

# 基于三阶段 DEA-windows 和空间相关的 长江经济带创新效率时空特征研究

卢小兰<sup>1</sup>, 张可意<sup>2</sup>

(1. 江汉大学 商学院, 湖北 武汉 430056; 2. 华中师范大学 数学与统计学学院, 湖北 武汉 430079)

**摘要:**运用三阶段 DEA-windows 和空间统计方法, 测算 2006—2017 年长江经济带创新效率, 分析长江经济带各省市及上中下游地区创新效率的时空特征。研究表明: 在剔除管理无效率和随机扰动前后, 11 省市均未实现 DEA 有效, 创新效率的时空差异均明显; 调整后长江经济带综合效率和规模效率均值较调整前明显更小, 纯技术效率均值更高; 长江经济带综合效率和规模效率随时间单调上升, 纯技术效率随时间波动不大, 综合效率不高主要由规模效率非有效导致; 长江经济带综合效率及规模效率的空间差异和空间正相关明显, 但这种空间特点均有所减弱, 纯技术效率的空间差异和空间相关均不明显; 调整后长江经济带创新效率呈现由东向西递减态势, 区别于调整前中游地区为创新“洼地”的特点; 此外, 环境变量对 3 种投入冗余的影响基本一致, 表现为环境规制、财政支持和教育水平的加强有利于提升创新效率, 经济条件、研发规模和产业结构的提升可能导致投入的冗余。

**关键词:**长江经济带; 创新效率; 三阶段 DEA-windows; 空间相关

**中图分类号:** C93      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1673-0143(2020)05-0021-15

**DOI:** 10.16389/j.cnki.cn42-1737/n.2020.05.003

## Research on Time-Space Characteristics of Innovation Efficiency in Yangtze River Economic Belt Based on Three-Stage DEA-windows and Spatial Correlation

LU Xiaolan<sup>1</sup>, ZHANG Keyi<sup>2</sup>

(1. School of Business, Jianghan University, Wuhan 430056, Hubei, China; 2. School of Mathematics and Statistics, Central China Normal University, Wuhan 430079, Hubei, China)

**Abstract:** Using the three-stage DEA-windows and spatial statistical analysis methods, the innovation efficiency of the Yangtze River Economic Belt from 2006 to 2017 was measured, and the time-space characteristics of the innovation efficiency of the provinces and cities in the Yangtze River Economic Belt and the upper, middle and lower reaches of the Yangtze River Economic Belt were analyzed. The results show that before and after excluding management inefficiencies and random disturbances, 11 provinces and cities have not achieved DEA effectiveness, and the temporal and spatial differences in innovation

收稿日期: 2020-02-25

基金项目: 教育部人文社会科学基金青年项目(17YJC790153)

作者简介: 卢小兰(1972—), 女, 副教授, 博士, 研究方向: 经济应用统计。

efficiency are obvious. After the adjustment, the average values of innovation comprehensive efficiency and innovation scale efficiency of the Yangtze Economic Belt are significantly smaller than before the adjustment, and the average values of pure technical efficiency are higher. The comprehensive efficiency and scale efficiency of the Yangtze River Economic Belt increase monotonously with time, while the pure technical efficiency does not fluctuate much with time, and the low comprehensive efficiency of innovation is mainly caused by the ineffective scale efficiency. The spatial difference and spatial positive correlation of the comprehensive efficiency and scale efficiency of the Yangtze River Economic Belt are obvious, but these spatial characteristics are gradually weakened. Meanwhile, the spatial difference and spatial correlation of the pure technical efficiency are not obvious. After the adjustment, the innovation efficiency of the Yangtze River Economic Belt shows a decreasing trend from east to west, which is different from that of the middle reaches of the Yangtze River with the lowest innovation efficiency before the adjustment. Also, the impact of environmental variables on the redundancy of three inputs is basically the same, which shows that the enhancement of environmental regulation, financial support, and education level is conducive to the improvement of innovation efficiency, while the improvement of economic conditions, R&D scale, and industrial structure may lead to the redundancy of inputs.

**Key words:** Yangtze River Economic Belt; innovation efficiency; three-stage DEA—windows; spatial correlation

长江经济带横跨中国东部、中部和西部等区域,覆盖长江上游、中游和下游共 11 个省市。2016 年,《国家创新驱动发展战略纲要》《长江经济带创新驱动产业转型升级方案》和《长江经济带发展规划纲要》中均要求“将长江经济带建设成为引领全国转型发展的创新驱动带”,创新发展需成为长江经济带高质量发展的根本保证。但长江经济带面临创新资源要素分布不均衡、创新体系不健全、协同创新不足等问题。优化长江经济带区域创新资源配置,提升其创新效率,是解决上述问题的重要途径,因此长江经济带创新效率研究具有重大理论与实践意义。

基于区域视角对长江经济带创新效率评估主要从整体发展状况、上中下游地区和沿线省份差异的角度进行研究。刘钊等<sup>[1]</sup>研究发现长江经济带上中下游地区创新效率差异显著且这种差异呈增长趋势,中游地区是创新发展“洼地”。毛良虎等<sup>[2]</sup>研究发现长江经济带创新效率呈“哑铃”状格局,中游地区创新效率较低;罗颖等<sup>[3]</sup>运用三阶段 DEA 方法,研究发现长江经济带创新综合效率时空差异明显,创新综合效率值从东向西依次递减。相关文献还从空间角度对长江经济带创新效率进行了研究。毛良虎等<sup>[4]</sup>运用空间统计方法,发现长江经济带创新能力具有显著的空间正相关关系,表现为“中心—外围”空间格局。武晓静等<sup>[5]</sup>和张建伟等<sup>[6]</sup>发现长三角地区和中上游的省会城市创新产出较高,各城市创新产出呈现空间正相关关系。

研究方法上,创新效率测算主要包括 DEA 模型<sup>[1]</sup>、随机前沿模型<sup>[7]</sup>以及结合其他方法的 DEA 改进方法<sup>[3,8-12]</sup>和 Tobit 计量模型<sup>[13]</sup>等方法。创新效率空间特征的研究中,主要分别利用空间统计和空间计量方法,检验创新效率的空间集聚及空间溢出特征<sup>[4-6,14-17]</sup>。

但目前大多文献在研究创新效率时均未考虑环境因素和随机干扰,且主要利用逐年的截面数据进行当年的创新效率测算,不能对同一个决策单元不同年份的创新效率进行纵向比较。针对上述问题,本文构建三阶段 DEA—windows 模型对长江经济带创新效率进行测算,并结合空间统计方法分析长江经济带整体和上中下游地区间创新效率的时空特点,旨在为长江经济带创新

效率的提升提供借鉴。

## 1 研究方法和数据来源

### 1.1 方法与模型

传统DEA模型不能将管理无效率、环境因素和随机扰动项等对决策单元(decision making unit, DMU)效率评价的不同影响分离开来,为准确地评价DMU的效率,有必要剔除环境因素和随机扰动的影响。三阶段DEA-windows(DEA窗口分析)方法不仅能剥离环境因素和随机干扰的影响,还可弥补小样本DMU数量不足,在移动平均的原理下,对不同时点的DMU进行效率测算,所得效率值更加客观,而且能进行纵横向比较。

