

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2021.06.007

# 长江三角洲城市群绿色创新效率时空差异研究

崔金宝, 王建民, 陈杰

(安徽理工大学 经济管理学院, 安徽 淮南 232000)

**摘要:** 以长江三角洲城市群的27个核心城市为研究对象, 分别基于静态视角和动态视角, 采用超效率SBM模型和Malmquist指数模型对其2013—2018年的绿色创新效率进行了测算和分析。实证结果表明: 长三角城市群绿色创新效率城市之间存在较大分异, 研究期内各省域绿色创新效率均值由大到小依次为上海、浙江、江苏、安徽。在27个目标城市中, 上海市的绿色创新效率均值最高, 为1.4004; 而绿色创新效率均值相对较低的为铜陵市和马鞍山市, 分别为0.4291, 0.3462。目标城市中, 全要素生产率大于1的城市有15个, 另12个城市的小于1, 技术进步是长江三角洲城市群绿色创新效率提升的主要推动力, 其最高增长率达72.2%, 统计年间全要素生产率增长速度最快的是舟山市, 达34.2%。长江三角洲城市群绿色创新全要素生产率在2013—2015和2016—2017年间均小于1, 而在2015—2016和2017—2018年间均大于1, 总体上的年均增长率为2.7%。

**关键词:** 长江三角洲城市群; 绿色创新效率; 超效率SBM模型; Malmquist模型; 时空差异

**中图分类号:** F061.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2021)06-0048-08

**引文格式:** 崔金宝, 王建民, 陈杰. 长江三角洲城市群绿色创新效率时空差异研究[J]. 湖南工业大学学报, 2021, 35(6): 48-55.

## Research on Temporal and Spatial Diversities of Green Innovation Efficiency in Yangtze River Delta

CUI Jinbao, WANG Jianmin, CHEN Jie

(School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui 232000, China)

**Abstract:** With 27 cities in the Yangtze River Delta urban agglomeration as the research object, and based on static and dynamic perspectives, the super-efficiency SBM model and Malmquist index are used for a measurement and analysis of their green innovation efficiency from 2013 to 2018. The empirical results show that there is a great diversity among the cities in the green innovation efficiency of the Yangtze River Delta urban agglomeration, with a descending order of the average green innovation efficiency being Shanghai, Zhejiang, Jiangsu and Anhui. Among the 27 target cities, Shanghai is characterized with the highest green innovation efficiency with an average value of 1.4004; while Tongling and Ma' anshan are the cities with the lower efficiency, with an average green innovation efficiency of 0.4291, 0.3462 respectively. Among the target cities, 15 cities have a total factor productivity greater than 1 and another 12 cities have a total factor productivity less than 1. Technological progress is the main driving force for the improvement of green

收稿日期: 2021-02-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71473001); 中国博士后科学研究基金资助项目(2017M621324)

作者简介: 崔金宝(1995-), 男, 安徽怀远人, 安徽理工大学硕士生, 主要研究方向为可持续发展管理,

E-mail: 407455404@qq.com

通信作者: 王建民(1978-), 男, 河南泌阳人, 安徽理工大学教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事可持续发展管理方面的教学与研究, E-mail: 15805543633@163.com

innovation efficiency in the Yangtze River Delta urban agglomeration, with the highest growth rate of 72.2%. In the statistical year, Zhoushan City is characterized with the fastest growth rate of factor productivity, up to 34.2%. The total factor productivity of green innovation in the Yangtze River Delta urban agglomeration is less than 1 in 2013—2015 and 2016—2017, but greater than 1 in 2015—2016 and 2017—2018, with an overall average annual growth rate of 2.7%.

**Keywords:** Yangtze River Delta; green innovation efficiency; super-efficiency SBM model; Malmquist model; temporal and spatial diversity

## 1 研究综述

根据中共中央、国务院最新发布的《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》，长江三角洲城市群（简称长三角城市群）中心区由26个城市变成了27个城市，浙江省的温州市成为新晋城市，进一步拓展了长江三角洲核心区域的范围（总面积达 $22.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ），进而辐射带动长江三角洲地区的高质量发展。Dong L.等<sup>[1]</sup>经过研究指出，近年来快速的粗放型工业化发展陷入了经济增长和资源环境约束的困境，导致环境污染方面的负面影响频频发生。2019年发布的《长三角一体化模式进一步发展总体规划方案文件》中指出，要以创新驱动经济转型升级，促进环境的协调管理，建设长江三角洲绿色发展高级示范区。随着长江三角洲更高质量一体化发展上升为国家战略，研究以长江三角洲城市群绿色创新效率的整体特征及其相关因素的影响效果，有助于长江三角洲城市群不同城市之间根据自身的实际情况确定合适的绿色发展路径，为长江三角洲区域的绿色创新协同发展提供政策建议。

