doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.008

基于 SFA 的科技领军及潜力企业创新效率分析与对策研究
——以安徽省为例

开放科学（资源服务）标识码（OSID）

杨秀丽[1] 杨志发[1] 孙靓[1] 胡凤兰[2] 许衡宇[1]

1. 安徽省科学技术情报研究所（省科学技术档案馆） 合肥 230011；
2. 安徽省团校 合肥 230061

摘要：[目的 / 意义] 开展科技领军及潜力企业创新效率评价，有利于政府和企业充分了解创新投入产出情况，科学进行资源配置，为政府评价认定及相关工作开展提供参考。[方法 / 过程] 从 2020—2022 年安徽省高新技术企业中筛选得到 242 家科技领军及潜力企业共 726 个样本，通过 SFA 法进行投入产出创新效率评价，并研究企业规模、人才结构、政府支持等 6 项指标对企业创新效率的影响。[局限] SFA 对多产出情况有所限制，可能会导致结果存在偏差，后续可结合 DEA 等方法综合评判。[结果 / 结论] 安徽省科技领军及潜力企业城市分布高度集中，创新效率呈现稳步提高态势，但整体仍有较大提升空间，研发费用的增加相对于研发人员的增加更能提高企业创新效率，企业规模、税收减免、企业自筹对创新效率具有正向作用。需加大区域协同，强化多渠道、多层次政府支持，在构建创新生态的同时也要多措并举提高企业创新组织管理水平。

关键词：科技领军企业；SFA；创新效率；影响因素

中图分类号：G35

Analysis and Countermeasures of Innovation Efficiency of Technology Leaders and Potential Enterprises Based on SFA: A Case Study of Anhui Province

YANG Xiuli[1] YANG Zhifa[1] SUN Jing[1] HU Fenglan[2] XU Hengyu[1]

1. Anhui Provincial Institute of Science and Technology Information, Hefei 230011, China;
2. Anhui Provincial League School, Hefei 230011, China

基金项目 安徽省创新环境建设专项“融通创新需求下以企业为主导的技术创新模式探索”（202106f01050075）；安徽省科技创新战略与软科学研究专项“科大硅谷建设背景下科技金融融合路径与对策研究”（202306f01050034）；安徽省科技创新战略与软科学研究专项“新一轮机构改革形势下加强安徽省级科技部门创新资源统筹协调的体制机制及对策研究”（202306f01050024）。

作者简介 杨秀丽（1987-），硕士，助理研究员，主要研究方向为战略研究、科技情报分析；杨志发（1986-），硕士，副研究员，主要研究方向为战略研究、科技情报分析，E-mail：364445880@qq.com；孙靓（1983-），硕士，研究员，主要研究方向为战略研究，区域研究；胡凤兰（1986-），硕士，讲师，主要研究方向为青年工作；许衡宇（1969-），大专，研究实习员，主要研究方向为战略研究。

引用格式 杨秀丽，杨志发，孙靓，等．基于 SFA 的科技领军及潜力企业创新效率分析与对策研究——以安徽省为例 [J]. 情报工程，2025, 11(4): 86-100.

Abstract: [Objective/Significance] Conducting innovation efficiency evaluations of technology leaders and potential enterprises is beneficial for the government and enterprises to fully understand the input-output situation of innovation, scientifically allocate resources, and provide reference for government evaluation and related work. [Methods/Processes] A total of 726 samples of 242 technology leaders and potential enterprises were selected from high-tech enterprises in Anhui Province from 2020 to 2022. The input-output innovation efficiency was evaluated using the SFA method, and the impact of six indicators including enterprise size, talent structure, and government support on enterprise innovation efficiency was studied. [Limitations] SFA has limitations on multi output situations, which may lead to biased results. In the future, comprehensive evaluation can be conducted using methods such as DEA. [Results/Conclusions] The distribution of leading and potential technology enterprises in Anhui Province is highly concentrated, and the innovation efficiency shows a steady improvement trend. However, there is still significant room for improvement overall. The increase in R&D expenses is more likely to improve the innovation efficiency of enterprises compared to the increase in R&D personnel. The scale of enterprises, tax exemptions, and self financing have a positive effect on innovation efficiency. We need to increase regional collaboration, strengthen multi-channel and multi-level government support, and take multiple measures to improve the management level of enterprise innovation organizations while building an innovation ecosystem.

Keywords: Technology Leading Enterprises; SFA; Innovation Efficiency; Influence Factor

引言

习近平总书记指出，国家实验室、国家科研机构、高水平研究型大学、科技领军企业都是国家战略科技力量的重要组成部分，要自觉履行高水平科技自立自强的使命担当[1]。作为实现创新引领发展和国家创新体系系统性突破的重要基础性主体[2]，科技领军企业可以通过整合创新资源，促进产业共性技术、关键核心技术突破，引领带动产业链上下游企业跃迁升级，提升地区乃至国家科技创新实力。培育科技领军企业，有利于企业创新主体作用发挥，推动创新链、产业链、资金链、人才链深度融合，提高资源配置效率，对经济高质量发展具有重要推动作用。

中央和地方均采取多种措施支持发展科技领军企业，比如，2022 年科技部与财政部联合制定《企业技术创新能力提升行动方案（2022—2023 年）》，提出支持民营科技领军企业组建创新联合体。2023 年浙江九部门联合印发《关于强化企业科技创新主体地位加快科技企业高质量发展的实施意见（2023—2027 年）》，开展科技领军企业培育计划，在创新平台、重大项目方面给予倾斜。自 2022 年起浙江省已公布三批共 81 家科技领军企业，河北省在 2020—2023 年期间共公布 64 家科技领军企业[3]，天津市科技领军企业已完成认定九批次。安徽省于 2023 年 3 月发布《安徽省科技领军企业培育建设行动方案（试行）》（以下简称《方案》），对安徽省科技领军企业认定标准进行了规范，同年公布了第一批 11 家科技领军企业名单。然而在实际工作中，科技领军企业培育过程仍然

