

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2023.03.010

# 湖南省规模以上工业企业 R&D 效率的时空差异分析

张 伟, 杨振杰

(湖南工业大学 商学院, 湖南 株洲 412007)

**摘 要:** 以湖南省规模以上工业企业为研究对象, 运用数据包络 (DEA) 模型测算了湖南省 14 个市州的 R&D 效率, 并对其进行了热点分析。采用泰尔指数厘清湖南省和四大区域经济板块的区域差异和区域贡献度变化情况, 并通过 Tobit 回归模型探讨了影响 R&D 效率和热点空间分布的因素。研究表明: 湖南省 R&D 效率存在整体水平不高、发展不平衡且 R&D 资源利用不充分等问题, 目前已形成“环长沙市”热点格局和次冷点区域分界线等分布。针对上述结果, 分别指出政府从整体布局、各市州从区域合作、企业从产出转化多角度着手, 以提升湖南省规模以上工业企业的 R&D 效率。

**关键词:** R&D 效率; DEA 模型; 热点分析; 泰尔指数; Tobit 模型

**中图分类号:** F425

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2023)03-0066-09

**引文格式:** 张 伟, 杨振杰. 湖南省规模以上工业企业 R&D 效率的时空差异分析[J]. 湖南工业大学学报, 2023, 37(3): 66-74.

## Spatial and Temporal Disparity Analysis of R&D Efficiency of Industrial Enterprises Above Designated Size in Hunan Province

ZHANG Wei, YANG Zhenjie

(Business School, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** With industrial enterprises above designated size in Hunan Province being the research target, the data envelopment (DEA) model has been used for a calculation of the R&D efficiency of 14 cities and prefectures in Hunan Province. And conducted a hot spot analysis on R&D efficiency. Thiel index has been used to clarify the regional disparity and regional contribution changes of Hunan Province and the four major regional economic sectors, followed by an inquiry into the factors affecting R&D efficiency and the spatial distribution of hot spots based on the Tobit regression model. The results show that R&D efficiency in Hunan Province is characterized with such flaws as low overall level, unbalanced development and insufficient utilization of R&D resources, with the current hot spot “Changsha-centered” pattern and the regional boundary of sub-cold spots finally formed. In view of the above results, it is pointed out that the government should improve the R&D efficiency of industrial enterprises above designated size in Hunan Province from the perspective of overall layout, regional cooperation of cities and prefectures, and output transformation of enterprises.

**Keywords:** R&D efficiency; DEA model; Getis-Ord  $G_i^*$ ; Theil index; Tobit model

收稿日期: 2022-06-23

基金项目: 湖南省自然科学基金省市联合基金资助项目 (2021JJ50056); 湖南省社会科学成果评审委员会课题基金资助项目 (XSP18YBC350)

作者简介: 张 伟 (1977-), 男, 湖南湘潭人, 湖南工业大学副教授, 博士, 主要研究方向为技术创新与知识管理, E-mail: 16645621@qq.com

## 1 研究背景

作为技术创新的核心驱动力,研发活动直接影响着一个地区的创新水平。测度和分析湖南省各市州的 R&D 效率时空差异,有利于掌握其规模以上工业企业创新活动的投入产出过程,引导企业从要素集中型向创新密集型发展,有效把握区域创新体系的整体发展方向。

党的十八大以来,湖南省重点发展先进制造业,高新技术产业也步入了加速发展期,以战略性新兴产业为代表的新动能也加快发展,产业高端化持续推进。在研发政策上,自出台了《研发经费投入行动计划(2017—2020年)》(湘政办发〔2017〕77号)以来,湖南省进一步加大了对各地区研发活动的投入力度。湖南省统计年鉴数据显示,湖南省2021年的专利申请数达36209件,较2020年上升了19.18%。但截至2021年,湖南省规模以上工业企业共计18239家,全省新产品产值总计达8061.531亿元,较2020年仅增长了3.4%。该统计数据反映出,随着湖南省政府加大对研发投入的重视,带来了专利数和新产品产值占地区生产总值的提高,却使得新产品的总产值降低,湖南省的 R&D 效率水平未随着 R&D 投入的增加而提高。2020年9月,习近平总书记在湘考察时提出推进湖南省“三高四新”战略,该战略引起了湖南省各部门的高度重视。其中打造湖南省科技创新高地,要求改善当前湖南省 R&D 效率水平,实现湖南省工业水平协调发展、全方位提质增效。R&D 效率是指研发过程中各因素投入产出间的转换效率,反映了研发投入对研发产出的贡献或研发资源的分配效率。当前政府、企业等对创新资源的配置程度持续加大,由于区域发展水平不同,这些区域的 R&D 效率水平也存在差异。测度 R&D 效率水平、厘清区域分布情况和探索 R&D 效率的影响因素,对改善资源配置和落实“三高四新”战略有重要意义。

国内外学者对企业研发效率影响因素的选取可划分为内部因素和外部因素。其中,内部因素主要包括技术消化吸收能力、企业规模和技术引进投入等。罗映科<sup>[1]</sup>通过 Malmquist 生产率指数分析了我国高新技术产业研发效率,得出扩大企业规模与研发效率呈负向影响。而外部影响因素主要选取国有与外资产权比例、政府支持力度和市场竞争程度。王成东<sup>[2]</sup>运用 SFA (stochastic frontier approach) 方法对产业研发效率进行了研究,得出外部影响因素会促进投入指标对研发效率的影响度,内部影响因素会促进外部影响因素和投入对研发效率的影响度。Ma Xiaojun

