

制造业企业关键核心技术的自组织突破路径

——基于上上电缆集团的纵向案例研究

甄美荣, 曹金茹

(江苏大学 管理学院, 镇江 212013)

摘要: 制造业企业关键核心技术突破是中国成为世界科技强国亟待解决的问题。基于自组织理论,将制造业企业视为自组织体系,将其放置在创新生态系统中,以上上电缆集团为纵向案例研究对象,通过对企业关键核心技术演进过程、关键驱动力以及与生态系统中资源的互动来揭示制造业企业关键核心技术自组织突破路径。研究发现,企业关键核心技术的迭代更新经历了“重点需求引导—资金、设备、人才高投入—攻坚能力不断积累—关键核心技术突破”的动态变迁过程;推动关键核心技术突破的序参量是核心关键领导人、核心研发人才与激励体系、持续的质量管理和治理结构变迁;创新生态系统中各主体与企业进行政策、技术、资金、人才等资源信息的互动,呈现出从赋能到聚能的转变。研究结论可为中国制造业企业关键核心技术突破提供实践启示。

关键词: 关键核心技术;自组织突破路径;序参量;赋能;聚能

中图分类号: F270

文献标识码: A

DOI 编码: 11.7511/JMCS20230304

0 引言

制造业企业关键核心技术突破是提升中国制造业全球价值链地位的关键动力^[1-2]。然而,我国在重大技术设备和核心零部件生产方面存在短板,90%左右的大型优质铸锻件和几乎全部的高档液压件、密封件依靠进口,存在关键技术的价值链低端锁定和核心技术缺乏的“卡脖子”问题^[3]。

制造业企业如何才能实现关键核心技术突破是目前学术界研究的热点,相关研究主要集中在突破的思路,如运用复杂系统管理思维^[4]、构建产学研深度融合创新体系^[5]、建立创新生态系统^[6]、打造高水平的人才队伍^[7]、发挥非营利性研究机构的作用^[8]和突出政府的基础

功能和公共作用^[9]等;也有研究关注核心技术突破的要素,认为关键技术和资金^[10]、知识^[11]等资源是关键要素。已有研究提出了可圈可点的思路,但存在以下缺失:第一,在突破思路上注重宏观体系与合作体系的构建,没有强调企业自身在关键核心技术突破过程中的主体地位,缺少对企业内部驱动力的探究;第二,或关注外部的公共基础资源、科技人才以及非营利性机构的力量,或关注企业内部资金、技术人才的作用,忽略了外部力量和内部资源互动作用于企业内部关键核心技术突破的机制;第三,没有从纵向时间上剖析关键核心技术突破的路径,很明显的是关键核心技术突破并非朝夕可完成,而是长期累积的结果。

制造业企业的核心技术要靠自主研发,只

收稿日期:2022-04-12

基金项目:江苏省研究生科研与实践创新计划项目“制造业企业技术创新绩效影响因素动态组态研究”(KYCX22_3597)

作者简介:甄美荣,通讯作者,女,山西忻州人,江苏大学管理学院副教授,硕士生导师,博士,主要研究方向为技术创新管理,E-mail:zmr4233868@ujs.edu.cn;曹金茹,女,山东菏泽人,江苏大学管理学院硕士研究生,主要研究方向为技术创新管理。

有实现关键核心技术的自主研发才能打破国外技术垄断,完成转型升级。制造业企业如何才能通过自主研发实现关键核心技术突破呢?实践中,企业既是独立运行的自组织系统,有驱动其关键核心技术进步的内部力量^[12],又是创新生态系统中的主体之一,和创新生态系统的成员不断地进行资源交互^[8],制造业企业内部驱动力量和外部创新生态系统的交互共同影响着制造业企业关键核心技术的突破^[13]。故基于实践发展和上述理论研究缺口,本研究将企业放置在与政府、科研机构、高校等形成的创新生态系统^[14]中,认为企业是创新生态系统中核心的自组织子系统^[15],创新生态系统中其他各成员构成了企业关键核心技术突破的外部要素,关键核心技术突破实质是企业内部关键驱动力和外部资源互动的迭代演化过程的结果。本研究以电线电缆专业性企业江苏上上电缆集团有限公司(简称上上)为例展开纵向分析,解构制造业企业关键核心技术从低级有序到高级有序的演进过程、在这一过程中的关键驱动力以及外部要素如何与内部关键驱动力互动,以期为我国制造业企业关键核心技术突破提供参考。

1 理论基础和研究框架

1.1 关键核心技术突破

关键核心技术是指服务于企业技术创新,在生产或技术系统中处于核心地位并发挥关键作用的技术^[16],可以表现为基础技术、通用技术、“撒手锏”技术、前沿技术或颠覆性技术^[17],具有知识复杂、寡头垄断^[18]、关键性和独特性^[19]等特征。

关于关键核心技术突破的相关研究主要集中在两方面:一是强调通过合作实现关键核心技术突破,毛蕴诗等^[20]指出通过合资企业研发平台,建立技术联盟以实现关键零部件和核心技术的突破;Choi等^[21]提出构建战略人才合作体系来促进关键技术突破;王海军^[22]认为构建创新生态系统是关键核心技术突破的关键所在;张羽飞等^[16]提出产学研深度融合是关键核心技术的突破口;Kennedy等^[23]建议建立合资伙伴关系、与专业领域的专家合作、与外部机构合作来整合知识技术,实现关键核心技术突破;Bouncken等^[24-25]认为与竞争对手合作也可以

促成核心技术的突破,Kobarg等^[26]则更加深入地研究了合作的深度与广度对关键核心技术突破的影响。二是关注关键核心技术突破的要素,宋艳等^[10]提出关键人力资源、资金与技术以及研发布局能力是关键核心技术演进的重要因素;胡旭博等^[5]提出研发资金、产学研合作以及政府力量是实现关键核心技术突破的关键因素;Zhou等^[27]的研究结果表明企业内部技术知识资源以及整合的方式会影响企业突破性技术创新;也有研究认为企业外部技术知识获取对企业技术突破至关重要^[28-29];而Gautam等^[30-31]认为企业要不断尝试开拓性技术,持续的创新能力是实现核心技术突破的关键。已有文献强调关键核心技术突破需要建立合作体系或调动内外部资源,但却未深入研究企业作为主体的内在驱动力是什么,外部合作者和外部因素又是如何和内部驱动力互动而助推关键核心技术突破的。本研究认为,制造业企业关键核心技术突破是一种企业自组织行为,探究其内在驱动力的同时应把企业放置在创新生态系统中,考察创新生态系统中其他主体对企业关键核心技术突破的作用。

1.2 自组织理论

自组织理论主要研究复杂系统的形成、发展机理与演化阶段^[32],核心内容是自行组织运行中的非平衡相变,从无序演进到有序再到高级有序的内在机制、条件与突变判据。自组织具备四个特征:一是系统是开放的,要与外界进行持续的信息、能量与物质交换,是自组织有序运行的必要前提条件;二是系统要远离平衡态,系统内外部的资源要素在信息载量、参与目标、行动决策等方面都存在势差,在互动时会形成非平衡的作用流,引发涨落与扩散,甚至引致突变,是自组织从无序到有序层级进化的必要条件;三是非线性作用机制,非线性的互动充满了不可预测性和不确定性,形成自组织系统不可逆的演化过程;四是涨落与突变,系统不断地打破平衡,偏离定势^[33],呈现出微涨落到巨涨落甚至突变的演化路径,使系统走向全局的有序结构。序参量是自组织机制的核心内容,用以刻画自组织系统在临界点上的演化态势,是一个或几个弛豫时间较长、使系统达到新稳定态的慢变量。序参量能够让自组织系统产生时

间、空间上的有序结构,对系统由新结构代替旧结构、宏观上产生质变起决定性作用。

企业是一个开放的自组织系统,企业的关键核心技术突破是一种自组织行为,是企业内部各要素之间复杂、非线性的交互,形成涨落,引发突变,把企业(关键核心技术)从一种状态推向另一种新的状态^[34]。哈肯^[35]认为外界环境以“非特定”的方式作用于自组织系统,本文认为创新生态系统是企业关键核心技术突破的首要外界环境,为企业创新提供信息、资源与能量^[36-37]等,以“非特定”方式与企业互动,这种互动会随着企业自组织的运行变迁而发生趋势变化。

