

航天商业化与数字技术创新

杨浩东^{1,2}, 苏 曼^{3,4}

(1. 清华大学技术创新研究中心, 北京 100084; 2. 清华大学经济与管理学院, 北京 100084;
3. 北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094; 4. 中国人民大学, 北京 100872)

摘要: 制度被视为影响技术创新的关键前因, 亦是驱动组织转型的重要条件。本文聚焦航天这一长期由政府计划主导的高壁垒领域, 关注制度开放背景下的企业创新活动。借助“技术—组织—环境”(TOE)理论构建分析框架, 利用航天领域准入制度改革这一准自然实验, 采用因果森林方法评估航天商业化对企业数字技术创新的影响。结果显示, 制度开放显著促进了企业数字技术创新, 且这一影响在大型国有企业中表现更为突出。作用机制可归结为三个方面: 其一, 技术维度, 航天商业化通过知识整合效应和数字转型效应, 推动数字技术创新; 其二, 组织维度, 航天商业化增加了银行贷款, 并通过经营压力效应倒逼数字技术创新; 其三, 环境维度, 航天商业化形成行业竞争效应, 在未依赖于研发补贴的情况下加速数字技术创新。研究结果为理解使命导向政策下制度开放影响技术创新的内在逻辑提供了经验证据, 并为政府完善市场机制、培育耐心资本, 以及企业把握机会之窗、推进数字创新转型提供实践启示。

关键词: 航天商业化; 数字技术创新; 制度开放; 使命导向型创新

中图分类号: F204 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0566(2026)09-0186-15

Space commercialization and digital technology innovation

YANG Haodong^{1,2}, SU Man^{3,4}

(1. *Research Center for Technological Innovation, Tsinghua University, Beijing 100084, China;*
2. *School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China;*
3. *Beijing Institute of Tracking and Telecommunications Technology, Beijing 100094, China;*
4. *Renmin University of China, Beijing 100872, China*)

Abstract: Institutions are regarded as antecedent conditions that shape technological innovation. This study examines firm innovation activities in the space sector, with particular attention to institutional opening in this field. Drawing on the technology-organization-environment framework, it develops an analytical model comprising six major effects. By exploiting reforms in market access regulation in the space sector, we employ a causal forest approach to estimate the impact of space commercialization on firms' digital technology innovation. The findings indicate that institutional opening significantly enhances firms' digital technology innovation, and that this effect is more pronounced among large state-owned enterprises. The underlying mechanisms can be understood along three dimensions. First, at the technological level, space commercialization advances digital technology innovation through knowledge integration and digital transformation effects. Second, at the organizational level, it induces firms to pursue digital technology innovation

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“中国企业创新链产业链融合发展模式与机制研究”(72232004); 国家自然科学基金青年科学基金项目(C类)“使命导向型研发项目与企业颠覆性技术创新: 效应、机制与优化策略”(72604211); 清华大学习近平新时代中国特色社会主义思想研究院项目“系统观念视域下使命导向型科技创新研究”(QHTHUXYY202514)。

作者简介: 杨浩东(1998—), 男, 安徽蚌埠人, 清华大学技术创新研究中心助理研究员, 博士, 研究方向为创新管理。通信作者: 苏曼。

through heightened operational pressure, while also generating a financing expansion effect. Third, at the environmental level, it generates an industry competition effect that accelerates digital technology innovation, although the policy support effect is not strengthened. This study provides empirical evidence on the internal logic through which institutional opening shapes technological innovation under mission-oriented innovation policy, offering valuable implications for governments seeking to refine market mechanisms, as well as for firms aiming to seize the window of opportunity.

Key words: space commercialization; digital technology innovation; institutional opening; mission-oriented innovation

创新不仅取决于技术本身,也嵌入制度环境之中^[1]。有效的干预能够优化市场结构,提升资源配置效率。上述逻辑正推动使命导向型创新范式形成,政策目标不再仅限于弥补研发投入不足或促进创新系统内部知识扩散,而是通过制度设计来塑造新兴技术需求,并通过开辟新的应用场景释放创新解决方案的多元价值^[2-3]。航天商业化或所谓“新空间”(new space),正是其典型实践。本文将这一过程定义为在使命演进下实施制度开放,推动航天活动从政府主导的技术攻关转向公私协同的价值创造,在实现航天战略目标的同时,创造可持续的商业回报。制度场域的深刻变迁推动了商业航天兴起,创造了巨大的市场空间。数据估算,全球太空经济规模 2030 年有望突破一万亿美元^[4]。

制度变革引致要素重组,推动了数字要素向传统高壁垒领域加速渗透^[5-6]。从行业特征看,航天领域引入数字技术,将物理空间航天实体映射至数字空间,使得进入空间、利用空间的门槛逐渐降低。随着卫星技术快速发展,巨型星座在全球导航、遥感、通信等领域显现商业价值。这一过程中,航天活动的价值重心也发生转移,由物理运载扩增为数据生成、传输、处理与应用。从进入者特征看,国际数字企业在制度开放背景下纷纷进入空间领域。蓝色起源、SpaceX 即为典型代表,两者此前分别在亚马逊与贝宝积累了数字产业运营经验。进入航天领域后,将快速迭代、精益控制等数字理念引入航天活动以降低成本。可见,制度开放不仅改变了航天领域的准入格局,也打通了数字要素跨界融合渠道,为观察制度变迁与技术演进关系创建了独特场域。

围绕制度开放与创新间关联,现有文献从多个维度展开探讨。有的研究学者从资本^[7]、标准

开放^[8],揭示制度开放型政策的创新效应。围绕市场准入与竞争治理,有文献关注负面清单制度的实施,探讨竞争规则强化对企业创新的冲击^[9]。还有研究学者从土地、数据等要素视角,分析了市场化改革如何影响技术创新^[10-11]。尽管上述研究为理解制度与创新关系提供了基础,但未深入具体产业变革层面,这也就无法打开制度影响创新的黑箱。更为重要的是,不同于一般产业,航天长期面向国家安全,受到严格的准入管制。这意味着商业化变革并非单纯的市场化进程,而更契合当前新型举国体制下的技术创新模式,亦或马祖卡托所阐述的新一代使命导向型创新^[12]。通俗地说,航天商业化呈现出“国家主导、市场参与”的混合模式特征,无论在美国^[12-13]、欧洲^[13]还是中国均有所体现。

事实上,创新研究已注意到航天产业的这一演变趋势。Mazzucato 等^[12]以公私合作变化为切入点,指出 NASA 正在从传统主导者向协调者转变。在此基础上,他们进一步对比了美欧航天政策,揭示使命导向型创新实践下的多元共治特征^[13]。Caliari 等^[14]对巴西航空产业的分析也印证了这一判断。Bousedra^[6]则将这一趋势归纳为新空间时代特征,强调私营企业、新型商业模式正在重塑航天产业的价值逻辑。张超等^[15]进一步指出引入市场机制后,SpaceX、BlueOrigin 等民营企业打破了“低成本—高质量”的创新悖论。尽管上述研究敏锐地捕捉到航天领域涌现出的新现象、新特征,但总体上多停留于案例分析或政策梳理,侧重于对航天商业化进程的定性呈现,但对制度变革究竟能否以及如何影响创新,尚缺乏系统评估,这也就无法进一步增进对这类使命导向型创新实践的理解。

综上,本文基于中国航天制度变革情境,结合

航天领域数字化转型趋势,回应问题包括:①航天商业化对领域企业数字技术创新产生何种影响;②倘若效应存在,冲击背后的作用机理是什么;③哪些企业的数字创新响应更为强烈。与现有文献相比,本文的不同之处主要体现在以下方面。

其一,研究视角上,从军民两用战略领域商业化语境,评估制度开放的数字技术创新效应。现有研究对制度与创新关系的分析,通常横跨多个行业,研究对象以民口产业为主。本文以航天这一军民两用领域的商业化改革为切入点,聚焦长期由计划主导的高壁垒领域市场准入变革对研发活动的影响。这样的研究设计,为观察制度开放如何影响技术创新提供了独特的分析视域,同时在识别因果关系上具备更为天然的前提条件。

其二,分析框架上,揭示商业化进程影响数字技术创新的多维机制。现有文献在分析制度开放创新效应时,多限于行业层面的竞争效应或组织层面的资源效应。本文借助“技术—组织—环境”(Technology-Organization-Environment, TOE)框架,更为全面地揭示制度开放下数字技术创新效应背后的作用机制。

