

数字技术对中小企业关键核心技术突破的影响 ——来自首台套首批次创新的证据

邬爱其,朱国浩

(浙江大学管理学院,浙江杭州 310058)

摘要:中小企业通常聚焦产业链细分领域发展,具有突破特定领域关键核心技术的专业化基础和潜能,但普遍面临创新资源约束。数字技术作为新型要素资源,有助于中小企业破解研发资源有限、技术协同不足、创新搜寻受限等挑战,促进其关键核心技术突破。因此,本文探究数字技术对中小企业关键核心技术突破的影响以及相关边界条件。研究发现:数字技术对中小企业突破关键核心技术具有促进作用,但该促进作用要受到企业特征的调节影响,即企业的吸收能力和市场势能增强数字技术的促进作用,而企业规模实力则削弱该促进效果。本文结论丰富了中小企业关键核心技术突破的前因和情境因素研究,为中小企业借助数字技术加速关键核心技术创新、继而带动产业高质量发展提供实践启示。

关键词:数字技术;关键核心技术突破;中小企业;首台套首批次

中图分类号:F276.3;F272.3

文献标识码:A

近年来,我国高度关注重点领域的关键核心技术突破问题。相关研究主要聚焦大型企业^[1-3],对中小企业关注有限。较多中小企业长期聚焦产业链细分领域,不断积累技术经验和创新能力^[4],在产业链某些关键材料、零部件和工艺上更易实现突破^[5,6]。同时,大型企业实现产业链关键核心技术攻关需要配套型中小企业的协同^[4]。此外,首台套装备、首批次新材料的研发创新是中国情境下关键核心技术突破的重要领域^[7],但鲜有研究深入探讨这一特色实践问题。总体上,现有研究对中小企业的专业化、柔性高效等特色优势缺乏重视^[3,5],不利于揭示中小企业在关键核心技术领域发挥“小企业办大事”的独特作用^[8,9]。

现有研究指出,部分中小企业由于专注聚焦,在产业链细分技术领域有更高的创新效率^[6,4]。学者从突破路径、突破结果、影响因素等方面对中小企业关键核心技术突破问题展开了有益探讨。具体而言,中小企业经历了“单点式—全链式—多维式”的关键核心技术突破路径,并逐渐取得“国家战略践行者—行业赋能者—技术生态构建者”的身份重构结果,实现产业链“延链,补链”^[5,10]。同时,桥接科

学家创始人^[11]、企业研发投入与研发能力^[12],以及政府政策、融资环境等内外因素对上述过程产生影响^[13,6,12,14]。但总体而言,现有研究还缺乏探讨数字技术对中小企业关键核心技术突破的影响。

数字技术的采用有利于提升企业技术创新过程中的资源整合及利用效率,促进企业与外部创新主体的协同^[15-17]。然而,相关研究主要聚焦大型企业^[18,15,16]。中小企业进行技术突破时往往面临资源约束以及缺乏有效的外部技术合作等窘境,更应提升资源配置效率并建立外部协同^[4,19]。这也意味着数字技术在中小企业的关键核心技术突破过程中可能发挥更为重要的作用。同时,政府高度重视中小企业采用数字技术实现创新发展,2024年工信部等四部委联合出台《中小企业数字化赋能专项行动方案(2025—2027年)》,希望促进中小企业以数字技术赋能技术和业务创新^①。因此,探究数字技术对中小企业关键核心技术突破的影响,既有利于激发中小企业在产业链中“延链,补链”的重要使命,也能填补当前相关研究的缺失。

综上,本文采用浙江省杭州市的中小企业样本,以中小企业开展首台套首批次创新实践活动为研究

① 由工业和信息化部、财政部、中国人民银行、金融监管总局于2024年联合印发。

收稿日期:2025-03-17;修回日期:2025-04-30

基金项目:国家自然科学基金重点项目(72332005)

作者简介:邬爱其(1975-),男,教授,博士。朱国浩(1995-),男,博士研究生,通讯作者,E-mail:zhuguohao@zju.edu.cn。

情境,探讨数字技术对中小企业关键核心技术突破的影响,以及吸收能力、规模实力和市场势能的调节作用,为中小企业开展关键核心技术攻关提供理论指导和管理启示。

1 理论分析与研究假设

1.1 数字技术对中小企业关键核心技术突破的影响

不同于大型企业,中小企业在突破关键核心技术时面临资源存量有限、创新搜寻受限、技术协同不足等不利条件^[19, 20]。数字技术具有数据同质化、可重新编程性和可供性特征,有利于组织进行外部协同与信息搜寻,并提高运营效率^[21-24]。因此,中小企业可有效利用数字技术破解自身面临的区别于大型企业的约束条件,促进关键核心技术突破。

首先,数字技术有利于拓宽中小企业创新搜寻半径。相较于大型企业,中小企业在细分领域具有知识深度,但知识广度普遍有限,较难有效搜寻异质性的新近技术信息^[4, 25]。数字技术的使用有利于中小企业提升远程创新搜寻半径的能力^[26],开展更为广阔的外部知识搜寻,提升关键核心技术突破所需的知识基础。

其次,数字技术有利于提升中小企业技术研发资源的配置效率。中小企业规模小、资金积累不足,往往难以支撑高额的研发与创新投入^[26]。同时,金融市场上中小企业的融资渠道狭窄且成本较高^[12]。诸多因素交互使得中小企业发展过程中面临严峻的资源瓶颈^[26]。然而,关键核心技术突破需要更多的资源投入,数字技术的使用则为中小企业提高有限资源的利用效率产生了重要影响。第一,有利于提高技术研发相关各环节的自动化水平,继而优化技术研发资源配置^[27, 23]。如对 ERP、CRM 系统等数据分析系统的应用。第二,能够在大幅降低投入成本的同时调用所需的技术资源。如通过采用 SaaS (云化)技术部署以解决技术研发不同阶段的部分研发工具需求。第三,可以帮助中小企业更为高效地开展技术研发资源投入决策,避免盲目决策带来的浪费^[28]。如利用数字孪生技术识别技术攻关过程中的关键技术节点,在关键研发路线上做出合理决策。

