

中小企业如何依托“专精特新”发展 实现产业链补链强链

——基于数码大方的纵向案例研究

赵晶, 孙泽君, 程栖云, 尹曼青

[摘要] 中小企业是保证产业链稳定性和安全性的关键支撑,也是建设现代化产业体系的重要微观基础。中小企业如何实现“专精特新”发展,又如何依托“专精特新”发展发挥产业链补链强链作用?工业软件企业数码大方聚焦产业关键环节实现“专精特新”发展的实践为解决这一问题写下生动答案。通过案例研究发现:专业化深入实现卡位补链、精细化集成实现耦合固链、生态化协作实现联动强链是中小企业实现“专精特新”发展、发挥产业链协同配套作用的三个阶段。具体地,企业采取专业化深入行为在核心技术和产品中取得突破,通过资源要素协同和通用型配套填补产业链短板;精细化集成进一步将企业核心技术和产品做精做细,通过协同需求主体和定制化配套巩固产业链稳定性;生态化协作促进企业技术及产品跨越组织边界在产业生态中流动共享,通过创新能力协同和前瞻性配套发挥强化产业链作用。本文采用“中小企业行为—协同配套过程—补链强链结果”的逻辑链路,构建了中小企业依托“专精特新”发展实现产业链补链强链的理论框架,揭示了中小企业在推进产业基础高级化和产业链现代化方面的重要作用。

[关键词] 中小企业; 专精特新; 产业链; 补链强链; 协同配套

[中图分类号] F270 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-480X(2023)07-0180-21

一、引言

中国现已形成工业门类齐全的完备产业体系,但核心基础零部件、关键基础材料及基础软件等产业配套领域能力薄弱、关键核心技术创新能力不足,亟须一批企业专注细分领域持续深耕,推进产业基础高级化和产业链现代化。这些产业配套领域分类细、共性内容少、单项产品总产值低、技术攻克难度大、研发周期长,仅靠大型企业单打独斗难以覆盖所有细分环节达成产业链的全面联

[收稿日期] 2023-05-16

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目“跨国情境下企业社会责任披露研究——基于文本分析的方法”(批准号 71972178)。

[作者简介] 赵晶,中国人民大学商学院、中国人民大学企业治理与国际化研究中心教授,博士生导师,管理学博士;孙泽君,中国人民大学商学院博士研究生;程栖云,中国人民大学商学院博士研究生;尹曼青,中国人民大学商学院博士研究生。通讯作者:程栖云,电子邮箱:xiyun_cheng@ruc.edu.cn。感谢国家电网“公司集团管控效能评价与管理优化关键技术研究”项目的资助,感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,文责自负。

通,需要中小企业提供零部件、元器件等配套产品和配套服务,发挥补链固链强链作用,实现有序协同。所以,中小企业能否依托“专精特新”发展发挥产业链协同配套作用,是中国能否补齐产业链短板的前提,也是中国能否成功建设现代化产业体系的关键。

已有文献对产业链上企业主体能动性作出探讨,但多关注领军企业、核心企业和链长企业等大型企业,在产业创新生态系统、关键核心技术突破和颠覆性创新等领域的复杂系统协调与集成作用(谭劲松等,2021;胡登峰等,2022),中小企业的能动作用被忽视。实践中,已涌现出一批围绕关键环节和重点方向做专做深,结合产业需求进行长期的研发投入与工艺积淀,不断取得配套产品和服务的技术突破,逐步成长为“专精特新”的中小企业。这类企业聚焦主业、创新能力强、成长性好,其提供的零部件、元器件等配套产品和服务涉及面广、分类详细且性能和精度较高,能有效填补产业链技术空白,满足产业链配套需求。近年来,学术界也将目光聚焦于此类优质中小企业,围绕“专精特新”的内涵界定、发展态势、制约因素、成长路径和培育机制进行讨论(董志勇和李成明,2021;毛军权和敦帅,2023)。然而,现有理论缺少对企业自身发展历程的刻画解读及其发挥产业链能动作用具体机制的探讨。在产业链关键环节频频被“卡脖子”的现今,中小企业如何实现“专精特新”发展,又如何依托“专精特新”发展为产业链补链强链是亟需回答的时代问题。

工业软件广泛应用于几乎所有工业领域的研发制造过程,是智能制造的核心和大脑,在“十四五”期间被国家列为产业基础的“新五基”之一,目前国内主流工业软件市场大都被外国厂商把控,已然成为影响产业现代化进程的关键环节。工业软件企业北京数码大方科技股份有限公司(简称数码大方,CAXA)多年来深植研发设计类软件领域,已经成长为掌握三维CAD软件自主内核以及主流商用引擎融合技术的公司,并在2021年被评选为国家级“专精特新”小巨人。在数码大方成长路径中,企业依托“专精特新”发展补齐产业技术短板,巩固产业链稳定性并带动产业链强化升级。本文通过对数码大方开展案例研究以填补中小企业“专精特新”成长路径和产业链能动作用的理论空白,为中小企业支撑现代化产业体系提供战略指引,同时为政府制定“专精特新”企业高质量发展相关政策提供有益启示。

二、文献综述

1. 中小企业、“专精特新”和产业链

中小企业是当前产业链上数量最大、最具活力的企业群体,具有组织结构柔性、机制灵活、市场反应敏锐、创新意识强和专业化程度高等比较优势,是推动技术创新和产业链发展的生力军。现有研究大多将视角局限于企业边界内,关注了融资约束(Wellalage and Fernandez, 2019)、技术人才数量或质量制约(Fong, 2010)、管理层特征(Barrett et al., 2021)等内部组织因素,以及减税降费、财政补贴、产业政策等外部环境因素(杨林和沈春蕾,2021)对中小企业创新发展的影响。企业集群、开放式创新等研究将视角拓展至中小企业与外部主体之间的互动行为和竞争合作关系(刘友金,2006;朱小斌和林庆,2008;Lee et al., 2010;Parida et al., 2012),高旭东(2018)提出本土企业技术创新“共同成长”理论,认为本土零部件使用者和生产者需要在创新中共同成长。但此类文献多强调大型企业所发挥的资源配置作用,将中小企业视为被动、从属的资源接受者,未能跳出单体企业从产业层面分析中小企业对产业链的能动作用。

近年来,一批以专业化、精细化、特色化、新颖化为特征实现优质发展的“专精特新”企业为中小企业发展方向以及如何与产业链形成良性互动关系提供了重要现实借鉴。实践中,中小企业

通过“专精特新”化发展,围绕产业链关键环节深耕细作,形成特定产业领域的专业化能力,最终实现产业链关键环节的补链、固链和强链。然而,“专精特新”中小企业的研究大多以“隐形冠军”理论(Simon, 1992; Simon, 1996)为基础进行概念拓展,研究其成长路径(毛军权和郭帅,2023)和影响发展的内外部因素(曹虹剑等,2022;王伟楠等,2023),并未关注到“专精特新”中小企业所发挥的产业链协同配套作用,更缺乏对其实现产业链补链、固链、强链这一过程的机理分析和理论构建。

与此同时,当前产业链关键环节“卡脖子”现象频出,如何补足短板、锻炼长板,补链强链以提升产业链供应链稳定性,这些问题亟待探讨。一些研究将重大工程项目视作连接产业链各个节点的“集成系统”(Lhuillery and Pfister, 2009),以中国高铁(吕铁和江鸿,2017)、港珠澳大桥(林鸣,2020)等复杂工程系统为案例,研究了大科学工程的组织方式如何通过产业的确定性来牵引创新的不确定性。还有文献从产学研多主体协同的创新合作模式(原长弘等,2015)、跨链条协同(徐可等,2015)的角度研究产业链创新过程中节点缺失或衔接不畅的原因。然而,上述研究聚焦产业中观视角,缺少对产业链上具体断裂和缺失环节本身的关注,更未解答这些关键环节是谁占据、由谁去补、如何去补等问题。

因而,学者们从更加深入和微观的“企业”视角观察“产业”发展,研究企业主体活动驱动产业链整体能力提升(中国社会科学院工业经济研究所课题组,2022)。现有文献关注了创新生态系统(魏江等,2016;吴晓波等,2019;柳卸林和王倩,2021),但更强调链上企业主体中的大型领军企业在产业链上的资源整合作用(余义勇和杨忠,2020),缺乏对中小企业这一重要微观主体的探讨。实践中,一些中小企业通过“专精特新”化发展,针对产业链关键薄弱环节“卡位入链”,已成为补齐产业链短板的重要抓手。相关研究需要对占据产业链关键环节的“专精特新”中小企业实现补链强链的路径机制给予严谨的学理解释。

2. 协同创新理论

协同创新理论提出了一种复杂的网络化创新组织模式,涉及企业主体、政府、科研机构、客户和中介组织等多方创新主体,各主体之间通过大规模、深层次的跨领域协同合作以及资源能力优势互补实现重大科技创新的共同目标(陈劲和阳银娟,2012)。相关文献从整合和互动两个维度分析协同创新的过程机制,其中,整合维度主要包括知识、资源、行动和绩效的全面整合,而互动维度主要是指各个创新主体之间的互惠知识分享、资源优化配置、行动的最优同步以及系统的匹配度(Serrano and Fischer, 2007)。多种创新资源要素的共享整合是协同创新和价值创造的基础。基于整合维度,大量文献研究了实现协同创新过程中的知识协同(万幼清和邓明然,2007)、管理协同(段云龙等,2019)和战略协同(王蓼祥和陈磊,2015)等。

中小企业作为产业链上一类重要的协同主体,其在协同创新中的角色和作用有待深入研究。现有文献重点探索主体之间如何通过要素整合、机制互动形成合力。其中,企业、高校和科研机构是协同的直接主体,而政府、中介机构等是协同的间接主体,直接主体与间接主体之间的资源整合共享、能力互动协同可以产生“1+1>2”的协同效应(白俊红等,2009)。还有学者研究了三重螺旋理论中产学研系统非线性的相互作用(Etzkowitz and Leydesdorff, 2000),以及“政产学研”协同创新模式下关键作用主体的演变路径和驱动作用(贺远琼等,2022)。以上研究往往将企业视同为一类整体,讨论协同创新中企业如何发挥创新主体作用,以及企业与其他主体之间的创新互动机制,较少关注企业主体内部的异质性,中小企业与大型领军企业具有不同的特点,其实现协同创新的路径机制也可能有所不同。

