

产业链与创新链深度融合对创新资源利用效率的影响研究

顾子涵

南京师范大学商学院, 江苏 南京

收稿日期: 2023年4月22日; 录用日期: 2023年5月23日; 发布日期: 2023年5月31日

摘要

在产业链与创新链深度融合对创新资源利用效率影响机制基础上, 基于2016~2019年中国大陆30个省市自治区的面板数据, 运用熵值法和耦合协调度模型测算双链融合程度, 采用三阶段DEA模型测度创新资源利用效率, 并建立Tobit面板模型深入剖析产业链与创新链融合对创新资源利用效率的影响。研究发现, 我国产业链与创新链融合程度逐渐上升, 并显著的促进创新资源利用效率。

关键词

产业链, 创新链, 创新资源利用效率, DEA, Tobit模型

Research on the Impact of Deep Integration of Industrial Chain and Innovation Chain on the Efficiency of Innovation Resources Utilization

Zihan Gu

Business School of Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu

Received: Apr. 22nd, 2023; accepted: May 23rd, 2023; published: May 31st, 2023

Abstract

On the basis of the mechanism of the influence of the deep integration of industrial chain and innovation chain on the efficiency of innovation resource utilization, based on the panel data of 30 provinces, cities and autonomous regions in mainland China from 2016 to 2019, the degree of in-

tegration of the two chains is measured using the entropy value method and the coupling coordination degree model, the efficiency of innovation resource utilization is measured using the three-stage DEA model, and the Tobit panel model is established to deeply analyze the impact of the integration of industrial and innovation chains on the efficiency of innovation resource utilization. The study found that the degree of integration of industrial and innovation chains in China gradually increases and significantly promotes the efficiency of innovation resource utilization.

Keywords

Industrial Chain, Innovation Chain, Innovation Resource Use Efficiency, DEA, Tobit Model

Copyright © 2023 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

随着新冠疫情在全球范围内爆发，世界经济格局演变新动向，多国采取限制性措施严重干扰全球产业链与分工网络，导致全球产业链重构和调整。国际形势更趋严峻，在国家间的竞争中产业链的竞争日益重要。推动产业链与创新链深度融合，是提升我国全球价值链地位，掌握核心技术，占据国际竞争的制高点的关键所在。

总书记在陕西考察时指出“围绕产业链部署创新链、围绕创新链布局产业链”，从理论层面上揭示了产业链与创新链深度融合是加快构建新发展格局的必然要求。一方面，产业链是创新链落地生根的载体，推动核心技术自主可控，针对产业链的断点、痛点、难点、堵点进行技术创新，加快产业结构调整，实现产业链高端化。另一方面，从创新链出发锻造产业链，创新围绕产业需求部署和推进，资金围绕创新过程集聚。产业链与创新链深度融合不仅影响着人才、资金、技术等创新资源的投入，还能提高创新资源产出效率，促进创新成果转化。

本文通过研究产业链与创新链深度融合对创新资源利用效率的影响机制，并结合实证研究证实产业链与创新链深度融合对创新资源利用效率的促进作用。第二部分对产业链、创新链的相关研究进行了概述；第三部分构建理论框架；第四部分选取指标体系测度双链耦合协调度和创新资源利用效率；第五部分对实证结果展开分析和探讨；最后给出结论和政策建议。

2. 文献综述

产业链的相关研究最早起源于国外，Williamson (1981)提出市场成本、交易的不确定性成本、资源配置等因素驱动产业链的发展[1]，一些国外学者关注到产业链内外部整合的作用及机制设计，但国外关于产业链的研究，大部分集中在价值链、供应链等微观层次，因而“产业链”是一个具有中国地域特色的概念。国内学者对产业链进行了大量的研究，从产业关联、分工、价值链、战略联盟、生产工艺流程等角度阐述产业链的内涵，由于学术界至今没有一个准确的定义，本文参考谢柳芳(2022)的研究，认为产业链是各个产业部门在一定经济技术关联和时空布局关系下，客观形成的链条式关联形态，包含企业链、价值链、空间链和供需链四个维度[2]。

创新链是一种跨学科的概念，它包含了知识体系、技术平台、组织模式和产业生态。由企业、政府、高等院校、科研机构、研发平台、中介机构等创新节点构成[3] (代明等，2009)，实质是知识创造、转移、

扩散的过程[4] (刘家树等, 2022), 是以市场为导向、通过技术进步, 使创新产品产业化到商业化的链条。

耦合是指两个或多个系统相互作用、相互依存、相互影响以至协同的现象。耦合协调度值的高低代表系统之间关联性的强弱。产业链与创新链深度融合, 即在人才、技术、资金等各种创新要素在产业链和创新链融合发展的各个环节流动并得到合理配置。一些学者从出版业、人工智能产业等不同领域, 开展产业链与创新链融合的实证研究, 连远强(2016)从供给侧改革的视角, 讨论了产业链与创新链耦合机理与模式[5]。

目前文献对创新资源的研究主要体现在将创新资源进行细分, 讨论各种创新要素对其他因素的影响。白俊红等(2015)探究 R&D 人员和 R&D 资本动态流动对区域创新绩效的影响[6]; 刘光彦等(2022)分析了科技创新投入作为调节变量对金融发展和经济增长的影响[7]; 李佳等(2020)强调外部技术、知识获取、研发经费等, 作为创新要素对产业创新绩效的作用[8]。

