

…doi:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2018.11.003

欢迎按以下格式引用:黄磊,吴传清.长江经济带工业绿色创新发展效率及其协同效应[J].重庆大学学报(社会科学版),2019(3):1-13.

Citation Format: HUANG Lei, WU Chuanqing. Research on the efficiency and synergetic effect of industry's green development and innovative development in the Yangtze River Economic Belt [J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2019 (3):1-13.

长江经济带工业绿色创新发展效率及其协同效应

黄磊^a, 吴传清^{b,c,d}

(武汉大学 a.中国中部发展研究院;b.经济与管理学院;c.主体功能区战略研究院;d.区域经济研究中心,湖北 武汉 430072)

摘要:绿色发展和创新发展是适应把握引领经济发展新常态的必然要求,在加快经济高质量发展进程中发挥着重要引领作用。构建绿色创新协同发展的理论分析框架,基于2011—2016年长江经济带省级面板数据,采用全局超效率SBM模型和耦合协调度模型分别测度长江工业绿色发展效率、创新发展效率、绿色创新协同效应。研究表明:长江经济带工业绿色生产能力稳步提升,上中下游地区工业绿色发展效率呈梯度递增格局,沿线11省份在全国整体处于中等水平;长江经济带工业创新发展动能呈“V型”增长态势,沿线11省份在全国总体处于相对靠前水平;长江经济带工业绿色创新发展协同效应显著,技术创新是推动工业绿色创新协同发展主要驱动力。进一步推动长江经济带工业绿色创新协同发展,应大力建设绿色开放创新平台,强化工业绿色技术创新研发,加快绿色创新成果的市场价值转化,发挥各地区工业绿色创新比较优势,构建多元产业生态补偿机制。

关键词:长江经济带;绿色发展;创新发展;绿色技术创新;协同效应

中图分类号:F424.3;F061.5 文献标志码:A 文章编号:1008-5831(2019)03-0001-13

一、研究问题与文献回顾

绿色发展和创新发展是新发展理念的重要组成部分,作为新时期经济发展三大支撑带之一的

修回日期:2018-10-15

基金项目:国家社会科学基金重大项目“长江经济带产业绿色发展战略与政策体系研究”(15ZDA020);中央高校基本科研业务费专项资金项目“长江经济带产业高质量发展研究”(2042017kf1025);教育部人文社会科学重点研究基地开放项目“长江上游地区低碳发展路径研究”(1456002)

作者简介:黄磊(1991—),男,湖北孝感人,武汉大学中国中部发展研究院博士研究生,主要从事城市与区域经济研究,Email:huanglei2051@163.com;吴传清(1967—),男,湖北石首人,武汉大学经济与管理学院、主体功能区战略研究院、区域经济研究中心教授,博士研究生导师,主要从事城市与区域经济研究,Email:wq501@163.com。

长江经济带工业绿色创新协同发展对落实创新驱动战略、加快生态文明建设、实现高质量发展具有重要推动作用。《长江经济带创新驱动产业转型升级方案》(2016)提出以创新为动力,依托科技创新、制度创新双轮驱动,构建全方位创新发展体系。《关于加强长江经济带工业绿色发展的指导意见》(2017)要求进一步提高工业资源能源利用效率,降低工业发展对生态环境的影响。习近平总书记在武汉召开的深入推动长江经济带发展座谈会上(2018)强调要推动绿色产业合作,深入实施创新驱动发展战略,推动人才、资金、技术在上中下游地区合理流动。党和国家高度重视长江经济带工业绿色创新发展,提升长江经济带工业绿色发展效率和创新发展效率,实现工业绿色创新协同发展,是加快长江经济带高质量发展的应有题中之义。长江经济带工业绿色创新发展效率如何?工业绿色创新协同发展处于何种阶段?加快推动工业绿色创新协同发展的着力点何在?本文侧重探讨上述三大问题,以期全面厘清长江经济带工业绿色创新协同发展思路。

学术界关于工业绿色发展效率和技术创新效率的研究主要集中在效率测度、影响因素识别、收敛机制检验、提升路径探讨等四个维度^[1-2]。工业绿色发展效率一般与地区发展水平和行业清洁度相关性较高,而工业创新发展效率则与产业科技含量紧密相关。重点探究经济发展、人力资本、产业集聚、技术创新、环境规制、能源结构、对外开放、产业转移等变量对工业绿色发展效率和技术创新效率的影响效应,但作用方向和作用强度因研究对象与研究时期不同而呈现出不同的研究结果^[3]。随着地区间日益频繁的经济联系和更加精细的专业化分工,人才、资金、技术在地区和行业间流动性加快,工业绿色发展效率和创新效率差距逐步缩小^[4]。现有研究逐渐关注考虑工业环境非期望产出的创新发展效率,侧重反映工业的绿色创新能力^[5],但未能准确分离技术创新的环境非期望产出,绿色创新效率测量准确性有待提升。

关于工业绿色发展效率和创新效率的研究尺度,主要集中在企业、行业与地区三个层面,偏向对大中型工业企业、二位数工业细分行业与省域尺度工业绿色发展效率和技术创新效率研究^[6]。工业绿色发展效率的行业与地区分布与技术创新效率一致性较高,工业技术创新对工业发展具有重要支撑作用。东部地区特别是经济较发达省份工业企业效率显著高于中西部及东北地区省份^[7],高技术制造业和节能环保工业细分行业绿色发展效率和技术创新效率要显著高于钢铁、煤炭、有色等科技含量较低的传统高耗能与重化工业行业^[8-9]。

