

# 超算“引擎”： 算力基础设施如何驱动关键数字技术创新

韩先锋<sup>1</sup>, 曾 迪<sup>1</sup>, 朱承亮<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学管理与经济学院, 云南 昆明 650500;

2. 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所, 北京 100732)

**摘要:** 本文以超算中心投入运营作为准自然实验, 采用双重机器学习模型系统考察算力基础设施对城市关键数字技术创新的影响效应与机制。研究发现: 算力基础设施显著地提升了关键数字技术创新水平; 算力基础设施主要通过激发数字创新活力、加速数字人才流动和促进数字技术应用的有效市场机制, 以及提高数字创新关注度、强化数字产权保护和推动数据要素集聚的有为政府机制, 间接驱动关键数字技术创新; 在营商环境欠佳、科技人才集聚度低和市场潜力不足的城市, 以及公共数据开放度低、官僚组织冗余度高和财政分权水平高的城市, 算力基础设施建设的数字技术创新效应更为明显, 反映出其对市场发育不足与政府治理不佳的地区存在一定“补偿效应”; 算力基础设施对关键数字技术创新的影响呈现明显“策源地—转化地”的远距离“蛙跳”现象, 且能有效弥合地区间的关键数字技术创新鸿沟。研究结果为如何更好地发挥有效市场和有为政府在数字经济发展中的积极作用, 以及加快推动算力基础设施建设与关键数字技术创新的深度融合提供了有益启示。

**关键词:** 算力基础设施; 超算中心; 关键数字技术创新; 双重机器学习模型

中图分类号: F204 文献标识码: A 文章编号: 1005-0566(2026)04-0182-12

## Supercomputing “Engine”: How computing power infrastructure drives key digital technology innovation

HAN Xianfeng<sup>1</sup>, ZENG Di<sup>1</sup>, ZHU Chengliang<sup>2</sup>

(1. School of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. Institute of Quantitative and Technical Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

**Abstract:** Taking the operation of supercomputing centers as a quasi-natural experiment, this paper adopts the double machine learning model to systematically examine the impact and mechanism of computing power infrastructure on urban key digital technology innovation. This study finds that computing power infrastructure significantly enhances the key digital technology innovation. Mechanistically, it facilitates such innovation indirectly through two major channels. It stimulates innovation vitality, accelerates digital talent flow and promotes digital technology application via sound market mechanisms. Meanwhile, it facilitates policy support for digital innovation, strengthens digital intellectual property protection and facilitates data element agglomeration through capable government mechanisms. The promotional effect of

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目“‘两高’制造业数字化转型赋能绿色创新: 机制探索、经验辨识与政策启示”(72473059); 昆明理工大学数字经济与产业创新发展创新团队项目(KGZSCXTD2025005)。

**作者简介:** 韩先锋(1984—), 男, 陕西商洛人, 昆明理工大学特聘教授, 博士生导师, 研究方向为创新与经济增长。通信作者: 朱承亮。

computing power infrastructure on key digital technology innovation is more prominent in cities featured with inferior business environment, inadequate sci-tech talent agglomeration and sluggish market potential, as well as those with low public data openness, excessive administrative redundancy and high fiscal decentralization. The influence of computing power infrastructure on key digital technology innovation shows a distinct long-distance leapfrog effect from “origins” to “transformation sites”, which can effectively bridge the gap in key digital technological innovation across regions. This study provides valuable implications for exerting the positive functions of effective markets and capable governments in digital economy development, and facilitates the in-depth integration of computing power infrastructure construction and key digital technology innovation.

**Key words:** computing power infrastructure; supercomputing center; critical digital technology innovation; dual machine learning model

当前,全球正处于新一轮科技革命和产业变革的浪潮中,掌握关键数字技术对于重塑全球竞争格局、引领国家发展未来和实现科技自立自强意义重大。习近平总书记明确强调,要打好关键核心技术攻坚战,加快攻克重要领域“卡脖子”技术。2025年政府工作报告中,关于“强化国家战略科技力量”“加强原创性和引领性科技攻关”等表述频繁出现。这不仅有利于关键数字技术创新持续涌现,也意味着国家已将关键数字技术创新这一重要议题置于顶层战略。然而,中国的关键数字技术创新活动还处于起步阶段,尚面临着“卡脖子、缺生态、弱协同、难定价、乱投资、强遏制”的系统性约束,短期内难以全面实现前沿领域的单点突破,需要系统攻坚与制度供给并行推进<sup>[1]</sup>。在这种情况下,以超算中心为代表的算力基础设施作为关键数字技术创新的“底座引擎”,既是AI大模型训练、大数据深度挖掘和量子模拟等前沿技术突破的算力支撑,也是产学研协同攻关、技术快速迭代与场景化应用落地的核心保障,从而可能为妥善解决关键数字技术创新困境提供了新方案。遗憾的是,几乎未有研究关注到算力基础设施究竟会在城市关键数字技术创新过程中扮演着何种角色。由此,一个值得关注的现实问题是,算力基础设施能否助力关键数字技术创新?如果答案是肯定的,其潜在机制如何?存在何种异质性特征?厘清上述问题,不仅可为政府统筹完善算力基础设施建设提供新思路,还对加快推动关键数字技术创新和建设数字中国具有重要的理论与现实意义。

与本文相关的文献主要有两支。一支聚集于识别关键数字技术创新的决定因素。有学者从资本驱动角度,肯定了风险投资持股<sup>[2]</sup>、财政政策不确定性<sup>[3]</sup>和地方政府债务治理<sup>[4]</sup>等对关键数字技术创新的积极影响;还有学者从制度创新的视角,探究了公共数据开放<sup>[5]</sup>、科技支行设立<sup>[6]</sup>对关键数字技术突破的激励效果。另一支文献重点关注算力基础设施的作用后果。微观层面上,认为算力基础设施可助力绿色化转型<sup>[7]</sup>、抑制“脱实向虚”<sup>[8]</sup>以及提升全要素生产率<sup>[9]</sup>;宏观层面上,指出算力基础设施在推动区域协调发展<sup>[10]</sup>、促进城市知识创新<sup>[11]</sup>和强化未来创新网络<sup>[12]</sup>等方面发挥着重要作用。不难发现,已有文献虽为本文提供了重要借鉴,但对于如何有效驱动关键数字技术创新,以及算力基础设施赋能数字创新的相关认识还极为有限。尤其是,尚未有研究基于超算中心投入运营这一独特视角,系统探究算力基础设施何以驱动关键数字技术创新这一重要话题。

