

# 长三角城市群绿色创新效率格局 分异及空间关联特征

滕堂伟 瞿丛艺 胡森林 曾 刚

**摘 要:**绿色创新是培育城市发展新动能的关键,分析比较长三角城市群 26 个地级及以上城市的绿色创新效率及其空间关联特征对于促进长三角更高质量一体化发展至关重要。鉴于传统 DEA 模型没有考虑要素“松弛”和无法合理解释非期望产出存在条件下的效率评价问题,因而可运用 Super-SBM 和 GML 指数构建城市尺度绿色创新效率测度模型,来刻画长三角城市群绿色创新效率的空间分异及空间关联效应。据此分析的结果表明:(1)长三角城市群绿色创新效率整体呈上升趋势,驱动力主要来自技术效率,而技术进步滞后于技术效率。(2)各城市绿色创新效率的差异趋于缩小,长三角城市群绿色创新效率正在趋向协同化。(3)长三角城市群 26 个城市绿色创新效率与经济发展水平间的组合,呈现出高一高、高一低、低一高、低一低 4 种类型,各自的发展重点在于提升绿色创新技术、提高各类资本利用效率、节约能耗及提高转换效率、提高科技研发效率及加快产业结构调整。

**关键词:**绿色创新效率;长三角城市群;协同发展;Super-SBM 模型;GML 指数

**DOI:** 10.16382/j.cnki.1000-5579.2019.05.012

## 一 引 言

近年来快速的工业化、城市化令城市陷入经济增长和资源环境破坏的博弈困境,环境污染、温室效应等负面影响在城市尺度上凸显(Dong, et al., 2014)。党的十九大报告则明确要求实行最严格的生态环境保护制度,推进绿色发展,建立健全绿色低碳循环发展的经济体系。因此,如何将绿色科技和环境因素纳入传统创新(不考虑环境效益的创新,下同)的研究框架,有效提升绿色创新效率,是新时代绿色发展的重要落脚点,也是推进创新驱动和绿色发展两大国家发展战略协同的契合点。

更高质量一体化已成为长三角城市群发展的重要方向,其中“更高质量”意味着更绿色、更高效。但长三角城市群作为我国经济发展水平最高、制造业高度集聚的区域之一,在高强度开发过程中面临着严重的生态破坏与环境污染问题。2016 年发布的《长江三角洲城市群发展规划》提出,要以创新驱动经济转型升级,推动生态共建和环境共治,在治理污染、修复生态、建设宜居环境方面走在全国前列。随着推进长三角更高质量一体化发展上升为国家战略,以长三角城市群为例研究绿色创新效率的空间分异及其空间关联特征具有典型性和代表性,在拓展传统创新效率研究的同时,也有助于长三角城市群内不同城市确定差异化的绿色发展路径,为区域绿色创新协同发展政策的制定提供理论指导。

---

【作者简介】滕堂伟,华东师范大学城市与区域科学学院副院长、教授;瞿丛艺,华东师范大学城市与区域科学学院硕士研究生;胡森林,通讯作者,华东师范大学城市与区域科学学院博士研究生;曾刚,华东师范大学中国现代城市研究中心/长三角区域一体化研究基地主任,终身教授(上海,200062)。

【基金项目】国家重点研发计划研究专项“长三角城市群生态安全保障关键技术研究集成示范”(项目编号:2016YFC0502701);教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“长江经济带城际协同创新的格局、机理与推进策略”(项目编号:17JJD790006)。

## 二 文献综述

创新被视为区域经济长期稳定增长最重要的决定要素,但传统创新也会产生生态环境负效应(张江雪等,2012),能推动环境友好型经济增长的绿色创新才是理想选择。绿色创新通常也被称为“可持续创新”“环境驱动型创新”“环境创新”“生态创新”(卢丽文等,2016;陈锐等,2009;程华等,2011;董颖等,2010)。James(1997)称之为降低对环境不利影响的创新;Mirata等(2005)认为它是顺应环境改善趋势的创新;Blättel-Mink(1998)和 Keeble等(2005)认为绿色创新就是能实现企业可持续发展的创新;Rennings(2000)认为绿色创新就是生态创新,包括为提升环境效益、促进可持续发展而在工艺、技术、实践、系统和产品等方面实行的创新。国内诸多学者也对绿色创新进行了界定,如李金艳等(2016)认为城市绿色创新旨在通过多因素推动达到以最少人力、资本和资源环境投入,最少环境污染排放,获得较多经济效益、科技进步和绿色生态空间,促进城市可持续发展;彭文斌等(2019)指出相较于传统创新,绿色创新是兼顾技术创新和绿色环保双重收益,从而缓解资源环境压力并能促进经济可持续健康发展的新型创新活动。

绿色创新效率往往决定着一个地区的绿色创新水平。绿色创新效率反映的是创新效率的绿色化程度,是综合考虑创新要素投入与产出过程中生态效益与经济收益的创新效率。就内容而言,现有研究基于省份之间、城市群以及城市尺度展开研究。如黄磊和吴传清(2019)研究了长江经济带省份之间工业绿色创新发展效率及其协同效应;李汝资等(2018)探讨了长江经济带城市绿色全要素生产率变化时空格局;孔晓妮等(2015)探讨了中国省份之间的绿色创新效率及其提升路径。在研究方法方面,已有研究主要基于投入—产出视角,多采用数据包络法(DEA)或其衍生方法、生产函数法和多元统计等方法。如周力(2010)等采用 DEA-Malmquist 指数法测度中国省级区域绿色创新水平;杨树旺等(2018)运用含非期望产出的 SBM 模型测算了长江经济带绿色创新效率演变格局;肖黎明等(2019)基于生产函数的随机前沿分析法分析了中国 2004—2015 年各省份的绿色创新效率。

