

破解“卡脖子”技术难题的理论框架、 战略路径与研发策略

俞荣建 赵一智 王雅萍

[摘要] 在我国关键核心技术受制于人的情境下，如何破解“卡脖子”技术难题成为亟待解决的现实问题。本文通过识别“挖壕、卡位、攻坚、颠覆”四种破解策略，及包括技术范式动态性和技术能力基础两个维度的技术情境，构建了技术破解的“情境—策略”匹配理论框架；选取高铁、视频监控和民用无人机三种关键核心技术进行多案例分析，发现了“起点—挖壕—攻坚—颠覆”“起点—卡位—颠覆”“起点—挖壕—颠覆”三种破解“卡脖子”技术困境的动态战略路径，进一步探索出战略路径中的六个关键过程及其研发策略。本文丰富了技术追赶理论、“卡脖子”技术破解战略动态演进相关研究，为破解关键核心技术“卡脖子”难题提供了新的理论依据和实践启示。

[关键词] “卡脖子”技术；“情境—策略”匹配；战略路径；研发策略

一、引言

在疫情冲击和逆全球化的双重背景下，我国关键核心技术受制于人的情况还未得到根本解决，技术赶超总体效果与国外领先产业仍有差距。如何破解关键核心技术“卡脖子”困局，成为企业和政府亟待解决的重大现实问题。实践表明，关键核心技术基于特有的技术情境，选择特定的破解策略，形成特定的战略路径，并在各阶段选择不同的研发策略，以实现技术颠覆。因此，结合成功破解“卡脖子”难题、实现后发技术赶超的实践经验，探究多个成功案例在技术赶超过程中的战略路径、研发策略选择，及其呈现的差异性，对破解现有关键核心技术“卡脖子”难题具有一定的借鉴意义。

随着国内技术快速发展，实现技术赶超的本土案例愈来愈多，西方主流的技术追赶理论与中国本土企业的技术突破实践出现了不适配的情况。中国学者着重用本土案例挖掘新的理论，呈现出大

作者：俞荣建，浙江工商大学工商管理学院（MBA学院）教授，中国链研究中心主任，yurongjian@zjgsu.edu.cn；赵一智，浙江工商大学中国链研究中心兼职研究员，782373074@qq.com；王雅萍（通讯作者），浙江工商大学中国链研究中心兼职研究员，1502881819@qq.com。

* 本文系国家自然科学基金重大招标项目“中国深度参与全球创新链治理的机制、路径与政策研究”（20&ZD124）、国家自然科学基金面上项目“异质性全球创新链知识溢出机理：二元关系视角下基于mvQCA方法的跨层次实证研究”（71973129）、浙江省哲学社会科学重点研究基地课题一般项目“中日韩区域多边产业合作体系构建研究”（2022JDKTYB15）的阶段性成果。感谢《中国人民大学学报》“化解‘卡脖子’难题，促进产业链创新升级”案例研究专题研讨会评审专家的建设性修改意见，文责自负。

量的本土理论研究成果。现有文献大多从“卡脖子”技术甄选^①、破解策略^②及相关政策^③等方面开展研究,从单个企业技术赶超过程探讨关键核心技术破解的动态演进机制^④,进一步从企业层面及政府层面提出“卡脖子”技术破解的科技政策^⑤。这些研究大大增进了对“卡脖子”技术难题的理论认识,但是没有基于技术层面识别不同关键核心技术的差异化突破机理,没有基于其所处技术情境探寻相匹配的技术破解战略路径及研发策略。因此,需要整合技术破解过程中的技术情境、战略路径选择机制、研发策略三个范畴,进一步构建具有整合性、动态性的理论框架。

本文从技术本位出发,根据“技术范畴—技术轨道”两个维度构成的四种技术破解策略,结合“技术范式动态性—技术能力基础”两个情境维度,构建了技术破解的“情境—策略”匹配理论框架,选取高铁、视频监控及民用无人机三个实现技术赶超的典型案列,开展多案列研究。技术情境具有动态性、差异性,在技术破解的不同阶段,呈现出不同的情境特征。根据差异化的技术情境特征,探究三个典型案列在技术破解过程中的动态破解策略选择,及不同破解策略组合形成的不同战略路径,并通过“科学—技术—产品”不同创新环节的研发强度分析破解路径中各阶段的研发策略。本文试图基于中国本土情境构建一个适用于破解“卡脖子”技术难题的整合性理论框架,为我国“卡脖子”难题破解策略研究提供新的理论依据,为政府、高校和企业破除技术难题提供路径参考。

二、理论构建

(一)“卡脖子”技术界定

关键核心技术“卡脖子”问题与国家技术安全和经济发展关系密切,是国家战略必争领域。^⑥学术界和实践界聚焦于“卡脖子”技术难题研究,对于“卡脖子”技术的内涵缺乏统一界定。各界从核心技术的“卡脖子”现状和潜在威胁等角度出发,列举出了“卡脖子”技术清单,如科技日报报道了关于我国35项“卡脖子”技术清单,深圳方德信基金列举了60项核心技术清单。学者主要从关键核心技术视角出发对“卡脖子”技术进行界定,中国科学院原院长白春礼院士认为“卡脖子”技术包括需要较短时间内攻克的关键核心技术和关系未来发展、需要长远布局的关键核心技术。陈劲等^⑦指出“卡脖子”技术是与其他国家存在较大且难以弥补的技术差距,且具有较高技术垄断程度的关键核心技术。本文基于现有研究,从关键核心技术视角界定“卡脖子”技术的内涵,认为“卡脖子”技术属于关键核心技术领域,关系未来发展,需要长远布局,它不是指单个的关键核心技术,而是一系列“技术簇”或“技术体系”^⑧。

① 参见陈劲等:《“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》,载《改革》,2020(12);张治河、苗欣苑:《“卡脖子”关键核心技术的甄选机制研究》,载《陕西师范大学学报》(哲学社会科学版),2020(6);唐恒等:《专利视角下“卡脖子”技术短板甄选研究》,载《中国发明与专利》,2021(1)。

