

智能化与制造业企业创新

李逸飞 苏盖美 牛芮 王康

内容摘要:通过智能化实现制造业企业创新对经济高质量发展有重要意义。本文基于2014—2019年北京海淀科技园数据集,探讨智能化实施对制造业企业创新的影响,并从创新效率、产学研合作网络挖掘作用机制。研究结果显示:实施智能化能够显著提高制造业企业的创新能力,创新效率、产学研合作起着明显的中介机制作用,人力资本有正向的调节作用。进一步分析结果表明,外资企业和民营企业的智能化转型效果优于国有企业;与新型制造业相比,传统制造业企业的智能化效果不理想。本文研究结果表明,智能化与创新活动有良性的互动,应重视传统制造业的智能化转型升级,优化创新资源配置,促进制造业融通创新,这些都有助于新发展阶段下智能制造的提质增效。

关键词:智能化 制造业企业 产学研 创新效率 高质量发展 数智化

中图分类号:F272.7

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2023)08-0003-14

一、问题提出

党的二十大提出“建设现代化产业体系,坚持把发展经济的着力点放在实体经济上,推进新型工业化,加快建设制造强国”。智能制造是创新发展的主要抓手,是制造业转型升级的主要途径,是建设制造强国的主攻方向。因此,运用智能化改造传统制造业成为发展实体经济的基础,对新发展阶段助推经济高质量发展至关重要。

虽然中国传统制造业在促进经济增长、稳定就业方面发挥着主要作用,但传统制造业创新体系难以适应经济社会发展的需要。根据国家统计局发布的数据,2021年中国高技术制造业增加值占规模以上工业增加值的比重为15.1%,就业所占比重则更低。根据人力资源和社会保障部统计,在中国就业人口中,低技能劳动者的占比高达74%,传统制造业仍然是解决低技能劳动者就业的重要渠道。而且,传统制造业的创新驱动优势尚未建立^[1],存在产业发展的基础材料、基础工艺、技术基础较为薄弱等问题。

收稿日期:2022-10-31;修回日期:2023-05-18

基金项目:国家社会科学基金后期资助项目“数字化赋能企业高质量发展:基于‘五力’框架的研究”(22FJLB004)

作者简介:李逸飞 管理世界杂志社副研究员,北京,100026;

苏盖美 中国社会科学院大学商学院博士研究生,通信作者,北京,102488;

牛芮 北京工商大学数学与统计学院硕士研究生,北京,100048;

王康 北京工商大学数学与统计学院副教授。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

同时,制造业企业在数智化转型过程中也存在一系列的障碍。基于德勤会计师事务所2021年对中国制造业企业的调查,发现制造业企业的技术创新重视数字技术能力和研发实力,但尚未形成明确的技术创新战略和创新机制,无法支持持续有效的技术创新,企业仍面临创新机制不到位的重大挑战。在企业推行智能制造的浪潮中,普遍存在着“大企业唱戏,中小微企业观望”的现象。因此,在新一轮科技革命与产业变革下探索智能化对中国制造业企业创新的影响效应和作用机制具有重要意义,有利于探索适合自身发展的智能制造之路。

与本文相关的已有研究主要有两类。第一类探索智能化的经济效应,重点关注智能化对劳动力需求和对就业结构、薪资福利的影响。在就业结构上,工业智能化重塑劳动力就业结构,形成劳动力就业结构的“两极化”特征^[2];在收入分配效应上,人工智能通过非对称地改变高低技术部门的生产率影响劳动收入分配,加剧收入不平等^[3],但对于性别薪酬而言,有学者发现工业机器人的应用均提高了男女的工资水平,且缩小了性别工资差距^[4]。从经济地理视角出发,王林辉等(2022)发现工业智能化能重塑企业的地理格局,使得人工智能企业集聚而使传统企业分散^[5]。第二类主要研究中国情境下影响制造业企业创新的有关因素,既有研究从本土和境外的竞合关系^[6]、融资偏向^[7]、融资方式^[8]、税收优惠^[9]、政府补贴^[10]、外贸自由化^[11]及人民币汇率变动^[12]等方面研究了制造业企业创新的影响因素。

进一步,已有研究对智能化和制造业企业创新关系的探索为本文提供了启发。肖静华和李文韬(2020)从资源变革的视角研究智能制造、企业战略变革、企业创新三者的关系,发现智能制造能够推动资源基础的标准化、流程化、数据化等变革,企业在此基础上进行多种模式的战略选择和战略形态的创新^[13]。但该研究从理论上进行阐述,缺乏大样本数据实证。诸竹君等(2022)利用大样本数据探析工业自动化对企业创新行为的作用机制,包括效率增进效应和技能互补效应、异质性的技术选择效应和行业竞争效应^[14]。

总的来看,智能化促进制造业企业创新的量化研究较为缺乏。尽管不少文献研究数字化、智能化对企业创新的影响,但较少聚焦到制造业企业的创新;少量量化研究虽然关注自动化对制造业创新的影响,但大多使用上市公司数据^[15]和规模以上工业企业数据,缺乏中小微企业的代表。然而,若忽视这部分样本可能带来研究结果的偏差,无法反映中国制造业智能化进程的真实情况。中小制造业企业的智能化关乎国家的整体经济利益,解决中小制造业企业的智能化转型痛点所带来的边际效益的提升更加可观。况且创新活动充满复杂性和不确定性,中小企业面临的创新环境约束、创新障碍天然地高于大型企业^[16]。大企业有足够的资金和资源保障其进行智能化转型,而中小企业的生产经营大多采取降低生产成本的策略来保障生存。中小企业多依赖单纯的仿制、通用技术和规范化、标准化的工艺流程,创新的主动性和意愿不强。中小微企业的智能化转型在目的、动力、过程上与大企业存在差异。

