

关键核心技术成果转化的迭代式创新机制 ——基于中国海油“璇玑”系统的纵向案例研究

许 晖¹, 龙 杨¹, 卢一斌¹, 王 昊^{1,2}

(1. 南开大学商学院, 天津 300071; 2. 中海油田服务股份有限公司, 天津 300459)

摘 要:随着我国在重大关键技术领域不断创新突破,科技成果转化重要性日益凸显,破解关键领域转化难题已成为推动重大科技成果迈向现实生产力的关键。因此,亟需基于迭代式创新视角,以国家重大装备中国海油“璇玑”系统为案例分析对象,深度解构关键核心技术成果转化的过程与内在机理。研究发现:(1)关键核心技术成果转化基于“迭代基础—迭代过程—迭代结果”逻辑框架进行迭代式创新,呈现出“基础功能实现”到“复杂功能拓展”再到“差异功能引领”的三阶段动态演进;(2)基于不同阶段成果转化特征,迭代式创新呈现出“验证性迭代—适应性迭代—协同性迭代”的迭代过程,并以“技术可用性转化”到“作业可靠性提升”再到“场景契合度优化”的迭代目的实现关键核心技术成果转化;(3)转化过程中产品开发遵循“功能分析—行为构建—结构输出”的设计框架,在技术和产品维度呈现出“原理技术→基础产品”“技术优化→进阶产品”“技术扩散→谱系产品”的演化路径。上述结论旨在丰富我国科技成果转化以及产业化等领域的理论研究,从而为关键核心技术成果转化提供有益借鉴和启示。

关键词:关键核心技术;科技成果转化;迭代式创新;产品创新

中图分类号:F204

文献标识码:A

科技成果转化是我国实施创新驱动发展战略的重要任务,也是加强科技与经济紧密结合、实现经济高质量增长的关键途径。习近平总书记强调“要推进科技创新同产业创新深度融合,整合科研资源和力量,强化企业创新主体地位,优化创新生态,力争在一批重大科技专项上取得新突破,推动科技成果向现实生产力转化。”目前我国在重大科技专项特别是关键核心技术研发方面取得较大突破^[1]。然而关键核心技术作为高壁垒性复杂技术体系^[2],技术突破难以直接解决外部封锁下的技术依赖问题,如何克服技术创新到市场应用的难点堵点^[3],是促进创新链产业链深度融合,实现科技自立自强的关键路径^[4,5]。因此,关键核心技术成果转化机制已成为学界和业界的重要问题,也是推动科技成果迈向现实生产力的核心议题^[3]。

科技成果转化包含从技术研发到商业化再到新产品开发等核心环节,是将创新势能转化为产业动

能的关键方式^[6]。现有研究从政策推动^[7,8]、参与主体间合作^[9]和转化情景^[6,10]对科技成果转化的影响机制作了讨论。此外已有学者开始聚焦关键核心技术这一主题,讨论重大工程和链主企业对技术商业化的影响^[1,4]。尽管上述研究对科技成果转化作了有益讨论,但关键核心技术转化的重点在于技术与市场的有效动态匹配^[1]。其中将实验室研究成果通过技术创新和工艺改进,转化为具有市场竞争力的新产品和新服务已是关键。在技术供给侧和需求侧同时影响下,产品开发和性能提升必然依赖市场实践并不断试错优化,呈现出迭代式反复过程^[11]。迭代式创新强调快速性创新、持续性改进、及时性反馈以及市场广泛参与,有助于企业将科学发明与市场洞见有效结合^[12-14]。因此,在关键核心技术创新链衍生产业链的背景下,迭代式创新视角能帮助学界分析企业如何在技术与市场影响下实现关键核心技术成果转化^[1],但相关迭代基础、过程

收稿日期:2025-05-26;修回日期:2025-07-24

基金项目:国家社会科学基金重大项目(21&ZD132);国家自然科学基金面上项目(72272082);教育部企业案例研究基地项目(202314000294)

作者简介:许晖(1967-),女,教授,博士。龙杨(1996-),男,博士研究生,通讯作者,E-mail:longyang1120@126.com。
卢一斌(1997-),男,博士研究生。王昊(1990-),男,硕士研究生。

