引用格式:周银香, 高珊珊, 王妍. 创新价值链下新能源汽车产业技术创新效率——基于两阶段 Super-DEA 与 Malmquist 指数模型[J]. 技术经济, 2025, 44(10): 116-127.

Zhou Yinxiang , Gao Shanshan, Wang Yan. The technological innovation efficiency of new energy vehicle industry under innovation value chain: Based on two-stage super-DEA and Malmquist index modeling[J]. Journal of Technology Economics, 2025, 44(10): 116-127.

技术经济评价

创新价值链下新能源汽车产业技术创新效率

——基于两阶段 Super-DEA 与 Malmquist 指数模型

周银香, 高珊珊, 王 妍

(浙江财经大学数据科学学院, 杭州 310018)

摘 要: 发展新能源汽车产业是我国实施绿色发展的战略举措,作为技术密集型产业,创新才能促进其高质量发展。基于创新价值链视角将新能源汽车产业技术创新过程分为技术成果生产与转化两阶段,运用 Super-DEA 和 Malmquist 指数模型测算不同产权企业 2016—2022 年两阶段创新效率、创新模式及动态变化趋势。研究表明:新能源汽车产业创新价值链两个阶段的创新效率均不高,绝大多数企业属于粗放型创新模式,但技术成果转化阶段创新效率显著优于生产阶段;不同产权性质及产业链不同环节的技术创新效率具有异质特征,非国有企业的技术生产效率高于国有企业,但成果转化效率则相对偏低,产业链各环节的技术生产效率差异更大;动态来看,生产阶段和转化阶段全要素生产率均呈现波动态势,创新价值链两阶段创新效率变化的促增动力分别为技术效率变化和技术进步。研究结论为新能源汽车产业高质量发展提供三重实践指引:揭示创新价值链不同阶段的技术创新效率及关键促增因素,指导企业优化技术创新资源配置;解析不同产权的新能源汽车企业创新效率差异,助力政府精准实施差异化激励政策;破解产业链技术创新薄弱环节,全面提升上下游企业创新韧性。

关键词: 新能源汽车产业; 技术创新效率; 创新价值链; 两阶段 Super-DEA; Malmquist 指数

中图分类号: G203 **文献标志码**: A **文章编号**: 1002-980X(2025)10-0116-12

DOI:10. 12404/j. issn. 1002-980X. J24032805

一、引言

随着能源安全挑战的不断加剧与环境污染问题的日益凸显,绿色可持续发展已跃升为全球社会经济发展的焦点议题。推动经济社会低碳绿色化发展,是应对我国资源环境挑战的基础之策,也是人与自然和谐共生的现代化建设要义。党的二十届三中全会对推进中国式现代化、促进新质生产力发展作出系统部署,强调必须深入实施创新驱动发展战略,提升国家创新体系整体效能,促进各类先进生产要素向发展新质生产力集聚,加快经济社会发展全面绿色转型。新能源汽车产业作为具有绿色创新特色的战略性新兴产业,聚合了低碳环保、能源清洁与智能高效等特质,已然成为驱动产业绿色转型与国民经济可持续发展的重要引擎。同时,作为新质生产力的典型代表,新能源汽车技术创新不仅是汽车产业转型升级的重要抓手,更是推动高效、绿色、可持续发展的关键力量。近年来,得益于国家政策扶持,我国新能源汽车产业在技术水平、产业体系及企业竞争力等方面均实现了显著提升,产销量和保有量持续领先全球。然而不可忽视的是,新能源汽车产业在发展过程中依然面临着诸多亟待解决的突出问题。一方面,我国新能源汽车推广和发展较

收稿日期: 2024-03-28

基金项目: 国家社会科学基金重点项目“碳排放统计核算体系构建及碳数据协同治理研究”(24ATJ004)

作者简介: 周银香(1971—),博士,浙江财经大学数据科学学院教授,博士研究生导师,研究方向:新兴产业政策与创新效率评价,低碳经济统计;高珊珊(1998—),浙江财经大学数据科学学院博士研究生,研究方向:新兴产业政策与创新效率评价;王妍(1997—),浙江财经大学数据科学学院硕士研究生,研究方向:新兴产业政策与创新效率评价。

多依赖于财政补贴政策，随着补贴退坡政策的推进，新能源汽车产业发展能否持续现有繁荣尚不可知[1]。另一方面，当前我国新能源汽车产业整体研发水平偏低、核心技术储备不足，已然成为阻碍产业创新发展的主要瓶颈。实际上，新能源汽车产业的技术创新并不是一簇而就的，从技术研发、产品开发到市场转化等创新价值链各环节的要素投入都会影响到产业的技术创新效率。与此同时，该产业还涉及从核心零部件制造、整车系统集成到充电基础设施配套等产业链多环节协同，不同环节的技术密集度差异与企业创新禀赋分化进一步导致了创新效率的梯度分布特征。因此，基于创新价值链视角，深入探究企业在技术研发、生产及成果转化等各环节的创新效率及协同性，揭示各阶段效率差异特征及关键驱动因素，为企业优化技术创新资源分配、加速核心技术突破提供具体的行动方向；通过阐释不同产权性质的新能源汽车企业在技术创新范式中的差异化竞争优势，为不同所有制主体制定适配性创新路径提供理论参照；进一步考察产业链不同环节技术创新效率异质特征，识别技术创新的关键节点和瓶颈问题，有助于实现上下游企业的协同创新，从而提高整个行业体系的技术创新效率与稳定性。

作为一个涉及多阶段、多环节和多要素的投入产出过程，技术创新的核心目的在于追求效率最大化[2]。在此过程中，技术创新效率扮演着至关重要的角色，它反映了生产单元在创新活动中各项投入与产出之间的内在联系，是创新能力的重要体现[3]。在现有的研究中，技术创新效率的研究方法多种多样，其中随机前沿分析法（stochastic frontier analysis，SFA）和数据包络分析法（data envelopment analysis，DEA）是两种前沿方法。尽管 SFA 考虑了随机因素对产出的影响，但其模型假设复杂，参数估计时计算难度较大，且对于多产出情况的处理并不理想。相比之下，DEA 无须预设生产函数形式，可直接应对多产出情况，因此在技术创新效率测度中得到了广泛应用[4]。然而传统 DEA 模型无法有效区分多个效率值均为 1 的决策单元，为解决这一问题，Andersen 和 Petersen[5] 提出超效率 DEA（Super-DEA），广泛运用于能源效率、省域创新效率等宏观绩效评价[6-7]，以及智能制造业、高技术产业、人工智能企业等微观层面的创新绩效评价[8-10]。

