

引用格式:杨瑾,同智文. 颠覆性技术创新何以驱动装备制造企业智能化转型? [J]. 技术经济, 2024, 43(5): 82-94.

YANG Jin, TONG Zhiwen. How can disruptive technology innovation drive the intelligent transformation of equipment manufacturing enterprises? [J]. Journal of Technology Economics, 2024, 43(5): 82-94.

颠覆性技术创新何以驱动 装备制造企业智能化转型?

杨瑾^{1,2}, 同智文¹

(1. 西北工业大学管理学院, 西安 710072; 2. 西北工业大学公共政策与管理学院, 西安 710072)

摘要: 颠覆性技术创新已成为中国装备制造企业摆脱对外依赖, 实现智能化转型的重要路径, 但通过颠覆性技术创新实现智能化转型的内在机理却不甚清晰。通过对现有研究的挖掘和对实际案例的分析, 从技术颠覆、技术应用和组织保障层面出发, 凝练出二元组织结构等6个影响基于颠覆性技术创新的企业智能化转型关键因素, 构建了相应的理论模型; 综合运用NCA和fsQCA方法, 以20家装备制造企业为样本, 探究颠覆性技术创新驱动装备制造企业智能化转型的必要条件和组态路径, 结果显示: ①二元组织结构是装备制造企业通过颠覆性技术创新实现智能化转型的必要条件; ②存在技术轨道跃迁型和场景创新应用型两条智能化转型实现路径; ③在特定条件下, 因素“技术跃迁”与“场景创新”之间, 以及因素“行业间技术合作”与因素组合“场景创新缺乏、超前布局战略”之间存在互替性关系。研究结果不仅厘清了颠覆性技术创新驱动装备制造企业智能化转型的内在机理, 而且为企业结合自身实际实施智能化转型提供了路径指引。

关键词: 装备制造企业; 智能化转型; 颠覆性技术创新; 必要条件分析法; 模糊集定性比较分析法

中图分类号: F273.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2024)05-0082-13

DOI: 10.12404/j.issn.1002-980X.J23080114

一、引言

进入数字经济时代, 各类新工程应用场景持续出现, 对装备产品智能化和可变性的要求不断提高, 装备制造企业需要具备敏捷智能的生产结构和组织模式以适应这种变化趋势, 智能制造已成为装备制造企业转型升级的主攻方向, 而智能化转型离不开创新驱动已形成普遍共识^[1]。一方面, 装备产品具有技术密集、工艺复杂、研制周期长等特点, 在原有技术路径上增量改进的渐进性技术创新模式既难以满足多变(volatile)、不确定(uncertain)、复杂(complex)和模糊(ambiguous)的VUCA时代对装备产品快速变化的市场需求, 又极易被锁定在发达国家既定技术路线中, 难以实现技术的自主可控^[2]。另一方面, 当前中国智能制造的一些关键核心技术和零部件仍严重依赖进口, 而随着大国竞争日趋激烈, 可以预见西方发达国家对中国关键核心技术禁售范围和力度会持续加大, 使得以往立足于引进、消化、吸收再创新的突破性技术创新模式面临极大的困难^[3], 对中国产业链供应链自主可控形成了严峻挑战, 亟须探索新的技术创新模式以加快装备制造企业智能化转型进程。

装备制造企业颠覆性技术创新是指打破传统制造技术体系和认知模式, 以新技术或新场景应用为突破口, 通过非主流技术的突破和迅速应用^[4], 引发部分替代或颠覆现有主流技术的非线性过程^[5]。它可能基于全新的科学技术发现, 也可能基于现有技术的交叉融合, 还可能基于现有技术的颠覆性应用^[6-7], 即使现有技术路径受限, 也可通过开辟新的路径或者技术的创新应用打破技术壁垒, 重新定义市场产品、服务、产业、业态和价值主张^[8], 带来工具设备、生产方式、交易模式、运维服务和场景应用等方面的颠覆性变革, 有

收稿日期: 2023-08-01

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“基于颠覆性技术创新的装备制造业智能化转型升级机理及路径选择”(72174170); 陕西省社会科学基金项目“陕西装备制造业智能化转型阻抑因素及其破解路径研究”(2022D002)

作者简介: 杨瑾, 博士, 西北工业大学管理学院教授, 研究方向: 装备制造业技术创新; (通信作者) 同智文, 西北工业大学管理学院博士研究生, 研究方向: 技术创新管理。

效化解“低端锁定”和“卡脖子”困境^[9],成为中国装备制造企业实现智能化转型,谋求高水平科技自立自强的一个重要突破口^[10]。

能引发装备制造企业智能化转型的颠覆性技术创新要经历从模糊前端到颠覆性技术产生及应用这一复杂过程,涉及技术融合^[11]等一系列因素及其相互作用。然而,现有关于颠覆性技术创新驱动装备制造企业智能化转型的研究或侧重于宏观描述性分析,或聚焦于单因素视角,对多因素及其交互作用的机理以及对智能化转型的影响缺乏系统的量化实证研究。由此形成了本文的研究问题:①哪些关键因素以及这些因素如何影响基于颠覆性技术创新的装备制造企业智能化转型?②基于颠覆性技术创新的装备制造企业智能化转型的组态路径有哪些?③各组态路径中因素之间是否存在互替性关系?为此,本文尝试构建颠覆性技术创新驱动装备制造企业智能化转型的理论模型,综合运用必要条件分析法(necessary condition analysis, NCA)和模糊集定性比较分析法(fuzzy-set qualitative comparative analysis, fsQCA),以厘清装备制造企业通过颠覆性技术创新实现智能化转型的内在机理,为装备制造企业智能化转型路径选择提供理论依据与策略指导。

二、文献回顾与模型构建

(一) 装备制造企业智能化转型

自1988年智能制造领域首部专著《Manufacturing Intelligence》问世以来,学者们从技术、价值链、系统论等视角出发探究了智能化转型的内涵和特点。结合装备制造业技术密集、产业关联度高和产业带动性强等特点,本文认为装备制造企业智能化转型是通过智能技术与制造技术的深度融合^[12],形成应对不确定环境的感知能力、决策和优化能力以及学习适应能力,实现从传统技术轨道向新一代智能制造技术轨道跃迁,带动价值链上研发(设计)、生产、管理、营销、服务等环节实现智能化的复杂动态过程^[13]。该过程涉及科学技术发现、技术交叉集成和智能场景应用等多个领域,不仅会深刻改变甚至颠覆装备制造企业原有生产组织模式、业务管理流程、产业组织架构、商业运行模式和价值产生规律,还会带动其他相关产业的智能化转型,充满了不确定性和挑战性。

(二) 颠覆性技术创新与装备制造企业智能化转型

Christensen^[14]指出颠覆性创新是为现有市场带来全新价值的非连续性创新,而非沿主流市场需求的持续性改进,是开发新市场、提供新功能的有力手段。而颠覆性技术创新是颠覆性创新最重要的一种形式,虽然所需投资最多,但一经实现,所获效益也最为丰硕和持续^[15]。

