响研究[J].中国软科学,2018(3).
- [19]吴传清,黄磊,邓明亮,等.长江经济带创新驱动与绿色转型发展研究[M].北京:中国社会科学出版社,2020.

特约编辑 吴爱军

责任编辑 刘玉成 E-mail:770533213@qq.com

## Research on Green Development Efficiency of High-tech Manufacturing Industry in the Yangtze River Economic Belt

Wu Chuanqing<sup>1,2,3</sup> Gao Kun<sup>2,3</sup>

(1.China Institute of Development Strategy and Planning, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei;

2.Economics and Management School, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei;

3.Center for Regional Economics Research, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei)

**Abstract:** Based on the data of high-tech manufacturing industry in 30 provinces (excluding Tibet, Hong Kong, Macao and Taiwan) from 2005 to 2019, DEA method was used in this paper to measure the green development efficiency of high-tech manufacturing industry in 30 provinces, and to further measure the environmental regulation intensity of 30 provinces. The three spatial scales of the whole country, the upper, middle and lower reaches of the Yangtze River Economic Belt and the provinces were used to study the spatial and temporal evolution characteristics of green development efficiency, environmental regulation intensity and innovation investment of high-tech manufacturing industry, focusing on the comparative advantages and outstanding problems in the process of green development of high-tech manufacturing industry in the Yangtze River Economic Belt. The results show that the green development efficiency and environmental regulation intensity of the high-tech manufacturing industry in the Yangtze River Economic Belt are higher than the national level and the level of regions outside the Yangtze River Economic Belt. There are significant differences in green development efficiency and environmental regulation intensity in the upper, middle and lower reaches. The inhibitory effect of investment in technological innovation on the cost of environmental regulations is not significant in the 11 provinces along the route. We should further promote the green development of high-tech manufacturing industry in the Yangtze River Economic Belt from three aspects. Firstly, taking measures according to local conditions and adopting precise policies; Secondly, making progress step by step and leaving a buffer; Thirdly, strengthening innovation and reducing costs.

**Keywords:** Yangtze River Economic Belt; green development efficiency; environmental regulation; high-tech manufacturing industry