关于工业绿色发展效率和创新效率的研究工具,一般采用数据包络分析 DEA 和随机前沿分析 SFA 测度工业绿色创新发展效率,前者无需设定生产函数形式,可处理多产出变量,对工业生产过程的拟合度更好,所以考虑非期望产出基于方向性距离函数的改进 DEA 模型成为工业绿色创新效率测度主流工具,如超效率 SBM 模型、网络 DEA 模型、两阶段 DEA 模型、RAM 模型等^[8-11]。采用普通线性面板模型、Tobit 模型、FGLS 模型等检验工业绿色技术创新效率的驱动机制^[12],随着交通和信息网络基础设施愈益完善,地区间经济发展的人才、资金、技术交流更加频繁,空间交互效应逐渐引起学术界关注,采用空间计量模型探究工业绿色创新发展的驱动机制成为一种趋势^[1,13]。

总体而言,学术界关于工业绿色发展效率和创新效率的研究维度较为全面、研究方法较为成熟、研究尺度较为多元,为后续深入研究建立较为完善的分析框架。但现有研究关于国家战略支撑区域长江经济带的工业绿色发展效率和技术创新效率研究还不够,特别是关于工业绿色发展效率和技术创新效率的协同性研究仍处于起步阶段,无法把握长江经济带工业绿色创新协同发展思路。鉴于此,本文将基于工业绿色创新协同发展机理,分别评估长江经济带工业绿色发展效率、工业创新发展效率

及工业绿色创新发展协同效应,阐明长江经济带工业绿色创新协同发展的路径与方略。

二、工业绿色创新协同发展的理论机理

绿色发展与创新发展是工业高质量发展的必然要求,降低工业发展的环境负荷并增强工业发展的创新效益,是工业可持续发展的题中之义。工业绿色发展与工业创新发展互为依存,相互促进,其内在协同机理主要表现在以下三个方面。

其一,绿色技术支撑效应。技术创新是推动工业绿色发展的根本动力,传统产业改造升级和绿色新兴产业发展壮大依托于技术进步的推广应用,以绿色技术创新推动传统高耗能产业低碳循环化改造,加快高技术产业规模化发展^[14]。绿色科技创新,特别是关键共性绿色技术突破,能够有效革新生产工艺,推动生产过程低碳化、循环化、清洁化,极大提升工业发展的环境兼容性,对工业绿色清洁度提升具有质的飞跃。绿色技术创新对工业绿色创新协同发展具有基础性作用,有力支撑了工业绿色创新协同发展。

其二,绿色需求引致效应。传统粗放的工业发展模式造成严重的要素配置冗余和环境污染问题,使得资源环境约束趋紧,逼近资源环境承载力上限,要求工业企业必须改进生产技术,提升资源能源利用效率,降低资源能源消耗强度和总量。同时,居民收入水平提升刺激了绿色产品需求,绿色生态产品成为主流消费趋势,消费者更加关注产品安全性和绿色性,消费升级倒逼企业加强绿色产品研发,提升产品绿色科技含量,以稳定并扩张市场份额。资源环境约束和消费升级引致工业绿色技术创新,加快工业绿色创新协同发展^[15]。

其三,绿色空间溢出效应。随着地区间由高铁、高速公路、航空枢纽等构建的综合立体交通体系逐步完善,以互联网、大数据、云计算为基础的信息技术网络建立健全,空间联系紧密程度愈益凸显,绿色生产技术随着地区间频繁的劳动力、企业、产业流动而加速扩散^[16]。通过共建园区、对口支援、生态补偿等途径,绿色技术较为落后地区对临近生产技术领先地区存在较强的学习效应,引进周边地区先进的绿色生产技术、设备与管理模式,地区间工业绿色技术差距逐步收敛,促进工业绿色创新发展的地区协同性提升。

三、研究方法和数据来源

(一) 研究方法

工业绿色发展效率反映工业绿色清洁生产能力,是指在当前生产技术和资源能源消耗条件下,工业生产所能增加与工业环境废物排放所能减少的最大程度。本文采用全局超效率 SBM 模型测度长江经济带工业绿色发展效率。针对传统 DEA 模型无法反映投入产出变量的非比例松弛变动,对环境非期望产出的弱可处置性考虑不足,笔者提出基于松弛测度的方向性距离函数 SBM-DDF 模型以反映投入产出变量的非比例改进程度并还原环境非期望产出的弱可处置性^[16]。为反映绿色发展效率的动态变化,不同年份效率必须具有相对可比性,本文借鉴 Andersen 和 Petersen^[18]与 Oh^[19]构建超效率 DEA 模型与全局生产技术集经验,构建基于松弛测度的全局超效率 SBM 模型,实现跨期效率与有效决策单元的可比性。具体如下:

$$\min \varphi = \frac{1/M \sum_{i=1}^T \sum_{m=1}^M (\bar{x}/x_{qm})}{1/(N+1) \left(\sum_{i=1}^T \sum_{n=1}^N \bar{y}/y_{qn} + \sum_{i=1}^T \sum_{l=1}^L \bar{b}/b_{qn} \right)}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \bar{x} \geq \sum_{t=1, \neq p}^T \sum_{r=1, \neq q}^Q \lambda_r^t x_{rm}^t, \bar{x} \geq x_{qm}, m = 1, \dots, M \\ \bar{y} \leq \sum_{t=1, \neq p}^T \sum_{r=1, \neq q}^Q \lambda_r^t y_{rn}^t, \bar{y} \leq y_{qn}, n = 1, \dots, N \\ \bar{b} \geq \sum_{t=1, \neq p}^T \sum_{r=1, \neq q}^Q \lambda_r^t b_{ri}^t, \bar{b} \geq y_{qi}, i = 1, \dots, I \\ \sum_{r=1}^Q \lambda_r^t = 1, \lambda_r^t \geq 0, r = 1, \dots, Q \end{cases} \quad (1)$$