创新资源包括人力资本、物质资本、技术、信息等创新要素, 贯穿产业链和创新链协同发展的各个环节。从创新主体来看, 产业链引领创新活动, 而创新链通过产品价值增加嵌入产业链[9], 企业作为产业链与创新链融合发展的主体, 协调各环节的创新活动, 通过整合各种创新资源, 驱动创新资源利用效率提高。从创新活动来看, 促进产学研协同创新是推动双链融合的重要举措之一, 企业、高校、科研机构等多方主体, 以市场需求和创新驱动为导向, 产生知识溢出效应, 催生出大量高新技术, 提高企业生产效率, 同时能够降低部分创新要素的投入, 显著促进创新资源的利用效率。从创新成果商业化水平角度, 产业链与创新链融合是一个动态的过程, 创新要素在双链融合过程中不断流动, 以学习驱动为导向, 包括技术创新、先进理念和管理经验, 形成完整的技术、品牌、营销、服务体系, 大大提高创新成果转化效率。

综合现有研究可以发现, 有关创新资源的研究主要聚焦在要素禀赋、创新效率、全要素生产率的测度等探讨上, 少有学者关注创新资源利用效率作为被解释变量, 进行回归分析; 同时, 尚未有将产业链与创新链融合和创新资源利用效率结合起来进行研究的文献。为此, 本文基于 2016~2019 年省际面板数据, 构建 Tobit 面板模型, 对产业链与创新链深度融合对创新资源利用效率的影响进行实证研究。

3. 研究设计

3.1. 变量的测度与来源

本文选择中国大陆 30 个省级行政区域 2016~2019 年的数据来研究产业链与创新链深度融合对创新资源利用效率的影响, 由于西藏数据严重缺失, 研究时暂时不予考虑。

3.1.1. 被解释变量: 创新资源利用效率

效率反映的是投入与产出的关系, 创新资源利用效率测度就是创新投入与创新产出的关系。在指标选择上如表 1 所示, 创新投入主要包括创新主体投入、创新劳动投入和创新资本投入。具体而言, 企业作为创新的主体, 对创新要素集聚、创新成果转化等方面, 发挥牵引作用, 用开展创新活动的企业数量来衡量各地区企业创新投入程度; R&D 人员全时当量, 能够反映各省市自治区参与创新和发展项目的研究、管理和服务人员的全时当量; R&D 经费内部支出, 反映各省市自治区基础研究、应用研究、试验发展费用总和。

关于创新产出, 白俊红(2011)从创新过程视角[10], 将专利作为创新的中间知识产出, 新产品销售收入作为创新的最终产出, 郭淑芬等(2018)基于柯布一道格拉斯(Cobb-Douglas)生产函数, 用国外主要检索工具收录科技论文数、专利授权数作为直接产出[11]。在此基础上, 本文不再区分直接产出和间接产出,

将国内三种专利授权数(包括发明、实用新型和外观设计三类)和国外主要检索工具收录科技论文数作为知识创新产出指标,反映创新成果的质量。沿用新产品销售收入,表明创新成果的商业化水平。引入技术市场合同金额,作为技术创新产出指标。数据来源于2016~2019年的《中国科技统计年鉴》。

Table 1. Innovation resource utilization efficiency evaluation index system

表 1. 创新资源利用效率评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
创新投入	创新主体	开展创新活动企业数量
	劳动	R&D 人员全时当量
	资本	R&D 经费内部支出
创新产出	知识创新	国内三种专利授权数; 国外主要检索工具收录科技论文数
	商业化水平	新产品销售收入
	技术创新	技术市场合同金额

3.1.2. 解释变量：产业链与创新链耦合协调度

本文从产业链的要素投入阶段和地区产出阶段构建产业链发展水平的指标体系。地区产出阶段用地区生产总值表示,要素投入分为劳动力投入和资本投入,其中劳动力投入参考许永洪等(2022)的研究,使用各地区历年全社会年末就业人数与历年平均工作时长相乘得到劳动力投入变量[12],全社会年末就业人数取自各省《统计年鉴》,历年平均工作时长以按教育程度分城镇就业人员调查周平均工作时间进行替代,一年取52周,数据来源于《中国劳动统计年鉴》。资本投入采用永续盘存法计算出资本存量进行衡量,具体公式如下:

$$K_{i,t} = (1 - \delta_{i,t})K_{i,t-1} + I_{i,t} \tag{1}$$

式(1)中, $K_{i,t}$ 表示当年资本存量, $K_{i,t-1}$ 表示前一年资本存量; $\delta_{i,t}$ 表示资本折旧率,此处参考单豪杰(2008)的研究[13],折旧率取10.96%; $I_{i,t}$ 表示当年固定资产形成总额,由于2011年起,全社会固定资产投资统计口径改变,故以2012年为基期,对各期固定资产形成总额进行平减处理。

对于基期资本存量,计算公式为:

$$K_0 = I_0 / (g + \delta) \tag{2}$$

式(2)中, K_0 为基期的资本存量, I_0 为基期的固定资产形成总额, g 为固定资产形成总额的几何平均增长率, δ 为折旧率。

创新链的发展将归纳为产品研发、知识创新和成果转化三个阶段。产品研发阶段主要是R&D人员投入、R&D经费投入;知识创新阶段主要是发明专利申请数;成果转化阶段主要是技术市场交易额和新产品销售收入。

3.1.3. 其他解释变量

影响创新资源利用效率的因素较多,为了更加准确、合理地研究产业链与创新链深度融合对创新资源利用效率的影响,本文添加一组解释变量:产学研合作创新、产业结构、研发经费投入强度和环境规制。

促进产学研合作创新是产业链与创新链深度融合的重要举措之一,高校是产学研合作的重要一环,

引入各地区高等院校 R&D 人员全时当量衡量各地区产学研合作创新水平；随着产业不断升级转型，传统产业由高耗能、低效率的发展模式逐渐被高附加值、低能耗的发展模式替代，对传统行业产生冲击，由此可能影响创新资源利用效率，以第三产业增加值占 GDP 的比重来衡量产业结构；各地区研发经费投入强度在创新资源利用效率中发挥一定的作用；环境规制一般是指通过强制手段使公司在短期内迅速地减少污染物的排放量，因而企业创新活动可能会受到负面影响，从而影响创新资源利用效率。参考胡亚洲(2022)的研究，本文利用工业企业污染治理投资额与 GDP 的比重来衡量环境规制[14]。上述所有变量的符号如表 2 所示。

