

技术创新效率曲线、产业异质性与创新路径选择： 基于二元创新视角与高端装备制造业的实证研究

王成东¹, 焦 慧¹, 王 琛², SARAH Yvonne Cooper³

(1. 哈尔滨理工大学经济与管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150080;

2. 哈尔滨医科大学附属第二医院, 黑龙江 哈尔滨 150086;

3. 爱丁堡大学商学院, 苏格兰 爱丁堡 EH8 9JS)

摘 要:在自主创新成为主流技术创新路径的时代背景下,基于思辨性思维对产业技术创新效率曲线的异质性及创新路径选择展开理论分析与实证研究。研究发现:实证产业自主技术创新效率稳定上升,而其细分行业的技术引进创新效率则具有随机异质性演进的特点;实证产业细分行业的自主技术创新与技术引进创新效率曲线呈现“十字交叉”“平行”和“双螺旋”等演进形态,其中“十字交叉”形态处于主导地位。“平行”型效率曲线产业应选择自主技术创新为主、技术引进创新为辅的创新路径;“双螺旋”型效率曲线产业应实现对技术引进创新与自主技术创新路径的动态选择;“十字交叉”型效率曲线产业应选择自主技术创新为主的创新路径。研究成果对实现产业创新路径的优化选择,进而提升其技术创新效率与效益,具有重要的理论价值和现实指导意义。

关键词:技术创新路径;效率曲线;产业异质性;高端装备制造业;二元创新

中图分类号:F426; F062.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0566(2023)02-0061-12

Technological innovation efficiency curve, industrial heterogeneity and innovation path selection: An empirical study on high-end equipment manufacturing from the perspective of dual innovation

WANG Chengdong¹, JIAO Hui¹, WANG Chen², SARAH Yvonne Cooper³

(1. School of Economics and Management, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China;

2. Second Affiliated Hospital, Harbin Medical University, Harbin 150086, China;

3. Business School, University of Edinburgh, Edinburgh EH8 9JS, Scotland)

Abstract: Under the background that independent innovation has become the mainstream technology innovation path, theoretical analysis and empirical research are carried out on the heterogeneity of industrial technology innovation efficiency curve and the choice of innovation path. The efficiency of independent technological innovation of empirical industries is rising steadily, while the efficiency of technology introduction innovation of its sub industries is

收稿日期:2022-06-02 修回日期:2023-02-08

基金项目:国家社会科学基金一般项目(22BJL117, 18BJY102);国家自然科学基金面上项目(72074062);教育部人文社会科学研究规划基金项目(22YJA630084);黑龙江省哲学社会科学研究规划项目(22GLB106);黑龙江省自然科学基金项目(LH2021G011);黑龙江省博士后研究项目(LBH-Q19024)。

作者简介:王成东(1982—),男,山东淄博人,博士,哈尔滨理工大学经济与管理学院教授,研究方向为产业技术创新。

characterized by random and heterogeneous evolution; The efficiency curve of independent technology innovation and technology introduction innovation in the empirical industry segment shows the evolution patterns of “cross”, “parallel” and “double helix”, in which the “cross” pattern is dominant. The “parallel” efficiency curve industry should choose the innovation path with independent technology innovation as the main factor and technology introduction innovation as the auxiliary factor; The “double helix” efficiency curve industry should realize the dynamic choice of technology introduction innovation and independent technology innovation path; The “cross” efficiency curve industry should choose the innovation path based on independent technological innovation. The research results have important theoretical value and practical guiding significance for realizing the optimal choice of industrial innovation path and further improving its efficiency and outcomes of technological innovation.

Key words: technological innovation path; efficiency curve; industrial heterogeneity; high-end equipment manufacturing; dual innovation

中国《第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中明确提出坚持创新驱动发展以全面塑造发展新优势的国家发展战略,产业技术创新在可以预见的未来将是驱动中国经济发展的重要源动力。高端装备制造业的技术创新不仅直接关系到产业发展水平与质量,而且可通过创新溢出与产业关联驱动国民经济体系的发展。在中国产业技术创新进程中,逐渐形成了技术引进创新和自主创新等多种技术创新路径。在自主创新等国家战略的驱动下,我国产业由技术引进创新向自主创新的演进不可逆转。然而,从中国产业技术创新实践来看,自主技术创新具有创新资源消耗量大、创新绩效不确定性高等问题。因此,是否无差别地全面推进产业自主技术创新成为一个值得深入研究的课题。逻辑上,基于产业异质性及其技术创新规律,从效率视角对自主创新与引进创新二元视角下的技术创新路径进行针对性选择,成为更加符合中国产业发展实际与产业技术创新规律的选择。

研究聚焦于二元创新路径下不同产业自主技术创新与技术引进创新效率演进关系和创新路径选择问题,在选择技术创新效率评价方法、设计评价指标体系和构建评价模型的基础上,以 2012—2021 年中国高端装备制造业为例对产业二元技术创新效率进行定量测度,揭示其演化特征与规律。基于最终测度结果,结合研究对象的产业异质性,对二元创新视角下的产业技术创新路径的选择策略进行设计。本文创新之处在于:研究视角方面,基于思辨性思维从效率曲线视角对产业技术创新

效率及创新路径进行研究;研究对象方面,选择高端装备制造业这一国民经济体系中的战略性新兴产业进行研究,确保研究成果的现实指导意义;研究内容方面,构建了二元创新视角下的产业技术创新效率评价体系,并针对高端装备制造业开展研究;研究结论方面,系统揭示了产业技术创新效率曲线的静态特征与动态演进规律,据此提出了异质性产业的技术创新路径选择策略。因此,本文研究的重点是构建二元技术创新效率评价体系,并对其进行定量测度,进而揭示产业技术创新效率曲线的静态特征与动态演进规律。预期研究成果:一方面,有助于在自主技术创新成为主流路径的时代背景下,实现对异质性产业技术创新路径的理性认识与科学选择;另一方面,研究所揭示的产业技术创新规律与路径选择策略对提高中国产业技术创新资源利用率,克服创新资源约束,实现创新驱动发展国家战略有一定的理论价值和现实指导意义。

一、文献综述

技术创新作为创新领域中的一大热点研究主题,学者们对其开展了深入而细致的研究,并取得了丰硕的研究成果。从具体的研究成果来看,近 10 多年来对于技术创新的研究大多聚集于其绩效与效应、影响因素、机制与路径、效率等方面。

技术创新绩效与效应方面,研究成果表明技术创新可在多个维度产生正向效应,技术创新不仅在提高企业发展质量^[1]、提升企业经济绩效^[2]、提高企业员工工作质量幸福感^[3]、提高企业国际竞争力^[4]等微观层面产生正向效应,还在改善产