② 参见刘立、刘磊:《实施“非对称”赶超战略 突破“卡脖子”技术》,载《国家治理》,2020(1);邢冬梅:《“卡脖子”技术问题的成因与规避——技术轨道的分析视角》,载《国家治理》,2020(1)。

③ 参见杨思莹:《政府推动关键核心技术创新:理论基础与实践方案》,载《经济学家》,2020(9);吴金希:《突破“卡脖子”问题应优化创新生态体系》,载《国家治理》,2020(1)。

④ 参见李显君等:《核心技术微观机理与突破路径——以中国汽车AMT技术为例》,载《中国软科学》,2018(8)。

⑤ 参见黄永春等:《新兴大国企业技术赶超的时机选择与追赶绩效——基于战略性新兴产业的理论及实证分析》,载《科研管理》,2017(7);刘海兵、许庆瑞:《后发企业战略演进、创新范式与能力演化》,载《科学学研究》,2018(8);余维臻等:《后发情境下创业企业如何成为“独角兽”——颠覆性创新视角的探索性案列研究》,载《科学学研究》,2021(7)。

⑥ 汤志伟等:《中美贸易摩擦背景下“卡脖子”技术识别方法与突破路径——以电子信息产业为例》,载《科技进步与对策》,2021(1)。

⑦ 陈劲等:《“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》,载《改革》,2020(12)。

⑧ 李红建:《创新:瞄准“卡脖子”技术》,载《学习时报》,2020-03-04。

（二）技术破解策略矩阵构建

传统的技术追赶路径研究强调技术轨道和技术范式的作用，Lee & Lim 基于对各个产业原有技术发展轨道的对比分析，探索出路径跟进、独辟蹊径和路径跨越三种不同追赶模式。^① 中国学者根据企业切换新旧技术的范式，提出同轨道、异轨道和双轨道并行的追赶路径^②，以及同轨道跟随型、同轨道差异型、异轨道崛起型及后轨道创造型四种技术追赶模式^③。现有学者对技术追赶研究强调其内在过程机理，即从简单到复杂，从局部到全面技术突破。^④ 郭艳婷等从追赶深度和广度两个维度探究技术追赶的动态演化过程，及从局部到全面追赶的微观机理。^⑤ 李显军等进一步识别了核心技术的技术单元，探索出关键核心技术从边缘到核心技术单元实现技术突破的演化路径。^⑥

基于以往研究，本文将技术轨道和技术赶超范畴纳入技术破解策略划分依据。其中，技术轨道包含同轨道和异轨道两个类别，即关键技术或沿着原有技术轨道，或转变技术发展轨道达到技术追赶目标。赶超范畴是指技术追赶的广度，即关键技术建立局部、全领域或跨领域的技术追赶态势。本文根据技术轨道和技术赶超范畴两个维度，进一步将“卡脖子”技术破解策略划分为四种类型：“同轨道—全面突破”的攻坚策略、“同轨道—局部突破”的挖壕策略、“异轨道—局部突破”的卡位策略、“异轨道—全面突破”的颠覆策略。

（三）技术破解策略与情境匹配

由于技术发展本身受到多重制约，技术破解策略选择同样受到多种因素的影响。本文将技术层面的技术范式动态性和技术能力基础作为影响技术破解策略的两个关键情境因素。技术范式是学者研究技术破解策略的焦点，技术范式动态性强弱和范式新旧都会影响技术破解策略选择。^⑦ 由于技术本身的复杂性和特殊性，技术范式动态性强弱不同，技术范式转换的可能性也不同。技术范式动态性强时，范式演化会改变其原先发展路径，建立新的技术发展格局，为后发企业提供技术赶超的机会窗口。^⑧ 技术范式动态性弱时，技术演进过程难以出现新的机会窗口，后发者需要沿着原有的技术范式轨道，对领先者实现跨越式技术赶超。

技术能力是技术创新的基础^⑨，同时也是实现技术赶超的关键，是多个技术创新主体所构成的知识存量总和^⑩。技术能力强弱可以体现关键核心技术在整个技术系统中所处的具体位势，判断技术追赶可以达到的深度和广度，进而影响其在原有技术范式中的改造和探索能力。后发技术追赶前期充分利用比较优势和后发优势，通过技术引进和模仿创新逐步增强自身技术能力，随着技术能力增强和技术储备增加，后发技术追赶范畴逐步增大，从建立局部技术优势向实现全面技术追赶演变。

在范式特征和技术能力的交互作用下，其技术破解策略也有所不同。结合上述技术情境因素和

① K. Lee, and C. Lim. “Technological Regimes, Catching-up and Leapfrogging: Findings from the Korean Industries”. *Research Policy*, 2001, 30 (3): 459 - 483.

② 参见洪勇、苏敬勤：《后发国家产业技术追赶模式研究》，载《科学与科学技术管理》，2008（12）；邢文凤：《比较企业优势观视角下后发企业追赶路径研究——以新能源汽车发展引发的范式转换为背景》，载《科学学研究》，2017（1）。

③ 洪勇、苏敬勤：《后发国家产业技术追赶模式研究》，载《科学与科学技术管理》，2008（12）。

④ 参见李显军等：《核心技术微观机理与突破路径——以中国汽车 AMT 技术为例》，载《中国软科学》，2018（8）。

⑤ 郭艳婷等：《开放式创新视角下企业基于跨边界协同的新型追赶路径与模式初探》，载《科研管理》，2019（10）。

⑥ 李显军等：《中国高铁产业核心技术突破路径与机制》，载《科研管理》，2020（10）。

⑦ 邢文凤：《比较企业优势观视角下后发企业追赶路径研究——以新能源汽车发展引发的范式转换为背景》，载《科学学研究》，2017（1）。

⑧ 参见吴晓波等：《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》，载《管理世界》，2019（2）；吴晓波等：《商业模式创新视角下我国半导体产业“突围”之路》，载《管理世界》，2021（3）。

