

复杂产品后发企业技术能力快速跃迁机制研究

——以铁建重工为例

曾德麟 蒋丽球 欧阳桃花 郑舒文

内容提要:复杂产品后发企业实现技术能力的快速跃迁是国家加速实现高水平科技自立自强的关键。本文围绕中国铁建重工集团股份有限公司突破盾构机关键核心技术的实践,通过探索性纵向单案例研究方法,探讨后发企业如何通过搭建合适的创新网络和开展相应的组织学习以促进技术能力快速跃迁。研究结果显示,复杂产品后发企业的技术能力跃迁伴随着关键核心技术突破,经历了跟随追赶阶段、跨越发展阶段和稳步领先阶段三个阶段。在三个阶段中,后发企业依次在“获得合法性-增强差异化-占据生态位”驱动因素的作用下,构建不同的创新网络模式即“依附互补式-边界融合式-交联渗透式”,并采取了相应的组织学习类型即“吸收利用式-转型组合式-协调探索式”。二者在匹配演进中推动后发企业逐步实现“集成能力积累-开发能力进阶-衍生能力跃迁”。本文的研究结论不仅拓展了创新网络与组织学习的理论边界,还对中国复杂产品后发企业实现技术能力的快速跃迁具有重要的启示意义。

关键词:能力跃迁 技术能力 复杂产品 后发企业 案例研究

中图分类号:F273.1

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2025)08-0113-17

一、问题提出

复杂产品作为高端制造业的核心和国民经济发展的基石,其技术创新水平影响着一个国家制造业的国际竞争力。然而,随着国际政治形势变化和贸易保护主义抬头,先发国家对关键核心技术密集的复杂产品行业进行技术封锁与制裁。这使得后发国家的相关企业即后发企业面临着“卡脖子”技术难题。在此背景下,中国复杂产品后发企业实现技术能力的快速跃迁显得尤为紧迫且关键:一方面,随着中国经济蓬勃发展,复杂产品的市场需求巨幅增加,为后发企业提供了绝佳的市场机遇;另一方面,复杂产品的技术创新高度依赖企业的技术能力^[1],而后发企业的技术能力远远落后于先发企业,如果中国后发企业的技术能力无法快速跃迁至行业领先水平,将极大可能错失占领新兴市场的机会窗口^[2],甚至在与先发企业的技术竞争

收稿日期:2024-12-09;修回日期:2025-07-14

基金项目:国家社会科学基金一般项目“复杂产品市场中后发企业超越追赶的最优区分模式研究”(24BGL035)

作者简介:曾德麟 北京交通大学经济管理学院副教授,北京,100044;

蒋丽球 北京交通大学经济管理学院硕士研究生;

欧阳桃花 北京航空航天大学经济管理学院教授,通信作者,北京,100083;

郑舒文 中国民航管理干部学院讲师,北京,100102。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

中陷入技术追赶陷阱^[3]。在外部技术封锁和内部成长需求的压力下,复杂产品后发企业如何实现技术能力快速跃迁以成为行业领导者?

实现技术能力的快速跃迁是后发企业能够快速赶超先发企业的关键^[4],但技术能力并非企业既有特质,而是企业在技术创新活动中通过积累和沉淀技术知识,由组织内生的具有经验性质的表现^[5]。据此,后发企业通常可以通过组织学习来获得、创造和传播知识^[6],从而提升技术能力。然而随着市场扩展,技术知识呈现分散化分布态势,后发企业仅依靠源于组织学习的内生式创新已难以充分挖掘技术知识、获取技术能力。此时,构建创新网络以拓展知识搜索范围,实现创新的内生与外生兼顾,是实现技术能力跃迁的必由之路^[7]。可见,组织学习和创新网络会影响后发企业技术能力,然而,随着复杂产品后发企业技术追赶环境愈加严苛,后发企业获得外生技术的难度越来越大^[8],其创新网络和组织学习可能会发生阶段性演变。后发企业如何通过搭建合适的创新网络 and 开展相应的组织学习来促进技术能力快速跃迁仍有待研究。

已有研究大多表明创新网络和组织学习会影响企业的创新绩效^[9-10]。例如,有研究认为企业在创新网络中的位置会对创新活动产生影响,不同的网络位置意味着获得新知识的机会不同,进而对创新活动产生影响^[11]。也有研究关注到组织学习对创新活动的影响^[12],但这些研究往往只关注企业采用的组织学习的阶段性特征或者组织学习作为中介变量对创新绩效的影响。整体来看,受制于研究情境的稀缺性,当下研究多关注后发企业嵌入创新网络后的网络结构特征以及创新网络对创新绩效的线性影响。然而,技术能力跃迁是一个动态非线性过程,已有研究尚未充分揭示复杂产品后发企业技术能力快速跃迁的过程机制。

针对上述理论研究缺口,本文以创新网络和组织学习为理论依据,聚焦于中国复杂产品后发企业如何实现技术能力的快速跃迁这一核心问题。具体选择中国地下机械装备的典型企业中国铁建重工集团股份有限公司(下文简称“铁建重工”)为案例分析对象。成立于2006年的铁建重工在短短十九年内迅速崛起,跻身全球盾构机行业前列,改写了中国盾构机长期依赖进口的历史,是复杂产品后发企业技术能力快速跃迁的典型代表。基于此,本文通过探索性纵向单案例研究方法,剖析铁建重工在不同阶段的创新网络模式、组织学习方式以及技术能力快速跃迁的轨迹,主要的理论贡献在于从微观企业层面打开了创新网络和组织学习匹配演化促进技术能力快速跃迁的过程黑箱,为理解技术能力快速跃迁提供了新的理论支撑。这一研究不仅有助于拓展技术能力相关的理论研究,而且为中国复杂产品后发企业实现技术能力的快速跃迁和突破关键核心技术提供了重要的实践指导,有助于推动中国制造业的创新发展。

二、文献综述

(一)复杂产品与后发企业技术能力

复杂产品指高成本、高价值、工程密集型的资本产品、控制系统、网络和设施^[13],其中,高速列车、商用飞机、盾构机等是典型的复杂产品。后发企业指的是以追赶为主要目标而初始资源匮乏的后进企业^[14]。由于与先发企业存在巨大的技术势差,后发企业在复杂产品创新中面临着双重挑战:不仅要面对先发企业凭借技术专利、稀缺资源等显性资源构筑的明显的进入壁垒,还要应对先发企业凭借技术诀窍和市场声誉等隐性资源构筑的隐性的进入壁垒^[15]。因此,后发企业在缺乏先发企业积累的技术经验和专业知识的条件下,不仅要从零开始建立和发展技术能力,还要承担巨大风险和突破资源限制来克服市场竞争压力。

技术能力指的是有效地使用技术以消化、利用、适应和改变现有技术的能力,有助于创造新技术、产品和工艺^[6]。从知识视角来看,技术本质上是知识的集合,因此技术能力也被认为是服务于技术创新目标,附在企业人员、设备、信息和组织中的内生知识存量的综合^[16]。在企业发展过程的不同阶段,其技术能力会逐渐演化^[17]。随着技术能力理论的发展,现有研究开始重视特定技术能力对技术创新的作用。以往研究认

为后发企业在技术追赶初期一般只会改进和创新特定局部产品系统,没有机会在产品系统层次进行技术学习^[18]。对于复杂产品行业而言,后发企业需要广泛搜索和整合技术知识,实现高效灵活的模块分包和模块集成方案,提升复杂产品的创新绩效^[19],即企业具备了集成能力。当复杂产品后发企业积累了一定的技术知识之后,会进行创造性模仿和创新性改进,进而可能出现渐进式创新^[20],即企业具备了开发能力。例如,企业会开展创造式技术重构和精炼式技术重构^[21],前者指的是以全新的方式组合现有技术,后者指的是改进现有技术组合以适应新的环境。产品设计能力也是一项重要的能力^[22],有助于从用户视角出发满足用户的一致性需求和掌握产品设计主导权。企业可以通过持续整合技术知识,不断衍生开发技术性能更高、适用性更强的产品系列^[23],持续迭代创新产品,即企业具备了衍生开发能力。