和结果等机制目前尚未明晰,亟需进一步挖掘。

为回应上述现实问题和理论缺口,本文选择中海油田服务股份有限公司(以下简称“中海油服”)自主研发的“旋转导向和随钻测井”类国家重大装备—“璇玑”系统为研究对象,将研究问题界定为“关键核心技术如何通过迭代式创新实现科技成果转化”,具体讨论:第一,在创新链和产业链融合背景下,关键核心技术成果转化过程存在何种迭代式创新机制?第二,成果转化不同阶段迭代式创新的基础、过程和结果有何差异特征?本文研究结论是对市场导向下关键核心技术成果转化创新路径和理论规律的新探索,能为我国关键领域科技自立自强提供有益借鉴。

1 文献综述

1.1 关键核心技术成果转化研究

关键核心技术具有难模仿、高投入、复杂性和关键性特征,往往被少数国外领先企业垄断^[2]。当前我国在关键核心技术的研发方面取得显著成果,但突破技术封锁实现科技自立自强还面临技术创新到市场应用转化的巨大挑战^[5]。现有研究中关键核心技术突破更多是解决技术可行性验证,而成果转化则是技术进一步延伸至实际产品形态转化的过程,重点讨论技术能否转化为产品获取经济效益^[1]。具体来看,科技成果转化是指将技术原型进行扩大实验,从而推动技术到市场化产品的转变^[15]。科技成果转化帮助企业在关键科技领域保持竞争优势,实现核心技术自主掌握和科技自立自强的长远目标^[4]。

关键核心技术成果转化在流程上涉及复杂技术研发、新产品设计以及新产业链构建,在参与主体上受到企业、政府、大学和中介机构等多主体互动影响^[9],在转化周期上经历实验室成果到样机构建、中试以及工程性可行验证等环节^[3,14]。现有研究更多以常规性技术为研究对象,对学术创业企业、政府以及“产学研”多主体互动下的科技成果转化机制展开讨论^[9]。尽管已有研究关注到关键核心技术商业化的重要性,但关键核心技术成果转化讨论仍处于起步阶段^[1],迫切需要学者探究如何将技术开发阶段的科学知识转化为实用技术,通过技术创新和工艺改进开发具备市场竞争力产品,最终实现从关键技术突破到关键技术应用的重大转变^[9,16]。

1.2 产品研发与迭代式创新研究

产品是企业实现技术研发价值的重要途径,关键核心技术的产品开发能推动技术在市场端应用转化,促进相关产业以及价值链的发展^[1]。产品设计开发过程涉及内部功能与结构映射逻辑构建,现有研究基于 Gero 提出的“功能—行为—结构”(FBS)的理论框架,从功能需求、转化行为与物理结构推动产品设计问题从抽象模糊向具体精准转化^[17,18]。随着产品设计研究的发展,基于不同情景拓展 FBS 框架已成关键^[19]。在大型复杂产品开发过程中,研发团队需要权衡产品本身性能和成本、识别应用复杂环境、创造性组合元件,其设计过程呈现出迭代特点。上述情景中传统 FBS 难以提供有效借鉴,亟待基于迭代特征进一步拓展优化。

迭代强调基于一个初始值不断寻求近似解,以实现逐步趋近于最终求解区间和目标^[11]。与线性创新模型不同,迭代式创新源于快速试错的敏捷创新模型,其关注产品设计、测试、反馈的自适应开发^[20],具有短周期叠加创新、多次迭代实现整体螺旋式上升的特征^[12]。当前,部分学者聚焦迭代式创新的结果,讨论创新型企业如何利用迭代式创新化解“速度—新颖”悖论^[11,14]。另有学者关注迭代式创新机制,从创业者的“动机—能力”视角和技术的“学习—优化—验证”机制解构迭代式创新的动力以及技术突破路径^[11,21]。然而,上述研究一方面仅关注迭代式创新的驱动因素和创新结果,未能结合迭代创新特征探究具体机制。另一方面,尽管有少量研究开始分析迭代式创新的内在机制^[11],但更多是基于外部封锁下技术如何突破问题的延伸讨论,未能就技术研发向产品功能设计转化这一核心议题展开探索。