1.1.1 三阶段DEA-windows方法 1) 第一阶段:DEA-windows模型测算初始创新效率和投入冗余量

首先,假设有 $K$ 个DMU,每个DMU有 $M$ 个投入和 $N$ 个产出, $DMU_k$ 的综合效率值力 $\theta_k$ 。采用基于规模报酬不变(CRS)的投入角度模型,测算长江经济带各省市创新综合效率值。CRS模型为

$$\begin{aligned} \min_{\theta_k, \lambda_k} & \theta_k - \epsilon \left( \sum_{m=1}^M S_{mk}^- + \sum_{n=1}^N S_{nk}^+ \right), \\ \text{s.t.} & \sum_{k=1}^K \lambda_k X_{mk} + S_{mk}^- = \theta_k X_{mk}, \quad m = 1, 2, \dots, M, \\ & \sum_{k=1}^K \lambda_k Y_{nk} - S_{nk}^+ = Y_{nk}, \quad n = 1, 2, \dots, N, \\ & \lambda_k \geq 0, S_{mk}^- \geq 0, S_{nk}^+ \geq 0, \end{aligned}$$

其中, $\epsilon$ 为无穷小量; $S_{mk}^-$ 和 $S_{nk}^+$ 分别为 $DMU_k$ 的第 $m$ 种投入松弛量和第 $n$ 种产出松弛量; $\lambda_k$ 为第 $k$ 个 $DMU_k$ 的权重; $X_{mk}$ 为 $DMU_k$ 的第 $m$ 种投入量; $Y_{nk}$ 为 $DMU_k$ 的第 $n$ 种产出量。

并由 $\Delta X_{mk} = X_{mk} - \sum_{k=1}^K \lambda_k X_{mk} = (1 - \theta_k) X_{mk} + S_{mk}^-$  ( $m = 1, 2, \dots, M$ )计算得到各投入冗余量。

其次,在上述CRS模型中加入约束条件 $\sum_{k=1}^K \lambda_k = 1$ ,得到基于规模报酬可变(VRS)的投入角度模型。从VRS模型中可计算出纯技术效率值,进而将综合效率分解为纯技术效率和规模效率的乘积。这里,创新综合效率指创新资源要素的配置和利用等综合效率,纯技术效率是指技术进步带来的创新效率,规模效率指创新资源当前规模与最优规模间的差距。

基于上述传统DEA模型,DEA-windows具体步骤如下:

① 综合考虑稳定性和可信度,确定窗口宽度为3。

② 本文研究期间为2006-2017年,时间长度为12年,故需建立 $12 - 3 + 1 = 10$ 个窗口期,对每个窗口期中11个地区共33个DMU(即上述DEA模型中, $K = 3 \times 11 = 33$ )进行效率测算,即得11个地区在某个窗口期上的3个效率值。

③ 基于相同年份,对每个地区的效率值(其中,2006、2017年每个地区只有1个效率值;2007、2016年每个地区有2个效率值;其他年份每个地区均有3个效率值)进行平均。为保证综合效率均值依然等于纯技术效率均值与规模效率均值的乘积,本文对效率值的平均取其几何平均数。

④ 类似于第③步,基于相同年份,对每个地区的投入冗余量进行算术平均,以每个地区相同时点投入冗余量的平均值  $\Delta X'_{mkt}$  作为下一步面板 SFA 模型的因变量。

2) 第二阶段:面板 SFA 模型测算调整的投入冗余量

为得到仅由管理无效率所引起的投入冗余,本文以第一阶段得到的各投入冗余量  $\Delta X'_{mkt}$  作为因变量,以各外部环境变量作为自变量,建立面板 SFA 模型为

$$\begin{aligned} \Delta X'_{mkt} &= f^m(Z_{kt}; \beta^m) + v_{mkt} + u_{mkt}, \\ m &= 1, 2, \dots, M; k = 1, 2, \dots, K; t = 1, 2, \dots, T, \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $\Delta X'_{mkt}$  表示  $DMU_k$  在  $t$  时期的第  $m$  项投入冗余;  $f^m(Z_{kt}; \beta^m)$  表示外部环境对投入冗余的确定性影响;  $Z_{kt}$  表示一组外部环境变量值;  $\beta^m$  表示这组环境变量相应的系数,一般取  $f^m(Z_{kt}; \beta^m) = Z_{kt}\beta^m$ 。  $v_{mkt} + u_{mkt}$  为混合误差项,  $v_{mkt}$  为随机误差,并且  $v_{mkt} \sim N(0, \sigma_{mv}^2)$ 。  $u_{mkt}$  为管理无效率项,且  $u_{mkt} \sim N^+(0, \sigma_{mu}^2)$ 。

根据面板 SFA 模型回归结果,对 DMU 的初始投入量进行调整,使得所有的 DMU 处于相同的外部环境和随机条件下,调整方法为

$$\begin{aligned} \hat{X}_{mkt} &= X_{mkt} + [\max(Z_{kt}\hat{\beta}^m) - Z_{kt}\hat{\beta}^m] + [\max(\hat{v}_{mkt}) - \hat{v}_{mkt}], \\ m &= 1, 2, \dots, M; k = 1, 2, \dots, K; t = 1, 2, \dots, T, \end{aligned} \quad (2)$$

式中,  $\hat{X}_{mkt}$  表示经调整后  $DMU_k$  在  $t$  时期的第  $m$  项投入量;  $X_{mkt}$  表示初始投入量;  $[\max(Z_{kt}\hat{\beta}^m) - Z_{kt}\hat{\beta}^m]$  表示将所有的 DMU 调整至最差的外部环境;  $[\max(\hat{v}_{mkt}) - \hat{v}_{mkt}]$  表示将所有的 DMU 调整至运气最差的随机条件下。

Frontier4.1 在估计面板 SFA 模型时会算出  $\beta$ 、 $\sigma^2$  和  $\gamma$  极大似然估计值,这里  $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ ,  $\gamma = \sigma_u^2 / (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)$ 。为得到随机误差项的值,需先从混合误差项分离出管理无效率  $u_{mkt}$ , 本文根据文献[18—19]提出了如下公式

$$E(u_{mkt} | v_{mkt} + u_{mkt}) = \frac{\lambda\sigma}{1 + \lambda^2} \left[ \frac{\varphi(\varepsilon_{mkt}\lambda/\sigma)}{\Phi(\varepsilon_{mkt}\lambda/\sigma)} + \frac{\varepsilon_{mkt}\lambda}{\sigma} \right], \quad (3)$$

式中,  $\varepsilon_{mkt} = v_{mkt} + u_{mkt}$  表示混合误差项;  $\lambda = \sigma_{mu} / \sigma_{mv}$ ,  $\varphi$  和  $\Phi$  分别表示标准正态分布的密度函数和分布函数。进而,随机误差项即为

$$E(v_{mkt} | v_{mkt} + u_{mkt}) = \Delta X'_{mkt} - Z_{kt}\hat{\beta}^m - E(u_{mkt} | v_{mkt} + u_{mkt}). \quad (4)$$

3) 第三阶段:DEA—windows 模型测算调整后的创新效率

以第二阶段调整后的各投入值为新的投入,窗口长度仍然为 3,按照第一阶段同样方法利用 DEA—windows 模型重新测算综合效率、纯技术效率和规模效率。此时测度的效率已剔除环境因素和随机干扰,且利用窗口分析得到的不同时点的 DMU 创新效率能进行纵横向比较。