在复杂产品突破关键核心技术的相关研究中,有研究以特变电工为案例对象分析了制造业领军企业在培育关键核心技术持续创新能力的关键要素^[24],也有研究剖析了支撑技术突破的要素以及关键核心技术创新能力的演进过程^[25]。虽然已有研究关注到了技术能力对关键核心技术突破的作用,但仍然缺乏对技术能力跃迁的前置作用因素的探讨,尤其是对复杂产品后发企业在多重困境中如何实现技术能力的快速跃迁这一问题没有给出解答。

(二) 创新网络与组织学习

创新网络是依赖企业间的协同创新关系以应对系统创新的一种具有非正式和隐含性关系特征的基本制度安排^[26]。一般而言,复杂产品创新依赖供应商、核心企业、用户、政府、金融机构等多主体搭建起创新网络以获取异质性资源。现有关于创新网络的研究主要关注创新网络的结构特征以及合作模式等内容。例如,现有研究基于结构洞、网络嵌入等经典理论探讨网络位置对创新活动的影响。不同的结构特征对开放式创新绩效的影响不同^[27],占据结构洞位置的企业能够获得更多资源交换的机会致使其创新绩效和创新能力等有所提升^[28],也有研究探讨企业如何选择合作伙伴和调整网络结构^[9]。

复杂产品的特殊属性决定其技术创新需要在创新网络中开展,因而其创新过程实质上是核心企业组织和协调创新网络进行创新、利用技术知识和市场需求来推进创新的过程^[29]。然而,搭建创新网络并不足以确保企业成功实现技术创新,组织学习才是企业得以持续推进技术创新的内生性行为^[30]。组织学习指的是组织感知到外部环境的不确定性进而更改决策和改变行为来适应环境的反复循环过程^[31]。已有研究认为组织学习是企业吸收利用内外部资源的内生动力,有助于组织提升竞争优势。组织学习的模式依据不同的标准分为不同的类别。从创新程度来看,组织学习可分为维持型学习、适应型学习、过渡型学习与创造型学习^[32]。最经典的划分方式是将组织学习分为利用式学习和探索式学习^[33]。利用式学习强调的是对现有能力、技术等改进、提高和拓展,而探索式学习强调的是尝试发展新的能力。该分类认为由于组织资源的稀缺性,上述两类学习是连续图谱的两端而很难实现兼顾。但近年来一些研究发现在具有丰富资源的创新网络中,组织所需资源并不稀缺,上述两类学习有望在创新网络中实现二元平衡^[34-35],并逐步适应复杂环境的变化^[36]。在此基础上,不少学者将创新网络与组织学习作为理论依据,展开了一定探讨,大致可分为三类:第一类将组织学习作为中介变量,重点探讨创新网络结构对产品创新的影响^[37];第二类把组织学习作为自变量,探讨其在创新网络环境中的动因、障碍以及对企业创新能力的影响^[38-39];前两类更多的是基于定量研究的探讨,而第三类则多是从案例研究出发,先后探讨了二者在企业并购行为、二次创新动态过程、技术追赶过程、突破性技术创新过程中的演化模式^[40-43]。这为本文选择二者作为理论基础提供了较为成熟的参考。

总体来看,组织学习和创新网络是由来已久的经典理论,将组织学习引入创新网络中进而回应“复杂产品后发企业何以实现技术能力跃迁”这一关键问题具有一定的理论必要性和可行性。以往研究虽已关注到组织学习和创新网络对于后发企业技术追赶的重要性,但相关研究多聚焦后发企业对创新网络的“嵌入性”探讨,却

忽视了后发企业亦具有自主构建创新网络的能动性。由此不仅难以客观展现复杂产品后发企业构建创新网络 and 开展组织学习的动态演化过程,也难以充分诠释后发企业技术能力跃迁的独特路径机理。因此,考虑到鲜有研究从微观的企业层面揭示作为创新主体的企业如何搭建创新网络 and 开展组织学习以促进技术能力快速跃迁的过程机制,本文拟从创新网络和组织学习的演化来打开技术能力快速跃迁的过程黑箱。

三、研究设计

(一) 研究方法

本文采用探索性纵向单案例研究方法,原因包括:(1)本文旨在研究复杂产品后发企业如何实现技术能力快速跃迁,关注的是技术能力快速跃迁的过程,而案例研究方法十分适合回答过程类问题;(2)本文关注复杂产品后发企业不同阶段的创新网络和组织学习对技术能力快速跃迁的作用机制,已有文献尚未对本文的研究问题提供详细的解释,加上案例对象较为典型和独特,因此采用探索性案例研究方法有助于深度把握研究对象动态变化的内在机理,建立和拓展现有理论体系^[44-45];(3)本文以丰富的数据作为基础,通过纵向单案例研究有助于揭示一个有代表性的、典型的案例内部复杂结构的具体属性,得到的结论也有助于加深对同类事件、事物的理解^[46]。

(二) 案例选择

铁建重工成立于2006年,总部位于湖南长沙,隶属于世界500强企业中国铁建股份有限公司,是世界一流的集高端地下装备和轨道设备研究、设计、制造、服务于一体的大型专业化集团。其具有代表性的产品是被广泛应用于各个省份的地铁、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, TBM)。铁建重工的前身是中铁轨道系统集团有限公司,主营道岔等产品,后来在政策导向和市场需求的激励下,开始进入盾构机领域。最初,德国、美国、日本等国家的盾构机占据了90%以上的市场份额。铁建重工在国外技术封锁和国内资源约束的情况下,几乎从零开始,在短短的4年时间内成功研发出具有自主知识产权的盾构机。此后不断推出新产品、新工法、新工艺,打造了轨道系统、盾构机、隧道施工装备三大成熟产业板块,成长为全球领先的盾构机制造商。目前,铁建重工位列中国工程机械专业化制造商10强第1位,全球隧道工程装备制造制造商5强第1位,国内的市场占有率在90%以上,全球的市场占有率为三分之二。

遵循案例研究对象需要具有典型性和代表性的原则^[46],本文选择铁建重工作为案例研究对象,主要出于两方面的考虑:一方面,铁建重工在短短的十九年内从零起步突破了多项盾构机关键核心技术并且转变为全球领先者。为什么铁建重工在缺乏技术积累的情况下能够成长为全球领先的盾构机制造商?其如何实现技术能力的快速跃迁?这些问题值得进一步探索分析,铁建重工的成功实践对于更广泛复杂产品后发企业具有典型的借鉴意义。另一方面,铁建重工作具有较强的代表性。铁建重工位列全球隧道工程装备制造制造商5强第1位和中国工程机械专业化制造商10强第1位,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,在高端地下装备行业中具有较强的影响力。

(三) 数据收集

本文通过收集来源于多种渠道的数据,确保数据资料之间的三角验证。具体来看,本文的数据包括通过半结构化访谈、参与观察等收集的一手数据,以及通过书籍、企业官网、新闻报道、行研报告、企业内部资料、宣传资料等获得的二手数据。

深度访谈是本文关键的数据来源。在调研前,研究团队从铁建重工官网、书籍等渠道收集二手数据,并阅读与盾构机和铁建重工相关的资料,梳理出关键事件,归纳其突破关键核心技术的节点,确立案例主线。

研究团队于2019年10月实地调研铁建重工,获取了丰富的一手数据。调研采用开放式半结构化访谈形式,对铁建重工的企业高管、熟悉关键核心技术的研发人员、制定人才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和录音记录,累计访谈时长504分钟,录音稿13.21万字。此后,研究团队于2022年8月5日、8日在线对铁建重工进行访谈,访谈时长219分钟,录音稿4.5万字,之后持续与铁建重工部分管理人员保持沟通并于2024年6月再次前往铁建重工补充、更新调研资料近5万字。调研团队还通过参与观察来获得相关数据,并且在数据收集和分析过程中,继续查阅相关书籍和企业官网等方式获取相关数据。

(四) 数据分析

本文的数据分析包括以下两方面的工作:

第一是阶段划分。考虑到阶段划分主要依据引起研究主题相关概念显著变化的关键事件展开^[47],因此本文系统梳理引起铁建重工技术能力跃迁的关键事件,按照架构技术突破、关键零部件技术突破以及技术标准话语权掌握的实践逻辑及其背后的技术能力变化情况,将铁建重工突破盾构机关键核心技术的发展历程梳理为三个阶段:跟随追赶阶段(2007—2014年)、跨越发展阶段(2015—2018年)和稳步领先阶段(2019年至今)。具体来看:第一阶段起步于铁建重工成立并开启盾构机研制,结束的标志性事件是2014年国产首台TBM下线,这标志着中国通过逆向工程和正向设计结合,掌握了盾构机面向整机的架构技术即对各物理部件的分解与连接^[48],形成适用于中国复杂地质的自主架构体系,打破了德、日企业的垄断。随之而来的是进入第二阶段即关键零部件技术突破,该阶段的起步可追溯至2015年开启主轴承国产化攻关,结束的标志性事件是2018年研制出全球最大直径(15.08米)泥水平衡盾构机,为此先后突破了“主轴承-液压-电控”三大关键零部件瓶颈,相关自主化率从30%提升至90%,成本降低40%。之后进入第三阶段即以技术优势掌握国际标准话语权,该阶段的起步主要表现为2019年开始参与国际标准制定,随后逐步掌握行业规则制定主导权并开始向绿色创新转型,这一阶段一直持续至今。以上信息均得到了受访者的确认,如图1所示(转折点事件见下划线)。

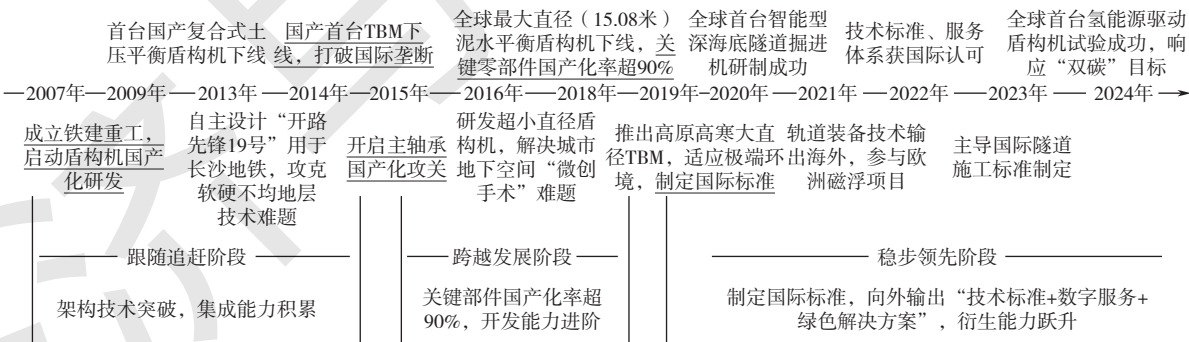


图1 铁建重工突破盾构机关键核心技术的关键阶段

第二是数据标记与编码。在数据编码之前需对数据进行分类和初步标记,即:按照访谈人员类别将一手资料分别用A—D进行标记,下角标为该类别中不同的人员,如企业高管总计访谈5人,每人的访谈记录对应一个标记即 $A_x (x \in 1, 2, 3, 4, 5)$;另外将二手资料按照相应类别分别用E、F、G进行标记。在此基础上,本文采用乔亚等(Gioia et al., 2010)^[49]提出的方法进行归纳式数据编码。首先,初步筛选和整理数据,提取出关键词,将内容相同或意思相近的关键词合并从而得到一级编码。例如,根据原始数据“我们的初心就是打破先发国家对盾构机技术的垄断,做出具有自主知识产权的产品(A_2)”“原始创新不一定是在全世界都没有的背景下作创新,也可以是在国外有了但我们没有的背景下依靠自己的力量进行创

新(B₁)”得到“原始创新”这个一级编码,以此类推得到“差异化竞争”等一级编码。其次,比较一阶编码结果并依据理论内涵对一级编码进行归类后得到二级主题。二级主题既有可能源自现有文献表述,如“战略定位确立”“正向开发设计”^[50],也有可能源自研究设计中的一个新概念,如“网络成员搜寻”“技术知识拼凑”。最后,继续不断比较证据和涌现出的理论,参照创新网络、组织学习、技术能力等相关文献,进行分析以逐步明确所涌现的理论模式,将二级主题凝练为聚合维度,最终得到的数据结构如图2所示。



图2 数据结构

四、案例分析

(一)复杂产品后发企业创新网络模式选择

由于复杂产品的高度复杂性以及模块集成性,其技术创新过程依赖创新网络的有效搭建和高效运作,并且后发企业在技术突破过程中的每个阶段面临的困难以及具备的条件存在差异,创新网络就会产生动态演变。经过数据编码和案例证据的梳理,本文发现复杂产品后发企业在关键核心技术突破的不同阶段依次构建依附互补式创新网络、边界融合式创新网络和交联渗透式创新网络。

1. 跟随追赶阶段搭建依附互补式创新网络

对于关键核心技术密集的复杂产品行业而言,后发企业需要突破壁垒获得组织合法性^[51],即后发企业需要克服自身在技术、品牌、用户等方面的劣势,缓解外部压力,以维系企业生存与发展。研究发现,在跟随追赶阶段,后发企业可以通过搭建依附互补式创新网络来应对尖锐的资源劣势、极高的技术壁垒和较强的市场排斥,从而获得合法性。具体来看,铁建重工在跟随追赶阶段主要通过战略定位的确立、网络成员搜寻等方式搭建依附互补式创新网络。

企业在制定创新战略时需要充分考虑自身经营目标和技术水平,以及行业技术发展情况,以确保资源适配。铁建重工在进入盾构机行业之初,不仅面临国内市场对盾构机的大量需求,还面临着国外先进盾构机制造商严守盾构机核心技术机密的局面。为破解这样的困境,铁建重工坚持高起点经营^[52],通过差异化战略确立了自己的战略定位。具体来看,铁建重工主要聚焦于产品差异化和市场差异化两个方面来实现自主创新。在产品差异化方面,铁建重工专注于研发差异化、定制化的创新产品,为客户量身定制专业化盾构机并且提供个性化服务。在市场差异化方面,铁建重工瞄准本地的缝隙市场,明确研制的产品在国内市场的占有率要跻身前两名,进而获得客户认可的市场合法性。基于盾构机高度定制化的特征,铁建重工充分利用其在长沙开展试验得到的地质数据,开拓具有较强发展潜力但未被满足的本地市场,并寻找市场契机,研制出能满足目标缝隙市场需求的盾构机。

企业在构建创新网络时需要着力提升创新网络成员的知识多样性和资源互补性,从而实现更高的资源重组成效^[53]。铁建重工在尝试构建创新网络时,面临着技术人才缺乏和用户信任不足的难题。因此它通过技术端吸纳创新人才和在用户端筑牢本地基础来吸纳网络成员以构建起初步的创新网络。在技术端,铁建重工十分重视人才引进和创新激励。铁建重工董事长仔细调查研究国内隧道工程领域的人才情况,以十分的诚意与相关人才洽谈,吸纳来自不同领域背景的技术人才。此外,铁建重工在人才激励政策方面敢于创新,打破国有企业的惯例,给出高额的工资和具有吸引力的职位。在用户端,铁建重工抓住长沙地铁招标的契机,充分发挥其对本地市场需求具有一定熟悉度的优势,获得了长沙轨道交通集团的认可和支持。在中标长沙地铁标段后,铁建重工深入施工现场,注重用户需求和产品使用体验,不断改进产品,最终通过优质服务构建起品牌形象,初步获得了市场认可。

2. 跨越发展阶段搭建边界融合式创新网络

后发企业在初期可以利用其了解本土市场需求的优势获得一定程度的发展,但其并不具有来自技术供给端的创新优势^[14]。为突破更加复杂的技术,后发企业需要通过重构创新网络来整合相关技术知识,进行创新性改进,进而开展渐进式创新^[20],研制出差异化的产品,占据更大的市场份额。研究发现,在跨越发展阶段,后发企业可以通过搭建边界融合式创新网络来应对资源获取整合以及创新网络重构的双重困难。具体来看,铁建重工在跨越发展阶段主要通过网络资源撬动、网络成员连接等方式搭建边界融合式创新网络。