等<sup>[3]</sup>通过实证分析得出,扩大对外开放、增加研发支出和提高人口城市化率对生态效益有正向影响。马腾飞<sup>[4]</sup>提出,当市场集中度过高时企业间的竞争趋于激烈,这会迫使企业加大研发投入力度、扩大研发规模,从而不利于研发资源的合理高效使用。国有化程度越高,越不利于规模以上工业企业研发综合效率的提升。江雯雯等<sup>[5]</sup>研究了辽宁省医药制造行业,发现出口贸易水平对于 R&D 创新水平有显著的正向推动作用,且该推动作用在时间角度上具有累计效用。赵庆<sup>[6]</sup>强调了生产要素在资源配置中的重要性,认为优化生产要素配置结构有利于实现产业结构的优化,而产业结构的优化可实现创新资源的空间重置,这会在一定程度上影响技术创新的产出,并且会产生效率溢出效应。李闽慧等<sup>[7]</sup>运用 DEA (data envelopment analysis) 模型对江苏省高新技术产业 R&D 效率影响因素进行了分析,提出过多的技术引进在一定程度上反而会造成自主创新减少,长期来看不利于研发效率提升。经济盲目扩张、产业结构增长和能源消耗比例等对生态效益产生了负面影响。瞿天蔚<sup>[8]</sup>综合运用两阶段 DEA 模型和 Malmquist 指数,从静态和动态的角度分别测度了湖南省高技术企业研发效率,并指出该行业中存在 R&D 效率发展不平衡和 R&D 资源利用不充分等问题。Liu W. J. 等<sup>[9]</sup>采用 DEA-Malmquist 指数法对 2002—2016 年中国各省区域创新效率进行了测度,并从省际差异的角度对技术效率进行了评价,从时间趋势和区域差异的角度分析了国家中长期科技发展规划实施前后的情况。赵玉林等<sup>[10]</sup>测度了中国内地省级高新技术产业 R&D 效率,指出 R&D 资源错配会导致 R&D 效率损失,并强调了区域资源合理配置的重要性。Yoon S. 等<sup>[11]</sup>使用 DEA-Tobit 回归模型分析了外部风险因素对一个国家研发效率的影响,指出国家创新体系中可利用的国家资源有限,如何利用有限的资源来实现创新战略要求,R&D 效率测度及分析成为重要一环。现有研究表明,从单一角度有效地衡量 R&D 效率非常困难,有必要从不同角度考察研发效率。虽然很多已有研究从区域层面和行业层面上分析了研发效率,但往往是静态的,未体现 R&D 效率随时间变化情况。

基于上述分析,本文拟以湖南省规模以上工业企业为研究对象,采用 T. J. Coelli 提出的两阶段效率评估模型,并结合热点分析 (Getis-Ord  $G_i^*$ ) 工具探究湖南省各市州 R&D 效率演化特征及其影响因素。首先,构建了湖南省规模以上工业企业 R&D 的 DEA 模型,测算了湖南省各市州 R&D 效率,并基于效率测算结果评估湖南省 2014—2021 年的研发效率情况。

其次,采用热点分析工具和最佳自然断裂法对湖南省R&D效率的时空演化特征展开分析。再次,采用泰尔指数分析湖南省和四大区域经济版块R&D区域差异的变化情况和贡献度。最后,通过Tobit回归探究湖南省各市州R&D效率影响因素,以期为湖南省进一步落实“三高四新”战略提供理论基础。

## 2 模型与方法

### 2.1 数据包络分析模型

本研究采用DEA模型,相对效率评估能够更直观地发现湖南省各市州的规模以上工业企业R&D效率发展水平。规模以上工业企业符合多投入、多产出的特点,并且投入产出逻辑关系复杂,而DEA模型正适用于解决指标之间函数关系复杂、关系不确定的情况。DEA模型主要包括规模报酬不变模型(CCR)和规模报酬可变模型(BCC),本研究使用BCC模型研究指标间的不确定函数关系,深入分析湖南省14个市州规模以上工业企业的R&D效率,模型如式(1)所示。

$$\min \beta, \text{ s.t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_j x_j + s^- = \beta x_0; \\ \sum_{j=1}^n a_j y_j - s^+ = y_0; \\ s^- \geq 0, s^+ \geq 0, a_j \geq 0; \\ \beta \text{ 为无约束}, j=1, 2, \dots, n. \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\beta$ 为各决策变量的综合效用值; $j$ 为决策单元; $n$ 为城市个数; $s^-$ 、 $s^+$ 为剩余变量和松弛变量; $x_i$ 、 $y_i$ 为决策单元的投入、产出变量; $a_1$ 、 $a_2$ 、 $\dots$ 、 $a_n$ 为对偶变量。

### 2.2 热点分析

具有高R&D效率的市州可能不是具有统计意义的热点市州,而要成为具有统计显著性的热点,则R&D效率高的市州必须要被R&D效率高的其他市州包围,即与邻近单元R&D效率水平的相关程度较高。本研究中,进一步使用Getis-Ord  $G_i^*$ 确定了湖南省各市州研发效率的统计显著热点和冷点。Getis-Ord  $G_i^*$ 统计数据的计算公式如下:

$$G_i^* = \frac{\left( \sum_{j=1}^n \omega_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n \omega_{i,j} \right)}{\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n \omega_{i,j}^2 - \left( \sum_{j=1}^n \omega_{i,j} \right)^2}{n-1}}} \quad (2)$$

式中: $x_j$ 为空间要素(湖南省各市州) $j$ 的研发效率;

