

# 数智赋能对制造业创新效率的影响机制研究

岳媛媛

(中共莆田市委党校, 福建 莆田 351100)

**摘要:** 选取2015—2022年制造业上市公司的数据,分析数智赋能如何促进创新效率提升。实证结果表明,数智赋能可以显著提升制造企业的创新效率。如果制造企业的规模超过了门槛值,那么数智赋能对创新效率的作用是正向的,反之为负。随着政府支持力度变强,数智赋能对创新效率的促进作用逐渐变大。在数智赋能的过程中,制造企业进行开放式创新或者推动融资成本下降,都有利于提升创新效率,这两者发挥着中介作用。

**关键词:** 数智赋能; 制造业; 创新效率; 开放式创新

**中图分类号:** F425 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)08-0125-05

数字经济方兴未艾,数字技术和实体经济的融合日益深化,经过物联网、工业互联网等技术重塑与赋能的制造业,其创新模式发生了显著变化。以数智赋能为发动机,驱动制造业的创新流程由链式转换为网格状,跨组织边界、跨学科的分布式创新,可以整合内外部研发资源,实现高效率创新。虽然数字变革为制造企业研发创新带来了许多便利,但是大部分研发创新项目仍然存在周期长、投入多与风险高的特点。由于制造企业的创新资源有限,如何用更少的投入获得更多的产出,是值得重视的问题。

多数研究肯定了数字化对企业创新的促进作用,但数智赋能对制造企业创新效率是否存在积极影响,其传导渠道是怎样的?其作用效果是否随制造企业内外环境的不同而有所不同?还需深入研究。现有研究大多从理论角度、针对案例进行定性分析,定量分析相对较少。从微观层面上,围绕数智赋能制造业研发创新活动,从而影响创新效率,这一课题开展实证研究。运用门槛模型与中介模型,探讨了数智赋能在推进制造业创新效率方面产生的异质影响以及传导路径。补充完善了数智赋能与制造业创新效率的相关成果,能够获得对“数智赋能如何推动制造业创新效率”的更深层次理解,为后续关于政府政策制定和制造业创新实践提供经验证据和有益借鉴。

## 1 研究假设

制造企业在研发创新过程中的投入产出比即

创新效率。数智赋能既可以推动研发投入又可以促进创新产出,对创新效率有显著作用。一方面,数智赋能可以降低研发创新中信息不对称程度,尤其对于供应商集中度低的企业而言。数智赋能推动了创新资源的交流共享<sup>[1]</sup>,使制造企业员工的技能得以更新,使科研攻关跑出加速度。数智赋能改变了传统的封闭式研发模式,多元主体的加入,使协同创新和跨界创新变得更加顺利。另一方面,数智赋能促使制造企业深度融合技术和业务,挖掘信息潜在价值。数字技术赋予制造企业快速响应用户需求的能力,有助于新品研发、改进技艺,并把新产品、新技艺推荐给目标群体,也有助于发挥企业的主观能动性,强化企业创新主体地位。数智赋能制造企业研发创新,不仅能增加创新产出的市场契合度,还能改善创新成果的转化利用率,进而对创新效率产生提升效应。由此得出以下假设。

H1: 数智赋能对制造企业创新效率的影响是积极有效的。

制造企业研发需要设备、资金、人力等资源投入,考虑到创新成果产出具有滞后性,企业自身实力和抗风险水平要能够从容应对来自研发创新的挑战。任立业和李小芬<sup>[2]</sup>认为企业规模可以提高创新效率。大型制造企业相比于小型制造企业存在资源禀赋优势,更容易聚拢数智赋能所需的数字领域人才,这对创新产出与研发投入产生了正面影响。大型制造企业往往拥有更充裕的现金流量、更严格的制度规范,