⑨ 翟翠霞、郑文范：《国家技术能力理论研究综述》，载《东北大学学报》（社会科学版），2009（1）。

⑩ 梁宏：《产业集群技术创新能力构建及其治理研究》，华中科技大学博士学位论文，2004。

“挖壕、卡位、攻坚、颠覆”四种技术破解策略，本文构建技术破解的“情境—策略”匹配理论框架。当技术范式动态性和技术能力基础都弱时，适合采用挖壕策略；当技术范式动态性弱、技术能力基础强时，适合采用攻坚策略；当技术范式动态性强、技术能力基础弱时，适合采用卡位策略；当技术范式动态性和技术能力基础都强时，适合采用颠覆策略。

（四）技术破解路径研发策略

研发策略对创新质量起到关键性作用^①，进而影响技术创新能力。现有文献主要从研发方向、策略影响机制等方面开展研究，本文则聚焦于技术追赶过程中的研发战略布局，即不同技术追赶阶段的研发侧重点、研发强度的差异性。创新活动过程通常被划分为“科学—技术—产品”三个阶段^②，科学环节位于创新活动的最前端，用于衡量基础研究水平，科学环节涉及的基础研究类型和底层逻辑基本不变，其创新范式最稳定；技术环节位于创新活动的中端，用于衡量基础研究成果的应用水平，该环节的创新范式随着技术领域的变化而变化；产品环节位于创新活动的最后端，用于衡量技术知识的应用水平，产品的种类丰富、更新迭代速度快，创新范式动态性很强。科学、技术、产品三者之间是相互承接的关系，即科学研究是技术发展的基础，技术是科学研究成果的应用；技术是产品创新的决定性因素，技术的创新式、突破式发展影响产品开发与迭代。由于技术特性和技术发展阶段的差异，其追赶过程研发侧重点有所不同。基础技术发展阶段，研发侧重于基础研究及其应用环节，即科学和技术环节；应用技术发展阶段，产品竞争较激烈，研发侧重于产品环节。本文根据“科学—技术—产品”不同创新环节的研发强度，分析各战略路径中不同阶段的研发策略。

为避免在技术领先国家界定的技术范式约束下寻求追赶路径，摆脱“追赶—落后”的路径依赖困境，技术追赶须基于不同的技术情境，选择不同的技术破解策略和研发策略。^③但现有成果对于技术情境匹配下的破解战略和研发策略选择的相关研究较少，破解战略路径的动态演进研究不够深入，主要停留在技术追赶过程的描述性阐述。关键核心技术赶超是一个周期较长的多阶段动态过程，各阶段的破解策略选择构成了特有的战略路径。本文基于技术破解“情境—策略”匹配理论框架，从中国成功实现技术追赶的案例出发，探讨关键核心技术追赶过程中各阶段的破解策略及其所构成的动态战略路径，旨在进一步从创新活动和研发强度两个维度分析各阶段研发策略，揭示不同战略路径与研发策略选择之间的内在机理。

三、研究设计

（一）研究方法

通过多案例研究方法对多个典型案例进行深入描述，并对其关键事件进行定性及差异化分析，有助于发现关键事件背后的理论逻辑、发展规律及其差异性。采用多案例研究方法的原因有以下几点：（1）路径研究是典型的“为什么”“怎么办”问题，且不同技术情境下的技术破解策略、研发策略选择具有明显的差异性，适合采用多案例研究方法。（2）“卡脖子”技术破解的策略类型及战略路径具有多样性，且情境与策略选择具有复杂的匹配关系。通过多案例研究总结、对比差异化战略路径及研发策略，有助于发现深层次的理论逻辑、提高研究的科学性和实践的指导性。

① I. Nemlioglu, and S. Mallick. “Effective Innovation via Better Management of Firms: The Role of Leverage in Times of Crisis”. *Research Policy*, 2021, 50 (7): 104 - 259.

② 参见俞荣建等：《新兴技术创新：迭代逻辑、生态特征与突破路径》，载《自然辩证法研究》，2018（9）；李雨晨、陈凯华：《面向创新链的国家创新力测度体系构建研究——多维创新指数的视角》，载《科学学与科学技术管理》，2019（11）；林润辉等：《全球创新链测度体系研究》，载《研究与发展管理》，2022（1）。

③ 郭艳婷等：《开放式创新视角下企业基于跨边界协同的新型追赶路径与模式初探》，载《科研管理》，2019（10）。

本文主要遵循探索式案例研究范式。首先，构建了“卡脖子”技术难题破解的初步理论分析框架，从技术破解策略、所处技术情境以及研发策略分析“卡脖子”技术难题破解过程。其次，依据初步理论分析框架收集和分析案例数据，遵循案例分析的复制原则，对案例样本的初步研究发现进行逐项复制和差别复制检验。最后，结合案例内分析和案例间的差异化对比，对研究结果进行修正和完善，探索出不同技术情境下的差异化战略路径及研发策略，从而归纳出“卡脖子”技术难题破解的动态机理和理论模型。

（二）案例选择

“卡脖子”技术是一个复杂的技术系、技术簇，包含多个关键核心技术领域。由于中国技术起步晚、发展慢，当前实现完全国产化、全技术领域突破的“卡脖子”技术案例寥寥无几。因此，本文旨在利用关键核心技术的成功破解案例，为“卡脖子”技术实现技术破解提供理论依据。首先，筛选现有发展迅速、实现技术从量到质转变的关键核心技术；其次，选择拥有多个技术领域并且具有不同技术发展阶段，并最终在国际市场占有有一定地位的核心技术；最后，对其发展过程进行分析，归纳总结各关键核心技术快速发展、实现技术转变的逻辑机理，通过复制逻辑为后续“卡脖子”技术实现技术破解提供借鉴参考。

为了体现案例的典型性和差异性，遵循理论抽样和差别复制逻辑原则，本文选择高铁、视频监控和民用无人机三个典型技术进行分析（见表1）。选择依据如下：（1）典型性。三个核心技术作为成功实现技术突破的代表，均完成了技术追赶到颠覆的战略路径，是典型案例代表。（2）适配性。三个核心技术均有明确的技术领域和技术发展阶段，在差异化技术情境下，三个核心技术的战略路径、研发策略选择具有显著差异，有助于案例对比分析和理论发现。（3）数据可获得性。三个核心技术发展时间较长、媒体关注度高，有众多官方媒体报道、学术文献等资料，便于获取二手数据资料。此外，选取的三个典型案例呈现了不同的破解战略路径，且不同阶段的情境特征及研发策略选择有所不同，并具有一定规律性，能够提供足够的研究资料，有利于充分地展现内在的理论逻辑。

