

· 案例研究 ·

后发企业突破关键核心技术的机制研究

——基于创新要素组合视角

曾德麟¹, 蒋丽球¹, 欧阳桃花²

(1. 北京交通大学 经济管理学院, 北京 100044; 2. 北京航空航天大学 经济管理学院, 北京 100191)

摘要: 突破关键核心技术对科技竞争和国家安全具有重要的战略意义。在中国技术创新的新阶段, 复杂产品后发企业是解决关键核心技术“卡脖子”难题的重要创新主体。本文采用探索性单案例研究方法研究铁建重工研制盾构机的过程。研究发现, 后发企业聚焦突破两类关键核心技术: 可靠性关键核心技术和原理性关键核心技术, 突破这两类关键核心技术所需的创新要素组合分别为面向市场应用的成长式创新要素组合和面向技术研发的攻关式创新要素组合。两类创新要素组合以及“双向链接”机制是增强企业创新主体地位和提升技术创新能力进而突破关键核心技术的核心。本文揭示了创新要素组合对后发企业突破关键核心技术的作用机制, 丰富了后发企业技术追赶理论。同时, 本文对中国后发企业通过创新要素组合突破关键核心技术具有指导意义。

关键词: 创新要素组合; 关键核心技术; 后发企业; 复杂产品; 案例研究

中图分类号: F273.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-176X(2024)05-0105-13

一、引言

党的二十大报告指出, 以国家战略需求为导向, 集聚力量进行原创性引领性科技攻关, 坚决打赢关键核心技术攻坚战。突破关键核心技术的重要环节是技术创新, 而企业是其中最活跃的创新主体, 这与企业从事创新活动这一最本质的特征^[1]息息相关。一方面, 企业在市场竞争中需要持续推出新技术、新工艺以维持竞争优势; 另一方面, 企业直接贴近市场, 通过洞悉市场需求将产品商业化。因此, 企业天然具有创新基因和商业动机。此外, 创新是对生产要素进行新组合, 而这种组合可以通过市场竞争来实现^[2]。可见, 创新的本质不限于创新主体拥有创新要素, 更在于创新主体对创新要素的组合。在市场经济中企业是优化创新要素配置的主体。因此, 企业的创新要素组合方式对突破关键核心技术极其重要。

收稿日期: 2024-02-15

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“企业创新主体地位强化及技术创新能力提升研究”(21ZDA012); 教育部人文社会科学研究一般项目“后发企业关键核心技术赶超悖论的破解研究”(23YJC630006)

作者简介: 曾德麟(1986-), 男, 海南海口人, 副教授, 博士, 主要从事技术创新和组织变革等研究。E-mail: dlzeng@bjtu.edu.cn

蒋丽球(1998-), 女, 广东江门人, 硕士研究生, 主要从事技术创新研究。E-mail: 21120695@bjtu.edu.cn

欧阳桃花(通讯作者)(1965-), 女, 江西景德镇人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事企业战略管理研究。E-mail: taohuaouyang@buaa.edu.cn

近年来, 中国崛起趋势与外部遏制压力之间的矛盾加剧, 先发企业进行技术保护以维持竞争优势, 后发企业在技术追赶时难以获得关键核心技术。因此, 在某些关键核心技术领域取得长足进步的同时, 企业技术创新能力受制于人的局面尚未得到根本转变。一方面, 中国在以高铁、盾构机等为代表的复杂产品关键核心技术领域取得历史性跨越; 另一方面, 中国在民航发动机、高端芯片等重要领域尚未掌握最先进的技术, 而在全球科技竞争日渐激烈, 传统的技术引进、消化、吸收与再创新的技术创新模式难以为继的情况下, 后发企业常常陷入“技术创新能力不足—创新主体地位弱化—技术创新能力不足”的负循环陷阱中^[3]。同时, 中国大多数后发企业还面临着创新要素匮乏或过于分散的挑战, 而创新要素的集聚、利用与组合也考验后发企业的技术创新能力强弱与创新主体地位高低。已有研究指出, 技术、人才等要素集聚能对高技术产业的创新能力产生影响^[4], 而只有在企业作为主体的创新活动中, 要素集聚能对创新效率产生正向影响^[5]。然而, 现有研究虽然表明创新要素向企业集聚能加速创新产出, 提高创新要素效率^[6], 但对创新要素集聚后企业如何组合创新要素以助力突破关键核心技术的问题缺乏深入分析。此外, 现有研究主要在产业、区域等层面分析创新要素集聚对创新绩效的影响, 鲜有从微观企业层面研究创新要素组合对技术创新的影响机制。

目前, 关键核心技术突破已成为中国科技创新发展的关键情境, 中国关键核心技术密集的复杂产品后发企业如何通过创新要素组合突破关键核心技术仍然有待深入研究。虽然中国在部分关键核心技术领域遭受技术封锁, 但仍有少数企业能跳出负循环陷阱, 通过组合创新要素突破关键核心技术。中国铁建重工集团股份有限公司(下文简称“铁建重工”)是中国科技创新的代表企业, 其在突破盾构机关键核心技术方面具有独特的研究价值。在创新要素匮乏和分散的困境下, 铁建重工如何通过创新要素组合在短短 17 年的时间内打破国外先进制造商的技术垄断, 成功突破关键核心技术并成为享誉世界的盾构机制造商, 鲜有研究对此问题进行探讨和分析。基于此, 本文运用探索性单案例研究方法, 以铁建重工为研究对象, 围绕其突破盾构机关键核心技术的实践, 从创新要素组合视角, 深入探讨中国情境下创新要素组合推动后发企业突破关键核心技术的机制。

本文可能的学术贡献在于: 其一, 指出后发企业应重点关注可靠性关键核心技术和原理性关键核心技术, 并揭示突破这两类关键核心技术的路径差异。其二, 发现两类关键核心技术需要采用不同的创新要素组合模式, 进而提出通过成长式创新要素组合突破可靠性关键核心技术, 通过攻关式创新要素组合突破原理性关键核心技术的机制模型。其三, 揭示后发企业通过创新要素组合, 突破两类关键核心技术的“双向链接”机制, 即提出企业通过成长式创新要素组合链接用户, 通过攻关式创新要素组合链接高等院校, 以此增强企业创新主体地位和提升技术创新能力, 进而突破关键核心技术。本文有助于深化后发企业技术追赶和关键核心技术的相关研究, 并为中国关键核心技术创新实践提供启示。

