

doi:10.13582/j.cnki.1672-7835.2022.03.010

# 数字技术对制造业创新效率的影响机制与效应研究

杜传忠,姜莹

(南开大学 经济与社会发展研究院,天津 300071)

**摘要:**数字技术对制造业技术创新能力的提升提供了有利条件。利用微观企业数据构建计量模型,基于 2012—2018 年 999 家中国沪深 A 股制造业上市公司的数据,对数字技术作用于我国制造业企业创新的效应进行实证分析和机制检验。实证结果表明:数字技术的应用显著提高了我国制造业企业的创新效率,其中大数据、云计算的作用效果较明显;从中介机制看,数字技术通过影响企业的人才结构、融资结构和产学研合作强度间接提高了制造业企业的创新效率。

**关键词:**数字技术;制造业;技术创新

**中图分类号:**F424

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-7835(2022)03-0071-12

当今世界,新一轮科技革命与产业变革正在全球加速推进,互联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术对经济、社会发展的各个方面都正在产生重要影响。其中,对制造业技术创新的影响是值得关注的方面。制造业是实体经济的核心部分,制造业创新能力是影响制造业竞争力乃至整个实体经济发展质量的根本性因素。现阶段,我国制造业创新能力特别是自主创新能力还不强,还存在很多“卡脖子”技术亟待突破,如何利用制造业数字化转型的机会,利用新一代信息技术越来越广泛的应用,加快制造业与数字技术的融合,提升制造业技术创新能力,是现阶段我国经济数字化转型过程中面临的一个重要课题。本文首先对数字技术促进制造业企业创新效率的作用机制进行阐述,进而对数字技术促进制造业创新效率提升的效应和机制进行实证分析,最后提出进一步深化数字技术在制造业中的应用、推进制造业数字化转型的对策建议。

## 一 数字技术影响制造业创新效率的作用机制分析

### (一) 数字技术、技术创新与创新效率

根据美国 IT 专家 Don Tapscott 对数字技术概念的界定,数字技术是利用通信基础设施实现信息高速、畅通传递的一种通用技术<sup>①</sup>。目前,数字技术是指建设信息化平台的主要及辅助性技术,包括数据采集、存储、处理和传输等技术<sup>②</sup>。根据国家统计局的《新产业新业态新商业模式统计分类》以及赵娟、孟天广的研究,数字技术以数据为基本要素,涵盖互联网、大数据、云计算、区块链、物联网、人工智能等新兴信息技术<sup>③</sup>。一般地,数字技术在内容属性上具有可编辑性和可扩展性,即数字技术可以被多方访问和修改并能够低成本、高速度地增加性能和功能;在结构属性上包含开放性和关联性,即允许其他主体参与和共享,并可以利用与其他参与主体之间的一系列关系促进

收稿日期:2022-01-12

基金项目:国家社会科学基金重大项目(20&ZD067);国家社会科学基金重点项目(19AZD015)

作者简介:杜传忠(1965—),男,山东德州人,教授,博士生导师,主要从事产业经济、创新经济研究。

①夏玲:《数字技术赋能浙江省装备制造产业结构升级研究》,哈尔滨商业大学硕士学位论文,2021年。

②王绍光:《新技术革命与国家理论》,《中央社会主义学院学报》2019年第5期。

③赵娟,孟天广:《数字技术与公共危机治理:治理能力与治理效能——来自社会公众与公共部门的证据》,《中央社会主义学院学报》2021年第1期。

功能实现,促进主体之间的联结和互动<sup>①</sup>。关于技术创新,自熊彼特于1912年首次提出“创新”概念并将其称为“生产要素的新组合”后,创新的内涵在不断丰富。根据柳卸林的界定,技术创新一般是指创造新产品、新工艺以及与新产品、新工艺的首次商用有关的技术、设计、制造及商业活动,包括产品创新、过程创新和创新扩散。创新效率是指技术创新资源的投入产出比,即技术创新的资源配置效率。与创新产出如专利、新产品等相区别,创新效率探讨的是在给定的资源禀赋下创新系统的运作能力和产出的质量。从技术创新和创新效率的关系来看,技术创新是一个包括创新投入与产出、创新方法和创新绩效的更大的概念,创新效率则是技术创新能力的一个评价指标,其主要评价技术创新系统的转化速度和转化质量<sup>②</sup>。

## (二) 数字技术影响制造业创新效率的直接作用机制与间接作用机制

### 1. 直接作用机制

从数字要素的特性上看,数字技术具有高精度、强联结、高效率和低成本的优势,可以有效提高制造业创新效率。高精度即数字技术分析手段先进,非常科学准确;强联结指数字技术具有融合共享的特点,可以实现企业内外部资源的高度整合;高效率和低成本是数字技术的技术属性,即价值传播快、边际成本低。基于此,首先,数字技术可以降低企业创新成本。以数字样机为代表的高精度数字工艺仿真技术使制造业研发摆脱实体样机开发慢、成本高的限制,迅速进行产品的更新迭代。举例来看,美的集团通过包括产品材料、加工工具和模具等在内的数字样机替代实体样机优化了产品设计方案,有效解决了实体样机制造周期长,测试、迭代成本高的问题,使产品功能快速更新迭代,产品研发周期缩短50%,研发成本节约至少30%<sup>③</sup>。其次,新一代信息技术由于低成本、强联结的特性,不断拓展了科技活动和创新成果

转化的边界。例如,三一重工通过推广和应用自动化、物联网、人工智能等多项数字技术,使得研发过程中的信息获取边界扩大,信息储存能力和信息传递效率提高,推动了新产品的快速设计和迅速验证,从而能够对行业关键核心技术进行攻关。数字技术放大了工程机械制造业的技术延展空间,使得研发质量和效率大幅提升。据其年报数据显示,2012—2017年三一重工专利技术、非专利技术和商标权价值之和提高49.2%,研发效率提高2.45倍。