1.3 创新生态系统与赋能

创新生态系统是创新过程中具有互动需求的多边、异质参与者之间形成的动态循环结构^[38],是具有生命力和方向性的演化系统,各创新主体保持自有的完整性与独立性,但又通过各种相互作用而彼此影响,相互关联。创新生态系统构成主要包括企业、科研机构、政府、中介和金融机构等,企业是创新生态系统的核心^[39]。企业的技术生态位是企业创新生态系统中生态地位的表征,体现了企业关键核心技术的创新实力与潜力^[40],具有“态”和“势”两

方面的属性,“态”是生物单元的状态,是过去的学习、生长以及与环境互动结果的积累;“势”是生物单元对环境的现实影响力或者支配力^[41]。企业所处的生态位不同,所拥有的生态位“态”和“势”属性差异较大,这使得资源能量的交互是不完全充分的,也并不总是耦合的^[42],就像是生物生态系统(群落)的能量向资源丰富的地方集聚一样,创新生态系统中的成员会进行前瞻性判断,将资源“补于”焦点企业的创新活动,呈现出资源“向好”的趋势^[43]。故企业如何在开放、竞争的创新生态系统中保持对外部资源变化的高度敏感,改变关键核心技术的“态”与“势”,提升自身在创新生态系统中的生态位至关重要。

企业实现关键核心技术突破是企业内部作为自组织不断涨落、扩散到突变的结果,是企业自主创新的体现,也是与外部创新生态系统的各个主体进行资源和能量交互的体现。本文将企业与其他成员进行的资源、能量的交互看作创新生态系统其他成员对企业的赋能,赋予企业信息资源、技术、资金等能量,是企业外部的“非特定”条件。企业关键核心技术突破是在这种“非特定”条件下的自组织行为,关键核心技术自组织突破的理论框架如图1所示。

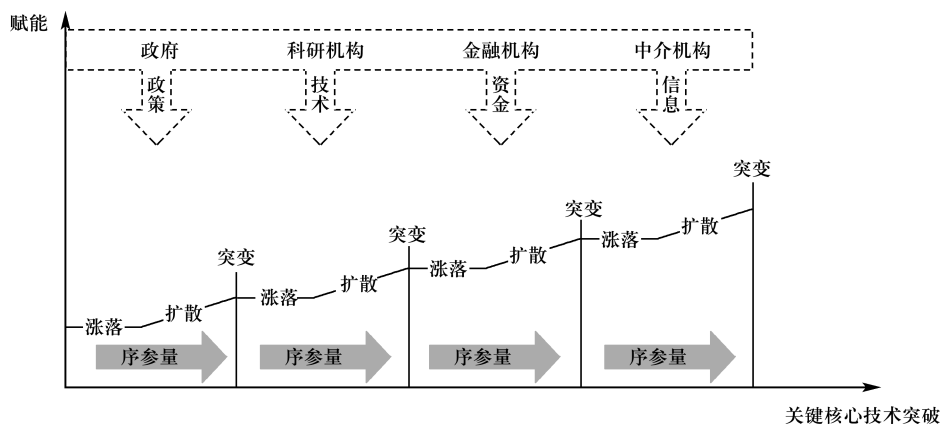


图1 企业关键核心技术的自组织突破路径

Fig. 1 Self-organized breakthrough path for key core technologies in enterprises

第一,企业的关键核心技术突破是一个从无序到有序、从低级有序到高级有序的演化过程。在这个过程中,企业内部的资源要素之间存在非线性关系且远离平衡态。这指的是企业内部的人力、物力、技术、信息以及管理等一直

处于动态变化与趋向协同的过程,通过几次的“涨落—扩散—突变”,形成“阶梯式”突破^[44],并表现出关键核心技术“态”“势”的变迁。

第二,企业内部存在着关键驱动力,推动企业从一种不平衡转向另一种不平衡^[45],由一种

态势转向另一种态势,那么这一种或几种关键驱动力便是序参量,推动企业不断扩散达到突变临界点,再进入下一个阶段的演化。

第三,企业进入新的演化阶段会面临演化路径的选择,外部因素是影响其路径选择的互动要素^[46-47]。创新生态系统中,政府、科研机构、金融机构、中介机构等会对企业技术生态位做出判断而与企业交互,对企业赋能,如政府出台政策、科研机构与大学提供技术和人才、金融机构有资金、中介机构有信息等,促成企业关键核心技术的自组织突破。

2 研究设计

2.1 方法选择

本文采用探索性单案例纵向研究方法,主要原因有:首先,本研究探索制造业企业关键核心技术的自组织突破路径,研究内容属于“如何”(How)的范畴,案例研究适用于探索和解释“过程”问题;其次,本研究分析企业自有资源和创新生态系统中的信息、能量的交互与演进过程,案例企业的纵向实践能够生动地演示这一动态、复杂的过程和变化特征;最后,案例研究可以实现从实践到理论的提升,对案例进行深度挖掘有助于理论探索,揭示复杂现象背后的深层规律^[48]。

2.2 案例选择

案例选择遵循以下原则:第一,典型性和代表性,上上是关键核心技术突破的企业典范。上上一直专注于电线电缆研发与生产,自1985年开始矿用信号电缆的研发,目前已经具备从

220伏到50万伏全系列电力电缆及各类特种电缆生产能力,绝缘线缆企业规模排名中国第一、全球第七,电缆产品为天安门城楼改造、北京奥运会、上海世博会、港珠澳大桥、京沪高铁等国家重点项目所选用,上上于2015年、2018年、2021年连续三届(第二届、第三届、第四届)获得“中国质量奖提名奖”,具有鲜明的关键核心技术创新典型性和代表性。第二,启发性,上上的关键核心技术突破路径有理论探索的价值。上上的产品及关键核心技术不断进步,迭代更新,其中核电站用K1类电缆被认定为国家重点新产品,获国防科工委科技进步三等奖,港口机械用光纤复合卷筒电缆填补了国内空白,自主研发的三代核电AP1000壳内电缆填补了核电领域世界空白,华龙一号壳内电缆达到了国际领先技术水平,非常适合从其实践过程归纳理论规律,并对制造业企业实现关键核心技术突破有启发指导意义。第三,数据可获得性,上上官方网站详细记录了企业关键核心技术的发展历程,也有书籍介绍了企业发展的演变过程。近年来,上上关键核心技术突破吸引了政府和媒体的广泛关注和报道,本研究团队还和上上建立了长期的合作关系。

2.3 数据收集与来源

为了保证案例研究的信度和效度,本研究从多种渠道收集数据,包括团队调研积累的正式和非正式访谈的一手材料(表1),企业网站、媒体公开报道、《上上之路》等多方二手资料(表2)。本研究数据收集分为三个阶段。

表1 案例企业的半结构化访谈信息及编码

Tab.1 Semi-structured interview information and coding of the case enterprise

| 数据来源 | 访谈人员职位 | 编码 | 访谈内容 | 访谈人数 | 访谈总时长 |
|------|------------|----------------|-------------------------------|------|-------|
| 企业总部 | 前技术中心主任 | F ₁ | 企业技术发展历程、业务调整与拓展、全面质量管理等 | 1人 | 130分钟 |
| | 现技术中心主任 | F ₂ | 企业电缆技术创新细节、新产品开发、技术合作伙伴等 | 1人 | 130分钟 |
| | 一线技术研发人员 | F ₃ | 技术知识培训、技术设备学习、研发激励措施等 | 8人 | 120分钟 |
| | 博士后科研工作站成员 | F ₄ | 技术研发合作项目、在合作中存在的问题以及如何处理这些问题等 | 2人 | 150分钟 |

表2 二手资料信息及编码
Tab.2 Second-hand information and coding

| 数据来源 | 编码 | 资料信息 | 类别 | 数量 |
|--------|----------------|---|------|------|
| 企业官方网站 | S ₁ | 丁董事长讲话语录、企业技术研发信息等 | 文档 | 960条 |
| | S ₂ | 《新华日报》《经济新壹周》等专访丁董事长 | 媒体采访 | 5次 |
| 外部资料 | S ₃ | 《中国工业报》《经济日报》《中国质量报》《新华日报》等对企业的技术研发与质量管理进行了宣传报道 | 新闻报道 | 47篇 |
| | S ₄ | 《上上之路》(正式出版的书籍) | 书籍 | 1本 |
| 走访观察 | S ₅ | 实地参观企业研发中心、生产厂房等 | 观察 | 3次 |

