

数字技术驱动高端颠覆性创新的过程机理：探索性案例研究^{*}

刘海兵 刘 洋 黄天蔚

摘要：新一轮科技革命为高端颠覆性创新带来了新的技术机会窗口。在激烈的全球竞争情境下，新时代中国制造企业可以通过高端颠覆性创新获取主流市场，走出新的道路。基于美的微蒸烤一体机的探索式案例分析，本文提出了数字技术驱动高端颠覆性创新的理论框架，研究发现：（1）高端颠覆性创新产生过程包括模糊前端阶段（机会识别，产品概念）、开发阶段（牵引技术，仿真实验）、商业化阶段（数字化监测、迭代升级）等3个核心阶段的核心创新活动；（2）数字技术的连接、聚合和分析能力的发挥，通过数字连通（数字孪生、数字化生态嵌入）和数字协同（数字化开放式创新、数字化分布式协同）两类机制驱动高端颠覆性创新的产生。通过探讨数字技术驱动高端颠覆性创新的产生过程机理，本文发现不仅贡献于颠覆性创新理论和数字创新文献，也为中国制造企业抓住数字变革机遇产生高端颠覆性创新提供管理启示。

关键词：数字技术 颠覆性创新 数字化创新 案例研究

一、引言

在新一轮科技革命和产业变革中，新兴技术间高度融合、不断渗透，各行业颠覆性创新的技术、产品和服务不断涌现。例如，基于生成性预训练语言模型的聊天机器人（ChatGPT）推出两个月就获得1亿用户，可能对搜索以及内容产生相关行业带来重大颠覆；特斯拉推出嵌入智能技术的纯电动汽车从高端用户切入，对整个汽车生态产生了重大影响。在技术轨道发生重大变革过程中涌现出的技术机会窗口，企业如若抓住机会窗口，则有可能从高端切入颠覆现有行业从而实现“换道超车”。“发展引领产业变革的颠覆性技术”已被写入《国家创新驱动发展战略纲要》，成为中国企业、产业发展的重要战略任务。

颠覆性创新，被理解为在激烈的全球竞争和高度动荡环境下企业保持持续竞争优势的一种创新战略，是过去20多年里创新管理研究领域最重要的议题之一（克里斯滕森，1997；克里斯滕森、雷诺，2003；克里斯滕森等，2018；斯、陈，2020；李东红等，2021）。颠覆性创新理论一经提出，国内外学者在个体、组织、产业和社会不同层次，围绕颠覆性创新的范围（克里斯滕森、雷诺，2003；马基迪斯，2006；威尔士、川上，2017；马托等，2020）、过程（施密特、德吕尔，2008；克里斯滕森等，2015）、路径（马托等，2020；万等，2015）进行了大量研究（可参见库马拉斯瓦马等2018年组织的特刊）^①。

尽管取得长足进展，但如下两个方向值得进一步讨论。第一，现有文献关注低端颠覆性创新，但对高端颠覆性创新关注不足（斯、陈，2020；李东红等，2021）。颠覆性创新在提出之初就包含低端颠覆性创新和高端颠覆性创新两类（克里斯滕森，1997；克里斯滕森、雷诺，2003）。其中，低端颠覆性创新强调颠覆者重视以更简单、更便捷和更高性价比的产品进入被忽视的低端市场，而后通过不断改进技术以快速提升产品性能，最终赢得主流市场份额（克里斯滕森，1997；周江华等，2012）。高端颠覆性创新则强调凭借新技术创造全新的市场需求（克里斯滕森等，2018；斯、陈，2020；李东红等，2021）。与低端颠覆性创新相比，高端颠覆性创新往往具有基于重大技术突破、以更高性能和价格的产品切入、聚焦于主流市场所忽视的

^{*}本文感谢浙江省自然科学基金杰出青年项目“认知与能力视角下数字化转型过程研究”（基金号：LR21G02001）、国家自然科学基金面上项目“从象征性到实质性：企业多重地位视角下的制造企业数字创新行为研究”（基金号：72272133）以及武汉科技大学“十四五”湖北省优势特色学科（群）项目资助（2023D0406）、浙江省软科学研究计划“数字科技引领‘互联网’+科创高地建设研究”（2023C15011）的支持。感谢匿名审稿专家的意见。刘洋为本文通讯作者。

新市场等特征。然而,现有文献多集中于低端颠覆性创新,特别关注于后发企业通过低端颠覆性创新或者商业模式创新实现追赶(李东红等,2021)。事实上,正如李东红等(2021)关于百度 Apollo 的案例以及贝勒塔吉等(2020)关于 3D 技术案例的讨论,高端颠覆性创新往往更具挑战且带来更为深远的影响,需要学者们进一步关注。

第二,现有文献呼吁基于经验证据开发理论框架来探究数字技术驱动的颠覆性创新产生机制(霍普等,2018;刘洋等,2020;刘洋、李亮,2022)。关于数字技术驱动的创新相关研究一个常见论断是“数字技术可以根本性改变消费者的行为和预期、颠覆在位者的竞争格局”(刘洋等,2020),进而颠覆式创新的学者呼吁探究数字技术驱动颠覆性创新产生的过程和机制(霍普等,2018)。其中一个原因是,现有研究将“技术创新范式没有发生根本变化”作为了前提假设。但事实上数字技术改变了传统的技术创新范式(伊安提斯、拉卡尼,2020)。因此探究数字技术驱动颠覆性创新的过程为发展颠覆性创新新理论提供了可能。

基于此,本文关注“数字技术如何驱动高端颠覆性创新产生”这一核心研究问题。基于美的集团(以下简称“美的”)微蒸烤一体机的创新实践为案例,通过归纳式探索性案例分析,本研究提出了数字技术驱动高端颠覆性创新的理论框架。具体而言,本研究探索了基于“模糊前端—开发—商业化”三阶段的高端颠覆性创新产生过程。进一步识别了数字技术驱动高端颠覆性创新的数字连通机制(数字孪生、数字化生态嵌入)和数字协同机制(数字化开放式创新、数字化分布式协同)。

本文潜在的理论贡献在于如下两个方面。第一,现有颠覆性创新的文献多关注低端颠覆性创新,而对高端颠覆性创新的关注不足(威廉森等,2020,2021)。本研究按照“模糊前端—开发—商业化”的过程,剖析了高端颠覆性创新产生的过程,为颠覆性创新研究提供了一个更为全局的图景(李东红等,2021)。第二,本文识别了数字连通机制和数字协同机制是数字技术驱动高端颠覆性创新产生的两个关键机制。数字连通机制包含数字孪生(建立物与物及物与数的连通)和数字生态嵌入(建立人与人及人与数的连通)两类创新活动;数字协同机制包含数字化开放式创新(外部资源整合与协同)和数字化分布式协同(内部资源整合与协同)两类创新活动。这两类机制的发现不仅正面回应了对数字技术情境下高端颠覆性创新产生过程的研究呼吁(霍普等,2018;伊安提斯、拉卡尼,2020),同时也对更一般数字创新的产生机理研究有启示(刘洋等,2020;格雷戈里等,2021;海夫纳等,2021)。

二、文献回顾

(一)颠覆性创新的生产过程

克里斯滕森最初提出“颠覆性技术”的概念(克里斯滕森,1997;鲍尔、克里斯滕森,1995)。“颠覆性技术”所关注的核心问题是:颠覆者利用新出现的边缘技术与主流技术之间的持续互动,开发出一种主流市场不重视的技术和产品,进而进入低端市场或新市场。颠覆者的产品或服务起初在价值属性方面通常不如在位企业,但随着边缘技术持续改进并最终超越主流技术时,颠覆者将成功“挤占”主流市场(卡拉扬诺普洛斯,2009;克里斯滕森等,2018;郭等,2019;斯、陈,2020;斯等,2021)。后来颠覆性创新的内涵由技术拓展至产品、服务或商业模式等领域(克里斯滕森、雷诺,2003;马基迪斯,2006;杭、陈,2021;黄等,2015;克里斯滕森等,2018),使颠覆性创新的理论更加饱满。

总体而言,颠覆性创新正在逐步发展成为一个“大伞概念”。学者们强调“改变主流”(巴登·富勒等,2006;帕吉特、马尔维,2007)、“新产品、新市场或新商业模式”(科斯托夫等,2004)等特征。同时,现有文献的一个共识是颠覆性创新是一个过程,而不仅仅是一个结果(安萨里等,2016;库马拉斯瓦马等,2018;斯、陈,2020)。例如,斯等(2021)将颠覆性创新的发展过程分解为进入和转型两个阶段,并认为颠覆性创新的成功在很大程度上取决于新产品或新服务的价值属性在转型阶段是否得到持续改善,并最终超越主流技术。而李东红(2021)则基于百度 Apollo 自动驾驶开放平台的案例分析了以跨界网络治理驱动颠覆性技术创新的过程理论框架。

本文顺应这一流派,聚焦关注于颠覆性创新特别是高端颠覆性创新的产生过程。这是因为,正如威廉森

等(2020)在总结“中国式颠覆性创新模式”时提及:中国式颠覆性创新多基于成本创新,即低端颠覆性创新,且“很少有研究关注企业如何系统性产生颠覆性创新的过程”。具体而言,第一,与中国经济发展相关,中国后发企业在追赶过程中,选择低端颠覆性创新作为典型策略(威廉森等,2021)。因此现有文献多关注后发企业的低端颠覆性创新,特别是商业模式创新(李东红等,2021)。然而,高质量发展要求中国企业通过高端颠覆性创新来获取主流市场,这就亟需提出高端颠覆性创新产生过程及机理的理论来指导企业实践。

第二,高端颠覆性创新以新技术轨道为切入点,以新技术创造全新市场需求,从而构筑新市场位势并逐步占据主流市场的过程(林德格伦,2011;戈文达拉扬、科佩尔,2006;戈文达拉扬等,2011)。高端颠覆性创新往往涉及行业内既定技术范式的转变(吴晓波等,2021;肖静华等,2021),涉及颠覆者与在位企业在不同技术轨道间的竞争,其技术产生与演化过程更为复杂。进一步,高端颠覆性创新涉及全新市场需求的创造,需要对模糊前端阶段给予更多的关注。基于以上两个理由,我们需要系统研究高端颠覆性创新的产生过程。

(二)数字技术驱动的创新

数字技术定义为信息、计算、沟通和连接技术的组合(巴拉华等,2013)。数字技术的核心差别在于连接和计算等相关技术的快速发展使数据孤岛得到广泛连接进而“量变引起质变”(尤等,2010,2012;阿德纳等,2020)。具体而言,一方面,数字技术具有自生性、可供性、开放性特征,使创新者识别创新机会、开发创新产品、开发复杂和新颖功能等变得容易,颠覆了传统的创新过程(科佐利诺等,2018;库马拉斯瓦马等,2018;刘洋等,2020;李东红等,2021)。例如,刘等(2023)发现,数字技术的采纳不仅提升了运营效率,更为重要的是提升了企业整体的创新速度进而促进绩效提升。然而,现有文献多集中于探讨数字化创新的理论阐释(巴雷特等,2015;杰科毕得斯等,2018;亨弗里德森等,2014,2018)、数字技术对企业创新绩效的作用(马丁内斯·卡罗等,2020;李等,2020;刘等,2023)等,对具体创新过程的驱动机理并未有深入探讨(焦豪、杨季枫,2022;李振东等,2023)。

另一方面,颠覆性创新的动态环境正持续改变,数字技术则在改变已有技术范式的基础上正在构筑新的技术惯例(维亚尔,2019)。当新的技术范式出现时,企业创新过程的基本逻辑亦随之改变。作为一种新的技术范式,数字技术对颠覆性创新产生的过程和作用机理都需要理论上的探讨与建构(霍普等,2018;伊安提斯、拉卡尼,2020)。数字技术的快速发展正是为探讨技术范式转变情境下颠覆性创新的产生机理,进而拓展颠覆性创新理论提供机会。

综上所述,颠覆性创新是一个过程,目前已有文献主要集中在低端颠覆性创新领域,而对高端颠覆性创新缺乏深入探讨(李东红等,2021)。同时,数字技术颠覆了传统的创新过程(刘洋等,2020)。通过探究数字技术驱动高端颠覆性创新的机理,不仅能拓展技术范式转变情境下颠覆性创新理论,也能丰富数字技术驱动创新的研究。

三、研究设计

(一)方法选择

本研究采用探索性单案例研究方法,具体理由包括以下3点。第一,关于数字技术驱动高端颠覆性创新的研究是一个新领域,从方法匹配的角度出发(埃德蒙森、麦克马纳斯,2007),探索性案例研究有助于新理论的开发。第二,本文关注过程理论开发(兰利,1999;兰利等,2013;王凤彬、张雪,2022),探索性单案例有助于对案例企业关于高端颠覆性创新过程进行“深描”和剖析,理解其背后的复杂动态性和机理(艾森哈特等,2016)。第三,纵向单案例研究更聚焦于“故事”(王凤彬、张雪,2022),基于特定理论视角对案例进行叙事分析,通过关键证据链提出复杂现象的理论洞见(苏敬勤等,2022;邢小强等,2021;肖静华等,2021)。

(二)案例选择

基于理论抽样,本文选择美的微蒸烤一体机作为案例,具体理由如下。首先,本文关注高端颠覆性创新的产生过程,而美的微蒸烤一体机在技术、产品、市场等方面体现出了高端颠覆性创新的典型特征(参见表1)。