对于后发企业而言,有效地获取和利用外部资源来拓展其生产网络有助于其在创新网络中获得领导地

位^[54]。为了在创新网络中提升自身话语权并且持续提升差异化竞争优势,铁建重工从利用政策支持和整合多元化资源两个方面撬动网络资源。在利用政策支持方面,铁建重工抓住了政府提供支持性和保护性制度的机会窗口。借助国家对盾构机自主研发的政策支持,以铁建重工为代表的国内盾构机制造商迅速崛起,增强了本土盾构机制造商产业报国的信心和决心,同时培育了一批盾构领域的人才。在整合多元化资源方面,铁建重工通过集聚创新网络中来自用户、高等院校等的资源来助力突破盾构机关键核心技术。例如,铁建重工整合利用中铁十八局的知名度和工程资源,成功中标引松供水工程总干线二标 TBM。铁建重工还与浙江大学、中南大学等合作来整合利用技术原理知识,共同突破了大直径 TBM 电液控制系统设计与集成技术等关键核心技术。

后发企业连接更多的网络成员有助于其通过建立积极的合作关系获得创新网络的优势,实现知识共享、降低交易费用等^[15]。因此,为了从吸附和依赖外部资源转向自主整合内外资源,铁建重工进一步增加高等院校、科研院所、用户等创新网络支点,实现互补式协作。为了成功突破 TBM 关键核心技术,铁建重工主要联合施工企业开展试验以完善盾构机功能,联合高等院校、科研院所等研究盾构机底层原理。一方面,铁建重工与施工企业合作,通过深入施工现场获得盾构机故障预测和修复数据以及用户对盾构机功能设计的真实需求。例如,中铁十八局在加工工艺、测试方法等方面为铁建重工提供技术建议,帮助铁建重工针对引松供水工程距离长、通风差、多破碎带等特点提前设计改进方案。另一方面,铁建重工还注重与具有深厚科学技术知识积淀的高等院校和科研院所等合作,加速技术创新的步伐,增强了产品的差异性。例如,铁建重工与浙江大学、天津大学等共同研发大直径泥水平衡盾构机用于高铁隧道挖掘工程,还与中水北方勘测设计研究有限责任公司等合作研发“大埋深、可变径”的大直径敞开式 TBM。

3. 稳步领先阶段搭建交联渗透式创新网络

随着后发企业与先发企业的技术差距逐渐缩小,其在创新网络中的生态位置也随之改变,对创新网络的影响力增强^[53]。然而,虽然后发企业基于前期的技术创新活动已经掌握了相对成熟的技术,逐渐靠近创新前沿,但是由于距离全球技术创新中心较远以及与国际市场具有隔离屏障^[55],后发企业会面临技术瓶颈期。研究发现,在稳步领先阶段,后发企业通过搭建交联渗透式创新网络来打破与国际市场的区隔,占据有利的生态位。具体来看,铁建重工在稳步领先阶段主要通过内外协调布局和网络成员赋能搭建交联渗透式创新网络。

随着创新网络成员的交互依赖关系发生演化,后发企业会跨越边界搭建起组织内部和外部以及国内和国外一体化发展的创新网络,通过国际化实现技术的进一步跨越^[56]。具体来看,在内外协调布局的过程中,铁建重工一方面在国内开拓更多工程领域的市场,另一方面积极开拓国外市场以争取国际领先地位。从开拓本地市场方面来看,铁建重工持续进行技术创新和产品开拓,与更多新领域的专业用户合作,夯实其在国内盾构机市场的地位。例如,铁建重工与中国水利水电三局等联合研制的用于输水隧道挖掘的斜井敞开式 TBM 攻克了世界级工程地质难题。从开拓国际市场方面来看,铁建重工通过连接国外盾构机用户和借助国内施工企业来扩大市场。例如,铁建重工邀请印度客户到铁建重工参观生产线和了解实际施工情况,最终拿到来自印度的订单。铁建重工还联合中铁十六局拿到了莫斯科地铁的订单,并针对盾构机在极寒条件下的运作需求对盾构机进行了特殊设计,突破了更多的关键核心技术。

在稳步领先阶段,随着创新网络节点的增加,铁建重工开始参与制定技术标准以掌握话语权。铁建重工凭借在创新网络中积累整合的有关 TBM 的技术资源,以及其具有的国内领先甚至国际领先的地位,得到了主编技术标准的机会。高校、科研院所等技术创新源头帮助铁建重工积累有关参数、设计数据等关键技术知识资源,间接帮助铁建重工建立对掘进机的技术要素的认识。此外,在与用户的合作中,铁建重工得到技术迭代升级的机会,获得大量数据,这些数据的积累使得铁建重工在制定技术标准时能够综合考虑多方

面的因素。铁建重工还迎合智能化时代的浪潮,将先进制造技术与数字化转型融合起来,将自身定位为制造服务型企业。例如,在高校、科研院所等的通力合作和用户的支持下,铁建重工设计了能够远程控制自动规划施工作业的凿岩台车和扫描仪等智能化装备。

(二)复杂产品后发企业组织学习方式演变

技术知识的获取是后发企业提升技术能力的基础条件,而后发企业能否快速缩小与先发企业的技术差异的关键在于后发企业能否开展组织学习。由于后发企业在不同阶段面临着不同的技术势差和学习目的,其组织学习方式也会动态变化。经过数据编码和案例证据的梳理,本文发现复杂产品后发企业在关键核心技术突破的不同阶段会依次开展吸收利用式学习、转型组合式学习和协调探索式学习。

1. 跟随追赶阶段开展吸收利用式学习

后发企业构建创新网络的核心目的不只是搜寻异质性知识和互补性资产,更是为了积淀技术知识^[57],积累企业内部的技术要素。研究发现,在跟随追赶阶段,铁建重工主要通过逆向测试开发和技术知识拼凑等方式开展吸收利用式学习。

在先发企业建立的技术轨道上进行模仿和学习是后发企业能够以较低的成本提升技术能力的方式之一。由于技术知识基础薄弱,后发企业往往以模仿学习为起点,旨在能够生产在功能上与先发企业的产品相似的产品,逆向掌握先发企业的技术规范^[50]。因此,后发企业模仿参照对象和确定技术知识搜寻范围,有助于其在技术追赶的早期积累技术知识和提升技术能力。在跟随追赶阶段,铁建重工组织技术研发人员拆解此前购买的两台国外盾构机,掌握盾构机整机的整体架构样式以及模块构成。之后,铁建重工尝试生产零部件,反复组合与检测,直到可以组装成完整的盾构机。经过数千次的反复拆装重组和试验,铁建重工生产的盾构机可以在实验室测试阶段实现国外盾构机的功能。为了确保盾构机整机功能的实现,铁建重工与用户合作,将整机运用到施工环境中,依据实际地质情况和用户需求,识别盾构机整机的关键核心技术难点并提出应对方案。经过无数次的整机拆解、模块组装以及工程试验,铁建重工构建起对盾构机整机架构设计的理解,积累了丰富的技术知识。

虽然后发企业的技术基础薄弱,但其可以利用外部技术知识来提升技术能力和积累技术知识,开展利用式学习^[33]。因此,为了有效利用技术知识,在跟随追赶阶段,铁建重工通过利用外部知识和积累内部要素两个方面来实现技术知识拼凑。从利用外部知识方面来看,铁建重工在理解盾构机市场技术规则的基础上,搜寻和利用外部技术知识。铁建重工与具有丰富施工经验的用户合作,这些用户不仅在施工领域对地质条件和盾构机功能需求等认识清晰、理解深入,还主动学习盾构机技术知识。例如,铁建重工联合中铁十四局对于大直径泥水平衡盾构机的掘进技术进行研究,从订购德国盾构机开始,派40多名专门人员全程跟进,熟悉盾构机的制造和组装流程。此外,铁建重工还直接聘请外部专家,获得专业的指导和咨询意见,促进铁建重工内化技术知识,从而在产品设计方面更有把握。从积累内部要素方面来看,铁建重工不断进行组织学习,在企业内部积累技术知识。例如,在初期,铁建重工派相关技术人员到英国工厂参观学习,在参观学习期间,技术人员考察记录盾构机的结构数据,搜集国外公开出版的盾构机资料,构建起对盾构机设计制造的理解。

2. 跨越发展阶段开展转型组合式学习

在后发企业利用、吸收外部技术知识形成一定的技术能力后,后发企业会面临新的市场需求变化以及技术升级挑战。后发企业需要进行探索性转变以及重构系统^[8]。为了持续增强自身技术能力,后发企业还需要增加探索性技术创新活动,开展探索性组织学习^[33]。研究发现,在跨越发展阶段,铁建重工主要通过技术重构创新和技术知识耦合开展转型组合式学习。

