

算力部署与数字技术创新

——来自智算中心的证据

余清源, 李 奇

江苏大学财经学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2026年5月22日; 录用日期: 2026年6月25日; 发布日期: 2026年7月13日

摘 要

随着数字经济的蓬勃发展与人工智能技术的深度应用, 算力已成为当今时代的核心先进生产力, 智算中心作为算力资源的核心载体, 其对企业数字技术创新的影响与作用机制尚未得到充分的理论解释。本文以2015~2023年深沪A股上市公司为研究样本, 以企业持有IDC经营许可证作为算力部署的代理变量, 实证检验了智算中心算力部署对企业数字技术创新的影响效应、传导路径与异质性特征。研究发现, 算力部署对企业数字技术创新具有显著的正向促进作用, 且经过一系列稳健性检验和内生性问题处理后这一结论依然成立。机制分析显示, 算力部署主要通过两条并行的中介传导路径促进数字创新: 一是降低企业创新失败风险, 二是推动企业数字化转型。此外, 该创新驱动效应存在异质性特征, 在东部地区的企业、从事高科技行业的公司和民营企业中促进效应更加突出。本文的研究不仅丰富了算力部署与企业数字技术创新关联机制的研究, 也为如何优化算力产业布局、完善数字经济政策、推动企业数字化转型与创新发展提供了经验证据与决策参考。

关键词

算力部署, 数字技术创新, 智算中心, 创新失败, 数字化转型

Computility Deployment and Digital Technology Innovation

—Productivity: Evidence from Intelligent Computing Centers

Qingyuan Yu, Qi Li

School of Finance and Economics, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: May 22, 2026; accepted: June 25, 2026; published: July 13, 2026

Abstract

With the vigorous development of the digital economy and the deep application of artificial intelligence technology, computility has become a core advanced productive force in the current era. As the core carrier of computility resources, the impact of intelligent computing centers on corporate digital technology innovation and their underlying mechanisms have not yet been fully explained theoretically. Taking A-share listed companies on the Shanghai and Shenzhen stock exchanges from 2015 to 2023 as the research sample, and using firms' holding of an IDC operating license as a proxy variable for computility deployment, this paper empirically examines the effects, transmission paths, and heterogeneity characteristics of the computility deployment of intelligent computing centers on corporate digital technology innovation. The study finds that computility deployment has a significant positive promoting effect on corporate digital technology innovation, and this conclusion remains valid after a series of robustness checks and treatments for endogeneity issues. Mechanism analysis reveals that computility deployment promotes digital innovation mainly through two parallel mediating pathways: one is reducing the risk of innovation failure, and the other is advancing corporate digital transformation. Furthermore, this innovation-driving effect exhibits heterogeneity; the promoting effect is more pronounced among enterprises located in the eastern region, companies engaged in high-tech industries, and private enterprises. This research not only enriches the study of the linkage mechanism between computility deployment and corporate digital technology innovation, but also provides empirical evidence and decision-making reference for how to optimize the layout of the computility industry, improve digital economy policies, and promote corporate digital transformation and innovative development.

Keywords

Computility Deploying, Digital Technology Innovation, Intelligent Computing Center, Innovation Failure, Digital Transformation

Copyright © 2026 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

近年来,信息技术的快速发展和数字经济的蓬勃兴起,使得数字技术日益融入社会生活的各个领域。全球各国普遍将数字经济发展和数字化建设置于重要战略位置,纷纷围绕大数据战略、数字经济治理体系、数字技术创新应用等进行系统部署,相继出台数字经济发展规划、数字化整体布局方案等政策文件,以指导和推动本国数字化转型进程。数字化发展模式将成为世界主流,准确把握数字发展新机遇、加速数字技术创新、持续释放数字红利,已成为世界各国发展战略的重心。

相较于传统科技技术,数字技术由信息通信技术支撑,而随着人工智能、大数据、云计算等数字技术的飞速发展,算力作为设备每秒可处理的信息数据量[1],代表着数字经济时代的先进生产力,正逐渐成为各行各业数字化转型升级的关键要素。在全球范围内,各国在提升数字技术水平、加快算力资源部署的竞争中展开了激烈的较量。

这一背景下,研究算力部署对数字技术创新的影响,不仅具有理论价值,更具有重要的现实意义。本文通过对国内外已有的关于算力部署和数字技术创新领域的文献进行梳理和总结,发现:

与本文密切相关的文献有两支,一支是关于数字技术创新的影响因素研究。在经济层面,孙勇等[2]、李源等[3]、康艺馨等人[4]通过探究中国数字技术创新的时空演变格局,得出经济发展、城市规模和人力资本等因素影响城市数字技术创新水平的动态转移,且随着城市数字技术创新水平的提高,各影响因素的促进作用逐渐增大。在政治层面,政府税收优惠政策对数字技术创新具有显著正相关关系[5][6],而刘静凤等人[7]进一步指出财政压力对数字创新的影响呈现先促进后抑制的倒U型非线性特征。在技术层面,田慧敏等[8]基于TOE框架,探讨人工智能应用程度、行业集中度和动态能力的协同作用对企业数字技术创新的影响;Serrasqueiro等[9]使用面板数据进行实证分析,研究出信息不对称以及技术和市场不确定性有关的问题会影响高科技中小企业的技术创新;Hwang和Lee[10]则通过专利分析探讨韩国高新技术产业与中等技术产业创新来源的差异,探究发现企业技术创新取决于技术水平和产业特点。不仅如此,国内外相关学者渐渐开始探究技术之外的因素对数字技术创新的影响。Yeow和Soh[11]指出数字产品创新依赖于数字基础设施。除此之外,数字化导向和数字化能力[12]、执行数字并购[13]、开放式创新[14]、数字产品进口[15]、稳定的机构投资者[16]等均能促进数字技术创新水平的提高。

