算力基础设施与企业数字化转型*

毛丰付[1] 魏亚飞[2] 高雨晨[3]

（1.浙江工商大学经济学院，浙江 杭州 310018；
2.河南工程学院经济贸易学院，河南 郑州 451191；
3.浙江万里学院物流与电子商务学院，浙江 宁波 315100）

内容提要：算力基础设施是支撑数字经济发展的重要资源，对于培育经济发展动能具有重要作用。本文以在用数据中心机架数作为算力基础设施的代理变量，将其与微观企业结合，构造了2016—2020年的中国上市公司面板数据，实证验证了算力基础设施对企业数字化转型的影响和作用机制。研究发现，算力基础设施建设显著促进了企业数字化转型，其主要通过降低企业交易成本以及增加企业市场机会可获得性两种机制实现。算力基础设施有利于推动数字化水平较高的企业和小规模企业数字化转型，并且对技术密集程度、初始数字化水平较高行业的企业数字化转型影响更大；在大数据综合试验区和算力发展水平较高地区，算力基础设施对企业数字化转型的促进效应更明显。当算力基础设施有效支撑企业数字化转型时，企业的盈利能力、抗风险能力以及成长潜力会随之增强，从而提升了企业价值。

关键词：数字化转型 算力基础设施 交易成本 市场机会 企业价值

中图分类号：F270 **文献标志码：**A **文章编号：**1002—5766(2025)12—0101—20

一、引 言

伴随大数据、人工智能及云计算等数字技术的快速发展，数字经济已经成为推动经济发展的重要驱动力。企业作为数字技术与实体经济深度融合的微观承载者，必须加快推动数字化转型（Anthony，2021[1]；何帆和刘红霞，2019[2]）。然而，现实中企业数字化转型程度并不高，根据埃哲森发布的《2025中国企业数字化转型指数研究》显示，2025年中国企业数字化转型指数平均得分在为49分，较2023年和2024年的44分和46分显著增长，但总体水平有待提高，且多数企业在生产率和利润方面都没有取得显著的收益①。如何实现业务增长和推进数字化转型是当前企业亟需解决的难题。既有研究认为，技术、组织、外部环境变化以及基础设施建设等是企业数字化转型的关键驱动因素（Nambisan，2017[3]；许为宾等，2023[4]）。纵观从工业化到数字化的变迁，基础设施都是重要的基础和前提（张军等，2007[5]；何晓萍，2014[6]），深入分析基础设施和企业数字化转型之间的关系，对于企业提质降本增效减存，实现新旧动能转换具有至关重要的作用。

收稿日期：2024-02-28

* **基金项目：**河南省哲学社会科学基金青年项目“数字基础设施赋能河南省农业经济韧性的效应、机制和路径研究”（2025CJJ199）；浙江省自然科学基金重点项目“数字化转型视角下城市经济韧性研究：浙江经验”（Z24G030005）；教育部人文社会科学基金项目“基于机器学习的高潜能未来产业识别与发展路径研究”（24YJA790043）。

作者简介：毛丰付，男，教授，博士生导师，研究方向是数字经济与城市数字化转型，电子邮箱：ff-mao@163.com；魏亚飞，女，讲师，研究方向是算力基础设施与经济增长，电子邮箱：wyf15514392195@126.com；高雨晨，男，讲师，研究方向是数字经济与城市数字化转型，电子邮箱：gyc2016@126.com。通讯作者：魏亚飞。

① 数据来源：埃森哲.新格局、新增长：2025埃森哲中国企业数字化转型指数[R/OL].https://www.accenture.cn/cn-zh/insights/strategy/china-digital-transformation-index，第12页。

中国知网 https://www.cnki.net

企业数字化转型离不开基础设施的支撑,传统基础设施为企业数字化转型提供了不可或缺的物理空间和基础保障,新型基础设施则直接赋能企业数字化转型的核心环节(黄群慧,2020)[7],而在促进企业数字化转型的新型基础设施建设中,最重要的是算力基础设施建设(陈雨露,2023)[8]。根据工业和信息化部等六部门印发的《算力基础设施高质量发展行动计划》,算力基础设施是集信息计算力、网络运载力、数据存储力于一体的新型信息基础设施,可实现信息的集中计算、存储、传输与应用。在促进企业数字化转型的过程中,算力基础设施发挥了多大程度的作用?内在机制为何?是否有利于企业价值提升?为回答上述问题,本文在收集整理2016—2020年各省数据中心机架数量以及测度算力基础设施行业规模的基础上,实证检验算力基础设施与企业数字化转型的关系。

相较于现有文献,本文可能存在的边际贡献有:一是本文进一步拓展了企业数字化转型影响因素的研究范畴。以往文献研究企业数字化转型的基础设施因素时,大多关注的是政府决定的基础设施建设,如高铁站的开通、宽带中国战略、数字基础设施政策、大数据综合试验区等(毛宁等,2022[9];王海等,2023[10];孙伟增等,2023[11])。而算力基础设施的建设主体不仅有政府和电信运营商,还包括很多第三方数据中心。企业可根据市场需求投资建设和运营数据中心,或者采购数据中心的服务,因此,从数据中心提供算力服务的视角分析算力基础设施对企业数字化转型的影响,丰富了企业数字化转型的动因研究,并加深了对企业数字化转型发展问题的理解。二是本文拓展了算力基础设施测度的研究。现有文献主要从定性角度探讨算力基础设施的种类、特征、相关案例及其产生的经济增长效应等(黄奇帆,2020[12];李平等,2021[13]),实证检验相对不足,使其结论的说服力不强。本文尝试利用数据中心机架数量对算力基础设施进行测度,并实证评估算力基础设施建设对微观主体数字化转型的经济效果,补充了算力基础设施领域的实证空缺。

二、文献回顾和理论假设

1.企业数字化转型影响因素的文献回顾

围绕企业数字化转型的现实需要,已有研究对企业数字化转型的前因展开了丰富的研究,主要表现为技术、组织、外部环境和基础设施四个方面。

数字技术在企业数字化转型过程中扮演着核心驱动力的角色。新一代数字技术在带来技术、产品及市场等创新的同时,也推动工业化向数字化领域的跨体系转型(肖静华,2020)[14]。根据社会技术系统理论,大数据、物联网、人工智能、云计算等数字技术的组合可以很大程度上促进企业数字化转型(Vial,2021[15];吴江等,2021[16])。从技术可供性实现理论视角出发,人工智能技术的自主可供性和交互性,对企业数字化转型绩效具有显著的正向促进作用(马鸿佳等,2024)[17]。上述研究表明,数字技术的发展和应用为企业数字化转型提供了强大的技术支撑,改变了企业的经营管理模式(Garzoni等,2020)[18]。

组织层面的因素对企业数字化转型起着关键作用。根据组织驱动理论,企业高管的支持与态度影响着企业数字化转型决策。复合职能背景高管以及具有研发背景的高管在企业数字化转型决策中更具有优势,也深知数字技术的重要性,更能够促进企业数字化转型(裴璇等,2023)[19]。员工态度、领导者数字化意识、组织文化和数字战略等也会影响企业数字化转型的进程与效果(吴江等,2021)[16]。基于AlNuaimi等(2022)[20]的研究,数字转型领导力对企业数字化转型有着积极的影响,并且,组织敏捷性在两者之间起到了中介作用。

外部环境可以为企业数字化转型提供资金支持和政策引导。政府补贴、税收激励可以缓解企业融资约束,加大企业对数字化转型的投入,从而改善企业的经营状况,促进企业数字化转型(吴非等,2021)[21]。政府推行的数字经济政策可以有效推动企业数字化转型,并且,针对数字产业发

中国知网　https://www.cnki.net

展领域的政策助力更为明显(李剑培等,2024)[22],数字政府可以有效改善数字发展环境,促进企业数字化转型(伦晓波和刘颜,2024)[23]。除了政府支持以外,风险投资也可以通过分轮次注资的形式为企业提供充足的资金,助力企业数字化转型(王腾宇和侯晓辉,2025)[24]。

基础设施作为推动生产发展以及保障地区经济社会活动持续正常运转的基础条件(金凤君,2001)[25],为企业数字化转型提供了基础保障和基础条件支持。交通基础设施邻近性的改善,能够显著提升企业对数字化技术的触达程度,为企业创造更多与各类数字技术平台开展合作的契机(毛宁等,2022)[9],可通过缩短时空距离,减少转型过程中不必要的成本,加速自身数字化转型的进程,进而有效提升企业数字化水平,最终实现企业数字化转型。除传统基础设施之外,新型基础设施已经成为企业数字化转型的核心环节。新型基础设施是以连接为基础,以计算为核心,面向高质量发展需要,支持数据感知、传输、处理、分析等环节运行,提供数字转型、智能升级等服务的新一代基础设施体系(盛磊和杨白冰,2020)[26]。新型基础设施涉及5G、大数据、人工智能和云计算等,技术引领作用较强,对外可以缓解"卡脖子"风险,对内可以推动产业链升级,通过带动新旧动能的衔接和转换,推进价值链升级等助力工业企业数字化转型(周嘉和马世龙,2022)[27]。新型基础设施还能够助力万物互联,增强数据要素的广泛流动,推动产业平台化和网络化,最终加速制造业企业数字化转型。