在跨越发展阶段,铁建重工主要进行了创造式和精炼式技术重构。一方面,铁建重工突破原有的技术

轨迹,以全新的方式链接技术,实现创造式技术重构和技术能力不断进阶。例如,铁建重工创新性地提出将土压平衡盾构机和TBM集合到一台设备,首创了在线模式转换技术,解决了实际隧道施工中同时挖掘软硬岩的问题。另一方面,铁建重工在既有技术轨迹中改进提升已有的技术连接方式,实现精炼式技术重构。在研制应用于引松供水工程的盾构机时,铁建重工对硫化技术工艺进行了改进,将硫化时间从20小时缩短到4个小时之内。

当企业的技术知识与创新网络的技术知识偏向异质时,企业会在吸收外源技术知识的同时在内部进行技术探索以提升技术能力^[58]。铁建重工主要通过匹配外部知识和探索内部知识两个方面来实现技术知识耦合。从匹配外部知识方面来看,铁建重工寻求互补性技术知识,开展技术探索。铁建重工通过与用户、高等院校联合来获得有关盾构机的应用技术知识和理论技术知识。从探索内部知识方面来看,铁建重工进行技术重构,在企业内部开展大量的技术攻关活动。在跨越发展阶段,铁建重工持续承接国家级课题,在课题的支撑下持续攻克了诸多关键核心技术。例如,在承担国家级课题期间,铁建重工研制出TBM支撑推进换步系统,成功验证了推进换步工序顺应性控制理论的可行性。

3. 稳步领先阶段开展协调探索式学习

随着企业技术能力的提升和市场开拓的增加,后发企业对技术知识的搜寻范围逐渐转向全球。虽然搜寻利用本地的技术知识有助于后发企业降低技术知识搜寻成本,但是为了更加接近技术前沿以及打造全球品牌,后发企业需要进行跨国知识搜索,在新的技术场域进行技术探索^[59]。研究发现,在稳步领先阶段,铁建重工主要通过正向设计开发和技术知识共享等方式开展协调探索式学习。

在稳步领先阶段,产品设计的逻辑主要以正向设计为主,企业以用户需求为基本出发点,基于不同的市场需求构建对产品设计和功能需求关系的理解^[50]。由于用户需求的多变性和多样性,正向设计要求后发企业不仅需要依据用户需求调整产品功能,扩展产品种类,还需要在没有技术研发参照的情况下,主动搜寻需要的技术知识来开展技术创新活动。在稳步领先阶段,铁建重工通过贴近用户需求和鼓励技术试错来正向设计开发盾构机。从贴近用户需求方面来看,铁建重工通过不断与国内外用户沟通来获得有关技术迭代升级的灵感和想法。用户需求的异质性使得铁建重工可以在不同的工程项目中有技术探索的新机会,用户需求信息及时地反馈到铁建重工,铁建重工就可以不断地调整与创新产品,进而发现技术难点和解决方法,提高了其技术学习效率和能力。从鼓励技术试错方面来看,铁建重工鼓励技术研发人员大胆进行正向设计,进行颠覆性技术创新,探索关键核心技术前沿,积累足够的经验和数据。铁建重工还通过营造开放的企业文化和设置相应的人才激励机制来确保技术研发人员能够进行颠覆性技术创新。

创新网络成员之间的沟通有助于实现技术知识的转移,尤其有助于促进隐性技术知识的交流,从而促进后发企业创造新知识^[60]。为了更好地促进关键核心技术的研究,后发企业需要协调主导创新网络成员来实现技术知识的共享。在稳步领先阶段,铁建重工扮演着创新网络协调主导者的角色,通过科研平台搭建和技术人才培养来实现技术知识共享。在科研平台搭建方面,铁建重工作为牵头单位,与高校、科研院所、上下游企业等在国家政策的大力支持下,联合突破了多项盾构机关键核心技术,通过技术转让、开发、攻关等共建平台和共享平台,建立了长期的合作关系。在技术人才培养方面,铁建重工与高校等签订产学研合作协议,与三十余所大学建立了长期合作关系,共同培养地下隧道掘进装备的技术创新人才。

(三) 复杂产品后发企业创新网络和组织学习促进技术能力快速跃迁

通过对铁建重工进行案例研究后发现,复杂产品后发企业在跟随追赶阶段、跨越发展阶段和稳步领先阶段不同的创新网络模式和组织学习方式共同作用促进技术能力提升,逐渐实现集成能力积累、开发能力进阶和衍生能力跃升。

1. 集成能力积累

由于技术基础薄弱,后发企业在初期一般进行技术模仿学习。然而,对于复杂产品行业而言,后发企业除了进行技术模仿创新,还要学习复杂产品的架构设计,积累集成能力,以能够掌握不同部件之间的连接关系,最终能够组装整机^[61]。因此,后发企业在跟随追赶阶段最关键的是要积累集成能力。在跟随追赶阶段,铁建重工积累了重要的集成能力。一方面,铁建重工通过逆向开发的方式整合和利用外部技术,掌握盾构机整机架构模块的连接设计。另一方面,铁建重工与本地施工用户合作,依据用户需求对盾构机进行了一定程度的概念设计和技术开发工作。在这个过程中,铁建重工能够对盾构机整机设计的产品开发流程和相关技术具有全局的把握,培养了集成能力。

2. 开发能力进阶

当后发企业积累了一定的技术知识之后,为了适应动态变化的市场,后发企业会改进产品。在跨越发展阶段,后发企业需要提升其技术开发能力。这时企业已经积累了有关产品制造、生产诀窍等技术知识,在内部技术知识存量增加的基础上,后发企业可以通过转型组合式学习来探索开发新的产品。在跨越发展阶段,铁建重工具备了较强的开发能力。一方面,铁建重工通过与高校、科研院所、用户等开展探索性技术学习活动,促进了不同来源的技术知识的耦合。另一方面,铁建重工专注于盾构机关键部件的创新,以局部创新带动全局创新,通过探索更加复杂的关键核心技术,在利用外部技术的同时培养了内部的技术开发能力。

3. 衍生能力跃升

随着企业跨边界构建创新网络 and 开展组织学习,企业的技术能力大幅提升,逐渐构建起产品平台^[62],为实现技术迭代升级和建立产品系列提供可能^[20]。在稳步领先阶段,铁建重工在技术创新方面的衍生能力大幅提升。一方面,铁建重工快速迭代技术,持续开展探索性技术学习,促进不同来源的技术知识的共享,推出多品种多代际产品^[63]。例如,铁建重工作为牵头单位与高校、科研院所、上下游企业等共同探索技术前沿,快速迭代技术,成功研制多台国内首台甚至全球首台盾构机。另一方面,铁建重工依托不同的技术轨道,形成成熟的盾构机系列、新兴的岩石隧道掘进机系列以及未来的智能化盾构系列,并且以超前的战略思维布局智能化隧道施工领域,持续研究相关技术。

五、结论、贡献和启示

本文采用探索性纵向单案例研究方法分析铁建重工在地下隧道掘进重大技术装备领域从零起步逐渐突破盾构机关键核心技术的过程,揭示了其在跟随追赶阶段、跨越发展阶段以及稳步领先阶段搭建的创新网络的类型以及进行的组织学习方式,进而提炼出复杂产品后发企业通过创新网络和组织学习的匹配演进促进技术能力快速跃迁的过程机制。

(一) 研究结论

第一,复杂产品后发企业突破关键核心技术以实现技术能力快速跃迁的过程是由跟随追赶阶段、跨越发展阶段和稳步领先阶段三个阶段构成的演进过程。结合案例分析可知,复杂产品后发企业之所以构建不同的创新网络模式并匹配与之相对应的组织学习方式以促进技术能力的快速跃迁,是受到前置因素的驱动,具体表现为“获得合法性-增强差异化-占据生态位”三种驱动因素的作用,即在跟随追赶阶段,受制于先发国家的技术封锁与市场独占^[64],后发企业面临合法性匮乏的问题^[65]。为了获得合法性,后发企业需要构建依附互补式创新网络,并采取吸收利用式学习方式,以积累集成能力。在跨越发展阶段,伴随着后发企业凭借合法性身份参与市场竞争,为了培育技术供给端优势,且考虑到盾构机作为具有高投入、定制化特征的复杂产品^[13],很难通过低成本战略或聚焦战略形成优势。因此,相较而言,差异化的竞争战略驱动后发企业