部分研究关注到中小企业协同创新网络的构建,池仁勇(2007)实证检验了中小企业与中介、科研机构、政府等构成的创新网络可以提升创新绩效。但现有文献大多研究协同创新对中小企业自身的创新绩效影响,而忽视了中小企业对其他协同主体和所处产业链的能动作用。因此,有必要立足中小企业视角,进一步丰富和完善协同创新的理论框架。

三、研究设计

1. 研究方法

本文采用探索性纵向单案例研究方法,主要出于以下考虑:首先,中小企业如何依托“专精特新”发展实现产业链补链强链,属于典型的“How”类研究问题,案例研究方法适用于回答此类解释机制或过程问题(Yin, 2014);其次,中小企业依托“专精特新”发展实现产业链补链强链是一个长期的动态演变过程,涵盖多阶段多层次概念,纵向单案例研究有助于厘清中小企业能动性作用背后的理论逻辑;最后,单案例研究方法能突出企业所处情境,完整展示中小企业依托“专精特新”发展实现产业链补链强链的过程,归纳并呈现多重机制间的复杂关系。

2. 案例选择

(1)行业选择:工业软件行业。工业软件是“工业技术/知识、流程的程序化封装与复用,专用于或主要应用于工业领域,为提高工业企业研发设计、制造、生产管理水平和工业管理性能的相关软件与系统”。工业软件产品可以划分为如下三种类型:①研发设计类,又称核心工业软件,帮助提升工业企业在研发中的能力与效率;②生产控制类,帮助提高制造过程中的管控水平和生产设备的利用率;③业务管理类,帮助提升企业运营效率和管理治理能力。

工业软件的主要应用领域为制造业,包含流程型制造业和离散型制造业。当前,流程型制造业(如石油、化工、钢铁等)的工业软件国产化相对成熟,这是由于国内流程型制造企业的业务耦合性强且生产管理经验丰富,龙头制造企业具有培育行业国产工业软件公司的天然优势。相对地,以高端装备制造为代表的离散型制造业(如汽车制造、机械装备、航空航天等)是“卡脖子”问题重灾区,关键原材料和零部件供应、核心技术研发等产业链关键环节对外依赖严重。制造业产业链的顺畅运行离不开各类工业软件的协同支持,三类工业软件分别在产业链不同环节衔接运作的过程中扮演重要角色,与产业链形成紧密嵌合的生态关系。其中,研发设计类工业软件主要应用于产业链上、中游企业的产品研发环节,为上游关键零部件的研发和中游整车整机的研发提供技术支撑,是工业企业进行产品自主研发的基础;生产控制类工业软件为产业链上企业的生产制造环节提供支持,用于提高制造过程的管控水平、改善生产设备的效率和利用率;业务管理类工业软件主要用于提升企业业务活动和日常经营的效率,为整个产业链上的价值活动提供支持(见图1)。

目前,国产工业软件面临关键技术对外高度依赖、高端应用场景难以突破等问题,其中以研发设计类软件最为突出。一方面,研发设计类软件的研发难度大、技术门槛高、研发周期长;另一方面,研发设计类软件专注于产业链上高附加值的研发环节,是制造企业进行产品自主研发的基础和提升产业链能力与效率的关键。本文重点聚焦国产软件行业中的研发设计类软件展开探究。

研发设计类工业软件分为设计绘图、仿真测试和产品数据管理三个模块(见图2)。设计绘图模块主要包含二维和三维CAD(Computer-Aided Design,计算机辅助设计)软件,二维CAD软件的国产化程度相对较好,但国产三维CAD软件仍存在核心技术受制于人、企业工业知识积累不足等问题。仿真测试模块主要包含计算机辅助工程(Computer-Aided Engineering, CAE)和计算机辅助制

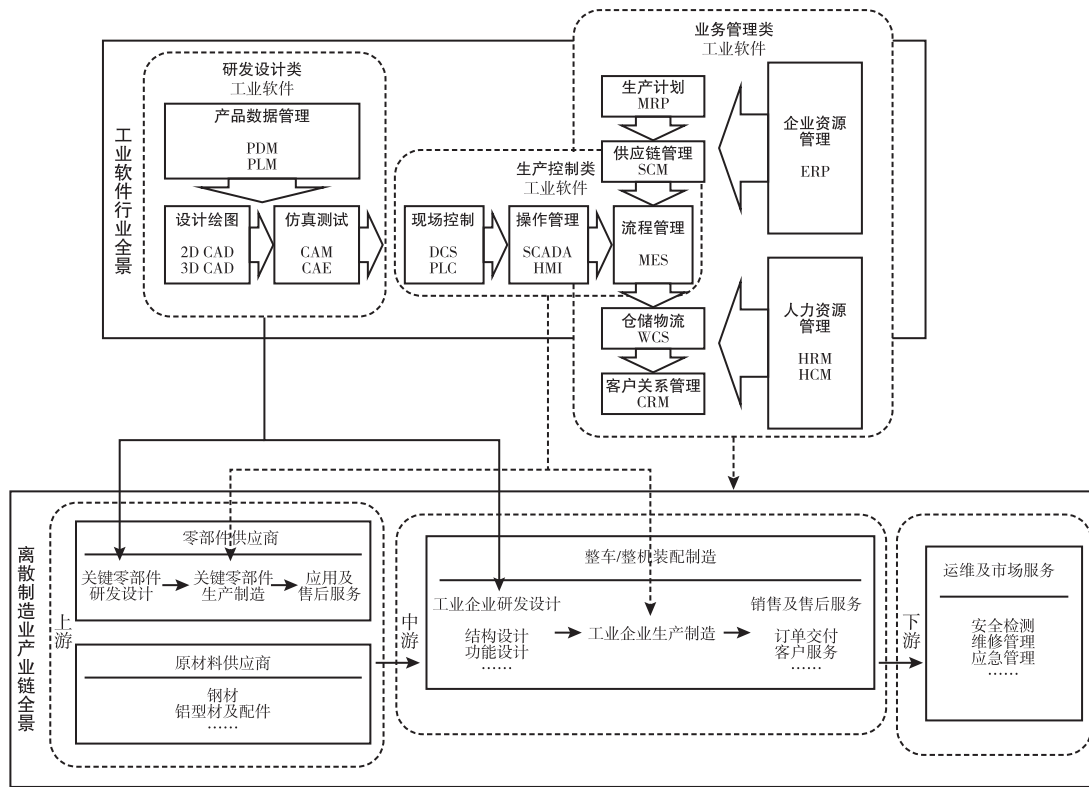


图1 工业软件行业与离散制造业产业链全景

造(Computer-Aided Manufacturing, CAM)软件。CAE前十大供应商都为国外厂商,中国CAE市场国产化率不足5%,主要厂商为安世亚太、中望和云道智造,国内企业技术与国外差距较大。产品数据管理模块主要应用产品数据管理软件(Product Data Management, PDM)和产品生命周期管理软件(Product Lifecycle Management, PLM)对信息流进行统一管理、保留历代产品数据,为所有与产品相关的过程提供数据技术支持。国外大型工业软件企业大多已经形成了CAD/CAE/CAM/PDM一体化的综合软件平台,但国内厂商在产品化、集成化和规模化上与国外差距还很大。

(2)企业选择。本文遵循典型性和启发性原则以及理论抽样的要求(Eisenhardt and Graebner, 2007),选择工业软件行业国家级专精特新“小巨人”企业——数码大方作为研究对象,主要考虑:①具备案例完整性。数码大方以技术积累填补了产业链细分领域需求内化的迫切需要,并以产业标准制定、工业互联网建设等行动带动产业链技术升级,经历了“专精特新”发展和发挥产业链补链强链作用的完整过程。②具备案例代表性。数码大方是国产工业软件行业中技术实力最强的企业之一,也是国内极少数自主研发并完全掌握三维CAD几何内核技术的企业。研发设计、生产控制和业务管理三类工业软件中以研发设计类软件的技术开发难度最大,而三维CAD的几何内核更是研发设计类软件这一皇冠上的“明珠”。目前,成熟且应用广泛的三维几何内核ACIS和PARASOLID分别掌握在达索(Dassault)和西门子(Siemens)两大国外工业软件巨头手中。国内掌握三维CAD几何内核技术的企业主要有数码大方、中望龙腾和苏州浩辰。其中,苏州浩辰的内核技术源于美国ODA和ITC技术联盟的授权,在支付授权费获得许可和使用说明后进行相应的开发与改进。中望龙腾的Overdrive内核源于美国VX CAD软件内核,于2010年完成内核收购,通过收购掌握了内核技术。数码大方于2003年并购IronCAD,将数码大方的曲面研究与IronCAD的实体研

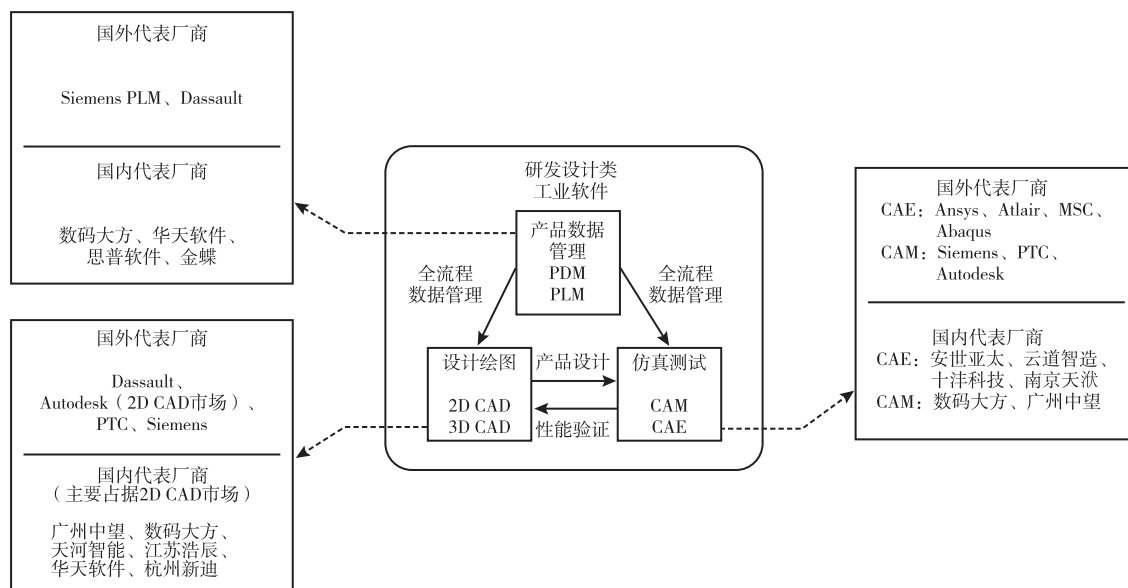


图2 研发设计类工业软件行业示意

究合二为一,开发出了自主内核 MEGA Kernel。后续,数码大方开发多内核引擎架构技术,更好地解决了数据兼容和数据交换问题。综合看,数码大方对三维几何内核的介入与开发时间更早且几何内核的自主可控程度更高,更具备研究的典型性。