梳理相关研究发现,存在原始技术型、技术交叉融合型和技术跨领域应用型三种类型的颠覆性技术创新。其中,原始技术型是在突破原有范式的基础上,挑战科技“无人区”,最终产生重大的科学思想、科学发现、理论突破和技术方法发明等原创性成果,为学术界开辟研究的新领域、新学派甚至新学科,为产业界催生新的技术、产品、工艺、市场和业态的颠覆性技术创新^[6],成为装备制造企业进行智能化转型的持续动力源。技术交叉融合型则是指相互独立的技术之间交叉渗透,进而催生出新技术或新产品,最终开辟出新市场的颠覆性技术创新^[16]。通过云计算、物联网技术等智能技术与制造技术的深度融合,重构或重组为新的智能制造技术,可以打破单一知识结构的束缚,很有可能进入新的技术无人区,为装备制造企业智能化转型提供新思路和新路径。技术跨领域应用型是在技术趋势和用户潜在需求的驱动下,通过现有技术要素与场景因素的创新组合,产生新的功能,形成新的价值主张、资源配置模式、生产组织模式和运营管理模式,从而实现跨层次、跨领域的价值创造过程^[6],拓宽装备制造企业的智能化转型边界。其中,原始技术型和技术交叉融合型侧重于颠覆性技术的产生,技术跨领域应用型则侧重于现有技术的创新应用。

随着工程实践需求日益多样化和定制化,技术复杂程度不断攀升,智能化转型压力不断增大,迫切需要颠覆性技术予以有效应对。此外,装备制造企业智能化转型是涉及全产业链的系统活动^[17],故能引发智能化转型的颠覆性技术创新也强调现有技术在新场景的创新应用。由此,相较于一般的技术创新模式,颠覆性技术创新更能够适应我国装备制造企业当前的智能化转型需求。

(三) 理论模型构建

一方面,根据以上对原始技术型、技术交叉融合型和技术跨领域应用型颠覆性技术创新的分析,颠覆性

技术创新涉及技术本身的颠覆和对现有技术的颠覆性应用两个层面;另一方面,颠覆性技术创新能否实现往往取决于某些组织特性的存在与否^[18],故而适配的组织结构、组织战略等组织因素是企业实施颠覆性技术创新的重要支撑^[19]。据此,本文分别从技术颠覆层面、技术应用层面和组织保障层面识别基于颠覆性技术创新的装备制造企业智能化转型影响因素。

1. 技术颠覆层面

鉴于颠覆性技术创新对知识广度和深度的高标准要求,仅依赖内部资源会降低企业的颠覆性技术创新能力和敏感度^[20],迟滞智能化转型的进程^[21]。而行业间技术合作使企业接触更具异质性和互补性的知识和技术,不仅有助于发现并利用新的机会^[22],激发颠覆性技术创新灵感,而且可以降低信息搜集成本,促进知识流动^[23],提高知识和技术重构的可能性,加快颠覆性技术创新的速度。尤其是对于技术密集的装备制造企业,通过与智能技术研发企业、服务企业和客户企业的深度合作,洞察行业内外技术变化趋势,识别颠覆性技术创新机会,扩大和深化企业“知识池”形成技术积累,将极大拓展颠覆性技术创新可能性的边界,有助于实现基于颠覆性技术创新的智能化转型。例如,亚太机电联合中国移动、清华等成立智能网联汽车创新中心,以“技术+场景”为突破口进行颠覆性技术创新,推动了研发设计、生产制造和产品应用等多方面的智能化转型。由此,行业间技术合作是基于颠覆性技术创新推动智能化转型的关键影响因素。

技术融合指相互独立的技术之间交叉渗透,进而催生出新技术或新产品^[24],开辟出新市场的过程。装备制造企业将先进智能技术与自身制造技术深度融合实现智能技术赋能,突破企业边界和行业壁垒,不仅可以调整企业的信息结构,在此过程中重塑和提升企业的资源整合能力^[25],激发颠覆性技术创新,而且有助于企业花费较少资源实现智能制造颠覆性技术创新目标,从根本上改变传统生产组织模式和运营模式,推动装备制造企业智能化转型^[26]。例如,物联网、云计算和AI等智能技术和内燃机等制造技术的深度融合形成搭载智能驾驶技术的智能网联汽车,开辟了新的技术应用场景,既颠覆了作为交通工具的传统汽车,又作为智能化载体促进管理、营销和服务等环节的智能化。因此,技术融合是基于颠覆性技术创新驱动智能化转型的关键影响因素。

技术跃迁实质是对既有技术范式和技术轨迹的颠覆,使技术体系得以重塑^[27]。根据对产业的影响程度可将催生颠覆性技术创新的技术跃迁分为两类^[28],一是重大发明导致的技术跃迁,如蒸汽机引发了第一次工业革命,此类技术跃迁会对产业格局乃至人类社会发展造成颠覆性变革,影响巨大,但极不易发生;二是攻克核心技术导致的技术跃迁,此类技术跃迁能创造新的需求或产生新的部门,会对现有产品、工艺流程、组织等造成颠覆,如数码相机对胶卷相机的颠覆。装备制造企业智能化转型实质上就是从传统制造技术轨道向智能制造技术轨道的跃迁,进而为装备制造企业乃至整个产业带来全新的发展空间。由此,技术跃迁也是基于颠覆性技术创新实现智能化转型的重要影响因素。

2. 技术应用层面

在管理领域中,场景泛指特定的复杂性情境及其催生的需求和情感要素^[29]。在颠覆性技术取代原有技术成为主导技术的过程中,需要广阔的应用场景作为其落地的关键支撑^[30]。场景创新是在技术趋势和用户潜在需求的驱动下,将技术创造性地应用于特定场景,从而突破技术瓶颈,重构价值创造逻辑的过程^[31]。在精准洞察用户潜在需求的基础上识别或创造具体场景,并将智能技术与业务场景、管理场景深度融合,不仅有助于打破组织边界促进资源的交叉融合,拓展智能化转型的边界^[32],还可以在短期内验证前沿智能技术,弥合智能技术应用落地与用户需求之间的鸿沟,降低颠覆性技术创新和成果转化的成本^[33],从而推动智能化转型的实现。例如,极米科技通过深入分析用户潜在需求,识别出青年租房者对家庭影院娱乐化和移动化的需求场景,并前瞻性地将智能技术嵌入该场景,创造出智能投影机这一颠覆性产品,实现了对传统电视机和传统投影机行业的颠覆。因此,场景创新是基于颠覆性技术创新推动智能化转型的关键支撑。

3. 组织保障层面

超前布局是企业跨越技术赶超陷阱实现颠覆性创新的重要战略选择^[34]。依靠领导者的战略感知,把握技术颠覆的机会窗口,企业超前布局智能化转型战略,领先形成智能制造相关隐性知识和技术积累,获得技术先发优势,能极大促进智能制造颠覆性技术的产生^[35]。例如,在多数业内企业还致力于传统水表的使用寿命和计量精度时,三川智慧就以前瞻性战略思维布局智能化转型,首创窄带物联网超声远传水表,引领行业走向智