最后,数字技术有利于促进中小企业内外部技术研发协同。中小企业的关键核心技术突破活动深

嵌于产业链内,并且其涉及诸多关键原理性知识创造,以及跨学科、跨领域的多元知识交叉^[29, 5]。上述特征意味着中小企业不仅需要开展有效的内部技术协同,还需与上下游主体展开外部技术协同。一方面,数字技术的使用可以提高中小企业内部研发协同^[30],畅通内部技术研发协同。另一方面,有利于促进中小企业与外部创新主体的研发协同。中小企业或可搭建协同研发平台(如工业互联网平台),与产业链上下游企业实现研发设计、生产制造等环节的互联互通,提升供应链的整体协同效率^[31]。所以,本文提出如下假设:

H1:数字技术对中小企业突破关键核心技术具有促进作用。

1.2 企业吸收能力、规模实力和市场势能的调节作用

企业关键核心技术创新活动的本质是对多元知识的获取、转化、创造及应用的过程^[30]。拥有较强吸收能力的企业往往在利用数字技术提升内外部技术研发协同效能时能快速获取并同化内外部知识,将外部新知识融入内部创新系统,进而提升关键核心技术突破效率^[30, 31]。此外,技术跨领域融合是实现关键核心技术突破的重要因素^[31, 27],相对于吸收能力较弱的中小企业,吸收能力较强的中小企业能更高效地利用数字技术强化创新搜寻过程,从不同技术领域获取新知识,实现跨领域的技术融合与创新。

企业的规模实力会对企业技术创新产生影响。一方面,企业规模实力的扩大会提高企业惰性,让其更习惯于沿用原有的组织惯例^[32],进而降低企业利用数字技术拓展外部创新搜寻的意愿。另一方面,随着企业规模逐渐扩大,其能调用的资源种类和拥有的冗余资源越多,随之形成的组织惯性可能会降低利用数字技术改善技术资源配置效率的动力^[33]。处于资源约束阶段的中小企业会更愿意借助外部技术协作降低研发风险,但规模的扩大往往会给企业带来组织僵化、官僚主义等内部问题^[34],阻碍内外部技术协同。上述原因不仅可能导致规模实力大的中小企业降低利用数字技术促进内外部技术协同以突破关键核心技术的意愿,还会带来诸多障碍因素,弱化数字技术在突破关键核心技术方面的作用。

市场势能是指企业在行业中的成长潜力,体现为企业的主导产品在细分市场占有率的生长情况^[28]。市场势能提升带来的市占率和产业链地位

提升等因素,显著影响了中小企业技术创新过程^[35]。首先,市场势能的提升使得中小企业有更强意愿和更多资源投入到数字技术研发中,有利于企业更好地利用数字技术优化研发流程、提高技术研发效率。其次,较高的市场势能意味着中小企业对市场需求有更敏锐的感知^[36],便于其通过数字技术应用以市场实际需求为导向明确关键核心技术突破的方向。此外,市场势能较高的中小企业在产业链中拥有更高的声誉,增强了其利用数字技术促进上下游企业、科研机构等技术研发协同以突破关键核心技术的过程。最后,市场势能较高的中小企业往往具有更强的风险承担能力和创新驱动发展的动力^[37],也为企业提供了更多的试错空间,提高了企业使用数字技术促进关键核心技术研发的信心和能力。综上所述,本文提出如下假设:

H2:企业吸收能力正向调节数字技术对中小企业突破关键核心技术的影响。

H3:企业规模实力负向调节数字技术对中小企业突破关键核心技术的影响。

H4:企业市场势能正向调节数字技术对中小企业突破关键核心技术的影响。

2 研究设计

2.1 样本与数据来源

本文参照我国颁布实施的《统计上大中小微型企业划分办法(2017)》来界定识别中小企业。本文以来自浙江省杭州市的中小企业为样本,主要原因在于:(1)杭州是中小企业数量较多的城市之一,拥有90万家左右的中小企业,并且杭州市中小企业创新创业活力较强,涌现出了数量领先全国主要城市的优质中小企业,如专精特新“小巨人”企业数量位居全国城市第五位;(2)杭州是全国数字经济较为发达的城市之一,中小企业积极拥抱数字技术推动转型发展,产生了DeepSeek、宇树科技、云深处等一批数字经济新兴领军企业;(3)杭州注重创新驱动发展,加快关键核心技术创新突破,2023年全市研究与试验发展经费投入强度为3.9%左右,达到创新型国家水平,全市有效发明专利数量位居全国省会城市第一。综上,杭州中小企业积极应用数字技术来推动技术创新和经营管理并取得较好成效,对本文议题具有代表性。

本文利用全国“专精特新”企业培育基地(杭

州)建立的中小企业数据库。该数据库主要用于中小企业发展质量评估和决策参考,数据信息真实可靠。数据库有1428家中小企业,变量包括企业概况、研发创新、国际化、数字化、运营绩效等。去除本文中主要变量存在缺失值的样本后,本文使用的有效样本为1289家中小企业。在有效样本中,全职员工数在100人以内的企业数量占51.4%,300人以内的企业占88.4%;28.8%的企业是成立至今8年内的创业型企业,年龄不超过15年的企业占61.4%;大多数企业是制造企业(71.8%)。样本企业的构成情况具有较好的代表性。

2.2 变量测量

关键核心技术突破。现有研究主要从发明专利等方面来测度关键核心技术突破^[8]。本文以企业承担并验收通过首台套装备、首批次新材料来测量企业的关键核心技术突破。若企业获得首台套首批次认定,技术突破变量取值1,否则为0。由于国家对亟待突破的关键核心技术领域进行了系统研究,首台套装备和首批次新材料是我国需重点突破的技术项目,因此,采用首台套首批次来测度关键核心技术突破具有扎实的实践基础和很强的针对性。

