DOI：10.20271/j.cnki.1673-9833.2026.6009

穿越数智边界：数字赋能与新能源汽车技术创新效率研究

鹿雨晨，薛雅伟

（青岛理工大学 管理工程学院，山东 青岛 266520）

摘　要：在新能源汽车产业向高端化、智能化跃迁的战略转型期，数字赋能作为新质生产力的具象化表征，成为提升企业技术创新效率的关键动力。故基于 2016—2023 年 A 股新能源汽车企业面板数据，构建涵盖期望与非期望产出的技术创新效率测度框架，运用超效率网络 SBM 模型与双向固定效应回归模型，实证检验数字赋能的影响效应与作用机制。研究发现：数字赋能显著提升企业技术创新效率，且该影响主要通过开放式合作与组织韧性两个中介变量传导；在产业链上游与区域创新能力高的情境下，其推动效应更为显著。研究突破传统以产出数量衡量创新的定式，强调“从新到效”的质量跃迁，为战略性新兴产业在数智化背景下实现高质量发展提供政策依据与实践参考。

关键词：数字赋能；技术创新效率；新能源汽车企业；SBM-DEA；产业链环节

中图分类号：F222　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1673-9833(2026)06-0064-10

引文格式：鹿雨晨，薛雅伟 . 穿越数智边界：数字赋能与新能源汽车技术创新效率研究 [J]. 湖南工业大学学报，2026，40(6)：64-73.

Crossing the Boundaries of Digital Intelligence：A Study on Digital Empowerment and Technological Innovation Efficiency in New Energy Vehicles

LU Yuchen，XUE Yawei

（School of Engineering Management，Qingdao University of Technology，Qingdao Shandong 266520，China）

Abstract：In the strategic transformation period of the new energy vehicle industry towards high-endization and intelligence，digital empowerment，as a concrete manifestation of new-quality productivity，has become a key driving force for enhancing enterprises’technological innovation efficiency. Based on the panel data of A-share new energy vehicle enterprises from 2016 to 2023，this paper constructs a technological innovation efficiency measurement framework covering desired and undesired outputs. Using the super-efficiency network SBM model and bidirectional fixed-effects regression model，it empirically tests the impact and action mechanism of digital empowerment. The study finds that：Digital empowerment significantly improves enterprises’technological innovation efficiency，and this impact is mainly transmitted through two mediating variables，namely open collaboration and organizational resilience; In the contexts of the upstream industrial chain and high regional innovation capability，its promoting effect is more significant. This research breaks through the traditional mindset of measuring innovation by output quantity，emphasizes the quality leap from “newness to effectiveness,” and provides policy foundations and practical references

收稿日期：2025-07-05

基金项目：教育部人文社科青年基金资助项目（24YJC630260）；山东省社会科学院规划研究专项基金资助项目（24CSDJ13）

作者简介：鹿雨晨，女，青岛理工大学硕士生，主要研究方向为绿色可持续发展，E-mail：luyuchen20010410@163.com

通信作者：薛雅伟，男，青岛理工大学副教授，主要研究方向为绿色经济与可持续发展，能源经济管理，数字技术，E-mail：xyw8558@126.com

for strategic emerging industries to achieve high-quality development in the digital and intelligent background.

Keywords：digital empowerment；technological innovation efficiency；new energy vehicle enterprises；SBM-DEA；industrial chain links

1　研究背景

在新一轮科技革命与产业变革背景下，以新能源汽车、高端装备制造为代表的战略性新兴产业已成为全球经济转型与高质量发展的核心引擎 [1]。在全球能源调整与绿色转型压力下，新能源汽车的技术进步关乎国家能源安全与制造业格局 [2]。2023 年《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》明确提出，要以科技创新为动力加快发展战略性新兴产业，为新能源汽车行业的技术创新提供了政策导向与制度保障。

与此同时，全球数字化浪潮推动数字技术渗透至企业核心业务，重塑了传统产业的创新路径 [3]。党的二十大报告强调加快发展数字经济，促进数字技术与实体经济深度融合，凸显了“数字赋能”在提升技术创新能力与资源配置效率中的关键作用。

“数字赋能”作为推动企业价值创造模式变革的核心概念，虽与“数字化转型”在边界上有所区分，但在资源配置优化 [4]、平台协同 [5] 及组织重构 [6-7] 等动态演化机制上高度契合。本文在综述时选取具备“数字赋能”内涵的代表性成果，旨在拓展其理论外延与实证测度方式。

尽管数字赋能引发关注，但其对企业技术创新效率影响的系统性研究仍显不足。首先，现有研究多集中关注专利、新产品数量等表层产出指标 [8]，侧重规模而忽视投入－产出效率的关系，难以反映创新真实质量 [9]。技术创新效率强调在资源约束下实现成果最大化，是衡量企业可持续竞争力的重要指标 [10]。其次，针对数字赋能提升企业技术创新效率的研究较为匮乏。尤其在新能源汽车产业中，数字赋能如何通过优化资源配置 [11]、调整组织结构等途径提升效率的作用机制尚未得到系统阐释，亟需进一步理论深化与实证探索。

综上所述，本研究基于 2016—2023 年中国 A 股新能源汽车上市企业数据，构建了绿色导向的创新效率测度框架，深入探讨了数字赋能对技术创新效率的影响机制及异质性分析。研究结果不仅丰富了相关理论体系，也为战略性新兴产业提升创新能力提供政策参考。

本文的边际贡献体现在：第一，构建了基于绿色导向的效率评价框架。结合产业特征，将政府补贴及废气、废水等非期望产出纳入评价体系，利用 SBM-DEA（slack based measure-data envelopment analysis）模型克服了现有研究忽视环境变量的局限，提升了评估模型的准确性。第二，拓展了实证应用维度。聚焦数字赋能对创新效率的作用路径，为战略性新兴产业及其他行业的数字化转型提供了借鉴。第三，深化了异质性分析视角。区别于传统维度，本文从宏观与微观双重视角出发，探讨了数字赋能在产业链环节、高管团队稳定性及区域创新基础差异下的影响机理，为政府制定分层次、针对性的数字化政策提供理论与实证支撑。