另一支是关于算力部署的经济效应研究,其主要集中于算力的作用、算力部署的现状、智算中心的建设规模以及如何优化算力部署等方面。在算力的作用上,算力影响着深度学习的迭代速率,能够加速创新知识演化、促进非线性创新[17],并且随着人工智能、5G网络、物联网等新技术、新业态的诞生与应用,底层算力的基础性支持作用越来越关键[18][19],高效利用算力资源、最大化发挥数据要素价值成为数字经济发展的方向。在算力部署以及智算中心的建设规模现状方面,栗蔚等[20]、杨烨[21]、王苗苗等[22]人指出我国的算力部署仍存在基础设施能力不足,区域间发展不平衡等问题,需完善政策、加快技术探索实践。在优化算力部署上,可以通过改进型遗传算法,合理部署算力边缘服务器,使得其能够保障算力网络有效地建设[23]。在算力部署的影响上,许诺等[24]考察了智算中心对企业全要素生产率的影响,发现智算中心会提高企业全要素生产率,同时,异地部署智算中心带来的数据跨域流动有助于增强这一促进作用,为实现企业高质量发展、夯实数字经济底座、推动数字化建设提供了政策启示。

既有研究为本文研究打下了良好的基础,但遗憾的是,尚未有研究清晰地指出关于算力部署在数字技术创新中的作用,对于其通过何种途径影响企业数字技术创新以及如何通过合理布局算力资源来最大化地释放企业创新潜力,尚未得到充分探讨与回答。为此,本文基于2015~2023年深沪A股上市公司持有工信部发放的互联网数据中心(IDC)经营许可证数据,实证研究解答这些问题,以期为中国数字化建设提供检验证据和有益建议。

本文可能的边际贡献有:第一,不同于既有文献从政治、经济、生产技术等宏观层面探讨数字技术创新的影响机制,本文从数字技术的根本之一——算力入手,聚焦于算力部署对企业数字技术创新的微观影响机制,以丰富现有文献在算力部署与数字技术创新之间关联性研究。第二,从降低创新失败风险可能性和推动企业数字化转型两个角度拓展了智算中心影响数字技术创新的作用渠道研究,并探讨了不同地理区位、行业技术属性和产权性质的企业分别进行算力部署对其数字技术创新的影响,有助于深化算力部署与数字技术内在关系的认识。第三,本文的研究成果对于提高政府和企业数字经济环境下的创新能力具有宝贵的借鉴作用,通过精准识别算力部署强度与数字技术创新产出之间的关系,为政府的算力产业引导政策和企业的算力投资决策提供科学依据,推动产业可持续高质量发展。

2. 特征事实与研究假设

2.1. 算力发展的特征事实

随着人工智能的深入应用,数字技术创新越来越依赖以算力为核心的数字基础设施的支持[25],算力已从数字经济的配套支撑要素,升级为驱动产业变革、引领技术创新、促进社会经济发展的核心生产力,

世界主要经济体纷纷将算力基础设施建设上升为国家战略。

在这一背景下, 中国顺应数字化趋势, 算力基础设施建设和应用保持快速发展, 根据工信部数据, 截至 2022 年底, 我国基础设施算力规模达到 180EFlops¹, 位居全球第二; 经中国信通院测算, 截至 2025 年 6 月, 我国计算设备算力总规模达到 962EFlops (FP32), 全球占比约为 21%, 同比增速达 73%², 其中基础算力增速放缓, 智能算力增速加快, 超算算力持续提升。可以预见, 我国算力以及智算中心的高速发展将深度促进我国产业体系转型升级, 为我国数字经济纵深发展注入核心驱动力。

2.2. 理论分析与研究假设

数字技术创新具有高投入、高风险、高不确定性的典型特征, 创新失败不仅会给企业造成巨大的经济损失, 还会给管理者带来严重的心理伤害, 而这些创新创伤会导致企业减少、甚至放弃再创新行为[26], 因此创新失败风险是制约企业数字技术研发投入与创新产出的核心障碍, 而算力部署能够从研发全流程系统性降低企业的创新失败风险, 进而驱动数字技术创新。在研发之前, 借助算力平台, 企业能够运用人工智能与机器学习等数字技术, 对全球网络公开数据进行深度分析[27], 选择更具可行性与市场前景的创新路线, 实现创新成果与生产场景、市场需求的精准匹配; 在研发之时, 企业通过算力基础设施, 能够实现多技术路线的并行测试和创新方案的仿真模拟, 以极低的成本完成研发试错, 大幅降低单次创新失败的损失, 同时提升研发迭代的效率, 让企业能够在多次试错中快速找到最优技术方案, 最终降低整体创新失败的风险。当企业面临的创新失败风险下降时, 其对数字技术研发的风险偏好会显著提升, 进一步强化企业数字技术创新的研发意愿与投入力度, 最终推动企业数字技术创新水平的持续提升。

企业数字化转型是企业利用数字技术对研发、生产、管理、组织等模式进行全维度、全流程的重构, 在这个过程中算力基础设施是企业数字化转型的支撑, 而企业通过数字化转型可以显著提升数字技术创新能力。一方面, 算力部署为企业数字化转型提供了基础设施支撑, 企业的人工智能应用、大数据分析、智能制造系统等均需要稳定、高效的算力资源作为支撑, 完成算力部署的企业, 能够摆脱算力约束, 实现全流程数字化改造。另一方面, 企业数字化转型的深化, 能够显著提升企业专业化分工水平, 从而提高劳动生产率, 推动技术创新[28], 这是因为企业在数字化转型过程中, 会持续积累数据要素资源、构建数字化创新体系, 为开展数字技术创新奠定坚实基础; 而且企业数字化转型的程度越高, 企业高素质人才占比也会越高, 人力资本升级为实现技术突破和先进设备的使用提供了可能[29]; 此外, 数字化转型还能够培育企业的创新文化与动态能力, 帮助企业更好地适应数字经济时代的技术变革与市场竞争, 持续开展数字技术创新活动。