第一阶段,数据收集与整理。数据收集工作从2021年3月展开,研究团队利用公开渠道收集董事长访谈、企业技术信息相关文档共965篇,收集了关于上上的新闻报道,如《中国工业报》《新华日报》等报纸的47篇报道、《上上之路》书籍及其企业官方网站上相关的资料,后期又对收集的资料进行了整理和分析,梳理了相关度较高的研究信息。

第二阶段,实地调研与访谈。2021年5月到7月,本研究团队前往上上进行访谈和实地调研,获得了一手资料。关于访谈,本研究主要采用了半结构化访谈,研究人员围绕上上关键核心技术突破对上上人员开展了一轮比较全面的资料收集与访谈,分别对上上的管理负责人和一线技术研发员工先后进行了三次深度访谈,访谈对象涉及四个类别:首先是上上前任技术中心主任,现为上上新能源汽车线缆事业部负责人,对上上关键核心技术发展方向与战略调整等有宏观的掌握和了解;然后是上上现任技术中心主任,知晓企业关键核心技术变革的细节以及变革过程中的技术合作伙伴;第三类是一线技术研发人员,他们熟知关键核心技术研发实操过程;第四类是博士后科研工作站成员,他们对关键核心技术研发中的问题与解决有深刻的认识。为保证数据的准确性,每次访谈至少有两位研究团队成员参与,全程录音,之后马上整理收集到的资料。

第三阶段,数据的再整理和补充。经过调研访谈,本研究梳理汇总上上关键核心技术进

步的历史事件,把描述各类事件的访谈等资料按照时间顺序整理,然后按照关键时间节点归纳为四个阶段,在每个阶段分别对不同关键核心技术的背景、研发过程和结果等做进一步梳理。另外在发现尚有部分必要的信息欠缺或不准确时,通过与技术中心主任和博士后科研工作站成员电话联系进行了信息和资料的完善。

3 案例分析与发现

上上创建于1967年,目前年产能达300亿元,产品销往全球80多个国家和地区。2018年上上荣获被誉为中国工业界“奥斯卡”的“中国工业大奖”,曾连续三届荣获“中国质量奖提名奖”。取名“上上”寓意“追求卓越,永不满足”,走“中国制造”的自主创新之路。为详细表述上上关键核心技术的自组织发展路径,本研究将其关键核心技术突破过程归纳为四个阶段。

3.1 国家需求导向下的起步(1983—1992年):研制矿用通信电缆

1967年经溧阳县(现溧阳市)政府部门批示,溧阳县砂轮厂成立,在艰难地运行了一年多后,砂轮厂又接到了溧阳县整改转产的行政指令,因发现市场上电线供应紧张而最终决定做电线。1971年,原溧阳县砂轮厂更名为溧阳县电线厂,开始自制生产设备“面条机”^①。“挤塑机”生产出第一根自主制造的样品线^②。到1982年,电线厂可以生产塑料电线、橡胶软线电焊机线、钢芯铝绞线等系列电线产品。

①“面条机”是当时工人们给塑料切片机的取名,因技术条件简陋,无法切片,只能切成像面条一样的条状塑料。

②当时国内样品线标准是100米/盘,上上的第一根样品线相对简陋,100米共分成了20段完成。

1986年,“863”计划下的“煤矿安全监测控制系统”项目需要矿用电缆,此类电缆对安全性能要求高,开发难度大,若电缆冒火花会引起爆炸,风险极高,且国内没有研发矿用电缆的专业设备。上上以社会责任感为出发点,与常州自动化研究所技术联合,承接了其他大型企业不愿意做的矿用通信信号电缆项目。自主研发起步艰辛,且没有参照的产品,上上不得不一边自主研发设备,一边研制产品。设备中的装铠机涉及机械制造和电动机两大部分,结构复杂,研发难度高,上上经过四个月的设计、研制和调试最终完成设备研发并投入使用。后经过一年半的努力,上上与常州自动化研究所联合研制出矿用通信电缆,该电缆通过国家鉴定,阻燃、柔软性能好,耐弯曲且耐冲击,投入市场后被全国80多个煤矿、矿务局的重点矿井、在建矿井选用^[49]。此后,上上成功研制出塑料电力电缆和阻燃橡胶套电缆,电线厂完成了以生产电线为主到以生产电缆为主的重大转变。

这一阶段是上上从他组织走向自组织、从自组织的混乱无序走向初步有序的过程(图2)。溧阳县砂轮厂的成立和转产都出于计划经济下的地方政府的行政指令,虽然工人们自主制造生产设备,但整体来看生产设备简陋,

产品粗糙,原材料采购和产品销售都受制于计划经济,处于他组织向自组织过渡的阶段。1983年丁董事长加入上上,实施“破三铁”(铁饭碗、铁工资、铁交椅),在人事上进行制度化管,员工优化组合上岗,处罚甚至开除表现差、态度恶劣的员工;在生产管理上狠抓生产计划的制订与落实,进行成本核算和绩效管理;在劳动纪律上“按章办事、人人平等”,治理员工上下班没有时间约束、在班时聚众打牌等现象,同时劝退来“闲逛”的“关系”员工。在生产、人事等方面一次次的管理改革就是一个个微涨落,这些微涨落使得资源和力量逐渐汇集到技术研发上,也不断地相互关联并扩散成巨涨落,使得上上改变了过去地方县属集体企业的涣散无序状态,将上上引至自组织突变的临界点。这个时期也是改革开放开始深入的时候,市场经济开始活跃起来,国家宏观层面开始注重技术发展,这都为上上关键核心技术起步提供了适宜的大环境。上上抓住机遇,和煤炭部下属的常州自动化研究所合作,并拿到“863”计划下的“煤矿安全监测控制系统”项目,成为当时国家“管材料、管销路、拨款技术改造”的“计划内”企业,关键核心技术在国家重点需求导向下实现了自组织临界点上的突变。

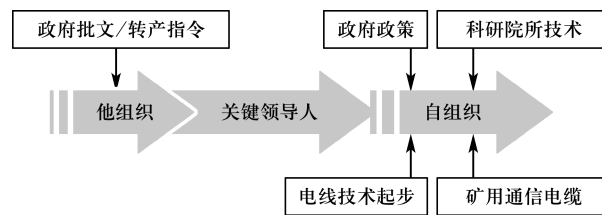


图2 混乱无序中关键核心技术起步

Fig. 2 The starting of key core technologies in disorder

上上的关键核心技术从无到有实现了零的突破,同时致力于自主研发生产设备,这成为植入上上的基因。在这个从起步到突破的过程中,丁董事长作为关键领导人还致力于自主研发和企业内部管理,是将溧阳县电线厂从混乱无序状态推向自组织有序运行的企业家;

丁董事长能够识别外部机会,积极与常州自动化研究所合作,得到“863”计划下“煤矿安全监测控制系统”项目的支持。科研机构和政府分别对上上这一自组织过程进行了外部技术赋能和政策赋能(编码和举证示例见表3)。

表3 起步阶段的编码示例

Tab. 3 Examples of coding in the starting stage

| 一级编码 | 二级编码 | 举例 |
|------------|----------|--|
| 关键核心技术 | 矿用通信电缆 | 矿用通信电缆的风险太大,万一出问题比如冒火花引起爆炸就不得了(S1);矿用通信电缆市场需求强烈,但对安全性能要求高,而且属于新品,开发难度大,大企业不愿干,小企业不敢干(S2) |
| 序参量 | 关键领导人 | 当时并没有研发电缆的设备,丁董事长决定发扬“蚂蚁啃骨头”的精神,自己带领员工们研发设备、设计产品(F2) |
| 创新生态系统资源互动 | 科研院所技术合作 | 常州自动化研究所为上上提供了电缆生产经验(F1) |
| | 政府政策支持 | 国家“863”计划提供材料、销售路径,而且拨款支持技术改造(F2) |

3.2 高投入下的成长(1993—2009年):研制1E级系列核电缆

2002年,上上在二代1E级K3类壳外电缆(用在核电站安全壳外)的基础上开始研发二代1E级K1类壳内电缆,这一过程突破了三大难关:一是标准关,当时美国和法国各自制定了核电站用电缆标准体系,我国并没有明确的核电缆产品开发标准,上上研发团队经过反复讨论决定将美国和法国的标准综合取值,标准里面一样的保留不动,标准里面不同的就选择要求高的;二是材料关,二代K1类电缆对材料有特殊要求,需要采用低烟无卤材料,当时国内没有,国外不卖,只能自行研发,材料研发人员进行了一万多次材料配方试验,不停地调整配方和验证性能,历经三年,取得突破性进展,项目进入K1类样件试制过程;三是试验关,由于K1类电缆是新产品,一些试验项目没有现成经验可供参考,如耐辐射试验项目,上上项目组成员到试验单位现场时发现无法提供加热条件,而试验单位不愿投入资金和人才进行改造,上上便自制了一套可加热通风装置,耐辐射试验才得以正常进行。2006年上上完成K1类核电缆的研发、制造,并通过鉴定。产品耐高温高压、酸碱等恶劣条件,在核事故条件下电缆可承受260℃高温,填补了国内空白,打破了国外垄断。整个研发过程技术难度大,有风险,上上直到2006年才拿到第一个核电缆订单,实现了1E级K3类壳外电缆、1E级K1类壳内电缆关