具体而言,美的微蒸烤一体机的技术性能有重大突破。核心部件的小型化和风道散热系统是微蒸烤一体

机的研发难点,而美的在小型化磁控管、石墨烯发热管和燃卡方面均取得了突破性创新:在小型化磁控管实现了全球体积最小(比体积最小的竞品还要下降13.5%)、功率最高;石墨烯发热管技术是行业加热最快技术,采取全域发射技术、首创高效短波穿透技术,穿透率从30%提升到66%,该技术被鉴定为“国际领先”;美的燃卡料理炉脱脂减盐技术创新性地采用了瀑流蒸汽与炭火射流配合的脱脂减盐烹饪算法,能够帮助烤制的食物减少脂肪,脱脂率能提升48%。磁控管围绕功率、效率、材料、散热、小型化等核心技术,进行专利布局62项,其中获得中国专利优秀奖2件,广东专利银奖/优秀奖各1件,形成了较高的技术壁垒。燃卡的成果获得国际领先技术鉴定和德国电气工程师协会认证,成为行业健康产品标杆。

在产品方面,美的微蒸烤一体机从非主流市场的价值属性切入,定位于高端产品体系。事实上,传统蒸机和烤机的主流价值属性是厨房用品相关的价值属性,而美的微蒸烤一体机进入市场时则关注餐厅用具相关的价值属性,如外观体积、家庭收纳、加热快、可烧烤、智能化等。

在市场方面,在美的推出微蒸烤一体机前,主流市场关注微波炉、微烤炉。美的聚焦于高端市场并推动了微蒸烤一体机的颠覆性技术创新。经过3年时间,美的使微蒸烤一体机从主流市场不关注到逐渐取代了原有的微波炉、微烤炉等市场成为主流市场,并占到国内市场的68%。综合技术、产品和市场特征,美的微蒸烤一体机是一个典型的高端颠覆性创新案例。

其次,本研究选取美的集团作为案例,是因为这一案例能够凸显数字技术驱动高端颠覆性创新机理的本质属性和关键特征。美的从2011年开始进行面向智能制造的数字化变革,近年来对研发活动进行了数字化转型(肖静华等,2021)。进一步,数字技术在美的微蒸烤一体机产生过程中起到了关键作用。基于大数据分析、算法、数字孪生等技术的“美居手机”应用程序、爱魔镜、商情智能、地动仪、观星台、企划通、数字仿真平台、共创(COCREATING)开放式创新平台等数字软件和平台,让美的微蒸烤一体机的开发过程变得更为顺畅、更为容易。这些实践有助于我们清晰地观察数字技术如何驱动创新的具体机理。

最后,对研究对象的长期性、持续性跟踪研究,有助于提炼重要理论发现。研究团队多年以来持续与美的集团研发部门合作。2021年以来借助合作项目,研究团队与美的科技部门、产品部门、战略部门及其他相关部门进行了高频次的正式与非正式访谈,为本研究提供了丰富的数据基础。

(三)数据收集

为了全面系统收集美的微蒸烤一体机的开发过程,研究团队收集了以访谈数据为主,档案、公开资料、参与式观察等为辅的多种数据来源以实现数据三角验证(殷,2003)。具体而言,数据收集分为两个阶段完成。第一阶段为2019年12月至2021年12月,这个阶段是从整体上收集美的科技创新能力现状的相关档案资料、初步访谈、公开资料等,尤其是分析近5年主导创新产品的创新能力和市场突破情况,包括磁悬浮变频离心式冷水机组、微晶系列冰箱、单桶洗系列洗衣机、相变储能电热水器以及微蒸烤一体机5个产品,进而形成颠覆性创新实践与理论的对话。经过对每个产品技术和功能创新能力的比较分析,并与美的研发部门相关负责人

表1 高端颠覆性创新的独特性及本案例的典型性

对比维度		突破性创新	低端颠覆性创新	高端颠覆性创新	本案例的典型性
颠覆结果	市场	主流市场	主流市场所忽略的低端市场	主流市场所忽略的高端新市场	在美的推出微蒸烤一体机前,主流市场关注微波炉、微烤炉。美的聚焦于高端市场并创造了微蒸烤一体机这一新市场。3年时间微蒸烤一体机从主流市场不关注到成为主流市场,美的国内市场占有率高达68%
	技术	技术的重大突破	够用技术;现有技术的重新组合、编排	技术的重大突破或技术跨界迁移	美的微蒸烤一体机的开发依托于石墨烯发热管技术,技术性能达到0.2s快速升温,1300℃高温辐射,是行业加热最快的热辐射技术;微波、蒸汽、电烤、材料、密封、保温、流体、降噪、电控、营养等多项技术融合
	产品	更优性能、更高价格	非主流价值属性切入,更低价格	非主流价值属性切入,更高价格	价值属性:从厨房用具变为餐厅用具 价格:高于之前蒸、烤机相关产品价格
颠覆对象	颠覆者(创新者)/在位企业	创新者多为在位企业,或基于创新的创业企业	颠覆者多为新创企业/在位企业多为行业主导企业	颠覆者多维在位企业或基于创新的创业者/颠覆对象为多为行业主导企业	颠覆者:美的微蒸烤一体机作为以微波为核心的产业拓展,不仅保有微波核心技术优势及壁垒,而且结合蒸、烤两大烹饪方式,突破性实现创新电器化技术方案 在位企业:美的、格兰仕、松下等在位企业,主流市场为微波炉、微烤炉市场
	颠覆方式	—	低端切入	高端切入	美的微蒸烤一体机目标客户画像为:高学历、高消费力、颜控、一二线城市、重度网购达人

就每类产品开发的市场背景、过程和市场绩效开展了深入交流,经过双方多次研讨,最终确定微蒸烤一体机是美的利用数字技术驱动高端颠覆性创新的典型案例。第二阶段从2021年12月至2022年3月,集中在“美的如何利用数字技术驱动微蒸烤一体机创新”这一核心问题上,连续多频次对美的中央研究院负责人、科技与标准部门团队、研发中心团队、工程师等进行了密集访谈(参见表2)。以半结构化访谈为主的数据收集过

表2 案例企业半结构化访谈信息

序号	访谈对象	数量	次数	访谈时间	访谈主题
1	美的中央研究院负责人	1	1	2019年12月	美的科技创新能力、模式以及体系。
2	美的科技部门团队	3	3	2021年7~8月	美的科技创新的组织模式、颠覆性创新产品、创新战略,以及打造世界一流企业的布局等。
3	美的科技标准负责人	1	1	2021年11月	美的颠覆性创新产品的技术创新能力突破以及市场收益情况等。
4	美的中央研究院负责人	1	1	2021年12月	美的颠覆性创新的能力。
5	美的科技部门团队	5	1	2022年1月	美的科技创新战略、创新投入、专利、开放式创新等。
6	美的科技与标准部门负责人	1	5	2022年1~2月	美的集团现在的战略及业务结构。
7	美的技术研发中心	7	1	2022年1月	微蒸烤一体机的创新过程、技术突破点、专利、销售、研发难点等等。
8	美的科技部门团队	3	2	2022年1~3月	数字化工具运用情况及发挥的作用,美的数字化能力发展情况等。

程中特别关注于具体的创新活动事件的描述,同时访谈形式多样,包括:对每个部门的集中访谈,对多个部门的联合开放式研讨,聚焦于特定主题的“一对一”电话访谈等。

具体数据收集过程中研究团队采取了以下手段来保障信度和效度:在对部门的访谈前,研究团队都会准备访谈提纲提前发给访谈对象,以保证访谈对象熟悉主题,并准备相关数据资料,以使信息中涉及的数据是准确的;在访谈中会根据双方对问题的理解程度追问,以获得更多重要的细节信息;前期合作项目为双方的深入沟通奠定了良好的基础,使双方对彼此的嵌入度尽可能高以保证研究的信度和效度;每次访谈结束后,都会及时将访谈录音转录成文字,然后根据不同的主题分类整理并与访谈对象进行确认;将访谈获得的数据与公司年报等对外披露的数据比对,发现不一致时通过补充访谈等方式进行确认以保障数据可靠性等。

(四)数据分析

本文的数据分析过程遵循过程型理论开发的要求,并不断进行“数据—涌现理论—文献”之间的持续比较(兰利,1999;兰利等,2013;王凤彬、张雪,2022)。具体而言,第一阶段进行初步的叙事分析。整合不同来源的数据对美的微蒸烤一体机从模糊前端阶段、开发阶段到商业化阶段的所有关键事件按照事件顺序进行排列,并对每个阶段的具体实践进行结构化梳理。对叙事不足的数据,研究团队进一步通过多次访谈和确认,最终形成完整的微蒸烤一体机产生过程的叙事线。

第二阶段进行初始编码工作。研究团队两位研究者对微蒸烤一体机产生过程的叙事进行细致的编码工作,采用以被访谈者的语言为主对相关内容进行总结,并对相近编码进行合并和整合(焦亚等,2013)。在初始编码和整合合并编码的过程中,我们发现美的微蒸烤一体机的开发过程符合一般新产品开发的具体流程,于是进一步阅读相关文献为进一步编码做准备(席林、希尔,1998)。

第三阶段进行进一步的编码工作。研究团队开始对初始编码的结果进行“以研究者为中心”的进一步编码工作,重点对涌现出来的概念进行研讨分析(焦亚等,2013)。特别地,本文反复讨论架构数字技术驱动高端颠覆性创新的机理,最终涌现出了数字孪生、数字化开放式创新、数字化分布式协同、数字化生态嵌入四大机制。最终本阶段形成了数据结构(如图1所示)。

第四阶段是理论框架搭建。首先研究团队再次回到原始叙事,剖析涌现概念间的关系,形成总体理论框架;同时进一步进行聚焦式叙事分析,剖析理论框架中具体的逻辑(焦亚等,2013)。在这一过程中研究团队吸纳不同领域专家的建议,并进行反复研讨,以保障“理论—数据—文献”之间的高度契合。

四、数字技术驱动高端颠覆性创新产生过程与机理

本文发现数字技术的驱动作用,贯穿在高端颠覆性创新产生的全过程中,包括模糊前端、开发和商业化等阶段。在这一过程中数字连通和数字协同两个机制扮演了重要角色。

(一)数字技术驱动高端颠覆性创新产生过程

1. 模糊前端阶段数字技术的驱动过程

模糊前端是高端颠覆性创新的起点。模糊前端包括机会识别、形成产品概念等活动,是创新链中最薄弱、模糊的环节之一。降低高端颠覆性创新模糊前端的不确定性和模糊性是提高企业创新活动中后期创新绩效的前提(波迪克等,2004)。在这一阶段,数字技术可以帮助企业快速、准确识别创新机会并定义创新方向,从而降低模糊前端不确定性、提高从机会识别到初始概念形成的准确性。表3展示了模糊前端的代表性证据。

(1)机会识别。机会识别是指运用数字技术的搜集、整理、分析功能,判断主流市场用户现有需求痛点以及发现未被满足的需求(金姆、威尔蒙,2002;里德、德布伦坦,2004)。机会识别的实质是利用数字技术提供一个比较有确定性的市场基础和行业位势,以降低未来“挤占”主流市场的风险和成本。高质量的机会识别有助于增加颠覆性创新的市场确定性,对冲创新环境不确定性带来的创新风险。高端颠覆性创新的市场机会往往来源于主流市场所忽略的高端新市场,面临的风险更高。而数字技术的快速发展,让机会识别这一创新过程变得更加容易。因为数字技术的高度嵌入性和广泛连接性,使人们的“地理位置、消费记录、足迹、购物偏好正在以前所未有的速度被收集”(刘海兵,2020)。数字技术的可供性催生的数字化工具可以更精准地分析这些数据和产生精准预测(尤等,2012)。“人人都成为了物联网时代的活标本”(刘海兵,2020)。因此,企业可以利用数字技术分析和识别更确定的市场机会,使高端颠覆性创新的市场趋势更容易被预见。

事实上,美的微蒸烤一体机市场机会的识别过程正是得益于数字技术的支持。在美的微蒸烤一体机推出之前,原有主流市场有单功能微波炉、微烤炉两种主导产品,其中“单功能微波炉市场以6.5%的年增长速度增长,格兰仕市场份额为42.8%,美的为48.7%;微烤炉市场以9.3%的年下降速度收缩,格兰仕市场份额为53.1%,美的为41.4%”。在此背景下,美的利用数字技术,通过分析用户核心特征、表达需求收集、用户行为洞察3个具体策略来识别潜在高端新市场机会。

一是用户特征分析。用户特征决定了高端颠覆性创新是否具备用户基础,进而从高端切入“挤占”原有主流市场。用户特征的主要变量包括年龄、区域、家庭结构、职位、生活方式等。美的利用数据平台密切跟踪用户群体,分析出微蒸烤一体机有更好的市场前景。这是因为美的发现微蒸烤一体机的潜在用户呈现出消费水平高、学历高、平时繁忙,但又重视微蒸烤功能使用等特征,表明潜在用户对微蒸烤一体机的价格并不敏感,他们更重视性能和功能。例如,美的科技部门团队通过数据分析得出:“用户中有48.5%是30岁以下,并且37%的用户是2~3口之家的小家庭。对这部分人群进行画像后呈现出一些共性的特征,包括‘重度网购达人、吃货、高消费力、爱尝鲜、活在微信朋友圈、一二线城市、高学历、颜控、已婚未育’等。”

