

数字企业赋能、超大规模市场优势 与企业能源利用效率

宋易珈, 陈星达, 李锡涛, 陈嘉淇

[摘要] 数字企业的蓬勃发展催生了活跃的外部数字技术市场,通过加速实数深度融合进程,为中国能源利用效率提升带来了新的机遇。本文拓展了包含外部数字部门与内生技术决策的异质性企业模型,从企业内效应与企业间效应两个层面对数字企业赋能能源利用效率提升的机制展开分析,并探讨了超大规模市场优势的形成机理。基于此,本文构建数字接近度,并基于中国税收调查数据库对理论预测进行实证检验。结果表明,数字接近度的提高促进了制造业企业能源利用效率提升。机制检验显示,数字接近度的提高不仅促使企业增加数字投入以实现智能制造,还推动企业开展绿色创新活动,为能源利用效率提升提供内生动力。同时,数字接近度的提高也优化了市场资源配置,使市场份额向能源利用效率高的企业转移,最终实现整体能源利用效率提升。此外,超大规模市场强化了数字企业赋能企业能源利用效率提升的作用,形成了超大规模市场优势。进一步分析表明,产业多样性高、技术生态完备以及嵌入社群网络的数字企业,其对能源利用效率的提升效应更为显著。本文不仅从外部数字企业发展的角度丰富了数字经济助力绿色发展的内在逻辑,还为充分发挥超大规模市场优势提供了理论依据与政策建议。

[关键词] 数字企业; 能源利用效率; 超大规模市场; 智能制造; 绿色创新

[中图分类号] F272 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-480X(2025)06-0121-19

一、引言

自工业革命以来,能源利用效率的提升主要依赖于技术进步和管理实践的改进^①。然而,随着工业经济进入成熟阶段,传统技术路径的提升空间逐渐缩小,能源利用效率提升的边际收益出现递

[收稿日期] 2024-12-10

[基金项目] 国家自然科学基金青年项目“数字企业赋能中国制造业企业出口产品策略优化与质量升级的机制与路径:理论基础、实证检验与政策设计”(批准号 72303185);研究阐释党的二十大精神国家社会科学基金重大专项“促进实体经济和数字经济深度融合的理论机制与实践路径研究”(批准号 24ZDA022)。

[作者简介] 宋易珈,西南财经大学中国金融研究院、智能金融教育部工程研究中心副教授,经济学博士;陈星达,西南财经大学国际商学院博士研究生;李锡涛,四川大学经济学院助理研究员,管理学博士;陈嘉淇,西南财经大学国际商学院硕士研究生。通讯作者:李锡涛,电子邮箱:publiclxt@163.com。本文得到2024年度西南财经大学“中央高校基本科研业务费”专项资助。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,文责自负。

① 从蒸汽机效率的提高到电力技术的普及,从流水线生产到精益管理,这些创新显著提升了能源利用效率。

减。一方面,传统工艺改进已逼近物理极限^①;另一方面,每单位效率提升所需的研发投入和资源消耗逐年提升。国际能源署发布的研究报告《Energy Efficiency 2023》显示,2023年全球能源强度的改善速度从2022年的2%减缓至1.3%,反映出传统技术路径在提高能源利用效率方面面临的瓶颈日益凸显。面对这一瓶颈,数字经济的兴起,即以数据、计算能力和数字网络为核心的生产要素的广泛应用,或许代表着一个全新的“通用技术”^②。数字技术应用(如智能电网、工业物联网)能够驱动能源利用效率产生跨越式进步,减少能源消耗和碳排放(戴翔和杨双至,2022;韩峰等,2024)。通过精准分析与动态管理,数字技术突破了传统能源利用模式的局限,为提升能源利用效率提供了新的契机。

21世纪以来,数字企业以数据为核心生产要素,以技术创新为主要驱动力,展现出高度的扩展性、渗透性和协同性,不仅自身实现了飞速发展,还深度嵌入产业链的各个环节,通过提供数字化技术推动制造业企业转型升级,催生了数字企业赋能制造业企业的技术模式^③。尤其是近年来数字企业的迅速崛起深刻改变了数字市场环境,为实体企业的转型升级提供了更加有利的条件。从数字企业的数量看,2005年以来,中国的数字企业数量呈现指数级增长趋势,2023年突破200万家,年均增长率超过22%。在地理分布上,数字企业与制造业企业高度临近,形成了紧密链接的共生关系,数字企业为制造业提供个性化的数字化解决方案,制造业则为数字企业提供了广泛的应用场景。空间上的相互融合不仅反映了两者在地理分布上的临近发展,也彰显了数字企业与制造业在发展过程中深度融合与协同共进的趋势。总体而言,数字部门的迅速崛起直接体现了数字市场的繁荣与数字技术供给能力的提升,是数字企业赋能制造业转型的关键前提,为制造业智能化、高效化和绿色化提供了重要的历史机遇。

数字企业的迅速崛起会从企业内的智能制造效应和绿色创新效应,以及企业间的资源配置效应两个层面赋能制造业企业的能源利用效率提升。一方面,数字企业能够通过赋能智能制造发展和企业绿色创新推动能源利用效率提升。数字企业塑造了更加广泛和多元的外部数字技术供给市场,能够满足制造业企业对数字技术解决方案的个性化需求,推动更适配的数字技术解决方案应用,从而实现自身智能制造转型并提升能源利用效率。与此同时,企业采用更为适配的数字化解决方案,能够强化自身绿色创新能力,激励制造业企业开展绿色创新,从而赋能制造业企业能源利用效率的提升。另一方面,数字企业还能够推动企业间资源配置优化,进而提升市场整体的能源利用效率。数字技术的高固定成本、低边际成本特性使得市场竞争从“可变成本主导”转向“固定成本主导”,获得数字企业支持的制造业企业能够凭借更高的能源利用效率和更低的单位成本在市场竞争中占据更大优势,而能源利用效率较低、难以承担高固定成本投入的制造业企业则逐步退出市场,最终推动整体能源利用效率的跃升。基于此,本文探索了数字企业赋能中国能源利用效率提升的经济效应和理论机制,并进一步分析了超大规模市场优势的形成机理。

在理论层面,本文以Melitz and Ottaviano(2008)构建的异质性企业理论模型为基础,将超大规模市场、外部数字市场嵌入企业数字技术投入和绿色创新的内生决策之中,从理论上证明了数字企业赋能将通过企业内的智能制造效应和绿色创新效应,以及企业间资源配置效应两个层面促进制造业企业的能源利用效率提升。与此同时,在超大规模市场下,数字企业赋能对能源利用效率的影

① 例如,热机效率接近卡诺循环的理论极限后,进一步提高效率所需的技术突破变得极为困难。

② 通用技术是能够广泛应用于不同领域且对经济体系产生深远影响的基础性技术。

③ 数字企业是指能够利用现代数字技术生产数字技术产品或提供数字技术服务的市场主体,是数字技术、产品和服务的主要供给力量。

响将产生规模经济优势和市场竞效应,通过强化企业内效应和企业间效应驱动能源利用效率进一步提升。在实证层面,基于2007—2016年中国税收调查数据库,本文实证检验数字接近度对制造业企业能源利用效率的提升作用,并考察了智能制造效应、绿色创新效应和资源配置效应的具体机制。此外,本文还检验了超大规模市场在数字企业赋能企业能源利用效率提升中的助推作用,并通过对超大规模市场关键要素动态调整的反事实分析,进一步明确了超大规模市场优势的来源。最后,本文基于数字企业的布局特征,对数字企业赋能制造业企业能源利用效率的提升作用展开异质性分析,从产业多样性、技术生态以及是否嵌入社群网络三个维度,系统挖掘了数字企业赋能中国企业能源利用效率提升的深层次机理。

本文的边际贡献主要体现在以下三个方面:一是创新性地从外部数字市场供给端的视角出发,探索了数字经济如何赋能绿色高质量发展,并从多维度系统解构了数字企业的布局优化对于实现其赋能作用的异质性特征。尽管一些文献从微观维度构建了数字经济与企业绿色发展的内在联系(戴翔和杨双至,2022;李鑫等,2023;韩峰等,2024),但这些研究着重于从制造业企业需求端出发,较少关注外部数字供给端在能源环境绩效提升中的关键作用。因此,本文不仅丰富和拓展了数字经济领域的理论体系,还为研究数字经济赋能绿色高质量发展提供了全新视角。二是拓展了企业能源利用效率的理论分析框架,不仅从企业数字化投入和绿色创新的双重决策视角出发,综合考察了外部数字企业赋能企业能源利用效率提升的微观理论逻辑,进而突破了传统分析范式的局限性,还从市场动态视角打通了外部数字企业赋能整体能源利用效率变革的宏观机制路径,为现有相关研究提供了来自市场动态角度的理论支撑。三是在数字企业赋能能源利用效率提升的理论框架中探索了超大规模市场的助推作用与优势来源,并采用反事实分析方法量化了超大规模市场优势发挥的潜力,从超大规模市场视角深化了关于数字经济推动能源利用效率提升机制路径的理解,为进一步发挥好超大规模市场优势提供了重要的决策依据。