**收稿日期:** 2024-01-25

**基金项目:** 福建省习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心中共福建省委党校(福建行政学院)研究基地2023年度项目“数字赋能对制造业创新效率的影响机制研究”

**作者简介:** 岳媛媛(1987—),女,内蒙古包头人,博士,讲师,研究方向为制造业创新。

在数智赋能研发创新的进程中,可以有效抵御不确定性与风险,并且有助于营造浓厚的创新氛围,因此创新资源的利用效率相对而言更高。政府补助较多的制造企业,更愿意把数字技术应用于创新项目,政府支持的创新项目相对来说市场预期好、发展潜力大,能够释放积极信号并且缓解融资约束,提高成果产出和创新效率。政府支持力度越大的制造企业,获得的补助金额与政策红利越多,这些可以解决数智赋能研发创新过程中遇到的投入不足问题,进而提升创新效率。由此提出以下假设。

H2:随着制造企业规模、政府支持力度的增大,数智赋能对创新效率的促进作用相对更大。

数智平台涵盖了科技型企业、科研院所、创客协会等外部创新主体,为制造企业开放式创新奠定坚实基础,开放式创新的技术外溢可以增加科研人员知识储备量,进而推动研发效率和资源利用率的提升。数智赋能帮助制造企业完成了创新要素的快速链接与高效流转,促进了跨区域跨空间的开放式创新<sup>[3]</sup>,而开放式创新能推动研究成果转化、加速新产品推广,提高了制造企业的创新效率。融资约束是阻碍制造企业创新的重要因素,缓解流动性约束可以增加研发经费、提升创新产出和创新效率。数智赋能优化了融资模式,大幅度降低了融资成本<sup>[4]</sup>,提高了融资可获得性及研发创新效率。数智赋能使制造企业的财务信息更透明,让外部投资者可以掌握更丰富的信息,破解信息不对称难题,致使债务融资成本下降<sup>[5]</sup>,提供了有力的资金保障,促进了创新效率的提升。由此提出以下假设。

H3:数智赋能制造企业助力创新效率提高的传导途径是,推动开放式创新发展及加强债务融资成本控制。

## 2 实证设计

### 2.1 数据说明

选取2015—2022年在沪深证券交易所上市

的制造企业数据进行实证分析,这些数据相对公开透明并且便于搜集。在确保原始样本无误后,筛选出需要的数据,筛选原则如下:剔除创办时间不到2年的制造企业,去除有悖常理的错误记录,删掉数据缺失的观测值。消除错漏值后,得出265个制造企业8年的数据,总计2120个观测值。数据包括29个制造行业,即2012版中国证监会行业分类里面的除了烟草制品业的所有制造行业。实证涉及的变量信息源自国泰安数据库和上市公司年度报告。

### 2.2 变量度量

#### 2.2.1 因变量

投入指标由劳动力投入以及财力投入构成,选用研发人员数和研发费用来度量创新资源投入。产出指标主要包括成果产出及技术产出,选用专利授权量、专利和非专利技术账面价值<sup>[6]</sup>来度量创新产出水平。根据投入指标和产出指标,借助数据包络分析法从而得到创新效率(innovation efficiency, IE),其均值、标准差分别为0.24、0.14,分布在[0, 2.36]的区间内。

#### 2.2.2 自变量

使用文本挖掘法构造衡量数智赋能的代理指标。首先,在巨潮资讯上爬取制造企业年度报告,转成纯文本格式的数据库。然后,从数智赋能的底层技术和应用实践确定出77个特征关键词(包括数字技术、人工智能、区块链、云计算、大数据)<sup>[7]</sup>,对关键词进行筛选、匹配和频数统计。最后,为消除数据的右偏特性,对词频总和加1后取自然对数。以此衡量数智赋能水平(digital empowerment, DE),其均值、标准差分别为0.23、0.64,分布在[0, 9.97]的区间内。