从制造业创新的投入产出过程看,数字技术的运用可以有效加速这一流通过程。根据熊彼特的创新理论,所谓创新就是要“建立一种新的生产函数”。在这个过程中,数字技术可以起到的作用有:第一,数据是一种新的生产要素,具有非竞争性的特点,可以被无限次使用。数字要素可以用来储存和分析企业的创新信息,其本身就是一种重要的创新资源,创新信息的结构化系统化保留和共享可以激发创意、促进创新转化和扩散,从而可以帮助制造业企业更好地提高创新效率。以往研究支持了这一论点,郭美晨、杜传忠的研究认为数字技术的进步不仅意味着生产可能性边界的拓展,更意味着创新可能性边界的外延<sup>④</sup>;麦肯锡的研究认为,数字经济带来了创新的加速,信息化对企业创新的贡献甚至大于研发的贡献。第二,数字技术可以改善企业的资金使用效率和固定资产使用效率。根据万佳彧、周勤等学者的研究,通过数字金融的发展,金融资本的供给体系更丰富,金融资源错配的问题得到改善。这是因为数字金融利用科技优势,可以将市场上大量分散的小规模投资者吸纳进来,拓宽金融资金来源,增加投资金额数量,使金融触及更广泛的尾部群体,因此企业可以获得的融资规模更大,融资约束更小,资本结构改善从而加速创新。数字技术也提升了企业的资产使用效率,通过数字化统筹协调,

<sup>①</sup>蔡莉,杨亚倩,卢珊,等:《数字技术对创业活动影响研究回顾与展望》,《科学学研究》2019年第10期。

<sup>②</sup>本文下面的实证分析将因变量设置为制造业创新效率而非笼统的制造业创新能力,这是因为数字技术除了作为创新催化剂外,本身也是一种企业创新的产物,数字技术方面的创新必将显著提高数字技术的发展水平。如果不将数字技术作为创新产物的这一部分剥离出去,本文的研究将具有严重的内生性问题。因此,本文只研究数字技术作为外生变量如何提高制造业创新效率,不研究数字技术作为创新产物的部分。

<sup>③</sup>数据来源于美的集团2020年年报。

<sup>④</sup>郭美晨,杜传忠:《ICT提升中国经济增长质量的机理与效应分析》,《统计研究》2019年第3期。

制造业资产得到更为有效的周转利用<sup>①</sup>。

从创新模式上看,互联网、大数据等新一代信息技术构建了线上数字平台辅助企业创新。例如,美的集团在数据中台和技术中台支撑下,已经建立起美云销商业平台、IoT生态平台和工业互联网“美擎”三大数字平台。其数字平台整体架构利于扩展,并兼顾美云销、工业互联网、IoT生态和第三方开发者需求,有利于企业进行产学研互动,扩展成长空间,为研发开辟协同合作的新道路。据测算,使用这些数字化平台可以有效提高企业的信息化水平,使开发效率提升 27%,测试周期缩短 32%。可见,利用新一代信息技术低成本、强联结的优势可以促进知识互补互通,辅助企业拓展研发边界,从而有效提高研发效率。数字化平台也成为制造业企业寻找创新研究的合作伙伴、加强交流与对接的有效渠道,帮助企业突破创新研究的壁垒、跨越技术上的瓶颈。综上,数字平台能够帮助制造业企业重构创新模式,从而提高创新效率。

## 2. 间接作用机制

### (1) 创新要素质量优化机制

第一,数字技术能够优化人力资本要素。由于创新是知识密集型工作,高素质的人力资本是其关键的生产要素。数字技术既能优化劳动力要素结构,又能够成为人力资本的互补要素,优化人力资本的质量和结构。首先,数字技术能够有助于员工能力和素养的提升。一方面,数字技术带来的互联网和大数据资源为员工提供了自由学习的环境,网上知识快速迭代、免费获取,有利于员工利用碎片时间进行知识积累,获取工作所需的最新知识和技能。另一方面,数字技术能够使用机器完成很多程序化任务,使得高技能的员工能够从日常的繁杂事务中解脱出来,在有限的时间约束内,完成更多发挥主观能动性的创新工作和复杂的非程序化任务,提高创新效率。其次,数字技术能够优化人力资本结构,人工智能等智能化设备在制造业企业中的运用可以替代大量普通劳动力,减少企业对做重复性工作的低技能劳动力

的需求,增加其对高学历高技能的具备创新素质劳动力的需求,这最终会提高企业创新能力。孙早和侯玉琳根据中国 2001—2015 年面板数据实证研究发现,工业智能化将替代初、高中学历的劳动力,并增加对大学本科以上的高学历劳动力的需求<sup>②</sup>。郝楠的研究表明,这种高技能高学历偏向型就业特征将通过知识溢出、技能投资及代际传递影响企业创新能力<sup>③</sup>。可见,数字技术通过提升企业原有劳动力知识技能,吸纳更多高技能劳动力,提高企业创新效率。

第二,数字技术能够优化企业研发资本质量。首先,数字技术能够通过收集用户反馈数据、捕捉用户偏好提高研发项目决策的精确性。当企业面临多个研发方案时,通过大数据和智能算法,调研消费者数据并识别消费者需求,可以帮助企业有效提高研发的准确度,减少失败概率,提高研发资本的使用效率。其次,数字技术尤其是大数据可以追溯企业信用信息,简化贷款程序,缓解企业研发融资约束、拓宽融资渠道,使其拥有更多能够投入到创新发展和提高产品竞争力上的资金。此外,数字金融的发展是对传统金融服务在应用深度、广度和配置效率上的全面提升,数字金融使得金融服务更加贴合企业创新发展的需求。金融发展理论认为,根据金融服务实体经济的规律,金融资本与实体经济所需的产业资本相匹配会使实体经济活力和创造力充分发挥<sup>④</sup>。可见,数字技术能够通过提高研发资本的使用质量有效提高制造业的创新效率。

### (2) 创新主体沟通合作机制

数字技术通过提高企业信息化水平,促进产学研合作进而提高制造业企业的创新效率。根据 Belderbos 等的研究,由于企业和研发机构、高校等在进行技术研发时的动力和目标不同,合作机制有限,存在较强的信息壁垒。企业很难寻找到优势互补、目标一致的合作伙伴,面临较大的搜寻成本、沟通成本和协调成本<sup>⑤</sup>。数字技术的发展,可以使企业依托互联网创新平台有效缓解信息不对称,促进产学研合作。数字技术帮助企业以极

①万佳彧,周勤,肖义:《数字金融、融资约束与企业创新》,《经济评论》2020年第1期。

②孙早,侯玉琳:《工业智能化如何重塑劳动力就业结构》,《中国工业经济》2019年第5期。

③郝楠:《劳动力就业“极化”、技能溢价与技术创新》,《经济学家》2017年第8期。

④王定祥,李伶俐,冉光和:《金融资本形成与经济增长》,《经济研究》2019年第9期。

⑤Belderbos R, Carree MA, Lokshin B. “Cooperative R&D and Firm Performance”, *Research Policy*, 2004, 33(19): 1477-1492.