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.008

存在基础薄弱、发展较慢、信息不畅等问题。对科技领军企业进行分析研究，有助于全面客观了解现实，更好指导科技领军企业健康快速发展。

1 研究现状

当前对科技领军企业的研究整体较少。理论层面，尹西明等[2]对科技领军企业概念内涵进行了深入剖析，认为高强度科技创新投入是科技领军企业实现技术引领的保障。张学文等[4]探讨了科技领军企业助力科技自立自强的实现路径，认为人才是科技领军企业实现跨越式发展必不可少的因素。陈曦[5]总结科技领军企业具有显著“四强能力”，但认为科技领军企业后备力量接续不足。实践层面，朱焕焕等[6]总结了国外支持措施，何平[7]分析了国内外科技领军企业差距。国内科技领军企业评价主要采用数据描述性分析。卢絮等[8]通过科技领军企业数量、行业分布、研发费用等维度，分析了北京市科技领军企业现状与挑战。潘婷婷等[9]以 7 项重点指标数据为基础，对北上广江浙三省二市共 436 家企业进行了对比分析，得出浙江省科技领军企业规模相对不大，创新布局、重大科技创新成果产出有待加强等结论。童晶晶等[10]从创新生态系统角度，建立了科技领军企业评价指标体系并给出了各指标权重。杨文光等[3]综合三阶段 DEA 与熵权 TOPSIS 法对河北科技领军上市企业投入产出效率进行评价。综合各学者的研究，目前实践层面，从创新效率角度对科技领军企业进行评价的研究较少，亦没有科技领军企业创新效率的影响因素分析。经济社会持续发展进步的根本动力在于创新活动[11]，创新效率反映了创新活动投入与产出之间的相对有效性。作为产业技术创新中的领导者，创新型企业的佼佼者[7]，科技领军企业的创新效率更具有代表性。而高创新投入又增强了科技领军企业创新效率评价分析的紧迫性，开展科技领军企业创新效率评价，有利于政府和科技领军企业充分认识企业创新能力，科学地进行创新资源配置，提高使用效率。

当前，创新效率评价方法主要分为非参数法和参数法。前者主要是数据包络分析（DEA）及其延伸模型，后者以随机前沿分析（SFA）为代表。DEA 通过线性规划计算效率值，能方便处理多产出情况[12]，但忽略随机因素，把实际产出无效全部归于技术无效。SFA 通过设定具体的生产函数，将待估函数中的误差分为无效率误差和随机误差两部分，避免效率损失高估可能性，且结果相对稳定不易受异常点影响，在测算每个个体效率的同时还能直接分析相关因素对个体效率差异的影响[13]。目前，学者进行企业创新效率评价所使用的方法既有 DEA 法[14]，也有 SFA 法[15-16]，利用 SFA 法对科技领军企业创新效率进行研究并未见报道。技术创新总是率先生成于某个适当地区[17]，本文拟以安徽省为例，研究对象不仅局限于已公布的科技领军企业，还参考《方案》设定的条件筛选了可能发展为科技领军企业的潜力企业，既立足当下又面向未来，为政府评价认定以及相关工作开展提供参考。

2 研究设计

2.1 样本选择与数据收集

本文数据全部来自 2020—2022 年有效期内安徽省高新技术企业统计年报。科技领军潜力企业参考《方案》认定条件中的定量指标并结合数据规模考量略作调整，具体筛选标准如下：

（1）主导高新技术产品（服务）收入占企业同期总收入的比例不低于 60%；

（2）研究开发费用总额占同期销售收入总额的比例不低于 4%；

（3）拥有博士或高级职称人才 10 名（含）以上；从事研发和相关技术活动的科技人员占企业当年职工总数的比例不低于 10% 且达到 30 人以上；

（4）拥有有效期内知识产权，国际、国家或行业标准 1 项以上。

剔除 3 年内数据不连续的企业，共获得 232 家科技领军潜力企业，科技领军企业剔除一家数据不连续企业后共有 10 家。本文研究对象共计 242 家企业，3 年数据 726 个样本。

2.2 指标建立

2.2.1 投入产出指标

创新的实现过程说到底是创新资源从投入到产出的配置过程，不失一般性，本文从投入、产出角度对科技领军及潜力企业创新效率进行分析。投入方面，一般从人力和财力两个方面考虑；产出方面，一般采用财务指标和专利指标 [15]。以科学性、系统性、有效性、可得性为原则，根据科技领军企业是融合科技和产业促进成果转化的关键主体 [5]，考虑经济指标作为产出指标更为合适，结合《方案》对科技领军企业的考量，选择当年高新技术产品销售收入作为产出指标。同时，科技领军企业具有创新投入高，人才要素重要 [4] 等特性，从人力和财力两个方面，选择研究开发人员和研究开发费用作为投入指标，分析安徽省 242 家科技领军及潜力企业创新效率。

2.2.2 影响因素指标

参考前人研究，企业创新效率影响因素从企业规模、人才结构 [11]、税收减免 [14] 和政府补贴 [15] 等角度考量。除此之外，考虑到相对于其他创新型企业，科技领军企业有其自身特点，本文还增加了如下变量作为科技领军企业创新效率的影响因素。

（1）科技领军企业创新主体地位突出，在关键核心技术和前沿共性技术方面具有较强的主动性，本文采用企业自筹研发经费分析创新主体地位对科技领军企业创新效率的影响。

（2）科技领军企业能够有效整合创新资源，促进产学研高度协同，提升创新体系整体效能。企业创新资源组成丰富，包括创新人才、资金和物质资源等 [18]，其中，物质资源是企业创新过程的基础保障，其丰富性、多样性可能影响企业研发进度，关系企业成果转化效率。根据数据的可得性，选择当年形成的用于研究开发的固定资产作为变量分析物质资源对科技领军企业创新效率的影响，相关指标如表 1 所示。

2.3 模型设计

SFA 由 Aigner 等 [19] 和 Meeusen 等 [20] 于 1977 年分别独立提出，其基本模型为 $\ln q_i=x_i'\beta+v_i-u_i$，$i=1, 2..., N$，其中，$\beta$ 为待估计系数；v_i

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.008

表 1　本文涉及的指标

指标类型	指标名称	指标符号	解释
产出变量	高新技术产品销售收入	Q_{it}	Q_{it} 表示第 i 个公司第 t 年的高新技术产品销售收入的对数
投入变量	研发费用	K_{it}	K_{it} 表示第 i 个公司第 t 年的研发费用的对数
	研发人员	L_{it}	L_{it} 表示第 i 个公司第 t 年的研发人员的对数
创新效率影响因素	企业规模	Sca	表示企业规模，用期末企业总资产的对数来反映
	企业自筹	Com	表示企业创新主体地位，用企业自筹研发费用占研发费用的比值的对数表示
	固定资产	Fix	表示企业物质资源情况，以当年形成用于研究开发的固定资产对数表示
	政府支持	Gov	表示政府对企业的直接支持力度，以政府直接补助的研发经费与研发费用的比值的对数表示
	税收减免	Tax	表示政府对企业的间接支持力度，以高新技术企业所得税减免、研发加计扣除所得税减免、技术转让所得税减免之和的对数表示
	人才结构	Per	表示高水平人才的比例，取具有研究生学历（位）人数与企业当年从业人员数的比值的对数