相较于以往研究,本文的边际贡献在于:一方面,率先利用超算中心投入运营这一外生政策冲击,构建算力基础设施赋能关键数字技术创新的逻辑框架,系统考察算力基础设施对关键数字技术创新的实质影响,拓宽了关于关键数字技术创新的研究视阈;另一方面,从有效市场和有为政府双重视角切入,挖掘算力基础设施影响城市关键数字技术创新的数字作用机制,同时探究算力基础设施对关键数字技术创新的异质性影响、作用边界和趋同冲击,为“十五五”时期国家更有效地

释放算力基础设施的关键数字技术创新红利提供了经验依据和决策启示。

## 一、政策背景与研究假说

### (一) 政策背景

超算中心作为重要的算力基础设施,其发展体现了中国在高性能计算领域从追赶走向自主创新的战略布局。其发展历程体现为以下 3 个方面。①早期突破阶段。此阶段旨在打破国外技术垄断,实现千万亿次计算能力零的突破。2009—2011 年,天津、济南和深圳等首批超算中心启动建设。②应用深化与升级阶段。该阶段目标是让已建成的超算中心服务国家经济和科学研究,并启动下一个百亿亿次超算的技术预研,实现核心技术全面自主可控。2013—2020 年,国家超级计算无锡中心、“天河三号”E 级原型机以及各区域性超算中心开始涌现。③一体化与智能化阶段。此阶段政策核心是打破算力孤岛,构建全国一体化的算力网络体系,“东数西算”工程明确将超算中心作为国家枢纽节点。2022 年,郑州中心、昆山中心和乌镇中心等多个新一代超算中心获批或投入运营。截至目前,我国共设立了 14 所国家超算中心。总体而言,超算中心实质上是国家在数字时代布局的一个技术创新“反应堆”,它通过提供顶级算力、真实场景和开放生态,持续为关键数字技术的研发、试验和应用提供能量,这为本文探究算力基础设施赋能关键数字技术创新提供了一个难得的准自然试验。

### (二) 研究假说

1. 算力基础设施赋能关键数字技术创新的直接机制

算力基础设施通过提供强大、普惠的算力,支撑数字技术实现自主跨越式发展,直接作用表现在以下几个方面。①降低创新门槛,实现技术普惠。算力基础设施衍生的“算力即服务”模式,使企业只需按需租用算力,无需自行投资建设耗资巨大、运维复杂的算力中心,直接推动 AI 模型从头部企业垄断走向普惠化应用,降低了关键数字技术创新的经济门槛。另外,算力基础设施提供包

括开发环境、主流框架和数据集等在内的“开箱即用”服务,使开发者无需关心底层硬件、运维和集群调度等复杂问题便可直接调用,降低了关键数字技术创新的技术门槛。②加速试错迭代,实现效率革命。算力基础设施通过极致压缩“设计—测试—学习”循环周期,将需要数月才能完成的计算任务缩短至几小时甚至几分钟,能快速实现技术研发迭代,提高了关键数字技术创新速度。同时,算力集群可将 PB 级别数据处理延迟从小时级降至毫秒级,提升数据处理速度,直接解决了关键数字技术创新的效率瓶颈。③催化技术突破,实现范式改革。一方面,算力催生了计算科学新范式,通过在数字世界中构建高保真度虚拟实验室对复杂系统进行全尺度、全过程的模拟,能更好地服务于关键数字技术创新<sup>[13]</sup>。另一方面,算力平台作为一个共通的“数字反应场”,能使不同学科理论、模型和数据再次碰撞融合,产生全新的交叉学科和研究方向,直接拓展关键数字技术创新的广度和深度。④保障创新安全,构建自主根基。一方面,算力基础设施通过“以用促研”带动从芯片设计、制造到整机集成、软件开发的全链条发展,形成脱离外部依赖、内循环的数字技术供应链体系。另一方面,算力基础设施为数据使用提供了更加安全可信的执行环境,基于自主技术栈的算力平台从硬件底层到应用层都减少了后门漏洞风险,从而可为关键数字技术创新筑牢根基。基于此,本文提出以下假设。

H1: 算力基础设施能够推动关键数字技术创新。

2. 算力基础设施赋能关键数字技术创新的间接机制

(1) 有效市场机制。算力基础设施有利于营造良好的市场环境,主要表现为以下 3 个方面。①激发数字创新活力。算力基础设施的公共化和普惠化打破了数字创新对高成本硬件资源的依赖,使其不再是巨头公司的专利,而算力基础设施的规模化和智能化则能有效推动数字技术从单一领域应用向多场景渗透延伸,不断拓展数字创新

边界<sup>[14]</sup>。较高的数字创新活力意味着城市能进行更多有益的科研尝试并形成大规模试错引擎,有助于市场通过自然选择让那些能解决真实问题、满足市场需求和具有关键核心价值的数字技术脱颖而出,进而加速了关键数字技术创新的迭代和优化。②加快数字人才流动。算力基础设施通过“算力远程调度+云端协同”模式,快速打破了以往人才必须靠近算力的地理限制,其建设和运营以及其催生的新兴产业也会创造大量高价值数字岗位,由此产生“数字人才磁体”效应,无形中加速了数字人才流动。数字人才在不同企业、行业乃至地域间流动,使得其携带的创新知识能持续在新环境中进行碰撞、重组和整合,极易产生新的数字技术思路 and 方案,提高了关键数字技术创新的频率和概率。③促进数字技术应用。算力基础设施既能促使不同行业更方便地整合数字技术,持续推动大范围、高强度和长周期的数字技术应用,也可为众多企业提供共享算力平台,使其能承担起数字技术应用带来的“隐形成本”。当数字技术被大规模应用时,会不可避免地暴露出其在可靠性、安全性、成本和用户体验等方面的局限性,为下一步的数字技术创新提供了最明确、最迫切的需求清单和研发路线图,进而更加精准地激发了关键数字技术创新。

(2)有为政府机制。算力基础设施有利于更好地发挥政府职能,主要表现在以下3个方面。①提高数字创新关注。当政府自身成为算力在经济发展、社会治理和公共安全等领域应用的最大受益者时,其对数字创新的看法会发生根本转变,往往会将其视为提升执政效能和实现治理现代化的“倍增器”,这会激发政府对数字创新的关注。数字创新关注既会加大政府对重大数字科技专项的倾斜力度,还能通过信号引导持续吸引社会资本流入关键数字创新领域,进而妥善解决关键数字技术创新的资金难题<sup>[15]</sup>。②强化数字产权保护。一方面,算力基础设施的技术复杂性和应用广泛性,迫使政府不得不加强跨部门协作,构建适配的数字经济监管体系,以强化数字产权保护建设。

