

高技术产业2013~2022年研发投入与创新绩效实证研究

魏 冰

江苏大学科技信息研究所, 江苏 镇江

收稿日期: 2024年4月5日; 录用日期: 2024年4月24日; 发布日期: 2024年7月18日

摘要

为探究我国高技术产业研发投入与创新绩效之间的关系, 本文根据随机前沿分析方法, 以Cobb-Douglas生产函数为基础进行建模, 通过Pearson相关分析与逐步回归分析对我国2013~2022年高技术产业相关情况进行实证研究。研究发现: 高技术产业的研发投入对创新绩效具有非常突出的正效应, 但各个指标对其产生的效果各有差异。总结具体结论后对企业和政府在投入资源配置方面提出相应的建议。

关键词

高技术产业, 研发投入, 创新产出, 逐步回归分析

An Empirical Study on R&D Investment and Innovation Performance of High-Tech Industry in 2013~2022

Bing Wei

Institute of Science and Technology Information of Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Apr. 5th, 2024; accepted: Apr. 24th, 2024; published: Jul. 18th, 2024

Abstract

To explore the relationship between R&D investment and innovation performance in China's high-tech industry, this paper uses stochastic frontier analysis method and Cobb-Douglas production function as the basis for modeling. Pearson correlation analysis and stepwise regression

analysis are used to empirically study the relevant situation of China's high-tech industry from 2013 to 2022. Research has found that R&D investment in high-tech industries has a very prominent positive effect on innovation performance, but the effects of various indicators on it vary. Summarize specific conclusions and provide corresponding suggestions for enterprises and governments in resource allocation.

Keywords

High-Tech Industry, R&D Investment, Innovation Output, Stepwise Regression Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2023年末，中央经济工作会议提出：“必须把坚持高质量发展作为新时代的硬道理”。在高质量发展中，高新技术产业处于主导地位。高技术产业不仅能为社会带来经济效益、带动相关行业发展，还能衍生新的产业，对一个国家的国计民生具有深远影响。1949年中华人民共和国成立至今，我国高技术产业共经历三个主要时期：1949年到1978年崭露头角，1979年到1992年飞速成长，1992年至今不断扩展。创新能力是衡量企业发展重要指标，尤其对高技术产业能为关键。新时代推动中部地区崛起座谈会中指出：“要以科技创新引领产业创新，积极培育和发展新质生产力”。当前，我国高技术产业的成长情势虽充满活力，但同时也表现出产量大利润低的尴尬现象。同时，我国科技水平和独立研发高新技术的能力与西方发达国家相比仍有一定的差距。因此，我国的高新企业在生产产品以及研发新技术的时候应同时兼顾速度与质量。提高产业的自主创新能力，解决资源配置不合理的弊端，是我国高新技术企业健康稳定发展的必由之路。高新技术产品的创新产出效果作为检验其发展水平的基础，研发投入作为创新成果增长的前提与必要条件，探究二者之间的影响机理有利于进一步解决效率低下的问题。因此，本文通过分析2013~2022年我国高技术产业研发投入与创新产出的相关情况，通过建模与回归分析对二者关系进行实证研究，并根据研究结果对政府和企业在投入资源配置方面提出相应的建议。

2. 相关研究

本文首先使用文献调研法对高技术产业相关文献进行研读、归纳总结与分析，发现近年来国内外学者以不同视角对高技术产业在科研方面的投入与产出做了较为全面的分析。

根据经典的柯布-道格拉斯生产函数，在投入指标选取方面，主要包括资本与劳动两个维度，因此国内外学者倾向于选取R&D人员和R&D经费作为研发投入的量化指标，如国外学者Brockhoff [1]、国内学者赵放[2]等。也有学者认为资本具有累积的特征，R&D经费无法展现投资的连续性，因此选取R&D人员和R&D资本作为投入指标[3]。除R&D费用外，还有学者加入新产品开发经费作为创新投入的指标[4]。在创新产出方面，由于高技术产业中的知识成果本身蕴含一定的经济效益，因此韩晶[5]提出从知识产出与经济产出两个维度进行衡量。其中，知识产出主要选取专利申请数或有效发明专利数，经济产出方面主要选取新产品销售收入。

在高技术产业创新绩效测度方面，常用的方法主要为参数法与非参数法两种。参数法需要预先构建生产函数，并根据投入与产出数据测算其中的未知参数，从而测度创新绩效，代表性的方法为随机前沿