然而,已有关于智能化和数字化影响企业创新的机制研究中,多数从“前因”进行探索,即智能化对企业的劳动力结构、资源整合、组织结构、运营效率等条件式的改善促进企业创新,忽略了智能化如何直接作用于创新活动过程以及随之产生的创新活动的实质性变化。比如,在有关研究数字化如何影响网络式创新或开放式创新的文献中,多数探索停留于数字技术的底层设施、硬件、平台等如何支撑知识和信息的传播,促进不同创新主体的交流,而对创新过程如何被“塑造”和“改变”缺乏深层次的探索。本文从企业智能化引发的内生战略变革、创新活动的重塑等角度入手,将智能制造的影响深入到企业的创新过程,这是对已有研究进行拓展。

本文贡献主要有两点。(1)在机制上,深入探索智能化对创新的实质性影响。囿于数据可得性,现有文献大多从创新投入测度智能化对创新的影响,认为智能化能提高创新投入从而提升企业的创新。然而,智能化对企业投入的促进作用有待讨论,两者可能存在替代性或互补性^[14]。一方面,企业有限的资金约束导致企业进行智能化转型可能会挤出企业创新投入。另一方面,智能化转型使得大部分劳动者从重复性的劳动中释放出来,企业的劳动力成本降低,节约的企业自有资金投入技术研发,从而引发互补效应^[15]。本文认为,创新投入高不一定代表企业创新的实质效果,而智能化能够通过提高创新效率带来实质性的创新效果。(2)在数据上,本文使用北京海淀科技园区数据,该数据指标丰富,包含了大中小微企业的制造业企业,样本较为均匀。此外,该数据集具有丰富的创新指标,可用于测度创新效率、产学研合作网络,对制造业企业的创新研究有独特的优势。

二、理论机制与研究假设

现有文献已经指出智能化能够促进企业创新产出,但是对于智能化如何直接影响企业的创新过程和行为,以促进创新产出的研究较少。理论上,智能化除了能够促进创新研发“条件式”的改善外,对企业的创新模式、创新过程和创新行为选择均可能产生影响。因此,本文思考以下三个问题:从自主创新的效率来看,智能化对创新质效是否有提升?从产学研合作探究智能化能否实现企业开放式创新的转变?企业实施智能化对创新的提升是否因人力条件而改变?

(一) 创新效率

效率指的是以尽可能少的投入获得尽可能多的产出,包括“正确地做事”,即不浪费资源,和“做正确的事”,即可以实现目标的活动^[17]。对于创新的实现过程而言,创新产出所需要的投入越少,创新过程越有效率。

创新具有复杂性、创造性和开放性的特点,同时伴随着随机性、不规则性和混乱性^[18]。传统企业在进行创新活动时,需要投入大量成本对市场进行调研和分析以获得创新决策所需信息^[19],同时囿于资金、时限等约束条件,创新决策大多是基于管理者和决策者的“直觉”,直觉总是包含高度的不确定性^[20],创新投入研发试验费用很可能成为沉没成本。创新过程的关键步骤有两个,一是认识、发现、产生、创造新的想法、创意、解决方案,二是发展和利用该新想法^[21],这两个步骤极具创造力和发散性^[22]。

人工智能(AI)和深度学习算法是智能制造或智能生产的驱动因素^[22],企业智能化可借助智能传感器^[23],从车间内的不同活动、企业上下游相关者互动中持续监控、采集大量数据^[24]。这些传感器通过无线网络连接捕捉数据并将其共享到云端^[25-26],在云端由智能计算算法进行分析。这个过程对创新有两条赋能路径。一是以低成本、实时的方式获取大量的创新信息来源,从而打破信息约束。创新常因在知识库内相关领域搜索解决方案而产生路径依赖^[27],智能化使企业能够实时掌控产品信息、客户需求等数据,大大降低信息不对称性,从而减少创新的不确定性和风险性^[28]。同时,海量、多维的信息支持企业的搜索范围从现有知识库扩大到更具有探索性质的新领域^[21],从而提供更具创造性和更加新颖的想法或机会,大大降低了探索新想法的成本从而提高创新效率。二是突破创新决策者的有限理性,突破信息处理约束。创新管理的核心是决策过程,这需要参与创新过程的管理人员进行信息处理^[29-30]。智能化过程伴随着制造活动、供应链活动的智能化,会产生大量、不同种类、不同速度的数据。管理者存在“有限理

性”,人工智能系统擅长克服人类在想法和机会开发方面的信息处理限制。智能化通过高度集成的机器学习算法,使得大量流程实现了自动化,企业能够利用一系列基于算法的描述性、诊断性、预测性和规定性方法来进行各种战略创新^[31-32]。

综上,制造业企业智能化可以通过两个方面提高创新效率:正确地做事——快速形成大量又精准的创新想法,提高设计研发和创意的易得性,降低创新想法和创新方案的生成成本;做正确的事——智能化通过降低信息不对称,降低无谓的试错成本,提高创新想法的有效性,从而提高创新效率。由此,本文提出第一个假设:

假设 1:创新效率在企业智能化促进企业创新中起到中介作用。

(二)产学研合作网络

智能化促进产学研合作的机制。现有文献多从数字化提供底层硬件支撑、优化信息传递和提高沟通效率的角度加以阐述,即数字平台或信息技术能够突破时空边界、扩大合作的广度和深度,实现低成本的知识渗透^[33],降低研发人员的技术交流成本和沟通协作成本^[34]。较少有文献从创新过程的角度对智能化促进产学研进行探析。本文从企业智能化引发的内生战略变革和需求入手进行分析。

企业实施智能化的过程中改变了原有的架构^[35],促使企业改变和调整组织以适应环境要求^[36]。实施智能化的企业通过整合自身的知识资本和知识基础,来寻找和抓住新的商业机会^[37-38]。当数字驱动的创新发展到一定程度时,灵活性和专业化之间的关系更加紧张,生存、发展、创新的机遇不断涌现,促使企业引入新的、外部的知识管理实践^[39],从而引发企业构建产学研合作网络的需求。智能制造企业的创新成效在很大程度上取决于企业的知识资本、信息技术(IT)能力和组织知识资产^[40]。因此,获取知识资本和 IT 资本是构建产学研网络的动力^[39]。