数字技术。借鉴现有相关研究^[37, 38],本文关注企业数字技术的两大主要内容:一是企业核心业务采用信息系统的采用情况,信息系统主要包括研发设计CAX、生产制造CAM、经营管理ERP/OA、运维服务CRM、供应链管理SRM和其他系统等六类。企业每采用一类业务系统取值1,否则为0,这样取值区间在0至6,数字越大表明企业的数字技术水平越高。二是企业业务信息系统的云化情况。若企业将业务信息系统迁移到云端(业务信息系统云化)取值1,否则为0。本文同时考察业务信息系统的采用情况和云化情况,将两者的对应分数相乘得到企业的数字技术变量值。这一复合测度方法可以更好地反映出企业数字技术的客观水平,尤其是业务系统云化越来越成为数字化的核心。在稳健性检验中,采用业务信息系统的采用情况与云化情况之和来测度企业的数字技术水平。

规模实力。企业的规模实力可以从多个方面进行刻画。参考现有研究^[28, 15],本文以企业2022年营业收入的取对数值来测度企业的规模实力。企业的营业收入规模越大,表示该企业的规模实力越强。在稳健性检验中,本文以企业的资产规模方面来测度企业规模实力。

吸收能力。参考现有研究^[39],本文采用 2022 年企业的研发经费支出占营业收入的比重来测度企业的吸收能力,即该比重越高表示企业的吸收能力越强。

市场势能。企业主导产品的市场占有率是刻画企业市场地位的关键指标^[28]。本文的市场势能不仅考察企业主导产品市场占有率的静态状况,还考察市场占有率的变化情况,以更好地反映企业在行业的地位势能。所以,本文以企业 2021 至 2022 年间主导产品在全球市场的市场占有率的增长率来测度该企业的市场势能。在稳健性检验中采用企业主导产品在国内市场的市场占有率增长率来测量企业的市场势能。

控制变量。中小企业技术突破要受到诸多内外部因素的影响^[12, 14],因此本文需要控制相关主要因素的影响。参考相关研究^[28, 20],本文控制了企业年

龄(企业成立至 2023 年年龄取对数值)、员工人数(2022 年企业全职员工数量取对数值)、创新能力(企业拥有与主导产品有关的授权有效期内的 I 类知识产权数量取对数值)、标准制定(企业制定的国际标准数量)、产学研合作(与高校有合作 = 1,与高校无合作 = 0)、上市公司(是否已是上市公司:是 = 1,否 = 0)、制造业(企业是否属于制造业企业:是 = 1,否 = 0)。

3 研究结果分析

3.1 描述性统计与相关性分析

本文的描述性统计与相关性分析结果如表 1 所示。数字技术与关键核心技术突破显著正相关,各变量间的相关系数绝对值较低,数据不存在明显的多重共线性问题。

表 1 描述性统计和相关性分析结果
Table 1 Descriptive statistics and correlation coefficient of variables

	1	2	3	4	5	6
1. 技术突破	1					
2. 数字技术	0.116 ***	1				
3. 规模实力	-0.003	0.232 ***	1			
4. 吸收能力	0.030	0.001	-0.304 ***	1		
5. 市场势能	0.011	0.068 **	-0.039	-0.074 ***	1	
6. 企业年龄	-0.021	0.034	0.267 ***	-0.175 ***	-0.034	1
7. 员工人数	-0.004	0.242 ***	0.713 ***	-0.041	-0.031	0.248 ***
8. 创新能力	0.091 ***	0.248 ***	0.231 ***	0.149 ***	-0.041	-0.032
9. 标准制订	0.010	0.157 ***	0.171 ***	-0.034	-0.004	0.147 ***
10. 产学研合作	0.126 ***	0.414 ***	0.173 ***	0.049 *	0.049 *	0.079 ***
11. 上市公司	0.056 **	0.070 ***	0.181 ***	-0.012	-0.010	0.120 ***
12. 制造业	-0.001	0.080 ***	0.206 ***	-0.088 ***	-0.010	0.241 ***
均值	0.050	1.512	3.917	0.220	0.075	1.111
标准差	0.222	1.803	0.506	0.795	2.912	0.240
	7	8	9	10	11	12
7. 员工人数	1					
8. 创新能力	0.289 ***	1				
9. 标准制订	0.162 ***	0.184 ***	1			
10. 产学研合作	0.171 ***	0.209 ***	0.107 ***	1		
11. 上市公司	0.164 ***	0.206 ***	0.158 ***	0.050 **	1	
12. 制造业	0.146 ***	0.005	0.084 ***	0.028	0.010	1
均值	1.993	0.718	0.620	0.590	0.040	0.718
标准差	0.396	0.472	2.085	0.493	0.200	0.450

注:***表示 p<0.01,**表示 p<0.05,*表示 p<0.1。

3.2 假设检验

由于本文的因变量技术突破是一个二元变量(取值 0 和 1),Logistic 模型可以直接预测观测量相对于某一事件的发生概率,因此,本文采用 Logistic 回归方法。该模型采用极大似然估计法来检验模型的拟合效果,回归系数的检验采用 Wald 统计量,Wald 检验值越大表示该解释变量的作用越显著。

表 2 报告了实证分析结果。模型 1 仅包括了控制变量,模型 2 放入了数字技术变量,结果显示数字技术对关键核心技术突破有显著正向的影响,表明数字技术有助于促进中小企业突破关键核心技术,而且,在其他相关模型中数字技术都保持正向显著的回归系数,假设 1 得到支持。假设 2 预期吸收能力正向调节数字技术对关键核心技术突破的促进作用。模型 4 中数字技术与吸收能力交互项的回归系