慧水务。由此可见,超前布局战略是装备制造企业基于颠覆性技术创新实现智能化转型的关键影响因素。

根据资源依赖理论,企业需要将有限资源分配到各种创新项目中去。出于追求利润和规避风险等原因,在位企业更倾向于将资源用于满足主流客户的需求,导致其往往会选择渐进性技术创新^[14]。而颠覆性技术创新和渐进性技术创新在价值判断、研发特点等方面都存在较大差异,这使得对渐进性技术创新行之有效的管理方式并不适用于颠覆性技术创新。因此,在组织内部同时追求这两种创新可能导致企业陷入中间境地,结果是两类创新项目都无法获得成功。将从事颠覆性技术创新的组织与原有组织从空间上分离,则有助于摆脱原有流程和价值主张的束缚从而破解“创新者窘境”^[36]。一般可采取在原组织外部新建相对独立的组织或将从事颠覆性技术创新孵化的团队或部门从原组织中剥离出来两种方式^[37]。例如,为开展有组织的颠覆性技术创新孵化活动,徐工集团成立了拥有独立成本结构、研发管理模式和价值主张的徐工信息公司,推动了生产链各环节的智能化转型进程。由此,构建二元组织结构是通过颠覆性技术创新实现智能化转型的关键影响因素。

综上,颠覆性技术创新驱动装备制造企业智能化转型的过程涉及三种技术颠覆因素(行业间技术合作、技术融合和技术跃迁),一种技术应用因素(场景创新),以及两种组织保障因素(超前布局战略和二元组织结构)。根据对现有成果的分析和对典型案例的观察,不难发现若孤立观察上述单个因素对智能化转型的“净”效应,则可能会得到相互矛盾的结论。事实上,这些因素之间以及因素与颠覆性技术创新和智能化转型之间并非基于简单对称且恒定的线性关系,而是存在着复杂的交互因果关系。据此,本文基于组态视角,构建了通过颠覆性技术创新驱动装备制造企业智能化转型的理论模型,如图1所示。模型中六种要素在智能化转型中存在何种复杂交互关系和作用机理则有待进一步通过量化实证研究加以厘清。

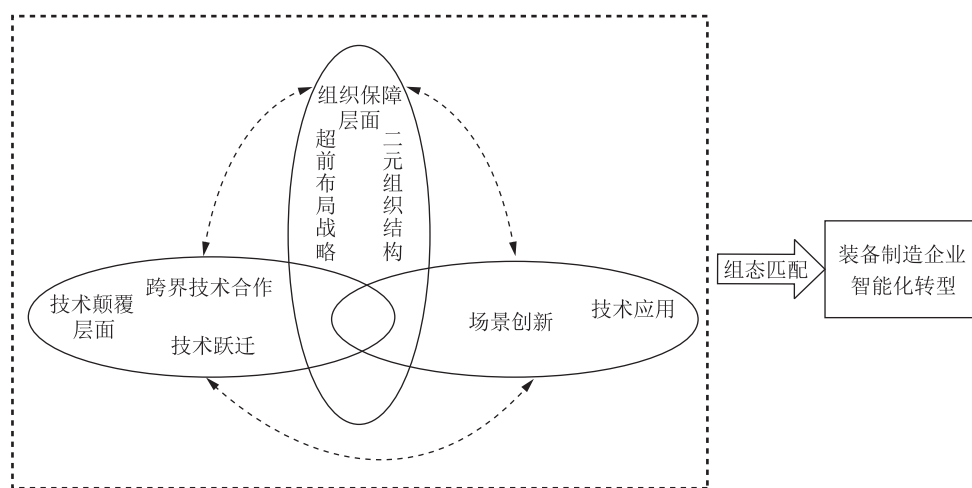


图1 基于颠覆性技术创新的装备制造企业智能化转型理论模型

三、研究设计

(一) 研究方法

为克服传统线性回归分析方法的不足,模糊集定性比较分析方法(fsQCA)不再假定因果关系的对称性,而是通过案例间的比较寻找因素组态和结果之间的非对称性因果关系^[38],能够有效厘清颠覆性技术创新驱动智能化转型的作用机理。此外,鉴于必要条件分析法(NCA)可以定量检验前因条件在多大程度上是导致结果出现的必要条件^[39],故首先利用NCA进行单个条件的必要性分析,然后再利用fsQCA开展条件组态的充分性分析。

(二) 样本选择与数据来源

fsQCA要求案例数量和因素数量之间应达到一定平衡。按照惯例,4~7个因素对应10~40个案例较为合适^[40]。结合研究问题,按照以下步骤遴选案例样本:

(1)在工信部公布的“2015—2018年智能制造试点示范企业”“2019—2020年智能制造标杆企业”

“2021—2022 年智能制造示范工厂”“2021—2022 年智能制造优秀场景”和“2022 年智能制造标准应用试点项目”名单里选择,以保证案例企业已经实现或正在实施智能化转型。