智能技术具有集成性、模块化特征^[41],可支持企业构建产学研合作网络。智能化能够将生产活动模块化,并为所有生产模块配备通用接口,不同模块之间可以呈现多种组合^[42]。基于模块功能的独立性和接口标准化这两个特征,企业与外部合作伙伴等创新模块能够便捷地开展技术创新,实现价值共创^[43]。并且能够根据市场最新需求快速组合和解散,形成模块化的“即用即走”合作模式,突破以往企业间相对稳定的合作关系,呈现出合作关系动态化的特点^[44]。

产学研能提高制造业的创新概率。由于企业创新具有时间长、风险大、不确定性强、失败率高的特点,通过产学研合作突破资源约束,企业能够以较低的成本获取高素质人力资本、大学和科研机构的高级生产要素,有利于协同合作挖掘知识组合、开拓创新领域,最终激发创新方案的产生^[45],从而促进企业创新。

假设 2:产学研合作网络在企业智能化促进企业创新中起到中介作用。

(三)人力资本的调节效应

智能化有助于制造业企业提高绩效和可持续性。认识和管理海量数据是一个重大挑战,员工的知识和数字技能制约着制造业企业实施智能化的效果^[23]。米勒和沃伊特(Müller & Voigt, 2017)在对德国制造业实施工业 4.0 策略的案例研究中发现,关键资源尤其是人力资源成为智能化转型中创新和技术顺利整合的关键因素^[46]。智能化企业中的自动化特性大大提高了生产的可控性,对“创造性问题解决者”的需求比重逐渐加大,如数据分析专家、相关的硬件专家等。制造业企业在智能化转型的过程中以及在将智能化技术或工业 4.0 技术纳入制造和运营模式的决策中^[20],经常忽视数字化和自动化等相关创新趋势^[47],因此,纳入智能化高端人才在企业智能化过程中能够起到洞察和指导作用。

此外,已有学者发现智能化中基于数据驱动的创新(data-driven innovation, DDI)会引发一些问题,如存在算法偏见。算法偏见有三个主要来源:数据偏见、方法偏见和社会偏见^[48],训练数据集的有偏、分析模型的不恰当会导致有偏的创新产品开发。高级的人力资本能够充分发挥其洞察力,及时识别和解决人工智能的“非理性”部分,发现智能化解决方案的局限性并不断动态调整信息源、优化智能技术和方法,从而提高企业创新能力。

人力资本对中小企业智能化转型更为重要。中小企业由于组织更为灵活、需要负责多方面的职能,员工更有可能成为“多面手”^[49],较难在某一特定智能化领域形成高水平的专业知识^[50]。中小企业员工也更容易缺乏导师、工作坊帮扶,难以获得有监督的行业培训机会^[51],因此人力资本高级化对中小型企业创新提升效果更明显。

假设3:人力资本在企业智能化促进企业创新中起到正向调节作用。

三、数据来源与变量统计

(一)数据来源

本文基于2014—2019年北京海淀科技园企业数据展开研究,包含企业的基本信息、资产状况、财务状况、人力资本等多方面数据。科技园所在地的中关村是中国科技创新的核心区,企业创新活动十分活跃,智能技术应用体系比较成熟,不乏存在智能化转型的成功先例。从样本的分布来看,大型制造业企业和中小微企业的分布均匀;在行业分布上,传统制造业和新型制造业企业数量近似相等。用该数据集研究智能化和企业创新具有科学性和代表性。根据2017年国民经济行业分类,制造业共涵盖31个两位码行业。本文据此筛选出企业-年份维度的4336个观测值,并在此基础上剔除企业规模、总资产周转率等关键指标为缺失值、零值或负值的企业,最终得到4302个观测值,见表1。

表1 规模和行业样本分类表

类别	行业	样本	占比/%
企业规模	大型制造业	1324	30.78
	中型制造业	2469	57.39
	小微制造业	509	11.83
行业分类	传统制造业	2276	52.91
	新型制造业	2026	47.09

(二)变量的描述性统计

1. 被解释变量

本文的被解释变量为企业创新,使用拥有有效专利数的自然对数($\ln patent_cum$)衡量。为了使实证结果更加稳健,后文使用两个替代性指

标,分别是新产品销售收入的自然对数值($\ln rev_sales$)、新产品产值的自然对数值($\ln new_outputcum$)衡量企业创新进行稳健性检验。其中新产品产值是企业生产的新产品的产值,新产品定义为采用新技术原理、新设计构思研制、生产的全新产品,或在结构、材质、工艺等某一方面比原有产品有明显改进,因此该值能够表示企业的创新程度。

2. 核心解释变量

本文的主要解释变量为企业是否进行智能化转型,若企业使用了智能硬件技术,取值为1,否则为0。

3. 机制变量

(1)创新效率($\ln idea$)。根据前文分析,当开发创新想法和创意活动的生成成本降低,且探索到的想法

有效,即当试验的次数和费用降低,同时创新的成果被市场认可时,创新才能被认为是有效率的创新。为了实证智能化对企业的创新效率的提升作用,可以从以下三方面测度创新效率:

创意和想法开发成本,用研发活动的设计费用测度,指企业为新产品和新工艺进行构思、开发和制造,进行工序、技术规范、规程制定、操作特性方面的设计等发生的费用,包括为获得创新性、创意性、突破性产品进行的创意设计活动发生的相关费用等。由上文分析可知,智能化能够发掘创新的机会和想法,降低创新周期,从而减少创意和想法生成的成本。

有效想法和创意搜寻成本,用装备调试费用与试验费用进行测度。装备调试费用包括研制特殊、专用的生产机器,改变生产和质量控制程序,或制定新方法及标准等活动所发生的费用。试验费用包括新药研制的临床试验费、勘探开发技术的现场试验费、田间试验费等。智能化提高创新成功的机率,从而减少试验和试错的次数和成本。