目前，关于新能源汽车产业创新的研究呈现出多元化的趋势。一方面，学者们深入探讨了新能源汽车产业创新生态系统的发展动因及演进历程[11-14]；另一方面，众多研究聚焦于新能源汽车产业整体效率的量化评估或产业政策对新能源汽车企业创新绩效的影响，结果表明整体技术创新效率上呈现偏低态势[15-16]。此外，对于新能源汽车创新价值链技术效率方面，一些学者尝试将其细化为研发和市场化两个阶段，并分别采用传统的 DEA 或 SBM（slacks-based measure）模型对这些阶段的创新效率进行测算。结果显示，虽然新能源汽车企业在研发阶段的效率相对较高，但在成果转化阶段，其效率却有待进一步提升[17-18]。这些研究不仅提供了对新能源汽车产业创新效率的全面认识，也为未来的研究提供了一定的理论基础。然而，现有的效率测度手段大多数局限于 SFA 或传统的 DEA 分析法，研究视角也主要聚焦于产业整体创新效率的测度与解析。实际上，企业技术创新过程犹如一个复杂的“黑箱”，单纯从整体视角探讨企业技术创新效率，往往仅聚焦于初始投入要素和最终产出成果，容易忽视技术创新价值链的完整体系和成果开发过程的细节。尤其在新质生产力浪潮的推动下，技术创新对绿色发展的影响愈发值得关注，这要求新能源汽车产业的创新发展不仅要关注市场化带来的经济效益，还要兼顾环境效益。鉴于此，以我国新能源汽车产业上市公司为研究对象，将创新价值链分为成果生产与成果转化两个创新阶段，并将经济效益和环境效益纳入创新效率的测度体系框架，综合运用超效率 DEA 法和 Malmquist 指数法，探究创新价值链不同环节的创新效率及动态变化态势，以丰富技术创新效率评价体系的理论和方法。在此基础上，依据两阶段的创新效率类型，剖析新能源汽车产业的技术创新发展模式，并与企业产权性质相融合，揭示不同产权与不同环节中技术创新的关系和互动机制，有效拓展了企业创新价值链技术效率研究的视域与深度。本文主要的边际贡献在于：一是运用 Super-DEA 和 Malmquist 指数模型分别探究创新价值链两个阶段的静态和动态效率状况，剖析不同阶段及不同产权性质企业创新效率变化的关键因素，为优化技术创新路径、提升创新效率决策提供有力支持。二是将发明专利、无形资产、主营业务收入及绿色发展水平四项产出统一纳入创新产出变量指标体系的分析框架中，以全面评估技术创新的综合效益，依此绘制技术创新模式象限图，分别阐释不同创新投入-效率组合模式的特征，为制定针对性的技术效率提升策略提供参考依据。

二、创新价值链两阶段技术创新效率理论分析

创新价值链的概念最早由 Hansen 和 Birkinshaw[19] 提出。他们认为创新价值链具有链式结构，由基本单元和链接单元构成，从而将企业的创新过程划分为多个阶段，即创意产生、创意转化和创意传播。创新价值链描述了科技成果从创意的产生到商业化生产销售，并实现经济效益和社会效益的链状结构，揭示了知识、技术在整个过程中的流动、转化和增值效应。将创新价值链理论引入新能源汽车产业技术创新活动中，认为企业创新活动需经历从研究到开发、再从开发到成果转化这一过程，从而将企业技术创新过程细化为两个关键环节：一是技术创新成果的生产，即第一阶段，它涵盖了技术研发、原型制作等初步创新活动；二是技术创新成果的转化，即第二阶段，它涉及将创新成果转化为实际生产力，实现商业价值和社会效益的过程。这样的划分有助于更深入地理解企业技术创新的全过程，并为后续研究提供更为清晰的框架。

技术创新效率反映了创新价值链各环节在创新活动中投入与产出之间的比例关系。在技术创新成果的生产阶段，企业投入研发资金、研发人员等初始技术研发要素，经过一系列研究、开发与测试环节，最终获得一定的创新成果产出。而技术创新成果的转化阶段则是对前一阶段的延续与深化。企业在这一阶段将新获得的技术创新成果应用于实际生产中，并投入其他生产要素，以此得到新产品、收获经济效益。此外，新能源汽车产业属于外部性较强的产业，绿色发展是其技术创新成果转化的重要体现之一，将绿色发展纳入第二阶段评价指标，可以更全面地评价技术创新成果的转化效果，为企业的技术创新提供更有针对性的指导。该环节是连接企业技术创新成果和实现企业市场价值的关键。不难看出，企业从技术创新到实现市场价值和绿色发展是一个多阶段的复杂过程。技术创新价值链两阶段投入产出机理如图 1 所示。

由图 1 可知，技术创新过程涉及技术创新成果生产和转化两个阶段，每个阶段都与多个投入产出要素有关。衡量技术创新效率，必须根据各环节投入产出要素情况分别测度两个阶段的创新效率，每个阶段效率高低都会影响企业整体的效率情况及未来发展走向。若忽视技术创新的“黑箱”过程，必然会丧失技术创新这一复杂活动传递出的众多重要信息。因此，基于创新价值链理论分阶段评价我国新能源汽车产业上市公司效率情况，针对性更强，有助于挖掘企业创新过程中隐藏的重要信息。

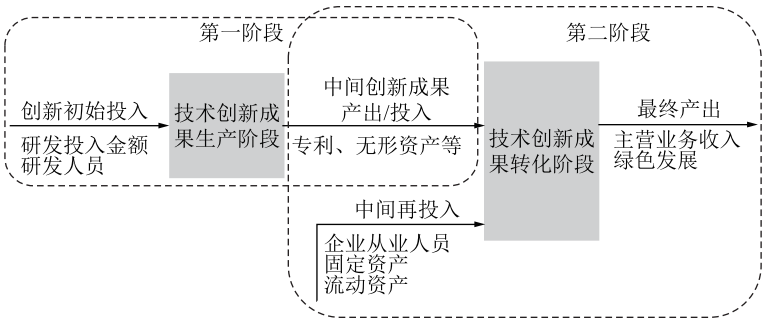


图 1　技术创新价值链两阶段投入产出机理

三、研究设计

（一）研究方法

1. 超效率 DEA 法

DEA 方法由 Charnes 等[20] 于 1978 年提出，其核心在于对具备多投入和多产出特性的研究对象进行相对效率的系统性评估与比较。运用 DEA 方法能够更为精确地理解不同决策单元（decision making unit，DMU）在效率方面的表现，从而为后续的研究和决策提供有力支持。为了修正传统 DEA 模型无法有效区分效率值为 1 的 DMU 之间的效率差异这一不足，在投入导向下，基于规模报酬不变的假设，超效率 DEA 模型能够更精确地评估 DMU 的效率水平，其数学形式如式（1）所示。

$$\min\theta - \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_i^+\right)$$
$$\text{s. t.}\begin{cases}\sum_{n} X_j\lambda_j + s^- = \theta X_{j0}\\ \sum_{n} Y_j\lambda_j - s^+ = Y\\ \lambda_j \geqslant 0,\ j = 1,2,\cdots,n\\ s^+ \geqslant 0,\ s^- \geqslant 0\end{cases} \tag{1}$$