构建边界融合式创新网络,并采用转型组合式学习方式,以提升开发能力。最终,在稳步领先阶段,后发企业进入技术前沿,为了实现从技术优势到生态优势的转型,掌握生态话语权,后发企业构建交联渗透式创新网络,并采取协调探索式学习方式,以增强衍生能力。进而言之,本文还揭示了组织学习与创新网络的匹配与演进动态路径,即:在跟随追赶阶段,创新网络形态主导组织学习方向,提供知识输送;在跨越发展阶段,二者形成互惠强化;而在稳步领先阶段,组织学习模式转而主导网络演化方向。综上,本文提炼出复杂产品后发企业技术能力快速跃迁的驱动-行动-结果模型,如图3所示。

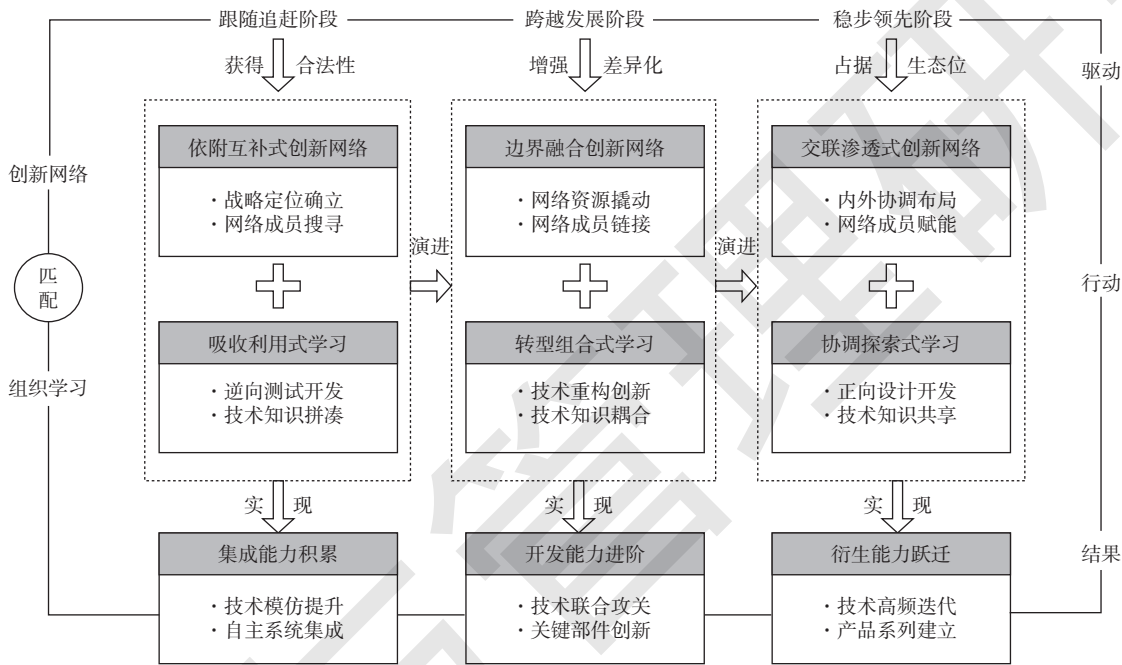


图3 复杂产品后发企业通过创新网络和组织学习匹配演进促进技术能力快速跃迁的理论模型

第二,本文提炼了复杂产品后发企业在突破关键核心技术不同阶段的组织学习特征,如表1所示。在跟随追赶阶段,后发企业利用和吸收外界技术知识,实现知识的内部和外部拼凑,呈现出以利用外部技术知识为主、积累内部技术知识为辅的特征。在跨越发展阶段,后发企业主要通过跨组织边界的方式来整合企业内部和外部技术知识,实现知识的内部和外部耦合,呈现出以探索外部技术知识为主、探索内部技术知识为辅的特征。在稳步领先阶段,后发企业主要通过企业内主导的方式来整合企业内部和外部技术知识,实现知识的内部和外部共享,呈现出以探索内部技术知识为主、利用外部技术知识为辅的特征。

表1 复杂产品后发企业在突破关键核心技术不同阶段的组织学习特征对比

对比维度	跟随追赶阶段	跨越发展阶段	稳步领先阶段
学习类型	吸收利用式	转型组合式	协调探索式
边界范围	跨组织吸收	跨边界整合	企业内主导
知识状态	知识拼凑	知识耦合	知识共享
学习方式	外部利用为主 内部积累为辅	外部探索为主 内部探索为辅	内部探索为主 外部利用为辅

第三,本文提炼了复杂产品后发企业在突破关键核心技术各个阶段的创新网络模式特征,如表2所示。在跟随追赶阶段,由于技术基础薄弱,后发企业构建创新网络时更多的是希望能够获得外部的技术资源,其在创新网络中的话语权较弱,创新网络整体呈现较为松散的特点。相比跟随追赶阶段,后发企业在跨越发展阶段从单纯依附外部资源转变为实现内外资源更加协调的边界融合创新,其在创新网络中的话语权增强,创新网络整体特点从松散转变为紧凑。在稳步领先阶段,后发企业更加注重以创生内部资源为主、协调外部资源为辅的交联渗透式创新。此时,铁建重工在创新网络中的话语权进一步增强,创新网络的整体特点从紧凑进一步转变为牢固。

表2 复杂产品后发企业在突破关键核心技术不同阶段的创新网络模式对比

对比维度	跟随追赶阶段	跨越发展阶段	稳步领先阶段
网络类型	依附互补式	边界融合式	交联渗透式
组织动机	寻求资源互补成员	增加创新网络支点	稳固合作伙伴关系
关键成员	创新人才、核心企业、启动用户、政府	高校、科研院所、核心企业、施工企业、政府	高校、科研院所、核心企业、施工企业、专业用户、国外用户
话语权力	弱;主要依赖外界资源	中;主要整合内外资源	强;主要创生内部资源
网络特征	松散	紧凑	牢固

(二) 研究贡献

第一,本文从过程视角剖析了复杂产品后发企业技术能力快速跃迁的内在机制,丰富了企业技术能力跃迁的机制解释。区别于后发企业技术追赶与能力跃迁三阶段模型中对于“路径依赖”的线性解释^[66],本文从创新网络构建与组织学习实施的双理论视角,挑战了传统追赶理论对“网络嵌入既定结构”的静态假设^[67]。除此之外,以往研究多基于创新网络—组织学习—创新绩效的理论逻辑开展实证分析与假设检验,相关发现难以为技术能力跃迁背后的非线性动态机制提供充分解释。本文的研究发现,技术能力跃迁不仅需要“路径创造”式突破^[68],更依赖于创新网络重构与组织学习模式的阶段性匹配——这一发现将网络构建理论^[69]与知识创造理论^[70]进行了创造性整合,弥补了现有研究将网络结构特征与组织学习割裂讨论的理论缺陷。

更重要的是,本文通过打开技术能力跃迁的过程时序黑箱,回应了学术界对于“着眼于过程解释而非事后解释”的理论呼吁^[62]。同时,本文结论中所归纳的组织学习模式从初始阶段的探索性学习向利用性学习转化时,需要同步推进创新网络从广度开放向深度嵌入转型,这种“学习—网络”匹配机制印证了动态能力生成理论^[71],共同贡献于企业技术能力跃迁机制研究。

第二,本文揭示了复杂产品在后发企业技术能力跃迁过程中组织学习和创新网络各自的跨阶段特征和匹配共演规律,拓展了相应理论的边界范畴。组织学习和创新网络的相关理论由来已久,但受制于研究情境的稀缺性,其内涵特征与研究边界仍需在中国情境下开展更进一步的探索性案例研究以期实现理论的充分涌现^[47]。为此,本文通过逐一解析组织学习与创新网络各自的阶段特征,将“探索—利用”二元学习框架^[31]与“强联结—弱联结”网络嵌入理论^[72]进行跨理论对话,揭示了二者在关键核心技术突破不同阶段的匹配共演规律。

本文的研究结果表明,在组织学习模式由吸收利用式向协调探索式的进阶过程中,始终伴随着创新网络从依附互补式向交联渗透式的结构重构,这种“知识转化—网络形态”的阶段性共演特征,突破了相对吸收能力理论^[73]对知识转移的单一维度解释,为理解组织学习与网络构建的动态匹配关系提供了新视角。其背后的学理依据是:在跟随追赶阶段,吸收利用式学习通过互补性网络获取显性知识^[74],印证了弱联结在知识