(2)通过进一步查阅和审读案例企业事迹资料,在(1)所选企业里筛选通过颠覆性技术创新的方式实施智能化转型的企业。

(3)在(2)所选企业中再选择具备行业代表性,相关典型事迹为业界所熟知,资料丰富且能获得的企业,以保证资料的可得性和完备性。

最终遴选出博创智能装备股份有限公司(代码“BC”)等 20 家案例企业作为样本,如表 1 所示。

表 1 样本企业基本信息

企业代码	所属行业	颠覆性技术创新驱动智能化转型典型事迹
BC	专用设备制造业	建立相对独立的中和互联网公司专门进行智能技术研究,与中国电信共建智能工厂 5G 实验室,推出注塑行业首个专用云平台,实现了智能注塑无人化,颠覆了行业传统生产模式
DZJG	专用设备制造业	在业内普遍采用“一机一应用”的部署方式时就意识到基于超融合架构的云化数据中心是智能化转型的新路径。成立独立子公司大族数控和智能制造研究院探索智能化前沿技术,将激光加工技术与智能技术深度融合,研发出多种智能装备,为传统金属管材行业带来颠覆性变化
LG	专用设备制造业	建立相对独立的智拓科技公司专门开展机器人系统集成等业务、建立数字化领域的子公司七识科技以打造工业互联网平台,集汽车领域的智能诊断等技术与工程设备领域的制造技术于一体,实现人机交互等智能模式,引领工程机械行业进入无人驾驶时代
NTZYCQ	交通运输设备制造业	率先布局智能船厂,将高精度感知控制等智能技术与船舶先进制造技术和工艺流程相融合,自主开发出世界首台实现钢板全幅面数码印字工艺的智能设备
SCZH	仪器仪表制造业	在多数业内企业还致力于水表的使用寿命和计量精度时就以前瞻性思维布局智能化转型,成立独立子公司四川国德和智慧水务研究院,与华为等企业共同探索现有的窄带物联网技术在水表行业的场景创新,领先世界首创窄带物联网超声远传水表,引领行业走向智慧水务之路
SYZG	专用设备制造业	创建独立的树根互联公司,发布根云平台。将 5G、AI 等智能技术与制造工艺流程深度融合,建成重工行业首获认证的智能灯塔工厂
SHZN	专用设备制造业	探索大数据、AI 等智能技术在高端装备制造业的场景创新,与中国联通合作,研发了 5G 智能旋挖钻机等全球首创智能装备,颠覆了装备制造业的传统运营模式
SGDL	通用设备制造业	加入中国联通 5G 应用创新联盟,深度融合智能技术与制造技术,开发出首个基于网络远程管理的旋转机械远程监测及故障诊断中心
SG	通用设备制造业	建立相对独立的测控公司,自主研发全息监测技术并将其与无线物联网等技术深度融合,与销售易跨界合作打造服务云平台,解决了单纯上线 ERP 等软件带来的信息孤岛问题
SYJC	通用设备制造业	与神州数码等互联网企业成立合资公司,攻克了数控系统核心技术,首创基于互联网的运动控制系统,使中国机床的核心部件摆脱了对国外的依赖
TRGY	通用设备制造业	成立专注于研发智能制造先进控制等技术的智能科技公司,融合 3D 视觉相机等智能技术与制造技术,通过智能化转型颠覆了传统产业弊端
WCDL	通用设备制造业	基于智能技术在新场景的创新应用,建成智慧动力平台,在工程机械智能驾驶等领域取得突破
XADT	通用设备制造业	与中国产业互联网研究院共建电梯智能制造实验室,融合 5G 等前沿技术首创 C2M 数字孪生模式,其智能工厂颠覆了电梯行业制造的传统模式,业内首创的北斗星智慧服务系统革新了电梯维保服务模式
XGJX	专用设备制造业	孵化独立企业徐工信息,并与华为等企业联合打造工业云生态平台,建成全球首条起重机转台智能生产线,将智能技术之间、智能技术与制造技术、智能技术与业务流程深度融合,触发颠覆性技术创新,实现装备研发、生产制造和营销服务的智能化
YQJF	交通运输设备制造业	成立智能网联开发院,与行业内外企业进行智能化领域的技术合作,将手机领域的升级理念和技术应用于智能商用车场景,创新引领行业发展
ZCQDSF	交通运输设备制造业	与德国斯图加特大学开展轨道交通车辆智能化前沿技术方面的合作,首次深度融合物联网、传感网、车载传输网络和列车控制网络等技术,研制出中国首列智能化高速列车
ZGHF	交通运输设备制造业	与京东开展智能供应链的合作,依托智能技术开发了集成研发平台,建成国内首个商用航空发动机智能工厂,推动了航空领域的智能化转型
ZGSF	交通运输设备制造业	创建人工智能创新中心、商飞软件公司等相对独立的颠覆性技术创新孵化组织,与阿里巴巴合作共建智能工厂,颠覆了飞机的设计研发、生产、试验、运营支持等传统流程管理模式
ZGXD	电气机械和器材制造业	融合智能技术研发了智能化变压器等设备,建成了全国首座全户内智慧变电站,推动了电网行业的智能化转型
ZLZK	通用设备制造业	率先将 5G+工业互联网应用于塔机的研发场景,创建中科云谷公司开发工业互联网平台,促进制造技术与智能技术交叉融合,推出行业多个首款智能装备产品,实现塔机从高空操作变地面操作到远程智能控制的颠覆

案例企业数据来源于：

(1) 赴部分案例企业展开实地调研，与企业中高层管理人员和专业技术人员展开访谈，访谈内容聚焦于颠覆性技术创新项目实施过程等各方面，并前往现场观察案例企业的生产制造流程和组织管理模式，及时针对智能研发(设计)、智能生产、智能管理、智能营销和智能服务等智能化转型领域和可能引起颠覆性技术创新的各因素做好观测记录。

(2) 围绕装备制造企业智能化转型以及颠覆性技术创新，通过文献资料查阅等方式收集相关案例企业的高质量二手资料。具体包括中国知网等学术文献数据库上查询到的研究文献、权威媒体有关案例企业的新闻报道、国泰安等专业数据库和 e-works 等智能制造权威机构发布的研究报告、案例企业官网信息、巨潮网上查询到的相关案例企业季度及年度报告、企业内部刊物、企业人物采访视频等内容。

以上多渠道来源数据之间的相互验证和补充，保证了本文的信度和效度。

(三) 变量测量

多次梳理搜集到的案例数据，根据表 2 中的赋值标准，采用四值赋值法(0, 0.33, 0.67, 1)进行编码赋值，其中“1”代表完全隶属，“0.67”代表偏隶属，“0.33”代表偏不隶属，“0”代表完全不隶属。

表 2 变量赋值标准

变量	赋值标准	借鉴依据
智能化转型	将智能研发(设计)、智能生产、智能管理、智能营销、智能服务作为衡量装备制造企业智能化转型的 5 个方面。根据案例材料分别对这 5 个方面进行打分，每个方面满分为 5 分，计算总得分。0~7 分赋值为 0；8~12 分赋值为 0.33；13~18 分赋值为 0.67；19~25 分赋值为 1	王影等 ^[13]
超前布局战略	将 20 个案例企业按开始基于颠覆性技术创新布局智能化转型的时间由晚到早排序，排在第 1 位的赋值为 0；第 2 位至第 10 位赋值为 0.33；第 11 位至第 19 位赋值为 0.67；第 20 位赋值为 1	董津津和陈关聚 ^[41]
二元组织结构	为孵化颠覆性技术推动智能化转型而建立独立公司赋值为 1；建立自主事业单位赋值为 0.67；建立技术创新中心或创意团队赋值为 0.33；未建立任何独立组织赋值为 0	刘洪民等 ^[42]
行业间技术合作	与行业外其他企业有智能化相关的技术合作；与高校或科研机构有智能化相关的技术合作；在智能化转型早期就已和行业外其他组织进行技术交流以识别颠覆性技术创新机会；本企业技术人员与行业外合作伙伴关系密切；与行业外其他组织相互学习和交流智能技术以提高颠覆性技术创新效率；行业间技术合作方积极参与对方在智能化转型方面的决策；行业间技术合作方共同致力于智能技术的应用。共 7 条标准，满足 7 条赋值为 1；满足 4~6 条赋值为 0.67；满足 2~3 条赋值为 0.33；否则赋值为 0	Lawson 等 ^[43]
技术融合	为促进智能制造颠覆性技术的产生而进行互补性技术融合和替代性技术融合赋值为 1；只进行互补性技术融合赋值为 0.67；只进行替代性技术融合赋值为 0.33；未进行技术融合赋值为 0	王媛等 ^[44]
技术跃迁	智能化关键核心技术通过在位企业未关注的技术或市场空间进行发展；通过各种方式开展基础研究，实现技术领先；以更低的成本实现了现有产品或服务；智能化关键核心技术的突破创造了新的需求或产生了新的部门；智能化关键核心技术的突破对现有产品、工艺流程、组织等造成了冲击；智能化关键核心技术突破提高了客户满意度；核心技术具有较强的发展潜力，能带动产业链的发展。共 7 条标准，满足 7 条赋值为 1；满足 4~6 条赋值为 0.67；满足 2~3 条赋值为 0.33；否则赋值为 0	欧春尧等 ^[45]
场景创新	将场景创意提出、场景设计开发、场景资源开放、场景应用示范作为衡量场景创新的 4 个方面。根据案例材料分别对这 4 个方面进行打分，每个方面满分为 5 分，计算 4 个方面的总得分。0~4 分赋值为 0；5~9 分赋值为 0.33；10~14 分赋值为 0.67；15~20 分赋值为 1	尹西明等 ^[46]

(四) 编码信度检验

为保证后续研究的可靠性，参考程波辉和彭向刚^[47]的做法，邀请陕西省智能制造专家咨询委员会的两位专家，与两名团队成员组成 4 人编码小组，根据表 2 对 140 个(20 个案例企业×7 个变量)条目独立进行编码赋值。根据式(1)计算 4 位编码者两两之间的相互同意度，结果如表 3 所示。

