

技术改造补贴如何推动工业智能化发展？

吴浪 石军伟

摘要:在新一轮科技革命和产业变革背景下,工业智能化被视为培育新质生产力、推动制造业高质量发展的关键载体。本文基于2012—2022年中国A股上市制造业企业数据,运用多维固定效应面板模型,并结合工具变量等方法,系统考察政府技术改造补贴对企业工业智能化发展的影响及其作用机制。研究发现,其一,技术改造补贴通过三重传导机制——融资约束缓释、企业家关注强化和技术创新激励效应,协同赋能企业工业智能化发展。其二,政策效应呈现结构性差异:成长期企业的融资约束缓释效应更强,小规模企业凭借组织敏捷性展现出更高的关注敏感度,而大型企业与国有企业在技术创新层面更具执行力。其三,企业所处区域营商环境构成重要情境变量,优越的法治与市场环境,不仅为技术改造政策提供了“落地之基”,更成为其发挥“赋能之效”的制度杠杆,凸显出制度质量对政策工具实效的系统性调节作用。研究结果从机制与情境双维度揭示了产业政策促进新质生产力发展的微观基础,为补贴政策制定提供一定参考。

关键词:新质生产力 工业智能化 技术改造 政府补贴 创新驱动

中图分类号:F424.3

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2026)02-0019-19

一、问题提出与相关研究

在全球科技革命与产业变革的深刻交织下,以人工智能、大数据、物联网等为代表的工业智能化技术集群,正日益成为重塑全球产业竞争格局的核心驱动力。在这一宏观背景下,中国制造业虽已在规模上实现历史性跨越,但其“大而不强”的转型困境依然突出。当工业智能化发展将劳动生产率边界不断推向新高^[1],传统依赖要素投入的增长模式已面临边际收益递减的刚性约束,甚至成为企业转型升级的瓶颈^[2]。若缺乏以工业智能化为核心的科技革命系统支撑,仅依靠经济体内生的量变积累,将难以实现全要素生产率的实质性跃升^[3]。因此,推动工业智能化向纵深发展,不仅是中国制造业突破当前困境的关键路径,更是培育新质生产力的战略支点。

新质生产力的概念深植于马克思主义政治经济学传统,其本质在于通过生产要素及其组合方式的根本性变革,引发整个生产方式的结构性质变。在这一理论框架中,工业智能化作为新一代通用技术(GPTs)的典型代表,其形成与扩散被视为驱动生产力系统性跃迁的核心机制,其演进过程伴随着“创造性破坏”与“创造性转型”的辩证统一^[4]。这一理论界定深刻揭示,工业智能化绝非单一技术元素的简单叠加,而是一场贯

收稿日期:2025-05-22;修回日期:2025-12-24

作者简介:吴浪 中南财经政法大学经济贸易学院博士,武汉,430073;

石军伟 中南财经政法大学经济贸易学院教授、博士生导师。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

穿技术体系、组织逻辑与产业生态的系统性生产革命。在此基础上,学术界进一步指出,新质生产力的形成必须依赖“技术革命成果产业化”与“改造存量、培育增量”的双重路径^[4-5]。其中,工业智能化通过将云计算、物联网、人工智能等智能技术与实体经济深度融合,为“改造存量”提供了具体的技术路径和实施载体。由此可见,新质生产力既是一个深刻的理论范畴,也具有明确的实践指向,而工业智能化正是连接理论与现实,实现技术、制度与组织协同演进的关键纽带。

然而,市场自发推动的工业智能化发展路径面临严峻挑战。宏观层面,经验研究表明,工业智能化在推进过程中可能陷入“低端化困局”并产生“垄断强化效应”,导致其技术红利未能被广泛共享^[6]。同时,技术演进本身固有的路径依赖与市场失灵问题,使得其收益递增特性可能阻碍资源向长期最优路径配置,反而加剧生产要素向大规模企业与优势区域的过度集聚^[7]。在微观企业层面,工业智能化的推进同样面临多重障碍。尽管实证研究证实,智能制造作为通用技术能够通过降低新产品开发的固定成本、推动企业转向多样化策略并提升产品质量和市场实力等方式引致企业层面的“质变”^[8-9],但企业迈向智能化仍面临“高前期投资成本”与“高组织调整成本”的双重壁垒^[10]。其中,为吸收和应用新技术所付出的“内部调整成本”,构成了比设备采购更为隐蔽和关键的转型障碍。技术采用本身亦是一个充满摩擦的缓慢过程,这些宏观与微观层面的挑战相互交织,共同制约着工业智能化的深度推进和广度扩展。

在此背景下,政府的战略性介入与精准的政策工具设计显得尤为关键。技术改造作为中国工业政策体系中长期实施、指向“改造存量”的核心工具,其战略地位已在国家层面得到系统确立。国务院于2012年发布的《国务院关于促进企业技术改造的指导意见》(国发[2012]44号)首次明确界定技术改造的内涵,将其定位为通过新技术、新工艺、新设备和新材料,对既有设施、工艺条件与生产服务体系进行系统性升级的重要投资活动,并将其确立为推进新型工业化和建设现代产业体系的关键抓手。围绕基础设施、生产设备与信息系统等关键环节,技术改造政策旨在推动产业向智能化、高端化和绿色化方向整体跃迁,其本质在于通过技术赋能与要素重组实现生产力的质变升级,与新质生产力的内在要求高度契合^[11-12]。这一政策导向在新时代持续深化。2024年,工业和信息化部办公厅进一步出台《工业重点行业领域设备更新和技术改造指南》(工信厅规[2024]33号),明确提出到2027年在重点行业和关键领域系统推进设备更新与先进技术应用,凸显了技术改造在新发展阶段中的基础性和枢纽性作用。

从既有研究看,新质生产力的发展亟须在产业体系层面获得可检验的现实支撑。中间品适配性、产业链协同与供应链韧性是新质生产力发挥作用的重要载体^[13],而工业智能化正是实现这一系统性跃迁的核心路径^[14]。通过补齐关键设备与工序短板、强化上下游协同并提升产业网络稳健性,工业智能化为新质生产力的培育提供了可操作的实践通道。然而,现有文献对连接宏观战略与微观机制的关键桥梁,即技术改造政策如何通过推动企业工业智能化进而服务新质生产力培育,仍缺乏系统而严谨的经验证据。为此,本文以技术改造政策中可量化、可追踪的财政补贴工具为切入点,基于2012—2022年中国A股上市制造企业数据,通过文本识别与人工校验相结合的方法,从深圳希施玛数据科技有限公司CSMAR中国经济金融研究数据库补贴项目中精准识别企业获得的技术改造补贴,并综合设备投资、专利信息与文本分析构建企业工业智能化指标体系。在方法上,本文采用多维固定效应面板模型,并结合工具变量法,有效缓解选择性偏误与内生性问题,从而严谨识别技术改造政策对企业工业智能化的因果效应及其传导机制。

本文的边际贡献主要体现在三方面。第一,深化了新质生产力培育的微观机制。通过系统揭示技术改造政策在提升制造企业工业智能化水平中的关键作用,从企业层面确立了“政策支持—工业智能化发展—新质生产力培育”的完整传导路径,为新质生产力理论提供了坚实的微观实证基础。第二,在研究视角上,创新性地将技术改造政策作为独立的产业政策类型进行识别与评估。通过构建细粒度的政策实施数据库,

突破了以往研究将技术改造混同于一般性产业政策的局限,为理解中国产业政策推动工业智能化发展的微观效能提供了新的分析视角。第三,在研究内容上,本文基于国务院政策框架,结合实地调研数据,构建了精细化的技术改造政策数据库,并创新性地从多个维度建立了企业工业智能化水平评价体系。这一工作为准确评估政策效果提供了可靠的微观数据支撑,为政府优化产业政策提供了实证依据,显著提升了该领域定量研究的深度与实用价值。