为随机误差项用以反映统计噪声，包括观测误差等各类随机误差，v_i 与技术无效率项 u_i 无关，服从 $N(0, \sigma_v^2)$ 正态分布；u_i 为技术无效率项。自该方法提出后，研究者不断扩展和完善该函数。Battese 等 [21] 通过“一步法”不仅测算了技术效率值，还对技术效率影响因素进行了分析。该方法中，u 符合截断正态分布 $N(m_{it}, \sigma_u^2)$；m 是技术非效率影响因素函数，其计算公式可以表示为：$m_{it}=\delta_0+Z_{it}\delta$，其中，$Z_{it}$ 为技术无效率解释变量，δ 为 Z_{it} 的待估参数，δ_0 为常数项。

目前，主流 SFA 主要分为柯布 — 道格拉斯生产函数又称 C-D 生产函数和超越对数生产函数又称 Translog 生产函数两种模型。在考虑资本和劳动两种生产要素情况下，具有时变性的 Translog 生产函数如式（1）所示：

$$\ln Q_{it} = \beta_0 + \beta_K \ln K_{it} + \beta_L \ln L_{it} + \beta_T t + \frac{1}{2}\beta_{KK} \ln K_{it}^{\ 2} + \frac{1}{2}\beta_{LL}(\ln L_{it})^2 + \frac{1}{2}\beta_{TT} t^2 + \beta_{KL} \ln K_{it} \ln L_{it} + \beta_{TK} t \ln K_{it} + \beta_{TL} t \ln L_{it} + v_{it} - u_{it} \quad (1)$$

其中，$u_{it}=u_i exp[-\eta(t-T)]$，$\eta$ 为考虑时变性的待估参数。当模型中所有二次项系数 β 均为 0 时，即 $\beta_{KK}=\beta_{LL}=\beta_{TT}=\beta_{KL}=\beta_{TK}=\beta_{TL}=0$，生产函数即为简单的 C-D 生产函数，可以说 C-D 生产函数是 Translog 生产函数的一种特例。因此，尽管 C-D 生产函数结构简单便于理解，但 Translog 生产函数更具一般性，本文首先构建具有时变性的 Translog 生产函数，如式（1）所示。基于变量的选择，构建技术无效率函数，如式（2）所示：

$$u_{it}=\delta_0+\delta_1 Sca_{it}+\delta_2 Com_{it}+\delta_3 Fix_{it}+\delta_4 Gov_{it}+\delta_5 Tax_{it}+\delta_6 Per_{it} \quad (2)$$

3　实证结果及分析

3.1　模型检验

SFA 是一种参数分析法，不同的生产函数形式可能会导致不同的分析结果。因此，在实证分析前，需要对建立的生产函数模型形式进行确定，参照全炯振 [22]、王德祥等 [23] 验证步骤，利用似然率检验统计量 LR 开展模型适用

性检测。$LR = -2\{ln[L(H_0)/L(H_1)]\} = 2[lnL(H_1)-lnL(H_0)]$，$L(H_0)$ 和 $L(H_1)$ 分别表示在约束条件下和无约束条件下的最大似然值。模型检验和实证分析均在 Frontier 4.1 软件中完成。

模型适用性包括如下检验。检验 1 为随机前沿适用性检验。判断 SFA 是否适用的最关键参数为变差率 γ，$\gamma=\sigma_u^2/(\sigma_v^2+\sigma_u^2)$；当 γ=0 时，误差来源于随机因素，用最小二乘估计法（OLS）即可；当 0<γ<1 时，误差来源于随机因素和技术非效率，此时 SFA 是适合的。经过检验，γ=0.958 且 T=87.969，通过 T 检验，说明随机扰动很小，技术无效率是效率损失的主要原因；LR=507.464，而在 5% 显著性水平下的渐进混合卡方临界值为 13.401；因此，拒绝零假设，采用 SFA 进行参数估计是合适的。同样地，利用 LR 值完成其他检验。检验 2 为生产函数选择。检验 3 为时间变量存在性判断。检验 4 为技术效率时变性检验，检验结果如表 2 所示。综上，本文随机前沿模型具有时变性，采用包含时间变量的 Translog 生产函数更为适用。

表 2　安徽省科技领军及潜力企业前沿生产函数模型形式检验结果

检验	假设	对数似然值（***LLF***）	检验统计量（***LR***）	临界值	检验结论
检验 1	H_0: $\gamma=\delta_0=\delta_1=\delta_2=\delta_3=\delta_4=\delta_5$	–921.947	507.464	13.401	拒绝
检验 2	H_0: $\beta_{KK}=\beta_{LL}=\beta_{TT}=\beta_{TK}=\beta_{TL}=\beta_{KL}=0$	–683.455	30.480	12.592	拒绝
检验 3	H_0: $\beta_T=\beta_{TT}=\beta_{TK}=\beta_{TL}=0$	–676.393	16.356	9.488	拒绝
检验 4	H_0: $\eta=0$	–689.927	43.424	3.841	拒绝

备注：1. H_1 模型为式（1），无约束对数似然值 LnL_1 = –668.215；2. 临界值为 5% 显著性水平下自由度为 k 的卡方临界值，自由度为约束条件的个数；3. 当零假设中有 γ=0，LR 服从渐进混合卡方分布 [22]，其他符合混合卡方分布。

3.2　相关性检验

模型无效率项中因素之间如果存在多重共线性，可能会对结果存在影响。在进行随机前沿分析前，需对模型各变量进行多重共线性分析，本文统计分析均在 SPSS 中完成。如表 3 所示，经 Pearson 和 Spearman 相关分析，企业规模与固定资产，税收减免、人才结构，企业自筹与政府支持，固定资产与政府支持、税收减免，政府支持与人才结构之间均存在极强的相关性，但相关性系数均未超过 0.8，且共线性关键性指标方差膨胀因子 VIF 均小于 5，说明所选取的 6 项指标之间不存在共线性相关性问题，影响因素指标选择是合适的。