学术界已经从技术、组织、外部环境和传统基础设施角度,对企业数字化转型的前因进行了丰富探讨,也关注到了新型基础设施对企业数字化转型的影响,但尚未剖析其中算力基础设施的核心价值,也未探究算力基础设施对企业数字化转型的影响。在新型基础设施体系中,算力基础设施既是数据要素流通、算法模型落地的先决条件,也是串联网络、融合应用等其他新型基础设施的核心枢纽,其独特的"赋能底座"属性使其成为推动企业数字化转型不可或缺的关键环节。因此,深入剖析算力基础设施对企业数字化转型的影响,能更好地从"底层算力支撑"视角揭示新型基础设施赋能企业转型的内在逻辑,具有重要的理论补充价值和现实指导意义。

2.基础设施建设影响企业发展的理论分析

作为支撑地方经济社会发展的重要物质基础,基础设施不仅影响企业的交易成本,还影响企业市场机会的获得性。

基于交易成本视角,完善的基础设施能够降低企业的运营成本、库存成本和搜寻成本等。高效便捷的交通网络,如高速公路、铁路及港口,可以缩短原材料和产品的运输时间,加快企业产品的生产和销售,降低企业的库存成本,提高企业的生产力,从而促进企业发展(李涵和唐丽淼,2015)[28]。高效的交通网络还降低了单位产品的运输费用,压缩了产品的总成本,从而增强了产品在市场上的竞争力,具有比较优势的企业可以获得更多资源与市场,最终提高了生产率(刘冲等,2020)[29]。信息基础设施建设通过提供高速稳定的互联网和先进的通信技术,有助于企业在较短时间内搜集和处理分析信息,降低了企业的搜寻成本,使得企业能够精准捕捉到消费者的需求,从而提供满足消费者的多样化产品,促进企业发展(袁淳等,2023)[30]。信息基础设施还支持高效的在线会议,使得企业在任何时间和地点都能够即时传递消息,企业内部员工可以根据语音指令完成相应的工作任务,降低了企业的内部沟通成本,优化了企业的资源配置,促进了企业发展(殷赏等,2025)[31]。

基于市场机会获得性视角,良好的基础设施能够拓宽企业的市场覆盖范围,为企业带来更多的市场机会,扩大企业的市场规模,实现企业研发行为的规模经济,提高企业的生产率(张睿等,2018)[32]。交通基础设施的完善使得企业产品能够较为便捷地运往更偏远的地区,扩大企业产品的销售半径,增加企业的市场份额,促进企业的发展。高铁开通标志着基础设施水平的重大提升,可有效扩充城市的人流、物流和信息流规模,在此基础上,通过增加投资加快要素流动,既能产生

中国知网 https://www.cnki.net

预期收益、提高市场潜力、增加市场机会可能性,最终也能促进企业高速发展(诸竹君等,2019)[33]。信息基础设施的发展为企业开拓线上市场提供了可能。随着互联网的普及,企业通过搭建线上销售平台,利用社交媒体、电商平台等渠道进行产品推广,打破了地域限制,将产品推向全国乃至全球市场,获得了前所未有的市场机会。信息基础设施还降低了市场信息不对称,提高了企业的市场信息可得性,使得企业能够快速适应市场变化,提升企业对市场的响应速度和客户服务水平,增强企业竞争力,促进企业发展(沈坤荣等,2023)[34]。

交易成本与市场机会获得性视角已成为解析基础设施经济效应的核心分析框架,为理解基础设施如何作用于企业发展提供了坚实理论支撑,但是尚未将研究视野拓展至数字经济时代的算力基础设施,也没有系统运用交易成本与市场机会理论,解析算力基础设施影响企业数字化转型的作用机制。为此,本研究以交易成本与市场机会理论作为理论基础,构建算力基础设施影响企业数字化转型的分析框架,以期为理解新型基础设施的数字化赋能效应提供理论支撑,同时丰富交易成本理论与市场机会理论在数字经济领域的应用场景。

3.研究假设

在与数字经济相关的新型基础设施建设中,最重要的是算力基础设施建设(陈雨露,2023)[8]。算力基础设施是提供算力资源和服务的实体,已经成为新型基础设施的重要组成部分和数字经济时代不可或缺的关键基础设施,其为海量数据信息的集中处理和保存提供了必要的物理空间(高鹏等,2021)[35],涵盖数据中心、超级计算中心、智能计算中心以及边缘计算中心等。算力基础设施的强大计算能力使得企业能够有效地从海量数据中提取有价值的信息,支持基于数据的精准决策和智能化运营(米加宁等,2024)[36];算力基础设施的可扩展性和灵活性,为企业快速响应市场变化和客户需求提供了可能,企业可以根据业务需求,动态调整算力资源,实现资源的最优配置;算力基础设施通过提供充足的计算资源和服务,加速人工智能大模型的训练与迭代,使企业能够快速部署智能应用,如自动化客户服务、预测分析、智能供应链管理等。

算力基础设施通过降低数据成本影响企业数字化转型。传统模式下,企业的数据采集、存储、处理需要依赖大量物理服务器、硬件设备以及人工分析,不仅分析效率低下、精准度不高,还会导致数据价值转化成本居高不下。算力基础设施通过“高效计算能力+分布式架构”,从根本上降低企业数字化转型的数据成本。在数据采集环节,边缘计算节点可部署于生产车间、用户终端等场景,实现实时数据抓取与初步过滤,减少冗余数据传输量,降低数据采集的边际成本;在数据存储环节,云计算的分布式存储技术将数据分散存储于多个节点,可以通过动态资源调配实现存储资源按需使用,避免资源闲置浪费;在数据处理环节,算力集群可快速处理海量非结构化数据,通过深度学习算法挖掘数据潜在价值,显著降低数据价值转化成本(杨壮和吴福象,2025)[37]。基于交易成本理论,数据成本的降低本质上减少了企业在数字化转型中因数据要素配置低效而产生的交易摩擦,使企业更易突破“数据获取难、应用贵”的瓶颈,为数字化转型奠定数据基础。

算力基础设施通过降低协作成本赋能企业数字化转型。企业数字化转型并非由单一部门独立完成,而是需跨部门、跨主体协同推进。算力基础设施通过“云端协同平台+实时数据共享”,构建高效协作网络,显著降低协作成本。在企业内部,算力基础设施支撑的企业云平台,可整合生产、销售、研发等各部门数据,实现数据实时同步,无需人工反复沟通,减少内部协作的时间成本与人力成本(殷赏等,2025)[31];在企业外部,算力基础设施支持的供应链协同云平台可连接上下游企业,实现订单、库存、物流等信息的实时共享,避免库存积压或短缺,降低供应链的协调成本。从交易成本理论来看,协调成本的降低消除了企业数字化转型中跨主体信息不对称带来的交易障碍,提升了转型过程中的资源配置效率,推动数字化转型从“局部试点”走向“整体协同”。

中国知网　https://www.cnki.net

算力基础设施通过降低试错成本赋能企业数字化转型。企业数字化转型是“从0到1”的复杂探索过程，过程中产生的试错成本，会成为制约企业转型意愿的重要交易成本。算力基础设施通过大数据预测，为企业数字化转型提供“低成本试错工具”，有效降低试错成本。大数据算力可分析试点过程中的多维度数据，预测方案在不同场景下的落地效果，例如餐饮企业通过算力分析试点门店的线上订单数据，预判不同城市消费者的点餐习惯，提前调整线上菜单与配送方案，避免大规模推广时的方案反复调整。算力基础设施的快速迭代能力，使企业能够根据市场变化实时优化转型方案，及时调整数字化策略，缩短方案调整周期，降低时间延误成本。从交易成本理论出发，试错成本的降低减少了企业因转型不确定性产生的交易风险，增强了企业推进数字化转型的信心，从而促进了企业数字化转型。

算力基础设施通过需求洞察挖掘潜在市场机会，促进企业数字化转型。算力基础设施凭借海量数据处理与深度学习能力，为企业挖掘及时性、瞬态化市场机会提供核心支撑（王华和谭鑫语，2025）[38]。在数字化市场环境中，消费者需求呈现碎片化、动态化特征，传统技术架构难以实时捕捉此类需求背后的市场机会，而算力基础设施可通过分布式计算节点对多源异构数据进行毫秒级处理，快速识别需求波动规律，将原本难以捕捉的“潜在市场机会”转化为“可即时响应的显性机会”，显著提升市场机会可得性。企业基于这些市场机会将需求洞察转化为实际市场收益，主动推进生产、营销、客户管理等环节的数字化改造，最终实现数字化转型。从市场机会理论来看，算力带来的“市场机会响应效率提升”成为企业数字化转型的核心动因，推动企业从传统“经验驱动决策”向“数据驱动的数字化运营”转型，最终实现转型深化。