业参与 GVC 分工地位^[5]等中观层面具备正向价值,更为重要的是在减少碳排放^[6]、减少环境污染^[7]、改善能源消耗结构^[8]、实现经济绿色增长^[9]等绿色发展方面体现出正向效应。有效的技术创新甚至能影响国家的生态足迹^[10],并在构建超级智能社会等方面产生正向效应^[11]。

技术创新影响因素方面,学者们从多维度、多层面研究了技术创新的影响因素,其成果主要集中在人力资源因素、资金因素、信息因素、政策因素、管理和治理因素等方面。人力资源因素方面,研究表明柔性人力资源管理有利于促进组织的技术创新^[12],而人口老龄化的正向创新效应并没有显著抑制经济的增长^[13]。资金因素方面,研究表明政府投资与补贴^[14]、风险投资支持^[15]、企业对外投资^[16]和金融投资^[17]等因素均影响着技术创新。信息因素方面,信息源与信息感知因素^[18]和数字化因素^[19]等均显著影响技术创新。政策因素方面,产业创新政策^[20]和金融政策^[21]是该领域的研究热点。特别是在绿色技术创新方面,低碳城市试点政策^[22]和环保政策^[23]等政策因素被广泛研究。此外,相关研究还表明经济政策不确定性因素^[24]等对技术创新具有多维影响。治理因素方面,研究表明从宏观层面的国家治理因素^[25]和市场规模^[26]到产业层面的产业结构^[27]再到企业层面的跨国并购^[28]等因素,均深刻影响技术创新,此外部分学者还研究了营销因素^[29]、企业管理文化^[30]和偶发性事件^[31]等因素对技术创新的影响,揭示了其影响规律。

具体到产业技术创新效率领域,特定产业技术创新效率的测度与技术创新效率影响因素是当前学者们关注的焦点。如特定对象技术创新效率测度方面,李昊等^[32]基于 SBM-SupSBM 模型分类测度了中国区域绿色技术创新效率。技术创新效率影响因素方面,研究表明产业集聚^[33]、空间邻近和交通状况^[34]、校企协同^[35]等均对产业技术创新效率产生显著影响。

通过对国内外技术创新研究成果的梳理可知:首先,技术创新有多方面的正向效应,关系到国民经济发展质量与国家竞争力的提升。其次,

对技术创新的研究多集中于创新资源要素及影响因素等方面,说明当前技术创新资源仍处于相对稀缺状态,提高产业技术创新资源的配置效率亟待研究。再次,技术创新的研究多数默认自主创新为研究对象,并未对其与其他技术创新路径进行有效区分或针对性研究。当前,仅有少数学者关注了自主创新和技术引进创新之间的关系,如揭示出不同技术创新模式的特征及适用性^[36]。最后,从技术创新效率的角度来看,不同行业的技术创新效率具有差异性,推断并非所有行业均适合进行完全自主创新,技术引进创新等仍是有效的技术创新选项。

二、理论分析与研究假设

(一)二元创新视角下产业创新效率“交叉”

在创新驱动发展背景下,各创新主体进行了技术创新路径的多元化实践。从产业层面来看,技术创新主要表现为自主创新、技术引进创新、模仿创新和合作创新等范式。而在欧美等发达国家加强对我国进行技术封锁且国家加强知识产权管理的背景下,合作创新和模仿创新的发展空间日益缩小,自主创新和技术引进创新成为当前最重要的创新路径。

从中国高端装备制造业的技术创新路径演进历程来看,其自主创新体系是在技术引进基础上逐步发展起来的。在技术创新的起步阶段,产业技术引进创新可实现成熟创新体系与优质创新资源同成长市场的有机结合,能带来较高的创新绩效产出,从而令该时期的技术引进创新效率较高。而此时的自主创新在技术创新体系、资源与管理方面均处于劣势地位,且各类资源投入尚未达到其规模阈值,其创新绩效与效率处于较低水平。

随着技术创新进程的不断深入和技术引进创新边际效应的逐步降低,各技术创新主体在提高创新绩效、掌握核心技术成果等因素的共同驱动下,将重心由技术引进创新转向自主创新,不断完善自主创新体系,并持续增加自主技术创新的资源投入。技术创新体系的完善、创新能

力的提升和资源聚集效应的显现,增加了自主技术创新的产出,提高了其效率,形成与技术引进创新效率的此消彼长。而随着自主技术创新效率的不断上升和产业技术引进创新效率的逐步下降,二元技术创新效率曲线应在某一时点形成“十字交叉”。考虑到不同产业的技术创新特征、资源禀赋和创新环境的异质性,推断并非所有产业都遵循相同的技术创新效率曲线演进趋势。

基于上述分析,提出如下假设:

假设 H1:产业自主技术创新效率随时间不断上升,产业技术引进创新效率随时间不断下降。

假设 H2:二元创新路径下部分产业自主技术创新效率与技术引进创新效率曲线会形成效率“十字交叉”。

(二)产业异质性与产业技术创新效率“十字交叉”

不同产业既在资源禀赋、能力塑造、成果积累等创新主观要素上存在差异,还在面临的产业政策和科技创新环境等客观要素方面不尽相同^[37]。因此可以推断,并非所有产业的技术创新效率都有同样的演进特征与规律。特别是就技术密集型和创新密集型产业而言,不同产业在主客观要素异质性的影响下呈现出不同的技术创新特征:技术创新成果积累方面的差异令不同产业在创新进程中处于不同的效率曲线起点位置,技术创新能力和资源禀赋的差异决定了产业技术创新效率曲线的演进方向与曲率,产业创新政策与环境方面的差异进一步增加了不同产业技术创新效率曲线演进的随机性。

因此,产业异质性使其在技术创新效率方面呈现出不同的演进特征与规律,从而形成二元技术创新视角下不同形态的产业技术创新效率“十字交叉”。产业技术创新效率“十字交叉”的不同形态主要体现在效率曲线的“交叉点”和“交叉角”等方面,对不同产业技术创新效率曲线的交叉点和交叉角的高阶分析可揭示不同产业技术创新效率的演进特征与规律。基于此,提出如下假设:

假设 H3:二元创新视角下不同产业技术创新效率曲线的“十字交叉”具有不同形态。

三、研究设计:指标体系、方法与模型

(一)产业技术创新效率评价指标体系

产业技术创新效率取决于技术创新绩效产出与资源投入之间的转化关系,因此其评价指标至少包括产业技术创新产出因素、投入因素和控制变量 3 个方面^[38]。

产业技术创新成果产出是产业技术创新工作的出发点和落脚点,是衡量技术创新工作质量的关键性指标。对于产业技术创新成果产出可以从直接产出(如专利和新产品等)和间接产出(如产业升级、竞争力增强、研发人员能力提升等)等方面进行评价。考虑到评价指标的直接性和针对性,以及数据的可得性,学者们主要从一维或二维视角对技术创新成果产出进行评价。一维视角下,专利相关指标被广泛应用于技术创新产出的评价;二维视角下,新产品相关指标是专利之外的另一个技术创新产出评价指标^[32,34]。虽然部分学者在特定研究视角下,通过 GVC 位势和竞争力等指标对技术创新成果产出进行评价^[38-39],但总体而言从专利及新产品两个维度评价技术创新成果产出仍是当下主流的评价方式。因此,本文利用专利和新产品相关指标对产业技术创新成果产出进行评价。在专利产出方面,虽然专利申请数与授权数均可评价产业技术创新成果产出,但由于未授权专利亦是技术创新成果重要的组成部分^[38],本文采用专利申请数来评价技术创新专利产出;在新产品产出方面,新产品产值和新产品销售收入等指标均可反映技术创新的产品产出情况,但考虑到新产品的销售收入能更好地反映市场对新产品的认可与接受程度,能更准确地反映技术创新成果质量^[34],本文选择新产品销售收入来评价对技术创新的新产品产出。

产业技术创新资源投入既包括创新过程中资金和人力等直接资源,也包括所用的设备和固定基础设施等间接投入。同样,考虑到评价指标针对性与数据可得性,国内外学者主要从人、财、物等方面对其进行评价。为了保证不同创新路径下技术创新效率评价结果具有可比性,本文统一将人、财、物资源投入转化为经费视角下的资源投

入,以相关指标来评价人力资源与物质资源的投入。以相关研究成果为基础,产业自主技术创新资源投入方面,采用人员劳务费、试验发展支出和资产支出来评价人财物资源的投入^[39]。产业技术引进创新资源投入方面的评价指标相对固定,本文基于相关研究成果,采用引进技术经费支出和消化吸收经费支出对其进行评价^[40]。

控制变量方面,参考相关研究成果,将产业规模、产业集中度、产业人均 GDP、产业所有制和产业研发强度作为控制变量,其中产业规模通过产业工业总产值进行评价,产业集中度通过大型企业资产总值的行业占比进行评价;产业所有制通过国有成分占比进行评价;产业研发强度通过产业研发投入占其生产总值的比例进行评价^[7,27]。

综上所述,得到产业技术创新效率评价指标体系如表 1 所示。

表 1 产业技术创新效率评价指标体系

目标层	准则层	指标层
产业技术创新效率	产业技术创新成果产出	专利申请数
		新产品销售收入
	产业自主技术创新资源投入	人员劳务费
		试验发展支出
		资产支出
	产业技术引进创新资源投入	引进技术经费支出
		消化吸收经费支出
		购买境内技术经费支出
		技术改造经费支出
	控制变量	产业规模
		产业集中度
		产业人均 GDP
		产业所有制
		产业研发强度

(二)技术创新效率评价方法与模型

目前,用于效率评价的方法主要包括 DEA 方法和 SFA 方法,两种方法在优劣势和适用性方面有一定差异^[38]。相比于 SFA 方法,DEA 有无需设定生产函数具体形式,能够处理多产出 DMU 的优势^[39]。由于产业技术创新是一个涉及专利和新产品等多维产出的复杂过程,本文运用 DEA 方法以评价产业技术创新效率。

DEA 方法有多种具体的效率测度模型,经典模型主要有 CCR 模型和 BCC 模型,其中前者假定规模报酬不变,后者假定规模报酬可变。考虑到产业技术创新资源投入与绩效产出间的复杂非线性关

系,本文采用 BCC 模型对产业技术创新效率进行定量评价,因该模型已较成熟,此处不再累述。

四、实证研究:基于 DEA 方法与高端装备制造业

(一)实证研究对象的选择

本文基于产业技术密集性及产业在国民经济体系中的战略性地位,选择高端装备制造业作为实证研究对象。借鉴王成东等^[39]与黄鲁成等^[41]学者对高端装备制造业的界定,将国民经济行业分类标准(GB/T4754-2017)中的 C₃₄到 C₄₀界定为高端装备制造业,建立其细分行业集合 $I = \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6\} = \{C_{34}, C_{35}, C_{36} + C_{37}, C_{38}, C_{39}, C_{40}\}$ 。

(二)数据来源

为保证数据来源的可靠性和研究结果信效度,实证研究的原始数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》和《中国工业统计年鉴》等官方数据,面板数据的时间范围为 2012 年至 2021 年。因相关官方统计年鉴仅更新到 2021 年(提供 2020 年度相关数据),因此为了有效反映新冠病毒感染疫情与新世界格局下中国高端装备制造业二元技术创新效率特征与演进规律,基于 ARMA 模型对 2021 年的产业数据进行估计,并结合企业数据及专家调研对数据进行修正,从而得到 2021 年度数据(因 2021 年数据为非官方数据,其值仅供参考)。

此外,由于上述各官方年鉴的产业创新绩效产出数据未区分自主技术创新产出与技术引进创新产出。因此,需科学剥离自主技术创新产出与技术引进创新产出,以保证实证研究结果的合理性与可靠性。

相对客观的技术创新成果数据剥离方法有两种:一是基于上市公司的公开数据对企业层面自主技术创新与技术引进创新的成果产出进行剥离,进而汇总成产业数据,其不足是行业内公开的企业数据有限;二是按照自主技术创新与技术引进创新投入比例对创新成果产出进行剥离,即设置两种技术创新路径的虚拟效率平衡点,考察两种创新路径下创新资源配置的相对效率,该方式

既能从产业层面实现对创新成果的有效剥离,又能充分利用官方统计年鉴的数据确保研究结果的可靠性。

基于此,借鉴蔡渊渊等^[42]的研究成果,采用第二种方法,按照二者投入比例对产业技术创新成果产出数据进行剥离。

(三) 产业技术创新效率的测度

1. 基于 DEA 经典模型的产业技术创新效率的测度

基于 DEA 的 BCC 经典模型对中国高端装备制造业自主技术创新效率和技术引进创新效率进行测度,并绘制其创新效率曲线,结果如图 1 所示。

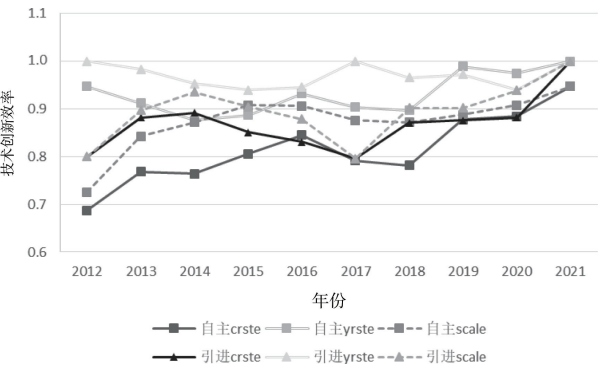


图 1 基于 DEA 经典模型的高端装备制造业技术创新效率演进趋势

从产业整体来看,自主技术创新效率在研究时段内虽出现一定波动,但无论是综合效率、纯技术效率还是规模效率总体上均呈现上升趋势;技术引进创新效率虽总体呈上升趋势,但其 3 个维度的效率均存在较明显的波动,且波动方向的随机性较高。对高端装备制造业六大细分行业二元技术创新效率曲线进行绘制,结果如图 2 所示。