基于以上分析, 提出以下研究假设:

H1: 智算中心算力部署对企业数字技术创新具有显著的正向促进作用。

H2: 算力部署通过降低创新失败风险、推动企业数字化转型, 对数字技术创新产生正向促进作用

算力部署对数字技术创新的影响程度因企业而异。在地理区位上, 我国东部地区拥有全国最完善的数字基础设施体系, 上下游产业链配套完整, 且集聚了全国绝大多数的数字技术人才、科研院所与研发资金, 市场化程度更高, 数字技术创新的市场需求更为旺盛, 相较于中西部地区, 东部企业更能够充分的释放算力部署带来的创新促进潜力。而行业技术属性的差异, 决定了企业对算力资源的依赖程度, 高科技行业的创新活动具有技术迭代快、数据依赖度强、算力需求大的典型特征, 算力资源是其开展创新研发的核心生产要素, 这类企业通过算力部署, 能够破解其研发过程中的算力约束, 大幅提升研发效率,

¹<https://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202311/P020231103309012315580.pdf>

²<https://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202603/P020260306392232241580.pdf>

推动数字技术创新的突破。对于不同产权性质的企业而言, 民营企业面临更激烈的市场竞争, 对于通过算力部署推动数字技术创新有更强的内生动力, 因此其算力资源向创新环节的配置效率会更高, 而且民营企业的创新决策也具备更高的灵活性, 能够快速响应市场需求。

基于以上分析, 提出如下研究假设:

H3a: 地理区位的不同对算力部署的创新促进效应存在异质性, 东部地区企业中该促进效应更显著;

H3b: 行业技术属性的差异对算力部署的创新促进效应存在异质性, 高科技行业中该促进效应更显著;

H3c: 产权性质的划分对算力部署的创新促进效应存在异质性, 民营企业中该促进效应更显著。

3. 研究设计

3.1. 变量说明

被解释变量(lnInno): 本文借鉴 Liu 和 Dong 等人[30]的研究思路, 根据专利申请数量构建企业数字技术创新的度量指标; 并且在寻找相关数据时, 根据国家知识产权局印发的《关键数字技术专利分类体系(2023)》³与国际专利分类参照关系表的 IPC 号信息, 筛选并加总得到企业当年的数字发明专利申请总量[31], 以此兼顾创新的数量与质量, 并对搜寻到的原始值加 1 取自然对数处理, 缓解数据右偏与 0 值问题, 最终得到本文用来衡量企业数字技术创新水平的 lnInno, 其数值越大, 就说明其对应的企业的数字技术创新水平更高。

解释变量(IDC): 参考许诺等[24]的研究, 将企业拥有 IDC 经营许可证视为衡量企业进行算力部署的标准。先通过工业和信息化部政务服务平台的电信业务市场综合管理信息系统每批次固定公告的“增值电信业务经营许可证发放名单”及其查询系统获取 IDC 许可证相关信息, 再手工采集公司名称、对应的统一社会信用代码, 并依据业务种类筛选出业务包含“互联网数据中心业务”的条目信息, 对得到的数据进行提取和整理, 对接上市公司股权结构, 若上市公司自身或其符合相关持股条件的关联方持有 IDC 经营许可证, 则该年度及之后年度的 IDC 赋值为 1, 在获得许可证之前的年度赋值为 0。

机制变量: ① 创新失败风险(IF)。本文与 Zhong 等[32]对创新失败的定义基本一致, 即利用企业年度专利申请数(创新绩效)低于行业前一年中位数(创新期望目标)形成虚拟变量来测度创新失败, 创新失败为 1, 否则为 0。② 企业数字化转型(Org)。本文使用文本挖掘法, 整理样本期内的深沪 A 股上市公司年报, 并通过 Java PDFbox 库提取所有文本内容作为数据池, 对人工智能技术、大数据技术、云计算技术、区块链技术、数字技术运用五个维度 76 个数字化相关词频进行统计[33], 构造出 digital_A; 对数字技术应用、互联网商业模式、智能制造、现代信息系统四个维度 99 个数字化相关词频进行统计[34], 构造出 digital_B; 对技术分类、组织赋能、数字化应用等类别下 139 个数字化相关词频进行统计[35], 构造出 digital_C。并且采用主成分分析法(PCA)对 digital_A、digital_B、digital_C 提取第一主成分, 重构数字化转型综合指数 Org, 以更精准的衡量企业的数字化转型程度。

分组变量(Mod): ① 地理区位(East), 虚拟变量, 东部地区取 1, 否则为 0。② 行业技术属性(Tech), 虚拟变量, 企业为高科技行业的取 1, 否则为 0。③ 产权性质(SOE), 国有企业为 1, 民营企业为 0。

控制变量(Controls). 参考已有研究, 本文选取以下控制变量: ① 企业年龄(FirmAge): 企业成立年限。② 资产负债率(Lev): 总负债/总资产, 反映企业财务杠杆。③ 总资产收益率(ROA1): 净利润/平均总资产, 反映企业盈利能力。④ 股权集中度(Top1): 第一大股东持股比例。⑤ 托宾 Q(TobinQ): 企业市场价值与资产重置成本的比值, 用于反映企业投资效率、估值合理性。⑥ 现金流比率(CashFlow): 衡量企业经营获利能力覆盖短期债务的动态指标。