创新成果接受度成本,包括专家咨询费、高新科技研发保险费,研发成果的检索、论证、评审、鉴定、验收费用,以企业费用中其他费用的自然对数值来表示。

以上三个指标加总,反映企业的创新效率,当智能化对该指标呈负向影响,那么认为智能化能够显著降低创新活动的成本,从而提高创新效率。

(2)产学研合作网络,以委托外单位研发总支出的自然对数($\ln exrd$)、委托境内机构研发经费支出的自然对数($\ln exrdins$)、委托高校研发经费支出的自然对数($\ln exun$)表示。

相关控制变量。为客观估计智能化对制造业企业创新的影响,本文借鉴现有关于企业创新的研究,从企业规模、企业资产运营效率、研发情况、企业进出口等方面选用控制变量。企业规模($size$)使用企业总资产的自然对数值表示,总资产周转率($tato$)使用营业收入与总资产的比值表示,研发投入(rd)根据企业是否存在研发投入取值为1和0,出口虚拟变量($expdum$)根据企业是否存在出口行为取值为1和0。

通过描述性统计初步分析实施智能化对企业创新的影响,结果见表2。可以看出,实施智能化的企业拥有有效专利数的平均值大于未实施智能化的企业,同时实施智能化的企业也比未实施智能化的企业在企业规模、总资产周转率方面的数值要大,这说明实施智能化的企业具有更高的创新能力。

表2 描述性统计

企业分类	变量	符号	观测值	平均值	方差	最小值	最大值
未实施智能化企业	拥有有效专利数	$\ln patent_cum$	4 019	2.08	1.99	0	10.60
	企业规模	$size$	4 019	11.19	1.92	1.39	17.58
	总资产周转率	$tato$	4 019	0.71	0.70	8.66×10^{-6}	13.43
	研发投入	rd	4 019	0.81	0.39	0	1
	出口虚拟变量	$expdum$	4 019	0.17	0.37	0	1
实施智能化企业	拥有有效专利数	$\ln patent_cum$	283	2.97	2.10	0	7.62
	企业规模	$size$	283	11.72	2.14	5.23	18.13
	总资产周转率	$tato$	283	0.79	0.78	0.00	6.47
	研发投入	rd	283	0.95	0.22	0	1
	出口虚拟变量	$expdum$	283	0.13	0.33	0	1

四、模型与实证结果

(一) 模型设定

本文的研究目的在于考察智能化对制造业企业创新的影响,并进一步揭示其影响制造业企业创新的机制和特征。结合前文分析,为了检验智能化对企业创新的效果,本文设计如下模型:

$$Innovation_{it} = \beta_0 + \beta_1 did_{it} + \gamma X_{it} + \lambda_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $Innovation_{it}$ 表示企业 i 在 t 年的创新产出, did_{it} 为企业的智能化决策, X_{it} 为控制变量的集合, β_1 和 γ 为待估参数和系数向量; λ_i 和 θ_t 分别为个体固定效应和时间固定效应, ε_{it} 为随机扰动项。

(二) 基准结果分析

本文采用固定面板效应对模型(1)进行分析,表3是制造业企业实施智能化对企业创新影响的基准回归结果。可以看出,变量 did 的系数在 1% 的水平上显著为正,说明制造业企业实施智能化显著促进了企业创新。控制变量方面,企业规模 ($size$) 和总资产周转率 ($tato$) 的系数均在 1% 的显著性水平上显著为正,说明随着企业规模的扩大与总资产周转率的提高,企业营运资金更充裕,可以动用更多的人力、物力来推动企业创新,企业拥有有效专利数量就会越多。研发投入 (rd) 的系数在 1% 的水平上显著为正,说明企业进行研发投入能够促进创新。出口虚拟变量 ($expdum$) 的系数显著为正,说明存在新产品出口收入的企业会了解到国外消费者对产品的特定偏好,接触到更多有利于企业进行产品创新的信息。

表3 基准回归结果

变量	lnpatent_cum
did	0.278*** (4.69)
$size$	0.191*** (5.78)
$tato$	0.080*** (2.79)
rd	0.399*** (7.49)
$expdum$	0.276*** (3.11)
常数项	-1.325*** (-3.58)
企业固定效应	控制
时间固定效应	控制
$within R^2$	0.573
观测数	4302

注: *、** 和 *** 分别表示在 10%、5%、1% 的显著性水平上显著,括号内为 t 值。后表同。

(三) 稳健性检验

在前文的基准检验中基本证实了制造业企业实施智能化对企业创新的促进作用,但还存在一些不可观测的因素可能对上述结果产生影响。为保障上述结论的稳健性,需对结果进行稳健性检验。

1. 替换被解释变量

除拥有有效专利数外,创新产出能否在市场中创造价值,即创新成果转化,是企业创新过程中的关键环节。鉴于此,本文以新产品销售收入的自然对数值 ($\ln rev_sales$)、新产品产值的自然对数值 ($\ln new_outputcum$) 作为衡量企业创新的替代指标,进一步实证检验基准回归结果的稳健性,控制变量与基准检验相同。实证结果如表4所示,结果表明,企业实施智能化对新产品销售收入、新产品产值的影响均在 1% 的水平上显著为正,其系数分别为 0.674、0.621,这表明制造业企业实施智能化对企业创新产出、创新成果转化都有显著的促进作用,基准回归结果具有较好的稳健性。

表 4 替换被解释变量基准回归结果

变量	lnrev_sales	lnnew_outputcum
did	0.674*** (2.65)	0.621*** (3.53)
常数项	-9.840*** (-6.19)	-3.114*** (-2.84)
控制变量	控制	控制
企业固定效应	控制	控制
时间固定效应	控制	控制
within R ²	0.115	0.271
观测数	4 302	4 302

表 5 稳健性检验——PSM-DID

变量	lnpatent_cum
did	0.237** (2.32)
常数项	-4.365*** (-18.11)
控制变量	控制
企业固定效应	控制
时间固定效应	控制
within R ²	0.562
观测数	4 277