综上所述,现有对绿色创新活动的研究大多聚焦于省域层面,城市尺度实证研究有待进一步丰富。实际上,城市不仅是创新生态系统的最佳载体,而且是政府开展环境治理的最有效单元,可以更加高效地调动多方投入并进行管控(Gibbs, et al., 2000; Feiock, et al., 2014)。因此,相比于省域尺度,在城市尺度上推进长三角城市群更高质量一体化发展更具有可操作性。另外,在创新成为区域经济发展核心驱动力的背景下,绿色创新效率研究亟待丰富。尤其是目前经济地理学者多从经济发展效率视角展开研究(刘杨等,2019;车磊等,2018),这在一定程度上弱化了绿色创新的核心作用。由此,本文认为从省域层面测度绿色创新效率不利于考量空间溢出效应的影响,城市才是最适宜的研究单元。同时,绿色创新作为创新发展的新范式,也具有传统创新的典型空间特征,在考虑绿色创新效率发展异质性的同时,要重点考虑空间关联效应。所以,本文从城市尺度对长三角城市群绿色创新效率及其空间关联进行较为全面的探索性研究,以期更客观地反映长三角城市群绿色创新效率的时空特征,明晰不同类型城市绿色创新效率的提升路径,为长三角更高质量一体化发展提供理论决策支撑。

## 三 研究方法和数据来源

绿色创新能力的提高不仅需要加大创新投入,更需要提升创新效率,特别是在投入和产出方面考虑环境和能耗的绿色创新效率。本文的绿色创新效率既不同于单纯追求经济利益的传统创新效率,也不同于单纯考虑环境技术创新的投入产出效率。本文认为,绿色创新效率是指在传统创新的基础上综合考虑环境污染和能源消耗后的高质量创新发展效率测度,是创新效率的绿色指数。

### (一) 研究方法

本文基于投入—产出视角构建复合型指标体系,基于投入—产出视角,运用超效率数据包络模型

(Super-SBM) 计算长三角城市群各城市的绿色创新效率;其次,采用 Global Malmquist-Luenberger (GML) 模型测算各城市绿色创新全要素生产率 (Green Total Factor Productivity, GTFP) 的变动情况,以此衡量绿色创新效率的动态变化,并从技术进步和技术效率两个方面分析其动力机制。同时,借助 ArcGIS、Geoda 等软件,运用探索性空间数据分析方法对绿色创新效率进行空间可视化表达,揭示绿色创新效率的空间格局及其演变特征。

### 1. 超效率数据包络模型

已有绿色创新效率的研究主要通过数据包络分析 (DEA) 和随机前沿分析 (SFA) 模型对效率进行相关评价。由于 SFA 模型的设置中产出项个数配置仅能为 1,不适用于分析多产出问题,现有多投入多产出效率分析的研究成果一般采用传统 DEA 模型。但是,传统的 DEA 模型假设所有产出均为期望产出,而实际生产中某些产出指标却会产生效率的降低,这种产出被称为“非期望产出”。针对“非期望产出”,Tone (2001) 提出了非径向、非角度的 DEA 模型,即 SBM 模型,其最大的优点是,可以同时从投入和产出两个角度计算无效率情况,且效率结果不存在弱有效问题。

鉴于本文研究长三角城市群 26 个城市,这些研究单元的绿色创新效率可能会同时处于最优状态,无法有效细化它们之间投入产出相对效率的区分度量,因此,本文进一步优化 SBM 模型,参考 Li (2013) 等的方法,采用超效率 SBM 模型 (即 Super-SBM 模型),以解决资源约束和非期望产出下有效单元之间的效率比较问题。值得关注的是,由于 Super-SBM 模型将所有有效决策单元重新进行递移推算,所以本文测算结果中前沿面上的效率值高于传统模型的运行结果。假设生产系统中有  $n$  个决策单元 (DUM),生产可能性集合为:

$$\bar{P}\left\{\left(\bar{x}, \bar{y}^g, \bar{y}^b\right) \mid \bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq j_0}^n \lambda_j x_j; \quad \bar{y}^g \leq \sum_{j=1, j \neq j_0}^n \lambda_j y_j^g; \quad \bar{y}^b \geq \sum_{j=1, j \neq j_0}^n \lambda_j y_j^b; \quad \bar{y}^g \geq 0, \lambda \geq 0\right\}$$

考虑非期望产出的 Super-SBM 模型如下:

$$\tau^* = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\bar{x}_i}{x_{i0}}}{\frac{1}{(s_1 + s_2)} \left( \sum_{r=1}^{s_1} \frac{\bar{y}_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{\bar{y}_r^b}{y_{r0}^b} \right)}$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} y^g \leq \sum_{j=1, j \neq j_0}^n \lambda_j y_j^g \\ \bar{y}^b \geq \sum_{j=1, j \neq j_0}^n \lambda_j y_j^b \\ \bar{x} \geq x_0, \bar{y}^g \leq y_0^g, \bar{y}^b \geq y_0^b, \lambda \geq 0 \end{cases}$$

其中,  $\lambda$  是权重向量,  $\tau^*$  表示目标效率值。目标函数  $0 < \tau^* < 1$  时表示生产决策单元相对无效,存在效率耗损,可以观察松弛变量,通过优化投入量、期望产出量和非期望产出量的方式改进绿色创新效率。  $\tau^* \geq 1$  时表示生产决策单元位于最优生产前沿面上,效率较高,且  $\tau^*$  越大表明该单元越有效率。

### 2. Global Malmquist-Luenberger 指数

Super-SBM 模型仅能测度某时间截面的静态绿色创新效率,可用来横向比较长三角城市群各城市间的绿色创新效率值。但是,事物的发展是一个长期连续的过程,需要从多个时间点来分析生产决策单元的生产率变动情况。以往研究多采用 Malmquist 全要素生产率 (Total Factor Productivity, TFP) 指数方法,但综合本文样本单元数量和数据特征,本文使用 GML 模型从时间维度纵向对比城市的绿色创新效率值变化率。同时,为探析绿色创新效率变动的因素来源,本文又将绿色创新效率进一步分解为技术进