另一方面,算力基础设施可将产权保护环节前置化、过程化和智能化,实现从被动防御到主动赋能的转变,由此提高辖区内数字产权保护水平。强有力的数字产权保护,能切实降低关键数字技术创新的风险和不确定性,有效确保关键数字技术创新的可预期回报,激励创新主体主动进行长期、高风险的研发投入,最终激发了关键数字技术创新。③推动数据要素集聚。一方面,相比企业自建和维护一个数据中心,算力中心能实时提供规模化、专业化和低成本的存储服务,这种高效的低成本优势是企业将数据汇集到算力平台的首要动力<sup>[16]</sup>。另一方面,强大的算力基础设施能自然吸引需要处理数据的AI公司、大型互联网等应用平台,而这又会产生和吸引更多数据汇聚,形成正向累积循环。数据要素集聚催生的基于隐私计算、区块链等技术的数据流通基础设施,可高效实现“数据可用不可见”和“数据不出域、价值可流通”,直接牵引和加速相关数字技术发展,进而有助于关键数字技术创新。基于此,本文提出以下假设。

H2:算力基础设施主要通过激发数字创新活力、加速数字人才流动和促进数字技术应用的有效市场机制,以及提高数字创新关注度、强化数字产权保护和推动数据要素集聚的有为政府机制,间接驱动关键数字技术创新。

## 二、研究设计

### (一)模型构建

本文将超算中心投入运营视为一项准自然实验,探究算力基础设施是否有利于城市关键数字技术创新。这里构建部分线性的双重机器学习模型为:

$$KDTI_{it} = \theta_0 DID_{it} + g(X_{it}) + U_{it} \quad (1)$$

$$E(U_{it} | DID_{it}, X_{it}) = 0 \quad (2)$$

其中, $i$ 为城市, $t$ 为年份; $KDTI_{it}$ 为关键数字技术创新, $DID_{it}$ 为算力基础设施的政策变量; $X_{it}$ 表示一组高维控制变量,本文通过机器学习方法对 $g(X_{it})$ 的具体形式 $\hat{g}(X_{it})$ 进行估计; $U_{it}$ 为误差项,条件均值为0,结合公式(1)与公式(2)可得,系数

的估计值为:

$$\hat{\theta}_0 = \left( \frac{1}{n} \sum_{i \in I, t \in T} DID_{it}^2 \right)^{-1} \frac{1}{n} \sum_{i \in I, t \in T} DID_{it} (KDTI_{it} - \hat{g}(X_{it})) \quad (3)$$

为确保在小样本条件下处置效应估计量具有无偏性,本文构建的辅助回归模型为:

$$DID_{it} = m(X_{it}) + V_{it} \quad (4)$$

$$E(V_{it} | X_{it}) = 0 \quad (5)$$

其中,  $m(X_{it})$  表示政策变量对高维控制变量的回归关系,其形式可通过机器学习方法进行拟合估计。 $V_{it}$  表示误差项,条件均值为 0。操作步骤为:对公式(4)和公式(5)进行回归,得到残差  $V_{it} = DID_{it} - \hat{m}(X_{it})$ ,  $\hat{V}_{it}$  作为 DID 的工具变量进行回归,以获得无偏的系数估计结果:

$$\hat{\theta}_0 = \left( \frac{1}{n} \sum_{i \in I, t \in T} \hat{V}_{it} DID_{it} \right)^{-1} \frac{1}{n} \sum_{i \in I, t \in T} \hat{V}_{it} [KDTI_{it} - \hat{g}(X_{it})] \quad (6)$$

## (二) 变量定义

### 1. 被解释变量

关键数字技术创新(KDTI)。本文认为,关键数字技术创新是面向新兴数字产业,以实现高水平自立自强为目标,对数字经济社会发展具有基础性、支撑性和引领性的数字技术创新。参考陶锋等<sup>[17]</sup>的做法,首先,依据国家知识产权局印发的《关键数字技术专利分类体系(2023)》进行筛选,包括人工智能、高端芯片、量子信息、物联网、区块链、工业互联网和元宇宙等 7 个分类;其次,将其与国际专利分类参照关系表识别并匹配属于关键数字技术创新的相关专利;最后,统计各地级市的关键数字技术创新申请总量,并对其取自然数来衡量关键数字技术创新。

### 2. 核心解释变量

算力基础设施(DID)。本文采用超算中心投入运营来反映城市算力基础设施,具体由政策试点时间和政策试点城市的交互项构成,设置方法为,若城市完成超算中心建设并投入运营,则城市虚拟变量取值为 1,反之取值为 0;若时间在投入运

营之后,则时间虚拟变量取值为 1,反之为 0。

### 3. 控制变量

本文选取以下控制变量:经济发展( $gdp$ ),运用人均生产总值的对数来衡量。财政支出( $gov$ ),采用人均财政支出水平来刻画。固定资产投资( $fai$ ),采取每万人固定资产投资额来表征。研发投入( $rd$ ),以 R&D 内部人员经费与地区生产总值的比重来反映。城镇化率( $czhl$ ),基于城镇人口占总人口的比例来表示。教育水平( $el$ ),选取教育支出占地方财政之比来体现。

### (三) 数据来源和平行趋势检验

本文以 2011—2023 年中国 280 个地级市(及以上城市)的面板数据作为研究样本,检验算力基础设施建设的关键数字技术创新效应。值得说明的是,基础数据主要源自国家知识产权局以及《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》和 CNRDS 数据库等。对于个别指标存在的数据缺失问题,采用插值法予以补齐。

另外,在评估超算中心投入运营的政策效应时,需要满足平行趋势假设检验。由图 1 结果可知,在超算中心投入运营前,关键数字技术创新水平在运营城市 and 未运营城市之间并没有显著差异,排除了存在事前趋势的可能。而超算中心投入运营后,运营城市 and 未运营城市的关键数字技术创新水平存在显著差异,表明平行趋势假设成立。