二、文献综述

(一) 后发企业技术追赶与关键核心技术

后发企业指以追赶为主要目标且初始资源匮乏的产业后进企业^[7]。后发企业在与领先企业竞争过程中如何实现技术追赶一直是理论界与实务界高度关注的问题。目前关于后发企业技术追赶的研究覆盖家电^[8]、安防^[9]、汽车^[10]等众多大规模制造产品产业, 为数不多关注复杂产品的研究集中在高铁^[11-12]等极少数领域, 并且大多从宏观层面研究行业整体技术能力, 而技术具有“组合”和“递归”的属性^[13], 其突破深受企业先期经验与技术基础的影响。现有研究认为后发企业主要有逆向追赶和正向追赶两种路径。逆向追赶路径是基于韩国等小经济体的大规模制造产品产业实践^[14]提出的, 认为后发企业技术追赶需要通过技术引进、逆向开发实现从模仿到创新

的转变,遵循从生产能力、工程能力再到创新能力的演化过程,这与发达国家技术创新从研发到工程的顺序正好相反^[15],而正向追赶路径局限于新兴技术发展早期,认为此时技术门槛较低,后发企业可以抓住新兴技术机会窗口,通过寻找国外伙伴,在合作基础上实现从产品技术向工艺技术的正向追赶^[16]。

然而,上述两种路径难以适用于后发企业关键核心技术追赶。关键核心技术指需要通过长期高投入的研究开发且具备关键性与独特性的技术体系^[17],具有高投入、强竞争性、高创新风险^[18]等特征,且其研发需要面向市场才能实现商业价值^[19]。这使得后发企业面临双重追赶困境:一方面,先发企业对关键核心技术设立严苛的防护与独占机制^[20],后发企业难以通过引进实现逆向追赶;另一方面,关键核心技术的突破更加依赖基础研究与经验积累,尤其是复杂产品领域不存在关键核心技术门槛较低的新兴机会窗口。综上所述,后发企业关键核心技术赶超是现有理论尚难以完全揭示的复杂过程,亟需学者深入复杂产品企业实践前线,提出新的理论洞见。

(二) 创新要素与技术创新

生产要素是生产活动的必要条件之一,其内涵范围随着社会经济进步而逐步扩大,从最初的土地和劳动,到物质和自然力,再到技术进步,新兴生产要素对经济长期增长的促进作用日益凸显。人力资本、知识资本、信息、制度等要素也随着社会发展彰显重要意义^[21]。创新要素则是技术创新活动中的生产要素,是能够促进技术创新进步的一切要素的集合,主要包括创新人才要素、技术要素、资金要素、信息与服务要素、管理要素和政策要素^[22]。此外,创新依赖企业家的创造性破坏活动,所以企业家精神也是重要的生产要素^[23]。企业家的核心能力之一是创新能力,能赋予企业资源以新的组合方式。同时,企业在创新活动中不是孤立的节点,而是处于创新网络中。创新网络指参与新产品开发、生产、销售的创新者之间的协同群体^[24]。一般来说,创新网络主体有企业、供应商、竞争对手、科研院所、高等院校和政府等^[25]。综上所述,本文立足于技术创新过程,将创新要素主要细分为企业家精神要素、成员要素和资源要素。其中,企业家精神要素指企业家的创新魄力、冒险精神、战略创新意识和市场识别能力等;成员要素指在企业技术创新过程中所涉及的核心企业、用户、高等院校和政府等利益相关主体;资源要素则指促使技术创新实现所需要的各类资源,包括人才、技术、资金、市场和政策等。

创新网络由多个创新主体组成,不同的创新主体占据不同的位置。企业创新主体地位指企业在技术创新体系中占据核心地位^[3],这意味着企业在创新活动中发挥核心引领作用,而不是其他创新主体发挥主要作用。此外,技术创新能力是企业能够持续开展技术创新活动的重要能力。不同学者从不同角度对技术创新能力的内涵进行研究,但普遍认为企业技术创新能力是多种能力的有机结合,比较有代表性的视角包括知识视角和过程视角。从知识视角来看,技术创新能力是服务于技术创新的目标,附在企业内部人员、设备、信息和组织中的内生知识存量的综合^[26]。从过程视角来看,技术创新能力包括创新资源投入能力、技术创新转化吸收能力、创新资源产出能力和技术创新保障能力^[27]。

现有关于创新要素的研究大多关注创新要素流动对产业创新能力的影响^[28]、创新要素集聚对区域创新绩效的影响^[29]和创新要素配置的结构失衡问题^[30],鲜有研究关注企业内部要素协同与创新绩效的关系^[31]。可见,从微观企业层面探讨创新要素组合对技术创新的影响机制的研究仍较为欠缺,同时对后发企业如何增强创新主体地位和提升技术创新能力以突破关键核心技术的问题仍缺少充分的阐释。

(三) 文献评述

现有研究为本文奠定研究基础并提供有益启示,但存在以下不足。其一,技术创新活动的本质是企业主体对创新要素的组合。现有研究集中关注产业和区域层面创新要素的集聚、流动和分配,对微观企业层面创新要素组合缺乏深入分析。其二,现有研究主要以一般技术为客体,忽略

了关键核心技术在技术特征、资金需求等方面的特殊性, 从而较难为关键核心技术突破提供借鉴。其三, 创新要素对企业创新活动的影响已被证实, 但创新要素组合对增强企业创新主体地位和提升技术创新能力的作用机制有待进一步挖掘。因此, 本文从创新要素组合视角揭示后发企业关键核心技术突破的过程机理, 具有重要理论价值与实践意义。

三、研究设计

(一) 研究方法

本文采用探索性单案例研究方法, 原因如下。其一, 本文主要探讨后发企业如何通过创新要素组合突破关键核心技术, 而案例研究适合解决“如何”类型的问题^[32]。其二, 本文的研究问题因果关系不够明确、联系复杂, 尤其涉及到的研究现象独特且较为复杂, 相关研究较少, 尚缺乏深入且系统的探讨并缺乏某种典型情境^[33]。因此, 探索性单案例研究方法十分适用于本文。其三, 单案例研究有助于揭示一个有代表性的、典型的案例的内部复杂结构的具体属性, 更适合提炼出解释复杂现象的理论或规律^[34]。因此, 单案例研究有助于深挖企业实践的规律。