其中：λ_j 为权重系数，表示各 DMU 在效率前沿上的线性组合权重；X_j、Y_j 分别为 DMU 的投入与产出变量；θ 为 DMU 的超效率值，$\theta \geqslant 1$ 说明决策单元处于 DEA 有效，$\theta < 1$ 说明决策单元处于非有效状态；s^-、s^+为松弛变量向量。超效率模型通过引入 $j \neq k$ 的限制条件，将被评价的决策单元从参考集中剔除，旨在优化效率评估流程。超效率 DEA 模型能够实现对有效 DMU 效率水平的进一步区分，为决策者提供更为精确和深入的效率评估信息。这样的处理方式使得超效率模型在效率评估方面更具逻辑性和准确性，有助于更全面地理解不同 DMU 之间的效率差异。

2. Malmquist **指数法**

生产活动具有长期性和连续性的特点，然而基础和超效率 DEA 模型主要侧重于静态分析。为了深入研究涉及多个决策单元和多个时间点的面板数据的生产率变动情况，Malmquist 全要素生产率（total factor productivity，TFP）指数分析被广泛应用[21]。Färe 等[22]首次运用 DEA 方法计算 Malmquist 指数，并将其分解为技术变化（*TC*）和技术效率变化（*EC*）两部分。其中，*TC* 主要反映生产前沿的动态演变，用于评估决策单元的技术创新水平；而 *EC* 则代表生产技术的利用效率，通过衡量生产前沿面与实际产出量之间的距离变化来体现。此外，为了进一步细化分析，将技术效率变化细化为纯技术效率（*PE*）和规模效率（*SE*）两个子部分。纯技术效率主要用于衡量 DMU 在管理和制度创新方面的能力，而规模效率则考察 DMU 的规模经济情况，*TFP* 可以表示 $TFP = EC \times TC = PE \times SE \times TC$，Färe 等[22]于 1992 年定义的 Malmquist 模型具体如式（2）所示。

$$\begin{aligned} TFP &= \left[\frac{D^t(x_{t+1},y_{t+1})}{D^t(x_t,y_t)} \times \frac{D^{t+1}(x_{t+1},y_{t+1})}{D^{t+1}(x_t,y_t)}\right]^{1/2}\\ &= \frac{D^{t+1}(x_{t+1},y_{t+1})}{D^t(x_t,y_t)} \times \left[\frac{D^t(x_{t+1},y_{t+1})}{D^{t+1}(x_{t+1},y_{t+1})} \times \frac{D^t(x_t,y_t)}{D^{t+1}(x_t,y_t)}\right]^{1/2}\end{aligned} \tag{2}$$

其中：$D^t(x_t,y_t)$ 和 $D^t(x_{t+1},y_{t+1})$ 分别指以 t 期的数据为参考集，t 期和 $t+1$ 期的 DMU 的距离函数；$D^{t+1}(x_t,y_t)$ 和 $D^{t+1}(x_{t+1},y_{t+1})$ 指以 $t+1$ 期的数据为参考集，t 期和 $t+1$ 期的 DMU 的距离函数。该方法基于距离函数定义 Malmquist 指数，利用线性优化方法对 DMU 的有效生产前沿面进行估算。Malmquist 指数用于衡量某一决策单元在 t~t+1 时期内生产率的变动情况。当 *TFP*>1，表明生产率呈现增长态势；*TFP*<1，则表明生产率呈现衰退趋势。

（二）上市公司技术创新效率评价指标体系构建

根据创新价值链理论，技术创新活动包括技术创新成果生产阶段和技术创新成果转化阶段。综合理论分析及数据可获得性建立新能源汽车产业技术创新两阶段投入与产出指标体系见表 1。

表 1　新能源汽车产业技术创新两阶段投入与产出指标体系

阶段	一级指标	二级指标及单位
技术创新成果生产阶段	投入指标	研发投入金额（元）
		研发人员数量（人）
	产出指标	发明专利申请量（件）
		无形资产（元）
技术创新成果转化阶段	投入指标	发明专利申请量（件）
		无形资产（元）
		企业从业人员（人）
		流动资产（元）
		固定资产（元）
	产出指标	主营业务收入（元）
		ESG 评级得分（分）

1. **技术成果生产阶段投入产出指标**

对于投入指标，鉴于这一阶段往往需要大量的科研费用投入及专业人才的培养作为坚实的支撑，选择研发人员数量和研发投入金额作为投入变量，这两个指标能够直观地反映企业在技术创新过程中的人力与财力投入情况[23]。

这一阶段的产出指标为技术创新活动的直接成果。专利申请数被普遍认为是衡量技术创新的最直接、最有效的指标,因此选取上市公司各年度发明专利申请量衡量专利产出。方正起等[3]认为同时考虑专利申请量和非专利性产出更能全面反映企业技术开发成果,在此沿用该方式,将无形资产作为第一阶段的另一关键产出变量进行考量。

2. 技术成果转化阶段投入产出指标

对于投入指标,为了确保科技成果能够顺利实现商业化,企业需要投入充足的人力和物力资源,这些配套的商业化和产业化要素在打通科技成果商业化的"最后一公里"中发挥着决定性作用。除第一阶段的产出成果外,借鉴易明等[24]的研究,将企业从业人员、流动资产和固定资产作为评估其他投入要素的重要指标。

此阶段的产出指标衡量的是研发成果商业化进程中的经营性现金流入与环境效益增量。特别值得强调的是,绿色发展不仅是技术创新成果转化的重要体现,更是企业长远发展的必然选择。考虑到ESG评级深入评估了环境(environmental)、社会(social)和治理(governance)三大方面,企业能够借此识别潜在风险,优化资源配置,进而提升运营效率,推动其绿色可持续发展[25]。而绿色发展的核心要素包括环境、社会责任和公司治理三个维度[26],因此选取ESG评级得分作为衡量技术创新成果转化阶段绿色产出的关键指标。

(三)样本选取与数据处理

为了深入探究新能源汽车产业的发展态势,对中证新能源汽车产业指数(指数代码:930997)与万得新能源汽车概念指数(指数代码:884076)的样本被进行了并集处理,构建了一个具备代表性的样本空间。该空间全面覆盖了新能源汽车产业上下游的各个环节,包括亿纬锂能、江淮汽车、比亚迪等在内的88家上市公司均被纳入其中。