3. 数据收集

数据收集可分为三个阶段,累计访谈29人次,形成约46万字素材。第一阶段为2021年9—11月,研究人员在对数码大方调研过程中关注到“专精特新”企业创新能力强、聚焦主业等企业特征以及与产业链深度融合的发展历程,初步形成研究思路。第二阶段为2021年12月至2023年1月,结合调研访谈内容,通过查阅公共资料对目标企业所处的工业软件行业及制造业产业链形成了较为完整的认知与把握,并再次调研案例企业及其客户。第三阶段为2023年2—6月,研究团队再次联系案例企业及相关专家访谈,确认之前访谈资料的准确性,持续提炼并完善核心观点与构念,最终掌握完整案例信息。

本文数据来源如下:①深度访谈。研究团队与数码大方董事长、高层管理人员、核心产品方案的负责人及主要员工开展面对面深度访谈、在线电话深度访谈和开放式研讨,每次讨论约为2—4小时,访谈结束的24小时内及时对访谈内容进行记录整理,并与受访者通过微信、电话等方式核实补充访谈素材。②内部档案。主要为非公开的企业内部文字资料,包含:对企业发展时间轴和大事件的完整梳理;企业创始团队的研究背景及技术能力;企业现有产品体系、已取得的技术专利以及所参与的各类项目课题的具体介绍;典型合作案例的分享等。③直接观察。研究团队2次实地调研数码大方企业,实地参观数码大方软件研发和使用场景,收集现场资料。④公共资料。包含目标企业的官网信息披露与相关媒体报道,以及与产业政策和产业链实践相关的公开文档资料。

4. 数据分析

本文采用三级编码程序对不同来源的数据进行编码(Strauss and Corbin, 1990)。第一步,通读原始材料,将相关原始资料导入NVivo软件,进行开放式编码。第二步,对一阶编码进行抽象提取,

构建具有理论内涵的二阶编码。最后,将二阶编码形成聚合构念^①。为保障编码的可靠性,研究团队综合运用了“背靠背”编码、专家挑战、信息源回访3种策略。首先,分成两个小组,采用“背靠背”方式进行编码,以避免个人偏见或主观性导致结论片面。当编码结果出现不一致时,组内不断讨论、补充、验证,直至达成一致。邀请多位中小企业和产业链研究学者对模型及构念合理性进行探讨,并且数次往返数码大方进行交流,请企业实践者再次评估模型及编码的契合度。

5. 信度和效度检验

本文采用如下措施保障案例研究的可信性、内部效度和外部效度(Yin, 2014)。^①可信性。对访谈内容录音并逐字核对,保证记录真实准确。多种数据来源相互印证,增加案例描述的完整和客观程度。^②内部效度。多次向数码大方提供阶段性结论并获取反馈,保证团队掌握研究对象的真实意图而非主观结论,并针对有差异或矛盾数据进行深入探讨。^③外部效度。研究团队增强了编码结果和研究结论的抽象程度,从而提高理论饱和度。通过理论建构为产业链“卡脖子”环节等问题提供标尺或参照系,启发管理者思考。

四、案例概况

数码大方是国家级专精特新“小巨人”企业,主要面向装备、汽车、电子电器、航空航天等的离散型工业,提供数字化设计(CAD)、产品生命周期管理(PLM)、数字化制造(MES)等软件产品以及工业云服务。数码大方自创立起一直以基础科学研究为引领进行技术创新,开发了自主可控的CAD几何内核,填补了国产三维CAD软件核心技术的产业缺口,并在企业发展过程中逐步丰富架构产品体系,从最初的专攻CAD软件功能单元延展至贯通研发设计到生产制造流程的CAD/PLM/MES软件产品体系。在此基础上率先提出并开展工业云建设,以协作融入产业生态系统。本文结合案例初步分析以及纵向案例研究中选取关键时间节点进行阶段性划分的要求(彭新敏等,2011;胡登峰等,2022),梳理了数码大方从专攻CAD产品到开发CAD/PLM/MES的产品矩阵再到推动产品云化的产品体系构建历程,选取1989年开发CAX系统(数码大方最初技术原型)、2004年联合达索开发PLM解决方案项目以及2011年率先提出建设工业云作为关键事件对企业进行阶段性划分(见图3)。每阶段,数码大方分别以专业化深入、精细化集成和生态化协作为企业成长重心,并同步发挥了卡位补链、耦合固链和联动强链的产业链能动作用。

1. 专业化深入实现卡位补链阶段

数码大方脱胎于北京航空航天大学(以下简称“北航”)。北航是中国CAD/CAM软件技术自主研发的发源地。公司创始人雷毅博士曾担任北航机械工程及自动化学院的院长,也曾作为核心研发人员参与研制了中国第一个多面体实体制造原型系统PANDA(PANDA引领了中国早期CAD软件的开发与普及),是中国工业软件和工业互联网技术以及智能制造领域的开拓者和领航者。1989年,创始人雷毅开发出名为CAX的CAD/CAM系统,这是公司最初的技术原型和标志性成果。此阶段,数码大方专注于CAD软件的产品研发以及商业化产业化过程。20世纪90年代国内工业软件正值起步时期,数码大方抓住了国产软件起步的机遇,依托北航的科研基础开发CAD系统,后续又不断通过筹建研究所、创建公司等举措推动科研成果的商业化进程。由于外部资源匮乏的限制和国外成熟产品的竞争压力,数码大方调整策略,聚焦于服务装备、汽车、电子电器、航空四类细分市场。

^① 数据结构、访谈信息表和数据来源参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

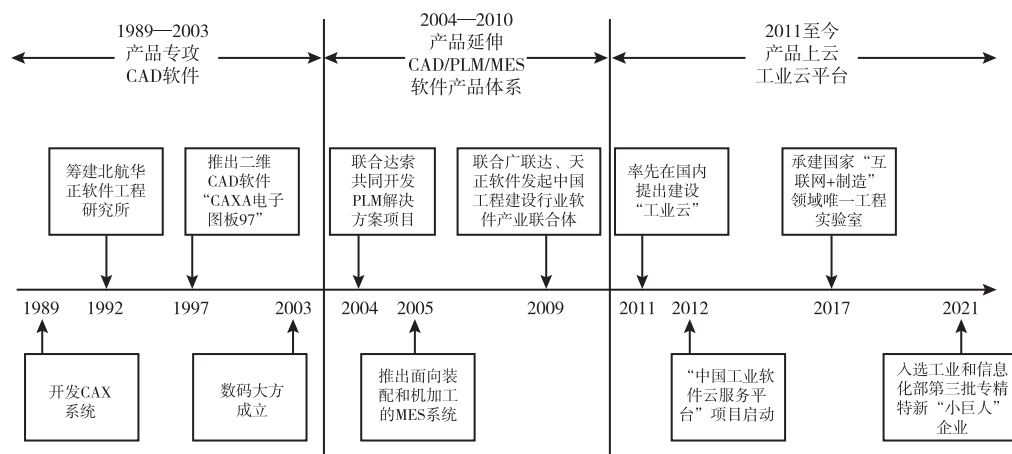


图3 数码大方发展历史时间轴

正如创始人所言：“50个行业我干不过你，我就聚焦”（A01）。数码大方主要围绕CAD软件产品深度耕耘，在掌握二维CAD技术后继续攻克三维CAD技术，后续成功开发出三维CAD自主内核，呈现“专业化深入”的发展特征。依托二维及三维CAD产品的开发与应用，企业逐渐打开国内CAD软件市场，并以自主的内核技术和成熟的CAD软件产品填补了产业链国产软件领域的空白和短板。

2. 精细化集成实现耦合固链阶段

此阶段，数码大方技术与产品路线从单一软件应用提供商转向整体解决方案服务商。在专业化深入阶段中，数码大方于2003年收购IronCAD，将IronCAD的实体研究与数码大方的曲面研究合二为一，开发出自主内核，完成了自主核心技术的初步积累。基于核心技术，数码大方可以在其他产品领域进行技术复制与扩展，掌握了开发新产品的技术能力。在与客户沟通交流的过程中，数码大方愈发意识到单一产品即使做到极致，其所带来的价值仍是有限度的，“只做CAD或者只做某一款CAD，客户价值不够，而且成长天花板不够高”（A01）。因此，以匹配客户价值和产业需求作为逻辑主线，数码大方围绕研发设计到生产制造的完整流程做精做细，针对不同环节的应用场景进行相应的软件开发和技术集成，架构起了包含CAD/PLM/MES的产品矩阵，呈现“精细化集成”的发展特征。产品矩阵以标准化可度量的数据为抓手打通CAD/PLM/MES等不同软件及不同生产环节的信息交流屏障，解决了不同企业、不同流程间的数据兼容和交流问题，促使产业链各环节更加紧密地联系衔接，巩固了产业链稳定性。