二、理论模型

1. 消费者偏好与需求函数

假设在一个具有 $i \in \Phi$ 种差异化商品的经济体中,代表性消费者的效用函数如下:

$$U = q_0 + \alpha \int_{i \in \Phi} q_i di - \frac{\gamma}{2} \int_{i \in \Phi} (q_i)^2 di - \frac{\eta}{2} \left(\int_{i \in \Phi} q_i di \right)^2 \quad (1)$$

其中, q_0 和 q_i 分别为计价商品和 i 种商品的需求量,其价格分别为单位价格与 p_i 。 α 、 η 和 γ 为大于0的外生参数。根据效用最大化问题,可得商品 i 的反需求函数:

$$p_i = \frac{\alpha\gamma + N\eta\bar{p}}{\gamma + \eta N} - \frac{\gamma}{L} q_i \quad (2)$$

其中, N 为商品的种类数, $\bar{p}$ 为平均价格。当 q_i 为0时,可得任意商品 i 的最高价格 $p^{\max}$ 。

2. 企业的生产函数

假定在一个垄断竞争的市场中,企业 i 的生产函数为:

$$q_i = A_i \left[\mu^{\frac{1}{\rho}} \left(\frac{x_i^m}{1 - \omega^m} \right)^{\frac{\rho-1}{\rho}} + (1 - \mu)^{\frac{1}{\rho}} \left(\frac{x_i^e}{1 - \omega^e} \right)^{\frac{\rho-1}{\rho}} \right]^{\frac{\rho}{\rho-1}}, \quad 0 < \omega^e \text{ 和 } \omega^m < 1 \quad (3)$$

其中, A_i 为企业生产率, x_i^e 和 x_i^m 分别为能源要素和非能源要素,二者替代弹性为 $\rho < 1$; 两种生产

要素的价格分别为 p^e 和 p^m , 对应的生产技术分别为 ω^e 和 ω^m ; 企业还需支付固定成本 f_i 。

此时, 可以将企业的利润表示为:

$$\pi_i = p_i q_i - p^m x_i^m - p^e x_i^e - f_i \quad (4)$$

求解企业利润最大化可得两类要素的投入函数, 将其代入式(4), 可得复合要素价格 P 和企业的边际成本 $\hat{c}_i$:

$$\hat{c}_i = P c_i, \quad P = \left[\mu (c^m)^{1-p} + (1-\mu)(c^e)^{1-p} \right]^{\frac{1}{1-p}} \quad (5)$$

其中, $c^m = (1 - \omega^m) p^m$ 和 $c^e = (1 - \omega^e) p^e$ 为非能源要素和能源要素的投入成本, $c_i = 1/A_i$ 刻画了企业的生产率水平。假设市场准入的临界边际成本为 $\hat{c}^D$ 且满足 $\hat{c}^D = p^{\max}$, 此时企业临界生产率为 $c^D = \hat{c}^D/P$ 。企业生产率 c_i 具有异质性, 服从区间为 $[0, \bar{c}]$ 的帕累托分布函数 $F(c)$ 。同理, 市场均衡时, c_i 服从区间为 $[0, c^D]$ 的帕累托分布函数 $F^D(c)$ 。

伴随着数字经济的快速发展, 日益激烈的市场竞争和技术变革驱使企业采用数字化解决方案以寻求新的发展动力和竞争优势(柏培文和喻理, 2021)。与 De Ridder(2024)的理论设定一致, 企业采用数字化解决方案会削减企业的边际成本, 但也会提升企业支付的固定成本。为此, 本文设定 g_i 为采用数字化解决方案后企业生产率的提升幅度。此时, 企业生产率 c_i 的累积分布函数改变为:

$$G(c, g_i) = \min\{g_i F(c), 1\}, \quad g_i \geq 1, c_i \in [0, \bar{c}] \quad (6)$$

可以发现, g_i 越大, 企业采用数字化解决方案能够更大幅度降低 c_i 。由于企业的数字化转型实践往往涉及企业内部复杂的系统环境和外部多样化的技术选择, 企业需要根据具体生产场景, 在外部数字市场中寻求定制化的数字化解决方案(Verhoef et al., 2021), 因此, 本文设定 g_i 取决于企业投入数字化解决方案的数量 z_i^D 及其与自身的适配程度 $\lambda_i (\geq 0)$:

$$g_i = g(\lambda_i, z_i^D) = \lambda_i z_i^D + 1 \quad (7)$$

固定成本 f_i 包括企业的市场进入成本(f_e)和购买数字化解决方案成本(ρ_i^D), 本文设定 $\rho_i^D = (z_i^D)^2/L$ 。因此, 外部市场规模 L 会影响数字化解决方案的内生决策 z_i^D 。

3. 数字接近度的理论刻画

从现实情况看, 制造业企业能够寻求到数字化解决方案的适配程度取决于自身接近数字企业的程度, 简称数字接近度, 用 s_i 表示。这是由于, 生产作业场景、未来发展目标等方面的不同导致企业对数字化解决方案的诉求存在显著差异, 制造业企业需要在数字市场中进行广泛地搜寻来满足自身个性化和定制化的数智化诉求。若数字市场中并没有足够的数字企业能够为制造业企业提供技术支持, 则其难以搜寻到适配自身的数字化解决方案; 即使数字企业的发展得以支持制造业企业的数智化诉求, 但二者之间存在信息不对称、技术标准不一致等市场摩擦问题, 阻碍了制造业企业在数字市场中搜寻更适配的数字化解决方案。结合上述分析, 数字接近度决定了制造业企业搜寻到数字技术解决方案适配程度 λ_i 的概率, 并且 s_i 越大, 企业搜寻到数字技术解决方案适配度 λ_i 越大的概率越高。为此, 本文假设 λ_i 服从一个 Fréchet 分布函数:

$$h(\lambda_i) = \frac{dH(\lambda_i)}{d\lambda_i} = s_i \theta \lambda_i^{-\theta-1} e^{-s_i \lambda_i^{-\theta}} \quad (8)$$

其中, θ 为外生参数, s_i 为制造业企业 i 面临的数字接近度。可以看出, s_i 上升, 使制造业企业搜寻并采用更契合自身的数字化解决方案的概率越大。对于数字接近度 s_i 而言, 其取决于外部数字

市场中数字企业的数量及制造业企业自身与数字企业间的市场摩擦。一方面,数字企业数量的迅速崛起能够为制造业企业构建起高度活跃的外部数字市场,从而形成完备的数字技术产业链和创新链,为实体企业提供了更多的定制化方案(周密等,2024);另一方面,数字市场摩擦的削减能够推动数字企业对制造业企业的数字化诉求进行精准对接,提升了数字企业与制造业企业协同合作的效率和质量。因此,数字接近度的提高主要体现在制造业企业*i*外部的数字企业数量*n*增加及其与数字企业*j*之间市场摩擦 l_{ij} 削减两个方面。据此,本文设定 $s_i = \sum_{j=1}^n 1/l_{ij}$,求解得到 g_i 的期望值为 $E[g(\lambda_i, z_i^D)] = z_i^D s_i^{1/\theta} \Gamma + 1$, Γ 为伽马函数,并且满足 $dE(g_i)/ds_i > 0$ 。

4. 数字接近度下的企业最优化决策

基于上述设定,本文求解企业的期望利润,可得:

$$E(\pi_i) = \frac{LP^2}{4\gamma} E(g_i) \Omega_i - f_c - \rho_i^D \quad (9)$$

其中, $\Omega_i = (c^D)^{\kappa+2}/(\kappa+1)(\kappa+2)(\bar{c})^\kappa$ 。基于企业期望利润最大化和零利润条件,可得市场均衡条件下数字化解决方案 z_i^{D*} 和临界生产率 c^D ,如下所示:

$$\begin{aligned} z_i^{D*} &= \frac{\sqrt{1 + s_i^{2/\theta} \Gamma^2 L f_c} - 1}{s_i^{1/\theta} \Gamma} \Rightarrow \frac{\partial z_i^{D*}}{\partial s_i} > 0; \frac{\partial z_i^{D*}}{\partial L} > 0; \frac{\partial^2 z_i^{D*}}{\partial s_i \partial L} > 0 \\ c^D &= \left\{ \frac{8\gamma(\kappa+2)(\kappa+1)(\bar{c})^\kappa \left(\sqrt{1 + s_i^{2/\theta} \Gamma^2 L f_c} - 1 \right)^{1/(\kappa+2)}}{L^2 P^2 s_i^{2/\theta} \Gamma^2} \right\} \\ &\Rightarrow \frac{\partial \hat{c}^D}{\partial s_i} < 0; \frac{\partial \hat{c}^D}{\partial L} < 0; \frac{\partial^2 \hat{c}^D}{\partial s_i \partial L} < 0 \end{aligned} \quad (10)$$