其三,研究方法上,开展更趋近因果的效应识别和个体层面的异质性分析。本文在进行倍差法(difference in difference, DiD)估计的同时,进一步引入因果森林模型(Causal Forest),通过诚实样本分割与正交化处理,剥离特征因素影响,并有效规避对函数形式的依赖;在此基础上,预测个体处理效应,刻画企业异质性响应画像。

一、制度背景与分析框架

(一)制度背景

(1)商业航天孕育期。最初,中国航天事业依托国家计划体制运行,以服务国防安全为使命。改革开放后,国家对航天系统的投入方式逐步调整,原有财政保障下的资源供给模式难以满足航天事业发展需要。1985年,中国政府宣布长征火箭进入国际市场,承揽国外卫星发射业务,成为中国航天主动接触商业市场的起点。此后,1999年中国航天工业总公司拆分为中国航天科技集团和中国航天科工集团,进一步剥离行业管理职能,奠

定了现有航天工业格局。

(2)商业航天破冰期。2014年年底,国务院发布《关于创新重点领域投融资机制鼓励社会投资的指导意见》(以下简称《意见》),提出鼓励民间资本进入商业遥感卫星的研制、发射与运营。此后,国务院于2015年印发《中国制造2025》,将航空航天装备列为十大重点领域之一,明确提出培育可持续的商业航天创新能力与产业生态。同年,《国家民用空间基础设施中长期发展规划(2015—2025年)》(以下简称《规划》)明确提出探索国家民用空间基础设施市场化、商业化发展新机制,支持和引导社会资本参与国家民用空间基础设施建设。随着上述政策的落地实施,2015年也被新华网、《经济日报》等媒体界定为中国商业航天元年。政策红利的释放催生了蓝箭航天、星际荣耀等中国民营航天企业。同时,传统航天“国家队”也开始主动布局商业航天赛道,形成“国家队”引领、民营企业协同的产业生态。

(3)商业航天加速发展期。近年来,商业航天战略定位持续升维。2024年,商业航天首次被写入政府工作报告,并被定位为新增长引擎。2025年,国家航天局成立专门的商业航天司,发布《推进商业航天高质量发展安全发展行动计划(2025—2027年)》,标志着行业管理逐步从多头治理转向专人专管。2026年,政府工作报告将航空航天定位为新兴支柱产业,首次将卫星互联网单列。这一背景下,中国商业航天按下“快进键”,产业规模从2015年的3000多亿元增长至2025年的2.83万亿元,10年增长近10倍。

(二)分析框架

“技术—组织—环境”框架由Tornatzky等^[16]提出,并被视为解释组织技术采纳与实施的重要分析工具。该框架认为上述过程并非由单一因素决定,而是受技术、组织和环境三类因素共同作用。近年来,框架已广泛应用于创新,特别是数字创新研究,并逐渐从技术采纳扩展到分析数字化转型和数字技术创新的复杂前因^[17-18]。本文选择在航天商业化背景下,深入探讨技术、组织和环境三个维度中的六个细分效应。

(1)技术维度。数字技术创新的实现依赖于两个关键前提。一是知识基础。鉴于充分且多样化的知识储备是推动技术创新的重要支撑^[19],本文重点探讨航天商业化进程如何影响企业知识获取及内化。二是数字化基础。数字技术创新不仅要求组织对数字化有深刻认知,还需在创新实施后具备可应用的场景^[20]。可见,数字化基础是企业开展数字技术创新的又一重要前提。

(2)组织维度。本文从内外两个层面分析这一维度。对于内部经营,企业的经营状况直接影响资源拥有量,并决定有多少资源能够投入到创新活动中^[21]。本文将重点探讨航天商业化进程对企业经营的影响。对于外部融资,组织的资源不仅依赖于自身业务发展,还需借助外部资金支持^[22]。本文将关注航天商业化进程对企业外部融资渠道的影响。

(3)环境维度。本文聚焦于两类环境。一是行业环境。鉴于企业所处行业竞争环境必然对其创新活动产生影响^[22],本文重点关注航天商业化进程对行业竞争的冲击。二是政策环境。企业在国家与市场的双重逻辑下进行创新活动,政策条件不可避免地会影响其创新进程^[21,23]。由此,研究还将关注航天商业化进程中政策支持环境的变化。

二、假设形成

(一)技术维度:知识整合效应与数字转型效应

知识整合效应:传统航天主要围绕国家任务展开,资源配置更多依赖自上而下的行政指令。研发过程封闭性较强,参与主体多为体系内科研院所、军工企业。受此影响,创新合作半径存在一定约束。相较之下,航天商业化改革后领域逐步开放,创新网络边界明显拓展。随着外部主体尤其是数字企业涉入,航天企业的互动对象显著增加。例如,SpaceX 与微软合作提供卫星云服务;Maxar 与 NTT 联合开发高精度地图;航天科技集团与华为共同推进遥感产业云建设。多元主体进入不仅增加了合作数量,也提升了知识异质性。已有研究表明,与不同类型创新主体建立合作关系,是实现技术创新的重要途径,而知识流动正是其中的关键驱动力^[24]。合作网络中的知识多样性,有助于

企业拓展外部知识源,进而改善创新绩效^[19]。基于此,提出以下假设:

H1:航天商业化通过增加研发合作,提升企业知识多样性,进而促进数字技术创新

数字转型效应:传统航天开发复杂产品系统多依赖层级串行管理,这一定程度上有助于保障重大任务实施,但也带来信息链较长、协同效率不足、以及动态响应不及时等问题。相较之下,商业航天推动行业进入一个快速迭代的阶段,数字化转型的重要性由此凸显。实践中,航天科工建设数字孪生驱动的小卫星柔性智能生产线,推动研制模式由物理试错转向虚拟优化迭代。数字化转型之所以能够促进数字技术创新,主要体现在两个方面。其一,有助于改进信息获取、处理方式,增强企业对外部知识的吸收、整合和利用能力,并改善内部治理^[20]。其二,随着数字技术嵌入业务流程,企业对数据处理、智能分析等能力的需求持续增加,形成对数字技术的拉动。为适应数字转型过程中的技术需求,企业需加大数字技术研发投入。基于上述分析,研究提出以下假设:

H2:航天商业化通过倒逼组织数字化转型,促进数字技术创新

(二)组织维度:经营压力效应与融资拓增效应

经营压力效应:传统航天活动由国家使命牵引,企业产品主要面向特定主体,受外部波动影响较小。同时,传统航天更强调技术目标,绩效评价取决于使命达成与否。成本控制虽为重要考量因素,但尚未构成主导性约束。相较之下,航天商业化对企业经营逻辑产生了冲击。商业航天企业不仅需要可靠性前提下压缩成本,还须回应客户和市场提出的要求,将技术优势转化为订单收入。本文将经营压力归结为两个方面:一是商业回报尚未形成闭环,且为实现商业可持续,企业需要将发射成本从数亿美元降至千万级别;二是研发成本高企,企业需要投入大量经费用于研发,叠加较长的投资回报周期,进一步加剧组织经营压力。但也需要指出,经营压力可能倒逼企业开展创新^[22,25]。当外部竞争加剧、利润空间收窄时,组织往往会将有限资源集中于更具潜力的创新活动,

强化新产品、新技术布局,主动开辟新业务领域。这一机制已在一般情境下的盈利压力与创新关系研究中得到验证^[25],也在产品进入跨国市场后本土企业的创新响应中获得印证^[22]。基于此,本文提出假设:

H3:航天商业化通过增加组织经营压力,倒逼企业开展数字技术创新

融资扩增效应:传统航天活动主要依托体系内资源配置,外部资本进入程度有限。数字技术创新具有迭代速度快、不确定性强等特点,对持续且及时的资金投入提出更高要求^[26]。政策层面鼓励社会资本进入,从两个方面对企业融资产生积极影响。首先,制度开放拓宽了企业融资渠道。《意见》明确鼓励民间资本参与商业遥感卫星研制,《规划》则进一步提出支持并引导社会资本参与国家民用空间基础设施建设。其次,政策通过拓展应用场景强化了市场盈利预期。随着卫星互联网、商业遥感、导航应用及空间数据服务等业务兴起,航天企业的市场前景持续向好。航天科技集团旗下航天投资控股联合中核集团、中船集团、兵装集团、兵工集团以及中国人保、中信银行、中信证券等金融机构,共同发起设立产业发展基金。现有文献揭示,资本市场开放促进了高融资约束型企业强化自主创新^[7];同时,金融管制放松也能够通过信贷扩张促进研发^[27]。基于上述分析,有理由提出假设:

H4:航天商业化增加了组织外部融资,进而促进企业开展数字技术创新

(三)环境维度:行业竞争效应与政策支持效应

行业竞争效应:传统航天活动涉入壁垒高,企业间互动更多表现为体系内分工协作。企业虽面临任务压力,但市场竞争的影响相对有限。相比之下,航天商业化改革引入市场机制,跨界企业涉入航天业务,行业也由相对封闭转向开放竞争。随着发射服务、卫星制造等环节商业化程度提升,企业竞争已不再局限于传统技术能力,而是进一步延伸到成本控制、交付周期、场景开发等多个维度。由此,行业竞争明显加剧,组织依赖既有技术维持优势的空间被压缩。例如,NASA 商业载人项

目由波音和 SpaceX 两家公司竞争提供载人运输服务,反映传统承包商需与新兴商业航天企业竞争。以 SpaceX、Blue Origin 等为代表的商业航天势力通过更低成本迫使传统承包商转型。现有文献揭示了竞争对创新的促进作用^[22],核心在于压缩企业依赖既有模式获取利润的空间,强化通过创新重塑竞争优势的动机。同时,为避免陷入同质化,企业可能会主动创新以建立差异化优势。基于以上,本文提出以下假设:

H5:航天商业化通过强化行业竞争促进企业开展数字技术创新

政策支持效应:传统航天依托举国体制运行,政策工具多通过需求端采购拉动研发活动。科研主体资源获取通常源于国家专项计划支持。相比之下,改革后的政策逻辑发生变化。随着商业航天从单纯服务国家任务转向兼具市场培育的功能,政策目标不仅局限于任务完成,还包括壮大产业链条,促进创新生态形成。这一背景下,单一采购可能无法完全满足政策目标,尤其是对于初创企业或新进入者,往往缺乏足够的现金流^[21]。因此,与其他幼稚产业类似^[28],商业航天企业普遍面临前期投入高、技术不确定性强等挑战。公共部门提供研发补贴培育商业航天市场主体,可能成为组织数字技术创新的重要资源。基于此,本文提出以下假设:

H6:航天商业化通过为组织提供更多研发补贴促进企业数字技术创新

三、研究设计

(一)估计模型

为评估航天商业化对企业数字技术创新影响,本文采用倍差法作为基准估计策略:

$$DTI_{it} = \alpha + \beta_1^{TWFE} Plan_{it} + \gamma_2 X_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中, DTI_{it} 表示企业*i*在*t*期的数字技术创新水平; $Plan_{it}$ 为处理变量,刻画企业是否在特定时期受到政策冲击。 X_{it} 为一系列控制变量; μ_i 和 λ_t 分别表示企业固定效应和年份固定效应; ε_{it} 为随机扰动项。参数 β_1^{TWFE} 则反映平均处理效应。在此基础上,本文引入因果森林(Casual forest, CF)以

缓解传统 DID 中模型设定刚性,识别个体层面的异质性处理效应^[29]。因果森林采用基于倾向得分的修正准则,使分裂变量与分裂点选择能够有效平衡处理组与控制组之间的协变量分布,从而缓解非随机选择偏差。在高维特征空间中以数据驱动方式识别异质性处理效应。估计目标可表示为:

$$\hat{\theta}(X_i) = \operatorname{argmin}_{\theta} \left\{ \sum_{i=1}^n [Y_i - \hat{m}^{(-i)}(X_i)] - \theta(X_i) [Plan_i - \hat{p}^{(-i)}(X_i) + \lambda_n[\theta(\cdot)]]^2 \right\} \quad (2)$$

其中, $\hat{\theta}(X_i)$ 表示个体 i 的条件平均处理效应估计值; $\hat{m}^{(-i)}(X_i)$ 为基于袋外预测得到的结果回归函数,用于刻画协变量对结果变量的影响; $\hat{p}^{(-i)}(X_i)$ 为袋外预测得到的倾向得分,用于表征个体接受处理的条件概率; $\lambda_n[\theta(\cdot)]$ 为正则化项,约束模型复杂度并抑制过拟合。在获得 $\hat{\theta}(X_i)$ 后,进一步对全部样本的个体处理效应求均值,即可得到总体平均处理效应:

$$\widehat{ATE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{\theta}(X_i) \quad (3)$$

(二) 变量选取

1. 被解释变量

依据国家知识产权局发布的《关键数字技术专利分类体系(2023)》及其与国际专利分类(IPC)的对应关系^[30],对申请专利与授权专利进行识别,在此基础上汇总形成企业年度数字发明专利申请数($DTI1$)和授权数($DTI2$),以表征组织数字技术创新产出。

2. 处理变量

本文参考《意见》《规划》等政策文件出台时间,结合国家航天局等机构表述,以及新华网、《经济日报》权威媒体报道,将 2015 年界定为航天商业化改革起点,并据此构建处理变量($Plan$)。若企业属于航天商业化改革影响范围内的样本,且年份处于 2015 年及以后,则 $Plan$ 取值为 1,否则取值为 0。在稳健性检验中,以企业年报关键词扫描的方式对处理效应变量进行重构,在保持冲击年份不变的前提下,参照彭俞超等^[31]的做法,以前一年出现的关键词数量代替上述赋值。

3. 机制变量

为揭示航天商业化改革影响数字技术创新的

内在路径,本文从知识整合效应、数字转型效应、经营压力效应、融资拓展效应、行业竞争效应、政策支持效应六个方面设置机制变量。

第一,知识整合效应变量。以企业共专利数量($Co-pat$)和知识宽度($Breadth$)作为代理。后者以专利 IPC 分类号在大组层面的分布,借鉴赫芬达尔—赫希曼指数的计算逻辑测度知识集中程度,再以 1 减去该数值^[32]。

第二,数字转型效应变量。基于上市公司财务报告附注中无形资产明细项,若包含“软件”“网络”“客户端”“管理系统”“智能平台”等与数字化转型相关的关键词,将其界定为数字化无形资产^[33],反映组织数字化转型水平($Digital$)。

第三,经营压力效应。以净利润($Profit$)和营业总收入($Revenue$)作为代理指标。其中,前者反映企业盈利表现,营业总收入用于刻画企业经营体量及市场实现能力。

第四,融资拓展效应。一方面,以银行贷款规模($Loan$)反映企业债务融资可得性;另一方面,采用 SA 、 KZ 和 FC 等指标刻画企业面临的融资约束程度。

第五,行业竞争效应。考虑两类市场份额变量: $Marketshare1$ 表示企业当年营业收入占所在行业营业收入总额的比重; $Marketshare2$ 则依主营业务收入按同样的逻辑计算而得。此外,还纳入个股勒纳指数($Lernerindex$),用于衡量企业市场势力^[34]。

第六,政策支持效应。基于财务报表附注中用途包含“创新”“科技”“技术”“研发”“知识产权”“产业化”等关键词的财政补贴^[35],经逐项审阅筛选后加总界定为研发补贴($Subsidy$)。

4. 协变量

本文从企业基本特征、财务资产状况和治理结构三个层面引入控制变量。企业基本特征方面,纳入公司规模($Size$),以总资产取对数表示;员工规模($Staffnumber$),以员工人数取对数测度;企业年龄($Firmage$),以成立年限取对数表征;区域变量($Area$),根据注册地将企业划分为东部、中部、西部和东北地区,并赋值 1 至 4;国有属性(SOE),国有企业取 1,其他企业取 0。财务资产

状况方面,纳入总资产收益率(*ROA*),用于反映资产利用效率;现金流比率(*Cashflow*),以经营活动现金流量净额与总资产之比衡量;托宾 *Q* 值(*TobinQ*),用于表征资本市场预期;审计质量(*Big4*),若企业由境内四大会计师事务所审计,则赋值为 1,否则为 0;无形资产占比(*Intangible*),以无形资产净额占总资产的比例衡量;固定资产占比(*Fixed*),以固定资产净额占总资产的比重表征。治理结构方面,纳入两职合一(*Dual*),若董事长兼任总经理则取 1,否则取 0;管理层持股比例