2　研究假设

2.1　数字赋能与新能源汽车企业技术创新效率

在数字技术与实体经济深度融合背景下，数字赋能已成为企业技术创新范式转型的引擎。对于新能源汽车这一高投入、高风险、长周期等的技术密集型产业，数字技术不仅缓解了资金压力，更重塑了知识创造与创新的决策逻辑，通过以下三大效应提升新能源汽车企业技术创新效率：

1）资源配置效应。资源配置效率是创新提升的基础。数字技术构建起基于大数据和人工智能的智能决策支持系统，增强了企业对研发资源的动态感知与精准配置能力 [12]。通过海量数据挖掘，企业能精准识别电池、电机及智能驾驶等关键技术的突破路径，减少资源浪费与重复投入 [13]，实现研发投入与产出最大化。

2）研发流程优化效应。数字赋能主要通过自动化与智能化技术改造研发流程，提升响应速度。同时，借助机器学习等技术，企业可以实现研发过程的实时监控与动态调整，增强研发的灵活性与精准性 [14]。数字化协同平台则促进了跨部门、多主体的高效协作，降低了沟通成本，缩短了整车以及核心零部件的研发周期 [15]。

3）创新决策支持效应。数字赋能强化了企业的环境感知能力与预测能力。通过大数据分析与风险评估工具，企业能够准确地捕捉政策导向、技术迭代以

及市场需求，提前识别企业机遇与威胁[16]。这种前瞻性决策能力极大地提升了企业的战略调整速度与风险管控水平，助力企业在复杂环境中保持竞争优势并且增强创新产出效益[17]。基于上述分析，本研究提出如下假设：

H1 数字赋能能够显著提高新能源汽车企业的技术创新效率。

2.2 数字赋能对新能源汽车企业技术创新效率提升的作用机制

随着数字赋能的推进，开放式协作机制在提升企业技术创新效率方面优势显著。首先，数字平台与智能协同工具实现了内外资源的实时共享与高效交流，通过流程集成与自动化交互，显著降低了沟通成本与操作延迟，打破了信息孤岛与部门分割带来的创新障碍[18]。数字赋能增强了合作网络的外部性，提升了知识流动速度，并在不确定环境下有效分散了创新风险。通过精准识别合作方与高效匹配资源，企业构建了资源开放、技术交互、协同开发与成果共享的循环式创新生态，全面提升了组织效率与产出质量[19]。因此，本文提出如下假设：

H2 数字赋能通过促进开放式合作，以推动企业技术创新效率提升。

企业组织韧性是指企业面对内外挑战时的应对、恢复与自我优化能力[20]。随着数字赋能的深入，组织韧性成为提升技术创新效率的关键。

数字赋能通过感知、决策与调整的反馈闭环增强企业韧性[21]。外部环境适应方面，数字化工具能助力企业精准地捕捉市场动态与行业趋势，及时调整战略，提升对不确定性因素的响应能力，优化资源配置与风险控制[22]。内部控制方面，数字化手段克服了信息滞后，通过智能系统实现实时精准控制，确保创新资源的高效利用。此外，韧性还体现为冲击下的快速恢复、战略路径灵活重构以及知识再创新能力，为企业创新提供持续性的制度保障。因此，本文提出如下假设：

H3 数字赋能通过提升企业的组织韧性，从而实现技术创新效率的全面提升。

3 研究设计与变量定义

3.1 模型构建

本研究使用的是包含多期、多企业的面板数据，同时进行了 Hausman 检验。且因模型系数在固定效应和随机效应设定下存在显著的差异（p 值显著），因此，本研究采用固定效应模型。与此同时，固定企业与时间可以有效控制不可观测的个体特征和时间特定冲击，从而减少遗漏变量的偏误，提高估计结果的稳健性和解释力。

本研究参考杜传忠等[23]的相关文献，为了客观地揭示数字赋能对企业技术创新效率的影响，首先构建如下双向固定效应模型：

$$V_{\mathrm{TIE}i,t}=\beta_0+\beta_1 V_{\mathrm{DigitEmp}i,t}+\beta_{i,t}Controls+\varepsilon_{i,t}。\quad（1）$$

式中：$V_{\mathrm{TIE}i,t}$ 为被解释变量，代表 i 企业第 t 年的技术创新效率；

$V_{\mathrm{DigitEmp}i,t}$ 为 i 企业第 t 年的数字赋能程度；

$Controls$ 为控制变量；

$\varepsilon_{i,t}$ 为随机扰动项；

β_0 为截距项；

β_1 为核心解释变量的回归系数；

$\beta_{i,t}$ 为控制变量的回归系数。

本研究对模型（ 1 ）进行了行业和年份的双向固定，以消除行业和年份因素对回归结果的影响。

在面对真实经济数据的生成过程中，数据难免存在高度复杂性，难以找到完全外生的研究情境。与此同时，“部分中介”现象的普遍存在使得传统中介检验方法的可靠性面临挑战。此外，传统“三步回归法”中将控制变量作为中介变量引入时可能导致核心解释变量的回归系数出现偏误[24]，因此，本研究采用机制分析法而非传统的中介效应检验方法。

本研究参考江艇[24]的相关文献，在基准模型的基础上，设定如下模型：

$$M_{i,t}=\beta_0+\beta_1 V_{\mathrm{DigitEmp}i,t}+\beta_{i,t}Controls+\varepsilon_{i,t}。\quad（2）$$

式中 $M_{i,t}$ 为机制变量，包括企业开放式合作（open collaboration，OC）、组织韧性（resilience）、信息透明度（infotran），其他参数含义不变。