二、理论分析与研究假设

(一) 技术改造补贴与工业智能化

政府补贴作为直接性、针对性强的政策工具,通过明确的资源配置机制为特定企业的特定项目提供专项支持,具有清晰的政策目标与导向。既有研究普遍认为,政府补贴能够促进企业技术进步并推动转型升级^[15]。相较于一般性补贴,技术改造补贴的政策指向更为聚焦,主要用于支持先进设备采购、产线升级、研发能力提升与流程优化,从而提升产品质量与产业竞争力。由于企业获得该类补贴通常需满足明确的技术改造标准并提交可核查的改造方案,而在当前技术条件下,这些标准与方案往往天然嵌入工业智能化要素(如自动化控制、数据平台、人工智能集成与工业互联网架构等)。因此,从理论上讲,技术改造补贴一方面降低企业智能化转型的资源门槛,另一方面强化企业转型的战略意愿,为工业智能化升级提供关键外部条件;在此基础上,企业再通过其战略选择、组织调整与技术吸收能力的共同作用,将外部支持转化为可观测的智能化绩效提升。

从资源基础理论(RBV)视角看,技术改造补贴作为一种稀缺的外部资源投入,能够缓解企业在工业智能化推进中的关键约束,从而支持智能化能力的形成与积累。工业智能化转型往往面临资金投入不足、数字化人才短缺、数据基础薄弱以及前期沉没成本较高等资源瓶颈,补贴资金可直接降低智能设备采购、信息系统建设与能力培育的成本压力,使原本因资源不足而被推迟的智能化项目具备可行性。更重要的是,外部资源注入还会改变管理层的风险收益权衡。政府补贴能够提升企业的风险承受能力并增强创新投入意愿^[16],其作用不仅体现在分担转型成本,更在于降低转型失败的潜在损失,从而强化企业持续推进智能化探索与长期投入的战略决心。由此,技术改造补贴通过“资源补充”与“意愿强化”两条路径,为企业工业智能化升级奠定资源与动力基础。

从信号理论视角看,技术改造补贴通过政策背书与信息披露机制降低信息不对称,进而拓展并强化企业智能化转型所需的外部支持网络。信号理论强调,有效的信号传递能够缓解市场主体之间的信息不对称^[17]。在本研究情境下,补贴具有双向信号功能:一方面,政府通过补贴传递对智能化转型的政策导向与认可,降低金融机构、供应商与合作伙伴对转型风险的感知,改善企业获取配套融资、吸引人才与构建协同网络的外部条件;另一方面,企业获得补贴本身也向市场释放其具备改造能力与转型决心的“质量认证”信号,从而提升其在产业生态中的合作吸引力与战略地位。与此同时,企业在申报过程中提交的改造计划、进度与预算安排构成一种可核查的承诺装置,强化了其内部约束与执行黏性。因而,技术改造补贴不仅提供资金支持,更通过信号机制优化外部资源配置环境,为工业智能化升级形成系统性推动力。

基于以上分析,本文提出假设1:技术改造补贴能提升制造企业工业智能化水平,加速新质生产力培育。

(二) 技术改造补贴影响企业工业智能化水平的作用机理

1. 融资约束缓释效应

在新质生产力的三维界定框架中,要素形态、产业形态与经济形态构成其具象呈现^[11]。技术改造补

贴主要从“要素形态”切入,通过资金支持与政策引导推动数智技术对生产要素的赋能与重组,进而改造传统资源配置方式,促进新质生产力所需关键要素加速转型。鉴于数智技术对企业转型具有渗透性、赋能性与替代性特征,其落地往往伴随高额前期投入与较强的不确定性,企业易因资金压力而延迟或缩减相关投资。技术改造补贴因此为数智化与智能化转型提供必要的外部资金保障,缓释要素升级过程中最突出的资本约束。从微观机制看,政府补贴作为市场可观察的政策背书与资源注入,一方面直接缓解企业财务压力,另一方面通过信号效应改善外部融资环境^[18]。融资约束源于市场不完全导致外部融资成本偏高,使企业投资机会难以获得充分资金支持。技术改造补贴以专项资金形式为企业提供可用于设备更新、产线升级、研发创新等转型投资的增量资源,从而弥补融资缺口、降低资金紧约束。与此同时,企业获得补贴意味着政府认可与企业承诺,有助于提升其金融市场信用度,降低融资难度并增强金融机构放贷意愿。更进一步,补贴支持下形成的数字化、智能化资产与技术投入可提升企业资产基础并增强抵押能力,进而优化持续融资与再投资的条件,为新质生产力的要素形态转型提供更稳固的物质基础。

基于以上分析,本文提出假设2:技术改造补贴通过缓解企业融资约束,促进企业工业智能化水平提升,加速新质生产力培育。

2. 企业家关注强化效应

技术改造补贴作为一种明确指向工业智能化的政策工具,能够有效引导企业家将稀缺的注意力资源配置至智能化转型领域。基于组织注意力基础观,企业家的注意力配置高度依赖外部环境信号,而技术改造补贴在降低智能化探索直接成本的同时,向企业清晰传递了国家产业升级的权威政策导向。结合期望理论^[19],当管理层预期工业智能化投资因政策支持而具备更高实现概率与回报水平时,其有限的认知与管理资源将从日常运营活动转向以智能化升级为核心的战略议题。与此同时,补贴所指向的“智能化、高端化、绿色化”技术路径进一步强化了企业家对工业智能化的持续关注。在新质生产力培育背景下,这种注意力转移尤为关键,因为人工智能、物联网与大数据等技术具有高度渗透性和系统性,需要企业家长期、稳定的战略投入。随着企业家关注度的提升,工业智能化相关议题在组织内部获得更高决策优先级与资源配置权重^[20],进而推动智能装备采购、系统升级与产线改造等实质性行动,同时营造支持智能化发展的组织学习环境,促使企业突破既有路径依赖,加速向工业智能化范式跃迁。因此,企业家关注的强化构成了技术改造政策推动工业智能化发展的关键认知传导机制。

基于以上分析,本文提出假设3:技术改造补贴通过强化企业家对工业智能化的战略关注,提升企业工业智能化水平,加速新质生产力培育。

3. 技术创新激励效应

工业智能化的核心并非有形设备的简单叠加,而在于面向智能化转型的技术创新能力,其既包括为工业场景开发智能算法、传感技术与工业互联网平台的赋能型创新^[21],也包括将既有智能技术嵌入特定产线、工艺或产品的应用型创新^[22],二者共同构成工业智能化持续演进的技术内核。然而,此类创新通常具有投入强度高、风险不确定性大与成果专用性强等特征,容易在市场失灵条件下面临创新投入不足的问题。技术改造补贴通过直接的财政支持,有效降低企业创新活动的边际成本,分担研发过程中的固定投入与潜在失败风险,并以其明确的政策指向为企业技术选择提供路径引导,促使企业从规划层面的技术布局转向实质性的创新实践,弱化既有技术路径的依赖,加速工业智能化技术能力的积累。从实现机制看,技术创新是工业智能化落地的核心技术基础。智能算法与控制技术的突破赋予设备感知、分析与自主决策能力,而工业互联网与数据分析技术的进步则推动生产要素的互联协同,使制造系统向柔性化与网络化演进^[23]。这些技术创新成果通过智能产线部署、工业软件系统集成与智能质检平台建设等具体应用得以转化,不仅显著

提升生产效率与产品质量,还能增强企业对市场变化的响应能力与供应链协同水平^[22]。更进一步,技术创新往往引致产品形态与商业模式的系统性重构,例如通过软件更新与远程服务等方式延展产品价值边界,从而重塑价值创造逻辑^[24]。因此,技术创新激励效应构成了技术改造补贴推动工业智能化发展,进而培育新质生产力的关键技术维度传导机制。