步(TC, Technology Change)指数和技术效率(EC, Efficiency Change)指数。GML模型以所有各期的总和作为参考,各期参照同一前沿面,所以GML指数公式如下:

$$GML(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = (GML_t \times GML_{t+1})^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right] = EC \times TC$$

式中,  $(x^t, y^t)$  表示第  $t$  期的投入产出关系,  $D_0^t(x^t, y^t)$ 、 $D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$  表示距离函数,  $(x^t, y^t)$  向  $(x^{t+1}, y^{t+1})$  的变化过程就是绿色创新效率的变化过程。GML指数大于1,表示城市绿色创新效率提升,反之,则停滞或衰退。

### 3. 全局自相关分析

为了进一步探究城市间绿色创新效率的演化格局,本文采用全局 Moran's  $I$  指数来检验长三角城市群26个城市之间是否存在空间依赖性 or 空间异质性,以分析长三角城市群内的全局空间关联特征,全局 Moran's  $I$  指数的公式如下:

$$I = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n (x_k - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{s^2 \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n W_{kj}}$$

式中,  $k, j$  表示各个城市,  $n$  为城市总数,  $x_k$  和  $x_j$  为城市绿色创新效率值,  $W_{kj}$  为空间权重矩阵,  $s^2$  为样本方差。全局 Moran's  $I$  值一般在  $[-1, 1]$  之间,大于0时表示存在空间正相关,等于0时表示空间无关联,小于0时表示存在空间负相关。最后,研究往往需要采用  $Z$  值对统计结果进行检验,以保证结果的稳健性,其公式如下:

$$Z(I) = \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}}$$

式中,  $Z$  为检验统计量,  $E(I)$  为 Moran's  $I$  期望,  $Var(I)$  为其方差。

### (二) 指标体系构建

对长三角城市群绿色创新效率的度量,不仅要准确衡量创新效率,还要体现创新过程中的“绿色”属性;不仅要投入—产出角度考虑投入要素在生产过程中的利用率,还要加入绿色化的理念,充分考虑资源消耗及环境污染。当然,鉴于长三角城市群内工业高度集聚,且科技创新多来自工业领域,本文考量的绿色创新不同于以上广义的绿色创新,而是基于狭义范畴的工业技术创新,其内涵是在工业创新的各个阶段都遵循生态学原理和生态经济规律,从而引导创新朝着减少工业资源和能源消耗、减少环境污染和生态破坏、使经济发展与生态环境相协调的方向转变,以提高城市工业生态经济综合效益。

在已有相关研究成果的基础上,结合知识生产函数和投入—产出理论,本文建立长三角城市群绿色创新效率综合评价指标体系,分别从工业创新投入、绿色发展投入以及工业创新产出、绿色发展非期望产出选取相应指标。之所以以工业来衡量城市发展程度,是因为工业是长三角城市群实现更高质量一体化的关键,且数据比较齐备。具体评价体系包括5项二级指标、9项三级指标,如表1所示。

在运用 Super-SBM 和 GML 模型时一般规定投入指标数与产出指标数总量要小于、等于  $1/3$  评价单元的个数(张俊容等,2004)。因此,对长三角城市群26个地级及以上城市进行评价要求投入产出指标最多为9个,本文最终选取9个指标,基本符合该方法使用的经验法则。

### (三) 数据来源

本文所使用的数据包含基础地理地图数据和社会经济统计数据两部分。依据2016年6月国家发改委和住建部发布的《长江三角洲城市群发展规划》,本文的研究对象区域——长三角城市群包括上海市,江苏省的南京、无锡、常州、苏州、南通、盐城、扬州、镇江、泰州,浙江省的杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、金华、舟山、台州,安徽省的合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、滁州、池州、宣城等26个城市。

表 1 城市绿色创新效率指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
投入	研发投入	工业企业从事 R & D 活动人员数量
		工业企业 R & D 内部经费支出
	能源投入	工业综合能源消费量
	资本投入	工业固定资产投资总额
产出	期望产出	工业专利授权量
		工业企业新产品产值
	非期望产出	工业废水排放量
		工业二氧化硫排放量
		工业烟尘排放量

2005 年,党的十六届五中全会提出建设“资源节约型社会”和“环境友好型社会”,强调人类生产活动与自然生态的可持续发展,因此,本文的研究时段为 2006—2016 年共 11 年。社会经济统计数据主要是研究年份内规模以上工业企业活动数据,考虑到数据的权威性、可得性以及连续性,所有数据来源于 26 个城市的统计年鉴和统计公报、《中国城市统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》以及国家专利局;对于个别年份数据的缺失,则采用插值法补齐。长三角城市群矢量地图数据,来源于国家基础地理信息中心(<http://ngcc.sbsm.gov.cn>)。

#### 四 长三角城市群绿色创新效率的时序演变

##### (一) 绿色创新效率测算

本文借助 MaxDEA 软件对投入和产出指标进行处理,采取 Super-SBM 模型得到了 2006—2016 年长三角城市群 26 个城市的绿色创新效率值,结果如表 2 所示。

长三角城市群绿色创新效率均值最小为 0.90,最大为 1.07,绿色创新效率总体呈上升趋势。总体来看,2006—2010 年各城市绿色创新的平均效率不断上升,2010 年效率值达到最高,为 1.07;2011—2016 年各城市绿色创新的平均效率呈现波动上升,2011 年和 2013 年有所下降。长三角城市群绿色创新效率趋于上升的原因可能是:长三角城市群总体创新实力较强,在创新基础设施、人才和制度建设等方面已形成一套较为完备的体系;且绿色创新作为一项具有巨大社会效益的正向外外部性很强的行为,政府制定更为严格的环境保护措施和法规及给予企业更多的绿色创新资金支持和政策优惠,倒逼产业通过提高创新能力实现转型升级。