3. 生态化协作实现联动强链阶段

这一阶段，数码大方着力推动软件产品上云开放以及技术的扩散共享。经过前期发展，数码大方在技术层面已经逐渐接近成长天花板，引入网络技术，改变产品形态成为企业破除发展阻力的重要机制。同时，由知识产权保护所引发的盗版猖獗等问题也迫使数码大方急需改变产品形态，“第二个问题就是变形态，就技术层面的，你产品的CAD、PLM怎么走过来的，要变形态，形态是什么？原来不是互联网的，有没有可能变成互联网的？互联网能够增加客户粘性，还能够规避盗版，为什么不做”（A01）。为此，数码大方培育工业互联网和工业云平台，通过云端实现信息共享和知识复用，聚合行业资源。此外，将关键技术封装在平台架构中支持合作企业依托平台进行技术开发，以此推动技术的外溢进程。此阶段企业的产品和技术跨越了原有的组织边界，呈现出在产业生态中流动共享的“生态化协作”特征。通过技术的外溢扩散和云端产品的聚合链接功能，数码大方强化了产业链的技术升级。

五、案例分析

《优质中小企业梯度培育管理暂行办法》对国家级专精特新“小巨人”企业提出专、精、特、新、链、品六方面的认定要求^①,是对“专精特新”中小企业战略重心和成长方向的深刻总结。其中,“专”指专业化,围绕产业链某一特定区域或关键环节长期耕耘。“精”指精细化,在数字化绿色化能力、质量管理水平、长期发展战略等方面有所建树。“特”指特色化,主导产品或核心技术具备竞争优势,产生一定程度的品牌影响力。“新”指创新能力强,在研发支出、研发团队等方面长期投入并取得一定的知识产权成果。“链”是指产业链配套,扎根产业链关键环节,围绕重点产业链实现关键基础技术和产品的产业化应用,为产业链补短板、锻长板、填空白。“品”是指主导产品所属领域,中小企业的主导产品应归属战略重点产业领域或是关系产业基础的重点产品。数码大方的纵向发展历史生动真实地呈现了中小企业以“专精特新”为方向塑造能力的企业行为,依托“专精特新”发展逐步融入产业链并协同配套的具体过程,以及所实现的补链强链结果。

1. 第一阶段(1989—2003年):专业化深入实现卡位补链

(1)专业化深入。是指中小企业在面临资源匮乏的情境下,立足细分领域进行战略聚焦,针对专门的客户群体或市场,专注于某项技术或生产工艺,使其产品和服务在产业链某个环节中处于优势地位。数码大方通过技术方向凝练与核心产品专攻实现了主营业务和核心技术上的创新突破,奠定了“专”和“新”的发展趋势。

技术方向凝练。数码大方的创始人雷毅博士是工业软件领域的战略领军人才,他是20世纪90年代国产工业软件起步时最早的一批科研工作者,曾担任北航机械工程及自动化学院的首届院长,被聘为国家863数字化设计与制造工作组专家,获得多项科技进步奖(D02)。2003年,他成立数码大方开启产业化道路,在北航期间所积累的工业、信息技术、数学和物理等底层科研知识及跨学科知识融合与吸收能力,驱动创始人带领技术团队以攻克高附加值和高技术难度为方向进行自主研发,奠定了企业以技术创新为主导的战略方向。进一步,产业思维贯穿企业技术创新过程,数码大方关注并跟随产业变化的趋势,围绕20世纪90年代信息化初步应用产生的“甩图板”需求进行技术攻关,开发CAD软件匹配产业需求。正如创始人所言:“我们做软件的大概匹配这个产业,希望你们去帮他(产业)什么,参与他(产业)什么,这是我们的一个定位”(A01)。

核心产品专攻。成立初期,资金紧张和同类产品竞争激烈的双重压力驱动“企业营运一定要有边界”(A01)。数码大方最终确定只做航空航天、汽车、电子电器、装备制造业四个大类,聚焦设计和制造环节,专攻数字化设计(CAD)软件。完整的创新过程包含知识吸收、技术转化和产品化应用三环节(余义勇和杨忠,2020),锚定主营业务边界后,企业贯通从科研到技术再到产品的完整创新过程。创始团队的科研经验和知识储备推动形成了重视基础科研的创新管理认知,“我们在做产品过程中发现一直要返回来解决技术基础问题,基础研发非常重要”(A02)。基础科研提供了知识来源并奠定了企业以技术创新为主导的战略方向,“这个行业需要一个持续的定力,在这里头扎扎实实做,瞄准产业变化,把握技术变化,然后占住中心”(A01)。在葆有持续的知识来源和技术研发能力后,企业通过培育跨领域知识经验融合能力和“干中学”“学中干”的学习模式促进技术的产品化,“‘干中学’和‘学中干’,这是这个行业和其他行业不一样的地方”(A01)。

(2)产业链协同配套。是指企业围绕“专精特新”战略发展方向与产业链互动的过程,由企业战

^① 工业和信息化部关于印发《优质中小企业梯度培育管理暂行办法》的通知(工信部〔2022〕63号)。

略行为决定。专业化深入描述了数码大方以“专”“新”为战略方向发展的企业行为,产业链协同配套则揭示了基于“专”“新”战略方向,企业与产业链互动的过程机制。此阶段主要与异质资源主体互动,提供满足制造业普遍性能要求的配套产品实现通用型配套。

资源要素协同。是指中小企业与能提供异质性资源的多方外部主体进行技术协作,共享互补性资源,提高创新产出效率。数码大方的前身是北京华正软件工程研究所(依托北航的产学研一体化单位),数码大方创业初期一直“与北京高校如北航、清华、北理工、北科大等都有联系,联合高校做一些基础研究和探索”(A02),高校为数码大方的初期发展提供了人才、基础实验平台等资源。产学研合作之外,数码大方充分挖掘企业的创新主体作用,积极构建企业主导的创新联盟,在2002年与北航海尔、宏正信息、美国IRONCAD共同签署协议成立“CAXA联盟”协同进行技术研发(D03)。还牵头组织研究机构和软件厂商共同承担“支持企业信息化实施的集成系统开发与应用”“三维CAD数字化设计技术项目”等863计划项目,通过参与国家重大科研攻关的方式取得技术与应用突破,并建立长期稳定的合作关系(D03)。

通用型配套。通过专业化发展及资源要素协同,数码大方核心CAD产品的关键性能指标已经可以比拟国外竞争对手,为制造企业提供通用配套服务。其二维CAD产品“CAXA电子图板”获得中国软件行业协会“金软件奖”,此奖项被提名的还有Autodesk、Solidworks、EDS、PTC等国内外著名软件产品,标志着企业二维CAD技术已达到国际领先水平(B01)。三维CAD领域实现技术突破,开发出自主几何内核MEGA Kernel。为了更好地承接客户企业历史积累的模型数据,数码大方通过多内核引擎架构的技术创新解决了自主内核与国外软件的数据兼容和数据交换问题。为了更加符合国内工程师的设计习惯,企业结合国内客户的使用特点和需求对操作界面进行了适应性的技术改造和升级,“要针对中国制造业的应用流程和习惯,提供量身定做的系统,不然,再好的技术也没有办法适应实际的需求,这可能就是国外许多技术领先的系统到中国后水土不服的原因”(D02)。

(3)卡位补链。是指企业瞄准产业链中的薄弱区域或关键环节,通过提供满足性能要求的配套产品卡位入链,并培育自主可控的技术能力补齐产业链短板。数码大方创立初期,Autodesk、PTC、达索系统和西门子等国外厂商把控市场,挤压国产软件生存空间,数码大方利用细分行业聚焦和自主核心技术积累破局。“工业软件,它先是工业,再是软件。数码大方因为本身在装备还有电子领域积累比较深,而且一些产品本身也不弱,在这些细分行业用我的‘上马’顶他的‘中马’,所以说比西门子做的好,西门子战略特别分散,什么都关注”(A01)。专注服务装备、汽车、电子电器、航空四大行业和CAD软件产品,数码大方开发出国际领先水平的成熟二维CAD产品,并掌握三维CAD自主内核技术。沿着专业化深入的战略方向,企业积极地与不同异质性主体协同以持续深入获取所需的资源,并推出适配当前市场普遍需求的通用型配套产品,通过持续优化产品性价比,针对国内市场特征进行适应性改造等手段实现市场渗透,从初创企业逐渐发展成为当时国内细分市场覆盖度较高的CAD供应商,依托专业化深入行为和产业链协同配套过程实现了薄弱节点的自主突破,填补了国产工业设计软件缺失的产业链空白。此阶段企业通过技术创新和软件推广单向为客户提供价值,获取了部分市场,但“一开始我们非常相信技术,以为只要技术过硬,酒香不怕巷子深,客户自然就会找到我们,结果被客户教育了。客户就提了一个问题:我已经买了国外的软件了,你的软件还能帮我们做些什么”(D02),“如果只做某一款产品,即使其性能很优秀,也很难给用户带去更多价值”(D02)。这就驱动企业以客户价值为导向进一步做精做细,由此,数码大方从专业化深入阶段转向精细化集成阶段。