二是表达需求收集。表达需求收集是指通过在线调研技术深度挖掘用

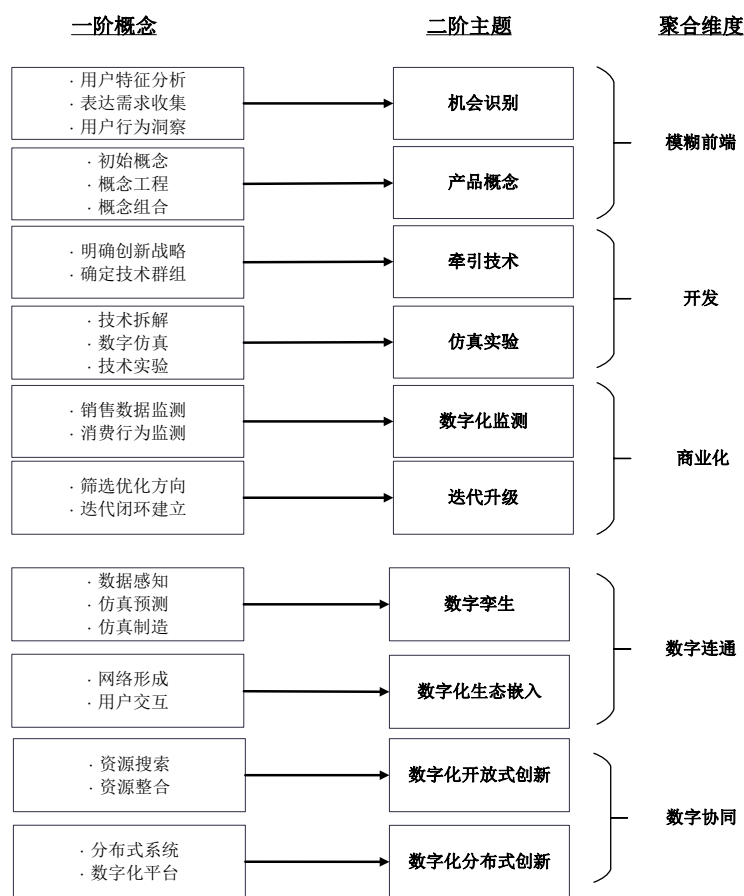


图1 数据结构

户关注的产品特征,这些特征将可能成为高端颠覆性创新的功能模块。美的对观星台、企划通等数字平台收集的线上数据进行分析,发现“体积小、烧烤功能强、降噪、多功能集成、外观好看、操控智能化”等功能是用户比较集中的需求。这些功能总体体现出餐厅用具的价值属性,而非主流蒸、烤机市场关注的厨房用具的价值属性。

三是用户行为洞察。用户个体并不总是知晓产品痛点,或者无法准确表达,这些现象会造成用户与企业之间的信息不对称。企业利用数字技术真实地观察、记录、分析用户习惯(如使用时间段、使用频率、使用方法、使用功能等),从中分析用户潜在需求进而开发改善用户使用体验的功能。这成为解决信息不对称的有效办法,降低了高端颠覆性创新的风险。对此,美的集团利用手机应用程序对用户行为进行分析进而挖掘用户习惯,从而形成产品功能改进的方向。美的在对用户使用单微和微烤时的行为洞察发现,用户对搜索、分享、收藏等数字化的功能有更强烈的需求,这意味着微蒸烤一体机还要实现产品功能的数字化创新:“我们利用美居手机应用程序等数字化平台……以90天内的数据为分析区间,发现……单微及微烤在菜谱收藏次数、一键烹饪次数、搜索次数、分享次数等方面均存在明显差距。”

基于用户核心特征、表达需求收集、用户行为洞察等策略,在数字技术的使能下,美的最终确定了主流市场所忽略的高端新市场——微蒸烤一体机这一新市场的机会。首先,用户核心特征分析提供了高端颠覆性创新的用户基础,即对产品价格不敏感而对功能性能很重视的年轻高消费群体。其次,表达需求收集有助于确定高端颠覆性创新的功能需求,即关注厨用具的外观体积、家庭收纳、加热快、可烧烤、智能化等非主流价值属性。最后,用户行为洞察更准确地定义了高端颠覆性创新的目标性能。通过数字技术驱动的机会识别,使高端颠覆性创新的目标更加明确。

(2)产品概念。在机会识别的基础上,接下来重要的环节是产生初步的产品概念。产生产品概念是指企业通过技术、设计、竞争分析形成产品初始概念并进行系统性市场调研,形成完善产品整体规划的过程。在机会识别基础上,企业通过产生产品概念继续从市场和技术维度降低了模糊性。美的产品概念提出先后经历了初始概念、概念工程、概念组合3个过程。

表3 模糊前端阶段的代表性证据

二阶主题		一阶概念	典型引用	
机会识别	用户特征分析		“我们通过数据平台发现随着互联网时代的到来,Z时代人群(网络词,指出生于1995~2009年间的一代)已经逐步成为消费主力军……用户中有48.5%是30岁以下,并且37%的用户是2~3口之家的小家庭。对这部分人群进行画像后呈现出一些共性的特征,包括‘重度网购达人、吃货、高消费力、爱尝鲜、活在微信朋友圈、一二线城市、高学历、颜控、已婚未育’等。”(来源:L)	
			“我们平时工作就很忙,节奏快,下厨房又费时费力,总是有各种理由没有时间好好做饭,我们也想用闲下来的时间能用好的产品,好好关照一下自己的胃等。”(来源:U1)	
	表达需求收集		“我们通过美的‘观星台、企划通’IT系统把用户评论、咨询问答等数据进行分词分析……经过统计发现‘外观颜值、操控简单、多功能或功能齐全、功能强大、烘烤效果好、材质精细’等是正面关注的特征,也发现用户抱怨‘烧烤功能差、产品体积大、蒸汽功能不好、声音大’等。”(来源:W)	
			“在高房价情况下厨房普遍比较小,厨房台面有限,但我们同样有精致追求,对易摆放收纳需求比较明显。复合机需求越来越明显,小体积大容量,多功能不占地方。”(来源:U2)	
产品概念			“我们的厨艺一般,没时间花心思在这个上边,希望有机器辅助我们轻松完成一顿没事。”(来源:U3)	
	用户行为洞察		“我们利用美居手机应用程序等数字化平台对已使用产品的用户的行为进行数据监测……如以90天内的数据为分析区间,发现……单微及微烤在菜谱收藏次数、一键烹饪次数、搜索次数、分享次数等方面均存在明显差距。”(来源:L)	
			“‘菜谱浏览’和‘功能启动’是当前用户最为看重的产品功能。”(来源:L)	
	初始概念		“我们通过用户舆情数据分析,挖掘用户关注点,他们的关注点就是我们作为产品设计时输入变量,我们要做年轻人想用、爱用、易用的产品。”(来源:B)	
				“我们基于目标人群做了烹饪流程,结合访谈调研,发现并梳理了微波炉使用的用户痛点。我们对痛点进行分级分析。”(来源:W)
				“我们把这些用户的其它关键人群数据标签也提取出来,包括人口学标签、兴趣爱好、价值观等标签,把这群人做了一个完整的数据人群画像,发现这是一群年轻高知女性为主人群,颜值控、重社交、同时也是一班吃货。”(来源:L)
	概念工程		“我们通过美的‘观星台、企划通’IT系统把用户评论、咨询问答等数据进行分词分析,把用户对微蒸烤一体机的关注点分析出来。围绕这些需求和痛点,我们进行针对性的设计,并包装成功能买点,从而才能有针对性地触达这群用户。”(来源:L)	
				“根据用户反映的痛点,我们初始化形成了不同的场景。”(来源:W)
				“我们对目标价位段的主销区域、产品功能做了针对性的研究计划。”(来源:W)
	概念组合			“做完了产品规划以后,这些还都只是概念,我们还要通过TMIC模型真实购物页面进行调研。根据调研中反馈的问题,再次修正产品规划。”(来源:L)
			“我们也做了价格和竞争的分析,看看什么价格是最有竞争力的。”(来源:L)	
			“我们对初始化后形成的不同场景下的概念产品进行比较,然后进行一系列数字技术模拟的测评,从中选择满意的方案。”(来源:W)	
			“经过痛点的分析,在技术系统性可行的情况下,我们认为‘小体积大容量、免预热快烤、即热闪蒸、无氧萃取、无氧温烤、容积20L、容积率>40%’等7项产品特征是微蒸烤一体机要实现的目标。”(来源:W)	
			“我们把初次形成的概念组合,再次进行用户调研,然后结合用户调研活动,增减并完善概念组合。”(来源:W)	

一是初始概念,即是在对用户痛点作了优先级分类,初步形成产品概念。美的在初步确定微蒸烤一体机这一市场机会后,对目标人群的年龄、区域、家庭结构、职位、生活方式等核心特征进行深入分析,在新颖度和成本比较的基础上形成初始概念。其中,高端颠覆性创新的新颖度是指与原技术相比,新技术在多大程度上实现了突破。如美的根据数据作了痛点分级,优先级的痛点急需突破。“小体积”和“功能精细”是微蒸烤一体机中需要解决的优先级用户痛点。高端颠覆性创新的成本是指在考虑产品竞争力的前提下产品价格如何定位。价格定位的高低关乎企业预期可获得的市场收益。美的对微蒸烤一体机的价格段比重和价格段机会进行模拟预测,预测售价在300~399元范围内,预计市场占有率可以达到42.1%。在这一过程中,利用数字技术的数据搜索功能可以使创意产生的决策信息越来越完备,无限接近于“存在的事实”。

二是概念工程,即采用正式的工具对所有初始概念进行评估和改进。美的科技团队王经理回忆,“我们采用对标研究方法分析了竞争对手松下和格兰仕,认为相对松下的优势,我们要构建聚焦更智能更直观的交互体验;相对格兰仕的优势,我们要在产品中构建‘光波变频的概念’。”因此,“重视与用户的体验”和“推出光波变频技术”就成为了美的开发新微蒸烤一体机的部分创意,融合到产品概念中。

三是概念组合,即对用户痛点、研究计划相组合形成的产品矩阵进行系统性比较分析、并从中确定最优产品概念方案的过程。这是因为,解决用户痛点的多种产品功能在运行逻辑上可能是冲突的,概念组合就是对痛点对应产品功能基于技术和市场维度的评价而取舍。正如美的科技团队王经理解释,“我们经过初始概念汇聚分类和概念工程设计后,形成的概念组合有:小体积、大容积、免预热快烤、即热闷蒸、无氧萃取、无氧温烤、容积20L、容积率>40%等”。概念组合也就是微蒸烤一体机预期实现的功能组合,这为微蒸烤一体机的技术突破提供了方向和目标。

2. 开发阶段数字技术的驱动过程

开发阶段是指企业要将产品概念反映的产品功能,通过技术创新实现的过程。根据案例,数字技术对高端颠覆性创新开发阶段的作用主要体现在设计牵引技术和进行仿真实验两个过程。具体表现为,美的通过数字技术不断验证并最终确定美的微蒸烤一体机的牵引技术,进而利用数字技术实施仿真实验,促进实验效率提升和研发成本控制。牵引技术和仿真实验分别从技术方向和技术效率两个方面助力美的微蒸烤一体机的研发。因此,利用数字技术,可以大幅降低高端颠覆性创新的风险和成本,提升成功的可能性和研发效率。表4为高端颠覆性创新开发阶段的代表性证据。

(1)设计牵引技术。设计牵引技术是指配置概念组合的技术突破方向来支撑产品设计方案和产品价值主张的过程。牵引技术设计最后的呈现形式是技术群组,这一过程同时受到企业创新战略的影响。基于此,相同的概念组合,不同企业可能会有截然不同的牵引技术设计(刘海兵,2022)。美的一直重视突破式技术创新,实施了以数字化、IoT化、全球突破和科技领先、前沿技术等为核心的创新战略。在该创新战略的导向下,美的推动微蒸烤一体机向小型化磁控管、小型化变频器、腔体容积率大且具有设计美学的颠覆性创新方面进行技

表4 开发阶段的代表性证据

二阶主题	一阶概念	典型引用
牵引技术	明确创新战略	“2021年,美的重新定位五大业务板块,以科技领先为核心,实现ToC和ToB业务并重发展,推动国内和全球突破双重质变,在双循环、国产替代、产业升级的大背景之下,坚持“科技领先、用户直达、数智驱动、全球突破”的全新战略主轴,持续加大在数字化、IoT化、全球突破和科技领先方面的投入,布局和投资新的前沿技术,致力于成为全世界智能家居的领先者,智能制造的赋能者。”(来源:Z)
	确定技术群组	“结合我们公司的创新战略和高管的要求,我们最终将微蒸烤一体机的技术方向确定为:第三代小型化磁控管、第六代小型化变频器、腔体容积率达到47%达到行业第一、30L的大容量、长宽高设计合理符合设计美学。”(来源:W)
仿真实验	技术拆解	“技术拆解的过程,就是需要将市场和用户表达的需求设计成产品参数。这本身也是一项复杂的工作,需要我们用专业的知识用参数将要实现的产品功能表达出来,以满足用户需求。”(来源:T)
	数字仿真	“我们将微蒸烤一体机的技术模块拆分成了磁控管、变频器、风机风道、模具、材料、包装等模块。”(来源:T)
		“自1999年第一台微波炉下线以来,我们十分重视仿真基础设施和仿真体系的建设,至此已经经历了3个不同的发展阶段。截止目前为止通过集团HPC数字化平台建立以及微波炉产业蓬勃发展,仿真行业的绝大部分软件均已嵌入HPC平台,超过五百多名用户,进行全流程数字化仿真研发设计,仿真数据库的构建及系统共享,让整个集团受益良多,仿真规范和标准的发布更是让整个研发团队可以快速融入仿真体系建设。”(来源:P)
	技术实验	“采用了微波仿真、热仿真、流体仿真、磨具仿真、包装仿真和工艺仿真,使项目开发时间缩短了近一半。大大加快我们新产品、新技术推向市场的速度,保持对竞争对手的领先优势。”(来源:P)
		“在仿真实验结论基础上进行实验室测试,继续迭代和优化。”(来源:T)
		“技术实验的数据,不仅是产品制造的依据,同时这些数据形成数据资源池,又为下一轮仿真研究积累了基础数据。”(来源:T)

术布局。正如美的中央研究院负责人表示,“美的坚持全球突破和科技领先方面的投入,布局和投资新的前沿技术的创新战略,公司高管十分重视突破性创新和颠覆性创新,致力于推进将美的打造成为世界一流企业。在这种创新观的推动下,我们设计的牵引技术是:第三代小型化磁控管、第六代小型化变频器、腔体容积率达到47%达到行业第一、30L的大容量、长宽高设计合理符合设计美学。”