Table 2. Variables and symbols
表 2. 变量及符号

变量	变量名称	变量符号
被解释变量	创新资源利用效率	<i>I_{ue}</i>
解释变量	产业链与创新链融合测度	<i>D</i>
控制变量	产学研合作创新	<i>Coop</i>
	产业结构	<i>Str</i>
	研发经费投入强度	<i>Inv</i>
	环境规制	<i>Er</i>

3.2. 方法介绍与模型构建

3.2.1. DEA 模型

数据包络分析(DEA)是由美国运筹学家 A. Charnes、W. W. Cooper、E. Rhodes 首先于 1978 年提出，采用线性规划技术测算效率，不需要主观设定生产函数的具体形式。在 DEA 中，受评估的单位或组织被称为决策单元(简称 DMU)。DEA 通过选取决策单元的多项投入和产出数据，利用线性规划，以最优投入与产出作为生产前沿，构建数据包络曲线。其中，有效点会位于前沿面上，效率值标定为 1，无效点则会位于前沿面外，并被赋予一个大于 0 但小于 1 的相对的效率值指标。

传统的 DEA 模型没有考虑环境因素和随机误差对决策单元效率评价的影响，本文采用 Fried 改进的三阶段 DEA 模型[15]：

1) 第一阶段基于规模报酬可变的投入导向的 DEA-BCC 模型，对于任一决策单元，投入导向下对偶形式的 BCC 模型公式如下：

$$\begin{aligned} & \min \theta - \varepsilon (\hat{e}^T S^- + e^T S^-) \\ & s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 & \lambda_j \geq 0, S^- \geq 0 \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 & \lambda_j \geq 0, S^+ \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中， $j = 1, 2, \dots, n$ 表示决策单元， X 是投入向量($X_1 = \text{R\&D}$ 人员全时当量， $X_2 = \text{R\&D}$ 经费内部支出， $X_3 = \text{开展创新活动的企业数量}$)， Y 是产出向量($Y_1 = \text{国内三种专利授权数}$ ， $Y_2 = \text{国外主要检索工具收录科技论文数量}$ ， $Y_3 = \text{新产销售收入}$ ， $Y_4 = \text{技术市场合同金额}$)， θ 是决策单元的综合效率值(30 个省市自治区的创新资源利用效率)， λ 是决策变量， S 是松弛变量。

2) 第二阶段利用第一阶段得到的投入冗余量作为被解释变量, 环境变量为解释变量, 构建投入导向的 SFA 回归模型, 公式如下:

$$S_{ni} = f(Z_i; \beta_n) + V_{ni} + \mu_{ni}; i = 1, 2, \dots, I; n = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

其中, S_{ni} 是第 i 个决策单元第 n 项投入的松弛值; Z_i 是环境变量, β_n 是环境变量的系数; $V_{ni} + \mu_{ni}$ 是混合误差项, V_{ni} 表示随机干扰, μ_{ni} 表示管理无效率。

由于 Tobit 回归不能有效分离随机因素的影响, 所以使用 SFA 回归来剔除环境因素和随机因素对效率测度的影响, 以便将所有决策单元调整于相同的外部环境中。调整公式如下:

$$X_{ni}^A = X_{ni} + \left[\max(f(Z_i; \hat{\beta}_n)) - f(Z_i; \hat{\beta}_n) \right] + \left[\max(v_{ni}) - v_{ni} \right] \quad i = 1, 2, \dots, I; n = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

其中, X_{ni}^A 是调整后的投入; X_{ni} 是调整前的投入; $\left[\max(f(Z_i; \hat{\beta}_n)) - f(Z_i; \hat{\beta}_n) \right]$ 是对外部环境因素进行调整; $\left[\max(v_{ni}) - v_{ni} \right]$ 是将所有决策单元置于相同运气水平下。

3.2.2. 耦合协调度模型

1) 数据无量纲化。由于两个系统指标间均存在单位不同, 并存在负效应指标, 故采用极差法对数据进行无量纲化处理。

$$u_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, & x \text{ 为正指标} \\ \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, & x \text{ 为负指标} \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中, $x_{s_1, j}$ 、 $x_{s_2, j}$ 分别代表产业链系统、创新链系统第 j 个指标的取值, 当 i 为 s_1 时, 代表产业链系统, 当 i 为 s_2 时, 代表创新链系统。

2) 指标赋权和综合值计算。不同指标对系统作用存在差异, 主观确定权重直接影响协同度的精确性, 因而采用熵值法确定指标权重, 如表 3 所示。

假设 α_j 、 β_j 分别表示产业链和创新链系统各个指标的权重, e_j 、 y_j 分别为产业链子系统、创新链子系统对产业链系统和创新链系统的贡献, 利用线性加权法, 算出系统的综合值。

$$U_1 = \sum_{j=1}^n \alpha_j e_j, \quad U_2 = \sum_{j=1}^n \beta_j y_j \quad (7)$$

3) 构建耦合协调度模型

$$C = 2 \times \frac{\sqrt{U_1 \times U_2}}{U_1 + U_2} \quad (8)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (9)$$

$$D = \sqrt{CT} \quad (10)$$

式(8)~式(10)中, C 为耦合度 $C \in [0, 1]$, 当 $C = 1$ 时, 产业链与创新链耦合度最大, 说明这两个系统之间达到了良性共振耦合; 当 $C = 0$ 时, 产业链与创新链的耦合度最小, 说明两个子系统处于无关状态。 T 为两个系统的综合发展指数, α 和 β 分别表示产业链和创新链的权重, 本文认为产业链和创新链同等重要, 故 α 和 β 取值均为 0.5。

