

长江经济带工业绿色发展绩效评估及其协同效应研究

吴传清, 黄 磊

摘 要: 采用熵权-TOPSIS 法评估 2011—2015 年长江经济带工业发展水平, 采用考虑非期望产出的全局 SBM 模型测度 2011—2015 年长江经济带工业发展效率, 基于耦合协调度模型分析二者的协同效应。研究发现: 长江经济带工业绿色发展水平呈上升态势, 整体处于全国中等靠后水平, 下游、中游、上游地区呈严格梯度递减格局; 长江经济带工业绿色发展效率增长偏缓, 处于全国中等偏后水平, 中游、下游、上游地区呈递减“凸型”分布格局; 长江经济带工业绿色发展绩效协同效应显著, 工业绿色发展水平和发展效率的协调度处于中高级协调阶段。进一步提升长江经济带工业绿色发展绩效, 必须加大工业绿色创新投入, 推动产业结构转型升级, 建立绿色制造体系, 推动能源结构低碳化。

关键词: 长江经济带; 工业绿色发展; 绿色创新; 绩效评估; 协同效应

中图分类号: F127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2018)03-0046-10

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2018.03.021

一、引 言

长江经济带工业绿色发展是国家深入推进生态文明建设、践行绿色发展新理念的重大议题。国家“十三五”规划纲要强调, 要优化长江经济带产业布局, 建设绿色低碳现代产业走廊。国家工信部颁布的《工业绿色发展规划(2016—2020)》提出, 要大力推进长江经济带沿江工业节水治污、清洁生产改造, 加快发展节能环保、新能源装备等绿色产业。国家工信部等五部委联合颁布的《关于加强长江经济带工业绿色发展的指导意见》明确要加快长江经济带传统制造业绿色改造升级, 不断提高资源能源利用效率和清洁生产水平。党的十九大报告进一步强调“以共抓大保护、不搞大开发为导向推动长江经济带发展”。那么, 长江经济带工业绿色发展水平如何? 工业绿色发展效率处于何种阶段? 工业绿色发展绩效的协同性如何? 应从哪些方面加快其工业绿色发展进程? 深入探讨上述问题对推动长江经济带建设成为我国生态文明建设的先行示范带、创新驱动带和协调发展带具有重要的理论价值和实践意义。

综观学术界关于工业绿色发展的相关研究成果, 关于工业绿色发展的内涵, 大多数文献侧重从工业资源利用效率提升、工业环境污染排放减少、工业增长质量提高、工业生态社会福利增加等方面探讨, 强调工业发展经济效益、社会效益、生态效益的有机统一^{[1][2][3]}。在研究维度上, 侧重工

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); 教育部人文社科重点研究基地重庆工商大学长江上游经济研究中心科研招标项目“长江经济带绿色发展绩效评估及提升路径研究”(2016001)

作者简介: 吴传清, 经济学博士, 武汉大学中国中部发展研究院/经济与管理学院教授、博士生导师(湖北 武汉 430072); 黄磊, 武汉大学中国中部发展研究院博士研究生

业绿色发展水平评估、工业绿色发展效率测度及其影响因素检验, 结果大都表明工业绿色发展绩效与地区经济社会发展水平密切相关, 经济基础是工业绿色发展的前提条件, 技术创新、环境规制、人力资本、产业集聚、能源结构等是影响工业绿色发展绩效的主要因素^{[4][5][6]}。在研究尺度上, 多侧重全国、经济区、省域、城市群等尺度的工业绿色发展绩效评估, 结果大都显示东部沿海地区工业绿色发展绩效显著高于中、西部内陆地区^{[7][8]}。在研究工具上, 侧重采用主成分分析法、因子分析法、熵权法、灰色关联投影法等评估工业绿色发展水平^{[9][10]}, 采用随机前沿分析 SFA 模型和改进的数据包络分析 DEA 模型测度工业绿色发展效率, 并基于普通面板模型、STRIPAT 模型、面板 Tobit 模型、空间面板模型检验其动力机制^{[11][12]}。关于长江经济带工业绿色发展绩效的研究, 大多数文献偏向实证评估长江经济带工业绿色发展水平、产业绿色发展态势、工业绿色发展效率、工业能源效率、工业环境效率、工业生态效率, 规范分析长江经济带工业实现生态优先绿色发展的协同机制、总体思路、战略路径等^{[13][14][15]}。

总体而言, 学术界关于工业绿色发展绩效的研究大都从水平或效率单方面展开, 将工业绿色发展水平与工业绿色发展效率相结合的研究相对较少, 关于长江经济带工业绿色发展绩效的全面研究更为稀缺。工业绿色发展绩效实则同时包含工业绿色发展绝对水平(绩)和工业绿色发展相对效率(效)两个维度。因此, 本文余下结构安排为: 评估长江经济带工业绿色发展水平; 评估长江经济带工业绿色发展效率; 分析长江经济带工业绿色发展绩效的协同效应; 提出提升长江经济带工业绿色发展绩效的对策建议。

二、长江经济带工业绿色发展水平评估

(一) 研究方法与数据来源

1. 研究方法。参考借鉴学术界和政府部门在构建工业绿色发展评价指标体系的有益经验^{[16][17]}, 结合长江经济带工业绿色发展重点, 考虑数据的可得性, 从工业资源利用效率、工业环境治理强度、工业创新驱动能力和工业绿色增长质量四个方面构建长江经济带工业绿色发展水平的评价指标体系。