(二) 案例选择

本文遵循“理论抽样”的原则^[33], 选择铁建重工为研究对象, 主要是因为该对象的最佳实践体现了样本选取的三个原则。其一, 案例典型性^[33]。铁建重工是中国工程机械制造领域的标杆企业, 其创新要素组合实践对行业内其他企业突破关键核心技术具有借鉴意义。其二, 数据可得性^[35]。本文充分考虑案例企业信息的可信度和充裕度, 曾实地考察铁建重工并获取丰富的一手调研数据, 并且有关铁建重工的新闻报道等二手资料较丰富, 能够确保数据信息的丰富度和可获得性。其三, 理论目标与案例实践的适配性^[36]。铁建重工通过创新要素组合成功突破盾构机关键核心技术, 突破外国企业的技术封锁, 其成功实践与本文拟回答的理论问题是一致的, 能够确保理论目标与案例实践的一致性。

(三) 案例简介

铁建重工成立于2006年11月, 总部位于湖南长沙, 其前身为中铁轨道系统集团有限公司(简称“中铁轨道”)。本文整理铁建重工的发展历程, 提炼关键事件如表1所示。

表1 铁建重工发展历程中的关键事件

	2006年	2010年	2011年	2012年	2014年	2015年	2016年	2017年	2021年
关键事件	中铁轨道成立	研制开路先锋19号	中铁轨道改名为铁建重工	开路先锋19号穿越湘江	研制研判敞式TBM	研制国内首台地铁单护盾TBM	研制大埋深、可变径TBM	大直径敞式TBM洞穿引松供水工程引水隧洞	铁建重工在全球全断面隧道掘进机制造商中排名榜首

铁建重工隶属于世界500强企业中国铁建股份有限公司(简称“中国铁建”), 其在国外技术封锁和国内资源匮乏的情况下, 基于中国本土市场需求, 掌握了多项具有世界领先水平 and 完全自主知识产权的核心技术, 不断推出新产品、新工法和新工艺。如今, 铁建重工不仅成为世界一流的集高端地下装备和轨道设备研究、设计、制造、服务于一体大型专业化集团, 同时也是国家认定的重点高新技术企业、国家级两化深度融合示范企业。铁建重工具有代表性的产品是被广泛应用于国内三十多个省份的地铁、铁路、煤矿和水利等重点工程的大直径盾构机和全断面硬岩隧道掘进机(Tunnel Boring Machine, 简称TBM)。盾构机是应用在隧道工程施工中的高端工程装备, 其技术含量高, 生产工序复杂, 主要包括盾构壳体、出土系统和推动系统等。盾构机的“盾”能够在挖掘时保持土体稳定, 为内部施工创造安全的空间, “构”则进行土体切削、挖掘和排渣等工序, 在隧道里不断向前挖掘。

（四）数据收集与分析

本文遵循多种数据来源的建议^[37]，进行数据三角验证，避免一手资料带来的印象管理和回溯性释义问题^[34]，以减少信息偏差。数据的主要来源如表2所示。

表2 数据的主要来源

数据来源	访谈对象	主要内容
深度访谈	科技发展部副部长	回顾企业发展历程和主营业务 了解企业战略规划和创新路径 挖掘关键决策中的企业家作用
	前沿与基础研究设计院院长 掘进机研究设计院研究员	关注“开路先锋19号”的关键技术路线 关注泥水平衡盾构机的关键技术路线 关注TBM的关键技术路线
	智慧企业研究院经理	了解公司业务流程情况
	科技发展部人力资源部部长	了解企业员工激励机制
参观调研	代表性科研中心	了解现代化研发中心运作模式 参观研发中心了解人员配置
二手资料	文献资料：论文、新闻、书籍等	行业发展、公司历史、公司业务发展数据等
	企业内部文件：宣传资料、合作协议、产品介绍、高层讲话资料等	公司发展历程、企业文化建设、公司合作伙伴、公司管理思想等

本文的数据主要来源于半结构化访谈，对铁建重工的企业高管、熟悉关键核心技术的研发人员、制定研发人员引进和激励机制的人员、市场和战略负责人等进行面谈对话并录音记录，累计获得约17.7万字访谈资料。另外，搜集有关论文、新闻、书籍和企业内部文件等二手资料作为补充。本文的数据分析过程遵循典型归纳式案例研究的过程^[33]。首先，识别出关键事件，寻求对研究主题可靠和丰富的解释。其次，把经过确认的信息进行汇总，在此基础上对原始案例材料进行分析。最后，通过不断比较证据和涌现出的理论，找出相似的构念以及不同证据之间的联系，进行分析以逐步明确所涌现的理论模式，经过反复迭代，最终达到理论、构念与证据之间的相互匹配^[34]。为了确保研究发现能充分反映现实并具备严谨的逻辑^[38]，研究团队进一步搜索与复杂产品关键核心技术相关的数据资料，反馈给企业人员和其他学者以获取专业建议，反复校准数据与理论的匹配性，并将新旧发现融合成一个整体，形成较为稳健的理论框架。

四、案例发现

通过分析铁建重工突破盾构机关键核心技术的过程，参考现有研究对核心技术的结构化划分方式^[20]，本文发现，铁建重工在突破盾构机关键核心技术的过程中聚焦于突破两类关键核心技术，即可靠性关键核心技术和原理性关键核心技术，并且突破这两类关键核心技术需要通过不同的创新要素组合来实现，进而强化企业创新主体地位和提升技术创新能力。

（一）构建成长式创新要素组合突破可靠性关键核心技术

创新要素的集聚和组合有助于突破关键核心技术。在突破可靠性关键核心技术的过程中，作为核心企业的铁建重工在政府支持下外源化集聚创新要素，构建成长式创新要素组合，增强创新主体地位，积累和迭代技术创新能力。突破可靠性关键核心技术所需的企业家精神要素、资源要素和成员要素三类创新要素之间的关系如图1所示，其中，成员要素的作用更加突出。成员要素不仅为突破关键核心技术创生供给资源要素，还进行能力释放，激发企业家精神要素，使其整合资源要素。

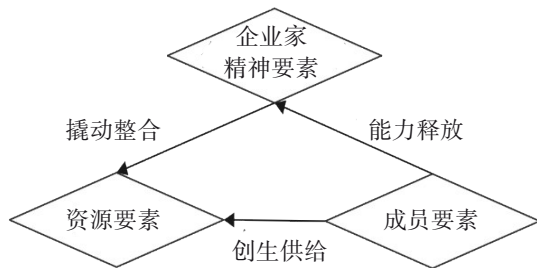


图1 突破可靠性关键核心技术所需的三类创新要素之间的关系

通过对铁建重工进行案例研究后发现,从技术创新活动链条来看,铁建重工聚焦突破处于企业创新链的市场应用环节的可靠性关键核心技术,以积累和迭代技术创新能力。可靠性关键核心技术指关键故障解决技术和积累的失效模式应对技术方案^[20],更加强调关键核心技术能够支持产品在一定时间和条件下稳定运行。作为初创企业的铁建重工尚缺乏内生创新资源的能力和条件,其如何整合资源,与政