借鉴梁树广(2022)的研究划分耦合协调类型[16], 如表 4 所示。

Table 3. Measurement index of system coupling and coordination degree of industrial chain and innovation chain
表 3. 产业链与创新链系统耦合协调度的测度指标

总系统	子系统	一级指标	二级指标	权重
产业链与创新链 复合系统	产业链(s_1)	要素投入阶段	资本投入	0.2223
			劳动力投入	0.1118
		地区产出阶段	地区生产总值	0.6659
	创新链(s_2)	基础研发阶段	R&D 人员投入	0.0155
			R&D 经费投入	0.0193
		知识创新阶段	发明专利申请数	0.2335
成果转化阶段	技术市场成交额		0.3285	
			新产品销售收入	0.4033

Table 4. Classification of evaluation criteria for coupling coordination between industrial chain and innovation chain
表 4. 产业链与创新链耦合协调评价标准类型划分

耦合协调度	耦合协调等级
$0 < D \leq 0.2$	勉强协调
$0.2 < D \leq 0.4$	初级协调
$0.4 < D \leq 0.6$	中级协调
$0.6 < D \leq 0.8$	良好协调
$0.8 < D \leq 1$	优质协调

3.3. 计量模型构建

由于本文采用三阶段 DEA 模型对创新资源利用效率进行测度, 各省(直辖市、自治区)效率取值在 0 到 1 之间, 用最小二乘法(OLS)会导致较大误差较大, 因而构建 Tobit 面板模型进行回归分析, 为了消除量纲影响, 降低变量之间的相关性, 对产学研合作创新、产业结构和环境规制三个变量的数据进行取对数处理。模型如下所示:

$$I_{rue} = \alpha + \beta_1 D + \beta_2 \ln Coop + \beta_3 \ln Str + \beta_4 \ln Inv + \beta_5 \ln Er + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

式(11)中, \ln 表示取自然对数; i 代表省(自治区、直辖市), t 代表年份; ε_{it} 为随机误差项。

4. 实证分析

4.1. 产业链与创新链耦合协调度计算结果及分析

参考杜丹丽等(2022)的研究[17], 根据公式(6)~(10)的计算, 具体结果如表 5 所示。从表中可以看出, 2016~2019 年间, 产业链与创新链的综合得分均呈现持续上升趋势。考察期内, 二者相互提升效果逐渐增强, 耦合协调度从 2016 年的 0.427 稳定上升至 2019 年达 0.446, 较好地体现了我国近年来一直推行创新驱动发展战略的成果。就增长幅度来看, 产业链的综合得分增长 10.4%, 创新链的综合得分增长 16.5%, 然而“双链”耦合协调度涨幅不高, 仅为 4.4%, 说明目前耦合进程较慢, 主要原因可能是, 在双链融合

过程中, 人才、资金、信息等各种要素资源在产业链和创新链的各环节流动时, 尚未形成一套完整的体系, 使其得到更加合理、高效的配置。

Table 5. Overall characteristics of the coupling coordination relationship between industrial chain and innovation chain
表 5. 产业链与创新链耦合协调关系整体特征

年份	产业链综合得分	创新链综合得分	C	T	耦合协调度	评价标准
2016	0.375	0.109	0.760	0.242	0.427	中级协调
2017	0.387	0.119	0.768	0.253	0.438	中级协调
2018	0.400	0.134	0.782	0.267	0.454	中级协调
2019	0.414	0.144	0.786	0.279	0.464	中级协调
均值	0.394	0.127	0.774	0.260	0.446	中级协调

根据公式(6)~(10)计算产业链与创新链耦合协调度, 并列示省市自治区与各年份的评价标准如表 6 所示。

Table 6. Overall characteristics of the coupling coordination relationship between industrial chain and innovation chain
表 6. 产业链与创新链耦合协调度测算结果

地区	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	地区平均值	评价标准
北京	0.619	0.636	0.657	0.686	0.649	良好协调
天津	0.464	0.453	0.463	0.461	0.460	中级协调
河北	0.375	0.386	0.415	0.428	0.401	中级协调
山西	0.339	0.354	0.366	0.367	0.357	初级协调
内蒙古	0.336	0.338	0.347	0.343	0.341	初级协调
辽宁	0.377	0.386	0.407	0.410	0.395	初级协调
吉林	0.359	0.370	0.385	0.391	0.376	初级协调
黑龙江	0.363	0.364	0.367	0.376	0.368	初级协调
上海	0.486	0.495	0.526	0.551	0.515	中级协调
江苏	0.683	0.698	0.724	0.744	0.712	良好协调
浙江	0.543	0.567	0.604	0.625	0.585	中级协调
安徽	0.435	0.448	0.471	0.481	0.459	中级协调
福建	0.444	0.450	0.474	0.487	0.464	中级协调
江西	0.386	0.397	0.415	0.440	0.409	中级协调
山东	0.521	0.538	0.553	0.559	0.543	中级协调
河南	0.430	0.453	0.476	0.469	0.457	中级协调
湖北	0.467	0.484	0.512	0.539	0.501	中级协调
湖南	0.413	0.428	0.437	0.461	0.435	中级协调
广东	0.725	0.774	0.819	0.858	0.794	良好协调