提升资源利用效率是长江经济带工业发展的主要手段和目的。从资源消耗强度和资源开发效率两个维度表征工业资源利用效率, 前者反映工业生产过程资源耗损程度, 后者反映工业资源综合利用效率。环境治理强度也是长江经济带工业绿色发展的重要手段和保障。从污染治理和污染排放两个维度表征工业环境治理强度, 前者直接反映工业污染治理力度, 后者间接反映工业污染治理力度。工业创新驱动能力是长江经济带工业发展的根本支撑。从创新绩效和创新潜力两个维度表征工业创新驱动能力, 前者反映工业的既有创新能力, 后者反映工业的创新后劲。绿色增长质量是长江经济带工业发展的物质基础。从工业规模和工业效率两个维度表征工业绿色增长质量, 前者反映工业绝对规模水平, 后者反映工业实际增长效益。指标体系和具体指标如表 1 所示。

采用熵权-TOPSIS 模型评价长江经济带工业绿色发展水平。TOPSIS 模型是一种逼近理想解的排序方法, 主要根据研究对象与正、负理想解的距离进行相对优劣评价。评价长江经济带工业绿色发展水平, 首先需确定各指标对应权重, 以准确测算各层次及整体绿色发展的具体水平。本文认为每个指标都有其重要的绿色支撑作用, 无法主观臆断某一指标在绿色发展中所发挥的作用大小。因此, 采用对数据挖掘利用最充分, 既可反映总体绿色发展水平, 又可反映部分绿色发展水平的熵值法确定指标权重。为保证不同年度绿色发展水平的可比性, 各指标权重在所有年度应相等, 将 2011—2015 年 11 省市指标数据合并建立统一的指标数据矩阵(权重结果见表 1 最右列)。为科学准确地评估长江经济带工业绿色发展水平, 本文未孤立探讨长江经济带工业绿色发展, 而是将长江

经济带置于全国视野，在除西藏和港澳台地区的全国 30 个省市中，横向比较长江经济带的工业绿色发展水平。

表 1 工业绿色发展评价指标体系

| 目标层 | 系统层 | 决策层 | 指标层 | 属性 | 单位 | 权重 |
|-------------------|--------|-------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------|----------|
| 工业绿色发展指数 | 资源利用效率 | 资源消耗强度 | 亿元工业增加值用地面积(A11) | 负向 | hm ² /亿元 | Q 026 58 |
| | | | 万元工业增加值能耗(A12) | 负向 | 吨标煤/万元 | Q 020 83 |
| | | | 万元工业增加值电耗(A13) | 负向 | kw·h/万元 | Q 034 43 |
| | | | 万元工业增加值水耗(A14) | 负向 | m ³ /万元 | Q 033 53 |
| | | | 万元工业增加值固定资产投资消耗(A15) | 负向 | — | Q 022 38 |
| | 资源开发效率 | | 万元工业增加值二氧化碳排放(A21) | 负向 | 吨/万元 | Q 020 30 |
| | | | 一般工业固体废物综合利用率(A22) | 正向 | % | Q 033 80 |
| | | | 非化石能源占一次能源消费比重(A23) | 正向 | % | Q 032 31 |
| | | | 人均工业污染治理投资(B11) | 正向 | 元/人 | Q 034 27 |
| | | | 工业污染治理投资占工业增加值比重(B12) | 正向 | % | Q 023 88 |
| | 环境治理强度 | 污染治理强度 | 危险废物处置利用率(B13) | 正向 | % | Q 033 71 |
| | | | 工业污水集中处理率(B14) | 正向 | % | Q 033 89 |
| | | | 亿元工业增加值二氧化硫排放量(B21) | 负向 | 吨/亿元 | Q 033 83 |
| | | | 亿元工业增加值烟尘排放量(B22) | 负向 | 吨/亿元 | Q 033 59 |
| | | | 万元工业增加值废水排放量(B23) | 负向 | 吨/万元 | Q 030 05 |
| | 创新驱动能力 | 创新绩效水平 | 亿元工业增加值一般固体废物产生量(B24) | 负向 | 吨/亿元 | Q 034 05 |
| | | | 规上工业企业新产品销售收入占主营业务收入比重(C11) | 正向 | % | Q 032 25 |
| | | | 规上工业企业平均新产品销售收入(C12) | 正向 | 万元/家 | Q 034 46 |
| | | | 规上工业企业平均拥有有效发明专利数(C13) | 正向 | 件/家 | Q 028 35 |
| | | | 万人拥有规上工业企业有效发明专利数(C14) | 正向 | 件/万人 | Q 031 25 |
| | 创新潜力水平 | 创新潜力水平 | 规上工业企业 R&D 经费支出占主营业务收入比重(C21) | 正向 | % | Q 033 89 |
| | | | 规上工业企业平均 R&D 经费支出(C22) | 正向 | 万元/家 | Q 034 37 |
| | | | 规上工业企业 R&D 人员占从业人员比重(C23) | 正向 | % | Q 028 87 |
| | | | 规上工业企业平均 R&D 人员数(C24) | 正向 | 人/家 | Q 032 23 |
| 规上工业企业平均销售产值(D12) | | | 正向 | 亿元/家 | Q 027 36 | |
| 增长质量水平 | 工业规模效应 | 规上工业企业平均资产(D13) | 正向 | 亿元/家 | Q 030 52 | |
| | | 规上工业企业平均用工人数(D14) | 正向 | 人/家 | Q 034 36 | |
| | | 规上工业企业经济密度(D21) | 正向 | 万元/km ² | Q 034 47 | |
| | | 规上工业企业劳动生产率(D22) | 正向 | 万元/人 | Q 033 62 | |
| | | 规上工业企业平均利润(D23) | 正向 | 万元/家 | Q 034 45 | |
| 工业效率水平 | 工业效率水平 | 规上工业企业资产负债率(D24) | 负向 | % | Q 033 64 | |