(2)仿真实验。明确牵引基础的基础上,美的利用数字仿真软件,在产品开发过程中精确计算性能参数,以虚拟实验代替物理实验,从而大大降低研发能耗和成本、加速研发周期、控制研发风险。如美的微蒸烤一体机的研发难点涉及核心部件的小型化以及风机风道散热系统,往往面临着“既要”“又要”“还要”的局面,即既要体积小、又要容积大、还要满足安全的散热需求。而通过CAE数字化软件的仿真实验,美的仅用了4轮手板迭代就达成了微蒸烤一体机的研发目标。相比传统的产品开发流程,时间缩短了近50%,从而显著提高了新产品、新技术市场化的速度。具体而言,根据美的案例,数字仿真实验可分为技术拆解、数字仿真、技术实验3个过程。

一是技术拆解。技术拆解是指利用数字建模工具,基于颠覆性创新的整体目标做技术分工与拆解,将面向产品的技术后向拆解成不同模块的底层技术,再由不同的研发单元进行分部研发。一方面,技术拆解后各模块的技术研发由相应的创新单元承担,通过研发分工提升研发效率。如美的在微蒸烤一体机研发过程中,由美的“中央研究院”承担风机风道共性技术、蒸汽共性技术,美的相关事业部承担微小型化高效磁控管技术。另一方面,企业针对技术拆解后的各细分技术整合内外部创新资源,有利于保护企业的商业秘密和知识产权。这是强化创新独占性的必要手段,否则高端颠覆性创新的创新成本将无法得到较好地补偿。事实上,正如美的科技部门唐经理介绍:“美的微蒸烤一体机研发过程,涉及多项技术融合,如微波、蒸汽、电烤、材料、密封、保温、流体、降噪、电控、营养等。我们将微蒸烤一体机的技术模块拆分成了磁控管、变频器、风机风道、模具、材料、包装等模块,在每一个模块之下又有具体的技术分解。”通过这一技术拆解过程,美的提高了协同效率,加速了开放创新效率,同时保证了创新独占性。

二是数字仿真。数字仿真是指企业用虚拟环境下的实验替代真实的物理实验,在这个过程中数字技术为仿真实验提供了实验工具、实验环境和实验载体。企业通过数字仿真实验可以实现精确计算和性能预测,达到缩短开发周期、节省实验费用的目的。由于传统项目开发流程繁琐,同时微波看不见摸不着,所以给微波炉平台开发带来了很大挑战。

由于微波的不可见特性,正常匹配开发流程如下:第一步骤,发第一轮结构五金手板,样品物料回来周期大概一周时间;第二步骤,开始装机后进行冷匹配测试,使用安捷伦矢量网络分析E5070A,使用该仪器可以测出微波从磁控管端输入到腔体内部的反射系数;第三步骤,开始多个搅拌天线,多次匹配方案测试,在很多组数据中取输出功率和能效最高的方案;第四步骤,使用上一版最优方案,重新发第二轮手板,组装样机及复测,如此一直循环下去,直到样品测试合格。一般整个平台开发完成需要7轮手板,每一次手板需要半个月时间,而且成本费用较高。

CAE数值仿真软件的出现,为计算、预测和改进场分布特性提供了新的手段,实现了在产品的设计阶段的精确计算及性能预测,节省大量的设计试验费用。采用仿真计算不但可以精确地计算微波炉的性能参数,而且还可以直观地用彩色显示部件的内部空间和各个横截面上的电磁场和温度场分布。这对于提高各部件参数设计的合理性、增强产品可靠性和降低产品成本方面有着重要意义。正如美的科技部门陈经理的解释:“我们采用了微波仿真、热仿真、流体仿真、磨具仿真、包装仿真和工艺仿真,这些仿真都是同步进行的,处于并联研发流程的各个节点,每一项仿真旨在突破一项技术难题,如微波仿真通过微波匹配预防波导打火、提升微波输出效率,热仿真和流体仿真旨在测试烧烤的均匀性和缩短打样时间。”通过对大量仿真数据的分析,美的总结出了对微蒸烤一体机颠覆性创新产品具有实际指导意义的真实实验设计。

三是技术实验。技术实验是指在通过仿真实验得出基本结论后,进而进行设备性能的实验室测试,以对技术或产品继续迭代和优化。这一阶段的技术实验与传统颠覆性创新过程中的技术实验相比,不论是实验次数还是不确定性都有极大的降低。如在微蒸烤一体机的数字仿真研究后得出“波导中最大场强: $X \text{ kV/cm}$ (处

于数据的保密性考虑,用X代替具体数值)均未达到打火空气击穿条件”,因而技术实验可以在该条件基础上进行。而技术实验的数据又为下一轮仿真研究积累了基础数据,可以使仿真研究更为精确,两者构成了实验精确性的微循环系统。得益于数字技术支持的仿真实验,美的在微蒸烤一体机的研发上取得了比较快且显著的技术突破。例如,“小型化的磁控管打破了行业内产品平均体积,首先做到了体积极大降低,性能却大幅提升。在微波仿真与散热仿真上先行进行拓扑优化设计,驱动了磁控管的小型化和高能效的迭代。首次在微波炉产品上进行石墨烯发热管的试制试产,极大地扭转了传统发热管的劣势等。”

3. 商业化阶段数字技术的驱动过程

商业化阶段是指企业将开发的产品推向市场的过程。高端颠覆性创新的商业化阶段重点关注基于技术的重大突破或技术跨界迁移所开发的针对高端新市场的产品,在逐渐完善产品或服务的主流属性的过程中,最终“挤占”主流市场。这一过程中数字化监测、迭代升级是增加用户忠诚度、吸附新用户、不断扩大用户基础直至颠覆原有市场的关键。在数字化监测和迭代升级这两个过程中,数字技术提供了精准的市场跟踪工具和高效的沟通工具。表5为商业化阶段的代表性证据。

(1)数字化监测。数字化监测是指采用数字化工具新品上市后对产品的销售情况、用户评价和用户反馈等数据进行收集整理,主要可以分为销售数据监测和消费行为监测两个方面。美的科技部门林总在访谈中反复强调销售数据监测的重要性:“美的起初的微蒸烤一体机产品投放市场后,从产品销售数据看,专业电商渠道销售占比 85.46%,平台电商渠道销售占比 14.54%,销售均价在 2600~2700 元之间,华东片区销售占比 43.28%,西南片区销售占比 17.57%,中南片区销售占比 15.62%,华东片区销售单价高于西南片区和中南片区。从产品评论看,微波、加热、外观设计的好评率最高,但也有用户反映烤得时间长、用微波加热牛肉饭,牛肉和饭一个热了一个没有热等产品痛点。”通过采用数字技术进行消费数据收集和分析,美的随时掌握总体销售状况,为进一步更新迭代产品奠定基础。

消费行为的实时分析有时候更为重要,美的科技部门彭经理解释道,“我们利用美居手机应用程序的数据感知到,插件新用户在前 30 天内进行 1~8 次启动设备操作的用户约占有使用记录用户的 65%,更高频次使用的用户约占另外的 35%,用户从未使用插件控制设备到前几次使用插件控制设备过程中的用户留存(生命周期平均活跃月数)大幅度提升,而在控制达到 9 次之后提升不明显。因此在产品阶段,我们将尽可能多的用户转化为成熟用户,以增加用户留存,提升用户平均活跃月数。”这些监测的数据进一步形成微蒸烤品类的“四库一表”,即用户库、场景库、痛点库及概念库,成为整个微蒸烤品类迭代和升级的基础。

(2)迭代升级。迭代升级是指当颠覆性创新产品进入市场后,企业利用数字技术对上市产品跟踪调研,进而形成从用户需求满足度、产品痛点分析到产品迭代优化的持续改善过程。通过迭代升级,使产品更加匹配用户需求。美的以监测数据为基础,筛选出技术和产品优化的方向。在美的的案例中,微蒸烤一体机的对食物加热不均匀的用户痛点,经过团队分析认为该问题是由微波的均匀性导致的。美的将这一痛点反馈至开发环节,从而再次进入数字仿真实验到实验室检测的流程,使微蒸烤一体机持续在“用户跟踪调研—产品痛点分析—产品迭代优化—数字仿真实验—实验室检测—再次上市”的闭环系统中迭代升级。

表5 商业化阶段的代表性证据

二阶主题	一阶概念	典型引用
数字化监测	销售数据监测	“美的起初的微蒸烤一体机产品投放市场后,从产品销售数据看,专业电商渠道销售占比 85.46%,平台电商渠道销售占比 14.54%,销售均价在 2600~2700 元之间,华东片区销售占比 43.28%,西南片区销售占比 17.57%,中南片区销售占比 15.62%,华东片区销售单价高于西南片区和中南片区。从产品评论看,微波、加热、外观设计的好评率最高,但也有用户反映烤得时间长、用微波加热牛肉饭,牛肉和饭一个热了一个没有人等产品痛点。”(来源:L)
	消费行为监测	“我们起初把微蒸烤一体机投放市场后,通过数据监测发现,在产品评论中,‘微波’、‘加热’、‘外观设计’的好评率最高,但也有用户反映‘烤得时间长’、‘用微波加热牛肉饭,牛肉和饭一个热了一个没有热’等产品痛点,这构成了我们进行产品迭代的基础。”(来源:L)
迭代升级	筛选优化方向	“对食物加热不均匀的用户痛点,经过分析认为该问题是由微波的均匀性导致的,于是我们对微波的均匀性问题再次进行了研究解决。”(来源:L)
	迭代闭环建立	“形成了‘用户跟踪调研—痛点分析—技术和产品优化方向设计—数字仿真实验—实验室检测—再次上市’的闭环。”(来源:L)

4. 颠覆性创新产生

经过模糊前端、开发和商业化3个阶段,美的微蒸烤一体机最终成为了高端颠覆性创新,具体体现在技术的突破性和市场的颠覆性两个方面(参见表6)。

一是技术的突破性。技术突破主要通过技术新颖度和专利标准两个指标反映。在技术新颖度方面,美的微蒸烤一体机使用了全球体积最小、功率最高的小型化磁控管。该磁控管体积较行业中最小的竞争产品还要低13.5%,打破了磁控管行业50年以来外观形态无明显变化的局面。美的微蒸烤一体机还使用了石墨烯发热管,该产品中包含了行业最快热辐射技术,使整机效能提升30%的全域反射技术、首创的高效短波穿透技术等3项技术。这3项技术使美的微蒸烤一体的石墨烯发热管达到“国际领先”水平,这说明美的在该领域已经实现了探索性创新。在专利标准方面,围绕小型化磁控管功率、效率、材料、散热、小型化等核心技术,美的累积完成专利布局62项,其中获得中国专利优秀奖2件,由此形成了坚实的技术壁垒。

二是市场的颠覆性。市场的颠覆性通过微蒸烤一体机在烘焙类产品的颠覆性和美的微蒸烤一体机在行业所有微蒸烤一体机的市场份额两个指标反映。首先,在单微和微烤产品市场方面,两类产品的市场销售额远高于当时的微蒸烤一体机,“微蒸烤一体机此时市场总量仅为2.4亿元”。随着微蒸烤一体机的技术突破,微蒸烤一体机市场销售额及市场份额快速增长。据奥维云网(AVC)2020年全渠道数据显示,2017~2020年微蒸烤一体机销售额分别为4.5亿元、5.2亿元、5.6亿元、7.1亿元。同时期单功能微波炉和蒸烤箱却呈现下降,特别是单功能微波炉从2017年的73.1亿元下降到了2020年的52.5亿元,下降了28%。据智研咨询报告分析,2019年台式单功能电烤箱市场份额占比14.10%,台式单功能微波炉占比16.30%,台式蒸烤一体机占比4.30%,微蒸烤一体机占比达到9.00%。这说明,微蒸烤一体机已经成为单功能电烤箱、微波炉等传统烘焙类产品的“替代者”和“颠覆者”。其次,在微蒸烤一体机整体市场向好的情况下,美的微蒸烤一体机市场份额持续领先。据奥维云网数据显示,2019年,美的微蒸烤一体机占微蒸烤一体机的市场份额近60%,稳居行业第一的位置。这说明,美的微蒸烤一体机颠覆了微波、微烤等传统烘焙类产品市场。也就是说,美的微蒸烤一体机已经实现了颠覆市场的目标,成功“挤占”原有主流市场而成为新的主流市场。

(二)数字技术驱动高端颠覆性创新产生机理

以上详细阐述了数字技术驱动高端颠覆性创新的全过程,本部分将进一步基于数字技术能力的角度(刘洋等,2021),具体凝练数字技术驱动高端颠覆性创新产生的机理。基于数据分析,我们识别了数字孪生、数字化生态嵌入、数字化开放式创新、数字化分布式协同四大机制,其中前两个机制我们归纳为数字连通,后两个机制我们归纳为数字协同(参见表7)。

1. 数字连通

数字连通是指数字技术让之前未曾连接的主体(人、物、数等)建立连接进而使能创新活动,本文中具体包括数字孪生(建立物与物及物与数的连通)和数字生态嵌入(建立人与人及人与数的连通)两个机制。

(1)数字孪生。数字孪生也称数字双胞胎,数字孪生是一种物理过程的镜像(巴提,2018),由物理实体、数字实体以及两者之间的数据和信息接口连接组成(哈格、安德尔,2021)。数字孪生通过数字技术的感知、分析、预