张江雪等<sup>[2]</sup>把创新视为区域经济长期稳定增长最重要的决定要素，那么绿色创新是什么呢？卢丽文<sup>[3]</sup>、程华<sup>[4]</sup>等认为绿色创新可以推动环境友好型经济增长，它指那些改善对环境不利影响的创新。国外学者M. Mirata等<sup>[5]</sup>将绿色创新定义为随着环境变化进而改善的创新。彭文斌等<sup>[6]</sup>指出，绿色创新是兼顾技术创新和环境保护，释放资源环境方面的压力，并促进经济可持续发展的创新。

我国关于资源环境约束下的绿色创新效率研究，主要包括对省域、城市群等区域的绿色创新效率的时序变化、空间相关性等方面的研究。分析发现已有研究多数基于省份，如黄磊等<sup>[7]</sup>研究了长江经济带各省份之间的工业绿色发展效率。孔晓妮等<sup>[8]</sup>探讨了中国各省份之间的绿色创新效率及其效率提升路径。在研究方法方面，已有研究主要从投入-产出的角度，采用数据包络法（data envelopment analysis, DEA）、生产函数法和多元统计等方法进行研究。如

李成宇等<sup>[9]</sup>采用DEA-BCC模型结合Malmquist指数的方法，对2006—2015年中国30个省（市、州）（不含港、澳、台和西藏地区）的工业生态效率进行了测算，并且运用Geoda软件分析了其空间分布特征，通过空间误差模型对其影响因素进行了检验。滕堂伟等<sup>[10]</sup>采用超效率SBM（slack based model）模型，对长江三角洲的26个城市的绿色创新效率进行了测度。杨树旺等<sup>[11]</sup>以长江经济带为研究对象，运用包含非期望产出的SBM模型测算了其绿色创新效率的演变格局。肖黎明等<sup>[12]</sup>利用生产函数模型的随机前沿分析法探讨了中国各省份的绿色创新效率。而杨亦民等<sup>[13]</sup>则是利用基于非期望产出DEA模型，对湖南省14个市（州）的工业绿色发展效率进行了测算，并且选取6项工业生产指标进行了影响因素分析，以期寻找改善工业生态效率的政策切入点。张如波等<sup>[14]</sup>利用网络DEA模型评价了长江三角洲35个城市的工业生态系统，及其经济、能源和环境子系统。由以上分析可以看出，研究者们将研究视角逐渐转向城市区域，与省域视角相比，在城市区域上推动科技创新改善资源环境更加具有可操作性，可探索长江三角洲不同资源环境的城市绿色创新效率的提升途径，并为长江三角洲更高质量一体化发展提供理论与决策支持。

综上所述，对绿色创新效率的已有研究多数集中在省域层面，而城市是突破绿色创新结构和长江三角洲各市政府进行环境治理的最主要载体。因此，本文拟以2013—2018年长三角城市群27个城市的数据为研究对象，建立测度绿色创新效率的综合评价体系。绿色创新效率与相关因素的作用机制较为复杂，已有相关文献大多从静态角度对绿色创新效率进行测度与评价。此外，多数学者采用传统的DEA和SBM模型，而前者未考虑松弛变量的影响，导致测算值存在一定的偏差，且二者都无法对效率值为1的有效决策单元进行进一步地评价和排序。因此，本文采用Super-SBM模型，并结合Malmquist指数法，分别从静态和动态视角探索长三角城市群绿色创新效率的时空演变和区域差异，以期为推进长三角城市群高质量一体化发展提供参考。

## 2 模型变量与数据

### 2.1 模型构建

#### 2.1.1 超效率 SBM 模型

1978年,美国著名的运筹学家 Charnes 和 Cooper 提出了数据包络分析 (DEA) 方法<sup>[15]</sup>,该方法是一种运用线性规划方法评价经济系统生产前沿面有效性的非参数方法。DEA 的传统模型包括 CCR 模型和 BCC 模型,这两种模型虽然都能解决参数估计法系统误差大的问题,但是由于未考虑投入与产出松弛变量的影响,会造成效率值偏差。2001年, K. Tone 提出了非径向 SBM (slacks-based measure) 模型<sup>[15]</sup>,该模型利用松弛变量测度效率值。其在 2002 年又提出以修正松弛变量为基础的 Super-SBM 模型,较好地避免了传统 DEA 模型和 SBM 模型无法对有效单元进行进一步评价和排序的问题<sup>[16]</sup>。因此,本研究拟采用 Super-SBM 模型,对长三角城市群各城市的绿色创新效率进行静态分析。式(1)所示为 Super-SBM 模型的表达式。

$$\min \rho = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i / x_{i0}}{\frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \bar{y}_r / y_{r0}}, \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \bar{x} \geq \sum_{j=1}^m \lambda_j x_j; \quad \bar{y} \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j; \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1;$$

$$\bar{x} \geq x_0; \quad \bar{y} \leq y_0; \quad \bar{y} \geq 0, \quad \lambda \geq 0.$$