算力基础设施通过拓宽市场规模边界，降低客户集中度，促进企业数字化转型。算力基础设施凭借“弹性算力+全域覆盖”特性，打破传统限制，显著拓展数字市场规模边界。在业务体量支撑上，云计算的弹性算力可帮助企业动态调整计算资源，例如电商平台在“双十一”等大促期间，可通过算力扩容快速提升系统承载能力，支撑亿级用户同时访问与交易，避免因算力不足错失大规模交易机会；在地域覆盖上，边缘计算节点可下沉至三四线城市、农村地区，构建“云端+边缘”的算力网络，例如物流企业通过边缘节点实时采集偏远地区的物流信息，实现货物轨迹全程数字化追踪，将数字化物流服务覆盖至全国各区域，打破地域壁垒。从市场机会理论来看，数字市场规模边界的拓展为企业创造了“增量市场空间”，使企业在数字化转型中能够接触更多用户、开展更大体量业务（李向前等，2025）[39]，从而提升数字化转型的经济效益与市场竞争力。

基于上述分析，本文提出如下假设：

H_1：算力基础设施可以促进企业数字化转型。

三、研究设计

1.模型设定

为了识别并检验算力基础设施对企业数字化转型的影响，本文构建如下计量模型：

$$digital_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 comp_{jt} + \theta_1 X_{it} + \theta_2 X_{ct} + \delta_i + \varphi_j + \sigma_t + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

其中，$digital_{it}$为i企业在t年的数字化转型水平，是本文的被解释变量；$comp_{jt}$为j省份在t年的算力基础设施水平，是本文的核心解释变量。X_{it}为企业层面的一系列控制变量，X_{ct}为城市层面的一系列控制变量。i代表企业，j代表省份，c代表城市，t代表时间。δ_i为企业固定效应，用来控制企业层面不随时间变化的特征；φ_j为省份固定效应，用来控制地区层面不随时间变化的特征；σ_t为时间固定效应，用来控制全国层面随时间变化的特征。ε_{ijt}代表随机误差项。采用城市层面数据作为控制变量，主要有以下考量：其一，引入城市层面控制变量，可精准剥离城市维度的干扰因素，使省份层面核心解释变量的效应估计更贴近真实因果关系；其二，城市层面数据的变异度通常高于省份

中国知网 https://www.cnki.net

层面数据,更高的变异度能为控制变量提供更丰富的信息维度,避免因控制变量维度不足导致的模型拟合偏差。本文重点关注α_1的系数值大小,即算力基础设施是否促进了企业数字化转型。

2.变量设定

(1)解释变量:算力基础设施水平(*comp*)。算力基础设施是新型信息基础设施的重要组成部分,既有研究通常采用互联网普及率(Akerman等,2015)[40]、国家超级计算中心数量(王姣娥等,2023)[41]、IPv4地址数(伍先福等,2021)[42]等来表征信息基础设施水平。也有研究使用政府工作报告中涉及信息基础设施的相关词频统计来衡量信息基础设施水平(钞小静和薛志欣,2022)[43],还有研究使用"宽带中国"战略作为信息基础设施建设的代理指标(方福前等,2023)[44]。但上述指标都不能直接反映出算力基础设施建设水平以及算力基础设施规模。算力基础设施是集信息计算力、网络运载力、数据存储力于一体的新型基础设施,可实现信息的集中计算、存储、传输与应用,包括通用数据中心、智能计算中心、超级计算中心等,而各类数据中心的机架规模更能体现出算力基础设施建设水平。基于上述分析,本文使用各省份在用数据中心的在用机架数量(万架)作为算力基础设施的表征,并且,本文还使用大型数据中心和超大型数据中心数量以及算力基础设施行业规模作为算力基础设施的替代变量。其中,算力基础设施行业规模的测算主要借助于全国投入产出表,以及数字经济核心产业统计分类目录,识别出表征算力基础设施的行业,对行业的增加值进行加总,然后根据省份计算制造硬件和网络服务软件业务收入数据之和占全国数据的比值,最终核算出各省份的算力基础设施行业规模。

(2)被解释变量:企业数字化转型(*digital*)。基于技术视角,企业数字化转型主要是指企业利用大数据、云计算和人工智能等技术对重大业务流程进行改进,实现简化运营、增强客户体验或者创造新的商业模式(戚聿东和肖旭,2020)[45]。本文借鉴吴非等(2021)[46]的研究,聚焦底层技术运用和技术实践应用两个维度衡量企业数字化转型程度,其中,前者包括人工智能技术、云计算技术、大数据技术和区块链技术等46个关键词;后者包含移动支付、电子商务等34个关键词。本文采用文本分析法,从上市公司年报中提取与底层技术运用、数字技术运用等数字化转型的关键词,并计算这些关键词在公司年报中的词频,以此衡量企业数字化转型程度。具体来说,变量*digital*代表数字化转型关键词的词频次数。

(3)控制变量。本文添加了一系列控制变量(王海等,2023)[10],包含企业层面的控制变量和城市层面的控制变量。企业层面的控制变量主要有:企业年龄(*age*)、资本结构(*leverage*)、流动比率(*liquid*)、固定资产比率(*fixasset*)、资本密集度(*capinten*)、盈利能力(*roa*)、企业总资产(*ch*)、股权集中度(*ratio*)、董事长和总经理是否兼任(*dum*)。城市层面的控制变量主要有:经济发展水平(*agdp*)、产业结构水平(*stru*)和金融发展水平(*fin*)。

具体变量定义如表1所示。

表1　　变量定义

变量名称	变量符号	变量定义
企业数字化转型	*digital*	公司年报中数字化转型关键词词频数
算力基础设施	*comp*	在用数据中心的在用机架数量(万架)
企业年龄	*age*	样本所在年份-企业成立年份
资本结构	*leverge*	总负债/总资产
流动比率	*liquid*	流动资产/流动负债
固定资产比率	*fixasset*	固定资产/总资产
资本密集度	*capinten*	总资产/营业收入

中国知网　https://www.cnki.net

续表 1

变量名称	变量符号	变量定义
盈利能力	*roa*	净利润/总资产
企业总资产	*ch*	企业总资产的对数值
股权集中度	*ratio*	第一大股东持股比例
董事长和总经理是否兼任	*dum*	虚拟变量,1表示兼任,0表示不兼任
经济发展水平	*agdp*	城市的人均GDP对数
产业结构水平	*stru*	城市第二产业增加值/GDP
金融发展水平	*fin*	城市金融机构贷款额/GDP

3.数据来源和数据处理

在用数据中心的在用机架数量以及大型数据中心和超大型数据中心数量数据均来源于中国信息通信研究院发布的《全国数据中心应用发展指引》(2017—2020年),鉴于该指引仅披露省级层面的数据,本文解释变量的数据亦只能限定于省级层面。本文还使用了算力基础设施行业规模数据作为算力基础设施的替换变量,主要是根据算力基础设施行业分类(算力硬件制造、算力软件服务和算力网络技术),分行业计算其增加值,再将各行业增加值相加,即为算力基础设施行业规模。该数据来源于国家统计局公布的投入产出表、第四次经济普查数据以及中国研究数据服务平台(CNRDS),以2015年、2017年、2018年和2020年的投入产出表数据为基准,对投入产出表中的行业分类进行拆分整合成算力基础设施行业,拆分整合的过程主要是使用2018年经济普查数据中各分行业的营业收入数据,计算各个分行业营业收入的占比,然后再乘以投入产出表中拆分的各部门行业增加值,即得到全国层面的算力基础设施规模,接着对2016年和2019年的数据进行了插值法补充(其中2016年数据为2015年和2017年数据的平均值,2019年数据为2018年和2020年数据的平均值),最后基于省份计算制造硬件和网络服务软件业务收入数据之和占全国数据的比值,乘以全国层面的算力基础设施行业规模,计算得出各省的算力行业增加值,即各省份的算力基础设施行业规模。

企业数字化转型数据以2016—2020年沪深A股上市公司作为研究对象,数据来源于中国经济金融研究数据库(CSMAR),并对数据进行如下处理:剔除金融类企业、ST企业和研究期间退市的企业样本;删除不符合一般会计准则和关键变量存在缺失值的样本。控制变量数据中,微观企业层面的数据来源于中国经济金融研究数据库(CSMAR),中观城市层面的数据来源于历年的《中国城市统计年鉴》。