数显著为正,表明当中小企业的吸收能力越高时,数字技术对关键核心技术突破的促进作用越强,假设 2 得到支持。假设 3 预期企业的规模实力负向调节数字技术对关键核心技术突破的正向影响。模型 6 结果显示数字技术与规模实力交互项的回归系数显著为负,说明数字技术对关键核心技术突破的作用随着中小企业规模实力增强而减弱,假设 3 得到支持。假设 4 预期市场势能会增强数字技术对关键核心技术突破的促进作用,模型 8 中数字技术与市场势能交互项的回归系数显著为正,意味着数字技术对关键核心技术突破的促进作用随着企业市场势能提高而增强,假设 4 得到支持。模型 9 为纳入所有控制变量、自变量、调节变量和交互项变量的全模型,除数字技术与吸收能力交互项为正但不显著外,其他变量的结果都符合假设预期。

表 2 logistic 回归结果
Table 2 Logistic regression results

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8	模型 9
数字技术		0.172 ** (0.073)		0.195 ** (0.076)		0.202 *** (0.072)		0.158 ** (0.074)	0.194 ** (0.076)
吸收能力			0.020 (0.108)	-0.912 * (0.521)					-0.662 (0.500)
数字技术 X 吸收能力				0.710 ** (0.297)					0.463 (0.288)
规模实力					-0.182 (0.344)	0.087 (0.373)			-0.006 (0.437)
数字技术 X 规模实力						-0.472 *** (0.137)			-0.332 ** (0.149)
市场势能							0.009 (0.052)	0.003 (0.030)	-0.006 (0.035)
数字技术 X 市场势能								0.037 ** (0.016)	0.042 ** (0.019)
企业年龄	-0.372 (0.561)	-0.284 (0.565)	-0.359 (0.566)	-0.153 (0.578)	-0.350 (0.564)	-0.297 (0.574)	-0.371 (0.561)	-0.282 (0.568)	-0.250 (0.590)
员工人数	-0.542 (0.356)	-0.711 * (0.369)	-0.540 (0.356)	-0.697 * (0.370)	-0.391 (0.459)	-0.557 (0.470)	-0.539 (0.355)	-0.733 ** (0.369)	-0.592 (0.503)
创新能力	0.626 ** (0.298)	0.563 * (0.304)	0.618 ** (0.301)	0.584 (0.312)	0.628 ** (0.297)	0.558 * (0.308)	0.624 ** (0.298)	0.594 * (0.306)	0.655 ** (0.320)
产学合作	1.360 *** (0.357)	1.136 *** (0.372)	1.358 *** (0.357)	1.137 *** (0.375)	1.372 *** (0.358)	1.133 *** (0.370)	1.357 *** (0.358)	1.157 *** (0.377)	1.131 *** (0.376)
上市公司	0.799 * (0.485)	0.807 * (0.491)	0.800 * (0.485)	0.794 (0.494)	0.829 * (0.488)	0.950 * (0.492)	0.796 (0.485)	0.823 * (0.492)	0.920 * (0.495)
标准制定	-0.020 (0.061)	-0.037 (0.062)	-0.019 (0.061)	-0.029 (0.063)	-0.018 (0.061)	-0.006 (0.067)	-0.020 (0.061)	-0.032 (0.061)	-0.002 (0.065)

续表 2

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8	模型 9
制造业	0.060 (0.292)	-0.003 (0.295)	0.061 (0.292)	0.007 (0.305)	0.077 (0.294)	0.076 (0.301)	0.061 (0.292)	-0.043 (0.297)	0.010 (0.308)
常数项	-2.986*** (0.817)	-2.813*** (0.821)	-3.006*** (0.824)	-2.839*** (0.868)	-2.629** (1.056)	-2.902*** (1.096)	-2.993*** (0.817)	-2.562*** (0.839)	-2.995*** (1.143)
Hosmer 和 Lemeshow 检验	5.866	4.422	5.852	8.554	9.068	6.381	5.882	6.031	5.454
对数似然值	494.197	488.673	494.165	478.491	493.920	475.605	494.071	484.252	467.688
模型系数综合检验卡方	32.487***	38.011***	32.519***	48.193***	32.764***	51.079***	32.506***	42.326***	58.889***

注:括号内的数字是 Wald 检验值;*, **, *** 分别表示回归结果的显著性程度达到了 90%、95% 和 99%。

3.3 稳健性检验

本研究进行了如下稳健性检验,具体结果详见表 3。首先,更换因变量测量方法。在先前的研究中,因变量关键核心技术突破刻画的是中小企业在首台套装备技术和首批次材料技术方面的技术突破情况,两大类技术的突破难度等可能存在差异,可能会影响实证分析结果。因此,在稳健性检验中,技术突破仅考虑首台套装备技术,重新回归分析的结果显示,更换因变量测量后的相关结果与之前结果保持一致,说明本研究结果具有较好的稳健性。

其次,替换自变量的测量方法。本研究自变量数字技术重点考察了企业业务信息系统的采用情况和云化情况,前述的基准分析中采用以两者的乘积来测度数字技术变量,在稳健性检验中更换为采用两者之和来测度数字技术变量。替换自变量测量方法后,对主效应和调节效应进行重新检验。结果显示,除市场势能的调节效应统计结果符合预期(正向)但不再显著外,更换变量测量方法后的研究结果与之前的研究结果总体保持一致,说明研究结论具有较好的稳健性。

再次,替换调节变量的测量方法。在稳健性检验中,本研究采用企业研发人员数量占总员工数量的比值来测度企业的吸收能力,之前分析中采用企业研发经费强度来测量吸收能力;规模实力的测量由原来的企业营业收入取对数值更换为企业资产总额取对数值;市场势能的测量由原来的全球市场占有率增长改为国内市场占有率增长。在替换三个调节变量的测量方法后,重新回归后的结果显示,更换变量测量方法后的研究结果与之前的研究结果保持一致,说明研究结论具有较好的稳健性。

最后,调整样本企业。由于不同行业面临的技术突破类型和难度可能存在差别,这种差别可能影

响实证分析结果,所以,选择制造业企业(926 家)作为样本进行稳健性检验。结果显示,以制造业企业为样本企业的统计分析结果与之前的研究结果保持一致,表明本研究结果具有较强的稳健性。