基于此,本文提出假设4:技术改造补贴通过激励企业技术创新,提升企业工业智能化水平,加速新质生产力培育。

三、实证设计

(一) 样本选取与数据来源

本研究以2012年出台的《国务院关于促进企业技术改造的指导意见》为制度起点。该文件明确“技术改造”项目的实施主体为企业,意味着技术改造政策自此进入较为系统的推进阶段并可能对企业行为产生实质影响。基于此,本文选取2012—2022年作为研究窗口。核心数据来源如下:其一,技术改造补贴数据来自CSMAR公司研究系列库中的政府补贴报表,该报表基于上市公司年报财务报表附注,提供政府补贴明细项目及其本期、上期金额;其二,工业智能化水平测度基于企业内部投入要素与外部环境等多维信息,采用主成分分析法构建企业层工业智能化指标,其中外部相关数据来自《中国城市统计年鉴》与天眼查数据库等;其三,机制变量方面,企业家关注相关信息由企业年报文本提取,来源于巨潮资讯网,智能技术创新活力的专利数据来自国家知识产权局;其四,企业基本信息与财务指标主要来自CSMAR与万得(Wind)数据库;其五,在异质性分析中所涉及的营商环境数据通过北京大学开放研究数据平台(Peking University Open Research Data Platform)申请获得。为保证样本质量,本文进行如下处理:剔除关键变量严重缺失样本;剔除ST、*ST与PT等非正常交易公司以降低异常交易干扰;剔除资产负债率不在[0,1]区间的观测值;剔除净利润率大于1的观测值;并对主要连续变量在1%与99%分位进行缩尾处理以抑制极端值影响。经上述筛选,最终样本包含2788家上市企业。

(二) 模型设定

本文的被解释变量是工业智能化水平 ii_{it} ,采用多维固定效应进行实证估计,基本实证模型如下所示:

$$ii_{it} = \alpha + \beta techsubsidy_{it} + X'_{it}\beta + \mu_t + \gamma_c + \delta_k + \rho_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, ii_{it} 表示企业工业智能化水平,分别采取主成分分析法和因子分析法(ii_{it_pca} 和 ii_{it_pcf})两种方式衡量, $techsubsidy_{it}$ 表示企业所获得的技术改造补贴, X' 表示本文引入的控制变量向量, μ_t 、 γ_c 、 δ_k 、 ρ_i 分别表示控制时间、城市、行业和企业效应, ε_{it} 表示模型的随机误差项。通过考察技术改造补贴变量的回归系数 β ,即可检验其对工业智能化水平的影响。

为进一步探究技术改造补贴对工业智能化影响的作用机制,本文设定如下机制检验模型(2):

$$Mechanism_{it} = \alpha + \partial techsubsidy_{it} + X'_{it}\beta + \mu_t + \gamma_c + \delta_k + \rho_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, $Mechanism_{it}$ 分别表示理论分析中的三类机制变量:融资约束、企业家关注与技术创新。通过回归系数 ∂ 的显著性与方向性,可以检验技术改造补贴是否影响机制变量,从而判断相应机制是否成立。

(三) 变量说明

1. 被解释变量

工业智能化水平。既有研究对工业智能化水平的测度主要可归纳为三类路径。第一类是基于单一指标,最常见的是机器人密度(每万名就业人员的机器人安装量或保有量),并在部分研究中结合行业或地区

就业结构加以扩展^[25]。第二类基于人工智能相关专利,通常通过专利数量、国际专利分类(IPC)或关键词识别衡量企业或区域的智能技术创新水平^[26]。第三类研究构建多维综合指标体系,从基础设施、应用场景、创新能力或产业效益等维度系统评估工业智能化水平,相关方法已在区域和行业层面得到广泛应用^[7]。总体来看,区域层面研究多采用综合性指标,而企业层面研究仍以机器人数量或专利数据等单一代理变量为主。然而,机器人仅是人工智能的子集,人工智能本身涵盖数据生成、算法设计与系统集成等多个相互关联的环节,单一指标难以充分反映企业工业智能化的多维特征与技术异质性。因此,有必要构建更加系统、细化的企业级工业智能化测度体系,以全面识别工业智能化技术的应用广度与深度。基于此,本文结合《“十四五”智能制造发展规划》(工信部联规〔2021〕207号)以及中国信通院系列智能制造与工业智能化报告等政策与研究资料,如《工业数字化/智能化2030白皮书》等,从企业内部投入要素与外部条件两个一级维度出发,构建企业层工业智能化综合测度体系,并选取8个二级指标覆盖工业智能化的关键领域。相较于既有文献,本文的测度方法在三方面具有优势:一是维度更为全面,兼顾企业内部投入与外部支撑条件;二是指标构建紧密对接国家智能制造政策导向,具有较强的现实适配性;三是测度层级聚焦企业微观层面,能够有效刻画企业间工业智能化水平的异质性与动态演进,为后续实证分析与机制检验提供坚实基础。具体指标构成如下。

企业内部投入是实现工业智能化的核心驱动力,涵盖硬件、软件、人才、资本和技术五个维度,各维度共同支撑企业智能化转型的推进。具体包括:(1)工业智能化硬件要素。借鉴现有研究的测算方法^[27],本文先计算行业层面的工业机器人渗透率,并对企业层面进行加权处理,最终得出企业的工业机器人应用水平,用以衡量其在硬件投入上的深度。(2)工业智能化软件要素。参考张永坤等^[28]的做法,本文利用上市公司财务报告附注披露的年末无形资产明细项中与工业智能化相关部分占无形资产总额的比例,衡量企业在软件技术上的投入程度。(3)工业智能化人才要素。本文以企业研发人员占员工总数的比例为衡量指标,该方法能够有效反映企业在科技人力资源上的基础与创新能力。(4)工业智能化资本要素。依据企业研发支出占营业收入的比值,衡量其资本投入水平,该测度方法为工业智能化研究中常用的资本投入代理指标。(5)工业智能化技术要素。参考已有研究^[29],本文通过检索企业申请专利的名称中包含“自动”“智能”或“人工智能”等关键词的条目,按年度累计其专利数量,并对数据进行加1取对数处理,用以反映企业在技术储备与市场竞争力方面的能力。外部环境条件是企业实现工业智能化的重要支撑,主要从通信基础设施、智能供应链和大数据服务能力三方面进行衡量。具体包括:(1)移动通信基础设施水平。本文采用企业所在城市的互联网普及率作为衡量指标,该普及率通过地级市的互联网宽带接入用户数和移动电话用户数占年末户籍人口数的比重计算得出。(2)智能供应链水平。参考王林辉等^[7]的方法,本文通过识别城市内人工智能企业的数量,结合企业经营范围中涉及关键词(如“芯片”“图像识别”“计算机视觉”“语音识别”“传感器”),并使用天眼查平台进行特定搜索,保留处于存续状态的企业,以此统计各城市的人工智能企业数量,用以衡量区域智能供应链的发展水平。(3)大数据服务能力。本文采用信息传输、计算机服务和软件业从业人员数占所属地级市总从业人数比重衡量该指标,反映区域的大数据采集和处理能力。

为系统、客观地衡量企业层面工业智能化水平,本文采用主成分分析法构建综合测度指数。该方法的核心优势在于:其一,通过线性组合提取原始变量的主要信息,客观反映各指标的内在关联结构;其二,以方差贡献率作为权重依据,避免了人为赋权的主观性;其三,能够有效处理高维数据,适用于包含多个维度的综合评价^[30]。具体测算步骤如下。

第一步,数据预处理与检验。本文对八个企业层工业智能化二级指标(机器人应用水平、智能化软件投

入、研发投入强度、研发人员占比、智能专利产出、互联网基础设施水平、人工智能关联度及大数据服务能力)进行标准化处理,以消除量纲差异并保证各指标的可比性。各指标经 Z-score 标准化后,进行 KMO 检验与 Bartlett 球形检验,以检验样本数据是否适合主成分分析。本文的 KMO 总体值为 0.674 2,处于可接受范围(>0.6),其中“智能专利产出”“人工智能关联度”“研发投入强度”等核心指标的 KMO 值分别达到 0.818 7、0.703 7 与 0.873 1,表明各变量间存在较强的公共因子结构,且 Bartlett 球形检验卡方统计量显著 ($P<0.001 0$),适合进行主成分分析。