从细分行业来看,各行业的二元技术创新效率虽呈现出形态各异的演进趋势,但 I_1 和 I_2 等行业的自主技术创新效率仍呈现较稳定的上升趋势。 I_3 和 I_6 虽出现了自主技术创新效率的剧烈波动,但总体上仍呈上升趋势。而技术引进创新效率差异较大,行业 I_3 出现了多次波动, I_2 、 I_4 和 I_6 则出现了多个效率为 1 的 DMU,导致无法有效揭示其效率曲线演进趋势,亦无法有效证明假设。

基于此,需对经典 DEA 模型进行改进以有效区分各 DMU 的效率,并在此基础上对产业技术创新效率进行再测度才能对假设进行有效检验。

2. 经典 DEA 模型的改进与产业技术创新效率的再测度

(1) DEA 模型的改进

借鉴 Amin 等^[43]的思路,引入虚拟 DMU 对经典 DEA 模型进行改进。

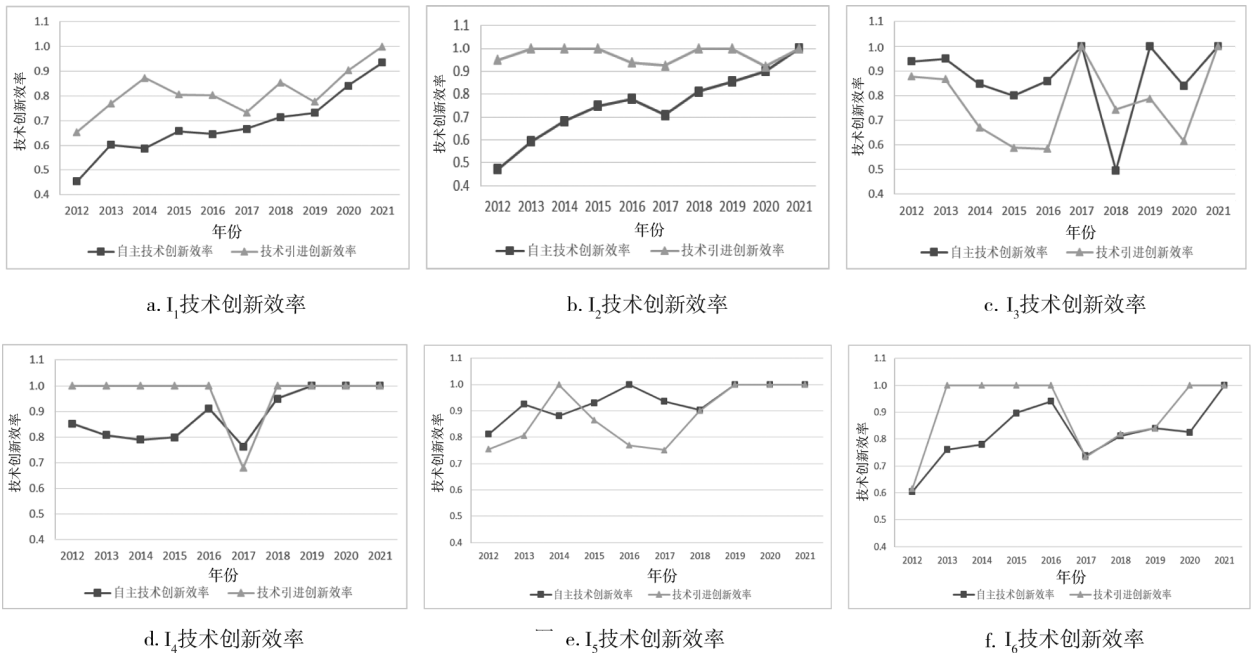


图 2 基于 DEA 经典模型的高端装备制造业细分行业创新效率演进趋势

一是构造虚拟的最优和最劣决策单元 DMU_{n+1} 和 DMU_{n+2} 。设 DMU_{n+1} 的投入和产出指标为 $x_{i,n+1} = \min(x_{i1}, \dots, x_{in})$ 和 $y_{r,n+1} = \max(y_{r1}, \dots, y_{rn})$; DMU_{n+2} 的两指标为 $x_{i,n+2} = \max(x_{i1}, \dots, x_{in})$ 和 $y_{r,n+2} = \min(y_{r1}, \dots, y_{rn})$ 。

二是建立 DMU_{n+1} 的效率评价模型。以所有 DMU 的效率评价值为约束,以 DMU_{n+1} 的效率评价值 V_{n+1}^* 为目标函数建立新的 DEA 模型如(1)式所示。

$$\begin{cases} \max \beta^T Y_{n+1} \\ \alpha^T X_j - \beta^T Y_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n+2 \\ \alpha^T X_{n+1} = 1 \\ \alpha \geq 0, \quad \beta \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

显然,有 $V_{n+1}^* \equiv 1$ 。由于式(1)有无穷多组最优解 α^* 和 β^* , 因此需对其进行筛选,以确定对所有 DMU 都有符合要求的公共权向量。

三是确定公共权向量。由 $V_{n+1}^* = \frac{u^{*T} Y_{n+1}}{v^{*T} X_{n+1}} = \frac{\beta^{*T} Y_{n+1}}{\alpha^{*T} X_{n+1}} \equiv 1$ 可知,最优决策单元 DMU_{n+1} 满足 $\beta^{*T} Y_{n+1} - \alpha^{*T} X_{n+1} = 0$ 。为确定公共权向量,建立模型如(2)式所示。

$$\begin{cases} \min \beta^T Y_{n+2} \\ \alpha^T X_j - \beta^T Y_j \geq 0, \quad j \neq n+1 \\ \alpha^T X_{n+2} = 1 \\ \beta^T Y_{n+1} - \alpha^T X_{n+1} = 0 \\ \alpha \geq 0, \quad \beta \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式(2)以 DMU_{n+2} 的效率值最小为目标,增加约束条件 $\beta^T Y_{n+1} - \alpha^T X_{n+1} = 0$ 以保证 DMU_{n+1} 的效率值最大。基于式(2)可对 DMU_{n+1} 的权向量进行筛选,得出使 DMU_{n+2} 效率值最小的一组权向量。