低的边际成本获取最新科研成果,吸收学界的知识成果溢出,实现对最新行业成果的有效挖掘和学习。更多的研发伙伴有助于提高新技术的创造速度,实现企业对新的技术技能在质量和效率上的突破<sup>①</sup>。同时,数字技术还能够有效降低产学研合作中的沟通协调成本,促使企业与企业之间、企业与研发机构和高校之间的联系更加紧密和便捷,实现对碎片化研究成果的整合推进。根据胡山、余泳泽的研究,近年来,通过产学研合作促进企业创新的案例当属大型客机制造行业。例如,国产客机 C919 通过网络平台实现了 GE、CFM 等跨国客机制造公司与数十家高校科研机构、数百家企业共同推进创新,提高了国产客机的研发质量和研发效率<sup>②</sup>。

### 3. 数字技术对制造业创新效率作用机制的环境条件

数字技术应用水平对制造业企业创新效率的影响可能因为城市技术创新水平的不同表现出不同的特征。城市的全要素生产率代表了城市除资本、劳动力之外的要素投入所带来的生产率增长,一般来说,可以表征制造业企业所在城市的技术成熟度和先进度。根据 Fujita 和 Thisse 的知识创新与扩散模型,数字技术对制造业企业创新的影响,在本身科研投入高、全要素生产率高的地方一般作用更显著。这是因为当区域技术创新水平本身较低时,数字技术发挥作用需要的底层基础技术不足,数字技术的应用能够对区域内企业研发创新活动的开展提供的支持有限,企业能够应用数字技术的产品和服务也较少,从而数字技术对企业创新效率的贡献将会较小甚至没有显著影响。而当地区技术水平越过门槛后,地区本身的科技水平较高、金融市场比较成熟,资源配置效率也就比较合理,数字要素的溢出效应能够充分发挥出来,为企业提供必要的、合意的数字支持服务,有效提高企业对内技术创新和对外技术赶超的能力<sup>③</sup>。

基于以上分析,提出以下假设:

H1:应用数字技术总体上能够提高制造业企业创新效率,这种作用主要是通过以下机制来实

现:优化企业人力资本质量、改善人力资本结构;优化企业研发资本质量;促进产学研合作。

H2:数字技术提高制造业企业创新效率的作用效果受地区本身技术创新水平的影响。

## 二 数字技术对我国制造业创新效率影响的实证分析

这里基于 2012—2018 年的制造业上市公司数据,首先使用数据包络分析方法应用创新投入产出数据测度制造业企业创新效率,构建固定效应模型和门槛回归模型,实证分析数字技术对制造业企业创新效率的作用效果,以及可能受到的环境因素——技术水平禀赋的内生性影响;进而根据数字技术类别、企业规模和所有制性质进行异质性分析;最后选取人才结构、融资结构、产学研结合水平等三个指标作为中介变量,建立中介机制模型,对前文提出的传导作用路径进行实证检验。

### (一) 数字技术对制造业创新效率影响的直接效应检验

#### 1. 实证模型设定

第一,基准模型。鉴于普通 OLS 回归不能控制时间和企业层面的个体效应的局限性,本文在 Hausman 检验的基础上进行模型选择,根据检验结果,使用控制企业和年份两个维度的双向固定效应模型进行基准回归来检验自变量对因变量的作用效果,验证数字技术的综合值和各个分指标对制造业上市企业创新效率是否存在直接的线性影响,如方程(1)所示。其中, $i$ 表示企业、 $t$ 表示年份,因变量  $eff_{it}$  为制造业企业创新效率, $digte_{it}$  为数字技术发展水平, $Control_{it}$  为其他控制变量。

$$eff_{it} = \beta_0 + \beta_1 digte_{it} + \beta_2 Control_{it} + \alpha_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

第二,面板门槛回归模型。根据理论假设,数字技术对制造业企业创新效率的作用效果可能受到所在城市技术水平的内生性影响。本文使用面板门槛回归方法来考察数字技术对制造业企业创新效率的作用效果的非线性以及  $tfp$  在其中的作

<sup>①</sup>甄美荣,郑雪婷,李璐:《协作研发网络结构、企业知识吸纳能力与创新——基于 71 家新能源汽车企业的考察》,《产经评论》2020 年第 11 期。

<sup>②</sup>胡山,余泳泽:《数字经济与企业创新:突破性创新还是渐进性创新?》,《财经问题研究》2022 年第 1 期。

<sup>③</sup>邹辉文,黄友:《数字普惠金融发展对区域创新效率的作用研究》,《金融与经济》2021 年第 1 期。

用,模型形式为(2)式所示。其中,  $tfp$  表示地区全要素生产率,  $I(\cdot)$  是它的指标函数,  $p$  为门槛临界值,其他变量含义不变。

$$effi_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 digte_{it} \times I(tfp_{it} \leq p) + \alpha_2 digte_{it} \times I(tfp_{it} > p) + \alpha_3 Control_{it} + \varepsilon_{2it} \quad (2)$$

2. 变量选取与相关分析

(1) 变量选取与数据来源

制造业上市企业在 A 股市场中分布最多,但由于被解释变量数据缺失严重,这里进行了样本筛选,剔除了数据缺失公司、ST 公司、财务数据异常的公司和完全没有进行数字化转型的公司,最终保留 999 家数据完整的 A 股制造业企业作为实证研究样本,进行计量分析。根据研究需要和现实数据可得性,研究对象截取的年份区间为 2012—2018 年,最终得到 6 993 个样本。

被解释变量为制造业企业技术创新效率。本文的技术创新效率运用 MaxDEA 软件、数据包络分析方法测算。根据指标性质,模型选择非导向,规模报酬不变、凸性前沿。考虑到结果的科学性,效率测算使用 bootstrap 方法抽样 300 次并纠偏。