#### 2.2.3 其他变量

门槛变量、中介变量和控制变量的定义以及描述性统计情况如表1所示。

表1 其他变量定义与描述性统计

类型	名称	简称	定义	均值	标准差
门槛变量	制造企业规模	ES(enterprise size)	总资产的对数	22.53	1.26
	政府支持力度	GS(government support)	政府补助的对数 <sup>[8]</sup>	0.21	1.13
中介变量	开放式创新	OI(open innovation)	与其他主体的联合专利授权量	12.24	50.44
	债务融资成本	DFC(debt financing costs)	(利息支出+手续费+其他财务费用)/总负债	1.78	1.27
控制变量	成长能力	RG(revenue growth)	营业收入增长率	0.21	0.82
	人力资源规模	HR(human resources)	员工数量	0.63	1.36
	自由现金流	FCF(free cash flow)	自由现金流量净额	0.05	0.06
	杠杆率	LR(leverage ratio)	总负债占总资产的比例	0.42	0.03
	市场结构	MS(market structure)	行业勒纳指数	0.11	0.01

## 2.3 模型构建

检验数智赋能对创新效率产生的提升效应,设立如下模型。

$$IE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DE_{it} + \alpha_2 RG_{it} + \alpha_3 HR_{it} + \alpha_4 FCF_{it} + \alpha_5 LR_{it} + \alpha_6 MS_{it} + \delta_i + \theta_{it} \quad (1)$$

借助以下的面板门槛模型来验证制造企业规模、政府支持力度有没有影响数智赋能提升创新效率。

$$IE_{it} = \beta_0 + \beta_1 DE_{it} I(ES_{it} \leq \gamma) + \beta_2 DE_{it} I(ES_{it} > \gamma) + \sum \beta_n CV_{it} + \delta_i + \theta_{it} \quad (2)$$

$$IE_{it} = \eta_0 + \eta_1 DE_{it} I(GS_{it} \leq \gamma) + \eta_2 DE_{it} I(GS_{it} > \gamma) + \sum \eta_n CV_{it} + \delta_i + \theta_{it} \quad (3)$$

采用逐步回归法来判断开放式创新和债务融资成本是否发挥了中介作用,在式(1)的基础上,设置计量模型如下所示。

$$MV_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 DE_{it} + \sum \lambda_n CV_{it} + \delta_i + \theta_{it} \quad (4)$$

$$IE_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 DE_{it} + \varphi_2 MV_{it} + \sum \varphi_n CV_{it} + \delta_i + \theta_{it} \quad (5)$$

式中: $i$ 为制造业上市公司; $t$ 为样本年份; $IE$ 、 $DE$ 分别为创新效率、数智赋能水平; $I(\cdot)$ 为指示函数,当满足函数括号里的条件时 $I=1$ ,否则 $I=0$ ;控制变量 $CV$ (control variable)由5个非实验因子组成;中介变量 $MV$ (mediator variable)有2个; $\delta_i$ 、 $\theta_{it}$ 为个体效应与扰动项; $\alpha_n$ 、 $\beta_n$ 、 $\eta_n$ 、 $\lambda_n$ 、 $\varphi_n$ 为待估参数; $\alpha_1$ 反映了数智赋能在提升创新效率方面发挥的作用。

## 3 实证结果分析

### 3.1 基准回归结果分析

模型(1)的实证结果如表2所示。由表2列(1)可知,数智赋能的系数在1%水平下显著大于零,说明随着数智赋能程度加深,创新效率逐渐增高。在经济意义上,数智赋能程度每提高100个单位,制造企业创新效率增加约5,数智赋能制造企业可以显著提高创新效率。从列(2)可以看出,引入控制变量后,数智赋能的回归系数仍然显著为正,数值有所上升。说明制造企业使用数字化、智能化工具,有利于创新效率的提升,H1成立。控制变量与创新效率之间的关系基本符合理论预期。 $RG$ 的系数显著为正,表明营业收入增长越快的制造企业,其创新效率越高。 $HR$ 的系数显著为正,表明人口基数大,集聚的优秀人才就多,有利于制造企业提升创新效率。 $FCF$ 的系数显著为正,表明充沛的现金流有助于创新,能为创新效率的增长提供助力。 $LR$ 的系数为正且不显著,表明制造企业能借到的现金越多,创新越高效。 $MS$ 和创新效率是明显的负相关