通过式(10)可以发现,当数字接近度 s_i 上升时,一方面,数字化解决方案的适配程度提高激励了企业采用更多的数字化解决方案(即 z_i^{D*} 上升);另一方面,促使越来越多的企业利用更适配的数字化解决方案参与市场竞争,更加激烈的市场竞争环境降低了市场准入的临界边际成本 $\hat{c}^D$ 。此外,市场规模扩大(L 上升)还能够摊薄数字化解决方案所需投入的固定成本,放大数字接近度对企业采用数字化解决方案的激励作用,但同样也为更多的企业参与市场竞争提供了广阔的市场空间,推动市场形成激烈的竞争格局,放大了数字接近度对临界边际成本的影响。

5. 数字接近度决定能源利用效率的机制分析

本文将企业能源利用效率 EE_i 定义为产值与能源投入额的比值,分别从企业内的智能制造效应、绿色创新效应以及企业间的资源配置效应三方面分析数字接近度对能源利用效率的影响机制。

(1) 数字接近度决定能源利用效率的智能制造效应分析。在不考虑企业自由进入退出的情形下,企业的期望能源利用效率为:

$$E(EE_i) = \int_0^{c^D} \int_0^\infty \frac{p_i q_i}{p^e x_i^e} d[H(\lambda)] d[G(c, g_i)] = \psi_i E(g_i) \quad (11)$$

其中, ψ_i 由外生变量构成,进一步对(11)式关于数字接近度求导,可得:

$$\frac{\partial E(EE_i)}{\partial s_i} = \frac{\partial E(EE_i)}{\partial E(g_i)} \times \left[\underbrace{z_i^{D*} \times \frac{\partial E(\lambda_i)}{\partial s_i}}_{>0} + \underbrace{E(\lambda_i) \times \frac{\partial z_i^{D*}}{\partial s_i}}_{>0} \right] > 0 \quad (12)$$

式(12)体现了数字接近度影响企业能源利用效率的智能制造效应,其中,第一项反映了数字接

近度对数字化解决方案适配程度的影响。企业数字接近度的提高使其能够精准定位并采用符合自身技术诉求的数字化解决方案,发挥了数字化解决方案对企业生产率的提升效应,即 $E(\lambda_i)$ 上升。第二项反映了数字接近度对数字化解决方案投入的影响。数字接近度的提高激发了企业对数字化解决方案的需求,加速数字技术在实体企业中的应用和推广,即 z_i^{D*} 上升。在二者共同作用下,数字接近度提升了企业的生产率水平,即 $E(g_i)$ 上升,最终促进企业能源利用效率提升。

(2) 数字接近度决定能源利用效率的绿色创新效应分析。绿色创新也是决定企业能源利用效率的关键因素,那么,数字接近度的提升能否激励企业开展绿色创新来提高自身能源利用效率? 为了检验这一机理,本文控制 z_i^{D*} 外生不变且放松能源要素技术外生同质的假设,进一步纳入企业绿色创新决策 z_i^G 。本文设定企业能源要素的技术水平 ω_i^e 取决于企业采用数字化解决方案的适配程度 λ_i 和绿色创新 z_i^{G*} ①:

$$\omega_i^e = \lambda_i z_i^{G*} \quad (13)$$

可以发现,随着数字接近度 s_i 的提升,企业得以采用更加适配的数字化解决方案($\lambda_i \uparrow$),这能够为企业能源绿色创新搭建更优化的技术创新生态(Chiarini, 2021)。此时,企业开展绿色创新 z_i^G 将更大幅度优化其能源要素技术 ω_i^e 。此外,企业开展绿色创新还需要付出固定成本 $\rho_i^G = (z_i^G)^2/L$ 。通过求解市场出清条件下的企业利润最大化条件,可得市场均衡状态下的企业进入市场的临界边际成本 $\hat{c}^D$ 和绿色创新的最优内生决策 z_i^{G*} ,并且满足:

$$\frac{\partial \hat{c}^D}{\partial s_i} < 0, \quad \frac{\partial z_i^{G*}}{\partial s_i} > 0 \quad (14)$$

此时,数字接近度还能够通过绿色创新效应影响企业的能源利用效率,如下所示:

$$\frac{\partial E(EE_i)}{\partial s_i} = \frac{\partial E(EE_i)}{\partial E[\omega_i^e(\lambda_i, z_i^{G*})/\omega^m]} \times \left[\underbrace{z_i^{G*} \times \frac{\partial E(\lambda_i)}{\partial s_i}}_{>0} + \underbrace{E(\lambda_i) \times \frac{\partial z_i^{G*}}{\partial s_i}}_{>0} \right] \quad (15)$$

根据式(15),数字接近度提高了绿色创新的技术效益,即 $E(\lambda_i)$ 上升,同时激励企业开展绿色创新 z_i^{G*} ,二者共同提升了能源要素技术($\omega_i^e \uparrow$),通过偏向性技术进步($\omega_i^e/\omega^m \uparrow$)提高了能源利用效率。

(3) 数字接近度决定能源利用效率的资源配置效应分析。数字企业赋能还在企业间塑造了更为激烈的竞争环境(肖旭和戚聿东, 2019; 肖静华, 2020)。结合企业自由进入退出条件,此时企业期望能源利用效率为:

$$E(EE_i | \hat{c}_i < \hat{c}^D) = \frac{\int_0^{\hat{c}^D} \int_0^\infty \frac{p_i q_i}{p^e x_i^e} d[H(\lambda)] d[G(c, g_i)]}{F(\hat{c}^D)} = \tilde{\psi}_i E(g_i) [F(\hat{c}^D)]^{-1} \quad (16)$$

其中, $\tilde{\psi}_i$ 为外生变量构成的参数。式(16)对数字接近度求导数,可以得到企业能源利用效率与数字接近度之间的理论关系,具体表达式如下:

① 由于绿色创新活动往往面临着较高的不确定性(李金昌等, 2023; Nepal et al., 2025),而企业通过应用适配的数字化解决方案,能够追踪和定位高能耗环节,结合企业生产场景对绿色创新的效果进行模拟和仿真,从而降低绿色创新的不确定性(曹裕等, 2023),有效提高了绿色创新的效率和质量(陈晓红等, 2022),因此,本文设定数字化解决方案的适配度能够提高绿色创新对能源要素技术的技术效益。

$$\frac{\partial E(E E_i | \hat{c}_i < \hat{c}^p)}{\partial s_i} = \underbrace{\frac{\partial E(E E_i)}{\partial E(g_i)} \frac{\partial E(g_i)}{\partial s_i}}_{\text{智能制造效应}(+)} + \underbrace{\frac{\partial E(E E_i)}{\partial [F(\hat{c}^p)]^{-1}} \frac{\partial [F(\hat{c}^p)]^{-1}}{\partial s_i}}_{\text{资源配置效应}(+)} \quad (17)$$

可以发现,数字企业赋能还将通过企业间资源配置效应驱动整体能源利用效率的提升。具体而言,数字接近度 s_i 的提升促使越来越多的企业利用更适配的数字化解决方案参与市场竞争,市场竞争环境深层次重构使得企业间竞争更加激烈,从而降低了市场准入的临界边际成本(即 $\hat{c}^p$ 下降)。此时,能源利用效率低的企业的高能耗成本和环境规制成本等成本劣势也愈加明显,加快了市场对能源利用效率低的企业淘汰,迫使企业提高能源利用效率以应对更激烈的市场竞争。因此,市场资源将向能源利用效率高的企业转移和配置,驱动了整体能源利用效率提升。