宽度获取中的优势^[75];在跨越发展阶段,转型组合式学习需要边界融合式网络支撑隐性知识转化^[60],并且边界融合式网络也需要通过转型组合式学习增加网络支点,此时网络嵌入性深度与知识缄默性程度呈现正向耦合^[76];最终在稳步领先阶段,协调探索式学习为交联渗透式网络提供深度且稳定链接的技术机会,从而以知识深度与知识内生性共同赋能技术能力跃迁。由此,为理解复杂产品后发企业利用组织学习和创新网络突破核心技术、实现能力跃迁的动态过程提供深入洞见。

(三) 实践启示

本文的实践启示主要包括两个方面。一方面,复杂产品后发企业需要坚持贯彻自主创新战略,积极识别市场机会和推动技术创新,根据竞争形势的变化以及驱动因素的变更,在不同阶段构建不同的创新网络模式和采取相应的组织学习方式以促进技术能力快速跃升。此外,后发企业应持续通过技术和市场的双向驱动来加速技术创新突破,实现技术能力阶梯攀爬和行业地位升级。在不同的阶段,后发企业应该聚焦于不同的市场进而提升不同类型的技术能力,这有助于其提升行业地位,增强自身在创新网络和行业内的话语权,同时凭借丰厚的技术知识沉淀持续突破更多的关键核心技术。另一方面,政府应该通过项目铺垫和技术预研等方式提供支持性政策制度保障,为后发企业提供良好的创新生态环境^[77],鼓励企业作为创新主体与高等院校、科研院所、专业用户等开展技术创新活动。

参考文献:

- [1] KHAN M U. Dynamic techno-management capability of Indian computer firms in comparison with Korea[J]. *Technovation*, 1999, 19(4): 243-259.
- [2] LEE K, MALERBA F. Catch-up cycles and changes in industrial leadership: windows of opportunity and responses of firms and countries in the evolution of sectoral systems[J]. *Research Policy*, 2017, 46(2): 338-351.
- [3] 黄先海,宋学印. 准前沿经济体的技术进步路径及动力转换——从“追赶导向”到“竞争导向”[J]. *中国社会科学*, 2017(6): 60-79.
- [4] 李林,杨承川,何建洪. 我国先进制造企业技术赶超中的技术能力阶段性跃迁研究[J]. *管理学报*, 2021, 18(1): 79-90.
- [5] 路风. 冲破迷雾——揭开中国高铁技术进步之源[J]. *管理世界*, 2019, 35(9): 164-194.
- [6] KIM L. Imitation to innovation: the dynamics of Korea's technological learning[M]. Boston: Harvard Business School Press, 1997.
- [7] ESCRIBANO A, FOSFURI A, TRIBÓ J A. Managing external knowledge flows: the moderating role of absorptive capacity[J]. *Research Policy*, 2009, 38(1): 96-105.
- [8] 彭新敏,郑素丽,吴晓波,等. 后发企业如何从追赶前沿?——二元性学习的视角[J]. *管理世界*, 2017(2): 142-158.
- [9] 寿柯炎,魏江. 后发企业如何构建创新网络——基于知识架构的视角[J]. *管理科学学报*, 2018, 21(9): 23-37.
- [10] 刘永松,王婉楠,施君然. 组织冗余对高新技术企业创新质量的影响:基于吸收能力的调节效应[J]. *云南财经大学学报*, 2023, 39(6): 94-110.
- [11] FUNK R J. Making the most of where you are: geography, networks, and innovation in organizations[J]. *Academy of Management Journal*, 2014, 57(1): 193-222.
- [12] 魏江,应瑛,刘洋. 研发网络分散化,组织学习顺序与创新绩效:比较案例研究[J]. *管理世界*, 2014(2): 137-151.
- [13] HOBDAY M. Product complexity, innovation and industrial organization[J]. *Research Policy*, 1998, 26(6): 689-710.
- [14] 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.
- [15] 罗珉,马柯航. 后发企业的边缘赶超战略[J]. *中国工业经济*, 2013(12): 91-103.
- [16] LICHTENTHALER U, LICHTENTHALER E. A capability-based framework for open innovation: complementing absorptive capacity[J]. *Journal of Management Studies*, 2009, 46(8): 1315-1338.
- [17] 吴画斌,许庆瑞,李杨. 创新引领下企业核心能力的培育与提高——基于海尔集团的纵向案例分析[J]. *南开管理评论*, 2019, 22(5): 28-37.

- [18] 张米尔,田丹.从引进到集成:技术能力成长路径转变研究——“天花板”效应与中国企业的应对策略[J].公共管理学报,2008(1):84-90.
- [19] 陈劲,桂彬旺.模块化创新:复杂产品系统创新机理与路径研究[M].北京:知识产权出版社,2007.
- [20] 陈劲.从技术引进到自主创新的学习模式[J].科研管理,1994(2):32-34.
- [21] CARNABUCI G, OPERTI E. Where do firms' recombinant capabilities come from? Intraorganizational networks, knowledge, and firms' ability to innovate through technological recombination[J]. Strategic Management Journal, 2013, 34(13): 1591-1613.
- [22] KIAMEHR M, HOBDAI M, HAMED M. Latecomer firm strategies in complex product systems (CoPS): the case of Iran's thermal electricity generation systems[J]. Research Policy, 2015, 44(6): 1240-1251.
- [23] 张米尔,杨阿猛.基于技术集成的产品创新和产品衍生研究[J].科研管理,2005(1):36-41.
- [24] 张树满,原长弘.制造业领军企业如何培育关键核心技术持续创新能力?[J].科研管理,2022,43(4):103-110.
- [25] 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.
- [26] FREEMAN C. Networks of innovators: a synthesis of research issues[J]. Research Policy, 1991, 20(5): 499-514.
- [27] 江积海,蔡春花.联盟组合的结构特征对开放式创新的影响机理——瑞丰光电的案例研究[J].科学学研究,2014,32(9):1396-1404.
- [28] PAN W H, ZHAO P W, DING X F. The effects of network structure on research innovation: an analysis from a content perspective using the data of R&D funding[J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2019, 31(12): 1430-1446.
- [29] 贺远琼,刘路明,田志龙,等.“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,2025,28(2):16-29.
- [30] BINGHAM C B, DAVIS J P. Learning sequences: their existence, effect, and evolution[J]. Academy of Management Journal, 2012, 55(3): 611-641.
- [31] MARCH J, SIMON H. Organization[M]. New York: Wiley, 1958.
- [32] MEYERS P W. Non-linear learning in large technological firms: period four implies chaos[J]. Research Policy, 1990, 19(2): 97-115.
- [33] MARCH J G. Exploration and exploitation in organizational learning[J]. Organization Science, 1991, 2(1): 71-87.
- [34] 彭新敏,孙元.联盟成员组织学习平衡模式实证研究综述与展望[J].外国经济与管理,2011,33(10):26-32.
- [35] 邓渝,邵云飞.联盟组合伙伴选择、二元组织学习与创新能力关系研究[J].研究与发展管理,2016,28(6):1-9.
- [36] KRAATZ M S. Learning by association? Interorganizational networks and adaptation to environmental change[J]. Academy of Management Journal, 1998, 41(6): 621-643.
- [37] 李支东,金辉.企业产品创新与网络嵌入——组织学习的中介作用[J].管理评论,2016,28(1):62-72.
- [38] 赵炎,周娟.企业合作网络中嵌入性及联盟类型对创新绩效影响的实证研究——以中国半导体战略联盟网络为例[J].研究与发展管理,2013,25(1):12-23.
- [39] 赵良杰,宋波.技术互依性、组织二元能力与联盟创新绩效:基于动态网络的视角[J].研究与发展管理,2015,27(1):113-123.
- [40] YANG H B, LIN Z A, PENG M W. Behind acquisitions of alliance partners: exploratory learning and network embeddedness[J]. Academy of Management Journal, 2011, 54(5): 1069-1080.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] 寿柯炎,魏江.后发企业网络节点与组织学习平衡模式的演化[J].科研管理,2018,39(11):49-60.
- [44] YIN R K. Case study research: design and methods[M]. 5th ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2013.
- [45] 欧阳桃花.试论工商管理学科的案例研究方法[J].南开管理评论,2004(2):100-105.
- [46] EISENHARDT K M. Building theories from case study research[J]. Academy of Management Review, 1989, 14(4): 532-550.
- [47] 吴晓波,付亚男,吴东,等.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,2019,35(2):151-167.
- [48] HENDERSON R M, CLARK K B. Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms[J]. Administrative Science Quarterly, 1990, 35(1): 9-30.
- [49] GIOIA D A, PRICE K N, HAMILTON A L, et al. Forging an identity: an insider-outsider study of processes involved in the formation of organizational identity[J]. Administrative Science Quarterly, 2010, 55(1): 1-46.
- [50] 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,2017,39(10):6-19.