表2 检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	IE	IE	PA	IE	IE
DE	0.050*** (0.012)	0.066*** (0.012)	0.387*** (0.062)	0.316** (0.151)	0.028* (0.013)
RG		0.024*** (0.007)	-0.042 (0.029)	0.024*** (0.007)	0.020*** (0.007)
HR		0.047*** (0.009)	0.245*** (0.054)	0.035*** (0.009)	0.029*** (0.010)
FCF		0.294** (0.126)	-0.838 (0.563)	0.276** (0.126)	0.313** (0.137)
LR		0.104 (0.063)	0.851*** (0.315)	0.151* (0.063)	0.091 (0.070)
MS		-0.689*** (0.200)	4.003*** (0.944)	-0.724*** (0.202)	-0.908*** (0.230)

注:\*、\*\*、\*\*\*分别表示10%、5%、1%的显著水平;括号内为稳健标准误。

关系,在垄断程度较高的市场上,制造企业能获取的创新资源较少,不利于提高创新效率。

为保证结论的可靠性,分别把专利授权量(patent authorization, PA)、用于构建数智资源的投资<sup>[6]</sup>作为描述创新效率、数智赋能的代理变量,替换被解释变量、解释变量后结果如列(3)和列(4)所示。由于创新效率的增长总是滞后于数智赋能程度的增加,因此采用滞后两期的关键词词频衡量数智赋能,结果如列(5)所示。检验发现论断依然成立,实证结果的一致性和稳健性良好。

### 3.2 门槛效应检验结果

如表3的前两列所示,数智赋能对制造企业创新效率的影响在这种情况下会由负转正。当 $ES \leq 24.97$ 时,呈现不显著的负向作用;当 $ES > 24.97$ 时,呈现显著的正向作用。该结果说明当企业规模突破一定程度时,大型制造企业更愿意借助颠覆式创新来提高盈利能力,更希望把数字化工具应用到研发活动,更容易形成数字化转型意识,加上资源禀赋优势,使其对数字资源的配置质量更高,进而使创新效率获得更大的提升作用。由表3可知,控制变量系数的正负号和表2列(2)保持一致。

如表3的后四列所示,政府支持及其与制造企业规模的交互项会显著影响提升作用的效果,数智赋能对创新效率的提升作用在这两种情况下会逐渐增强。当 $GS \leq 0.88$ 时, $DE$ 的回归系数是0.02,当 $GS > 0.88$ 时,回归系数变为0.13,都呈现显著的正向作用。政府支持力度越低,制造企业在数智化过程中遇到的风险与挑战越多,导致数智赋能对创新效率的正向影响越小。随着政府支持力度不断增加,优惠政策与政府补助能减少数智化产生的风

险与成本,使制造企业能游刃有余地持续进行数智化,数智赋能对创新效率的正向影响也会相对更大,H2成立。

当 $ES \times GS \leq 20.7$ 时,DE的系数是0.021,当 $ES \times GS > 20.7$ 时,系数变为0.141,提升作用显著增强。后两列的结果表明,与大型制造企业相比,小型制造企业更青睐投资少、周期短、见效快的创新项目,对数智化的热情不高,且研发费用加计扣除减免税额较低,使得政策激励效果并不理想,因此数智赋能对创新效率的提升效应相对较小。与之相反,大型制造企业抗风险能力较强,能够经受住长期研发带来的挑战,更愿意运用数智化工具,而且政府补助的激励作用较大,因此数智赋能的提升效应相对较大。