四、实证分析

1.描述性统计和相关系数分析

表2为主要变量的描述性统计结果。可以发现,当前企业数字化转型呈现出整体水平适中的特征,但是,企业数字化转型的标准差为73.197,表明企业间数字化转型的差异还比较大。基于数据可得性,算力基础设施选择的是省份在用数据中心的机架数量,平均值为16.458万架。最后对各变量进行的相关系数检验,发现企业数字化转型与算力基础设施的相关系数为0.123,并且,其他变量之间的相关系数均小于0.7,表明各个变量之间不存在严重的共线性问题①。上述结果表明,样本中企业数字化转型以及省份的算力基础设施特征比较鲜明,适合本文的后续研究。

① 因篇幅所限,皮尔逊相关系数矩阵正文略去,详见本刊网站登载扩展资料中的附录。

中国知网 https://www.cnki.net

表2　　主要变量的描述性统计

变量符号	变量名称	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
digital	企业数字化转型	14404	47.255	73.197	0	853
comp	算力基础设施	14404	16.458	12.529	0	43.2
age	企业年龄	14404	19.977	5.622	4	49
leverage	资本结构	14404	0.413	0.194	0.013	1.406
fixasset	固定资产比率	14404	0.201	0.155	0.0002	0.954
roa	盈利能力	14404	0.038	0.075	−1.057	0.542
ch	企业总资产	14404	11.148	1.406	4.601	17.284
liquid	流动比率	14404	2.398	2.321	0.106	36.795
capinten	资本密集度	14404	2.597	3.025	0.088	80.467
ratio	股权集中度	14404	33.701	14.62	2.87	89.09
dum	董事长和总经理是否兼任	14404	0.284	0.451	0	1
lnagdp	经济发展水平	14404	11.545	0.456	9.481	12.281
stru	产业结构水平	14404	0.387	0.103	0.147	0.730
fin	金融发展水平	14404	1.726	0.658	0.118	5.305

2.基准回归结果

本文主要考察并识别算力基础设施在多大程度上促进了企业数字化转型。表3列示了算力基础设施对企业数字化转型影响的估计结果。具体来看,第(1)列为不加入控制变量且不考虑任何固定效应的回归结果,该列数据显示,算力基础设施的系数显著为正,表明算力基础设施建设可以显著促进企业数字化转型。第(2)列是考虑了固定效应的回归结果。第(3)列进一步加入企业层面控制变量,但没有考虑任何固定效应。第(4)列为纳入企业层面控制变量,以及在加入企业、省份和年份固定效应之后的结果。第(5)列为纳入所有控制变量但不考虑固定效应的结果。第(6)列为纳入所有控制变量,以及在加入企业、省份和年份固定效应之后的结果,发现算力基础设施的系数为0.169,在1%的水平下显著为正,说明算力基础设施建设能够促进企业数字化转型。就经济显著性而言,以第(6)列为例,算力基础设施的机架数每增加1个标准差(12.529),企业的数字化转型水平将平均提升2.89%(12.529×0.169/73.197)。假设H_1初步得以验证。

表3　　算力基础设施对企业数字化转型的基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
comp	0.720***	0.166***	0.503***	0.151***	0.233***	0.169***
	(0.048)	(0.053)	(0.047)	(0.053)	(0.052)	(0.058)
age			−0.747***	−0.757*	−0.684***	−0.841**
			(0.095)	(0.411)	(0.095)	(0.409)
leverage			−51.757***	6.303	−52.283***	6.499
			(4.680)	(4.488)	(4.626)	(4.478)
fixasset			−108.691***	−6.503	−96.747***	−6.323
			(3.698)	(4.328)	(3.581)	(4.326)
roa			−63.107***	8.930*	−54.995***	8.969*
			(10.094)	(5.159)	(10.011)	(5.155)
ch			5.149***	2.255***	4.269***	2.226***
			(0.472)	(0.540)	(0.467)	(0.540)
liquid			−3.732***	−0.545***	−3.702***	−0.551***
			(0.279)	(0.172)	(0.279)	(0.172)

中国知网　https://www.cnki.net

续表 3

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
capinten			−1.198*** (0.138)	−0.473*** (0.110)	−1.413*** (0.152)	−0.478*** (0.111)
ratio			−0.641*** (0.039)	−0.257*** (0.070)	−0.684*** (0.039)	−0.263*** (0.069)
dum			1.911 (1.416)	1.747* (0.971)	2.018 (1.411)	1.756* (0.970)
lnagdp					9.771*** (1.314)	9.517*** (2.836)
stru					−50.659*** (7.923)	−13.558 (11.177)
fin					6.996*** (1.185)	2.380* (1.430)
常数项	35.406*** (0.865)	44.529*** (0.899)	75.251*** (5.057)	43.825*** (10.663)	−17.622 (14.296)	−63.121* (34.129)
企业/省份/年份固定效应	否	是	否	是	否	是
观测值	14404	14404	14404	14404	14404	14404
F 值	228.687	9.688	133.887	9.425	113.576	8.387
调整 R^2	0.015	0.886	0.103	0.887	0.121	0.887

注：*、**、***分别表示回归系数的估计值在 10%、5%、1% 的统计水平上显著；括号内为标准误。下同

从控制变量来看，企业年龄（*age*）对企业数字化转型的影响是负向的，可能是因为成立时间较长的企业往往具有一套成熟的生产操作流程，缺乏变革的动力，因此很难再去开展数字化转型。企业的盈利能力（*roa*）在 10% 的水平下促进了企业数字化转型，这是因为，企业盈利能力越强，越有足够的资金去投入数字化运营。企业资产（*ch*）在 1% 的水平下提升了企业数字化转型的动力，企业的资产越多，越能帮助企业在数字化转型时提供资金支持，降低转型的风险，最终促进企业数字化转型。流动比率（*liquid*）对企业数字化转型的影响是负向的，表明企业流动比率的提高可能会导致企业可用资金减少。资本密集度（*capinten*）过高抑制了企业数字化转型，资本密集度越高，表明企业承担的风险越大，企业越不愿意进行数字化转型。企业的股权集中度（*ratio*）对企业数字化转型的影响是负向的，表明第一大股权掌控人可能会倾向于维护自身利益，进而不利于企业数字化转型。董事长和总经理兼任（*dum*）对企业的数字化转型是有利的，说明董事长在做决策时，发挥了较大的作用，在数字化转型项目上，可以发挥绝对的优势，促进企业数字化转型。地区经济发展水平（*lnagdp*）和金融发展水平（*fin*）对企业数字化转型的影响是正向促进的。经济发达的地区也是金融发展比较完善的地区，这些地区在数字经济发展等方面具有明显的优势，这将显著提升企业数字化转型。此外，资本结构（*leverage*）、固定资产比例（*fixasset*）和地区产业结构水平（*stru*）对企业数字化转型的影响在 10% 的水平下不显著。

3. 稳健性检验

（1）替换解释变量和被解释变量的检验。本文进一步借鉴赵宸宇（2021）[47]测度企业数字化转型的思路，对上市公司年报中出现的数字化相关词频进行统计，构建出一个新的企业数字化转型指标，稳健性检验结果如表 4 的第（1）列所示。可以发现，在更换被解释变量之后，算力基础设施对企业数字化转型的影响依然是正向的。接着，本文更换了解释变量，其一是采用各省份的算力基础设施行业规模作为算力基础设施的替代指标，结果如第（2）列所示，算力基础设施行业规模提升

中国知网 https://www.cnki.net

了企业数字化转型动力,结果依然是稳健的。其二是采用《全国数据中心应用发展指引》公布的各省份超大型和大型数据中心数量替代数据中心机架数,结果如第(3)列所示,超大型和大数据中心数量对企业数字化转型的影响系数为0.219,也在1%的水平下显著为正。其三是采用根据工业和信息化部于2021年发布的《国家新型数据中心典型案例名单》,将公布名单中的大型数据中心作为算力基础设施的典型代表,手工查找并核对每个数据中心的地址和经纬度信息,利用Arcgis软件测算每个上市公司到最邻近数据中心的地理空间距离,然后检验上市公司到数据中心的距离对企业数字化转型的影响。可以发现,企业与数据中心的距离越远,企业的数字化转型程度就越弱。表明上市公司对算力的需求需要物理距离比较近来实现,距离越近,企业更容易实现数字化转型。最后,本文分别采用更换的解释变量和被解释变量重新进行实证回归,发现无论是如何更改解释变量和被解释变量,算力基础设施建设都正向促进了企业数字化转型。

表4　　更换解释变量和被解释变量的稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
comp	0.089***					
	(0.031)					
comp1		0.847**			0.355*	
		(0.403)			(0.216)	
comp2			0.218***			0.158***
			(0.068)			(0.040)
dist				−0.519***		
				(0.116)		
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	−14.299	−62.425*	−95.922**	105.308***	−14.403	−27.175
	(16.697)	(34.208)	(46.505)	(12.484)	(16.779)	(20.170)
企业/省份/年份固定效应	是	是	是	否	是	是
观测值	14409	14404	11461	2943	14404	11461
F值	3.939	8.183	5.668	27.499	3.595	3.924
调整R^2	0.871	0.887	0.900	0.096	0.871	0.874