(*Mshare*),以董事、监事及高级管理人员持股数量占公司总股本的比重衡量;管理层男性占比(*Maleratio*),反映高管团队性别结构;管理层平均年龄(*Averageage*),用于刻画管理层经验积累及风险偏好;教育背景(*Eduback*),若高管团队中研究生及以上学历者占比一半以上,则赋值为 1,否则为 0。此外,为避免外部政策的干扰,研究进一步将工业互联网示范企业试点(*II_policy*)、智能制造示范企业试点(*IM_policy*)等政策变量纳入协变量范畴。

表 1 描述性统计

变量	均值	标准差	最小值	最大值	均值	标准差	最小值	最大值
	处理组				对照组			
结果变量								
<i>DTI1</i>	0.007 7	0.007 1	0.000 0	0.019 5	0.002 8	0.005 0	0.000 0	0.019 2
处理变量								
<i>Plan</i>	0.758 0	0.428 7	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
机制变量								
<i>Co-pat</i>	0.002 4	0.004 5	0.000 0	0.025 3	0.001 3	0.003 7	0.000 0	0.025 3
<i>Breadth</i>	0.320 5	0.317 7	0.000 0	0.943 4	0.391 5	0.301 4	0.000 0	0.943 5
<i>Digital</i>	15.504 4	1.443 3	14.457 3	19.878 8	15.484 9	1.257 5	14.457 3	19.878 8
<i>Profit</i>	24.957 4	0.006 2	24.921 1	25.004 7	24.962 8	0.043 7	23.723 7	26.254 8
<i>Revenue</i>	21.119 5	1.044 7	19.313 2	23.758 2	21.557 2	1.310 4	19.277 9	24.713 8
<i>Loan</i>	17.174 2	6.381 2	0.000 0	22.436 2	18.601 3	6.077 5	0.000 0	27.090 5
<i>SA</i>	3.790 7	0.252 9	3.158 6	4.475 0	3.825 3	0.292 0	2.073 6	5.863 1
<i>KZ</i>	1.228 0	1.957 9	-11.296 1	7.555 9	0.887 1	2.476 1	-11.455 4	12.979 5
<i>FC</i>	0.578 6	0.229 5	0.063 6	0.965 5	0.501 6	0.279 0	0.000 1	0.996 7
<i>Marketshare1</i>	0.333 6	0.936 1	0.002 9	14.789 3	2.128 3	5.595 2	0.007 8	39.466 8
<i>Marketshare2</i>	0.330 0	0.904 2	0.002 7	14.225 5	2.072 2	5.462 8	0.004 1	38.367 6
<i>Lernerindex</i>	0.180 7	0.150 5	-0.484 1	0.709 4	0.141 9	0.128 4	-0.246 5	0.549 4
<i>Subsidy</i>	14.051 7	0.301 5	14.006 1	21.254 6	14.167 8	0.545 7	13.561 3	21.254 6
控制变量								
<i>Size</i>	21.920 4	0.954 8	18.986 9	24.561 3	22.112 3	1.384 4	16.638 0	28.790 8
<i>Staffnumber</i>	7.275 2	1.109 9	4.787 5	9.868 6	7.628 7	1.265 5	0.693 1	13.783 9
<i>Firmage</i>	2.801 8	2.824 4	0.357 3	3.688 9	2.908 2	0.367 8	0.000 0	4.262 7
<i>Area</i>	1.649 7	0.922 8	1.000 0	4.000 0	1.447 3	0.810 1	1.000 0	4.000 0
<i>Soe</i>	0.494 1	0.500 6	0.000 0	1.000 0	0.318 0	0.465 7	0.000 0	1.000 0
<i>Roa</i>	0.046 0	0.055 8	-0.247 8	0.238 4	0.048 0	0.072 7	-1.579 2	1.284 7
<i>Cashflow</i>	0.030 7	0.055 2	-0.134 2	0.230 5	0.051 8	0.074 0	-1.788 3	0.838 5
<i>Tobinq</i>	2.422 3	1.286 8	0.984 3	11.158 9	1.948 1	1.294 5	0.611 2	41.080 9
<i>Big4</i>	0.044 2	0.206 0	0.000 0	1.000 0	0.065 3	0.247 2	0.000 0	1.000 0
<i>Intangible</i>	0.049 2	0.046 4	0.000 0	0.273 0	0.045 2	0.059 4	0.000 0	0.863 8
<i>Fixed</i>	0.151 1	0.098 9	0.002 6	0.521 1	0.205 2	0.153 9	0.000 1	0.970 9
<i>Dual</i>	0.203 7	0.403 3	0.000 0	1.000 0	0.322 2	0.467 4	0.000 0	1.000 0
<i>Mshare</i>	0.147 9	0.200 7	0.000 0	0.740 4	0.165 8	0.209 2	0.000 0	0.899 9
<i>Maleratio</i>	0.829 3	0.089 4	0.529 4	1.000 0	0.797 1	0.119 0	0.200 0	1.000 0
<i>Averageage</i>	48.995 1	2.934 9	41.060 0	57.130 0	49.405 4	3.334 7	35.600 0	63.880 0
<i>Eduback</i>	0.965 4	0.182 8	0.000 0	1.000 0	0.928 0	0.258 4	0.000 0	1.000 0
<i>II_policy</i>	0.011 5	0.106 8	0.000 0	1.000 0	0.007 2	0.084 7	0.000 0	1.000 0
<i>IM_policy</i>	0.023 0	0.150 2	0.000 0	1.000 0	0.014 0	0.117 8	0.000 0	1.000 0

(三)样本与估计说明

本文核心数据为2008—2024年中国上市公司面板数据,覆盖沪深A股、创业板、科创板及北证A股市场。删除ST、PT股、金融业后,共4700余家企业。结果变量 DTI 源于国家知识产权局。控制变量与主要机制变量源于CSMAR企业数据库。为明确商业航天范畴,研究参考Ma等^[36]、Zhao等^[37]的做法,综合Baidu股市通与东方财富网中“商业航天概念板块”(代码GN2306/BK0963),在取并集的基础上,结合企业主营业务信息进行人工筛选,最终确定50家航天类企业样本。筛选过程参考企业官网、爱企查信息,以航天业内业外人士双线并行的方式开展。此过程重点关注企业主营业务是否包含航天相关内容。对于含负值的变量,先加其最小值的绝对值与1,再取自然对数;对于专利计数变量,采用专利数量除以企业员工总数构造人均专利指标。

稳健性检验中,研究以年报关键词代替商业航天板块划分。关键词的选取经航天科技集团五院、中国东方红卫星股份有限公司、中国国际工程咨询有限公司专家研判,并与北京跟踪与通信技术研究所有关人员研讨,确立以“航天、火箭、飞船、卫星、太空、空天、深空”等作为基本检索词,在满足领域专属性的同时,具备上位概括性,即可视为航天相关表述的元词或母词。例如,航天可以覆盖航天器、航天装备、航天电子、航天材料等表达;卫星可以覆盖卫星通信、卫星遥感、卫星导航、卫星互联网、卫星影像等语境。因果森林估计层面,本文首先计算协变量对预测目标的影响程度,并仅保留影响力超过平均水平0.2倍的变量。上述步骤在R环境下借助“grf”程序包实现。

四、实证结果

(一)基准估计

研究以 DTI 为因变量、 $Plan$ 为自变量,评估航天商业化对数字技术创新的影响,结果如表2中列(1)~列(3)所示。当未考虑其他因素时,自变量系数在1%水平下显著为正(0.0024)。列(2)中纳入控制变量后,仍在5%水平下显著(0.0023)。进一步,研究引入三类交互固定效应:一是行业×

年份固定效应,考虑不同行业异质性时间趋势;二是地区×年份固定效应,考虑不同地区异质性时间趋势;三是所有制×年份固定效应,考虑不同所有制企业异质性时间趋势。回归结果如列(3)所示,自变量系数仍在5%水平下显著为正(0.0022)。在此基础上采用因果森林模型,列(4)展示了树数量为8000时的估计结果,系数在1%水平下显著为正(0.0053)。由此,初步推断航天商业化促进了企业数字技术创新。

表2 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	OLS			CF
$Plan$	0.0024*** (0.0008)	0.0023** (0.0009)	0.0022** (0.0009)	0.0053*** (0.0013)
控制变量	×	√	√	√
企业固定效应	√	√	√	√
年份固定效应	√	√	√	√
交互固定效应	×	×	√	√
样本量	37963	35389	34558	34604