$\omega_{i,j}$ 为空间要素*i*和*j*之间的空间权重; $n$ 为空间要素的总数;

$$\bar{X} = \left( \sum_{j=1}^n x_j \right) / n; \quad (3)$$

$$S = \sqrt{\left( \sum_{j=1}^n x_j^2 \right) / n - (\bar{X})^2}. \quad (4)$$

$G_i^*$ 为每个空间要素R&D效率数据返回的统计数据的Z值。对于具有统计显著性的正Z值,该值越大,R&D效率的高值(热点)聚类越强。另一方面,对于具有统计显著性的负Z值,Z值越小,R&D效率的低值(冷点)聚类越强。

### 2.3 泰尔指数

泰尔指数是评估时空差异的关键方法,能够直观展示出发展趋势。同时,可以将区域差异分解为区域内差异和区域间差异,探究不同类型差异对整体差异的贡献率。泰尔指数*T*的计算公式如下:

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Y_i}{\bar{Y}} \times \ln \frac{Y_i}{\bar{Y}} \right). \quad (5)$$

式中: $Y_i$ 为城市*i*的R&D效率; $\bar{Y}$ 为所有城市的R&D效率平均值。

泰尔指数*T*的取值范围为[0, 1],*T*越大表明区域内的总体差异越大。区域差异*T*可被分解为区域内差异*T<sub>w</sub>*和区域间差异*T<sub>b</sub>*,即*T*=*T<sub>w</sub>*+*T<sub>b</sub>*,具体计算公式如下:

$$T_w = \sum_{k=1}^K Y_k \left( \sum_{i \in Y_k} \frac{Y_i}{Y_k} \ln \frac{Y_i / Y_k}{1/n_k} \right), \quad (6)$$

$$T_b = \sum_{k=1}^K Y_k \ln \frac{Y_k}{n_k / n}, \quad (7)$$

$$C_w = Y_k \cdot (T_k / T), \quad (8)$$

$$C_b = T_b / T. \quad (9)$$

式(6)~(9)中: $K$ 为区域分组数; $n_k$ 为第*k*个组中样本数; $C_w$ 为区域内贡献度; $C_b$ 为区域间贡献度。

### 2.4 Tobit 面板数据回归模型

为了避免因OLS(ordinary least square)估计造成结果偏差和不一致现象,采用obit模型进行分析,构建如式(10)所示模型:

$$Y_{it} = a_0 + a_1 x_{1it} + a_2 x_{2it} + a_3 x_{3it} + a_4 x_{4it} + a_5 x_{5it} + a_6 x_{6it} + \varepsilon_{it}. \quad (10)$$

式中: $Y_{it}$ 为湖南省第*i*地区*t*时间的综合技术效率; $x_{1it}$ 、 $x_{2it}$ 、 $x_{3it}$ 、 $x_{4it}$ 、 $x_{5it}$ 、 $x_{6it}$ 分别为研发投入强度、产业绩效、企业规模、经济发展水平、产业结构水平、产业出口交货值6个影响因素; $a_0$ 为待定系数项; $a_t$

( $\tau=1\sim 6$ ) 为自变量回归系数;  $\varepsilon_{it}$  为随机误差项。

### 3 指标选择及数据来源

为了确保数据测度标准的统一性和科学性, 本文数据均来源于 2014—2021 年《湖南省统计年鉴》。

#### 3.1 R&D 效率测算的投入产出指标选择

投入产出指标是测度出有效 R&D 效率值的基础, 是否科学、严谨地选取指标, 将很大程度上影响测算结果的有效性。根据 R&D 活动的多投入、多产出特点, 在选取投入指标、产出指标和影响因素时, 应根据研究对象的具体情况严谨筛选。

##### 3.1.1 投入指标

根据目前的研究结果来看, 学者们主要选取 R&D 经费投入和 R&D 人员全时当量作为 R&D 活动投入指标, 考虑到本文以规模以上工业企业为研究对象, 以区别于高新技术企业, 因此在选定 R&D 活动投入指标时依据柯布-道格拉斯生产函数, 在 R&D 活动投入指标上增加研发机构数作为具体衡量指标。因此, 最终选取研发机构数、R&D 经费投入和 R&D 人员全时当量作为投入指标。

##### 3.1.2 产出指标

已有文献中, 针对 R&D 成果产出衡量, 主要从经济效益和科技成果两方面进行。由于专利属于新产品转化过程中的中间产品, 可有效说明企业 R&D 效率的产出情况, 因此本文采用专利申请数反映科技成果。新产品销售收入和产值是主要被选用作衡量 R&D 产出水平的指标, 考虑数据统计的完整性, 最终选取新产品销售收入和专利申请数代表经济效益产出指标。

#### 3.2 投入产出指标的关性分析

考虑到 DEA 模型中的决策单元指标需要满足“同向性原则”, 故对投入和产出变量进行了 Pearson 相关性检验, 所得结果如表 1 所示。

表 1 规模以上工业企业投入与产出变量的 Pearson 相关系数

Table 1 Pearson correlation coefficient of input and output variables of industrial enterprises above designated size

变量	$Y_1$	$Y_2$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
$Y_1$	1				
$Y_2$	0.871***	1			
$X_1$	0.727***	0.788***	1		
$X_2$	0.918***	0.952***	0.759***	1	
$X_3$	0.936***	0.955***	0.862***	0.952***	1

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

表 1 中,  $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  分别代表新产品销售收入、专利申请数、企业内设研发机构数、R&D

人员全时当量、R&D 经费内部支出 5 个指标。从表 1 所示结果可以得知, 投入和产出指标具有显著的正相关关系 ( $p<0.01$ ), 符合“同向性”原则。这表明所选取的投入产出指标符合要求, 可以进行下一步的实证研究。

#### 3.3 R&D 效率影响因素选择

考虑到相关数据的可得性和连续性, 以及影响因素需在一定程度上体现出地区差异, 最终选取 R&D 效率的内部影响因素包括研发投入强度、产业绩效、企业规模 3 个方面; 外部影响因素包括经济发展水平、产业结构水平和货物出口水平 3 个方面, 具体如表 2 所示。