第二步,主成分提取。在标准化处理后的数据基础上,本文对八个企业层工业智能化二级指标进行了主成分分析。根据累计方差贡献率大于 85% 的要求^[30],最终提取前四个主成分,其累计解释方差达到 95.20%,表明提取的主成分能够较好地反映企业工业智能化水平的主要信息结构(限于篇幅,结果未列示,备索)。

进一步结合各变量在主成分上的载荷情况(限于篇幅,结果未列示,备索),可以发现:第一主成分在“硬件要素”(0.457 6)、“软件要素”(0.454 2)、“人工智能专利产出”(0.450 6)与“网络基础设施”(0.456 6)上载荷最高,表明该主成分主要反映企业在硬件设施、软件技术、智能创新与信息基础设施等方面的整体投入强度,因而可解释为“智能化基础投入维度”;第二主成分在“大数据服务”(0.758 8)与“智能供应链协同”(0.480 2)上的载荷较高,体现了企业利用外部数字生态与数据要素实现智能化转型的特征,因此可解释为“数据驱动与外部协同维度”;第三主成分主要表现为“技术要素”(0.962 6)和“资本要素”(0.962 6)的共同作用,揭示企业在研发资本投入与技术积累方面的差异;而第四主成分则与“人才要素”相关性较高(0.666 8),表征企业内部创新人力资源的配置能力与知识资本支撑水平。总体而言,提取的四个主成分也突出了本研究从“投入基础-数据协同-技术创新-人才支撑”四个维度系统揭示了企业工业智能化的核心构成特征。

第三步,指标权重与综合指数构建。根据各主成分的方差贡献率计算指标权重,构建综合得分函数。设第 i 个企业的第 j 个标准化指标为 X_{ij} ,第 k 个主成分的特征值为 λ_k ,其对应的特征向量为 α_k ,则企业工业智能化综合指数计算如下:

$$H_i = \sum_{k=1}^m \omega_k PC_{ik} = \frac{\sum_{k=1}^m \lambda_k (\alpha_k' X_{ij})}{\sum_{k=1}^m \lambda_k} \quad (3)$$

其中, $\omega_k = \frac{\lambda_k}{\sum \lambda_k}$ 表示第 k 个主成分的相对权重。最终得到的综合指数 H 反映了企业在硬件、软件、技

术、人才、数据与环境等多方面的工业智能化水平。经标准化处理后,指数值越大,表明企业工业智能化程度越高。

2. 核心解释变量

技术改造补贴。该变量的核心是企业实际收到的、用于技术改造项目的政府补贴金额。具体构建过程如下。第一步,整理补贴基础数据。基础数据来源于 CSMAR 数据库提供的企业政府补贴明细信息,该库包含上市公司披露的各补贴项目的具体名称(或描述)及其对应的实际到账金额。第二步,技术改造补贴项目的识别与筛选。首先,基于国家政策导向,严格遵循《国务院关于促进企业技术改造的指导意见》的核心要求,聚焦于技术改造、设备升级、节能降耗、两化融合、产业基础、产业布局等关键维度。其次,根据地方政策细化,系统梳理并参考了多个省份出台的关于技术改造/产业升级的具体政策文件(如专项资金管理办法、申报指南等),以捕捉各地在落实国家政策时的具体支持方向和项目命名惯例。最后,实地调研校准,结合

研究团队于2023年7—9月在湖北省相关部门及典型企业开展的座谈会与实地调研所获信息,深入理解地方政府技改补贴的实际操作流程、认定标准及企业申报项目的典型表述方式。基于上述三重依据(国家政策+地方细则+实地实践),本文归纳提炼出一个覆盖技术改造全链条、多维度的关键词列表。该列表的作用是在CSMAR数据库的补贴项目描述文本中进行匹配,以精准识别出属于技术改造政策范畴的特定补贴条目,总体包括:(1)硬件与工艺升级,涵盖“技术改造”“技改”“改造升级”“设备升级”“首台(套)”“流程升级”及“工艺升级”等;(2)信息化与工业化融合,涵盖“新型工业化”“产业数字化”“数字产业化”“数字车间”“数字工厂”“智能车间”“智能工厂”“自动化”和“信息化”等;(3)绿色与安全发展,涵盖“绿色工厂”和“安全化”等;(4)产业公共服务建设,涵盖“工业云”“试点示范”“创新平台”“平台建设”和“科技副总”等;(5)服务与技术融合,涵盖“服务化”“服务融合”“两化融合”和“服务型制造”等;(6)产业布局与产业集聚,涵盖“产业集群”“产业集聚”和“集群化”等;(7)相关人才与技术合作,涵盖“高技能人才”“创新人才”“领军人才”“紧缺人才”“企业博士”和“博士后工作站”等。为了消除企业规模因素的影响,本文将企业获得的各项技术改造补贴合计除以其总资产后乘以100。在后续的稳健性检验中,本文采用技术改造补贴与营业收入的比值乘以100来消除企业营收能力差异带来的影响。

3. 机制变量

(1)融资约束(SA)。参考既有做法^[31],本文通过SA指数衡量企业融资约束,并结合使用债务融资成本作为补充指标,侧重于融资约束的“成本维度”,反映企业在信贷市场中的实际融资成本。(2)企业家关注(lnsmart_manufac)。制造业企业对“智能制造”的战略布局与投入,是企业家工业智能化关注的集中体现。参考郭磊等^[32]的研究,本文以制造业上市公司年报文本为语料,借助文构(WinGo)相似词数据库构建“智能制造”相关关键词集。通过中文分词与词向量模型计算词语相似度,识别年报中与“智能制造”语境高度相关的词汇,并统计其词频,对其加1后取对数作为企业家智能制造关注程度的度量指标。(3)企业智能技术创新(lnAI_patents)。本研究通过检索公司申请的专利名称中包含“自动”“智能”和“人工智能”等关键词的专利条目。接着,对每家公司按年度累计其专利数量,并对这些数据进行加1后取对数处理,以此衡量上市公司的智能技术创新活力。

4. 控制变量

为尽可能准确识别技术改造补贴对企业工业智能化的影响,本文在模型中引入一系列企业层面控制变量,以缓解同时影响补贴获取与智能化决策的潜在混淆因素。具体包括以下几类特征。首先,控制企业基本特征:企业所有制(SOE),将国有企业记为1,否则记为0,以反映国有企业与非国有企业在政策资源获取、创新激励与风险承担方面的系统性差异;企业年龄(lnage),用企业上市年龄的自然对数衡量,以刻画不同发展阶段企业在组织惯性、学习能力与技术积累方面的差异;企业规模(lnsize),用年末总资产的自然对数衡量,以控制规模优势对智能化投资能力及政策关注度的影响。其次,控制企业财务状况与盈利能力:资产回报率(roe),用净利润与总资产的比率来衡量,高盈利企业通常具备更强的内源性投入能力和升级动机。再次,控制资本结构与资产结构:总负债率(tl),用总负债与总资产的比率衡量;流动比率(cr),用流动资产与总资产的比率衡量;资产结构(tang),用固定资产净额与总资产的比率衡量,不同资产结构的企业在技术改造需求与投资方向上可能存在差异。最后,控制现金流与投资能力:经营活动现金流(cflow),用经营活动产生的现金流量净额与总资产的比率衡量;折旧摊销(lndepamo),用当年计提的折旧与摊销总额的自然对数来衡量,能够反映企业既有资本存量与设备更新周期对投资决策与现金流结构的影响。

(四) 描述性统计

主要变量的描述性统计结果如表1所示。处理后得到2012—2022年2788家公司-年度观测值。工业

智能化(ii_pca 、 ii_pcf)的标准差分别为 3.277 7 和 3.281 6,揭示了公司之间工业智能化水平参差不齐的现状。政府技术改造补贴的最小值为 0,最大值为 0.353 9,表明样本期内有关技术改造的相关补贴最高也未达到政府补贴的一半,因此有必要对政府补贴的类型加以区分研究。