表 3　各主要变量相关系数表

	Ln(Sca)		***Ln(Com)***		***Ln(Fix)***		***Ln(Gov)***		***Ln(Tax)***		*VIF*
	r	*ρ*	*r*	*ρ*	*r*	*ρ*	*r*	*ρ*	*r*	*ρ*	
Ln(Sca)	1	1									1.199
Ln(Com)	0.152***	0.037	1	1							1.069
Ln(Fix)	0.260***	0.276***	0.049	–0.112***	1	1					1.098
Ln(Gov)	0.012	0.021	–0.150***	–0.538***	0.112***	0.161***					1.080
Ln(Tax)	0.215***	0.458***	0.172***	0.021	0.145***	0.258***	–0.06	–0.019	1	1	1.094
Ln(Per)	0.233***	0.229***	–0.034	–0.085**	0.078**	0.081**	0.200***	0.210***	–0.059	0.035	1.116

备注：*** 表示 1%（双尾）相关性显著，** 表示 5%（双尾）相关性显著，下同。

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.008

3.3 企业基本情况

从城市分布上来看，242 家企业主要分布于合肥、芜湖、安庆、宣城以及马鞍山等城市，其中，合肥拥有企业最多，总数为 102 家，占比达 42.1%，第二名芜湖仅有 31 家，占比与合肥相差 29.3%；安庆和宣城的数量分别为 24 家和 16 家。马鞍山（12 家）、六安（11 家）、蚌埠（9 家）等 10 座城市仅有零星分布，占比均不超过 5%，总占比也仅达到 28.5%，与合肥相差 13.6%。宿州、池州 2 个城市没有企业入选。

根据国家高新区和高新技术企业统计调查制度中企业所属的 11 大技术领域分类，除其他高技术，242 家安徽省科技领军及潜力企业主要分布于光机电一体化、新材料、电子与信息（以下简称“电子信息”）三个技术领域，分别占比 32.2%、14.9% 和 14.5%，而核应用技术，地球、空间、海洋工程技术领域占比最少，仅分别有 3 家企业，如图 1 所示。

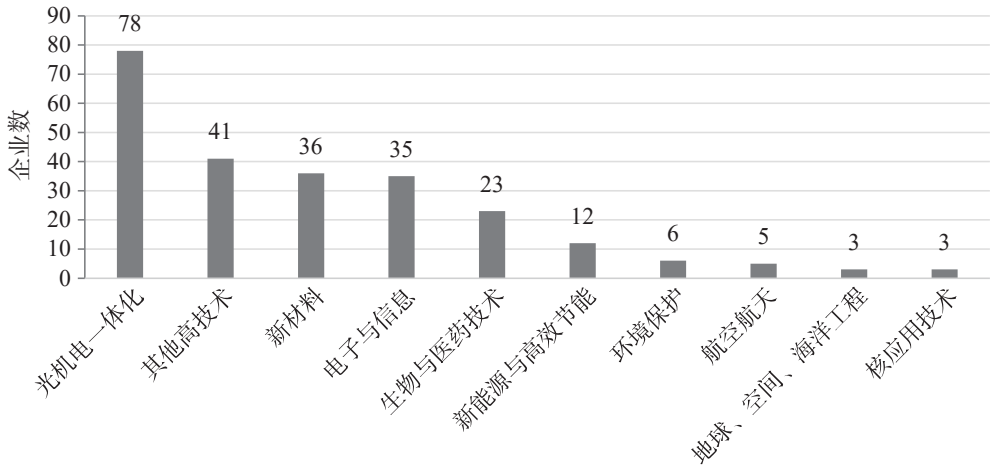

图 1 安徽省科技领军及潜力企业技术领域分布

3.4 企业创新效率

3.4.1 总体情况

整体看，如图 2 所示，2020—2022 年 242 家安徽省科技领军及潜力企业平均创新效率为 0.64，仍有较大提升空间，3 年平均创新效率呈现负偏态分布，右侧频数高但无长尾，说明高门槛下多数企业效率集中且良好，但左侧呈现明显低值拖尾，仍有少数企业拉低整体企业创新效率水平。

从趋势上看，如表 4 所示，2020—2022 年 242 家安徽省科技领军及潜力企业创新效率标准差逐渐缩小，企业之间差距在逐年缩小；创新效率小于 0.2 的企业数量在逐年减少、大于等于 0.8 的企业数量则在逐年增加，说明总体而言，全省科技领军及潜力企业创新效率逐步提升。企业效率值小于 0.2 的企业主要集中在电子信息技术领域，效率值大于等于 0.8 的企业主要集中在光机电一体化技术领域。进一步研究不同技术领域企业创新效率，选择上述两个典型技术领域进行分析，同时增加和电子信息技术领域企业数量相一致的新材料技术领域开展对比分析。

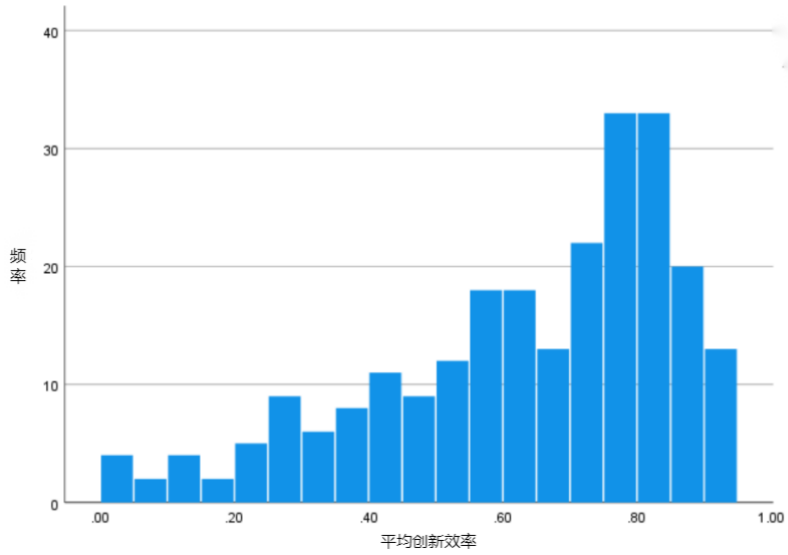

图 2　2020—2022 年企业平均创新效率直方图

3.4.2　不同技术领域企业创新效率差异

如表 5 所示，无论是 Kolmogorov-Smirnov 检验（K-S 检验）还是 Shapiro-Wilk 检验（S-W 检验），三个技术领域的企业创新效率均呈非正态分布，且三个技术领域企业数量不等，因此，选择非参数检验 Kruskal-Wallis 开展差异性检验。经过检验，三个技术领域之间的 P<0.001，三者之间存在显著性差异。进一步两两配对比较分析，电子信息与新材料、光机电一体化技术领域之间的 P 值均为 0，存在极显著差异；光机电一体化与新材料之间的 P 值为 0.444，二者之间不存在显著性差异。