2. 数据来源。由于《中国统计年鉴》统计口径自 2011 年起采用新版国民经济行业分类标准，为保证数据可比性，提高研究结论的可靠性，以 2011 年为研究时段起点。相关数据采自《中国统计年鉴》（2012—2016）、《中国工业经济统计年鉴 2012》、《中国工业统计年鉴》（2013—2016）、《中国环境统计年鉴》（2012—2016）、《中国能源统计年鉴》（2012—2016）、《中国科技统计年鉴》（2012—2016）、《中国高技术产业统计年鉴》（2012—2016）、《中国价格统计年鉴》（2012—2016）、《中国贸易外经统计年鉴》（2012—2016）。涉及市场价值的指标数值均以 2011 年为基期的定基价格指数平减。

（二）评价结果

1. 长江经济带工业绿色发展水平增长态势优于全国水平。如表 2 所示，长江经济带工业绿色

发展水平由 2011 年的 0.428 增长至 2015 年的 0.472, 增长 10.19%; 非长江经济带地区则由 2011 年的 0.450 缓慢上升至 2015 年的 0.455, 仅增长 1.31%; 前者增速是后者的 7.8 倍。尽管长江经济带工业在资源利用、环境治理、创新驱动、增长质量等方面的改进提升速度均高于非长江经济地区, 但 2011—2014 年其绿色发展水平仍低于非长江经济带地区。这主要是由于长江经济带工业增长质量的初始水平较低, 在快速实现工业增长过程中存在着粗放经营、效益不高问题, 与非长江经济带地区绝对水平有较大差距, 需要一段时间方能超越非长江经济带地区工业绿色发展水平。

2. 长江经济带工业绿色发展水平呈下游、中游、上游严格梯度递减格局。下游地区是长江经济带工业绿色发展的核心增长极和稳定支撑带, 且与中、上游地区的工业绿色发展差距呈扩张趋势, 但中、上游地区间的工业绿色发展差距保持相对稳定状态。下游地区工业绿色发展水平由 2011 年的 0.493 平稳上升至 2015 年的 0.548, 增长 11.16%; 中游地区工业绿色发展水平由 2011 年的 0.423 平缓上升至 2015 年的 0.462, 仅增长 9.15%; 上游地区工业绿色发展水平则由 2011 年的 0.390 上升至 2015 年的 0.431, 增长 10.51%。中、上游地区工业绿色发展水平增长速度和绝对值都不及下游地区, 印证了经济基础、创新能力、人力资本、制度环境等发展要素是支撑工业绿色发展稳步向前推进的根本动能。

表 2 2011—2015 年工业绿色发展水平评价结果

| 年份 | 2011 | | 2012 | | 2013 | | 2014 | | 2015 | |
|--------|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|
| | 得分 | 排名 | 得分 | 排名 | 得分 | 排名 | 得分 | 排名 | 得分 | 排名 |
| 全国 | 0.439 | — | 0.449 | — | 0.459 | — | 0.466 | — | 0.458 | — |
| 长江经济带 | 0.428 | 2 | 0.443 | 2 | 0.457 | 2 | 0.467 | 2 | 0.472 | 1 |
| 非长江经济带 | 0.450 | 1 | 0.458 | 1 | 0.465 | 1 | 0.471 | 1 | 0.455 | 2 |
| 长江上游地区 | 0.390 | 3 | 0.404 | 3 | 0.421 | 3 | 0.428 | 3 | 0.431 | 3 |
| 长江中游地区 | 0.423 | 2 | 0.438 | 2 | 0.450 | 2 | 0.458 | 2 | 0.462 | 2 |
| 长江下游地区 | 0.493 | 1 | 0.506 | 1 | 0.520 | 1 | 0.538 | 1 | 0.548 | 1 |

注: 长江上游地区指“云贵川渝”, 中游地区指“鄂湘赣皖”, 下游地区指“苏浙沪”。

资料来源: 根据测算结果整理。

3. 长江经济带沿线 11 省市工业绿色发展水平差异显著。如表 3 所示, 上海、江苏、浙江 3 省市工业绿色发展水平稳居长江经济带沿线 11 省市前三强, 处于全国前列, 引领全国工业绿色发展。