4 研究结论及启示

4.1 研究结论与学术贡献

本文实证检验了数字技术对中小企业关键核心技术突破的作用效果。研究发现:首先,数字技术能够有效促进中小企业实现关键核心技术突破,但该促进作用大小要受到企业特征的调节影响,即当中小企业的吸收能力越强,数字技术的促进效果越强;当中小企业的规模实力越弱,数字技术促进作用越强;当中小企业的市场势能越强,数字技术的正向影响越强。本文的研究结论不仅揭示了数字技术作为新型要素资源,能有效赋能中小企业实现关键核心技术突破,同时也通过剖析吸收能力、企业规模和市场势能这三个关键情境因素的重要影响拓展了数字技术与中小企业关键核心技术突破的关系研究。

本文可能的学术贡献在于:第一,揭示了数字技术这一关键前因对中小企业突破关键核心技术的促进作用,是对中小企业关键核心技术突破领域前因研究的重要补充^[10, 5]。第二,解析了企业的吸收能力、规模实力、市场势能三个关键情境因素在数字技术与中小企业关键核心技术突破之间关系的调节影响,丰富了中小企业关键核心技术突破的情境研究。第三,首台套装备、首批次新材料是我国在产业链细分环节需重点突破的重点关键核心技术。本文关注这一富有中国国情特色的重要议题,揭示了中小企业在其中的重要作用,并提出以首台套首批次来测度关键核心技术突破,是对当前专利等测度方法的重要补充^[38, 8]。

表 3 稳健性检验结果
Table 3 Robustness test results

稳健性检验 模型	更改因变量测量方法				替换自变量测量方法				替换调节变量测量方法				调整样本企业			
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
数字技术	0.247*** (0.089)	0.283*** (0.093)	0.300*** (0.090)	0.228** (0.091)	0.218*** (0.074)	0.231*** (0.077)	0.225*** (0.073)	0.215*** (0.074)	0.172** (0.073)	0.141* (0.075)	0.207*** (0.074)	0.148** (0.075)	0.197*** (0.083)	0.253*** (0.092)	0.275*** (0.086)	0.180*** (0.085)
吸收能力		-1.178 (0.764)				-0.647 (0.476)				-0.013 (0.848)				-0.962 (0.807)		
数字技术 X		0.798*** (0.359)				0.542** (0.270)				0.662* (0.345)				1.144*** (0.398)		
吸收能力																
规模实力			0.055 (0.490)				-0.015 (0.385)				0.510 (0.328)				0.040 (0.480)	
数字技术 X			-0.476*** (0.157)				-0.268** (0.135)				-0.237** (0.103)				-0.587*** (0.158)	
规模实力																
市场势能				0.011 (0.032)				0.001 (0.039)				-0.001 (0.017)				0.011 (0.032)
数字技术 X				0.046*** (0.017)				0.015 (0.016)				0.022** (0.009)				0.038** (0.017)
市场势能																
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
常数项	-5.281*** (1.137)	-5.345*** (1.209)	-5.760*** (1.554)	-5.002*** (1.160)	-2.916*** (0.820)	-2.660*** (0.871)	-2.843*** (1.088)	-2.377*** (0.843)	-2.813*** (0.821)	-2.929*** (0.915)	-1.901* (1.004)	-2.808*** (0.853)	-3.535*** (1.068)	-3.732*** (1.140)	-3.931*** (1.471)	-3.337*** (1.083)
Hosmer 和 Lemeshow 检验	11.173	4.871	8.307	10.108	4.763	4.163	4.141	4.581	4.422	11.594	7.669	6.517	4.462	13.261	5.190	5.771
对数似然值	332.693	325.549	322.334	326.742	485.431	478.488	480.628	484.654	488.673	484.386	482.997	483.654	344.161	329.698	328.308	339.794
模型系数综合 检验卡方	44.292***	51.436***	54.651***	50.176***	41.253***	48.196***	46.056***	41.923***	38.011***	42.298***	43.687***	43.030***	33.436***	47.898***	49.289***	37.695***

注:括号内的数字是 Wald 检验值;*,**,*** 分别表示回归结果的显著性程度达到了 90%、95%和 99%。

4.2 实践启示

一方面,本文对中小企业具有一定启示。第一,企业可利用数字技术优化资源配置效率,拓展外部知识搜寻半径,促进产业链上下游的高效对接,进而有效增强关键核心技术创新动能。第二,企业在利用数字技术促进关键核心技术突破的过程中,需要避免企业规模扩大所产生的阻碍因素,提前采取组织创新等举措维持技术突破效率。第三,企业应持续提升吸收能力和市场势能,有效整合吸收内外部知识,以提高对数字技术的利用能力。另一方面,本文对政策制定具有一定借鉴:第一,应加大对中小企业数字化转型的政策支持力度,同时鼓励龙头企业开放数据资源,并通过产教融合和职业培训加强数字技术人才培养,为中小企业输送数字技能人才。第二,推动数字技术开源社区发展,完善中小企业创新支持制度,鼓励高校、科研院所与中小企业合作,进而引导中小企业参与并应用数字创新生态赋能。第三,优化中小企业发展环境,健全“专精特新”中小企业梯度培育体系,支持其积极参与首台套装备、首批次新材料等关键核心技术攻关活动,提升中小企业对产业链供应链安全韧性的贡献。

4.3 研究局限与未来展望

本文尚存在局限有待探究:首先,中小企业如何利用数字技术促进关键核心技术突破的具体作用机制尚需后续通过纵向案例研究等方法做深入探讨。其次,本文样本企业代表性可能存在一定局限,未来可扩展到全国范围的样本企业来检验结论的普适性。最后,未来可揭示如环境动荡性、技术复杂度等更多情境因素,为中小企业利用数字技术突破关键核心技术实践提供更多新视角。

参考文献:

- [1] 宋艳,原长弘,张树满.装备制造业领军企业如何突破关键核心技术?[J].科学学研究,2022,40(3):420-432. Song Y, Yuan C H, Zhang S M. How do leading enterprises in equipment manufacturing industry achieve breakthroughs in key core technologies? [J]. Studies in Science of Science, 2022, 40(3): 420-432.
- [2] 赵长轶,谢洪明,郭勇,等.大国重器研制的关键核心技术突破——东方电气集团G50重型燃气轮机纵向案例研究[J].管理世界,2023,39(12):20-39. Zhao C Y, Xie H M, Guo Y, et al. Breakthroughs in key core technologies for national strategic equipment development: A longitudinal case study of Dongfang Electric's G50 heavy-duty gas turbine [J]. Journal of Management World, 2023, 39(12): 20-39.
- [3] 郭艳婷,郑刚,刘雪峰,等.复杂产品系统后发企业如何实现快速追赶?——中集海工纵向案例研究(2008~2021)[J].管理世界,2023,39(2):170-186. Guo Y T, Zheng G, Liu X F, et al. How do late-comers in complex product systems achieve rapid catch-up? A longitudinal case study of CIMC Offshore (2008-2021) [J]. Journal of Management World, 2023, 39(2): 170-186.
- [4] 邹爱其,史煜筠.专业制胜:中小企业专精特新成长之路[M].杭州:浙江大学出版社,2022. Wu A Q, Shi Y Y. Professional Excellence: The Growth Path of Specialized and Sophisticated SMEs [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2022.
- [5] 赵晶,孙泽君,程栖云,等.中小企业如何依托“专精特新”发展实现产业链补链强链——基于数码大方的纵向案例研究[J].中国工业经济,2023(7):180-200. Zhao J, Sun Z J, Cheng Q Y, et al. How do SMEs strengthen industrial chains through "specialization and innovation"? A longitudinal case study of Digital Fang [J]. China Industrial Economics, 2023(7): 180-200.
- [6] 曹虹剑,张帅,欧阳晓,等.创新政策与“专精特新”中小企业创新质量[J].中国工业经济,2022(11):135-154. Cao H J, Zhang S, Ouyang Y, et al. Innovation policies and innovation quality of specialized and sophisticated SMEs [J]. China Industrial Economics, 2022(11): 135-154.
- [7] 周冬华,彭剑飞.首台套重大技术装备保险与企业创新[J].科研管理,2023,44(9):80-90. Zhou D H, Peng J F. First-set major technical equipment insurance and enterprise innovation [J]. Science Research Management, 2023, 44(9): 80-90.
- [8] 吴超鹏,严泽浩.政府基金引导与企业核心技术突破:机制与效应[J].经济研究,2023,58(6):137-154. Wu C P, Yan Z H. Government-guided funds and enterprise core technology breakthroughs: Mechanisms and effects [J]. Economic Research Journal, 2023, 58(6): 137-154.
- [9] 韩洪灵,彭瑶,刘强,等.“小巨人”大效应:专精特新认定、供应链溢出与企业生产率[J].数量经济技术经济研究,2024,41(12):177-198. Han H L, Peng Y, Liu Q, et al. The "little giant" effect: Specialized SME certification, supply chain spillovers, and corporate productivity [J]. The Journal of Quantitative &