3.2 变量测度与说明

3.2.1 被解释变量

技术创新效率（technological innovation efficiency，TIE）的测量一般综合考虑研发资源投入和创新成果产出两个方面。研发资源的投入是新能源汽车企业开展创新活动的主要依托，涵盖了人力和资金两大方面。本研究以政府资助、研发人员全时当量，以及研发经费占比作为关键投入因素的衡量标准。至于新能源汽车企业的创新成果评估，则需全面体现其在技术革新领域的竞争力及技术转化的经济效益。为此，本研究采纳了与研发相关的专利申请数量、有效发明专利持有量、能源使用效率（以总量为参考）、营业利润率以及净资产回报率作为衡量创新成果的主要产出指标。

在选取的投入与产出指标中，专利既是研发投入的直接体现，也是未来创新成果的预兆，兼具投

入与产出属性。故该指标不仅客观反映了企业对技术创新活动的重视程度，还预示着潜在的经济价值。将专利当作中间指标，能够检验其社会经济效益转化程度 [25]，具体如表 1 所示。

表 1　技术创新效率指标体系

Table 1　Index system of technological innovation efficiency

阶段	指标类别	指标名称	指标说明
科技研发阶段	人力投入	R&D 人员当量 X_1^1	企业研发人员当年的数量（人）
	资金投入	R&D 投入强度 X_2^1	企业研发投入经费支出 / 企业营业收入
		政府补贴 X_3^1	企业享受政府补贴 / 企业营业收入
	中间产出	R&D 专利申请量 Y_1^1 或 X_1^2	企业独立、联合获得各类专利的总和
		R&D 有效发明专利数 Y_2^1 或 X_2^2	企业在研发过程中获得授权且仍在保护期内的发明专利数量
成果转化阶段	能源投入	能源消费总量 X_3^2	万 t 标准煤
	期望产出	企业营业利润率 Y_1^2	企业营业所获利润 / 企业营业收入
		企业净资产收益率 Y_2^2	企业净利润 / 股东权益
	非期望产出	总污染物排放强度 Y_3^2	ln(水体综合污染当量 + 大气污染排放当量 +1)

传统的数据包络分析 DEA 方法既无法区分效率值为 1 的多个有效决策单元，也难以全面考虑非期望产出对效率的影响。此外，在实际能源使用过程中，会出现污染物排放等非期望产出。而网络 SBM（slack based measure）模型突破了传统单阶段数据包络分析（DEA）模型的局限，超效率 SBM 模型通过引入非期望产出，不仅可以进一步细化有效决策单元之间的比较，还能够优化对真实生产效率的评估。其计算模型如式（3）所示：

$$\rho=\min\left(1+\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^-}{x_{ik}}\right)\left(1-\frac{1}{q_1+q_2}\left(\sum_{r=1}^{q_1}\frac{s_r^+}{y_{rk}}+\sum_{t=1}^{q_2}\frac{b_t^-}{b_{tk}}\right)\right)^{-1};$$

$$\text{s.t.}\begin{cases}\sum\limits_{j=1,\,j\neq k}^{n}\lambda_j x_{ij}+s_i^-\geqslant x_{ik},\ i=1,\ 2,\ \cdots,\ m;\\ \sum\limits_{j=1,\,j\neq k}^{n}\lambda_j y_{rj}-s_r^+\leqslant y_{rk},\ r=1,\ 2,\ \cdots,\ u_1;\\ \sum\limits_{j=1,\,j\neq k}^{n}\lambda_j b_{tj}+b_t^-\geqslant b_{tk},\ t=1,\ 2,\ \cdots,\ u_2;\\ \sum\limits_{j=1,\,j\neq k}^{n}\lambda_j=1,\ \lambda_j\geqslant 0,\ s_i^-\geqslant 0,\ s_r^+\geqslant 0,\ b_t^-\geqslant 0。\end{cases}\quad(3)$$

对于任一 DMU_j（j =1, 2, …, n），投入变量包括 m 种资源，记为 x_i（i =1, 2, …, m），能够同时生产出 u_1 种期望产出（本文取 u_1=4），记为 y_r（r=1, 2, …, q_1）和 u_2 种非期望产出（本文取 u_2=1），记为 b_t（t=1, 2, …, q_2）；x_{ik} 为第 i 项投入在第 k 个 DMU 中的实际值。y_{rk} 为第 r 项期望产出在第 k 个 DMU 中的实际量；b_{tk} 为第 t 项非期望产出在第 k 个 DMU 中的实际量；ρ 为目标效率值；λ_j 为各 DMU 截面观察值的权重；s_i^-、s_r^+ 和 b_t^- 分别为投入冗余、期望产出不足和非期望产出冗余。

3.2.2　核心解释变量

在数字化浪潮中，测度企业数字赋能（DigitEmp）对企业数字化发展水平理解至关重要，但微观层面尚缺乏统一权威标准。本研究参考相关文献并结合自身需求设计测度方法。数字赋能是指企业在生产运营过程中深度融合数字技术，通过流程再造、组织重构与系统优化，实现动态适应与持续创新的能力，其内涵与“数字化转型”高度契合，具有系统性与演进性特征。因此，本文选取企业年报中体现关键数字技术（如大数据、区块链、人工智能等）应用情况的文本信息作为测度基础，借鉴吴非 [26]、陈庆江 [27] 等学者的研究方法，构建了涵盖主要数字技术领域的“数字赋能”特征词库，并采用文本分析法对企业数字赋能水平进行量化识别。

3.2.3　中介变量

1）开放式合作（OC）。本研究从合作文化建设的视角衡量企业开放式合作的强度。借鉴潘健平等 [28] 的方法，采用文本挖掘技术分析企业年报中与“合作”相关的关键词，通过统计其词频来反映企业合作文化的建设情况。词频越高，表明企业越重视开放式合作的推进。特征词库包括“合作、合力、联合、配合、协作、协同、协力、分享、共享、互助、团结、沟通、交流、双赢、同舟共济”等 15 个词汇，最后对所有词频进行对数化处理，得到标准化的衡量数据。