综上,现有研究可能存在以下缺口:第一,已有研究更关注关键核心技术的概念和突破机制,技术端和市场端匹配下科技成果转化讨论度明显不足^[3];第二,目前已有少量学者从链主企业影响和重大工程推动角度讨论关键核心技术的产业化过程^[1,4],但企业内部技术与产品交互的成果转化机制亟需进一步考量;第三,FBS 框架和迭代式创新视角能为关键核心技术成果转化机制讨论提供指导^[11],但现有研究并未就成果转化中迭代特征展开细化讨论,难为关键核心技术产业化实践提供理论指导。因此,迭代式创新视角下关键核心技术成果转化机制亟待学界进一步展开探究。

2 研究方法

2.1 方法选择

本文采用过程性纵向单案例研究方法展开分析。具体考虑如下:(1)关键核心技术成果转化过程涉及多创新要素与技术组合,属于“*How*”和“*Why*”的研究范畴,适用案例研究方法^[22]。(2)迭代式创新过程涉及较多内隐层面的复杂概念,依赖研究者基于“局内人”所体会到产品功能设计和效应知识互动过程,具有探索性和归纳性的特点,采用探索性案例研究方法为宜^[23]。(3)过程性纵向探索性案例能识别企业关键行为与时间顺序,有助于全面连贯地观察企业从技术研发到产品转化过程,

便于归纳和总结关键机制^[24]。

2.2 案例选择

本文以“璇玑”系统为研究对象,原因如下:(1)典型性。中海油服自主研发的“璇玑”系统入选国家能源局重大技术装备名单,该成果推动我国在油气勘探开发领域跻身世界一流行列,成为除美国外唯一能提供定向钻井整体解决方案的国家,具有典型性特征。(2)启发性。本文关注的迭代式创新机制强调从技术到产品的有效转化。自从 2011 年技术研发成功,“璇玑”系统迅速实现 800\950 系列产品转化并不断优化迭代,当前已形成 3 种作业尺寸、4 类测量技术以及 2 种动力的谱系化产品,具有启发性特征。本文将 2006 年至今“璇玑”系统成果转化过程分为三个阶段,如图 1 所示。

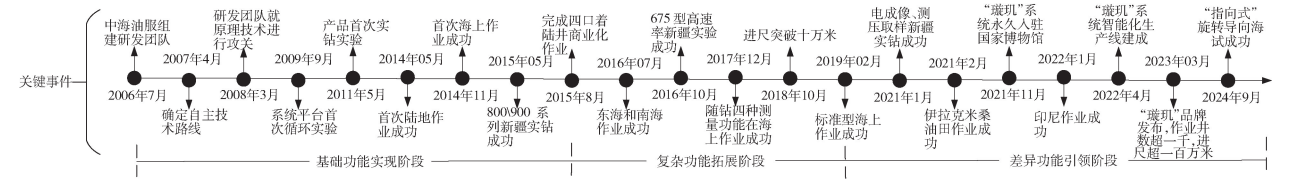


图 1 璇玑系统发展历程及关键事件

Figure 1 “Wellleader + Drilog” system development history and key events

2.3 数据收集与编码

本文数据收集时间为 2023 年 9 月至 2025 年 5 月,研究团队先后前往北京、天津、廊坊、佛山进行正

式调研访谈,数据来源分为半结构化访谈、参与式观察和二手资料。详见表 1。

表 1 案例数据来源及编码

Table 1 Source and coding of case data

数据类型	获取方式	量化信息	数据内容	编码
一手资料	半结构访谈	中国海油集团:原副总经济师、企业管理部负责人、企业管理部员工(x2),共 4 人访谈 1900 min	钻井技术发展、企业技术创新演化	HF ₁₋₄
		中海油服油田技术事业部:副总经理、科技管理部经理、油田技术研究院副院长、首席电子工程师、制造中心副经理、成果转化中心负责人(x2)、定向随钻业务代表,共 8 人访谈 2070 min	“璇玑”研发过程、样机研发和调试、技术可复制性和产业化	YF ₁₋₈
		中海万泰:副董事长、总经理、副总经理、财务总监、董事会秘书,共 5 人访谈 900min	“璇玑”数智生产线、试验平台以及“璇玑”产业化	WF ₁₋₅
二手资料	参与式观察	钻井仿真模拟项目、教学案例开发、MBA 课程开发,共 6 次 1500min	钻井技术与璇玑工作原理	GF ₁₋₆
	内部资料	会议记录、技术研发和系统开发文档、工艺改良文件		HT ₁
	外部资料	企业官网、微信公众号、新闻报道、高管采访视频、国内外期刊等		HT ₂