表 2 影响规模以上工业企业 R&D 效率的因素  
Table 2 Factors affecting the R&D efficiency of industrial enterprises above designated size

影响因素		衡量指标	符号
名称	类型		
研发投入强度	内部因素	研发经费内部支出 / 新产品销售收入	$X_1$
产业绩效	内部因素	利润与销售收入之比	$X_2$
企业规模	内部因素	规模以上工业企业总产值 / 企业数量	$X_3$
经济发展水平	外部因素	各市州人均 GDP 取对数	$X_4$
产业结构水平	外部因素	工业产值 / 地区生产总值	$X_5$
货物出口水平	外部因素	产品出口交货值	$X_6$

采用研发经费内部支出和新产品销售收入的比值来衡量研发投入强度; 选取人均 GDP 作为衡量经济发展水平指标; 使用利润与销售收入的比值衡量产业绩效, 产业绩效是体现规模以上工业企业投入与产出平衡程度的一个重要因素。企业规模是各市州规模以上工业企业总产值与企业数量的比值; 选取工业产值和地区生产总值的比值表示产业结构水平; 货物出口水平由产品出口交货值的高低来反映。

分别通过内部和外部影响因素对规模以上工业企业 R&D 效率进行回归分析, 使用逐步回归方式多次回归未获得满意的显著性回归结果, 可见规模以上工业企业 R&D 效率影响因素不仅是由外部因素起着主导作用。考虑影响因素选取的全面性, 最终对规模以上工业企业 R&D 效率的内外部影响因素进行综合回归。

## 4 实证分析

本节将对湖南省各市州 R&D 效率的研究分为 3 个阶段展开: 第一阶段, 运用 DEA 模型测算和分析湖南省各市州 R&D 效率; 第二阶段, 运用热点分析工具探究湖南省 R&D 效率热点空间变化特征; 第三

阶段,以R&D效率作为被解释变量,使用Tobit模型对影响湖南省各市州R&D效率因素进行分析。

#### 4.1 时序发展分析

测算湖南省各市州R&D效率是进一步落实湖南省科技创新高地战略的基础。整理获取2014—2021年湖南省14个市州的R&D面板数据,选取固定规模报酬的CCR模型测算各市州的R&D发展水平。综合技术效率以是否达到有效水平为标准,若综合技术效率为1,则表明该地区研发效率有效,具体结果如表3所示。

表3 2012—2020年湖南省14市州R&D效率  
Table 3 R&D efficiency of 14 cities and prefectures in Hunan Province from 2012 to 2020

地区	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	平均值
长沙市	1	1	1	1	1	1	1	1	1
株洲市	0.893	0.956	1	1	1	1	1	1	0.981
湘潭市	0.561	0.537	0.791	0.625	0.826	0.746	0.947	0.766	0.725
衡阳市	1	0.826	1	0.799	0.736	0.442	0.519	0.576	0.737
邵阳市	0.515	0.503	0.317	0.361	0.445	0.573	0.913	0.731	0.545
岳阳市	1	1	1	1	0.822	0.951	1	1	0.972
常德市	0.798	0.787	0.779	0.759	0.801	0.493	0.674	0.774	0.733
张家界市	1	1	1	1	1	0.790	0.797	0.727	0.914
益阳市	0.491	0.788	0.593	0.616	0.590	0.586	0.826	0.936	0.678
郴州市	0.755	0.882	0.761	0.744	0.832	0.585	1	0.774	0.792
永州市	0.988	0.544	0.595	0.704	0.633	0.462	0.635	0.537	0.637
怀化市	0.427	0.535	0.362	0.311	0.382	0.400	0.434	0.480	0.416
娄底市	0.708	1	1	1	1	1	1	1	0.964
湘西州	0.342	0.211	0.955	0.737	0.965	1	0.865	0.992	0.758
均值	0.748	0.755	0.797	0.761	0.788	0.716	0.829	0.807	

由表3中数据可知,2020年和2021年湖南省规模以上工业企业的R&D效率均值分别为0.829、0.807,而2014—2019年湖南省规模以上工业企业的R&D效率均值均低于0.8,说明湖南省规模以上工业企业R&D效率水平处于不稳定状态,且效率处于中等水平。湖南省各市州R&D效率水平在2019年普遍降低,这与部分市州存在弱化规模以上工业企业研发投入程度以及中美贸易给市场带来诸多不确定因素有关。

1) 2014—2021年,仅长沙市的效率均值保持1,说明长沙市规模以上工业企业R&D活动有效。长沙市作为湖南的省会城市,其规模以上工业企业R&D效率一直处于领先水平。2) 2014—2016年,株洲市R&D效率值稳步上升,且2016年后株洲市的效率值维持在1水平,说明其在近8a的发展过程中重视规模以上工业企业R&D效率,并取得了显著成绩。其中,以中车集团为核心的产业集群对株洲市规模以上工业企业R&D效率的提高具有较大贡献。3) 2014—2021期间,湘潭市规模以上工业企业R&D效率水平整体处于上升趋势,但一直处于波动状态,