2）企业组织韧性（Resilience）。组织韧性作为企业应对外部冲击、实现可持续发展的关键能力，在企业创新过程中发挥着至关重要的作用。本文借鉴李晓翔等 [29] 的衡量方法，从反弹维度和反超维度两个方面构建组织韧性指标体系。

3.2.4　控制变量

本文在参考杜传忠 [30]、武可栋 [31] 等学者的研究基础上，选取企业规模（Size）、企业成长（Growth）、企业年龄（Age）、产权性质（SOE）、资产收益率（ROA）、资产负债率（Lev）、资本投入强度（CI）作为控制变量。

3.3　数据来源

本文以 2016—2023 年 A 股上市的新能源汽车企业为研究对象，剔除 ST、*ST 及数据缺失或财务异常的企业，最终获得 2 042 个样本观测值。财务与专

利数据主要来源于国泰安数据库和 EPS 平台，同时结合《中国城市统计年鉴》、各省（自治区、直辖市）统计年鉴以及统计局发布的相关数据进行补充。非期望产出方面，参考毛捷等 [32] 的研究方法，基于《排污费征收标准管理办法》确定的污染当量值，对企业工业废水和废气排放量进行标准化处理，折算为统一的污染当量数，加总后加 1 取对数，用以衡量企业的非期望产出。

4 基准回归与稳健性检验

4.1 描述性统计结果分析

表 2 展示了主要变量的描述性统计结果。其中技术创新效率（V_{TIE}）的均值为 0.570，标准差为 0.098，这表明总体上企业在技术创新活动中表现出中等偏上的效率水平。尽管数据分布相对集中，但是其最小值与最大值分别为 0.351 与 1.002，反映出样本内部在技术创新绩效方面仍然存在较大的差异。在数字赋能（$V_{DigitEmp}$）方面，其均值为 1.823，标准差为 1.229，显示出企业在数字化建设和技术整合能力上呈现出显著的异质性。且其变量最小值为 0，意味着仍有部分企业未实现有效的数字技术渗透。值得注意的是，数字赋能的中位数（1.792）接近其均值，说明整体分布趋于对称，未出现显著偏态。其他指标的描述性统计结果如表 2 所示。

表 2 描述性统计结果

Table 2 Descriptive statistics results

变量名称	观测值	均值	标准差	最小值	中位数	最大值
V_{TIE}	2 042	0.570	0.098	0.351	0.558	1.002
$V_{DigitEmp}$	2 042	1.823	1.229	0	1.792	4.970
V_{Size}	2 042	22.500	1.192	20.19	22.36	26.25
V_{Growth}	2 042	0.180	0.289	−0.241	0.101	1.611
V_{Age}	2 042	12.040	6.445	1	11	27
V_{SOE}	2 042	0.293	0.455	0	0	1
V_{ROA}	2 042	0.033	0.054	−0.183	0.036	0.151
V_{Lev}	2 042	0.447	0.172	0.095	0.448	0.850
V_{CI}	2 042	0.450	0.175	0.039	0.452	1.043

4.2 相关性分析

在下文回归分析之前，先对主要变量进行 Pearson 相关系数检验作为初步预测，所得结果如表 3 所示。分析表 3 中的数据可以得知，数字赋能与技术创新效率的相关系数为 0.255，并在 1% 的水平上显著，说明数字赋能能够对新能源汽车企业技术创新效率产生积极影响，初步支持了假设 H1。其他变量之间的相关系数见表 3。

表 3 相关性分析结果

Table 3 Correlation analysis results

变量	V_{TIE}	$V_{DigitEmp}$	V_{Size}	V_{Growth}	V_{Age}	V_{SOE}	V_{ROA}	V_{Lev}	V_{CI}
V_{TIE}	1								
$V_{DigitEmp}$	0.255***	1							
V_{Size}	−0.241***	0.208***	1						
V_{Growth}	0.120***	0.008	0.047**	1					
V_{Age}	0.047**	−0.018	0.212***	0.004	1				
V_{SOE}	0.014	−0.048**	0.309***	−0.041*	0.132***	1			
V_{ROA}	0.017	0.050**	−0.017	0.047**	−0.074***	−0.020	1		
V_{Lev}	−0.026	0.029	0.038*	−0.011	−0.035	0.048**	−0.039*	1	
V_{CI}	0.028	−0.040*	0.133***	0.013	0.407***	0.019	−0.311***	−0.051**	1

注：*t*-statistics in parentheses；***p<0.01，**p<0.05，*p<0.1，下同。

4.3 基准回归结果分析

基准回归结果如表 4 所示。分析表 4 中结果数据可知，核心解释变量数字赋能在仅控制企业个体和时间固定效应时，其回归系数为 0.006 7，且在 1% 的显著性水平上显著，这一结果表明，数字赋能与技术创新效率正相关。由表 4 的列（3）可知，引入控制变量后，数字赋能的回归系数始终为 0.006 7，并且在 1% 的显著性水平上显著为正，这进一步验证了数字赋能对技术创新效率的持续正向推动作用，假设 H1 基本得到了验证。

表 4 基准回归结果

Table 4 Benchmark regression results

变量名称	（1）V_{TIE}	（2）V_{TIE}	（3）V_{TIE}
$V_{DigitEmp}$	0.006 7*** (3.68)	0.007 2*** (3.83)	0.006 7*** (3.68)
_cons	0.557 8*** (163.79)	0.878 8*** (8.00)	1.006 4*** (8.37)
控制变量	No	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	No	Yes
时间固定效应	Yes	No	Yes
N	2 042	2 042	2 042
adj.R^2	0.807 5	0.809 2	0.810 8

4.4　稳健性检验

4.4.1　替换回归模型

本研究认为，由于 SBM-DEA 模型所得的效率值理论上集中在 (0，1] 区间，属于具有上限约束的截断型连续变量，这可能使得在部分极值分布情况下，固定效应模型的估计值存在一定程度的偏误风险。因此，为检验主回归结果的稳健性，本文进一步采用 Tobit 模型进行替代回归分析。回归结果如表 5 中列（1）所示。