在测算效率时,借鉴余泳泽等<sup>①</sup>的做法并考虑上市企业的可得性,选取的投入和产出变量如表 1 所示。

表 1 bootstrap-DEA 的投入产出变量

投入变量	产出变量
研发投入总额	专利技术账面价值
研发资金占营业收入比例	非专利技术账面价值
研发人员数量占比	商标权账面价值

核心解释变量为数字技术应用程度。参考何帆、刘红霞的研究,数字技术应用程度使用 CSMAR 数据库中关于上市企业数字化转型的衡量指标<sup>②</sup>。该数据通过整理 A 股上市的制造业公司的年报和各种定期与临时公告,使用 python 文本分析法搜索相关关键词的出现词频衡量企业对数字技术的应用和数字化转型的程度。抓取关键词时剔除了行业概况和未来展望相关章节的内容,因为这部分章节只能代表企业未来的发展方向,与企业已经应用的数字技术无关。各项数字技术选取的具体关键词如表 2 所示。

表 2 上市企业年报中抓取的数字技术关键词

数字技术名称	关键词
大数据技术	混合现实;数据可视化;数据挖掘;文本挖掘;虚拟现实;异构数据;增强现实;征信
区块链技术	比特币;分布式计算;共识机制;联盟链;去中心化;数字货币;智能合约
人工智能技术	机器学习;人工智能;人脸识别;商业智能;身份验证;深度学习;生物识别技术;图像理解;语义搜索;语音识别;智能机器人;智能数据分析;自动驾驶;自然语言处理
数字技术应用	B2B;B2C;C2B;C2C;第三方支付;电子商务;工业互联网;量化金融;数字金融;数字营销;网联;无人零售;移动互联网;移动互联网;移动支付;智慧农业;智能穿戴;智能电网;智能环保;智能家居;智能交通;智能客服;智能能源;智能投顾;智能文旅;智能医疗;智能营销
云计算技术	EB 级存储;多方安全计算;类脑计算;流计算;绿色计算;内存计算;认知计算;融合架构;图计算;物联网;信息物理系统;亿级并发;云计算

控制变量的选取方面。参考以往文献,本文选取的企业层面的控制变量包括以下变量。第一,企业的核心经营指标。营业总收入 ( $income$ )、净利润 ( $profit$ )、投入资本回报率 ( $roic$ ) 和总资产报酬率 ( $allc$ ) 等用来衡量企业的经营规模、资历以及盈利水平,企业规模大、经营时间长、盈利水平高,创新资金才能充裕,充足的创新资本可以让企业获取先进的创新资源和技术,从而提高企业

的创新效率。第二,企业的资产负债率 ( $cdrate$ )。该指标用来衡量企业的偿债能力。第三,无形资产账面价值 ( $invisible$ )。该指标用来衡量企业没有实物形态的非货币资产的价值,其在一定程度上直观地反映了企业的创新投入和创新能力。本文还选取地级市层面的如下变量:第一,选取人力资本结构 ( $hr$ ) 作为控制变量。已有研究表明,良好的人力资本结构能够通过提高劳动力质量和人

①余泳泽,刘大勇:《我国区域创新效率的空间外溢效应与价值链外溢效应——创新价值链视角下的多维空间面板模型研究》,《管理世界》2013 年第 7 期。

②何帆,刘红霞:《数字经济视角下实体企业数字化变革的业绩提升效应评估》,《改革》2019 年第 4 期。

才技术水平影响企业创新。本文用高等教育在校人数与年末总人口的比值来衡量城市人力资本水平。第二,选取城市全要素生产率(*tfp*)作为门槛模型的门槛变量,其表征了城市的技术发展水平与前沿的技术差距。该数据参考 Battese 和 Coelli 的模型,采用最新的 SFA 方法进行计算,产出设定为实际 GDP,投入要素为从业人员数、固定资产(永续盘存法)。以上企业数据来自 wind 和同花顺 ifind 数据库,城市数据来自 CSMAR、EPS 数据库。第三,选取城市数字经济发展水平(*dige*)进行稳健性检验,本文使用城市层面的互联网和数字经济发展水平作为稳健性检验中核心解释变量的替代变量,具体指标选取和测算方法如稳健性检验部分所列举。

(2)描述性统计

根据上文,本文选取 999 家制造业上市企业 2012—2018 年的相关指标作为研究样本。变量描述性统计如表 3、表 4 所示。

3.实证检验结果

(1)固定效应回归结果

由于数字技术影响制造业企业创新效率具有一定的滞后性,考察当期影响意义不大,所以在基准回归中,将数字技术滞后一期放入模型中。为减少异方差的影响,保证回归结果的稳健性,这里对各个可以取对数的变量进行了对数化处理。模型选择中,hausman 检验的 p 值为 0,拒绝了随机效应的原假设,所以采用固定效应模型对本文的

变量进行回归,对以下模型的估计均控制个体和时间因素,回归结果如表 5 所示。

表 3 变量描述性统计(1)

变量类别	变量名称	变量符号	观测值
被解释变量	企业创新效率	effi	6 993
核心解释变量	数字技术应用程度	digte	6 993
企业层面控制变量	营业收入	Income	6 993
	净利润	profit	6 993
	无形资产价值	invisible	6 993
	资产负债率	cdrate	6 993
	投入资本回报率	roic	6 993
城市层面变量(含控制变量和其他变量)	总资产报酬率	alle	6 993
	全要素生产率	tfp	6 993
	数字经济发展水平	dige	6 993
	人力资本结构	hr	6 993

表 4 变量描述性统计(2)

变量符号	中位数	最小值	最大值	标准差
effi	0.003	0	1	0.071
digte	1	0	21	1.977
income	1.65E+09	1.94E+06	9.02E+11	2.77E+10
profit	1.03E+08	-6.57E+09	4.84E+10	1.75E+09
invisible	1.26E+08	3561	2.54E+10	1.16E+09
cdrate	39.83	0.797	130.3	19.44
roic	5.575	-172.2	174	10.57
alle	6.037	-70.83	130.5	8.196
dige	0.26	0.02	0.95	0.216
hr	0.03	0	0.13	0.032
tfp	1.58	0.11	2.95	0.716

