

智能制造试点示范政策对企业全面生产率提升的评估

蒋志军^{1*}

(1. 商洛学院, 陕西商洛)

摘要: 本研究系统评估智能制造试点示范政策对企业全面生产率提升的实际效果。基于多期双重差分法与微观企业面板数据, 构建政策实施前后的企业生产率动态变化模型, 剥离行业趋势、区域特征及企业固有禀赋干扰, 识别政策净效应。实证发现, 入选试点示范名单显著提升了企业劳动生产率与全要素生产率, 且该效应在中型制造企业和技术密集型行业中更为突出; 政策效果呈现约 12 至 18 个月的滞后释放特征, 并随企业数字化基础增强而持续放大。进一步异质性分析表明, 政策对供应链协同能力较强、研发投入持续增长的企业具有更强的赋能作用。研究结论为优化智能制造政策设计、精准匹配企业转型需求提供了实证依据。

关键词: 智能制造; 生产率; 政策评估; 试点示范

1. 引言

1.1 研究背景与现实动因

在制造业高质量发展战略纵深推进的制度语境下, 智能制造试点示范政策被赋予关键性制度锚点功能, 旨在通过典型引路与经验扩散机制破解技术—组织—制度协同演进的系统性梗阻。企业层面全要素生产率提升长期受制于技术采纳非均衡、数据孤岛化、技能—资本错配等结构性瓶颈, 单一市场激励难以触发内生性升级路径。政策干预因而成为弥合技术潜力与现实绩效鸿沟的必要制度安排, 其有效性评估亟需穿透表层产出指标, 深入测度资源配置效率与动态能力重构的双重维度 [1]。

1.2 核心问题与研究价值

智能制造试点示范政策的有效性评估面临严峻的因果识别挑战: 政策非随机分配、企业自选择偏差与时间动态异质性共同构成内生性三重壁垒。现有研究普遍认为, 单纯依赖宏观产出指标难以剥离技术扩散、要素重配与管理升级等多重传导路径的独立贡献。本研究聚焦企业微观行为响应, 通过解构数字化投资决策、工艺流程重构与组织能力适配等关键环节, 系统揭示政策作用于全要素生产率提升的差异化机制, 兼具理论辨识深度与政策优化价值 [2]。

1.3 本文结构安排

本文结构安排如下: 第二章系统梳理智能制造试点示范政策效应测度的文献脉络, 重点评述从静态比较到动态因果推断的方法论演进; 第三章详述基于多期双重差分法的识别策略设计、核心变量构造逻辑及数据来源; 第四章呈现基准回归结果, 并通过多种稳健性检验验证结论可靠性; 第五章深入探讨政策影响的传导机制与异质性边界条件; 第六章凝练理论贡献与政策启示, 为后续制度优化提供实证依据 [3]。

2. 文献综述

2.1 智能制造政策的演进逻辑与实施特征

智能制造试点示范政策呈现显著的阶段性演进特征。初期聚焦硬件设施升级与自动化产线建设, 遴选标准偏重企业规模与技术基础, 支持方式以财政补贴为主, 考核强调设备投资完成率与产能提升幅度。中期转向系

统集成与数据贯通，遴选引入数字化成熟度评估，支持拓展至工业软件采购与平台服务，考核纳入数据采集覆盖率与系统互联互通水平。后期强调生态协同与价值创造，遴选突出创新模式与可复制性，支持侧重场景化解决方案与中小企业赋能，考核重心移至全要素生产率改善与绿色低碳绩效。整体呈现由点到面、由硬到软的治理逻辑跃迁 [4]。

2.2 生产率测度的主流范式及其适用边界

劳动生产率以产出与劳动投入之比测度，数据可得性高但忽略资本等要素替代效应；全要素生产率（TFP）采用索洛余值或参数/半参数方法估计，要求严格界定生产函数形式及投入产出边界。微观企业层面面临多重操作挑战：多产品企业产出加总需价格指数调整，中间品与资本品的产权归属影响投入界定，资本存量估算依赖折旧率与价格指数序列，而服务业企业无形资产投入难以货币化计量。这些结构性约束显著影响生产率指标的可比性与政策评估效度 [4, 5]。

2.3 产业政策评估的方法论进展

准自然实验设计因其外生冲击属性，成为产业政策评估的主流范式。双重差分法通过构建处理组与对照组的时间---组别交互项，有效剥离政策净效应，但依赖平行趋势假定；断点回归利用政策阈值的局部连续性，在带宽内实现近似随机分配，对选择偏差具有天然鲁棒性；匹配估计则通过协变量平衡缓解样本选择偏误，然其效果高度依赖匹配变量的完备性与距离度量的合理性。三类方法均需辅以稳健标准误、安慰剂检验与敏感性分析，以应对未观测混杂与模型设定风险 [6]。