从城市层面来看,2006—2016 年,南京、无锡、常州、金华、宁波等 13 个城市效率值总体呈上升趋势,上海、湖州、滁州等 6 个城市效率值趋平,表明这些地区在绿色创新活动中所投入的人财物与其所获得的经济效益、社会效益(环境效益和能源效益)是相称的。滁州、湖州、金华等城市的绿色创新效率较高,与其工业后发优势存在密切关系,这些城市的第一产业仍占较大比重,工业的比重相对较低,因此发展包袱较少,能够及时适应绿色创新发展的要求。而上海、南京等城市则是更多受益于其创新能力,集聚着中国较多的大学和科研院所,创新能力在全国处在前沿位置,加之近年来环境政策的日益落实,直接推动这些城市绿色创新效率的提升。另外,盐城、芜湖、马鞍山等 7 城市的绿色创新效率总体有所下降,可能是由于技术创新不足、经济增长模式粗放引致。

表2 2006—2016年长三角城市群绿色创新效率的实证结果

年份	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
上海	1.46	1.45	1.38	1.40	1.38	1.29	1.21	1.17	1.20	1.22	1.20
南京	0.44	0.41	0.47	0.53	0.49	0.50	0.49	0.56	1.00	1.01	1.01
无锡	0.22	0.26	0.28	0.36	0.42	0.78	1.03	1.00	1.01	0.73	0.54
常州	0.27	0.26	0.25	0.29	0.57	1.08	1.12	1.11	1.07	1.04	0.48
苏州	0.17	0.15	0.37	1.03	1.00	1.08	1.10	1.22	1.17	1.13	1.09
南通	0.34	0.34	0.35	0.46	0.64	1.02	0.55	0.45	0.45	0.45	0.35
盐城	0.29	0.36	0.26	0.32	0.30	0.18	0.17	0.14	0.13	0.12	0.10
扬州	0.28	0.30	0.36	0.50	0.43	1.06	1.05	0.52	0.54	1.00	1.01
镇江	0.46	0.50	0.60	1.01	0.48	0.47	0.60	0.69	1.04	1.03	1.00
泰州	0.48	0.43	0.19	0.31	0.43	0.38	1.02	0.50	0.66	1.04	1.03
杭州	1.00	0.69	1.05	1.09	1.16	1.18	1.22	1.22	1.19	1.18	1.21
宁波	0.32	0.43	0.45	0.48	0.60	0.73	1.03	1.05	1.09	1.13	1.04
嘉兴	0.29	0.39	0.51	0.41	0.68	1.01	0.97	1.02	1.01	1.06	1.04
湖州	1.04	1.04	1.04	1.01	1.02	0.77	0.74	1.00	1.10	1.08	1.02
绍兴	1.09	1.09	1.09	1.09	1.07	1.08	1.05	1.05	1.05	1.06	1.08
金华	0.36	0.37	0.36	0.41	0.54	1.01	1.01	1.01	1.01	1.03	1.02
舟山	2.08	2.43	2.38	2.29	1.71	1.76	1.80	1.91	1.54	1.12	3.12
台州	1.40	1.08	1.14	1.20	1.51	1.06	1.18	1.23	1.35	1.14	1.07
合肥	1.16	1.18	1.34	1.46	1.19	1.05	1.04	1.11	1.11	1.19	1.37
芜湖	1.31	0.50	1.00	1.02	1.06	1.22	1.16	1.02	1.08	1.04	1.02
马鞍山	1.05	1.10	1.02	1.20	1.14	0.44	0.43	0.47	0.38	0.36	0.30
铜陵	1.26	1.33	1.29	1.15	1.35	1.15	1.06	1.01	1.10	1.01	1.00
安庆	1.38	1.34	2.67	1.15	1.13	1.06	1.07	1.18	1.06	1.16	1.20
滁州	1.05	1.09	1.13	1.35	1.02	0.79	1.14	1.14	1.14	1.09	1.10
池州	2.08	2.42	2.21	3.57	5.08	2.08	2.19	2.37	2.18	2.49	2.26
宣城	2.21	2.83	1.82	1.47	1.42	1.01	1.04	1.00	1.03	1.08	0.59
均值	0.90	0.92	0.96	1.02	1.07	0.97	1.02	1.01	1.03	1.04	1.05

## (二) 绿色创新效率分解

城市绿色创新效率具有时间效应,即是一个演化的动态过程,研究中运用 Super-SBM 模型分析时应同时考虑不同时期的前沿面,将基于投入—产出的过程长期连续表现出来。为了更加具体地分析城市绿色创新效率,本文运用 Global Malmquist-Luenberger 指数法测算 2006—2016 年长三角城市群各城市的绿色创新效率,结果如表 3 所示。

2006—2016 年,长三角城市群半数城市的绿色创新效率保持稳定或上升。由表 3 可知,仅无锡、金华、合肥、滁州的 *GML* 值大于 1,说明在这些城市绿色创新效率年均保持上升发展趋势,其年均增长率分别为 7%、7%、6%、11%;上海、南京、苏州、杭州、绍兴、舟山、芜湖、安庆、池州的 *GML* 值等于 1,表现稳定;其余城市的 *GML* 指数小于 1,说明有不同程度的退步。

进一步将绿色创新效率分解为技术进步变化(*TC*)和技术效率变化(*EC*),通过对比 *EC* 和 *TC* 的值,可以发现长三角城市群绿色创新效率的贡献主要来自技术效率变化(*EC*)的提高,除南通、扬州、镇江、泰州、宁波、嘉兴、台州外,其他城市的 *EC* 指数均大于、等于 1,而 *TC* 值则有 13 个城市小于 1,具体如图 1。*EC* 和 *TC* 的不一致进一步说明,城市在发展过程中过于强调现有资源禀赋下对技术的利用情况而忽视了城市技术的进步情况,导致对新技术的开发出现滞后。