2. 反事实推断

为解决由样本选择性偏差而产生的内生性,本文采用倾向得分匹配(PSM)方法进行更精确的估计,再通过双重差分(DID)方法消除由于遗漏变量(特别是不可观测的变量)带来的内生性问题。在PSM步骤中,以营收规模、企业规模、资产负债率、固定资产规模和企业年龄作为匹配变量,使用半径(卡尺)匹配对样本进行匹配,通过平衡性检验。基于以上进行PSM-DID模型估计,实证结果见表5。

表5中核心解释变量did显著为正,说明企业实施智能化对企业创新有显著的促进作用。控制变量的估计系数均显著为正。表5结论与基准检验结果一致,再一次证明本文的实证结果是稳健的。

3. 平行趋势检验

双重差分模型之所以能给出实施智能化对企业创新的可信估计,其关键前提是要符合企业实施智能化之前的平行趋势假设。平行趋势检验的结果如图1所示。从图1中可以看出,企业实施智能化前的估计系数在0附近波动,在实施

智能化之后显著为正,呈现出上升的趋势。这说明在企业实施智能化前,实验组和控制组在企业创新方面不存在显著差异,证实了平行趋势假设。

4. 安慰剂检验

为了验证本文回归结果具有实际意义,同时排除遗漏变量、随机因素的干扰,采用改变智能化实施政策发生时间的方法进行安慰剂检验。同时为了进一步增强安慰剂检验的效力,将基准回归重复500次,最后绘制出did的估计系数分布图。检验结果表明基准检验中的影响效应的确是源于企业实施智能化带来的结果,人为随机指定实施政策年份不会对企业创新水平产生影响,实证结果仍旧稳健。

五、机制检验

在上文基准回归结果分析的基础上,本部分将采用中介效应模型来进行机制检验与分析。

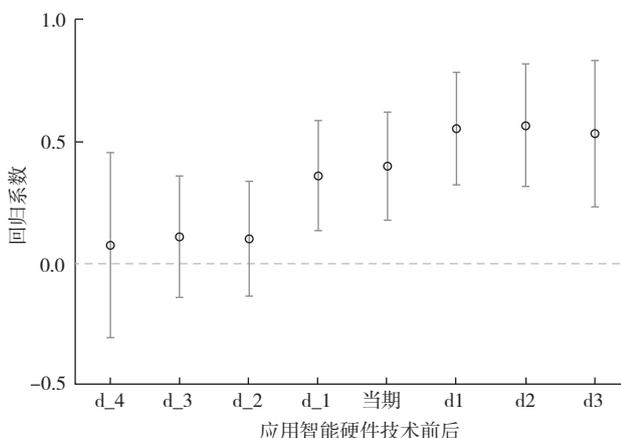


图 1 平行趋势检验

以企业创新效率、产学研投入为中介变量,企业实施智能化的虚拟变量与时间虚拟变量的交乘项(*did*)为主要解释变量,建立如下中介效应模型:

$$M_{it} = \alpha_0 + \beta_2 did_{it} + \gamma X_{it} + \lambda_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式(2)表示实施智能化对企业创新的效应,其中 M_{it} 表示待检验的机制变量,系数 β_2 表示效应的大小。

(一) 创新效率

企业创新效率的中介效应实证结果如表 6 所示,创新效率通过显著性检验,说明企业智能化通过快速形成大量且精准的创新想法,提高设计研发和创意的易得性,降低创新想法和创新方案的生成成本,从而提高创新效率。智能化能够降低信息不对称和试错成本,有助于企业搜寻相应领域的专家,提升创新的认可度,从而提高企业创新效率,假设 1 成立。

表 6 创新效率

变量	创新效率
<i>did</i>	-0.463*** (-2.69)
常数项	-4.768*** (-4.42)
控制变量	控制
企业固定效应	控制
时间固定效应	未控制
<i>within R</i> ²	0.151
观测数	4 302

(二) 产学研合作网络

企业在进行创新活动时,可以单纯依靠内部资源,也可以通过研发合作跨越组织和地理边界获取知识要素。由于智能化的发展和创新活动的复杂性,企业通过产学研合作的方式,与高校和科研机构间实现知识的协同,进而提升企业创新能力,使得创新产出加速涌现。本文用委托外单位研发经费总支出的自然对数(*lnexrd*)、委托境内机构研发经费支出的自然对数(*lnexrdins*)、委托高校研发经费支出的自然对数(*lnexun*)来检验产学研合作网络的中介效应。实证结果如表 7 所示,委托外单位研发经费总支出、委托境内机构研发经费支出、委托高校研发经费支出均通过了显著性检验,表明产学研合作网络在企业智能化促进企业创新中起到中介作用,假设 2 成立。

表 7 产学研合作网络

变量	委托外单位研发经费支出	委托境内机构研发经费支出	委托高校研发经费支出
<i>did</i>	0.395** (2.17)	0.227** (2.05)	0.205** (2.14)
常数项	-3.418*** (-3.01)	1.095 (1.58)	0.838 (1.40)
控制变量	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
<i>within R</i> ²	0.022	0.016	0.008
观测数	4 302	4 302	4 302

六、进一步分析

为识别智能化实施发挥作用的外部条件,本文从人力资本出发,探究人力资本在企业实施智能化过程中的影响。接着,将从企业所有权性质、制造业行业细分两个方面,进一步实证分析智能化实施对企业创新能力影响的异质性。

(一) 调节效应

为检验智能化实施产生作用的外部条件,本文从人力资本这一外部条件出发,选取研发人员数的自然对数(*lnrdn*)、硕士以上学历员工数的自然对数(*lnmd*)两个指标,探究其对制造业企业智能化实施与企业创新的影响。表8为调节效应的回归结果,可以看出,智能化实施与研发人员数的交互项、智能化实施与硕士以上学历员工数的交互项均显著为正,说明在较好的人力资本条件下,制造业企业智能化实施对创新能力的促进作用能够充分显现,从而支持了假设3。