说明湘潭市在规模以上工业企业R&D效率上缺乏有效的制度监督和推动措施。4) 衡阳市在2014年和2016年的效率水平达到1,整体效率水平处于下降趋势,且下降幅度较大。5) 2014—2019年,邵阳市规模以上工业企业R&D效率在0.317~0.573之间小幅波动,而2020年和2021年的整体R&D效率有了显著提高,但R&D效率稳定性有待进一步提高。6) 岳阳市和娄底市在测度期内,仅存在个别年份效率值未达到1,说明两市的R&D效率保持较高水平,且娄底市整体R&D效率水平仅次于长沙市。7) 常德市和郴州市的R&D效率水平处于中等偏上水平,且一直处于波动状态。8) 张家界市的效率水平大部分年份处于有效水平,但是近3a的效率值存在一定回落,说明张家界市的产业结构进行了调整。9) 益阳市的R&D效率水平除2015年外全低于湖南省R&D效率均值,但近2a的R&D效率水平提升幅度较大,这与2019年益阳市人民政府办公厅发布的《益阳市高质量发展监测评价指标体系与实施办法》的具体落实密切相关。10) 2014—2021年间,永州市的R&D效率整体上处于下降趋势,且波动幅度较大。11) 怀化市R&D效率一直处于湖南省低水平状态,在工业R&D效率提质增效方面具有较大潜力。12) 2014—2021年间,湘西州的R&D效率水平有大幅提升,这与国家政策扶持湘西地区有密切关系。

#### 4.2 空间变化分析

为探索R&D效率分布,确定哪些区域对全局自相关贡献较大,使用ArcGIS10.0软件获取Getis-Ord  $G_i^*$  的值,根据Jenks自然断裂分类方法将  $G_i^*$  分为热点区到冷点区5大类。湖南省2014、2018和2021年R&D效率的热点、冷点空间分布情况见图1。如图所示,湖南省R&D效率的热点空间整体分布格局有由东南向东北转变的趋势。2014年,湖南省的热点分布呈“东高西低”的格局,热点主要集中在岳阳市、长沙市、株洲市、衡阳市、永州市和郴州市,次热点主要集中在常德市、益阳市和湘潭市3个邻近地区。2018年,岳阳市、永州市和郴州市转变为次热点地区,而益阳市、湘潭市和张家界市转变为热点地区。2021年,张家界市和株洲市转变为次热点地区,而衡阳市转变为次冷点地区,岳阳市再次转变为热点地区。热点地区逐渐形成“环长沙市”的格局,且热点地区数量逐渐减少。这表明长沙市R&D活动对周围地区具有较强辐射作用,且其他市州研发活动随着与长沙市距离的增加而受到的“虹吸效应”越明显。次冷点地区形成了自湘西州起,经怀化市、邵阳市、衡阳市到郴州市的连线,该连线成为了过渡区及以上区域的分界线。

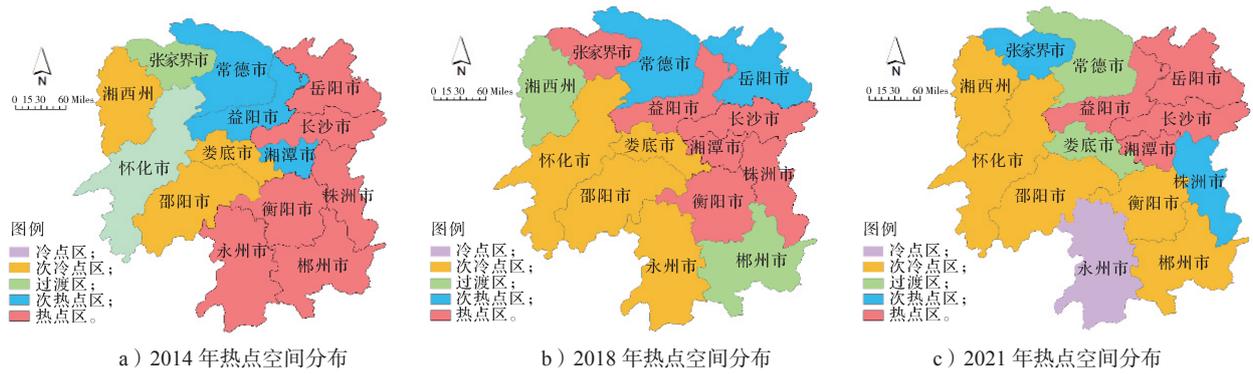


图1 湖南省 2014、2018 和 2021 年 R&D 效率热点空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of R&D efficiency hot spots in Hunan Province in 2014, 2018 and 2021 respectively

随着 R&D 效率热点“环长沙市”的分布格局逐渐形成, 从图 1 中反映出如下问题: 1) 永州市从最初的 R&D 效率热点地区最终转变成冷点地区, 从分布图可以看出该结果很大程度上由其地理位置导致。2) 以工业城市著称的株洲市到 2021 年变化成次热点地区, 一部分原因是因长沙市近几年发展迅速产生的“虹吸效应”愈发显著, 如中车株洲旗下的多家子公司搬迁长沙。3) “湘西-郴州”分界线的形成将对湖南省创新资源的有效流动产生阻碍作用。

### 4.3 区域差异分析

为明确湖南省规模以上工业企业 R&D 效率时空分布差异, 本节采用泰尔指数分解方法进行研究。将 14 个州市划分为长株潭、环洞庭湖、泛湘南和大湘西 4 个区域经济板块, 其中环洞庭湖包括岳阳市、常德市和益阳市, 泛湘南包括衡阳市、郴州市和永州市, 大湘西包括张家界市、湘西州、怀化市、邵阳市和娄底市。采用泰尔指数指标测度上述 4 个区域经济板块 R&D 效率区域差距、区域间差距和区域内差距等变化情况, 结果见图 2 和 3。