(2)更改样本的稳健性检验。考虑到本文的数据是非平衡面板数据,有些企业涉及的时间要么是五年,要么是四年,本文进一步将涉及四年的省份删除掉,只保留涉及五年的企业样本,即使用平衡面板数据检验算力基础设施对企业数字化转型效应的影响,结果如表5所示,发现算力基础设施对企业数字化转型的影响都是正向促进的。接着,本文在原有样本的基础上,剔除掉了北京市、上海市、天津市和重庆市四个直辖市的样本,如第(2)列的结果显示,算力基础设施影响企业数字化转型的回归系数为0.156,在5%的水平下显著为正。最后,本文在剔除直辖市的基础上,进一步剔除了深圳市和杭州市的样本,重新检验算力基础设施在多大程度上促进了企业数字化转型,可以发现,算力基础设施影响企业数字化转型的回归系数为0.117,在10%的水平下显著为正。上述结果表明,算力基础设施促进企业数字化转型的回归系数与基准回归结果一致,再次验证了本文结论的稳健性。

表5　　不同样本的稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)
	平衡面板数据	剔除直辖市	剔除杭州市和深圳市
comp	0.187***	0.156**	0.117*
	(0.061)	(0.061)	(0.061)

中国知网　https://www.cnki.net

续表 5

变量	(1)	(2)	(3)
	平衡面板数据	剔除直辖市	剔除杭州市和深圳市
控制变量	控制	控制	控制
常数项	−63.248* (36.455)	−52.030** (34.731)	−41.534* (37.050)
企业/省份/年份固定效应	是	是	是
观测值	12440	11511	9787
F 值	8.118	6.151	5.787
调整 R^2	0.889	0.881	0.879

4.内生性问题

前文的结果表明,算力基础设施促进企业数字化转型的效果非常明显,但是,这一结果仍然可能存在以下内生性问题:其一为遗漏变量引发的内生性问题;其二为变量测度误差带来的内生性问题;其三为反向因果关系引发的内生性问题。为排除内生性问题对回归结果的干扰,本文采取了如下处理措施。

(1)剔除宏观经济因素的影响。参考既有文献的做法(祝树金等,2023)[48],本文进一步控制了企业所在省份的经济层面变量,具体为市场化程度和对外开放程度。其中,市场化程度用市场化指数度量,对外开放程度采用各省份实际使用外商投资额占 GDP 的比重表征,将市场化程度和对外开放程度变量纳入模型之后的回归结果如表 6 第(1)列所示,算力基础设施影响企业数字化转型的系数仍然保持正向显著性。

表 6　　内生性分析结果

变量	(1)	(2)
	控制地区变量	PSM 法
comp	0.258*** (0.063)	0.228** (0.090)
控制变量	控制	控制
常数项	−31.694 (34.099)	−108.089** (54.172)
企业/省份/年份固定效应	是	是
观测值	14404	10306
F 值	8.196	6.463
调整 R^2	0.887	0.873

(2)采用 PSM 法进行分析。为了排除样本选择导致的内生性问题,本文进一步借鉴祝树金等(2023)[48]的研究,采用 PSM 方法进行处理,以企业数字化转型词频平均数作为分组的依据,将高于 50% 数字化平均词频的企业为实验组,其他为控制组,根据企业特征变量进行 1∶1 近邻匹配,并且选取的协变量包括企业年龄、资本结构、流动比率、固定资产比率、资本密集度、盈利能力、企业总资产、股权集中度、董事长和总经理是否兼任。将匹配后的样本重新回归,发现算力基础设施对企业数字化转型的影响仍然是显著为正的。

(3)工具变量法。本文进一步使用各省份质心到“八纵八横”光缆骨干城市的最小距离以及地形起伏度构建工具变量来解决可能存在的内生性问题(方福前等,2023[44];闫晓娜,2025[49])。在工具变量与解释变量的相关性上,一方面,“八纵八横”光缆干线网络从根本上改变了我国通信干线紧张的局面,而且为后期的算力基础设施建设提供了通信保障,而距离“八纵八横”光缆骨干城市

中国知网 https://www.cnki.net

的距离越大,可能对算力基础设施的运营效率越低,距离越近,对算力基础设施的运营效率越高;另一方面,由于各地区的地形起伏度存在差异,而地形起伏度越大的地区,建设数据中心等算力基础设施的成本也越大,因此,在地形起伏度大的地区,建设算力基础设施的可能性就比较小。在工具变量的外生性要求上,“八纵八横”光缆干线工程相当于基础设施发展的早期历史数据,对如今企业数字化转型的影响不明显。另外,地形起伏度主要反映区域内最高点与最低点的海拔差异,即二者之间的差值,相当于地理特征的变量,也与企业数字化转型之间几乎不存在任何关系。因此,依据计量经济学的核心理论与工具变量选取原则,可以推断,本文所选的两个工具变量具有较好的合理性。同时,考虑到距离和地形起伏度数据是不随时间变化的,参考上述文献,将距离与地形起伏度数据分别与上一年度互联网用户数进行交乘,以此作为算力基础设施的工具变量。表7的结果显示,工具变量与算力基础设施之间的关系存在显著的负相关关系,并且F检验、弱工具变量检验等的结果也从数值上证实了工具变量选择的合理性。进一步,算力基础设施变量对企业数字化转型的影响依然是正向促进的,即算力基础设施促进了企业数字化转型,这也证实了本文基准回归结果的稳健性。

表7　　基于工具变量的检验结果

变量	(1)	(2)
	comp	*digital*
*IV*1	−0.0001*** (0.000)	
*IV*2	−0.007*** (0.001)	
comp_IV		0.993** (0.502)
控制变量	控制	控制
企业/省份/年份固定效应	是	是
观测值	14404	14404

注:F检验的统计量为111.29,弱工具识别检验的Cragg-Donald Wald F统计量为86.468,识别不足的Kleibergen-Paap rk LM检验的统计量为257.22,过分识别检验的p值为0.196

5.机制分析

根据交易成本理论的机制分析表明,地区算力基础设施降低企业数据成本、协作成本以及试错成本,进而促进了企业数字化转型。虽然既有文献中阐述了这一理论机制,但是,在现实中能否通过实证检验需要进一步论证。为此,本文对上述理论机制开展进一步检验。本文参考已有文献(闫晓娜,2025)[49],采用两步法检验算力基础设施影响企业数字化转型的机制,先由企业的成本对算力基础设施建设水平做回归,再由企业数字化转型对企业成本做回归。

鉴于企业的数据成本、协作成本以及试错成本难以用现有数据衡量,本文以企业成本替代上述数据、协作和试错成本,主要使用两个指标衡量交易成本:一是选用营业成本与财务费用之和占总资产的比值表征;二是选用销售费用、管理费用以及财务费用之和占总资产的比值衡量,具体的回归结果如表8所示。根据第(1)列和第(2)列,算力基础设施对企业交易成本的影响显著为负,即算力基础设施为企业提供了强大的数据处理和分析能力,有效降低了企业购买服务器的费用支出,使其能够更快速地验证创新方案的可行性,并且能够提升与合作伙伴之间的数据传输和协作效率,降低了数据成本、协作成本以及试错成本,即降低了企业的交易成本。根据第(3)列和第(4)列,企业交易成本对企业数字化转型的影响是显著为负,说明企业交易成本下降会提升其数字化转型的意愿与可行性,成本降低能减少转型的资金压力,同时让企业更易看到转型带来的收益,进

中国知网　https://www.cnki.net

而更主动地推进数字化转型。由此可见，算力基础设施建设会降低企业的交易成本进而促进企业数字化转型。

表 8　　交易成本机制分析

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	cost	*cost*1	*digital*	*digital*
comp	−0.069* (0.037)	−0.029*** (0.007)		
cost			−0.016 (0.015)	
cost1				−0.350*** (0.104)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	81.469 (61.916)	27.191*** (4.459)	−65.523* (34.211)	−58.026* (34.725)
企业/省份/年份固定效应	是	是	是	是
观测值	14403	14157	14403	14157
F 值	8.616	16.710	8.088	8.786
调整 R^2	0.888	0.845	0.887	0.887