2.4 数据编码与分析

本文采用结构化编码方法探究关键核心技术成果转化过程中的迭代式创新机制^[25,26],以“三角验证”原则不断完善数据和证据链收集整理。做法如

下:(1)整理企业关键事件形成关键核心技术成果转化中迭代式创新过程以及时间线;(2)一阶分析总结有关现象本质的概念和主题形成不同标签“数据块”,利用“选择—聚焦—筛选”简化步骤形成一

阶构念^[27]。根据数据间的潜在联系性,利用特定逻辑将各“数据块”连接形成二阶构念^[28]。(3)编码人

员基于过程性纵向单案例研究范式和“*If - Then*”逻辑假设归纳概念关联性形成聚合构念^[23],详见图2。

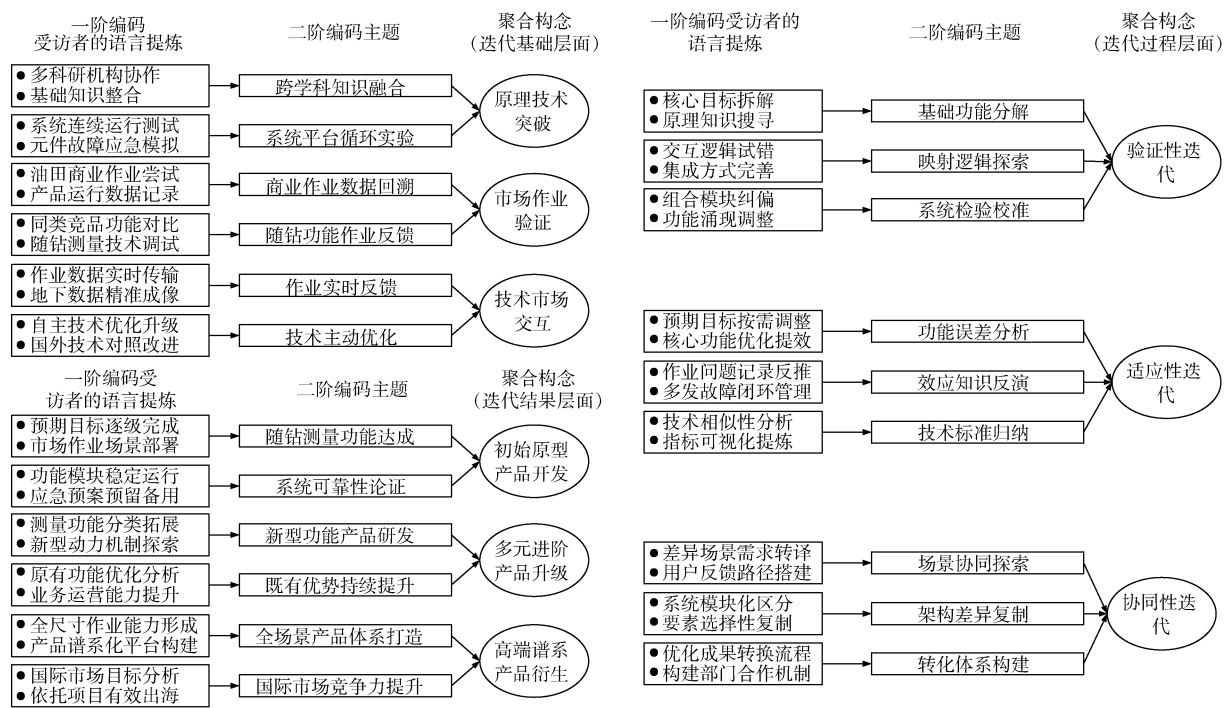


图2 数据结构
Figure 2 Data structure

3 案例分析与发现

3.1 基础功能实现阶段

(1) 原理技术突破的迭代基础

原理技术突破是指企业在关键核心技术领域利用基础研究进行知识创造和技术创新,从而催生相关产业以及产业链^[3]。在该阶段“璇玑”系统的迭代基础源于原理技术突破,聚焦于解决钻井动力原理、测量基础学理以及控制链路中各关键节点的基础知识以及组合难题。