表8 人力资本调节效应

变量	(1)	(2)
<i>did</i>	0.421** (2.34)	0.807*** (6.58)
<i>lnrdn</i>	0.102*** (3.47)	
<i>lnrdn×did</i>	0.155*** (3.32)	
<i>lnmd</i>		0.146*** (5.83)
<i>lnmd×did</i>		0.077* (1.69)
常数项	-3.992*** (-18.47)	-3.824*** (-17.87)
控制变量	控制	控制
企业固定效应	控制	控制
时间固定效应	未控制	未控制
<i>within R²</i>	0.160	0.157
观测数	4 302	4 302

(二) 异质性检验

1. 所有权性质

企业所有权性质的差异会导致企业创新行为、目标和经营环境的差异,从而影响企业创新产出。不同产权性质的企业创新水平如何,已有研究得出的结论不同甚至截然相反。在制造业转型升级的背景下,不同所有制性质的制造业企业实施智能化对企业创新的影响效应如何是一个值得探索的问题。本文对制造业企业中的国有企业、民营企业、外商企业进行创新能力的异质性检验,实证结果如表9所示。

结果表明,企业实施智能化对国有企业的创新激励效应不显著,对民营企业 and 外商企业均有显著的创新激励效应。国有制造业企业管理层可能缺乏长期创新意愿,企业内部有效的激励和监督机制不足,导致创新动力不强,使得数字技术很难发挥出对企业创新能力的促进作用。而民营企业 and 外商企业在充分市场竞争的压力下,企业创新意愿更加强烈,故实施智能化对民营企业 and 外商企业的创新能力有显著的促进作用。与民营企业相比,外资企业可从海外母公司引进先进管理模式、吸收先进技术,具有国内企业所没有的显著技术优势。因此,实施智能化对民营企业 and 外商企业的创新具有显著的激励效应,对国有企业的作用效果不显著。

表 9 所有权性质

变量	国有企业	民营企业	外商企业
<i>did</i>	-0.108 (-0.72)	0.282*** (4.09)	0.662** (1.98)
常数项	-1.364 (-1.45)	-1.210*** (-2.77)	-5.705*** (-2.36)
控制变量	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
<i>within R</i> ²	0.639	0.553	0.563
观测数	722	2 960	2 54

表 10 制造业行业细分

变量	轻纺制造业	资源加工业	机械设备制造业
<i>did</i>	-0.369 (-0.65)	0.116 (0.34)	0.253*** (4.01)
常数项	-2.044 (-1.16)	-1.299* (-1.67)	-1.294*** (-3.03)
控制变量	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
<i>within R</i> ²	0.614	0.625	0.570
观测数	283	612	3 407

2. 制造业行业细分

考虑到制造业内部各细分行业的差异化特征及制造业企业创新的重要性,本文根据制造业类型进一步分析智能化实施对轻纺制造业、资源加工业和机械设备制造业创新效应影响的差异。实证结果如表 10 所示,结果显示,实施智能化对机械设备制造业企业创新具有显著的促进作用,对轻纺制造业、资源加工业的作用效果不显著。轻纺制造业和资源加工业属于传统制造业,机械设备制造业大多为新兴产业,这说明传统制造业企业转型升级的效果并不理想,与目前传统制造业发展中面临的突出问题相对应。传统制造业企业缺乏智能化的技术能力与管理能力,在转型升级过程中对成熟的先进适用技术不了解、不掌握,与新兴产业存在很大的差距。此外,智能化在传统制造业企业中的应用不够充分,其提供的服务与传统制造业企业的具体需求和现实能力不匹配,故对传统制造业企业创新能力的作用效果不显著。

七、结论与政策启示

通过实施智能化促进制造业转型升级、促进实体经济发展已成为制造业高质量发展的必由之路。许多制造业企业以智能化、数字化开展创新活动提升竞争力。在这一背景下,本文深入分析智能化促进企业创新的影响效应及作用机制,并挖掘企业在智能化中的问题与不足,为企业充分提高智能化效率、释放发展潜力提供经验证据。

本文研究发现,实施智能化能够提高制造业企业的创新能力。该结论在进一步克服样本内选择偏差、更换变量等检验后依然成立。

智能化改变了制造业企业的创新模式和行为,从而提高企业的创新能力。企业实施智能化能够降低创新想法的生成成本以及无谓的试错成本,提高创新想法的有效性,从而提高企业创新效率。在智能化变革下,企业面临更加复杂和动态化的问题,产学研合作网络的创新模式进一步影响企业的创新结果。

有效的外部条件是支撑智能化发挥作用的重要基础,在高级人力资本的支持下,智能化实施对企业创新能力的提高作用更为明显。此外,智能化促进创新的效果在不同所有制企业、不同类型制造业企业存在差异。与国有企业相比,外资和民营企业的智能化效果更好;传统制造业智能化的效果不理想,智能化对其创新产出没有明显的提升,基于传统制造业的主体地位,提高传统制造业的智能化质量和效益尤为迫切。

本文研究得到的启示是,制造业企业需要抓住智能化转型给企业创新带来的巨大机遇。一方面,应将智能化技术运用到企业生产运营和决策中去,破除创新发展所面临的障碍,通过创新范式的改变和创新过程的重塑实现跨越式发展。另一方面,应在企业内部、企业与其他创新主体之间充分发挥智能化的优势,完善内部控制,在开放式创新网络中加强合作交流,积极构建创新生态系统。

智能化和制造业企业的创新活动并不冲突,相反,智能化以其自身的利好促进制造业企业的创新效率。

企业创新效率的提高也会反作用于智能化,从而引起良性的互动。企业应及时动态调整智能化和创新投入的策略,破除阻碍因素以获得更优的结果。产学研在智能化实施的过程中起重要作用,企业应以建立健全产学研用协同机制为手段,汇聚整合企业、科研院所、高校等的资源及优势,实现协同创新。