府、用户等创新主体合作以突破可靠性关键核心技术呢?研究发现,在这个过程中,政府充当核心角色,积累和集聚创新要素,为铁建重工突破可靠性关键核心技术进行项目铺垫和人才培育。可见,政策要素起引领作用,企业家精神要素和市场要素发挥核心作用,资金要素和人才要素起辅助作用。突破可靠性关键核心技术的成长式创新要素组合模式如图2所示。

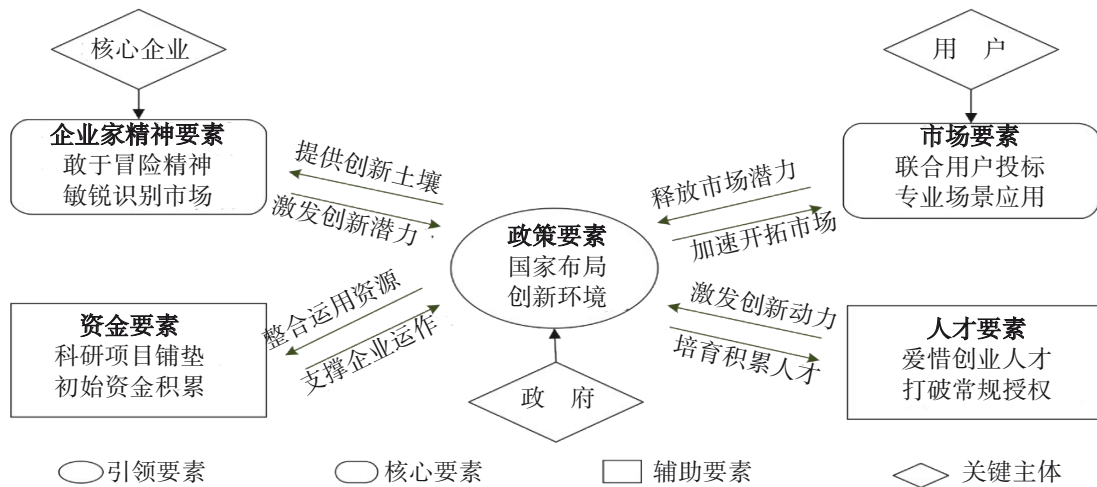


图2 突破可靠性关键核心技术的成长式创新要素组合模式

具体来看,铁建重工为了突破盾构机可靠性关键核心技术主要从三个方面组合创新要素。

第一,项目政策铺垫,集聚创新要素。2002年,中华人民共和国科学技术部高新技术司(后文简称“高新司”)《国家高技术研究发展计划(863计划)》(后文简称“863”计划)中首次立项开展盾构机关键技术研究,首批项目组只有18位成员,其中多数是刚毕业没几年的大学生。然而,就是这个项目培养了一批后来成长为国内研制盾构机的骨干人才。此外,关键核心技术的创新风险高,资金投入大,国家出台了一系列研究计划重点支持研制盾构机。例如,《国家重点基础研究发展计划(973计划)》对盾构机的自主研发提供支持。在国家专项资金的支持下,以铁建重工为代表的国内盾构机制造商迅速崛起。这为铁建重工初期启动盾构机研制起到重要助力作用。政府在前期进行的项目铺垫和人才培育等工作为铁建重工积累了资金要素和人才要素。可见,在突破可靠性关键核心技术的过程中,政府充当创新主体中的核心角色,政策要素在资源要素中起引领作用,资金要素和人才要素起辅助作用。

第二,激发核心企业,撬动整合资源。创新的本质是企业家的创造性破坏活动,企业家精神是面对市场不确定风险进行活动的重要素质,也是一个引入新生产组合的过程^[39],有助于通过资源整合创造新的财富^[40]。在铁建重工突破可靠性关键核心技术的过程中,具备冒险精神和市

场识别能力的企业家精神要素在政策的支持下发挥核心作用。例如,铁建重工的前身中铁轨道主营铁轨道岔,之后选择进入盾构机行业主要是企业家精神要素发挥作用的结果。考虑到盾构机不仅消耗大量外汇储备,还在实际应用中受制于人,铁建重工董事长敏锐地意识到必须依靠国内企业攻克难关,于是决定研制盾构机。此外,企业家精神要素还在资源整合配置方面发挥重要作用。面对人才缺口,董事长亲自参与洽谈,用技术人的理想打动技术人,吸引、整合、爱惜人才,敢于打破常规,将一批有技术理想的年轻人集聚起来,组建了铁建重工的核心研发团队。

第三,贴近用户需求,迭代试错学习。突破可靠性关键核心技术依赖产品在市场使用阶段的故障预测和数据修复。铁建重工主要通过链接成员要素中的用户来完善盾构机功能,充分利用市场要素突破可靠性关键核心技术。作为初创企业,铁建重工缺乏市场合法性,在品牌形象和技术能力等方面具有劣势^[41],其通过与具有数十年施工经验的母公司中国铁建对接,贴近用户需求以获得市场合法性。具体来看,铁建重工及时收集中国铁建使用盾构机的反馈信息,再将研制产品在施工环境中进行应用试验,按照客户需求逐步完善产品功能。引松供水工程是铁建重工成功突破可靠性关键核心技术的典型例子。该工程存在诸多技术难点。例如,独头掘进距离长达11.5千米,对盾构机可靠性要求高;二期隧道需要穿过硬度不一的岩层,经过多条断裂带的复杂地质,对盾构机适应性提出更高要求。TBM经验技术薄弱的铁建重工与TBM施工经验最为丰富的中铁十八局集团有限公司(后文简称“中铁十八局”)联合投标,针对引松工程距离长、通风差、多破碎带等特点,提前改进方案。中铁十八局基于使用TBM积累的经验,提出TBM高效施工参数匹配方案和施工技术方案,并在加工工艺、加工工法和测试方法等方面提供建议。铁建重工处理获得的施工数据,针对数据样本修改设计方案,反复试错学习以高频迭代升级产品,极大提升了可靠性关键核心技术的突破速度,为铁建重工积累技术创新能力奠定了良好的基础。