表 3 4 位编码者的相互同意度

编码人员	编码者 1	编码者 2	编码者 3	编码者 4
编码者 1	—	85%	87.14%	89.29%
编码者 2	85%	—	85.71%	90%
编码者 3	87.14%	85.71%	—	92.86%
编码者 4	89.29%	90%	92.86%	—

$$K_{ij} = \frac{2M_{ij}}{N_i + N_j} \quad (1)$$

其中： K_{ij} 为第 i 和 j 位编码者之间的相互同意度； M_{ij} 为第 i 和 j 位编码者的赋值完全相同的编码个数； N_i 和 N_j 分别为第 i 和 j 位编码者所赋值的编码个数。

计算平均相互同意度和信度系数为

$$\text{平均相互同意度} = \frac{85\% + 87.14\% + 89.29\% + 85.71\% + 90\% + 92.86\%}{6} = 88.33\% \quad (2)$$

$$\text{信度系数} = \frac{\text{编码人数} \times \text{平均相互同意度}}{1 + (\text{编码人数} - 1) \times \text{平均相互同意度}} \quad (3)$$

代入数据计算可得,编码的信度系数约为 96.8%(>80%),表明具备较好的编码信度。

随后,对赋值存在较大差异的部分进行研讨,直至形成共识,赋值结果如表 4 所示, O 、 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 分别为智能化转型、超前布局战略、二元组织结构、行业间技术合作、技术融合、技术跃迁和场景创新。

表 4 变量赋值表

企业代码	O	A	B	C	D	E	F
1	1	0.33	1	0.67	0.67	0.67	0.67
2	0.67	0.67	1	0.67	0.67	1	0.67
3	1	0	1	0.67	1	1	0.33
4	0.33	0.67	0.33	0.33	1	0.67	0
5	0.67	0.67	1	0.67	1	0.67	0.67
6	1	0.67	1	1	1	0.67	0.67
7	1	0.67	0.67	0.67	1	0.67	0.67
8	0.67	0.33	1	0.67	1	0.67	0.33
9	1	0.33	1	0.67	0.67	0.67	0.67
10	0.67	0.33	1	0.67	0.67	1	0.33
11	0.67	0.67	1	0.33	1	0.67	0.33
12	1	0.67	1	0.67	0.67	0.67	0.33
13	0.67	0.33	0.67	0.67	0.67	0.67	0.33
14	1	1	1	0.67	1	0.67	0.67
15	1	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
16	1	0.33	0.67	0.67	1	0.67	0.67
17	0.67	0.33	0.67	0.67	0.67	0.33	0.67
18	1	0.33	1	0.67	0.67	0.67	0.67
19	0.33	0.33	0	0.67	0.67	0.33	0.33
20	0.67	0.67	1	0.67	1	0.67	0.67

四、分析与讨论

(一) 必要性分析

NCA 中的效应量表示条件对结果的影响大小,即条件在多大程度上是结果的必要条件。一般而言,当效应量大于 0.1 且通过了蒙特卡洛仿真置换检验时(p 显著),可以认为该前因条件是结果的必要条件^[48]。鉴于上限包络分析(ceiling envelopment, CE)估计方法适用于二分变量和少于 5 个变量级别的离散变量,而上限回归分析(ceiling regression, CR)估计方法适用于连续变量和不低于 5 个变量级别的离散变量^[48],本文采用 CE 估计方法。利用 R4.2.0 软件进行必要性检验,结果如表 5 所示。

其中,“二元组织结构”的 p 在 1%的水平上显著(为 0.006, <0.01),且效应量为 0.67(>0.5),说明它是颠覆性技术创新驱动装备制造企业智能化转型的必要条件。这一方面意味着将从事颠覆性技术创新的组织与企业原有组织从空间上适度分离,对摆脱原有流程和价值主张的束缚发挥重要作用。企业可根据其自身情况采取建立独立公司、自主事业单位、技术创新中心或创意团队等分离方式。另一方面,二元组织结构的存在并不必然导致智能化转型的实现,还需要结合其他 5 个因素做进一步分析,以探究通过颠覆性技术创新驱动装备制造企业智能化转型的组态路径。

表 5 基于 CE 的必要性分析结果

条件	精确度 (%)	上限区域	范围	效应量	<i>p</i>
超前布局战略(A)	100	0.000	0.670	0.000	1.000
二元组织结构(B)	100	0.449	0.670	0.670	0.006*
行业间技术合作(C)	100	0.112	0.450	0.250	0.233
技术融合(D)	100	0.000	0.220	0.000	1.000
技术跃迁(E)	100	0.112	0.450	0.250	0.241
场景创新(F)	100	0.221	0.450	0.493	0.102

注：NCA 中的置换检验(permutation test, 重抽次数为 10000)；效应量在 0~0.1 表示条件对结果影响很小, 0.1~0.3 表示存在中等影响, 0.3~0.5 表示存在较大影响, 大于 0.5 表示存在很大影响。

(二) 充分性分析

为减少可能出现的矛盾组态, 参考 fsQCA 的一般规则^[38]将一致性阈值设为 0.8, PRI 一致性阈值设为 0.75。鉴于 20 个案例企业属于中小样本, 将频数阈值设为 1。利用 fsqca3.0 软件对表 4 中的模糊集数据进行标准化运算, 得到复杂解、中间解和简约解。同时出现在简约解和中间解中的因素为核心条件, 仅出现在中间解中的因素为辅助条件^[49], 结果见表 6。

由表 6 可知, 存在三种通过颠覆性技术创新驱动智能化转型的组态 S1a、S1b 和 S2, 必要条件“二元组织结构”存在于所有组态中。S1a、S1b 和 S2 均同时包含了创新、组织和技术层面的因素, 体现了创新、组织和技术因素的协同匹配对基于颠覆性技术创新的装备制造企业智能化转型的重要作用。另外, 单个解和总体解的一致性均为 1.000(都大于 0.8), 总体覆盖度为 0.773(>0.5), 表明三个组态较好地解释了基于颠覆性技术创新实现智能化转型的作用机理, 也印证了单一因素不足以实现智能化转型。为方便表述, 以大写字母表示核心条件, 小写字母表示辅助条件, ~表示逻辑非, 对上述组态进行分析:

1. 组态 S1a(B * c * d * e) 和 S1b(a * B * d * e * ~f)

在组态 S1a 中, 行业间技术合作(c)有助于装备制造企业拓展自身“知识池”并进行技术积累。而在组态 S1b 中, 超前布局(a)智能化转型有助于企业获得“先行者优势”, 同样可以达到技术积累目的。S1a 和 S1b 均以二元组织结构(B)为核心必要条件, 辅之以技术融合(d)和技术跃迁(e), 构成二阶等价组态^[49], 可合并为一条路径进行分析。由于颠覆性技术创新和传统技术创新模式采取的是不同的创新思维和方法, 构建二元组织结构可有效避免既有组织惯例和技术惯性对颠覆性技术创新的“干扰”^[50], 又为装备制造企业与其他智能化领域企业直接对接, 灵活开展各类行业间技术合作提供了便利。同时, 企业或依靠自身资源进行超前布局, 或借助外力开展行业间技术合作, 及时洞察行业内外技术变化趋势并扩展技术边界, 将获得的异质性互补知识和技术与自身制造技术深度融合, 实现关键技术突破, 激发企业从传统制造技术轨道向新一代智能制造技术轨道跃迁, 推动基于颠覆性技术创新的智能化转型。总之, S1a 和 S1b 解释了通过另辟新技术轨道实现基于颠覆性技术创新的智能化转型, 可将其命名为技术轨道跃迁型路径(S1)。