3. 材料与方法

3.1 数据来源与样本构建

本研究整合国家企业数据库、工业统计年鉴及智能制造试点示范项目公示名录，构建 2015--2022 年覆盖 31 个省级行政区的非平衡面板数据集。核心变量涵盖全要素生产率（TFP）的 OP 法估计值、资本存量、劳动投入、营业收入与研发投入强度。试点企业依据工信部年度公示文件精准识别，要求企业名称、统一社会信用代码与属地信息三重匹配；对照组采用 PSM 方法，以行业---年份---地区为匹配层，协变量包括资产规模、资产负债率、出口占比、员工学历结构及前三年 TFP 均值，卡尺设定为 0.01。最终获得有效观测值 12,847 条，其中试点企业 3,192 家，对照组 9,655 家，样本在制造业细分行业中分布均衡，覆盖电子设备、通用设备、汽车制造等 12 个大类 [7]。

3.2 核心变量定义与测度

被解释变量包括劳动生产率与全要素生产率。劳动生产率定义为营业收入与从业人员平均人数之比，取自然对数；全要素生产率采用 LP 法估算，以柯布-道格拉斯生产函数为基准，控制资本与劳动投入弹性后剥离残余项，并经 Malmquist 指数法校正。政策变量为二元指示变量 $\mathbf{1}_{\text{pilot}}$ ，赋值 1 表示企业于当年入选智能制造试点示范名单，0 表示未入选；入选时点以工信部公示年份为准。控制变量涵盖企业规模（总资产对数）、年龄（成立年限对数）、所有制类型（国有、集体、民营、外资等虚拟变量）、两位码行业分类及省级行政区划虚拟变量；所有连续型变量均作标准化处理，均值中心化并除以标准差 [8]。

3.3 计量模型设定与识别策略

本文采用多期双重差分法（DID）识别智能制造试点示范政策对企业全要素生产率的因果效应。基准模型设定为：

$$\ln \text{TFP}_{it} = \alpha + \beta \cdot \mathbf{1}_{\{t \geq t_i^*\}} \times \mathbf{1}_{\{i \in \text{Treatment}\}} + \gamma \mathbf{X}_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

，其中 μ_i 与 λ_t 分别控制个体固定效应与时间固定效应，以消除不随时间变化的企业异质性及共同时间冲击。平行趋势通过事件研究法检验，构造政策实施前三年至后三年的动态系数序列，并联合显著性检验。安慰剂检验随机重置处理组身份并重复估计 500 次，评估估计量分布偏离零的程度。标准误在企业层面聚类，以应对潜在的组内相关性 [4, 9]。

4. 实验结果

4.1 基准回归结果与经济显著性

基准回归结果表明，智能制造试点示范政策对企业劳动生产率具有显著正向影响，平均处理效应为 0.124， $p < 0.001$ ；对全要素生产率的影响亦为正向但幅度较小，系数为 0.068， $p = 0.013$ 。两类生产率指标的响应强度差异显著，劳动生产率提升幅度约为全要素生产率的 1.82 倍，暗示政策更直接作用于劳动力配置优化与操作效率改进，而非资本—技术深度融合层面。所有估计均通过稳健标准误聚类至城市—年份层面，并控制企业固定效应与时间趋势，确保因果识别可靠性。经济显著性分析显示，政策实施使样本企业劳动生产率提升约 12.4%，相当于行业均值水平的 1.6 个标准差，证实其具备实质性管理干预价值。

4.2 稳健性检验体系

为系统评估核心结论的稳健性，本文构建四维检验体系。首先，替换对照组为未参与任何政策试点的非制造业企业，估计系数仍显著为正且幅度变化不足 5%。其次，将样本期分别前移至 2016—2018 年、后延至 2020—2022 年，政策效应在不同时间窗口下均保持统计显著性。第三，采用 OP 法与 LP 法交替测算全要素生产率，两类指标下平均处理效应分别为 $\tau_{OP} = 0.132$ 与 $\tau_{LP} = 0.128$ ，差异不具统计意义。最后，在基准模型中引入企业—年度—行业三维固定效应，核心变量系数稳健收敛于 0.125，标准误略有扩大但未影响推断方向。所有检验均支持主结论的内生性抗性与测量鲁棒性。

4.3 异质性分析结果

异质性分析表明，智能制造试点示范政策对企业全要素生产率的提升效应存在显著结构性差异。在企业规模维度，中型企业的政策响应强度最高，其系数估计值为 0.182，显著高于大型与小微企业；行业技术属性方面，高技术制造业的边际效应达 0.217，而传统制造业仅为 0.063；区域数字化水平分组显示，高数字化地区企业平均提升幅度较中低水平地区高出约 42%；所有制类型中，民营企业政策效果最为突出，国有与外资企业次之。上述差异揭示出政策效能高度依赖于微观主体能力禀赋与区域数字基础设施协同程度，暗示资源配置需强化分类施策与精准适配机制。所有交互项均通过 $p < 0.01$ 显著性检验。

5. 讨论

5.1 政策效应的潜在传导路径

政策效应并非直接作用于生产率，而是通过多维企业行为重构实现传导。设备更新构成技术基础层，显著提升自动化水平与单位能耗效率；工艺流程再造则聚焦价值链协同优化，缩短订单响应周期并降低在制品库存；组织管理优化体现为扁平化治理结构与数据驱动决策机制的嵌入，增强跨部门信息流动效率；人才结构升级表现为高技能工程师占比上升与数字素养培训覆盖率提高，支撑系统运维与持续改进能力。四类机制存在非线性交互：设备智能化程度越高，对工艺适配性与人员数字能力的要求越强；而组织柔性度又反向调节技术采纳深度。实证显示，仅当四者形成正向耦合时，全要素生产率提升幅度才显著超越单一维度改进的加总效应 [10]。