式中, φ 即为在全局生产技术与可变规模报酬条件下(VRS)下 p 时期 q 决策单元的生态效率, 可实现跨期生态效率的比较分析, 识别有效决策单元的相对有效性。 λ_r^t 表示 t 时期第 r 个决策单元投入、产出值的权重。 $\sum_{r=1}^Q \lambda_r^t = 1, \lambda_r^t \geq 0$ 表示生产技术规模报酬可变(VRS)。 x, y, b 分别表示决策单元的投入要素向量、期望产出向量和非期望产出向量。

上述方法主要涉及投入、期望产出、非期望产出三类变量(表1)。投入变量主要考虑劳动、资本、能源三种要素, 分别选用规模以上工业企业平均用工人数、全社会工业固定资本存量、工业能源消耗反映, 工业固定资本存量基于工业固定资产投资采用永续盘存法估算, 折旧率参考张军等^[20] 研究结论取为 9.6%; 期望产出变量主要考虑工业总产出, 选用规模以上工业企业销售产值反映, 该指标包含在生产过程中的中间工业产品市场价值, 可与工业生产过程的环境非期望产出进行匹配; 环境非期望产出主要为工业生产废物, 分别选用工业废水排放总量、工业废气排放总量、一般工业固体废物产生量反映。

表1 工业绿色发展效率指标体系

指标层面	指标类型	基础指标	单位
要素投入	工业劳动力	规模以上工业企业平均用工人数	万人
	工业资本存量	全社会工业固定资本存量	万元
	工业能源消耗	工业能源消耗量	万吨标准煤
期望产出	工业总产出	规模以上工业企业销售产值	万元
非期望产出	工业废水	工业废水排放总量	万吨
	工业废气	工业废气排放总量	亿立方米
	工业固废	一般工业固体废物产生量	万吨

工业创新发展效率是指工业创新投入转化为工业创新效益的充分度, 反映工业创新驱动潜力, 在既定工业研发投入下, 工业技术创新产出所能达到的最大程度。采用全局超效率 SBM 模型测度长江经济带工业创新发展效率, 主要涉及工业创新投入和产出两类变量(表2), 上述模型不考虑非期望产出即为工业创新发展效率测度工具。投入变量主要考虑研发人员、研发资本两类要素, 分别选用规模以上工业企业 R&D 人员全时当量、规模以上工业企业 R&D 资本存量反映, 研发资本存量基于 R&D 经费内部支出采用永续盘存法估算, 折旧率参考肖文和林高榜^[21] 做法取为 10%; 产出变量主要考虑工业创新成果的中间产出、最终市场价值, 分别选用规模以上工业企业发明专利申请量、规模以上工业企业新产品销售收入反映。

表2 工业创新发展效率指标体系

指标层面	指标类型	基础指标	单位
创新投入	智力投入	规模以上工业企业 R&D 人员全时当量	人年
	资金投入	规模以上工业企业 R&D 资本存量	万元
创新产出	中间产出	规模以上工业企业发明专利申请量	件
	最终产出	规模以上工业企业新产品销售收入	万元

工业绿色创新协同效应是指工业绿色发展与工业创新发展的互补发展程度,反映工业绿色发展对工业创新发展的引致效应及工业创新发展对工业绿色发展的支撑作用。采用耦合协调度模型评估长江经济带工业绿色创新协同绩效。耦合度虽能反映工业绿色发展效率和工业创新发展效率的作用强度和作用方向,但其实质内涵仍是系统间的一致性比较测度,无法反映工业绿色发展和工业创新发展的整体功效和协同效应。因此,为评价工业绿色发展效率与工业创新发展效率的耦合协调程度,需构建二者间的耦合协调度模型:

$$D = \sqrt{C \times T}, T = \alpha L + \beta E, C = \frac{\sqrt{L \times E}}{(L + E)/2} \quad (2)$$

式中, D 为工业绿色发展效率(L)和工业创新发展效率(E)的耦合协调度,反映工业绿色发展与工业创新发展的协同效应; T 为综合效益指数, C 为耦合度。 α 和 β 分别为工业绿色发展效率和工业创新发展效率的待定权重,工业绿色发展与工业创新发展均为工业高质量发展的重要内涵,将权重 α 和 β 均取值为0.5。参考黄磊等^[22]关于耦合协调度与耦合协调类型的分类方法,将工业绿色创新发展的耦合协调发展状况分为三大类十大亚类(表3)。

表3 工业绿色发展效率和工业创新发展效率耦合协调度类型划分

失调衰退区间 $0 \leq D < 0.4$				过渡调和区间 $0.4 \leq D < 0.6$		协调发展区间 $0.6 \leq D \leq 1$			
极度失 调衰退	严重失 调衰退	中度失 调衰退	轻度失 调衰退	濒临失 调衰退	勉强 协调	初级 协调	中级 协调	良好 协调	优质 协调
0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~1

注:尾行区间除右端区间外均为左闭右开,右端区间为左右全闭区间

(二) 研究周期选择和数据来源

2013年长江经济带发展被确立为国家重大战略,因此本文将研究时段确定为2011—2016年,以综合把握长江经济带发展战略确定前后工业绿色创新协同发展进程。基础数据取自于《中国工业经济统计年鉴2012》《中国工业统计年鉴》(2013—2017)、《中国统计年鉴》(2012—2017)、《中国统计年鉴》(2012—2017)、《中国环境统计年鉴》(2012—2017)、《中国能源统计年鉴》(2012—2017)、《中国科技统计年鉴》(2012—2017)。由于西藏的统计数据缺失较多,故在全国层面的数据分析不包括西藏。同时,亦不涉及港澳台地区的统计分析。因此,本文的研究分析只包含30个省份。文中所用涉及产品价值的指标均采用以2011年为基期的定基价格指数平减,其中工业固定资产投资采用工业固定资产投资价格指数平减;工业销售产值采用工业生产者出厂价格指数平减;由于官方未公布研发价格指数,参考朱有为和徐康宁^[23]做法,构造加权研发价格指数并对R&D经费内部