(2) 验证性迭代过程

与传统“实验室—工程验证”的线性转换不同,本阶段体现为“功能分解—映射逻辑—偏差校准”的验证性迭代,从而推动技术组合、知识融合和产品结构的验证与优化。首先,功能是产品存在的本质也是产品创新基础,转化初期功能分析是产品概念设计过程中的关键步骤^[19],基础功能分解关注从原理技术到功能单元的逻辑转译^[29]。研发人员通过梳理“璇玑”系统作业功能,将其拆解为若干子系统功能模块。这一过程将“能力性表述”原理性技术

转化为“模块化定义”的产品开发逻辑,并搜寻原理知识进行组合,实现从科学问题向工程问题的首轮转译。其次,研发团队开始通过映射逻辑构建系统间连接关系^[19]。研究团队从子系统连接和交互视角出发,理清各功能模块边界、耦合方式与数据流路径,从而使“璇玑”系统具备基础运行能力。该过程一方面要求技术间组合逻辑的试错重构,另一方面推动子系统间集成融合,表现出技术逻辑与知识逻辑交互演化特征。最后,产品系统建成时仍存在多项偏差与性能不足。在实际部署场景中研发团队记录技术开发问题,对结果偏差来源进行溯因分析,通过内部例会形成解决方案,在实际测试中优化系统组合并调整功能表现,促成关键技术路径与产品架构开发的收敛与稳定。

(3) 初始原型产品开发的迭代结果

验证性迭代推动“璇玑”系统完成初始原型产品定型,此时产品表现为:①技术功能边界已明确,旋转导向动力机制和测边技术逐步成熟,已具备重复制造与部署能力;②系统稳定性与响应效率经多轮测试验证,达成应用标准,具备面向不同实际作业场景的运行能力。随着产品开始在不同作业场景中

稳定部署,标志着其由“原理技术”向“基础产品”的关键跨越,实现了技术可用性转化,也为后续大规模系统应用与功能拓展奠定基础。

表 2 基础功能实现阶段典型证据援引

Table 2 Typical evidence cited in the implementation stage of basic functions

聚合构念	二阶主题	一级编码	典型例证援引
原理技术突破	跨学科知识融合	多科研机构协作	· 我们联合各高校以及钢铁、航天企业一起技术攻关(YF ₂)
		基础知识整合	· 作为国家重大科技专项,研究内容涵盖光学、通信、控制科学等各学科知识(HT ₂)
	系统平台循环实验	系统连续运行测试	· 成果转化需模拟作业场景对产品进行长时间运行测试,观察性能变化(YF ₃)
		元件故障应急模拟	· 通过人为设置故障点可测试系统稳定性并建立应急响应机制(YF ₄)
验证性迭代	基础功能分解	核心目标拆解	· 复杂系统不断拆分为子功能,能帮助厘清关键原理以及元件构成(YF ₈)
		原理知识搜寻	· 基于核心功能,研究团队联合高校分析提炼核心原理知识(YF ₆)
	映射逻辑探索	交互逻辑纠错	· 在产品研发过程中,建立循环机制不断试错并验证可行性(YF ₁)
		集成方式完善	· 构建产品功能映射后,团队通过试验来不断改善集成方式(YF ₇)
	系统检验校准	组合模块纠偏	· 研发团队根据目标进行模块组合,梳理分析各模块间关系不断纠正(WF ₄)
		功能涌现调整	· 系统模块不断组合能实现目标功能从无到有并不断完善(YF ₄)
初始原型产品开发	随钻测量目标达成	预期目标逐级完成	· 通过不断迭代,初始产品能实现钻、测、评、传基本功能(HT ₁)
		市场作业场景部署	· 实验室和实地钻井验证后我们将产品部署到作业油田(HF ₂)
	系统可靠性论证	功能模块稳定运行	· 除实现功能目标外还需论证产品系统稳定性(HT ₁)
		应急预案预留备用	· 产品故障处理和应急预案在研发过程中需提前准备,才能将产品用于市场(YF ₈)