鉴于数据的可获取性及新能源汽车产业的特性,研究的时间范围选定为2016—2022年,主要数据源来自巨潮资讯网、中国经济金融研究数据库(CSMAR)及华证ESG评价体系。考虑到在技术创新活动中,技术创新投入存在一定的滞后性,借鉴李爽[27]的研究,结合新能源汽车产业的技术特点,将滞后期确定为一年。在样本筛选与数据预处理环节,采取了以下措施:一是剔除了创新初始投入数据大部分年份缺失的企业,以及2017年以后上市的公司,如中伟股份、先惠技术等(此类企业相关的投入产出指标缺失值超过一半以上)。二是对于从业人员指标只有个别年份缺失但其他指标数据完整的样本企业,结合均值插补法与回归预测插补法进行插补。三是针对专利申请量为0的情况,采用极小数值(0.001)进行替代处理。最终获得了28家新能源汽车产业上市公司在7年内的完整数据,这28家企业在新能源汽车产业链的各个环节(如关键原材料供应、核心零部件制造、整车制造及充电服务)都具有较好的行业代表性,并在新能源汽车行业中占据了较大的市场份额和影响力①。例如,2024年汽车整车环节中比亚迪的市场份额达33.2%;核心零部件环节中卧龙电驱在高压电机市场列第二位、低压电机市场列第三位;赣锋锂业作为全球电池用氢氧化锂的主要厂商,产能达13.1万吨;关键原材料环节中天赐材料在电解液企业市场份额为31.6%,格林美则为动力电池行业的巨头,特锐德在充电服务环节中市场份额为28%。可见,这28家样本企业不仅包括了行业内的知名品牌和领军企业,以及具有创新技术和研发能力的企业,而且具有一定的行业影响力,可以较好地代表新能源汽车产业进行创新价值链的技术效率研究。

四、基于Super-DEA模型的新能源汽车产业技术创新效率静态分析

(一)创新价值链两阶段技术创新效率对比分析

基于Super-DEA方法,选取以投入为导向的基于规模报酬不变的CCR-I(Charnes, Cooper, and Rhodes algorithm)模型对我国新能源汽车产业上市企业的技术成果生产和转化两个阶段的效率值进行测算。总体来看,技术成果生产阶段的创新效率均值达到了0.626。从单个企业的视角深入分析,可以发现在这28家上市公司中仅有赣锋锂业、格林美及横店东磁三家企业的技术成果生产效率平均值超越了1,而其他25家企业的效率平均值均未能达到这一标准。这一数据反映出,多数新能源汽车产业在技术创新成果生产阶段

① 数据表格备索。

的创新效率相对较低，其研发投入资源未能有效地转化为专利等研发成果。这表明新能源汽车产业在技术创新过程中仍面临诸多挑战，需进一步提升创新效率，确保研发投入能够更为有效地转化为实际的技术成果。28 家上市公司中，排名第三的横店东磁，研究期间效率值呈现逐年上升的态势，资料显示该公司通过外部引进与内部培养相结合的策略，科学配置人才资源，成功组建起专业的研发团队。同时，公司还建立了研究院、高新技术企业研发中心等多个创新平台，同时加大与高校、研究所的产学研项目合作，研发投入、产出逐年提高。而效率值最低的万马股份，虽然近年来大幅增加研发投入，但技术成果生产效率低下，无论专利申请量还是无形资产增加额均增长缓慢，无法形成有效产出，反而增加了企业的管理成本和营业成本。

从历年平均效率来看，28 家企业中，有 11 家企业的技术成果转化效率超过了 1，而其余 17 家企业的效率则低于 1。整体而言，技术成果转化效率的均值为 1.053，表明整体技术成果转化效率处于良好状态。值得注意的是，中科电气、万马股份、科士达、上汽集团在技术成果转化效率方面表现出色，分别以 2.299、2.220、1.992、1.878 的高效率遥遥领先。然而，比亚迪的技术成果转化效率却远离生产前沿面，仅为 0.470，显示出较大的差距。这一现象表明，在将技术创新成果转化为经济效益的过程中，各新能源汽车产业之间的技术成果转化效率存在显著的差异，呈现出不均衡的发展态势。

（二）技术创新效率模式分析

2016—2022 年，我国新能源汽车产业上市公司在技术成果生产与转化两阶段的创新效率均值分别为 0.626 和 1.053。为了深入分析这些企业的技术创新发展模式，根据各样本在两个阶段的创新效率值绘制了技术创新效率二维分布图（图 2）。在图 2 的直角坐标系中，横轴代表企业技术成果生产阶段的效率值，纵轴反映技术成果转化阶段的效率值。分别通过两个阶段的创新效率均值绘制分割线，将坐标系划分为 4 个象限。并根据分割线，将各子阶段的效率分为“高效率”和“低效率”两类，从而更清晰地展示新能源汽车产业在技术创新过程中的不同发展模式。

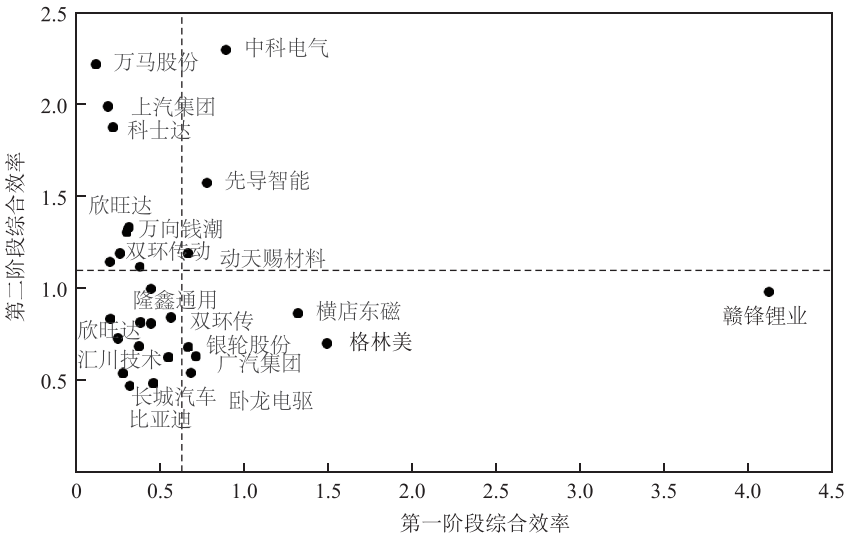


图 2　两阶段技术创新效率二维分布图

根据图 2 的情况，将新能源汽车产业分为四类创新模式。

A 类：技术创新粗放型发展模式。该模式呈现出两个阶段的创新效率均较低的状态，具有粗放型经济增长模式显著特点，即投入与产出规模庞大而效率相对低下。企业在科技成果生产阶段投入大量人力资源和研发资金，在商业价值实现阶段出现盲目投资，在产出上不能同等程度创造出高技术含量成果并实现其经济价值，存在“重数量，轻质量”现象。研究样本中宇通客车（0.277，0.539）、比亚迪（0.315，0.470）、汇川技术（0.202，0.835）等企业为这一类型的典型代表。该类企业通常面临这种困境：一方面急于提高经济效益而忽略技术研发投入；另一方面又因为缺乏足够的市场收益作为反哺，资金压力迫使他们很难进行技术研发活动的推进。

B 类：市场牵引型研发创新模式。代表企业有上汽集团（0.217，1.878）、万马股份（0.114，2.220）、科士达（0.186，1.992）。这类企业擅长把握市场动态，但其研发基础相对薄弱。尽管如此，较高的成果转化效率有助于维持其长期的技术研发投入。当前，对于这类企业而言，亟须解决技术创新成果生产效率低下的问题，以突破关键技术瓶颈，推动企业实现高质量发展。