6. 数字接近度决定能源利用效率的超大规模市场优势分析

市场规模的扩大直接产生规模经济效应并提升市场竞争效应,在数字企业赋能制造业企业能源利用效率的提升中发挥超大规模市场优势。接下来,本文对市场规模 L 的影响进行分析:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 E(E E_i | \hat{c}_i < \hat{c}^p)}{\partial s_i \partial L} &= \underbrace{\left[F(\hat{c}^p) \right]^{-1} \frac{\partial^2 E(g_i)}{\partial s_i \partial L} + \frac{\partial E(g_i)}{\partial L} \frac{\partial [F(\hat{c}^p)]^{-1}}{\partial s_i}}_{>0} \\ &+ \underbrace{\frac{\partial [F(\hat{c}^p)]^{-1}}{\partial L} \frac{\partial E(g_i)}{\partial s_i} + E(g_i) \frac{\partial^2 [F(\hat{c}^p)]^{-1}}{\partial s_i \partial L}}_{>0} \end{aligned} \quad (18)$$

具体看,市场规模扩大会通过两个层面放大数字企业赋能效应下的能源利用效率提升。式(18)等号右侧第一项体现了超大规模市场发挥的规模经济效应。超大规模市场赋予了企业在数字化解决方案投入上的规模经济优势,降低了企业的固定成本(洪银兴和任保平,2023)。企业将采用更多适配的数字化解决方案以推动能源利用效率的进一步提升。第二项则体现了市场规模扩大所驱动的市场竞争加剧。超大规模市场能够增强市场竞争程度,为企业营造资源优化配置和利用更具效率的市场空间,使得能源利用效率低的企业被迫退出市场。此时,数字企业将能够与市场中能源利用效率高的企业进行高效对接,不仅为企业提供更适配的数字化解决方案,同时推动了企业间展开更加激烈的市场竞争,进一步淘汰能源利用效率低的企业。整体看,超大规模市场能够通过发挥规模经济优势和驱动市场竞争加剧,增强数字企业赋能能源利用效率的提升作用。

三、数据来源与研究设计

1. 数据来源与样本选择

本文主要使用的研究数据包括以下两部分:①2007—2016年中国税收调查数据库。该数据库由财政部和国税总局联合收集,按照分层随机抽样的办法选取企业并调查统计其经营绩效、税收缴纳、能源投入等方面翔实的数据,为本文测算企业能源利用效率奠定了数据基础。②企业查商业平台企业信息数据库。该数据库系统集成了国家企业信用信息公示系统、中国裁判文书网、国家知识产权局等权威网站公开公示信息,汇集了中国所有行业约2.5亿家经营主体的综合信息,为本文识别数字企业提供了关键数据资源。此外,城市层面相关变量测度数据来自相关年份《中国城市统计年鉴》。

2. 计量模型设定

为了检验数字接近度对制造业企业能源利用效率提升的赋能效应,本文构建了如下计量模型:

$$EE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DP_{it} + X' \beta + \delta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (19)$$

其中, i 和 t 分别表示企业和年份, EE_{it} 为企业能源利用效率; DP_{it} 为企业面临的数字接近度。本文主要关注估计系数 α_1 ,且预期 $\alpha_1 > 0$,即数字接近度的提高能够促进企业能源利用效率的提升。 X' 为企业层面和城市层面的控制变量集, δ_i 和 η_t 分别为企业固定效应和年份固定效应,以避免不可观测因素造成的遗漏变量问题, ε_{it} 为随机扰动项。

3. 变量设定与描述性统计^①

(1)企业能源利用效率。本文参考陈钊和陈乔伊(2019)的做法,采用单位能耗的工业产值测度企业能源利用效率,具体测算方式如下:

$$EE_{it} = \ln \left(\frac{Output_{it}}{Energy_input_{it}} \right) \quad (20)$$

其中, $Output_{it}$ 为企业总产值; $Energy_input_{it}$ 为企业能源投入。中国税收调查数据库中详细披露了企业生产经营中投入的煤炭、石油等能源消耗量,本文参考相关年份《中国能源统计年鉴》公布的能源消耗折标准煤参考系数,将能源折算为统一量纲,从而计算企业层面的能源要素总投入。 EE_{it} 取值越大,表明企业能源要素投入的利用效率越高。

(2)数字接近度。根据本文对数字接近度的理论设定,企业所面临的数字接近度取决于两个因素:①数字企业的数量规模;②制造业企业与数字企业之间的市场摩擦程度。在此基础上,本文借鉴蒋为等(2024a,2024b)的测算方法,将中国范围内数字企业的总体数量作为数字资源供给的规模指标,将制造业企业与数字企业之间的地理距离作为衡量市场摩擦程度的代理变量。据此,构建制造业企业的数字接近度指标。具体而言,本文首先使用高德地图地理编码接口,解析得到所有数字企业和制造业企业的经纬度信息。进一步,采用Vincenty公式计算每家制造业企业与中国所有数字企业之间的地理距离。最终,本文根据特定年份制造业企业与所有数字企业之间地理距离的倒数之和,测算了制造企业面临的数字接近度。具体测算方式如下所示:

$$DP_{it} = \ln \left(\sum_k \frac{1}{distance_{ikt}} \right) \quad (21)$$

其中, $distance_{ikt}$ 为 t 年制造业企业 i 与数字企业 k 间的球面距离。基于此,本文采用 t 年制造业企业 i 与数字企业 k 之间距离的倒数之和,刻画了企业一年份维度的数字接近度。在现有统计制度体系下,如何识别数字企业是本文准确测算数字接近度的关键。本文聚焦的数字企业是能够为制造业企业提供数字化软硬件解决方案的企业,包括硬件制造商、软件和互联网服务商以及数据服务商。为了更精确地从微观企业层面识别数字企业,本文基于善于处理文本的深度学习和善于处理数值类的机器学习模型,制定了一套集成学习策略以识别数字企业,为测度数字接近度奠定基础。基本识别流程为:数字企业特征选取→数字科技词典构建→基于词嵌入与LSTM模型的非结构化变量处理→融合结构化变量的XGBoost模型→数字企业识别^②。

(3)控制变量^③。为了避免共同第三方决定因素对估计结果产生影响,本文参考现有文献,加

① 本文对数字接近度与能源利用效率以及超大规模市场所发挥的作用做了特征事实分析。特征事实分析与描述性统计参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

② 数字企业的具体识别策略参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

③ 控制变量的测算参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

入一系列企业层面的控制变量,包括企业规模、资本劳动比、资产负债率、企业所有制、人力资本、数字技术创新能力,以及城市层面的环境规制变量。

四、实证结果分析

1. 基准回归

根据式(19)的设定,本文通过逐步加入控制变量的方式,估计数字接近度对企业能源利用效率的影响。为了避免估计中可能存在的遗漏变量、异方差和序列相关问题,本文在估计过程中加入企业和时间固定效应,并考虑城市—行业层面的聚类稳健标准误。此外,由于制造业企业样本与中国数字企业样本存在交集,即本文基准回归样本中还存在着很多从事数字设备制造的企业样本,而这些企业本身就具备更高的自主数字技术创新能力,若在基准回归样本中不剔除这类企业,将引致双向因果问题,因此,本文剔除制造业企业样本中的数字企业。具体估计结果如表1所示。第(1)列仅加入数字接近度(DP),并控制企业和年份固定效应。结果显示,DP的估计系数在1%的显著性水平上为正,表明数字接近度的提高会提升企业能源利用效率。进一步,在第(2)—(5)列中逐步加入一系列企业和城市层面的控制变量,数字接近度提高对企业能源利用效率的提升作用依然显著。为此,政府应积极把握数字企业快速发展带来的宝贵机遇,为提升企业能源利用效率、推动经济可持续发展注入新的动力。

表 1 基准回归:数字接近度对能源利用效率的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
DP	0.1646*** (3.2765)	0.1582*** (3.1668)	0.1588*** (3.1787)	0.1568*** (3.1246)	0.1538*** (3.0453)
lnSize		0.2639*** (25.5491)	0.2639*** (25.5529)	0.2637*** (25.3307)	0.2640*** (24.8939)
lnKL		-0.0348*** (-5.7507)	-0.0347*** (-5.7423)	-0.0349*** (-5.7611)	-0.0354*** (-5.7880)
lnDAR		0.0031 (0.4809)	0.0030 (0.4745)	0.0035 (0.5406)	0.0033 (0.5113)
SOE			-0.1050* (-1.9578)	-0.0971* (-1.8087)	-0.0906* (-1.6718)
FIE			-0.0435 (-1.5916)	-0.0374 (-1.3673)	-0.0397 (-1.4351)
DI				0.6855** (2.3574)	0.6790** (2.3226)
HC				0.0216 (0.9005)	0.0247 (1.0125)
ER					0.0226** (2.1824)
企业固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
样本量	578952	578952	578952	574007	560082
调整 R ²	0.5649	0.5664	0.5664	0.5671	0.5670