四是求各 DMU 的效率值。在求解式(2)得到最优解 α^{**} 、 β^{**} 基础上,利用式(3)求出各 DMU 的效率评价值。

$$V_j^{**} = \frac{\beta^{**T} Y_j}{\alpha^{**T} X_j} \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

如需要,可重复上述步骤直至求得所有 DMU 的效率值。

(2) 产业技术创新效率的再测度

利用改进 DEA 模型对高端装备制造业二元创

新效率进行再测度,结果如表 2 所示。

由表 2 可知,改进的 DEA 模型对中国高端装备制造业及其细分行业的自主技术创新和技术引进创新效率进行有效区分,可见改进的 DEA 模型具有较高的有效性。

从产业整体来看,产业自主技术创新综合效率和技术引进创新综合效率在研究时段内总体上均呈现上升趋势,其中自主技术创新效率的上升幅度较明显,技术引进创新效率上升较缓慢,假设 H1 不成立。产业二元技术创新效率的双升表明中国高端装备制造业的技术创新体系及技术创新环境得到了持续改善,产业技术创新的投入产出转化能力不断提升。需要指出的是,新冠病毒感染疫情和中美贸易战等黑天鹅事件虽然通过抑制新产品销售收入对中国产业的技术创新效率产生了抑制作用,但其影响的传递需要一个相对较长的周期,其影响在研究时段内尚未充分显现。

高端装备制造业的二元技术创新效率虽没有因异向演进而形成“十字交叉”,但由于上升速度的不同,产业二元技术创新效率形成了类“十字交叉”,假设 H2 成立。

基于改进 DEA 模型的高端装备制造业二元技术创新效率演进趋势如图 3 所示。

从细分行业来看,各细分行业的二元技术创新效率呈现出形态各异的演进趋势,其中 I_1 、 I_2 、 I_4 和 I_6 的二元技术创新效率有着明显的类“十字交叉”形态。 I_3 的二元技术创新效率波动较大,效率曲线出现多次交叉,呈现出“双螺旋”演进形态; I_5 的自主技术创新效率与技术引进创新效率虽有收敛相交趋势,但最终并未出现二元技术创新效率的交叉,效率曲线呈现出“平行”演进形态。高端装备制造业细分行业二元技术创新效率演进趋势如图 4 所示。

在形成二元技术创新效率“十字交叉”的行业中,各行业的自主技术创新效率均稳定增长,但技术引进创新效率出现了分化,其中 I_1 、 I_2 和 I_6 的技术引进创新均存在一定程度的下降, I_4 则存在一定幅度的增长。说明虽然产业整体技术引进创新效率呈现上升,但部分行业存在技术引进创新效率的下降,因此假设 H1 在特定细分行业层面成立。

表 2 基于改进 DEA 模型的产业技术创新效率

DMU		自主技术创新效率				技术引进创新效率			
		crste	vrste	scale	备注	crste	vrste	scale	备注
2012 年	I ₁	0.059	0.059	1.000	—	0.136	0.136	1.000	—
	I ₂	0.042	0.050	0.832	drs	0.112	0.135	0.832	drs
	I ₃	0.149	0.238	0.623	drs	0.337	0.541	0.623	drs
	I ₄	0.112	0.145	0.770	drs	0.195	0.254	0.770	drs
	I ₅	0.194	0.283	0.684	drs	0.136	0.200	0.684	drs
	I ₆	0.020	0.020	1.000	—	0.039	0.039	1.000	—
	I	0.107	0.133	0.802	drs	0.174	0.218	0.802	drs
2013 年	I ₁	0.103	0.123	0.843	drs	0.231	0.275	0.843	drs
	I ₂	0.092	0.117	0.789	drs	0.219	0.277	0.789	drs
	I ₃	0.193	0.316	0.611	drs	0.326	0.533	0.611	drs
	I ₄	0.164	0.225	0.729	drs	0.311	0.428	0.729	drs
	I ₅	0.253	0.405	0.625	drs	0.147	0.235	0.625	drs
	I ₆	0.045	0.057	0.794	drs	0.076	0.096	0.794	drs
	I	0.151	0.207	0.732	drs	0.224	0.307	0.732	drs
2014 年	I ₁	0.130	0.160	0.817	drs	0.275	0.336	0.817	drs
	I ₂	0.134	0.172	0.779	drs	0.233	0.299	0.779	drs
	I ₃	0.204	0.329	0.621	drs	0.263	0.424	0.621	drs
	I ₄	0.230	0.307	0.751	drs	0.364	0.485	0.751	drs
	I ₅	0.277	0.440	0.629	drs	0.148	0.236	0.629	drs
	I ₆	0.057	0.064	0.888	drs	0.086	0.097	0.888	drs
	I	0.183	0.245	0.748	drs	0.234	0.313	0.748	drs
2015 年	I ₁	0.175	0.210	0.831	drs	0.236	0.284	0.831	drs
	I ₂	0.184	0.231	0.795	drs	0.224	0.282	0.795	drs
	I ₃	0.226	0.352	0.640	drs	0.287	0.447	0.640	drs
	I ₄	0.254	0.335	0.758	drs	0.331	0.436	0.758	drs
	I ₅	0.344	0.544	0.633	drs	0.164	0.259	0.633	drs
	I ₆	0.075	0.089	0.837	drs	0.085	0.085	1.000	—
	I	0.220	0.294	0.750	drs	0.230	0.299	0.768	drs
2016 年	I ₁	0.205	0.240	0.853	drs	0.203	0.238	0.853	drs
	I ₂	0.216	0.257	0.843	drs	0.168	0.200	0.843	drs
	I ₃	0.272	0.430	0.633	drs	0.306	0.484	0.633	drs
	I ₄	0.324	0.423	0.766	drs	0.310	0.405	0.766	drs
	I ₅	0.390	0.624	0.625	drs	0.137	0.219	0.625	drs
	I ₆	0.090	0.107	0.834	drs	0.065	0.071	0.915	drs
	I	0.263	0.347	0.759	drs	0.208	0.270	0.772	drs
2017 年	I ₁	0.216	0.250	0.866	drs	0.161	0.186	0.866	drs
	I ₂	0.207	0.250	0.830	drs	0.143	0.172	0.830	drs
	I ₃	0.194	0.304	0.638	drs	0.606	0.950	0.638	drs
	I ₄	0.348	0.453	0.769	drs	0.202	0.262	0.769	drs
	I ₅	0.436	0.704	0.619	drs	0.155	0.251	0.619	drs
	I ₆	0.075	0.089	0.844	drs	0.040	0.043	0.942	—
	I	0.260	0.342	0.761	drs	0.242	0.311	0.778	drs
2018 年	I ₁	0.247	0.284	0.869	drs	0.188	0.217	0.869	drs
	I ₂	0.247	0.290	0.854	drs	0.110	0.128	0.854	drs
	I ₃	0.192	0.306	0.629	drs	0.352	0.560	0.629	drs
	I ₄	0.408	0.530	0.770	drs	0.326	0.424	0.770	drs
	I ₅	0.480	0.771	0.622	drs	0.244	0.392	0.622	drs
	I ₆	0.085	0.101	0.843	drs	0.039	0.046	0.845	drs
	I	0.291	0.380	0.765	drs	0.225	0.295	0.765	drs
2019 年	I ₁	0.267	0.305	0.874	drs	0.193	0.220	0.874	drs
	I ₂	0.285	0.338	0.844	drs	0.146	0.173	0.844	drs
	I ₃	0.408	0.649	0.629	drs	0.409	0.651	0.629	drs
	I ₄	0.503	0.665	0.756	drs	0.302	0.399	0.756	drs
	I ₅	0.556	0.901	0.618	drs	0.258	0.417	0.618	drs
	I ₆	0.099	0.120	0.824	drs	0.038	0.041	0.926	drs
	I	0.375	0.496	0.757	drs	0.246	0.317	0.774	drs
2020 年	I ₁	0.330	0.378	0.872	drs	0.223	0.256	0.872	drs
	I ₂	0.341	0.412	0.827	drs	0.132	0.160	0.827	drs
	I ₃	0.380	0.590	0.644	drs	0.389	0.604	0.644	drs
	I ₄	0.594	0.745	0.798	drs	0.346	0.434	0.798	drs
	I ₅	0.567	0.912	0.621	drs	0.465	0.748	0.621	drs
	I ₆	0.110	0.129	0.855	drs	0.038	0.038	1.000	—
	I	0.406	0.528	0.770	drs	0.293	0.373	0.786	drs
2021 年	I ₁	0.406	0.466	0.873	drs	0.224	0.257	0.873	drs
	I ₂	0.429	0.480	0.894	drs	0.155	0.174	0.894	drs
	I ₃	0.376	0.575	0.654	drs	0.572	0.875	0.654	drs
	I ₄	0.772	0.772	1.000	—	0.418	0.418	1.000	—
	I ₅	0.612	0.950	0.644	drs	0.521	0.809	0.644	drs
	I ₆	0.159	0.159	1.000	—	0.042	0.042	1.000	—
	I	0.469	0.567	0.827	drs	0.355	0.429	0.827	drs