(二)稳健性检验

为保证基准检验结果可靠,本文进行了一系列稳健性检验。

其一,倾向得分匹配法。以前述控制变量为协变量进行匹配,标准化偏差均值下降至可接受的20%以内。如表3中列(5)、列(6)所示,无论是逐年核匹配还是混合匹配,自变量系数始终在5%水平下显著为正(0.0023/0.0022)。其二,合成双重差分(Synthetic DID)。不同于倾向得分匹配,该方法通过加权构建一个与处理组相似的对照组^[38]。如表3中列(7)所示,可能受平衡面板估计要求导致样本删失影响,处理效应显著性略有下降,但仍在10%水平下显著为正(0.0013)。其三,调整因果森林框架参数。研究修改了变量筛选门槛,将保留影响力超过平均水平0.2倍的变量门槛提高至0.5倍;同时,增加树规模,从原先的8000棵增加至16000棵。上述调整后的估计结果如列(8)、列(9)所示,自变量系数仍在1%水平下显著为正(0.0052/0.0053)。为呈现航天商业化对数字技术创新的整体影响,研究绘制个体处理效应的核密度分布。图1中A1至A3分别为列(4)、列(8)和列(9)的分布,可见商业化进程的数字技术创新效应位于0.0045至0.0080。

表 3 稳健性检验结果

变量	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
	PSM		SDID	CF		更换面板		
	逐年核匹配	混合核匹配		改变变量门槛	改变树数量	OLS		CF
<i>Plan</i>	0.002 3 *** (0.001 0)	0.002 2 ** (0.000 9)	0.001 3 * (0.000 7)	0.005 2 *** (0.002 2)	0.005 3 *** (0.001 4)	0.000 3 *** (0.000 1)	0.000 3 *** (0.000 1)	0.001 0 *** (0.000 3)
样本量	26 838	34 558	15 317	34 604	34 604	24 661	23 301	24 671

注:为测试结果对数字专利分类“后见偏差”的敏感性,研究剔除 2008~2012 年样本进行再次估计,自变量系数仍在 5% 水平下显著为正(0.001 7)。此外,鉴于基准估计中处理组数量较少,研究参考 MacKinnon 等^[39]的研究,使用“ritest”命令进行置换推断,结果显示观测统计量在 1% 水平下显著为正(0.002 2)。

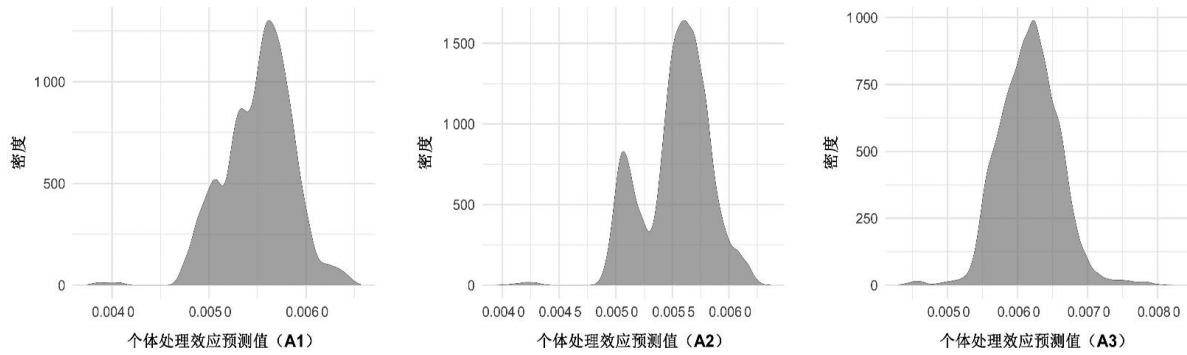


图 1 基于因果森林的处理效应分布图

同时,研究以更换面板的方式(简称面板 B),基于新一套估计样本与回归指标,采用强度双重差分(强度 DID)重新进行估计。一方面,基于企业年报关键词构建航天暴露度指标;另一方面,采用千人均数字专利技术授权 $DTI2$ 作为因变量。如表 3 列(10)所示,自变量系数在 1% 水平下显著为正(0.000 3),表明航天暴露度越高的企业,制度开放后的数字技术创新响应越强烈。进一步,仅保留那些与处理组企业相同行业的对照组,再次回归结果如列(11)所示,系数未见变化。最后,因果森林的估计结果如列(12)所示,自变量系数依然在 1% 水平下显著为正(0.001 0)。

此外,本文采用事件研究法检验事前平行趋势假设:

$$DTI_{it} = \alpha + \beta_1^{TWFE} \sum_{k \geq -7}^{+9} Plan'_{2015+k} + \gamma_1 X_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中, $Plan'_{2015+k}$ 为处理组虚拟变量与年份虚拟变量的交互项。下标为相对年份,其他设定不变。如下图 2 左侧,横纵为政策实施相对时间。结果表明,商业化改革前 7 期,各系数均围绕 0 上下波动且不显著(置信区间覆盖 0)。这表明,处理组与对照组变化在冲击前不存在系统性差异。在商业化改革后 5 期,系数开始显著大于 0,数字技术创新效应得以显现。类似地,本文采用面板 B 进行

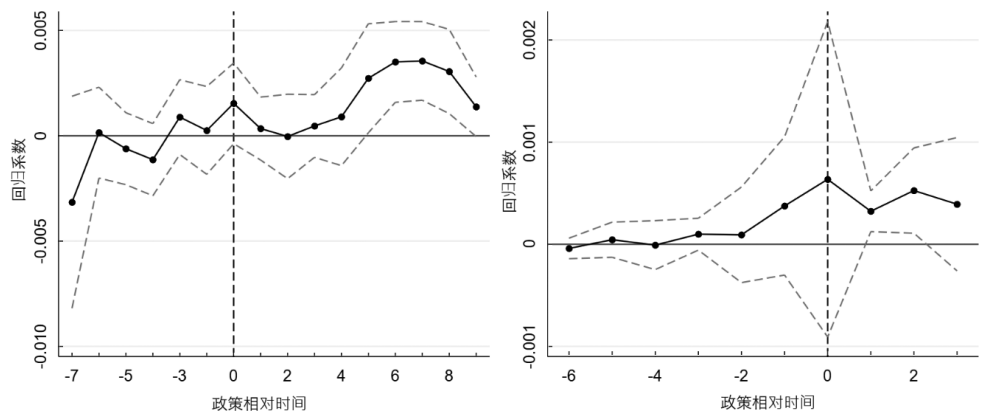


图 2 平行趋势检验

事件分析,进一步考虑到近年商业航天制度开放力度的持续加大,为测试结果的敏感性,研究仅保留 2018 年及之前的样本。图 2 右侧显示,航天商业化改革的数字技术创新效应在制度开放后的第二年开始显现。

(三)机制检验

为检验航天商业化对数字技术创新的作用机制,本文围绕技术维度、组织维度和环境维度,采用两套数据进行测试。

1. 技术维度:知识整合效应与数字转型效应

航天商业化促进数字技术创新的技术维度可通过两类效应体现。

一是知识整合效应。基于主面板 A 的结果如表 4 列(13)~列(16)所示。其中,列(13)、列(14)以共专利(*Co-pat*)作为因变量,可以看出无论采用 OLS 还是因果森林,自变量系数至少在 5% 水平下显著为正(0.001 7/0.001 2)。以知识宽度为因变量的结果进一步见于列(15)、列(16),自变量系数在至少 5% 水平下显著为正(0.079 1/0.093 1)。在此基础上,基于面板 B 的结果如表 4 列(19)~列(24)所示。无论是共专利还是知识宽度,OLS 结果显示自变量系数均在至少 5% 水平下显著为正(0.000 3/0.028 9)。CF 估计中,结果虽略有变化但仍在 10% 水平下显著(0.002 2/0.812 0)。由此认为,航天商业化促进了企业研发合作,并增加了组织知识宽度,知识整合效应得到证实(假设 H1)。

二是数字转型效应。以数字化为因变量进行估计,结果如表 4 中列(17)、列(18)所示。无论是面板 A 还是面板 B,OLS 估计下自变量系数均在 5% 水平下显著为正(0.534 1/0.254 0)。因果森林估计下,基于面板 A 的自变量系数在 10% 水平下显著为正(0.327 4);基于面板 B 的系数虽未在统计意义上显著,但方向仍保持为正。上述原因可能在于使用冲击前一年暴露度构建处理变量虽增加了信息量,但也扩大了处理组范围;同时,该构建方式导致部分冲击后样本被剔除。然而在总体层面可推断,航天商业化在一定程度上推动了数字化转型(假设 2)。