表 4　2020—2022 年安徽省科技领军及潜力企业创新效率

	年份	2022	2021	2020	平均
创新效率	*N*	242	242	242	242
	Max	0.955	0.938	0.946	0.937
	Min	0.010	0.001	0.001	0.012
	极差	0.945	0.937	0.945	0.925
	SD	0.239	0.240	0.257	0.223
	均值	0.642	0.643	0.622	0.636
N	Q ≥ 0.64	144	142	140	141
	Q ≥ 0.8	81	79	75	66
	Q<0.2	17	18	22	12

从均值上看，电子信息领域的企业创新效率最低，各年的企业创新效率均未超过 0.5，与 242 家企业创新效率平均值相比，2020—2022 年电子信息领域企业创新效率分别低了 30.2%、24.1%、26.1%。新材料企业创新效率最高，到 2021 年企业创新效率已超过 0.7，2022 年达到 0.712，均高于平均值，2020—2022 年分别高出 9.3%、11.6% 和 11.9%；光机电一体化领域企业尽管数量最多，但各年创新效率也同样高于 242 家企业均值。可见，安徽科技领军及潜力企业创新效率主要受制于电子信息技术领域企业，电子信息技术领域企业创新效率的提升将大幅提高全省企业创新效率总体水平。

尽管三大技术领域企业创新效率呈现逐年增长态势，但不同技术领域企业内部差异性变化并不相同，光机电一体化和新材料技术领域的企业之间的创新效率差异在逐年缩小，二者的标准差分别由 2020 年的 0.245 下降至 2022 年的 0.199、2020 年的 0.205 下降至 2022 年的 0.188，而电子信息技术领域的企业创新效率标

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.008

表 5　技术领域和地区企业创新效率分析

分析类别			技术领域企业创新分析			典型地区企业创新效率分析		
			光机电一体化	新材料	电子信息	合肥	沿江城市带	皖北
N			78	36	35	102	97	26
描述性统计	2020	均值	0.642	0.695	0.444	0.562	0.698	0.569
		SD	0.245	0.205	0.278	0.275	0.205	0.290
	2021	均值	0.664	0.710	0.483	0.591	0.715	0.551
		SD	0.221	0.195	0.289	0.248	0.204	0.273
	2022	均值	0.682	0.712	0.470	0.566	0.726	0.588
		SD	0.199	0.188	0.287	0.254	0.194	0.236
df			234	108	105	306	291	78
正态性检验	K-S 检验		<0.001	0.002	0.022	<0.001	<0.001	0.016
	S-W 检验		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Kruskal-Wallis 检验	*P*		<0.001			<0.001		
			光 — 新		0.444		0.000	
			光 — 电		0.000		1.000	
			新 — 电		0.000		0.000	

备注：显著性水平为 0.050。

准差则由 2020 年的 0.278 上升至 2022 年的 0.287。

3.4.3　不同地区企业创新效率分析

从可比性、典型性角度，考虑到筛选出的各城市科技领军及潜力企业数量差异巨大且合肥十分突出这一现实，参考 2024 年安徽省人民政府发布的《安徽省国土空间规划（2021—2035 年）》区域划分标准，选择合肥、沿江城市带以及皖北三个地区企业创新效率开展分析。如表 5 所示，可以看到，三个地区的科技领军及潜力企业数量差异巨大，皖北地区企业数量远少于合肥和沿江城市带企业数量。经 Kruskal-Wallis 检验，三个城市企业创新效率存在显著性差异。沿江城市带的企业创新效率分别与合肥企业创新效率、皖北企业创新效率存在显著性差异，但合肥企业创新效率与皖北企业创新效率并不存在显著性差异。

从具体数值上看，2020—2022 年各年沿江城市带企业创新效率均高于其他 2 个地区的企业创新效率且企业之间的差距在逐年缩小，标准差由 2020 年的 0.205 下降至 2022 年的 0.194，下降了 0.011。合肥企业之间的创新效率标准差从 2020 年的 0.275 缩小至 2022 年的 0.254，缩小了 0.021，创新效率平均值与沿江城市带的差距从 2020 年的 0.136 升至 0.16。尽管皖北与合肥企业创新效率不存在显著性差异，但该地区企业创新效率差距缩小最为明显，标准差从 2020 年的 0.290 缩小至 2022 年的 0.236，数值达到 0.054，为三个地区之最。

合肥企业创新效率与预期存在差距，可能与合肥企业技术领域存在一定关系。合肥 102 家科技领军及潜力企业中有 25 家企业属于电子信息技术领域，占比达到 24.5%，而沿江城市带和皖北地区电子信息技术领域企业占比仅分

别为 7.2% 和 3.8%。因此，从这一角度看，合肥企业创新效率与皖北地区企业创新效率不存在显著性差别，但二者创新效率较低产生原因有一定不同，合肥企业创新效率较低是产业差异导致的，而皖北地区企业创新效率较低则提示皖北地区企业创新效率整体偏低。

3.5 随机前沿生产函数和效率函数结果

3.5.1 随机前沿生产函数

从前沿函数系数估计上看，如表 6 所示，研发费用 β_K 弹性系数为 1.203，且 T 值在 1% 水平上显著，说明研发费用对安徽省科技领军及潜力企业的创新产出具有正向作用，在二次项弹性系数为 0 的情况下，每增加 1% 的研发费用，创新产出将增加 1.203%。二次项系数 β_{KK} 尽管在 10% 水平上显著，但仅有 0.040，提示研发费用达到一定阈值后对企业创新产出的影响可能有所下降。研发人员 β_L 是正数但 T 值不显著，但二次项系数为 0.271 且在 1% 水平上呈现极显著，说明研发人员投入存在边际效应递增现象，即达到一定规模后加速促进企业产出。