- Technical Economics, 2024, 41(12): 177 – 198.
- [10] 李树文, 罗瑾琰, 张志菲. 从定位双星到布局寰宇: 专精特新企业如何借助关键核心技术突破实现价值共创[J]. 南开管理评论, 2024, 27(3): 94 – 107. Li S W, Luo J L, Zhang Z F. From dual – star positioning to global layout: How specialized SMEs achieve value co – creation through key technology breakthroughs [J]. Nankai Business Review, 2024, 27(3): 94 – 107.
- [11] 王瑶, 曾德明, 李健, 等. 桥接科学家创始人与企业技术创新绩效——基于专精特新“小巨人”企业的分析[J]. 科学学研究, 2023, 41(9): 1690 – 1701. Wang Y, Zeng D M, Li J, et al. Bridging scientist – founders and enterprise technological innovation performance: Evidence from specialized “little giant” enterprises [J]. Scientia Scientiarum, 2023, 41(9): 1690 – 1701.
- [12] 张司飞, 陈勇岐. “专精特新”中小企业创新绩效提升路径研究[J]. 科学学研究, 2024, 42(4): 873 – 884, 896. Zhang S F, Chen Y Q. Research on innovation performance improvement paths of specialized and sophisticated SMEs [J]. Studies in Science of Science, 2024, 42(4): 873 – 884, 896.
- [13] 唐孝文, 姚欣岑, 于岚婷. 数字化背景下“小巨人”企业创新路径研究[J]. 科研管理, 2023, 44(12): 10 – 20. Tang X W, Yao X C, Yu L T. Innovation paths of “little giant” enterprises in the digital context [J]. Science Research Management, 2023, 44(12): 10 – 20.
- [14] 王伟楠, 王凯, 严子淳. 区域高质量发展对“专精特新”中小企业创新绩效的影响机制研究[J]. 科研管理, 2023, 44(2): 32 – 44. Wang W N, Wang K, Yan Z C. Mechanisms of regional high – quality development on innovation performance of specialized SMEs [J]. Science Research Management, 2023, 44(2): 32 – 44.
- [15] 冯启良, 安琪, 方伟. 数字技术赋能中国高技术制造企业关键核心技术创新的影响研究[J/OL]. 管理学报, 1 – 10 [2025 – 03 – 13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1725.C.20241121.1632.004.html>. Feng Q L, An Q, Fang W. Research on the impact of digital technology empowerment on key core technology innovation in Chinese high – tech manufacturing enterprises [J/OL]. Chinese Journal of Management, 1 – 10 [2025 – 03 – 13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1725.C.20241121.1632.004.html>.
- [16] 卢建霖, 蒋天颖. 制造业智能化对企业关键核心技术能力的影响及机制研究[J]. 科研管理, 2024, 45(11): 109 – 118. Lu J L, Jiang T Y. The impact and mechanisms of manufacturing intelligence on enterprises’ key core technology capabilities [J]. Science Research Management, 2024, 45(11): 109 – 118.
- [17] 张培, 董珂隽. 制造企业数据赋能实现机理研究: 关键要素和作用机制[J]. 科学学与科学技术管理, 2023, 44(8): 94 – 111. Zhang P, Dong K J. Research on the realization mechanism of data empowerment in manufacturing enterprises: Key elements and mechanisms [J]. Science of Science and Management of Science and Technology, 2023, 44(8): 94 – 111.
- [18] 马亮, 高峻, 仲伟俊, 等. 数字化转型助力后发企业技术赶超——企业家精神视角[J]. 管理科学, 2023, 36(2): 53 – 74. Ma L, Gao J, Zhong W J, et al. Digital transformation facilitates latecomer enterprises’ technological catch – up: From the perspective of entrepreneurship [J]. Journal of Management Science, 2023, 36(2): 53 – 74.
- [19] 郑刚, 朱国浩, 邬爱其, 等. 专精特新企业产学研知识共创与工艺类关键核心技术突破——基于隶属集团型企业中集圣达因的案例研究[J]. 管理世界, 2025(4): 193 – 217. Zheng G, Zhu G H, Wu A Q, et al. Industry – university – research knowledge co – creation and process – oriented key technology breakthroughs in specialized SMEs: A case study of CIMC Sundryne [J]. Management World, 2025(4): 193 – 217.
- [20] Schenkenhofer J. Hidden champions: A review of the literature & future research avenues [J]. Management Review Quarterly, 2022, 72(2): 417 – 482.
- [21] Ciriello R F, Richter A, Schwabe G. Digital innovation [J]. Business & Information Systems Engineering, 2018, 60: 563 – 569.
- [22] Yoo Y, Henfridsson O, Lyytinen K. Research commentary—the new organizing logic of digital innovation: An agenda for information systems research [J]. Information Systems Research, 2010, 21(4): 724 – 735.
- [23] Nambisan S, Lyytinen K, Majchrzak A, et al. Digital innovation management [J]. MIS Quarterly, 2017, 41(1): 223 – 238.
- [24] Bharadwaj A, El Sawy O A, Pavlou P A, et al. Digital business strategy: Toward a next generation of insights [J]. MIS Quarterly, 2013: 471 – 482.
- [25] 白世贞, 郑敏, 魏胜. 我国中小企业成本、市场和制度障碍实证研究[J]. 中国软科学, 2023(2): 146 – 156. Bai S Z, Zheng M, Wei S. An empirical study on cost, market, and institutional barriers for SMEs in China [J]. China Soft Science, 2023(2): 146 – 156.
- [26] 张米尔, 张霖霖, 任腾飞. 培育行动对单项冠军专利国际化的影响——基于准自然实验的政策评价研究[J]. 科研管理, 2024, 45(10): 152 – 159. Zhang M E,

- Zhang L L, Ren T F. The impact of cultivation actions on patent internationalization of single - item champions: A quasi - natural experiment - based policy evaluation [J]. *Science Research Management*, 2024, 45 (10): 152 - 159.
- [27] 徐妍,毕梦潇,柴映. 数实融合提升关键核心技术领域企业创新效率的研究——基于中国A股上市公司的数据检验[J/OL]. *科研管理*, 1 - 18 [2025 - 03 - 06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1567.G3.20241226.1147.002.html>. Xu Y, Bi M X, Chai Y. Research on the enhancement of enterprise innovation efficiency in key core technology fields through digital - real integration: Evidence from China's A - share listed companies [J/OL]. *Science Research Management*, 1 - 18 [2025 - 03 - 06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1567.G3.20241226.1147.002.html>.
- [28] 郭爱其,吴轶珂. 数字技术应用对中小企业成长的赋能机制——专精特新战略导向的中介效应[J]. *科学学研究*, 2026, 44(2): 410 - 420. Wu A Q, Wu Y K. The enabling mechanism of digital technology adoption on SME growth: The mediating role of specialization and innovation strategic orientation [J]. *Studies Science of Science*, 2026, 44(2): 410 - 420.
- [29] 郑刚,朱国浩,莫康. 制度型市场利用、动态能力与技术追赶[J]. *浙江大学学报(人文社会科学版)*, 2024, 54(4): 18 - 36. Zheng G, Zhu G H, Mo K. Institutional market utilization, dynamic capabilities, and technological catch - up [J]. *Journal of Zhejiang University (Humanities and Social Sciences)*, 2024, 54 (4): 18 - 36.
- [30] 吕铁,李载驰. 中小制造企业数字化转型——基于数字技术双重特征的分析[J]. *学术月刊*, 2022, 54 (10): 59 - 69. Lyu T, Li Z C. Digital transformation of small and medium manufacturing enterprises: An analysis based on the dual characteristics of digital technologies [J]. *Academic Monthly*, 2022, 54(10): 59 - 69.
- [31] 郑刚,莫康,朱国浩. 互补资产链接能力、吸收速度与核心技术突破[J]. *科研管理*, 2024, 45(9): 21 - 32. Zheng G, Mo K, Zhu G H. Complementary asset linkage capability, absorption speed, and core technology breakthroughs [J]. *Science Research Management*, 2024, 45(9): 21 - 32.
- [32] Rothaermel F T, Deeds D L. Exploration and exploitation alliances in biotechnology: A system of new product development[J]. *Strategic Management Journal*, 2004, 25(3): 201 - 221.
- [33] 武宪云,苏敬勤,杨道虹,等. 数字技术可供性实现下的数字化转型企业组织惯性构建机制研究[J]. *科研管理*, 2024, 45(5): 34 - 42. Wu X Y, Su J Q, Yang D H, et al. Research on the organizational inertia formation mechanism of digital transformation enterprises under digital technology affordances [J]. *Science Research Management*, 2024, 45(5): 34 - 42.
- [34] 邓新明,罗欢,杨赛凡,等. 基于静态与动态双重视角下的企业规模、竞争复杂性与市场绩效的关系研究——来自中国家电行业的实证检验[J]. *管理评论*, 2021, 33(12): 284 - 294. Deng X M, Luo H, Yang S F, et al. The relationship between firm size, competitive complexity, and market performance: A static and dynamic dual perspective—Empirical evidence from China's home appliance industry [J]. *Management Review*, 2021, 33(12): 284 - 294.
- [35] 马鸿佳,林槌,司伟婷. 机会 - 资源一体化对中小制造企业数字化转型的影响研究[J]. *科研管理*, 2025, 46(1): 73 - 82. Ma H J, Lin Y, Si W T. Research on the impact of opportunity - resource integration on digital transformation of small and medium manufacturing enterprises [J]. *Science Research Management*, 2025, 46 (1): 73 - 82.
- [36] 闫红,井润田,黄雪莲. 组织势: 研究现状与未来研究展望[J]. *管理学报*, 2016, 13(1): 148 - 156. Yan H, Jing R T, Huang X L. Organizational momentum: Research status and future prospects [J]. *Chinese Journal of Management*, 2016, 13(1): 148 - 156.
- [37] 温湖炜,王圣云. 数字技术应用对企业创新的影响研究[J]. *科研管理*, 2022, 43(4): 66 - 74. Wen H W, Wang S Y. Research on the impact of digital technology application on enterprise innovation [J]. *Science Research Management*, 2022, 43(4): 66 - 74.
- [38] 杨思远,王康. 数字技术能提升企业业绩吗? 来自中关村海淀科技园的微观证据[J]. *科研管理*, 2023, 44 (1): 26 - 36. Yang S Y, Wang K. Can digital technology improve corporate performance? Micro - evidence from Zhongguancun Haidian Science Park [J]. *Science Research Management*, 2023, 44(1): 26 - 36.
- [39] 焦豪,杨季枫,金宇珂. 企业消极反馈对战略变革的影响机制研究——基于动态能力和冗余资源的调节效应[J]. *管理科学学报*, 2022, 25(8): 22 - 44. Jiao H, Yang J F, Jin Y K. The influence mechanism of negative feedback on strategic change: Moderating effects of dynamic capabilities and slack resources [J]. *Journal of Management Science in China*, 2022, 25 (8): 22 - 44.