1.1.2 空间 Moran's I 指数 长江经济带各省市的综合效率、纯技术效率和规模效率是否存在空间相关性,可用 Moran's I 指数进行测度。全域的 Moran's I 可定义为

$$\text{Moran's } I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}}, \quad (5)$$

式中,  $W_{ij}$  为采用邻近标准或距离标准的空间权值矩阵;  $Y_i$  为第  $i$  个区域创新效率值;  $n$  为区域数;  $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$ ,  $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ 。

由于部分区域创新效率的正相关和另一部分区域间负相关可能抵消,全域 Moran's I无法揭示某一特定区域的局域空间关联效应,还需要使用局域 Moran's I测算这种效应,计算公式为

$$I_i(d) = Z_i \sum_{j=1}^n w'_{ij} Z_j,$$

其中,  $Z_i$  为  $Y_i$  的标准化变换,  $Z_i = \frac{Y_i - \bar{Y}}{S}$ ;  $w'_{ij}$  为标准化后的空间权重矩阵。

### 1.2 变量、数据来源及处理

1.2.1 指标选取 全文变量类型及指标变量见表1。创新投入指标方面,主要考虑劳动力和资本的投入。选取 R&D 人员全时当量(I1),体现对创新的人力资源投入;R&D 经费内部支出(I2)和高技术产业新产品开发经费(I3),分别体现原始创新和二次创新的资本投入。

创新产出指标方面,选取国内专利申请授权数(O1)作为衡量创新直接产出。同时,选取高技术产业新产品销售收入(O2)和技术市场成交额(O3)作为创新实现的最终市场价值。

创新效率的环境变量方面,主要受环境规制、经济环境、财政支持、教育水平、研发规模和产业结构等因素的影响。环境规制(E1)为创新设置了一定的限制条件,选取环境污染治理投资占 GDP 比重表征该变量;经济环境(E2)为创新提供一定的物质基础,用人均 GDP 表征该变量;财政支持(E3)将直接影响创新资源的配置能力,选择政府科学技术财政支出占财政总支出比重表征该指标;教育水平(E4)为创新提供一定的智力支持,用每十万人口高等学校平均在校生人数来测度该指标;研发规模(E5)对创新的影响存在两种可能:大规模企业可利用其自身的规模优势,为创新提供充足资金,提升创新效率;中小规模企业更易掌握新技术,企业创新更高效快捷。本文选择企业 R&D 经费支出占主营业务收入比重表示该指标。产业结构(E6)主要度量产业结构升级情况,用高技术产业占规模以上工业企业主营业务收入比重来测度。

表1 创新的投入产出指标及外部环境变量

Tab. 1 Innovative input-output indicators and external environmental variables

变量类型	变量	单位	变量类型	变量	单位
投入指标	R&D 人员全时当量(I1)	人年	环境变量	环境规制(E1)	%
	R&D 经费内部支出(I2)	万元		经济环境(E2)	元
	高技术产业新产品开发经费(I3)	万元		财政支持(E3)	%
产出指标	国内专利申请授权数(O1)	件		教育水平(E4)	人
	高技术产业新产品销售收入(O2)	万元		研发规模(E5)	%
	技术市场成交额(O3)	万元		产业结构(E6)	%

1.2.2 数据来源及处理 长江经济带上游包括四川、云南、贵州和重庆等省市,湖北、湖南、江西和安徽位于中游地区,上海、江苏和浙江属下游地区。2006—2017年长江经济带11省市相关数据主要来源于EPS数据库。利用各省市的价格指数,将R&D经费内部支出(I2)、高技术产业新产品开发经费(I3)、高技术产业新产品销售收入(O2)、技术市场成交额(O3)、经济环境(E2)等价值量指标调整至以2005年价格为计的值。空间统计分析中所用权重矩阵选取空间地理相邻(0-1)矩阵。第一阶段和第三阶段DEA-windows分析主要利用DEAP2.1,第二阶段面板SFA模型构建利用Frontier4.1,地理图像处理利用ArcGis10.2,其他所有数据处理主要利用Stata15.0。

各投入产出变量的相关性检验见表2。结果显示,在1%的显著性水平上,各投入产出变量间均具有显著相关性,满足利用DEA进行效率测算的同向性要求。

表 2 投入产出变量的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients of input-output variables

	O1	O2	O3	I1	I2	I3
O1	1.000					
O2	0.860***	1.000				
O3	0.439***	0.531***	1.000			
I1	0.960***	0.922***	0.567***	1.000		
I2	0.916***	0.938***	0.684***	0.980***	1.000	
I3	0.898***	0.968***	0.628***	0.955***	0.977***	1.000

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的水平下显著。

## 2 实证结果分析

### 2.1 第一阶段构建 DEA-windows 模型测算初始创新效率

第一阶段初始创新效率的测度中窗口长度为3,计算得到10个窗口期中每个窗口期的共33个决策单元的初始综合效率、纯技术效率和规模效率。以上海市综合效率测算为例,其DEA-windows 测算过程见表3。同理,可得到第一阶段各省市初始综合效率、纯技术效率和规模效率值如表4所示,第一阶段创新效率均值见表5。

表 3 DEA-windows 测算综合效率过程——以上海为例

Tab. 3 DEA-windows comprehensive efficiency measurement process with Shanghai as an example

窗口	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
2006—2008	1.000	1.000	1.000									
2007—2009		1.000	1.000	0.961								
2008—2010			1.000	1.000	1.000							
2009—2011				1.000	1.000	0.952						
2010—2012					1.000	0.963	0.978					
2011—2013						1.000	1.000	0.932				
2012—2014							1.000	0.914	0.976			
2013—2015								0.758	0.793	0.890		
2014—2016									0.727	0.819	0.838	
2015—2017										0.777	0.792	0.863
几何平均	1.000	1.000	1.000	0.987	1.000	0.971	0.993	0.864	0.826	0.827	0.815	0.863

表 4 第一阶段 DEA-windows 测算综合效率、纯技术效率和规模效率结果

Tab. 4 Results of comprehensive efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency in the first stage of DEA-windows measurement

效率	地区	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	平均	排名
综合效率	上海	1.000	1.000	1.000	0.987	1.000	0.971	0.993	0.864	0.826	0.827	0.815	0.863	0.926	3
	江苏	0.525	0.745	0.938	0.922	0.885	1.000	1.000	0.975	0.914	0.911	0.907	0.827	0.868	4
	浙江	0.927	0.908	0.874	0.920	1.000	0.919	1.000	1.000	0.900	1.000	0.926	0.868	0.936	2
	安徽	0.411	0.462	0.468	0.470	0.578	0.809	0.802	0.855	0.776	0.824	0.823	0.730	0.645	9
	江西	0.356	0.347	0.333	0.325	0.416	0.510	0.619	0.620	0.607	0.864	0.982	0.851	0.529	11
	湖北	0.386	0.546	0.558	0.452	0.491	0.519	0.627	0.851	0.890	1.000	1.000	1.000	0.657	8
	湖南	0.963	0.947	0.655	0.435	0.764	0.475	0.571	0.648	0.614	0.595	0.605	0.616	0.640	10