表 5　替换回归模型及解释变量的回归结果

Table 5　Regression results of replaced regression models and explanatory variables

变量	（1）V_{TIE}	（2）V_{TIE}
$V_{DigitEmp}$	0.007 0***(4.57)	
V_{EDT}		0.027 3**(1.98)
控制变量	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes
_cons	1.187 7***(14.35)	0.911 1***(7.83)
N	2 042	2 042
adj.R^2	0.907 0	0.811 0

由表 5 中列（1）所示结果可知，核心变量数字赋能及其交互项的估计系数方向和显著性水平与主回归基本一致，进一步验证了本文结论的稳健性。

4.4.2　替换解释变量

借鉴祁怀锦等 [33] 的研究方法，基于企业年报无形资产附注信息，识别聚合数字技术相关资产条目，计算其在无形资产总额中所占的比例，构建企业数字化建设投入指标，以作为数字赋能替代性度量变量（EDT），来检验核心结论的稳健性。实证结果如表 5 中列（2）所示，该变量的回归系数为 0.027 3，在 5% 的显著性水平上依然呈现显著的正向影响，显示数字能力建设对企业技术创新效率的正向作用具有良好的一致性。

4.4.3　滞后期处理

考虑到数字赋能对技术创新效率的影响可能具有滞后效应，且二者间存在双向因果关系，为进一步缓解内生性带来的干扰，本文引入数字赋能变量的滞后一期值以及技术创新效率的前置一期值进行稳健性检验，所得结果见表 6。

表 6 结果显示，滞后期的数字赋能变量始终对技术创新效率产生显著正向影响，估计系数为正且在 5% 水平上显著，有效缓解了内生性偏误，进一步验证了假设 H1 的稳健性与可靠性。

表 6　滞后期处理回归结果

Table 6　Regression results of lag period processing

变量	（1）V_{TIE}	（2）V_{TIE}	（3）V_{TIE}	（4）$V_{F.TIE1}$
$V_{DigitEmp}$	0.006 7*** (3.68)			0.003 5** (2.04)
$V_{L.DigitEmp1}$		0.004 2** (2.40)		
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
_cons	1.006 4*** (8.37)	0.789 2*** (6.57)	0.679 5*** (4.45)	0.798 0*** (7.74)
N	2 042	1 786	1 530	1 786
adj.R^2	0.810 8	0.774 7	0.752 9	0.777 1

4.4.4　倾向得分匹配

为缓解潜在的样本选择偏误，本文参考聂兴凯等 [34] 学者的研究思路，采用倾向得分匹配（PSM）方法对样本进行处理。将数字赋能程度的变量根据其中位数（$V_{DigitEmp}$ = 1.792）进行分组处理，将高于中位数的样本归入处理组（赋值为 1），其余为对照组（赋值为 0）。以控制变量为协变量，采用 1:1 最近邻匹配方式进行配对，匹配后进行回归分析，所得结果见表 7。

表 7　PSM-DID 回归结果

Table 7　PSM-DID regression results

变量	（1）V_{TIE}	（2）$V_{F.TIE1TIE}$
$V_{DigitEmp}$	0.006 7***(3.64)	0.006 9***(3.68)
控制变量	No	Yes
个体固定效应	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes
_cons	0.558 5***(163.75)	1.018 1***(8.38)
N	1 830	1 830
adj.R^2	0.805 8	0.809 2

表 7 的结果显示，数字化转型的回归系数依然显著为正，表明本文所得结论在控制选择性偏差后依旧具备较强的稳健性。

5　作用机制检验

基于前文的理论分析，本研究着重从企业开放式合作、组织韧性这两条路径出发，分析数字赋能提升新能源汽车企业技术创新效率的中介机制，以系统揭示数字赋能下企业技术创新由“新”向“效”转型的逻辑链条。所得机制检验回归结果如表 8 所示，其中列（2）为开放式合作的中介效应回归结果，列（3）为组织韧性的中介效应回归结果。

表 8 机制检验回归结果

Table 8 Regression results of mechanism test

变量	（1）V_{TIE}	（2）V_{OC}	（3）$V_{Resilience}$
$V_{DigitEmp}$	0.006 7*** (3.71)	0.092 8*** (9.17)	0.003 5*** (2.84)
控制变量	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
_cons	1.006 4*** (8.37)	2.855 4*** (5.66)	−0.041 1 (−0.50)
N	2 042	2 042	2 042
adj. R^2	0.810 8	0.659 7	0.692 6

5.1 开放式合作的中介效应

表 8 中第（2）列回归结果显示，数字赋能的回归系数为 0.092 8，并且在 1% 的显著性水平上显著为正，从而验证了假设 H2。该结果表明，数字赋能不仅对企业技术创新效率具有直接的推动作用，还通过强化开放式合作在资源获取与协同整合中的作用机制，实现间接的促进效应。数字技术增强了企业间的信息互联互通，显著降低了协同研发过程中的交易成本，有助于企业高效对接外部创新资源 [35−37]。同时，基于大数据、云计算等构建的数字基础设施，提升了企业在合作网络中的嵌入程度与主导能力，同时增强了组织柔性与对外部环境变化的响应能力，激发合作意愿与协同创新能力，进而拓展企业技术边界，优化创新路径，为技术创新效率的持续提升创造了有利条件。

5.2 组织韧性的中介效应

表 8 第（3）列显示，核心变量数字赋能对组织韧性的系数为 0.003 5，且在 1% 的水平上显著，验证了假说 H3，即组织韧性在数字赋能提升新能源汽车企业技术创新效率的过程中，发挥正向中介作用。其可能的机制在于，数字技术的应用显著提升了企业对外部环境变化的感知与快速响应能力，促使企业建立弹性运营机制和动态调整策略，从而增强了应对不确定性和外部冲击的能力。同时，数字化工具推动组织内部知识的高效共享与业务流程的重构，提升了跨部门协同效率与问题修复能力。

