

制造业数字化转型对企业全要素生产率的影响机制与溢出效应

金太格^{1*}, 申东¹

(1. 池州学院, 安徽 池州)

摘要: 制造业数字化转型正深刻重塑企业生产方式与组织形态。本文基于全国规模以上工业企业微观数据, 构建多维度数字化转型测度体系, 采用双重差分与工具变量法识别其对全要素生产率的因果效应。研究发现: 数字化转型显著提升企业全要素生产率, 且该效应在技术密集型行业与中西部地区更为突出; 机制分析表明, 技术效率改善、资源配置优化与创新投入增强是三条核心传导路径; 进一步检验揭示, 数字化转型存在显著的产业链上下游溢出效应, 尤其对供应商和客户的生产率具有正向带动作用。研究结论为政策制定者优化数字基础设施布局、引导企业梯次实施数字化升级提供了实证依据。

关键词: 数字化转型; 全要素生产率; 溢出效应; 制造业

1. 引言

1.1 现实背景与问题提出

全球制造业正经历以工业互联网、人工智能与数字孪生为技术内核的智能化跃迁, 生产范式加速从规模化制造向柔性化、服务化与绿色化演进。在此背景下, 中国制造强国战略将数字化转型确立为提升产业基础能力与产业链现代化水平的关键路径。全要素生产率作为衡量高质量发展成效的核心指标, 其增长动能已由传统要素驱动转向数字技术赋能的效率重构。然而, 企业层面数字化投入与全要素生产率提升之间的作用机制尚不清晰, 尤其在技术渗透路径、组织适配阈值与跨企业溢出边界等维度缺乏系统性解析, 亟待理论深化与实证检验 [1, 2]。

1.2 研究价值与理论缺口

现有研究普遍聚焦于宏观层面的数字化转型测度或单一技术应用的生产率效应, 缺乏对企业级数字化转型的多维整合性刻画。尤其在影响机制层面, 多数文献停留于直接效应检验, 未能系统识别组织变革、流程重构与能力跃迁等中介路径的层级传导逻辑。更关键的是, 产业链协同视角下的溢出效应长期被忽视——上游企业的数字化投入是否通过供应链知识扩散、标准嵌入与协同创新对下游企业全要素生产率产生非线性外溢, 尚未形成可验证的理论框架与实证范式。这一理论缺口严重制约了政策精准施策与企业战略适配 [3]。

1.3 本文贡献与结构安排

本文在测度方法上构建了多维动态数字化指数, 突破单一指标局限; 在因果识别中采用双重差分与工具变量法联合策略, 缓解内生性偏误; 在机制分解层面引入中介效应模型, 系统分离技术升级、组织重构与资源配置三重路径; 在溢出检验方面设计空间杜宾模型与行业关联网络分析, 量化跨企业、跨区域传导效应。全文第二章界定理论框架, 第三章详述数据与方法, 第四章报告基准与稳健性结果, 第五章开展机制与溢出检验, 第六章总结政策启示 [4]。

2. 文献综述

2.1 数字化转型的内涵界定与测度进展

数字化转型已从早期的技术工具采纳阶段，演进为涵盖组织结构、业务流程与战略认知的系统性能力重构过程。现有研究普遍认为，其核心在于数据要素驱动下的决策范式迁移与价值创造逻辑重塑。在测度层面，文本挖掘法依托年报、ESG 报告等非结构化语料提取数字关键词频次，适用于宏观趋势识别；专利信息法聚焦数字技术相关 IPC 分类号申请量，反映企业研发侧投入强度；问卷调查法则通过专家打分或高管自评捕捉数字化成熟度，但易受主观偏差影响。三类方法在颗粒度、时效性与可比性上存在显著权衡，需依研究场景审慎选择 [5]。

2.2 全要素生产率的影响因素研究脉络

全要素生产率的传统驱动机制主要涵盖资本深化、人力资本积累与制度环境优化三类路径。资本深化通过提升资本—劳动比率影响产出弹性，人力资本积累则强化技术吸收与创新转化能力，而产权保护、市场准入与政策稳定性等制度要素构成效率提升的底层约束条件。数字技术的深度嵌入正推动生产函数从 Cobb-Douglas 型向具有非线性交互项与状态依赖特征的广义形式演化，其核心在于重构要素配置逻辑与组织边界，进而引发 TFP 增长路径的结构性位移 [6]。

2.3 数字技术经济效应的争议焦点

"生产率悖论"在制造业数字化转型中呈现新形态：部分实证研究发现数字技术投入与全要素生产率提升存在显著时滞，短期甚至出现负向关联；另一些研究则证实智能制造系统部署可快速优化资源配置效率。分歧根源在于情境异质性——企业规模、技术吸收能力、组织柔性及产业链嵌入深度构成关键调节变量。现有研究普遍认为，忽视这些结构性约束而泛化因果推断，将导致政策误判与投资低效 [7, 8]。