表 3 2011—2015 年长江经济带 11 省市工业绿色发展水平评价结果

| 年份 | 2011 | | 2012 | | 2013 | | 2014 | | 2015 | |
|----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | 得分 | 全国排名 | 得分 | 全国排名 | 得分 | 全国排名 | 得分 | 全国排名 | 得分 | 全国排名 |
| 上海 | 0.533 | 3 | 0.546 | 3 | 0.551 | 3 | 0.581 | 3 | 0.587 | 3 |
| 江苏 | 0.477 | 6 | 0.496 | 6 | 0.512 | 5 | 0.530 | 5 | 0.543 | 5 |
| 浙江 | 0.470 | 11 | 0.479 | 9 | 0.497 | 8 | 0.507 | 8 | 0.516 | 6 |
| 安徽 | 0.425 | 20 | 0.441 | 21 | 0.455 | 17 | 0.458 | 17 | 0.460 | 16 |
| 江西 | 0.410 | 24 | 0.422 | 24 | 0.436 | 23 | 0.441 | 23 | 0.438 | 22 |
| 湖北 | 0.435 | 16 | 0.448 | 17 | 0.454 | 19 | 0.463 | 16 | 0.470 | 14 |
| 湖南 | 0.423 | 22 | 0.442 | 20 | 0.456 | 16 | 0.469 | 12 | 0.481 | 10 |
| 重庆 | 0.448 | 13 | 0.453 | 13 | 0.458 | 13 | 0.465 | 14 | 0.475 | 12 |
| 四川 | 0.421 | 23 | 0.430 | 23 | 0.440 | 22 | 0.448 | 20 | 0.438 | 21 |
| 贵州 | 0.316 | 30 | 0.341 | 29 | 0.380 | 28 | 0.387 | 29 | 0.397 | 26 |
| 云南 | 0.389 | 28 | 0.402 | 27 | 0.411 | 26 | 0.416 | 26 | 0.419 | 24 |

资料来源: 根据测算结果整理。

贵州、湖南两省增速迅猛,分别由2011年的0.316、0.423上升至2015年的0.397、0.481,增幅分别为28.81%和13.82%,居长江经济带11省市增速前两位。但贵州省绿色发展基础较为薄弱,绿色发展增速虽居首位,绿色发展相对水平仍然较低,处于全国靠后位置。湖南省工业绿色发展排名增幅最大,上升12位,由全国相对靠后位置到处于全国较前水平。其他省份工业绿色发展水平保持相对平稳的上升态势,绿色发展水平未有任何下降迹象,在全国绿色发展排名中均有不同程度的上升。

三、长江经济带工业绿色发展效率评估

(一) 研究方法和数据来源

1. 研究方法。采用考虑非期望产出的全局方向性SBM模型测度长江经济带工业绿色发展效率。由于径向方向性距离函数只能测度无效DMU的投入产出比例变动,未能考虑投入、产出变量的非零松弛项,容易高估工业绿色发展效率。为解决这一问题,Fukuyama等^[18]将方向性距离函数与松弛变量测度模型结合起来,提出方向性SBM模型,大大提升了绿色发展效率测度的准确性。为保证跨期效率的可比性,规避“线性规划无解”和“技术退步”不合实际的效率测算问题,采用考虑非期望产出的基于松弛测度的全局SBM模型^[19],将长江经济带2011—2015年沿线11省市工业绿色发展数据纳入同一决策单元集,保证跨期效率值的可比性。

上述方法主要涉及三类指标:(1)要素投入。考虑劳动、资本、能源三类核心投入变量,分别选用规上工业企业平均用工人数、全社会工业固定资产资本存量、工业能源消耗为代理变量,其中,全社会工业固定资产资本存量是采用永续盘存法基于全社会工业固定资产投资额流量推导所得,另两项指标直接从相关年鉴中获取。(2)期望产出。选用工业增加值为代理变量。(3)环境非期望产出。温室气体、环境污染物为环境非期望产出主体,选用二氧化碳排放量、一般工业固体废弃物产生量、工业废水排放总量、工业化学需氧量排放总量、工业氨氮排放总量、工业固体废气排放总量、工业二氧化硫排放总量、工业氮氧化物排放总量、工业烟尘排放总量为代理变量,实际以熵值法测算的环境负向产出综合指数替代。

与工业绿色发展水平的评估思路一致,为准确测度长江经济带工业绿色发展效率,将长江经济带置于全国视野下判识比较长江经济带工业绿色生产能力。理论上,参与比较的决策单元DMU为除西藏和港澳台地区之外的全国30个省市。同时,由于本文采用全局SBM模型,将2011—2015年决策单元纳入同一决策单元集,构建统一的生产前沿面,所以实际参与比较的决策单元有150个,远多于投入产出指标数和的3倍,能够保证测度结果的准确性。基于研究对象的主体性考虑,仅呈现2011—2015年长江经济带11省市工业绿色发展效率结果。

2. 数据来源。基础数据主要源自《中国统计年鉴》(2012—2016)、《中国工业经济统计年鉴2012》、《中国工业统计年鉴》(2013—2016)、《中国环境统计年鉴》(2012—2016)、《中国能源统计年鉴》(2012—2016)、《中国价格统计年鉴》(2012—2016)。涉及市场价值的指标值以2011年为基期的定基价格指数平减。此外,二氧化碳排放量根据《国家温室气体清单指南》提供的参考方法估算。

(二) 评估结果

长江经济带工业绿色发展效率增速高于全国水平。如表4所示,长江经济带工业绿色发展效率由2011年的0.835持续上升至2015年的0.873,增长4.57%;非长江经济带地区由2011年的0.850波动衰减至2015年的0.846,下降0.42%;全国平均水平则由2011年的0.844波动上升至2015年的0.856,增长1.38%。长江经济带工业绿色转型升级成效显著,成为推动全国工业绿色生产能力增强的主要增长极。