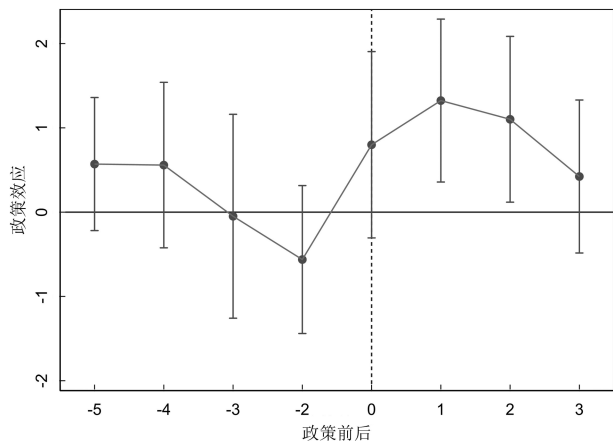


图 1 平行趋势检验

### 三、实证结果及分析

#### (一) 基准回归分析

本文采用双重机器学习模型结合随机森林算法逐步回归,结果见表1。列(1)为在1:4样本分割比例且控制城市、时间固定效应的估计结果。列(2)~列(5)依次加入了控制变量一次项、二次项,并分别控制时间、个体固定效应。列(6)和列(7)只加入控制变量一次项或二次项,但同时控制时间与个体固定效应。根据基准模型列(7)可知, *DID* 系数为0.717且显著,说明算力基础设施显著地促进了关键数字技术创新,初步验证本文假设H1。

表1 基准回归

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>
<i>DID</i>	0.776*** (3.094)	0.714*** (3.120)	0.737* (1.932)	0.718*** (3.157)	0.719** (1.960)	0.658* (1.958)	0.717** (2.112)
<i>C</i>	-0.838*** (-23.936)	-0.002 (-0.084)	0.020 (0.855)	-0.002 (-0.095)	0.019 (0.803)	0.009 (0.408)	0.008 (0.376)
控制变量一次项	否	是	是	是	是	是	是
控制变量二次项	否	否	否	是	是	否	是
城市效应	是	否	是	否	是	是	是
时间效应	是	是	否	是	否	是	是
<i>N</i>	3 640	3 640	3 640	3 640	3 640	3 640	3 640

注:\*\*\*、\*、\*\*分别表示在1%、10%、5%的统计水平上显著;括号内为t值。下同。

#### (二) 内生性检验

##### 1. PSM-DID 法

考虑到超算中心投入运营城市的选取未能满足随机性原则,可能导致出现选择性偏误,这里采用PSM-DID方法评估算力基础设施对关键数字技术创新的冲击效应。具体做法:先将式(1)中的控制变量作为匹配变量,利用Logit模型计算280个城市成为超算中心投入运营城市的概率;再采用核匹配方法,将匹配完成后处于共同支撑域内的数据合并进行估计。基于表2列(1)可知,算力基础设施对关键数字技术创新的积极影响依然存在。

##### 2. 工具变量法

为解决内生性问题,本文构造两个工具变量IV。一是城市平均高程与年份的交互项。一方面,高海拔区域所提供的低温散热,极大地降低了超

算中心的散热能耗和电费等运营成本,满足相关性条件。另一方面,城市平均高程作为地理因素,难以影响关键数字技术创新,满足外生性条件;二是各地级市到“八纵八横”光缆节点最小距离的倒数与年份的交互项。一方面,到光缆骨干网节点城市中心距离越近,意味着更低的网络延迟、更高的数据传输效率和更低的接入成本,更容易成为超算中心投入运营城市,满足相关性要求。另一方面,到“八纵八横”光缆骨干网节点城市中心的最小距离作为历史恒定不变的因素,难以作用于关键数字技术创新,满足外生性要求。根据表2列(2)~列(5),进行工具变量处理后,算力基础设施赋能关键数字技术创新的结论依然可靠。

表2 内生性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	PSM-DID	工具变量		工具变量	
		第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段
	<i>KDTI</i>	<i>DID</i>	<i>KDTI</i>	<i>DID</i>	<i>KDTI</i>
<i>DID</i>	0.637** (2.233)	—	235.825*** (5.580)	—	41.304*** (8.580)
<i>IV</i>	—	0.001*** (5.440)	—	0.001*** (8.320)	—
<i>C</i>	-31.718** (-2.220)	-			
控制变量一次项	是	是	是	是	是
控制变量二次项	是	是	是	是	是
城市效应	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是
<i>N</i>	3 639	3 640	3 640	3 640	3 640
KP 检验 <i>F</i> 值	—	29.573		69.232	
KP 检验 LM	—	29.956***		61.647***	

#### (三) 稳健性检验

##### 1. 安慰剂检验

这里使用安慰剂检验控制不可观测因素可能导致的估计结果偏误。通过随机抽取1000个超算中心投入运营城市构成“伪实验组”,运用传统双重差分法进行回归。图2展示了1000个估计系数的核密度,发现伪超算中心投入运营城市满足标准正态分布,估计系数大多集中在0附近,显著异于*DID*系数真实值0.717,进一步印证了本文

基准结论的可靠性。

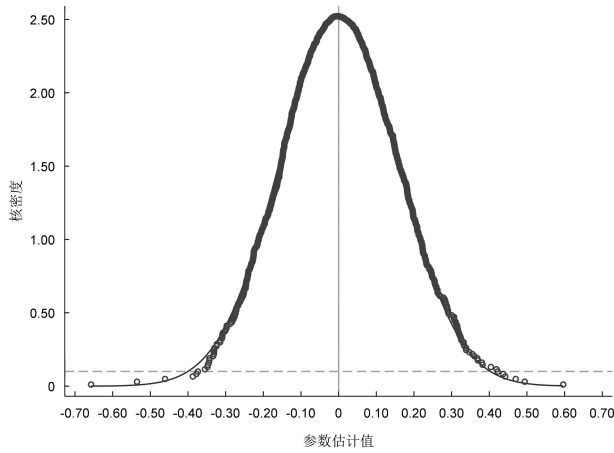


图2 安慰剂检验

### 2. 替换被解释变量

①用关键数字技术发明专利授权量的对数替换被解释变量；②对关键数字技术专利申请量的对数化指标进行极差标准化处理,并运用双重机器学习模型做估计；③将关键数字技术进一步细分为基础软件、核心算法等“软技术”再估计。依据表3列(1)~列(3)可知,算力基础设施建设的关键数字技术创新效应依然稳健。