分析方法(SFA)。如 Battese [6]用此方法对印度某一农村的农场技术效率的计算,范凌钧等[7]运用 SFA 对我高技术产业技术效率进行估算。非参数法不需要事先确定生产函数,常用的方法为数据包络分析法(DEA)。如刘凤朝等[8]运用改进的两阶段网络 DEA 模型对我国东三省高技术制造产业的创新效率进行评价, Guan 等[9]根据 DEA 模型测算国家创新系统的影响因素。

基于以上梳理,本文以我国 2013 年到 2022 年《中国高技术产业统计年鉴》作为数据来源,采用参数法,以 Cobb-Douglas 生产函数为基础进行建模,通过 Pearson 相关分析与逐步回归分析对我国高技术产业研发投入与创新绩效进行实证研究,为后续我国在高技术产业研发投入相关决策方面提供相应的指导。

3. 我国高技术产业相关分析

3.1. 发展近况

高技术又可以被称为高新技术,“高”意味着产业的技术水平高、研发投入费用高、收益高;“新”意味着使用的技术前沿、方法现代、生产出来的产品新颖别致。高技术产业则是一个以高技术和新技术为中枢的产业集合,一个国家在前沿技术方面的发展规模是国家最高科学技术掌握能力的外显,体现出该国家的综合实力。因此各个国家对于高技术产业的发展都较为重视,投入的研发资金较高,研发人员比例较大,以期为国家社会经济带来高收益。

如今,我国正处在全面深化改革的关键时期,高技术需求的快速增长给我国高技术产业带来迅猛的发展态势。区别于一般产业,高技术产业的一个明显特色是研发所需要资金与人员的比例较大,研发投入的成本较高,但同时高技术产业带来的经济收益也明显领先于一般产业。作为国家社会经济增长的核心与动力源泉,高技术产业的创新能力和发展前景已成为推动国家经济发展、提高国家实力的中坚力量,也是目前我国推行创新驱动战略的重要领域。

3.2. 研发投入现状

高技术产业的重心在于使用高技术,研发新产品,而新产品的研发离不开企业在人、财、物方面的支持。其中全社会研究与试验发展经费的投入可以最直接地反映出一个国家或地区在高新科技创新方面的投入水平,因此投入产出比则是衡量该国家或地区的企业综合竞争力的主要指标之一。投入产出比又叫研发投入强度,在宏观上指的是全社会研究与开发新产品过程中的资金投入比上 GDP;从微观上看,研发投入强度是一个企业的研发新产品费用的支出与其主营业务收入之比。

根据《中国高技术产业统计年鉴》整理了 2013 年到 2022 年十年间我国高技术产业在 R&D 投入方面的相关状况,见表 1。其中,2017 年因数据缺失使用均值法补齐。可以看出,近十年我国在高技术产业中的财力与人力投入两方面整体呈上升趋势。其中,科技活动经费用于开发新产品和科研活动内部支出的增长最为显著。内部经费支出从 1734 亿元增长至 6507 亿元,平均每年的增长速度为 14.1%。每年新产品开发经费支出高于经费内部支出,表明高技术产业资金投入的重点主要在新产品研发方面。在人力投入方面,除 2016 年与 2017 年有小幅度下降外,总体投入量仍是上升趋势。在技术投入方面,技术引进与消化吸收经费支出波动较小,技术改造与购买国内技术经费支出波动较大,整体投入力度处于增长阶段。作为一个开发中国家,我国仍需加大在产品研发技术方面的成本支出,由此才有利于我国高技术产业科技水平得到持续发展。在技术引进与消化吸收经费支出方面,技术引进与自主创新一直是我国面临的两难选择,且消化吸收的费用明显低于引进技术的费用,表明我国对引进国外技术的消化与再创新存在不足之处。相较于技术引进费用,我国近年来购买国内技术的经费明显增长,表明我国的技术自给率在显著上升,对外技术依存度不断减少。

Table 1. The main situation of R&D investment in China's high-tech industry in the past decade
表 1. 近十年我国高技术产业研发投入主要情况