长江经济带工业绿色发展效率呈中游、下游、上游地区递减的“凸型”分布格局。2011—2015年, 下游地区工业绿色发展效率增势迅猛(上升13.4%), 人才、资金、技术、信息、产业优势逐步凸显, 构成长江经济带工业绿色发展效率提升的核心引擎; 2011—2015年, 中游地区工业绿色发展效率增长不明显(下降0.15%), 但整体水平最高, 是长江经济带工业绿色发展效率的稳定器; 2011—2015年, 上游地区工业绿色发展效率增速不高(上升3.03%), 工业绿色生产能力有待进一步提升。长江经济带工业绿色发展效率绝对水平和相对增长速度呈负相关关系。

表4 2011—2015年工业绿色发展效率测度结果

| 年份 | 2011 | | 2012 | | 2013 | | 2014 | | 2015 | |
|--------|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|
| | 得分 | 排名 | 得分 | 排名 | 得分 | 排名 | 得分 | 排名 | 得分 | 排名 |
| 全国 | 0.844 | — | 0.851 | — | 0.866 | — | 0.864 | — | 0.856 | — |
| 长江经济带 | 0.835 | 2 | 0.846 | 2 | 0.864 | 2 | 0.864 | 1 | 0.873 | 1 |
| 非长江经济带 | 0.850 | 1 | 0.854 | 1 | 0.868 | 1 | 0.863 | 2 | 0.846 | 2 |
| 长江上游地区 | 0.788 | 3 | 0.809 | 3 | 0.825 | 3 | 0.812 | 3 | 0.812 | 3 |
| 长江中游地区 | 0.895 | 1 | 0.890 | 1 | 0.901 | 1 | 0.897 | 1 | 0.893 | 2 |
| 长江下游地区 | 0.823 | 2 | 0.839 | 2 | 0.870 | 2 | 0.893 | 2 | 0.934 | 1 |

资料来源: 根据测算结果整理。

长江经济带沿线11省市工业绿色发展效率大都处于全国相对靠后位置。如表5所示, 江苏、浙江、湖北、贵州等省份工业绿色发展效率增势明显, 工业绿色生产能力的全国排名大幅提升; 安徽、江西、重庆、云南等省市工业绿色发展效率则持续处于较低水平或呈下降趋势, 在全国相对水平改进不明显甚至大幅下降。部分欠发达省份, 如贵州省工业绿色发展基础较为薄弱, 尽管工业绿色发展效率增速较快, 但工业绿色生产能力长期处于相对靠后水平。综上所述, 长江经济带工业发展效率省际差异较大。

表5 2011—2015年长江经济带11省市工业绿色发展效率测度结果

| 年份 | 2011 | | 2012 | | 2013 | | 2014 | | 2015 | |
|----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | 得分 | 全国排名 | 得分 | 全国排名 | 得分 | 全国排名 | 得分 | 全国排名 | 得分 | 全国排名 |
| 上海 | 0.875 | 12 | 0.876 | 15 | 0.885 | 16 | 0.893 | 16 | 0.909 | 14 |
| 江苏 | 0.801 | 20 | 0.831 | 20 | 0.884 | 17 | 0.931 | 12 | 1.000 | 9 |
| 浙江 | 0.797 | 23 | 0.812 | 22 | 0.841 | 20 | 0.857 | 19 | 0.896 | 16 |
| 安徽 | 0.797 | 24 | 0.816 | 21 | 0.838 | 21 | 0.829 | 21 | 0.801 | 21 |
| 江西 | 1.000 | 3 | 0.916 | 11 | 0.908 | 15 | 0.911 | 14 | 0.836 | 19 |
| 湖北 | 0.804 | 19 | 0.838 | 19 | 0.867 | 18 | 0.858 | 18 | 0.950 | 11 |
| 湖南 | 1.000 | 6 | 1.000 | 3 | 1.000 | 3 | 1.000 | 2 | 1.000 | 2 |
| 重庆 | 1.000 | 8 | 1.000 | 5 | 0.976 | 9 | 0.846 | 20 | 0.889 | 17 |
| 四川 | 0.860 | 14 | 0.897 | 13 | 0.958 | 10 | 0.991 | 10 | 0.906 | 15 |
| 贵州 | 0.638 | 29 | 0.665 | 29 | 0.696 | 27 | 0.713 | 26 | 0.727 | 26 |
| 云南 | 0.702 | 26 | 0.718 | 25 | 0.710 | 26 | 0.728 | 25 | 0.742 | 25 |

资料来源: 根据测算结果整理。

四、长江经济带工业绿色发展绩效的协同效应分析

(一) 模型选取

参考借鉴容量耦合系数模型^[20], 构建长江经济带工业绿色发展水平和工业绿色发展效率耦合

协调作用模型。但耦合度模型只能反映工业绿色发展水平和发展效率的作用强度和作用方向，其实质是对系统间的一致性进行比较分析，无法反映工业绿色发展水平和发展效率的整体功能和协同效应^[21]。因此，为评价工业绿色发展水平与发展效率耦合互动发展的协调程度，需构建二者间的耦合协调度模型：

$$D = \sqrt{C \times T}, T = \alpha L + \beta E, C = \frac{\sqrt{L \times E}}{(L + E)/2} \quad (1)$$