键核心技术的突破,2007年起K1、K3类电缆不断供货于秦山二期扩建等项目,并出口巴基斯坦,2009年获得国内首批国家核安全局民用核安全设备设计制造许可证,这都为后面的三代核AP1000壳内电缆的研制打下了基础。

这一阶段上上经历了从无序到有序的发展:在资金上,1996年在溧阳政府担保下,中国工商银行给上上提供了2000万元贷款,解决了资金问题,上上从荷兰进口化学交联生产线,实现了2500km中压电缆线芯的生产,这是促进关键核心技术进步的外部资金赋能;在管理上,丁董事长^①1995年再次回到上上,面对当时的管理混乱,他取消了固定的工资等级制度,从中层干部到二三线员工都实行基于岗位责任的绩效薪酬制度,突出研发和质量要求,并在2001年完成了股份制改造,当年销售额突破10亿元,为后续生产和研发提供了充足的动力,后来又提出“精、专、特、外”^②的发展战略,做“人无我有,人有我优”的“特种”产品,这些是内部驱动关键核心技术进步的序参量;在技术上,从2500km中压电缆线芯到特种电缆群(1~10kV辐照交联架空电缆、6/6kV机场照明灯光助航电缆,12kV、20kV及以下光纤复合卷筒电缆、风能耐扭专用电缆等),再到1E级K3类壳外电缆、1E级K1类壳内核电缆的突破,是关键核心技术的自组织进步(图3)。这充分体现了内部管理激活和外部资金注入不

^①1993年丁董事长调离上上,上上又一次出现了管理混乱、经营困难的状况。

^②2013年丁董事长在《人民日报》发表时评:精是产品质量精益求精,专是专注于电缆主业,特是靠过硬的研发力量做特有的产品,外是国际业务。

断地从微涨落聚成巨涨落,形成合力作用于上上关键核心技术的自组织突破。这一阶段的编

码和举证示例见表4。

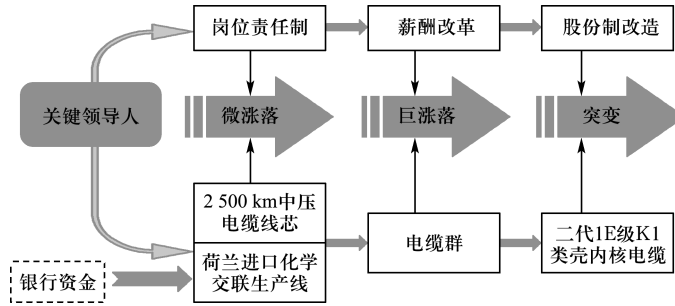


图3 从无序到有序过程中关键核心技术的成长

Fig. 3 The growth of key core technologies in the process from disorder to order

表4 成长阶段的编码示例

Tab. 4 Examples of coding in the growth stage

| 一级编码 | 二级编码 | 举例 |
|----------------|---------------|---|
| 关键核心技术 | 1E级 K3、K1 核电缆 | 当时研发核电缆产品缺少材料和设备(F1);当时我国核电站建设还基本处于“适度发展”阶段,核电站所用产品就像“水中月”,不但市场狭窄,而且生产技术难度太高,国内企业不敢、不愿投资,认为不值得投(S4) |
| | 特种电缆 | 12 kV、20 kV 及以下光纤复合卷筒电缆专业化程度要求更高,相对需求量小,且技术门槛更高,虽然产品附加值高,但研发投入却令一般企业难以承受(F2) |
| 序参量 | 关键领导人 | 我在前往美国和日本考察之后决定做吸引人、有特色的核电缆产品,而且随着化石能源的大量消耗,中国的核电事业迟早会起步(S1);卷筒电缆是一个还未涉足的新领域,我很想尝试(S1);希望核电缆研究再往前走一点(S3);当前国际电缆行业竞争特别激烈,要生存发展,必须要有自己的“绝活”,去开发门槛高的卷筒电缆(S4) |
| | 股份制改革 | 没有当年的股份制改革,就没有今天的上上,改制加大了发展活力,上上进入发展快车道(S2) |
| 创新生态系统 资源互动 | 银行资金支持 | 没有银行愿意贷款给上上,只有中国工商银行给上上提供了2 000万元贷款,解决了资金问题,上上便进入了新的市场(F1) |

3.3 全球挑战下的攻坚能力积累(2010—2015年):三代核电缆、四代核电缆

2010年国家第一座三代核电站 AP1000 核电缆研制向全世界招标,上上中标壳外电缆,美国一家公司中标壳内电缆。然而3个月后美国公司在分析了技术研发难度和可能遇到的风险后,选择弃标,此时也再无其他企业愿意参与。上上顶住风险和压力又承接了三代核电站 AP1000 壳内电缆的研发。相比二代、二代半堆型核电缆,AP1000 属于三代核电站安全堆型,要求极为严苛:首先是性能要求,一般电缆寿命要求是30年或者40年,而 AP1000 要求电缆寿命为60年且要耐极端酸碱、耐高温辐射

和耐事故冲击等;其次是一些试验项目,如高温射流冲击试验项目,无法在国内进行,只能送国外试验,每次耗资50万美元;然后是技术沟通困难,AP1000的设计方在美国,一些关键指标的变化需要随时与美国技术提供方进行沟通,而中美存在12小时时差和语言沟通的障碍^[36]。面对上述困难,上上电缆研发专家率领研发团队白天进行产品试验,晚上翻看试验记录,撰写实验数据,专注研究电缆性能的提升;对于上上内部无法完成的试验项目,电缆研发专家经常奔赴美国进行高温高压高辐射环境下的试验;为了技术沟通顺畅,在当时溧阳没有越洋视频设备的情况下,电缆研发专家几乎放弃

了正常的休息,连续清晨或傍晚赶到上海和美方进行越洋视频会议,克服时差、语言沟通等障碍。最终,上上在电缆研发专家的带领下攻克了三代壳内核电电缆核心技术难关,打破了当时光做试验至少就要两年的说法,成为三代核电站的唯一电缆供应商。2011年壳外电缆通过试验检查,2013年填补世界核电工业技术空白的首堆三代核电 AP1000 壳内电缆正式交付。

2014年,石岛湾第四代核电高温气冷堆向全球公布电缆招标公告,该项目是《国家中长期

科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》中16个科技重大专项之一,第四代核电对电缆不仅要求耐极端酸碱、耐高温辐射、耐事故冲击,还要保证电缆能够在80℃至100℃高温环境下正常工作。竞标者包含了该行业全球规模排名第一、第二的企业,上上提供了核电电缆详细的评估分析报告和解决方案。2015年,上上与中核能源签订合同,加入第四代核电项目的建设,这是上上电缆的研发向前迈进的重要标志(编码和举证示例见表5)。

表5 积累阶段的编码示例

Tab. 5 Examples of coding in the accumulation stage

| 一级编码 | 二级编码 | 举例 |
|-------------|------------------|--|
| 关键核心技术 | 三代核电 AP1000 壳内电缆 | 三代核电使用寿命要达到60年,必须经受高温、高压、高辐射,美国公司在分析三代 AP1000 研发技术难度后知难而退选择放弃,当时也没有其他企业愿意参与(F2) |
| | 石岛湾第四代核电 高温气冷堆电缆 | 当时与上上竞争的是全球排名数一数二的企业,但最终招标方选择了上上提供的第四代电缆解决方案(F1) |
| 序参量 | 关键领导人 | 美国人干不了的上上一定要干,要争这口气(S3);我要让上上的企业体制、机制比公有制企业更有优越性,比民营企业更有激励性,比上市公司还透明,真正做到公平、公正、公开(S4) |
| | 核心研发人才 | 电缆研发专家带领企业研发团队开发了一大批技术含量高的新产品,主动请缨坚持研发 AP1000 电缆,白天开会解决难题,晚上挑灯翻看记录。在产品试制中,最多的一种产品连续试制30多次(F3) |
| | 质量管理 | 超高压集成制造系统 CIMS 可以实时跟踪追溯产品质量,国家电网公司专家组成员均对 CIMS 系统叹服,认为该系统不但国内没有,在世界电缆行业也绝无仅有,上上的超高压管理水平已达到行业管理的制高点(F2) |
| 创新生态系统 资源互动 | 全员绩效管理 | “四个人人” ^① 让我们员工感到有冲劲、有奔头(F3);上上以“四个人人”为核心的全员绩效体验管理模式,成功进入第三届中国质量奖提名奖名单(S3) |
| | 银行金融合作 | 中国银行、江苏银行领导前来上上调研,建立合作关系(F2) |
| | 地方政府支持 | 溧阳市、常州市政府提供科技扶持政策、税收政策支持、安全和用电保障(F1) |
| | 高校技术/人才合作 | 河海大学发挥高校人才优势和学科优势,与上上共建高水平产学研合作平台(S4) |