表 3 2006—2016 年长三角城市群绿色创新效率变动指数

	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>TC</i>		<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>TC</i>
上海	1.00	1.00	1.00	湖州	0.97	1.00	0.97
南京	1.00	1.00	1.00	绍兴	1.00	1.00	1.00
无锡	1.07	1.00	1.07	金华	1.07	1.07	1.00
常州	0.92	1.00	0.92	舟山	1.00	1.00	1.00
苏州	1.00	1.00	1.00	台州	0.88	0.93	0.94
南通	0.87	0.92	0.94	合肥	1.06	1.00	1.06
盐城	0.88	1.07	0.82	芜湖	1.00	1.00	1.00
扬州	0.92	0.97	0.95	马鞍山	0.93	1.00	0.93
镇江	0.89	0.96	0.94	铜陵	0.95	1.00	0.95
泰州	0.85	0.90	0.94	安庆	1.00	1.00	1.00
杭州	1.00	1.00	1.00	滁州	1.11	1.08	1.02
宁波	0.93	0.97	0.96	池州	1.00	1.00	1.00
嘉兴	0.93	0.97	0.96	宣城	0.88	1.00	0.88

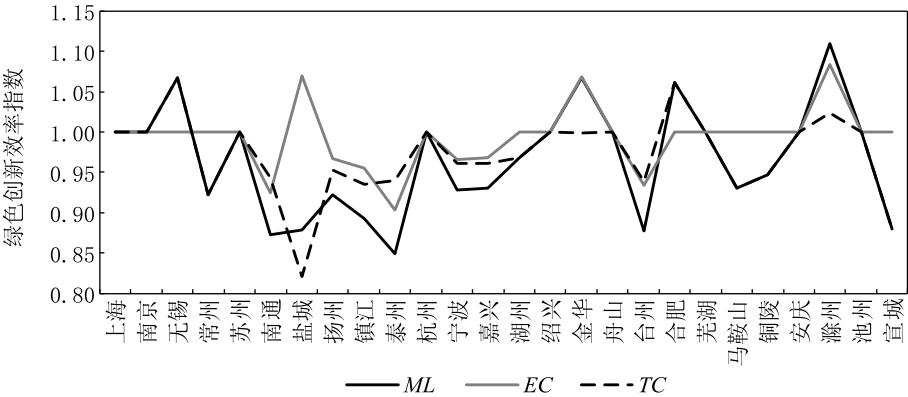


图 1 2006—2016 年长三角 26 个城市绿色创新效率指数及分解

从分解情况来看,长三角城市群中半数城市的 *TC* 值小于 1,这也与前文结果相类似,说明长三角城市在自身资源禀赋与技术的开发和利用上没有达到有效的平衡,已经出现了技术进步跟不上技术开发效率的状况,如常州、盐城、金华、马鞍山、铜陵、滁州、宣城这类城市技术进步变化和技术效率变化相差 5% 以上。*GML* 指数的计算结果进一步证明了长三角城市群绿色创新效率存在边际效率递减的状况,如果城市仅着眼于现有技术的利用和开发,将不能带来持久的发展。

五 长三角城市群绿色创新效率的格局演变与分类

(一) 绿色创新效率格局演变

根据绿色创新效率的演进特征,本文选取 2006 年、2011 年和 2016 年 3 个特征节点,运用 ArcGIS 软件的自然断裂法,将绿色创新效率划分为高水平、较高水平、较低水平和低水平 4 种类型(见图 2)。

如图 2 所示,长三角城市群绿色创新效率在空间上呈不均衡分布,但不均衡程度趋于缩小,尤其是长三角城市群东北向城市的绿色创新效率上升明显。总体来看,2006—2016 年高水平 and 较高水平的城市数量大幅增加,2016 年达到 20 个城市。具体来说,池州、舟山的绿色创新效率一直保持着高水平态势;泰州、扬州、合肥、南京、镇江、苏州、宁波等城市的绿色创新效率均有不同程度的提升,说明这些城市

在发展过程中考虑到经济发展与绿色发展之间的关系,通过创新提高绿色发展效率。反之,低水平和较低水平绿色创新效率的城市数量下降迅速,除盐城一直处于较低水平外,马鞍山、芜湖、上海等城市的绿色创新效率水平均有不同程度的下降。从绿色创新效率的空间格局来看,2006年除上海以外,高水平效率单元主要集中于池州、宣城等发展较为落后的城市,而包括苏锡常和镇江、宁波在内的12个较为发达的城市处于低水平。2011年城市绿色创新效率值整体水平有所提升,17个城市进入较高、高水平类型,但只有舟山及池州保持在高水平,15个城市达到较高水平,而盐城、泰州、镇江、南京以及马鞍山仍处于低水平。2016年长三角城市群整体的绿色创新效率水平进一步提高,较高及以上水平的城市达到20个,盐城、南通仍处于低水平类型,宣城由2006年的高水平类型变为较低水平类型。

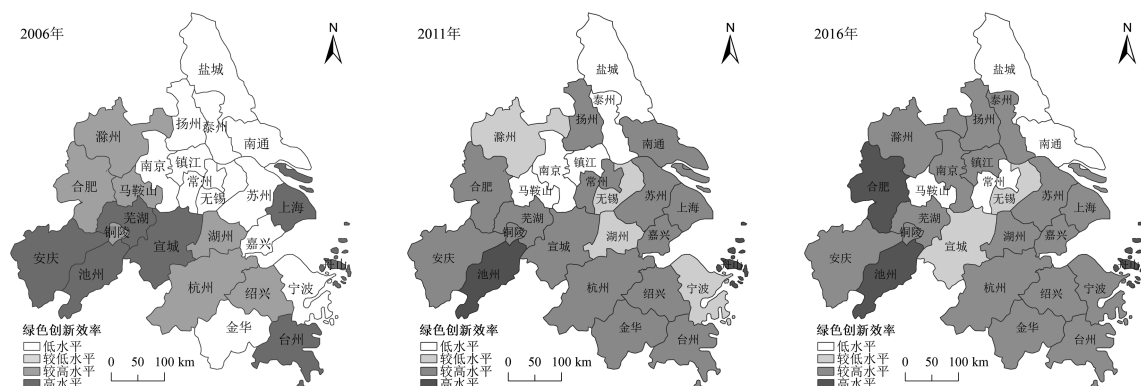


图2 长三角城市群绿色创新效率分异及演变

## (二) 绿色创新效率的空间关联特征

在开放的区域经济发展体系中,受知识溢出效应、区域所处发展阶段、政策制度等因素影响,城市可以通过与周边地区的交互作用来影响本地区的创新发展。已有研究表明,创新发展呈现出随时间推移而日趋扩大的正向溢出性(张战仁,2012),且溢出效应的强度具有随空间距离的增大而呈衰减的地理特性(金刚等,2015)。但同时创新又具有锁定特征,空间上邻近的区域间的溢出效应未必显著,甚至会出现负向溢出效应(赵增耀等,2015)。本文采用全局莫兰指数,验证长三角城市群的城市绿色创新效率是否存在空间关联性。