续表4

效率	地区	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	平均	排名
	重庆	1.000	0.905	0.947	0.873	1.000	1.000	0.984	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.975	1
	四川	0.620	0.690	0.711	0.729	0.733	0.629	0.753	0.755	0.735	0.959	0.856	0.814	0.743	6
	贵州	0.674	0.882	0.616	0.465	0.600	0.638	0.712	0.891	0.892	1.000	0.715	0.926	0.734	7
	云南	0.965	1.000	0.626	0.761	1.000	0.521	0.935	0.870	0.852	1.000	0.937	1.000	0.856	5
	下游	0.787	0.878	0.936	0.942	0.960	0.963	0.998	0.944	0.879	0.910	0.881	0.852	0.909	
	中游	0.483	0.537	0.489	0.416	0.548	0.565	0.649	0.735	0.712	0.807	0.836	0.787	0.615	
	上游	0.797	0.862	0.714	0.689	0.814	0.676	0.838	0.875	0.864	0.990	0.870	0.932	0.822	
	长江经济带	0.662	0.729	0.670	0.625	0.738	0.697	0.801	0.839	0.809	0.898	0.861	0.855	0.760	
	离散系数	0.356	0.283	0.292	0.345	0.275	0.283	0.199	0.145	0.145	0.132	0.137	0.132		
效率	地区	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	平均	排名
纯 技 术 效 率	上海	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.995	1.000	0.885	0.841	0.853	0.849	0.899	0.941	5
	江苏	0.526	0.753	1.000	0.948	0.945	1.000	1.000	1.000	0.982	1.000	1.000	1.000	0.916	6
	浙江	0.948	0.912	0.890	0.926	1.000	0.929	1.000	1.000	0.903	1.000	0.963	0.948	0.951	4
	安徽	0.581	0.576	0.524	0.521	0.643	0.829	0.807	0.937	0.799	0.825	0.824	0.744	0.704	9
	江西	0.596	0.560	0.576	0.550	0.628	0.672	0.804	0.805	0.815	0.899	0.995	0.854	0.715	8
	湖北	0.414	0.559	0.573	0.471	0.494	0.523	0.630	0.852	0.898	1.000	1.000	1.000	0.667	11
	湖南	1.000	1.000	0.680	0.484	0.850	0.511	0.578	0.671	0.639	0.603	0.611	0.626	0.670	10
	重庆	1.000	0.928	0.958	0.950	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.986	2
	四川	0.651	0.699	0.740	0.757	0.797	0.689	0.788	0.769	0.739	0.985	0.893	0.846	0.775	7
	贵州	1.000	1.000	1.000	0.957	0.988	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.995	1
	云南	1.000	1.000	0.895	0.973	1.000	0.912	1.000	1.000	0.994	1.000	0.959	1.000	0.977	3
	下游	0.793	0.882	0.962	0.958	0.981	0.974	1.000	0.960	0.907	0.948	0.935	0.948	0.936	
	中游	0.615	0.652	0.586	0.506	0.642	0.621	0.697	0.810	0.782	0.818	0.841	0.794	0.689	
上游	0.898	0.898	0.892	0.905	0.942	0.890	0.942	0.936	0.926	0.996	0.962	0.959	0.928		
	长江经济带	0.757	0.795	0.781	0.744	0.828	0.801	0.858	0.894	0.866	0.915	0.909	0.893	0.835	
	离散系数	0.284	0.223	0.225	0.274	0.207	0.223	0.176	0.122	0.130	0.129	0.125	0.132		
效率	地区	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	平均	排名
规 模 效 率	上海	1.000	1.000	1.000	0.987	1.000	0.976	0.993	0.977	0.982	0.969	0.961	0.960	0.984	4
	江苏	0.998	0.989	0.938	0.972	0.937	1.000	1.000	0.975	0.931	0.911	0.907	0.827	0.947	7
	浙江	0.978	0.996	0.982	0.994	1.000	0.990	1.000	1.000	0.997	1.000	0.962	0.916	0.984	2
	安徽	0.708	0.801	0.892	0.904	0.898	0.975	0.994	0.913	0.971	0.998	0.998	0.982	0.915	8
	江西	0.598	0.619	0.578	0.591	0.663	0.759	0.769	0.770	0.745	0.962	0.987	0.996	0.739	10
	湖北	0.933	0.977	0.974	0.957	0.995	0.992	0.994	0.999	0.991	1.000	1.000	1.000	0.984	3
	湖南	0.963	0.947	0.963	0.899	0.898	0.930	0.988	0.966	0.960	0.988	0.990	0.984	0.956	6
	重庆	1.000	0.976	0.988	0.920	1.000	1.000	0.984	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.989	1
	四川	0.953	0.987	0.960	0.963	0.919	0.913	0.954	0.982	0.993	0.974	0.959	0.962	0.960	5
	贵州	0.674	0.882	0.616	0.485	0.608	0.638	0.712	0.891	0.892	1.000	0.715	0.926	0.737	11
	云南	0.965	1.000	0.700	0.783	1.000	0.572	0.935	0.870	0.857	1.000	0.978	1.000	0.877	9
	下游	0.992	0.995	0.973	0.984	0.978	0.989	0.998	0.984	0.969	0.959	0.943	0.899	0.972	
	中游	0.785	0.823	0.834	0.824	0.854	0.909	0.931	0.908	0.911	0.987	0.994	0.990	0.893	
上游	0.887	0.960	0.800	0.762	0.865	0.760	0.889	0.934	0.933	0.993	0.905	0.972	0.885		
	长江经济带	0.875	0.917	0.857	0.840	0.890	0.871	0.933	0.938	0.935	0.982	0.947	0.958	0.911	
	离散系数	0.161	0.122	0.175	0.190	0.147	0.168	0.102	0.073	0.080	0.027	0.083	0.053		

表 5 第一阶段、第三阶段 DEA-windows 测算的创新效率均值

Tab. 5 Average innovation efficiency measured in the first and third stages of DEA-windows measurement

地区	第一阶段创新效率均值			第三阶段创新效率均值		
	综合效率	纯技术效率	规模效率	综合效率	纯技术效率效率	规模效率
上海	0.926	0.941	0.984	0.969	0.977	0.992
江苏	0.868	0.916	0.947	0.946	0.980	0.966
浙江	0.936	0.951	0.984	0.904	0.972	0.930
安徽	0.645	0.704	0.915	0.443	0.959	0.462
江西	0.529	0.715	0.739	0.268	0.980	0.274
湖北	0.657	0.667	0.984	0.579	0.963	0.601
湖南	0.640	0.670	0.956	0.441	0.973	0.454
重庆	0.975	0.986	0.989	0.512	0.997	0.513
四川	0.743	0.775	0.960	0.620	0.954	0.649
贵州	0.734	0.995	0.737	0.171	0.999	0.172
云南	0.856	0.977	0.877	0.184	0.998	0.185
下游	0.912	0.937	0.973	0.939	0.976	0.962
中游	0.615	0.688	0.893	0.417	0.969	0.431
上游	0.819	0.928	0.882	0.316	0.987	0.321
长江经济带	0.760	0.835	0.911	0.471	0.977	0.482

2.1.1 区域整体创新效率特点 整体来看,2006—2017年间,长江经济带初始综合效率、纯技术效率和规模效率分别位于 $[0.625, 0.898]$ 、 $[0.744, 0.915]$ 和 $[0.840, 0.982]$ 等区间,3种效率均先上升,于2015年达到最高点后,于2016年、2017年小幅下降。2006—2017年间,长江经济带综合效率平均为0.760,纯技术效率平均为0.835,规模效率平均为0.911,仍然是弱DEA效率,且综合效率均值和规模效率均值变化幅度基本一致,综合效率不足主要由纯技术效率不足所导致。