年份	R&D 经费内部支出(亿元)	新产品开发经费支出(亿元)	R&D 人员折合全时当量(万人/年)	技术改造经费支出(亿元)	技术引进经费支出(亿元)	消化吸收经费支出(亿元)	购买国内技术经费支出(亿元)
2013	1734.3666	2069.4975	55.9229	367.1266	53.213	13.0081	31.2567
2014	1922.1544	2350.5812	57.2537	316.5342	56.6978	14.9184	46.7082
2015	2219.6591	2574.6024	59.0016	335.5721	71.7421	12.9261	63.3058
2016	2437.605	3000.3555	58.0248	402.8069	99.7959	7.7945	77.4624
2017	2998.3603	3819.6426	71.6358	479.701	119.7045	9.821	158.4485
2018	3559.1155	4638.9298	85.2467	556.5951	139.6130	11.8475	239.4346
2019	3803.9639	5407.4850	86.0961	562.0067	109.4013	9.5699	286.5748
2020	4649.0941	6152.3656	99.0314	629.8740	180.7298	12.0794	251.9174
2021	5684.5724	7510.0172	111.9630	798.8271	116.3637	10.2936	227.4900
2022	6507.7304	8590.6282	125.3952	828.7488	66.6711	15.1193	226.3101

3.3. 创新产出分析

本文主要通过专利申请数和新产品销售收入衡量我国 2013 年至 2022 年产业创新产出的情况。下图 1 是近十年来创新产出的相关数据，可以看出随着创新投入力度的加大，收获的成果明显。其中，代表知识产出的专利申请数从 10 万件增加至 43 万件，增长速度较快，总体保持着快速增长的势头。代表经济产出的新产品销售收入十年间增长了近 3 倍，可见新产品作为企业创新的最终成果，给高技术产业带来的收益非常可观。

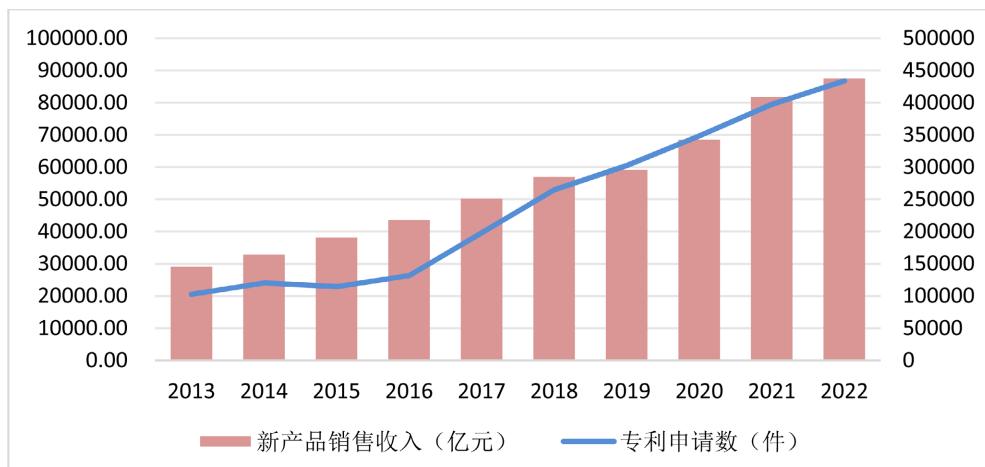


Figure 1. Innovation output of China's high-tech industry in the past decade

图 1. 近十年我国高技术产业创新产出情况

4. 实证分析

4.1. 模型与方法

目前，学界常用 Cobb-Douglas 生产函数来研究研发活动的投入对创新绩效的影响，其基本形式为

$$W = JL^\alpha K^\beta \quad (1)$$

其中, W 代表 R&D 得到的创新产出, J 是常数, L 表示人员的投入, K 表示资金的支出, α 代表 R&D 人员产出的弹性系数, β 代表 R&D 资金产出的弹性系数 0。

为更好地研究高技术产业研发投入与创新绩效之间关系, 本文将在公式(1)的基础上, 将下文的测度指标带入, 并对公式的两边取对数, 因此得到以下模型:

$$\ln Y_t = c + \alpha \ln L_t + \beta_1 \ln K_{1t} + \beta_2 \ln K_{2t} + \beta_3 \ln M_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

其中, Y 表示创新绩效, c 是常数项, L 表示 R&D 人员, K_1 表示研发经费资本存量, K_2 表示新产品开发经费支出, M 表示外部技术投入, α 与 β_i ($i = 1, 2, 3, 4$) 是回归参数, ε 表示随机误差项, 下标 t 为时间序列(2013~2022)。