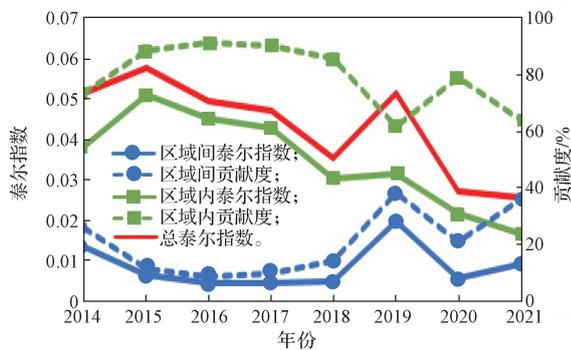


图2 湖南省规模以上工业企业 2014—2021 年 R&D 效率区域差异变化曲线

Fig. 2 Regional disparity in R&D efficiency of industrial enterprises above designated size in Hunan Province from 2014 to 2021

如图 2 所示, 湖南省规模以上工业企业 R&D 效

率差距呈缩小的变化趋势, 且区域内贡献度占主导, 但是近几年区域间贡献度和区域内贡献度存在较大幅度波动。

从总泰尔指数角度, 湖南省规模以上工业企业 R&D 效率区域差异呈逐渐减小的变化趋势, 可能与湖南省持续加大对研发创新的激励政策有关。从 2015—2018 年, 湖南省规模以上工业企业 R&D 效率差异稳步减小。2018—2019 年, 区域差异出现了大幅增加, 而 2019 年作为湖南省经济结构调整的转折点, 到 2020 年区域差距出现大幅减小。

从区域间泰尔指数和区域内泰尔指数角度来看, 区域间的 R&D 效率差异相对较小, 而区域内的 R&D 效率差异稳步减小。区域内的 R&D 效率差异稳步下降并接近区域间的 R&D 效率差异, 这与湖南省大力推进区域协调发展的战略有很大关系。

从区域间贡献度和区域内贡献度角度分析, 区域内贡献度占主导, 区域内和区域间贡献度差距呈缩小的变化趋势。2014—2016 年区域内的贡献度水平占主导且有上升趋势; 而 2016—2018 年区域间贡献度逐步下降; 2018—2021 年区域间贡献度呈波动变化, 整体呈下降趋势。

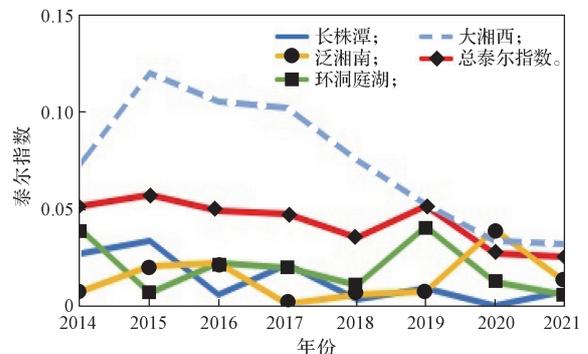


图3 湖南省及四大区域经济板块 2014 年—2021 年的泰尔指数

Fig. 3 Theil index of Hunan Province and the four regional economic sectors from 2014 to 2021

如图3所示,大湘西的区域差异水平高于湖南省整体的区域差异水平,其他区域基本处于总泰尔指数水平以下。随着湘西大开发战略的贯彻落实,大湘西的区域差异在2015年出现了显著性拐点。大湘西的区域差异水平下降趋势明显,表明产业转移、武陵山片区开发等政策的落实取得了显著成果。2018—2020年环洞庭湖的区域差异出现了较大波动,湖南省区域差异水平与其同频波动,显示了环洞庭湖规模以上工业企业在湖南省整体规模以上工业企业中的重要地位和影响力。2019—2021年泛湘南的区域差异出现了较大波动,可能是由于该区域中规模以上工业企业在面临新冠疫情等突发性公共危机时应对能力存在较大差异。

#### 4.4 影响因素分析

从R&D测算结果、热点空间分布和区域差异情况可以看出,湖南省R&D效率存在整体水平不高,R&D活动空间分布不合理等问题。基于数据的完整性和可得性,选取湖南省14个市州2014—2021年共8a的数据,共计112个样本的面板数据,通过构建Tobit模型,使用Stata15软件对湖南省14个市州的研发效率进行回归分析,回归结果如表4所示。

表4 Tobit 回归结果

Table 4 Tobit regression results

统计量	系数	标准差	T	显著性水平	95%下的系数置信区间	
$X_1$	-0.827 043	0.170 840	-4.84	0.000***	-1.166 347	-0.487 740
$X_2$	1.518 409	0.891 931	1.70	0.092*	-0.253 044	3.289 862
$X_3$	0.307 189	0.097 971	3.14	0.002***	0.112 610	0.501 769
$X_4$	0.511 833	0.120 677	4.24	0.000***	0.272 156	0.751 509
$X_5$	1.047 593	0.344 239	3.04	0.003***	0.363 903	1.731 282
$X_6$	0.000 153	0.000 539	0.28	0.777	-0.000 918	0.001 224
_cons	-5.159 160	1.374 989	-3.75	0.000***	-7.890 006	-2.428 313
Prob. >F=0						

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%、10%的水平下显著。

由表4可知,研发投入强度对湖南省规模以上工业企业R&D效率在1%的显著水平下有显著的负向影响,产业绩效对湖南省规模以上工业企业R&D效率在10%的显著水平下有显著正向影响,企业规模、经济发展水平和产业结构水平对湖南省规模以上工业企业R&D效率在1%的显著水平下有显著正向影响,而货物出口水平对湖南省规模以上工业企业R&D效率有很小的不显著正向影响。具体分析如下:

1) 研发投入强度 $X_1$ 对规模以上工业企业R&D效率具有显著负向影响,系数为-0.827 043( $p<0.01$ ),近年来国家支持并鼓励企业自主研发活动,一方面,加大R&D活动资金投入使得部分规模以上工业企业对资金投入产生依赖性,过多的R&D投入反而成为