式中:  $\rho$  为效率值;

$m$ 、 $s$  分别为投入与产出数量;

$x_i$ 、 $y_r$  分别为投入与产出要素;

$\lambda$  为权重向量。

#### 2.1.2 Malmquist 指数模型

Malmquist 指数模型最早由 Sten Malmquist 于 1953 年提出,之后被 Caves (1982) 等运用到生产效率研究中,即利用 DEA 构造 Malmquist 指数测算生产效率。Malmquist 指数法将全要素生产率变动指数 ( $\gamma_{TFPC}$ ) 分解为技术变化指数 ( $\gamma_{TC}$ ) 和技术效率变化指数 ( $\gamma_{EC}$ ), 即  $\gamma_{TFPC} = \gamma_{TC} \times \gamma_{EC}$ , 该指数计算方法如式(2)所示:

$$M_0(x_t, y_t, x_{t+1}, y_{t+1}) = \sqrt{\frac{D'_0(x_{t+1}, y_{t+1})}{D'_0(x_t, y_t)} \times \frac{D_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_0^{t+1}(x_t, y_t)}}. \quad (2)$$

式中:  $(x_t, y_t)$ 、 $(x_{t+1}, y_{t+1})$  分别为  $t$  期和  $t+1$  期投入产出向量;

$D'_0$ 、 $D_0^{t+1}$  分别为以  $t$  时期和  $t+1$  时期技术为参照的距离函数;

$M_0$  为绿色创新效率,当  $M_0 > 1$  时,表明长三角

城市群绿色创新效率得到提升,反之创新效率下降。

其中,技术效率变化指数  $\gamma_{EC}$  可以分解为纯技术效率变化指数  $\gamma_{PEC}$  和规模效率变化指数  $\gamma_{SEC}$ , 进而全要素生产率变动指数可表示为

$$\gamma_{TFPC} = \gamma_{TC} \times \gamma_{EC} = \gamma_{TC} \times \gamma_{PEC} \times \gamma_{SEC},$$

则 Malmquist 指数模型的表达式如式(3)所示。

$$M_0(x_t, y_t, x_{t+1}, y_{t+1}) = \frac{s'_0(x_t, y_t)}{s'_0(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{D'_0(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_0^{t+1}(x_t, y_t)} \times \sqrt{\frac{D'_0(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{D_0^{t+1}(x_t, y_t)}{D_0^{t+1}(x_t, y_t)}}. \quad (3)$$

### 2.2 变量数据

#### 2.2.1 指标体系

在对长三角城市群各城市进行绿色创新效率评价时,绿色创新投入与产出指标选取的准确性、科学性、可得性等对效率值的影响均有所差异。本研究构建的长三角城市群绿色创新效率评价指标体系具体如表 1 所示。

表 1 长三角城市群绿色创新效率评价指标体系

Table 1 Green innovation efficiency evaluation index system of the Yangtze River Delta urban agglomeration

指标层面	具体类别	具体指标
投入	人力投入	科学技术人员 / 人
	资本投入	固定资产投资 / 亿元 科学技术支出 / 万元
	能源投入	全社会用电量 / ( $10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ )
产出	期望产出	地区生产总值 / 亿元 专利授权数 / 件
	非期望产出	工业废水排放量 / ( $10^4 \text{ t}$ )
		工业 $\text{SO}_2$ 排放量 / t 工业烟(粉)尘排放量 / t

#### 2.2.2 数据来源

本文的研究对象为长三角城市群 27 个城市 2013—2018 年间的绿色创新效率,实证分析的所有数据均来自于历年《中国城市统计年鉴》和《长三角城市群三省一市历年统计年鉴》。变量观测值个数为 162,其描述性统计结果如表 2 所示。

表 2 变量描述性统计结果

Table 2 Results of variable descriptive statistics

变量	均值	标准差	最大值	最小值
地区生产总值 / 亿元	5 204	5 582	32 680	324
专利授权数 / 件	19 850	18 104	92 460	610
科学技术人员 / 人	24 458	48 360	268 938	682
科学技术支出 / 万元	358 264	636 223	4 263 655	8 211
固定资产投资 / 亿元	2 900	1 787	7 623	260
全社会用电量 / ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ )	2 828 182	3 313 432	15 666 595	168 719
工业废水排放量 / $10^4 \text{ t}$	13 306	12 581	66 916	486
工业 $\text{SO}_2$ 排放量 / t	33 292	31 158	168 413	1 393
工业烟(粉)尘排放量 / t	31 372	26 597	131 433	1 463