### 3. 更改样本结构

①改变时间窗口,将研究区间随机调整为2012—2019；②缩尾处理,对样本数据进行1%的缩尾处理。从表3列(4)~列(5)的估计结果可知,本文基本结论未改变。

表3 稳健性检验1

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	替换被解释变量			更改样本结构	
	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	改变时间窗口 <i>KDTI</i>	缩尾 <i>KDTI</i>
<i>DID</i>	0.535* (1.728)	0.455* (1.701)	1.004*** (3.018)	0.822* (1.831)	0.506** (1.961)
<i>C</i>	0.027 (1.341)	-0.004 (-0.195)	0.032** (2.075)	0.019 (0.686)	-0.004 (-0.187)
控制变量一次项	是	是	是	是	是
控制变量二次项	是	是	是	是	是
城市效应	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是
<i>N</i>	3 639	3 360	3 640	2 240	3 640

### 4. 排除政策干扰

考虑到与超算中心投入运营同期或之前实施

的其他政策可能对关键数字技术创新产生影响,本文纳入“智慧城市”“东数西算”和“宽带中国”三个政策虚拟变量。表4列(1)~列(4)展示了排除以上政策的估计结果,表明排除竞争政策后,本文基准结论仍然稳健。

### 5. 更换模型估计方法

①更换机器学习算法,将随机森林算法更换为套索回归和梯度提升,排除预测算法对本文结论的潜在干扰,其结果见表4列(5)~列(6)；②采用机器集成方法,基于集成方法中的堆叠法对随机森林和套索回归两种算法的拟合结果进行组合,其结果见表4列(7)。由此可以发现,*DID*系数依然显著为正,并未从实质上改变本文基本结论。

表4 稳健性检验2

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	排除政策干扰				更换估计模型		
	智慧城市 <i>KDTI</i>	东数西算 <i>KDTI</i>	宽带中国 <i>KDTI</i>	同时控制 <i>KDTI</i>	套索回归 <i>KDTI</i>	梯度提升 <i>KDTI</i>	堆叠法 <i>KDTI</i>
<i>DID</i>	0.736** (2.117)	0.679** (2.000)	0.709** (2.099)	0.724** (2.099)	0.455* (1.701)	0.591* (1.859)	0.508* (1.829)
<i>C</i>	0.008 (0.372)	0.010 (0.426)	0.008 (0.362)	0.009 (0.383)	-0.004 (-0.195)	-0.005 (-0.213)	—
控制变量一次项	是	是	是	是	是	是	是
控制变量二次项	是	是	是	是	是	是	是
城市效应	是	是	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	3 640	3 640	3 640	3 640	3 640	3 640	3 640

### (四) 传导机制分析

本文对前文理论推演验证发现,算力基础设施通过有效市场和有为政府渠道间接推动了城市关键数字技术创新,印证假设H2成立。

#### 1. 有效市场机制

本文从激发数字创新活力、加快数字人才流动和促进数字技术应用三维度检验算力基础设施赋能的有效市场机制。对于数字创新活力(*DIV*),参考姜南等<sup>[18]</sup>的经验,采用数字产业新增企业数来衡量;对于数字人才流动(*DTM*),借鉴肖坚等<sup>[19]</sup>的做法,基于引力模型将人均生产总值、工业二氧化硫排放、职工平均工资和百人互联网接入户数作为吸引力变量,基于数字人才流动模型测

度的数字人才流动指数来刻画;对于数字技术应用(DTA),运用机器人密度来表征。表5列(1)~列(3)展示了有效市场机制的检验结果,可知DID系数均显著为正,表明算力基础设施对数字创新活力、数字人才流动和数字技术应用均产生了促进作用,进而驱动关键数字技术创新。首先,充满创新活力的数字创新生态既能吸引全球顶尖的科学家、工程师和创业者集聚,也可促使大量初创公司、研究团队同时进行数字技术创新探索,这种规模化的“并行试错”极大地提高了关键数字技术创新概率;其次,数字人才跨地域、跨行业流动,不仅能加速知识和技术的传播扩散,还可促使不同专业知识的交叉与碰撞,有效避免数字创新活动的“重复造轮子”现象,并使创新主体在更高的起点上开展数字创新活动,进而有助于关键数字技术创新;最后,数字技术应用既能催生新的需求痛点,倒逼关键数字技术突破以解决现实问题,牵引数字技术创新新方向。又由于高度依赖数据支撑,通过数据产生的核心应用场景精准反哺,激发新一轮关键数字技术活动,进而助力关键数字技术创新。

## 2. 有为政府机制

本文分别从提高数字创新关注、强化数字产权保护和推动数据要素集聚三方面检验算力基础设施赋能的有为政府机制。对于数字创新关注(DIF),参照金灿阳等<sup>[20]</sup>的做法,根据省、市政府工作报告统计了60个数字经济相关词频,加总来衡量数字创新关注;对于数字产权保护(DPP),参考李晓娣等<sup>[21]</sup>的经验,在北大法宝数据库中,以“公平竞争、数据共享、权益保护、安全防护”为检索词,将范围锁定到“互联网”主题,手工整理得到“城市—年份”的行政处罚数据,以此来刻画数字产权保护;③数据要素集聚(DEA),采用是否属于大数据综合试验区来衡量。由表5列(4)~列(6)可知,DID系数均显著为正,表明算力基础设施可提高数字创新关注,强化数字产权保护和推动数据要素集聚,进而实现关键数字技术创新。首先,数字创新关注的提高既能带动资本、数据、人才和政策等核心资源向关键数字

技术领域集中,又可促成大规模的跨区域、跨行业产学研合作,进而“双管齐下”为攻克关键数字技术难题创造有利条件;其次,数字产权保护既能使产权清晰的数字资产通过交易和授权实现市场化流通,又可为创新主体提供安全边界和动力保障,有助于持续激发关键数字技术创新的积极性;最后,海量数据集聚既能覆盖各种更复杂的应用场景,持续打破数据碎片化、样本量不足等瓶颈,又可通过规模效应和网络效应不断在降低数字技术创新门槛的同时提高数字技术创新效率,促使创新主体投入更多资源于关键数字技术创新。