相关引文与证据如表1所示。

表 1 专业化深入实现卡位补链阶段相关引文与证据

逻辑	聚合维度	二阶编码	一阶编码	相关引文与证据
行为	专业化深入	技术方向凝练	技术领军人才统帅掌舵	<p>我自己做这个行业大概做了有 35 年,甚至更多,我念本科就做这个,念硕士、博士也做这个,出来创业还是做这个,做的没有变。这个过程中我一直思考的是,我们做技术的人有没有可能对企业有价值?(A01)</p> <p>我知道核心技术重要,所以一直坚持技术投资,我们的研发占收入比例在国内应该是少有的。(A01)</p>
			产业思维引领技术预见	<p>我在北航读书的时候,一些老师在飞机场实习,他们在实习过程中发现飞机的设计和制造存在很多问题,发现了产业本身的需要。我们为什么要实现技术突破,研发国产工业软件,还是为了产业变化和变革。(A01)</p> <p>我选择的是一个最复杂的行业,最不挣钱的行业,但是对产业会有帮助。(A01)</p>
		核心产品专攻	锁定业务边界	<p>明确边界很重要,制造业那么多的类目,那么多环节和流程,我们最终确定只做航空航天、汽车、电子电器、装备制造这四个大类,只做设计和制造环节的事。这样一来,公司的整个客户目标、技术研发、管理运营,甚至融资计划都会比较清晰。(D02)</p>
			贯通科研—技术—产品创新过程	<p>什么叫论文? 什么叫 SCI? 然后,我们经历了什么叫产品,什么叫平台,软件是从一篇论文、从一个研究的算法开始一点一点地发展起来。(A01)</p> <p>软件不仅是开发出来的,更是用出来的。我们所处的行业需要“干中学”和“学中干”,这是这个行业和其他行业不一样的地方。(A01)</p>
过程	产业链协同配套	资源要素协同	学研基因链接高校资源	<p>软件行业好的人一个人顶 50 个人。北航软件相关学科在国内数一数二,我们团队框架型的人基本上是北航的雷老师的学生。(A02)</p> <p>依托高校深厚的科研实力,通过深入合作,我们不断实现技术突破和创新、产品创新,我们与北航、北理、清华、北科大等都有技术的长期合作。(A02)</p>
			构建企业主导的创新联盟	<p>这个过程中,我们不能关起门来自练武功,一定要在外部和别人融合。就是合竞,我们不是竞合,是合竞。(A01)</p> <p>2002 年 7 月,北航海尔、宏正信息与美国 IRONCAD 共同签署协议成立“CAXA 联盟”,力图通过合作联盟、互补提升。(D03)</p>
			参与国家重大科研攻关项目	<p>2002 年 9 月,CAXA 牵头组织国内具有基础的 8 家单位,共同中标国家 863 项目重中之重的三维 CAD 数字化设计技术项目。(D03)</p> <p>作为重大科研项目的牵头单位,我们主要工作是组织产学研用联合体攻关,建立国家标准,形成技术专利,形成长期的合作伙伴关系。通过项目获得:软件达标和技术达标;技术突破和技术创新;应用突破和应用创新;建立起产学研用的良性循环。通过高校合作建立人才输送和培训机制。(A01)</p>
		通用型配套	对标国外竞品性能指标	<p>“CAXA 电子图板”荣获中国软件行业协会 2020 年“金软件奖”(CAD 软件类)。CAD 类“金软件”称号的提名软件有 CAXA、Autodesk、Solidworks、EDS、PTC 等国内外著名软件,CAXA 电子图板成为两家 CAD 类“金软件”之一。(B01)</p>
			架构多内核引擎兼容数据	<p>数码大方从 1992 年开始研究曲线曲面和 CAM 数控加工技术,并对自主内核进行研究,2003 年将曲面和实体合二为一,打造了自主内核 CAXA MEGA Kernel,发明了多内核引擎架构技术,既可以使用自己的内核,也可以使用国际上主流商用内核,解决与国外三维 CAD 软件的数据兼容和数据交换问题。(B01)</p>
			适应性改造交互方式	<p>CAXA CAD 电子图板的界面,依据视觉规律和操作习惯精心改良设计,交互方式简单快捷,符合国内工程师的设计习惯,上手更简单,操作效率再提高。(D03)</p> <p>全中文功能界面,Windows 操作风格,智能化的刀具路径计算方法,自动计算缺省切削方向、进刀点等,减少不必要的人工交互动作。(D03)</p>

(续表)

逻辑	聚合 维度	二阶 编码	一阶编码	相关引文与证据
结果	卡位补链	填补 产业 链短 板	薄弱节点自 主突破	国产工业软件严重缺失,中国的制造业发展不仅拉动国外工业软件成长,更将自己的研发设计体系构建在国外软件系统之上,形成路径依赖。当时国内很多的研究和技术已经达到相当的高度,但是没有附着体,想要破局,首先要有中国自己的工业软件。(A01)
			单向价值 交易	2003年底,数码大方在全国设立了7个办事处及35个销售和服务网点,正版软件超过了12万套,被国内1000所院校选为工程教育和培训软件,是中国市场占有率最高的设计制造与协同管理软件的开发与服务商。(D03)

2. 第二阶段(2004—2010年):精细化集成实现耦合固链

(1)精细化集成。精细化集成是指中小企业在聚焦关键环节培育专业化能力的基础上,围绕产业和客户价值进行技术迭代创新和产品优化开发,进一步提高技术能力和产品竞争力。数码大方通过技术累积迭代与产品矩阵延伸将产品做精做细,构建了贯通研发设计和生产制造全流程的特色产品体系,形成了“精”和“特”的成长方向。

技术累积迭代。工业技术的改进十分依赖工业中诀窍(Know-how)知识的不断涌现。一方面,数码大方通过派遣技术人员深入工业场景增强对工业经验的领悟、与客户方技术人员探讨交流等方式融合工业技术与信息技术,将工业应用中的知识经验和工艺数据有效沉淀在软件中(C01);另一方面,数码大方进行技术迭代时以全局视角俯瞰企业产品体系,在优化打磨单一产品之外考虑不同产品之间的技术交叉和融合。以开发PLM的历程为例,初期核心产品CAD主要为研发提供工具性的作用,而在深入客户需求优化CAD的过程中,企业了解到客户不仅需要研发工具,还需要能够管理研发数据的配套产品,继而开发了PLM进行研发管理。“我们跟企业打交道,发现研发既需要工具也需要管理才有价值,只有工具价值不大。我们帮装备企业解决这个问题,把它们串起来,所以我们从CAD开始,然后逐步延伸到研发管理,就叫PLM”(A01)。

产品矩阵延伸。在技术累积迭代的基础上,数码大方继续做精主业,通过覆盖企业全生命周期需求架构集成式业务平台来延伸产品矩阵。数码大方对客户进行全生命周期的需求追踪,逐步识别客户在不同时期的需求痛点,并以全方位满足客户需求为目标推进产品线矩阵式拓展延伸。通过全生命周期的产品孵化,数码大方形成了CAD到PLM再到MES的产品线,细化并丰富了产品体系。同时,企业对来源于不同流程、具备不同格式和特征的生产数据进行集成化管理并在企业层面共享,解决了不同流程的多系统之间存在的断点和不统一问题(B01)。

(2)产业链协同配套。此阶段主要与链上需求主体协同,通过提供满足用户个性化需求的配套产品实现定制化配套。

需求主体协同。用户既是软件产品的使用者又是开发者,与企业在软件产品的更新优化上有价值共创的关系。“软件不是被开发出来的,软件某种程度上是被用出来的,用户决定了软件的走向”(A03)。企业结合多条渠道及多种方式联结多方需求,利用政府应用专项项目、行业协会网络、国家中小公共服务平台等渠道实现特定区域和行业的定向推广,并结合供需见面会、路演推介会、产品巡展等方式挖掘产业需求(B01)。数码大方重视不同类型的客户群体在软件迭代和价值共创中所扮演的角色和作用。与大型客户构建开发平台、开展技术合作,“大企业的流程复杂,需求的模块比较多,我们围绕大客户的需求不断开发更多的模块满足他们的应用,同时大企业有一定的开发

能力,也在我们平台开发,拉动平台的成熟和应用”(A02)。与小型企业客户的及时有效沟通能够不断完善软件的易用性和稳定性。“我们有完善的问题反馈机制,能跟小企业或者个人应用客户进行及时有效的沟通,加速产品迭代”(A03)。

定制化配套。通过精细化集成和需求主体协同,数码大方技术实现稳步积累,架构起匹配制造企业生产流程贯通需求的CAD/PLM/MES产品矩阵,并围绕客户特征提供插件开发和运维服务,提供定制化的配套产品。企业结合客户需求拓展开发新的业务增长点,逐渐从单点技术提供商转型成为一体化解决方案服务商。此外,企业支持众多用户开发丰富的插件,以固化企业历史积累的生产经验和知识,实现知识经验的有效扩展和复用。数码大方还十分重视软件运维等后续服务,通过设立区域服务中心、派驻技术团队驻场开发等行动完善售后工作。

(3)耦合固链。是指企业以产品矩阵耦合产业链研发设计到生产制造等关键环节,并以国产自主技术保障产业数据安全,巩固产业链的稳定性和安全性。此阶段,数码大方在企业行为层面进行精细化集成,贯穿始终的核心逻辑是以客户价值为中心,因而聚焦客户进行协同互动,并提供满足个性化需求的定制配套产品。依托精细化集成行为和产业链协同配套过程实现了耦合固链结果。数码大方通过建构产品矩阵降低了制造企业的设计和开发门槛,并以产品为媒介畅通了产业链上设计制造的不同环节,促进产业链上下游形成了紧密衔接的协同耦合关系。同时,制造业的行业知识和工艺经验沉淀在国产软件中,能最大程度地保证数据和产业链安全。“我们的产品在CPU国产操作系统、国产数据库都做了适配认证,因为有了这种适配认证,可以更好地支撑国产替代,同时我们的用户软件,包括软件使用产生的大量数据资产,实际上安全性是更有保障的”(D02)。此阶段贯穿始终的与需求主体的深度互动协同促使企业与用户之间形成双向赋能,实现了供给端和需求端双方的价值增值。

相关引文与证据如表2所示。

3. 第三阶段(2011年至今):生态化协作实现联动强链

(1)生态化协作。是指在更高层次和更大范围的产业层面上进行技术交流和产品部署,促进企业能力外溢。数码大方通过技术溢出撬动和产品上云开放跨越组织边界与产业生态相互融合,围绕“链”和“品”进行能力提升,实现更深程度的“专精特新”发展。

技术溢出撬动。企业掌握核心技术能力后,推动技术成果和创新经验在产业内扩散,带动产业链上其他企业创新能力提升。数码大方整合底层的关键共性技术以及各类软件产品搭建了一个向外开放的平台框架,并将积累的核心算法、引擎模型等关键共性技术模块封装在架构底层,将各类软件应用布置在平台层,在上层支持用户开发各类插件,形成了一个向外开放、具备协作效应的产品体系。一方面,依托开放式的开发平台,数码大方将自身核心技术封装并共享给外部众多合作企业,支撑合作企业开发专业软件,如联合中国建设科技集团、中设数字技术股份有限公司开发了针对建筑行业的国产自主知识产权BIM设计平台马良XCUBE(A04),依托开发平台实现了技术的外溢。另一方面,用户依托数码大方的开放式平台开发插件的过程实质上是固化不同行业工艺知识和设计经验的过程,而插件开发完成后,又可以通过平台提供给其他用户,实现工艺知识和设计经验在产业上的扩散共享。

产品上云开放。企业将软件和资源部署在云端,打破资源和信息流动壁垒,促进各方云上链接协作。数码大方是国内率先提出工业云的企业,并于2012年承担中国首个工业软件云服务平台的建设工作,其开发建设的大方工业云整合CAD、CAE、CAM、PLM等技术和软件部署在云端,为企业提供供需交易、软件运营和数据服务。大方工业云在云端形成了一个资源池,存储了大量的案例、库、标准、手册以及行业经验,用户既可以共享资源池内信息,又可以将自己积累的信息上传至资源