注:***、**、*分别表示1%、5%和10%的显著性水平,括号中为t值,标准误聚类在城市—行业维度。以下各表同。

2. 稳健性检验^①

(1)能源利用效率再度量。为了排除指标测度偏差可能带来的估计偏误问题,本文主要从三方面重新度量企业能源利用效率:①将工业总产值替换为企业销售收入和主营业务收入,分别采用其与能源投入的比值重新计算能源利用效率;②从成本端出发,分别采用两个衡量可变成本的代理变量与能源投入的比值重新测度能源利用效率;③采用基于数据包络分析(DEA)改进的SBM方法重新测度企业的能源利用效率。研究结果仍然保持稳健。

(2)数字接近度再度量。为进一步提升数字接近度度量的准确性并检验稳健性,本文对该变量进行多维重构:①将数字企业规模因素考虑在内。采用数字企业注册资本与地理距离比值之和,重新测度数字接近度;对数字企业样本进行筛选,分别剔除参保人数小于20人以及参保人数小于50人的数字企业,通过计算制造业企业与每家数字企业地理距离倒数之和,测度数字接近度。②设定不同的距离变化趋势。分别采用制造业企业与每家数字企业地理距离平方以及立方的倒数之和,重新度量数字接近度。③考虑数实之间的技术关联性与产业临近性对数字企业赋能效果的影响。分别以制造业企业对数字技术的关联性指数、数字行业与制造业的临近指数作为权重,纳入数字接近度的测算中。估计结果仍然支持基本研究结论。

(3)估计样本的选取策略。考虑到基准回归所使用的制造业企业样本中,若混入同样被识别为数字企业的“数字制造业”样本,则会干扰回归结果,本文依据《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》,剔除了基准回归样本中属于“通用设备制造业”“专用设备制造业”“电气机械和器材制造业”“计算机、通信和其他电子设备制造业”“仪器仪表制造业”这类数字经济核心产业的制造业企业样本并重新回归,研究结果仍然稳健。

(4)排除政府干预的影响。地方政府作为地区资源配置的重要力量,其直接干预不仅会影响企业面临的数字接近度,而且对企业能源利用效率的提升起着至关重要的作用。本文从宏观地区维度、中观产业维度以及微观企业维度,系统排除了政府干预的潜在影响。估计结果仍然支持基本研究结论。

(5)工具变量与内生性问题。为了解决遗漏重要变量和双向因果关系带来的内生性问题,本文引入工具变量,并采用两阶段最小二乘法进行回归,以检验稳健性。本文分别构造了各城市在光绪三十三年(1907年)的电报局数量与上一年全国互联网用户数的交互项、各城市孔庙遗存数量与上一年全国互联网用户数的交互项作为数字接近度变量的工具变量,识别数字接近度对能源利用效率的影响。本文研究结果仍然保持稳健。

五、数字企业赋能的超大规模市场效应

根据本文的理论分析,市场规模的扩大会带来竞争效应和规模经济效应,在数字接近度驱动能源利用效率提升的过程中发挥着关键优势。基于此,下面主要检验数字企业赋能制造业企业能源利用效率提升的超大规模市场优势,以及基于超大规模市场关键要素的动态调整展开反事实分析,进一步明晰数字经济中超大规模市场优势的来源。

1. 超大规模市场下数字接近度与能源利用效率

为了检验数字接近度驱动能源利用效率提升的超大规模市场优势,本文设定如下计量模型:

^① 稳健性检验的具体分析参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

$$EE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DP_{it} + \alpha_2 Market_{ct} + \alpha_3 DP_{it} \times Market_{ct} + X'\beta + \delta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \tag{22}$$

其中, i 、 c 和 t 分别表示企业、地区和年份; EE_{it} 为企业能源利用效率; DP_{it} 和 $Market_{ct}$ 分别表示企业面临的数字接近度及其所在地区的超大规模市场^①。本文主要关注数字接近度与超大规模市场的交互项估计系数 α_3 , 且预期 $\alpha_3 > 0$, 即超大规模市场能够提升数字接近度对能源利用效率的促进效应。其余变量设定与式(19)保持一致。表2汇报了超大规模市场下数字接近度对能源利用效率的影响结果。第(1)列估计结果显示, 数字接近度与超大规模市场交互项($DP \times Market$)的估计系数在1%的显著性水平上为正, 表明超大规模市场会增强数字接近度对企业能源利用效率的提升效应。为此, 地方政府应进一步推动区域市场深度融合, 从而充分释放数字接近度带来的能源利用效率提升潜力, 为经济高质量发展提供关键支撑。

表2 超大规模市场下数字接近度对能源利用效率的影响

变量	商品零售额	人口规模	地区生产总值
	(1)	(2)	(3)
$DP \times Market$	0.0192*** (4.1408)		
$Market$	0.0322*** (4.0157)		
$DP \times Market2$		0.0106* (1.8774)	
$Market2$		0.0379*** (4.1425)	
$DP \times Market3$			0.0192*** (4.1283)
$Market3$			0.0306*** (3.8007)
DP	0.0136 (0.2523)	0.0437 (0.8114)	0.0149 (0.2757)
控制变量	是	是	是
企业固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
样本量	525217	525217	525217
调整 R^2	0.5653	0.5652	0.5653

考虑到商品零售额在刻画地区市场经济活动强度时可能存在一定的局限性, 本文对超大规模市场测度进行稳健性检验: ①采用以地级市户籍人口衡量的人口规模变量刻画市场需求, 重新测度超大规模市场($Market2$); ②采用地区生产总值刻画经济活动强度, 重新测度超大规模市场($Market3$)。表2第(2)、(3)列结果均表明, 超大规模市场仍然会增强数字接近度对能源利用效率的提升效应。

2. 超大规模市场关键要素动态调整的反事实分析

为了进一步量化超大规模市场的影响, 本文借鉴 Barrows and Ollivier(2021)的反事实分析范式, 通过模拟不同情景下超大规模市场要素组成的动态调整, 评估其对数字接近度提升企业能源利用效

① 超大规模市场的测算方式参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

率的贡献程度。具体而言,在保持其他组成要素不变的情况下,本文分别模拟市场分割程度降低25%、50%以及75%,互联网联系程度和地区商品零售额提升25%、50%以及75%的情景,并计算相应的反事实能源利用效率。通过对比反事实情景与真实情景下的能源利用效率差异,以此量化超大规模市场动态变化的边际影响,为政府部门更好促进超大规模市场优势发挥提供经验支撑^①。

图1展示了超大规模市场关键要素动态调整的反事实分析结果^②。从单一要素动态调整情景看,随着市场分割程度不断下降,反事实能源利用效率及其与真实能源利用效率之间的差距呈现明显递增趋势。这一结果表明,降低市场分割程度能够有效增强数字接近度带来的能源利用效率提升作用。在互联网联系方面,反事实能源利用效率表现出更显著的上升趋势,且其与真实能源利用效率之间的差距呈指数级增长。便捷的互联网联系能够促进区域间信息获取和交流,帮助企业挖掘更多的市场机会并提升交易效率,为数字企业赋能能源利用效率提升提供信息支撑。就商品零售额而言,反事实能源利用效率表现出平缓的上升趋势,其与真实能源利用效率之间的差距呈现小幅增长。这表明,通过需求拉动实现生产端的规模经济,也能够增加数字接近度对能源利用效率提升的边际贡献。从不同要素的动态调整情景对比看,随着动态调整幅度增加,互联网联系的提升对能源利用效率的促进作用最明显,且其边际效应不断增强。市场分割程度的降低也推动了能源利用效率提升,并逐步扩大了能源利用效率差距,但相较于互联网联系,其增长幅度较小。商品零售额提升对能源利用效率的促进作用最小,说明消费端扩张对能源利用效率提升的带动作用相对有限。因此,单纯依靠消费端增长难以显著提升能源利用效率,而借助信息技术挖掘市场机会、优化资源配置,才是充分发挥数字企业赋能制造业企业能源利用效率提升的关键。