表1 关键核心技术概况

变量	高铁	视频监控	民用无人机
起步时间	2004年	20世纪90年代中期	20世纪80年代
国内龙头企业	中车四方、中车株洲所、中车长春等	海康威视、大华股份等	大疆、极飞科技、亿航智能等
技术市场	2021年底，中国高速铁路运营总里程超4万公里，约占全球高铁运营里程的70%。	2011—2016年，海康威视连续六年占据全球视频监控行业市场占有率第一。	2015年，大疆占据全球70%以上的消费级无人机市场份额。
最新成果	复兴号列车搭载云计算、大数据等新兴技术，迎来“智能高铁”时代。	开启“智能监控”时代，并保持全球技术能力领先。	将“计算机视觉”与“机器学习”技术引入消费级无人机，开启“机器视觉”时代。

（三）数据收集与整理

高铁、视频监控、民用无人机是后发技术实现技术超越的典型代表，具有丰富的二手资料，因此本文主要根据文献资料、新闻报道、团队已有的研究成果等进行数据分析。其中，文献资料收集主要包括：通过国家相关部门、核心技术领军企业官方网站及国家规划建设报告等了解技术发展情况；通过《人民日报》《经济日报》等官方媒体收集相关新闻报道；通过中国知网学术文献总库检索相关学术文献。同时，通过对不同信息来源的数据进行三角验证，以提高数据的信度和效度，并将收集到的资料根据时间顺序进行整理，分析关键核心技术所处技术情境、破解战略路径及研发策略。

数据分析过程分为三步：第一，根据现有资料，分别梳理三个关键核心技术各阶段的技术情境、相匹配的技术破解策略，纵向刻画每个关键核心技术相对完整的破解战略路径；第二，围绕创

新活动、研发强度两个维度，提炼出关键核心技术在不同追赶阶段和情境特征下采用的研发策略；第三，总结案例发现，并对比不同破解战略路径及各阶段研发策略之间的差异性。本文主要聚焦于各关键核心技术涉及的主要技术领域以及最终产品，将最终产品作为技术发展结果和阶段的划分依据。

四、案例分析

（一）高铁技术破解战略路径及研发策略

2004年原铁道部颁布《铁路主要技术政策》，被学界普遍认为标志着我国高铁建设的开始。我国高速铁路经过十余年的创新发展，成功实现了从“追赶者”到“领跑者”的跨越。^① 高铁技术赶超过程分为技术起步、技术追赶和技术超越三个阶段：在技术起步阶段，我国与技术领先国家存在较大技术差距，技术能力弱，主要采取技术引进与技术学习方法建立局部技术基础；在技术追赶阶段，我国已储备了一定的技术能力，通过多技术领域并行研发，实现较全面的技术追赶；在技术超越阶段，处于技术和市场的领先地位，通过跨界技术融合实现产品颠覆。高铁技术作为知识密集和技术密集的高技术产业代表，其破解战略经历了“起点—挖壕—攻坚—颠覆”的发展路径，具体如下表2所示。

表2 高铁技术破解战略路径及研发策略

阶段	时间	关键事件	技术情境	破解策略	研发策略
起步阶段	2004—2007年	2004年原铁道部颁布《铁路主要技术政策》，标志着高铁时代的开始；2004—2006年我国大规模引进高铁技术并获得相应的技术转让。	技术范式动态性弱、技术能力基础弱	挖壕策略	技术引进 技术转让
追赶阶段	2008—2017年	科技部和原铁道部于2008年2月签署《中国高速列车自主创新联合行动计划》，对高铁技术的关键领域布局项目，提倡自主创新；2017年，具有完全自主知识产权、运行速度最快的“复兴号”成功开通。	技术范式动态性较弱、技术能力基础较强	攻坚策略	自主创新
超越阶段	2018年 至今	截至2021年底，中国高速铁路运营总里程超4万公里，约占全球的70%，并率先实现了智能高铁的技术创新。	技术范式动态性强、技术能力基础强	颠覆策略	跨界技术 融合

技术起步阶段（2004—2007年）：技术范式动态性弱、技术能力基础弱，采用同轨道、局部创新的挖壕策略及技术引进和转让的研发策略。1964年日本东海道新干线通车，标志着世界高速铁路时代的到来。2004年，原铁道部颁布《铁路主要技术政策》，首次明确了建设高速铁路的目标，被学界普遍认为是中国高速铁路建设时代的开始。^② 当时，我国高速动车组仍处于研制试验阶段，基础研究落后，尚未形成自主研发能力。原铁道部2004年发布的招标文件中提出的三个技术引进原则，明确了我国高铁技术从引进到吸收的发展策略，主要通过技术引进、技术转让获取国外领先技术。之后的两年中，我国大规模引进高铁技术，包括从日本、德国、法国等地引进4个车型，并获得了相应的技术转让，即现在的“和谐号”动车组列车。通过技术引进和转让，我国不仅获得了先进的产品和技术，而且科学研究、技术创新水平得到提高。

技术追赶阶段（2008—2017年）：技术范式动态性较弱、技术能力基础较强，采用同轨道、全面攻坚策略与注重自主创新的研发策略。通过技术引进和转让以及加强科学研究，储备技术、人

^① 参见陈向博、丁慧平：《中国高铁快速崛起的创新机理》，载《社会科学家》，2022（7）；吕铁、贺俊：《政府干预何以有效：对中国高铁技术赶超的调查研究》，载《管理世界》，2019（9）。