表 1 描述性统计结果

变量	观测值	均值	标准差	最小值	中位数	最大值
ii_pca	16 947	4.669 6	3.277 7	1.287 1	3.342 0	17.495 3
ii_pcf	16 947	4.674 3	3.281 6	1.290 6	3.344 5	17.514 4
$techsubsidy$	19 188	0.023 9	0.055 0	0.000 0	0.000 0	0.353 9
SA	19 188	-3.827 8	0.238 3	-4.420 5	-3.829 0	-3.066 9
SA(大规模)	9 119	-3.777 2	0.235 1	-4.420 5	-3.768 8	-3.066 9
SA(小规模)	10 069	-3.873 5	0.232 0	-4.420 5	-3.876 0	-3.066 9
$smart_manufac$	15 895	37.369 9	56.650 0	0.000 0	17.000 0	376.000 0
AI_patent	16 805	2.075 8	14.249 4	0.000 0	0.000 0	902.000 0
SOE	19 188	0.270 0	0.444 0	0	0.000 0	1
age	19 188	9.809 2	7.562 3	0.000 0	8.000 0	33.000 0
size	19 188	8.80×10^9	1.90×10^{10}	3.76×10^8	3.13×10^9	1.63×10^{11}
roa	19 188	0.044 1	0.065 5	-0.247 3	0.043 0	0.287 2
tl	19 188	0.388 5	0.192 8	0.053 6	0.377 2	0.898 2
cr	19 188	0.582 1	0.168 4	0.097 4	0.591 1	0.971 1
tang	19 169	0.363 8	0.149 9	0.016 1	0.351 3	0.796 7
cflow	19 184	0.053 1	0.068 7	-0.185 6	0.051 0	0.263 0
depamo	19 188	2.20×10^8	4.79×10^8	3.60×10^6	6.88×10^7	4.05×10^9

四、实证结果与分析

(一) 基准回归

表 2 报告了技术改造补贴对企业工业智能化水平(ii_pca)影响的基准回归结果。核心解释变量 $techsubsidy$ 按企业当年获得的技术改造相关补贴总额占总资产的比重($\times 100$)构造。列(1)为仅加入控制变量的普通最小二乘(OLS)估计, $techsubsidy$ 的回归系数不显著,反映出企业间在长期技术积累、管理能力与产业基础等方面存在较强的不可观测异质性。列(2)在此基础上进一步纳入年份、城市、行业与企业固定效应,其中行业固定效应用以控制行业层面随时间变化的共同技术冲击与政策环境差异。 $techsubsidy$ 的回归系数为 0.378 5,并在 1%水平下显著,表明在剔除企业固有特征与行业共性等变化后,技术改造补贴能够促进企业工业智能化升级,假设 1 成立。从经济意义看,技术改造补贴强度每提高 1 个百分点,企业工业智能化指数平均提升约 0.378 5 标准差。

表2 基准回归结果

变量	(1)	(2)
<i>techsubsidy</i>	0.707 1 (0.462 6)	0.378 5 ^{***} (0.123 6)
<i>SOE</i>	-0.100 5 (0.065 4)	-0.332 5 (0.319 4)
<i>lnage</i>	-0.132 4 ^{***} (0.034 8)	-0.018 0 (0.040 5)
<i>lnsize</i>	0.796 9 ^{***} (0.061 4)	0.094 8 ^{**} (0.045 9)
<i>roa</i>	-3.946 2 ^{***} (0.512 5)	-0.323 9 (0.287 3)
<i>tl</i>	-1.150 1 ^{***} (0.173 6)	0.001 6 (0.111 7)
<i>cr</i>	0.327 7 [*] (0.188 8)	-0.346 3 ^{**} (0.157 1)
<i>tang</i>	-3.276 5 ^{***} (0.215 0)	-0.082 2 (0.106 5)
<i>cflow</i>	0.785 6 [*] (0.445 9)	-0.048 1 (0.152 1)
<i>lndepamo</i>	-0.354 1 ^{***} (0.056 6)	0.060 1 (0.046 0)
常数项	-4.640 1 ^{***} (0.616 1)	1.858 7 [*] (0.916 0)
年份固定效应	未控制	控制
行业固定效应	未控制	控制
城市固定效应	未控制	控制
企业固定效应	未控制	控制
观测值	16 711	15 812
<i>R</i> ²	0.053 5	0.948 7

注:***、**和*分别表示1%、5%和10%的显著性水平;括号内为聚类到企业所属省份的稳健标准误。后表同。

(二) 内生性分析

从技术改造补贴与企业工业智能化之间的互动逻辑来看,补贴的发放这一看似外生的政策影响,事实上存在样本选择性偏误和互为因果引起的内生性问题:一方面,如果主动申请技术改造补贴的企业本身就具有较强的工业智能化水平和转型意愿,那么直接比较接受补贴的企业和未接受补贴的企业之间的工业智能化情况可能会产生偏误;另一方面,技术改造补贴的分配可能部分基于企业的初始状态,已经表现出工业智能化趋势的企业可能更有可能获得补贴。这种情况下,技术改造补贴可能不是企业工业智能化水平提高的原因,而是其结果。因此,直接估计技术改造补贴对企业工业智能化的影响可能会有偏地估计技术改造补贴的真正效果。参考张杰^[33]的研究思路,本文采用同省份同年份其他企业技术改造补贴的均值作为技术改造补贴的工具变量(IV)。首先,满足相关性。各个省份可能根据其财政状况、产业结构、政策导向等因素,在不同年份为企业提供不同规模的技术改造补贴。而同一省份在特定的年份内,补贴的均值可能反映了该省份当年的补贴策略或倾向性,这与单个企业获得的技术改造补贴的水平存在相关性。其次,满足外生性。省份和年份其他企业获得的技术改造补贴均值包含了时间和地点两个维度的信息。理论上,该均值不会直接对某一特定企业的工业智能化产生影响,仅能反映省级政策或财政状况。因此,该均值可能只通过影响特定企业获得的技术改造补贴来间接影响该企业的工业智能化,而不直接对其工业智能化造成影响。内生性分析回归结果见表3。首先, Kleibergen-Paap rk LM 统计量在1%水平下显著(值为35.548 0, P值小于0.01),

有力地拒绝了“工具变量识别不足”的原假设,证实了工具变量与内生变量之间的相关性。其次,Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量为 173.242 0,拒绝了“存在弱工具变量”的原假设。在有效控制内生性后,技术改造补贴(*techsubsidy*)的回归系数在 1%水平下显著为正,其符号与基准回归结果保持一致,这进一步印证了本文的核心结论。

表 3 内生性分析结果

变量	第一阶段	第二阶段
<i>IV</i>	0.716 5*** (0.054 0)	
<i>techsubsidy</i>		1.551 5*** (0.540 2)
常数项	-0.007 7 (0.008 4)	-0.224 8** (0.084 3)
控制变量	控制	控制
观测值	18 626	18 605
R^2	0.387 8	0.021 0
Kleibergen-Paap rk LM	35.548 0***	
Kleibergen-Paap rk Wald F	173.242 0 [16.380 0]	

注:方括号内为 Stock-Yogo 弱识别检验在 10%水平下的临界值。

(三) 稳健性检验

稳健性检验结果见表 4。第一,替换解释变量:将技术改造补贴与营业收入的比值乘以 100 来替代技术改造补贴变量。第二,替换被解释变量:将被解释变量工业智能化用因子分析法测度。第三,滞后性检验:为了验证技术改造补贴对企业工业智能化的影响是否具有持续性和滞后效应,将企业的工业智能化进行 $t+1$ 期检验,结果显示核心解释变量的回归系数仍显著为正,表明技术改造补贴对企业工业智能化具有可持续性。第四,替换聚类维度:为了确保标准误差的估计不受到潜在的行业内相关性的影响,在式(1)的基础上将聚类维度替换为企业所属行业。结果显示,回归系数与基准回归结果保持一致,本文基准结果

依然成立。第五,剔除行业和地区的时间趋势影响:为了进一步控制潜在的由于行业冲击和地区政策变化所造成的影响,进一步加入“年份×行业”和“年份×省份”的联合固定效应。表 4 最后一列显示,技术改造补贴的回归系数依然在 5%水平下显著为正,验证了本文结论的稳健性。