图2进一步展示了在各因素变化75%情况下,不同年份真实能源利用效率与反事实能源利用效率差

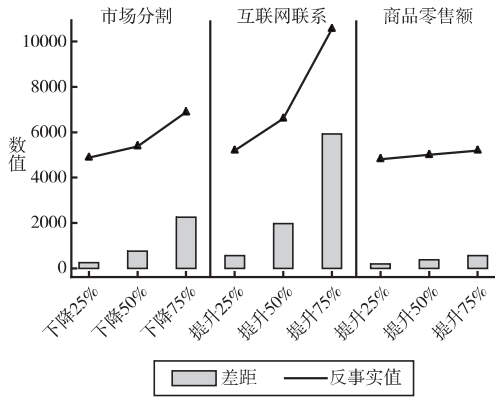


图1 超大规模市场关键要素动态调整的反事实分析结果

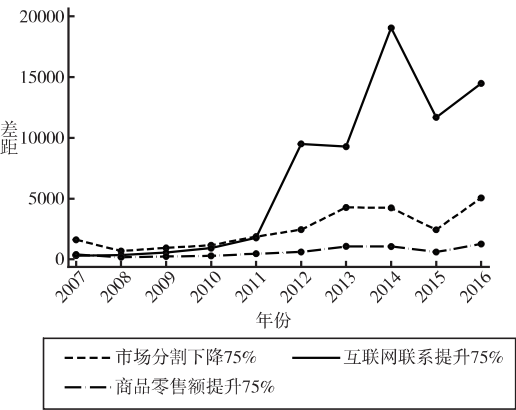


图2 逐年份超大规模市场关键要素动态调整的反事实分析结果

① 具体反事实分析框架参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。
② 不同情景下能源利用效率的真实值均为4811.763。能源利用效率的真实值和反事实值均为样本期间企业能源利用效率的平均值。

距的变化情况^①。可以发现,2011年之后,互联网联系的提升对能源利用效率的促进作用迅速增强,而且远高于市场分割程度降低和商品零售额增加的影响。与此同时,市场分割程度降低带来的能源利用效率提升效应虽然表现出一定的上升趋势,但明显低于互联网联系提升的作用。相比之下,商品零售额增长对能源利用效率的提升作用总体保持小幅平稳增长趋势。自2011年起,中国政府相继出台“智慧城市”“宽带中国”等互联网发展战略以及推动全国统一大市场建设的相关政策,深化了城市间互联网联系,削弱了区域间市场壁垒,进一步释放超大规模市场优势,从而放大了数字接近度对能源利用效率的提升作用。因此,未来的政策制定应重点推动地区数字基础设施建设升级并提升区域间的市场整合程度。

六、机制检验

根据本文的理论分析发现,一方面,数字企业的赋能作用能够产生智能制造效应和绿色创新效应,分别通过企业生产率提高和能源偏向性技术进步的双重维度实现能源利用效率提升;另一方面,数字企业的赋能作用还能够强化市场对能源利用效率低的企业淘汰机制,促进市场资源向能源利用效率高的企业进行配置,从而提升整体能源利用效率。为此,本文分别对上述关键机制进行检验与分析,从而厘清数字企业赋能制造业企业能源利用效率提升的机制与路径。

1. 智能制造效应的机制检验

根据前文理论分析,数字接近度的提升能够推动制造业企业深度参与到外部数字市场的交易中,通过高效搜寻并采购更适配的数字化解决方案来获取智能制造的能力,从而有助于突破传统制造模式下的效率边界,推动制造业企业向智能化和绿色化转型。基于此,本文从以下两个方面对智能制造效应进行检验与分析:一方面,检验数字接近度对企业外部数字化投入(*Dig_Input*)行为的影响。参考盛斌和刘宇英(2024)的做法,本文采用企业外购信息技术服务支出的对数值来衡量外部数字化投入,并将其作为被解释变量进行回归。表3第(1)列显示,企业数字接近度提高的确驱动了制造业企业采用更多的数字化解决方案。另一方面,检验数字接近度对企业全要素生产率(*TFP*)的影响。本文参考Levinsohn and Petrin(2003),测算了企业全要素生产率,将其作为被解释变量进行回归。第(2)列结果表明,数字接近度的提高能够促进制造业企业全要素生产率的提升。整体看,第(1)、(2)列表明,数字接近度提高将在企业内部产生智能制造效应,进而提升企业能源利用效率。

表3 机制检验:智能制造效应与绿色创新效应

变量	<i>Dig_Input</i>	<i>TFP</i>	<i>G_Inno</i>	<i>BTCel</i>	<i>BTCek</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>DP</i>	0.2774** (2.3242)	0.0489** (2.1467)	0.0050* (1.8846)	0.0531*** (2.7131)	0.0159 (1.6199)
控制变量	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
样本量	170105	391072	560082	427795	479017
调整 R ²	0.3612	0.8425	0.4431	0.9299	0.7319

① 各因素变化25%和50%的情形参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

2. 绿色创新效应的机制检验

对于企业绿色创新而言,数字接近度还强化了企业的绿色创新能力,通过能源偏向性技术进步影响企业能源利用效率。为了验证上述机理,本文检验了数字接近度对企业绿色创新和能源偏向性技术进步的影响。一方面,本文基于中国税收调查数据与专利数据,根据国家知识产权局2022年颁布的《绿色低碳技术专利分类体系》文件,对企业获得的能源绿色专利(*G_Inno*)进行识别^①,并将其对数化处理后作为被解释变量进行回归。表3第(3)列估计结果显示,数字接近度的提升激励了企业开展绿色创新活动,进而提升了企业的绿色技术水平。另一方面,本文还需要检验数字接近度的提升带来了能源偏向性技术进步。参考Jo(2025)的方法,本文分别测度企业能源要素相对劳动要素和资本要素的偏向性技术进步指标^②。第(4)列结果显示,数字接近度的提升改变了能源要素相对劳动力要素(*BTCel*)的技术水平,但在第(5)列中其对能源要素相对资本要素的技术水平(*BTCek*)并未产生影响。结合智能制造效应的结果看,由于外部数字化投入以资本的形式参与到生产活动当中,数字接近度也能够提高资本要素的技术水平,因此,数字接近度通过提升能源相对劳动力的偏向性技术进步,从而提高了企业能源利用效率。

3. 资源配置效应的机制检验

在对整体能源利用效率的比较静态分析中,数字接近度的提升还能够产生企业间的资源配置效应,以提升市场整体的能源利用效率。由于数字接近度提升导致市场准入门槛上升,将强化市场对能源利用效率低的企业淘汰机制,进而激励企业优化生产流程或提高生产效率以实现自身能源利用效率变革,保持其在市场竞争中的优势地位。因此,数字接近度的提高将有利于能源利用效率高的企业扩大市场份额,从而推动市场资源向这类企业转移。基于上述逻辑,本文将检验数字接近度能否导致市场中能源利用效率高的企业市场份额提高,并通过资源动态配置提高整体能源利用效率。为此,本文参考Alfaro et al.(2018)对企业间资源配置的检验方法,根据样本中企业能源利用效率的中位数,将企业在地区一行业分组内划分为能源利用效率高、中、低的企业样本,考察数字接近度对不同企业样本市场份额的影响^③。表4第(1)—(3)列分别汇报了数字接近度对能源利用

表4 机制检验:资源配置效应

变量	<i>Market_share</i>		
	(1)	(2)	(3)
<i>DP</i>	0.0438*** (2.6895)	0.0081 (0.4796)	0.0176 (1.0039)
控制变量	是	是	是
企业固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
样本量	121615	125533	139674
调整 R ²	0.5285	0.5195	0.5195

① 与国家知识产权局颁布的《绿色技术专利分类体系》相比,国家知识产权局对绿色低碳技术的定义主要涉及传统能源清洁利用、节能增效、新能源利用和温室气体捕集利用封存等有关技术,并不涉及环保材料、污染治理、绿色交通、绿色农业林业和绿色建筑等与能源无关的绿色技术,因此,采用《绿色低碳技术专利分类体系》识别能源绿色创新更为恰当。

② 具体测度方式参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

③ 市场份额采用企业销售额占行业总销售额的比重予以测度,取值越大,表明该企业的市场份额越高。

效率高、中、低的企业样本组的估计结果。可以发现,数字接近度仅促进能源利用效率高的企业扩大市场份额。这表明,在数字企业赋能的作用下,能源利用效率高的企业利用竞争优势扩大其市场份额,进而强化市场对能源利用效率低的企业淘汰机制,这种资源配置效应促进了整体能源利用效率的提升。

七、进一步分析：多维视角下数字企业布局的赋能效应

数字企业并非均匀分布于空间之中,数字企业的发展还依赖于产业协同、技术依赖、知识共享、服务互补形成紧密耦合的数字生态系统,从而催生出具有正外部性的数字企业集群。这导致数字企业的发展不仅显现出区域性的产业多样性,还自发形成系统性的企业技术生态与社群网络。这种布局特征不仅塑造了数字企业之间的互动模式,也影响了其为制造业企业提供数字资源、数据支持与技术服务的能力。因此,数字企业的布局特征对其赋能效应具有重要影响,本部分将从数字企业的产业多样性、技术生态完备性以及是否嵌入社群网络三个方面进行异质性分析^①。