6 异质性检验

前文的实证结果表明，数字赋能对新能源汽车企业提高技术创新效率有显著的促进作用。但企业所属产业链环节及区域创新能力等内外部特征，会影响其吸收数字赋能资源的能力与转化效率。本文开展分组回归分析，研究不同企业特征下数字赋能对技术创新效率的作用差异，为政策制定和资源优化提供理论依据，其异质性分析结果如表 9 所示。

表 9 异质性分析结果

Table 9 Heterogeneity analysis results

变量	（1）V_{TIE}	（2）V_{TIE}	（3）V_{TIE}	（4）V_{TIE}	（5）V_{TIE}
	产业链上游	产业链中游	产业链下游	区域创新能力较高	区域创新能力较低
$V_{Digitmpt}$	0.011 6*** (2.85)	0.005 3** (2.45)	0.004 2 (0.75)	0.007 2*** (2.64)	0.004 0 (1.42)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
_cons	0.662 4*** (3.12)	1.161 8*** (9.22)	0.926 5** (1.98)	1.071 1*** (5.32)	1.142 8*** (7.30)
N	371	1 395	264	1 023	992
adj. R^2	0.798 5	0.818 0	0.786 6	0.790 2	0.843 7

6.1 产业链环节异质性

新能源汽车企业在产业链不同环节的结构性差异，决定了数字赋能对技术创新效率影响的异质性。本文依据 GVC 理论与产业特征，将产业链严谨划分为上游（材料与关键零部件）、中游（整车制造与集成）、下游（销售服务与售后市场），进行产业链环节的异质性检验，结果见表 9。

表 9 中列（1）~（3）的回归结果显示，数字赋能对上游企业的正向影响最强，其回归系数为 0.011 6，在 1% 水平下显著；中游次之，其回归系数为 0.005 3，在 5% 水平下显著；下游的回归系数为 0.004 2 且不显著。差异的主要原因在于职能定位与技术需求，上游属于技术密集型，高度依赖仿真测试与数据分析，对数字技术最敏感；中游整车企业虽具集成优势，但受组织与供应链复杂性制约，数字化提升效率多走间接路径；下游聚焦服务与运营，数字化更多体现为商业模式优化，难以直接转化为显著的技术创新效率增长。

6.2　区域创新能力异质性

不同地区的创新能力差异显著影响着数字技术的应用效果。本文将企业按所在省份匹配区域创新能力数据，并以中位数为界分为高、低创新能力组。

表 9 中列（4）和（5）的回归结果显示，区域创新能力较高地区的企业数字赋能回归系数为 0.007 2，在 1% 水平上显著，而区域创新能力较低地区不显著。其原因在于：首先，高创新能力地区拥有完善的技术基础设施，加速了资源的流动与共享；其次，该类地区企业具备更强的资源整合与技术吸收能力，能有效通过数字化优化流程。此外，成熟的创新生态、完善的政策支持及广泛的产业链协同网络，促进了技术扩散与协同，构建了优越的制度环境。因此，在创新能力较高的地区，数字赋能对技术创新效率的提升作用更为显著。

7　结论与建议

在新能源汽车产业向智能化跃迁的战略转型期，数字赋能作为新质生产力的表征，已成为提升企业技术创新效率的关键。本文基于 2016—2023 年数据研究发现：

第一，双固定效应模型证实数字赋能显著提升技术创新效率，且通过了稳健性检验。

第二，中介效应结果表明，开放式合作与组织韧性构成了驱动效率提升的二维传导矩阵。

第三，异质性分析结果显示，数字赋能在产业链上游及创新资源集聚地区更易形成“虹吸效应”，而对下游及不稳定团队的驱动效能存在显著的情境依赖与结构性差异。

基于上述结论，提出如下对策：

1）夯实技术底座。加快 5G、工业互联网及车联网等数字基础设施布局，完善产业链上下游的数据集成能力。同时，推进数据要素市场建设，制定统一标准与确权机制，为协同创新提供制度保障。

2）分类施策与差异化赋能相结合。针对产业链环节实施分层扶持，即支持上游企业建立仿真平台，推动中游企业构建数字供应链，鼓励下游企业运用大数据优化用户体验。此外，企业应通过长期激励机制稳定核心高管团队，保障数字化战略的持续性。

3）强化内部能力与组织韧性。企业应引入 ERP、MES 等集成系统打破信息孤岛，提升资源整合效率。同时，构建敏捷研发机制与项目制组织模式，增强企业在不确定环境下的响应速度与创新韧性。

参考文献：

[1] 张　辉，张其仔 . 发展壮大战略性新兴产业 [EB/OL]. [2025−07−05]. https://mr.baidu.com/r/1VNDriV00Pm?f=cp&rs=472737563&ruk=lIap_NtEH25yB4396RP7aQ&u=80becd39f5d67352&urlext=%7B%22cuid%22%3A%22giBoiY8kSaj38HiIgavM8guJS8gJ8SuMguv3u_PgSfjOOStqji-z8jt5SupqiSPJh8nmA%22%7D&sid_for_share=222454_3.
ZHANG Hui，ZHANG Qizai. Developing and Expanding Strategic Emerging Industries[EB/OL]. [2025−07−05]. https://mr.baidu.com/r/1VNDriV0OPm?f=cp&rs=472737563&ruk=lIap_NtEH25yB4396RP7aQ&u=80becd39f5d67352&urlext=%7B%22cuid%22%3A%22giBoiY8kSaj38HiIgavM8guJS8gJ8SuMguv3uPgSfjOOStqji-z8jt5SupqiSPJh8nmA%22%7D&sid_for share=282454_3.

[2] 王保林，杨蕙馨 . 新能源汽车产业发展对中国制造业升级的影响 [J]. 中国人口·资源与环境，2020，30 (1)：13−22.
WANG Baolin，YANG Huixin. The Impact of New Energy Vehicle Industry Development on the Upgrading of China’ s Manufacturing Industry[J]. China Population, Resources and Environment，2020，30(1)：13−22.