2.1.2 各省市创新效率特点 由表4可知,重庆、浙江和上海的综合效率、纯技术效率和规模效率变动不大,除个别年份外,其创新效率基本有效;江苏的综合效率较高,但其纯技术效率和规模效率排名都不太靠前;安徽、江西的创新综合效率、纯技术效率和规模效率在各年份均未达到创新前沿面,3种效率排名均靠后;湖南、湖北尽管在有些年份纯技术效率有效,但波动幅度较大且排名最后,尽管该两省规模效率较为有效,其综合效率较差;四川的综合效率、纯技术效率和规模效率均较为稳定,其综合效率不高的原因主要由纯技术效率不足所导致;云南、贵州的规模效率明显较差,尽管其纯技术效率基本有效,直接导致综合效率排名最后。尽管11个省市的创新综合效率、纯技术效率和规模效率存在明显的空间差异,从各年度3种创新效率的离散系数逐年下降的趋势来看,这种空间差异在逐年减小。

从区域来看,长江下游地区综合效率、纯技术效率和规模效率均为最高;长江上游地区的综合效率和纯技术效率均高于长江中游地区,但上游地区的规模效率稍低于中游地区;长江中游地区的综合效率和纯技术效率均最低。总的来说,长江经济带区域创新效率表现为“哑铃”状形态,中游地区是创新发展的“洼地”。

2.1.3 各省市创新效率类型划分 为进一步分析长江经济带各省市创新效率的空间差异,以纯技术效率和规模效率均值(0.835, 0.911)为依据,将各省市创新效率划分为3种类型,结果见图1。

第一类为“双高型”,主要有重庆、浙江、上海和江苏等4个省市,这些省市的综合效率较高,还可继续小幅提升纯技术效率和规模效率。第二类为“高低型”,主要指纯技术效率高(低),同时规模效率低(高)等两种类型。纯技术效率高、规模效率低的省市有云南和贵州。纯技术效率低、规模效率高的省市为四川、湖北、湖南和安徽等。这些省市主要位于长江中上游地区,需继续改进规模效率或提升纯技术效率。第三类为“双低型”,江西的纯技术效率及规模效率均低于平均水平,需要同时提高纯技术效率和规模效率。

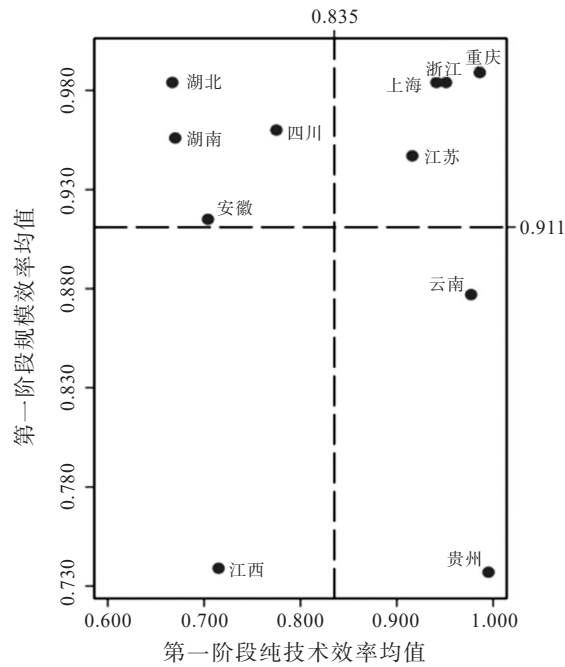


图1 第一阶段长江经济带创新效率分布图

Fig. 1 Innovation efficiency distribution diagram of the Yangtze River Economic Belt in the first stage

## 2.2 第二阶段建立面板SFA模型,剔除环境因素和随机扰动

利用Frontier4.1,分别以投入指标R&D人员全时当量(I1)、R&D经费内部支出(I2)和高技术产业新产品开发经费(I3)的冗余量为被解释变量,以环境变量为自变量,得到3个面板SFA模型,各极大似然估计值结果见表6。

首先,3种投入冗余变量的面板SFA模型估计的 $\gamma$ 值分别为0.662、0.476和0.247,在1%的水平上均显著,这说明面板SFA模型管理无效率项的影响显著。其次,面板SFA模型的LR单边似然比检验拒绝了OLS估计结果,面板SFA模型估计的结果更有效。此外,I1的面板SFA模型中环境变量系数部分通过显著性检验,I2和I3的面板SFA模型中环境变量系数在1%的显著性水平上基本显著。

以高技术产业新产品开发经费(I3)冗余量的面板SFA模型为例,在其他条件不变的情况下,环境规制的系数显著为负,表明环境污染治理要求的提升将使得高技术产业新产品开发经费的冗余减少;经济环境的系数显著为正,表明经济的发展使得高技术产业新产品开发经费投入较多,可能产生投入冗余;财政支持系数显著为负,表明政府的创新财政资助能够引导区域创新行为,降低部分高技术产业新产品开发经费,提高创新效率;教育水平的系数为负,高的教育水平将降低高技术产业新产品开发经费冗余量;研发规模和高技术产业结构的系数均显著为正,表明研发规模越大、高技术产业占比越大,高技术产业新产品开发经费投入越多。与I3的面板SFA模型各环境变量符号相比,除I1面板SFA模型中的环境规制系数和I2面板SFA模型中产业结构系数外,其他环境变量系数符号与I3面板SFA模型的系数符号均一致。

表6 第二阶段面板SFA模型的回归结果

Tab. 6 Regression results of the second-stage panel SFA model

变量	R&D人员全时当量(I1)		R&D经费内部支出(I2)		高技术产业新产品开发经费(I3)	
	系数	t值	系数	t值	系数	t值
常数项	-10 313.080***	-43.630	-167 120.090***	-167 115.150	-70.970***	-70.970
环境规制	3 202.692	1.221	-178 503.850***	-178 455.360	-9 488.650***	-9 486.286
经济环境	0.077	0.550	22.082***	5.199	2.351***	2.881
财政支持	-5 365.300***	-4.405	-134 851.460***	-134 322.500	-12 021.555***	-12 021.132
教育水平	-3.268	-0.989	-73.570	-0.984	-26.046*	-1.862
研发规模	18 335.341***	49.375	358 835.410***	358 803.790	17 531.282***	17 531.218
产业结构	453.393	0.828	-16 441.904***	-15 970.343	3 288.166***	3 282.293
$\sigma^2$	4.355e+8***	4.354e+8	4.000e+11***	4.000e+11	1.204e+10***	1.204e+10
$\gamma$	0.662***	14.741	0.476***	7.237	0.247***	2.643
极大似然值	-1 446.078		-1 918.565		-1 706.761	
LR test	41.925***		18.103***		4.071*	

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的水平下显著。

### 2.3 第三阶段利用调整后DEA-windows模型测算创新效率

利用公式(1)~(4)得到调整后的各投入指标值,再次利用DEA-window测算长江经济带11省市综合效率、纯技术效率和规模效率,其结果见表7,第三阶段创新效率均值见表5。

表7 第三阶段DEA-windows测算综合效率、纯技术效率和规模效率结果

Tab. 7 Results of comprehensive efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency in the third stage of DEA-windows measurement