从图3可知,2006—2016年长三角城市群绿色创新效率的莫兰指数值均大于0,且大多数年份Moran's  $I$ 的检验统计量 $Z$ 值均通过10%的显著性水平检验,拒绝了空间不相关的原假设。这表明总体上长三角城市群各城市间绿色创新发展并非是相互隔离、随机分布的,而是存在空间相互关联。从时间序列来看,2006—2016年长三角城市群绿色创新效率的莫兰指数波动较大,即2008—2012年大幅下降,2013年快速上升,而2014—2016年又急速下降。但从整体来看,Moran's  $I$ 指数趋向于0,长三角城市群城市间的空间依赖性呈减弱趋势。同时,结合图2分析,可以认为经过11年的不断发展,在一定程度上长三角城市群各城市的绿色创新效率正向协同化(趋同)方向发展。

## (三) 绿色创新效率类型划分

处于不同发展阶段的城市,其发展路径(模式)存在差异。因此,对不同城市之间绿色创新效率的高低不能一概而论,在分析绿色创新效率影响机制及政策制定的时候要区别对待。本文以人均GDP来综合衡量一个城市的经济发展水平,将城市经济发展水平与绿色创新效率进行对比分析,并进一步将城市划分为4种类型,分别是高经济发展水平—高绿色创新效率水平(高一高)、高经济发展水平—低绿色创新效率水平(高一低)、低经济发展水平—高绿色创新效率水平(低—高)、低经济发展水平—低绿色创新效率水平(低—低);与上文绿色创新效率的空间演变特征分析相一致,选取2006年、2011年和2016年3个时间节点,各城市绿色创新类型的划分结果如图4所示。