1. 数字企业产业多样性的异质性检验

从数字企业的产业多样性看,随着数字技术向垂直领域的深度渗透,数字企业通过专业化分工不断形成差异化技术优势,由此催生出覆盖多维度的细分产业群落。当区域内数字企业的产业多样性越高,数字企业间的协同创新与资源共享机会就越丰富,通过技术互补与服务嵌套等方式促进技术扩散与知识溢出,全面提升数字企业的赋能能力。为检验数字企业的产业多样性特征是否会导致数字企业赋能作用产生差异,本文采用香农熵刻画数字企业不同地区的产业多样性特征,并据此将数字企业样本按地区划分为两类,重新计算数字接近度 DP_{it}^1 和 DP_{it}^2 。表5第(1)、(2)列显示, DP_{it}^1 和 DP_{it}^2 均对企业能源利用效率产生了显著正向影响,但 DP_{it}^1 的回归系数要明显大于 DP_{it}^2 且通过了组间系数差异检验,从而验证了数字企业的产业多样性能够放大数字企业对制造业企业的赋能作用,进一步提高制造业企业的能源利用效率。

2. 数字企业技术生态完备性的异质性检验

从数字企业的技术生态完备性看,数字企业完备的技术生态可形成“全周期解决方案供给”能力,不仅能够为制造业能源管理中的各个环节提供集成式技术组合,还能够根据企业的技术需求实现赋能服务的精准匹配^②,从而放大外部数字企业的赋能作用。为了检验数字企业的技术生态完备性是否会导致数字企业赋能作用产生差异,本文综合考虑数字企业的技术互补性和技术多样性,基于数字企业不同技术分类号(IPC主分类号)的专利数量,构建了反映地区数字技术生态完备性的综合指标,并据此将数字企业样本按地区划分为两类,重新计算数字接近度 DP_{it}^3 和 DP_{it}^4 。表5(3)、(4)列显示, DP_{it}^3 的回归系数和显著性水平均明显大于 DP_{it}^4 的回归系数且通过了组间系数差异检验,从而验证了数字企业的技术生态完备性能够放大数字企业对制造业企业的赋能作用,进一步提高制造业企业的能源利用效率。

3. 数字企业社群网络性的异质性检验

从数字企业的社群网络性看,数字企业因其天然的股权多元化特征和投资外向性,通过交叉持

① 数字企业的产业多样性、技术生态完备性和社群网络性的测度方式参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

② 例如,头部企业可调用数字孪生、虚拟电厂等深度定制技术重构能源系统,而中小企业则通过即插即用的标准化SaaS工具实现能耗可视化。

股、战略投资等方式形成集聚的社群结构。这种社群网络,一方面通过资源共享、技术协同以及知识流动等方式形成了高度互补的网络效应,另一方面通过股权交叉持有、战略联盟等组织形式建立起风险共担机制。上述两方面表明,社群网络能够降低技术迭代带来的不确定性风险,嵌入头部社群网络的数字企业可能发挥更大的赋能作用。为了深入剖析这一机理,本文基于中国工商数据库构建股权关系网络,并识别出每年的数字企业社群,识别数字企业是否嵌入TOP5的数字企业社群,据此将数字企业样本进行分组,计算数字接近度 DP_i^5 和 DP_i^6 。表5第(5)、(6)列结果显示, DP_i^5 的回归系数大于 DP_i^6 且通过了组间系数差异检验,从而验证了数字企业嵌入头部数字企业社群能够放大其对制造业企业的赋能作用。

表 5 多维视角下数字企业赋能作用的异质性检验

变量	产业多样性		技术生态完备性		数字企业社群	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
DP^1	0.1114*** (6.9350)	0.0361*** (4.1087)	0.1464*** (3.0453)	0.0455* (1.7940)	0.1831*** (4.6159)	0.0534** (2.1226)
DP^2						
DP^3						
DP^4						
DP^5						
DP^6						
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	547745	547745	560082	560082	560082	560082
调整 R ²	0.5732	0.5731	0.5670	0.5670	0.5670	0.5670

八、结论与政策启示

在中国经济迈向高质量发展的进程中,数字企业正在为制造业企业能源利用效率的提升和可持续发展注入新的动能。数字技术赋予实体产业更精细的能源管理手段和更高效的生产模式,为推动制造业绿色转型开辟了崭新路径。本文从超大规模市场视角,深入剖析了数字企业对制造业企业能源利用效率的赋能机理,力图为推动制造业绿色转型和可持续发展提供理论依据与政策建议。①将外部数字部门与企业能源利用效率纳入异质性企业理论模型,探讨了外部数字企业影响制造业企业能源利用效率的理论机制。②本文发现数字接近度的提高促进了中国企业能源利用效率提升。机制检验揭示了企业内的智能制造效应和绿色创新效应以及企业间的资源配置效应分别是导致微观企业层面和宏观整体层面能源利用效率提升的主要影响渠道。③超大规模市场还能够

放大数字企业对能源利用效率的提升作用,通过提升市场经济活动强度、削减市场摩擦以及强化互联网联系实现不同程度的放大效应。④本文发现数字企业在产业、技术以及社群三重维度的布局特征能够放大其赋能作用,为优化数字企业布局提供重要启示。基于此,本文研究结论具有如下政策启示:

(1)着力推动绿色标准提质升级,引导企业遵循数字化绿色转型路径。①强化外部的绿色标准约束。政府应制定覆盖关键生产环节的绿色标准,分行业、分类型制定差异化能耗排放要求并定期更新,且配套严格的节能评估与分级分类监管机制,确保与绿色发展趋势接轨。②树立绿色发展的高标准,以示范性路径引导企业借助数字化手段实现绿色转型。政府应在重点工业区域或产业集群中设立以数字化助推绿色转型的示范试点,通过提供专项补贴和税收减免等政策手段降低企业应用数字技术的成本,促进企业主动参与并形成试点项目进行推广,发挥示范效应的积极作用。③以数字交易平台建设实现示范路径的市场化普及。政府可以通过线上平台建设等方式形成集成化的数字技术交易与服务中心,将验证有效的试点技术纳入基础资源库,进而利用平台优势逐步转向市场化运作,推动制造业企业与数字企业在绿色标准压力下开展广泛深度的合作。

(2)强化外部数字技术供给,建设绿色节能数字企业孵化基地。政府应致力于为数字企业提供全面的政策扶持以及人才与专业设施的配备。①在政策扶持层面,基地内企业可享受简化审批、专利申请绿色通道和创新成果奖励等多项优惠政策,同时为初创企业提供创业资金和技术咨询,助力其在初期迅速发展。②在设施支撑层面,孵化基地应打造绿色技术实验空间,提供模拟真实工业场景的测试平台,并配备智能电网、可再生能源系统及数据分析设备等设施,加速节能技术的市场化应用。③在人才供给层面,鼓励基地内企业与高校、科研机构合作建立联合研发实验室,集中攻关能效管理和清洁能源应用等领域的技术难题,展示与推广研究成果。这种孵化基地模式通过政策、设施以及人才的全面支持,既降低了企业的研发成本与风险,又加速了技术转化效率,为绿色转型提供技术支撑。

(3)同步推进国际市场开拓与全国统一大市场建设,充分释放市场规模优势。①在国际市场层面,贯彻制度型开放的宗旨,积极签订绿色贸易协定,推动符合国际绿色标准的数字化绿色企业拓展海外市场。同时,通过绿色补贴、信贷、债券等手段降低其海外扩张的融资成本。②在国内市场层面,既要建立统一的市场准入、监管、税收及要素标准制度,简化跨区域经营的行政审批和合规要求,从而放大数字企业跨区域运营优势。应强化跨区域基础设施互联互通,通过交通网络扩容升级与数字基建全域覆盖,破解跨区域、跨行业的技术协作壁垒和“数据孤岛”等障碍。要持续发挥数字企业赋能和超大规模市场建设的双向互动和反馈作用。政府应鼓励引导数字企业利用其数据聚合处理能力与技术的通用性与渗透性,支撑统一大市场建设;同时,依托超大规模市场的多元需求与激烈竞争,激励数字企业技术迭代升级。