表 4 技术维度机制测试

变量	面板 A					
	Co-pat		Breadth		Digital	
	OLS	CF	OLS	CF	OLS	CF
	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
<i>Plan</i>	0.001 7 ** (0.000 8)	0.001 2 *** (0.000 4)	0.079 1 *** (0.026 1)	0.093 1 ** (0.037 4)	0.534 1 ** (0.215 8)	0.327 4 * (0.196 7)
样本量	38 668	34 870	21 117	21 648	37 170	34 870
变量	面板 B					
	Co-pat		Breadth		Digital	
	OLS	CF	OLS	CF	OLS	CF
	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)
<i>Plan</i>	0.000 3 *** (0.000 1)	0.002 2 * (0.001 3)	0.028 9 ** (0.013 8)	0.812 0 * (0.476 8)	0.254 0 ** (0.111 4)	0.469 0 (0.374 1)
样本量	24 977	24 986	15 502	15 589	24 988	24 997

2. 组织维度:经营压力效应与融资拓展效应

航天商业化影响数字技术创新的组织维度机制可通过两类效应体现。

一是经营压力效应。表 5 为经营压力机制测试结果,列(25)、列(26)中,以净利润为因变量进行回归,自变量系数在 1% 水平下显著为负(−0.004 2/−0.006 5)。基于面板 B 的估计进一步证实,无论是 OLS 还是因果森林,自变量系数均在 10% 水平下显著为正(−0.001 3/−0.036 1)。面板 A 下以总收入为因变量的结果如列(27)、列(28)所示,自变量系数均不显著。面板 B 下的列(31)结果显示,OLS 估计下自变量系数显著为正(0.031 8)。即使收入有所提升,但利润端呈下降态势,进一步反映出企业面临较为突出的成本压力。列(32)中,因果森林估计则未在统计层面支持制度开放对收入的积极作用。综上,航天商业化变革改变了航天企业经营逻辑,在回报链条未闭环的前提下,给企业利润造成了负向冲击。由此,可推测企业在压力下具有动力开展数字技术创新,以提升生产、运营效率(假设 3)。

表 5 组织维度机制测试(经营压力效应)

变量	Profit		Revenue	
	面板 A			
	OLS	CF	OLS	CF
	(25)	(26)	(27)	(28)
Plan	−0.004 2 *** (0.000 9)	−0.006 5 *** (0.002 5)	0.064 0 (0.054 6)	−0.415 5 (0.759 4)
样本量	38 738	38 867	38 736	38 865
变量	面板 B			
	OLS	CF	OLS	CF
	(29)	(30)	(31)	(32)
Plan	−0.001 3 * (0.000 7)	−0.036 1 * (0.200)	0.031 8 ** (0.012 5)	0.025 2 (0.280 4)
样本量	25 000	25 009	25 000	25 009

二是融资扩增效应。如表 6 所示,尽管在列(33)、列(41)以银行贷款为因变量的 OLS 回归中,估计系数不显著。但列(34)、列(42)下的因果森林结果显示,处理效应均在 1% 水平下显著为正(1.321 3/22.245 7)。进一步,以 SA、KZ、FC 等融资约束指标作为因变量进行估计,列(35)~列(40)的结果表明,航天商业化未显著促进融资约束缓解。

类似地,基于面板 B 的结果显示,制度开放并未在统计层面缓解融资约束。综上,航天商业化进程在客观上增加了企业银行贷款规模,为产业发展注入资金活水。同时,随之而来的研发需求大幅扩张使得资金收支并行增加。换言之,银行贷款的绝对规模虽有提升,但并未在统计层面显著弥合融资缺口。基于此,融资扩增机制仅得到部分证实(假设 4)。

表 6 融资拓展效应

变量	面板 A							
	Loan		SA		KZ		FC	
	OLS	CF	OLS	CF	OLS	CF	OLS	CF
	(33)	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(40)
Plan	1.408 6 (1.101 6)	1.321 3 *** (0.408 4)	-0.040 5 *** (0.015 1)	-0.072 7 * (0.041 3)	0.197 0 (0.226 2)	0.011 7 (0.711 0)	-0.016 2 (0.012 0)	0.109 8 (0.095 7)
样本量	22 074	22 544	38 738	38 867	34 625	34 870	34 625	34 870
变量	面板 B							
	Loan		SA		KZ		FC	
	OLS	CF	OLS	CF	OLS	CF	OLS	CF
	(41)	(42)	(43)	(44)	(45)	(46)	(47)	(48)
Plan	0.431 2 (0.443 8)	22.245 7 ** (9.296 0)	-0.009 0 (0.007 2)	-0.157 4 (0.124 8)	0.077 7 (0.060 1)	0.224 6 (0.253 6)	0.001 0 (0.003 8)	-0.013 3 (0.044 9)
样本量	18 391	18 416	25 000	25 009	24 093	24 099	24 093	24 099

3. 环境维度:行业竞争效应与政策支持效应
航天商业化促进数字技术创新的环境维度通过两类效应体现。

一是行业竞争效应。本文通过若干证据来揭示行业竞争效应的存在:其一是收入份额下降但勒纳指数增加。纵览表 7 中的列(49)~列(52),可以看出变革降低了企业行业份额,这与前述经营压力有关。然而,列(53)、列(54)结果显示,商业化进程增加了处理组个股勒纳指数。从产业组织的一般逻辑看,意味着企业没有被竞争削弱,反而获得了更强的市场支配能力。基于面板 B 的结果同样佐证了航天商业化对国有企业行业份额的冲击,并支持变革并没有对个股勒纳指数产生显著的负向影响。其二是私营企业表现。列(49)~列(54)显示,相较于国有企业,私营企业的份额下降幅度更小,具有更强的市场韧性;同时,冲击对勒纳指数的正向影响更为强烈,表明私营企业的市场定价能力在竞争加剧中获得了更大程度的提升。基于面板 B 的结果提供了相似证据,列(58)、列(60)中,自变量系数并未在统计层面显著;同时,列(62)中私营企业的系数虽不显著,但相较于

国有企业呈现正向特征。至此,行业竞争效应得到证实(假设 5)。

二是政策支持效应。研究以企业收到的政策研发补贴数额为因变量进行回归,结果如表 7 中列(55)、列(56)所示。无论是 OLS 还是因果森林,商业化变革对领域企业获取研发补贴的处理效应均不显著。基于面板 B 的估计结果如列(63)所示,航天商业化甚至减少了企业所收到的研发补贴。至此,拒绝了政策支持效应假设(假设 6)。

(四)异质性分析

在这一部分,研究提取前文预测得到的 ITE 并将其作为结果变量来探索影响处理效应的因素,进而明晰哪类企业的数字技术创新响应更为强烈。本文采用决策树的方式对处理效应的异质性驱因进行识别。在变量选择上,综合考虑以企业规模(size)、现金流(cashf)、产权性质(soe)、无形资产(intang)作为划分特征,覆盖组织基本特征、财务特征与治理特征等各个方面。

基于决策树的划分结果如图 3 所示。节点颜色越深表示变革下数字技术创新响应越强烈。根节点的数值为 0.005 7,意味着从全样本来看,制度

表 7 行业竞争效应 & 政策支持效应

变量	面板 A							
	Marketshare1		Marketshare2		Lernerindex		Subsidy	
	国有	私有	国有	私有	国有	私有	总体	
							OLS	CF
	(49)	(50)	(51)	(52)	(53)	(54)	(55)	(56)
Plan	-11.221 0 *** (1.775 6)	-9.500 7 *** (2.257 8)	-11.227 4 *** (1.770 2)	-9.333 0 *** (2.229 2)	0.068 1 ** (0.035 6)	0.213 6 * (0.120 7)	-0.084 3 (0.130 2)	0.193 0 (0.238 3)
样本量	11 462	26 108	11 675	28 394	11 695	27 170	38 738	38 867

变量	面板 B							
	Marketshare1		Marketshare2		Lernerindex		Subsidy	
	国有	私有	国有	私有	国有	私有	总体	
							OLS	CF
	(57)	(58)	(59)	(60)	(61)	(62)	(63)	(64)
Plan	-46.741 7 *** (22.768 5)	-283.664 2 (203.453 7)	-35.454 8 *** (15.350 3)	-312.517 3 (299.515 6)	-0.067 1 (0.094 8)	0.760 9 (0.629 4)	-0.081 3 *** (0.024 9)	-0.093 0 (0.118 9)
样本量	10 182	14 424	10 325	28 394	12 726	14 665	25 000	25 009