其中， D 为工业绿色发展水平（ L ）和发展效率（ E ）的耦合协调度，反映工业绿色发展水平和发展效率的整体协同效应。 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水平和发展效率的待定权重。本文认为，工业绿色发展水平和发展效率是工业绿色发展的两个维度，二者作用应无主次之分，将 α 和 β 均取值为0.5。显然 C 、 T 、 D 的取值均介于0至1之间。参考廖重斌^[22]关于耦合协调度与耦合协调类型的分类方法，本文将工业绿色发展水平和发展效率的耦合协调发展状况分为三大类十大亚类（如表6所示）。2011—2015年长江经济带工业绿色发展水平和发展效率直接源于前述评估结果。

表6 工业绿色发展水平和发展效率耦合协调度类型划分

| 失调衰退区间 | | | | 过渡调和区间 | | 协调发展区间 | | | |
|------------------|---------|---------|---------|--------------------|---------|---------------------|---------|---------|-------|
| $0 \leq D < 0.4$ | | | | $0.4 \leq D < 0.6$ | | $0.6 \leq D \leq 1$ | | | |
| 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）实证结果

长江经济带工业绿色发展绩效的协同效应呈平稳较快增强态势。长江经济带工业绿色发展的内生动力不断增强，规模效应持续外溢扩散，已形成良性协调互动的工业绿色发展协同机制，驱动长江经济带工业加速绿色发展的进程。如表7所示，长江经济带工业绿色发展水平和绿色发展效率的耦合协调度由2011年的0.773提升至2015年的0.801，增长3.61%，由中级协调阶段迈向良好协调阶段；非长江经济地区耦合协调度则由2011年的0.786波动上升至2015年的0.788，仅增长0.22%，一直徘徊在中级协调阶段，难以实现进一步跨越。

表7 2011—2015年工业绿色发展水平与发展效率的耦合协调度及类型

| 年份 | 2011 | | | 2012 | | | 2013 | | | 2014 | | | 2015 | | |
|--------|-------|----|----|-------|----|----|-------|----|----|-------|----|----|-------|----|----|
| | 得分 | 排名 | 类型 | 得分 | 排名 | 类型 | 得分 | 排名 | 类型 | 得分 | 排名 | 类型 | 得分 | 排名 | 类型 |
| 全国 | 0.781 | — | 中级 | 0.788 | — | 中级 | 0.795 | — | 中级 | 0.798 | — | 中级 | 0.793 | — | 中级 |
| 长江经济带 | 0.773 | 2 | 中级 | 0.782 | 2 | 中级 | 0.793 | 2 | 中级 | 0.797 | 1 | 中级 | 0.801 | 1 | 良好 |
| 非长江经济带 | 0.786 | 1 | 中级 | 0.791 | 1 | 中级 | 0.797 | 1 | 中级 | 0.798 | 2 | 中级 | 0.788 | 2 | 中级 |
| 长江上游地区 | 0.745 | 3 | 中级 | 0.756 | 3 | 中级 | 0.768 | 3 | 中级 | 0.768 | 3 | 中级 | 0.769 | 3 | 中级 |
| 长江中游地区 | 0.784 | 2 | 中级 | 0.790 | 2 | 中级 | 0.798 | 2 | 中级 | 0.801 | 2 | 良好 | 0.801 | 2 | 良好 |
| 长江下游地区 | 0.798 | 1 | 中级 | 0.807 | 1 | 良好 | 0.820 | 1 | 良好 | 0.833 | 1 | 良好 | 0.846 | 1 | 良好 |

资料来源：根据测算结果整理。

长江经济带工业绿色发展绩效的协同效应呈下游、中游、上游地区严格梯度递减分布。区际协同效应绝对水平和协同阶段差距均有扩大趋势，长江经济带区际工业绿色发展水平和发展效率的协调发展态势不容乐观，马太效应显著。下游地区耦合协调度由2011年的0.798快速增长至2015年的0.846，上升5.96%，在2012年即迈入良好协调阶段；中游地区耦合协调度由2011年的0.784

平缓增长至 2015 年的 0.801, 仅提升 2.17%, 直到 2014 年才跨入良好协调阶段; 上游地区耦合协调度由 2011 年的 0.745 平稳增长至 2015 年的 0.769, 提升 3.31%, 一直处于并将继续处于中级协调阶段。

长江经济带沿线 11 省市工业绿色发展绩效的协同效应在全国整体处于中等偏上水平。沿线 11 省市工业绿色发展绩效呈良好上升趋势, 工业绿色发展绩效的协同阶段向前推进, 协同效应的省际绝对差距不大, 但相对差距仍然悬殊, 部分省市的协同效应有减弱迹象。如表 8 所示, 上海、江苏、浙江、湖北等省市工业绿色发展水平和发展效率的耦合协调度稳定在较高水平或保持较快上升态势。其中, 江苏耦合协调度由 2011 年的 0.786 上升至 2015 年的 0.858, 增长 9.17%, 由第 14 名猛升至第 4 名, 居于长江经济带首位、全国前列。江西、重庆耦合协调度呈下降趋势, 分别由 2011 年的第 12 名与第 8 名下降至 2015 年的第 22 名与第 15 名。这可能是由于江西经济基础较为薄弱, 而重庆优势资源的过度集聚存在要素配置扭曲, 抑制了工业绿色发展绩效协同效应的充分释放。其余省份工业绿色发展绩效的协同效应保持平稳增强态势, 在全国的相对水平均有不同程度的提升。