[3] 马　飒，张二震 . 数字技术重塑国际产业分工格局：理论逻辑与中国战略 [J]. 江海学刊，2023(5)：113−122，255.
MA Sa，ZHANG Erzhen. Digital Technology Reshaping the International Industrial Division Patterns：Theoretical Logic and China’ s Strategy[J]. Jianghai Academic Journal，2023(5)：113−122，255.

[4] 杨　鹏，尹志锋，孙宝文 . 企业数字技术应用与创新效率提升 [J]. 外国经济与管理，2024，46(11)：51−67.
YANG Peng，YIN Zhifeng，SUN Baowen. Digital Technology Application and Innovation Efficiency Improvement[J]. Foreign Economics & Management，2024，46(11)：51−67.

[5] EI BAKIM O，ANDALOUSSIM B. The Impact of Digital Transformation on Supply Chain Management：Opportunities, Challenges, and Future Directions[EB/OL]. [2025−07−05]. https://www.igi-global.com/gateway/chapter/358600.

[6] 何　蓉 . 数字化转型背景下企业组织结构变革分析 [J]. 产业创新研究，2024(2)：145−147.
HE Rong. Analysis of Enterprise Organizational Structure Transformation Under the Background of Digital Transformation[J]. Industrial Innovation Research，2024(2)：145−147.

[7] 阮添舜，屈　蓉，顾　颖 . 数字平台生态系统下企业何以实现数字创新 ?[J]. 科技进步与对策，2023，40(23)：82−91.

RUAN Tianshun，QU Rong，GU Ying. How Can Enterprises Achieve Digital Innovation in the Digital Platform Ecosystem?[J]. Science and Technology Progress and Policy，2023，40(23)：82−91.

[8] 李 政，赵洪亮，孙圣涛 . 营商环境优化与企业技术创新质量：基于“专利泡沫化”问题的视角 [J]. 学习与探索，2024(4)：63−74.
LI Zheng，ZHAO Hongliang，SUN Shengtao. Business Environment Optimization and Quality of Enterprise Technological Innovation：From the Perspective of the“Patent Bubble”Issue[J]. Study & Exploration，2024(4)：63−74.

[9] 王国亚，王 婷 . 基于 DEA 模型的规模以上工业企业创新效率评价 [J]. 电子商务评论，2024，13(4)：5687−5697.
WANG Guoya，WANG Ting. Evaluation of Innovation Efficiency in Industrial Enterprises Above Designated Size Based on Dea Model[J]. E-Business Review，2024，13(4)：5687−5697.

[10] 王必好，梁荣成 . 创新要素投入产出效率随机变动测度与结果分析 [J]. 科技进步与对策，2021，38(24)：18−27.
WANG Bihao，LIANG Rongcheng. The Measuring of the Innovation Factors Input-Output Productivity Stochastic Change and the Result Analysis[J]. Science & Technology Progress and Policy，2021，38(24)：18−27.

[11] 刘冰冰，刘爱梅 . 数字化转型、要素配置和企业创新效率 [J]. 经济体制改革，2023(5)：121−128.
LIU Bingbing，LIU Aimei. Digital Transformation，Element Configuration and Enterprise Innovation Efficiency[J]. Reform of Economic System，2023(5)：121−128.

[12] BARNEY J. Firm Resources and Sustained Competitive Advantage[J]. Journal of Management，1991，17(1)：99−120.

[13] TEECE D J. Explicating Dynamic Capabilities：The Nature and Microfoundations of (Sustainable) Enterprise Performance[J]. Strategic Management Journal，2007，28(13)：1319−1350.

[14] DAVENPORT T H，RONANKI R. Artificial Intelligence for the Real World[J]. Harvard Business Review，2018，96(1)：108−116.

[15] BRYNJOLFSSON E，MCAFEE A. The Second Machine Age：Work，Progress，and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies[M]. New York：W. W. Norton & Company，2014：16−25.

[16] GEORGE G，HAAS M R，Pentland A. Big Data and Management[J]. The Academy of Management Journal，2014，57(2)：321−326.

[17] SCHREYÖGG G，KLIESCH-EBERL M. How Dynamic Can Organizational Capabilities Be? Towards a Dual-Process Model of Capability Dynamization[J]. Strategic Management Journal，2007，28(9)：913−933.

[18] 冀云阳，周 鑫，张 谦 . 数字化转型与企业创新：基于研发投入和研发效率视角的分析 [J]. 金融研究，2023(4)：111−129.
JI Yunyang，ZHOU Xin，ZHANG Qian. Digital Transformation and Firm Innovation for R & D Investment Efficiency[J]. Journal of Financial Research，2023(4)：111−129.

[19] 喻 彪，杨 刚 . 企业数字化转型对创新效率的影响研究 [J]. 西南民族大学学报 (人文社会科学版)，2024，45(3)：80−92.
YU Biao，YANG Gang. Research on the Impact of Enterprise Digital Transformation on Innovation Efficiency[J]. Journal of Southwest Minzu University (Humanities and Social Sciences Edition)，2024，45(3)：80−92.

[20] 李 平，竺家哲 . 组织韧性：最新文献评述 [J]. 外国经济与管理，2021，43(3)：25−41.
LI Ping，ZHU Jiazhe. A Literature Review of Organizational Resilience[J]. Foreign Economies & Management，2021，43(3)：25−41.

[21] 周晓雪，崔 淼 . 应对外部环境挑战的企业数字韧性塑造机理研究：基于数字化战略更新的视角 [J]. 南开管理评论，2024，27(2)：4−15.
ZHOU Xiaoxue，CUI Miao. Research on the Development Mechanism of Enterprise Digital Resilience in Response to External Environmen-Tal Challenges：From the Perspective of Strategic Renew-Al Towards Digitalization[J]. Nankai Business Review，2024，27(2)：4−15.