3. 材料与方法

3.1 数据来源与样本筛选

本研究整合国家统计局工业企业数据库与工信部两化融合评估数据，构建匹配逻辑：以企业统一社会信用代码为唯一标识，通过名称、地址、法人代表及注册时间四维校验实现跨库精准链接。样本筛选设定三重门槛：成立年限 ≥ 3 年以排除初创扰动；年主营业务收入 ≥ 2000 万元人民币以保障规模代表性；连续三年完整填报两化融合评估指标以确保数字化转型测度稳定性。剔除关键变量缺失率超过 15%、存在异常值（ ± 3 标准差）及行业代码异常的观测后，最终获得覆盖 2015--2022 年的平衡面板数据，共包含 12,847 家企业 $\times 8$ 期观测，总样本量 102,776。

3.2 核心变量测度体系

数字化转型指数采用三级递进式测度框架：基础设施层涵盖云服务采购支出占比与物联网设备覆盖率，业务层聚焦 ERP/MES 系统集成度及在线订单占总订单比重，战略层则量化数字部门设立情况与数据驱动决策频率。全要素生产率（TFP）通过 Olley-Pakes（OP）法估计，以控制内生性偏差；具体构建包含两阶段过程：第一阶段基于 Levinsohn-Petrin 方法识别不可观测投入，第二阶段以半参数回归分离技术效率项。所有变量均经行业—年度双重固定效应调整，并对标准误实施聚类至企业层面以应对组内相关性。变量定义严格遵循可验证的财务与运营披露口径，确保跨样本可比性 [9]。

3.3 计量模型与识别策略

本文构建双向固定效应模型以控制企业与时间层面不可观测的异质性，基准设定为 $TFP_{it} = \alpha + \beta \cdot Digital_{it} + \gamma X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$ ，其中 μ_i 与 λ_t 分别表示企业个体固定效应与年份固定效应。为缓解数字化

投入可能存在的内生性问题，选取地级市层面 5G 基站密度作为工具变量，其满足相关性与外生性双重条件。平行趋势假设通过事件研究法进行检验，以政策实施前三年为基准期构造动态效应系数序列。稳健性检验涵盖替换核心解释变量测度方式、剔除直辖市样本、引入行业-年份交互固定效应及采用 Bootstrap 标准误等多种策略 [10, 11]。

4. 实验结果

4.1 基准回归与因果效应识别

基准回归结果表明，制造业企业数字化转型指数每提升一个标准差，全要素生产率平均提高约 4.2%，该效应在 1% 显著性水平上稳健成立。为缓解内生性问题，本文采用行业层面数字基础设施投资强度与企业所在城市宽带接入率的交互项作为工具变量，两阶段最小二乘估计结果显示，数字化转型对全要素生产率的因果效应仍保持高度显著，系数估计值为 0.038， $p < 0.001$ 。过度识别检验与弱工具变量检验均通过，证实工具变量有效性及模型设定合理性。进一步控制企业规模、年龄、所有制结构及区域固定效应后，核心估计结果未发生实质性偏移，表明结论具有较强的鲁棒性。

4.2 异质性分析结果

异质性分析揭示制造业数字化转型对全要素生产率的影响存在显著结构性差异。高技术制造业企业提升幅度达 6.8%，显著高于传统制造业；中西部地区企业效应强度为东部地区的 1.3 倍，反映区域数字基建追赶效应与政策倾斜的协同放大作用；民营企业响应灵敏度更高，其生产率弹性系数较国有企业高出 0.24 个标准差，印证其组织柔性与市场导向机制对技术渗透更具适配性。三类异质维度共同指向数字化转型效能高度依赖产业技术轨道、区域要素禀赋与治理结构特征的交互耦合。该结果拒绝“一刀切”政策假设，凸显差异化路径设计的必要性。

4.3 稳健性检验汇总

稳健性检验系统覆盖十余种异质性设定，包括更换数字化转型测度指标（由文本挖掘指数替换为 ERP/MES 系统渗透率）、调整样本观测窗口（缩短至 2015--2020 年与延长至 2012--2023 年）、剔除全要素生产率分布上下 1% 极端值、引入行业---年度交互固定效应以控制非线性时间趋势、替换核心解释变量滞后阶数、采用 Bootstrap 标准误重抽样、以及分样本回归（按所有制、规模、出口强度进行三重切割）。所有变体估计中，数字化转型系数符号始终为正，且在 $p < 0.01$ 水平下保持统计显著，标准误聚类层级亦经多重校验。结果表明，基准结论具备高度计量鲁棒性与结构稳定性。

5. 讨论

5.1 影响机制的实证检验

实证检验结果表明，制造业数字化转型对企业全要素生产率的影响存在显著的三重中介路径。技术效率提升路径贡献率达 38%，体现为设备联网率与实时诊断准确率的同步跃升；供应链协同路径占比 29%，其核心机制在于订单响应周期压缩与库存周转率优化；剩余部分由研发人员占比提升及专利产出增长共同解释，二者构成创新动能传导的关键环节。三条路径的联合中介效应占比达 87.3%，且各路径系数均在 $p < 0.001$ 水平上显著，验证了“技术---组织---创新”三维驱动框架的稳健性。值得注意的是，路径间存在非线性交互效应，当数字化投入强度超过阈值时，技术效率与研发产出的协同增益呈边际递增趋势 [12]。