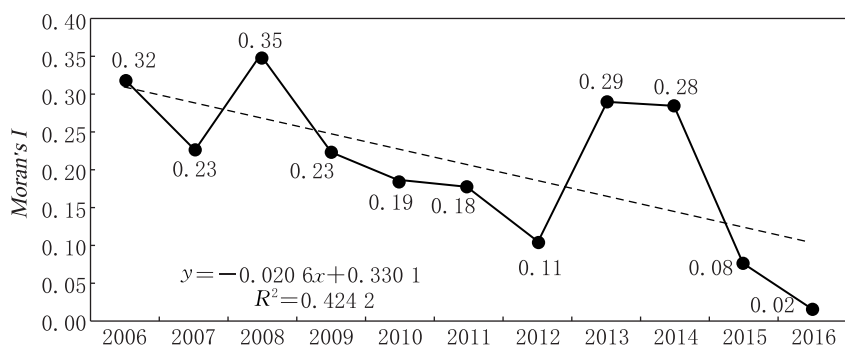


图3 2006—2016年长三角城市群绿色创新效率全局自相关指数

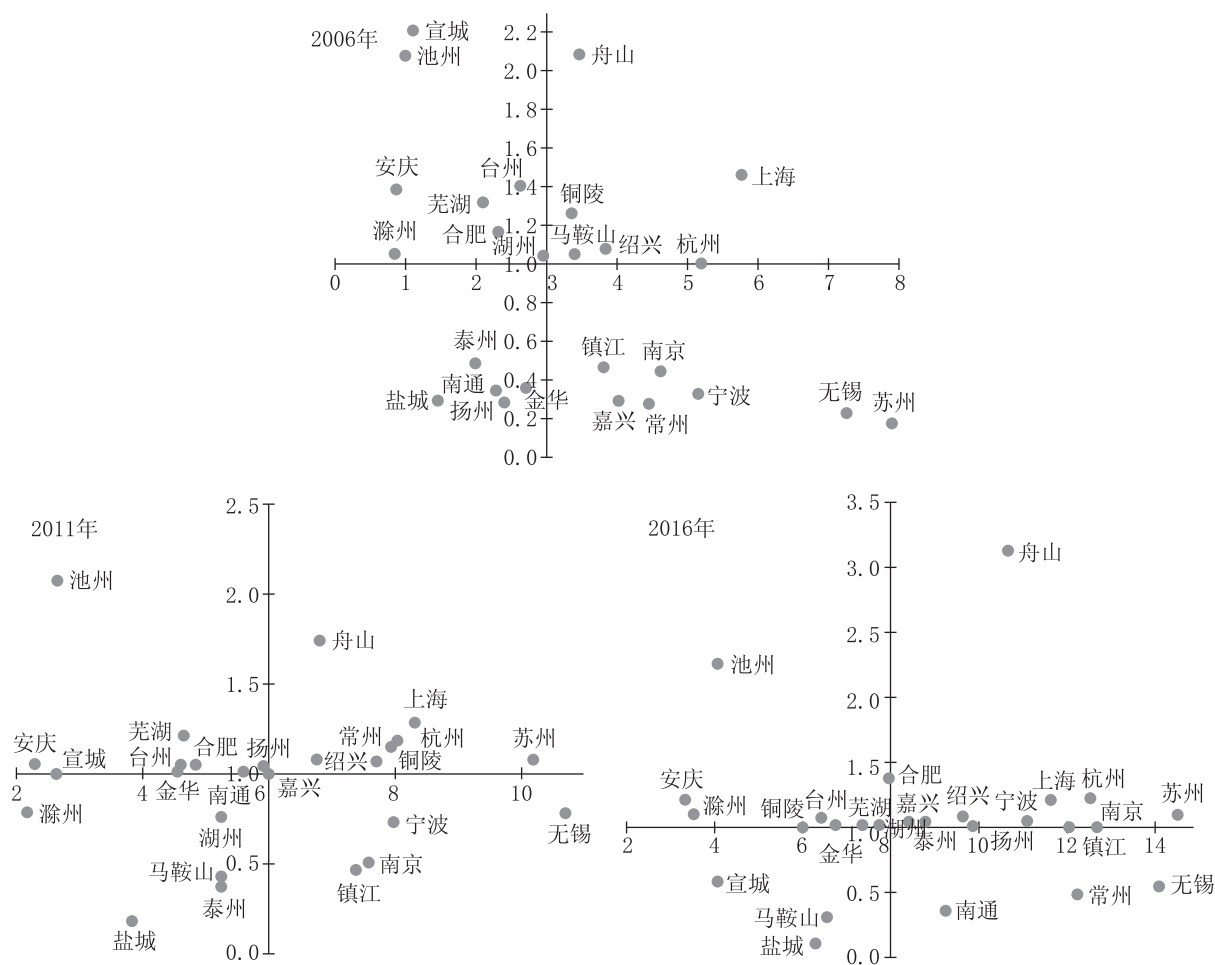


图4 2006年、2011年、2016年长三角城市绿色创新效率格局

注:图中横坐标为人均GDP/万元,纵坐标为绿色创新效率值。

2006年,处于高一高型的有上海、杭州、铜陵、绍兴、马鞍山、舟山等6个城市,处于低—高型的包括宣城、池州、安庆、滁州、合肥、台州、芜湖、湖州等8个城市,处于高一低型的有南京、宁波、无锡、苏州、常州、镇江、嘉兴7个城市,其他如南通、盐城等5个城市处于低—低型。2011年,常州、苏州、扬州、舟山4个城市跻身高—高型,金华、南通等城市由低—低型进入低—高型,在经济平稳发展的同时,绿色创新效率得到大幅提高,在绿色发展的基础上向创新驱动型城市转型发展。2016年,镇江、扬州、宁波、泰州等4个城市进入高一高型;相反,铜陵进入低—高型,人均GDP有所降低,相应的绿色创新水平也有所下

降,但仍维持在生产的前沿面上;南通由低—高型转变为高一—低型,绿色创新效率落后于其他城市。

总体而言,综合考量城市经济发展水平和绿色创新效率可以得到不同城市类型的发展途径。一方面,高一—高型的城市大多受益于其发展阶段,地区经济发展水平高相应会投入更多的创新资源;另一方面,经济发展水平高的城市往往在创新管理水平、高等教育质量以及环境保护意识方面也处于先进之列,更加注重环境保护和经济发展的兼顾。低—高型的城市往往依靠其绿色基础,主要表现投入较少且非期望产出较低,这在一定程度上弥补了创新能力不足的劣势,因此其绿色创新效率也基本维持在一个较高水平。处于高一—低型的城市往往较其他城市经济体量、创新规模较大,但是创新效率下降、环境状况堪忧,说明这些城市经济发展虽走在前列,但面临着绿色环境问题;另一方面,这类城市可能仍处于工业占主导的发展阶段,承接产业的门槛较低,导致区域内可能大量引入技术较落后、污染较严重的产业。处于低—低型的城市因为科技产出不足导致其科技研发效率较低;同时,这类地区可能存在产业结构不完善的问题,主要由污染密集型产业带动发展,能源消耗和环境污染较严重,从而导致其成果转化阶段存在大量的非期望产出,在经济发展停滞不前甚至有所后退的情况下生态压力进一步加大。

综合以上结论,可以对不同类型城市相应的绿色创新效率提升路径进行分析。针对高一—高型城市,未来应该合理运用其发展基础优势(如雄厚的资本、丰富的人才资源),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;低—高型城市更适宜选择资本集约型路径,即要提高各类资本的利用效率,在尽可能保护已有环境的基础上着力于加速经济发展;高一—低型城市应把重心放在能耗节约方面,通过提高转换效率实现绿色与经济的协调发展;而对于低—低型城市来说,应该提升科技研发效率,关注产业结构升级难题,并在经济发展过程中重视绿色发展的重要性和技术创新的关键性。总的来说,各个城市在考虑提升路径时要根据自身的实际情况,采取多种提升方式、多管齐下,按照其经济发展水平与绿色创新效率的组合类型,制定因地制宜的城市发展方案。

## 六 结论与讨论

本文基于绿色创新的本质内涵,综合考虑城市在创新过程中的创新效益和环境效益,顾及了从传统创新到绿色创新研究的转变;同时,鉴于城市绿色创新过程中的非期望产出,本文运用 Super-SBM 方法建立了城市尺度绿色创新效率测度模型,克服了传统方法的缺陷,从静态、动态两方面研究了长三角城市群绿色创新效率;然后,运用探索性空间分析方法探究了长三角城市群内绿色创新效率的空间分布及其空间关联特征。本文的主要结论如下:

1. 2006—2016 年,长三角城市群绿色创新效率整体呈上升趋势,但城市之间存在异质性。2006—2010 年各城市绿色创新平均效率不断上升,2010 年效率值达到最高;2011—2016 年各城市绿色创新平均效率呈现波动上升,2011 年和 2013 年有所下降。具体到城市群内部,2006—2016 年南京、无锡、常州、金华、宁波等 13 个城市总体呈上升趋势,上海、湖州、滁州等 6 城市趋于平稳,而另外 7 个城市总体上有所下降,且波动较大。

2. 2006—2016 年,长三角城市群半数城市的绿色创新效率保持不变或上升,绿色创新效率的贡献主要来自技术效率水平的变化,而技术进步跟不上技术效率的变化,即着力于现有技术开发和利用而忽略了技术的持续进步。