在此阶段,上上在美国弃标和全球竞标的挑战下,基于不断积累的关键核心技术攻坚能力完成了三代核电 AP1000 壳内、壳外电缆和第四代核电电缆,其中序参量之一是核心研发人员,在核心研发人员的带领下,上上先后开发新产品、新材料、新技术300多项,解决了三代核

电 AP1000 壳内电缆的核心技术难题。序参量之二是日渐成熟并达到世界行业领先水平的质量管理与鼓励创新的绩效管理。早在1997年,上上就开始推行 ISO 9000 标准进行质量管理,2001年建设并推行 ERP 项目,2011年投入2000万元资金,与设备提供方共同研发超高压

^①“四个人人”绩效管理模式是指人人有指标,人人有数据,人人都算账,人人是老板的全员管理模式,涉及一线员工、班组长、行政管理人员、部门负责人以及公司高层管理者。

电缆 CIMS 信息管理系统,实现了“一切都在设计中、计划中、控制中”的超高压电缆生产的全过程控制,保持超高压电缆质量零缺陷、运行零故障、零投诉的纪录。2014 年将全面质量管理推行到以“料工费”^①为核心的“四个人人”全员绩效管理,并在此基础上设立“改进改造创新”奖励,最高奖励为 20 万元/次。在此绩效管理体系的激励下,上上来自各层级员工的“小”发明、“小”改造每年都有 1 000 多项成果,公司每年奖励平均为 500 多万元。正是这些“小”涨落

不断扩散放大,成为巨涨落,推动上上关键核心技术一次次进步,实现从低级有序到高级有序的转变,攻坚能力不断积累,并为下一阶段的突破做准备。

这一阶段溧阳市、常州市政府为上上提供了税收政策支持、安全和用电保障,甚至为一线技术人员送上慰问物品;上上联合国内大学、科研院所的专家支援研发团队,并与高校联合培养专业人才;中国工商银行、江苏银行提供资金周转和信用合作等,外部赋能初现聚能情形(图 4)。

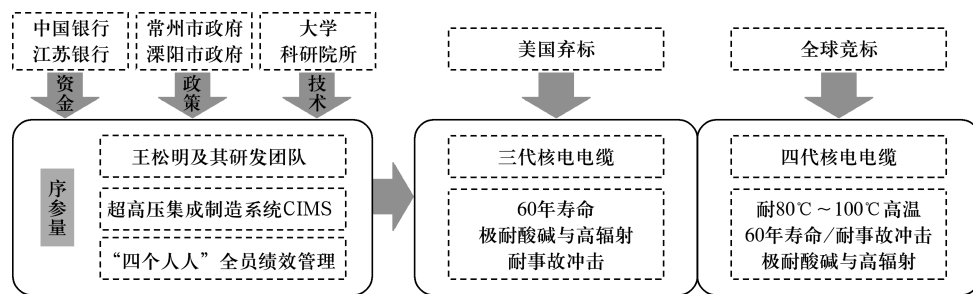


图 4 从低级有序到高级有序过程中的关键核心技术积累

Fig. 4 The accumulation of key core technologies in the process from low-level order to high-level order

3.4 持续深耕下的关键核心技术突破(2016 年至今):华龙一号 1E 级 K1 类特种电缆、CAP1400 项目系列电缆

2016 年,中广核工程华龙一号项目用 1E 级 K1 类特种电缆向全世界招标,“华龙一号”是中国在 30 余年核电科研与制造经验基础上,再根据福岛核事故经验反馈以及全球最新安全要求,研发的百万千瓦级压水堆核电技术。“华龙一号”对电缆性能提出了极高的要求(使用寿命需延长,且耐高剂量辐射和 LOCA 等极端条件),当时国内外尚无现成的能够完全满足技术规范的 K1 类电缆。上上在 K3 类电缆的基础上积极承担了 K1 类电缆的研制任务,基于前期二代 K1 类核电缆、三代 AP1000 电缆等电缆产品的数据经验,联合上海交通大学、哈尔滨理工大学等高校技术人才进行解读规范、筛选设计方案、编制大纲以及试验样件等研究。2018 年华龙一号 1E 级 K1 类电缆研发成功,

电缆的使用寿命达到 60 年(比二代提高了 50%)、耐高剂量辐射(170 Mrad,比二代整整提高了一倍)且耐 LOCA 等极端条件,该电缆的研发成功不但解决了二代 K1 类电缆采购的困难问题,更有力地促进了我国三代核电华龙一号项目的建设进程,加快了我国核电的国产化。

2020 年上上在电缆国产化的道路上走得更远,提供的大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 项目系列电缆以及电缆用绝缘、护套材料完全为自主研发,拥有完全独立的知识产权,是核电站用安全壳内、安全壳外电缆国产化产品的代表。2021 年上上研制了 BTTZ 矿物绝缘电缆,用矿物材料(金属+氧化镁)替换云母带,相较于云母带容易吸潮、高分子材料大功率无法控制,BTTZ 矿物绝缘电缆具有耐高温、载流量大、外径小、机械强度高、使用寿命长等特点,广泛应用于核电站、冶金、化工、矿井等危

^①“料工费”:料是每生产 1 千米电缆所需要的材料用量;工是电缆制造的不同工种每小时的工资收入;费是每个工时所耗的电费、包装费及五金费。

险且高温的作业环境。

“十四五”开局之年,上上为加快关键核心技术突破,确立了“以数字化转型为发展方向,全力打造现代化智能管理工厂”的战略目标。目

前上上已经建立了销售、生产、能源和环境四个数字化管理中心以及五个数字生产透明工厂,并利用“互联网+”开展一系列信息技术协同技术创新工作。此阶段编码和举证示例见表6。

表6 突破阶段举证示例

Tab. 6 Examples of proof in the breakthrough stage

| 一级编码 | 二级编码 | 举例 |
|------------|------------------|---|
| 关键核心技术 | CAP1400 项目系列电缆 | CAP1400 项目系列电缆要求所有产品必须国产化,当时并没有企业尝试去做(F1) |
| | 华龙一号 1E 级 K1 类电缆 | 华龙一号对电缆性能提出了极高的要求,当时国内外还没有现成的能够完全满足技术规范 K1 类电缆(F2) |
| | BTTZ 矿物绝缘电缆 | 现有矿用电缆材料有易吸潮、高分子材料大功率无法控制等缺陷,没有企业能研发出满足更高性能要求的矿用电缆(F2) |
| 序参量 | 智能制造管理 | 永久性动态追溯 MES 系统实现了生产现场人、机、料、法、环、测的全过程质量追溯,质量报告每周一次,自上董事长下至管理者一目了然,发现问题立即整改,在行业里又是一个突破(S3);产品质量一定要万无一失,否则就是一失万无(S1);只要是研发需要的(数字化)投入,我都大力支持,有求必应(S2) |
| 创新生态系统资源互动 | 银行资金合作 | 中国工商银行、中国建设银行领导前来调研开展资金合作(F1) |
| | 各级政府政策支持 | 溧阳市政府领导了解上上发展状况并提供解决措施;常州市领导亲自为上上送上政策手册和常州服务卡,承诺做好服务工作,为企业发展排忧解难、保驾护航(S3) |
| | 校企合作培养人才 | 上上与哈尔滨理工大学、上海交通大学、西安交通大学、上海大学等国内知名高校建立校企合作关系,通过员工委外培训、教授来企授课等多种方式培养专业人才(F4) |
| | 科研院所共建创新平台 | 上上与江苏省产业技术研究院联合建立了“JITRI——上上电缆联合创新中心”,攻关企业及产业上下游的技术难题,建设一个高效、互补、共荣的联合创新平台,解决行业“卡脖子”难题(S3) |
| | 媒体信息交流 | 丁董事长诚信品质事迹被《新闻联播》《焦点访谈》等央视媒体聚焦报道,上上得到了推广和宣传(S4) |