综上所述,在突破可靠性关键核心技术的过程中,相比于企业家精神要素和资源要素,成员要素的作用更加突出,其创生供给资源要素并进行能力释放,激发了企业家精神要素。在政府支持下,核心企业外源化集聚创新要素,主要与用户在市场应用环节进行深度链接,通过深度把握用户需求突破可靠性关键核心技术,以在市场竞争中积累和迭代技术创新能力。在这个过程中,政策要素发挥引领作用,为后发企业技术创新活动创生供给资源要素,企业家精神要素和市场要素发挥核心作用,资金要素和人才要素起辅助作用。

(二) 构建攻关式创新要素组合突破原理性关键核心技术

创新要素的链接和重组有助于突破关键核心技术。在突破原理性关键核心技术的过程中,作为核心企业的铁建重工在创新驱动下内源化集聚创新要素,构建攻关式创新要素组合,增强创新主体地位,沉淀和进阶技术创新能力。突破原理性关键核心技术所需的企业家精神要素、成员要素和资源要素三类创新要素之间的关系如图3所示,其中,企业家精神要素的作用更加突出。

企业家精神要素不仅为关键核心技术突破自主集成资源要素,还进行能力引领,带动成员要素,使其协调资源要素。

通过对铁建重工进行案例研究后发现,从技术创新活动链条来看,铁建重工聚焦突破处于企业创新链的研究开发环节的原理性关键核心技术,以沉淀和进阶技术创新能力。原理性关键核心技术指产品基本功能实现过程的基础条件和核心规律^[20],更加强调关键核心技术的底层技术原理逻辑。底层技术原理的掌握依赖基础研究和反复试验,而铁建重工对此掌握甚

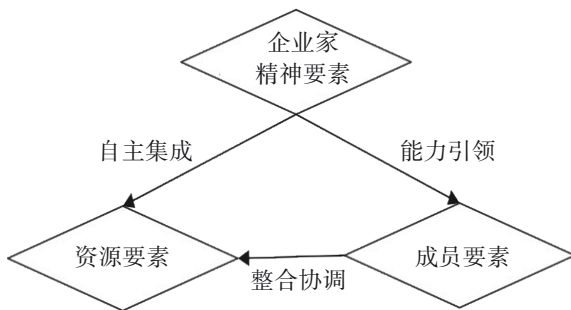


图3 突破原理性关键核心技术所需的三类创新要素之间的关系

少, 缺乏相关的技术知识积累和足够的试验经验, 其如何组合创新要素, 与政府、高等院校等创新主体合作以突破原理性关键核心技术呢? 研究发现, 在这个过程中, 核心企业充当核心角色, 整合和重构创新要素, 即企业家精神要素起引领作用。此外, 人才要素和技术要素发挥核心作用, 政策要素和资金要素起辅助作用。突破原理性关键核心技术的攻关式创新要素组合如图4所示。

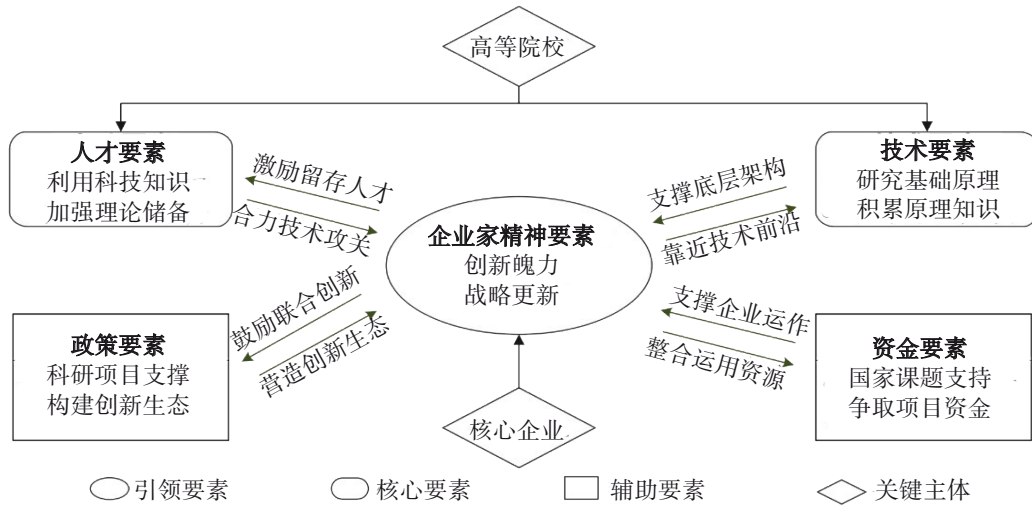


图4 突破原理性关键核心技术的攻关式创新要素组合模式

铁建重工为了突破盾构机原理性关键核心技术主要从三个方面进行创新要素组合。

第一, 坚持自主创新, 自主集成资源。铁建重工坚持自主创新战略, 进入科技创新“无人区”。国际最先进的盾构机是TBM, 其具有自动化程度高、施工速度快、安全经济等优点, 但其技术工艺更复杂、应用工况更恶劣、研发难度更大。而当时铁建重工在TBM原始技术创新积累方面经验十分匮乏, 技术封锁使得铁建重工一筹莫展。但铁建重工前瞻性地预料到TBM能够更好地满足客户需求, 坚持自主研制TBM。此后, 国家项目和资金的持续集聚为铁建重工开展创新活动、研究关键核心技术原理提供支撑, 铁建重工积极利用相关资源, 同时激励创新人才。例如, 2012年, 铁建重工作为牵头部门承担国家“863计划”重要课题《大直径硬岩隧道掘进设备关键技术研究及应用》。2013年, 由高新司主办、铁建重工承办的项目启动会在长沙召开, 铁建重工实验室获得课题经费240万元, 就此走上跨越式发展之路。此外, 为组建稳定的技术攻关团队, 铁建重工董事长始终坚持研发人员占比不低于20%、研发投入占比不低于5%的原则, 并为引进的技术人才创造良好的创新环境。

第二, 企业家精神引领, 链接高等院校。突破关键核心技术的实质是技术质的演化和根本性创新^[42-43]。因此, 掌握关键核心技术的底层逻辑是后发企业能够持续创新的重要方式。关键核心技术创新具有高投入、长周期等特点, 而驱动企业勇于接受风险进行关键核心技术自主创新的重要要素是企业家精神。作为创新的骨干力量, 企业家精神要素在原理性关键核心技术突破过程中起到引领作用。具体来说, 基础研究是原理性关键核心技术突破的重要创新源头, 高等院校是科技知识的重要发源地。因此, 铁建重工与高等院校合作, 利用高等院校积累的科技知识和理论储备, 协同攻关原理性关键核心技术。例如, 铁建重工与浙江大学、天津大学等高等院校合作, 联合突破了TBM支撑推进换步系统的理论验证问题。此外, 铁建重工在步入自主创新前沿阶段后, 聚焦链接技术要素, 以掌握原理性关键核心技术来快速迭代新型盾构机。例如, 铁建重工创新研制了全球首台长距离大坡度双模式煤矿斜井TBM、国产首台大直径敞开式TBM、国产首台