根据市场机会理论的机制分析表明，地区算力基础设施通过需求洞察挖掘潜在市场机会，拓宽市场规模边界，进而促进了企业数字化转型。本文同样采用两步法对上述理论机制开展进一步检验。企业市场机会难以用现有数据衡量，本文用两个指标侧面衡量企业的市场机会：一是使用企业的勒纳指数侧面反映企业市场机会的获取与变现能力，即企业市场机会响应效率；二是选取企业的营业利润率反映企业机会的变现成效与市场规模边界的拓展程度，即企业营业利润与营业收入的比值。具体的回归结果如表 9 所示。根据第(1)列，算力基础设施对企业勒纳指数的影响显著为正，即算力基础设施帮助企业更高效地捕捉潜在市场机会，提升企业对市场机会的响应效率，让企业在动态市场中快速兑现机会价值，进而强化市场实力；根据第(2)列，算力基础设施对企业营业利润率的的影响显著为正，说明算力基础设施帮助企业捕捉增长市场机会，助力企业拓展市场规模边界，推动核心经营效益提升。进一步，本文检验了企业勒纳指数以及营业利润率对企业数字化转型的影响，发现企业勒纳指数以及营业利润率都显著促进了企业数字化转型。上述结果表明，企业通过市场机会变现形成的定价权与市场势力，为数字化转型提供了充足资金支持与风险缓冲；企业的核心经营效益提升会进一步激励其加大生产、营销等环节的数字化投入，推动转型深化。由此可见，算力基础设施建设会增加企业获得潜在的市场机会进而促进企业数字化转型。

表 9　　市场机会可得性机制分析

变量	(1)	(2)	(5)	(6)
	opportunity	*opportunity*1	*digital*	*digital*
comp	0.001*** (0.000)	0.001** (0.000)		
opportunity			8.795** (3.443)	
opportunity1				2.598*** (0.793)
控制变量	控制	控制	控制	控制

中国知网 https://www.cnki.net

续表9

变量	(1)	(2)	(5)	(6)
	opportunity	*opportunity*1	*digital*	*digital*
常数项	0.063 (0.134)	−0.348** (0.167)	−67.256** (34.225)	−84.441** (36.542)
企业/省份/年份固定效应	是	是	是	是
观测值	14404	12996	14404	12996
F值	22.835	21.445	8.326	7.063
调整R^2	0.629	0.610	0.887	0.889

五、进一步分析

1.异质性分析

本文的基准回归结果表明,算力基础设施建设会加快企业数字化变革,从而促进企业数字化转型。然后,由于企业所处区域及行业的差异以及企业自身的规模大小等不同,算力基础设施对企业数字化转型的影响作用可能具有较大的异质性。因此,有必要结合企业自身的特征、行业特征以及区域特征展开异质性研究。本文结合算力基础设施与企业数字化的特性,分别从区域算力异质性、行业数字化与行业技术密集化程度以及企业数字化与企业规模的角度进行异质性检验。

(1)区域算力发展异质性。本文从企业所在的区域是否为大数据综合试验区以及企业所在区域的算力发展水平两个角度分析算力基础设施影响企业数字化转型的作用效果。数字经济时代,数据已经成为一种重要的新型生产要素,对经济发展的重要性日益凸显。国家自2016年起批复成立了八个大数据综合试验区,大数据综合试验区的数据量较大,可能对算力的需求也更大;而在其他地区,数据量可能相对较少,对算力的需求也少。基于此,本文将样本划分为大数据综合试验区样本和其他地区样本两组,然后按照城市算力企业数量平均值将样本划分为算力发展水平高城市样本和算力发展水平低城市样本,分别检验算力基础设施对企业数字化转型的影响。表10列示了区域异质性分析结果,第(1)列和第(2)列为企业所在的区域是否为大数据综合试验区的结果,可以发现,算力基础设施对大数据综合试验区中企业数字化转型的影响系数显著为正,对其他地区企业数字化转型的影响系数也为正,但是,系数值相对于大数据综合试验区的系数值小,且二者在5%水平下存在显著差异。可能的原因是,大数据综合试验区的数据量比较丰裕,对数据处理的需求更为迫切,算力基础设施对这些地区的企业数字化转型促进效应更强。第(3)列和第(4)列为基于城市算力发展水平的异质性分析结果,在算力发展水平低的城市样本中,算力基础设施的回归系数为0.168,相较于算力发展水平高城市样本的系数小,并且,二者的组间系数差异也通过了1%的检验。表明在算力发展水平高的城市,企业更倾向于推进数字化转型。

表10　　异质性检验:区域视角

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	大数据综合试验区	其他地区	算力发展水平高城市	算力发展水平低城市
comp	0.276*** (0.098)	0.144** (0.072)	0.360* (0.201)	0.168*** (0.060)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	−70.348 (86.558)	−79.390* (42.039)	−201.738 (181.474)	−64.265* (35.937)

中国知网　https://www.cnki.net

续表 10

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	大数据综合试验区	其他地区	算力发展水平高城市	算力发展水平低城市
企业/省份/年份固定效应	是	是	是	是
组间系数差异检验	P 值=0.020		P 值=0.000	
观测值	5924	8467	4591	9798
F 值	5.124	5.534	4.372	6.018
调整 R^2	0.897	0.871	0.892	0.878

(2)行业数字化程度和技术密集度的异质性。我国数字经济已经全面进入发展阶段,但是,不同行业的数字化转型程度存在差异,尤其是算力带动的行业数字化转型存在差异。因此,本文借鉴《中国算力发展白皮书(2023)》,将互联网行业、电信行业、服务业、部分制造业等划分为数字化程度较高的行业,将其他行业划分为数字化程度较低的行业。此外,不同行业由于投入要素的差异,对数字技术的需求程度也存在差异。如纺织业、农业等以劳动要素投入为主的行业,对数字技术需求较低,而电子、芯片等行业对数字技术的需求程度较高。本文进一步将所有样本的企业划分为行业技术密集度较高的企业以及行业技术密集度较低的企业。表 11 列示了基于行业数字化程度和技术密集度的异质性分析结果。根据第(1)列和第(2)列,算力基础设施对企业数字化转型存在正向促进作用,但是,数字化程度较高组中的算力基础设施系数大于数字化程度较低组中的算力基础设施系数,且二者在 1% 水平下存在显著差异。这是因为,当行业整体的数字化转型程度较高时,行业内部的企业可以互相借鉴数字化转型经验,一方面,可以降低企业数字化转型的不确定性风险;另一方面,也对自身的数字化转型具有较高的借鉴价值。根据第(3)列和第(4)列,算力基础设施对技术密集度较高行业的企业数字化转型以及对技术密集度较低行业的企业数字化转型均存在正向促进效应,但是,对技术密集度较高企业数字化转型的促进效应更大。可能的原因是,技术密集度较高行业更需要算力基础设施的支持,尤其是大量数据的训练、芯片的研发等,算力基础设施建设水平越高,技术密集型企业的数字化转型程度更大。而技术密集度较低行业的企业对算力应用的需求较弱,因而算力基础设施对这些企业数字化转型的影响相对较小。

表 11　　异质性检验:行业视角

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	数字化水平低	数字化水平高	技术密集度低	技术密集度高
comp	0.100** (0.050)	0.481** (0.214)	0.117** (0.058)	0.283* (0.146)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	13.086 (28.395)	−419.835*** (159.997)	−3.457 (30.898)	−257.198*** (95.810)
企业/省份/年份固定效应	是	是	是	是
组间系数差异检验	P 值=0.000		P 值=0.000	
观测值	10841	3540	9914	4458
F 值	6.255	5.800	6.983	4.198
调整 R^2	0.844	0.882	0.867	0.889

中国知网 https://www.cnki.net

(3)企业数字基础的异质性。企业初始数字化水平不同,意味着企业数字化转型的起点、基础资源储备及转型需求存在差异,而算力基础设施对企业数字化转型的影响效果可能因"起点差距"分化。另外,企业规模直接决定资源整合能力与转型风险承受力,大小型企业在算力基础设施影响企业数字化转型的效果中可能存在差异,因此,本文从企业初始数字化水平和企业规模两个角度分析算力基础设施影响企业数字化转型的异质性效果。一方面,按照数字化水平的均值将样本划分为高数字化水平企业和低数字化水平企业;另一方面,使用企业营业收入的平均值作为企业规模大小的度量指标,将企业营业收入均值大于中位数的样本划分为大规模企业,将企业营业收入均值小于中位数的样本划分为小规模企业。表12列示了基于数字基础实力的异质性分析结果。根据第(1)列和第(2)列,算力基础设施对初始数字化水平较高的企业进行数字化升级具有显著的促进作用,但是,对于数字化水平较低的企业影响不显著。可能的原因是,数字化水平较高的企业在人才培养与核心技术方面更具有优势,算力基础设施建设能更好地持续提高企业数字化水平,促进企业数字化转型。根据第(3)列和第(4)列,与大规模企业相比,算力基础设施建设更有利于小规模企业实现数字化转型。可能的解释是,大规模企业有足够的资金去购买服务器并自建数据中心,而小规模企业由于缺乏相应的资金支持,只能通过租用数据中心的方式,购买数据中心提供的算力服务,去推动企业的数字化转型。