表6 美的的微蒸烤一体机高端颠覆性创新的体现

高端颠覆性创新	典型引用
技术的突破性	“微蒸烤一体机中的全球体积最小、功率最高的小型化磁控管,打破磁控管行业50年以来外观形态无明显变化的局面,体积较最小的竞品还要下降13.5%。”(来源:L1)
	“石墨烯发热管技术成为行业加热最快的热辐射技术。”(来源:L1)
	“首创高效短波穿透技术……美的燃卡料理炉脱脂减盐技术创新性地采用了瀑流蒸汽与炭火射流完美配合的脱脂减盐烹饪算法。”(来源:L1)
	“小型化磁控管专利布局62项,燃卡技术共撰写发明专利27篇。目的是要达到一定的技术壁垒。”(来源:S、J、L ₁)
市场的颠覆性	“燃卡料理炉脱脂减盐技术创新性的采用了瀑流蒸汽与炭火射流完美配合的脱脂减盐烹饪算法。这种技术能够帮助烤制食物减少脂肪,每300克五花肉,脱脂率能提升48%。”(来源:J)
	“2021年微蒸烤一体机销售额6.06亿元,市场占有率达到68%,稳居行业第一。我们已经是行业领导者。”(来源:B)
	“美的微蒸烤一体机从2017~2021年,销售额总体持续增长,5年间销售额先后为4.51亿元、5.21亿元、5.63亿元、7.06亿元、6.06亿元,2021年相比2017年增长了34%。”(来源:B)

测、执行能力可以辅助物理实体在产品生命周期中得以持续地改善,从而能够帮助公司更好地理解、预测以及优化产品和系统的相关性能(刘洋等,2021)。具体而言,数据感知是数字孪生的基础。通过数字技术的编码规则,企业将物理世界刻画在数字世界中。美的“自建或利用爱魔镜、商情智能、地动仪、观星台、企划通等市场情报监测和分析平台。通过市场数据分析,美的发现微蒸烤一体机市场空间大且市场增长十分迅速”。事实上,数据感知可以为高端颠覆性创新提供确切的客户知识。相比成长用户,成熟用户常常是那些对产品品牌认同度高、使用频繁、比较了解该类产品市场知识,以及有独特个人见解的用户。因此,成熟用户能提出更加确切的产品改善建议,是降低高端颠覆性创新风险十分重要的用户基础。美的正是利用数字技术的记录和存储性,可以比较准确地区分“用以转化的成长用户”和“用以洞察的成熟用户”等两类用户,再从成熟用户中获取较高质量的知识。

进一步,数字孪生的仿真预测将真实世界的大量实验通过仿真软件虚拟化,通过实验环境、技术组合、性能参数的不断调试,在仿真实验中形成可供实际实验选择的技术和产品方案。数字技术的仿真预测功能降低了高端颠覆性创新中技术实验的物料、设备、资金、人力和时间投入。因此,从时间上缩短了高端颠覆性创新的研发周期、从成本上节省了高端颠覆性创新的投入,从性能上提高了高端颠覆性创新的可及性。如美的在微蒸烤一体机开发过程中,“通过数字化仿真实验,该开发项目仅用了4轮手板迭代就达成了项目指标,相比传统的项目开发流程,项目时间缩短了近一半”。在产品开发过程中,利用数字化仿真模型,通过仿真预警迭

表7 数字技术驱动机理的代表性证据

聚合维度	二阶主题	一阶概念	典型引用
数字连通	数字孪生	数据感知	“我们自建或利用了一批‘爱魔镜’‘商情智能’‘地动仪’‘观星台’‘企划通’等市场情报监测和分析平台,通过市场数据分析,美的发现了原有市场中的微蒸烤一体机市场空间大且增长十分迅速。”(来源:L)
			“我们可以对用户行为做深入的洞察,这为产品设计及迭代优化提供了基础。如我们发现,插件新用户在前30天内进行1~8次启动设备操作的用户约占使用记录用户的65%,更高频次(9次及以上)使用的用户约占使用记录用户的35%,前者定义为成长用户,后者定义为成熟用户。”(来源:W)
		仿真预测	“我们还……要连接食谱、视频直播、节假日等热点专题的内容生产商一起向用户提供内容。”(来源:P)
			“围绕创新全流程,通过大数据+小样本结合方式,实现快速、精准洞察。我们不仅识别到微蒸烤一体机是趋势机会点,而且通过大数据精准定义好‘人群画像、功能卖点’,这样内部价值链决策作为一个战略产品进行拓展。”(来源:L)
	数字化生态嵌入	数字化用户交互	“通过数字化仿真实验,该开发项目仅用了4轮手板迭代就达成了项目指标,相比传统的项目开发流程,项目时间缩短了近一半。”(来源:W)
			“我们采用了微波仿真、热仿真、流体仿真、磨具仿真、包装仿真和工艺仿真,这些仿真都是同步进行的,处于并联研发流程的各个节点,每一项仿真旨在突破一项技术难题,如微波仿真是通过微波匹配预防波导打火、提升微波输出效率,热仿真和流体仿真旨在测试烧烤的均匀性和缩短打样时间。”(来源:T)
数字协同	数字化开放式创新	资源搜索	“采用仿真计算不但可以精确地计算微波炉的性能参数,而且还可以直观地用彩色显示部件的内部空间和各个横截面上的电磁场和温度场分布,对于提高各部件参数设计的合理性、增强产品可靠性和降低成本方面有着重大意义。”(来源:T)
			“进入制造阶段后,我们主要在冲压注塑仿真、机器人装配等方面进行仿真,目的是让制造管理更加的信息透明化,整个过程可以监控,并能及时的将制造仿真信息反馈给研发工程师,最后制定相应的制造标准,从而降低产品差错率。”(来源:T)
		资源整合	“利用微蒸烤设备形成了包含微蒸烤一体机、周边附件、烘焙工具、食材和耗材等的生态产品。为用户提供的价值从一次性硬件购买转向为用户购买后的长期价值,我们期望逐渐完成从传统硬件营销商向内容服务商的转变。”(来源:P)
			“我们通过策划热点食谱专题、内容创作活动等,吸引手机应用程序活跃用户转化成为‘私域粉丝’等等。”(来源:P)
	数字化分布式协同	分布式系统	“我们策划了微蒸烤设备玩机攻略等内容,以及烘焙等热门美食直播。激励用户上传分享美食内容,同时策划《美食速递》专栏。”(来源:P)
			“我们通过提供满足用户需求且惊喜的内容,为私域粉丝提供优质内容服务,解决怎么用、怎么成功烹饪美食这两大核心难题。在用户端,我们策划了多样的食谱等专题、微蒸烤设备玩机攻略等内容,以及烘焙等热门美食直播,有效提升用户获取内容的效率,降低使用门槛,提升产品使用体验。”(来源:P)
数字协同	数字化开放式创新	资源搜索	“我们制定‘达人’招募和培养激励体系。”(来源:P)
			“美的于2020年7月上线了共创(COCREATING)开放式创新平台,在这个平台上面,全球技术资源可以开放注册。截至2022年2月已有注册用户数量12037。”(来源:T)
		资源整合	“通过用户大数据与IoT设备大数据,我们可以更加方便的洞察用户的真实使用行为(例如使用时间段,使用频率,使用功能等),从大数据中挖掘用户习惯与潜在需求。针对挖掘到的用户潜在需求使用数据与数字化能力,有针对性的开发改善用户使用体验的功能。”(来源:P)
			“利用开放式创新平台,美的和电子科大合作完成了微波炉透明电磁屏蔽炉门技术的研究。”(来源:T)
	数字化分布式协同	数字化平台	“截止目前为止通过集团HPC数字化平台建立以及微波炉产业蓬勃发展,仿真行业的绝大部分软件均已嵌入HPC平台,超过五百多名用户,进行全流程数字化仿真研发设计,仿真数据库的构建及系统共享,让整个集团受益良多。”(来源:T)
			“未来前沿技术和共性技术由中央研究院主导承接,如风机风道共性技术、蒸汽共性技术都有中央研究院成立专项项目组,借助集团专业技术分委会的力量,做技术横向拉通和深度钻研,与事业部成立联合项目组在事业部储备平台做技术转化应用。”(来源:C)
数字协同	数字化分布式协同	数字化平台	“微波技术是美的集团微清事业部的专项技术,事业部依托自身专业性优势,主导小型高压磁控管技术攻关,同时中央研究院提供风道技术支持,最终实现小型化高效磁控管国际领先水平。”(来源:C)
			“微蒸烤一体机研发过程,涉及多项技术融合,如微波、蒸汽、电烤、材料、密封、保温、流体、降噪、电控、营养等。美的集团四级研发体系,基于共性与专项技术、成熟度高低两个维度实现个技术的分工和协同。”(来源:C)

代,努力打磨最优化的设计方案。仿真模型自上而下不断流动,与此同时数据流不断输出,而性能匹配也是在一轮又一轮的迭代过程中达到最优解。因此,数字化仿真模型使能研发过程更加高效精准。这说明数字化仿真是一种显著降低开发成本、缩短开发周期的有力工具,本质上是对颠覆性创新流程的再造。

最后,仿真制造是当产品进入制造环节后,通过工艺仿真将产生的工艺数据反馈给研发工程师,进而开发产品的制定标准。该标准为产品的实际生产制造提供了依据,从而使产品制造的过程更加精细合理和科学有效。美的基于数字仿真数据库的建立,为仿真制造积累了丰富的数据资源。在微蒸烤一体机制造中,美的充分考虑工艺、材料和产品的应用环境,在工艺公差、装配、机器人物流上不断优化数据模型。最终形成标准化流程,从而使产品的不良率极大下降,促进微蒸烤一体机的市场位势持续攀升。正如美的技术研发人员所言:“进入制造阶段后,我们主要在冲压注塑仿真、机器人装配等方面进行仿真,目的是让制造管理更加的信息透明化,整个过程可以监控,并能及时的将制造仿真信息反馈给研发工程师,最后制定相应的制造标准,从而降低产品差错率。”

(2)数字化生态嵌入。数字孪生机制聚焦于物与物、物与数据的连通,而数字化生态嵌入则聚焦于人与人、人与数据的连通。生态系统是“一种由客户、供应商、主要生产商、投资商、贸易合作伙伴、标准制定机构、工会、政府、社会公共服务机构和其他利益相关者等所构成的动态结构系统”(穆尔,1993)。数字技术的连接性为企业与各类主体之间价值共创提供了基础。利用数字技术提供的接口,中心企业可与生态系统中其他成员形成一个基于数字生态的价值网络。这一价值网络不仅凭借更广的服务范围增强用户体验,还有助于企业获得生态收入,从而使颠覆性创新的成本得到更好地补偿。首先,数字化生态网络形成。围绕核心产品,利用数字技术提供的数据端口将与之相关的互补参与者嵌入从而形成一个价值共同体。用户触达核心产品的同时,会在场景方案的驱使下自然而然地触达由互补企业提供的周边产品,并引致一定的消费。中心企业从中获得互补企业一定比例的收益返还。由此形成一个包含中心企业、供应商、其他合作伙伴等在内的利益共同体。案例中,美的利用微蒸烤设备形成了包含微蒸烤一体机、周边附件(蒸宝)、烘焙工具(6寸模具和土司盒)、食材(鸡翅粉、蛋糕粉等)和耗材(烘焙纸)等的生态产品,“为用户提供的价值从一次性硬件购买转向为用户购买后的长期价值,我们期望逐渐完成从传统硬件营销商向内容服务商的转变”。在这个价值网络中,各自的价值比例分别占71%、10%、5%、9%、5%,进而使微蒸烤一体机的价值相比单品价值提高了29%。

其次,数字化用户交互。在形成数字化生态网络的基础上,与用户持续交互才能维系数字生态的可持续发展。用户交互过程分为生态用户培养、交互活动设计和交互激励机制设计等。其中生态用户是指有持续交互意愿、对产品关注度高、分享个人意见的活跃用户。在生态用户培养方面,美的微蒸烤一体机项目团队通过策划热点食谱专题、策划内容创作活动、提供满足用户需求的内容服务等,吸引手机应用程序活跃用户转化成为“私域粉丝”(也就是生态用户);同时策划“老带新”等活动,促进非生态用户转化成为生态用户。这说明,企业主动提供与产品功能开发相关知识,从而拓展用户关于产品知识的边界,能够增加用户对产品的黏性,也是活跃用户成为生态用户的关键。在交互活动设计方面,美的科技部门彭经理解释道,“我们通过提供满足用户需求且惊喜的内容,为私域粉丝提供优质服务,解决怎么用、怎么成功烹饪美食等两大核心难题。在用户端,我们策划了多样的食谱等专题、微蒸烤设备玩机攻略等内容,以及烘焙等热门美食直播,目的是有效提升用户获取内容的效率,降低使用门槛,提升产品使用体验……我们激励用户上传分享美食内容,同时策划《美食速递》专栏,对优质内容筛选编辑后进行二次传播”。

可以看出,交互活动的重心是产品本身如何使用、如何提供优质服务。前者涉及产品本身的知识,后者涉及产品周边生态的知识。交互活动的方式有企业到用户、用户到企业的双向互动。交互活动的目标是以知识分享促进用户卷入,进而使企业“撬动”更多的活跃用户转化为生态用户。因此,知识分享也可以被理解为一种发展生态用户的激励机制。在交互激励机制方面,美的在丰富内容的同时,通过制定领先用户招募和培养激励体系,希望挖掘并培养领先用户。在“私域社群”构建领先用户画像、发挥领先用户效应,为品牌口碑传播奠定基础。