The impact of digital technology on the breakthroughs of key core technologies of SMEs: Evidence from first – of – a – kind and first – batch innovations

WU Ai – qi, ZHU Guo – hao

(School of Management, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: In recent years, China has intensified its focus on achieving breakthroughs in key core technologies across strategic domains. However, there are still gaps in existing research. First, prior studies predominantly concentrate on large enterprises, overlooking the specialized expertise, operational flexibility, and efficiency advantages inherent to small and medium – sized enterprises (SMEs). This oversight obscures the unique role of SMEs in accomplishing significant technological advancements despite their smaller scale. In practice, many SMEs specialize in niche segments of industrial chains, accumulating technical expertise and innovative capabilities over time. Their focused positioning often enables them to outperform larger firms in breakthroughs related to critical materials, components, and manufacturing processes within specific supply chain nodes. Moreover, large enterprises’ efforts to overcome key technological bottlenecks frequently depend on collaborative support from specialized SMEs. Second, while SMEs universally face innovation constraints—including limited R&D resources, insufficient technological collaboration, and narrow innovation search scopes—digital technologies, as a novel factor of production, hold potential to mitigate these barriers and propel critical technological breakthroughs. Existing scholarship has explored pathways, outcomes, and influencing factors of SMEs’ technological advancements but pays inadequate attention to the role of digital technologies. Third, the development of “first – of – a – kind” and “first of batch”, a distinctive policy – driven innovation practice in China, represents a critical yet unexplored frontier for core technology breakthroughs, warranting deeper scholarly investigation.

To address these gaps, this study examines how digital technologies influence SMEs’ breakthroughs in key core technologies and identifies boundary conditions shaping this relationship. Utilizing a sample of SMEs in Hangzhou, Zhejiang Province, and situating the analysis within their engagement in “first – of – a – kind” and “first of batch” innovation initiatives—a national policy context aimed at accelerating the commercialization of pioneering technologies, we investigate the mechanisms through which digital technologies facilitate of breakthroughs of key core technologies of SMEs. We further analyze the moderating roles of absorptive capacity, organizational scale, and market power.

Our empirical findings demonstrate that digital technologies significantly enhance SMEs’ capacity to achieve breakthroughs of key core technologies, but these effects are contingent on firm – specific characteristics: absorptive capacity and market power amplify the benefits of digital adoption, whereas larger organizational scale paradoxically diminishes its efficacy. This moderating effect of scale suggests that while digital tools democratize access to innovation resources, organizational growth may introduce bureaucratic rigidity that erodes the agility central to SMEs’ competitive advantage.

Our findings enrich theoretical understanding of antecedents and contextual factors in SMEs’ pursuit of key core technology breakthroughs. By challenging conventional scale – centric innovation paradigms, the study reveals how digital technologies can accelerate innovation dynamics to favor specialized, agile firms. Practically, it provides policymakers with evidence – based insights to design targeted intervention, such as enhancing digital infrastructure accessibility, fostering SME – centric innovation ecosystems, and optimizing fiscal incentives for collaborative R&D—that leverage digitalization to amplify SMEs’ disruptive potential. For SMEs, the findings emphasize strategic imperatives: cultivating dynamic capabilities to harness digital resources while maintaining organizational flexibility to avoid scale – induced inefficiencies. By bridging the digital divide and rebalancing innovation ecosystems, this research contributes to strategies that harness SMEs’ technological vitality to drive high – quality industrial development, ultimately advancing strategic goals of technological self – reliance of China.

Key words: digital technology; breakthroughs of key core technologies; SMEs; first – of – a – kind and first – batch