- [51] 张媛, 孙新波, 何建笃, 等. 新兴市场企业在发达市场的合法化演化机理研究——基于资源拼凑视角[J]. 科学学与科学技术管理, 2022, 43(10): 123-142.
- [52] 欧阳桃花. 中国企业的高起点经营——基于海尔的案例分析[J]. 管理世界, 2003(2): 116-126.
- [53] 王建平, 吴晓云. 网络位置、产品创新战略与创新绩效——以中国制造企业为样本[J]. 经济与管理研究, 2020, 41(1): 131-144.
- [54] AFEWERKI S, STEEN M. Gaining lead firm position in an emerging industry: a global production networks analysis of two Scandinavian energy firms in offshore wind power[J]. *Competition & Change*, 2023, 27(3/4): 551-574.
- [55] 吴先明, 高厚宾, 邵福泽. 当后发企业接近技术创新的前沿: 国际化的“跳板作用”[J]. 管理评论, 2018, 30(6): 40-54.
- [56] CHANG S J, CHUNG C N, MAHMOOD I P. When and how does business group affiliation promote firm innovation? A tale of two emerging economies[J]. *Organization Science*, 2006, 17(5): 637-656.
- [57] ASAKAWA K, LEHRER M. Managing local knowledge assets globally: the role of regional innovation relays[J]. *Journal of World Business*, 2003, 38(1): 31-42.
- [58] 赵艺璇, 成琼文. 知识网络嵌入、知识重组与企业中心型创新生态系统价值共创[J]. 经济与管理研究, 2021, 42(10): 88-107.
- [59] 郭艳婷, 郑刚, 刘雪锋, 等. 复杂产品系统后发企业如何实现快速追赶? ——中集海工纵向案例研究(2008~2021)[J]. 管理世界, 2023, 39(2): 170-186.
- [60] KOGUT B, ZANDER U. Knowledge of the firm and the evolutionary theory of the multinational corporation[J]. *Journal of International Business Studies*, 1993, 24(4): 625-645.
- [61] 薄洪光, 刘海丰, 李龙龙. 支持复杂产品系统创新的集成制造管理研究——以 CRRC-TRV 公司为例[J]. 管理案例研究与评论, 2016, 9(3): 224-235.
- [62] 路风. 论产品开发平台[J]. 管理世界, 2018, 34(8): 106-129.
- [63] LAWLESS M W, ANDERSON P C. Generational technological change: effects of innovation and local rivalry on performance[J]. *Academy of Management Journal*, 1996, 39(5): 1185-1217.
- [64] 毛毅翔, 吴福象. 创新补贴、研发投入与技术突破: 机制与路径[J]. 经济与管理研究, 2022, 43(4): 26-45.
- [65] BINZ C, GOSENS J, HANSEN T, et al. Toward technology-sensitive catching-up policies: insights from renewable energy in China[J]. *World Development*, 2017, 96: 418-437.
- [66] HOBDAY M. Firm-level innovation models: perspectives on research in developed and developing countries[J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2005, 17(2): 121-146.
- [67] HERNANDEZ E, MENON A. Corporate strategy and network change[J]. *Academy of Management Review*, 2021, 46(1): 80-107.
- [68] LEE K, LIM C. Technological regimes, catching-up and leapfrogging: findings from the Korean industries[J]. *Research Policy*, 2001, 30(3): 459-483.
- [69] GULATI R. Network location and learning: the influence of network resources and firm capabilities on alliance formation[J]. *Strategic Management Journal*, 1999, 20(5): 397-420.
- [70] NONAKA I. A dynamic theory of organizational knowledge creation[J]. *Organization Science*, 1994, 5(1): 14-37.
- [71] ZOLLO M, WINTER S G. Deliberate learning and the evolution of dynamic capabilities[J]. *Organization Science*, 2002, 13(3): 339-351.
- [72] UZZI B. Social structure and competition in interfirm networks: the paradox of embeddedness[J]. *Administrative Science Quarterly*, 1997, 42(1): 35-67.
- [73] LANE P J, LUBATKIN M. Relative absorptive capacity and interorganizational learning[J]. *Strategic Management Journal*, 1998, 19(5): 461-477.
- [74] HAMEL G. Competition for competence and interpartner learning within international strategic alliances[J]. *Strategic Management Journal*, 1991, 12(S1): 83-103.
- [75] GRANOVETTER M. The impact of social structure on economic outcomes[J]. *Journal of Economic Perspectives*, 2005, 19(1): 33-50.
- [76] REAGANS R, MCEVILY B. Network structure and knowledge transfer: the effects of cohesion and range[J]. *Administrative Science Quarterly*, 2003, 48(2): 240-267.
- [77] 赵一凡, 陈思怡, 易定红. 中国制造业技术进步的特征变化及其对就业的影响[J]. 首都经济贸易大学学报, 2024, 26(1): 3-17.

Rapid Technological Leapfrogging Mechanism of Latecomer Firms in Complex Product Systems

—A Case Study of CRCHI

ZENG Delin¹, JIANG Liqui¹, OUYANG Taohua², ZHENG Shuwen³

(1. Beijing Jiaotong University, Beijing 100044;

2. Beihang University, Beijing 100083;

3. Civil Aviation Management Institute of China, Beijing 100102)

Abstract: Rapid technological leapfrogging by latecomer firms in complex product systems is a key to China's accelerated achievement of greater self-reliance and strength in science and technology. This paper uses an exploratory longitudinal single-case study method, drawing on the practices of China Railway Construction Heavy Industry Co., Ltd. (CRCHI) in breaking through the key core technologies of shield machines. It explores how latecomer firms can promote rapid technological leapfrogging by establishing appropriate innovation networks and engaging in corresponding organizational learning.

The findings reveal that rapid technological leapfrogging by latecomer firms in complex product systems, accompanied by the breakthrough of key core technologies, goes through three stages: following and catching up, leapfrogging development, and steady leadership. In these stages, driven by the factors of "gaining legitimacy-enhancing differentiation-occupying ecological niches", latecomer firms successively build different innovation network models and adopt corresponding organizational learning types. The matching evolution of the two promotes latecomer firms to gradually achieve "accumulation of integration capabilities-advancement of development capabilities-leap of derivative capabilities". Specifically, during the stage of following and catching up, firms construct a dependent complementary innovation network and engage in both absorptive and exploitative learning. In the stage of leapfrogging development, firms build a boundary integration innovation network and adopt transformative and combinatorial learning. In the stage of steady leadership, firms foster an interpenetration-type innovation network and engage in coordinated and exploratory learning.

This paper not only expands the theoretical boundaries of innovation networks and organizational learning but also makes contributions in two key aspects. First, it analyzes the internal mechanisms of rapid technological leapfrogging, enriching the existing explanatory framework. Second, it reveals the cross-stage co-evolution logic between innovation networks and organizational learning, deepening the understanding of their mutual alignment and interaction across capability development stages. Practically, this paper suggests that latecomer firms in complex product systems should adopt an independent innovation strategy, actively identify market opportunities, and continually promote technological breakthroughs. They should dynamically adjust their innovation network configurations and organizational learning strategies in response to shifting competitive environments and evolving internal and external demands. Meanwhile, the government should provide supportive policies and institutional mechanisms through early-stage project facilitation and technological foresight planning, create a favorable innovation ecosystem, and encourage collaborative innovation involving firms, universities, research institutes, and end-users to collectively drive high-quality technological progress.

Keywords: capability leapfrogging; technological capability; complex product; latecomer firm; case study

责任编辑:李 叶