表5 传导机制检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	有效市场机制			有为政府机制		
	激发数字 创新活力	加快数字 人才流动	促进数字 技术应用	提高数字 创新关注	强化数字 产权保护	推动数据 要素集聚
	DIV	DTM	DTA	DIF	DPP	DEA
DID	0.829 *** (2.726)	16.536 *** (2.591)	0.801 ** (1.992)	0.962 ** (2.488)	0.234 * (1.770)	0.056 * (1.839)
C	0.007 ** (1.988)	0.088 (0.629)	0.012 (0.989)	-0.007 (-0.414)	0.006 (0.929)	0.001 (0.286)
控制 变量 一次项	是	是	是	是	是	是
控制 变量 二次项	是	是	是	是	是	是
城市 效应	是	是	是	是	是	是
时间 效应	是	是	是	是	是	是
N	3 640	3 640	3 640	3 640	3 640	3 640

## 四、进一步分析

### (一) 异质性分析

#### 1. 市场发育程度异质性

鉴于营商环境决定算力落地的制度成本,科技人才集聚决定算力转化的能力上限,市场潜力决定算力价值的释放空间,本文分别从上述三维度刻画算力基础设施作用于关键数字技术创新的市场发育程度异质性。一是营商环境。基于樊纲的市场化指数,以2023年各省份市场化指数第15名为划分标准,将样本划分为营商环境好和营商环境差两个组别进行估计。基于表6列(1)和列(2)可知,在营商环境较差的城市,算力基础设施对关键数字技术创新的积极影响更明显。创新包容理论认为,传统创新体系具有明显的门槛性和排他性。而算力基础设施凭借其普惠性、通用性

与低接入成本特征,能够打破传统创新对初始条件的依赖,对营商环境较差城市的边际激励更强,从而表现出显著的创新包容补偿效应。二是科技人才集聚。选取城市信息传输、计算机服务与软件业人员在年末从业人员中的占比来反映科技人才集聚,并依据其均值将样本划分为高科技人才集聚和低科技人才集聚两组作估计。根据表 6 列(3)和列(4)可知,相较于高科技人才集聚城市,算力基础设施对低科技人才集聚城市关键数字技术创新具有更明显的积极作用。低科技人才集聚城市的数字技术吸收和整合能力通常较弱,可能更依赖标准化算力服务实现适应性创新,而高科技人才集聚城市则往往聚焦于原始创新,对算力赋能具有更高的门槛要求,使其更多发挥着“锦上添花”的作用。三是市场潜力。参照韩先锋等<sup>[22]</sup>的思路,依据市场潜力指数的均值将样本划分为市场潜力好和市场潜力差两个组别,估计结果见表 6 列(5)和列(6)。不难发现,相较于高市场潜力城市,算力基础设施更有利于低市场潜力城市的关键数字技术创新。算力基础设施很大程度上只是对高市场潜力城市现有算力资源的“增量补充”,导致其无法像初创市场或新技术需求那样带来爆发性的数字创新增长。相反,算力基础设施快速激活和有效满足了低市场潜力城市的算力需求,从而对该类城市关键数字技术创新产生更强劲的积极冲击。

表 6 市场发育程度异质性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	营商环境		科技人才集聚		市场潜力	
	好	差	高	低	高	低
	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>
<i>DiD</i>	0.073 (0.172)	1.083 * (1.647)	-0.074 (-0.218)	2.058 *** (8.456)	0.042 (0.096)	1.094 ** (2.096)
<i>C</i>	-0.001 (0.351)	0.002 (0.071)	0.017 (0.432)	0.007 (0.244)	0.019 (0.512)	0.021 (0.758)
控制变量一次项	是	是	是	是	是	是
控制变量二次项	是	是	是	是	是	是
城市效应	是	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	2 158	1 482	1 142	2 498	1 577	2 063

## 2. 政府治理能力异质性

从公共数据开放、官僚组织冗余和财政分权三维度可精准地捕捉有为政府作为数据要素的供给者、高效服务的提供者和自主资源的调配者,如何通过制度供给来最大化激发算力基础设施建设的赋能效应。一是公共数据开放。根据是否为公共数据开放城市将样本划分为两组,回归结果见表 7 列(1)和列(2)。可以发现,在非公共数据开放城市,算力基础设施产生了更明显的激励作用。对于非公共数据开放城市,数据壁垒是最大的数字创新障碍,算力基础设施则起到了“筑巢引凤”的关键作用,从而使得算力基础设施的激励效果更突出。二是官僚组织冗余。用社会组织 and 公共管理就业总人数与第三产业就业总人数之比作为度量指标,并以官僚组织冗余程度的中位数为依据,将样本划分为官僚组织冗余程度高和官僚组织冗余程度低两组进行估计,结果见表 7 列(3)和列(4)。相对而言,算力基础设施只对官僚组织冗余程度较高城市的关键数字技术创新产生了激励。算力基础设施提供了一种直接、高效的生产要素,其数字原生特性可较大程度抵消官僚组织冗余产生的“制度摩擦”,从而能产生较明显的关键数字技术创新效应。三是财政分权。采用地区人均财政支出与中央人均财政支出比值来衡量,具体以 2011 年各省份的财政分权水平排名的中位数为依据,将样本划分为高财政分权和低财政分权两组进行估计,结果见表 7 列(5)和列(6)。据

表 7 政府治理能力异质性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	公共数据开放		官僚组织冗余		财政分权	
	是	否	低	高	低	高
	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>
<i>DiD</i>	0.089 (0.175)	1.270 ** (2.396)	-0.100 (-0.276)	5.386 *** (4.956)	-0.039 (-0.081)	1.001 ** (2.068)
<i>C</i>	0.008 (0.160)	0.016 (0.664)	0.008 (0.234)	0.013 (0.412)	0.011 (0.401)	-0.014 (-0.402)
控制变量一次项	是	是	是	是	是	是
控制变量二次项	是	是	是	是	是	是
城市效应	是	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	808	2 832	1 820	1 820	2 028	1 612

此可知,算力基础设施对高财政分权城市的关键数字技术创新具有明显的促进作用。在高财政分权城市,地方政府通常拥有更大的财政自主权,能更灵活地支持算力中心建设、实施配套政策以及完善后续运营维护体系,从而系统性地赋能关键数字技术创新。