政府应加快推进制造业劳动力技能升级,鼓励行业龙头企业进行导师帮扶、行业培训,推动中小企业劳动力技能全面升级。对于国有企业来说,更重要的是创新激励机制以提升效率。此外,政府应高度重视传统制造业高质量发展,实现传统制造业与高端制造业融通创新。传统制造业为高技术提供了应用场景,高端制造业的发展能够带动传统制造业转型升级,在此过程中,传统制造业需要破除智能化的障碍,提供配套能力,提高供给侧水平。

参考文献:

- [1]李溪,郑馨,张建琦. 制造企业的业绩困境会促进创新吗——基于期望落差维度拓展的分析[J]. 中国工业经济, 2018(8):174-192.
- [2]孙早,侯玉琳. 工业智能化如何重塑劳动力就业结构[J]. 中国工业经济, 2019(5):61-79.
- [3]王林辉,胡晟明,董直庆. 人工智能技术会诱致劳动收入不平等吗——模型推演与分类评估[J]. 中国工业经济, 2020(4):97-115.
- [4]许健,季康先,刘晓亭,等. 工业机器人应用、性别工资差距与共同富裕[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(9):134-156.
- [5]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.
- [6]李东红,乌日汗,陈东. “竞合”如何影响创新绩效:中国制造业企业选择本土竞合与境外竞合的追踪研究[J]. 管理世界, 2020, 36(2):161-181, 225.
- [7]李真,李茂林,黄正阳. 研发融资约束、融资结构偏向性与制造业企业创新[J]. 中国经济问题, 2020(6):121-134.
- [8]冯南平,王之颖,魏芬芬. 企业技术创新、管理创新与融资方式关系研究——来自中国制造业企业的证据[J]. 华东经济管理, 2021, 35(9):1-10.
- [9]李远慧,徐一鸣. 税收优惠对先进制造业企业创新水平的影响[J]. 税务研究, 2021(5):31-39.
- [10]严荔,谢正娟. 政府补贴对制造业企业创新效率的影响效应研究[J]. 经济体制改革, 2021(2):124-130.
- [11]何欢浪,蔡琦晟,黄语嫣. 外资自由化、上下游产业关联和中国制造业企业创新行为[J]. 世界经济研究, 2020(5):73-84, 136.
- [12]曹伟,冯颖姣,余晨阳,等. 人民币汇率变动、企业创新与制造业全要素生产率[J]. 经济研究, 2022, 57(3):65-82.
- [13]肖静华,李文韬. 智能制造对企业战略变革与创新的影响——资源基础变革视角的探析[J]. 财经问题研究, 2020(2):38-46.
- [14]诸竹君,袁逸铭,焦嘉嘉. 工业自动化与制造业创新行为[J]. 中国工业经济, 2022(7):84-102.
- [15]睢博,雷宏振. 工业智能化能促进企业技术创新吗? ——基于中国 2010—2019 年上市公司数据的分析[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 2021, 50(3):130-140.
- [16]安同良,魏婕,舒欣. 中国制造业企业创新测度——基于微观创新调查的跨期比较[J]. 中国社会科学, 2020(3):99-122, 206.
- [17]罗宾斯,库尔特. 管理学:第 15 版[M]. 刘刚,梁哈,程熙镕,等译. 北京:中国人民大学出版社, 2022.
- [18]PIETRONUDO M C, CROIDIEU G, SCHIAVONE F. A solution looking for problems? A systematic literature review of the rationalizing influence of artificial intelligence on decision-making in innovation management[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 182: 121828.
- [19]SALLES M. Decision making in SMEs and information requirements for competitive intelligence[J]. Production Planning & Control, 2006, 17(3): 229-237.
- [20]MITTAL S, KHAN M A, ROMERO D, et al. A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: implications for small and medium-sized enterprises (SMEs)[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2018, 49: 194-214.
- [21]HAEFNER N, WINCENT J, PARIDA V, et al. Artificial intelligence and innovation management: a review, framework, and research agenda[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 162: 120392.
- [22]MARTIN L, WILSON N. Opportunity, discovery and creativity: a critical realist perspective[J]. International Small Business Journal, 2016, 34(3): 261-275.
- [23]JAMWAL A, AGRAWAL R, SHARMA M. Deep learning for manufacturing sustainability: models, applications in Industry 4.0 and implications[J]. International Journal of Information Management Data Insights, 2022, 2(2): 100107.
- [24]CHAUHAN C, SINGH A, LUTHRA S. Barriers to Industry 4.0 adoption and its performance implications: an empirical investigation of emerging economy[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 285: 124809.
- [25]WANG J J, MA Y L, ZHANG L B, et al. Deep learning for smart manufacturing: methods and applications[J]. Journal of Manufacturing Systems,