表 4 稳健性检验回归结果

变量	替换解释变量	替换被解释变量	滞后性检验	替换聚类维度	联合固定效应
<i>techsubsidy</i>		0.338 3** (0.124 7)	0.339 2** (0.148 5)	0.337 9** (0.162 1)	0.218 1** (0.102 6)
<i>techsubsidy2</i>	0.132 8** (0.057 2)				
常数项	2.337 2** (0.917 0)	2.312 8** (0.914 7)	2.365 9** (0.955 0)	2.311 1*** (0.887 5)	3.145 1*** (0.674 1)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制

表4(续)

变量	替换解释变量	替换被解释变量	滞后性检验	替换聚类维度	联合固定效应
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
年份×省份固定	未控制	未控制	未控制	未控制	控制
年份×行业固定	未控制	未控制	未控制	未控制	控制
观测值	16 650	16 650	14 935	16 650	16 647
R^2	0.963 0	0.963 0	0.953 0	0.963 0	0.989 0

(四) 机制分析

1. 缓解融资约束

SA 指数不包含内生性融资变量、计算简便且相对稳健^[31],因此本文以 SA 指数衡量企业融资约束。考虑到不同生命周期企业在资源获取能力与融资敏感性方面存在系统差异,本文进一步检验技术改造补贴在不同生命周期阶段缓解融资约束的异质性,从而为政策评估与差异化优化提供依据。企业生命周期划分方面,现金流方法基于经营、投资与筹资现金流的组合识别企业所处阶段,能够更直接刻画经营风险、盈利能力与增长特征,且较少受行业特性影响并避免对样本分布的主观设定,因而更具客观性与可操作性^[34]。据此,本文依据经营、投资、筹资现金净流量的组合,将企业划分为成长期、成熟期与衰退期。回归结果见表 5。

为检验机制稳健性,本文参考既有做法^[35],以企业利息支出占当年长短期负债平均值的比重(*Cost*)衡量债务融资成本,侧重融资约束的“成本维度”,反映企业在信贷市场中的实际融资成本。回归结果见表 6。从表 5、表 6 可以看出,无论在全样本还是分生命周期回归中,技术改造补贴均缓解了融资约束,且对成长期企业发挥了作用。总体而言,两项指标一致支持结论:技术改造补贴对成长期企业的融资促进效应强于其他阶段。这与现实情形相符,成长期企业通常资本开支需求更大且融资约束更强,内部融资能力有限、外部信贷更为审慎,因而更能从补贴支持中受益,从而缓解融资压力并推动技术改造与升级。

表 5 融资约束机制检验回归结果:基于 SA 指数

变量	全样本	成长期	成熟期	衰退期
<i>techsubsidy</i>	-0.014 6** (0.006 9)	-0.029 7* (0.015 0)	-0.017 7 (0.011 8)	-0.018 1 (0.012 7)
常数项	3.584 7*** (0.055 9)	3.717 5*** (0.170 2)	3.993 9*** (0.182 3)	2.688 0*** (0.160 6)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
行业固定效应	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制

表5(续)

变量	全样本	成长期	成熟期	衰退期
企业固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	17 716	7 268	6 131	2 600
R^2	0.976 7	0.976 75	0.981 3	0.982 6

表6 融资约束机制检验回归结果:基于融资成本

变量	全样本	成长期	成熟期	衰退期
<i>techsubsidy</i>	-1.183 3*	-0.172 3*	-2.109 0	-0.088 0
	(0.684 2)	(0.099 7)	(1.335 1)	(0.093 9)
常数项	4.620 1	0.341 1	12.931 2	-0.156 2
	(3.556 7)	(0.291 6)	(13.527 8)	(0.503 3)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
行业固定效应	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	16 719	7 138	6 115	2 395
R^2	0.114 0	0.207 1	0.182 1	0.357 4

2. 企业家关注

为考察技术改造补贴在“企业家关注强化”这一认知维度传导机制中的异质性表现,本文进一步按企业所有制与规模进行分组回归,以识别不同组织属性下企业对政策信号的解读、资源动员与战略调整差异。理论上,基于产权理论与制度情境分析,国有企业由于与政府之间更为紧密的制度性关联及其所承担的政策性使命^[36],往往对产业政策信号具有更高的敏感度与响应强度;而从资源基础观与组织惯性视角看,小规模企业在资源约束更强的同时,组织结构更为扁平、决策机制更具灵活性,使其企业家注意力更易被政策性激励所牵引。因此,预期技术改造补贴的企业家关注强化效应在国有企业与小规模企业中更为显著。

表7为企业家关注机制的回归结果。全样本估计中,技术改造补贴(*techsubsidy*)的回归系数在1%水平下显著为正,表明该政策整体上能够有效提升企业家对工业智能化的关注程度。进一步的分组结果显示,在所有制度维度上,国有企业组的回归系数显著高于非国有企业组,且组间差异在统计上高度显著($P=0.0000$),表明国有企业对技术改造补贴所释放的政策信号具有更强的战略响应。在企业规模维度上,小规模企业组的回归系数(0.6570)不仅在数值上高于大规模企业组(0.4504),且该差异同样在统计上显著($P=0.0000$),说明在其他条件相同的情况下,技术改造补贴对小规模企业企业家关注的边际促进作用更强。上述结果表

明,技术改造补贴的认知激励效应在制度关联更强的国有企业以及组织更具灵活性的小规模企业中更易被放大。

表7 企业家关注机制检验回归结果

变量	全样本	企业所有制		企业规模	
		国有企业	非国有企业	小规模	大规模
<i>techsubsidy</i>	0.5345*** (0.0881)	0.5873** (0.2514)	0.5079*** (0.0818)	0.6570*** (0.1368)	0.4504** (0.1805)
常数项	-1.8552*** (0.5653)	-1.9980 (1.2711)	-2.0171*** (0.6977)	-4.1556*** (1.1492)	-1.8918* (0.9881)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	15612	4015	11581	7164	8180
R^2	0.8422	0.8085	0.8512	0.8731	0.8545
组间系数差异检验		0.0000		0.0000	

3. 技术创新激励

在技术维度,企业将补贴转化为实质性创新的能力因其组织属性存在系统性差异。基于产权理论与制度分析,国有企业凭借其固有的资源获取优势、政治关联^[36]以及更强的创新投入产出效率与风险承受能力^[37],更易将技术改造补贴用于支持周期长、不确定性高的智能技术研发,从而实现更高效的创新产出。与此同时,依据资源基础观与创新理论,企业规模构成影响创新模式的关键变量。小规模企业常因融资约束与风险抵御能力薄弱,在创新策略上倾向于采取保守的“跟随战略”^[38];而大规模企业则依托其成熟的研发体系、规模经济效应与更强的知识吸收能力,能够将外部补贴与内部资源有效协同,显著提升创新的边际产出。据此,本文预期:技术改造补贴的“技术创新激励效应”在国有企业与大规模企业中更为明显。

表8为技术创新激励机制的回归结果。全样本估计显示,技术改造补贴对企业智能技术创新具有显著正向影响,补贴强度每提高1个百分点,企业智能技术创新水平平均提升0.4966个百分点,假设4得到验证。分组回归分析进一步揭示了结构性差异:在所有制维度,国有企业补贴的回归系数高于非国有企业,且组间差异在统计上高度显著($P=0.0000$),表明国有企业在将政策资源转化为创新成果方面具有更强能力;在规模维度,大规模企业组的回归系数大于小规模企业组,且该差异在5%水平下显著($P=0.0200$),说明完善的研发基础与资源协同机制放大了补贴对创新的边际促进作用。上述结果表明,技术改造补贴的创新激励效应具有组织情境依赖性,其在资源禀赋更充足、制度嵌入更深的企业中更易被转化为实质性技术突破。

表 8 技术创新激励机制检验回归结果

变量	全样本	企业所有制		企业规模	
		国有企业	非国有企业	小规模	大规模
<i>techsubsidy</i>	0.4966*** (0.1092)	0.8996** (0.3535)	0.5752*** (0.1320)	0.4557*** (0.1153)	0.6694** (0.2440)
常数项	-4.1005*** (0.7065)	-3.7579*** (0.7528)	-3.7471*** (0.7440)	-2.8359*** (0.7330)	-6.0375*** (1.2140)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	16570	4680	11888	7583	8976
R^2	0.2482	0.4782	0.2251	0.2020	0.3114
组间系数差异检验			0.0000		0.0200