^② 路风：《冲破迷雾——揭开中国高铁技术进步之源》，载《管理世界》，2019（9）。

才、市场以及政策基础等方式，提倡自主创新，实现了高铁技术能力的全面提升。科技部和原铁道部于 2008 年 2 月签署《中国高速列车自主创新联合行动计划》（下文简称《计划》），强调应加强科研机构在技术创新过程中的作用，包括高等院校、研究所、实验室和工程研究中心等，并提出应以高铁技术领域内的几大龙头厂商及配套企业的最终产品为创新的落脚点。《计划》提出六大自主创新原则，标志着我国高铁技术开始走上自主创新道路。2011 年，世界最长、最快的高铁线路——京沪高铁开通，同年，世界上运营速度最快的动车组——我国自主研发的 CRH380 系列动车组列车正式投入运营。2017 年，具有完全自主知识产权、史上最快的“复兴号”成功开通，标志着中国高铁达到世界领先水平并成功实现技术追赶。

超越阶段（2018 年至今）：技术能力强，注重新产品研发，实现现代科技高度融合，采用全面、异轨道的颠覆策略。随着数字化技术范式的到来，大数据、人工智能等数字生产力成为社会主生产力，成为技术颠覆发展的新方向^①。2019 年，复兴号 CR400BF 型电力动车组问世，搭载设备运用了物联网、大数据、云计算、北斗定位、5G 通信等先进技术，通过技术跨界融合，集成出具有复合技术兼容性的智能高铁。CR400BF-C 在 CR400BF 高铁列车专有技术的基础之上，搭载了更多现代化技术，融合创新出中国第一代智能高铁。截至 2021 年，中国高速铁路运营总里程超过 4 万公里，约占全球的 70%，并率先实现了智能高铁的技术创新^②，标志着中国高铁正在实现技术超越。

（二）视频监控技术破解战略路径及研发策略

20 世纪 70 年代，视频监控技术进入中国市场，经历了模拟化、数字化、网络化和智能化技术四种范式^③，最终引领世界视频监控技术的发展。视频监控技术的快速发展与技术机会窗口频繁出现密不可分^④，在发展过程中出现了三次技术范式转化窗口，为实现技术赶超带来了机会^⑤。视频监控技术赶超分为追赶和超越阶段。追赶阶段技术能力基础弱，以海康威视、大华股份为主的后发企业抓住技术变革窗口，建立局部技术优势；超越阶段，基于较强的技术能力积累，率先进入新的技术轨道，实现全面技术超越。因此，其破解战略经历了“起点—卡位—颠覆”的发展路径，具体如下表 3 所示。

表 3 视频监控技术破解战略路径及研发策略

阶段	时间	关键事件	技术情境	破解策略	研发策略
追赶阶段	20 世纪 90 年代中期—2012 年	模拟化向数字化转变期，快速响应数字化变革，海康威视、大华股份引入自主研发或专利授权研发，成功开发出数字化视频监控产品。	技术范式动态性强、技术能力基础弱	卡位策略	注重新技术轨道创新
超越阶段	2013—2017 年	海康威视率先进行智能化布局，并于 2013 年推出业界首款 Smart IPC；2015/2016 年位列全球安防 50 强榜首。	技术范式动态性强、技术能力基础强	颠覆策略	技术自主创新和新产品开发并行

技术追赶阶段（20 世纪 90 年代中期—2012 年）：技术范式动态性强、技术能力基础弱，采用异轨道、局部创新的卡位策略，及注重新技术轨道创新的研发策略。20 世纪 70 至 90 年代，模拟化视频监控技术被国外企业垄断，我国缺少自主关键技术，只能依赖技术进口。20 世纪 90 年代中

① 熊嘉阳、沈志云：《中国高速铁路的崛起和今后的发展》，载《交通运输工程学报》，2021（5）。

② 陈向博、丁慧平：《中国高铁快速崛起的创新机理》，载《社会科学家》，2022（7）。

③ 彭新敏、姚丽婷：《机会窗口、动态能力与后发企业的技术追赶》，载《科学与科学技术管理》，2019（6）。

④ 吴晓波等：《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》，载《管理世界》，2019（2）。

⑤ C. Pérez. “Technological Change and Opportunities for Development as a Moving Target”. *Cepal Review*, 2001, 75（8）: 113 - 117.

期,中国企业抓住视频监控技术范式从模拟化向数字化转变的机会窗口,从数字化视频监控的核心技术和核心产品入手,开启了视频监控技术初始追赶阶段,进入全球数字化视频监控行业的竞争主赛道。

1999年中国电子科技集团公司第五十二研究所开始研发数字化视音频核心产品。2001年海康威视和大华股份成立,快速响应数字化技术范式变革,瞄准视音频技术领域进行技术引入研发或专利授权研发,成功开发出数字化视频监控产品。2001年海康威视运用最新的编解码技术标准H.264算法,成功研制出拥有自主知识产权的视音频压缩卡;大华股份引入当时主流编解码技术标准MPEG-4标准,获得专利授权,进行数字化视频监控产品研发,在中国视频监控行业崭露头角。2007—2012年视频监控经历了数字化向网络化的转换期,中国视频监控技术主动跟随技术范式变革实施追赶。海康威视通过企业并购获得新技术,大华股份通过直接购买、引进和合作研发等方式,快速积累新技术范式下的技术能力储备。在技术追赶阶段,海康威视、大华股份的市场份额连续多年占据国内市场前两名,其视频监控技术也占据领先地位。

技术超越阶段(2013—2017年):技术能力有一定的积累,率先进入新技术范式,采用全面、异轨道的颠覆策略,以及技术自主创新和新产品开发并行的研发策略。在网络化向智能化转换的机会窗口时期,以海康威视为首的中国视频监控企业开始主动引领技术范式变革。随着网络化视频监控技术的全面普及,海量视频数据需要智能化技术处理,加速了智能化视频监控技术的出现。2005年起,海康威视开始筹划智能分析技术的研发并成立算法研发团队,全球布局深度学习技术的研发网络,探索前沿技术和产品,并于2013年发布全球首款Smart IPC。海康威视通过市场和客户需求驱动产品研发,快速响应技术和产品范式变革,于2011—2016年连续六年全球行业市场占有率位列第一,2015—2016年位居全球安防50强榜首。在智能化范式阶段,中国视频监控企业引领全球视频监控技术和产品发展。