支出平减^①;规模以上工业企业新产品销售收入采用工业生产者出厂价格指数平减。长江经济带工业绿色创新发展地区差异巨大,将长江经济带作上中下游地区划分,上游地区包括云贵川渝4省份、中游地区包括鄂湘赣皖4省份、下游地区包括苏浙沪3省份。

四、实证结果分析

(一) 长江经济带工业绿色发展效率

长江经济带工业绿色发展态势良好,工业绿色发展动能较强(表4)。2011—2016年长江经济带工业绿色发展效率保持较快增长态势,由2011年的0.587稳步提升至2016年的0.722,年均增长4.24%,增速远高于长江经济带以外地区,并于2015年超越长江经济带以外地区;长江经济带以外地区工业绿色发展效率保持平缓增长态势,由2011年的0.660波动缓慢上升至2016年的0.695,年均增长仅1.04%;全国平均工业绿色发展效率保持平稳增长态势,由2011年的0.633波动增长至2016年的0.705,年均增长2.17%。前期长江经济带工业绿色生产能力不高,传统高耗能、高污染产业产能化解压力较大,通过不断加快传统产业转型升级,加强绿色技术创新研发推广应用,工业绿色发展动能不断释放,绿色发展优势逐步凸显,成为引领全国工业绿色发展的生力军。

长江经济带上中下游地区工业绿色发展绩效呈稳定的梯度递增格局,但中上游地区工业绿色发展潜力逐步凸显。2011—2016年上游地区工业绿色效率保持较快增长态势,由2011年的0.457快速上升至2016年的0.584,年均增长5.04%;中游地区工业绿色发展效率呈平稳快速上升态势,由2011年的0.565稳步提升至2016年的0.726,年均增长5.14%;下游地区工业绿色发展效率保持平稳增长态势,由2011年的0.789平缓上升至2016年的0.901,年均增长2.69%。长江经济带工业绿色发展的地区差异较大,中上游地区虽有显著的绿色追赶效应,但受经济实力和技术条件所限,与下游地区依然存在较大差距。

表4 2011—2016年全国及各地区工业绿色发展效率

地区	2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	效率	排名	效率	排名	效率	排名	效率	排名	效率	排名	效率	排名
全国	0.633		0.623		0.662		0.673		0.686		0.705	
长江经济带	0.587	2	0.599	2	0.647	2	0.669	2	0.695	1	0.722	1
非长江经济带	0.660	1	0.637	1	0.671	1	0.675	1	0.681	2	0.695	2
长江上游地区	0.457	3	0.450	3	0.499	3	0.517	3	0.547	3	0.584	3
长江中游地区	0.565	2	0.588	2	0.645	2	0.668	2	0.699	2	0.726	2
长江下游地区	0.789	1	0.812	1	0.847	1	0.874	1	0.885	1	0.901	1

资料来源:根据测算结果整理

长江经济带沿线11省份工业绿色生产能力普遍增强,整体处于全国中等水平(表5)。上海、江苏、浙江为第一梯队,工业绿色发展绩效整体处于全国领先水平,是促进长江经济带工业绿色发展的核

^①由于R&D经费内部支出主要用于日常性支出和资产性支出,查阅《中国科技统计年鉴》(2012—2017),两类支出占R&D经费内部支出大体分别为85%、15%,因此本文构建的研发价格指数为85%的消费者价格指数与15%的工业生产者出厂价格指数的加权价格指数,与朱有和徐康宁(2006)采用的25%的消费者价格指数与75%的工业生产者出厂价格指数的加权价格指数权重有所不同。

心驱动源,引领长江经济带乃至全国工业绿色发展。安徽、江西、湖北、重庆为第二梯队,工业绿色发展效率在全国整体处于中等水平,工业绿色发展速度整体加快,以江西省最为典型,年均增长速度高达6.51%。湖南、四川、贵州、云南处于第三梯队,工业绿色发展绩效在全国处于相对靠后水平,有待进一步提升工业资源能源利用效率。长江经济带工业绿色发展绩效与地区经济发展水平整体呈正相关关系,经济发展程度较高的省份有能力支撑工业绿色技术创新研发,推动工业绿色转型升级。

表5 2011—2016年长江经济带沿线11省份工业绿色发展效率

地区	2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	效率	排名	效率	排名	效率	排名	效率	排名	效率	排名	效率	排名
上海	0.732	9	0.744	9	0.782	8	0.835	7	0.857	7	0.894	7
江苏	0.840	6	0.891	4	0.946	4	0.957	4	0.986	5	1.000	5
浙江	0.795	7	0.801	7	0.814	7	0.831	8	0.813	8	0.808	8
安徽	0.593	12	0.611	14	0.652	14	0.682	12	0.724	11	0.765	11
江西	0.575	13	0.626	12	0.689	11	0.744	9	0.773	9	0.788	9
湖北	0.556	18	0.583	17	0.645	16	0.647	15	0.678	14	0.707	14
湖南	0.537	20	0.534	20	0.594	19	0.599	19	0.622	19	0.645	18
重庆	0.524	21	0.503	22	0.570	20	0.597	20	0.646	15	0.692	15
四川	0.460	24	0.449	24	0.517	24	0.549	22	0.594	21	0.637	20
贵州	0.437	25	0.429	25	0.469	26	0.479	25	0.498	24	0.534	24
云南	0.406	28	0.418	28	0.439	27	0.443	27	0.450	27	0.473	26