表12　　异质性检验:企业视角

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	企业数字化程度低	企业数字化程度高	规模小	规模大
comp	−0.024 (0.018)	0.324*** (0.123)	0.153** (0.063)	0.232 (0.162)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	0.769 (12.630)	−198.560** (81.481)	−52.227 (36.242)	−237.483** (101.233)
企业/省份/年份固定效应	是	是	是	是
组间系数差异检验	P值=0.000		P值=0.000	
观测值	7219	7185	12374	2030
F值	5.177	6.628	7.445	2.224
调整R^2	0.515	0.862	0.889	0.875

2.经济后果检验

企业推进数字化转型的核心目标在于应对复杂多变的市场态势,通过增强自身竞争优势实现可持续发展。那么,算力基础设施促进企业数字化转型会产生怎样的经济后果?基于此,本文参考现有文献(甄红线等,2023)[50],构建一个包含企业经济效果、企业数字化转型以及算力基础设施的计量模型:

$$Q_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 digital_{it} \times comp_{jt} + \alpha_2 digital_{it} + \alpha_3 comp_{jt} + \theta_1 X_{it} + \theta_2 X_{ct} + \delta_i + \varphi_j + \sigma_t + \varepsilon_{ijt} \quad (2)$$

在模型(2)中,被解释变量为企业价值,本文采用企业的TobinQ值衡量企业价值,解释变量为企业数字化转型和算力基础设施的交乘项,在此基础上,还同时加入了企业数字化转型和算力基础设施以及模型(1)中的控制变量共同作为模型(2)的控制变量,在模型(2)中,主要关注的是交乘项的系数。

中国知网　https://www.cnki.net

模型(2)的回归结果如表13所示。可以发现,企业数字化转型与算力基础设施交乘项的系数在10%的统计水平下显著为正,说明当企业在推进数字化转型的同时,配套建设应用算力基础设施,企业盈利能力、抗风险能力以及成长潜力会随之增强,最终提升了企业价值。

表13 经济效果检验

变量	(1)	(2)
digital×comp	0.002* (0.001)	0.003* (0.001)
digital	−0.071 (0.046)	−0.076 (0.047)
comp	−0.046 (0.234)	−0.150 (0.242)
控制变量	不控制	控制
常数项	199.933*** (4.420)	128.651 (240.630)
企业/省份/年份固定效应	是	是
观测值	14399	14399
F值	1.150	5.353
调整R^2	0.575	0.578

六、结论和建议

1.研究结论

算力基础设施是集信息计算力、网络运载力和数据存储力于一体的新型基础设施,主要向全社会提供算力服务,支持企业数字化转型,促进数字经济高质量发展。本文利用中国省级层面数据,并结合上市公司微观企业数据,实证研究了算力基础设施对企业数字化转型的影响效应和作用机制。研究发现,算力基础设施建设能够促进企业数字化转型,降低市场交易成本以及扩张潜在市场机会是算力基础设施建设促进企业数字化转型的理论机制。在大数据综合试验区以及算力发展水平较高的地区,算力基础设施更能促进企业数字化转型;行业数字化水平较高以及行业技术密集度较高,算力基础设施对企业数字化转型的促进效应更大;在初始数字化水平较高以及小规模企业,算力基础设施对企业数字化转型的促进效应更强。当算力基础设施有效支撑企业数字化转型时,企业的盈利能力、抗风险能力以及成长潜力会随之增强,从而提升了企业价值。

2.政策启示

本文的研究结论可为深入了解和评估算力基础设施的经济效应,从供需两端制定优化算力基础设施的布局,以及推进企业数字化转型提供有益政策启示。

(1)逐步推进算力基础设施建设,着力提升算力设施利用效率,发挥算力基础设施的赋能效应。首先,坚持需求导向,目前对算力需求最多的行业还是互联网行业等,其他行业的数字化转型程度还较低,需要进一步释放工业、医疗行业、交通行业、金融行业等对算力应用的需求潜力,鼓励这些行业的企业租用数据中心提供的算力服务,较多参与数字化进程。其次,政府应根据企业规模和数字化水平制定差异化扶持政策,可以提供更多的财政补贴、税收减免等激励措施,降低采用使用算力基础设施的门槛;还可以设立专项基金支持企业进行技术改造和人才培训,提高其利用算力资源的能力。最后,发挥区域的比较优势,加快推进“东数西算”工程,加强行业算力建设布

中国知网 https://www.cnki.net

局,促进东西部协同联动,同时,激发边缘算力、智能算力等场景的应用创新活力,支撑传统行业数字化转型,推动算力与实体经济深度融合发展。

(2)构建政策体系,从成本减负与机会赋能双维度充分释放算力基础设施促进企业数字化转型的效能。一方面,政府可牵头搭建区域性公共算力服务平台,整合分散的算力资源并以普惠性价格向企业开放,并将"算力券"政策升级为全国性普惠制度,建立中央与地方分级补贴机制:对制造业、农业等重点行业企业给予高额补贴,对中小微企业给予算力使用补贴或阶梯定价优惠,减少企业单独购置、维护算力设备的固定成本与运营成本;同时,推动公共算力平台与产业链上下游企业的数据对接,建立标准化的数据共享与交互机制,降低企业间数据流通的协议协商成本、信息验证成本,破解"数据孤岛"导致的交易效率低下问题。另一方面,为助力企业借助算力捕捉市场机会,可依托大数据综合试验区、算力枢纽节点等载体,搭建算力驱动的市场需求对接平台,通过算力对海量市场数据的实时分析与精准挖掘,为企业提供细分领域需求预测、潜在客户画像、新兴业态趋势等信息服务。

3.研究展望

本文考察了算力基础设施对企业数字化转型的影响,虽然取得了一些有意义的研究结论,但研究过程中仍存在一定局限性,这些不足需通过后续的相关研究进一步补充与完善。一是进一步拓展算力基础设施的数据,采用更精确的方法测度算力基础设施建设水平,深入探究算力基础设施对企业数字化转型的作用机理。二是对算力基础设施分类,考察不同类型算力基础设施的赋能作用,深入探究不同类型算力基础设施对企业数字化转型的作用边界条件。

参考文献

[1]Anthony,J.B.Managing Digital Transformation of Smart Cities through Enterprise Architecture-A Review and Research Agenda[J].Enterprise Information Systems,2021,15,(3):299-331.

[2]何帆,刘红霞.数字经济视角下实体企业数字化变革的业绩提升效应评估[J].重庆:改革,2019,(4):137-148.

[3]Nambisan,S.Digital Entrepreneurship:Toward a Digital Technology Perspective of Entrepreneurship[J].Entrepreneurship Theory and Practice,2017,41,(6):1029-1055.

[4]许为宾,唐青舟,李欢.知识产权保护与企业数字化转型——基于知识产权示范城市的准自然实验[J].北京:科研管理,2023,(10):53-61.

[5]张军,高远,傅勇,张弘.中国为什么拥有了良好的基础设施?[J].北京:经济研究,2007,(3):4-19.

[6]何晓萍.基础设施的经济增长效应与能耗效应——以电网为例[J].北京:经济学(季刊),2014,(4):1513-1532.

[7]黄群慧.以新型基础设施建设促进经济高质量发展[J].北京:中国党政干部论坛,2020,(11):28-31.

[8]陈雨露.数字经济与实体经济融合发展的理论探索[J].北京:经济研究,2023,(9):22-30.

[9]毛宁,孙伟增,杨运杰,刘哲.交通基础设施建设与企业数字化转型——以中国高速铁路为例的实证研究[J].北京:数量经济技术经济研究,2022,(10):47-67.

[10]王海,闫卓毓,郭冠宇,尹俊雅.数字基础设施政策与企业数字化转型:"赋能"还是"负能"?[J].北京:数量经济技术经济研究,2023,(5):5-23.

[11]孙伟增,毛宁,兰峰,王立.政策赋能、数字生态与企业数字化转型——基于国家大数据综合试验区的准自然实验[J].北京:中国工业经济,2023,(9):117-135.

[12]黄奇帆.数字经济时代,算力是国家与国家之间竞争的核心竞争力[J].北京:中国经济周刊,2020,(21):106-109.

[13]李平,邓洲,张艳芳.新科技革命和产业变革下全球算力竞争格局及中国对策[J].长春:经济纵横,2021,(4):33-42,2.

[14]肖静华.企业跨体系数字化转型与管理适应性变革[J].重庆:改革,2020,(4):37-49.

[15]Vial,G.Understanding Digital Transformation:A Review and a Research Agenda[J].Journal of Strategic Information Systems,2019,28:118-144.

[16]吴江,陈婷,龚艺巍,杨亚璇.企业数字化转型理论框架和研究展望[J].武汉:管理学报,2021,(12):1871-1880.

[17]马鸿佳,林樾,苏中锋,王亚婧.人工智能可供性、智能制造平台价值共创与制造企业数字化转型绩效[J].北京:中国工业经济,2024,(6):155-173.

中国知网　https://www.cnki.net

[18]Garzoni, A., and I.De Turi.Fostering Digital Transformation of SEMs: A Four Levels Approach[J].Management Decision, 2020, 28,(8):118-144.