单护盾TBM等十多项全球、国产首台(套)产品,并且成为了TBM国家标准的制定者。

第三,贴近研发环节,学习理论原理。突破原理性关键核心技术需要掌握研究开发环节的技术原理。因此,铁建重工主要通过链接成员要素中的高等院校来完善盾构机功能,进一步突破原理性关键核心技术。随着铁建重工进入盾构机关键核心技术的“无人区”,其更加重视追溯创新源头,回溯关键核心技术的底层原理和技术知识,与负责知识创造和储备的高等院校联合研究基础理论,探索把握关键核心技术的底层技术原理逻辑。在技术创新能力得到积累和迭代后,铁建重工主动进行正向开发和重构式、复合式创新。例如,土压平衡盾构机一般用于软土和软岩地层掘进,TBM用于硬岩的全断面隧道掘进。但在实际的隧道挖掘中,软硬岩同时存在。传统离线式双模式掘进机因模式转换偶尔会有停工现象,并且其准备周期长、工作周期长、人员配置复杂。铁建重工研发团队结合以往隧道掘进设备的设计经验和使用经验,经过艰难的努力,创新性地结合盾构机和TBM的优点,提出将土压平衡盾构机和TBM集合到一起,成功首创了在线模式转换技术,制造出在线土压/TBM双模式掘进机。在这个过程中,铁建重工不断向创新链的研究开发环节靠近,聚焦突破了多项原理性关键核心技术,从根本上掌握技术原理,为其后续发展不断注入新的动力。

综上所述,在突破原理性关键核心技术的过程中,相比于成员要素和资源要素,企业家精神要素的作用更加突出,其自主集成资源要素并进行能力引领,带动成员要素。在创新驱动下,核心企业内源化集聚创新要素,与高等院校在研究开发环节进行深度链接,通过贴近技术创新源头,在渐进的技术积累中突破原理性关键核心技术,得以在技术研发中沉淀和进阶技术创新能力。在这个过程中,企业家精神要素发挥引领作用,带动成员要素并集成资源要素,人才要素和技术要素发挥核心作用,资金要素和政策要素起辅助作用。

五、研究结论、研究启示与未来方向

(一) 研究结论

本文主要以铁建重工为例,通过探索性单案例研究方法对铁建重工研制盾构机并突破一系列关键核心技术的过程进行案例分析,提炼出后发企业通过创新要素组合突破关键核心技术的过程模型,得出如下三个结论。

第一,本文关注到后发企业在突破关键核心技术过程中重点关注两类关键核心技术,即创新链市场应用环节的可靠性关键核心技术和创新链研究开发环节的原理性关键核心技术,并指出后发企业可以通过不同的作用机制来突破这两类关键核心技术。以往大多数研究主要将关键核心技术视为整体性概念,后来有研究解构了关键核心技术的内涵,并提出企业主要从易到难地先以突破原理性核心技术为起点,再以突破可靠性核心技术为终点^[20],这为认知核心技术的演化规律奠定了理论基础。然而,本文在此基础上进一步研究发现,复杂产品后发企业突破关键核心技术并不完全是从原理性关键核心技术到可靠性关键核心技术的线性递进过程,而是针对两类关键核心技术分别采用不同的创新要素组合方式。本文发现,可靠性关键核心技术处于企业创新链的市场应用环节,强调市场竞争优势,后发企业可以通过试错学习、市场应用和持续积累来突破,而原理性关键核心技术则处于企业创新链的研究开发环节,聚焦技术原理突破,后发企业可以通过原理学习、理论创新和实验验证来突破。这一发现立足于创新链两端,揭示了后发企业突破关键核心技术的微观机制,指出了后发企业突破不同类型关键核心技术的差异。

第二,本文从微观层面剖析了突破可靠性和原理性关键核心技术所需的创新要素组合的差异。以往有关创新要素的研究大多数关注产业和区域层面创新要素集聚、流动和分配的不足,而较少从微观企业层面探讨企业的创新要素组合如何有助于突破关键核心技术。本文关注到技术创新的本质是创新主体对创新要素的组合和使用,并指出企业家精神要素、成员要素和资源要素的

组合方式在突破不同类型关键核心技术时具有不同的作用。突破可靠性关键核心技术所需的创新要素组合模式为面向市场应用的成长式创新要素组合，突破原理性关键核心技术所需的创新要素组合模式为面向技术研发的攻关式创新要素组合。前者更强调核心企业与用户联合攻关可靠性关键核心技术，高等院校等其他创新主体起辅助作用。后者则更强调核心企业与高等院校联合攻关原理性关键核心技术，用户等其他创新主体起辅助作用。这有助于弥补现有研究的不足，进一步丰富创新要素理论。

第三，本文搭建了后发企业通过创新要素组合突破两类关键核心技术的“双向链接”机制，如图5所示。本文指出，后发企业深度链接创新链研究开发环节的高等院校和市场应用环节的用户，并提出可靠性关键核心技术和原理性关键核心技术的突破是相辅相成的，突破关键核心技术的底层逻辑是在创新要素组合的作用下增强企业创新主体地位和提升技术创新能力。近年来，国家政策层面开始关注企业作为创新主体的价值，并再次强调技术创新能力的重要性，也有研究关注到技术创新能力和创新主体地位相互促进的关系^[3]，但对创新要素组合促进关键核心技术突破的过程缺乏足够的关注。本文指出，创新要素组合是通过增强企业创新主体地位和提升技术创新能力从而突破关键核心技术的重要机制，这为理解后发追赶情境下强化企业创新主体地位和提升技术创新能力提供全新视角。本文发现，聚焦于突破可靠性关键核心技术的成长式创新要素组合更加强调在政府支持下由核心企业外源化集聚创新要素，与用户在市场应用环节进行深度链接，贴近市场需求，强调市场竞争优势。聚焦于突破原理性关键核心技术的攻关式创新要素组合则更加强调在创新驱动下由核心企业内源化集聚创新要素，与高等院校在研究开发环节进行深度链接，贴近创新源头，强调技术底层原理。具体来看，企业通过成长式创新要素组合有助于增强企业前向链接的创新主体地位，在市场竞争中积累和迭代技术创新能力，通过攻关式创新要素组合有助于增强后向链接的创新主体地位，在技术研发中沉淀和进阶技术创新能力。这有效地推动企业组合创新要素，增强创新主体地位和提升技术创新能力。