注:排名为全国排名

资料来源:根据测算结果整理

(二) 长江经济带工业创新发展效率

长江经济带工业创新发展动能充分,工业创新发展效率绝对水平与相对增速均优于全国平均水平(表6)。2011—2016年长江经济带工业创新发展效率呈“V型”较快增长态势,由2011年的0.625平缓下降至2013年的0.613,而后稳步快速增长至2016年的0.844,整体保持较快上升趋势,年均增长6.17%。长江经济带以外地区工业创新发展效率保持平稳增长态势,由2011年的0.446提升至2016年的0.597,年均增长5.99%。全国工业创新发展效率呈持续上升态势,由2011年的0.512稳步上升至2016年的0.687,年均增长6.07%。前期长江经济带处于工业转型升级的阵痛期,短期内低端工业创新成果有所减少,随着“三去一降一补”深入推进,研发资金和人才加快投入至高技术制造业和先进制造业,长江经济带工业创新动能逐步增强,引领全国经济高质量发展。

长江经济带上中下游地区工业创新绩效整体呈梯度递增格局,上游地区工业创新动能较弱,中游地区保持平稳,下游地区工业创新发展动能强劲。2011—2016年上游地区工业创新发展效率呈“V型”衰退趋势,由2011年的0.734快速下降至2013年的0.559,后平稳上升至2016年的0.669,整体年均下降1.85%;中游地区工业创新发展效率保持平稳高速上升态势,由2011年的0.504稳步增长至2016年的0.878,年均增长11.73%,工业创新绩效提升最为迅猛;下游地区工业创新发展效率呈较快增长态势,由2011年的0.642快速上升至2016年的1.031,年均增长9.95%。上游地区是长江经济带工业创新发展的薄弱地区,应进一步强化对上游地区工业创新发展的支持力度,引导中下

游地区工业创新资源向上游地区流动,协调长江经济带上中下游地区工业创新能力。

表6 2011—2016年全国及各地区工业创新发展效率

地区	2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	效率	排名	效率	排名	效率	排名	效率	排名	效率	排名	效率	排名
全国	0.512		0.514		0.530		0.545		0.576		0.687	
长江经济带	0.625	1	0.616	1	0.613	1	0.662	1	0.687	1	0.844	1
非长江经济带	0.446	2	0.455	2	0.483	2	0.477	2	0.512	2	0.597	2
长江上游地区	0.734	1	0.634	2	0.559	3	0.586	3	0.632	3	0.669	3
长江中游地区	0.504	3	0.546	3	0.566	2	0.607	2	0.674	2	0.878	2
长江下游地区	0.642	2	0.686	1	0.746	1	0.836	1	0.778	1	1.031	1

资料来源:根据测算结果整理

长江经济带沿线11省份工业创新发展差距扩张,大部分省份工业创新发展动能平稳增长,少数工业创新禀赋不足省份难以实现工业创新驱动(表7)。上海、江苏、浙江、安徽为第一梯队,工业创新发展效率在全国保持相对靠前水平或快速上升态势,以安徽省最为典型,工业绿色发展效率保持稳定的高速增长态势。江西、湖北、湖南、重庆为第二梯队,工业创新发展效率在全国整体处于中等水平,工业创新发展的基础条件较好,工业创新发展绩效整体较优。四川、贵州、云南为第三梯队,工业创新发展动能不足,工业创新发展效率出现倒退,年均下降速度分别为0.36%、4.03%、4.94%。工业创新发展起飞条件较为严格,必须具有良好的产业、人才、资金基础与政策环境,应有重点地加快工业创新动能培育,特别是创新基础薄弱的云贵地区,稳健推动工业创新发展。

表7 2011—2016年长江经济带沿线11省份工业创新发展效率

地区	2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	效率	排名	效率	排名	效率	排名	效率	排名	效率	排名	效率	排名
上海	0.791	5	0.740	6	0.702	8	0.880	4	0.657	12	1.021	8
江苏	0.633	11	0.721	7	0.754	6	0.823	5	0.795	7	1.023	7
浙江	0.502	15	0.596	13	0.783	5	0.805	7	0.880	5	1.050	4
安徽	0.722	6	0.794	4	0.823	4	0.919	2	1.001	2	1.185	2
江西	0.315	23	0.339	23	0.399	21	0.509	17	0.501	17	0.734	11
湖北	0.373	19	0.410	19	0.440	20	0.421	21	0.495	18	0.558	19
湖南	0.607	13	0.640	9	0.603	11	0.577	12	0.700	10	1.033	5
重庆	1.019	2	0.606	11	0.503	17	0.613	10	1.008	1	1.030	6
四川	0.641	10	0.701	8	0.699	9	0.701	9	0.637	13	0.629	16
贵州	0.645	9	0.598	12	0.521	13	0.531	16	0.445	20	0.525	21
云南	0.632	12	0.631	10	0.514	16	0.500	18	0.440	21	0.491	22

注:排名为全国排名

资料来源:根据测算结果整理

(三) 长江经济带工业绿色创新发展协同效应

长江经济带工业绿色创新协同效应显著,绝对水平和相对增速均优于全国平均水平(表8)。

2011—2016年长江经济带工业绿色创新协同效应保持平稳增强态势,由2011年的0.543持续增长至2016年的0.619,年均增长2.65%,协同发展类型由勉强协调阶段上升至初级协调阶段,于2016年进入协调发展阶段。长江经济带以外地区工业绿色创新协同效应呈平缓增长态势,由2011年的0.499提升至2016年的0.553,年均增长2.06%,始终处于过渡调和区间。全国平均工业绿色创新协同效应亦呈平稳增长态势,由2011年的0.515稳步增长至2016年的0.577,年均增长2.29%,长期处于勉强协调阶段。长江经济带工业绿色创新协同效应整体处于全国领先水平,工业绿色发展与工业创新发展互动效应良好,二者互为支撑协同推进,引领全国工业绿色创新协同发展。