了阻碍企业R&D活动自主创新意识和积极性的重要因素;另一方面,未对研发资金进行严格监督,导致资金分配过程中资金过度浪费。

2) 产业绩效 $X_2$ 对规模以上工业企业R&D效率具有显著正向影响,系数为1.518 409( $p<0.1$ ),其影响程度最大,说明产业绩效的提升对规模以上工业企业R&D效率的提高具有显著作用。产业绩效作为企业和行业的重要考核指标之一,只有制定了明确和细化的绩效评价体系才能更好地发挥产业绩效的正向作用。

3) 企业规模 $X_3$ 对规模以上工业企业R&D效率具有显著正向影响,系数为0.307 189( $p<0.01$ ),由于湖南省各市州规模以上工业企业的R&D效率很大部分是由该地区的龙头产业推动,例如长沙的三一重工、株洲的中车等集团已经在本地进行了较长时间的规模扩张。但是从湖南省整体视角可以看出,企业规模相对于其他因素对R&D效率的影响较小。

4) 经济发展水平 $X_4$ 与规模以上工业企业R&D效率的相关系数为0.511 833( $p<0.01$ ),该因素对湖南省规模以上工业企业的R&D效率具有显著正向影响,说明经济发展水平促进了湖南省规模以上工业企业R&D效率的提高。由于研发活动对企业有较高的门槛要求,即企业需要达到一定的技术基础、人力资源、资金支持等。只有当企业在经济、技术等综合实力上达到一定水平时才能实现新产品或新技术的研发,整体环境经济水平的提升不仅能够提供更多R&D技术人才,也能缓解企业因资金问题造成的R&D项目中断等问题。

5) 产业结构水平 $X_5$ 对规模以上工业企业R&D效率具有显著正向影响,系数为1.047 593( $p<0.01$ )。湖南省的支柱产业是制造业,当前产业结构水平对R&D效率的正向影响,说明湖南省应该继续强化工业底色的定位,加强对工业企业的鼓励和政策扶持,提高各市州工业产值对R&D效率的贡献率,进一步强化湖南省工业在中部地区的影响力。

6) 货物出口水平 $X_6$ 对规模以上工业企业R&D效率的影响不显著。在一定程度上反映了湖南省工业整体技术溢出效应不强,在后续对外合作交流过程中,湖南省不仅要注重提高对外来技术的吸收能力,同时应加大力度提高R&D的自主创新水平。

从内部因素角度看,产业绩效对湖南省R&D效率的影响最大,而研发投入强度却是负向影响,这说明湖南省应加强对规模以上工业企业研发投入的监控,可以考虑将产业绩效作为研发投入分配的衡量指标之一,通过营造竞争环境倒逼企业提高研发投入的

转化率。同时,加强研发投入的监控有利于淘汰落后企业,有效整合现有资源。

从外部因素角度看,产业结构水平对湖南省 R&D 效率的影响最大,而货物出口水平的影响不显著,这说明湖南省规模以上工业企业的技术溢出效应有待进一步提高。湖南省应加快推动供给侧结构性改革,优化产业结构水平,强化工业在其他产业中的支柱地位。

## 5 研究结论和建议

### 5.1 研究结论

本研究采用 DEA 模型对湖南省各市州 2014—2021 年规模以上工业企业 R&D 效率进行了测算,分析了 R&D 效率热点空间分布变化情况和区域差异,探究了内外部影响因素对湖南省各市州规模以上工业企业 R&D 效率的影响效应,主要研究结论如下:

1) 从各省市州 R&D 效率分析结果来看,湖南省各市州 R&D 效率存在较大差异。其中,长沙市的规模以上工业企业 R&D 效率值一直处于 1 的有效水平;岳阳市、株洲市、张家界市和娄底市的规模以上工业企业 R&D 效率水平处于较高水平,大部分年份的效率值达到 1 的有效水平;衡阳市和郴州市的 R&D 效率水平处于中等水平,且 R&D 效率程度处于不稳定的波动状态;湘潭市、邵阳市、常德市、益阳市、永州市和怀化市的 R&D 效率水平相对较低;湘西州的 R&D 效率水平整体呈上升趋势,且 2016 年后 R&D 效率一直处于较高水平。

2) 湖南省 R&D 效率热点空间分布不均,整体分布格局发生了由东南向东北转变的趋势,热点地区逐渐形成“环长沙市”的格局。次冷点地区形成了自湘西州起,经怀化市、邵阳市、衡阳市到郴州市的分界线,将成为阻碍湖南省创新资源有效流通的壁垒。四大区域经济板块的区域差异、区域内贡献占主导影响作用,且与区域间贡献的差距在逐步减小。

3) 从 Tobit 回归结果发现,产业绩效、企业规模、经济发展水平和产业结构水平对湖南省 R&D 效率有显著正向影响,其中产业绩效对 R&D 效率的正向促进作用最大。而湖南省规模以上工业企业 R&D 效率与研发投入强度有显著的负向影响。货物出口水平对湖南省规模以上工业企业 R&D 效率影响不显著。

### 5.2 相关建议

根据以上结论,分别从湖南省、各市州和企业视角,提出如下提升湖南省规模以上工业企业 R&D 效率的建议:

1) 明确 R&D 整体布局。“环长沙市”的格局和“湘

西-郴州”分界线的形成,体现了湖南省规模以上工业企业 R&D 资源的集聚化。湖南省应大力推动高新技术企业和战略性新兴产业的发展,进一步扩大以重大技术突破为基础的高新技术企业和战略性新兴产业在规模以上工业企业中的比例,明确各市州在基础研究、应用研究和实验发展中的整体战略布局,形成长沙引领、链式助创的新格局,着力打造具有核心竞争力的科技创新高地。