表2 精细化集成实现耦合固链阶段相关引文与证据

逻辑	聚合维度	二阶编码	一阶编码	相关引文与证据
行为	精细化集成	技术累积迭代	细分行业工业知识沉淀	我们瞄准客户价值、瞄准细分行业,去打磨标杆和示范应用。工业先有知识和行业的沉淀,再有软件,所以一些细分行业的沉淀,一些对行业的理解和经验,这些内容可能比软件本身重要得多。(A02)
			技术全局视角拓宽	相比于研发某几款甚至某一款工业软件产品的厂商,数码大方形成了不一样的产品视角,软件版本更新时能够从更加全局的角度进行考量。(D03) 所有技术和产品,必须围绕数据和软件贯通来考虑,比如3D和2D贯通,CAD和CAPP、CAM贯通,CAD与PLM集成贯通,PLM与MES集成贯通等,相关产品所产生的数据必须可以贯通,相关软件必须兼容。(A02)
		产品矩阵延伸	全生命周期产品孵化	我们是国内最早做CAM软件的,客户主要是航空客户,需要把CAM数据传到机床,之前都是用光盘拷贝进去,经常出错,漏数据。为了帮助客户把CAM数据传出去,需要把机床链接起来,再采集机床数据。为了满足航空客户的这些需求,我们架构了网络DNC产品。随着CAM和DNC在航空客户中的深入应用,客户提出持续的需求,希望能在机械加工和装配车间里实现排产、执行、监控等,因此,针对车间层,我们架构了MES系统。这个过程中,还需要我们的工艺CAPP,从而更好满足车间需求。(A01)
			产品集成化管理	客户痛点是研发流程使用多个系统,不统一,各系统之间存在断点,不能贯通。我们打造统一的产品数据管理平台,打通从需求管理到项目管理,到总数据和研发设计过程管理,到ERP和MES的管理过程,也构建了企业的知识管理平台,可以面向中控用户和中控员工发布各类知识。(B01) 为机械加工车间打造的检测、汇报工作站和MES系统集成解决了车间内数控程序无序离散的问题,增加了部门间和系统间的协同效率。(B01)
过程	产业链协同配套	需求主体协同	功能匹配产业需求	我们做软件的目标是匹配产业,思考能帮客户做什么,能参与客户的什么环节,这是企业的一个定位。(A01) 我们所贴近的核心是客户价值,到底客户和产业需要什么?业务发展到今天这个程度,我们到今天为止还没有“死”,是(因为)要去匹配产业或者匹配企业的需要。(A01)
			用户共创软件更新	新版本出来以后,他们(客户)测试出了800多个bug,所以软件不是被开发出来的,软件某种程度上是被用出来的,用户决定了软件的走向。(A03)
		定制化配套	从单一软件到全套解决方案	CAD、PLM、MES都有特定的应用场景,我们针对特定的场景单点打入,解决企业特定场景所存在的问题,给企业带来价值。随着企业数字化延展深入,逐步打通设计制造等环节的数据,形成整体解决方案的应用场景。(A02)
			用户个性化插件开发	与国内其他软件相比,数码大方的2D和3D软件拥有自己的几何引擎、平台架构和自主数据格式及技术特色,用户可以基于CAXA CAD软件平台开发自主知识产权的专用软件或插件。(B01)
结果	耦合固链	巩固产业链稳定性	技术团队驻场开发	数码大方在全国建立了50多个营销和服务中心,并通过数字平台提供线上线部署和运维服务,还提供驻场开发等个性化售后服务。(B01)
			上下游紧密衔接	数码大方构建自主可控的CAD、PLM和MES的产品矩阵,助力制造业企业打通产品研发设计与生产制造全流程,真正实现设计制造的一体化。(A03)
			自主掌控数据安全	不受国外ITC等开源平台限制,用户的行业知识和经验掌握在自己手上,数据资产更安全。(A03)
			双向价值增值	从CAD到PLM再到MES,我们的体会是客户要的不是软件而是价值,所以我们的决策动机与决策过程都是围绕客户价值展开的。CAD是生成数据,这些数据如何管理、共享、再用,我们进入PLM是拓展CAD价值,满足客户需求。(A01)

池,促进了产业内知识和信息的共享及复用。同时,产品云化也发挥了链接聚合的作用。如与欧派家居合作开发的设计制造软件利用移动端将客户需求传输至网络上并转化为设计数据,缩短了家居设计师与客户供需双方之间的沟通距离(A04)。而大方工业云中的阀门云、模具云则为行业中的采购需求和制造能力等供需资源提供了匹配链接的平台。除供需双方外,工业云上的科技咨询、软件租用、数据管理、设计制造沟通等服务为行业内设计单位、制造单位、工程单位等各方提供了交流协作的机会与平台,发挥了社会资源聚合作用(D03)。

(2)产业链协同配套。这一阶段,数码大方凭借技术优势与各类创新主体协同,并为产业链提供前瞻性配套产品和服务,两者共同发挥产业链协同配套作用。

创新能力协同。企业以技术创新为抓手,带动产业链上创新能力协同。一方面,标准化是科研成果转化的重要桥梁,然而实践中一些先进科研实验室的技术研发成果显著,但工业化生产时因缺乏与技术相匹配的标准化体系,导致实验室先进样品无法有效转化成规范化、规模化、均质化和批量化的工业产品。数码大方牵头参与了多项产业标准体系的构建,具备公共性的产业标准能规范行业数据的规格参数并引导产业技术发展方向,加速产业内科技成果的转化进程。另一方面,人才供给是产业链现代化的重要支撑(张其仔和许明,2022)。数码大方与北航等科技强校联合推出了培养工业软件硕士的“领航”计划,通过提供企业内部高级工程师作为学生企业导师、为学生开放国家工程实验室以及参与国家级重点项目的机会等方式,将技术能力和实践场景等创新资源溢出至产业人才供给端(B01)。此外,企业将自身的开发式平台架构打包成为一个技术端口向外“被集成”,实现整体创新能力的向外输出。例如,联想作为集成商将数码大方的能力包裹进方案中,再输出给客户,数码大方则在“被集成”过程中带动联想供应链的技术升级(D02)。

前瞻性配套。一是提供具备前瞻性技术的产品和服务,如针对AI等前沿技术持续投资埋线,推动工业软件技术范式革新。数码大方与第四范式的AI技术平台相融合共建智能制造数据驱动平台,联合联想集团建设IoT(物联网),保持技术应用的不断更新(B01)。二是带动大型企业及其下游企业实现生产协同。数码大方与大型企业建立紧密连接,融入大型企业已建立的供应网络,继而在大企业的供应网络中聚合信息并进行资源配置,促进大型企业及其下游企业的区域网络生产制造协同。数码大方以先单点切入再全局推广的模式融入大型企业供应链,“对于大企业,我们的认知度和品牌度不够,比如我们进入福田,是先从单个部门、单个分公司子公司切入,得到认可后再实现全公司的多部门和全局应用。比如进入科达,我们是先从CAD单个产品进入,获得认可以后,再从CAD单产品到PLM和MES多产品应用”(A01),进而与大型企业联合进行二次开发或基于大型企业供应商名单的合法性背书向下游进行产品推广。

(3)联动强链。联动强链是指企业通过技术能力在产业层面的联动共享带动产业技术升级。企业聚焦创新与产业链其他主体形成创新能力协同,并提供包含高技术水平的前瞻性配套产品。围绕技术创新逻辑所展开的生态化协作行为和产业链协同配套过程共同推动联动强链结果的实现。技术上,工业软件的广泛应用催化了技术横向从产业链研发设计、生产制造等核心环节向运行维护、报废回收等环节的延展,以及纵向从大型企业到上下游合作者的延伸,从而带动整体供应网络向高端化智能化迁移升级(A04)。价值上,价值创造过程的参与者也逐渐从企业自身增长到供需双方,又演变成产业链供方、需方和服务方多方参与,形成价值共创。

相关引文与证据如表3所示。

表3 生态化协作实现联动强链阶段相关引文与证据

逻辑	聚合维度	二阶编码	一阶编码	相关引文与证据
行为	生态化协作	技术溢出撬动	核心算法封装共享	专利(申请成功)以后,我们搭建平台,将这些核心算法、内核和平台给其他企业去用,把专利封装在平台或者内核里提供给合作伙伴,支撑伙伴企业发展。(A01)
			设计经验固化扩散	我们支持众多用户开发丰富的插件,这些插件既可以将经验和知识固化成软件,又可以分享到云平台上服务其他用户,构成了企业产品体系的插件层。制造业过去的设计门槛较高,主要是由“老师傅”在做设计,如果通过CAD/PLM等数字技术,让一般的从业人员都能够进行飞机、汽车及零部件、电子电器、装备的设计,那么产品创新的门槛会降低,整个产业会发生巨大的变化。(A01)
		产品上云开放	案例标准等行业资源共享复用	将软件和信息资源部署在云端,使用者根据需要自主选择软件服务;大量的信息都储存在云端,使用者可以通过云端分享他人的案例、库、标准、手册以及经验等,同时,也可将自己的成果提供到云端,实现信息共享和知识复用。(B01)
			供需数据链接匹配	工业云的客户端可以通过各种各样的移动终端把大家连在一起。只要把iPad放到客户面前,和客户讨论具体需求,然后把产品尺寸输入到移动端里面,工程中心就能根据传出来的数据快速完成定制产品的设计工作。(A04)
			各方单位云端聚合协同	工业云能够把社会资源整合在一起,把素不相识的设计单位、制造单位、工程单位联系在一起,创造新的协同工作方式,然后将这一产能发挥出来。(A03) 大方开发的天河模具云,以技术服务为主,聚合了上千家企业,有设计服务商和配件服务商等,专门为中小型汽车模具企业提供一站式服务。(A03)
		过程	产业链协同配套	创新能力协同
创新溢出至人才供给侧	我们推动打造“校企合一”的人才培养模式,开展很多数字化实训教学。(A03) 我们联系北航、清华等高校,开展了硕士研究生和博士研究生联合培养计划。高校是工业软件的人才培训基地,我们为学生提供实习和实践的场景,与高校共同培养高端人才。(B01)			
开放“被集成”端口向外输出	通过灵活的集成和被集成入口,小生态融入外部大生态。当我们的技术和产品不比别人差的时候,如何能够获得更多行业客户的认可,就需要同合作伙伴紧密合作真正形成中国力量。生态伙伴的助力和加持能让我们更好做到“专精和创新”,能够真正和国际竞争对手在舞台上同台竞技。(D02)			
前瞻性配套	工业与AI等前沿技术融合			之前设计人员用笔来画图和设计,后来用软件画图和设计。如果有一天,设计人员只需要对机器讲,这个机床是用在磨床还是铣削,机床是3米的导轨还是2米的导轨,讲完后软件自动将整个设计呈现出来了,你想想……(A01)
	以大带小,以小促大			我们有独特的专业性,在进入大企业名单之后,技术和服务比较领先,大企业很认可,就在集团内部推广。我们不仅直接和大企业合作作为供应商去提供软件和平台,大企业也可以在平台上开发行业和专业应用,服务产业链企业。(A03)
结果	联动强链	强化产业链升级	产业高端迁移	在产业链链主寻求系统竞争优势的驱动下,CAD/PLM等应用会从工程设计、生产制造等环节深化到运行维护、维修延寿、报废回收等环节,也会从一级、二级供应商向三级、四级供应商延展,拉动整个产业链的技术升级。(A01)
			网络价值共创	工业云实际上聚合了各地区的供方、需方和服务方,很多企业在云上共享资源,这能帮助他们转型。(A04)