研发费用与研发人员交互系数 β_{KL} 为 –0.239 且在 1% 水平上显著，说明研发费用与研发人员存在替代或挤出效应，对于所选择的科技领军及潜力企业来说，二者同时增加并不会对企业创新产出产生正向作用。已有研究表明 [24]，劳动者报酬比科研人员数量对企业创新绩效影响更大，在单位投入不变的情况下，研发人员数量的增加也就意味着研发费用中研发人员工资会相应增加，挤占直接用于研发活动的费用，导致研发产出下降。王黎明等 [25] 也发现，研发人员对创新产出数量的贡献具备研发经费门槛效应，在中等研发经费投入下，研发人员贡献最大。

表 6 SFA 模型回归结果

类别	待估参数	系数	*SE*	*T*
前沿函数	β_0	1.575	0.886	1.777*
	β_K	1.203	0.282	4.267***
	β_L	0.121	0.336	0.362
	β_T	0.068	0.181	0.376
	β_{KK}	0.040	0.024	1.699*
	β_{LL}	0.271	0.026	10.291***
	β_{TT}	–0.017	0.029	–0.584
	β_{KL}	–0.239	0.050	–4.745***
	β_{TK}	0.047	0.025	1.845*
	β_{TL}	–0.094	0.035	–2.727***
技术无效函数	δ_0	2.208	1.021	2.163**
	δ_1	–0.845	0.143	–5.915***
	δ_2	–0.695	0.125	–5.582***
	δ_3	0.118	0.030	3.873***
	δ_4	0.933	0.143	6.539***
	δ_5	–0.339	0.053	–6.449***
	δ_6	2.238	0.310	7.215***
	σ^2	3.823	0.558	6.849***
	γ	0.993	0.002	584.186***
LR 检验	–497.200***			

备注：*、**、*** 分别表示回归结果在 10%、5% 和 1% 的统计水平上显著。

3.5.2 效率函数

（1）企业规模对创新效率的影响

$\delta_1 = -0.845$，T 值在 1% 水平上显著，说明企业规模与科技领军及潜力企业的创新无效率呈显著的负相关，每提高 1% 企业规模，企业无效率期望值下降 0.845%。这一结果与侯静静等 [15]、王晓东等 [16] 研究相一致。这符合熊彼特理论，企业规模越大，企业可提供资金、人

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.008

力、设备、生产资料等支持越大。科技领军及潜力企业能够集聚上下游创新资源，规模越大，这种能力也就越强，也就越能通过提高创新投入促进创新效率的提高。当然，从成本分摊角度看[26]，规模越大，科技领军及潜力企业成本分摊越多，单位创造价值更大，企业创新效率也相对更高。

（2）企业自筹对创新效率的影响

δ_2 = –0.695，T 值在 1% 水平上显著，说明企业自筹与科技领军及潜力企业的创新无效率呈现显著负相关，每提高 1% 企业自筹研发经费，企业无效率期望值下降 0.695%。企业自筹资金相对于其他来源的研发经费，更具有灵活性，能快速响应创新过程中需求，且与企业自身利益深度绑定，管理层会更注重研发投入回报，在实际使用中也会更精准，从而大大减少浪费。对于科技领军及潜力企业而言，重视自筹研发资金的投入，可能比单纯依靠外部资金更能提高创新效率。

（3）固定资产对创新效率的影响

δ_3 = 0.118，T 值在 1% 水平上显著，说明当年形成用于研发的固定资产与科技领军及潜力企业的创新无效率具有显著正相关关系，每提高 1% 当年形成用于研发的固定资产，企业无效率期望值上升 0.118%。这可能是由固定资产较高的沉没成本和较低的灵活性导致的，当年形成用于研发的固定资产更多会被用在后续年份创新支持促进上，相反，企业很可能因为采购固定资产占用部分研发投入，拉低当年研发产出。

（4）政府支持对创新效率的影响

δ_4 = 0.933，T 值在 1% 水平上显著，说明政府直接创新补贴支持会降低企业的创新效率，每增加 1% 政府直接补贴，企业无效率期望值上升 0.933%，这一结果与熊曦等[27]研究结果一致，政府直接补助对企业研发阶段和转化阶段具有显著负向作用。作为科技领军及潜力企业，研发费用存在边际效应，并不是研发费用越多越好。政府直接创新补贴可能会产生一定的替代效应，挤占企业自身研发投入。

（5）税收减免对创新效率的影响

δ_5 = –0.339，T 值在 1% 水平上显著，说明税收减免与科技领军及潜力企业的创新效率具有正相关性，每增加 1% 税收减免，企业无效率期望值下降 0.339%。尽管有研究证明，税收优惠过多也可能会降低企业技术效率[14]，但当前对安徽科技领军及潜力企业来说，税收优惠对提高企业创新效率是有效的。与政府直接提供事前补贴相比，税收减免对企业创新资源干预较少，能够减少企业不正当骗取国家补助的空间，有效促使企业真正将研发经费投入到所需的创新活动提高创新产出。

（6）人才结构对创新效率的影响

δ_6 = 2.238，T 值在 1% 水平显著，说明人才结构与科技领军及潜力企业的创新效率具有负相关性，即硕士研究生比例每增加 1%，企业无效率期望值上升 2.238%，这与张玉臣等[24]研究一致。受朱平芳等[28]研究的启示，以技能人才与企业当年从业人员数的比值的对数代替研究生比例的对数，结果发现，δ_6' = –0.845，T = –6.189（VIF=1.050）。即技能人才与科技领军及潜力企业的创新效率具有正相关性，技能人才比例每增加 1%，企业无效率期望值下降 0.845%。

（7）创新效率的时滞性分析

从 SFA 结果中可以看出，β_T 和 β_{TT} 方向相反且均不显著，β_{TK} 和 β_{TL} 尽管均存在显著性但方向相反，因此，无法直接判断企业创新效率是否存在时滞性现象。本文以 2020 年投入变量作为基底，分别以 2020 年、2021 年和 2022 年产出变量高新技术产品销售收入的对数作为当年、时滞 1 年和时滞 2 年的产出变量，以不具有时变性的 Translog 模型，进行逐年求解获得当年产出效率 Q_{it}^{0}、时滞 1 年产出效率 Q_{it}^{1} 和时滞 2 年产出效率 Q_{it}^{2}，如式（3）所示：

$$\mathrm{Ln}Q_{\mathrm{it}} = \beta_0 + \beta_K \ln K_{it} + \beta_L \ln L_{it} + \frac{1}{2}\beta_{kk}\left(\ln K_{it}\right)^2 + \frac{1}{2}\beta_{LL}\left(\ln L_{it}\right)^2 + \beta_{KL}\ln K_{it}L_{it} + v_{it} - u_{it} \quad (3)$$