C 类：技术驱动型研发创新模式。代表企业有横店东磁（1.319，0.865）、赣锋锂业（4.127，0.981）、格林

美(1.492,0.700)。该类企业在技术成果生产阶段展现出较高的创新效率,具备强劲的技术研发硬件实力,以及优越的研发资源配置。在技术开发领域,它们具备显著的竞争优势。但这类企业在技术成果转化阶段的表现稍显不足,往往难以有效将技术成果生产阶段所获得的专利及非专利产出转化为实际的市场价值,进而导致企业创新资源的浪费现象。可能的原因是这类企业把更多资源配置到研发活动中,而在商业价值实现上投入的资源相对较少。

D 类:技术创新集约型发展模式。代表企业有中科电气(0.871,2.129),先导智能(0.776,1.575),天赐材料(0.661,1.191)。这类企业技术创新能力较强,企业内部要素资源配置良好,在市场营销方面具有优势。在技术成果生产阶段,充分发挥丰富的技术创新资源,力求取得突破性的进展,并不断积累技术优势。而在技术创新成果转化的过程中,依靠健全的科技成果转化及产业化机制,创新产出被迅速转化为具备市场竞争力的新产品,进而为公司创造经济效益。这一系列努力旨在推动新能源汽车产业的持续发展和创新。

可见,当前我国属于集约型研发创新模式的新能源汽车产业的企业数量较少,绝大多数企业属于粗放型创新模式,占比为 39.29%。新能源汽车产业上市公司各项研发资源投入的增强的确促进了创新产出的增加,带动产业关键核心技术的突破,但整体创新资源利用率较低,大幅增加的研发投入并没有在同等程度上推动创新产出的增加和经济效益的提升。

(三)产权性质视角下技术创新效率对比分析

根据各企业创新价值链两个阶段历年技术创新效率结果,计算技术成果生产和转化两阶段历年整体技术创新效率均值,绘制如图 3 所示的两阶段创新效率均值对比图。

由图 3 可知,整体来看两个阶段的技术创新效率均不高,存在进一步改善空间,呈现缓慢上升趋势,但技术成果生产阶段整体均值在 2020 年出现下降迹象。新能源汽车产业已被提升至国家发展战略的核心地位,得益于密集的产业政策扶持,我国新能源汽车的产销量持续实现年度增长。与此同时,外资的大规模涌入与行业准入门槛的降低,共同推动了产业竞争格局的进一步开放。在这种背景下,新能源汽车产业的两阶段技术创新效率呈现出稳步增长的态势。2020 年新冠肺炎疫情全球蔓延对我国经济社会运行产生重大影响,冲击我国各行业发展,也对新能源汽车产业的供应链造成严重冲击。除此以外还面临资金链断裂、新技术研发不及时等问题。因而在 2020 年技术成果生产阶段技术创新效率出现下滑。随着经济的恢复,2022 年技术创新效率都实现大幅提升。相较来看技术成果转化效率明显高于生产阶段,说明我国新能源汽车产业呈现出重技术成果转化、轻技术研发的特点。同时需看到,虽然两阶段技术创新效率均存在增长趋势,但行业发展的关键环节——第一阶段技术成果研发的创新效率均值仅略高于 0.6,发展态势不容乐观。

基于产权性质的差异,将 28 家新能源汽车产业上市公司被划分为国有企业与非国有企业两大类别。图 4 清晰地展现不同产权性质企业创新价值链两阶段技术创新效率的异质性:在技术成果生产阶段,非国有企业的创新效率表现超越国有企业;而在技术成果转化阶段,国有企业的创新效率则更为突出。相较于国有企业,非国有企业身处更为激烈的市场竞争中,资源条件相对劣势,但其在组织灵活性和管理自主性方面更具优势。因此,非国有企业往往具备更强的创新意识和动力,更有可能高效地进行研发活动。而国有企业内部管理层和董事会都为行政任命制,相对缺乏创新意识和专业管理水平,但国有企业在资源禀赋上具有明

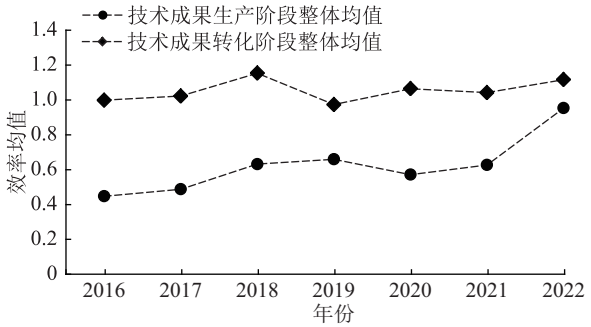


图 3　2016—2022 年新能源汽车产业两阶段创新效率均值

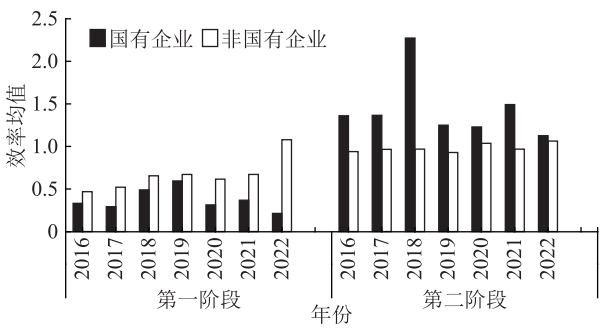


图 4　2016—2022 年不同产权企业技术创新效率

显优势，更容易获得政府融资、税收优惠和多元化的分销渠道，因而国有企业表现出低技术成果生产效率、高技术成果转化效率。

（四）产业链视角下技术创新效率对比分析

新能源汽车产业链由多个关键环节构成，其中上游涉及关键原材料的供应，中游聚焦于核心零部件的制造，而下游则涵盖整车制造及充电服务。根据公司主营业务情况将 28 个新能源汽车产业上市公司划分到产业链各环节，计算创新价值链两个阶段产业链各环节上市公司技术创新效率均值（如图 5 所示）。