(三) 民用无人机技术破解战略路径及研发策略

中国民用无人机从20世纪80年代发展至今,实现了从低技术能力起步到最终引领全球民用无人机发展的飞跃。无人机发展前期,民用无人机始终与军用无人机有着密切联系,第二次世界大战后,各国无人机行业处于摸索阶段,当时的民用无人机技术和市场不成熟,技术学习及引进的机会少,但同时也给企业提供了巨大的发展空间。中国民用无人机技术赶超过程分为技术追赶和技术超越阶段。其中,技术追赶阶段主要通过军用转民用在小范围市场进行技术研发;在技术超越阶段,以大疆为首的技术赶超主体颠覆了民用无人机市场,创造了消费级无人机市场,成为行业的领军者。综上,民用无人机经历了“起点—挖壕—颠覆”的破解战略路径,具体如表4所示。

表4 民用无人机技术破解战略路径及研发策略

阶段	时间	关键事件	技术情境	破解策略	研发策略
追赶阶段	20世纪80年代—2011年	20世纪80年代,西北工业大学率先开启了民用无人机的研究与开发;2006年大疆在深圳成立。	技术范式动态性弱、技术能力基础弱	挖壕策略	拓展基础研究成果应用场景的研发策略
超越阶段	2013年至今	2013年大疆发布了全球首个无人机航拍一体化解决方案“精灵1”;2016年推出全球首款具备智能技术的新一代消费级航拍无人机。	技术范式动态性强、技术能力基础强	颠覆策略	技术自主创新和新产品开发并行

技术追赶阶段(20世纪80年代—2011年):技术范式动态性弱、技术能力基础弱,采用同轨道、局部创新的挖壕策略以及拓展基础研究成果应用场景的研发策略。国内外民用无人机处于发展初始探索阶段,技术发展方向从军用无人机拓展至民用无人机市场。20世纪80年代,西北工业大学率先开启了民用无人机的研究与开发,并在军用机基础上研制了民用D-4型无人机,开启了我国

民用无人机时代。20世纪90年代民用无人机主要由从事军用无人机研发的院校研制，无人机厂商少，市场较局限。2008年无人机在汶川地震救灾中的优异表现促使各大无人机厂商加入民用无人机市场。此阶段，中国民用无人机技术追赶主要采取寻找无人机新市场、建立无人机局部技术优势的破解策略。如大疆发掘航拍无人机小众市场，调整产品开发方向，将研发重心转向多旋翼航拍无人机。^①

技术超越阶段（2013年至今）：技术能力基础增强，产品竞争激烈，采用异轨道、全面创新的颠覆策略以及注重新产品开发的研发策略。此阶段，民用无人机市场逐渐成熟、厂商增多，以大疆为首的企业实现产品和市场颠覆式创新，大疆从客户需求出发不断调整目标市场和研发方向，创造出了消费级无人机市场，从航模小众市场到好莱坞航拍市场再到大众消费市场，引领全球民用无人机发展方向。2013年大疆与GoPro合作，将航拍无人机与摄像设备相结合，推出业界首个航拍一体化无人机“精灵1”。大疆用“一体机”替代了传统“组装机”，将专业市场拓展至大众消费市场，实现利基市场颠覆创新。2014年大疆自主研发高清广角相机，推出“精灵2”，成为全球首款自带相机的一体化航拍产品。大疆成功开拓了民用无人机的消费级市场，把握新市场契机，实现了民用无人机的弯道超车。大疆紧跟智能化技术发展趋势，2016年推出全球首款具备“机器学习”和“计算机视觉”技术的新一代消费级航拍无人机。现阶段，大疆占据了超过70%的全球消费级无人机市场，成为全球民用无人机的引领者。

五、多案例对比

（一）战略路径对比分析

通过对上述三个案例的分析，本文识别了三种破解“卡脖子”困境的战略路径及与其相匹配的研发策略。三种战略路径均从技术能力劣势和技术范式动态性低的技术追赶起点出发，以全面的技术颠覆为目标，在技术追赶过程中，需要适时地选择技术发展轨道、拓展技术赶超范畴，并选择与之相匹配的破解战略及研发策略，最终破解关键核心技术“卡脖子”困局（如下图所示）。

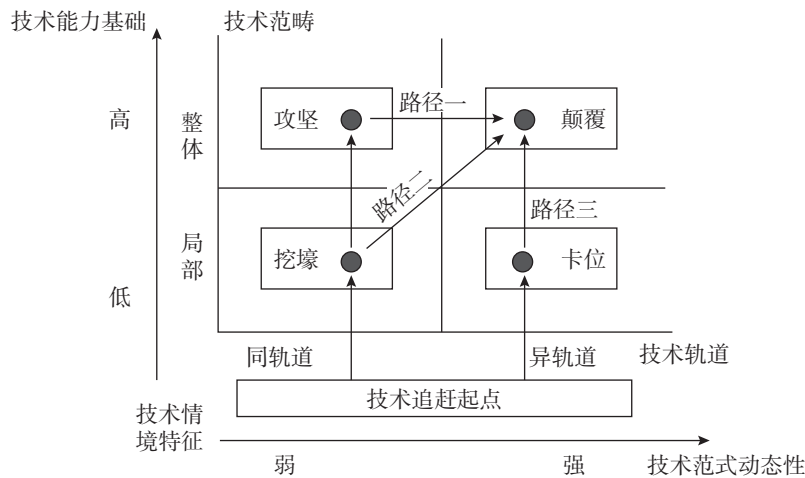


图 技术破解战略路径示意图

三者不同之处在于，以高铁技术为代表的赶超路径沿“同轨道局部的技术起步—同轨道全面的技术追赶—异轨道全面的技术超越”轨迹发展，其战略路径为“挖壕策略—攻坚策略—颠覆策略”；以视频监控技术为代表的赶超路径沿“异轨道局部的技术追赶—异轨道全面的技术超越”轨迹发