2. 数字协同

数字连通机制是指企业利用人、物、数等的新连接使能创新活动的机制。数字协同则强调企业利用数字

技术整合和协同多样化资源,从而实现共同创新目标的机制。数字协同具体包括数字化开放式创新(外部资源整合与协同)和数字化分布式协同(内部资源整合与协同)两个方面。

(1)数字化开放式创新。本文数字化开放式创新是指数字技术使能的开放式创新。开放式创新是指企业通过开放边界,整合外部创新资源以实现创新效率提升的过程(切萨布鲁夫,2003;加斯曼,2006;格拉齐克等,2008)。数字技术连接性和交互性,能够大幅提升企业在全局范围内快速搜索所需要的知识并及时整合进企业内部,全面提升开放式创新效率(乌尔宾提等,2020)。正如美的在2020年7月上线的共创(CO-CREATING)开放式创新平台,旨在“促进美的与全球优秀技术资源协同创新,共创共赢,为全球的消费者创造美好未来生活”。在这个平台上,“全球技术资源可以开放注册”。一方面可以和高校科研院所、供应商等各类创新组织合作。如与巴斯夫、霍尼韦尔、3M等达成创新战略合作,与麻省理工学院建立联合技术研发中心、与谢菲尔德大学联合建立电机与驱动技术联合实验室进行技术研发合作等。另一方面还可以与创新个体合作。利用这一平台,企业内部技术需求与外部解决方案可以快速对接,吸引开放的创新资源成为企业内部创新的资源库。

共创(COCREATING)开放式创新平台的本质是数字信息发布和资源连接平台。在微蒸烤一体机研发过程中,美的正是利用了开放式创新解决了如何屏蔽微波炉存在电磁波的问题:“因为传统微波炉为屏蔽微波炉中存在的电磁波,微波炉炉门均采用金属网孔,但金属网孔会影响对食品加热过程的观察,降低用户使用体验。如能解决炉腔内食材的可视化和电磁屏蔽的固有矛盾,研制成功具有透明炉门的微波炉,同时确保不降低其电磁屏蔽效果,将引领微波炉产业的发展,带来微波炉技术的颠覆创新。”而利用这一平台,“美的和电子科大合作完成了微波炉透明电磁屏蔽炉门技术的研究。”

(2)数字化分布式协同。本文数字化分布式协同是指数字技术使能的分布式协同。分布式协同定义为多进程同步控制系统中各个分布模块,确保系统状态一致下有序推进各进程最终实现预期功能(魏江等,2021)。美的集团的创新组织型态是一个典型的分布式系统,包含企业“中央研究院”、事业部、产品线等分级研发部门组成的分布式研发体系。其中“中央研究院”因为远离市场和资金的短期约束,能够从事产业共性技术和前沿引领技术的探索性创新。美的微蒸烤一体机研发过程中涉及微波、蒸汽、电烤、材料、密封、保温、流体、降噪、电控、营养等多项技术融合,其中的风机风道共性技术、蒸汽共性技术就由“中央研究院”成立专项项目组承担。同时,事业部及产品线研发中心能够利用客户的确切知识,因而适宜进行响应市场短期需求的利用性创新。例如,美的“微清事业部”依托自身专业性优势承担了微蒸烤一体机的微波技术,且主导了小型化高效磁控管技术攻关。

分布式系统中如何协同各子系统一直是创新管理的挑战。数字技术为分布式协同提供了路径,可以打破由部门带来的时间和地域上的“藩篱”,让不同技术研发部门的员工可以随时随地沟通,提升了沟通的便捷性和沟通效率,实现创新进程的有序推进。在美的的案例中,利用数字化平台,美的中央研究院和事业部能够在每一个技术节点上开展高频次的技术对话:一方面,事业部和产品线研发部门获得中央研究院共性技术和前沿技术的支持,另一方面,中央研究院获得事业部和产品线的客户知识和市场信息。例如,在“小型化高效磁控管技术攻关”时,美的中央研究院与美的“微清事业部”成立联合项目组,及时地得到了中央研究院风道技术的支持,基于数字技术创新平台的协同,最终美的实现了小型化高效磁控管国际领先水平。事实上,在微蒸烤一体机研发过程中,“涉及多项技术融合,如微波、蒸汽、电烤、材料、密封、保温、流体、降噪、电控、营养等。美的集团四级研发体系,基于共性与专项技术、成熟度高低两个维度实现个技术的分工和协同。”

五、讨论与结论

(一)理论框架

以美的微蒸烤一体机的颠覆性创新为案例,本文总体上提出了数字技术驱动高端颠覆性创新的理论框架(图2)。首先,案例分析发现高端颠覆性创新产生过程包括模糊前端阶段(机会识别、产品概念)、开发阶段

(牵引技术、仿真实验)、商业化阶段(数字化监测、迭代升级)等3个阶段的核心创新活动。

第一,在模糊前端阶段,高端颠覆性创新聚焦于在位者所忽略的新市场(克里斯滕森等,2018;斯、陈,2020;李东红等,2021)。这既区别于持续性创新所关注的主流客户,又区别于低端颠覆性创新所关注的低端客户。这就要求在机会识别和产品概念提出等具体创新活动上要识别相对确定性的市场和行业位势,从而降低未来占据主流市场的风险和成本。在这一阶段,数字技术促进了企业通过用户核心特征、表达需求收集、用户行为洞察来识别潜在高端新市场机会,同时让初始概念、概念工程、概念组合变得更为准确,从而大幅降低了市场和技术创新的模糊性。

第二,在开发阶段,高端颠覆性创新聚焦于对已有的知识原理或技术轨道进行破坏性创新,以形成异质性知识或技术的创新。这不同于低端颠覆性创新基于“够用技术的开发”,也不同于持续性创新基于现有技术持续改进的开发(斯、陈,2020)。本文发现牵引技术和仿真实验分别代表了技术方向、技术效率两个方面,而数字技术驱动技术方向更精准、技术研发更高效,因此大大降低了高端颠覆性创新的风险和成本。

第三,商业化阶段,高端颠覆性创新强调对突破性技术的快速迭代创新以期实现现有主流价值属性的快速颠覆,进而“挤占”主流市场。这与低端颠覆性创新关注对主流市场上“过度服务”的价值属性的颠覆,从而通过持续性创新满足主流客户的细分需求不同(克里斯滕森等,2018)。数字技术通过提供精准的市场跟踪工具和高效的沟通工具,大幅提升了企业数字化监测和产品迭代升级的效率。数字技术已经成为增加用户忠诚度、吸附新用户、不断扩大用户基础直至颠覆原有市场的关键。

其次,数字技术的连接、聚合和分析能力的发挥,通过数字连通(数字孪生、数字化生态嵌入)和数字协同(数字化开放式创新、数字化分布式协同)两类机制驱动高端颠覆性创新的产生。具体而言,第一,在虚拟物理系统层面,数字技术的连接、聚合和分析功能催生了数字孪生,使能了高端颠覆性创新产生过程中的各个环节。数字孪生是指一个可以根据数据持续更新的特定对象、存在或者系统的虚拟仿制品(陶、齐,2019)。一方面,在模糊前端阶段,模糊性是核心特征。而数字孪生使得“人人都成为了物联网时代的活标本”。数字孪生让高质量的机会识别、用户核心特征、表达需求收集、用户行为洞察、初始概念、概念工程、概念组合等创新活动过程中的准确性大幅提升。另一方面,在开发和商业化阶段,数字孪生辅助物理实体在产品生命周期中得以持续地改善,从而能够帮助公司更好地理解、预测以及优化产品和系统的相关性能。

第二,在开放主体层面,数字技术的连接、整合和分析功能加速了开放式创新,使能了分布式协同,让开发和商业化阶段更有效率。案例分析显示通过开放式创新吸收的外部创新资源,通过分布式协同的内部创新资源成为高端颠覆式创新得以发生的关键环节。如前所述,数字技术对技术突破产生了重要影响表现在:改变技术创新过程、扩大知识搜索范围、整合内外部创新资源,从而实现降低技术突破风险、提升创新效率。例如,数字技术为侧重探索性创新的中央研究院和侧重利用性创新的事业部从频率、方式等拓宽了沟通的路径,打破了由部门主义带来的时间和地域上的“藩篱”,促进了员工之间的知识共享和知识创新;数字技术

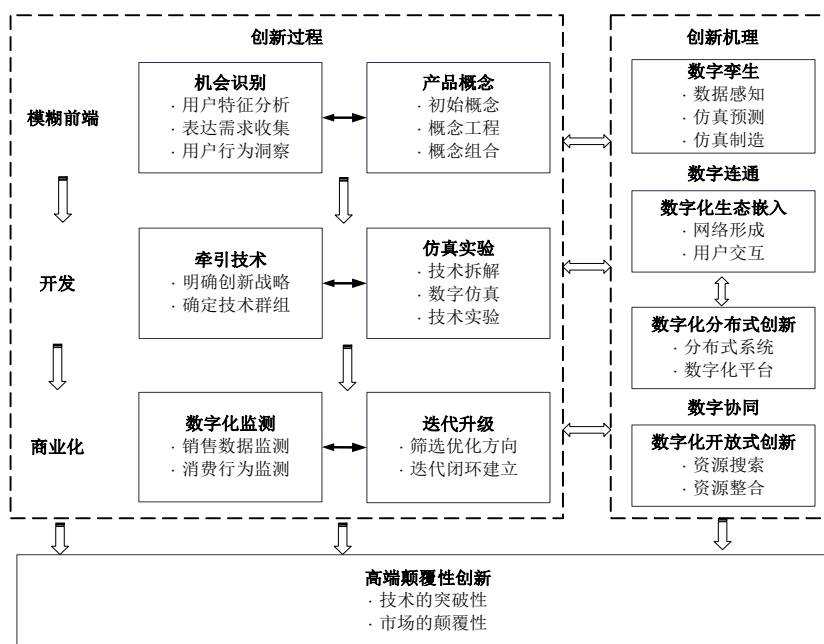


图2 数字技术驱动高端颠覆性创新的理论框架

的连接性和交互性,能够帮助企业在全局范围内快速搜索产品规划所需要的知识和技术,并及时跨越组织的边界整合吸收,以开放式创新模式提升创新效率。这些发现在现有讨论数字技术使能分布式协同和开放式创新的文献基础上进一步得以拓展(乌尔宾提等,2020;贝克尔等,2021)。

第三,在创新生态层面,数字技术使能的生态嵌入让高端颠覆性创新的各环节产生突变。在既有产品基础上,企业利用数字技术提供的接口,与用户和互补性产业交互,从而形成一个基于数字生态的价值网络。这一价值网络可以增强用户体验且有助于企业利用规模经济,从而使颠覆性创新的成本得到更好地补偿(卡马拉丁等,2021)。如前所述,数字技术将企业、用户以及生态合作伙伴紧密联系形成基于数字技术的平台生态系统(默西、马德霍克,2021),这将使能高端颠覆性创新产生的模糊前端、开发和商业化各阶段的创新行为。具体而言,基于网络效应的用户交互社群,将自循环产生的大量数据为高端颠覆性创新的机会识别、创意产生和产生概念提供大量新机会。与生态合作伙伴的价值共创为整合不同资源实现突破性技术提供机会。与用户和生态合作伙伴的紧密互动加速了高端颠覆性创新的迭代更新。

进一步,本文把数字孪生(建立物与物及物与数的连通)和数字生态嵌入(建立人与人及人与数的连通)归纳为数字连通,把数字化开放式创新(外部资源整合与协同)和数字化分布式协同(内部资源整合与协同)归纳为数字协同。数字连通强调企业利用数字技术实现人、物、数据等数字世界和物理世界的连接进而使能各类创新活动。数字协同则强调企业利用数字技术整合物理和数字世界的多样化资源从而实现创新活动。基于此,数字连通和数字协同是理解数字技术驱动高端颠覆性创新的机理的关键概念。

(二)理论贡献

本文研究了数字技术驱动高端颠覆性创新的过程机理,主要贡献于颠覆性创新和数字化创新的理论。首先,本文聚焦于高端颠覆性创新的产生过程,提出了“模糊前端(机会识别、产品概念)、开发(牵引技术、仿真实验)、商业化(数字化监测、迭代升级)”三阶段的高端颠覆性创新产生过程模型,贡献于颠覆性创新理论。现有文献尽管在概念上已经将颠覆性创新区分为高端和低端颠覆性创新(克里斯滕森等,2018;郭等,2019;斯、陈,2020),但在阐述和讨论颠覆性创新的内涵和路径时往往聚焦于低端颠覆性创新。这一趋势在针对新兴经济体企业的研究中更为明显(威廉森等,2020,2021)。然而,正如李东红等(2021)指出,以领先技术进行高端颠覆性创新,对于中国企业获得主流市场认可更为重要。本研究正是弥补这一缺口,重点聚焦于高端颠覆性创新的产生过程的独特性。高端颠覆性创新是以新技术轨道为切入点,以新技术创造全新市场需求,从而构筑新位势并逐步占领主流市场的过程。本研究明晰了低端颠覆性创新和高端颠覆性创新的过程和内在逻辑并不完全一致(林德格伦,2011;戈文达拉扬、科佩尔,2006)。本研究发现的理论启示是,关于颠覆性创新的研究应该明晰高端和低端颠覆性创新两种类型的差别,并基于二分法逻辑重视检验和拓展现有文献中的有关结论。

其次,本文从虚拟物理系统层面、开放主体层面和生态层面提出了数字技术驱动高端颠覆性创新的机制,贡献于颠覆性创新过程理论研究。现有研究认为颠覆性创新不仅是结果,更为重要的是一个过程,但总体而言却对高端颠覆性创新是如何产生的这一重要问题关注不够(克里斯滕森,2006;安萨里等,2016;库马拉斯瓦马等,2018;斯、陈,2020)。更为重要的是,现有颠覆性创新研究的一个共性情境假设在于技术范式并没有发生根本变化。在数字技术正在颠覆各行业的前提下(刘洋等,2020),探究数字技术如何驱动颠覆性创新产生将打破这一假设,拓展现有颠覆性创新的理论。一方面,本文研究从数字技术的连接、聚合和分析功能出发,识别了数字孪生、数字化开放式创新、数字化分布式协同和数字化生态嵌入4种机制如何使能高端颠覆性创新的产生的各环节,正面回应了现有研究的呼吁(霍普等,2018;伊安提斯、拉卡尼,2020)。另一方面,本文发现暗示数字技术带来的技术范式跃迁将不仅改变创新过程,数字技术的连接、聚合和分析功能本身亦将随着与企业现有技术能力之间的不断交互而逐步提升实现跃迁。这将意味着数字技术驱动的高端颠覆性创新产生过程将不断被加速,同时有大量衍生创新产生(尤等,2012)。