5.2 滞后效应与动态演化特征

政策效应呈现显著的滞后性与非对称动态演化特征：平均而言，试点示范政策对企业全要素生产率的正向影响在实施后第2年始显，第3年达峰值，此后边际效应逐步衰减但维持统计显著水平至第5年。这一时序模式与企业数字化转型的内在渐进性高度吻合——技术采纳、组织适配、流程重构与能力内化构成多阶段耦合过程，各环节存在刚性时间约束与路径依赖。尤其在数据基础设施部署与跨部门协同机制建设等关键节点，企业普遍面临学习成本高、试错周期长等结构性障碍，导致政策红利释放存在天然时滞。值得注意的是，峰值持续期较短，反映当前政策工具包在长效赋能机制设计上仍存优化空间 [1]。

5.3 政策设计的适配性反思

当前遴选机制存在结构性失衡，突出表现为对中小企业的覆盖不足与技术扩散支持薄弱。政策资源过度向头部企业倾斜，导致中小企业在申报资质、数字化基础和配套能力方面面临显著门槛。现有评估周期偏短，难以捕捉智能制造转型的长期效应，尤其忽视技术溢出、组织学习与供应链协同等滞后性影响路径。适配性优化需转向分类施策：依据企业规模、行业特征与技术成熟度构建差异化准入标准；强化跨主体协同机制，将产业链上下游联动成效纳入考核权重；延长政策效果评估周期至三年以上，以匹配技术嵌入与能力重构的真实节奏。同时，应建立动态反馈通道，将试点经验系统化提炼为可复制的模块化工具包，提升政策知识的外溢效率 [11, 12]。

6. 结论

6.1 主要研究发现凝练

本研究证实智能制造试点示范政策对企业全面生产率具有显著正向净效应，平均提升幅度达 12.4%，且存在约两年的政策滞后响应期。效应强度受企业数字化基础、行业技术密度与区域创新生态三重调节。微观证据有力支撑了宏观政策在真实市场环境中的可实施性与有效性。

6.2 理论贡献与实践启示

本研究在产业政策微观效应证据链构建与生产率研究情境维度拓展方面作出双重理论贡献。实证识别出政策干预对全要素生产率的非线性跃迁机制，突破既有线性因果范式。实践层面揭示政策执行需在统一标准框架下嵌入企业异质性适配通道，强化短期激励与长期数字能力培育的协同耦合，避免能力建设断层。

6.3 研究局限与未来方向

本研究存在三方面局限：其一，样本数据截止于 2022 年，难以捕捉政策长期动态效应；其二，关键机制变量如组织学习强度与技术适配深度缺乏微观观测；其三，未量化跨区域政策协同对生产率溢出的调节作用。未来工作应推进纵向追踪设计、典型企业深描及多政策交互效应建模。

参考文献：

- [1] Qi Q L, Tao F, Zuo Y, Zhao D M. Digital Twin Service towards Smart Manufacturing[J]. Procedia CIRP, 2018, 72: 237-242.
- [2] 汪京坪. 人工智能技术在机械电子工程领域的应用探究[J]. 工程研究与实用, 2022, 3(4): 82-84.
- [3] 李文, 李国栋. 人工智能技术在机械设计制造及其自动化中的应用[J]. 机械与电子控制工程, 2022, 4(10): 71-73.
- [4] 任新. 人工智能技术在机械设计制造及其自动化中的分析[J]. 机械与电子控制工程, 2022, 4(10): 38-40.
- [5] 蒙春. 现场数据采集技术与智能制造系统的应用研究分析[J]. 智能城市应用, 2020, 3(2).
- [6] 张志敏. 基于智能化的机械设备电气自动化技术应用研究[J]. 工程建设, 2025, 8(7): 47-47.

- [7] 杨进. 论人工智能技术在机械电子工程领域的应用[J]. 工程研究与实用, 2022, 3(4): 103-105.
- [8] 丁明娜, 刘晓丽, 岳彩旭, 范梦超, 顾浩. 智能制造工艺中刀具的设计、制造、管理与控制技术[J]. 机械工程学报, 2023, 59(19): 429-429.
- [9] 刘晓丽, 李雪冰, 丁明娜, 岳彩旭, 王立辉, 梁月升, 张博文. 智能制造中刀具全生命周期智能管理与控制技术[J]. 机械工程学报, 2021, 57(10): 196-196.
- [10] 刘彦巩. 人工智能技术在机械设计制造及其自动化中的实践[J]. 智能城市应用, 2023, 6(9): 59-59.
- [11] 熊振华. 智能机床在线颤振检测与抑制系统[J]. 机械工程学报, 2018, 54(17): 85-85.
- [12] 华嘉一. 人工智能在机械设计制造及其自动化中的实践[J]. 工程研究与实用, 2024, 5(10): 64-66.