³<https://www.cnipa.gov.cn/attach/0/d32119ae1faa4fb9e308824862f87dd.pdf>

3.2. 数据来源与整理清洗

本文通过国泰安(CSMAR)、万得(Wind)数据库选取 2015~2023 年深沪 A 股上市公司基础数据作为初始研究样本，并加入来源于工信部电信业务市场综合管理信息系统的 IDC 相关数据、来源于国家知识产权局专利数据库(CNPD)的企业专利相关数据，并对上市公司年报进行文本挖掘与词频统计加入其中，再参考国家统计局官方标准、省级行政区划文件对样本企业进行整理，得到最终的数据集。之后对样本执行如下标准化筛选：① 剔除金融类上市公司样本；② 剔除当年 ST 或 PT 样本；③ 剔除资不抵债(Lev 大于 1)的异常样本；④ 剔除核心变量存在严重缺失的样本。最终得到 5134 家企业共 33,100 个观测值的研究样本，并对所有连续变量进行 1%和 99%分位数缩尾处理，缓解极端值对回归结果的干扰。全变量描述统计结果如表 1 所示。

Table 1. Descriptive statistical results for all variables
表 1. 全变量描述性统计结果

values	mean	sd	min	p50	max
lnInno	1.126	1.324	0.000	0.693	5.357
IDC	0.039	0.193	0.000	0.000	1.000
IF	0.625	0.484	0.000	1.000	1.000
Org	0.000	1.634	-1.006	-0.620	9.131
East	0.727	0.446	0.000	1.000	1.000
Tech	0.493	0.500	0.000	0.000	1.000
SOE	0.303	0.459	0.000	0.000	1.000
FirmAge	3.010	0.300	2.197	3.045	3.638
Lev	0.410	0.203	0.055	0.400	0.891
ROA1	0.033	0.068	-0.275	0.036	0.196
Top1	0.331	0.146	0.083	0.307	0.736
TobinQ	2.059	1.351	0.827	1.624	8.786
CashFlow	0.048	0.068	-0.157	0.047	0.244
N	33100				

3.3. 模型构建

(1) 为检验 H1，构建如下基准回归模型：

$$\ln Inno_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 IDC_{it} + \sum_{k=1}^n \beta_k Controls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

其中， i 为企业个体， t 为年份。 $\ln Inno_{it}$ 为企业 i 第 t 年的数字技术创新水平。 IDC_{it} 为核心解释变量，即企业算力部署状态，持有 IDC 经营许可证的情况时取 1，否则为 0。 α_1 为核心关注系数，若 α_1 显著为正，说明智算中心算力部署显著促进企业数字技术创新，支持 H1。 $Controls_{it}$ 为所有控制变量， β_k 为控制变量的系数。 μ_i 为企业个体固定效应； λ_t 为年份固定效应； ε_{it} 为随机扰动项。

(2) 为检验 H2，采用“温忠麟经典三步法”构建如下检验模型：

第一步(总效应)：验证 IDC 对企业创新的总效应显著

$$\ln Inno_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 IDC_{it} + \sum_{k=1}^n \beta_k Controls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

第二步(X→M): 验证 IDC 对中介变量的影响显著

$$M_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 IDC_{it} + \sum_{k=1}^n \beta_k Controls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

第三步(X + M→Y): 验证中介变量对创新的影响显著, 同时观察 IDC 系数变化

$$\ln Inno_{it} = \theta_0 + \theta_1 IDC_{it} + \theta_2 M_{it} + \sum_{k=1}^n \beta_k Controls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

其中 M_{it} 为中介变量, 分别为创新失败风险 IF、组织转型 Org (用 PCA 重构数字化转型综合指数, 解决测量误差)。其余设定同模型(1)。

(3)为检验 H3a~H3c, 需要采用分组回归的方法, 将模型按地理区位(East)、行业技术属性(Tech)、产权性质(SOE)分为两组(如东部地区/中西部地区企业、高科技行业/非高科技行业、国有企业/民营企业), 分别进行基准回归, 对比两组 IDC_{it} 系数的大小与显著性。

4. 实证结果分析

4.1. 基准回归结果

Table 2. Baseline regression results
表 2. 基准回归结果

	(1) 无固定无控制	(2) 无固定有控制	(3) 仅企业固定	(4) 仅年份固定	(5) 双向固定基准
IDC	0.9492*** (0.0489)	0.9709*** (0.0488)	0.1752** (0.0727)	0.9252*** (0.1111)	0.1566** (0.0729)
FirmAge		-0.2612*** (0.0254)	1.3784*** (0.0590)	-0.4399*** (0.0598)	0.4165** (0.1945)
Lev		0.5447*** (0.0392)	0.2104*** (0.0705)	0.6830*** (0.0860)	0.2286*** (0.0704)
ROA1		1.6724*** (0.1188)	0.2358** (0.0951)	1.9384*** (0.1814)	0.2633*** (0.0956)
Top1		-0.4293*** (0.0530)	0.2854* (0.1589)	-0.3565*** (0.1241)	0.2598 (0.1580)
TobinQ		-0.0165*** (0.0054)	-0.0244*** (0.0061)	0.0111 (0.0108)	-0.0205*** (0.0065)
CashFlow		0.1017 (0.1161)	-0.0694 (0.0742)	-0.1213 (0.1706)	-0.1237* (0.0747)
_cons	1.0888*** (0.0072)	1.7669*** (0.0806)	-3.1678*** (0.2042)	2.1709*** (0.1812)	-0.2758 (0.5928)
观测值	33,100	33,100	32,848	33,100	32,848
调整后 R ²	0.0192	0.0317	0.7599	0.0570	0.7609
F 值	376.85	117.18	115.34	35.07	5.06

Standard errors in parentheses. 注: 括号内为聚类稳健标准误; *p < 0.1, **p < 0.05, ***p < 0.01。