Continued

广西	0.361	0.362	0.362	0.364	0.362	初级协调
海南	0.329	0.330	0.332	0.335	0.332	初级协调
重庆	0.411	0.424	0.425	0.419	0.420	中级协调
四川	0.440	0.465	0.493	0.514	0.478	中级协调
贵州	0.347	0.362	0.378	0.385	0.368	初级协调
云南	0.340	0.349	0.355	0.361	0.351	初级协调
陕西	0.441	0.461	0.468	0.495	0.466	中级协调
甘肃	0.352	0.357	0.362	0.363	0.359	初级协调
青海	0.336	0.337	0.340	0.331	0.336	初级协调
宁夏	0.333	0.335	0.338	0.338	0.336	初级协调
新疆	0.337	0.338	0.340	0.340	0.339	初级协调
均值	0.427	0.438	0.454	0.464		中级协调

广东、江苏、北京等 3 个地区处于良好协调,其中广东省 2016~2019 年平均耦合协调度均值为 0.794,从 2018 年开始,广东省产业链与创新链已经处于优质协调;浙江、山东、上海等 14 个地区处于中级协调;辽宁、吉林等 13 个地区处于初级协调,新疆、宁夏、青海、海南四个地区耦合协调度低于其他地区,导致其双链耦合协调度较低的原因主要可能是:一方面,从历史发展角度,这 4 个地区经济发展水平相对较低,产业链转型升级进程缓慢,需要更多的投入和更长时间的沉淀,才能达到产业链和创新链深度融合;另一方面,由于特殊的地理位置,4 个地区规模以上工业企业数量较少,产业或产业间联系不太密切,产业链和创新链分工网络尚不明晰。从 2016~2019 年统计数据来看,产业链与创新链耦合协调度数值在不断增大,整体处于上升趋势。

4.2. 创新资源利用效率测算结果及分析

4.2.1. 第一阶段调整前的 DEA-BCC 分析

将经过处理的数据利用 DEAP 2.1 软件,计算选取的各省市自治区 2016~2019 年的创新资源综合利用效率,如表 7 所示。可以看到,近几年创新资源综合利用效率强有效的城市个数呈现微微上升趋势,北京、广东、黑龙江一直处于效率领先水平,西部地区的新疆、青海均有 3 年处在创新资源利用效率领先的位置,说明随着时间的推移,西部地区创新资源利用效率不断提高。由于该阶段包含环境因素的影响,因此结果未必准确,有必要进行第二阶段和第三阶段的测算。

Table 7. Comprehensive utilization efficiency of innovative resources in all provinces (municipalities directly under the Central Government and autonomous regions) from 2016 to 2019

表 7. 2016~2019 年各省(直辖市、自治区)创新资源综合利用效率情况

年份	DEA 强有效个数	DEA 强有效城市
2016	8	北京、黑龙江、浙江、江西、广东、重庆、陕西、青海
2017	8	北京、吉林、黑龙江、浙江、广东、甘肃、青海、新疆
2018	9	北京、吉林、黑龙江、浙江、福建、广东、甘肃、青海、新疆
2019	9	北京、天津、吉林、黑龙江、浙江、广东、贵州、甘肃、新疆

4.2.2. 第二阶段 SFA 随机前沿分析

在第二阶段引入环境变量,参考成力为等(2011)的研究,从对外开放程度、政府支持力度两个方面评判影响创新资源利用效率的环境[18]。其中对外开放程度选择外商直接投资额占地区 GDP 的比重衡量,政府支持力度由政府科技支出与一般公共预算总支出的比值表示。

在 SFA 模型中,各个省市自治区对三种投入变量的系数均通过了 5% 的显著性检验,这表明外部环境因素对各地区创新投入冗余产生显著影响。对外开放程度对三种创新投入指标冗余有正向显著影响,意味着对外开放程度越高,越容易产生创新投入冗余;政府支持力度对 R&D 人员全时当量和 R&D 经费内部支出投入冗余有负向显著影响,意味着政府在科技上支出越大,两种创新投入冗余越少,说明政府支持更加倾向于通过提高 R&D 经费投入规模和强度,来提高各地区创新产出,并且一直致力于培养和激励技术密集型和知识密集型人才,有效提升了人力资本的利用效果,而较少直接干预企业日常生产活动内容,具体结果如表 8 所示。

Table 8. The second stage SFA regression results

表 8. 第二阶段 SFA 回归结果

变量		常数项	政府支持力度	对外开放程度	σ^2	γ	LR test
R&D 人员全时当量投入冗余	系数	-12,615.7	-49,693	162,731.67	1,239,221,800	0.82	61.98
	t 值	-12,615.7	-49,693	162,731.67	1,239,221,800	21.98	
R&D 经费内部支出投入冗余	系数	-896,584.6	-1,356,353	11,437,319.00	4,043,826,400,000	0.93	126.32
	t 值	-896,583.2	-1,356,353	11,437,309.00	4,043,826,400,000	84.43	
创新活动企业数量投入冗余	系数	-2210.0	21,866	14,014.21	26,719,515	0.89	94.46
	t 值	-4.6	317	55.14	26,719,515	52.15	

4.2.3. 第三阶段投入调整后结果

剔除环境因素和随机因素影响,对各省份的初始投入进行调整,再次使用 DEAP 2.1 软件测算效率值,从而得到更加客观的计算结果,具体结果如表 9 所示。

Table 9. Innovation Resource Utilization Efficiency of 30 provinces (municipalities and autonomous regions) in China from 2016 to 2019 (after adjustment)

表 9. 2016~2019 年我国 30 个省(直辖市、自治区)创新资源利用效率(调整后)

地区	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	平均值	变化
北京	1	1	1	1	1	—
天津	0.649	0.631	0.822	0.956	0.7645	↓
河北	0.488	0.443	0.703	0.715	0.58725	↓
山西	0.353	0.29	0.422	0.529	0.3985	↓
内蒙古	0.209	0.141	0.324	0.384	0.2645	↓
辽宁	0.736	0.642	0.78	0.849	0.75175	↓
吉林	0.643	0.548	0.726	0.888	0.70125	↓
黑龙江	0.778	0.651	0.856	1	0.82125	↓
上海	0.788	0.831	0.914	0.985	0.8795	↑