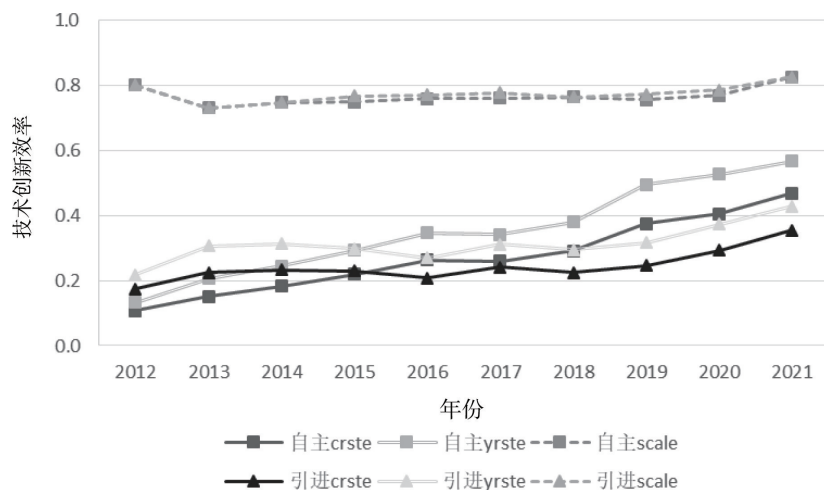


图3 基于改进 DEA 模型的高端装备制造业技术创新效率演进趋势

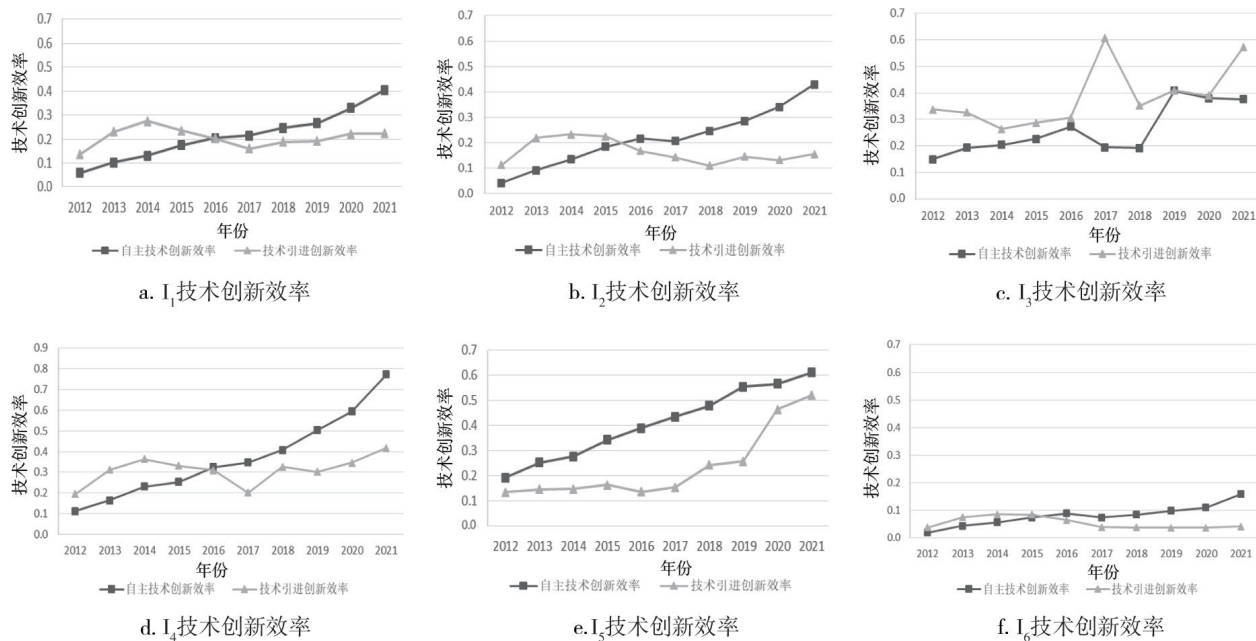


图4 基于改进 DEA 模型的高端装备制造业细分行业创新效率演进趋势

从产业二元技术创新效率曲线的“交叉点”来看, I_1 、 I_2 、 I_4 和 I_6 等行业二元技术创新效率曲线的交叉点均在 2015—2016 年之间,说明在该时段内相关产业实现了自主技术创新对技术引进创新的效率超越,成为了更高效的技术创新路径。