基准回归结果如表 2 所示，本文依次构建无固定效应无控制变量、无固定效应有控制变量、仅控制企业固定效应、仅控制年份固定效应以及企业 + 年份双向固定效应模型。结果显示，核心解释变量(IDC)的系数在所有模型中均显著为正。在模型(5)缓解了遗漏变量偏误的情况下，IDC 系数为 0.1566，且在 5%的水平上显著，表明在同时控制企业个体固定效应、年份固定效应及全部企业层面控制变量的前提下，算力部署对企业数字技术创新具有显著的正向促进作用，IDC 每提升 1 个单位，企业数字技术创新水平显著提升 0.1566 个单位，本文主研究假设 H1 得到初步验证。且模型(3)，(5)加入企业固定效应后，调整后 R2 跃升至 0.75 以上，这说明企业个体异质性解释了被解释变量(lnInno)的绝大部分变异，模型设定合理，能够有效缓解遗漏变量问题，模型整体拟合效果好。

4.2. 稳健性检验结果

Table 3. Robustness check regression results
表 3. 稳健性检验回归结果

	(1) 滞后 1 期 IDC	(2) 剔除 I65 行业	(3) 剔除 2020~2021 年	(4) 0.5%缩尾	(5) 企业 + 年份 + 行业 FE
IDC		0.1208* (0.0728)	0.1671** (0.0796)	0.1566** (0.0729)	0.1248* (0.0716)
L.IDC	0.1254* (0.0699)				
_cons	-3.1675*** (0.2357)	-0.0795 (0.5823)	-0.2822 (0.6037)	-0.2758 (0.5928)	-0.3666 (0.5880)
观测值	27158	32109	24806	32848	32848
调整后 R ²	0.7731	0.7729	0.7495	0.7609	0.7633

Standard errors in parentheses。注：括号内为聚类稳健标准误；*p<0.1，**p<0.05，***p<0.01；所有模型均控制企业 + 年份双向固定效应；模型(5)额外控制行业单向固定效应。

如表 3 所示，本文通过多个维度检验基准回归结果的可靠性，包括：① 滞后核心解释变量：将 IDC 滞后 1 期回归，缓解同期双向因果的内生性干扰；② 替代性解释(云服务供应商)。考虑到部分上市公司主营业务为云服务供应商，持有 IDC 经营许可证的主要目的并非以算力促进数字技术创新，因此，需要避免观测结果中此类企业产生的估计偏误。而由于国内云服务商巨头公司，如阿里云技术有限公司、腾讯云科技有限公司等均属于软件和信息技术服务业，因此剔除数据中属于 I65 行业的样本；③ 调整样本区间：缩短样本区间、剔除特殊冲击年份(2020~2021)，重新回归；④ 调整缩尾水平：对连续型变量采用上下 0.5%的缩尾处理，尝试在不同水平下排除极端值干扰；⑤ 控制更高维度固定效应：在企业 + 年份双固定基础上，进一步控制“行业效应”，缓解随时间变化的行业层面不可观测因素的干扰。

检验结果显示，核心解释变量 IDC 的回归系数始终显著为正，且大小在 0.12~0.17 之间波动，与基准模型的 0.1566 高度接近。基准回归得出的“智算中心算力部署显著促进企业数字技术创新”具有稳健性。

为了进一步验证 H1 结论的稳健性，排除遗漏变量、随机因素及其他不可观测的混淆因素对基准回归结果的干扰，本研究增加了安慰剂检验：在样本中随机生成与真实处理组数量相同的“假智算中心部署企业”，对样本进行 500 次随机赋值重复抽样，并绘制其分布直方图。

检验结果如图 1 显示，500 次随机赋值得到的回归系数呈现出以 0 为中心的近似正态分布，绝大多数系数集中在-0.05 至 0.05 的区间内，表明随机生成的“假智算中心”对企业数字技术创新不存在系统

性影响。更为关键的是，基准回归得到的真实 IDC 系数 0.1566 完全落在安慰剂检验系数分布的右侧之外，500 次随机模拟中没有任何一次得到大于等于 0.1566 的系数，在统计上拒绝了“真实效应是虚假相关”的情况，有力地证明了：基准回归观测到的智算中心对企业数字技术创新的显著促进作用，并非由遗漏变量、随机误差或其他未观测的共同冲击所导致，进一步强化了本研究核心结论的因果可靠性。

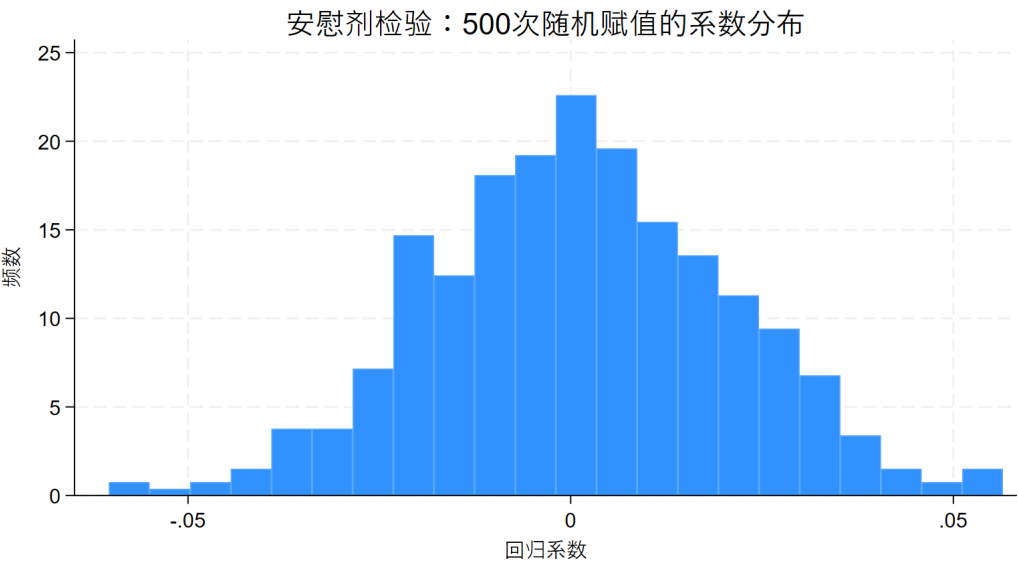


Figure 1. Placebo test coefficient distribution plot
图 1. 安慰剂检验系数分布图

4.3. 内生性处理

Table 4. Instrumental Variable (IV) Two-Stage Least Squares (2SLS) regression results
表 4. 工具变量法 IV-2SLS 两阶段回归结果