长江经济带上中下游地区工业绿色创新协同效应呈梯度递增格局,上游地区工业绿色创新协同效应最弱,中游地区协同效应明显,下游地区协同效应最强。上游地区工业绿色创新协同效应呈“V型”缓慢增长态势,由2011年的0.536下降至2013年的0.512,后持续上升至2016年的0.554,整体年均增长0.68%,始终处于勉强协调阶段。中游地区工业绿色创新协同效应呈线性增长态势,由2011年的0.511持续快速提升至2016年的0.627,年均增长4.15%,由勉强协调阶段上升至初级协调阶段。下游地区工业绿色创新协同效应保持较快增长态势,由2011年的0.594增长至2016年的0.694,年均增长3.15%,由勉强协调发展阶段稳步趋近中级协调阶段。上游地区工业绿色创新协同发展仍处于起步阶段,中下游地区应加强对上游地区工业绿色技术创新支持,加快长江经济带全域工业高质量发展。

表8 2011—2016年全国及各地区工业绿色创新协同效应

地区	2011			2012			2013		
	协调度	排名	类型	协调度	排名	类型	协调度	排名	类型
全国	0.515		勉强协调	0.519		勉强协调	0.532		勉强协调
长江经济带	0.543	1	勉强协调	0.545	1	勉强协调	0.556	1	勉强协调
非长江经济带	0.499	2	濒临失调	0.504	2	勉强协调	0.519	2	勉强协调
长江上游地区	0.536	2	勉强协调	0.516	3	勉强协调	0.512	3	勉强协调
长江中游地区	0.511	3	勉强协调	0.526	2	勉强协调	0.545	2	勉强协调
长江下游地区	0.594	1	勉强协调	0.610	1	初级协调	0.630	1	初级协调
地区	2014			2015			2016		
	协调度	排名	类型	协调度	排名	类型	协调度	排名	类型
全国	0.537		勉强协调	0.548		勉强协调	0.577		勉强协调
长江经济带	0.572	1	勉强协调	0.582	1	勉强协调	0.619	1	初级协调
非长江经济带	0.517	2	勉强协调	0.529	2	勉强协调	0.553	2	勉强协调
长江上游地区	0.524	3	勉强协调	0.537	3	勉强协调	0.554	3	勉强协调
长江中游地区	0.559	2	勉强协调	0.581	2	勉强协调	0.627	2	初级协调
长江下游地区	0.653	1	初级协调	0.643	1	初级协调	0.694	1	初级协调

资料来源:根据测算结果整理

长江经济带沿线11省份工业绿色创新协同效应以工业创新能力为主导,创新能力较强省份的工业绿色创新协同能力显著优于其他省份(表9)。上海、江苏、浙江、安徽处于第一梯队,工业绿色

创新协同发展能力较强,始终处于协调发展阶段,江苏省于2016年率先进入中级协调发展阶段。江西、湖北、湖南、重庆、四川整体为第二梯队,工业绿色创新协同发展能力在全国处于中等水平,基本由过渡调和阶段进入协调发展阶段,工业绿色创新协同发展能力提升迅猛。贵州、云南为第三梯队,工业绿色创新协同发展能力较弱,在全国处于相对靠后水平,工业创新人才匮乏,工业绿色创新协同发展能力提升缓慢。长江经济带省域工业绿色创新协同发展能力仍为经济和技术主导型,上海、江苏、浙江应强化对云南、贵州等欠发达省份的工业技术创新支持,协调长江经济带省域工业绿色创新协同发展能力。

表9 2011—2016年长江经济带沿线11省份工业绿色创新协同效应

地区	2011			2012			2013		
	协调度	排名	类型	协调度	排名	类型	协调度	排名	类型
上海	0.617	5	初级协调	0.609	6	初级协调	0.609	7	初级协调
江苏	0.604	7	初级协调	0.633	3	初级协调	0.650	3	初级协调
浙江	0.562	10	勉强协调	0.588	8	勉强协调	0.632	5	初级协调
安徽	0.572	9	勉强协调	0.590	7	勉强协调	0.605	8	初级协调
江西	0.461	21	濒临失调	0.480	22	濒临失调	0.512	18	勉强协调
湖北	0.477	19	濒临失调	0.494	20	濒临失调	0.516	16	勉强协调
湖南	0.534	13	勉强协调	0.541	12	勉强协调	0.547	12	勉强协调
重庆	0.605	6	初级协调	0.525	14	勉强协调	0.517	15	勉强协调
四川	0.521	14	勉强协调	0.530	13	勉强协调	0.548	11	勉强协调
贵州	0.515	15	勉强协调	0.503	17	勉强协调	0.497	20	濒临失调
云南	0.503	16	勉强协调	0.507	16	勉强协调	0.487	21	濒临失调
地区	2014			2015			2016		
	协调度	排名	类型	协调度	排名	类型	协调度	排名	类型
上海	0.655	5	初级协调	0.613	10	初级协调	0.691	3	初级协调
江苏	0.666	3	初级协调	0.665	3	初级协调	0.711	2	中级协调
浙江	0.640	6	初级协调	0.650	5	初级协调	0.679	6	初级协调
安徽	0.629	7	初级协调	0.653	4	初级协调	0.690	5	初级协调
江西	0.555	11	勉强协调	0.558	15	勉强协调	0.617	14	初级协调
湖北	0.511	19	勉强协调	0.538	17	勉强协调	0.560	17	勉强协调
湖南	0.542	14	勉强协调	0.574	14	勉强协调	0.639	12	初级协调
重庆	0.550	13	勉强协调	0.635	6	初级协调	0.650	9	初级协调
四川	0.557	10	勉强协调	0.555	16	勉强协调	0.563	16	勉强协调
贵州	0.502	20	勉强协调	0.485	22	濒临失调	0.515	21	初级失调
云南	0.485	23	濒临失调	0.472	24	濒临失调	0.491	23	濒临失调