表 5 固定效应模型的系数估计结果

变量	lneffi					
	(1)综合值	(2)大数据	(3)云计算	(4)区块链	(5)数字技术应用	(6)人工智能
digte	0.031** (0.016)					
bigdata		0.048*** (0.018)				
cloud			-0.0003* (0.0002)			
block				0.030 (0.097)		
appli					0.004 (0.003)	
ai						0.003 (0.007)
lncdrate	0.121* (0.069)	0.284* (0.151)	0.001 (0.003)	-0.072 (0.513)	0.186** (0.075)	0.175 (0.108)

续表 5

变量	lneffi					
	(1)综合值	(2)大数据	(3)云计算	(4)区块链	(5)数字技术应用	(6)人工智能
allc	0.006 (0.012)	0.064 (0.041)	0.001 (0.001)	0.496*** (0.163)	-0.0002 (0.012)	-0.004 (0.009)
hr	14.193*** (4.038)	38.061*** (9.420)	0.002 (0.193)	8.400 (22.639)	14.914*** (4.618)	19.618*** (6.480)
lnincome	0.086 (0.072)	0.062 (0.158)	-0.008** (0.003)	-0.636 (0.547)	0.111 (0.077)	0.477*** (0.104)
lnprofit	-0.124*** (0.038)	-0.151* (0.086)	-0.001 (0.002)	-0.002 (0.323)	-0.094** (0.04)	-0.050 (0.059)
lninvisible	0.561*** (0.040)	0.542*** (0.091)	0.011*** (0.002)	0.948*** (0.306)	0.574*** (0.043)	0.705** (0.625)
roic	-0.005 (0.009)	-0.045 (0.036)	0.00001 (0.000)	-0.429*** (0.146)	-0.006 (0.005)	-0.018 (0.024)
_cons	-16.588*** (1.200)	-17.323*** (2.994)	-0.007 (0.061)	-10.825 (7.671)	-18.850*** (1.439)	-15.809*** (2.083)
样本数量	6 396	1 246	3 569	192	5 481	2 706
年份固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES
企业固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES

注:\*\*\*表示系数在1%的显著性水平下显著,\*\*、\*分别表示自5%、10%显著性水平下显著,下同。

由表5中全样本回归结果可知,在保持其他变量不变的情况下,数字技术应用水平在5%的显著性水平下正向影响制造业企业创新效率,影响系数为0.031。说明根据企业业务需要,发展和应用相应的数字技术,能够赋能企业创新,提高企业的创新绩效。企业层面的控制变量均显著影响企业创新效率,其中资产负债率在10%的显著性水平上提高企业的创新效率。这从侧面证明了企业借贷、筹资对企业创新的正向激励作用,资产负债率每提高1%,创新效率提高0.121%。无形资产的价值与企业创新显著正相关。从影响程度上看,无形资产每增加1%,企业创新效率提高0.561%。这是由于无形资产的积累有利于创新的转化。生产活动(表现在收入、利润和投入资本报酬率等指标上)对企业创新效率具有负向作用,这可能是由于企业资金等资源有限,原料供应和产品生产会挤出创新资源<sup>①</sup>,从而降低创新效率。城市层面的人力资本结构与企业的创新效率在1%的显著性水平下相关,人力资本的优化能够显著提高企业的创新效率。这将会鼓励企业优化人才结构,积极引进专业对口的高质量人才。

本文根据企业应用的具体数字技术类别对样本进行了分类并分别进行回归。其中,大数据对企业的创新效率有1%的水平下的显著正向影响,影响系数为0.048。这与前文的理论分析一致,大数据的应用有利于企业提高信息化水平,也有助于创新资源和创新信息的扩散传播,能够显著提高企业创新效率。实证结果显示,云计算对企业创新效率的影响系数为负,这可能是由于云计算限于技术特点,对企业业绩和创新的影响无法直接表现出来,需要滞后多年来看,因此无法在当期的实证结果中体现出来。区块链、数字技术应用和人工智能受限于样本数据体量较小以及年份不够新,实证结果均不显著,难以准确判断这三项数字技术对企业创新能力的影响。单从系数正负方向判断,区块链、数字技术应用和人工智能都对企业创新有正向作用,这也和理论分析一致。为此,企业应积极发展数字技术,提高创新能力。

## (2) 门槛模型回归结果

根据理论假设,企业所在地区的不同科研水平会内生影响企业创新效率,城市层面科技水平

<sup>①</sup>董利红,严太华,邹庆:《制度质量、技术创新的挤出效应与资源诅咒——基于我国省际面板数据的实证分析》,《科研管理》2015年第2期。

越高,数字技术对企业创新效率的影响越大。实证模型中用地区的 *tfp* 发展水平衡量企业所在地区科技水平。

门槛回归需要通过门槛效果检验,如表6所示,门槛回归模型的 *p* 值在5%的显著性水平下通过检验。这证明本研究的门槛效果是显著的,数字技术的应用对制造业企业的创新效率的作用效果确实在地区科技水平的内生作用下发生跳跃。具体的变化点如表7所示,单门槛的估计值为0.8065。表8展示了单门槛模型的系数估计结果。可见,数字技术应用对制造业上市企业创新效率的影响确实由于全要素生产率水平的不同存在非线性的显著结果。科技水平较低时,数字技术应用对制造业上市企业创新效率的作用效果并不显著;越过门槛后,这种促进作用显著增强。这是地区本身科研投入增加、全要素生产率水平提高、创新资源配置效率提高使得数字技术作用增强导致的。这也说明了数字技术对制造业技术创新的作用需要在一定的科技水平基础上才能实现<sup>①</sup>。

表6 门槛效果自抽样检验

模型	F 值	P 值	BS 次数	临界值		
				1%	5%	10%
单一门槛	85.69	0.0467	300	96.4856	83.4304	79.2582

注:P值和临界值均是采用Bootstrap法模拟300次后得到的结果。

表7 门槛值估计结果

	门槛估计值	95%置信区间
基准模型	0.8065	[0.7837, 0.8109]

表8 门槛模型系数估计结果

变量	<i>lneffi</i>
<i>dige</i> ( <i>ln</i> <i>tfp</i> ≤ 0.8065)	-0.004(0.017)
<i>dige</i> ( <i>ln</i> <i>tfp</i> > 0.8065)	0.156*** (0.020)
<i>ln</i> <i>cd</i> <i>rate</i>	0.183*** (0.070)
<i>alle</i>	0.012(0.009)
<i>hr</i>	14.740*** (4.158)
<i>ln</i> <i>income</i>	-0.659*** (0.055)
<i>profit</i>	6.31e-11* (3.51e-11)
<i>ln</i> <i>invisible</i>	0.538*** (0.039)
<i>roic</i>	0.004(0.006)
<i>_cons</i>	-3.368*** (0.995)
样本数量	6993