^① 尚甜甜等：《资源约束下颠覆性创新过程机制研究》，载《中国科技论坛》，2021（1）。

展，其破解战略路径为“卡位策略—颠覆策略”；以民用无人机技术为代表的赶超路径沿“同轨道局部的技术追赶—异轨道全面的技术超越”轨迹发展，其破解战略路径为“挖壕策略—颠覆策略”。具体而言，高铁技术经历了从技术能力基础弱到技术能力基础强的转变，2017年具有完全自主产权、史上最快的“复兴号”成功开通，2019年搭载云计算、物联网等新兴信息技术的智能高铁问世，在既有的技术轨道中建立新的创新生态系统，逐步向颠覆策略转变，以点带面实现全面的技术突破；视频监控技术的发展关键在于抓住了技术范式变革和产品范式转换的机会窗口，实现弯道超车和技术跃迁，在智能化视频监控技术范式阶段，中国视频监控行业成功引领全球视频监控技术和产品的发展方向；民用无人机技术方面，以大疆为首的中国民用无人机企业通过产品颠覆式创新，创造消费级无人机市场，引领全球民用无人机发展方向。

(二) 研发策略对比分析

通过对三个典型案例进行分析，本文识别了三条关键战略路径、六个关键过程，进一步从创新活动、研发强度两个维度分析每个过程中的研发策略及其差异性（如表5所示）。

表5 关键核心技术破解过程的研发策略差异

破解过程	研发策略	研发布局
起点—挖壕	通过技术引进及转让，拓展科学知识应用场景，填补科学研究空白；研发强度随“科学—技术—产品”环节呈现逐渐下降态势。	
起点—卡位	通过并购或专利授权获得新范式基础技术，以快速响应技术范式变革、抓住变革窗口；研发强度随“科学—技术—产品”环节呈现倒U态势。	
挖壕—攻坚	提倡科学环节、技术环节的自主创新以实现关键核心技术能力的全面提升，产品环节的研发强度相对较弱。	
攻坚—颠覆	科学环节技术能力基础较强，研发创新侧重于技术环节和产品环节，主要通过技术跨界融合以实现颠覆式创新。	
卡位—颠覆	侧重于技术环节和产品环节创新，通过市场和客户需求驱动产品研发，探索新技术范式下的前沿技术和产品。	
挖壕—颠覆	通过产品环节的颠覆式创新，探索和开发新的技术轨道并拓展产品市场，建立创新生态系统，实现弯道超车。	

(1) “起点—挖壕”的关键研发策略以科学环节的创新活动为主。在技术起步阶段，技术范式动态性弱且技术能力基础弱，故创新活动往往集中于科学研究环节，注重基础知识的研究与开发；此时技术环节的创新活动较弱，未发生较大技术变革；产品开发尚未成熟，处于初探阶段。研发强度随“科学—技术—产品”环节呈现逐渐下降态势。例如，高铁在技术起步阶段基础研究落后，尚

未形成自主研发能力，通过技术引进及转让获取技术，填补科学研究空白；民用无人机沿用军用无人机相关技术，应用其基础研究成果，拓展应用场景。

(2)“起点—卡位”的关键研发策略以新技术轨道追赶为主，更注重技术环节的创新活动。当技术范式动态性强且技术能力基础弱时，为合理配置较少的技术资源以适应范式动态性，抓住技术轨道变迁带来的机会窗口，创新活动更多集中于技术环节。研发强度随“科学—技术—产品”环节呈现倒U态势。例如，视频监控技术追赶初期经历了两个技术机会窗口，海康威视、大华股份等国内领军企业基于国外先进基础研究，通过并购或专利授权获得新范式基础技术，以快速响应技术范式变革、抓住变革窗口，跃迁到下一技术范式，最终在新技术轨道上获取局部技术优势。

(3)“挖壕—攻坚”的关键研发策略以强调自主创新为主。基于一定的科学研究能力积累前提，在技术范式动态性较弱且技术能力基础较强的情境下，采用攻坚破解策略，继续开展基础科学研究并加强在技术层面的应用，倡导各技术领域的自主创新。例如，高铁技术在追赶时期，通过技术引进、技术转让，储备了一定的技术创新能力，提倡自主创新以实现高铁技术能力的全面提升。科技部和原铁道部签署《中国高速列车自主创新联合行动计划》，对高铁技术的多个关键领域进行布局，实现并行研发。

(4)“攻坚—颠覆”的关键研发策略以跨界技术融合的产品创新为主。经过前一阶段的自主创新，技术能力得到很大的提升且已实现技术追赶，但所处阶段的技术范式动态性较强。该阶段强调从被动地追赶领先技术向主动地引领技术发展方向转变，注重技术和产品环节的创新，实现跨界技术融合或产品颠覆式创新，以适应范式动态性并强化新技术新产品的先发优势。例如，在高铁技术超越阶段，高铁技术与云计算、物联网、大数据等新一代信息技术相融合，集成出具有复合技术兼容性的智能高铁，实现高铁智能建造、智能装备、智能运营技术水平全面提升。

(5)“卡位—颠覆”的关键研发策略注重技术自主创新和新产品开发并行。在技术范式动态性强、技术能力基础较强的情境下，已具备局部技术优势，科学研究已达到创新瓶颈，加强各技术领域的技术创新以实现全面的技术布局，并率先进行新产品开发，掌握技术和新产品发展主动权，是实现技术超越的关键举措。例如，视频监控龙头企业海康威视较早对智能监控技术进行研发布局，探索智能化技术范式下的前沿技术和产品，通过市场和客户需求驱动产品研发，快速响应行业技术和产品范式变革，引领全球智能化视频监控技术和产品的发展方向。

(6)“挖壕—颠覆”的关键研发策略注重新产品开发。在技术范式动态性较强、技术能力基础较强的情境下，采用颠覆破解策略。该阶段科学环节、技术环节的创新活动较弱，创新主要集中于产品环节。通过自主研发新产品，探索和开发新的技术轨迹，在新的技术轨迹中创造新的产品市场并建立创新生态系统。例如，以大疆为首的中国民用无人机企业基于市场和客户需求驱动产品创新，用一体机替代了传统的组装机，将专业市场拓展至大众消费市场，实现利基市场和新产品颠覆创新，引领全球民用无人机发展方向。

六、研究结果与讨论

(一) 研究结果

本文首先通过纵向梳理高铁、视频监控和民用无人机三种技术在不同阶段的破解策略选择，并将多阶段的破解策略进行动态组合形成了关键核心技术的破解战略路径；其次，通过对战略路径各阶段的研发策略进行分析，探究研发策略的演变规律；最后，通过对三个案例的战略路径选择及各阶段研发策略进行比较分析，得出以下研究结论。