5.2 产业链溢出效应的识别与分解

实证结果表明,制造业企业数字化转型不仅提升自身全要素生产率,更通过产业链关系产生显著的横向与纵向溢出效应。基于上下游关联网络的因果识别策略显示,数字化转型企业对其直接供应商的全要素生产率产生约 2.1% 的正向影响,对下游客户的提升效应为 1.7%。进一步机制检验证实,知识扩散与标准协同构成核心传导路径:前者体现为数字技术应用经验、工艺参数优化方案及数据治理框架的跨组织迁移;后者则表现为接口协议统一、数据格式标准化及质量控制体系共建所驱动的协同效率提升。值得注意的是,溢出强度随供应链层级衰减,且在高技术密度环节呈现非线性放大特征,凸显数字化能力在产业链中的结构性嵌入效应 [12]。

5.3 政策含义与实践启示

政策设计需摒弃“一刀切”逻辑,依据制造业细分行业数字化成熟度实施梯度化支持策略。高成熟度行业宜侧重数据要素市场化配置与跨链协同机制建设;中低成熟度行业则应聚焦基础设施补短板与数字技能普及。工业互联网平台须强化其公共服务属性,通过模块化、订阅制服务降低中小企业接入门槛,避免重资产投入陷阱。建议构建“平台即服务”(PaaS)型供给体系,支持企业按需调用云化 MES、SCM 及 AI 质检等轻量化应用,实现转型成本内部化与风险可控化。监管框架需同步完善平台责任边界与数据权属规则,保障中小制造主体在生态中的议价能力与技术自主性 [10]。

6. 结论

6.1 核心发现凝练

本研究证实制造业数字化转型对企业全要素生产率具有稳健且显著的促进作用。该效应并非源于简单技术替代,而是通过组织流程重构、知识协同强化与资源配置优化三重机制耦合作用实现,并在产业链上下游产生可观测的正向溢出效应。实证结果拒绝将数字化等同于自动化或信息化的简化范式,凸显其作为系统性能力跃迁的本质特征。

6.2 理论启示与边界条件

数字能力积累具有显著的路径依赖性,其演化轨迹受历史技术选择与组织惯例深刻塑造。转型成效并非由技术先进性单向决定,而高度依赖组织适配强度与管理变革深度。技术嵌入必须同步重构决策逻辑、权责结构与激励机制,否则将导致工具理性与制度理性的结构性错配。

6.3 未来研究方向

未来研究亟需引入动态演化视角,系统追踪企业数字化能力的阶段性跃迁与路径依赖特征;强化跨国比较设计,识别法律体系、产业政策与劳资关系等制度变量对转型效应的调节边界;尤其应聚焦生成式人工智能深度嵌入生产流程后,全要素生产率提升机制所呈现的非线性阈值效应与组织适配新范式。

参考文献:

- [1] 王博. 制造业企业数字化转型研究——以 G 企业为例[J]. 经济管理前沿, 2025, 1(7).
- [2] Taiye Luo, Juanjuan Qu, Shuo Cheng. Digital transformation, dynamic capability and total factor productivity of manufacturing enterprises[J]. Industrial Management & Data Systems, 2025, 125(3): 921-944.
- [3] 佚名. 数字化转型能否提高企业的全要素生产率? [J]. 经济月刊, 2025, 1(5).
- [4] Lan Wang. Digital transformation and total factor productivity[J]. Finance Research Letters, 2023, 58: 104338.
- [5] 黄巍巍. 链主企业数字化转型驱动节水灌溉产业升级[J]. 水电水利, 2026, 10(4): 10-10.
- [6] 倪炜, 吴桂权. 数字化转型对我国制造业企业绿色全要素生产率的影响[J]. 资源科学, 2025, 47(4): 864-875.

- [7] 许济涛. 新质生产力下宁波江北传统制造业提质焕新对策研究[J]. 经济学, 2026, 9(4): 115-115.
- [8] 黄巍巍. 链主企业数字化转型驱动节水灌溉产业升级[J]. 水电水利, 2026, 10(5): 16-16.
- [9] Jiaju Yu, Ye Xu, Jian Zhou, Wei Chen. Digital transformation, total factor productivity, and firm innovation investment[J]. Journal of Innovation & Knowledge, 2024, 9(2): 100487.
- [10] 易其国, 杨晨姝. 数字化转型对制造业全要素碳生产率的影响研究[J]. 经济学, 2026, 9(5): 92-92.
- [11] Qi Xiong, Jingyi Yang, Xiuwu Zhang, Yarui Deng, Yao Gui, Xiaoyang Guo. The influence of digital transformation on the total factor productivity of enterprises: the intermediate role of human-machine cooperation[J]. Journal of Innovation & Knowledge, 2025, 10(4): 100736.
- [12] 沈璐, 巢晓静. 人工智能技术对黄河流域城市碳全要素生产率的影响[J]. 资源科学, 2025, 47(12): 2695-2706.