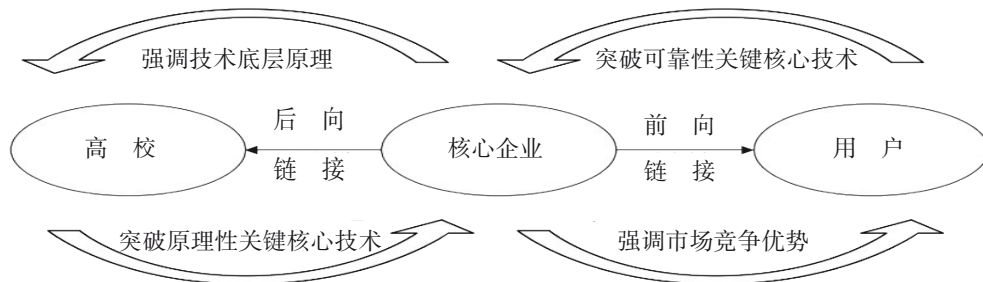


图5 后发企业通过创新要素组合突破两类关键核心技术的“双向链接”机制

(二) 研究启示

创新要素组合模式与关键核心技术类型的匹配是后发企业突破关键核心技术的关键。本文指出，突破不同的关键核心技术依赖不同的创新要素组合，需要依据目标选择不同类型的创新要素组合模式。本文的研究发现，政策要素对企业突破关键核心技术具有十分重要的意义。因此，政府应创造适宜的营商环境，激发企业家精神要素积极参与技术创新活动，为关键核心技术突破带来关键驱动力。具体而言，政府在可靠性关键核心技术突破方面应支持用户与企业成长，建立持续改进与数据积累机制；在原理性关键核心技术突破方面应加强基础研究投资、重视理论创新、强化校企合作。总之，为了在后发企业关键核心技术突破活动中更好地发挥核心企业链接创新和商业的作用，促进企业家精神要素引领集聚资源要素和成员要素，释放企业家精神要素的创新驱动力，应以企业作为创新主体，突出其创新主体地位以协调利用资源要素和成员要素。

此外,无论是以掌握技术原理为导向,还是以追求竞争优势为导向的关键核心技术,都具有研发周期长、投入大和风险高等特点,其突破离不开政府的整体布局与政策供给。政府可以制定突破关键核心技术的专项创新政策,为企业提供明确的创新方向和政策支持,同时提供资金支持,降低企业技术突破风险。政府也可以为企业搭建创新平台提供政策支持,推动创新要素集聚企业,鼓励高等院校、科研院所与企业之间的人才交流与合作,促进人才要素的跨界组合。这些政策措施能够为后发企业提供良好的创新生态环境并起到一定的竞争缓冲作用,降低后发企业突破关键核心技术的风险。政府还需要重视中国庞大的市场规模对技术创新的作用,激励企业在举国体制下充分满足本土市场需求。总之,在新型举国体制下,政府应支持企业作为创新主体开展技术创新活动,同时营造良好的技术创新环境。

(三) 未来方向

虽然本文对后发企业通过创新要素组合突破关键核心技术的机制进行了探讨,但仍然存在一一些不足之处有待在未来的研究中进行探讨。其一,本文选择地下工程装备领域的复杂产品企业为研究对象,其技术创新活动对政策的敏感度更高并且其产品具有较强的定制化特征,因而其他相对传统的复杂产品企业的关键核心技术突破活动可能会与本文的结论存在一定的差异。未来可以关注航空、船舶等其他复杂产品的关键核心技术突破实践或其他典型的复杂产品行业的技术创新活动。其二,本文没有比较中国后发企业与其他新兴市场后发企业的关键核心技术突破过程机制,未来可以研究更多情境下的复杂产品后发企业关键核心技术突破过程机制。

参考文献:

- [1] 约瑟夫·熊彼特. 经济发展理论[M]. 何畏, 易家详, 译. 北京: 商务印书馆, 1990: 15-38.
- [2] 卢现祥, 李磊. 强化企业创新主体地位 提升企业技术创新能力[J]. 学习与实践, 2021(3): 30-44.
- [3] 欧阳桃花, 曹鑫. 推动企业技术创新能力和创新主体地位——基于数字化资源视角[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版), 2023, 36(2): 115-123.
- [4] 田喜洲, 郭新宇, 杨光坤. 要素集聚对高技术产业创新能力发展的影响研究[J]. 科研管理, 2021, 42(9): 61-70.
- [5] 余泳泽, 刘大勇. 创新要素集聚与科技创新的空间外溢效应[J]. 科研管理, 2013, 34(1): 46-54.
- [6] HAGEDOORN J, CLOODT M. Measuring innovative performance: is there an advantage in using multiple indicators? [J]. Research policy, 2003, 32(8): 1365-1379.
- [7] MATHEWS J A. Competitive advantages of the latecomer firm: a resource-based account of industrial catch-up strategies[J]. Asia pacific journal of management, 2002, 19(4): 467-488.
- [8] 郑刚, 郭艳婷. 新型技术追赶与动态能力: 家电后发企业多案例研究[J]. 科研管理, 2017, 38(7): 62-71.
- [9] 吴晓波, 付亚男, 吴东, 等. 后发企业如何从追赶到超越? ——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): 151-167.
- [10] 黄江明, 赵宁. 资源与决策逻辑: 北汽集团汽车技术追赶的路径演化研究[J]. 管理世界, 2014(9): 120-130.
- [11] 江鸿, 吕铁. 政企能力共演化与复杂产品系统集成能力提升——中国高速列车产业技术追赶的纵向案例研究[J]. 管理世界, 2019(5): 106-125.
- [12] 路风. 冲破迷雾——揭开中国高铁技术进步之源[J]. 管理世界, 2019(9): 164-194.
- [13] 布莱恩·阿瑟. 技术的本质[M]. 曹东溟, 王健, 译. 杭州: 浙江人民出版社, 2018: 47-81.
- [14] KIM L. Stages of development of industrial technology in a developing country: a model[J]. Research policy, 1980, 9(3): 254-277.
- [15] HOBDAV M. Innovation in East Asia: the challenge to Japan[M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 1995.
- [16] 彭新敏, 郑素丽, 吴晓波, 等. 后发企业如何从追赶到前沿? ——二元性学习的视角[J]. 管理世界, 2017(2): 142-158.
- [17] 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.