3.2 复杂功能拓展阶段

(1) 市场作业验证的迭代基础

“璇玑”系统产品部署至实际作业场景后,迭代逻辑不再以可行性验证为核心,而是适应实际应用场景下的新需求,解决作业中出现的新问题以提升适应性。通过对随钻测井技术的商业化作业数据分析,能帮助“璇玑”系统完善已有技术并拓展产品功能。

(2) 适应性迭代过程

随着产品功能数量和系统复杂度提升,相关技术系统理想度并非线性提升^[29],如何删除负向作用组件有效提升有用功能是产品开发的重要过程。此阶段迭代目的为提升作业场景可靠性,呈现出“误差分析—知识反演—标准归纳”的适应性迭代。在作业过程中,技术团队在原有产品系统架构上采用“预期目标调整+核心功能优化”的升级策略。一方面根据作业情况对产品功能研发方向进行调整,有针对性解决作业可靠性。另一方面通过模块集成扩展实现功能接入,保证主系统功能稳定性并提升新功能表现。其次,研发团队根据作业数据和故障反馈,反演系统内部效应知识,改良功能和内部架构

提升产品性能。具体来看,研究团队构建故障闭环管理机制,基于“故障发生—故障定位—关闭整改”管理流程,以问题引导逻辑反推完善产品。最后,研发团队在技术层面强化技术标准化目标,为技术可复制性和扩散提供基础。在多轮作业实践中,研发团队基于研发经验、故障问题定位以及解决机制,总结提炼技术相似性和可视化指标,形成产品标准参数、模块通用尺寸、数据接口协议、故障解决指标等规范文件,构建“可复制构型+场景适应性”工程技术标准。

(3) 多元进阶产品升级的迭代结果

基于实际作业问题的解决,“璇玑”系统演变成多应用场景下稳定可复制的多元进阶产品。在新型功能维度,研发团队基于不同分类进行产品升级,实现“结构健康识别”“高速率信号传输”和“数据可视化呈现”等功能拓展。在已有功能维度,“璇玑”系统转向平台化设计,具备开放接口、统一调度和插件扩展能力,支持产品优化模块与其他组件快速集成,形成既有功能优化。至此“璇玑”系统逐步构建起“适应性”能力,显著提升部署广度与作业可靠性。

表 3 复杂功能拓展阶段“璇玑”成果转化的典型证据援引

Table 3 Typical evidence cited in the stage of complex function expansion

聚合构念	二阶主题	一级编码	典型例证援引
市场作业验证	商业作业数据回溯	油田商业作业尝试	· 商业化实地作业便于记录问题用于后续产品优化(HF ₁)
		产品运行数据记录	· 钻井数和进尺量累加,能够收集足量作业数据分析产品可靠性(WF ₂)
	随钻功能作业反馈	同类竞品功能对比	· 市场化进程中业主不可避免将璇玑与竞品进行对比,功能可靠是关键(YF ₂)
		随钻测量技术调试	· 基于作业要求产品团队将不同元件进行实钻测量和测井调试(YF ₈)
	功能误差分析	预期目标按需调整	· 在产品改进过程中,测井测量方式以及性能需重点改进(HF ₄)
适应性迭代	效应知识反演	核心功能优化提效	· 高造斜率旋转导向需不断优化升级,提升最大造斜能力(YF ₃)
		作业问题记录反推	· 作业中研究团队归纳问题共性,其中造斜率不足、液压系统不起压较为突出(YF ₉)
		多发故障闭环管理	· 我们构建故障收集定位和整改流程,涵盖作业公司、研究院以及市场部,打造“研产用改”闭环管理(HT ₁)
	技术标准归纳	技术相似性分析	· 通过找寻研发过程中的技术相似性,绘制仪器技术规格书和现场作业指南(HT ₁)
		指标可视化提炼	· 为提升迭代效率,我们建立质量管理体系指标和仪器体系文件清单(YF ₈)
多元进阶产品升级	新型功能产品研发	测量功能分类拓展	· 此阶段从基础产品逐步拓展进阶功能,优化核心技术覆盖主流产品需求(YF ₂)
		新型动力机制探索	· 随着推靠式旋转导向技术成熟,我们开始探索指向式动力技术(HF ₁)
	既有优势持续提升	原有功能优化分析	· 作业数据丰富便于分析原有产品的功能并改进(HT ₁)
		业务运营能力提升	· 远程控制中心能保证作业现场和运维中心实时沟通,提升作业效率降低失误(YF ₃)