六、结论与启示

1. 研究结论

本文纵向解构分析工业软件行业中小企业数码大方的发展历程,构建了中小企业依托“专精特新”发展实现产业链补链强链的理论框架(见图4),主要结论如下:①数码大方在纵向三阶段中,分别以专业化深入、精细化集成和生态化协作为不同阶段的企业战略重心和成长方向,最终实现“专精特新”发展。其中,专业化深入描述了专注细分市场完成核心技术突破和产品开发的行为,奠定了企业“专”和“新”的发展趋势。精细化集成概括了围绕产业和客户需求将核心技术和产品做精做细的行为,形成了企业“精”和“特”的成长方向。生态化协作总结了通过技术溢出和产品开放将企业软件生态融入整体产业生态的行动,实现了更进一步的“链”和“品”发展。②中小企业在每一阶段中都开展了产业链协同配套过程,并形成不同结果。协同配套指中小企业与产业链上不同类型的主体协同配合嵌入产业链,并提供相应的优质配套产品及服务。第一阶段,企业主要协同具备异质性资源要素的产学研用主体达成技术突破和产品开发,为制造企业提供满足普遍性能需求的通用产品,从而以比肩国外技术的产品填补了产业链国产软件环节的短板。第二阶段,企业聚焦客户这一需求主体进行协同互动,为不同行业和规模的客户提供个性化定制化的配套产品,通过衔接耦合产业链研发设计到生产制造等关键环节巩固产业链稳定性。第三阶段,企业以自身技术能力溢出为核心与产业链上其他创新主体协同合作,带动产业技术发展,提供前瞻性配套产品和服务,通过技术能力在产业层面的联动共享强化产业链技术基础。③不同阶段中,中小企业的“专精特新”发展行为、产业链协同配套过程和补链强链结果之间并不相互脱节,形成了“中小企业行为—协同配套过程—补链强链结果”的逻辑链路。依托不同重心的“专精特新”发展方向,企业得以与多类产业链主体互动协同,为产业链提供具备不同配套特征的产品,最终达成不同的补链强链结果。

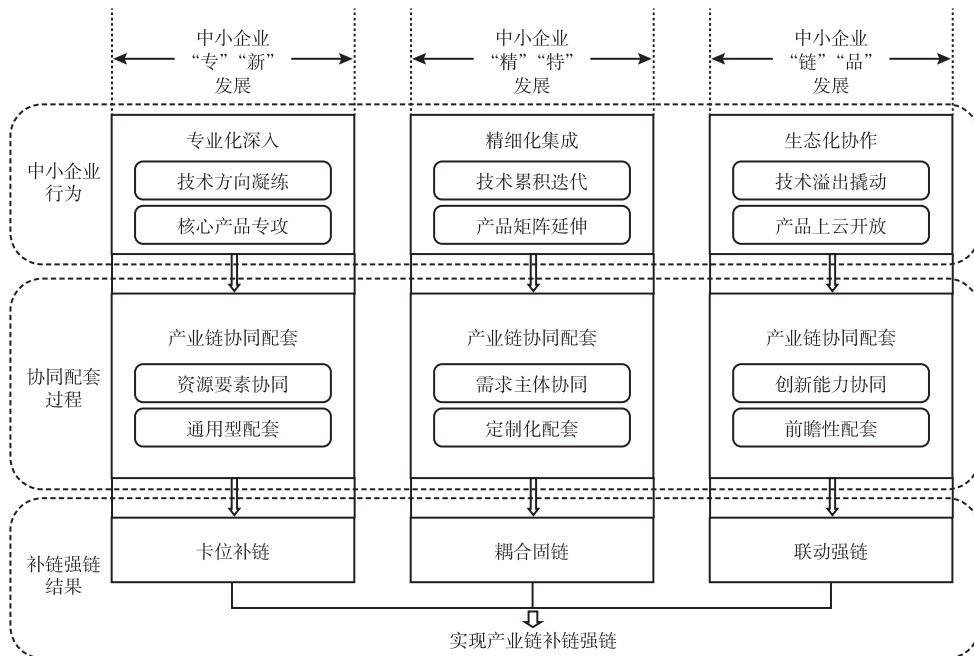


图4 中小企业依托“专精特新”发展实现产业链补链强链的理论框架

2. 理论贡献

本文理论贡献如下:①弥补了现有研究对于链上中小企业主体关注不足的问题。本文构建的理论模型剖析了中小企业依托自身“专精特新”化发展参与产业链整体运作过程和发挥补链强链作用的复杂机理,将中小企业命运与产业链发展联系起来,拓展了现有中小企业文献的研究视角。②立足于产业链上企业这一微观视角,对企业主体和产业链间互动关系进行剖析,补充了产业链相关研究。本文立足中小企业,探究其如何依托“专精特新”发展实现产业链补链强链结果,从更为微观的层次对产业链研究进行了补充。③立足于中小企业的研究视角,通过案例分析总结提炼出了中小企业“资源要素协同—需求主体协同—创新能力协同”和“通用型配套—定制化配套—前瞻性配套”的产业链协同配套机制,是对现有协同创新理论的有益补充。

3. 实践启示

(1)中小企业层面。①中小企业需要聚焦行业细分领域,利用有限的资源深耕,实现技术聚焦和商业化聚焦,将自身打造为主营业务突出的“专精特新”企业。聚焦技术,中小企业要注重规避自身资源劣势,专注细分领域进行技术积累从而建立竞争优势,更要结合用户需求实现技术快速迭代和成熟。聚焦商业化,中小企业要以“干中学”“学中干”的方式完善打磨产品,为用户提供定制化、个性化、整体化的解决方案,进而实现应用场景渗透。②中小企业需要强化产业链思维,发挥产业链协同配套和补链强链作用。要梳理好产业链薄弱环节和配套需求,为产业链关键环节提供配套产品或服务,协同突破产业链断点堵点卡点问题。可以通过重大项目和国家课题揭榜攻关、重点产品和工艺“一条龙”示范应用、产业链创新联盟建设等方式积累创新能力。提供协同配套服务时,要注重与产业链上伙伴进行生产、创新和数据方面的协同共享,相互赋能,反哺行业。③中小企业还可以把握新一代信息技术与先进制造业深度融合的产业机遇,瞄准智能制造等产业前沿技术进行基础研发和产业化,聚焦云平台等新业态推进数字化改造和跨界融合,抢占未来科技和产业制高点。

(2)政策制定层面。①政府不仅要“锦上添花”,更要先“雪中送炭”,精准识别并扶持重点领域具备创新潜能的中小企业。中小企业在实践中主要分布在产业价值链中低端,在获取资源要素和参与市场竞争中往往处于弱势地位。因此,政府不仅需要加大对中小企业的支持力度,更要聚焦新兴信息技术、新能源、新材料等重点领域,梳理产业链图谱精准识别在关键零部件、关键元器件、关键材料和未来产业制高点等领域深耕并具备创新实力和增长潜力的中小企业,根据企业所处行业与地区、企业成长阶段进行分类指导和扶持,实现政策的“精准滴灌”。②政府要优化产业内要素资源配置,推动科技、金融等创新资源向中小企业集聚。协调高校、科研机构、大型企业等为中小企业开放创新资源,通过开放实验室、科研仪器设备、资源数据库、打造公共基础科研平台等方式惠及中小企业,并通过技术展会、技能比赛和行业协会等方式加强产业内的非正式合作,提供财政补贴和税收优惠、完善信贷支持政策、畅通市场化融资渠道等方式支持中小企业纾困解难。③政府作为“架构者”要充分发挥政策顶层设计的指引作用,促进重点产业大中小企业协同配套和融通发展。政策制定时,政府部门之间要加强协调合作、增进政策协同,保证横向各部门和纵向各级政府的政策一致性,形成政策合力,通过内涵一致的政策精准传达大中小企业协同配套和融通发展的要求(赵晶等,2022)。政策实施中,政府要引导核心企业为中小企业开放应用场景和生产要素、搭建共性技术平台,实现大中小企业间设备共享、产能对接、生产协同,推动优质中小企业融入行业龙头企业供应链创新链,产业链上企业实现“共同成长”(高旭东,2018,2022),打造产业链命运共同体。

4. 研究不足与展望

本文也存在一定研究局限:①仅采取单案例研究方法对案例进行分析,后续可以通过多案例和大样本研究方法进一步丰富结论,扩展研究结果的可推广性;②主要从中小企业能动性视角出发,分析其“专精特新”发展及产业链协同配套过程,但未从全局性视角对大型企业和中小企业的互动融通过程进行细颗粒度解构,未来可以聚焦大中小企业的互动关系和融通模式等话题展开讨论。