(五) 异质性分析: 企业所处营商环境

企业的生存与发展深刻依赖于其所处的制度环境。一个市场化、法治化、国际化的营商环境,不仅是吸引投资、鼓励竞争的关键,更是激励企业进行长期技术创新投入的重要保障^[39]。理论上,优越的营商环境能够通过两个核心渠道强化技术改造补贴的政策效果:其一,完善的基础设施与透明的法治环境降低了技术升级的交易成本与不确定性,保障了补贴资金的高效利用;其二,良好的创新生态能够吸引高技能人才与优质要素集聚,为企业消化、吸收新技术提供了必要的知识溢出与资源支持。基于此,本文预期,在营商环境优良的地区,技术改造补贴对企业工业智能化的促进作用更为明显。

本文采用张三保和张志学编制的“中国省份营商环境评估”数据^[39]。该指标体系具有权威性,四个一级指标均来自国家规划纲要原文,契合了党的二十大报告关于“市场化、法治化和国际化一流营商环境”的建设要求;二、三级指标和权重设置综合考虑了世界银行评价指标体系、国务院《优化营商环境条例》等。该评估数据结构合理,同时包含正式(市场、政务和法治)环境与非正式(人文)环境,标准化后的面板数据,实现了年份和省份两个维度的纵横可比性。本文取其2017—2021年指数的平均值,分别按50百分位(高/低两组)及35/65百分位(高/中/低三组)进行分组回归。结果如表9所示。

表 9 营商环境异质性分析回归结果

变量	50百分位		35/65百分位		
	低	高	低	中	高
<i>techsubsidy</i>	0.0679 (0.0710)	0.4341* (0.2588)	0.0506 (0.0810)	0.0791 (0.1000)	0.4911* (0.2920)
常数项	2.9821*** (0.3282)	3.5982** (1.4759)	2.5082*** (0.2954)	3.6371*** (0.5835)	2.9025 (1.7843)

表9(续)

变量	50 百分位		35/65 百分位		
	低	高	低	中	高
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	8 110	8 703	5 078	4 265	7 300
R^2	0.958 4	0.961 2	0.967 6	0.955 7	0.962 4

表 9 结果表明,无论在二分位或三分位分组框架下,技术改造补贴的回归系数均主要集中体现在营商环境“高”的组别中,且统计上显著。这表明,完善的硬件基础设施、有力的政策支持与稳定的法律框架共同构成了技术改造补贴发挥效能的保障,其不仅促进了新技术的采纳,更通过优化要素配置,放大了补贴政策的实施效果。因此,营造一流的营商环境对最大化财政补贴的激励效应、推动区域产业升级与竞争力提升至关重要。

五、结论与建议

基于 2012—2022 年中国上市制造业企业数据,本文在“政府支持—工业智能化发展—新质生产力培育”分析框架下,运用多维固定效应模型及工具变量法等计量方法,系统评估技术改造补贴对企业工业智能化的影响及其内在机制。结果表明,技术改造补贴提升了企业的工业智能化水平,该结论在内生性分析和稳健性检验后依然成立。机制分析进一步揭示,补贴通过融资约束缓释、企业家关注强化与技术创新激励三条路径的共同作用,形成了财政政策驱动工业智能化发展的内在传导链条。此外,政策效果具有情境差异,营商环境的改善放大了补贴效应。在理论层面,本文构建了财政补贴促进新质生产力培育的微观作用机制模型,深化了政府支持政策与生产力演进关系的研究,为理解政策工具如何在微观层面塑造技术变革与效率提升提供了新的分析框架。实践层面,研究结果为政府优化财政支持方式、制定分类型技术改造政策提供了实证依据,有助于引导企业突破传统制造路径依赖,加快工业智能化转型步伐。整体而言,本文揭示的财政政策“激励—创新—转型”传导逻辑,为中国培育新质生产力、推动高质量制造业发展提供了政策启示。基于研究结论,本文进一步提出以下政策建议:

第一,强化财政补贴的精准导向机制,着力缓解企业融资约束。实证结果表明,技术改造补贴通过缓释融资约束提升了企业的工业智能化水平,应进一步提高财政资金配置的精准性与政策协同效应。一是建立“财政补贴—政策性融资—信用担保”联动机制,形成多层次融资支持体系,优先支持融资约束较强、具备创新潜力的制造企业。二是完善分阶段拨付制度,依据项目建设周期设置“事前评估—事中跟踪—事后考核”流程,确保补贴资金与工业智能化项目进展相匹配,防止资金闲置和效率损失。

三是通过信息公开与绩效评估机制,增强补贴政策透明度与资金使用责任,提升政策执行的有效性与社会信任度。

第二,强化企业家战略认知引导,提升工业智能化的战略关注度。研究发现,技术改造补贴通过强化企业家对工业智能化的战略关注,在认知层面促进了企业的智能化布局。政府应在财政激励之外,进一步优化政策信号的长期引导作用。一是建立工业智能化转型绩效评价体系,将企业在智能化改造中的投入与绩效纳入地方产业考核和企业综合评价指标。二是完善企业家学习与政策传导机制,依托行业协会、高端智库及示范企业,强化企业家对技术改造战略价值的认知。三是通过行业对标和案例展示,形成“政策激励—认知强化—行动落实”的传导机制,使企业高层战略关注真正转化为智能化投资与组织行动。

第三,完善技术创新激励机制,构建工业智能化的技术支撑体系。研究表明,技术创新是推动工业智能化的核心动力,技术改造补贴能够激发企业的创新活力。应加快形成以创新投入和成果转化为核心的政策激励体系。一是扩大补贴范围,覆盖硬件改造、工业软件系统、智能控制算法及数据治理等关键环节,促进技术创新与生产流程的深度融合。二是通过研发费用加计扣除、成果转化奖励、知识产权保护与快速审查等配套政策,强化企业创新收益预期,降低研发失败风险。三是支持龙头企业牵头建设开放共享的工业智能化创新平台,推动上下游协同创新与技术扩散,形成创新链与产业链的高效融合。

第四,优化制度环境与政策协同,增强工业智能化发展的外部支撑。研究发现,良好的营商环境放大了技术改造补贴的政策效应。应通过制度供给与环境优化,强化企业外部转型韧性。一是持续推进营商环境优化,降低企业在项目申报、审批及设备更新中的制度性交易成本。二是推动财政、金融与产业政策协同发力,鼓励金融机构设立工业智能化专项信贷产品,形成“财政引导—金融跟进—市场联动”的政策闭环。三是加快区域间产业协同与要素流动,在产业基础较弱地区建设公共技术平台和数字化服务中心,为企业提供共享的智能化改造资源与技术支持。通过优化制度环境与市场条件,进一步释放技术改造补贴的政策乘数效应。

参考文献:

- [1] 中国社会科学院工业经济研究所课题组. 工业稳增长:国际经验、现实挑战与政策导向[J]. 中国工业经济,2022(2):5-26.
- [2] 张航燕,杨卓茵. 制造业服务化与企业创新质量:效应及作用机制[J]. 首都经济贸易大学学报,2025,27(3):85-97.
- [3] 成琼文,朱婧丽. 人工智能应用如何提升制造企业韧性? [J]. 经济与管理研究,2025,46(8):56-75.
- [4] 任保平. 生产力现代化转型形成新质生产力的逻辑[J]. 经济研究,2024,59(3):12-19.
- [5] 中国社会科学院经济研究所课题组. 结构变迁、效率变革与发展新质生产力[J]. 经济研究,2024,59(4):4-23.
- [6] 孙早,宗睿. 工业智能化、劳动力技能结构与行业收入差距[J]. 中国工业经济,2025(1):62-80.
- [7] 王林辉,姜昊,董直庆. 工业智能化会重塑企业地理格局吗[J]. 中国工业经济,2022(2):137-155.
- [8] 王永进,陈菲. 智能制造与出口企业产品策略:专业化与多样化的背离[J]. 中国工业经济,2025(5):43-61.
- [9] 施炳展,熊治. 新质生产力、数字技术创新与产品质量升级[J]. 广西师范大学学报(哲学社会科学版),2025,61(1):95-114.
- [10] 高远东,陆子顺,项后军. 企业数字化与技术采用:中国整体技术升级路径的探讨[J]. 经济研究,2025,60(1):143-159.
- [11] 李海舰,赵丽. 新质生产力的三维界定:要素形态、产业形态、经济形态[J]. 经济纵横,2024(10):35-45.