第一步，比较 Q_{it}^{0} 与上述经时变性 Translog 模型计算出的 2020 年企业创新效率之间的差异性，经独立样本 Mann-Whitney U 检验，P=0.481，二者不具有显著性差异，说明逐年求解获得的产出效率值具有可信性。第二步，利用 Kruskal-Wallis 检验对 Q_{it}^{0}、Q_{it}^{1} 和 Q_{it}^{2} 三者进行差异性检验，P=0.090，说明三者之间不存在显著性差异，3 年内不存在显著性产出时滞结果。

3.6 稳健性检验

为验证模型的可靠性，参考侯静静等 [15] 方法，以 2020 年、2021 年和 2022 年高新技术产品销售收入作为因变量，以当年投入变量和创新效率影响因素作为自变量，采用 OLS 线性回归进行分析。如表 7 所示，研发费用、研发人员以及影响因素与高新技术产品销售收入之间关系与 SFA 测算结果方向性完全一致，特别是研发费用、当年形成用于研发的固定资产、减免税总额、政府补助占研发费用的比例以及研究生占从业人员的比例显著性完全相同，说明研究具有稳健性。

表 7　高新技术产品销售收入对投入变量、影响因素的线性分析结果

变量	R^2	β	t	P
K_{it}	0.715	0.718	18.588	<0.001
L_{it}		0.098	2.653	0.008
Sca		0.056	2.889	0.004
Com		0.086	4.175	0.858
Fix		–0.004	–0.178	<0.001
Gov		–0.073	–3.727	<0.001
Tax		0.162	8.227	<0.001
Per		–0.133	–6.631	<0.001

备注：因变量为高新技术产品销售收入。

4 研究结论与对策建议

4.1 研究结论

本文以 2020—2022 年安徽省高新技术企业为基础，利用 SFA 模型对 3 年科技领军及潜力企业的创新效率进行测度，比较不同产业类型和地市差异，并分析了创新效率影响因素，得出如下结论。

（1）全省科技领军及潜力企业创新效率总体向好。2020—2022 年 242 家企业的最大值、最小值以及平均值均呈逐年增加态势，效率值大于 0.8 的企业数量逐渐增多。但 242 家企业的平均创新效率为 0.64，仍有较大提升空间，尤其平均仍有 12 家企业创新效率小于 0.2，制约整体企业效率的提升。

（2）不同区域和技术领域企业创新效率分化显著。科技领军及潜力企业地区分布高度集中，主要集中于合肥、芜湖等少数几个城市，

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.008

沿江城市带企业创新效率最高，皖北地区整体水平偏低。新材料与光机电一体化表现优异，各年企业创新效率均超过全部企业创新效率均值，但电子信息领域企业创新效率表现不佳，呈现“整体差异加大，但头部企业突破受阻”双重问题。

（3）研发投入对科技领军及潜力企业至关重要但存在阈值效应，且不同来源的研发经费对企业创新效率的影响是不同的。研发经费弹性系数 1.203，远高于研发人员系数，但研发费用二次项仅 0.04，提示边际贡献递减，且与研发人员存在替代效应。自筹经费和税收减免能显著提升创新效率而政府直接补助则会降低企业创新效率，说明提高企业自主创新动力作用更重要，创新资源配置需要优化。

（4）对于科技领军企业来说人才能力比学历更为重要。技能人才能够提高企业的创新效率，但非研发岗位高学历冗余反而可能会降低企业的创新产出。科技领军企业以产业创新需求为牵引开展技术研发，对人才需求在于能真正地开展创新活动，高学历并不等同于高层次人才，如果只关注学历，很可能因为过高的高学历比例导致薪酬待遇高、沟通成本上升，进而增加了管理成本，降低企业创新效率。

4.2 对策建议

科技领军及潜力企业具有较强的优质创新资源吸纳富集和产业引领带动作用，可以有效推动地区企业创新投入，促进本地区产业创新能力整体跃升。加快科技领军企业培育既是科技自立自强的必然要求，也是促进本地区经济社会发展的现实需求。

（1）提供差异化针对性政策支持。

在综合考虑创新投入以及创新效率基础上，需制定科学合理的科技领军企业认定标准，构建梯度培育体系。针对不同技术领域和企业规模，提供更具针对性的政策支持。如对电子信息领域企业，重点支持基础研究和关键技术攻关，设立专项基金，推动 AI 芯片、基础元器件等核心技术突破。优化创新资源配置，减少对企业的直接研发补贴，避免挤占企业自身研发投入。实施技术转让所得税等间接激励措施，鼓励企业自主增加研发投入。建立追踪评价机制，及时调整支持方向和重点。针对未来前景好市场大，关系国家高新技术产业安全的领域，定期更新“三首”（首台套、首批次、首版次）产品推广应用指导目录，加强政府采购支持，落实好“三首”产品推广应用，促进关键技术、重大创新产品成果推广应用。科技保险以及新一代信息技术产业基金、集成电路产业投资基金等科技金融创新产品，可引入竞争择优、中期评估退出等机制，增强企业自主创新紧迫性，提高企业产品、成果市场化水平。

（2）强化区域合作促进全省企业创新协同共进。

应进一步加强区域内城市产业协同，优化资源配置，通过交通基础设施建设、营商环境改善等方式，促进创新资源向皖北、皖南等地区流动。合肥可依托滨湖科学城全面实体化推进之际，强化量子信息实验室、类脑智能国家工程实验室等高能级创新平台策源能力，利用“中国声谷”辐射带动作用，支撑全省尤其是皖北地区企业创新开发。沿江城市应深化长三角创新合作，利用 G60 科创走廊，加强与发达

省份产业创新合作，提升企业创新水平。如芜湖可以利用机器人、新能源汽车优势，吸纳长三角核心零部件企业、高校科研机构等，开展技术协同攻关，提高全省先进制造创新水平。

（3）提高担当意识，提升企业创新组织管理水平。

建立科技领军企业家科技创新咨询制度，通过座谈、培训、领导交流等多种形式，切实提高科技领军企业家的政治站位，将企业自身发展与国家战略紧密结合。鼓励企业设立研发准备金，赋予企业科技创新、产业创新更大决策权，可以原则上将产业类项目技术路线制定、攻关任务分解、参与单位全部交由企业决定。科技领军企业应提高意识，不能完全依赖研发经费投入的增加，应协调好研发经费与研发人员的投入配比，注重引进国际先进设备，通过“研发飞地”、并购、合作等方式整合链接全球创新资源，加速新产品生产投放。