### 3 实证结果与分析

#### 3.1 绿色创新效率静态分析

本研究中, 采用 Super-SBM 模型, 并且利用

DEA-Solver Pro. 5.0 软件, 从静态的角度测算了长三角城市群 2013—2018 年 27 个城市的绿色创新效率值, 具体结果如表 3 所示。

表 3 2013—2018 年长三角城市群各城市绿色创新效率测算值  
Table 3 Measured values of green innovation efficiency of cities in the Yangtze River Delta urban agglomeration from 2013 to 2018

区域	城市	2013	2014	2015	2016	2017	2018	均值	排名
上海	上海市	1.328 6	1.197 3	1.337 5	1.170 1	1.894 1	1.474 8	1.400 4	2
	南京市	0.685 1	0.548 5	0.693 9	0.654 3	1.124 2	0.672 5	0.729 7	18
	无锡市	1.133 0	1.004 5	1.016 4	1.012 7	0.725 1	0.651 1	0.923 8	13
	常州市	1.040 3	1.017 7	1.039 1	0.587 6	1.145 6	0.505 6	0.889 3	14
	苏州市	1.183 5	1.090 5	1.099 6	1.099 5	1.031 8	0.486 6	0.998 6	9
	南通市	1.031 5	0.736 9	1.001 2	1.073 1	0.716 0	1.036 1	0.932 5	12
	盐城市	1.175 8	1.039 5	0.739 1	1.034 1	0.556 3	0.562 7	0.851 3	15
	扬州市	1.013 3	0.730 9	1.006 2	0.858 8	1.210 0	1.050 6	0.978 3	10
	镇江市	0.772 8	0.656 8	0.738 3	0.674 8	0.830 3	0.683 3	0.726 1	19
江苏	泰州市	1.157 2	1.042 3	1.063 8	1.071 5	0.696 3	1.024 9	1.009 3	7
	杭州市	0.681 4	0.560 5	1.009 5	0.581 2	1.054 0	0.630 0	0.752 8	17
	宁波市	1.278 6	1.054 4	1.046 1	0.602 7	1.098 6	0.558 4	0.939 8	11
	温州市	1.210 9	1.266 2	1.299 8	1.529 6	1.828 3	2.346 3	1.580 2	1
	嘉兴市	0.671 7	0.708 7	0.662 1	1.000 5	0.488 0	0.383 8	0.652 5	20
	湖州市	0.666 9	1.014 3	1.099 0	0.484 8	1.029 9	0.455 4	0.791 7	16
	绍兴市	1.068 6	0.736 2	1.106 9	1.156 6	1.125 5	1.038 9	1.038 8	5
	金华市	1.216 0	1.301 5	1.173 1	1.123 1	1.008 7	0.682 8	1.084 2	3
	舟山市	0.710 4	0.669 2	1.035 6	1.105 3	1.247 7	1.369 2	1.022 9	6
浙江	台州市	1.061 2	1.083 2	1.033 3	0.815 5	1.011 9	1.014 8	1.003 3	8
	合肥市	1.095 3	1.035 5	1.092 7	1.108 0	1.076 1	1.060 8	1.078 1	4
	芜湖市	0.507 0	0.523 5	0.527 4	0.460 0	0.603 0	0.497 8	0.519 8	25
	马鞍山市	0.381 1	0.316 2	0.367 9	0.303 3	0.345 6	0.363 2	0.346 2	27
	铜陵市	0.387 9	0.332 6	0.403 5	0.348 8	0.579 7	0.522 2	0.429 1	26
	安庆市	0.584 9	0.636 0	0.625 3	0.562 5	0.316 4	0.571 4	0.549 4	24
	滁州市	1.017 7	0.541 2	0.632 1	0.671 0	0.277 7	0.449 5	0.598 2	22
	池州市	0.420 0	0.375 7	0.533 2	0.534 2	1.048 6	0.510 4	0.570 3	23
	宣城市	0.415 0	0.578 7	0.545 4	0.590 4	0.257 8	1.206 4	0.598 9	21
安徽	上海均值	1.328 6	1.197 3	1.337 5	1.170 1	1.894 1	1.474 8	1.400 4	
	江苏均值	1.021 4	0.874 2	0.933 1	0.896 3	0.892 8	0.741 5	0.893 2	
	浙江均值	0.951 7	0.932 7	1.051 7	0.933 3	1.099 2	0.942 2	0.985 1	
	安徽均值	0.601 1	0.542 4	0.590 9	0.572 3	0.563 1	0.647 7	0.586 3	
	总体	0.975 7	0.886 7	0.978 3	0.893 0	1.112 3	0.951 6	0.966 3	

根据最新发布的《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》, 以上海市, 江苏省 9 市——南京市、无锡市、常州市、苏州市、南通市、扬州市、镇江市、盐城市、泰州市, 浙江省 9 市——杭州市、宁波市、温州市、湖州市、嘉兴市、绍兴市、金华市、舟山市、台州市, 安徽省 8 市——合肥市、芜湖市、马鞍山市、铜陵市、安庆市、滁州市、池州市、宣城市, 共 27 个城市为中心区, 对三省一市区域内各城市的绿色创新效率进