### (二)政策有效性及辐射边界检验

为更精确地识别算力基础设施影响关键数字技术创新的地理边界,本文根据各地级市与超算中心投入运营城市之间的距离来检验政策辐射的边界效应,在表8列(1)~列(4)中,*DID*系数在0~200 km显著为负、800~1 000 km和>1 000 km区间内均显著为正,而400~600 km和600~800 km内不显著。整体来看,算力基础设施建设的数字技术创新效应呈现显著的“蛙跳”现象,即算力基础设施作用下关键数字技术创新存在策源地与转化地的近远距分离。可能原因是,一方面,算力枢纽城市作为算力赋能的策源地,对高价值创新要素具有强吸引力。而底层算力技术依赖大量难以书面化的“隐性知识”,其传递高度依赖面对面交流,近距离布局能最大程度降低沟通成本,加速技术协同与迭代,从而导致其对周边城市群的创新资源产生了“虹吸效应”,这在一定程度上不利于近距离城市开展关键数字技术创新。另一方面,算力基础设施对关键数字技术创新影响的跨区域、长距离“蛙跳”现象,反映了算力“数字属性”突破地理限制的本质特征。算力基础设施可通过高速网络实现低成本、低损耗的远距离传

表8 政策的辐射范围检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	0~200 km	200~400 km	400~600 km	600~800 km	800~1 000 km	>1 000 km
	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>	<i>KDTI</i>
<i>DID</i>	-1.372* (-1.840)	0.283 (0.580)	0.357 (1.375)	0.508 (1.321)	0.682** (2.311)	0.623* (1.796)
<i>C</i>	0.018 (0.458)	0.004 (0.126)	0.003 (0.129)	0.002 (0.061)	0.010 (0.403)	0.004 (0.201)
控制变量 一次项	是	是	是	是	是	是
控制变量 二次项	是	是	是	是	是	是
城市效应	是	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	1 209	1 950	2 548	2 873	2 990	3 627

输,打破了地理空间对数字技术获取和使用的限制。更重要的是,距离算力基础设施较远的转化地通常拥有低廉的要素成本、落后的基础设施和优惠的政策配套,而在算力基础设施辐射的中等距离上,这种成本优势并不明显,从而导致其仅对远距离城市关键数字技术创新产生了激励效果。

### (三)一般性收敛分析

为进一步分析算力基础设施对城市关键数字技术创新差距的影响,本文进行绝对 $\beta$ 收敛和相对 $\beta$ 收敛分析。表9列(1)展示了绝对 $\beta$ 收敛结果,列(2)~列(3)分别展示了在列(1)基础上加入*DID*和一次项控制变量,以及*DID*和控制变量一次项、二次项的相对 $\beta$ 收敛结果。可以发现,滞后一期的关键数字技术创新系数均显著为负,表明算力基础设施能明显缩小地区间的关键数字技术创新差距。可能原因是,算力基础设施打破了传统创新要素的地理集中,通过普惠化算力供给让不同城市在数字技术创新上拥有更平等的基础条件。加之,算力基础设施往往伴随着算力调度平台、技术帮扶计划等跨区域合作机制,能促进核心城市的技术资源通过算力网络向边远地区辐射,由此快速帮助落后城市补齐技术短板,从而有利于缩小地区间的关键数字技术创新差距。

表9 一般收敛检验

变量	(1)	(2)	(3)
	绝对 $\beta$ 收敛	相对 $\beta$ 收敛	
	<i>D_KDTI</i>	<i>D_KDTI</i>	<i>D_KDTI</i>
<i>L_KDTI</i>	-0.655*** (-32.144)	-0.821*** (-32.194)	-0.830*** (-32.636)
<i>C</i>	-0.624*** (-16.716)	-0.002 (-0.093)	0.001 (0.031)
控制变量 一次项	否	是	是
控制变量 二次项	否	否	是
城市效应	是	是	是
时间效应	是	是	是
<i>N</i>	3 360	3 360	3 360

## 五、主要结论和政策建议

本文将算力基础设施和关键数字技术创新置于一个统一分析框架,并选用2011—2023年中国280个地级市及以上城市面板数据做了实证检验。研究发现:算力基础设施对关键数字技术创新具有显著的推动作用;在市场侧激发数字创新活力、加速数字

人才流动和促进数字技术应用,在政府侧提高数字创新关注度、强化数字产权保护和推动数据要素集聚,均是算力基础设施的赋能渠道;算力基础设施对关键数字技术创新的影响效果,在不同市场发育程度和政府治理能力下表现出一定差异性;算力基础设施建设的关键数字技术创新效应存在“蛙跳”现象,且其有利于推动区域间关键数字技术创新的协调发展。

首先,优化算力基础设施布局,建立算力资源共享池与场景开放平台。一方面,构建分层协同的算力发展基金体系。既应由国家相关部门牵头设立算力发展母基金,广泛吸引社会资本、产业资本及海外资本重点投向 AI 芯片、算力操作系统和分布式存储等关键环节,强化底层技术攻关与国产化生态培育。还要鼓励地方政府设立配套子基金,形成“国家基金补短板、地方基金强特色”的协同格局,尤其对西部算力枢纽建设给予资本倾斜,推动全国算力资源均衡布局与协同发展。另一方面,打造普惠开放的多元算力服务体系。政府既要前瞻布局智能计算、超算、量子计算和光计算等新兴算力设施,构建覆盖不同场景、多种架构的异构算力供给体系。还应同步推动国家超算中心、高校实验室等公共算力资源向企业开放,通过“算力券”等普惠机制降低中小企业使用门槛,使先进算力如水电一般成为普惠共享的国家级创新基础设施,从而切实为关键数字技术创新提供“底座”支撑。

其次,利用好算力基础设施在有效市场和有为政府共同培育数字经济中的重要作用,有效促进关键数字技术创新。就有效市场而言:一是定期举办以算力为核心支撑的创新创业活动,聚焦人工智能、生物医药等重点领域,通过“以赛促创”持续发掘和培育优质项目,不断激发企业进行关键数字技术创新的能动性;二是积极在算力枢纽城市配套建设人才公寓、算力产业园,对入驻的数字人才给予住房补贴、个税优惠等政策支持,打造“算力+人才”集聚区,为算力基础设施赋能创造数字人才流动支持;三是依托国家超算中心、人工智能计算中心等设施,建设开放的技术测试验证环境,为新技术、新算法提供真实场景下的性能测

试与应用服务,加速关键数字技术创新迭代。就有为政府而言:一是既要设立年度数字创新重点任务清单,实行“季度督查、年度考核”的推进机制,也应在数字经济重点领域遴选一批示范项目,由政府部门协调供需对接,确保算力资源向关键数字创新领域集中投放;二是在算力枢纽城市布局专业知识产权保护机构,提供数字作品登记、侵权鉴定和快速维权“一站式”服务,建立数字知识产权侵权举报奖励制度,提高创新主体进行关键数字技术创新的积极性;三是构建以算力为基础支撑的公共数据开放平台,制定数据分级分类授权使用规范,推动政务数据、行业数据有序流通和融合应用,为关键数字技术创新提供稳定的数据“血液”。