效率	地区	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	平均	排名
综 合 效 率	上海	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.993	0.982	0.911	0.896	0.944	0.951	0.954	0.969	1
	江苏	0.675	0.871	1.000	0.946	0.975	1.000	1.000	1.000	0.985	1.000	1.000	0.968	0.946	2
	浙江	0.804	0.813	0.808	0.872	0.971	0.851	0.905	0.931	0.954	1.000	0.992	0.982	0.904	3
	安徽	0.162	0.217	0.223	0.297	0.414	0.495	0.567	0.629	0.708	0.760	0.776	0.804	0.443	7
	江西	0.116	0.136	0.130	0.146	0.205	0.249	0.283	0.319	0.377	0.570	0.680	0.680	0.268	9
	湖北	0.272	0.320	0.360	0.385	0.482	0.518	0.645	0.830	0.900	0.981	0.988	1.000	0.579	5
	湖南	0.315	0.291	0.302	0.312	0.366	0.359	0.410	0.539	0.566	0.674	0.736	0.778	0.441	8
	重庆	0.356	0.308	0.325	0.323	0.501	0.506	0.415	0.512	0.665	0.904	0.896	0.971	0.512	6
	四川	0.391	0.457	0.477	0.557	0.603	0.503	0.593	0.668	0.767	0.917	0.891	0.901	0.620	4
	贵州	0.103	0.116	0.097	0.092	0.119	0.137	0.141	0.194	0.282	0.400	0.291	0.408	0.171	11
	云南	0.114	0.129	0.098	0.126	0.131	0.110	0.250	0.235	0.275	0.311	0.320	0.361	0.184	10
	下游	0.816	0.891	0.931	0.938	0.982	0.945	0.962	0.947	0.944	0.981	0.981	0.968	0.939	
	中游	0.200	0.229	0.237	0.269	0.350	0.389	0.454	0.547	0.607	0.732	0.787	0.808	0.417	
	上游	0.201	0.214	0.196	0.214	0.262	0.249	0.305	0.354	0.446	0.567	0.522	0.599	0.316	
长江经济带	0.294	0.324	0.321	0.348	0.417	0.421	0.482	0.542	0.612	0.722	0.720	0.761	0.471		
离散系数	0.743	0.724	0.747	0.696	0.602	0.574	0.506	0.441	0.376	0.308	0.315	0.273			

续表7

效率	地区	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	平均	排名
纯 技 术 效 率	上海	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.998	0.988	0.923	0.908	0.972	0.964	0.976	0.977	6
	江苏	0.879	0.932	1.000	0.981	0.983	1.000	1.000	1.000	0.993	1.000	1.000	1.000	0.980	4
	浙江	0.949	0.953	0.951	0.967	1.000	0.951	0.952	0.964	0.989	1.000	0.995	0.997	0.972	8
	安徽	0.982	0.973	0.984	0.964	0.964	0.931	0.922	0.930	0.982	0.965	0.966	0.951	0.959	10
	江西	0.995	0.993	0.993	0.986	0.986	0.978	0.963	0.971	0.973	0.978	0.980	0.965	0.980	5
	湖北	0.971	0.985	0.980	0.927	0.951	0.910	0.919	0.951	0.970	1.000	1.000	1.000	0.963	9
	湖南	1.000	1.000	0.993	0.963	1.000	0.967	0.962	0.957	0.941	0.947	0.975	0.973	0.973	7
	重庆	1.000	0.995	0.998	0.998	1.000	1.000	0.988	0.985	1.000	1.000	1.000	1.000	0.997	3
	四川	0.978	0.971	0.978	0.971	0.963	0.934	0.907	0.907	0.946	0.987	0.965	0.951	0.954	11
	贵州	1.000	1.000	0.999	0.993	1.000	1.000	0.996	0.999	1.000	1.000	0.994	1.000	0.999	1
	云南	1.000	1.000	0.995	0.998	1.000	0.992	1.000	0.997	0.999	1.000	0.998	1.000	0.998	2
	下游	0.941	0.961	0.984	0.983	0.994	0.983	0.980	0.962	0.962	0.991	0.986	0.991	0.976	
	中游	0.987	0.988	0.987	0.959	0.975	0.946	0.941	0.952	0.966	0.972	0.980	0.972	0.969	
	上游	0.994	0.992	0.992	0.990	0.991	0.981	0.972	0.971	0.986	0.997	0.989	0.988	0.987	
长江经济带	0.977	0.982	0.988	0.977	0.986	0.969	0.963	0.962	0.972	0.986	0.985	0.983	0.977		
离散系数	0.036	0.022	0.014	0.021	0.018	0.032	0.034	0.032	0.029	0.018	0.015	0.020			
效率	地区	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	平均	排名
规 模 效 率	上海	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.995	0.994	0.987	0.987	0.972	0.987	0.978	0.992	1
	江苏	0.768	0.934	1.000	0.965	0.991	1.000	1.000	1.000	0.992	1.000	1.000	0.968	0.966	2
	浙江	0.847	0.852	0.849	0.902	0.971	0.895	0.951	0.966	0.965	1.000	0.996	0.985	0.930	3
	安徽	0.165	0.223	0.227	0.308	0.430	0.531	0.615	0.676	0.721	0.787	0.802	0.845	0.462	7
	江西	0.117	0.137	0.131	0.148	0.208	0.255	0.294	0.328	0.388	0.584	0.694	0.705	0.273	9
	湖北	0.280	0.325	0.367	0.415	0.507	0.569	0.702	0.873	0.927	0.981	0.988	1.000	0.601	5
	湖南	0.315	0.291	0.304	0.324	0.366	0.372	0.426	0.563	0.601	0.712	0.754	0.800	0.454	8
	重庆	0.356	0.310	0.326	0.324	0.501	0.506	0.420	0.520	0.665	0.904	0.896	0.971	0.513	6
	四川	0.400	0.471	0.488	0.573	0.626	0.539	0.655	0.736	0.811	0.929	0.924	0.947	0.649	4
	贵州	0.103	0.116	0.097	0.093	0.119	0.137	0.142	0.194	0.282	0.400	0.292	0.408	0.172	11
	云南	0.114	0.129	0.099	0.126	0.131	0.112	0.250	0.236	0.275	0.311	0.321	0.361	0.185	10
	下游	0.866	0.927	0.947	0.955	0.987	0.962	0.982	0.984	0.981	0.990	0.994	0.977	0.962	
	中游	0.203	0.232	0.240	0.280	0.359	0.411	0.482	0.575	0.628	0.753	0.803	0.831	0.431	
	上游	0.202	0.216	0.198	0.216	0.264	0.254	0.314	0.364	0.452	0.568	0.528	0.607	0.321	
长江经济带	0.301	0.330	0.325	0.356	0.423	0.435	0.501	0.564	0.630	0.732	0.731	0.775	0.482		
离散系数	0.752	0.734	0.746	0.690	0.597	0.562	0.498	0.445	0.381	0.304	0.314	0.272			

为检验第一阶段与第三阶段的3种创新效率间是否存在显著差异,利用Wilcoxon符号秩方法进行检验,结果见表8。结果显示,长江经济带创新效率在投入调整前后有显著差异,进一步