- [12] 戚聿东,沈天洋. 人工智能赋能新质生产力:逻辑、模式及路径[J]. 经济与管理研究,2024,45(7):3-17.
- [13] 洪银兴,王坤沂. 新质生产力视角下产业链供应链韧性和安全性研究[J]. 经济研究,2024,59(6):4-14.
- [14] 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, 2024,40(7):1-26.
- [15] ZHAO X Q, ZHAO L W, SUN X Z, et al. The incentive effect of government subsidies on the digital transformation of manufacturing enterprises [J]. *International Journal of Emerging Markets*, 2023, 19(11): 3892-3912.
- [16] GUO D, GUO Y, JIANG K. Government-subsidized R&D and firm innovation: evidence from China[J]. *Research Policy*, 2016, 45(6): 1129-1144.
- [17] SPENCE M. Competitive and optimal responses to signals: an analysis of efficiency and distribution[J]. *Journal of Economic Theory*, 1974, 7(3): 296-332.
- [18] BOEING P. The allocation and effectiveness of China's R&D subsidies—evidence from listed firms[J]. *Research Policy*, 2016, 45(9): 1774-1789.
- [19] VAN EERDE W, THIERRY H. Vroom's expectancy models and work-related criteria: a meta-analysis[J]. *Journal of Applied Psychology*, 1996, 81(5): 575-586.
- [20] SHEPHERD D A, MCMULLEN J S, OCASIO W. Is that an opportunity? An attention model of top managers' opportunity beliefs for strategic action[J]. *Strategic Management Journal*, 2017, 38(3): 626-644.
- [21] PORTER M E, HEPPELMANN J E. How smart, connected products are transforming competition[J]. *Harvard Business Review*, 2014, 92(11): 64-88.
- [22] FRANK A G, DALENOGARE L S, AYALA N F. Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies [J]. *International Journal of Production Economics*, 2019, 210: 15-26.
- [23] XU L D, XU E L, LI L. Industry 4.0: state of the art and future trends[J]. *International Journal of Production Research*, 2018, 56(8): 2941-2962.
- [24] 曾经莲,周菁. 智能制造促进了企业融通创新吗? [J]. 首都经济贸易大学学报,2024,26(6):79-93.
- [25] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and jobs: evidence from US labor markets[J]. *Journal of Political Economy*, 2020, 128(6): 2188-2244.
- [26] COCKBURN I M, HENDERSON R, STERN S. The impact of artificial intelligence on innovation: an exploratory analysis [M]//AGRAWAL A, GANS J, GOLDFARB A. *The economics of artificial intelligence: an agenda*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 2019: 115-146.
- [27] ACEMOGLU D, RESTREPO P. The race between man and machine: implications of technology for growth, factor shares, and employment[J]. *American Economic Review*, 2018, 108(6): 1488-1542.
- [28] 张永坤,李小波,邢铭强. 企业数字化转型与审计定价[J]. 审计研究,2021(3):62-71.
- [29] CIRIELLO R F, RICHTER A, SCHWABE G. Digital innovation[J]. *Business & Information Systems Engineering*, 2018, 60(6): 563-569.
- [30] 林海明,杜子芳. 主成分分析综合评价应该注意的问题[J]. 统计研究,2013,30(8):25-31.
- [31] 鞠晓生,卢荻,虞义华. 融资约束、营运资本管理与企业创新可持续性[J]. 经济研究,2013,48(1):4-16.
- [32] 郭磊,贺芳兵,李静雯. 中国智能制造发展态势分析——基于制造业上市公司年报的文本数据[J]. 创新科技,2020,20(2):61-71.
- [33] 张杰. 政府创新补贴对中国企业创新的激励效应——基于U型关系的一个解释[J]. 经济学动态,2020(6):91-108.
- [34] 刘诗源,林志帆,冷志鹏. 税收激励提高企业创新水平了吗? ——基于企业生命周期理论的检验[J]. 经济研究,2020,55(6):105-121.
- [35] 蒋琰. 权益成本、债务成本与公司治理:影响差异性研究[J]. 管理世界,2009(11):144-155.
- [36] 陆正飞,何捷,窦欢. 谁更过度负债:国有还是非国有企业? [J]. 经济研究,2015,50(12):54-67.
- [37] 李春涛,宋敏. 中国制造业企业的创新活动:所有制和CEO激励的作用[J]. 经济研究,2010,45(5):55-67.
- [38] 周黎安,罗凯. 企业规模与创新:来自中国省级水平的经验证据[J]. 经济学(季刊),2005(2):623-638.
- [39] 张三保,张志学. 中国省份营商环境评估 2022[Z]. 北京大学开放研究数据平台,2022.

How do Technological Transformation Subsidies Drive the Development of Industrial Intelligence?

WU Lang, SHI Junwei

(Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073)

Abstract: Industrial intelligence (II), defined as the integration of next-generation digital technologies into production and firm management, has become a central vehicle of China's new quality productive forces (NQPFs). The transition toward II is inherently costly and uncertain, requiring substantial upfront investment. Consequently, many manufacturing firms postpone or underinvest in intelligent upgrading, raising a critical policy question of whether and how government intervention can effectively catalyze II development.

This paper focuses on the impact of government technical transformation (TT) subsidies on accelerating firms' II upgrading and its underlying mechanisms. Although TT policies have long aimed to promote equipment renewal, process upgrading, and digital retrofitting, systematic micro-level evidence on their role in facilitating II development remains limited. Using panel data from Chinese A-share listed manufacturing firms from 2012 to 2022, this paper constructs a firm-year TT subsidy measure based on detailed project-level records from the CSMAR database. Policy identification is ensured by combining keyword extraction from national policy documents, local implementation rules, and field materials with manual verification, retaining only subsidy items directly linked to equipment renewal, process upgrading, digital system deployment, and intelligent manufacturing adoption. Firms' II is captured by a composite index that integrates both investment-based and capability-based dimensions, reflecting the multidimensional nature of intelligent upgrading.

Empirical findings indicate that TT subsidies robustly increase firms' II levels. Mechanism analysis reveals three main channels. First, TT subsidies enable lumpy and partially irreversible intelligent investments by easing financing constraints, improving liquidity, raising expected returns, and reducing the effective costs of II upgrading. Second, TT subsidies elevate entrepreneurial and managerial attention to intelligent transformation, reinforcing strategic commitment, internal coordination, and upgrading priorities. Third, TT subsidies stimulate technological innovation, enhancing absorptive capacity, and facilitating the effective integration of intelligent technologies into products and production processes.

Policy effects display clear heterogeneity. Financing-related impacts are the strongest for growth-stage firms; attention-driven effects are more pronounced among small firms; and innovation-driven effects are concentrated in large firms and state-owned enterprises. Institutional conditions further shape policy effectiveness: regions with higher rule-of-law and marketization levels can amplify the positive impact of TT subsidies on industrial intelligence.

Overall, this paper provides micro-level evidence that TT policies promote II upgrading and support the formation of NQPFs. The findings imply that TT policies should be tailored to firms' lifecycle stages and capabilities, coordinate fiscal subsidies with financial support and managerial guidance, and be complemented by continuous improvements in institutional quality to transform short-term policy inputs into sustained upgrading outcomes.

Keywords: new quality productive forces; industrial intelligence; technical transformation; government subsidy; innovation-driven development

编校:姜 莱