Continued

江苏	0.954	0.896	0.945	0.882	0.91925	↑
浙江	1	1	1	1	1	—
安徽	0.76	0.634	0.798	0.768	0.74	↓
福建	0.834	0.67	0.901	0.833	0.8095	↓
江西	0.821	0.51	0.767	0.765	0.71575	↓
山东	0.645	0.635	0.738	0.867	0.72125	↑
河南	0.705	0.642	0.788	0.7	0.70875	↓
湖北	0.709	0.679	0.759	0.832	0.74475	↓
湖南	0.667	0.569	0.633	0.674	0.63575	↓
广东	1	1	1	1	1	—
广西	0.482	0.322	0.546	0.582	0.483	↓
海南	0.147	0.071	0.166	0.252	0.159	↓
重庆	0.976	0.599	0.715	0.711	0.75025	↓
四川	0.935	0.767	0.904	0.861	0.86675	↑
贵州	0.423	0.259	0.533	0.661	0.469	↓
云南	0.41	0.301	0.486	0.517	0.4285	↓
陕西	1	0.828	0.961	1	0.94725	↓
甘肃	0.442	0.326	0.56	0.667	0.49875	↓
青海	0.147	0.073	0.166	0.163	0.13725	↓
宁夏	0.163	0.11	0.233	0.296	0.2005	↓
新疆	0.369	0.208	0.387	0.407	0.34275	↓
平均值	0.641	0.543	0.684	0.725	0.648	

从表 9 中可以看出, 经过调整后, 大部分城市创新资源利用的综合效率值都发生了明显的改变。第一, 从总体来看, 第一阶段 30 个省份在 2016~2019 年间平均创新资源综合利用效率为 0.832, 调整后下降为第三阶段的 0.648; 与 2016 年相比, 虽然 2017 年下降了 15.3%, 但整体的创新资源综合利用效率随时间推移呈现波动上升, 我国在 2016 年提出了创新驱动发展战略, 政策、经济等外界环境因素极大影响了创新资源利用效率的测算, 而创新产出明显存在一定的滞后性, 这可能导致了 2017 年综合利用效率下降。第二, 与第一阶段相比, 每年调整后达 DEA 有效的城市在大幅度下降。从表 5 来看, 第一阶段共 34 个地区达 DEA 强有效, 调整后仅有 15 个地区, 下降了 55.9%, 最终仍达到 DEA 有效的地区是北京、浙江、广东, 可以看出这三个地区创新投入产出配置高效合理, 资源的到了有效的利用。第三, 23 个省市自治区创新资源综合利用效率呈现下降趋势, 青海、新疆、海南三个省份下降幅度最大, 其中青海由初始的 0.972 下降到调整后的 0.137, 说明青海省的创新资源利用效率由外部环境和随机误差因素主导; 而剔除了管理无效率和随机误差因素, 江苏、山东、上海、四川 4 个地区创新资源综合利用效率明显提高, 且跃居领先水平, 说明这四个地区人力、资本、技术等创新要素投入后, 知识、商业化水平等创新成果转化较好, 效率水平会受到外界环境因素的负向影响。第三, 平均的创新资源综合利用效率为 0.648,

青海、海南、宁夏、内蒙古、新疆、山西、云南、贵州、广西、甘肃、河北、湖南等 12 个省份综合效率值远低于平均水平，可能是经济发展水平和创新要素禀赋处于不断提升阶段，无法为创新转化提供良好的基础条件，这些省份在制定发展战略时，要注意要发挥创新要素的主导作用[19]。

4.3. 产业链与创新链深度融合对创新资源利用效率的影响分析

4.3.1. 变量的描述性统计

对于文中主要变量的描述性统计结果如表 10 所示：

Table 10. Results of descriptive statistics

表 10. 描述性统计结果

变量	Obs	Mean	Std	Min	Max
<i>Irue</i>	120	0.071	1	0.071	1
<i>D</i>	120	0.329	0.858	0.329	0.858
<i>Inv</i>	120	0.502	5.651	0.502	5.651
<i>lnStr</i>	120	3.678	4.425	3.678	4.425
<i>lnCoop</i>	120	6.429	11.053	6.429	11.053
<i>lnEr</i>	120	8.74	14.05	8.74	14.05

4.3.2. Tobit 回归结果

根据上面构建的 Tobit 面板模型，本文借助 SPSSAU 软件进行回归分析，似然比检验结果 p 值小于 0.5，说明构建模型有意义。同时将创新资源利用效率又分解成技术效益和规模效益，分别作为被解释变量，放入模型中回归，具体结果如表 11 所示。

Table 11. Regression results of the impact of deep integration of industrial chain and innovation chain on the utilization efficiency of innovation resources

表 11. 产业链与创新链深度融合对创新资源利用效率影响回归结果

变量	OE	TE	SE
常数项	-0.011 (-0.022)	1.202*** (3.868)	-0.101 (-0.204)
<i>D</i>	0.536*** (3.49)	0.299*** (3.236)	0.36** (2.466)
<i>Inv</i>	0.039** (2.049)	-0.004 (-0.341)	0.042** (2.353)
<i>lnCoop</i>	0.196*** (11.031)	-0.027** (-2.5)	0.224*** (13.282)
<i>lnStr</i>	-0.266** (-2.313)	0.063 (0.906)	-0.338*** (-3.088)
<i>lnEr</i>	-0.034** (-2.556)	-0.033*** (-4.118)	-0.015 (-1.166)