2) 鼓励 R&D 区域合作。各市州应重点关注经济发展水平、地区产业结构、地理环境等因素,根据相邻市州区域环境现状差异化,积极改善营商环境,引导创新资源的有效流通,打通市州间的创新壁垒。热点地区要发挥引领和辐射作用,冷点、次冷点地区要加强与热点地区在创新链、产业链、人才链等方面构建多边、多元、多层次的合作关系,合力促进全省加大研发经费投入,实现 R&D 资源的有效整合,引导形成研发与创新集聚区和示范区。

3) 重视 R&D 产出转化。湖南省规模以上工业企业 R&D 效率整体水平不高的主要原因,是投入产出转化动能不足。规模以上工业企业应该一方面重视产学研合作研发,通过对接省内高校和科研机构的高新技术新兴产业科研成果,积极开展项目研发、落地、融资等一系列支持活动;另一方面加大对科研人才的引进力度,制定完善的科研奖励机制。实现 R&D 流程规范化、R&D 活动规模化以及 R&D 成果市场化,通过规模以上工业企业 R&D 效率的提升引领区域经济高质量发展。

### 5.3 研究不足与展望

由于考虑数据的完整性和连续性,本研究仅以规模以上工业企业 R&D 效率为研究对象。为了更好地研究创新效率,应该以高新技术企业为研究主体。再者,仅从湖南省各市州规模以上工业企业的数据进行分析,存在数据样本量选取不够大、时间跨度不够长等问题,以后的研究可以通过选择其他省份各市州为样本,探讨在不同地区间各 R&D 效率影响因素的相关性程度。同时,今后的研究可以以产业为研究对象,对产业间的研发效率进行评价和影响因素研究。

### 参考文献:

- [1] 罗映科. 我国高技术产业研发效率的测度及其影响因素分析: 基于 Malmquist 生产率指数 [D]. 南昌: 江西财经大学, 2015.  
LUO Yingke. The Measurement and Influence Factors of High-Tech Industry Development in China: Based on Malmquist Productivity Index [D]. Nanchang: Jiangxi

- University of Finance and Economics, 2015.
- [2] 王成东. 区域产业融合与产业研发效率提升: 基于SFA和中国30省市的实证研究[J]. 中国软科学, 2017(10): 94-103.  
WANG Chengdong. Regional Industry Convergence and the Improvement of Industrial R&D Efficiency: Empirical Study Based on SFA and 30 Provincial Areas of China[J]. China Soft Science, 2017(10): 94-103.
- [3] MA Xiaojun, LIU Yan, WEI Xiaoxue, et al. Measurement and Decomposition of Energy Efficiency of Northeast China-Based on Super Efficiency DEA Model and Malmquist Index[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2017, 24(24): 19859-19873.
- [4] 马腾飞. 中国规模以上工业企业研发效率空间分异研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2017.  
MA Tengfei. Research on Spatial Differentiation of R&D Efficiency of Industrial Enterprises Above Designated Size in China[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2017.
- [5] 江雯雯, 孙 权, 乔佳慧, 等. 医药制造业技术创新与出口贸易关系研究: 基于辽宁省时间序列的SE-DEA和VEC模型[J]. 中南药学, 2019, 17(3): 470-475.  
JIANG Wenwen, SUN Quan, QIAO Jiahui, et al. Technological Innovation Level and Export Trade of Pharmaceutical Manufacturing Industry in Liaoning: SE-DEA and VEC Model Based on Time[J]. Zhongnan Pharmacy, 2019, 17(3): 470-475.
- [6] 赵 庆. 产业结构优化升级能否促进技术创新效率?[J]. 科学学研究, 2018, 36(2): 239-248.  
ZHAO Qing. Can the Optimization and Upgrading of Industrial Structure Promote the Efficiency of Technological Innovation? [J]. Studies in Science of Science, 2018, 36(2): 239-248.
- [7] 李闽慧, 马 盼, 刘 涛. 江苏省高技术产业R&D效率测算及影响因素分析[J]. 科技创业月刊, 2020, 33(4): 24-27.  
LI Minhui, MA Pan, LIU Tao. Measuring the R&D Efficiency and Analysis of Influencing Factors of High-Tech Industry in Jiangsu Province[J]. Pioneering with Science & Technology Monthly, 2020, 33(4): 24-27.
- [8] 瞿天蔚. 湖南省高技术企业R&D投入产出效率研究: 基于DEA-Tobit模型[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2020.  
QU Tianwei. Research on R&D Input-Output Efficiency of High-Tech Enterprises in Hunan Province: Based on DEA-Tobit Model[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2020.
- [9] LIU W J, BAI Y. An Analysis on the Influence of R&D Fiscal and Tax Subsidies on Regional Innovation Efficiency: Empirical Evidence from China[J]. Sustainability, 2021, 13(22): 12707.
- [10] 赵玉林, 刘 超, 潘毛毛. R&D资源错配与绿色创新效率损失: 基于中国高技术产业的实证分析[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(4): 49-59.  
ZHAO Yulin, LIU Chao, PAN Maomao. Misallocation of R&D Resources and Loss of Green Innovation Efficiency: an Empirical Analysis Based on Data of China's High-Tech Industries[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2022, 39(4): 49-59.
- [11] YOON S, CHUNG Y, HAN S, et al. Do External Risk Factors Increase or Decrease Country-Level R&D Efficiency: Focused on Air Pollution and Job Insecurity?[J/OL]. Technology Analysis & Strategic Management, 2022. <https://doi.org/10.1080/09537325.2022.2036715>.

(责任编辑: 廖友媛)