〔参考文献〕

- [1]白俊红,江可申,李婧.应用随机前沿模型评测中国区域研发创新效率[J].管理世界,2009,(10):51-61.
- [2]曹虹剑,张帅,欧阳晓,李科.创新政策与“专精特新”中小企业创新质量[J].中国工业经济,2022,(11):135-154.
- [3]陈劲,阳银娟.协同创新的理论基础与内涵[J].科学学研究,2012,(2):161-164.
- [4]池仁勇.区域中小企业创新网络的节点联结及其效率评价研究[J].管理世界,2007,(1):105-112.
- [5]董志勇,李成明.“专精特新”中小企业高质量发展态势与路径选择[J].改革,2021,(10):1-11.
- [6]段云龙,张新启,刘永松,杨立生.基于管理协同的产业技术创新战略联盟稳定性研究[J].科技进步与对策,2019,(5):64-72.
- [7]高旭东.中国本土企业技术创新的“共同成长”理论[J].技术经济,2018,(12):1-4.
- [8]高旭东.中国经济发展新阶段[M].北京:清华大学出版社,2022.
- [9]贺远琼,刘路明,田志龙,陈吉红.“政产学研”如何驱动“卡脖子”技术的双核创新?——基于华中数控的纵向案例研究[J].南开管理评论,<http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1288.f.20220909.1130.004.html>,2022.
- [10]胡登峰,黄紫薇,冯楠,梁中,沈鹤.关键核心技术突破与国产替代路径及机制——科大讯飞智能语音技术纵向案例研究[J].管理世界,2022,(5):188-209.
- [11]林鸣.建造世界一流超大型跨海通道工程——港珠澳大桥岛隧工程管理创新[J].管理世界,2020,(12):202-212.
- [12]刘友金.集群式创新与创新能力集成——一个培育中小企业自主创新能力的战略新视角[J].中国工业经济,2006,(11):22-29.
- [13]柳卸林,王倩.创新管理研究的新范式:创新生态系统管理[J].科学学与科学技术管理,2021,(10):20-33.
- [14]吕铁,江鸿.从逆向工程到正向设计——中国高铁对装备制造业技术追赶与自主创新的启示[J].经济管理,2017,(10):6-19.
- [15]毛军权,敦帅.“专精特新”中小企业高质量发展的驱动路径——基于TOE框架的定性比较分析[J].复旦学报(社会科学版),2023,(1):150-160.
- [16]彭新敏,吴晓波,吴东.基于二次创新动态过程的企业网络与组织学习平衡模式演化——海天1971~2010年纵向案例研究[J].管理世界,2011,(4):138-149.
- [17]谭劲松,宋娟,陈晓红.产业创新生态系统的形成与演进:“架构者”变迁及其战略行为演变[J].管理世界,2021,(9):167-191.
- [18]万幼清,邓明然.基于知识视角的产业集群协同创新绩效分析[J].科学学与科学技术管理,2007,(4):88-91.
- [19]王蓼祥,陈磊.产学研合作创新战略协同机制研究[J].工业技术经济,2015,(11):65-71.
- [20]王伟楠,王凯,严子淳.区域高质量发展对“专精特新”中小企业创新绩效的影响机制研究[J].科研管理,2023,(2):32-44.
- [21]魏江,潘秋玥,王诗翔.制度型市场与技术追赶[J].中国工业经济,2016,(9):93-108.
- [22]吴晓波,付亚男,吴东,雷李楠.后发企业如何从追赶超越?——基于机会窗口视角的双案例纵向对比分析[J].管理世界,2019,(2):151-200.

- [23]徐可,何桢,王瑞.供应链关系质量与企业创新价值链——知识螺旋和供应链整合的作用[J].南开管理评论,2015,(1):108-117.
- [24]杨林,沈春蕾.减税降费赋能中小企业高质量发展了吗?——基于中小板和创业板上市公司的实证研究[J].经济体制改革,2021,(2):194-200.
- [25]余义勇,杨忠.如何有效发挥领军企业的创新链功能——基于新巴斯德象限的协同创新视角[J].南开管理评论,2020,(2):4-15.
- [26]原长弘,章芬,姚建军,孙会娟.政产学研用协同创新与企业竞争力提升[J].科研管理,2015,(12):1-8.
- [27]张其仔,许明.实施产业链供应链现代化导向型产业政策的目标指向与重要举措[J].改革,2022,(7):82-93.
- [28]赵晶,迟旭,孙泽君.“协调统一”还是“各自为政”:政策协同对企业自主创新的影响[J].中国工业经济,2022,(8):175-192.
- [29]中国社会科学院工业经济研究所课题组.产业链链长的理论内涵及其功能实现[J].中国工业经济,2022,(7):5-24.
- [30]朱小斌,林庆.中小企业集群竞争优势来源的演化差异——基于浙江绍兴纺织业集群的案例研究[J].管理世界,2008,(10):75-86.
- [31] Barrett, G., L. Dooley, and J. Bogue. Open Innovation within High-tech SMEs: A Study of the Entrepreneurial Founder's Influence on Open Innovation Practices[J]. Technovation, 2021, 103: 102232.
- [32] Eisenhardt, K., and M. Graebner. Theory Building from Cases: Opportunities and Challenges [J]. Academy of Management Journal, 2007, 50(1):25-32.
- [33] Etzkowitz, H., and L. Leydesdorff. The Dynamics of Innovation: From National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations[J]. Research Policy, 2000, 29(2): 109-123.
- [34] Fong, E. A. Relative CEO Underpayment and CEO Behaviour Towards R&D Spending [J]. Journal of Management Studies, 2010, 47(6):1095-1122.
- [35] Lee, S., G. Park, B. Yoon, and J. Park. Open Innovation in SMEs—An Intermediated Network Model[J]. Research Policy, 2010, 39(2):290-300.
- [36] Lhuillery, S., and E. Pfister. R&D Cooperation and Failures in Innovation Projects: Empirical Evidence from French CIS Data[J]. Research Policy, 2009, 38(1):45-57.
- [37] Parida, V., M. Westerberg, and J. Frishammar. Inbound Open Innovation Activities in High-Tech SMEs: The Impact on Innovation Performance[J]. Journal of Small Business Management, 2012, 50(2):283-309.
- [38] Serrano, V., and T. Fischer. Collaborative Innovation in Ubiquitous Systems[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2007, 18(5): 599-615.
- [39] Simon, H. Lessons from Germany's Midsize Giants[J]. Harvard Business Review, 1992, 70(2):115-123.
- [40] Simon, H. Hidden Champions: Lessons from 500 of the World's Best Unknown Companies [M]. Boston: Harvard Business Press, 1996.
- [41] Strauss, A., and J. Corbin. Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques [M]. Newbury Park, CA: Sage Publications, Inc, 1990.
- [42] Wellalage, N. H., and V. Fernandez. Innovation and SME Finance: Evidence from Developing Countries [J]. International Review of Financial Analysis, 2019, 66:101370.
- [43] Yin, R. K. Case Study Research: Design and Methods [M]. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2014.

How Do SMEs Supplement and Strengthen the Industrial Chain through the “Specialized and Sophisticated” Development: A Longitudinal Case Study Based on CAXA

ZHAO Jing^{1,2}, SUN Ze-jun¹, CHENG Xi-yun¹, YIN Man-qing¹

(1. Business School, Renmin University of China;

2. Corporate Governance and Internationalization Research Center, Renmin University of China)

Abstract: Small and medium-sized enterprises (SMEs) provide the vital support for ensuring the stability and security of the industrial chain, and are the micro foundation to “advance the rejuvenation of the Chinese nation on all fronts through a Chinese path to modernization”. There are abundant practices that SMEs play the role of industrial chain-supplementing and chain-strengthening through the “specialized and sophisticated” development. However, theoretical research has provided limited implications on its specific path and mechanism. Therefore, based on the case of the industrial software enterprise, CAXA, we adopt the exploratory longitudinal single-case study method to investigate how SMEs achieve and rely on “specialized and sophisticated” development to supplement and strengthen the industrial chain.

We found that SMEs have gone through three development stages: specialization to get embedded in the chain, sophistication to solidify the chain, and ecological collaboration to jointly strengthen the chain. Each stage follows the logic of “SMEs behavior-synergistic and supporting process-chain-complementing and chain-strengthening results”. SMEs gradually grow into “specialized and sophisticated” enterprises while playing the role of supporting the industrial chain, and eventually supplement and strengthen the industrial chain. Specifically, the in-depth development of specialization first leads enterprises to make breakthroughs in core technologies and products. The gaps in the industrial chain are filled by integrating resources and providing generalized supporting products. Second, sophisticated integration further refines the core technologies and products. The stability of the industrial chain is consolidated by collaborating with demand subjects and providing customized ancillary products. Third, ecological collaboration promotes technologies and products flowing and sharing beyond organizational boundaries in the industrial ecology. The industrial chain is strengthened and upgraded through the synergistic interaction with innovation and the provision of forward-looking complementary products.

The paper has three-fold theoretical contributions. First, existing research has paid insufficient attention to SMEs in the industrial chain. Our research makes a contribution by linking the development of SMEs with the development of the industrial chain, which enriches the research perspective of existing literature on SMEs. Second, we ground our research on the firm-level perspective to investigate the interaction between firms and the industrial chain, contributing to industrial chain research. Third, our research finds the industrial chain synergistic mechanism of “resource synergy-demand synergy-innovation synergy” and “generalized matching-customized matching-forward-looking matching”, which is a supplement to existing collaborative innovation theory.

This paper also has the following practical implications. We suggest that SMEs should focus on their own capabilities in the direction of “specialized and sophisticated” development, and strengthen the industrial chain thinking to play the role of industrial chain coordination as well as chain-supplementing and chain-strengthening. As for policymakers, we suggest that the government should not only increase support for the development of SMEs by optimizing the allocation of factors and resources within the industry to SMEs, but also give full play to the guiding role of the top-level policy design to accurately identify and classify SMEs with innovation potential in key areas, and promote the complementary and integrated development of large, small and medium-sized enterprises in the key industry chain.

Keywords: SMEs; specialized and sophisticated; industrial chain; chain-supplementing and chain-strengthening; synergistic and supporting process

JEL Classification: L10 M10 O30

[责任编辑:王燕梅]