(3) 异质性检验和稳健性检验

制造业上市企业样本的企业规模差异较大,企业规模的不同会影响企业的规模经济效果、资产周转能力和运作效率,也会影响企业的自主创新能力和创新转化效率。因此为了进一步探讨数字技术应用程度对不同规模制造业企业创新的影响,这里参考以往文献划分标准,根据企业的盈利能力划分企业规模进行异质性检验。结果如表9所示。

表9 根据企业规模划分的异质性检验系数估计结果

变量	<i>lneffi</i>		
	规模小	规模中	规模大
<i>dige</i>	-0.002 (0.001)	0.045* (0.025)	0.044* (0.026)
<i>_cons</i>	-0.117 (0.128)	-6.472*** (1.194)	-21.130*** (2.119)
企业控制变量	控制	控制	控制
城市控制变量	控制	控制	控制
样本数量	1296	2985	1998
企业固定	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES

由表9可知,数字技术对大中型制造业企业的创新赋能作用更强。对中等规模和大规模的制造业上市企业来说,数字技术的应用确实能够显著改善企业创新效率,影响系数分别为0.045和0.044。数字技术的应用对规模较小制造企业的研发创新作用并不显著,原因可能是这类企业的创新处于追赶行业领先水平的阶段,提高其创新效率的关键还在研发水平和自主创新能力的提高上,数字技术并不能从根本上解决这些问题。这也意味着,盈利水平一般的小型企业在进行数字化转型时要慎重。

这里根据 *ifind* 数据库中的资料对企业性质进行分类,分为国有企业、民营企业和外资企业三类。Stata 报告的回归结果如表10所示。其中,数字技术对国有企业、民营企业和外资企业的创新效率都具有正向影响效应,影响程度最大的是外资企业(0.275),其次是国有企业(0.092),影响最小的是民营企业(0.004)。值得注意的是,生产活动对民营和外资企业的创新效率具有负向作用,这可能是由于企业资源有限,原料供应和产品

<sup>①</sup>曾祥炎,李姣,曾小明:《要素禀赋与中西部地区数字经济可持续发展——基于机器学习方法》,《湖南科技大学学报(社会科学版)》2021年第6期。



生产会挤出部分创新资源<sup>①</sup>。这一结论对小规模的上市公司也同样适用。

表 10 按照所有权性质划分的异质性检验

变量	lneffi		
	国有企业	民营企业	外资企业
digte	0.092*** (0.033)	0.004 (0.018)	0.275*** (0.093)
_cons	-19.585*** (2.703)	-18.340*** (1.604)	1.715 (9.058)
企业控制变量	控制	控制	控制
城市控制变量	控制	控制	控制
样本数量	1 851	4 084	344
企业固定	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES

本文使用以下三种方法进行稳健性检验。(1)替换被解释变量。使用企业专利账面价值作为衡量企业创新能力的指标,替换技术创新效率作为被解释变量,这样做的原因是专利的数目和价值是企业创新产出的重要衡量标准,在给定其他条件的情况下,专利数目越多,企业的创新转化能力就会越强。所以可以用专利价值替代企业创新效率衡量创新能力。(2)使用核心解释变量数字技术的 1 期滞后项。由于数字技术影响制造业企业创新效率可能具有一定的滞后性,所以在稳健性检验的回归中,将数字技术滞后 1 期放入模型中。(3)替换核心解释变量。本文借鉴赵涛等的做法,选用数字普惠金融指数、国际互联网用户数、信息传输、计算机服务和软件从业人员占城市常住人口比重、移动电话年末用户数、互联网宽带接入用户数、电信业务收入等指标,如表 11 所示,利用熵权法测算各地级市 2012—2018 年数字经济发展水平作为核心解释变量的代理变量,测算其对企业创新效率的影响<sup>②</sup>。稳健性检验的结果如表 12 所示。

表 12 中,从(1)可知,数字技术对企业专利价值有显著的正向影响,影响系数是 0.027,说明数字技术确实提高了企业创新活力,再次验证了数字技术对企业技术创新的促进作用。从(2)可知,滞后一期的数字技术在 10%的水平下显著提高了制造业创新效率,影响系数是 0.031,这验证了数字技术不仅在当年发挥作用而且对创新具有长期影响。从(3)可知,制造业企业所在地的数

字经济发展水平也能在一定程度上促进当地企业创新,影响系数为 0.647,但需要在 15%的显著性水平下才能通过检验,这从侧面验证了数字化信息化对创新效率的影响作用。总体来看,数字技术对制造业创新效率的作用是比较稳健的。

表 11 数字技术指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
城市数字技术综合发展指数	国际互联网用户数	国际互联网用户数(户)
	移动互联网用户数	年末移动电话用户数(万户)
	移动互联网普及水平	互联网宽带接入用户数(万户)
	互联网相关产出水平	电信业务收入(万户)
数字普惠金融发展	数字普惠金融发展	北京大学数字普惠金融指数
	信息技术相关从业人员数	信息传输、计算机服务和软件从业人员占城市年末总人口比重

表 12 稳健性检验的系数估计结果

变量	(1)	(2)	(3)
	lnzl	lneffi	lneffi
digte	0.027** (0.014)		
L1.digte		0.031* (0.018)	
dige			0.647 (0.416)
_cons	-2.666** (1.049)	-18.215*** (1.351)	-6.852*** (0.213)
企业控制变量	控制	控制	控制
城市控制变量	控制	控制	控制
样本数量	6 388	5 461	6 993
企业固定	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES

## (二) 数字技术对制造业创新效率影响的间接效应检验

### 1. 中介变量选取

根据理论机制分析,选取人才结构、融资结构、产学研合作等三个指标作为中介变量。其中,由于企业数字化转型能够提高高技能劳动力的占

①董利红,严太华,邹庆:《制度质量、技术创新的挤出效应与资源诅咒——基于我国省际面板数据的实证分析》,《科研管理》2015年第2期。

②赵涛,张智,梁上坤:《数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据》,《管理世界》2020年第10期。