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%显著性水平上显著，括号里是 t 值，下同。

从表 11 中数据可以看出, 产业链与创新链耦合协调度在创新资源综合利用效率、技术效率、规模效率上回归系数显著为正, 表明各地区产业链与创新链融的越深, 越能提高创新资源的利用效率。在产业链与创新链不断融合的过程中, 市场、政府、企业会相继, 并且主动的进行各种创新要素的合理配置, 使得产业链和创新链的各环节衔接更加紧密、产出更加市场导向, 从而提高创新资源的利用效率[20]。

研发投入强度能够促进创新资源综合利用效率和规模效率的提高。从各省统计数据来看, 2016~2019 年间, 研究与试验发展经费投入强度均值仅为 1.76%, 但却能显著的促进创新资源利用效率的提升, 说明各省用于创新活动的经费投入是高效的。

产学研合作创新能够在创新资源技术效率上回归结果显著为负, 但对创新资源综合利用率和规模利用率却有显著的促进作用。值得注意的是, 本文采取的是高等院校 R&D 人员全时当量衡量产学研合作创新水平, 创新人才集聚能够打通堵点、破除痛点、解决难点, 提高区域创新效率[21], 但 R&D 人员全时当量的提高, 对高校基础设施数量如实验设备等具有较高要求, 人员的冗杂也可能拉长创新产出时间或部分工作人员懈怠等问题。

产业结构与创新资源综合利用效率和规模效率呈负相关。样本数据表明, 我国绝大部分省份已经实现以第三产业为主导, 产业结构的升级能够刺激产品, 而创新资源利用效率却在下降可能原因是, 部分省份在扶持战略型新兴产业时忽略地域特色和要素禀赋, 产出的创新型产品缺乏市场竞争力, 创新成果商业化水平较低, 环境规制能够抑制创新资源综合利用效率和技术效率。这意味着, 企业处理污染投资额越高, 创新投入的消耗和代价越高, 技术成本越高, 因而越来越多的企业利用环境规制, 开展绿色创新活动[22]。

4.3.3. 稳健性检验

Table 12. Robustness regression results

表 12. 稳健性回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
<i>D</i>	0.442** (2.32)	0.563*** (3.612)	0.571*** (3.331)
<i>Inv</i>	0.019 (0.766)	0.038** (2.001)	0.039* (1.821)
<i>lnCoop</i>	0.198*** (8.999)	0.217*** (7.408)	0.217*** (7.389)
<i>lnStr</i>	-0.038 (-0.268)	-0.246** (-2.111)	-0.244** (-2.054)
<i>lnEr</i>	-0.013 (-0.635)	-0.028* (-1.802)	-0.027* (-1.762)
<i>lnpopu</i>		-0.039 (-0.91)	-0.039 (-0.917)
<i>lnpgdp</i>			-0.006 (-0.112)

为了保证回归结果的稳健性, 本文通过 Breusch-Pagan 和 Hausman 检验, 选择随机效应模型。又依次在模型中添加了各省本科以上学历人数(*popu*)、地区人均 GDP (*pgdp*)作为控制变量, 进行回归分析, 列(1)~(3)中产业链与创新链耦合协调度对创新资源利用效率均呈现显著正向影响, 与 Tobit 模型分析结论一致, 因此回归结果比较稳健。具体结果见表 12。

5. 结论与政策建议

5.1. 研究结论

本文利用我国 30 个省市自治区面板数据, 构建双链评价指标体系, 计算两个系统的中指标权重和耦合协调度, 并基于三阶段 DEA 测度创新资源利用效率, 采用 Tobit 模型实证考察了产业链与创新链深度融合对创新资源利用效率的影响。研究发现:

1) 各省市自治区产业链与创新链耦合协调度在稳步上升, 未来还有很大的提升空间。全国仅有广东、江苏、北京三个省市达到良好协调, 从 2018 年开始, 广东省已经达到优质协调水平。整体来看, 东部地区考察期内平均耦合协调度处于较好水平, 区域内部却存在较大差异, 海南省双链融合速度远慢于其他省份, 平均耦合协调度值为 0.332, 但也在努力缩小与其他省份差距, 中部和西部地区产业链与创新链融合深度逐步向东部地区靠拢。

2) 考察期内, 各省市自治区的创新资源综合利用效率呈现波动上升趋势, 2017 年出现明显的下降, 主要原因与 2016 年国家实施创新驱动发展战略, 创新成果转化存在一定的滞后性。在剔除管理无效率和随机干扰后, 76.7%的省份创新资源利用效率下降, 受环境因素影响较大。

3) 产业链与创新链耦合协调度对创新资源利用效率具有显著的促进作用, 耦合协调度值每提高 1%, 会导致创新资源综合效率指数提高 53.6%, 技术效率指数提高 29.9%, 说明产业链与创新链融合越深, 创新资源利用效率提升越显著。

5.2. 政策建议

根据以上研究, 提出如下政策建议:

1) 推动产业链与创新链融合更深。在当今世界科学技术革命与产业变革的大背景下, 加速产业结构调整, 推动产业链优化升级重中之重。其一, 从产业链的长度、宽度、关联度、厚度全方位延伸产业链[23], 从创新链的基础研究、应用研究、产业化三个维度, 逐渐嵌入产业链, 形成“DNA 双螺旋”结构[9], 政府尤其要注重增加基础研究的经费投入强度, 攻克“卡脖子”技术难题。

2) 由于各省市自治区自然资源和要素禀赋存在差异, 提高创新资源利用效率战略部署要因地制宜。从微观来说, 对于传统自然资源如矿产资源丰富性省市, 引进创新技术, 加快构建工业互联网, 降低制造费用和环境成本, 对于创新要素不足的省市, 要根据地方产业的比较优势, 以特色产业为核心, 落实中小微企业税收、融资等优惠政策, 加大创新人才引进力度, 充分利用新时代信息资源优势, 实现产业链向数字化和智能化转型新路径。从宏观上看, 构建国内产业分工协调体系, 借鉴“雁阵模式”, 解决各省产业转移与升级的困境[24], 实现区域经济协调发展。