开放对数字技术创新具有正向影响。第一层按企业规模分裂, size < 22 的左分支对应的效应值约为 0.005 6, 右侧 size ≥ 22 的企业约为 0.005 8, 反映大规模企业数字技术创新效应更强。第二层分裂引入产权性质变量, 其中国有企业对应的效应水平略高于非国有企业。第三层分裂引入无形资产变量, 无形资产占比较高的企业, 在数字技术创新方面的响应更为强烈。总体来看, 航天商业化变革促进了企业数字技术创新。而规模较大、无形资产占比较高的国有企业, 正向影响更大。原因可归结于这类企业面临更大的竞争压力, 行业竞争效应显示其市场份额受冲击程度高于私营企业, 因而具有更高的创新动力; 同时受组织惯性影响, 数字化转型相对迟缓, 但拥有更为充足的资源储备, 因而具有更大的创新响应空间。

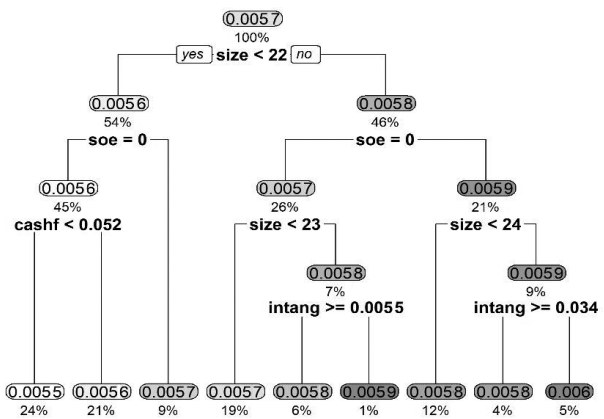


图 3 基于决策树的处理效应路径分布

五、结论

(一) 结论与讨论

本文聚焦于航天这一长期以行政计划为主导的高壁垒领域, 考察市场准入变革对研发主体数字技术创新产生的影响, 主要研究结论如下。

(1) 航天商业化促进了企业数字技术创新, 这一影响对规模较大的国有企业更为强烈。不同于现有研究对制度开放型政策^[7-8]、市场准入与竞争治理^[9]、要素开放^[10-11]等创新效应的揭示, 本文从航天商业化这一独特情境切入, 为制度开放与创新关联提供了新的经验证据。该情境既不同于传统举国体制下国家主导、行政计划配置资源模式(如阿波罗计划、“两弹一星工程”)^[2], 也不同于一般民口产业环境^[26,33,35], 而是在长期以国家逻辑为主导的军民两用领域中, 主动引入市场逻辑的制度改革实践。也即马祖卡托所提出的使命导向型创新政策, 强调政府角色从纠正市场失灵转向主动创造市场, 并通过制度设计为新兴技术开辟商业化应用场景^[2]。本文基于中国航天商业化改革, 发现市场准入促进了企业数字技术创新。进一步, 基于因果森林模型, 识别出那些规模较大的国有企业在制度开放中, 数字技术创新响应显著高于其他类型企业。此类企业市场份额受冲击较大, 因而创新动力更强; 同时, 虽受组织惯性制约, 但凭借较为充足的资源储备, 转型具有更大的响应空间。

(2) 从技术维度看作用机制, 航天商业化通过

知识整合效应和数字转型效应影响数字技术创新,这主要体现在变革促进了研发合作,提升了组织知识宽度,并加速企业数字化转型。上述发现揭示了航天商业化驱动数字技术创新的内在机理,即开拓了企业获取、整合与利用技术知识的渠道。市场准入放松使得多元主体得以进入航天领域,激励上下游、跨行业企业开展研发合作^[12-13]。不同合作伙伴携带大数据、人工智能、云计算等数字技术知识,商业航天企业技术宽度显著提升^[6]。SpaceX 与微软、Maxar 与 NTT 等合作,均展现出航天企业与数字产业围绕卫星通信、云边协同开展合作。进一步,本文还发现航天商业化促进了企业数字化转型,而这恰恰为数字技术创新创造了需求基础。航天科工即通过建设数字孪生驱动的小卫星柔性智能生产线,将研制模式从物理试错转向虚拟迭代。

(3)从组织维度看作用机制,航天商业化通过经营压力效应倒逼企业数字技术创新,也即变革负向冲击了企业利润。制度变革后,新进入者凭借更灵活的运营策略和更低的成本结构抢占份额。同时,商业航天强调高频次、低成本发射,企业为摊薄固定成本、形成规模效应,需要持续增加发射频次^[6]。短期内投入急剧增加,但收入增长滞后于成本扩张,现金流压力持续加大。上述因素倒逼领域企业通过数字技术创新实现降本增效,加速行业整体数字化转型。进一步,本文还证实航天商业化促进了领域企业获取银行贷款。作为国家重点战略方向,制度变革向银行传递了确定性信号^[40],同时新兴市场涌现也提升了银行对企业未来成长的预期,从而促进企业贷款获取。但也要指出,企业经营压力下财务指标走势,则反映组织存在的融资缺口,纵使银行贷款规模虽有提升,但融资约束并未得到根本性缓解。

(4)从环境维度看作用机制,航天商业化一定程度上促进了领域竞争活力的增加,且并没有强化政策支持效应。首先,本文结果显示,领域企业收入份额相对下降。这一变化源于两方面原因:

一是制度开放下企业经营压力增加,二是新进入者涌入导致行业竞争加剧。上述发现进一步夯实了制度开放倒逼机制的存在逻辑:航天商业化促进了行业竞争,包括私营企业在内的大量新进入者,既推动了数字要素在航天领域的渗透,也通过竞争压力倒逼传统航天企业加速转型^[6,41]。竞争机制的引入,意味着任务分配不再完全依赖行政指令,而是部分转向竞标;定价机制改革,则意味着企业须接受市场检验。此外,与现有文献不同^[42],本文发现制度开放并未显著增加企业政府研发补贴规模。这意味着,本文所观测到的数字技术创新效应,并非依赖公共部门的财政支持,而更多体现为市场机制引入后的内生结果。

(二)启示

其一,完善市场机制,保持竞争活力,激活行业转型动能。本文为转型研究提供了经验证据,强化市场机制下的竞争是促进行业创新转型的重要驱动力。尤其对于传统意义上的高壁垒领域,过去拥有相对固定的承包商,较少关心市场问题。然而一旦新的竞争者进入,市场端压力由此形成,数字要素加速渗透,传统组织便会有更高的动力开展转型。NASA 将 SpaceX 纳入商业载人计划承包商体系,打破了波音、洛克希德·马丁等传统巨头的垄断格局。随着国内商业航天制度放开,蓝箭航天、星际荣耀等民营企业涌现,也推动了传统航天企业创新转型。由此,应充分发挥市场在资源配置中的决定性作用,在可控前提下,向符合条件的多元主体开放国家科研项目,鼓励商业航天主体承接民用航天科研计划和基础科研课题;同时,建立多元化承包商体系,依托揭榜挂帅、创新竞赛将竞争制度化,激活行业转型动能。

其二,缓解短期承压,弥合融资缺口,引入耐心资本护航。目前制度开放推动了更多市场主体进入航天领域,但由于研发及其回报具有长周期特征,与追求短期利润的商业资本存在冲突。为弥合这一缺口,需要引入更具耐心的使命导向型资本。目前,虽已为商业航天企业定制了上市标准,然航天领域企业的资金困境依然屡见不鲜。

Virgin Orbit 在上市后仅两年便因融资困难被迫裁员停运; Terran Orbital 曾被视作商业航天领域的重要参与者, 最终却因持续经营压力被洛克希德·马丁折价收购。反观 SpaceX, 能够在长达 20 余年的持续亏损中不断获得追加投入, 其背后依托的并非以 3~5 年盈利为约束的短周期资本。由此, 需进一步建设以国家商业航天发展基金为代表的耐心资本, 为商业航天注入确定性预期。