表 8 2011—2015 年长江经济带 11 省市工业绿色发展水平与发展效率的耦合协调度及类型

| 年份 | 2011 | | | 2012 | | | 2013 | | | 2014 | | | 2015 | | |
|----|-------|----|----|-------|----|----|-------|----|----|-------|----|----|-------|----|----|
| | 得分 | 排名 | 类型 | 得分 | 排名 | 类型 | 得分 | 排名 | 类型 | 得分 | 排名 | 类型 | 得分 | 排名 | 类型 |
| 上海 | 0.826 | 7 | 良好 | 0.831 | 6 | 良好 | 0.836 | 7 | 良好 | 0.849 | 4 | 良好 | 0.855 | 5 | 良好 |
| 江苏 | 0.786 | 14 | 中级 | 0.801 | 13 | 良好 | 0.820 | 10 | 良好 | 0.838 | 7 | 良好 | 0.858 | 4 | 良好 |
| 浙江 | 0.782 | 16 | 中级 | 0.790 | 16 | 中级 | 0.804 | 17 | 良好 | 0.812 | 15 | 良好 | 0.824 | 10 | 良好 |
| 安徽 | 0.763 | 23 | 中级 | 0.775 | 22 | 中级 | 0.786 | 21 | 中级 | 0.785 | 21 | 中级 | 0.779 | 21 | 中级 |
| 江西 | 0.800 | 12 | 良好 | 0.789 | 17 | 中级 | 0.793 | 19 | 中级 | 0.796 | 17 | 中级 | 0.778 | 22 | 中级 |
| 湖北 | 0.769 | 22 | 中级 | 0.783 | 19 | 中级 | 0.792 | 20 | 中级 | 0.794 | 18 | 中级 | 0.818 | 12 | 良好 |
| 湖南 | 0.806 | 11 | 良好 | 0.816 | 10 | 良好 | 0.822 | 9 | 良好 | 0.827 | 9 | 良好 | 0.833 | 8 | 良好 |
| 重庆 | 0.818 | 8 | 良好 | 0.821 | 7 | 良好 | 0.818 | 12 | 良好 | 0.792 | 19 | 中级 | 0.806 | 15 | 良好 |
| 四川 | 0.776 | 17 | 中级 | 0.788 | 18 | 中级 | 0.806 | 16 | 良好 | 0.816 | 13 | 良好 | 0.794 | 17 | 中级 |
| 贵州 | 0.670 | 29 | 初级 | 0.690 | 29 | 初级 | 0.717 | 28 | 中级 | 0.725 | 27 | 中级 | 0.733 | 26 | 中级 |
| 云南 | 0.723 | 28 | 中级 | 0.733 | 26 | 中级 | 0.735 | 26 | 中级 | 0.742 | 25 | 中级 | 0.747 | 24 | 中级 |

资料来源: 根据测算结果整理。

五、研究结论与政策启示

(一) 研究结论

第一, 长江经济带工业绿色发展成效显著。早期长江经济带工业绿色发展水平与绿色发展效率均低于全国平均水平, 但得益于长江经济带前期的产业、资金、技术与人才积累, 长江经济带工业绿色发展的后发优势明显, 发展动能充裕, 受国家重大战略布局激励, 工业绿色发展潜能快速显化, 工业绿色发展绩效逐步超越全国平均水平, 引领全国工业绿色发展。

第二, 长江经济带工业绿色发展绩效区际差异较大。长江经济带工业绿色发展的要素分布较不均衡, 高素质劳动力、绿色生产技术、战略性新兴产业布局存在严重的地区偏向。长江经济带下游地区绿色产业基础雄厚、绿色生产技术成熟、绿色高端人口集聚、绿色金融发达, 工业绿色发展绩效, 特别是工业绿色发展水平显著高于中游和上游地区。尽管中游地区工业绿色发展效率前期较高, 但受工业绿色发展要素供给制约, 后期效率仍落后于下游地区。

第三, 长江经济带沿线 11 省市工业绿色发展态势相对平稳。长江经济带沿线 11 省市工业绿色

发展绩效均有不同程度的提升,上海、江苏、浙江、湖南等发达地区或临近发达地区省市的工业绿色发展绩效保持领先水平,工业绿色发展水平和工业绿色发展效率高于其他省市。江西、云南、贵州等欠发达省份虽然工业绿色发展绩效增速加快,但是工业绿色发展基础较为薄弱,工业绿色发展绩效处于全国靠后位置。

第四,长江经济带工业绿色发展绩效的协同效应强劲。长江经济带工业绿色发展水平与绿色发展效率具有高度一致性,工业绿色发展的协同性和均衡性不断增强,工业绿色发展绩效处于中高级耦合协调阶段,逐步赶超全国平均水平。经济发展水平较高的地区,依托区位优势和技术优势和物质资本能够较快地实现绿色发展水平和发展效率的有机统一。长江经济带工业绿色发展绩效呈下游、中游、上游地区依次递减格局。

(二) 政策启示

第一,加大绿色技术创新投入,推动创新成果产业化。面向节能环保、新能源装备、新能源汽车等绿色制造产业的技术需求,加强核心关键技术研发,构建支撑绿色制造产业发展的技术体系,形成一批适应市场需求,能够迅速转化为现实生产力和最终市场价值的绿色技术创新成果。