[22] 夏 鑫，宋欣蓉，董江春，等 . 数字经济发展与企业组织韧性：基于突破性创新和内部控制的中介作用 [J]. 金融理论与实践，2024(6)：53−64.
XIA Xin，SONG Xinrong，DONG Jiangchun，et al. Digital Economy Development and Organizational Resilience：The Mediating Role of Breakthrough Innovation and Internal Control[J]. Financial Theory and Practice，2024(6)：53−64.

[23] 杜传忠，张 远 . 数字经济发展对企业生产率增长的影响机制研究 [J]. 证券市场导报，2021(2)：41−51.
DU Chuanzhong，ZHANG Yuan. On the Mechanism of the Impact of Digital Economic Development on the Growth of Enterprise Productivity[J]. Securities Market Herald，2021(2)：41−51.

[24] 江 艇 . 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应 [J]. 中国工业经济，2022(5)：100−120.
JIANG Ting. Mediating Effects and Moderating Effects in Causal Inference[J]. China Industrial Economics，2022(5)：100−120.

[25] 魏 剑，肖国华，王江琦 . 我国专利产出分析与技术

转移研究 [J]. 科技管理研究，2011，31(24)：194−197.
WEI Jian，XIAO Guohua，WANG Jiangqi. Analysis of Patent Output and Research on Technology Transfer in China[J]. Science and Technology Management Research，2011，31(24)：194−197.

[26] 吴　非，胡慧芷，林慧妍，等 . 企业数字化转型与资本市场表现：来自股票流动性的经验证据 [J]. 管理世界，2021，37(7)：130−144，10.
WU Fei，HU Huizhi，LIN Huiyan，et al. Enterprise Digital Transformation and Capital Market Performance：Empirical Evidence from Stock Liquidity[J]. Journal of Management World，2021，37(7)：130−144，10.

[27] 陈庆江，王彦萌，万茂丰 . 企业数字化转型的同群效应及其影响因素研究 [J]. 管理学报，2021，18(5)：653−663.
CHEN Qingjiang，WANG Yanmeng，WAN Maofeng. Research on Peer Effect of Enterprise Digital Transformation and Influencing Factors[J]. Chinese Journal of Management，2021，18(5)：653−663.

[28] 潘健平，潘　越，马奕涵 . 以“合”为贵？合作文化与企业创新 [J]. 金融研究，2019(1)：148−167.
PAN Jianping，PAN Yue，MA Yihan. Is Cooperation Important? Collaboration Culture and Innovation[J]. Journal of Financial Research，2019(1)：148−167.

[29] 李晓翔，孔梦情 . 数字化转型对企业创新的影响：基于组织韧性和环境不确定性视角 [J]. 大连海事大学学报 (社会科学版)，2023，22(6)：43−54.
LI Xiaoxiang，KONG Mengqing. The Impact of Digital Transformation on Enterprise Innovation from the Perspective of Organizational Resilience and Environmental Uncertainty[J]. Journal of Dalian Maritime University (Social Science Edition)，2023，22(6)：43−54.

[30] 杜传忠，张　远 . 数字经济发展对企业生产率增长的影响机制研究 [J]. 证券市场导报，2021(2)：11.
DU Chuanzhong，ZHANG Yuan. Research on the Impact Mechanism of Digital Economy Development on Enterprise Productivity Growth[J]. Securities Market Herald，2021(2)：2−11.

[31] 武可栋，阎世平 . 数字技术发展与中国创新效率提升 [J]. 企业经济，2021，40(7)：11−20.
WU Kedong，YAN Shiping. Digital Technology Development and the Promotion of China’s Innovation Efficiency[J]. Enterprise Economy，2021，40(7)：11−20.

[32] 毛　捷，郭玉清，曹　婧，等 . 融资平台债务与环境污染治理 [J]. 管理世界，2022，38(10)：96−118.
MAO Jie，GUO Yuqing，CAO Jing，et al. Local Government Financing Vehicle Debt and Environmental Pollution Control[J]. Journal of Management World，2022，38(10)：96−118.

[33] 祁怀锦，曹修琴，刘艳霞 . 数字经济对公司治理的影响：基于信息不对称和管理者非理性行为视角 [J]. 改革，2020(4)：50−64.
QI Huaijin，CAO Xiuqin，LIU Yanxia. The Influence of Digital Economy on Corporate Governance：Analyzed from Information Asymmetry and Irrational Behavior Perspective[J]. Reform，2020(4)：50−64.

[34] 聂兴凯，王稳华，裴　璇 . 企业数字化转型会影响会计信息可比性吗 ?[J]. 会计研究，2022(5)：17−39.
NIE Xingkai，WANG Wenhua，PEI Xuan. Does Enterprise Digital Transformation Affect Accounting Comparability?[J]. Accounting Research，2022(5)：17−39.

[35] 王春英，陈宏民 . 数字经济背景下企业数字化转型的问题研究 [J]. 管理现代化，2021，41(2)：29−31.
WANG Chunying，CHEN Hongmin. Research on Enterprise Digital Transformation Under the Background of Digital Economy[J]. Modernization of Management，2021，41(2)：29−31.

[36] 黄　飘，郑祖杰，李新宇，等 . 滚动生产模式下的柔性作业车间调度问题 [J]. 计算机集成制造系统，2025，31(4)：1287−1298.
HUANG Piao，ZHENG Zujie，LI Xinyu，et al. Flexible Job-Shop Scheduling Problem in Rolling Production Mode[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems，2025，31(4)：1287−1298.

[37] 张兆国，曹丹婷，张　弛 . 高管团队稳定性会影响企业技术创新绩效吗：基于薪酬激励和社会关系的调节作用研究 [J]. 会计研究，2018(12)：48−55.
ZHANG Zhaoguo，CAO Danting，ZHANG Chi. Does TMT Stability Affect Enterprise Technological Innovation Performance?：The Moderating Effect of Compensation Incentive and Human Relationship[J]. Accounting Research，2018(12)：48−55.

（责任编辑：姜利民）