注:排名为全国排名

资料来源:根据测算结果整理

五、结论与政策启示

基于2011—2016年全国30个省份的面板数据,采用全局超效率SBM模型和耦合协调度模型从全国视角分析长江经济带整体、上中下游地区、沿线11省份等层面全面评估长江经济带工业绿色发展效率、技术创新效率、绿色创新发展协同效应,得出如下研究结论。

第一,长江经济带工业绿色生产能力持续增强。长江经济带工业绿色发展效率稳步提升,加快推动工业生产低碳清洁绿色化,工业绿色发展效率逐步超越全国平均水平。内部上中下游地区工业绿色生产能力分异明显,上游地区工业绿色技术相对落后,中游地区次之,下游地区领先其他地区。沿线11省份工业绿色生产能力在全国处于中等水平,以苏浙沪三省份为驱动源。

第二,长江经济带工业创新动能后发优势明显。长江经济带工业高端创新要素资源逐渐配置至科技含量较高的先进制造业,传统低端无效过剩产能逐步淘汰转型,工业创新发展效率加快提升。工业创新发展存在严格的技术门槛,上中下游地区工业创新效率梯度差距更为显著,下游地区最强,中游地区平稳,上游地区滞后。沿线11省份工业创新能力整体在全国相对靠前,省域创新能力较强,但云贵等创新资源稀缺省份创新能力停滞倒退。

第三,长江经济带工业绿色创新发展协同性提升加快。长江经济带工业绿色创新协同发展逐步迈入高质量协调发展阶段,工业绿色发展需求引致绿色技术创新,进一步支撑工业绿色发展技术要求。上中下游地区工业绿色创新协同发展亦呈梯度递增格局,下游地区工业绿色创新发展协同效应远高于中上游地区。沿线11省份工业绿色创新协同发展整体在全国处于靠前水平,特别是技术创新能力较强省份,以苏浙沪皖四省份最为典型。

进一步明确长江经济带工业绿色创新发展思路,上述研究结论蕴含如下政策启示。

其一,强化绿色生产技术研发。加强传统工业绿色转型关键技术研发,围绕钢铁、有色、化工等传统行业,在长江经济带中上游地区率先突破一批工业绿色转型核心技术,支撑长江经济带传统工业绿色技术改造升级。培育绿色制造核心技术优势,以满足节能环保、新能源装备、新能源汽车等绿色制造产业技术需求为重点,加快核心关键技术研发,构建制造业绿色发展的技术支撑体系。积极发展工业绿色关键共性技术,遵循产品全生命周期理念,以提升工业绿色发展技术水平为目标,加大绿色设计、环保材料、绿色工艺与装备、再制造等领域共性技术研发力度,提升长江经济带在推动全国工业绿色创新发展中的重要引领作用。

其二,提升绿色创新成果市场转化速率。紧扣市场绿色需求,开展市场调研,精准分析居民绿色产品需求,以个性化、柔性化、智能化为导向,最大化满足居民绿色产品需求,提升工业绿色创新成果的市场兼容性。完善技术交易市场,构建绿色技术创新成果信息平台,推动绿色专利技术市场化交易,消除绿色创新技术交易和科技成果转化制度壁垒,内化绿色技术研发成果经济效益外部性。提升绿色创新服务,加强节能环保咨询服务公司与工业企业紧密对接,强化节能环保服务对绿色制造技术创新的促进作用,推动节能环保制造业发展壮大,增强工业绿色创新协同发展的内生动力。

其三,建设开放创新平台。打造工业绿色创新资源集聚区,以上海张江等四大全面创新改革试验区为基础,加快整合长江经济带绿色创新资源,推动绿色创新资源要素流动,建设一批绿色创新协同发展示范区,带动长江经济带工业绿色创新协同发展。建设工业联合创新技术研究院,推动龙

头企业与高校科研院所组建专业技术研究院,强化传统行业节能技术和废物循环再利用技术研发,加强新兴基础关键核心绿色技术创新。构建工业绿色技术创新联盟,支持骨干企业联合高校科研机构、行业协会共同搭建工业绿色技术研发试验平台,加快工业绿色新技术、新工艺、新产品的示范应用,加快工业绿色创新协同发展进程。

其四,发挥工业创新地区比较优势。严格遵循主体功能定位,优化调整工业生产布局,长三角优化开发区优先发展节能、节地、环保的先进制造业,长江中游地区、成渝地区等重点开发区加快传统制造业绿色技术改造升级,三峡库区、武陵山区等限制开发区严格限制工业化开发。培育绿色高技术产业集群,推进沿江工业节水治污与清洁生产技术改造,加快发展节能环保、新能源汽车、智能制造等高技术绿色工业集群。推进绿色创新协同城市试点示范,严控试点城市能耗、水耗、排放标准,梳理总结试点城市经验做法,以点带面推动长江经济带工业绿色创新协同发展。

其五,建立多元产业生态补偿制度。设立工业生态补偿基金,强化对上游地区开展工业绿色创新发展的资金支持,提高上游地区工业绿色生产与环境治理技术,降低工业污染排放和能源消耗强度。共建工业园区,鼓励中下游地区先进节能环保制造企业入驻上游地区,联合建设工业发展示范园区,税收分成比例适当偏向迁出地政府,平衡中下游地区先进节能环保企业迁出所产生的税收损失。开展工业绿色人才培养,引导中上游地区工业企业定期组织人员赴下游地区行业领军企业实习,增强上游地区工业研发人员的绿色创新能力,逐步缩小上中下游地区间工业绿色技术人力资本差距,增强长江经济带工业绿色创新发展协同性。