印证需对原始投入量进行调整再测算创新效率的必要性。

表 8 Wilcoxon 配对样本的符号秩检验结果

Tab. 8 Symbolic rank test results of Wilcoxon paired samples

	综合效率	纯技术效率	规模效率
Z 值	-2.446	2.936	-2.667
P 值	0.014**	0.003***	0.008***

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平下显著。

2.3.1 调整前后区域整体创新效率变化 总体来看,2006—2017 年间调整后的长江经济带创新平均综合效率、纯技术效率和规模效率变化区间分别为  $[0.294, 0.761]$ 、 $[0.962, 0.986]$  和  $[0.301, 0.775]$ ,均未达到 1,仍处于 DEA 无效率状态,较调整之前有很大变化。通过第二阶段的调整,在滤除了环境因素和随机扰动的影响后,综合效率和规模效率的平均值分别从 0.760 和 0.911 下降至 0.471 和 0.482,而纯技术效率由从 0.835 上升至 0.977。

3 种效率均值的时序图见图 2,由图 2 可以看出,综合效率均值和规模效率均值均单调上升,两者变化幅度基本一致,各区域纯技术效率波动幅度不大但趋势各不相同,综合效率不足主要受规模效率不足所导致。

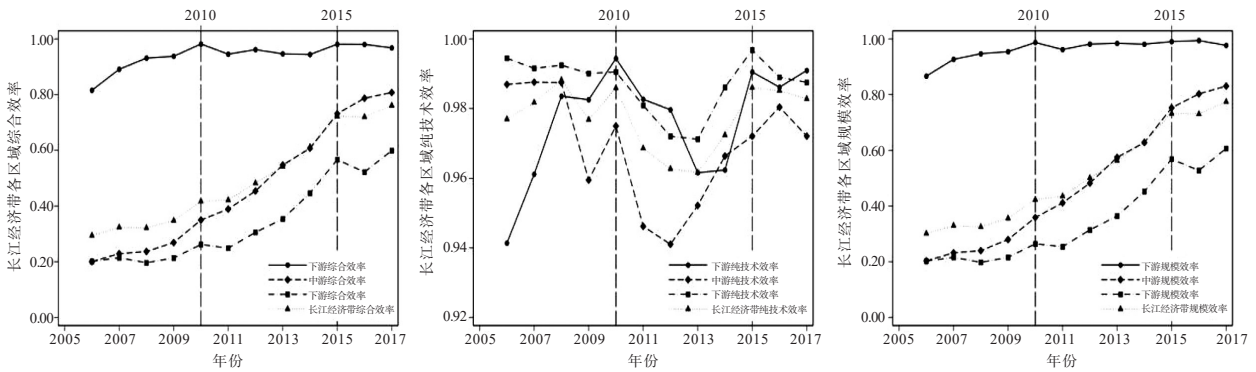


图 2 第三阶段各区域综合效率、纯技术效率和规模效率时序图

Fig. 2 Sequence diagram of comprehensive efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency of innovation in each region in the third stage

2.3.2 调整前后各省市创新效率变化 调整后,上海、江苏、浙江、湖北和重庆等省市的综合效率值在部分时间窗下处于 DEA 有效,其余省市综合效率均未实现 DEA 有效。值得注意的是,除上述省市外,贵州和云南的纯技术效率和规模效率在部分年份也为 DEA 有效。调整后,11 个省市纯技术效率均高于调整前,除上海和江苏的综合效率及规模效率高于调整前,其他省市的综合效率和规模效率均低于调整前。类似于调整前,尽管综合效率、纯技术效率和规模效率空间差异明显,但从 3 类创新效率的离散系数来看,随着时间的推移,这种空间差异在逐步缩小。

从区域来看,长江下游地区综合效率和规模效率均为最高,纯技术效率低于上游地区;长江中游地区的综合效率和规模效率均高于长江上游地区,纯技术效率最低;长江上游地区综合效率和规模效率均为最低,但其纯技术效率最高。总的来说,长江经济带区域创新效率呈现由东向西的递减态势。

2.3.3 调整后各省市创新效率的类型划分 按照调整后的纯技术效率和规模效率均值(0.977, 0.482)为临界点进行分类,结果见图 3。“双高型”主要有上海、江苏和重庆等 3 省市,但重庆的综合效率和规模效率均不太有效。“高低型”省市中,湖北、四川、云南和贵州的空间象限没有发生改变,浙江由于纯技术效率排名的下降而划归为“高低型”,江西由于纯技术效率排名的上升而从

“双低型”转归为“高低型”。“双低型”省市包括安徽和湖南,都是由于规模效率排名的下降而从“高低型”转为“双低型”。

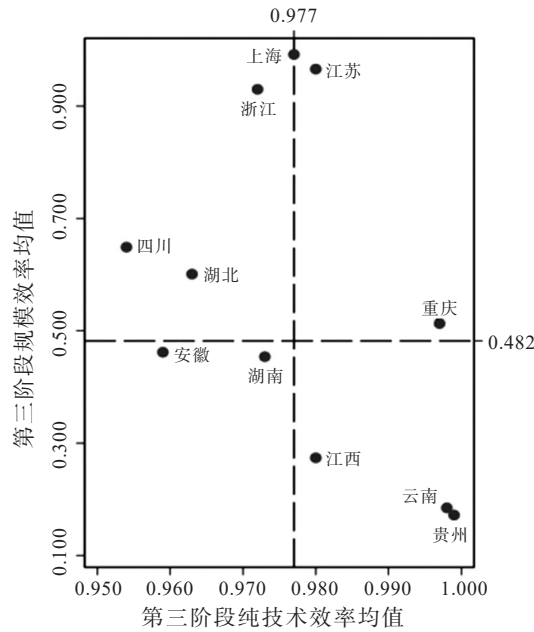


图3 第三阶段长江经济带创新效率分布图

Fig. 3 Innovation efficiency distribution diagram of the Yangtze River Economic Belt in the third stage

2.3.4 各省市创新效率的空间相关特点 以2006—2017年长江经济带综合效率均值、纯技术效率均值和规模效率均值绘制地理分布图(见图4)。从图4可知,尽管各省市创新效率空间差异明显,但下游地区各省市创新效率明显较高,上中游地区各省市创新效率较低,可能存在较强的空间相关性。

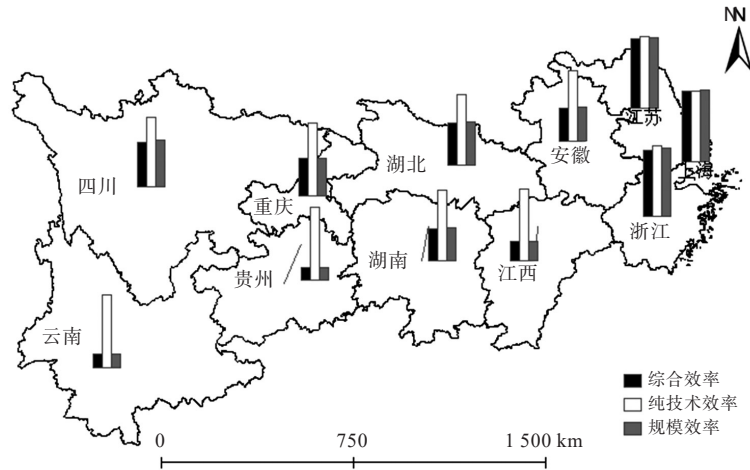


图4 第三阶段长江经济带综合效率、纯技术效率和规模效率分布图

Fig. 4 Distribution of comprehensive efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency in the third stage of the Yangtze River Economic Belt