第一，“卡脖子”技术破解存在三种战略路径，其演化方向都是以技术颠覆为目标，在科学、技术和产品等多维度实现全面赶超。其一，以高铁技术为代表的战略路径沿“起点—挖壕—攻坚—

颠覆”发展，其特点是在相对静态的技术范式下，循序渐进地进行技术追赶。起步阶段实现局部技术领先；追赶阶段基于一定的技术积累，实现较全面的技术领先；超越阶段强调探索新的技术发展轨道以实现颠覆式创新。其二，以视频监控技术为代表的战略路径沿“起点—卡位—颠覆”发展，其特点是在相对动态的技术范式下实现跨越式技术追赶。追赶阶段抓住技术转换机会窗口，快速响应市场，实现局部技术领先；超越阶段基于一定的技术积累，率先实现技术轨道转换并主动引领技术发展方向。其三，以民用无人机技术为代表的战略路径沿“起点—挖壕—颠覆”轨迹跃迁，其特点是快速响应市场和客户需求，实现市场或产品的颠覆式创新。追赶阶段拓展军用无人机应用场景，开拓民用无人机新市场；超越阶段基于客户需求不断调整目标市场和研发方向，成功开创了消费级无人机市场。

第二，三种战略路径存在六种不同类型的技术追赶过程，每一段技术追赶过程采取不同研发策略，其研发策略模式与追赶阶段的情境特征密切关联。“起点—挖壕”的关键研发策略以科学层面的创新活动为主；“起点—卡位”的关键研发策略以新技术轨道追赶为主；“挖壕—攻坚”的关键研发策略以强调自主创新为主；“攻坚—颠覆”的关键研发策略以跨界技术领域的产品创新为主。“卡位—颠覆”的关键研发策略注重技术自主创新和新产品开发并行；“挖壕—颠覆”的关键研发策略注重新产品开发。

（二）理论贡献

第一，从技术层面出发，构建“卡脖子”技术破解的“情境—策略”匹配理论框架。现有研究多从企业视角出发研究企业的技术追赶战略，缺乏从技术视角的深入研究。本文基于技术视角，识别了“挖壕、卡位、攻坚、颠覆”四种破解策略，丰富了技术破解策略理论研究。基于权变理论，构建技术破解的“情境—策略”匹配框架，拓展了理论应用场景，形成了整合性理论框架。第二，将“S-T-P”创新模式融入技术追赶理论框架。传统技术追赶理论基于技术引进消化吸收到自主创新的逆向“A-U”创新模式^①，但复杂技术情境下技术创新过程存在较大不确定性，技术垄断和封锁情境下传统创新模式不适用于“卡脖子”技术破解。本文将“S-T-P”创新模式引入“卡脖子”技术破解理论框架，进一步识别了技术破解战略路径所对应的研发策略，及技术情境特征与研发策略的相互匹配关系，丰富了技术破解理论框架。第三，基于中国本土案例构建了“卡脖子”技术破解动态演化机理。现有研究较少聚焦于技术追赶策略之间的动态演进机理，本文通过案例分析识别了技术破解的三种动态战略路径及六个关键过程，发掘中国关键核心技术成功实践的内在机理，丰富了情境过程视角的中国式创新研究及关键核心技术动态演化过程的相关研究。

（三）实践启示

逆全球化和疫情危机等大变局冲击下，我国关键核心技术“卡脖子”事件频发。如何破解“卡脖子”技术难题是亟待解决的重大现实问题。对于后发企业而言，需要正确认识自身所处的技术情境，根据技术情境选取相对应的技术破解策略和研发策略，并关注内外部情境动态变化，及时调整破解策略，形成有针对性的技术破解战略路径，成功实现技术赶超。对于政府而言，要正确识别我国关键核心技术所处的技术情境，并依据情境特征针对性地制定“科学—技术—产品”三个环节的创新激励政策，正确引导后发企业、科研院所等创新主体在不同环节的资源配置，实现效能最大化。

（四）研究不足与展望

本文对“卡脖子”技术破解研究具有一定参考价值，但仍存在不足。首先，本文主要采用二手数据，其来源广泛、可多方验证且易获取，但资料深度不够，未来可以深入关键技术的龙头企业进

^① J. Utterback, and W. Abernathy. "A Dynamic Model of Process and Product Innovation". *Omega*, 1975, 3 (6): 639 - 656.

行调研以丰富研究资料；其次，由于案例本身具有特殊性，研究结果仅具有一定范围的解释性，未来可以采取大样本实证检验结论的有效性及其普适性；最后，本文仅考虑技术层面情境要素，没有纳入其他外部情境因素，未来可通过定性比较分析方法探讨其他外部情境因素，使得技术破解框架更加丰富。

Theoretical Framework, Strategic Path, and Strategy of Research and Development in the Process to Solve the Problem of Technological Blockage

YU Rongjian, ZHAO Yizhi, WANG Yaping

(School of Business Administration, Zhejiang Gongshang University)

Abstract: When the development of key technologies in China is suppressed by developed countries, how to crack the problem of technological blockage becomes very urgent both in practice and in theory. To this end, this paper identifies four strategies, i. e., trenching, jamming, attacking, and subverting, and two technical contexts, including the dynamics of technical paradigm and the base of technical capability, to construct a theoretical framework in which situation and strategy matching each other in the process of solving technological blockage. This paper selects three key technologies, that is, the technologies of building high-speed railways, video surveillance, and civil UAV as examples to analyze. This study has developed three dynamic strategies to solve the problem of technological blockage, i. e., the strategies of starting point-trenching-attacking-disrupting, starting point-jamming-disrupting, and starting point-jamming-disrupting. It further explores the key processes of multiple strategic paths, their intermediate processes, and the strategies of research and development within them. This research provides both practical inspiration and theoretical basis for the solution to the problem of technological blockage.

Key words: Technological blockage; “Situation-Strategy” matching; Strategic paths; Strategies of research and development

(责任编辑 王伯英)