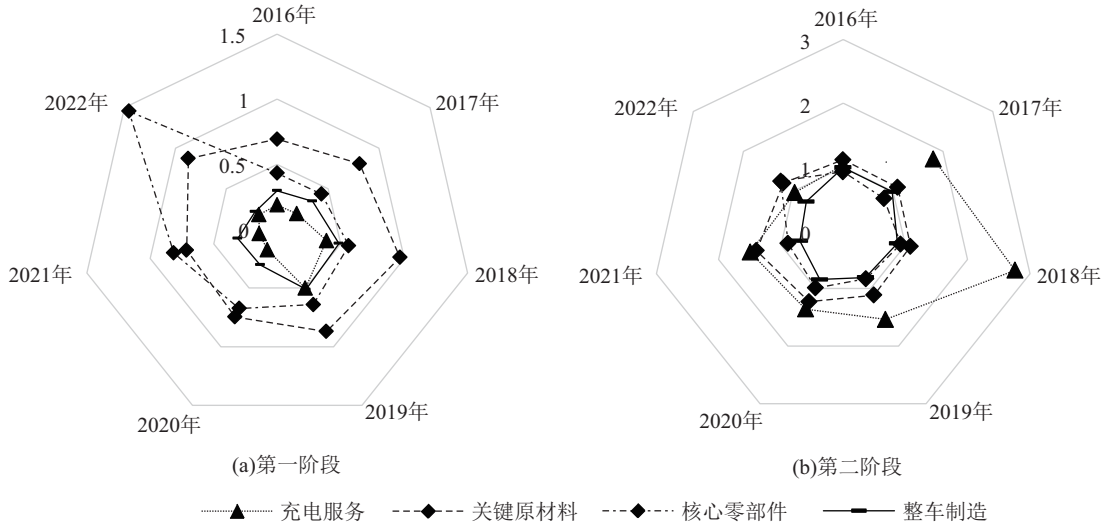


图 5　两阶段产业链技术创新效率均值

结果显示：①在技术成果生产阶段，我国新能源汽车产业链各环节企业间创新效率差距较大，呈现出发展不均衡的特点，不利于整体发展。整体而言，关键原材料创新效率较为稳定，充电服务技术创新效率一直处于较低水平。②在技术成果转化阶段，2016—2018 年充电服务的效率值明显高于产业链其他环节。2019 年新能源汽车补贴政策发生显著变化，补贴金额大幅度退坡，新能源乘用车单车最高补贴金额降至 2.5 万元，且地方补贴全部取消。这种补贴退坡直接影响了新能源汽车的生产成本和销售价格，进而可能影响充电服务设施的投资和创新。受此影响充电服务类企业主营业务收入下降，2019 年技术成果转化阶段生产链各个环节创新效率优势明显缩小。

五、基于 Malmquist 指数的新能源汽车产业技术创新效率动态分析

为深入剖析新能源汽车产业在技术创新效率方面的全面情况，还需从动态技术创新效率的角度着手，全面探究新能源汽车产业上市公司在社会经济发展进程中技术成果生产与转化效率的动态演变趋势。进一步，运用 28 个新能源汽车产业上市公司 2016—2022 年的面板数据，使用 DEAP（Data Envelopment Analysis Program）软件测算动态技术创新效率，计算得到研究样本各年份平均技术成果生产和转化效率的 Malmquist 指数及相关指标的变动，如表 2 和表 3 所示。为更直观地展现其变化趋势，绘制各指标效率折线图，如图 6 和图 7 所示。

表 2　上市公司第一阶段的平均 Malmquist 生产率指数和分解

年份	技术效率变化（*Effch*）	技术变化（*Techch*）	纯技术效率变化（*Pech*）	规模效率变化（*Sech*）	全要素生产率（*Tfpch*）
2016—2017	1.030	1.026	1.018	1.013	1.057
2017—2018	0.907	1.205	0.842	1.077	1.094
2018—2019	1.486	0.779	1.355	1.096	1.158
2019—2020	0.951	0.947	1.021	0.931	0.901
2020—2021	0.974	1.292	0.912	1.068	1.258
2021—2022	1.073	0.797	1.038	1.034	0.855
均值	1.070	1.008	1.031	1.037	1.054

表 3　上市公司第二阶段的平均 Malmquist 生产率指数和分解

年份	技术效率变化(*Effch*)	技术变化(*Techch*)	纯技术效率变化(*Pech*)	规模效率变化(*Sech*)	全要素生产率(*Tfpch*)
2016—2017	1.127	0.975	1.092	1.031	1.098
2017—2018	0.982	1.072	0.944	1.040	1.052
2018—2019	0.982	1.098	1.018	0.966	1.079
2019—2020	0.895	1.108	1.032	0.867	0.991
2020—2021	0.871	1.191	0.958	0.910	1.038
2021—2022	1.023	0.779	1.005	1.018	0.798
均值	0.976	1.028	1.007	0.970	1.004

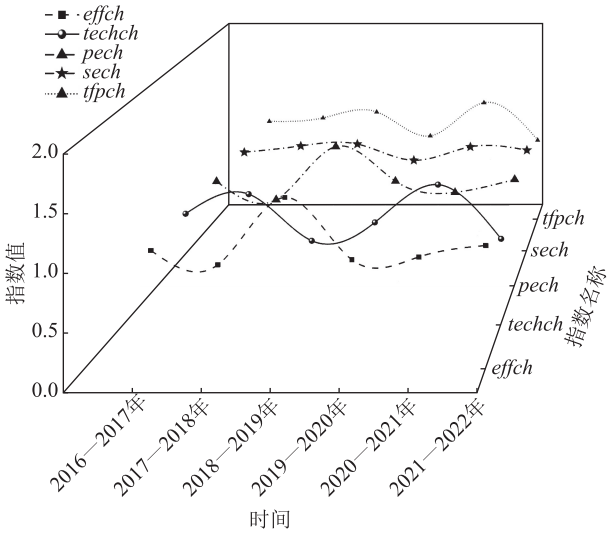


图 6　技术成果生产阶段 Malmquist 指数及其分解指标变化趋势

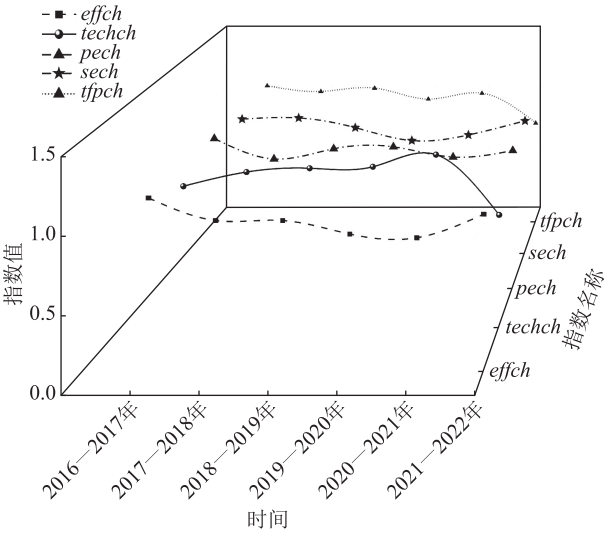


图 7　技术成果转化阶段 Malmquist 指数及其分解指标变化趋势

(一)创新价值链第一阶段创新效率动态分析

表 2 和图 6 展现了 2016—2022 年新能源汽车产业技术成果生产阶段 Malmquist 指数及其分解指标变化情况。由表 2 可知,从整体效率变动来看,2016—2022 年 28 家新能源汽车产业上市公司技术成果生产阶段 *TFP* 均值为 1.054,7 年间 *TFP* 平均增长率为 5.40%。第一阶段中, 2016—2017 年、2017—2018 年、2018—2019 年和 2020—2021 年 4 个时间段内的 *TFP* 大于 1,表明这 4 个时段技术成果生产的 *TFP* 处于上升阶段,分别上升 5.70%、9.40%、15.8%和 25.80%。其余时间段 *TFP* 都小于 1,表明 *TFP* 处于下降的阶段。