3.3 差异功能引领阶段

(1) 市场作业与技术优化交互的迭代基础

尽管“璇玑”系统基于作业场景反馈不断优化功能,但场景作业契合性难题仍有待克服。一方面,不同油田地质复杂性、井深尺寸和油藏分布差异显著,对璇玑系统契合程度提出更高要求;另一方面,技术迭代本身也产生潜在突破机会,如更轻量高效的感知模组、更精准的地质模型模拟等。因此,本阶段迭代基础不再是技术或场景单一因素影响,而是“璇玑”系统如何在市场端高度异质需求和技术端突破机会中寻求产品创新突破。

(2) 协同性迭代过程

围绕场景契合度优化的迭代目的,企业尝试对“璇玑”系统进行谱系化架构升级。首先,为实现差异场景下作业高效性和精准性,技术团队探索协同功能需求。通过将不同作业油田特征提取,围绕产品使用频率、功能组合路径与部署适配结果,团队分析并归类识别需求方差异需求。另外团队搭建与业主作业沟通合作渠道,就作业过程实时对接,匹配协同场景下相关需求。其次,本阶段“璇玑”系统转向“基础平台+模块化组件+场景特征”的产品架构平台,通过参数驱动、经验库比对等方式支持产品快速部署。基于业务需求分析,研发团队改变产品系

统内部元件以及互联方式,实现产品架构差异复制。具体而言,通过对系统模块化提炼,精简复杂架构下分析单位,实现分级嵌套系统的拆分和重构,并选择关键要素进行复制革新,达到架构创新并衍生新产品。最后,构建转化体系能保证在技术和市场互动下快速转化产品。在产品平台架构上,团队规定从研发输入到成果转化输出流程以及职责分工制度,对输入(研发与成果转化)、转化(产品定型和样机试制)以及输出(产品输出以及转化标准)做了详细界定,综合生产制造体系、应用体系和维保体系直接输出结果,借助培训体系和销售体系的外部协助打造产业化 3+2 体系,提升“技术—场景”高度耦合下成果转化效率。

(3) 高端谱系产品衍生的迭代结果

在“技术—市场”交互式推动下,“璇玑”系统逐步形成结构清晰、能力互补的谱系化产品,通过建立“场景—产品”匹配机制,企业能快速部署产品组合涵盖新型作业场景。当前企业实现“三种井径+四类测量+两类动力”的标准化封装与批量部署能力建设,相关产品已在国际油田崭露头角并抢占市场份额。相关产品表现为谱系产品结构明晰、场景响应效率提升、部署策略灵活度增强以及转化效率提升,具备面向差异化需求快速部署的能力。