3. 近年来,长三角城市群绿色创新效率的差异趋于缩小,城市绿色创新效率正在向协同化方向演变。总体来看,江苏省绿色创新效率提升迅速;浙江省绿色创新效率稳步提升且相对均衡;安徽省绿色创新效率呈先下降、再上升的趋势。各城市间的空间关联性相对下降,高质量一体化发展格局初步形成。

4. 结合城市经济发展水平,本文将长三角城市群 26 个城市的经济发展水平与绿色创新效率归结为高一—高、高一—低、低—高、低—低 4 种组合类型城市,并提出相应的建议。高一—高型城市多受益于其自身的发展阶段,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;低—高型城市往往依靠其绿色基础,更适宜走资本集约型的发展道路;高一—低型城市创新发展走在前列,但也面临

环境问题,应通过提高转换效率实现绿色与经济协调发展;低—低型城市科技研发效率较低且存在产业结构升级难题,应关注产业结构调整,加快提升科技研发效率。

鉴于研究的侧重点和受客观因素限制,本文仍存在一些不足有待未来进一步深化研究。首先,因为数据可得性问题,本文构建的城市尺度绿色创新效率评价体系仍存在局限,未来仍需在获取更合理的指标基础上开展更为深入的研究;其次,在空间关联性研究的基础上,可以进一步使用相应空间面板模型研究影响城市绿色创新效率的因素,探讨城市绿色创新效率演变的动力机制。

(责任编辑 施有文)

## 参考文献

- 车磊、白永平、周亮、汪凡、纪学朋、乔富伟,2018,《中国绿色发展效率的空间特征及溢出分析》,《地理科学》第11期。
- 陈锐、李如刚,2009,《可持续创新的城市运行与发展模式——以北京构建首善之区的理念、格局与路径为例》,《中国科学院院刊》第6期。
- 程华、廖中举、戴娟兰,2011,《中国区域环境创新能力与经济发展的协调性研究》,《经济地理》第6期。
- 董颖、石磊,2010,《生态创新的内涵、分类体系与研究进展》,《生态学报》第9期。
- 黄磊、吴传清,2019,《长江经济带工业绿色创新发展效率及其协同效应》,《重庆大学学报(社会科学版)》第3期。
- 金刚、沈坤荣、胡汉辉,2015,《中国省际创新知识的空间溢出效应测度——基于地理距离的视角》,《经济理论与经济管理》第12期。
- 孔晓妮、邓峰,2015,《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》,《新疆大学学报(哲学·人文社会科学版)》第4期。
- 李金滢、李泽宇、李超,2016,《城市绿色创新效率实证研究——来自长江中游城市群的证据》,《江西财经大学学报》第6期。
- 李汝资、刘耀彬、王文刚、孙东琪,2018,《长江经济带城市绿色全要素生产率时空分异及区域问题识别》,《地理科学》第9期。
- 刘杨、杨建梁、梁媛,2019,《中国城市群绿色发展效率评价及均衡特征》,《经济地理》第2期。
- 卢丽文、宋德勇、李小帆,2016,《长江经济带城市发展绿色效率研究》,《中国人口·资源与环境》第6期。
- 彭文斌、文泽宙、邝嫦娥,2019,《中国城市绿色创新空间格局及其影响因素》,《广东财经大学学报》第1期。
- 肖黎明、张仙鹏,2019,《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》,《自然资源学报》第2期。
- 杨树旺、吴婷、李梓博,2018,《长江经济带绿色创新效率的时空分异及影响因素研究》,《宏观经济研究》第6期。
- 张江雪、朱磊,2012,《基于绿色增长的我国各地区工业企业技术创新效率研究》,《数量经济技术经济研究》第2期。
- 张俊容、郭耀煌,2004,《评价指标与DEA有效的关系》,《系统工程理论方法应用》第6期。
- 张战仁,2012,《创新空间溢出的差异影响研究述评》,《经济地理》第11期。
- 赵增耀、章小波、沈能,2015,《区域协同创新效率的多维溢出效应》,《中国工业经济》第1期。
- 周力,2010,《中国绿色创新的空间计量经济分析》,《资源科学》第5期。
- Blätzel-Mink, B., 1998, "Innovation Towards Sustainable Economy: The Integration of Economy and Ecology in Companies", *Sustainable Development*, Vol.6, No.2.
- Dong, L., Gu, F., Fujita, T., et al., 2014, "Uncovering Opportunity of Low-Carbon City Promotion with Industrial System Innovation: Case Study on Industrial Symbiosis Projects in China", *Energy Policy*, Vol.65.
- Feiock, R.C., Krause, R.M., Hawkins, C.V., et al., 2014, "The Integrated City Sustainability Database", *Urban Affairs Review*, Vol.50, No.4.
- Gibbs, D. and Jonas, A.E.G., 2000, "Governance and Regulation in Local Environmental Policy: The Utility of a Regime Approach", *Geoforum*, Vol.31, No.3.
- James, P., 1997, "The Sustainability Cycle: A New Tool for Produce Development and Design", *The Journal of Sustainable Product Design*, No.2.
- Keeble, J., Lyon, D., Vassallo, D., et al., 2005, *Innovation High Ground: How Leading Companies are Using Sustainability Driven Innovation to Win Tomorrow's Customers*, Boston: Arthur D. Little.
- Li, H., Fang, K., Yang, W., et al., 2013, "Regional Environmental Efficiency Evaluation in China: Analysis Based on the Super-SBM Model with Undesirable Outputs", *Mathematical and Computer Modelling*, Vol.58.
- Mirata, M. and Emtairah, T., 2005, "Industrial Symbiosis Networks and the Contribution to Environmental Innovation: The Case of the Landskrona Industrial Symbiosis Programme", *Journal of Cleaner Production*, Vol.13.
- Rennings, K., 2000, "Redefining Innovation: Eco-innovation Research and the Contribution from Ecological Economics", *Ecological Economics*, Vol.32, No.2.
- Tone, K., 2001, "A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis", *European Journal of Operational Research*, Vol.130, No.3.