从产业二元技术创新效率曲线的“交叉角”来看, I_1 、 I_2 和 I_4 等行业二元技术创新效率曲线的交叉角基本一致, I_6 的交叉角则相对较小。说明相比于 I_6 , I_1 、 I_2 和 I_4 等行业自主技术创新和技术引进创新效率差异较大,即两种技术创新路径在交叉点前后均有较高的效率差,在选择创新路径时应予以

充分考虑。

综上可知,形成二元技术创新效率“十字交叉”的行业中,不同产业二元技术创新效率的“十字交叉”在“交叉点”和“交叉角”等方面均有不同形态,假设 H3 成立。

(四)基于效率视角的产业技术创新路径选择策略

效率视角下的产业技术创新路径选择应充分考虑二元创新视角下各细分行业自主技术创新效率与技术引进创新效率曲线的演进关系。

对于二元技术创新效率成“平行”形态演进的

I_5 , 应充分考虑其自主技术创新效率高于技术引进创新效率的发展规律, 选择自主技术创新为主、技术引进创新为辅的技术创新路径, 并保持二元技术创新资源投入既有比例的稳定性。

对于二元技术创新效率成“双螺旋”形态演进的 I_3 , 应综合考虑产业二元技术创新效率现状及演进趋势, 结合产业技术创新资源、能力、环境与创新赛道演化等多维因素进行创新路径的选择, 形成二者的动态平衡。

对于二元技术创新效率成“十字交叉”形态演进的 I_1 、 I_2 、 I_4 和 I_6 , 其二元技术创新的效率差会在“交叉点”后逐渐变大, 因此应选择自主技术创新为主而技术引进创新为辅的范式, 并针对性地调整二元技术创新资源投入, 增加自主技术创新资源的投入量。对于“交叉角”较小的 I_6 , 应对产业技术创新效率进行持续的动态评价, 并根据评价结果适时调整技术创新路径的选择策略。

综上所述, “平行”型效率曲线产业应选择自主技术创新为主、技术引进创新为辅的创新路径; “双螺旋”型效率曲线产业应实现对技术引进创新与自主技术创新路径的动态选择; “十字交叉”型效率曲线产业应选择自主技术创新为主的创新路径。

五、结论与研究展望

(一) 结论

本文聚焦于二元创新视角下的产业技术创新效率曲线可能存在的“十字交叉”, 在理论分析的基础上以中国高端装备制造业为例进行实证研究, 研究结论如下。

(1) 实证产业自主技术创新效率随时间呈现出稳步上升, 表明自主技术创新作为实现中国国家技术创新战略的主要创新路径, 其技术创新体系及运行机制、自主技术创新环境等得到了持续改善, 实施自主创新驱动发展战略的成效逐步显现; 实证产业各细分行业的技术引进创新效率随时间呈现出异质性随机演进趋势, 表明技术引进创新易受大国技术博弈等外源性随机因素的影响。

(2) 不同产业在技术创新基础和技术创新能力等方面均存有异质性, 从而导致技术创新资源投入、绩效产出和技术创新效率曲线的异质性, 进而形成了“平行”型、“双螺旋”型和“十字交叉”型等二元创新视角下的不同技术创新效率曲线形态; 不同产业二元技术创新效率曲线所形成的“十字交叉”在“交叉点”和“交叉角”等方面呈现出不同特征。

(3) “平行”型效率曲线产业应选择自主技术创新为主、技术引进创新为辅的创新路径; “双螺旋”型效率曲线产业应实现对技术引进创新与自主技术创新路径的动态选择; “十字交叉”型效率曲线产业应选择自主技术创新为主的创新路径。

(二) 不足与展望

本文研究主要存在如下不足: 一是出于数据可得性与可靠性、官方年鉴统计口径和研究实践指导意义等方面的考虑, 本文研究仅对主流的技术创新路径进行对比研究, 在一定程度上忽略了产业技术创新路径的多元性。二是没有设计出更科学的产业自主技术创新和技术引进创新绩效产出数据的剥离方法, 当前方法的针对性与准确性存在不足; 三是受篇幅所限, 本文研究未定量测度产业技术创新的影响因素, 导致无法从影响因素视角提出提升产业技术创新效率的策略。

针对上述研究不足, 对后续研究展望如下: 一是从自主技术创新、技术引进创新、合作创新和模仿创新等多维度对产业技术创新路径进行对比性研究; 二是设计更具针对性的技术创新成果数据剥离方法; 三是对产业技术创新影响因素进行定量测度研究。

参考文献:

- [1] 陈丽珊, 傅元海. 融资约束条件下技术创新影响企业高质量发展的动态特征[J]. 中国软科学, 2019(12): 108-128.
- [2] 汪明月, 李颖明, 王子彤. 技术和市场双重不确定性下企业绿色技术创新及绩效[J]. 系统管理学报, 2021, 30(2): 353-362.
- [3] PLOMP J, PEETERS M C W. The impact of technological innovations on the quality of work and wellbeing: a systematic literature review[J]. Gedrag & organisatie, 2020, 33(4):

348-375.