行测算, 所得统计年间长三角城市群各城市的绿色创新效率变化趋势图如图 1 所示。

从图 1 所示长江三角洲区域三省一市整体的绿色创新效率变化趋势看, 2013—2018 年研究期间, 长三角城市群的绿色创新效率呈现出平稳的发展趋势, 整体的创新效率平均值由 2013 年的 0.975 7 下降至 2018 年的 0.951 6, 变化趋势不是很明显。研究期内, 长三角城市群各年的变化幅度不明显, 且均接近于 1,



说明研究期间长三角城市群的绿色创新效率发展态势良好且稳定。研究期间,城市群整体的绿色创新效率平均值为 0.966 3,由此可见其整体的绿色创新效率水平较高。

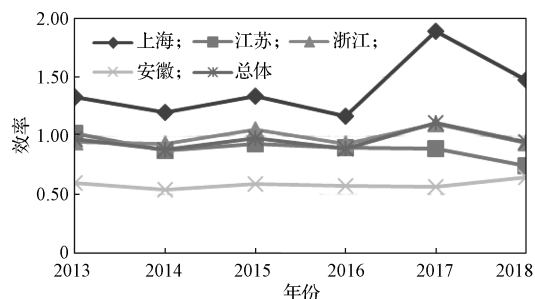


图 1 2013—2018 年长三角区域城市群绿色创新效率变化曲线

Fig. 1 Change curves of green innovation efficiency of the Yangtze River Delta urban agglomeration from 2013 to 2018

从长江三角洲地区三省一市四大区域看,长三角城市群绿色创新效率水平由高到低依次为上海、浙江、江苏、安徽。上海市最高,其研究期间的绿色创新效率均值为 1.400 4;其次是浙江和江苏,其绿色创新效率值相近,效率均值分别为 0.985 1 和 0.893 2;安徽省的绿色创新效率均值最低,仅为 0.586 3。

由图 1 可以直观地看出长江三角洲地域的三省一市之间的绿色创新效率存在显著差异,就绿色创新效率较高的上海而言,统计年间其绿色创新效率值均远远高于其他城市的,这是由于全国最大的经济中心上海市,其发展过程中一直倡导创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念,其经济发展水平较高,科学技术投入较大,并且具备较为完善的城市交通基础设施。另外,其第三产业占产业结构的近 80%,工业也以现代制造业以及高新技术产业为主。这些都是上海市绿色创新效率远远高于其他城市的原因。绿色创新效率中等的浙江和江苏,仍然可以通过进一步加快产业结构调整 and 加大节能减排的力度,从而促进高新产业,特别是低碳产业的发展,提高城市的绿色创新效率。而绿色创新效率较低的安徽,因近年来发展迅猛,为了追求经济的发展而引入了许多高污染企业,导致在资源开发过程中对生态环境造成了破坏,最终导致绿色创新效率值低下。

从长江三角洲地域的三省一市 27 个城市看,2013—2018 年研究期间,绿色创新效率平均值大于 1 的城市共有 8 个,绿色创新效率均值由高到低依次为温州市、上海市、金华市、合肥市、绍兴市、舟山市、泰州市和台州市。绿色创新效率值的差异与各城市群

的发展状况相适应,这 8 个城市将经济增长带来的良好效益转而投入到环境的治理与建设中,促进了其经济增长与环境的良性循环发展,在推动绿色经济发展的过程中注重能源合理配置与生态环境保护。绿色创新效率平均值小于 1 的城市共有 19 个,其中绿色创新效率均值为 0.7~1 的城市包括苏州市、扬州市、宁波市、南通市、无锡市、常州市、盐城市、湖州市、杭州市、南京市和镇江市,而绿色创新效率均值在 0.7 以下的城市包括嘉兴市、宣城市、滁州市、池州市、安庆市、芜湖市、铜陵市和马鞍山市,这些城市的绿色创新效率均值较低,具有较大的改善空间。绿色创新效率均值在 0.7 以下的城市中,铜陵市(为 0.429 1)和马鞍山市(为 0.346 2)的绿色创新效率均值较低,虽然两者都是资源型城市,然而其效率均值均不足效率均值第一的上海市的 1/4,还有 60% 左右的效率改善空间,可见具有非常大的提升空间,这与其地理资源环境丰富、经济发展速度缓慢和粗放型生产方式是分不开的。故其需要注重生产技术、资源管理配置与生产规模之间的相互匹配度,以提高资源的利用率,实现高质量发展。铜陵市在研究期间其绿色创新效率均值由 0.387 9 提高至 0.429 1,说明其正在积极地改变其经济发展模式,以提高绿色创新效率;而马鞍山市的绿色创新效率值由 0.381 1 下降到 0.346 2,因此,其应当在注重经济发展的同时,进一步控制污染物的排放量,以实现城市的高质量发展。