计算得到2016—2017年11个省市的3种创新效率的Moran's I指数和相应的伴随概率如表9所示。由表9可知,研究期内长江经济带综合效率和规模效率呈现显著的空间正相关,但这种空间正相关强度正逐步减弱。这表明各省市通过调整规模以提升综合效率的方式具有借鉴和模仿意义,但这种借鉴作用在逐步降低。此外,长江经济带纯技术效率表现为没有或有微弱的空间负相关,表明各省市通过提升纯技术效率的方式来增加综合效率具有一定的挤出效应。

表 9 第三阶段综合效率、纯技术效率和规模效率的 Moran's I 指数  
 Tab. 9 Moran's I index of the comprehensive efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency in the third stage

年份	综合效率		纯技术效率		规模效率	
	I	p-value	I	p-value	I	p-value
2006	0.446***	0.002	-0.006	0.241	0.473***	0.002
2008	0.486***	0.002	-0.267	0.143	0.484***	0.002
2010	0.456***	0.003	-0.099	0.498	0.445***	0.003
2012	0.510***	0.001	-0.189	0.329	0.467***	0.003
2014	0.258**	0.038	-0.326	0.110	0.254**	0.040
2016	0.237**	0.036	-0.492**	0.028	0.232**	0.038
2017	0.195*	0.059	-0.381*	0.082	0.179*	0.067
研究期均值	0.421***	0.005	-0.217	0.279	0.412***	0.005

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平下显著。

### 3 结论与建议

本文在传统三阶段 DEA 模型的理论基础上,利用 DEA-windows 方法和面板 SFA 模型,研究 2006—2017 年长江经济带各省市创新效率的动态变化和空间差异,并利用空间统计方法,分析各省市创新效率的空间集聚特点。结论如下:

1) 调整前,从整体来看,长江经济带平均综合效率为 0.760,纯技术效率平均为 0.835,规模效率平均为 0.911,为弱 DEA 效率。从区域来看,长江中游地区是创新发展的“洼地”,长江经济带区域创新效率呈现出“哑铃”状格局。从省市来看,重庆、浙江、上海和江苏属于“双高型”,云南、贵州、四川、湖北、湖南和安徽等属于“高低型”,江西属于“双低型”。

2) 调整前后,长江经济带创新效率值差异明显,综合效率和规模效率的平均值分别从 0.760 和 0.911 下降至 0.471 和 0.482,而纯技术效率从 0.835 上升至 0.977。尽管调整前后的综合效率、纯技术效率和规模效率空间差异均明显,但这种空间差异在逐步缩小。

3) 调整后,整体来看长江经济带综合效率均值和规模效率均值均单调上升,且两者变化幅度基本一致,各区域纯技术效率波动幅度不大但趋势各不相同。从区域来看,长江经济带区域创新效率呈现由东向西的递减态势。从省市来看,“双高型”有上海、江苏和重庆,“高低型”省市包括湖北、四川、云南、贵州、浙江和江西,“双低型”省市包括安徽和湖南。

4) 从创新效率的空间相关的特点来看,综合效率和规模效率呈现显著的空间正相关,但这种空间正相关强度正在逐步减弱。处于“高一高”区域的省市有上海、江苏和浙江,位于“低一低”区域的省市有湖南、重庆、贵州和云南,湖北和四川位于“高一低”区域,安徽和江西位于“低一高”区域。

5) 从环境变量对投入冗余的影响来看,环境变量对 3 种投入冗余的影响基本一致,环境规制、财政支持和教育水平的加强有利于提升创新效率,而经济条件、研发规模和产业结构的提升可能导致投入的冗余。

根据上述研究结论,提出如下建议:首先,为提高综合效率、纯技术效率和规模效率,需提升区域创新资源配置能力,调整创新资源投入结构和投向部门,以增加单位资源投入所获得的创新产出;其次,为减轻投入冗余造成的创新效率低下问题,从环境变量影响角度出发,近阶段可通过加大环境规制和财政支持力度以及继续提升教育水平等手段减轻投入冗余压力;最后,为缩小长

江经济带下游与上中游地区创新效率的空间差异,可结合区域创新效率的空间相关等特点,建立区域创新协同机制,推动长江上中游地区创新高质量发展。

### 参考文献(References)

- [1] 刘钊,邓明亮.基于改进超效率DEA模型的长江经济带科技创新效率研究[J].科技进步与对策,2017,34(23):48-53.
- [2] 毛良虎,姜莹.长江经济带区域创新效率及空间差异研究[J].华东经济管理,2016,30(8):73-78.
- [3] 罗颖,罗传建,彭甲超.基于三阶段DEA的长江经济带创新效率测算及其时空分异特征[J].管理学报,2019,16(9):1385-1393.
- [4] 毛良虎,姜莹.长江经济带省域科技创新能力评价及空间关联格局分析[J].科技进步与对策,2016,33(21):126-131.
- [5] 武晓静,杜德斌,肖刚,等.长江经济带城市创新能力差异的时空格局演变[J].长江流域资源与环境,2017,26(4):490-499.
- [6] 张建伟,焦士兴,窦攀烽,等.长江经济带创新产出的空间计量经济分析[J].科技管理研究,2017,37(5):88-95.
- [7] 易明,彭甲超,吴超.基于SFA方法的中国高新技术产业创新效率研究[J].科研管理,2019,40(11):22-31.
- [8] 范建平,连嘉琪,吴美琴.中国区域科技创新效率研究:基于三阶段EBM- Windows模型[J].中国科技论坛,2019(11):113-122.
- [9] 康年,顾倩雯,宋波.基于三阶段DEA模型的国家中心城市制造企业创新效率研究[J].科技管理研究,2019,39(8):9-14.
- [10] 王玉梅,姬璇,吴海西.基于三阶段DEA模型的创新效率评价研究:以节能环保上市公司为例[J].技术经济与管理研究,2019(3):25-30.
- [11] 秦青.区域工业企业技术创新效率及影响因素:基于三阶段SBM模型的分析[J].地域研究与开发,2018,37(2):47-51.
- [12] 吴浩然,吴祁宗.地方财政公共文化服务支出的效率评价:基于三阶段DEA窗口模型[J].数学的实践与认识,2017,47(3):74-83.
- [13] 吴传清,黄磊,文传浩.长江经济带技术创新效率及其影响因素研究[J].中国软科学,2017(5):160-170.
- [14] 毛良虎,姜莹.社会资本对长江经济带区域创新能力的影响:基于空间杜宾模型的实证分析[J].科技管理研究,2017,37(4):106-111.
- [15] 李婧,管莉花.区域创新效率的空间集聚及其地区差异:来自中国的实证[J].管理评论,2014,26(8):127-134.
- [16] 白俊红,卞元超.中国政府R&D资助空间自相关特征研究[J].科研管理,2016,37(1):77-83.
- [17] 韩兆洲,操咏慧,方泽润.区域创新水平综合评价及空间相关性研究:以粤港澳大湾区为例[J].统计与决策,2019,35(23):128-133.
- [18] 罗登跃.三阶段DEA模型管理无效率估计注记[J].统计研究,2012,29(4):104-107.
- [19] 陈巍巍,张雷,马铁虎,等.关于三阶段DEA模型的几点研究[J].系统工程,2014,32(9):144-149.

(责任编辑:胡燕梅)