三一重工是通过技术轨道跃迁型路径实现智能化转型的典型企业。为开展工业互联网和智能制造颠覆性技术创新的孵化活动, 三一重工以“不翻身, 就翻船”的决心, 先后组建了相对独立的树根互联技术有限公司和智能制造研究院, 与腾讯、清华大学等企业和高校科研院所合作开展智能化关键技术的研究

表 6 条件组态分析结果

条件	S1		S2
	S1a	S1b	
超前布局战略(A)		●	⊗
二元组织结构(B)	●	●	●
行业间技术合作(C)	●		●
技术融合(D)	●	●	●
技术跃迁(E)	●	●	
场景创新(F)		⊗	●
一致性	1.000	1.000	1.000
原始覆盖度	0.731	0.413	0.456
唯一覆盖度	0.233	0.021	0.021
总体解的一致性	1.000		
总体解的覆盖度	0.773		

注：“●”代表核心条件存在, “●”代表辅助条件存在, “⊗”代表核心条件缺失, “⊗”代表辅助条件缺失, 空白表示该条件既可存在也可不存在。

发和应用。在此过程中技术不断积累和更新迭代,深度融合云计算、物联网和 AI 等智能技术与企业先进制造技术,完成了从传统制造技术轨道向智能制造技术轨道的跃迁,并运用互联网思维、平台思维和大数
据思维颠覆了装备产品传统销售模式,实现了研发(设计)、生产、管理、营销和运维服务的全方位智能化
转型。

2. 组态 S2(~a * B * c * d * f)

在组态 S2 中,二元组织结构(B)仍是核心条件。~超前布局战略(~a)表明此组态的典型情景是智能
化转型起步较晚。尽管现有研究普遍认为超前布局是颠覆技术创新的重要促进因素^[35,51],然而 S2 揭示了
后发企业如果能同时具备其他条件,也可实现智能化转型。装备制造企业智能化转型所需的创新资源往往
与其现有资源存量之间有较大缺口,行业间技术合作(c)可使企业获取更多异质性和互补性强的创新资源,
有助于后发企业充分利用机会窗口激发颠覆性技术创新^[52]。同时,构建二元组织结构(B)可将所获异质性
技术与自身制造技术快速有效融合,形成新的技术解决方案。此外,S2 中技术跃迁(E)的“可有可无”及场
景创新(f)的存在则说明无论技术跃迁存在与否,基于场景创新应用的颠覆性技术创新在后发企业智能化转
型过程中将发挥重要作用,故将其命名为场景创新应用型路径(S2)。

中国商飞是通过场景创新应用型路径成功实施智能化转型的典型企业。成立于 2008 年的中国商飞,智
能化转型起步相对较晚,除了建立相对独立的商飞软件有限公司、人工智能创新中心以专门孵化智能制造
领域颠覆性技术之外,先后与阿里云共建大飞机工作室,与联通共建 5G 全连接工厂等。在此过程中,一方
面不断基于智能技术与飞机制造技术的融合探索新技术和新工艺,如将智能技术与传统无损检测技术深度
融合形成智能化的无损检测与评价技术;另一方面,基于技术发展趋势、用户潜在需求和企业经营需要开发
了一批工业创新应用场景,并促进人工智能等新一代信息技术在工业场景的创新应用,如将虚拟现实技术
应用于飞机的研发设计环节,形成全沉浸式虚拟现实系统,实现了研发设计的智能化转型。通过广泛运用
基于场景创新应用的颠覆性技术,中国商飞在智能化转型领域实现了弯道超车。

分别通过两种方式进行稳健性检验:①将一致性阈值从 0.8 提升至 0.85;②将 PRI 一致性阈值由 0.75
调至 0.80,产生的组态及其参数与上述结果一致,证明上述分析结果具有稳健性。

(三) 因素间的替代关系分析

如果两个因素无法共存于任何一个组态,则认为这两个因素存在互替性^[53]。对比 S1a、S1b 和 S2,发现
在这 3 个组态中,技术跃迁和场景创新都未同时出现,说明二者在特定情况下具有互替性,即场景创新和技术
跃迁对驱动装备制造企业智能化转型具有同等重要的意义,二者均能通过和组织层面和技术层面的因素
匹配,以“殊途同归”的方式实现基于颠覆性技术创新的智能化转型,如图 2 所示。

若两个因素(或因素组合)分别与同一组其他因素组合后会导致相同结果发生,则认为这两个因素(或
因素组合)也存在互替性^[53]。对比 S1a 和 S1b,发现若“二元组织结构”“技术融合”“技术跃迁”都存在,则
“行业间技术合作”与“超前布局战略、~场景创新”的组合具有互替性,即作为不同的技术积累方式,依靠行
业间技术合作与依靠自身力量的超前布局战略都可为企业开展基于颠覆性技术创新的智能化转型提供技
术支撑,如图 3 所示。

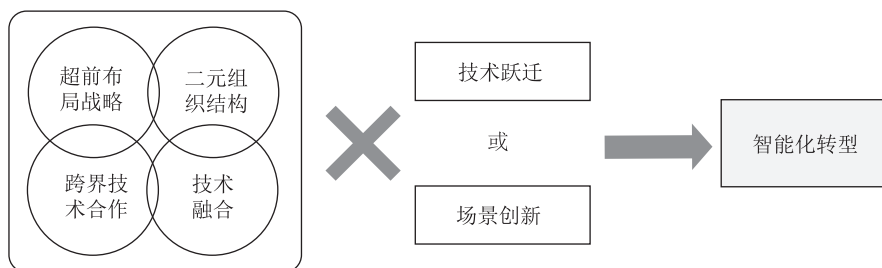


图 2 “技术跃迁”与“场景创新”的替代关系

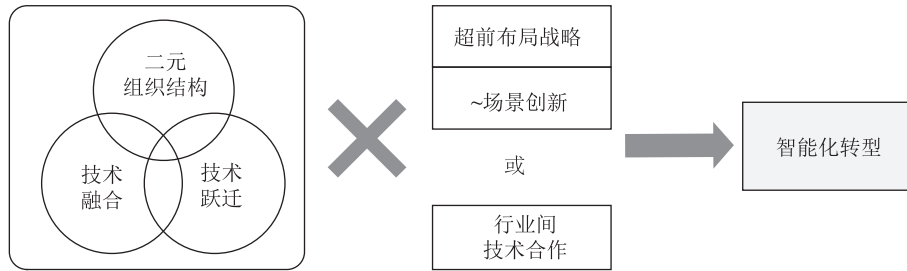


图3 “行业间技术合作”与因素组合“场景创新缺乏、超前布局战略”的替代关系

五、结论与启示

(一) 研究结论

本文从技术和组织两个维度出发,结合技术跃迁和场景创新构建了基于颠覆性技术创新的装备制造企业智能化转型的理论模型,并引入组态思想,探究了通过颠覆性技术创新驱动智能化转型的组态路径,主要结论如下:

(1)超前布局战略、二元组织结构、行业间技术合作、技术融合、技术跃迁和场景创新是影响基于颠覆性技术创新的装备制造企业智能化转型的关键因素,其中二元组织结构是必要条件。

(2)存在技术轨道跃迁型和场景创新应用型两条颠覆性技术创新驱动装备制造企业智能化转型的路径,为装备制造企业智能化转型提供了路径指引。

(3)因素“技术跃迁”与“场景创新”之间,以及因素“行业间技术合作”与因素组合“场景创新缺乏、超前布局战略”之间存在互替性关系,为装备制造企业基于自身发展开展有针对性的颠覆性技术创新活动,推动智能化转型提供了决策参考。

(二) 研究启示

(1)装备制造企业推进基于颠覆性技术创新的智能化转型既不能局限于优化单个要素,也不必盲目兼顾所有要素,而要重视超前布局战略、二元组织结构、行业间技术合作、技术融合、技术跃迁和场景创新等关键因素的联动匹配,依托自身禀赋,有的放矢找准发力点,选择合适的智能化转型路径。

(2)智能化转型先发企业可采用技术轨道跃迁型路径。企业有必要将专门从事颠覆性技术创新的部门从原有企业组织中分离出来,使其更好地发挥颠覆性技术孵化功能,并通过行业间技术合作广泛聚合、吸收和转化异质性知识,加速智能技术与制造技术的深度融合,实现从传统制造技术轨道向新一代智能制造技术轨道的跃迁。而智能化转型后发企业没有必要盲目跟风超出自身能力的技术跃迁,可通过场景创新应用型路径摆脱既往的创新范式和惯性束缚,将有限的颠覆性技术创新资源向智能制造各环节场景的创新应用倾斜,这是推动智能化转型的现实选择。

(3)装备制造企业可结合自身发展阶段和条件,根据“行业间技术合作”与因素组合“场景创新缺乏、超前布局战略”的互替性,以及“技术跃迁”与“场景创新”的互替性,灵活制定和实施基于颠覆性技术创新的智能化转型策略。

(三) 局限与展望

本文虽然将装备制造企业智能化转型研究从以往的单因素视角转向多因并发的组态视角,并将颠覆性技术创新理论与智能化转型研究结合在一起,丰富了装备制造企业智能化转型领域的相关理论,但由于时间限制,仅选择了20家已经实现或部分实现基于颠覆性技术创新的智能化转型的典型企业作为样本,未来若能增加失败的案例做进一步分析,相信会对颠覆性技术创新驱动装备制造企业智能化转型规律有更为深刻和全面的理解。

参考文献

- [1] BENITEZ G B, AYALA N F, FRANK A G. Industry 4.0 innovation ecosystems: An evolutionary perspective on value cocreation [J]. *International Journal of Production Economics*, 2020, 228: 107735.
- [2] 杜运周, 刘秋辰, 陈凯薇, 等. 营商环境生态、全要素生产率与城市高质量发展的多元模式——基于复杂系统观的组态分析[J]. *管理世界*, 2022, 38(9): 127-145.
- [3] 肖海林, 董慈慈. 突破性技术创新研究: 现状与展望——基于 SSCI 和 CSSCI 期刊的文献计量分析[J]. *经济管理*, 2020, 42(2): 192-208.
- [4] SI S, CHEN H. A literature review of disruptive innovation: What it is, how it works and where it goes[J]. *Journal of Engineering and Technology Management*, 2020, 56(8): 101568.
- [5] 李奉书, 徐莹婕, 杜鹏程, 等. 数字经济时代下联盟管理能力对企业颠覆性技术创新的影响——知识流动的中介作用与知识重构能力的调节作用[J]. *科技进步与对策*, 2022, 39(4): 80-90.
- [6] 许佳琪, 汪雪锋, 雷鸣, 等. 从突破性创新到颠覆性创新: 内涵、特征与演化[J]. *科研管理*, 2023, 44(2): 1-13.
- [7] 杨瑾, 王雪娇. 基于逆向研发外包的装备制造企业突破性技术创新影响因素研究[J]. *技术经济*, 2022, 41(7): 48-61.
- [8] KHAN S A, BOHNSACK R. Influencing the disruptive potential of sustainable technologies through value proposition design: The case of vehicle-to-grid technology[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 254: 120018.
- [9] QING L L, CHUN D, XIONG P. What cultivates a path of disruptive innovation within semiconductor latecomers? An exploratory case study of HiSilicon[J]. *Science Technology and Society*, 2022, 27(4): 502-523.
- [10] ROBLEK V, MESKO M, PUSAVEC F, et al. The role and meaning of the digital transformation as a disruptive innovation on small and medium manufacturing enterprises[J]. *Frontiers in Psychology*, 2021, 12: 592528.
- [11] NO H J, PARK Y. Trajectory patterns of technology fusion: Trend analysis and taxonomical grouping in nanobiotechnology[J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2010, 77(1): 63-75.
- [12] ZHOU J, LI P G, ZHOU Y H, et al. Toward new-generation intelligent manufacturing [J]. *Engineering*, 2018, 4(1): 11-20.
- [13] 王影, 张宏如, 梁祺. 效果推理对制造企业智能化转型的影响机制研究[J]. *研究与发展管理*, 2021, 33(1): 27-38.
- [14] CHRISTENSEN C M. *The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail* [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1997.
- [15] CHEN J, BURGELMAN R A, LI J X, et al. Leading for constructive innovation: Preliminary evidence from China[J]. *Journal of Engineering and Technology Management*, 2020, 57: 101588.
- [16] 王子丹, 袁永, 邱丹逸. 颠覆性技术创新促进机制及国内外经验研究[J]. *科学管理研究*, 2021, 39(2): 153-158.
- [17] 李健旋. 中国制造业智能化程度评价及其影响因素研究[J]. *中国软科学*, 2020(1): 154-163.
- [18] KUHLMANN M, BENING C R, HOFFMANN V H. How incumbents realize disruptive circular innovation: Overcoming the innovator's dilemma for a circular economy[J]. *Business Strategy and the Environment*, 2023, 32(3): 1106-1121.
- [19] ZHANG W Y, ZHANG W, WANG C X. What drives continuance intention of disruptive technological innovation? The case of e-business microcredit in China[J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2022, 34(8): 905-918.
- [20] RADNEJAD A B, VREDENBURG H. Disruptive technological process innovation in a process-oriented industry: A case study[J]. *Journal of Engineering and Technology Management*, 2019, 53: 63-79.
- [21] LIU W H, ZHANG J H, HOU J H, et al. Effect of intelligent logistics transformation announcements on shareholder value: Evidence from Chinese listed firms[J]. *Managerial and Decision Economics*, 2021, 42(5): 1194-1219.
- [22] 张光宇, 宋泽明, 戴海闻. 跨界技术并购如何促进后发企业颠覆性创新? [J]. *科学学研究*, 2023, 41(9): 1716-1728.
- [23] AFUAH A. Dynamic boundaries of the firm: Are firms better off being vertically integrated in the face of a technological change? [J]. *The Academy of Management Journal*, 2001, 44(6): 1211-1228.
- [24] 毕静煜, 谢恩, 魏海笑. 联盟伙伴技术多样性对企业突破性创新的影响——研发联盟组合特征的调节作用[J]. *研究与发展管理*, 2021, 33(2): 41-52.
- [25] CHO Y, KIM E, KIM W. Strategy transformation under technological convergence: Evidence from the printed electronics industry [J]. *International Journal of Technology Management*, 2015, 67(2/3/4): 106-131.
- [26] LI X, WU T, ZHANG H J, et al. Digital technology adoption and sustainable development performance of strategic emerging industries: The mediating role of digital technology capability and the moderating role of digital strategy[J]. *Journal of Organizational and End User Computing*, 2022, 34(8): 1-18.
- [27] SUN Y, YU Z Y, LI L, et al. Technological innovation research: A structural equation modelling approach[J]. *Journal of Global Information Management*, 2021, 29(6): 32.
- [28] 张立超, 刘怡君. 技术轨道的跃迁与技术创新的演化发展[J]. *科学学研究*, 2015, 33(1): 137-145.
- [29] KENNY D, MARSHALL J F. Contextual marketing: The real business of the Internet[J]. *Harvard Business Review*, 2000, 78(6): 119-125.