- 2018, 48(C): 144–156.
- [26] YAO X F, ZHOU J J, ZHANG J M, et al. From intelligent manufacturing to smart manufacturing for Industry 4.0 driven by next generation artificial intelligence and further on [C]//Institute of Electrical and Electronics Engineers. Proceedings of the 5th International Conference on Enterprise Systems (ES): industrial digitalization by enterprise system. Beijing: IEEE, 2017: 311–318.
- [27] POSEN H E, KEIL T, KIM S, et al. Renewing research on problemistic search—a review and research agenda[J]. *Academy of Management Annals*, 2018, 12(1): 208–251.
- [28] LUO J X. Data-driven innovation: what is it? [J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2023, 70(2): 784–790.
- [29] MCNALLY R C, SCHMIDT J B. From the special issue editors: an introduction to the special issue on decision making in new product development and innovation[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2011, 28(5): 619–622.
- [30] VAN RIEL A C R, LEMMINK J, OUWERSLOOT H. High-technology service innovation success: a decision-making perspective[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2004, 21(5): 348–359.
- [31] DAVENPORT T, GUHA A, GREWAL D, et al. How artificial intelligence will change the future of marketing[J]. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 2020, 48(1): 24–42.
- [32] SHENG J, AMANKWAH-AMOAH J, KHAN Z, et al. COVID-19 pandemic in the new era of big data analytics: methodological innovations and future research directions[J]. *British Journal of Management*, 2021, 32(4): 1164–1183.
- [33] BLOOM N, GARICANO L, SADUN R, et al. The distinct effects of information technology and communication technology on firm organization[J]. *Management Science*, 2014, 60(12): 2859–2885.
- [34] FORMAN C, VAN ZEEBROECK N. From wires to partners: how the internet has fostered R&D collaborations within firms[J]. *Management Science*, 2012, 58(8): 1549–1568.
- [35] NAMBIAN S, LYTTINEN K, MAJCHRZAK A, et al. Digital innovation management: reinventing innovation management research in a digital world[J]. *MIS Quarterly*, 2017, 41(1): 223–238.
- [36] ZOLLO M, WINTER S G. Deliberate learning and the evolution of dynamic capabilities[J]. *Organization Science*, 2002, 13(3): 339–351.
- [37] FELIN T, POWELL T C. Designing organizations for dynamic capabilities[J]. *California Management Review*, 2016, 58(4): 78–96.
- [38] TEECE D J. Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance[J]. *Strategic Management Journal*, 2007, 28(13): 1319–1350.
- [39] DEL GIUDICE M, SCUOTTO V, PAPA A, et al. A self-tuning model for smart manufacturing SMEs: effects on digital innovation[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2021, 38(1): 68–89.
- [40] HUANG C J, LIU C J. Exploration for the relationship between innovation, IT and performance[J]. *Journal of Intellectual Capital*, 2005, 6(2): 237–252.
- [41] 陈旭升, 梁颖. 双元驱动下智能制造发展路径——基于本土制造企业的多案例研究[J]. *科技进步与对策*, 2020, 37(10): 71–80.
- [42] 吕文晶, 陈劲, 刘进. 智能制造与全球价值链升级——海尔 COSMOplat 案例研究[J]. *科研管理*, 2019, 40(4): 145–156.
- [43] 王海军, 于佳文, 田晓冉, 等. 智能制造对企业颠覆性创新的作用机理——来自扎根理论的海尔案例研究[J]. *科技进步与对策*, 2023, 40(1): 102–113.
- [44] 宋铁波, 姚浩. 数字经济时代企业核心能力的新诠释[J]. *商业经济研究*, 2022(3): 129–132.
- [45] STRYJA C, SATZGER G. Digital nudging to overcome cognitive resistance in innovation adoption decisions[J]. *The Service Industries Journal*, 2019, 39(15/16): 1123–1139.
- [46] MÜLLER J M, VOIGT K I. Industry 4.0—integration strategies for small and medium-sized enterprises [C]//International Association for Management of Technology. IAMOT 2017 conference proceedings. Vienna: IAMOT, 2017: 1–15.
- [47] SOMMER L. Industrial revolution—Industry 4.0: are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? [J]. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2015, 8(5): 1512–1532.
- [48] AKTER S, MCCARTHY G, SAJIB S, et al. Algorithmic bias in data-driven innovation in the age of AI[J]. *International Journal of Information Management*, 2021, 60: 102387.
- [49] BUBLITZ E, NOSELEIT F. The skill balancing act: when does broad expertise pay off? [J]. *Small Business Economics*, 2014, 42(1): 17–32.
- [50] DOMBROWSKI U, CRESPO I, ZAHN T. Adaptive configuration of a lean production system in small and medium-sized enterprises[J]. *Production Engineering*, 2010, 4(4): 341–348.
- [51] MCADAM R, REID R. SME and large organisation perceptions of knowledge management: comparisons and contrasts[J]. *Journal of Knowledge Management*, 2001, 5(3): 231–241.

Intelligentization and Manufacturing Firm Innovation

LI Yifei¹, SU Gaimei², NIU Rui³, WANG Kang³

(1. Editorial Office of *Journal of Management World*, Beijing 100026;

2. University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102488;

3. Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

Abstract: Intelligent manufacturing is the pivot for innovation and development, the primary means of transforming and upgrading manufacturing, and the main direction for building manufacturing power. Therefore, enhancing the innovation efficiency of intelligentization in small and medium-sized enterprises is crucial to promoting high-quality economic development in the new development stage. Further quantitative research is necessary to examine the impact of intelligentization on the innovation of micro, small and medium-sized enterprises (MSMEs).

This paper examines samples of MSMEs in the Haidian Science and Technology Park in Beijing from 2014 to 2019. It investigates how intelligentization triggers endogenous reform of innovation and delves into its impact on firm innovation. The mechanism of intelligentization is analyzed from the perspective of innovation efficiency and the industry-university-research cooperation, and the internal circumstances of the impact of intelligence application are investigated from the perspective of human capital. Furthermore, this paper also evaluates the heterogeneity of intelligentization on different industrial firms.

The findings indicate that intelligentization can significantly enhance the innovation capability of manufacturing firms. This conclusion remains valid after replacing independent variables, drawing counterfactual inferences, and conducting robustness tests. The mechanism demonstrates that intelligentization can improve firms' innovation efficiency and facilitate the network of industry-university-research cooperation, and the effectiveness of intelligentization requires the support of human capital conditions. Further investigation reveals that private and foreign-funded enterprises perform better in intelligentization than state-owned enterprises, while traditional manufacturing firms show unsatisfactory effects.

This paper makes marginal contributions in the following aspects. On the one hand, it constructs a theoretical framework to examine thoroughly the profound impact of intelligentization on innovation from the perspective of the innovation process. It is argued that intelligentization can significantly enhance innovation efficiency, yielding substantial effects on innovation. In terms of the innovation mode, the paper investigates the transformation of open innovation of firms empowered by intelligentization from the industry-university-research cooperation. On the other hand, it uses data from the Haidian Science and Technology Park. This dataset covers large, medium, small, and micro manufacturing firms, and the sample is relatively homogeneous. Additionally, it offers innovation indicators that enable the analysis of innovation efficiency and the network of industry-university-research cooperation, presenting notable benefits in the research on innovative practices of manufacturing firms.

Keywords: intelligentization; manufacturing firm; industry-university-research cooperation; innovation efficiency; high-quality development; digintelligence

责任编辑:魏小奋