这一阶段,上上的关键核心技术在前期不断扩散突变的基础上持续向高级有序跃迁,实现了两方面的突破:一是华龙一号 1E 级 K1 类特种电缆、CAP1400 项目系列电缆等尖端技术产品在世界范围内处于领先水平的同时全面国产化;二是推行“制造+服务”,使得电缆产品能够实现多场景的个性化供应,如研发了液冷系统,对新能源汽车充电电缆进行散热降温,保证更大的载流量,并根据汽车性能的不同要求,进行线缆的个性化定制。在前述序参量发挥作用的同时,上上积极参与数字经济时代对数据的应用,启动了数据驱动的智能管理,一方面

上线“永久性动态追溯 MES 系统”,实现“原材料进厂、半产品转序二维码、成品电缆唯一码”的生产程序数字化,精准把握产品“原材料进厂、生产制造、交付及使用”的全生命周期,真正实现了人、机、料、法、环、测的全过程数据追溯、在线质量控制和分析,提供电缆技术研发的过程数据,保障产品质量;推行全面数字化转型,以点带链提升产业链整体的数字化水平和技术创新能力。

这时上上拥有了聚能的技术能力和管理能力,常州市、溧阳市政府推出一系列创新发展政

策和现场问题解决方案^①;中国工商银行、中国建设银行与上上进行资金合作,江苏省产业技术研究院与上上进行技术合作与创新;国内高校一方面参与技术合作,另一方面与上上联合

培养技术员工和一线员工;《新闻联播》《焦点访谈》等央视媒体报道宣传上上的质量管理和技术创新,上上自组织跃迁的同时和外部生态系统的互动呈现出繁荣的聚能态势(图5)。

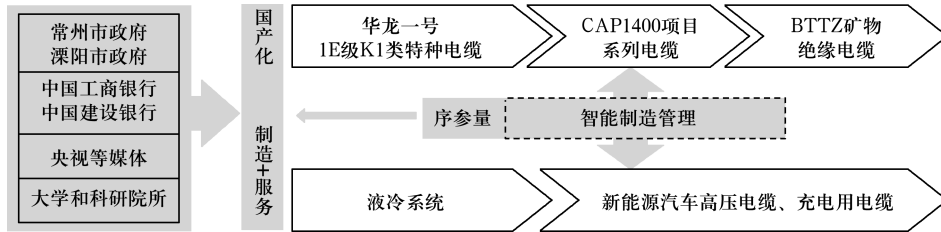


图5 持续高级有序中的关键核心技术突破

Fig. 5 The breakthrough of key core technologies in advanced order

4 讨论与结论

本研究基于自组织理论和创新生态系统理论,选取电缆制造行业领军企业上上作为研究对象,旨在探讨制造业企业在和创新生态系统

其他成员的交互中,通过自主研发不断攻克技术难关,实现关键核心技术自组织突破的路径(图6)。路径以关键核心技术的迭代更新、序参量的动态发展、创新生态系统中其他主体能量交互变化状态三条线来描述。

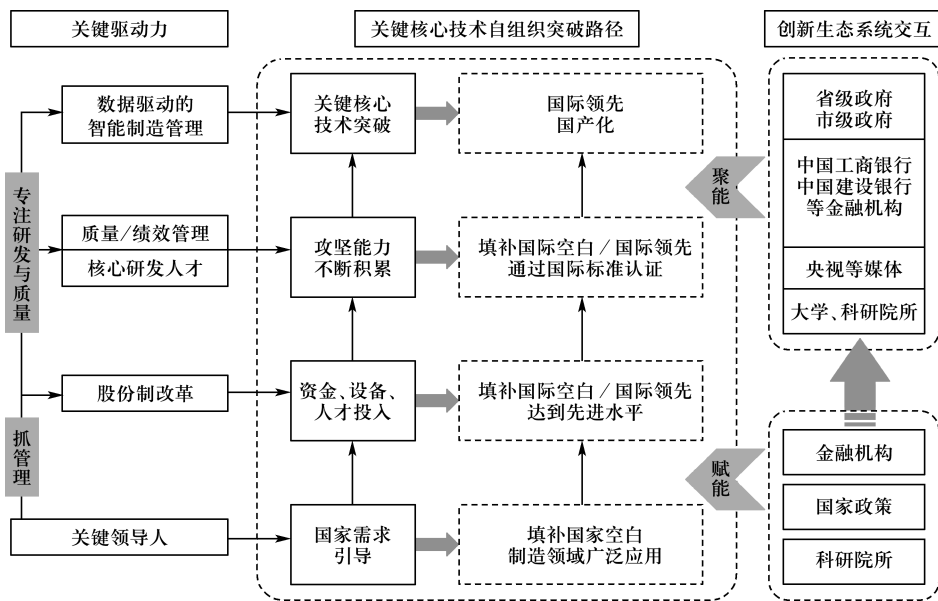


图6 制造业企业关键核心技术自组织突破路径

Fig. 6 Self-organized breakthrough path for key core technologies in manufacturing enterprises

4.1 关键核心技术的迭代更新

制造业企业关键核心技术从起步开始,呈现出“国家需求引导—资金、设备、人才高投

入—攻坚能力不断积累—关键核心技术突破”的动态变迁路径,是从无序到有序再到高级有序的自组织演进过程。同时关键核心技术在创

^①这是指对上上生产和研发中的实际困难和需要提出一对一的解决方案,如2020年溧阳市政府支持企业发展的需要,提供与人才、用工、社保、职业技能等相关的政策服务。

新生态系统中呈现出首先“进入国家计划—提高国内市场份额”，然后“达到国内领先水平—填补国内空白”，不断“达到国际领先水平—填补国际空白”，实现“国际先进水平—大批量国产化”的“态”“势”变化，形成对创新生态系统内资源的影响力和配置能力。

4.2 推动关键核心技术突破的序参量

其一是关键领导人。关键领导人具有如下特质：一是具有自主创新精神，并专注于技术创新，关键领导人要始终专注于连续的技术研发并坚持走专业化路线，坚持做“人无我有，人有我优”的“特种”产品，开发有完全自主知识产权的产品；二是抓管理，实施以质量和研发为导向的绩效管理，这是构建强大的人才团队和涌现一大批关键研发人才、技术能手的关键动力；三是能够战略性地识别机会，与外部创新生态系统互动，积极利用企业外部资源。

其二是核心研发人才与激励体系。首先是研发带头人具有较高的技术能力和品德素养；然后是建立全员绩效管理，形成一套鼓励各种形式的创新机制，让“有能力、有贡献”的人“有面子、有票子”。一线操作员工评“技能职称”，技术人员评“技术职称”，职称越高津贴越多，鼓励大家钻研业务、钻研技术，以此培育和激励行业专家和技术工匠。

其三是贯穿始终的、为关键核心技术突破做保障的质量管理。从ISO9000标准到ISO/Ts16949汽车质量管理体系、GB/T19001质量管理体系、GB/T19022测量管理体系、GB/T24001环境管理体系等九大管理体系，从ERP到“MES系统”，制造业企业要实现信息化、智能化再到数据驱动的质量管理，积极感知互联网时代和数字经济时代质量管理的发展前沿。

其四是治理结构变迁。股份制改造是历史大背景下企业治理结构的变迁，员工也实现了从集体制企业的“主人”到私有制企业的“老板”的转变。员工定期与企业签订劳动合同，而非只取得原来的固定工资，极大地激发了员工的工作热情。

推动制造业企业关键核心技术向高级有序变迁的序参量是相互关联的，关键领导人重视

技术创新和管理，对外识别机会，积极寻求资源，对内主动进行股份制改造，积极推进基于技术的绩效管理和基于产品质量的数据化质量管理体系，使得企业体制灵活，“人才”“发明创造”和“高质量产品”不断涌现，形成互动涨落，推动关键核心技术不断突破。

4.3 从赋能到聚能

基于关键核心技术不断迭代创新，创新生态系统中技术生态位不断提升，制造业企业和创新生态系统其他成员的互动是一个从“寻求”到“送上门”的过程，是从赋能到聚能的动态转变，如图6所示。