再次,结合不同城市市场发育程度和政府治理能力,因地制宜地不断优化和细分算力基础设施布局。就市场发育而言:一是营商环境较差城市可设立算力创新特区,通过审批简化、税收优惠等制度弥补市场短板,而营商环境较好城市则应强化技术创新引导与高标准市场建设,推动算力服务从可用向好用跃升;二是低科技人才集聚城市应以算力为“人才磁石”,建设成本洼地与科研特区,而高科技人才集聚城市则应布局前沿算力平台,配套“算力使用券”等机制释放人才潜能;三是高市场潜力城市应提升算力服务质量以适配高阶需求,而低市场潜力城市则要注重算力与本地特色产业融合,以内育外引实现增值增效。就政府治理而言:一是公共数据开放滞后的城市应优先建设隐私计算平台,破解数据流通瓶颈,而数据开放水平高的城市则应推动数据要素的高级化利用,构建高价值数据集体系;二是官僚组织冗余度高的城市可通过设立算力应用示范基地实现示范突破,而官僚组织冗余度低的城市则应支持算力市场化运营,提升设施运行效率;三是应在财政分权维度建立绩效导向的激励机制,将资源利用率、关键创新产出等指标与财政支持挂钩,积极推动城市间算力共建与创新利益平衡。

最后,以“全国一盘棋”的系统思维推进算力布局,构建梯度发展、功能协同的空间结构。一方面,要摒弃简单的均衡分布模式,转向功能互补、

联动发展的路径。算力基础设施布局的核心城市既应瞄准世界数字科技前沿,聚焦原始数字创新和颠覆性数字技术突破,打造“算力—算法—数据—应用”全链条融合的世界级数字创新集群。还要加快建设高速互联的国家算力网,显著降低跨区域数据传输延迟与成本,持续提升算力资源的全域调度效率,有效释放算力基础设施激发远距离关键数字技术创新的“蛙跳”红利。另一方面,区域数字创新协调发展的关键不在于资源均衡分配,而在于全面提升欠发达地区接入算力网络和高效使用算力的双重能力。政府要通过算力基础设施覆盖、数字技能培训、应用场景培育和体制机制创新等多维举措,确保各地区都能融入全国一体化算力体系并从中获益,由此加快构建既充满数字活力又公平共享的关键数字技术创新发展新格局。

#### 参考文献:

- [1]张古鹏,梁艳,黄杜鹃,等.政府混合激励政策如何影响多元数字技术创新[J].科学学研究,2026,44(4):842-858.
- [2]潘丹丹,范从来,王子敏.风险投资持股与关键数字技术创新[J].现代金融研究,2025,30(3):32-43.
- [3]年志远,邓瑀伽.财政政策不确定性与企业关键数字技术创新:抑制效应与机制分析[J].西南民族大学学报(人文社会科学版),2025,46(8):112-124.
- [4]周阔,曲植,时运通,等.地方政府债务治理与民营企业新质生产力:基于关键数字技术突破的考察[J].经济评论,2024(4):20-37.
- [5]金环,牛子恒,岳中刚.公共数据开放、产学研合作与关键数字技术突破[J].财经论丛(浙江财经大学学报),2025(9):17-27.
- [6]周阔,曲植,曾思棚,等.科技金融与关键数字技术突破:来自“专精特新”企业的证据[J].世界经济,2025,48(11):3-32.
- [7]CHENG H, RUAN P, WANG P. The impact of surging computing power on enterprise digital transformation: based on quasi-natural experiments set up by the National Supercomputing Center[J]. Finance research letters, 2024, 65: 105496.
- [8]孙波约,于斌斌,胡雅静.算力基础设施建设是否抑制了企业“脱实向虚”?来自中国地级及以上城市数据中心建设的经验证据[J].金融研究,2025(7):95-112.
- [9]杨壮,吴福象.算力基础设施建设能破解“生产率悖论”吗:基于合作创新和劳动力技能结构的视角[J].经济学家,2025(1):56-65.
- [10]宋玉茹,罗敬蔚.算力推动区域协调发展的理论逻辑与实施路径[J].科学管理研究,2024,42(5):66-74.
- [11]YANG H, LIU L, WANG G. Does large-scale research infrastructure affect regional knowledge innovation, and how? a case study of the National Supercomputing Center in China[J]. Humanities and social sciences communications, 2024, 11(1):338.
- [12]周建平,赵烨雯,徐维祥.算力基础设施对城市未来产业创新网络的影响[J/OL].科学学研究,1-22 [2025-08-04]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFD2025&filename=KXXY20250804001>.
- [13]YANG H, WANG G. The impact of computing infrastructure on carbon emissions: an empirical study based on China national supercomputing center [J]. Environmental research communications, 2023, 5(9):095015.
- [14]许晖,王泽鹏,杨金东.从人机冲突走向人机融合:知识编排视角下制造业企业的人机关系重塑[J].中国工业经济,2024(4):170-188.
- [15]李治国,孔维嘉,王源辛.政府数字关注度如何赋能区域创新均衡发展[J].管理学报,2025,38(1):130-145.
- [16]许诺,毛聚,毛新述,等.算力部署、数据跨境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.
- [17]陶锋,朱盼,邱楚芝,等.数字技术创新对企业市场价值的影响研究[J].数量经济技术经济研究,2023,40(5):68-91.
- [18]姜南,李鹏媛,欧忠辉.知识产权保护、数字经济与区域创业活跃度[J].中国软科学,2021(10):171-181.
- [19]肖坚,李佳佳,韩先锋.数字人才流动如何促进城市间数字协同创新[J].经济管理,2026,48(1):74-98.
- [20]金灿阳,徐葛婷,邱可阳.中国省域数字经济发展水平测度及其空间关联研究[J].统计与信息论坛,2022,37(6):11-21.
- [21]李晓娣,马雨莹.数字营商环境生态赋能城市科技创新的路径研究[J].科研管理,2025,46(6):104-112.
- [22]韩先锋,郑酌基,李勃昕,等.行政体制改革、营商环境优化与数字创新驱动:来自“放管服”的新证据[J].公共管理学报,2024,21(4):1-15,166.