### 3.2 绿色创新效率动态分析

为了能够更加全面地探析长三角城市群近年来的绿色创新发展趋势,课题组采用长三角城市群的 27 个城市 2013—2018 年的面板数据,运用 Malmquist 指数模型进一步探究了其生产效率随时间的动态变化情况,并且利用 DEAP 2.1 软件测算了长三角城市群的 Malmquist 指数及其分解值,所得测算结果如表 4 和表 5 所示。

由表 4 所示测算结果可知,整体上,全要素生产率大于 1 的城市有 15 个,另有 12 个城市的全要素生产率小于 1。长三角城市群的绿色创新效率全要素生产率平均值为 1.027,大于 1。这表明研究期间长三角城市群整体的绿色创新效率呈上升趋势,增长幅度为 2.7%,其中技术进步年均增长幅度为 2.9%,是主要的推动力。技术进步增长速度最快的是舟山市,高达 34.2%。可见舟山市在经济发展中注重科技的利用,以提高资源的综合利用率。当前,科学技术是第一生产力,科技的提高与不断发展是加快推动长江三角洲区域高质量发展的重要保障。其次是规模效率,其年均增长率为 0.4%,可以看出,研究期间技术效

率和纯技术效率分别小幅度地下降了0.2%和0.6%。其中,多地的技术效率和纯技术效率为退步状态,导致两者对全要素生产率的贡献较低。具体分析27个城市,其中全要素生产率最高的也是舟山市,为1.389,全要素生产率最低的则是常州市,为0.836,表明常州市的生产投入要素等比例降低了16.4%,但可达到生产有效水平。

表4 2013—2018年长三角城市群绿色创新效率 Malmquist 指数及其分解

Table 4 Malmquist index with its decomposition of green innovation efficiency of the Yangtze River Delta urban agglomeration from 2013 to 2018

城市	技术效率	技术进步效率	纯技术效率	规模效率	全要素生产率
上海市	1.000	1.129	1.000	1.000	1.129
南京市	1.022	0.990	1.023	1.000	1.012
无锡市	0.991	0.847	1.000	0.991	0.839
常州市	0.963	0.868	0.992	0.971	0.836
苏州市	0.952	0.935	1.000	0.952	0.890
南通市	1.000	0.916	1.000	1.000	0.916
盐城市	0.956	0.848	0.965	0.991	0.810
扬州市	1.000	0.910	1.000	1.000	0.910
镇江市	1.006	0.892	0.987	1.020	0.898
泰州市	1.000	0.904	1.000	1.000	0.904
杭州市	1.005	1.236	1.015	0.990	1.242
宁波市	0.941	1.094	1.000	0.941	1.029
温州市	1.000	1.189	1.000	1.000	1.189
嘉兴市	0.939	1.022	0.941	0.997	0.960
湖州市	0.972	1.009	0.986	0.986	0.981
绍兴市	1.000	1.126	1.000	1.000	1.126
金华市	0.985	1.001	0.989	0.996	0.986
舟山市	1.035	1.342	1.000	1.035	1.389
台州市	1.000	1.102	1.000	1.000	1.102
合肥市	1.000	1.197	1.000	1.000	1.197
芜湖市	1.019	1.112	1.025	0.994	1.133
马鞍山市	1.026	1.084	1.012	1.015	1.113
铜陵市	1.063	1.060	1.000	1.063	1.127
安庆市	1.003	1.039	0.977	1.027	1.041
滁州市	0.904	1.022	0.930	0.972	0.924
池州市	1.077	1.009	1.000	1.077	1.086
宣城市	1.099	1.102	1.000	1.099	1.211
均值	0.998	1.029	0.994	1.004	1.027

由表5可以得知,研究期间,长三角城市群绿色创新全要素生产率在2013—2015和2016—2017年间均小于1,而在2015—2016和2017—2018年间均大于1,总体上的年均增长率为2.7%,这反映了长三角城市群的绿色创新效率体系不够稳定。从各年份来看,2013—2014年的全要素生产率为0.837,相较上一年的跌幅为16.3%,其分解指标多数有不

同程度的下降,主要是技术进步效率降低(下降了15.7%)导致的。2014—2015年长三角城市群的绿色创新效率全要素生产率为0.934,也是因为技术进步效率下降阻碍了全要素生产率的提高。而2015—2016年长三角城市群的绿色创新效率全要素生产率比上一年增长了33.9%,由其分解指标可知,主要是由于技术进步效率增长(35.5%)促进了全要素生产率的增长。2016—2017年全要素生产效率下降了37.8%,下降幅度最大,其分解指标均下降,但主要是技术进步效率的下降(下降了34.5%),导致了全要素生产率的下降。2017—2018年全要素生产率较上年增长了75.3%,其主要原因是技术进步的增长速度加快。