### 3.3 中介机制检验结果

如表4列(1)~列(3)所示,数智赋能通过推动开放式创新的路径,对创新效率起到了积极的作用。表4列(1)中数智赋能的系数为6.921,数智赋能和开放式创新之间存在着显著的正相关关系。列(2)中OI的系数显著为正,制造企业推动开放式创新不仅能加速内部研发,还能拓宽受益范围产生溢出效应,从而实现高效率创新。列(3)中数智赋能的系数为0.075,加入OI后数智赋能对创新效率的提升作用依旧显著。为进一步验证OI的有效性,对中介效应进行索贝尔检验,其结果显示, $Z=2.71, P<0.05$ ,说明OI是有效的中介变量,开放式创新在数智赋能和创新效率的关系中发挥着中介作用。此外,控制变量对被解释变量的影响大体符合预先设想。

由表4列(4)~列(6)可知,数智赋能通过降低债务融资成本的路径,对创新效率起到了积极的作

用。列(4)中数智赋能的系数为-0.164,数智赋能程度越高,制造企业面临的债务融资成本越小。这是因为应用数智化工具能够帮助制造企业精细化系统性实施成本管控,促进融资成本下降。列(5)中DFC的系数显著为负,融资成本下降使得制造企业有更充裕的现金流用于研发创新,创新产出的增加提升了创新效率。列(6)中数智赋能的系数为0.084,加入DFC后数智赋能的提升作用依旧显著。索贝尔检验结果显示, $Z=-2.22, P<0.05$ ,说明DFC是有效的,降低融资成本在数智赋能和创新效率的关系中发挥着中介作用,H3成立。

## 4 结论

借助制造业的微观数据,研究数智赋能推动创新效率上升的传导机制。实证结果显示,数智赋能对制造企业创新效率具有显著的正向影响;大型制造企业为了高质量发展会进行颠覆性创新,更青睐数字化、信息化、智能化工具,同时政府支持的激励效果更为精准有效,使得数智赋能促进创新效率上升的影响更加突出;数智赋能提高了制造业创新效率,其传导渠道是推动开放式创新发展以及推动债务融资成本下降。

由此得出以下两方面的参考对策。

(1)在企业层面:制造企业数字化、智能化有利于加速信息流转、优化组织结构、减少运营成本,促进产学研用深度融合。数智赋能改变了封闭的创新模式,随着不同创新主体的加入,制造企业逐渐开始进行协同创新,协同创新可以取人之长、补己之短,这种优势互补可以实现创新资源的充分配置,并进一步推动创新效率提升。制造企业应该重视推广数字化转型理念,不断提升应用数智化工具

表3 单门槛模型参数估计结果

变量	ES	变量	GS	变量	ES×GS
DE( $ES \leq 24.97$ )	-0.008 (0.017)	DE( $GS \leq 0.88$ )	0.020* (0.015)	DE( $ES \times GS \leq 20.70$ )	0.021* (0.015)
DE( $ES > 24.97$ )	0.132*** (0.023)	DE( $GS > 0.88$ )	0.130*** (0.021)	DE( $ES \times GS > 20.70$ )	0.141*** (0.021)
RG	0.024*** (0.007)	RG	0.024*** (0.007)	RG	0.024*** (0.007)
HR	0.067*** (0.015)	HR	0.081*** (0.017)	HR	0.082*** (0.017)
FCF	0.277** (0.129)	FCF	0.257** (0.130)	FCF	0.258** (0.130)
LR	0.032 (0.077)	LR	0.017 (0.077)	LR	0.016 (0.077)
MS	-0.725*** (0.220)	MS	-0.749*** (0.221)	MS	-0.748*** (0.221)