由此, 初始创新绩效的模型为:

$$\ln P_t = c + \alpha \ln L_t + \beta_1 \ln K_{1t} + \beta_2 \ln K_{2t} + \beta_3 \ln M_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

最终创新绩效的模型为:

$$\ln N_t = c + \alpha \ln L_t + \beta_1 \ln K_{1t} + \beta_2 \ln K_{2t} + \beta_3 \ln M_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

4.2. 指标选取

研发投入方面, 人、财、物对企业新产品研发的支持主要体现在两个方面: R&D 内部投入与外部技术投入。R&D 内部投入指的是企业在“财”与“人”方面的投入, 主要由新产品开发研究的费用、相关 R&D 活动的费用以及 R&D 人员构成。外部投入指的是企业引入外部技术方面的投入费用, 包括购置国内外技术和对引进的技术进行吸收、应用和再创新的费用。

创新产出绩效阶段, 高技术产业的专利申请数反映了研发投入向知识专利产出的转化, 是高技术产业的中间产出, 并且与最终的经济产出之间具有紧密联系, 因此本文把专利申请数当作初始创新绩效。新产品销售收入是研发投入转化为经济效应的关键指标, 反映了研发投入带来的经济收益, 因此本文把新产品销售收入当作最终创新绩效。

下表 2 是整理的本文的测度指标。

Table 2. Measurement indicators for R&D investment and innovation performance in high-tech industries
表 2. 高技术产业研发投入与创新绩效的测度指标

	R&D 活动人员折合当时全量(万人/年)	L
	R&D 经费资本存量(亿元)	K_1
	新产品开发经费支出(亿元)	K_2
研发投入	技术改造经费支出(亿元)	M_1
	技术引进经费支出(亿元)	M_2
	消化吸收经费支出(亿元)	M_3
	购买国内技术经费支出(亿元)	M_4
创新产出	专利申请数(件)	P
	新产品销售收入(亿元)	N

4.3. 数据处理

4.3.1. PPI 平减

在做具体的分析之间, 考虑到通货膨胀的影响, 本文将我国高技术产业资金方面主要指标用 PPI 做

了不变价缩减。

4.3.2. 研发资本存量

根据参考文献的相关经验, 考虑到研发资本投入会产生累计作用, 因此用永续盘存法计算出高技术产业在研发经费内部支出方面累计的研发资本存量。具体计算公式为

$$K_{1t} = (1 - \delta) \times K_{1(t-1)} + E_t \quad (5)$$

其中, K_{1t} 代表我国高技术产业第 t 年的研发经费资本存量, δ 表示折旧率, 根据参考文献中的常用数值, 选取 15% 为折旧率。 $K_{1(t-1)}$ 代表我国高技术产业第 $t-1$ 年的研发资本存量, E_t 代表该年的 R&D 经费内部支出。

4.4. Pearson 相关分析

事物之间的联系错综复杂, 其中存在一种现象名为相关(Correlation)。指的是两个变量的变化存在一定的相似规律, 可分为高度相关、弱相关与不相关。由于研发投入的几个指标与创新绩效的两个指标之间可能并不存在相关关系, 或者关系并不紧密, 因此本文首先对这些指标进行相关性分析, 常用的分析变量间相关性的方法主要有 Pearson 相关分析与 Spearman 相关分析, 其中前者适合度量连续型变量间的线性关系, 后者适合有序分类变量。由于本文的变量属于连续型非等级数据, 因此选用 Pearson 相关分析方法。在用软件 SPSS 进行 Pearson 相关分析后, 得到的结果见下表 3, 最后分析出来的结果 Pearson 相关系数可以精确的表现出指标之间的相关程度。其中, 相关系数的绝对值在 0~0.4 表示二者之间不相关或者弱相关, 绝对值越接近 1 则表示二者之间相关性越强。

Table 3. Pearson correlation coefficient between various indicators
表 3. 各个指标之间的 Pearson 相关系数

	L	K_1	K_2	M_1	M_2	M_3	M_4
P	0.982 ^{**}	0.940 ^{**}	0.990 ^{**}	0.970 ^{**}	0.578	-0.02	0.929 ^{**}
N	0.967 ^{**}	0.979 ^{**}	0.993 ^{**}	0.966 ^{**}	0.573	-0.097	0.910 ^{**}