	(1) 第一阶段回归	(2) 第二阶段回归
IV_IDC	0.5009*** (0.0854)	
IDC		2.2851*** (0.6418)
_cons	0.0414 (0.1162)	-0.6265 (0.6011)
观测值	32814	33067
调整后 R ²	0.7530	

注：括号内为聚类稳健标准误；* $p < 0.1$ ，** $p < 0.05$ ，*** $p < 0.01$ 。工具变量：同行业同年度其他企业 IDC 平均获批率；第一阶段 F 值远大于 10，不存在弱工具变量问题。

如表 4 所示，本文采取两阶段最小二乘法(IV-2SLS)开展内生性检验，工具变量选取同行业同年度其他企业 IDC 平均获批率，第一阶段的回归有力证明了工具变量 IV_IDC(同行业同年度其他企业 IDC 平均获批率)与 IDC 之间的强相关性；第二阶段回归结果显示，在有效控制内生性问题后，IDC 的系数在 1%

水平上显著为正。工具变量法的回归结果有力地证明，智算中心对企业数字技术创新的促进作用并非由内生性问题导致，而是存在明确的因果关系。

4.4. 作用机制检验

Table 5. Results of the Three-Step mediation test
表 5. 中介效应三步法检验结果

	(1) IF-第一步 总效应	(2) IF-第二步 X→M	(3) IF-第三步 X + M→Y	(4) Org-第一步 总效应	(5) Org-第二步 X→M	(6) Org-第三步 X + M→Y
IDC	0.1566** (0.0729)	-0.2010*** (0.0312)	0.0426 (0.0680)	0.1566** (0.0729)	0.4378*** (0.1380)	0.1081 (0.0699)
IF			-0.5674*** (0.0191)			
Org						0.1108*** (0.0110)
观测值	32848	32848	32848	32848	32847	32847
调整 R ²	0.7609	0.5338	0.7809	0.7609	0.8674	0.7633
F 值	5.0614	10.5702	113.1952	5.0614	6.2936	17.1746

Standard errors in parentheses. 注：***p < 0.01，**p < 0.05，*p < 0.1；所有模型均控制企业个体与年份双向固定效应及全套控制变量，标准误聚类到企业层面。

创新失败(IF)的中介机制检验。由表 5 的列(1)可知，IDC 的系数为 0.1566，在 5%水平显著为正，验证了 IDC 对企业数字技术创新存在显著的正向总效应，满足中介效应成立的前提条件；由列(2)可知，在验证 IDC 对中介变量 IF 的影响中，IDC 的系数为-0.2010，在 1%水平显著为负，这说明智算中心会对企业 IF 水平产生显著的负向影响，IDC 每提升 1 个单位，企业 IF 水平显著降低 0.2010 个单位，X→M 的传导路径高度显著；列(3)同时纳入 IDC 与中介变量 IF 进行回归，通过其结果可知：IF 的系数为-0.5674，在 1%水平显著为负，说明企业 IF 水平越低，数字技术创新水平越高，M→Y 的传导路径显著成立，而 X→M 的系数(-0.2010)与 M→Y 系数(-0.5674)的乘积为正，与总效应的正向符号完全一致，不存在遮掩效应。结合第三步 IDC 系数不显著的结果可知，IF 在 IDC 影响企业数字技术创新中发挥了重要的中介作用，即 IDC 对企业数字技术创新的正向驱动效应，在很大程度上通过“IDC 算力部署提升→企业 IF 水平降低→企业数字技术创新水平提升”这一负向传导路径实现。

企业数字化转型(Org)的中介机制检验与创新失败(IF)的检验分析结果类似，中介效应的乘积 = X→M 系数(0.4378) × M→Y 系数(0.1108) = 正数，且均在 1%水平下显著。结合第三步 IDC 系数不显著的结果，Org 是 IDC 影响企业数字技术创新的另一个重要的中介变量：通过“IDC 算力部署提升→企业 Org 水平提升→企业数字技术创新水平提升”这一正向传导路径实现其驱动效应。

两条路径的中介效应均与总效应方向一致，且控制两条中介路径后，IDC 对企业数字技术创新的直接效应不再显著，说明这两个机制是 IDC 赋能企业数字技术创新的核心作用渠道，H2 得到验证。

为了进一步检验中介机制效应的严谨性和稳健性，本文采用了 Bootstrap 法，通过 1000 次重复自抽样构建统计量的经验分布，验证两条传导路径的真实性，有效弥补传统三步法检验效力不足的局限性。

由表 6 可知，创新失败(IF)的间接效应(核心中介效应)均值为 0.1148，置信区间为[0.0691, 0.1627]，

区间上下限均大于 0, 完全不包含 0, 中介效应在 5%的统计水平上高度显著; 其直接效应均值为 0.0463, 置信区间为[-0.1069, 0.2017], 区间包含 0, 直接效应在统计上不显著, 即剔除 IF 的中介传导作用后, IDC 对企业数字技术创新的直接影响不再具备显著性。且间接效应均值占总效应均值的比例达 71.3%, 说明 IDC 对企业创新的总效应中, 绝大部分是通过 IF 这条中介渠道传导的。

Table 6. Mediation effect Bootstrap test results (1000 Resamples)
表 6. 中介效应 Bootstrap 检验结果(1000 次重复抽样)

	(1) 创新失败风险(IF)			(2) 数字化转型(Org)		
	mean	p5	p95	mean	p5	p95
间接效应	0.1148	0.0691	0.1627	0.0486	0.0149	0.0888
直接效应	0.0463	-0.1069	0.2017	0.1125	-0.0505	0.2762
总效应	0.1611	-0.0049	0.3347	0.1611	-0.0049	0.3347
N	1000			1000		