（4）大力推动企业高水平高能力人才队伍建设。

畅通高层次科技创新人才、企业管理人才跨区域、跨部门、跨行业流动机制，通过信息发布、政策宣传、校友会等各类渠道，网罗国内外高层次人才。将卓越工程师、技术转化人才纳入科技领军人才培育计划统筹规划。实施重点面向企业的科创人才培养计划，培养“懂科技、懂产业、懂资本、懂市场、懂管理”复合型科技产业组织人才。企业应摒弃“硕士 / 博士占比”等单一指标，强化“岗位匹配度”，赋予技能人才更大“技术话语权”。对高水平高能力人才应提供有效的晋升渠道，营造宽松、舒心的工作环境，在提供富有竞争力的薪酬待遇的同时，营造能力至上生态，不断提升高水平人才的影响力、知名度，降低流失风险。

参 考 文 献

[1] 新华社 . 习近平：在中国科学院第二十次院士大会、中国工程院第十五次院士大会、中国科协第十次全国代表大会上的讲话 [EB/OL]. (2021-05-28) [2025-03-15]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-05/28/content_5613746.htm.

[2] 尹西明 , 陈劲 , 刘畅 . 科技领军企业：定义、分类评价与促进对策 [J]. 创新科技 , 2021, 21(6): 1-8.

[3] 杨文光 , 段慧仪 , 张凌洁 . 基于三阶段 DEA 与熵权 TOPSIS 的上市科技领军企业发展效益评价研究 [J]. 华北科技学院学报 , 2024, 21(1): 104-110.

[4] 张学文 , 靳晴天 , 陈劲 . 科技领军企业助力科技自立自强的理论逻辑和实现路径：基于华为的案例研究 [J]. 科学学与科学技术管理 , 2023(1): 38-54.

[5] 陈曦 . 科技领军企业促进新质生产力发展的作用机理与路径 [J]. 全球化 , 2024(6): 107-116.

[6] 朱焕焕 , 陈志 . 主要发达国家支持科技领军企业的实践与启示 [J]. 中国科技人才 , 2023(5): 57-61.

[7] 何平 . 我国科技领军企业发展面临的挑战与应对策略 [J]. 价格理论与实践 , 2023(2): 180-183.

[8] 卢絮 , 张颖岚 , 邓明荣 , 等 . 北京加快科技领军企业培育发展对策 [J]. 科技和产业 , 2024, 24(15): 19-25.

[9] 潘婷婷 , 谌凯 . 科技领军企业培育省际对比及对浙江的启示 [J]. 科技通报 , 2024(10): 116-120.

[10] 童晶晶 , 杨倩 , 雷声 , 等 . 基于创新生态系统的科技领军企业评价研究 [J]. 企业科技与发展 , 2023(7): 1-3.

[11] 林青宁 , 毛世平 . 中国高新技术企业研发效率及影响因素研究 [J]. 经济经纬 , 2018, 35(2): 99-106.

[12] 杨志发 , 盛玮芮 , 张虹冕 , 等 . 基于 DEA 方法的科技企业孵化器绩效评价与对策研究 —— 以安徽省为例 [J]. 情报工程 , 2024, 10(4): 73-83.

[13] 李双杰 , 范超 . 随机前沿分析与数据包络分析方法的评析与比较 [J]. 统计与决策 , 2009(7): 25-28.

[14] 唐勇 , 张骁 , 周霞 , 等 . 基于 DEA-Tobit 的创新型

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.008

医药生物企业创新效率 [J]. 工业工程 , 2015(5): 115-121.

[15] 侯静静 , 温明振 , 熊朗羽 . 民营企业研发效率及影响因素 [J]. 企业经济 , 2020(6): 120-127.

[16] 王晓东 , 赵勍升 . 基于 SFA 的我国高科技上市公司技术效率及其影响的因素分析 [J]. 工业技术经济 , 2007(11): 145-148.

[17] 刘琦岩 . 产业技术创新组织范式及政策取向 [J]. 中国科技论坛 , 2014(12): 14-17.

[18] 张震宇 , 陈劲 . 基于开放式创新模式的企业创新资源构成、特征及其管理 [J]. 科学学与科学技术管理 , 2008(11): 61-65.

[19] AIGNER D J, LOVELL Cak, SCHMIDT P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models[J]. Journal of Econometrics, 1977(6): 21-37.

[20] MEEUSEN W, VAN DEN BROECK J. Efficiency estimation from cobb-douglas production functions with composed error[J]. International Economic Review, 1977, 18(2): 435-444.

[21] BATTESE G E, COELLI T J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data[J]. Empirical Economics, 1995, 20(2): 325-332.

[22] 全炯振 . 中国农业全要素生产率增长的实证分析：1978—2007 年 —— 基于随机前沿分析（SFA）方法 [J]. 中国农村经济 , 2009(9): 36-47.

[23] 王德祥 , 李建军 . 我国税收征管效率及影响因素 —— 基于随机前沿分析（SFA）技术的实证研究 [J]. 数量经济技术经济研究 , 2009(4): 152-160.

[24] 张玉臣 , 朱金燕 . 不同技术领域高新技术企业创新绩效比较研究 —— 基于上海市高新技术企业的实证研究 [C]// 第九届中国软科学学术年会论文集 (上册), 2013: 257-264.

[25] 王黎明 , 俞立平 . 创新数量与质量视角下研发人员绩效研究 [J]. 现代经济探讨 , 2018(9): 97-104.

[26] CHEN C T, CHIEN C F, LIN M H, et al. Using DEA to evaluate R&D performance of the computers and peripherals firms in Taiwan[J]. International Journal of Business, 2004, 9(4): 347-360.

[27] 熊曦 , 窦超 , 关忠诚 , 等 . 基于 R&D 经费筹集来源的工业企业技术创新效率评价 [J]. 科技进步与对策 , 2019(3): 130-137.

[28] 朱平芳 , 徐伟民 . 政府的科技激励政策对大中型工业企业 R&D 投入及其专利产出的影响 —— 上海市实证研究 [J]. 经济研究 , 2003(6): 45-53.