最后,本文细致讨论了数字技术驱动创新的产生过程,对数字创新理论研究的未来方向亦有一定的启示意义。现有创新管理和信息系统的文献一致认为数字技术发展给传统创新理论带来了极大的挑战,但现有文

献多集中于理论阐释(刘洋等,2020;格雷戈等,2021;海夫纳等,2021)和大样本面上分析(刘等,2021,2023)等。本文在现有理论讨论的基础上,从数字技术连接、聚合和分析功能出发(刘洋等,2021),重点探讨了数字技术驱动高端颠覆性创新这一类典型创新产生的具体机制,深化了数字技术驱动创新的机理研究。事实上,数字孪生(陶、齐,2019)、开放式创新(乌尔宾提等,2020)、分布式协同(贝克尔等,2021)和生态嵌入(卡马拉丁等,2021)在不同领域的分散文献里均有不同角度不同层面的讨论。本研究通过对案例进行归纳识别出了虚拟物理系统层面(数字孪生)、开放主体层面(开放式创新和分布式协同)和生态层面(生态嵌入)的四大机制,为探究数字技术驱动创新的未来方向提供了启示和经验证据。

本研究有如下3个方面的实践启示。第一,管理者应该考虑充分利用数字技术的连接、聚合和分析功能,重塑新产品开发的全流程以保障高端颠覆性创新的产生。例如,充分利用数字技术定向进行用户的数据收集和分析来识别机会、利用仿真技术进行产品试验和优化、利用数字技术对高端颠覆性产品进行快速迭代与升级等。第二,管理者应该意识到物与物、人与人之间的数字连接和外部资源和内部资源的数字化整合与协同对于颠覆性创新产生的重要作用。基于此,管理者要在企业里建立和完善保障数字连接和数字协同的机制来催生高端颠覆性创新。第三,相关政府部门一方面要建立能够保障企业利用数字技术进行高端颠覆性创新的政策体系,另一方面要制定和完善数据安全和隐私保护的政策来保障这一过程中消费者和企业的数据隐私和安全。

(三)局限与未来研究方向

尽管本文提出了数字技术驱动高端颠覆性创新的理论框架,对颠覆性创新与数字创新的文献有重要启示意义,但仍然存在一定的不足需要未来研究进一步探究。首先,与一般案例研究相一致,基于探索性单案例得出的结论仍需要谨慎对待(苏敬勤等,2022)。未来研究可以在不同创新项目、不同类型企业、不同行业中,综合采用质性数据、问卷调查、二手数据等方法,进一步检验本文提出的高端颠覆性创新产生过程和机理,来验证和拓展本文发现。其次,本文的一个核心结论在于高端颠覆性创新与低端颠覆性创新的产生过程存在重要差异,但本文仅聚焦于高端颠覆性创新的产生过程,未来研究可以把两类颠覆性创新纳入到一个研究中进行详细比较来检验高端和低端颠覆性创新产生过程的共性和差异点。最后,本文提出数字连通和数字协同两个概念来解释数字技术驱动高端颠覆性创新的机理,事实上,正如前所述,这两个概念是否可以应用到更一般的数字创新机理解释中值得未来进一步探究^②。

(作者单位:刘海兵、黄天蔚,武汉科技大学管理学院、武汉科技大学湖北产业政策与管理研究中心;刘洋,浙江大学管理学院)

注释

①参见库马拉斯瓦马等(2018),第1025~1042页。

②中外文人名(机构名)对照:克里斯滕森(Christensen);雷诺(Raynor);斯(Si);陈(Chen);马基迪斯(Markides);威尔士(Parry);川上(Kawakami);施密特(Schmidt);德吕尔(Druehl);马托(Mahto);万(Wan);库马拉斯瓦马(Kumaraswamy);贝勒塔吉(Beltagui);霍普(Hopp);伊安提斯(Iansiti);拉卡尼(Lakhani);威廉森(Williamson);格雷戈里(Gregory);海夫纳(Haefner);郭(Guo);鲍尔(Bower);卡拉扬诺普洛斯(Carayannopoulos);杭(Hang);黄(Huang);巴登-富勒(Baden-Fuller);帕吉特(Padgett);马尔维(Mulvey);科斯托夫(Kostoff);安萨里(Ansari);林德格伦(Sandström);戈文达拉扬(Govindarajan);科佩尔(Kopalle);巴拉华(Bharadwaj);尤(Yoo);阿德纳(Adner);格雷戈(Gregory);科佐利诺(Cozzolino);刘(Liu);巴雷特(Barrett);杰科毕得斯(Jacobides);亨弗里德森(Henfridsson);马丁内斯·卡罗(Martinez Caro);李(Li);维亚尔(Vial);埃德蒙森(Edmondson);麦克马纳斯(McManus);兰利(Langley);艾森哈特(Eisenhardt);殷(Yin);焦亚(Gioia);席林(Schilling);希尔(Hill);波迪克(Boeddrich);金姆(Kim);威尔蒙(Wilemon);里德(Reid);德布伦坦(De Brentani);巴提(Batty);哈格(Haag);安德尔(Anderl);穆尔(Moore);切萨布鲁夫(Chesbrough);加斯曼(Gassmann);格拉齐克(Vanhaverbeke);乌尔宾提(Urbinati);陶(Tao);齐(Qi);贝克尔(Becker);卡马拉丁(Kamalaldin);默西(Murthy);马德霍克(Madhok)。

参考文献

- (1)焦豪、杨季枫:《数字技术开源社区的治理机制:基于悖论视角的双案例研究》,《管理世界》,2022年第11期。
- (2)李东红、陈昱蓉、周平录:《破解颠覆性技术创新的跨界网络治理路径——基于百度Apollo自动驾驶开放平台的案例研究》,《管理世界》,2021年第4期。
- (3)李振东、梅亮、朱子钦、吴欣桐:《制造业单项冠军企业数字创新战略及其适配组态研究》,《管理世界》,2023年第2期。
- (4)刘海兵:《“善治”物联生态》,《企业管理》,2020年第5期。
- (5)刘海兵:《引领性创新:理论脉络、基本内涵与结构构件》,《科学学研究》,2022年第4期。
- (6)刘洋、董久钰、魏江:《数字创新管理:理论框架与未来研究》,《管理世界》,2020年第7期。

- (7)刘洋、李亮:《制造企业数字化转型:全球视角与中国故事》,《研究与发展管理》,2022年第1期。
- (8)刘洋、应震洲、应瑛:《数字创新能力:内涵结构与理论框架》,《科学学研究》,2021年第6期。
- (9)苏敬勤、张雅洁、贾依昂:《我国工商管理探索性案例研究的发展现状及规范性评估》,《管理案例研究与评论》,2022年第1期。
- (10)王海军、金姝彤、束超慧、战睿:《为什么硅谷能够持续产生颠覆性创新?——基于企业创新生态系统视角的分析》,《科学学研究》,2021年第12期。
- (11)王凤彬、张雪:《用纵向案例研究讲好中国故事:过程研究范式、过程理论化与中西对话前景》,《管理世界》,2022年第6期。
- (12)魏江、刘嘉玲、刘洋:《新组织情境下创新战略理论新趋势和新问题》,《管理世界》,2021年第7期。
- (13)吴晓波、张馨月、沈华杰:《商业模式创新视角下我国半导体产业“突围”之路》,《管理世界》,2021年第3期。
- (14)肖静华、吴小龙、谢康、吴瑶:《信息技术驱动中国制造转型升级——美的智能制造跨越式战略变革纵向案例研究》,《管理世界》,2021年第3期。
- (15)邢小强、周平录、张竹、汤新慧:《数字技术、BOP商业模式创新与包容性市场构建》,《管理世界》,2019年第12期。
- (16)邢小强、汤新慧、王珏、张竹:《数字平台履责与共享价值创造——基于字节跳动扶贫的案例研究》,《管理世界》,2021年第12期。
- (17)周江华、全允桓、李纪珍:《基于金字塔底层(BoP)市场的破坏性创新——针对山寨手机行业的案例研究》,《管理世界》,2012年第2期。
- (18)Adner, R., Puranam, P. and Zhu, F., 2019, “What is Different about Digital Strategy? From Quantitative to Qualitative Change”, *Strategy Science*, 4(4), pp.253~261.
- (19)Ansari, S., Garud, R. and Kumaraswamy, A., 2016, “The Disruptor’s Dilemma: Tivo and the us Television Ecosystem”, *Strategic Management Journal*, 37(9), pp.1829~1853.
- (20)Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A. and Venkatraman, N. V., 2013, “Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights”, *MIS Quarterly*, 37(2), pp.471~482.
- (21)Baden-Fuller, C., Dean, A., McNamara, P. and Hilliard, B., 2006, “Raising the Returns to Venture Finance”, *Journal of Business Venturing*, 21(3), pp.265~285.
- (22)Barrett, M., Davidson, E., Prabhu, J. and Vargo, S. L., 2015, “Service Innovation in the Digital Age”, *MIS Quarterly*, 39(1), pp.135~154.
- (23)Batty, M., 2018, “Digital Twins”, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(5), pp.817~820.
- (24)Becker, M. C., Rullani, F. and Zirpoli, F., 2021, “The Role of Digital Artefacts in Early Stages of Distributed Innovation Processes”, *Research Policy*, 50(10), 104349.
- (25)Boeddrich, H. J., 2004, “Ideas in the Workplace: A New Approach Towards Organizing the Fuzzy Front End of the Innovation Process”, *Creativity and Innovation Management*, 13(4), pp.274~285.
- (26)Beltagui, A., Rosli, A. and Candi, M., 2020, “Exaptation in a Digital Innovation Ecosystem: The Disruptive Impacts of 3D Printing”, *Research Policy*, 49(1), 103833.
- (27)Bower, J. L. and Christensen, C. M., 1995, “Disruptive Technologies: Catching the Wave”, *Harvard Business Review*, 73(1), pp.43~53.
- (28)Carayannopoulos, S., 2009, “How Technology-based New Firms Leverage Newness and Smallness to Commercialize Disruptive Technologies”, *Entrepreneurship Theory and Practice*, 33(2), pp.419~438.
- (29)Chesbrough, H. W., 2003, *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting From Technology*, Boston: Harvard Business School Press.
- (30)Chesbrough, H. and Schwartz, K., 2007, “Innovating Business Models with Co-development Partnerships”, *Research Technology Management*, 50(1), pp.55~59.
- (31)Christensen, C. M., 1997, *The innovator’s Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Boston: Harvard Business Review Press.
- (32)Christensen, C. M., McDonald, R., Altman, E. J. and Palmer, J. E., 2018, “Disruptive Innovation: An Intellectual History and Directions for Future Research”, *Journal of Management Studies*, 55(7), pp.1043~1078.
- (33)Christensen, C. M. and Raynor, M., 2003, *The Innovator’s Solution: Creating and Sustaining Successful Growth*, Boston: Harvard Business Review Press.
- (34)Christensen, C. M., Raynor, M. E. and McDonald, R., 2015, “What is Disruptive Innovation?”, *Harvard Business Review*, 93(12), pp.44~53.
- (35)Cozzolino, A., Verona, G. and Rothaermel, F. T., 2018, “Unpacking the Disruption Process: New Technology, Business Models, and Incumbent Adaptation”, *Journal of Management Studies*, 55(7), pp.1166~1202.
- (36)Edmondson, A. C. and McManus, S. E., 2007, “Methodological Fit in Management Field Research”, *Academy of Management Review*, 32(4), pp.1246~1264.
- (37)Eisenhardt, K. M., Graebner, M. E. and Sonenshein, S., 2016, “Grand Challenges and Inductive Methods: Rigor without Rigor Mortis”, *Academy of Management Journal*, 59(4), pp.1113~1123.
- (38)Gassmann, O., 2006, “Opening up the Innovation Process: Towards an Agenda”, *R&D Management*, 36(3), pp.18~27.
- (39)Gioia, D. A., Corley, K. G. and Hamilton, A. L., 2013, “Seeking Qualitative Rigor in Inductive Research Notes on the Gioia Methodology”, *Organizational Research Methods*, 16, pp.15~31.
- (40)Govindarajan, V. and Kopalle, P. K., 2006, “Disruptiveness of Innovations: Measurement and an Assessment of Reliability and Validity”, *Strategic Management Journal*, 27(2), pp.189~199.
- (41)Govindarajan, V., Kopalle, P. K. and Danneels, E., 2011, “The Effects of Mainstream and Emerging Customer Orientations on

Radical and Disruptive Innovations”, *Journal of Product Innovation Management*, 28(s1), pp.121~132.

(42) Gregory, R. W., Henfridsson, O., Kaganer, E. and Kyriakou, H., 2021, “The Role of Artificial Intelligence and Data Network Effects For Creating User Value”, *Academy of Management Review*, 46(3), pp.534~551.

(43) Guo, J., Pan, J., Guo, J., Gu, F. and Kuusisto, J., 2019, “Measurement Framework for Assessing Disruptive Innovations”, *Technological Forecasting and Social Change*, 139, pp.250~265.

(44) Haag, S. and Anderl, R., 2018, “Digital Twin—proof of Concept”, *Manufacturing Letters*, 2(15), pp.64~66.

(45) Haefner, N., Wincent, J., Parida, V. and Gassmann, O., 2021, “Artificial Intelligence and Innovation Management: A Review, Framework, and Research Agenda”, *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 120392.