注: Bootstrap 重复抽样 1000 次; p5 和 p95 为 95%百分位置信区间; 若置信区间不包含 0, 则中介效应显著。

数字化转型(Org)的间接效应(核心中介效应)均值为 0.0486, 置信区间为[0.0149, 0.0888], 区间上下限均大于 0, 完全不包含 0, 中介效应在 5%的统计水平上高度显著; 其直接效应均值为 0.1125, 置信区间为[-0.0505, 0.2762], 区间包含 0, 直接效应在统计上不显著。即剔除 Org 的中介传导作用后, IDC 对企业数字技术创新的直接影响不再显著, 即 Org 是 IDC 赋能企业创新的核心传导渠道之一。

通过传统三步法和 Bootstrap 检验相互印证可以得出, 创新失败风险(IF)、数字化转型(Org)均是 IDC 影响企业数字技术创新的重要中介变量, 两条并行传导路径均真实、显著存在, H2 得到有力的验证。

4.5. 异质性检验

Table 7. Subgroup regression results of the heterogeneity test
表 7. 异质性检验分组回归结果

	(1) 东部企业	(2) 中西部企业	(3) 高科技行业	(4) 非高科技行业	(5) 国企	(6) 民企
IDC	0.2158*** (0.0807)	-0.1872 (0.1580)	0.1525* (0.0859)	0.1095 (0.1340)	0.0249 (0.1100)	0.2411** (0.1040)
N	23868	8959	21171	11618	9690	22293

Standard errors in parentheses. 聚类稳健标准误; 控制企业 + 年份固定效应; *p < 0.1, **p < 0.05, ***p < 0.01。

分组回归结果如表 7 所示, IDC 对企业数字技术创新的正向影响效应存在明显的区域不平衡性, 东部企业组的 IDC 回归系数在 1%水平上显著为正, 智算中心的部署对东部企业的促进效应更显著, H3a 成立。在行业技术维度中, 高科技行业组的回归系数在 10%的统计水平上显著为正, H3b 成立。在产权性质的异质性效应中, 民营企业组的 IDC 回归系数在 5%的统计水平上显著为正, 智算中心的部署对民企的创新活动有更显著的正向推动作用, H3c 成立。

5. 研究结论和政治启示

算力资源不仅是推动经济社会高质量发展的先进生产力, 更是驱动传统产业升级和新一轮科技革命的关键驱动因素。本文在理论分析企业算力部署影响数字技术创新的基础上, 以企业拥有 IDC 经营许可

证视为企业进行算力部署的表征, 基于 2015~2023 年深沪 A 股上市公司面板数据, 实证检验了算力部署对数字技术创新的影响。研究发现, 部署智算中心能显著提高企业数字技术创新能力。机制分析表明, 部署智算中心通过显著降低企业的创新失败风险可能、促进企业数字化转型, 从而推动企业数字技术创新的数量与质量的飞跃, 提高其数字技术创新水平。进一步研究显示, 智算中心的赋能效应存在地理区位异质性、行业技术异质性和产权性质异质性特征, 对于东部地区的企业、高科技行业的公司和民营企业, 算力部署的促进作用会被放大。

基于研究结论, 本文得到如下政策启示: 第一, 完善算力与产业需求对接的配套政策, 优化 IDC 经营许可证的审批流程与市场准入机制, 在合规的前提下降低算力部署的制度性门槛, 鼓励有条件的企业通过自建或云服务等多元化方式, 提升有效算力支撑, 充分的释放算力对企业数字技术创新的支撑和促进作用。第二, 建立企业数字化转型的标准化指引与服务体系, 引导企业依托算力资源深化全流程数字化改造, 以算力基础设施建设为突破口, 出台分地区、分行业、分产权的企业数字化转型指导规范。第三, 引导算力资源按需流动, 在西部能源富集地区布局智算中心枢纽, 通过建立统一的跨区域算力并网标准与算力交易市场, 形成东西部算力供需精准匹配及协同创新机制, 实现算力资源跨区域的高效、均衡配置。第四, 面向高科技行业打造算力配套支撑体系。针对高端制造、人工智能、电子信息等高科技行业, 建设行业级的公共算力服务平台, 推动算力资源与行业创新场景深度融合, 强化智算中心对关键核心技术研发的支撑作用, 助力高科技企业突破数字创新瓶颈。第五, 企业应将算力基础设施建设纳入长期发展战略, 尤其是民营企业, 应结合自身数字技术创新的研发需求, 合理布局算力资源, 把算力部署作为突破创新瓶颈、降低研发风险的核心助推力, 充分发挥算力在数字技术创新中的底层支撑作用; 国有企业应加快完善算力资源的创新转化机制, 破除体制壁垒, 建立与算力投入相匹配的创新研发激励体系, 将算力资源配置向数字技术创新环节倾斜, 解决“重投入、轻转化”的问题, 充分释放算力基础设施对企业数字技术创新的驱动潜力。