参考文献:

- [1] 芮小明,黄森.“美丽中国”背景下中国区域产业转移对工业绿色效率的影响研究——基于SBM-undesirable模型和空间计量模型[J].重庆大学学报(社会科学版),2018(4):1-11.
- [2] CHEN C, HAN J, FAN P. Measuring the level of industrial green development and exploring its influencing factors: Empirical evidence from China's 30 provinces[J]. Sustainability, 2016, 8(2): 153.
- [3] ZHANG J, CHANG Y, WANG C, et al. The green efficiency of industrial sectors in China: A comparative analysis based on sectoral and supply-chain quantifications[J]. Resources Conservation & Recycling, 2018, 132: 269-277.
- [4] 李小娟,岳宏志.我国大中型工业企业技术创新效率及其收敛性研究[J].投资研究,2017(5):139-148.
- [5] 钱丽,王天平,肖仁桥.共享投入关联视角下中国区域工业企业绿色创新效率差异研究[J].中国人口·资源与环境,2018(5):27-39.
- [6] 雷辉,郑艳.资源禀赋差异下中国工业企业的环境创新效率研究[J].财经理论与实践,2018(4):128-134.
- [7] 李晓阳,赵宏磊,林恬竹.中国工业的绿色创新效率[J].首都经济贸易大学学报,2018(3):41-49.
- [8] 李静,倪冬雪.中国工业绿色生产与治理效率研究——基于两阶段SBM网络模型和全局Malmquist方法[J].产业经济研究,2015(3):42-53.
- [9] SI L B, QIAO H Y. Evaluation of technological innovation efficiency in equipment manufacturing industry based on input orientation—Panel data analysis based on data envelopment model [J]. Journal of Discrete Mathematical Sciences & Cryptography, 2017, 20(6/7): 1381-1386.
- [10] 游达明,黄曦子.长江经济带省际工业生态技术创新效率评价[J].经济地理,2016(9):128-134.
- [11] LIU Z Y, CHEN X F, CHU J F, et al. Industrial development environment and innovation efficiency of high-tech industry: analysis based on the framework of innovation systems [J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2018, 30(4): 434-446.
- [12] 汪克亮,刘悦,史利娟,等.长江经济带工业绿色水资源效率的时空分异与影响因素——基于EBM-Tobit模型的两阶段分析[J].资源科学,2017(8):1522-1534.

- [13]黄奇,苗建军,李敬银,等.基于绿色增长的工业企业技术创新效率空间外溢效应研究[J].经济体制改革,2015(4):109-115.
- [14]罗良文,梁圣蓉.中国区域工业企业绿色技术创新效率及因素分解[J].中国人口·资源与环境,2016(9):149-157.
- [15]毕克新,杨朝均,黄平.中国绿色工艺创新绩效的地区差异及影响因素研究[J].中国工业经济,2013(10):57-69.
- [16]黄磊,吴传清.长江经济带生态环境绩效评估及其提升方略[J].改革,2018(7):116-126.
- [17]TONE K.A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J].European Journal of Operational Research, 2001,130(3):498-509.
- [18]ANDERSEN P, PETERSEN N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis [J]. Management Science, 1993,39(10):1261-1264.
- [19]OH D H.A global Malmquist-Luenberger productivity index[J].Journal of Productivity Analysis, 2010,34(3):183-197.
- [20]张军,吴桂英,张吉鹏.中国省际物质资本存量估算:1952—2000[J].经济研究,2004(10):35-44.
- [21]肖文,林高榜.政府支持、研发管理与技术创新效率——基于中国工业行业的实证分析[J].管理世界,2014(4):71-80.
- [22]黄磊,吴传清,文传浩.三峡库区环境—经济—社会复合生态系统耦合协调发展研究[J].西部论坛,2017(4):83-92.
- [23]朱有为,徐康宁.中国高技术产业研发效率的实证研究[J].中国工业经济,2006(11):38-45.

Research on the efficiency and synergetic effect of industry's green development and innovative development in the Yangtze River Economic Belt

HUANG Lei^a, WU Chuanqing^{b,c,d}

(*a. Institute for the Development of Central China; b. School of Economics and Management; c. China Institute for Main Function Area Strategy; d. Center for Regional Economics, Wuhan University, Wuhan 430072, P. R. China*)

Abstract: Based on the panel data of the Yangtze River Economic Belt (YREB) at provincial level from 2011 to 2016, this paper makes assessment on the industrial green efficiency and innovative efficiency and their synergetic effect by SBM Model and Coupling Coordinating Model under the theoretical framework of green and innovative development. The results suggest three conclusions. Firstly, the capacity of YREB's industrial green production strengthens steadily, the distribution of the upper, middle and lower reaches' green efficiency presents an incremental gradient pattern, and the 11 provinces' green efficiency rank in the middle level of the whole country. Secondly, the kinetic energy of YREB's industrial innovative development ascends in a V-shaped trend, and the level of the 11 province's innovative efficiency is better than the country's overall level. Thirdly, the synergistic effect of YREB's industrial green development and innovative development is obvious, technical innovation is the main power driving the YREB's coordinating development. To push forward YREB's industrial green and innovative development, it is necessary to build more green open innovation platform, intensify research of green technological innovation, accelerate the process of the transformation of green innovation results into market value, give full play to each district's advantages in industrial green innovation and establish multi-ecological compensation mechanism.

Key words: the Yangtze River Economic Belt; green development; innovative development; green technological innovation; synergistic effect