- [4] DONBESUUR F, AMPONG G O A, OWUSU Y D, et al. Technological innovation, organizational innovation and international performance of SMEs: the moderating role of domestic institutional environment[J]. *Technological forecasting and social change*, 2020 (161): 1-11.
- [5] 杨水利, 杨祎. 技术创新模式对全球价值链分工地位的影响[J]. *科研管理*, 2019, 40(12): 11-20.
- [6] AHMAD M, RAZA M Y. Role of public-private partnerships investment in energy and technological innovations in driving climate change: evidence from Brazil[J]. *Environmental science and pollution research*, 2020, 27(24): 30638-30648.
- [7] WAHAB S. Does technological innovation limit trade-adjusted carbon emissions? [J]. *Environmental science and pollution research*, 2021(2): 1-11.
- [8] MURSHED M, ALAM M S. Estimating the macroeconomic determinants of total, renewable, and non-renewable energy demands in Bangladesh: the role of technological innovations [J]. *Environmental science and pollution research*, 2021 (28): 30176-30196.
- [9] NOSHEEN M, IQBAL J, ABBASI M A. Do technological innovations promote green growth in the European union? [J]. *Environmental science and pollution research*, 2021, 28(17): 21717-21729.
- [10] USMAN M, HAMMAR N. Dynamic relationship between technological innovations, financial development, renewable energy, and ecological footprint: fresh insights based on the STIRPAT model for Asia pacific economic cooperation countries [J]. *Environmental science and pollution research*, 2021, 28(12): 15519-15536.
- [11] HOLROYD C. Technological innovation and building a 'super smart' society: Japan's vision of society 5.0 [J]. *Journal of Asian public policy*, 2020(6): 1-14.
- [12] 叶一娇, 何燕珍, 朱宏, 等. 柔性人力资源管理对组织技术创新的影响及作用机制研究[J]. *南开管理评论*, 2020, 23(2): 191-202.
- [13] 谢雪燕, 朱晓阳. 人口老龄化、技术创新与经济增长[J]. *中国软科学*, 2020(6): 42-53, 76.
- [14] KENNEDY M. The adverse effects of technological innovation under WTO subsidy rules[J]. *World trade review*, 2020, 19(4): 511-530.
- [15] 丰若咏, 温军. 风险投资与我国小微企业的技术创新[J]. *研究与发展管理*, 2020, 32(6): 126-139.
- [16] WANG C G, LIU T S, WANG J L. The influence of outward foreign direct investment on enterprise technological innovation[J]. *Mathematical problems in engineering*, 2021 (1): 1-13.
- [17] 段军山, 庄旭东. 金融投资行为与企业技术创新——动机分析与经验证据[J]. *中国工业经济*, 2021(1): 155-173.
- [18] CAFFARO F, CREMASCO M M, ROCCATO M, et al. Drivers of farmers intention to adopt technological innovations in Italy: the role of information sources, perceived usefulness, and perceived ease of use[J]. *Journal of rural studies*, 2020, 76(5): 264-271.
- [19] 余菲菲, 王丽婷. 数字技术赋能我国制造企业技术创新路径研究[J]. *科研管理*, 2022, 43(4): 11-19.
- [20] 何钰子, 汤子隆, 常曦, 等. 地方产业政策如何影响企业技术创新? ——结构特征、影响机制与政府激励结构破解[J]. *中国软科学*, 2022(4): 45-54.
- [21] 陆菁, 鄢云, 王韬璇. 绿色信贷政策的微观效应研究——基于技术创新与资源再配置的视角[J]. *中国工业经济*, 2021(1): 174-192.
- [22] 徐佳, 崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. *中国工业经济*, 2020(12): 178-196.
- [23] 陶锋, 赵锦瑜, 周浩. 环境规制实现了绿色技术创新的“增量提质”吗——来自环保目标责任制的证据[J]. *中国工业经济*, 2021(2): 136-154.
- [24] 阳镇, 凌鸿程, 陈劲. 经济政策不确定性、企业社会责任与企业技术创新[J]. *科学学研究*, 2021, 39(3): 544-555.
- [25] AURORA G L, JUSTIN T, SONG J. State governance and technological innovation in emerging economies: state-owned enterprise restructuring and institutional logic dissonance in China's high-speed train sector[J]. *Journal of international business studies*, 2021(3): 621-645.
- [26] 汪明月, 李颖明, 管开轩. 政府市场规制对企业绿色技术创新决策与绩效的影响[J]. *系统工程理论与实践*, 2020, 40(5): 1158-1177.
- [27] 冯根福, 郑明波, 温军, 等. 究竟哪些因素决定了中国企业的技术创新[J]. *中国工业经济*, 2021(1): 17-35.
- [28] 黄苹, 蔡火娣. 跨国并购对企业技术创新质变的影响研究——基于技术互补性调节分析[J]. *科研管理*, 2020, 41(6): 80-89.
- [29] D'ATTOMA I, IEVA M. Determinants of technological innovation success and failure: does marketing innovation matter? [J]. *Industrial marketing management*, 2020, 91(11): 64-81.

- [30] AUGUSTINE D L. Management of technological innovation: high tech R&D in the GDR [J/OL]. Business History, 2020(10): 1-17[2020-10-27].
- [31] MILAN E, ULRICH F, FARIA L G D, et al. Exploring the impact of organisational, technological and relational contingencies on innovation speed in the light of open innovation[J]. Industry and innovation, 2020, 27(7): 804-836.
- [32] 李昊, 范德成, 张书华, 等. 我国区域绿色技术创新效率的分类测度和提升模式研究——基于非期望产出的 SBM-SupSBM 模型[J]. 运筹与管理, 2022, 31(4): 184-189, 203.
- [33] 杨浩昌, 李廉水, 张发明. 高技术产业集聚与绿色技术创新绩效[J]. 科研管理, 2020, 41(9): 99-112.
- [34] 张曦, 郭淑芬. 中国工业技术创新效率空间关联及其影响因素[J]. 科学学研究, 2020, 38(3): 525-535.
- [35] 李涛, 李斌. 校企协同对技术创新效率的影响机制研究: 基于动力学演化视角的佐证[J]. 科研管理, 2020, 41(9): 65-76.
- [36] 杨丽君. 技术引进与自主研发对经济增长的影响——基于知识产权保护视角[J]. 科研管理, 2020, 41(6): 9-16.
- [37] 薛澜, 姜李丹, 黄颖, 等. 资源异质性、知识流动与产学研协同创新——以人工智能产业为例[J]. 科学学研究, 2019, 37(12): 2241-2251.
- [38] 王成东, 蔡渊渊. 全球价值链下产业研发三阶段效率研究: 以中国装备制造业为例[J]. 中国软科学, 2020(3): 46-56.
- [39] 王成东, 朱显宇, 蔡渊渊, 等. GVC 嵌入、产业 R&D 效率与提升策略研究[J]. 科学学研究, 2020, 38(9): 1597-1607, 1728.
- [40] 马永军, 张志武, 赵泽. 技术引进、吸收能力与创新质量——来自中国高技术产业的经验证据[J]. 宏观质量研究, 2021, 9(2): 59-73.
- [41] 黄鲁成, 张二涛, 杨早立. 基于 MDM-SIM 模型的高端制造业创新指数构建与测度[J]. 中国软科学, 2016(12): 144-153.
- [42] 蔡渊渊, 綦良群, 张毅, 等. 自主技术创新还是技术引进: 范式选择与资源优化配置[J]. 中国科技论坛, 2021(8): 22-32.
- [43] AMIN G, TOLOO M, SOHRABI B. An improved MCDM DEA model for technology selection[J]. International journal of production research, 2006, 44(13): 2681-2686.

(本文责编: 王延芳)