(4)培育多维度的数字生态系统,通过数字企业在产业、技术与社群的三维协同和布局优化来筑牢赋能根基,打造支撑制造业绿色转型的可持续性数字赋能生态,从生态系统层面支撑全社会能源环境绿色转型。①在产业维度上,政府要打造数字产业的多元化发展路径,利用数字技术的可重组性特征,将节能算法、碳排放监测等绿色数字技术解耦为标准化组件,促进制造业按自身技术需求组合应用。②在技术维度上,支持开源开放的数字技术生态与标准化体系建设,从而降低绿色数字技术模块的采用和集成成本,降低中小企业采用数字技术实现绿色转型的门槛。③在社群维度上,构建数字创新联盟或数字行业协作平台,通过社群协作增强企业间

绿色数字技术合作的信任资本与合作效率,破解“数据孤岛”与“重复投入”困局对发挥数字企业赋能作用的阻碍。

〔参考文献〕

- 〔1〕柏培文,喻理.数字经济发展与企业价格加成:理论机制与经验事实[J].中国工业经济,2021,(11):59-77.
- 〔2〕曹裕,李想,胡韩莉,万光羽,汪寿阳.数字化如何推动制造企业绿色转型?——资源编排理论视角下的探索性案例研究[J].管理世界,2023,(3):96-112.
- 〔3〕陈晓红,李杨扬,宋丽洁,汪阳洁.数字经济理论体系与研究展望[J].管理世界,2022,(2):208-224.
- 〔4〕陈钊,陈乔伊.中国企业能源利用效率:异质性、影响因素及政策含义[J].中国工业经济,2019,(12):78-95.
- 〔5〕戴翔,杨双至.数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型[J].中国工业经济,2022,(9):83-101.
- 〔6〕韩峰,黄敏,姜竹青.企业数字化、网络地位与污染减排[J].世界经济,2024,(2):204-232.
- 〔7〕洪银兴,任保平.数字经济与实体经济深度融合的内涵和途径[J].中国工业经济,2023,(2):5-16.
- 〔8〕蒋为,龚思豪,李锡涛.数字企业赋能中国对外贸易方式转型的效率与动力变革——基于中间品成本与需求结构的双重视角[J].管理世界,2024a,(9):41-72.
- 〔9〕蒋为,倪诗程,彭森.数实融合与企业出口产品策略优化:基于柔性生产视角[J].世界经济,2024b,(5):3-33.
- 〔10〕李金昌,连港慧,徐蔼婷.“双碳”愿景下企业绿色转型的破局之道——数字化驱动绿色化的实证研究[J].数量经济技术经济研究,2023,(9):27-49.
- 〔11〕李鑫,徐琼,王核成.企业数字化转型与绿色技术创新[J].统计研究,2023,(9):107-119.
- 〔12〕盛斌,刘宇英.走出产品“舒适区”:企业数字化与出口产品转换[J].中国工业经济,2024,(8):61-79.
- 〔13〕肖静华.企业跨体系数字化转型与管理适应性变革[J].改革,2020,(4):37-49.
- 〔14〕肖旭,戚聿东.产业数字化转型的价值维度与理论逻辑[J].改革,2019,(8):61-70.
- 〔15〕周密,郭佳宏,王威华.新质生产力导向下数字产业赋能现代化产业体系研究——基于补点、建链、固网三位一体的视角[J].管理世界,2024,(7):1-26.
- 〔16〕Alfaro, L., and M. X. Chen. Selection and Market Reallocation: Productivity Gains from Multinational Production[J]. American Economic Journal: Economic Policy, 2018, 10(2): 1-38.
- 〔17〕Barrows, G., and H. Ollivier. Foreign Demand, Developing Country Exports, and CO₂ Emissions: Firm-level Evidence from India[J]. Journal of Development Economics, <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102587>, 2021.
- 〔18〕Chiarini, A. Industry 4.0 Technologies in the Manufacturing Sector: Are We Sure They Are All Relevant for Environmental Performance[J]. Business Strategy and the Environment, 2021, 30(7): 3194-3207.
- 〔19〕De Ridder, M. Market Power and Innovation in the Intangible Economy[J]. American Economic Review, 2024, 114(1): 199-251.
- 〔20〕Jo, A. Substitution between Clean and Dirty Energy with Biased Technical Change[J]. International Economic Review, 2025, 66(2): 883-902.
- 〔21〕Levinsohn, J., and A. Petrin. Estimating Production Functions Using Inputs to Control for Unobservables[J]. Review of Economic Studies, 2003, 70(2): 317-341.
- 〔22〕Melitz, M. J., and G. I. P. Ottaviano. Market Size, Trade, and Productivity[J]. Review of Economic Studies, 2008, 75(1): 295-316.
- 〔23〕Nepal, R., X. Zhao, K. Dong, J. Wang, and A. Sharif. Can Artificial Intelligence Technology Innovation Boost Energy Resilience? The Role of Green Finance[J]. Energy Economics, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.108159>, 2025.
- 〔24〕Verhoef, P. C., T. Broekhuizen, Y. Bart, A. Bhattacharya, J. Q. Dong, N. Fabian, and M. Haenlein. Digital Transformation: A Multidisciplinary Reflection and Research Agenda[J]. Journal of Business Research, 2021, 122: 889-901.

Digital Firms Enablement, Super-Scale Market Advantage and Energy Utilization Efficiency

SONG Yi-jia¹, CHEN Xing-da², Li Xi-tao³, CHEN Jia-qi²

(1. Institute of Chinese Financial Studies, SWUFE;

2. International Business School, SWUFE;

3. School of Economics, Sichuan University)

Abstract: As industrial economies continue to mature, the marginal gains derived from improving traditional energy efficiency are gradually diminishing, and technological innovation is increasingly facing significant bottlenecks. Nevertheless, the rapid rise of digital enterprises has fostered a vibrant external market for digital technologies. By accelerating the deep integration of digital and real economy, this transformation has significantly reshaped resource allocation patterns, offering new possibilities for overcoming the constraints of conventional energy use and creating fresh opportunities for enhancing global energy efficiency. Therefore, examining how digital enterprises empower the manufacturing sector and optimize energy utilization efficiency is not only vital for exploring new pathways to sustainable industrial development but also critical for achieving the “dual carbon” targets.

This paper develops an extended heterogeneous firm model incorporating both external digital sectors and endogenous technological decision-making. It investigates the theoretical mechanisms through which external digital sectors influence the energy efficiency of manufacturing firms from three perspectives: digital investment, green innovation, and resource reallocation across firms. This paper further explores how the impact of digital sectors on energy efficiency is amplified within ultra-large-scale markets. Using data on Chinese industrial firms, this paper applies ensemble learning methods to identify digital enterprises and construct a proxy variable for digital proximity. Empirical analysis is conducted using firm-level Chinese tax survey data from 2007 to 2016, and a counterfactual analysis with dynamic adjustment of key factors is employed to identify the sources of ultra-large-scale market advantages. In addition, this paper systematically analyzes the heterogeneous effects of digital enterprises' spatial distribution in three dimensions: industrial diversity, technological ecosystem, and digital community network. Empirical results show that increases in digital proximity significantly enhance energy efficiency through smart manufacturing and green innovation. Moreover, it promotes the reallocation of market resources toward firms with higher energy efficiency, ultimately improving overall energy efficiency. The ultra-large-scale market further amplifies the enabling role of digital enterprises in improving energy efficiency. Additionally, this paper finds that regional industrial diversity, well-developed technological ecosystems, and strong integration into digital community networks further strengthen the empowering effect of digital enterprises. Hence, this paper offers theoretical foundations and policy insights for enhancing energy efficiency through digital empowerment and maximizing the advantages of ultra-large-scale markets.

The marginal contributions of this paper lie in three main areas. First, it takes a novel approach by analyzing how the digital economy can support green and high-quality development from the perspective of external digital market supply. It systematically deconstructs the heterogeneous effects of digital enterprises' distribution across the dimensions of industrial diversity, technological ecosystems, and digital community networks. Second, this paper extends the theoretical framework for analyzing energy efficiency by incorporating both external digital investment and internal green innovation as joint endogenous decisions. It explores the environmental benefits of optimized resource allocation from a dynamic market perspective, thereby establishing a comprehensive theoretical framework for understanding how digital enterprises enhance energy efficiency. Third, this paper investigates the reinforcing role and source of advantage in ultra-large-scale markets and employs counterfactual analysis to quantify their potential to boost energy efficiency through digital empowerment. This deepens existing literature's understanding of how such large-scale market advantages emerge and function.

Keywords: digital firms; energy utilization efficiency; ultra-large-scale market; smart manufacturing; green innovation

JEL Classification: O14 L16 R11

[责任编辑:覃毅]