其三, 直面商业变革, 摒弃被动心态, 主动抓住机会之窗。制度开放既是竞争压力的来源, 更是转型升级的机会窗口。尤其对于传统国有航天企业, 行业竞争效应测试结果显示, 这类组织在商业化进程中面临的经营压力更为显著; 与之形成对照, 基于决策树的异质性分析表明, 大型国有企业在航天商业化改革中展现出更强的数字技术创新响应。制度开放前, 即使流程与机制客观上存在优化空间, 企业的组织惯性仍可能迟滞变革进程。然而商业化进程改变了这一格局。新进入者携带着大数据、人工智能等异质性数字技术知识涌入, 为传统航天领域注入了新鲜要素。这一背景下, 企业可变被动为主动, 接纳数字渗透, 通过合作、采并购等路径, 将外部数字知识内化为自身能力。率先完成数智转型的企业, 将在成本控制、产品迭代方面建立竞争优势, 从而在市场份额争夺中占据有利位置。

参考文献:

- [1] ACEMOGLU D. Nobel lecture: Institutions, technology, and prosperity [J]. *American economic review*, 2025, 115 (6): 1709-1748.
- [2] MAZZUCATO M. Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities [J]. *Industrial and corporate change*, 2018, 27(5): 803-815.
- [3] 张学文, 陈劲. 使命驱动型创新: 源起, 依据, 政策逻辑与基本标准 [J]. *科学学与科学技术管理*, 2019, 40 (10): 3-13.
- [4] MCKINSEY & COMPANY. The future of space: it's getting crowded out there [R/OL]. 2023-08-03.
- [5] GIANNOPOPA C, STAVERIS-POYKALAS A, METALLINOS S. Space as an enabler for sustainable digital transformation: the new space race and benefits for newcomers [J]. *Acta astronautica*, 2022, 198: 728-732.
- [6] BOUSEDRA K. Downstream space activities in the new space era: paradigm shift and evaluation challenges [J]. *Space policy*, 2023, 64: 101553.
- [7] 李小林, 司登奎, 王可心. 我国资本市场开放能否促进企业自主创新?: 基于“沪深港通”交易制度的经验证据 [J]. *统计研究*, 2024, 41(5): 51-63.
- [8] 杨志浩, 洪俊杰. 制度型开放促进了本土企业创新: 基于标准开放视角 [J]. *经济学 (季刊)*, 2025, 25 (3): 613-630.
- [9] 侯建翔, 王科斌. 统一市场准入与企业创新行为: 结构估计与机制分解 [J]. *中国工业经济*, 2025 (5): 100-118.
- [10] CHENG J, ZHAO J, ZHU D, et al. Land marketization and urban innovation capability: evidence from China [J]. *Habitat international*, 2022, 122: 102540.
- [11] 陈劲, 杨洋. 开源创新: 概念界定、组织逻辑与范式重构 [J]. *中国软科学*, 2026(5): 188-203.
- [12] MAZZUCATO M, ROBINSON D K R. Co-creating and directing innovation ecosystems? NASA's changing approach to public-private partnerships in low-earth orbit [J]. *Technological forecasting and social change*, 2018, 136: 166-177.
- [13] ROBINSON D K R, MAZZUCATO M. The evolution of mission-oriented policies: exploring changing market-creating policies in the US and European space sector [J]. *Research policy*, 2019, 48(4): 936-948.
- [14] CALIARI T, FERREIRA M J B. The historical evolution of the Brazilian aeronautical sector: A combined approach based on mission-oriented innovation policy and sectoral innovation system [J]. *Economics of innovation and new technology*, 2023, 32(5): 682-699.
- [15] 张超, 时千舒, 孟斌斌, 等. 超越创新悖论: 低成本推动商业航天高质量发展的实践与思考 [J]. *中国科学院院刊*, 2025, 40(11): 1902-1913.
- [16] TORNATZKY L G, FLEISCHER M. The processes of technological innovation [M]. Lexington, MA: Lexington books, 1990.
- [17] LIN Q. A meta-analytic investigation of digital transformation: antecedents, consequences, and contingencies [J]. *Journal of business research*, 2025, 200: 115643.
- [18] 张铭, 曾静, 曾娜, 等. “技术—组织—环境”因素联动对互联网企业数字创新的影响: 基于 TOE 框架的模糊集定性比较分析与必要条件分析 [J]. *科学学与科学技术管*

- 理, 2024, 45(3): 21-40.
- [19] CACCAMO M, PITTINO D, TELL F. Boundary objects, knowledge integration, and innovation management: a systematic review of the literature[J]. *Technovation*, 2023, 122: 102645.
- [20] FANG X, LIU M. How does the digital transformation drive digital technology innovation of enterprises? Evidence from enterprise digital patents[J]. *Technological forecasting and social change*, 2024, 204: 123428.
- [21] CHIAPPINI R, MONTMARTIN B, POMMET S, et al. Can direct innovation subsidies relax SMEs' financial constraints? [J]. *Research policy*, 2022, 51(5): 104493.
- [22] XIA D, CASSIMAN B, WEHRHEIM D. Escaping product market rivalry through innovation [J]. *Management science*, 2025(10): 36-48.
- [23] GONG T, WANG X, ZHANG L, et al. Symbolic or substantial? Different responses of state-owned and privately owned firms to government innovation policies[J]. *Technovation*, 2023, 127: 102827.
- [24] ZHAO Y, YONGQUAN Y, JIAN M, et al. Policy-induced cooperative knowledge network, university-industry collaboration and firm innovation: evidence from the Greater Bay Area[J]. *Technological forecasting and social change*, 2024, 200: 123143.
- [25] ALMEIDA H, FOS V, HSU P H, et al. Innovation under pressure [J]. *Journal of financial and quantitative analysis*, 2025, 60(5): 2088-2120.
- [26] SAHUT J M, SCHWEIZER D, PERIS-ORTIZ M. Introduction to the VSI technological innovations to ensure confidence in the digital world[J]. *Technological forecasting and social change*, 2022, 179: 121680.
- [27] RICE T, STRAHAN P E. Does credit competition affect small-firm finance? [J]. *The journal of finance*, 2010, 65(3): 861-889.
- [28] HOWELL S T. Financing innovation: Evidence from R&D grants[J]. *American economic review*, 2017, 107(4): 1136-1164.
- [29] ATHEY S, TIBSHIRANI J, WAGER S. Generalized random forests[J]. *The annals of statistics*, 2019, 47(2): 1148-1178.
- [30] 韩先锋, 曾迪, 朱承亮. 超算“引擎”: 算力基础设施如何驱动关键数字技术创新[J]. *中国软科学*, 2026(4): 182-193.
- [31] 彭俞超, 马思超, 王南萱, 等. 影子银行监管与银行风险防范[J]. *经济研究*, 2023, 58(8): 83-99.
- [32] ZHU K, MALHOTRA S, LI Y. Technological diversity of patent applications and decision pendency [J]. *Research policy*, 2022, 51(1): 104364.
- [33] CHEN Y, PAN X, LIU P, et al. How does digital transformation empower knowledge creation? evidence from Chinese manufacturing enterprises [J]. *Journal of innovation & knowledge*, 2024, 9(2): 100481.
- [34] DATTA S, ISKANDAR-DATTA M, SHARMA V. Product market pricing power, industry concentration and analysts' earnings forecasts[J]. *Journal of banking & finance*, 2011, 35(6): 1352-1366.
- [35] YANG H, WANG C, WANG G. Sustainability mission of award: the impact of innovation prize on ESG performance [J]. *Journal of environmental management*, 2025, 380: 124939.
- [36] MA Y, DUAN S, ZHANG P, et al. Multi-scale analysis of the co-movement between China's new energy vehicle industry and Tesla: evidence from capital market[J]. *Energy & environment*, 2025, 36(4): 2027-2048.
- [37] ZHAO Z, ZHANG M. A new five-factor green pricing model in China [J]. *Applied economics*, 2025, 57(10): 1042-1055.
- [38] ARKHANGELSKY D, ATHEY S, HIRSHBERG D A, et al. Synthetic difference-in-differences[J]. *American economic review*, 2021, 111(12): 4088-4118.
- [39] MACKINNON J G, WEBB M D. Randomization inference for difference-in-differences with few treated clusters[J]. *Journal of econometrics*, 2020, 218(2): 435-450.
- [40] SPENCE A M. Market signaling: Informational transfer in hiring and related screening processes [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1974.
- [41] DENIS G, ALARY D, PASCO X, et al. From new space to big space: how commercial space dream is becoming a reality[J]. *Acta astronautica*, 2020, 166: 431-443.
- [42] WANG Y, MA P, WANG X. The impact of institutional openness policies on firms' total factor productivity[J/OL]. *Review of development economics*, 2025(3): 15-18. <https://doi.org/10.1111/rode.70087>.