- [30] 吴滨, 韦结余. 颠覆性技术创新的政策需求分析——以智能交通为例[J]. 技术经济, 2020, 39(6): 185-192.
- [31] 李健, 渠珂, 田歆, 等. 供应链金融商业模式、场景创新与风险规避——基于“橙分期”的案例研究[J]. 管理评论, 2022, 34(2): 326-335.
- [32] 江积海, 唐倩, 王烽权. 商业模式多元化及其创造价值的机理: 资源协同还是场景互联? ——美团2010—2020年纵向案例研究[J]. 管理评论, 2022, 34(1): 306-321.
- [33] 邹波, 杨晓龙, 董彩婷. 基于大数据合作资产的数字经济场景化创新[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2021, 20(4): 34-43.
- [34] 李林, 杨承川, 何建洪. 我国先进制造企业技术赶超中的技术能力阶段性跃迁研究[J]. 管理学报, 2021, 18(1): 79-90.
- [35] KANG H, SONG J. Innovation and recurring shifts in industrial leadership: Three phases of change and persistence in the camera industry[J]. Research Policy, 2017, 46(2): 376-387.
- [36] GOVINDARAJAN V, KOPALLE P K. The usefulness of measuring disruptiveness of innovations ex post in making ex ante predictions[J]. Journal of Product Innovation Management, 2006, 23(1): 12-18.
- [37] YU D, HANG C C. A reflective review of disruptive innovation theory[J]. International Journal of Management Reviews, 2010, 12(4): 435-452.
- [38] 杜运周, 贾良定. 组态视角与定性比较分析(QCA): 管理学研究的一条新道路[J]. 管理世界, 2017, 33(6): 155-167.
- [39] VIS B, DUL J. Analyzing relationships of necessity not just in kind but also in degree: Complementing fsQCA with NCA[J]. Sociological Methods & Research, 2018, 47(4): 872-899.
- [40] 伯努瓦·里蒙克斯, 查尔斯·拉金. QCA 设计原理与应用: 超越定性与定量研究的新方法[M]. 杜运周等译. 北京: 机械工业出版社, 2017: 21.
- [41] 董津津, 陈关聚. 科技型企业创新行为决策动因与机理——基于扎根理论的溯源与模糊集定性比较分析的验证[J]. 中国科技论坛, 2020(7): 111-119.
- [42] 刘洪民, 蒋芸菁, 吕海萍. 基于颠覆性创新的创新型企业技术监控: 流程特征及框架结构[J]. 情报理论与实践, 2021, 44(5): 133-139.
- [43] LAWSON B, PETERSEN K J, COUSINS P D, et al. Knowledge sharing in interorganizational product development teams: The effect of formal and informal socialization mechanisms[J]. Journal of Product Innovation Management, 2009, 26(2): 156-172.
- [44] 王媛, 曾德明, 陈静, 等. 技术融合、技术动荡性与新产品开发绩效研究[J]. 科学学研究, 2020, 38(3): 488-495.
- [45] 欧春尧, 刘贻新, 戴海闻, 等. 人工智能企业颠覆性创新的影响因素及其作用路径研究[J]. 软科学, 2021, 35(4): 55-60, 111.
- [46] 尹西明, 苏雅欣, 陈劲, 等. 场景驱动的创新: 内涵特征、理论逻辑与实践进阶[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(15): 1-10.
- [47] 程波辉, 彭向刚. 中国生态文明建设的治理框架及其检验[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(8): 29-39.
- [48] DUL J, VAN DER LAAN E, KUIK R. A statistical significance test for necessary condition analysis[J]. Organizational Research Methods, 2020, 23(2): 385-395.
- [49] FISS P C. Building better causal theories: A fuzzy set approach to typologies in organization research[J]. Academy of Management Journal, 2011, 54(2): 393-420.
- [50] BERGEK A, BERGGREN C, MAGNUSSON T, et al. Technological discontinuities and the challenge for incumbent firms: Destruction, disruption or creative accumulation? [J]. Research Policy, 2013, 42(6-7): 1210-1224.
- [51] 金姝彤, 王海军, 陈劲, 等. 模块化数字平台对企业颠覆性创新的作用机制研究——以海尔 COSMOplat 为例[J]. 研究与发展管理, 2021, 33(6): 18-30.
- [52] 张骁, 吴琴, 余欣. 互联网时代企业跨界颠覆式创新的逻辑[J]. 中国工业经济, 2019(3): 156-174.
- [53] 张驰, 郑晓杰, 王凤彬. 定性比较分析法在管理学构型研究中的应用: 述评与展望[J]. 外国经济与管理, 2017, 39(4): 68-83.

How Can Disruptive Technology Innovation Drive the Intelligent Transformation of Equipment Manufacturing Enterprises?

Yang Jin^{1,2}, Tong Zhiwen¹

(1. School of Management, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

(2. School of Public Policy and Administration, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: The disruptive technology innovation has become an important way for Chinese equipment manufacturing enterprises to get rid of external dependence and realize intelligent transformation. However, the mechanism of intelligent transformation through disruptive technology innovation is not clear. Based on the relevant researches and actual cases, six key influencing factors including “dual organizational structure” were condensed from the level of technological disruption, technological application and organizational guarantee. Combining necessary condition analysis (NCA) and fuzzy-set qualitative comparative analysis (fsQCA), brought the impact of these factors in the process of intelligent transformation based disruptive technology innovation into a common analysis framework in order to explore the necessary condition and the mechanism of the configuration with 20 typical equipment manufacturing companies as research samples. It is found that dual organizational structure is the main driving force for the equipment manufacturing industry to realize intelligent transformation through disruptive technology innovation. Two approaches named “technological trajectory transition” (S1) and “innovative application of scenarios” (S2) to realize the intelligent transformation are obtained. There is a reciprocal relationship between “technology transition” and “scenario-based innovation”, as well as a reciprocal relationship between “cross-border technical cooperation” and the combination of “ahead of the layout” and “lack of scenario-based innovation” under certain conditions. In a word, the results not only clarify the internal mechanism of intelligent transformation of equipment manufacturing enterprises driven by disruptive technology innovation, but also provide path guidance for enterprises to implement intelligent transformation according to their own reality.

Keywords: equipment manufacturing enterprises; intelligent transformation; disruptive technology innovation; NCA; fsQCA