注:\*、\*\*、\*\*\*分别表示10%、5%、1%的显著水平;括号内为稳健标准误。

表 4 中介效应检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	OI	IE	IE	DFC	IE	IE
OI		0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)			
DFC					-0.047*** (0.012)	-0.028* (0.012)
DE	6.921*** (1.678)		0.075*** (0.012)	-0.164*** (0.021)		0.084*** (0.012)
RG	-0.455 (0.852)	0.024*** (0.007)	0.024*** (0.007)	-0.042*** (0.010)	0.023*** (0.007)	0.022*** (0.007)
HR	-3.005** (1.361)	0.035*** (0.009)	0.047*** (0.009)	0.114*** (0.018)	0.041*** (0.010)	0.059*** (0.010)
FCF	-52.818*** (17.927)	0.309** (0.126)	0.292** (0.125)	0.290 (0.198)	0.305** (0.126)	0.314** (0.126)
LR	27.209*** (9.592)	0.134** (0.063)	0.095 (0.063)	1.174*** (0.115)	0.199*** (0.068)	0.184*** (0.067)
MS	119.221*** (28.503)	-0.755*** (0.201)	-0.719*** (0.200)	11.792*** (0.339)	-0.496** (0.232)	-0.276 (0.231)

注: \*、\*\*、\*\*\*分别表示 10%、5%、1% 的显著水平;括号内为稳健标准误。

的能力,加快关键环节的数字化改造,实现精准化管理、系统化决策、一体化协同创新。

(2)在政府层面:政府补助能够增加流动性、缓解融资约束,为智能制造和协同创新提供了资金保障。政府可以出台更加全面的补助方案与帮扶措施,推动优惠政策适当向中小型制造企业、急缺研发资金的制造企业倾斜,推进数字化、智能化为制造业创新蓄势赋能。此外,可以组织协调企业家、专家等群策群力为不同行业的制造企业找到适合自身的数智化路径,为制造业营造开放包容、合作共赢的创新氛围。

### 参考文献

- [1] NOVIKOV S V. Data science and big data technologies role in the digital economy[J]. TEM Journal, 2020, 9 (2): 756-762.
- [2] 任立业,李小芬. 天津港保税区高新技术企业创新效率及影响因素研究——基于数据包络分析方法和托宾模型[J]. 科技和产业, 2023, 23(18): 47-53.
- [3] 杨柏,陈银忠,李爱国,等. 政府科技投入、区域内产学研协同与创新效率[J]. 科学学研究, 2021, 39(7): 1335-1344.
- [4] 姜胜贤,文天凤. 企业数字化转型程度对融资成本的影响[J]. 科技和产业, 2023, 23(13): 164-168.
- [5] 陈小辉,张红伟. 数字经济如何影响企业风险承担水平[J]. 经济管理, 2021, 43(5): 93-108.
- [6] 孟卫军,焦泽山,邢青松. 数字赋能制造企业创新效率提升——来自 A 股上市公司的经验证据[J]. 西安理工大学学报, 2022, 38(2): 212-222.
- [7] 王海花,谭钦瀛,李焯. 数字技术应用、绿色创新与企业可持续发展绩效——制度压力的调节作用[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(7): 124-135.
- [8] 周明,陈玲凤. 政府补助对新能源产业技术创新的影响——基于 134 家上市企业的数据[J]. 黑河学院学报, 2022, 13(10): 33-36.

## Research on Impact Mechanism of Digital Empowerment on Manufacturing Innovation Efficiency

YUE Yuanyuan

(Party School of Putian Municipal Committee of CPC, Putian 351100, Fujian, China)

**Abstract:** Selecting the data of manufacturing listed companies from 2015 to 2022, how digital empowerment can improve innovation efficiency was analyzed. The empirical results indicate that digital empowerment can significantly improve manufacturing innovation efficiency. If the scale of manufacturing enterprises exceeds the threshold, then the effect of digital empowerment on innovation efficiency is positive; conversely, it is negative. With stronger government support, the promoting effect of digital empowerment on innovation efficiency is gradually increasing. In the process of digital empowerment, promoting open innovation or reducing financing costs for manufacturing enterprises is beneficial for improving innovation efficiency, and both play a mediating role.

**Keywords:** digital empowerment; manufacturing; innovation efficiency; open innovation