[19]裴璇,刘宇,王稳华.企业数字化转型:驱动因素、经济效应与策略选择[J].重庆:改革,2023,(5):124-137.

[20]AlNuaimi, B.K., K.S.Sanjay, and R.Shuang, et al.Mastering Digital Transformation: The Nexus between Leadership, Agility, and Digital Strategy[J].Journal of Business Research, 2022, 145:118-144.

[21]吴非,常曦,任晓怡.政府驱动型创新:财政科技支出与企业数字化转型[J].北京:财政研究,2021,(1):102-115.

[22]李剑培,韦东明,顾乃华.政府引导、政策赋能与企业数字化转型[J].北京:数量经济技术经济研究,2024,(11):155-176.

[23]伦晓波,刘颜.数字政府与企业数字化转型:通向数字中国之路[J].北京:经济管理,2024,(8):5-25.

[24]王腾宇,侯晓辉.高质量发展的"助推器":风险投资与企业数字化转型[J].北京:经济学动态,2025,(1):42-60.

[25]金凤君.基础设施与人类生存环境之关系研究[J].北京:地理科学进展,2001,(3):275-284.

[26]盛磊,杨白冰.新型基础设施建设的投融资模式与路径探索[J].重庆:改革,2020,(5):49-57.

[27]周嘉,马世龙.从赋能到使能:新基建驱动下的工业企业数字化转型[J].西安交通大学学报(社会科学版),2022,(3):20-30.

[28]李涵,唐丽淼.交通基础设施投资、空间溢出效应与企业库存[J].北京:管理世界,2015,(4):126-136.

[29]刘冲,吴群锋,刘青.交通基础设施、市场可达性与企业生产率——基于竞争和资源配置的视角[J].北京:经济研究,2020,(7):140-158.

[30]袁淳,从圆匀,耿春晓.信息基础设施建设与企业专业化分工——基于国家智慧城市建设的自然实验[J].上海:财经研究,2023,(6):34-48.

[31]殷赏,陈强远,孙久文.数字基础设施、信息传递与资本空间配置[J].重庆:改革,2025,(2):88-104.

[32]张睿,张勋,戴若尘.基础设施与企业生产率:市场扩张与外资竞争的视角[J].北京:管理世界,2018,(1):88-102.

[33]诸竹君,黄先海,王煌.交通基础设施改善促进了企业创新吗? ——基于高铁开通的准自然实验[J].北京:金融研究,2019,(11):153-169.

[34]沈坤荣,林剑威,傅元海.网络基础设施建设、信息可得性与企业创新边界[J].北京:中国工业经济,2023,(1):57-75.

[35]高鹏,李玮,唐利莉,李俊晓.新基建风潮下的全国数据中心算力布局规划研究[J].北京:电信工程技术与标准化,2021,(8):2-5.

[36]米加宁,李大宇,董昌其.算力驱动的新质生产力:本质特征、基础逻辑与国家治理现代化[J].哈尔滨:公共管理学报,2024,(2):1-14,170.

[37]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].成都:经济学家,2025,(1):56-65.

[38]王华,谭鑫语.筑算促新:算力基础设施投入与企业新质生产力[J].北京:中央财经大学学报,2025,(4):5-23.

[39]李向前,朱晓满,王伊攀.制度型开放与企业数字化转型——基于跨境电商综合试验区的经验证据[J].北京:国际金融研究,2025,(1):87-96.

[40] Akerman, A., I. Gaarder, and M. Mogstad. The Skill Complementarity of Broadband Internet [J]. The Quarterly Journal of Economics, 2015, 130, (4): 1781-1824.

[41]王姣娥,杜方叶,肖凡.新型基础设施的空间布局模式研究——以大型数据中心为例[J].北京:地理学报,2023,(2):259-272.

[42]伍先福,黄骁,钟鹏.新型基础设施建设与战略性新兴产业耦合协调发展测度及其耦合机制[J].长春:地理科学,2021,(11):1969-1979.

[43]钞小静,薛志欣.新型信息基础设施对中国企业升级的影响[J].南昌:当代财经,2022,(1):16-28.

[44]方福前,田鸽,张勋.数字基础设施与代际收入向上流动性——基于"宽带中国"战略的准自然实验[J].北京:经济研究,2023,(5):79-97.

[45]戚聿东,肖旭.数字经济时代的企业管理变革[J].北京:管理世界,2020,(6):135-152,250.

[46]吴非,胡慧芷,林慧妍,任晓怡.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].北京:管理世界,2021,(7):130-144,10.

[47]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].北京:财贸经济,2021,(7):114-129.

[48]祝树金,申志轩,文茜,段凡.经济政策不确定性与企业数字化战略:效应与机制[J].北京:数量经济技术经济研究,2023,(5):24-45.

[49]闫小娜.数字基础设施的企业创新效应——新质生产力的视角[J].北京:经济管理,2025,(8):40-58.

[50]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].北京:经济研究,2023,(11):62-79.

中国知网 https://www.cnki.net

Computing Infrastructure and Enterprise Digital Transformation

MAO Feng-fu[1], WEI Ya-fei[2], GAO Yu-chen[3]

(1.School of Economics, Zhejiang Gongshang University, Zhejiang, Hangzhou, 310018, China;
2.School of Economics and Trade, Henan University of Engineering, Henan, Zhengzhou, 451191, China;
3.Logistics and E-commerce College, Zhejiang Wanli University, Zhejiang, Ningbo, 315100, China)

Abstract: As the micro carrier of the deep integration of digital technology and the real economy, enterprises must accelerate the promotion of digital transformation. However, in reality, the degree of digital transformation of enterprises is not high. How to promote business growth and digital transformation is an urgent problem for enterprises to solve. Existing studies believe that changes in the external environment, fiscal and financial policies, and infrastructure construction are the key drivers of enterprises' digital transformation. Looking at the changes of "industrialization-digitalization", infrastructure is an important foundation and premise. Therefore, in-depth analysis of the relationship between infrastructure and enterprise digital transformation is of vital role and significance for enterprises to improve quality, reduce cost, increase efficiency and reduce savings, and realize the transformation of old and new driving forces.

The digital transformation of enterprises cannot be separated from the help of infrastructure construction, especially the infrastructure construction that provides computing power services. This paper takes the number of racks in data centers as a representation of computing infrastructure, combines it with micro enterprises, and uses the panel data of China's listed companies from 2016 to 2020 to empirically study the impact and mechanism of computing infrastructure on enterprise digital transformation, and preliminarily discusses the impact characteristics of financial support in addition to computing service support. The research finds that the construction of computing infrastructure stimulates the transformation motivation of enterprises and significantly promotes the digital transformation of enterprises. Mechanism analysis shows that computing infrastructure promotes enterprises' digital transformation mainly by reducing enterprises' transaction costs and increasing the availability of market opportunities for enterprises. The heterogeneity analysis found that computing infrastructure is conducive to promoting the digital transformation of enterprises with high digitalization levels and small-scale enterprises, and has a greater impact on enterprises in industries with high technological intensity and initial high levels of digitalization. In big data comprehensive pilot zones and regions with high computing development levels, the promotion effect of computing infrastructure on enterprise digital transformation is more significant. Further analysis shows that when computing infrastructure effectively supports enterprises' digital transformation, enterprises' profitability, risk resistance capacity, and growth potential will be enhanced accordingly, thus increasing enterprise value.

First, previous literature has mostly focused on government-driven infrastructure factors in studying enterprise digital transformation, such as the opening of high-speed railway stations, the broadband China strategy, digital infrastructure policies, and big data comprehensive pilot zones, while paying little attention to the impact of computing infrastructure on enterprise digital transformation. This paper argues that computing infrastructure construction is more driven by enterprises themselves, who invest and operate data centers based on market demand. Therefore, analyzing the impact of computing infrastructure on enterprise transformation from the perspective of data centers providing computing services enriches the infrastructure service motivation research on enterprise digital transformation and deepens understanding of the development of enterprise digital transformation. Second, existing literature mainly explores the types, characteristics, related cases, and economic growth effects of computing infrastructure from a qualitative perspective, lacks empirical verification, and thus its conclusions are not very convincing. This paper attempts to measure computing infrastructure using the number of data center racks and empirically evaluates the economic effects of computing infrastructure construction on micro-level entities, filling the empirical gap in the field of computing infrastructure. Third, this paper conducts an in-depth exploration of the economic consequences of computing infrastructure promoting enterprises' digital transformation, and provides practical implications for enhancing enterprise value and better exerting the positive role of computing infrastructure in supporting enterprises' digital transformation.

Key Words: digital transformation; computing infrastructure; transaction costs; market opportunities; enterprise value
JEL Classification: D24, H54, L59
DOI: 10.19616/j.cnki.bmj.2025.12.006

(责任编辑:李先军)

中国知网　https://www.cnki.net