基金项目

本研究为江苏省大学生科研课题立项资助项目成果(项目编号: 24C111)。

参考文献

- [1] Nordhaus, W.D. (2001) The Progress of Computing. NBER Working Paper.
- [2] 孙勇, 樊杰, 刘汉初, 赵腾宇. 长三角地区数字技术创新时空格局及其影响因素[J]. 经济地理, 2022, 42(2): 124-133.
- [3] 李源, 刘承良. 中国城市数字技术创新的时空演化及影响因素[J]. 地理科学, 2024, 44(5): 754-765.
- [4] 康艺馨, 陈雨欣, 苗成林. 中国数字技术创新时空演变格局及其影响因素[J]. 内江师范学院学报, 2024, 39(2): 90-100.
- [5] 张娜, 杜俊涛. 财税政策对高新技术企业创新效率的影响——基于交互作用的视角[J]. 税务研究, 2019(12): 47-53.
- [6] 秦修宏, 黄国良. 税收优惠政策能提升高新技术企业发明型创新效率吗[J]. 财会月刊, 2020(21): 113-119.
- [7] 刘静凤. 财政压力、金融分权与数字创新[J]. 技术经济与管理研究, 2022(6): 82-87.
- [8] 田慧敏, 李海林, 周文浩, 张丽萍. 人工智能应用程度对企业数字技术创新的影响研究[J]. 当代财经, 2025(6): 85-98.
- [9] Serrasqueiro, Z., Nunes, P.M. and da Rocha Armada, M. (2016) Capital Structure Decisions: Old Issues, New Insights from High-Tech Small- and Medium-Sized Enterprises. *The European Journal of Finance*, 22, 59-79. <https://doi.org/10.1080/1351847x.2014.946068>
- [10] Hwang, G. and Lee, M.J. (2014) Exploration of Enterprise Innovation Sources through Patent Analysis: Comparison of High-Tech Industries and Mid-Tech Industries. *Journal of Information Technology Applications & Management*, 21, 331-344.

- [11] Yeow, A., Soh, C. and Hansen, R. (2018) Aligning with New Digital Strategy: A Dynamic Capabilities Approach. *The Journal of Strategic Information Systems*, **27**, 43-58. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2017.09.001>
- [12] Khin, S. and Ho, T.C. (2019) Digital Technology, Digital Capability and Organizational Performance. *International Journal of Innovation Science*, **11**, 177-195. <https://doi.org/10.1108/ijis-08-2018-0083>
- [13] Hanelt, A., Firk, S., Hildebrandt, B. and Kolbe, L.M. (2021) Digital M&A, Digital Innovation, and Firm Performance: An Empirical Investigation. *European Journal of Information Systems*, **30**, 3-26. <https://doi.org/10.1080/0960085x.2020.1747365>
- [14] Nylund, P.A. and Brem, A. (2021) Do Open Innovation and Dominant Design Foster Digital Innovation? *International Journal of Innovation Management*, **25**, Article ID: 2150098. <https://doi.org/10.1142/s1363919621500985>
- [15] 黄先海, 王瀚迪. 数字产品进口、知识存量与企业数字创新[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版), 2022, 52(2): 28-43.
- [16] Xu, S.G., Zhou, L.J. and He, M.W. (2025) Heterogeneous Institutional Investor Behaviour and Corporate Digital Technology Innovation. *Finance Research Letters*, **79**, Article ID: 107285. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.107285>
- [17] Bailey, D.E., Leonardi, P.M. and Barley, S.R. (2012) The Lure of the Virtual. *Organization Science*, **23**, 1485-1504. <https://doi.org/10.1287/orsc.1110.0703>
- [18] Bossaerts, P. and Murawski, C. (2017) Computational Complexity and Human Decision-Making. *Trends in Cognitive Sciences*, **21**, 917-929. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.09.005>
- [19] 余东华. 算力: 数字经济时代的新质生产力[J]. 财贸研究, 2024, 35(7): 1-16.
- [20] 栗蔚, 王雨萌, 立言, 等. “东数西算”背景下算力服务对算力经济发展影响分析[J]. 数据与计算发展前沿, 2022, 4(6): 13-19.
- [21] 杨焯. 基于算网一体化演进的算力网络技术研究[J]. 现代传输, 2022(4): 45-48.
- [22] 王苗苗. “东数西算”战略工程下算力网络的研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8(10): 136-139.
- [23] 章刚, 胡鹏. 算力网络下的算力边缘服务器部署算法[J]. 计算机应用研究, 2024, 41(5): 1527-1531.
- [24] 许诺, 毛聚, 毛新述, 等. 算力部署、数据跨域流动与企业全要素生产率——来自智算中心的证据[J]. 中国工业经济, 2025(4): 61-79.
- [25] 王建冬, 于施洋, 窦悦. 东数西算: 我国数据跨域流通的总体框架和实施路径研究[J]. 电子政务, 2020(3): 13-21.
- [26] Välikangas, L., Hoegl, M. and Gibbert, M. (2009) Why Learning from Failure Isn't Easy (and What to Do about It): Innovation Trauma at Sun Microsystems. *European Management Journal*, **27**, 225-233. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2008.12.001>
- [27] 权小锋, 李闯. 智能制造与成本粘性——来自中国智能制造示范项目的准自然实验[J]. 经济研究, 2022, 57(4): 68-84.
- [28] 袁淳, 肖土盛, 耿春晓, 等. 数字化转型与企业分工: 专业化还是纵向一体化[J]. 中国工业经济, 2021(9): 137-155.
- [29] 周红星, 黄送钦. 数字化能为创新“赋能”吗——数字化转型对民营企业创新的影响[J]. 经济学动态, 2023(7): 69-90.
- [30] Liu, Y., Dong, J., Mei, L. and Shen, R. (2023) Digital Innovation and Performance of Manufacturing Firms: An Affordance Perspective. *Technovation*, **119**, Article ID: 102458. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102458>
- [31] 李雪琴, 郑酌基, 韩先锋. 乘“数”而上: 政府数据治理赋能企业数字创新[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(12): 68-88.
- [32] Zhong, X., Chen, W. and Ren, G. (2022) Continuous Innovation Failure, Top Management Team Relational Capital and the Overseas R&D Activities of Companies in Emerging Economies. *Industry and Innovation*, **29**, 623-648. <https://doi.org/10.1080/13662716.2021.2007759>
- [33] 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.
- [34] 赵宸宇, 王文春, 李雪松. 数字化转型如何影响企业全要素生产率[J]. 财贸经济, 2021, 42(7): 114-129.
- [35] 甄红线, 王玺, 方红星. 知识产权行政保护与企业数字化转型[J]. 经济研究, 2023, 58(11): 62-79.