第二,发展壮大高技术产业,改造升级传统产业。根据地区产业基础条件,发展壮大绿色制造业,特别是高效节能、资源循环利用、高附加值型的先进环保装备制造业,增强工业绿色发展新动能。加快传统产业转型升级进程,重点提升钢铁、有色金属、石化、纺织等行业的清洁生产水平,实现污染型产业的绿色转型发展。

第三,建立健全绿色制造体系,完善绿色发展长效机制。强化产品全生命周期绿色管理,支持企业推行绿色设计,开发绿色产品;分类创建绿色工厂,培育绿色企业;推进绿色工业园区建设,发展绿色工业园区;推行绿色供应链标准和生产者责任延伸制度,打造绿色供应链。

第四,推广应用绿色清洁能源,促进能源结构低碳化。针对当前煤炭主导型能源结构,提高煤炭资源利用效率,降低煤炭消耗的温室气体与毒害物质的产出和排放。积极开发推广利用绿色高效清洁能源,加强长江经济带储量丰富的页岩气、太阳能、水能等清洁能源的开发利用,有序推进长江经济带能源结构的多元化和低碳化进程。

第五,严格落实主体功能区制度,推动工业绿色协同发展。明确地区主体功能及比较优势,引导地区工业发展方向,确定最优开发强度。长三角地区应依托资金和技术优势,优化工业布局,发展壮大电子信息、高端装备、新能源汽车等世界级先进制造业集群;长江中游、成渝、江淮、黔中、滇中等重点开发区应加快传统产业改造升级,大力发展新材料、新能源、高端装备等绿色新兴产业。

参考文献

- [1] 黄志斌,姚灿,王新. 绿色发展理论基本概念及其相互关系辨析[J]. 自然辩证法研究,2015(8).
- [2] 卢风. 绿色发展与生态文明建设的关键和根本[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2017(1).
- [3] 吴传清,黄磊. 演进轨迹、绩效评估与长江中游城市群的绿色发展[J]. 改革,2017(3).
- [4] 宋德勇,邓捷,弓媛媛. 我国环境规制对绿色经济效率的影响分析[J]. 学习与实践,2017(3).
- [5] 马晓君,魏晓雪,刘超,等. 东北三省全要素能源效率测算及影响因素分析[J]. 中国环境科学,2017(2).
- [6] 魏后凯,苏红键,韩镇宇. 中国城镇化效率评价分析——基于资源环境效率的视角[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2017(2).
- [7] 庞瑞芝. 中国省际工业增长模式与提升路径分析——基于工业部门全要素能源效率视角[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2011(4).
- [8] 苏利阳,郑红霞,王毅. 中国省际工业绿色发展评估[J]. 中国人口·资源与环境,2013(8).

- [9] 黄跃,李琳. 中国城市群绿色发展水平综合测度与时空演化[J]. 地理研究,2017(7).
- [10] 吴传清. 长江经济带产业发展报告(2017)[M]. 北京: 社会科学文献出版社,2017.
- [11] 杨志江,朱桂龙. 技术创新、环境规制与能源效率——基于中国省际面板数据的实证检验[J]. 研究与发展管理,2017(4).
- [12] 汪克亮,黄晴晴,孟祥瑞. 基于环境压力的矿业城市工业生态效率[J]. 系统工程,2017(2).
- [13] 任毅,丁黄艳. 长江经济带工业能源效率影响因素与产业转型策略研究[M]. 北京: 经济科学出版社,2015.
- [14] 任胜钢,袁宝龙. 长江经济带产业绿色发展的动力找寻[J]. 改革,2016(7).
- [15] 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[J]. 经济纵横,2017(10).
- [16] 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[J]. 软科学,2016(11).
- [17] 王兵,侯冰清. 中国区域绿色发展绩效实证研究:1998—2013——基于全局非径向方向性距离函数[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2017(6).
- [18] Fukuyama, H., W. L. Weber. A directional slacks-based measure of technical inefficiency[J]. *Socio-Economic Planning Sciences*,2009(4).
- [19] Oh, D. H. A global Malmquist-Luenberger productivity index[J]. *Journal of Productivity Analysis*,2010(3).
- [20] Illingworth, V. *The Penguin Dictionary of Physics*[M]. London: Penguin Books,1996.
- [21] 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).
- [22] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系[J]. 热带地理,1999(2).

Research on the Performance and the Synergistic Effect of Green Development of Yangtze River Economic Belt's Industry

WU Chuan-qing, HUANG Lei

Abstract: This paper makes a comprehensive research on the performance of the green development of the Belt's industry from 2011 to 2015 by Entropy-TOPSIS method and Global SBM model, analyzes their synergistic effect by Coupling coordination model. The results suggest: The index of the green development presents an ascending trend, which is under the below-average level in China. And the lower reaches, middle reaches and upper reaches' index decreases down serially. The efficiency of the green development also shows a rising trend, which is just in the below-average position in the provinces' ranking. And the middle reaches' efficiency is the highest, the lower reaches' the second highest, and the upper reaches' the lowest. The synergistic effect of the green development is strong. To improve the performance of the green development, we must increase the input to industrial technical innovation, promote the transformation and upgrading of the industrial structure, establish green manufacturing system, quicken the low-carbonization of energy structure.

Key words: Yangtze River Economic Belt; green development of industry; green innovation; evaluation of performance; coordinating effect

(责任编辑 朱 蓓)