表5 长三角城市群各年份平均全要素生产率及其分解

Table 5 Average total factor productivity with its decomposition of urban agglomeration in the Yangtze River Delta

年份	技术效率	技术进步效率	纯技术效率	规模效率	全要素生产率
2013—2014	0.993	0.843	1.007	0.986	0.837
2014—2015	1.041	0.898	1.007	1.034	0.934
2015—2016	0.988	1.355	0.995	0.993	1.339
2016—2017	0.951	0.655	0.967	0.984	0.622
2017—2018	1.018	1.722	0.995	1.023	1.753
均值	0.998	1.029	0.994	1.004	1.027

综上所述,在研究期间,全要素生产率无论是增长还是下降,其技术进步影响因素所占比例最大,最高增长率达72.2%,而技术效率、纯技术效率和规模效率每年的贡献都不大,小幅度或升或降。因此,长三角城市群在改善绿色创新效率时要注意提高科技创新,加大科技投入,鼓励企业创新和参与技术研发,倡导企业开发低碳环保技术,促进科研成果的转化和使用,降低能源消耗,减少污染物的排放,推动长三角城市群高质量发展。

## 4 结论与启示

### 4.1 结论

通过以上实证分析,可得出如下结论:

1) 2013—2018年,长三角城市群绿色创新效率整体呈平稳变化状态,但长三角城市群各城市之间存在较大分异。研究期内绿色创新平均效率值由大到小依次为上海、浙江、江苏、安徽。其中,上海市的绿色创新平均效率值最高,为1.4004,且其2017年的效率值最高,达1.8941。2013—2018年,浙江和江苏的绿色创新平均效率呈现平稳发展的态势,且绿色

创新效率值在1附近,但是在研究期末有下降的趋势。2013—2018年,安徽省的绿色创新平均效率值最低,为0.6477。具体到城市群内部,2013—2018年研究期间绿色创新效率平均值大于1的城市有8个,由大到小依次为温州、上海、金华、合肥、绍兴、舟山、泰州和台州。绿色创新效率值小于1的城市有19个,其中绿色创新效率均值较低的是铜陵市(0.4291)和马鞍山市(0.3462)。

2) 研究期内,长三角城市群绿色创新效率的贡献主要来自技术进步,整体上,全要素生产率大于1的城市有15个,另有12个城市小于1。长三角城市群的绿色创新效率全要素生产率平均值为1.027,增长幅度为2.7%。研究期间,全要素生产率无论是增长还是下降,其主要是技术进步影响因素所占比例最大,其最高增长率达72.2%;而技术效率、纯技术效率和规模效率每年的贡献都不大;技术进步增速最快的是舟山市,增长速率为34.2%。全要素生产率最低的是常州市,为0.836。

3) 研究期间,长三角城市群绿色创新全要素生产率在2013—2015和2016—2017年间为小于1,而在2015—2016和2017—2018年间大于1。总体上的年均增长率为2.7%,从各年份来看,研究期间全要素生产率无论是增长还是下降,技术进步影响因素最为显著;最大增长率达72.2%,是全要素生产率的主要推动力。

#### 4.2 启示

1) 为使长三角城市群产业优势互补、协同发展,绿色创新优秀的城市逐步辐射并带动周边城市如安徽省的绿色发展,提高长三角城市群整体的经济发展质量,应实施创新驱动发展,同时加大科研投入,引进高端技术人才,提高企业的自主创新能力,使技术创新成为长三角城市群绿色发展的新推动力。

2) 绿色创新效率较低的城市,具体如铜陵和马鞍山市。政府应根据其自身的发展阶段,适当加大对企业研发投入的扶持力度,提高研发人员的水平与数量。要支持企业布局高新科技创新资源,未来应进一步提升绿色创新技术,逐渐摒弃或升级改造高污染、高投入的产业,通过提高研究成果转换为实际应用的效率来实现绿色经济的协调发展。

3) 要在优化投入规模的基础上推进技术进步,提高技术转化程度,发挥技术进步对绿色发展的贡献,关注产业结构调整,加快提升科技研发效率。同时,要大力减少投入冗余,将更多的人力资源配置到研发阶段,保证整个企业生产的可持续发展。由此推进长三角高质量一体化发展。