最初制造业企业各项资源匮乏，只能“寻求”银行和政府项目的资金与技术支持，但随着关键核心技术不断升级，达到国际领先、填补国际空白时，制造业企业技术创新的“态”“势”发生显著提升，创新生态系统其他主体就会认为能量交互可以获得有力的正向反馈。在政府方面，国家以及地方政府的一系列项目和税收等政策能推动制造业企业产品研发和技术创新；在高校和科研机构方面，高校、科研院所与企业通过产学研合作，进行产品研发，提供实习基地并投资培养研发人才；尤其当企业发展强劲时，银行会积极寻求合作，为企业提供资金支持；媒体也会频繁报道宣传企业的质量管理、企业文化和技术创新。这说明企业在创新生态系统内有很强的能量吸附与回应能力，可以走向聚能。

5 贡献与展望

5.1 理论贡献

本文研究了制造业企业关键核心技术自组织突破路径、关键驱动力以及内外部要素互动趋势，理论贡献主要体现在以下三个方面：

第一，拓展了自组织理论在制造业企业技术创新领域的应用。以往研究一方面从宏观上阐述自组织理论在产业集群、产学研中的应用，如郑小碧^[50]认为产业集群是自组织系统，其自组织特性推进了集群内共性技术创新；项杨雪等^[51]基于自组织理论和分析高校在产学研合作创新中的动态演化规律；另一方面基于自组织理论分析企业技术创新的发展阶段或要素间

的协同,如张延禄等^[34]基于自组织理论和企业技术创新系统自组织演化的适应景观,分析企业不同阶段的演化机制;刘赟和赵东安^[52]基于自组织理论研究企业技术创新系统内员工、资金、信息等要素的协同。不同于上述内容,本研究利用自组织的开放性、非平衡性、非线性和涨落性等特性,分析和明确了企业作为自组织驱动关键核心技术不断迭代更新的序参量,是对自组织理论在企业技术创新方面研究的深化;同时也描述了企业和创新生态系统中资源互动的细节,是对自组织理论应用的细化。

第二,提炼出制造业企业关键核心技术的自组织突破路径。目前关于企业关键核心技术突破的研究主要围绕领军企业展开,如宋艳等^[10]认为我国装备制造业领军企业具有足够的能力进行多产品或者多技术的集中突破,技术突破要从技术引进到技术改进再到自主创新;而张羽飞和原长弘^[16]认为领军民营企业关键核心技术是在产学研深度融合下呈现出从功能突破、性能突破再到可靠性突破和前沿突破的路径。本研究则关注企业在关键核心技术突破过程中作为自组织内部关键驱动力的作用,提出制造业企业关键核心技术创新是“国家需求引导—资金、设备、人才高投入—攻坚能力不断积累—关键核心技术突破”的纵向演进,突出关键核心技术突破的累积过程,丰富了制造业企业关键核心技术突破路径的研究。

第三,基于创新生态系统理论解析创新生态系统中的资源如何作用于企业关键核心技术突破。以往研究多从宏观的角度分析整个创新生态系统,如赵艺璇等^[53]认为创新生态系统可以通过参与者的能力组合实现价值共创,谭劲松等^[54]指出政府作为“架构者”对创新生态系统的演变起主要作用,而王璐瑶等^[55]则认为传统的“大学、政府、企业”构成的创新生态系统并不能解决多样化、多元化的技术“卡脖子”问题,进而提出构建多主体、跨层面的生态系统来解决技术创新问题。而本研究以企业为主体,聚焦企业和创新生态系统中其他主体进行资源交互的动态变迁过程,明确了资源随着制造业企业核心技术“态”“势”的变迁而呈现出从赋能到聚能的转变,拓展了创新生态系统理论的应用。

5.2 实践启示

第一,制造业企业要培育和激发关键核心技术突破的内部驱动力。培育关键领导人,使其能够识别外部机会,具有社会责任感和自主创新的精神,并能够持续地关注创新,这是制造业企业关键核心技术突破的顶层支持;培育并激励核心研发人才与团队,这是关键核心技术突破的人才动力;构建指向技术创新和产品质量的激励体系,这是支持创新的重要内部管理体系;积极进行组织变革,形成有效的治理结构,这是企业持续坚持投资于技术研发、激励员工创新的制度保障。

第二,制造业企业要积极与创新生态系统中的其他主体互动,尤其是在核心技术相对薄弱的情况下,积极去“求取”资源;而其他主体尤其是政府要“雪中送炭”,政府要从政策出台、政策执行上“扶持”新生企业成长。

第三,制造业企业要形成持续的创新能力,不断进行创新积累,基于自身技术发展情况,参考借鉴“国家需求引导—资金、设备、人才高投入—攻坚能力不断积累—关键核心技术突破”这一路径来实现自主的关键核心技术突破。

5.3 研究不足与未来展望

尽管本文以纵向案例来研究制造业企业关键驱动力与外部资源的互动,从而揭示制造业企业关键核心技术的自组织突破路径,但仍然存在一定的不足。首先,案例选取的是电线电缆的核心企业,在理论分析中可能存在幸存者偏差和抽样偏差^[56],案例研究结论的普适性还有待提高,未来可进行不同行业的多案例研究或实证研究,进一步评估研究结论;其次,文中关于关键核心技术突破和质量管理互动关联分析还不够深入,后续需要深层次的调研与探索,通过实时动态数据进一步揭示制造业企业关键核心技术突破的路径;最后,调研中发现众多制造业企业的数字化转型对关键核心技术突破起到推动作用,但本研究未对该问题进行深入探讨,未来可以对此展开跟踪深化研究。

参考文献:

- [1] 屠年松, 龚凯翔. 制造业自主创新、外国技术溢出与全球价值链地位[J]. 重庆大学学报(社会

- 科学版), 2021.
- [2] 刘兰剑, 王晓琦. 创新路径、技术密度与制造业国际竞争力之间的关系——基于17个行业的实证研究[J]. 中国科技论坛, 2020(10): 114-121+141.
- [3] 张辉, 陈海龙, 刘鹏. 智能时代信息通用技术创新微观动力机制分析——基于沃尔玛信息技术演化的纵向案例研究[J]. 科研管理, 2021, 42(06): 32-40.
- [4] 盛昭瀚. 运用复杂系统管理思维突破关键核心技术[J]. 国家治理, 2020(47): 59-61.
- [5] 胡旭博, 原长弘. 关键核心技术: 概念、特征与突破因素[J]. 科学学研究, 2022, 40(1): 4-11.
- [6] 马亮, 张淑敏, 仲伟俊. 协作研发与在位企业突破性技术创新及代际知识桥的中介作用——以汽车行业为例[J]. 管理学报, 2019(02): 225-234.
- [7] 任文华. 钱学森技术科学观视域下关键核心技术“卡脖子”问题研究[J]. 科学管理研究, 2021, 39(3): 33-38.
- [8] 柳卸林, 常馨之, 董彩婷. 构建创新生态系统, 实现核心技术突破性创新——以IMEC在集成电路领域创新实践为例[J]. 科学学与科学技术管理, 2021, 42(9): 3-18.
- [9] 杨思莹. 政府推动关键核心技术创新: 理论基础与实践方案[J]. 经济学家, 2020(9): 85-94.
- [10] 宋艳, 原长弘, 张树满. 装备制造业领军企业如何突破关键核心技术? [J]. 科学学研究, 2022, 40(3): 420-432.
- [11] Fores B, Camison C. Does incremental and radical innovation performance depend on different types of knowledge accumulation capabilities and organizational size? [J]. Journal of Business Research, 2016, 69(2): 831-848.
- [12] Stater S F, Mohr J J, Sengupta S. Radical product innovation capability: Literature review, synthesis, and illustrative research propositions [J]. Journal of Product Management Innovation, 2014, 31(3): 552-566.
- [13] 杨瑾, 于妍惠. 基于逆向研发外包的装备制造业突破性技术创新路径研究[J]. 中国科技论坛, 2022(3): 82-90+100.
- [14] 尹洁, 刘玥含, 李锋. 创新生态系统视角下我国高新技术产业创新效率评价研究[J]. 软科学, 2021, 35(9): 53-60.
- [15] 高山行, 谭静. 创新生态系统持续演进机制——基于政府和企业视角[J]. 科学学研究, 2021, 39(5): 900-908.
- [16] 张羽飞, 原长弘. 产学研深度融合突破关键核心技术的演进研究[J]. 科学学研究, 2022, 40(5): 852-862.
- [17] 樊继达. 以新型举国体制优势提升关键核心技术自主创新能力[J]. 中国党政干部论坛, 2020(9): 48-51.
- [18] 余江, 陈凤, 张越, 等. 铸造强国重器: 关键核心技术突破的规律探索与体系构建[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(3): 339-343.
- [19] 陈劲, 阳镇, 朱子钦. “十四五”时期“卡脖子”技术的破解: 识别框架、战略转向与突破路径[J]. 改革, 2020(12): 5-15.
- [20] 毛蕴诗, 徐向龙, 陈涛. 基于核心技术与关键零部件的产业竞争力分析——以中国制造业为例[J]. 经济与管理研究, 2014(1): 64-72.
- [21] Choi B, Ravichandran T, O'Connor G C. Organizational conservatism, strategic human resource management, and breakthrough innovation [J]. IEEE Transaction on Engineering Management, 2019, 66(4): 529-541.
- [22] 王海军. 关键核心技术创新的理论探究及中国情景下的突破路径[J]. 当代经济管理, 2021, 43(6): 43-50.
- [23] Kennedy S, Whiteman G, Ende J. Radical innovation for sustainability: The power of strategy and open innovation [J]. Long Range Planning, 2017, 50(6): 712-715.
- [24] Bouncken R B, Fredrich V, Ritala P, et al. Coopetition in new product development alliances: Advantages and tensions for incremental and radical innovation [J]. British Journal of Management, 2018, 29(3): 391-410.
- [25] Ritala P, Hurmelinna-Laukkanen P. Incremental and radical innovation in coopetition—The role of absorptive capacity and appropriability [J]. Journal of Product Innovation Management, 2013, 30(1): 154-169.
- [26] Sebastian K, Jutta S W, Welpel I M. More is not always better: Effects of collaboration breadth and depth on radical and incremental innovation performance at the project level [J]. Research Policy, 2019, 48(1): 1-10.
- [27] Zhou K Z, Li C B. How knowledge affects radical innovation: Knowledge base, market knowl-