比,人才结构选取全体员工中研究生以上学历人数所占的比例(*talent*)作为代理变量。融资结构方面,由于企业面临的融资约束无法直接从可观测数据中得到。现有研究参考 Kaplan 和 Zingales 的思路,将企业的财务指标进行分类,划分出与融资约束有关的指标,综合得到企业融资约束指数。目前成熟的测度方法分为以下3种:一是使用企业内部现金流模型的系数;二是根据企业的特征化数据,经过计算得到的 SA 指数、WW 指数和 KZ 指数;三是对管理层和财务人员进行相关问题的问卷调查得到数据。这里选择了外生性较强且不受现金流、杠杆等内生因素和主观感受影响的 SA 指数衡量融资约束情况。该指数由 Hadlock 和 Pierce 提出和构建,计算公式为:

$$SA_{it} = -0.737 \ln Size_{it} + 0.043 \ln (Size_{it}^2) - 0.04 Age_{it} \quad (4)$$

其中,Size 由企业当年年末总资产价值衡量,单位为百万元,Age 由观测时点和企业成立日期相减得到。

产学研合作强度方面,参考杨宏呈的研究,选择研究机构和高校的科研活动经费筹集中来自企业部分的比例作为产学研合作的代理变量,其表示企业对产学研的参与度<sup>①</sup>。由于该数据只有省级层面,考虑到本文核心数据为企业层面,这里将其与衡量企业创新水平特征的专利价值进行交乘建立新指标 *lnxxy* 衡量企业的产学研合作强度。

### 2.模型与方法

对于数字技术对制造业企业创新效率间接效应的检验,本文采用中介效应模型,具体模型形式如(5)(6)(7)式所示。

$$effi_{it} = \beta_0 + \beta_1 digte_{it} + \beta_2 Control_{it} + \alpha_i + \eta_i + \varepsilon_{1it} \quad (5)$$

$$ZL_{it} = \theta_0 + \theta_1 digte_{it} + \theta_2 Control_{it} + \alpha_{i2} + \eta_{i2} + \varepsilon_{2it} \quad (6)$$

$$effi_{it} = \omega_0 + \omega_1 digte_{it} + \omega_2 ZL_{it} + \omega_3 Control_{it} + \alpha_{i3} + \eta_{i3} + \varepsilon_{3it} \quad (7)$$

首先,对(5)式进行基准回归,检验数字技术对制造业企业创新效率的影响,如果  $\beta_1 > 0$  且通过显著性检验,说明数字技术对制造业企业创新具有积极的促进作用。其次,使用(6)式验证数字技术对中介变量 ZL 的影响,如果 *digte* 对 ZL 的

影响显著,则说明数字技术能显著影响中介变量。最后,对(7)式进行检验,若  $\omega_1$  和  $\omega_2$  均显著,且  $\omega_1 < \beta_1$  则说明中介变量在数字技术影响制造业创新过程中存在部分中介效应,若  $\omega_1$  未通过显著性检验,而  $\omega_2$  显著,则意味着中介变量在数字技术影响制造业创新的过程中存在完全中介效应。

### 3.实证检验结果

第一,人才结构存在部分中介效应。根据表 13 中(2)的实证结果,数字技术与高技能劳动力确实显著正相关,自变量和中介变量之间的相关关系显著成立,影响系数是 0.023。由(1)和(3)可以得到,在主模型中加入人才结构这一中介变量后,数字技术的回归系数由 0.031 减小到 0.028,显著性也下降,说明人才结构对数字技术影响制造业创新的过程起到部分中介作用。这和数字技术的发展改善了人才结构,从而作用到企业创新效率上的机制分析相吻合。

表 13 人才结构作为中介变量的中介效应模型

变量	(1)	(2)	(3)
	lneffi	lntalent	lneffi
digte	0.031 ** (0.016)	0.023 *** (0.005)	0.028 * (0.016)
lntalent			0.125 *** (0.045)
lnedrate	0.121 * (0.069)	0.014 (0.021)	0.119 * (0.069)
alle	0.006 (0.012)	-0.020 *** (0.004)	0.008 (0.012)
hr	14.193 *** (4.038)	0.394 (1.229)	14.144 *** (4.035)
lnincome	0.086 (0.072)	0.020 (0.022)	0.083 (0.072)
lnprofit	-0.124 *** (0.038)	0.059 *** (0.012)	-0.131 *** (0.038)
lninvisible	0.561 *** (0.040)	-0.040 *** (0.012)	0.566 *** (0.040)
roic	-0.005 (0.009)	0.004 (0.003)	-0.006 (0.009)
_cons	-16.588 *** (1.200)	-0.404 (0.365)	-16.537 *** (1.200)
样本数量	6 396	6 396	6 396
企业固定	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES

<sup>①</sup>杨宏呈:《基于突破性创新视角的战略性新兴产业发展研究》,华中科技大学博士学位论文,2013年。

第二,融资结构存在完全中介效应。由表 14 中(2)可以看出,数字技术的发展确实能够缓解企业的融资约束,在 1%的显著性水平下的影响系数是-0.011。由(1)和(3)的结果,在主模型中加入融资约束 SA 指数后,数字技术对制造业创新效率的影响不再显著,而且回归系数显著减小,从 0.031 减小到了 0.023。可见,融资约束在数字技术对制造业创新效率的影响中存在完全中介效应。这和数字技术、大数据缓解企业融资约束,为企业创新创造更好的条件的理论机制相一致。

表 14 融资结构作为中介变量的中介效应模型

变量	(1) lneffi	(2) sa	(3) lneffi
digte	0.031 ** (0.016)	-0.011 *** (0.001)	0.023 (0.016)
sa			-0.694 *** (0.153)
lnedrate	0.121 * (0.069)	0.018 *** (0.006)	0.133 * (0.069)
alle	0.006 (0.012)	0.015 *** (0.001)	0.016 (0.012)
hr	14.193 *** (4.038)	0.030 (0.358)	14.214 *** (4.031)
lnincome	0.086 (0.072)	-0.353 *** (0.006)	-0.159 * (0.090)
lnprofit	-0.124 *** (0.038)	-0.073 *** (0.003)	-0.175 *** (0.039)
lninvisible	0.561 *** (0.040)	-0.083 *** (0.004)	0.504 *** (0.042)
roic	-0.005 (0.009)	0.001 (0.001)	-0.004 (0.009)
_cons	-16.588 *** (1.200)	-207.383 *** (0.106)	-160.436 *** (31.835)
样本数量	6 396	6 396	6 396
企业固定	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES

第三,产学研合作存在完全中介效应。由表 15 中(2)可以看出,数字技术的发展确实能够显著提高产学研合作强度,在 5%的显著性水平下的影响系数是 0.028。由(1)和(3)的结果,在主模型中加入产学研合作强度后,数字技术对制造业企业创新效率的影响不再显著,回归系数也显著减小,从 0.031 减小到了 0.005。由此可见,产学研合作强度在数字技术对制造业创新的影响中存在完全中介效应。这和数字技术提高企业信息

化水平,促进企业与外部交流合作,为企业创新创造更好的产学研合作条件,从而提高制造业创新效率的理论机制相一致。

表 15 产学研合作作为中介变量的中介效应模型

变量	(1) lneffi	(2) lnxy	(3) lneffi
digte	0.031 ** (0.016)	0.028 ** (0.014)	0.005 (0.008)
lnxy			0.983 *** (0.008)
lnedrate	0.121 * (0.069)	0.193 *** (0.060)	-0.049 (0.033)
alle	0.006 (0.012)	-0.006 (0.010)	0.012 ** (0.006)
hr	14.193 *** (4.038)	10.579 *** (3.531)	4.381 ** (1.953)
lnincome	0.086 (0.072)	0.311 *** (0.063)	-0.212 *** (0.035)
lnprofit	-0.124 *** (0.038)	-0.077 ** (0.033)	-0.048 *** (0.018)
lninvisible	0.561 *** (0.040)	0.623 *** (0.035)	-0.049 ** (0.020)
roic	-0.005 (0.009)	-0.002 (0.008)	-0.003 (0.004)
_cons	-16.588 *** (1.200)	-3.916 *** (1.050)	-13.008 *** (0.581)
样本数量	6 396	6 388	6 388
企业固定	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES

### 三 研究结论与对策建议

本文从理论上揭示了数字技术对制造业企业创新效率作用的机制,进而基于 2012—2018 年中国沪深 A 股制造业上市公司数据,对数字技术对我国制造业技术创新效率的作用进行实证分析,主要结论是:第一,制造业企业使用数字技术作为外生变量参与研发过程,可以显著提高制造业创新效率,这为企业数字化转型提供了理论和事实依据。其中,大数据、云计算对企业创新效率的作用效果最强。这种作用效果还受到地区技术创新整体水平的内生性影响,技术创新水平高的地区研发要素溢出能力强,加强了数字技术对制造业企业创新效率的影响效果。第二,由于企业技术创新所处发展阶段的不同,数字技术对大中型制造业企业的作用效果更显著,大中型企业数字化转型对其技术创新效率的正外部性更强;从所有

制结构上看,外资企业和国有企业数字技术对创新效率的影响强度高于民营企业。第三,数字技术对制造业企业创新效率存在间接的影响路径。数字技术可以通过影响企业的人才结构、融资结构和产学研合作强度来间接提高制造业企业的创新效率,其中融资结构和产学研合作强度的传导路径更为显著。

基于以上分析结论,为进一步促进我国制造业数字化转型中数字技术对制造业创新的作用,应主要采取以下措施:第一,加强产业数字化的发展,促进新一代信息技术和传统制造业的融合。政府部门应进一步构建有利于产业数字化发展的政策体系,通过税收优惠、政府补贴等财政手段支持、引导传统产业数字化转型;打破消费侧和研发侧的信息壁垒,利用市场和需求端的力量推动企业对人工智能、大数据等新一代数字技术的运用,配合国家征信体系和信用信息系统的建设,推动数字资源的合理高效运用。第二,充分利用数字技术优化研发要素质量,促进研发效率的提高。一方面,改革人才培养体制,培养数字创新复合型人才。完善高等教育体制,顺应经济发展趋势,在更加广泛的范围内普及数字技术教育;加强职业教育和员工培训,给研发人员专门开设大数据、人

工智能等数字技术课程,鼓励其将数字技术应用到研发实践中。另一方面,改善企业融资环境,构建数字化融资模式。建立完善的金融和资本市场体系,通过大数据采集企业信息,利用信用评分多渠道融资,鼓励企业创新;政府对制造业企业上云,建立工业互联网等提高创新和运作效率的行动给予专项补贴和支持;实行事后评价机制,给予研发取得重要突破的企业资金奖励。第三,加强产学研合作,探索适应企业创新需求的数字技术应用路径。企业应该充分利用数字技术优势,提高信息共享、增进信息交流,加强与高校、研究机构和合作;寻找合适的产学研创新伙伴,形成市场化的产学研链条,协同研发、共同突破产业关键共性技术瓶颈,共同探索我国制造业的自主创新道路。第四,合理运用数字技术,提高数字技术与企业业务的适配性。企业应该运用与自身实际情况和行业性质相适应的数字技术,改善低科技成果转化困境,提高数字技术与传统业务的适配性。我国制造业各个行业发展背景、条件和所处的阶段都存在一定差异,各行业对数字技术的需求不同,数字技术能发挥的作用也不一样,所以企业一定要结合本行业的实际情况引进和运用数字技术。

## The Influential Mechanism and Effect of Digital Technology on Innovation Efficiency of Manufacturing Industry

DU Chuan-zhong & JIANG Ying

(College of Economic and Social Development, Nankai University, Tianjin 300071, China)

**Abstract:** Digital technology provides powerful conditions for the improvement of technological innovation ability of manufacturing industry. Based on the data of 999 Chinese A-share listed manufacturing companies in Shanghai and Shenzhen stock exchanges from 2012 to 2018, this paper constructs an econometric model based on the data of micro-enterprise data and conducts an empirical analysis and mechanism test on the effect of digital technology on innovation of Chinese manufacturing enterprises. The empirical results show that the application of digital technology significantly improves the innovation efficiency of China's manufacturing enterprises, among which the effect of big data and cloud computing is obvious. From the perspective of intermediary mechanism, digital technology indirectly improves the innovation efficiency of manufacturing enterprises through influencing the talent structure, financing structure and the intensity of industry-university-research cooperation.

**Key words:** digital technology; manufacturing industry; technological innovation

(责任校对 朱正余)