3) 优化创新资源配置, 打造共性技术研发平台。人才、资金、技术、信息等创新要素投入能显著的促进我国的国际分工地位[25], 关键在于高效配置创新资源。推动产业链与创新链深度融合, 需要产业链和创新链上政府、企业、科研机构等各主体协同发展, 共同努力, 全力推动产学研密切合作, 将科学技术落实到人民群众的生活中, 同时地方政府间要紧密联系, 以重大科研课题类型和相关性作为科学依据, 在地区间打造多个共性技术研发平台, 鼓励创新资源要素在区域间充分自由流动, 提高要素资源配置效率, 应用数字化技术, 实现各研发平台内部知识共享。

参考文献

- [1] Óliver, W. (1981) The Modern Corporation: Origins, Evolution, Attributes. *Journal of Economic Literature*, **19**, 1537-1568.
- [2] 谢柳芳. 促进产业链与创新链融合的审计协同机制探索——“双循环”背景下国家审计视角的理论分析框架[J]. *会计之友*, 2022(20): 2-9.
- [3] 代明, 戴毅, 梁意敏, 黄莎莎. 粤台自主创新能力比较与前瞻[J]. *科技管理研究*, 2009(5): 205-208.
- [4] 刘家树, 石洪波, 周梦琦. 创新链与资金链融合影响经济高质量发展的效应研究[J]. *经济与管理评论*, 2022(1): 103-115.
- [5] 连远强. 供给侧跨界耦合视角下产业创新发展研究[J]. *科技进步与对策*, 2016, 33(20): 63-68.
- [6] 白俊红, 蒋伏心. 协同创新、空间关联与区域创新绩效[J]. *经济研究*, 2015, 50(7): 174-187.
- [7] 刘光彦, 赵颖. 金融发展、科技创新对经济增长的影响——基于空间溢出效应与调节效应的实证研究[J]. *山东社会科学*, 2022(7): 161-168.
- [8] 李佳, 王丽丽, 王欢明. 不同经济发展水平下创新要素对产业创新绩效的影响及政策启示[J]. *科技进步与对策*, 2020, 37(7): 52-58.
- [9] 李雪松, 龚晓倩. 地区产业链、创新链的协同发展与全要素生产率[J]. *经济问题探索*, 2021(11): 30-44.
- [10] 白俊红. 中国的政府 R&D 资助有效吗?来自大中型工业企业的经验证据[J]. *经济学(季刊)*, 2011(3): 1375-1400.
- [11] 郭淑芬, 张俊. 中国 31 个省市科技创新效率及投入冗余比较[J]. *科研管理*, 2018, 39(4): 55-63.
- [12] 许永洪, 王璐, 杜瑶. 中国固定资本存量与研发资本增长效应重估[J]. *数量经济技术经济研究*, 2022(11): 179-200.
- [13] 单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算: 1952-2006 年[J]. *数量经济技术经济研究*, 2008, 25(10): 17-31.
- [14] 胡亚洲. 数字经济对绿色创新效率的影响研究[D]:[硕士学位论文]. 济南: 齐鲁工业大学, 2022.
- [15] Fried, H.O., Lovell, C.A.K., Schmidt, S.S. and Yaisawarnng, S. (2002) Accounting for Environmental Effects and Statistical Noise in Data Envelopment Analysis. *Journal of Productivity Analysis*, **17**, 157-174.
<https://doi.org/10.1023/A:1013548723393>
- [16] 梁树广, 张芃芃, 臧文嘉. 山东省制造业产业链创新链资金链的耦合协调度研究[J]. *科技管理研究*, 2022, 42(17): 47-56.
- [17] 牡丹丽, 简萧婕, 赵丹. 中国数字技术创新与数字经济发展耦合协调度研究[J/OL]. *科技进步与对策*: 1-11.
https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=3uoqIhG8C45S0n9fL2suRadTyEVl2pW9UrhTDCdPD65alre2xrs7D77E VcUyvUvyzx_Q4ovvFIHoV1D3eX0VkfT0znHF1k0Y&uniplatform=NZKPT, 2023-05-23.
- [18] 成力为, 孙玮, 王九云. 要素市场不完全视角下的高技术产业创新效率——基于三阶段 DEA-Windows 的内外资配置效率和规模效率比较[J]. *科学学研究*, 2011, 29(6): 930-938, 960.
- [19] 王维国, 王鑫鹏. 创新转化效率、要素禀赋与中国经济增长[J]. *数量经济技术经济研究*, 2022, 39(12): 5-25.
- [20] 晏文隽, 陈辰, 冷奥琳. 数字赋能创新链提升企业科技成果转化效能的机制研究[J]. *西安交通大学学报(社会科学版)*, 2022, 42(4): 51-60.
- [21] 曾武佳, 李清华, 蔡承岗. 我国高新技术产业开发区创新效率及其影响因素研究[J]. *软科学*, 2020, 34(5): 6-11.
- [22] 李国柱, 张婷玉. 环境规制耦合协调度对企业绿色创新的影响——基于非平衡面板分位数回归的研究[J]. *生态经济*, 2022(12): 136-144.
- [23] 杨加猛, 张智光. 林业产业链绩效测度体系构建及应用[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2011, 27(3): 278-284.
- [24] 李雯轩, 李晓华. 新发展格局下区域间产业转移与升级的路径研究——对“雁阵模式”的再探讨[J]. *经济学家*, 2021(6): 81-90.
- [25] 杨高举, 黄先海. 内部动力与后发国分工地位升级——来自中国高技术产业的证据[J]. *中国社会科学*, 2013(2): 25-45, 204.