- edge acquisition, and internal knowledge sharing [J]. *Strategic Management Journal*, 2012, 33(9): 1090-1102.
- [28] Phene A, Fladmoe-Lindquist K, Marsh L. Breakthrough innovations in the US biotechnology industry: The effects of technological space and geographic origin [J]. *Strategic Management Journal*, 2006, 27(4): 369-388.
- [29] Flor M L, Cooper S Y, Oltra M J. External knowledge search, absorptive capacity and radical innovation in high-technology firms [J]. *European Management Journal*, 2018, 36(2): 183-194.
- [30] Gautam A, Curba M L. Entrepreneurship in the large corporation: A longitudinal study of how established firms create breakthrough inventions [J]. *Strategic Management Journal*, 2001, 22(6): 521-543.
- [31] Colombo M G, Von Krogh G, Rossi-Lamastra C, et al. Organizing for radical innovation: Exploring novel insights [J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2017, 34(4): 394-405.
- [32] 甄美荣, 李璐. 基于代际差异的国家级高新区创新自组织演进模型 [J]. *中国科技论坛*, 2018(4): 138-147.
- [33] Haken H. *Synergetics: An introduction* [M]. Berlin: Springer, 1983: 26-36.
- [34] 张延禄, 杨乃定, 刘效广. 企业技术创新系统的自组织演化机制研究 [J]. *科学学与科学技术管理*, 2013, 34(6): 58-65.
- [35] 哈肯. 信息与自组织 [M]. 成都: 四川教育出版社, 2010. 21-34.
- [36] 葛安茹, 唐方成. 合法性、匹配效应与创新生态系统构建 [J]. *科学学研究*, 2019, 37(11): 2064-2072.
- [37] 应千伟, 何思怡. 政府研发补贴下的企业创新策略: “滥竽充数”还是“精益求精”? [J]. *南开管理评论*, 2022, 25(2): 57-69.
- [38] Adner R. Match your innovation strategy to your innovation ecosystem [J]. *Harvard Business Review*, 2006, 84(4): 98-107.
- [39] 孙红军, 熊焰, 高文雯. 新兴政产学研协同创新的演化过程——以东方美谷为例 [J]. *管理案例研究与评论*, 2021, 14(5): 464-474.
- [40] Schot J, Geels F W. Strategic niche management and sustainable innovation journeys: Theory, findings, research agenda, and policy [J]. *Technology Analysis and Strategic Management*, 2008, 20(5): 537-554.
- [41] 程艳, 赵国浩. 企业文化生态位测度系统: 量表开发与基模构建 [J]. *科研管理*, 2021, 42(3): 35-45.
- [42] 宋娟, 张莹莹, 谭劲松. 创新生态系统下核心企业创新“盲点”识别及突破的案例分析 [J]. *研究与发展管理*, 2019, 31(4): 76-90.
- [43] 杨升曦, 魏江. 企业创新生态系统参与者创新研究 [J]. *科学学研究*, 2021, 39(2): 330-346.
- [44] 白彦壮, 张莹, 薛杨. 社会性企业成长过程及其自组织演化机理——创业生态系统视角的研究 [J]. *科技进步与决策*, 2017, 34(4): 84-89.
- [45] 潘妍妍, 张衍, 张梦颖. 基于系统自组织理论的虚拟经济演化机制与政策启示研究 [J]. *系统科学学报*, 2020, 28(4): 55-59.
- [46] Gersick C J G. Revolutionary change theories: A multi-level exploration of the punctuated equilibrium paradigm [J]. *Academy of Management Review*, 1991, 16(1): 10-36.
- [47] 罗文军, 顾宝炎. 知识创新的自组织机制 [J]. *科学学研究*, 2006(S2): 606-611.
- [48] 王凤彬, 李东红, 刘月宁, 等. “竞争”还是“合作”: 组织中局部功能替代性部门间冲突的动态演进——基于研华大陆区线上业务的纵向案例研究 [J]. *管理世界*, 2015(12): 146-171+188.
- [49] 严曼青. 上上之路 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2017: 80-120.
- [50] 郑小碧. 基于自组织理论的产业集群共性技术创新研究 [J]. *科技进步与对策*, 2012, 29(8): 46-51.
- [51] 项杨雪, 梅亮, 陈劲. 基于高校知识三角的产学研协同创新实证研究——自组织视角 [J]. *管理工程学报*, 2014, 28(3): 100-109+99.
- [52] 刘赞, 赵东安. 基于自组织理论的制造业企业技术创新研究 [J]. *南京工业大学学报(社会科学版)*, 2012, 11(4): 85-91.
- [53] 赵艺璇, 成琼文, 李紫君. 共生视角下技术主导型与市场主导型创新生态系统价值共创组态路径研究 [J]. *科技进步与对策*, 2022, 39(11): 21-30.
- [54] 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, 37(9): 167-191.
- [55] 王璐瑶, 曲冠楠, Rogers J. 面向“卡脖子”问题的知识创新生态系统分析: 核心挑战、理论构建

- 与现实路径 [J]. 科研管理, 2022, 43(4): 94-102.
- [56] 肖静华, 胡杨颂, 吴瑶. 成长品: 数据驱动的企
业与用户互动创新案例研究 [J]. 管理世界,
2020, 36(3): 183-205.

Self-organized Breakthrough Path of Key Core Technologies in Manufacturing Enterprises: A Longitudinal Case Study Based on Shangshang Cable Group

ZHEN Mei-rong, CAO Jin-ru

(School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Breakthrough of key core technologies in manufacturing enterprises is an urgent issue for China to build a world power in science and technology. Based on the theory of self-organization, the manufacturing enterprises are regarded as self-organization system and placed in the innovation ecosystem. Taking Shangshang Cable Group as an example, this study illustrates the self-organization breakthrough path of key core technologies in manufacturing enterprises through the evolution process, key driving forces and interaction with resources in the ecosystem. It is found that the development of key core technologies is a dynamic process of key demand guidance—high investment of capital, equipment and talents—continuous accumulation of core capability—breakthrough of key core technologies. The sequential parameters to realize breakthrough of key core technologies are core leaders, key technical talents and incentive systems, continuous quality management and governance structure changes. The interaction of enterprises with other parts in the innovation ecosystem shows a transformation from empowerment to aggregation. The conclusion can provide practical insights into the breakthrough of key core technologies for Chinese manufacturing enterprises.

Keywords: key core technology; self-organized breakthrough path; order parameter; empowerment; aggregation