- [18] 李明惠,雷良海,孙爱香.大企业集群核心技术自主创新的动力机制实证研究[J].科技进步与对策,2010,27(9):64-68.
- [19] 余维新,熊文明.关键核心技术军民融合协同创新机理及协同机制研究——基于创新链视角[J].技术经济与管理研究,2020(12):34-39.
- [20] 李显君,孟东晖,刘暉.核心技术微观机理与突破路径——以中国汽车AMT技术为例[J].中国软科学,2018(8):88-104.
- [21] 陶长琪,徐荣.经济高质量发展视阈下中国创新要素配置水平的测度[J].数量经济技术经济研究,2021,38(3):3-22.
- [22] 杨晨,周海林.创新要素向企业集聚的机理初探[J].科技进步与对策,2009,26(17):89-91.
- [23] HEBERT R F, LINK A N. In search of the meaning of entrepreneurship[J].Small business economics,1989,1(1):39-49.
- [24] 吴贵生,李纪珍,孙议政.技术创新网络和技术外包[J].科研管理,2000(4):33-43.
- [25] 沈必扬,池仁勇.企业创新网络:企业技术创新研究的一个新范式[J].科研管理,2005(3):84-91.
- [26] LICHTENTHALER U, LICHTENTHALER E. A capability-based framework for open innovation: complementing absorptive capacity[J]. Journal of management studies,2009,46(8):1315-1338.
- [27] 段婕,刘勇.基于因子分析的我国装备制造业技术创新能力评价研究[J].科技进步与对策,2011,28(20):122-126.
- [28] 宛群超,袁凌.创新要素流动与高技术产业创新能力[J].科研管理,2021,42(12):80-87.
- [29] 吴卫红,杨婷,张爱美,等.创新资源集聚对区域创新绩效的溢出效应——高校与高技术产业对比研究[J].科技进步与对策,2017,34(17):40-45.
- [30] 肖兴志,徐信龙.区域创新要素的配置和结构失衡:研究进展、分析框架与优化策略[J].科研管理,2019,40(10):1-13.
- [31] 张方华,陶静媛.企业内部要素协同与创新绩效的关系研究[J].科研管理,2016,37(2):20-28.
- [32] YIN R K. Case study research: design and methods[M]. Oxford: Blackwell Science,2013:52-90.
- [33] EISENHARDT K M. Building theories from case study research[J]. Academy of management review,1989,14(4):532-550.
- [34] EISENHARDT K M, GRAEBNER M E. Theory building from cases: opportunities and challenges[J]. Academy of management journal,2007,50(1):25-32.
- [35] YAN A, GRAY B. Bargaining power, management control, and performance in United States-China joint ventures: a comparative case study[J]. Academy of management journal,1994,37(6):1478-1517.
- [36] THOMAS G. How to do your case study[M].London: Sage Publications,2015:47-94.
- [37] GLASER B G, STRAUSS A L. The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research [M]. Piscataway, New Jersey: Transaction Publishers,2009:65-102.
- [38] KLEIN H K, MYERS M D. A set of principles for conducting and evaluating interpretive field studies in information systems[J].MIS quarterly,1999,23(1):67-93.
- [39] 韩书成,梅心怡,杨兰品.营商环境、企业家精神与技术创新关系研究[J].科技进步与对策,2022,39(9):12-22.
- [40] MILLER D, FRIESEN P H. Innovation in conservative and entrepreneurial firms: two models of strategic momentum[J]. Strategic management journal,1982,3(1):1-25.
- [41] LI J, OH C H. Research on emerging-market multinational enterprises: extending Alan Rugman's critical contributions [J]. International business review,2016,25(3):776-784.
- [42] BELL M, PAVITT K. Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries[J]. Industrial and corporate change,1993,2(2):157-210.
- [43] LEE K, LIM C S. Technological regimes, catching-up and leapfrogging: findings from the Korean industries [J]. Research policy,2001,30(3):459-483.

Breakthrough Mechanism of Key Core Technologies of Latecomer Firms: From the Perspective of Combination of Innovative Elements

ZENG De-lin¹, JIANG Li-qiu¹, OUYANG Tao-hua²

(1.School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2.School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191, China)

Summary: The combination of innovative elements is pivotal for achieving breakthroughs in key core technologies. However, existing literature inadequately explores the micro-level combination of innovative elements. Specifically, it fails to reveal the underlying mechanism driving breakthroughs in key core technologies for latecomer firms from the perspective of a combination of innovative elements. This paper takes the China Railway Construction Heavy Industry (CRCHI) as the subject. Employing an exploratory single case study, this paper gathers and analyzes data related to the development of shield machines by CRCHI.

This paper reveals the role of a combination of innovative elements in breakthroughs in key core technologies for latecomer firms. Results indicate that latecomer firms focus on reliability-oriented key core technologies and principle-oriented key core technologies. The required combinations of innovation elements of these two kinds of key core technologies are the growth-oriented one for the market application and the tackling-oriented one for the technology R&D. Furthermore, breakthroughs in these two types of key core technologies are complementary. The mechanism of the bidirectional link is the key to boosting the principal role of firms in innovation activities and enhancing their technological innovation ability.

This paper contributes to existing literature in the following three aspects. Firstly, this paper reveals the differences in the paths of latecomer firms breaking through different types of key core technologies. Secondly, this paper discusses the differences in the combination of innovative elements required to break through reliability-oriented key core technologies and principle-oriented key core technologies. This paper points out that entrepreneurial spirit elements, member elements, and resource elements play different roles in breaking through different types of key core technologies. Thirdly, this paper reveals the bidirectional link mechanism for latecomer firms to break through key core technologies, which provides a new perspective for understanding the strengthening of the principal role of firms in innovation activities and the improvement of technological innovation ability.

This paper, to a certain extent, reveals the internal mechanism of the combination of innovative elements in the process of breaking through key core technologies, which helps government departments create a suitable business environment and formulate corresponding innovation policies. It provides policy support for stimulating the innovation vitality of firms and provides suggestions for latecomer firms to break through key core technologies through the combination of innovative elements.

Key words: combination of innovative elements; key core technology; latecomer firm; complex product; case study

(责任编辑:徐雅雯)

[DOI]10.19654/j.cnki.cjwtyj.2024.05.008

[引用格式]曾德麟,蒋丽球,欧阳桃花.后发企业突破关键核心技术的机制研究——基于创新要素组合视角[J].财经问题研究,2024(5):105-117.