(46) Hopp, C., Antons, D., Kaminski, J. and Oliver Salge, T., 2018, “Disruptive Innovation: Conceptual Foundations, Empirical Evidence, and Research Opportunities In The Digital Age”, *Journal of Product Innovation Management*, 35(3), pp.446~457.

(47) Hang, C. C. and Chen, J., 2021, “Innovation Management Research in the Context of Developing Countries: Analyzing the Disruptive Innovation Framework”, *International Journal of Innovation Studies*, 5(4), pp.145~147.

(48) Hang, C. C., Garnsey, E. and Ruan, Y., 2015, “Opportunities for Disruption”, *Technovation*, 39, pp.83~93.

(49) Henfridsson, O., Nandhakumar, J., Scarbrough, H. and Panourgias, N., 2018, “Recombination in the Open-ended Value Landscape of Digital Innovation”, *Information and Organization*, 28(2), pp.89~100.

(50) Iansiti, M. and Lakhani, K. R., 2020, “From Disruption to Collision: The New Competitive Dynamics”, *MIT Sloan Management Review*, 61(3), pp.34~39.

(51) Jacobides, M. G., Cennamo, C. and Gawer, A., 2018, “Towards a Theory of Ecosystems”, *Strategic Management Journal*, 39(8), pp.2255~2276.

(52) Kamalaldin, A., Sjödin, D., Hullova, D. and Parida, V., 2021, “Configuring Ecosystem Strategies for Digitally Enabled Process Innovation: A Framework for Equipment Suppliers in the Process Industries”, *Technovation*, 105, 102250.

(53) Kim, J. and Wilemon, D., 2002, “Focusing the Fuzzy Front-end in New Product Development”, *R&D Management*, 32(4), pp.269~279.

(54) Kostoff, R. N., Boylan, R. and Simons, G. R., 2004, “Disruptive Technology Roadmaps”, *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1~2), pp.141~159.

(55) Kumaraswamy, A., Garud, R. and Ansari, S., 2018, “Perspectives on Disruptive Innovations”, *Journal of Management Studies*, 55(7), pp.1025~1042.

(56) Langley, A., 1999, “Strategies for Theorizing From Process Data”, *Academy of Management Review*, 24(4), pp.691~710.

(57) Langley, A. N. N., Smallman, C., Tsoukas, H. and Van de Ven, A. H., 2013, “Process Studies of Change in Organization and Management: Unveiling Temporality, Activity, and Flow”, *Academy of Management Journal*, 56(1), pp.1~13.

(58) Liu, Y., Dong, J., Mei, L. and Shen, R., 2023, “Digital Innovation and Performance of Manufacturing Firms: An Affordance Perspective”, *Technovation*, 119, 102458.

(59) Liu, Y., Dong, J., Ying, Y. and Jiao, H., 2021, “Status and Digital Innovation: A Middle-status Conformity Perspective”, *Technological Forecasting and Social Change*, 168, 120781.

(60) Mahto, R. V., Belousova, O. and Ahluwalia, S., 2020, “Abundance—A New Window on How Disruptive Innovation Occurs”, *Technological Forecasting and Social Change*, 155, 119064.

(61) Markides, C., 2006, “Disruptive Innovation: In Need of Better Theory”, *Journal of Product Innovation Management*, 23(1), pp.19~25.

(62) Moore, J. F., 1993, “Predators and Prey: A New Ecology of Competition”, *Harvard Business Review*, 71(3), pp.75~86.

(63) Murthy, R. K. and Madhok, A., 2021, “Overcoming the Early-stage Conundrum of Digital Platform Ecosystem Emergence: A Problem-solving Perspective”, *Journal of Management Studies*, 58(7), pp.1899~1932.

(64) Parry, M. E. and Kawakami, T., 2017, “The Encroachment Speed of Potentially Disruptive Innovations with Indirect Network Externalities: The Case of E-readers”, *Journal of Product Innovation Management*, 34(2), pp.141~158.

(65) Padgett, D. and Mulvey, M. S., 2007, “Differentiation Via Technology: Strategic Positioning of Services Following the Introduction of Disruptive Technology”, *Journal of Retailing*, 83(4), pp.375~391.

(66) Reid, S. E. and De Brentani, U., 2004, “The Fuzzy Front End of New Product Development for Discontinuous Innovations: A Theoretical Model”, *Journal of Product Innovation Management*, 21(3), pp.170~184.

(67) Sandström, C., 2011, “High-end Disruptive Technologies with an Inferior Performance”, *International Journal of Technology Management*, 56(2~4), pp.109~122.

(68) Schilling, M. A. and Hill, C. W., 1998, “Managing the New Product Development Process: Strategic Imperatives”, *Academy of Management Perspectives*, 12(3), pp.67~81.

(69) Schmidt, G. M. and Druehl, C. T., 2008, “When is a Disruptive Innovation Disruptive?”, *Journal of Product Innovation Management*, 25(4), pp.347~369.

(70) Si, S. and Chen, H., 2020, “A Literature Review of Disruptive Innovation: What It Is, How It Works and Where It Goes”, *Journal of Engineering and Technology Management*, 56, 101568.

(71) Si, S., Chen, H., Liu, W. and Yan, Y., 2021, “Disruptive Innovation, Business Model and Sharing Economy: The Bike-sharing Cases in China”, *Management Decision*, 59(11), pp.2674~2692.

(72) Tao, F. and Qi, Q., 2019, “Make More Digital Twins”, *Nature*, 573(7775), pp.490~491.

(73) Urbinati, A., Chiaroni, D., Chiesa, V. and Frattini, F., 2020, “The Role of Digital Technologies in Open Innovation Processes: An Exploratory Multiple Case Study Analysis”, *R&D Management*, 50(1), pp.136~160.

(下转第99页)

(85)Zhou, Q., Zhang, Y., Yang, W., Ren, L. and Chen, P., 2022, "Value Co-creation in the Multinational Technology Standard Alliance: A Case Study from Emerging Economies", *Industrial Management & Data Systems*, vol.122, pp.2121~2141.

How Can Latecomer Enterprises Broaden Their Influence on International Technical Standard Setting: An Exploratory Case Study of CRRC Zhuzhou Institute

Zhou Qing^a, Chen Jing^b, Yang Wei^a, Xu Wang^c and Ouyang Xiaoping^b

(a. Management School of Hangzhou Dianzi University; b. School of Material and Engineering of Xiangtan University;

c. Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd.)

Abstract: Broadening influence in international technical standard setting is the key for achieving self-reliance in high level science and technology as well as an important research issue. Based on the experience of internationalization standard work of CRRC Zhuzhou Electric Locomotive Research Institute Co., Ltd., this paper formulates a mechanism model for latecomer enterprises to broaden their influence in international technical standard setting. The main findings can be listed as follows. The strategic guiding mechanism is composed of strategic cognition and planning. It can broaden latecomer enterprises' influence in international technical standard setting through direction guidance and improving the priority of resource allocation. The standard innovation mechanism consists of s learning by imitation, technology selection, and resource orchestration. It promotes the advancement of standards, and in turn broadens the influence of latecomer enterprises in standard setting. The ecology rebuilding mechanism consists of community integration, strengthening niche and international competition and cooperation. It can increase the legitimacy of latecomer enterprises' standards. The above mechanisms are getting enriched and advanced under the effects of reinforcement and synergy, as the enterprises become more influential in setting international technical standards. The research not only deepens the theory about technical standard development based on SSOs, but also makes up the shortage of research on technological catch-up. The experience of CRRC Zhuzhou Electric Locomotive Research Institute Co., Ltd. also has important enlightenment to international standard work of other latecomer enterprises.

Keywords: latecomer enterprises; international technical standard; strategic guiding; standard innovation; ecology rebuilding

=====

(上接第81页)

(74) Wan, F., Williamson, P. J. and Yin, E., 2015, "Antecedents and Implications of Disruptive Innovation: Evidence from China", *Technovation*, 39, pp.94~104.

(75) Williamson, P. J., Wan, F., Eden, Y. and Linan, L., 2020, "Is Disruptive Innovation in Emerging Economies Different? Evidence from China", *Journal of Engineering and Technology Management*, 57, 101590.

(76) Williamson, P. J., Guo, B. and Yin, E., 2021, "When Can Chinese Competitors Catch Up? Market and Capability Ladders and Their Implications for Multinationals", *Business Horizons*, 64(2), pp.223~237.

(77) Vanhaverbeke, W., Van de Vareska, V. and Chesbrough, H., 2008, "Understanding the Advantages of Open Innovation Practices in Corporate Venturing in Terms of Real Options", *Creativity and Innovation Management*, 17(4), pp.251~258.

(78) Yin, R. K., 2003, *Case Study Research: Design and Methods*, Thousand Oaks, CA: Sage.

(79) Yoo, Y., Hendfridsson, O. and Lyytinen, K., 2010, "The New Organizing Logics of Digital Innovation: An Agenda For Information Systems Research", *Information Systems Research*, 21(4), pp.724~735.

(80) Yoo, Y., Boland, R. Jr, Lyytinen, K. and Majchrzak, A., 2012, "Organizing for Innovation in the Digitized World", *Organization Science*, 23(5), pp.1398~1409.

The Process and Mechanism of Digital Technology Driving High-end Disruptive Innovation: An Exploratory Case Study

Liu Haibing^{a,b}, Liu Yang^c and Huang Tianwei^{a,b}

(a. School of Management, Wuhan University of Science and Technology; b. Industrial Policy and Management Research Center, Wuhan University of Science and Technology; c. School of Management, Zhejiang University)

Abstract: The new wave of technological revolution has opened up new technological opportunities for high-end disruptive innovation, providing a new path for Chinese enterprises to gain mainstream market recognition under the high-quality development requirements and intense global competition. Based on the exploratory case analysis of Midea, this paper proposes a theoretical framework of digital technology-driven high-end disruptive innovation and finds that (1) the process of generating high-end disruptive innovation includes core innovation activities in three stages, including the fuzzy front-end stage (opportunity recognition, product conceptualization), development stage (traction technology design, simulation experiment) and commercialization stage (digital monitoring, iterative innovation); (2) the connection, aggregation, and analysis capabilities of digital technology drive the emergence of high-end disruptive innovation through two mechanisms, digital connectivity (digital twin, digital ecological embedding) and digital collaborative (digital open innovation, digital distributed collaborative). This paper not only contributes to the theories of disruptive innovation and digital innovation literature by exploring the mechanisms of digital technology-driven high-end disruptive innovation, but also provides managerial implications for Chinese manufacturing enterprises to seize the digital transformation opportunities to generate high-end disruptive innovation.

Keywords: digital technology; disruptive innovation; digital innovation; case study

The Process and Mechanism of Digital Technology Driving High-end Disruptive Innovation: An Exploratory Case Study

Liu Haibing^{a,b}, Liu Yang^c and Huang Tianwei^{a,b}

(a. School of Management, Wuhan University of Science and Technology; b. Hubei Industrial Policy and Management Research Center, Wuhan University of Science and Technology; c. School of Management, Zhejiang University)

Summary: This paper focuses on the core research question of "how digital technology drives high-end disruptive innovation" through an inductive case study of the high-end disruptive innovation practice of Midea Group's microwave oven. In 2011, Midea embarked on a digital transformation journey towards intelligent manufacturing, and the digitization of its R&D activities has become increasingly pronounced in recent years. In this paper, we will explore how digital technology has contributed to the development of Midea's microwave oven. In particular, the digital technology plays a vital role in the production process of Midea Group's microwave oven. A variety of digital technologies and platforms, such as the Meiju mobile app, AI Magic Mirror and Business Intelligence, have been utilized to facilitate the product's development. In order to comprehensively and systematically collect the production process of Midea Group's microwave oven, the research team gathered several data sources, including interviews, archives and public information, as well as participatory observations to achieve data triangulation. Specifically, by integrating data from different sources, the key events were arranged chronologically, and the specific practice in each stage was structured and examined. In addition, narrative data that was deemed insufficient was further supplemented with multiple interviews and confirmations to form a complete narrative line of the process of the microwave oven. The data analysis process of this article followed the requirements of process theory development, and continued to compare data, merging theory, and literature.

The inductive case study finds that there are three core innovation phases in the development of high-end disruptive innovation, namely, the fuzzy front-end (opportunity identification, product conceptualization), development (traction technology design, simulation experiment), and commercialization (digital monitoring, iterative innovation). In the fuzzy front-end stage, digital technology can help enterprises quickly and accurately identify innovation opportunities and define innovation directions, reduce the uncertainty, and thus improve the accuracy from opportunity identification to the formation of product concepts. In the development stage, digital technology could make the process more efficient, thus greatly reducing the risk and cost of high-end disruptive innovation. In the commercialization stage, digital monitoring and iterative upgrading are the keys to increasing user loyalty, attracting new users, and expanding the user base to subvert the existing market. Secondly, this paper identifies two mechanisms of digital connectivity and digital collaboration driving the emergence of high-end disruptive innovation, the former includes digital twins (establishing connections between things and data) and digital eco-embeddedness (establishing connections between people and data), and the latter includes digital open innovation (integration and collaboration with external resources) and digital distributed collaboration (integration and collaboration with internal resources).

The potential theoretical contribution of this paper lies in two aspects. Firstly, existing literature on disruptive innovation has mostly focused on low-end disruptive innovation. According to the process of "fuzzy front-end--development--commercialization", this study analyzed the process of high-end disruptive innovation, which provides a more comprehensive picture of disruptive innovation research together with existing literature. Secondly, the constructs of digital connectivity and digital collaboration proposed in our paper not only positively respond to the research call for the process of high-end disruptive innovation in the digital technology context, but also provides insights into the how digital innovation generated.

Keywords: digital technology; disruptive innovation; digital innovation; case study

JEL Classification: M150, M110