从新能源汽车产业 *TFP* 变动趋势来看(图 6),技术成果生产阶段 *TFP* 呈现正弦波动态势。2016—2022 年 *TFP* 平均增长 5.40%。其中,技术效率(*EC*)是最主要的促进因素,平均增长率为 7.00%,但技术变化(*TC*)、纯技术效率(*PE*)和规模效率(*SE*)三个指标的平均增长率均较低,分别 0.8%、3.10%和 3.70%,从而导致 2016—2022 年技术成果生产阶段 *TFP* 的平均增长率较低。*EC* 受 *PE* 和 *SE* 的共同影响,*PE* 反映管理水平和制度创新水平对生产效率的影响,而 *SE* 体现企业规模大小对生产效率的影响情况。可见,在技术成果生产阶段,纯技术效率及规模效率均对 *EC* 起到促进作用,表明管理和制度创新水平,以及规模化量产带来的生产资料高效配置与长期成本减少是实现企业创新效率提升的关键。

(二)创新价值链第二阶段创新效率动态分析

表 3 和图 7 对 2016—2022 年我国新能源汽车产业技术成果转化阶段创新效率的动态变化予以展示。

将 *TFP* 分解为 *EC* 和 *TC*,观察表 3 和图 7 可以发现:研究期间各年份的 *EC* 均值和 *TC* 均值呈现波动变动趋势。但从总体来看,*EC* 均值下降 2.40%,而 *TC* 均值上升 2.80%,*TC* 是促进新能源汽车产业技术成果转化阶段 *TFP* 提升的关键因素。从图 7 也可看出二者波动情况基本一致,而 *EC* 抑制了技术成果转化阶段 *TFP* 的发展。*EC* 表示在行业技术水平保持不变时,通过提高资源配置效率以充分释放现有技术潜能。对

于企业来说技术效率通常反映其管理能力。测度结果表明新能源汽车产业管理水平、资源使用率较低。*TC* 表示在既定投入要素前提下，由于技术进步使得生产前沿面外移，即技术进步实现在相同投入下获得更多产出。虽然从整体上看是技术进步的增长带动了 *TFP* 的提高，但从历年数据来看，近几年出现技术进步小于 1 的情况，表明新能源汽车产业技术成果转化阶段出现了一定的科技自主创新不足问题。究其原因，部分新能源汽车企业在智能化、高端化、创新布局上存在不足和局限性，汽车核心芯片依赖进口、高端零部件技术差距大等问题，也制约了新能源汽车产业的自主可控及科技自主创新能力的提升。技术创新中车辆安全性、低温适应性及上游资源稳定供应等方面仍存在挑战。此外，2018—2021 年，*SE* 持续低于 1，导致了整个期间平均 *SE* 下降了 3.00%，在一定程度上也抑制了技术效率的提升。

六、结论与启示

本文选取我国新能源汽车产业上市公司作为研究对象，基于创新价值链的视角，将创新过程细分为技术创新成果的生产与转化两个阶段，采用 Super-DEA 和 Malmquist 指数模型，从静态和动态两个维度对新能源汽车产业技术创新效率进行了深入的测度。主要结论如下：①创新价值链两阶段的技术创新效率不高但差异较为显著。我国新能源汽车产业创新价值链两阶段的创新效率均不高，但都呈现缓慢增长趋势，其中技术成果转化阶段的创新效率显著高于技术成果生产阶段。28 家上市公司 2016—2022 年的技术成果生产和转化两个阶段的效率平均值分别为 0.627 和 1.044，表明技术成果转化效率显著优于生产阶段，但各新能源汽车产业之间的技术成果转化效率差异较大。从企业技术创新模式来看，近 40%的新能源汽车产业属于低成果生产效率、低成果转化效率的“双低”技术创新效率粗放化发展模式。②新能源汽车产业的技术创新效率与其产权性质紧密相关。在技术创新过程中，非国有企业展现出强烈的创新意识，并在技术成果生产阶段表现出较高的效率，超过了国有企业。然而，国有企业凭借其独特的资源禀赋优势，在技术成果转化阶段取得了较高的效率，超过了非国有企业。这种差异揭示了不同产权性质企业在技术创新过程中所展现的独特特点与优势。③新能源汽车产业创新价值链不同环节的技术创新效率呈现出异质特征。在技术成果生产阶段，我国新能源汽车产业链各环节企业间创新效率差距较大，关键原材料创新效率较为稳定，充电服务技术创新效率一直处于较低水平。在技术成果转化阶段，充电服务的技术创新效率值明显高于产业链其他环节，2019 年后技术成果转化阶段生产链各个环节创新效率优势明显缩小。④创新价值链两阶段创新效率变化的关键促增因素分别为技术效率变化和技术变化。7 年间技术成果生产阶段、技术成果转化阶段的 *TFP* 表现为正弦波动态势，第一阶段 *TFP* 提升的核心驱动力为技术效率变化（*EC*），进入第二阶段，技术变化（*TC*）则成为促升 *TFP* 的最主要因素。

基于上述结论，为推动我国新能源汽车产业迈向高质量发展阶段，现提出以下建议：

（1）引领技术创新模式的精准化转变。考虑到“双低”企业占比近 40%，且新能源汽车产业创新价值链两阶段促增因素存在差异。技术成果生产阶段，通过资源整合和政策引导减少研发资源浪费，建立跨企业的研发资源共享平台，避免重复投入，降低中小企业研发成本；政府对参与跨企业技术协作项目的企业给予税收优惠，推动技术协同创新和模块化设计，有效遏制同质化技术开发。技术成果转化阶段，通过纵向协同创新和横向产业生态融合加速核心技术突破、提升技术壁垒，聚焦固态电池、高端芯片、车网互动等前沿领域，借鉴德国弗劳恩霍夫研究所产学研一体化协同创新机制加速固态电池技术商业化的经验，组建高校、科研院所与产业界协同创新联盟，集中攻关“卡脖子”技术；推动新能源汽车产业与车内健康监测系统、智能旅游路线规划、供应链金融等服务业企业合作，构建全链条服务体系。

（2）促进非国有企业与国有企业的互补发展。针对新能源汽车产业国企与非国企在生产和转化阶段的创新效率差异，制定差异化激励政策，对非国企在生产阶段的创新成果给予研发费用加计扣除等税收优惠，配套设立技术转让国企优先通道；将国企在转化阶段的技术应用成效（如专利产业化率）纳入绩效考核指标，明确转化环节需引入非国企合作伙伴。同时，鼓励国企与非国企通过股权合作、技术入股等方式共建研发机构，综合发挥国企资源整合能力与非国企市场响应速度的互补优势。

（3）聚焦产业链薄弱环节推动协同技术创新。针对新能源汽车产业链中如充电服务等创新效率较低的

环节,设立充电技术专项基金,支持大功率快充、智能充电网络等技术研发,推动核心技术国产化;深度融合人工智能技术,系统整合材料筛选算法、工艺优化模型及性能管理平台,将数据驱动和智能决策贯穿新能源汽车产业链从研发到商业化的全流程;以整车企业为核心,联合电池、充电服务等上下游企业,开展联合技术攻关推动产业链整体效率提升,促进技术成果跨环节转化;通过优化产业布局和资源配置,形成高效的产业生态,推动新能源汽车产业的持续健康发展。

参考文献

[1] 周银香, 高珊珊, 田婧茹, 等. 中国新能源汽车产业政策工具动态变迁与效能评价研究[J]. 工业技术经济, 2023, 42(3): 13-23.