#### 参考文献:

- [1] DONG L, GU F M, FUJITA T, et al. Uncovering Opportunity of Low-Carbon City Promotion with Industrial System Innovation: Case Study on Industrial Symbiosis Projects in China[J]. Energy Policy, 2014, 65: 388-397.
- [2] 张江雪,朱磊.基于绿色增长的我国各地区工业企业技术创新效率研究[J].数量经济技术经济研究,2012,29(2):113-125  
ZHANG Jiangxue, ZHU Lei. Research on Technological Innovation Efficiency of Industrial Enterprises Based on Green Growth of Regions in China[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2012, 29(2): 113-125.
- [3] 卢丽文,宋德勇,李小帆.长江经济带城市发展绿色效率研究[J].中国人口·资源与环境,2016,26(6):35-42.  
LU Liwen, SONG Deyong, LI Xiaofan. Green Efficiency of Urban Development in the Yangtze River Economic Belt[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(6): 35-42.
- [4] 程华,廖中举,戴娟兰.中国区域环境创新能力与经济协调性研究[J].经济地理,2011,31(6):985-991.  
CHENG Hua, LIAO Zhongju, DAI Juanlan. The Research on the Coordination Between China Regional Environment Innovation Ability and Economy Development[J]. Economic Geography, 2011, 31(6): 985-991.
- [5] MIRATA M, EMTAIRAH T. Industrial Symbiosis Networks and the Contribution to Environmental Innovation: The Case of the Landskrona Industrial Symbiosis Programme[J]. Journal of Cleaner Production, 2005, 13: 993-1002.
- [6] 彭文斌,文泽宙,邝嫦娥.中国城市绿色创新空间格局及其影响因素[J].广东财经大学学报,2019,34(1):25-37.  
PENG Wenbin, WEN Zezhou, KUANG Chang'e. The Spatial Pattern and Influencing Factors of Green Innovation[J]. Journal of Guangdong University of Finance & Economics, 2019, 34(1): 25-37.
- [7] 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),2019,25(3):1-13.  
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, 25(3): 1-13.
- [8] 孔晓妮,邓峰.中国各省区绿色创新效率评价及其



- 提升路径研究: 基于影响因素的分析 [J]. 新疆大学学报 (哲学·人文社会科学版), 2015, 43(4): 14-18.
- KONG Xiaoni, DENG Feng. The Evaluation of the Green Innovation Efficiency and the Path to Improvement in China: An Influencing Factor-Based Analysis[J]. Journal of Xinjiang University(Philosophy, Humanities & Social Sciences), 2015, 43(4): 14-18.
- [9] 李成宇, 张士强, 张伟. 中国省际工业生态效率空间分布及影响因素研究 [J]. 地理科学, 2018, 38(12): 1970-1978.
- LI Chengyu, ZHANG Shiqiang, ZHANG Wei. Spatial Distribution Characteristics and Influencing Factors of China's Inter Provincial Industrial Eco-Efficiency[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(12): 1970-1978.
- [10] 滕堂伟, 瞿丛艺, 胡森林, 等. 长三角城市群绿色创新效率格局分异及空间关联特征 [J]. 华东师范大学学报 (哲学社会科学版), 2019, 51(5): 107-117.
- TENG Tangwei, QU Congyi, HU Senlin, et al. Differentiation of Green Innovation Efficiency Patterns and Spatial Association in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration[J]. Journal of East China Normal University(Humanities and Social Sciences), 2019, 51(5): 107-117.
- [11] 杨树旺, 吴婷, 李梓博. 长江经济带绿色创新效率的时空分异及影响因素研究 [J]. 宏观经济研究, 2018(6): 107-117.
- YANG Shuwang, WU Ting, LI Zibo. A Study on Spatial-Temporal Differentiation and the Influencing Factors of Green Innovation Efficiency in Yangtze River Economic Belt[J]. Macroeconomics, 2018(6): 107-117.
- [12] 肖黎明, 张仙鹏. 强可持续理念下绿色创新效率与生态福利绩效耦合协调的时空特征 [J]. 自然资源学报, 2019, 34(2): 312-324.
- XIAO Liming, ZHANG Xianpeng. Spatio-Temporal Characteristics of Coupling Coordination Between Green Innovation Efficiency and Ecological Welfare Performance Under the Concept of Strong Sustainability[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(2): 312-324.
- [13] 杨亦民, 王梓龙. 湖南工业生态效率评价及影响因素实证分析: 基于DEA方法 [J]. 经济地理, 2017, 37(10): 151-156, 196.
- YANG Yimin, WANG Zilong. The Empirical Analysis of Hunan Industrial Ecological Efficiency Evaluation and Influencing Factors: Based on DEA Method[J]. Economic Geography, 2017, 37(10): 151-156, 196.
- [14] 张如波, 任胜钢, 蔡立燕. 长江三角洲城市群工业生态效率评价 [J]. 商业研究, 2017(6): 163-169.
- ZHANG Rubo, REN Shenggang, CAI Liyan. Industrial Eco-Efficiency Evaluation for Urban Agglomeration in the Yangtze River Delta[J]. Commercial Research, 2017(6): 163-169.
- [15] TONE K. A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [16] TONE K. A Slacks-Based Measure of Super-Efficiency in Data Envelopment Analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 143(1): 32-41.

(责任编辑: 廖友媛)