注: 表中 “**” 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

由上表 3 可以看出, 高技术产业的指标 P 和 N 分别与 L 、 K_1 、 K_2 、 M_1 和 M_4 的相关系数均为正值, 且数值较大, 并且均接近于 1, 表示二者指标在 0.01 水平上高度相关。而高技术产业的 P 、 N 和 M_2 之间的相关系数值接近于 0, 和 M_3 之间的相关系数值为负, 说明它们之间为弱相关或者无相关。因此把指标 M_2 和 M_3 排除, 不再作为研发投入的相关指标进行后续的研究。

4.5. 逐步回归分析

接下来为进一步测度我国高技术产业研发投入与创新绩效各个指标之间的具体相关水平, 并将其以函数表达式呈现出来。本文将用到上文已建立好的模型和接下来的逐步回归分析, 来准确表达高技术产业研发投入与创新绩效中变量间相互依存的定量关系。逐步回归分析适用于自变量较多的情况, 还可消除自变量之间可能存在的多重共线性的问题, 从而提高模型的可靠性。

4.5.1. 逐步回归分析结果

由于以上各个变量之间存在共线性, 会影响到多元线性回归分析的结果。因此本文选取逐步回归分析方法在 SPSS 中进行分析, 分别得到了较为准确以专利申请数 P 为被解释变量初始创新绩效和以新产

品销售收入作为被解释变量 N 的最终创新绩效的回归结果, 具体结果见下表 4。

Table 4. Stepwise regression analysis results

表 4. 逐步回归分析结果

	L	K_1	K_2	M_1	M_4	F	R^2	调整 R^2	$D-W$
P	NO	NO	1.099 ($t = 20.261$)	NO	NO	410.507	0.981	0.978	1.155
N	0.135 ($t = 2.619$)	0.312 ($t = 22.931$)	NO	0.396 ($t = 9.277$)	-0.062 ($t = -5.564$)	3830.707	1.000	0.999	2.729

4.5.2. 结果分析

从上表 4 的逐步回归分析结果可以看出:

其一, 在新产品开发经费支出 K_2 对产业的知识产出有明显的推动效应。当被解释变量采用专利申请数 P 时, 从模型对回归参数的 t 检验结果来看, 高技术产业的研发投入指标中只有新产品开发经费支出 K_2 显著相关, 其余变量均被排除。具体表现为新产品开发经费支出每上升 1%, 高技术产业的专利申请数将提高 1.099 个百分点。这表明, 新产品开发经费在技术创新中处于关键地位, 新产品的开发一般涉及前沿技术, 因此容易产生新的创新成果。当企业增加新产品研究开发费用的投入时, 该产业的申请发明专利和实用新型专利的数量会随之增加。

其二, 研发人员投入 L 、研发资本存量 K_1 、技术改造经费支出 M_1 对经济方面的产出有明显的正向激励作用, 购买国内技术经费支出 M_2 有显著的负向影响关系, 变量 K_2 被排除。研发人员作为创新活动的主体, 是推动技术进步和经济增长的重要因素。研发资本存量则代表了企业在研发资金方面的积累, 是企业创新能力可持续性的基础。技术改造经费支出是对技术的升级与更新, 由此能够提高企业的生产效率、增强企业竞争力, 由此给企业带来一定的经济效益。在研发方面的长期投入和积累, 是形成持续的基础。则反映了企业在技术升级和更新方面的努力, 这对于提升生产效率、降低成本和增强市场竞争力具有重要意义。购买外部技术虽可以短期内提升企业的技术水平, 但若过度依赖外部技术而非自主研发, 则会限制企业的长期发展潜力, 从而影响企业的经济效益。新产品开发经费支出在经济产出方面的影响不显著, 可能有多方面的原因。一方面, 知识产出和经济产出之间存在一定的滞后效应, 即新产品的研发和专利申请可能不会立即转化为经济收益。另一方面, 经济产出的影响因素更为复杂, 除了研发活动外, 还包括市场需求、竞争环境、政策环境等多个方面。因此, 即使新产品开发经费支出对知识产出有显著影响, 也不一定能在短期内对经济产出产生显著影响。

5. 研究结论和政策建议

5.1. 研究结论

本文在参考综合国内相关文献的基础之上, 对我国高技术产业的研发投入与创新绩效现状进行整理与分析, 找出决定二者的相应指标, 分析研发投入对创新绩效的影响程度。以 2013 年到 2022 年高技术产业的相关数据为面板数据, 利用软件 SPSS 对数据进行逐步回归分析, 得到了以下几个结论:

其一, 除个别指标外, 根据 Pearson 相关分析结果可以得出高技术产业在 R&D 方面的投入与创新绩效高度相关, 且具有正向的激励作用。而技术引进经费支出和消化吸收经费支出与专利申请数和新产品销售收入之间的相关性较弱或者无相关。这表明, 高技术产业若仅依赖引进技术和消化吸收并不能直接转化为有效的创新产出。因此, 高技术产业的自主研发和创新能力是企业发展的关键, 而研发投入是提高企业创新能力的基石。

其二，在 Pearson 相关分析中测算出的与创新绩效显著相关的几个研发投入指标对创新绩效均具有一定的线性回归关系。其中，新产品开发经费支出在企业知识产出方面处于关键地位。研发人员投入、研发资本存量、技术改造经费支出均对经济方面的产出有明显的正向激励作用，这意味着增加研发人员的数量和质量、加大研发经费的投入以及提升技术改造力度，有助于提升高技术产业的创新能力和市场竞争力，进而推动新产品销售收入的增长。因此，企业应当高度重视研发人员的培养和引进，合理规划研发经费的投入，并加大技术改造经费的投入，以全面提升自身的创新实力和市场竞争力。外部技术方面出现了消化不良的局面，使得投入的外部技术无法带来相应的创新产出，因此企业要注重平衡自主研发和外部技术购买的关系，以形成持续的创新能力和竞争优势。

5.2. 政策意见

基于以上几个结论，本文给出相应的政策意见：

其一，企业需建立稳定的研发投入机制。根据高技术产业自身具有的高投资高收益的特质，企业应设定明确的研发投入目标和计划，确保研发投入与企业发展战略相匹配。同时确保研发投入的持续增长，并加强对研发经费使用的管理和监督，确保资金的有效利用。

其二，企业需合理配置资源。高技术产业应转变现有的资源投入观念，将开发新产品以及相关的 R&D 活动作为重心，加大对研发活动人员、R&D 经费和新产品开发经费的投入。在购买国内技术时，需要谨慎评估其潜在的价值和贡献，避免单纯依赖外部技术而忽视自主研发和创新。

其三，政府应加大财政扶持。政府今后可以适当增加对高技术产业的财政扶持力度，进一步完善企业融资体系。实行相应的优惠政策，如加大对企业的研发的补贴力度，从而降低企业的研发成本与研发投资风险，刺激企业扩大自主创新活动，减少对外部技术的依赖，以实现产业的技术进步。同时，加强产学研合作，推动科技成果的转化和应用。使我国高技术产业得到进一步发展，进而带动我国综合国力与国际竞争力的增长。

参考文献

- [1] Balachandra, R., Brockhoff, K.K. and Pearson, A.W. (1996) R&D Project Termination Decisions: Processes, Communication, and Personnel Changes. *The Journal of Product Innovation Management*, **13**, 245-256. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1330245>
- [2] 赵放, 刘雅君. 混合所有制改革对国有企业创新效率影响的政策效果分析——基于双重差分法的实证研究[J]. 山东大学学报(哲学社会科学版), 2016(6): 67-73.
- [3] 朱有为, 徐康宁. 中国高技术产业研发效率的实证研究[J]. 中国工业经济, 2006(11): 38-45.
- [4] 桂黄宝. 我国高技术产业创新效率及其影响因素空间计量分析[J]. 经济地理, 2014, 34(6): 100-107.
- [5] 韩晶. 中国高技术产业创新效率研究——基于 SFA 方法的实证分析[J]. 科学学研究, 2010, 28(3): 467-472.
- [6] Battese, G.E. and Coelli, T.J. (1992) Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, **3**, 153-169. <https://doi.org/10.1007/BF00158774>
- [7] 范凌钧, 李南, 陈燕儿. 中国高技术产业技术效率区域差异的实证分析[J]. 系统工程, 2011, 29(2): 56-62.
- [8] 刘凤朝, 张娜, 赵良仕. 东北三省高技术制造产业创新效率评价研究——基于两阶段网络 DEA 模型的分析[J]. 管理评论, 2020, 32(4): 90-103.
- [9] Guan, J. and Chen, K. (2012) Modeling the Relative Efficiency of National Innovation Systems. *Research Policy*, **41**, 102-115. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.07.001>