[2] 郭燕青, 李爽, 于健. 企业技术创新效率双生态模型构建[J]. 科技进步与对策, 2017, 34(18): 74-79.

[3] 方正起, 张宝承, 秦杰. 创新价值链视角下我国上市军工企业技术创新效率评价研究[J]. 经济与管理评论, 2019, 35(6): 37-48.

[4] 朱慧明, 张中青扬, 吴昊, 等. 创新价值链视角下制造业技术创新效率测度及影响因素研究[J]. 湖南大学学报(社会科学版), 2021, 35(6): 37-45.

[5] ANDERSEN P, PETERSEN N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1993, 39(10): 1261-1264.

[6] 杨浩昌, 钟时权, 李廉水. 绿色技术创新与碳排放效率: 影响机制及回弹效应[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(8): 99-107.

[7] 彭绪庶, 张笑. 基于创新创业的区域创新效率时空特征研究[J]. 技术经济, 2022, 41(3): 1-12.

[8] 付宁宁, 苏屹, 郭秀芳. 基于两阶段超效率 DEA 的智能制造企业创新效率评价[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(10): 67-77.

[9] 冯莎. 我国高技术产业创新效率评价研究[J]. 调研世界, 2019(9): 37-42.

[10] 张炜, 赵玉帛. 人工智能企业创新效率评价及影响因素研究——基于 Super DEA-Tobit 模型[J]. 技术经济与管理研究, 2021(8): 41-45.

[11] LU C, ROMG K, YOU J, et al. Business ecosystem and stakeholders' role transformation: Evidence from Chinese emerging electric vehicle Industry[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(10): 4579-4595.

[12] RONG K, SHI Y, SHANG T, et al. Organizing business ecosystems in emerging electric vehicle industry: Structure, mechanism, and integrated configuration[J]. Energy Policy, 2017(107): 234-247.

[13] 柳卸林, 杨培培, 丁雪辰. 央地产业政策协同与新能源汽车产业发展: 基于创新生态系统视角[J]. 中国软科学, 2023(11): 38-53.

[14] 张兰, 任杏, 梁毕明. 绿色创新政策赋能企业创新生态系统的构建——基于比亚迪汽车的案例研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2023, 44(11): 111-128.

[15] 韩斌, 冯筱伟, 苏屹, 等. 中国新能源汽车上市公司创新效率测度及影响因素研究——基于三阶段 DEA 与 Tobit 面板模型[J]. 科技进步与对策, 2022(5): 1-11.

[16] XU X L, CHEN H H. Exploring the innovation efficiency of new energy vehicle enterprises in China[J]. Clean Technologies and Environmental Policy, 2020, 22(8): 1671-1685.

[17] FANG S, XUE X, YIN G, et al. Evaluation and improvement of technological innovation efficiency of new energy vehicle enterprises in China based on DEA-Tobit model[J]. Sustainability, 2020, 12(18): 7509.

[18] 范琳, 姜娟. 中国新能源汽车企业创新效率研究——SBM-Tobit 两阶段模型[J]. 生产力研究, 2023(6): 24-30.

[19] HANSEN M T, BRIKINSHAW J. The innovation value chain[J]. Harvard Business Review, 2007, 85(6): 121.

[20] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6): 429-444.

[21] MALMQUIST S. Index numbers and indifference surfaces[J]. Trabajos de Estadística, 1953, 4(2): 209-242.

[22] FARE R, GROSSKOPF S, LINDGREN B, et al. Productivity changes in Swedish pharamacies 1980-1989: A non-parametric malmquist approach [J]. Journal of Productivity Analysis, 1992, 3(1): 85-101.

[23] 张丽琨, 张亚萍, 梁远. 中国工业企业绿色技术创新效率的测度与评价——基于超效率网络 SBM-Malmquist 模型分析[J]. 技术经济, 2022, 41(7): 13-22.

[24] 易明, 彭甲超, 吴超. 基于 SFA 方法的中国高新技术产业创新效率研究[J]. 科研管理, 2019, 40(11): 22-31.

[25] 林辉, 李唐蓉. 绿色发展、金融支持与企业价值——基于上市公司 ESG 的实证检验[J]. 现代经济探讨, 2023(2): 28-44.

[26] 邱牧远, 殷红. 生态文明建设背景下企业 ESG 表现与融资成本[J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(3): 108-123.

[27] 李爽. R&D 强度、政府支持度与新能源企业的技术创新效率[J]. 软科学, 2016, 30(3): 11-14.

The Technological Innovation Efficiency of New Energy Vehicle Industry under Innovation Value Chain: Based on Two-stage Super-DEA and Malmquist Index Modeling

Zhou Yinxiang , Gao Shanshan, Wang Yan

(School of Data Science, Zhejiang University of Finance & Economics, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The development of the new energy vehicle (NEV) industry in China is a strategic endeavor towards green development. As a technology-intensive industry, innovation is pivotal for the NEV industry to advance its high-quality development. From the innovation value chain perspective, the technological innovation process of the NEV industry was divided into two distinct stages: technology achievement production and technology achievement transformation. By employing the Super-DEA and Malmquist index models, the two-stage innovation efficiency, innovation patterns, and dynamic trends of firms with varying ownership structures from 2016 to 2022 were quantified. The results show that, firstly, the innovation efficiency in both stages of the NEV industry is generally low, with the majority of firms adhering to an extensive innovation model. However, the efficiency in the technology achievement transformation stage significantly is better than that in the production stage. Secondly, there exists notable heterogeneity in technological innovation efficiency across firms with different ownership structures and within distinct segments of the industrial chain. Specifically, non-state-owned enterprises demonstrate higher technology production efficiency compared to state-owned enterprises, albeit with relatively lower technology transformation efficiency. Additionally, there are more pronounced disparities in technology production efficiency among various segments of the industrial chain. Lastly, from a dynamic perspective, total factor productivity (TFP) in both the production and transformation stages exhibits fluctuating trends, with technical efficiency change and technical change serving as the primary catalyst for TFP growth in different stages respectively. The research findings provide theoretical references and policy insights for enhancing the technological innovation efficiency and market competitiveness of the new energy vehicle industry and promoting the high-quality synergistic development of the new energy vehicle industry chain.

Keywords: new energy vehicle enterprises; technological innovation efficiency; innovation value chain; two-stage super-DEA model; Malmquist index