表 4 差异功能引领阶段典型证据援引

Table 4 Typical evidence cited in the leading stage of differential functions

聚合构念	二阶主题	一级编码	典型例证援引
技术市场交互	作业实时反馈	作业数据实时传输	· 提升传输速率,现场作业数据能快速抓取并实时传输至后方(YF ₈)
		地下数据精准成像	· 建模技术能将测量数据构建模型,帮助作业人员判断潜在地质和油藏分布(YF ₂)
	技术主动优化	自主技术优化升级	· 随着技术掌握程度加深,研发团队升级了产品质量和核心技术(YF ₇)
		国外技术对照改进	· 对比解析国外公司在造斜率、高速传输、方位电阻率等技术,帮助改进技术(HF ₁)
	场景协同探索	差异场景需求转译	· 针对井径井深温压实际场景,将不同工况场景需求转译为系统部署目标(YF ₂)
协同性迭代	架构差异复制	用户反馈路径搭建	· 引入用户部署反馈机制,形成“场景问题—配置路径”的知识沉淀(YF ₅)
		系统模块化区分	· 我们基于不同功能实现逻辑差异做了模块区分,便于在技术平台整合应用(YF ₅)
	转化体系构建	要素选择性复制	· 在功能从低阶到高阶的过程中,需要用已有的关键要素和新型要素进行整合(YF ₈)
		优化成果转换流程	· 构建输入、转化和输出标准化流程,实现产品定型、样机试制、产品输出(HT ₁)
		构建部门合作机制	· 转化过程中我们详细界定各部分的权责边界,以实现各主体协同效果(HF ₁)
高端谱系产品衍生	全场景产品	全尺寸作业能力形成	· 当前具备三大尺寸、四条测量技术线作业能力,一些技术指标走在前列(YF ₆)
	体系打造	产品谱系化平台构建	· 基于不同作业方式,团队构建谱系化产品结构实现需求精准匹配(YF ₈)
	国际市场竞争能力提升	国际市场目标分析	· 随着产品竞争力加强,我们瞄准国际对手的市场开始进行市场扩展(HF ₁)
		依托项目有效出海	· 借助一带一路项目,我们在伊拉克和印尼开始作业(HT ₁)

4 结论与启示

4.1 主要结论

基于迭代式创新视角,本文选取国家重大技术装备的“璇玑”系统作为分析对象,构建了关键核心技术成果转化的迭代式创新模型,详见图 3。具体结论如下。

第一,关键核心技术成果转化基于“迭代基础—迭代过程—迭代结果”的逻辑框架进行迭代式创新,经历了“基础功能实现”到“复杂功能拓展”再到“差异功能引领”的三阶段动态演进,在原理技术和市场应用以及两者交互的影响下,产品实现从“初始原型产品”向“多元进阶产品”再向“高端谱系产品”的升级演化。

第二,基于不同阶段成果转化特征,企业以“验证性迭代—适应性迭代—协同性迭代”实现基础技术突破到谱系产品设计创新,以“技术可用性转化”到“作业可靠性提升”再到“场景契合度优化”的迭代目的完成关键核心技术成果转化,在此过程中呈现出“原理技术→基础产品”“技术优化→进阶产品”“技术扩散→谱系产品”的迭代路径。

第三,科技成果转化的产品开发遵循“功能分析—行为构建—结构输出”的逻辑框架进行迭代。具体而言,在功能维度以基础功能、功能纠偏以及场

景协同为产品功能目标,以行为构建方式探索元件间的映射逻辑、效应知识以及架构复制形成产品系统,在结构维度达成偏差校准、标准提炼和体系构建的结果性输出。上述三类产品设计流程在不同阶段通过循环反馈修正,以达到产品的迭代式创新。

4.2 理论贡献

首先,本文深度解构关键核心技术成果转化过程中持续性创新的微观过程机制,有效弥补现有研究对关键核心技术突破后续行为关注不足的研究缺口。现有研究就关键核心技术的概念、结构、突破路径机制做了重点研讨^[1,2],但关键核心技术还取决于技术突破之后的持续性创新以及成果转化等行为^[1,11]。因此,本文基于关键核心技术突破后成果转化过程的持续性创新考量,以迭代式创新视角解构成果转化过程机制,有助于加深学界和业界对关键核心技术成果转化的理解。

其次,本文分析讨论了成果转化过程中迭代式创新特征以及影响,从“迭代基础—迭代过程—迭代目的”框架揭示原理性技术到产品的转化机制,拓展了迭代式创新在关键核心技术成果转化领域的解释边界。现有研究针对迭代式创新的概念、特征、创新流程以及创新结果做了有益探讨^[12],但对迭代式创新在技术、市场和产品之间的转化内在机制并未进一步讨论。由此,本文将迭代式创新与技术与市场作用下关键核心技术产品设计与研发过程结

合,就迭代目的进一步区分不同迭代式创新的区别边界。以及联系,有效拓展迭代式创新研究领域的解释

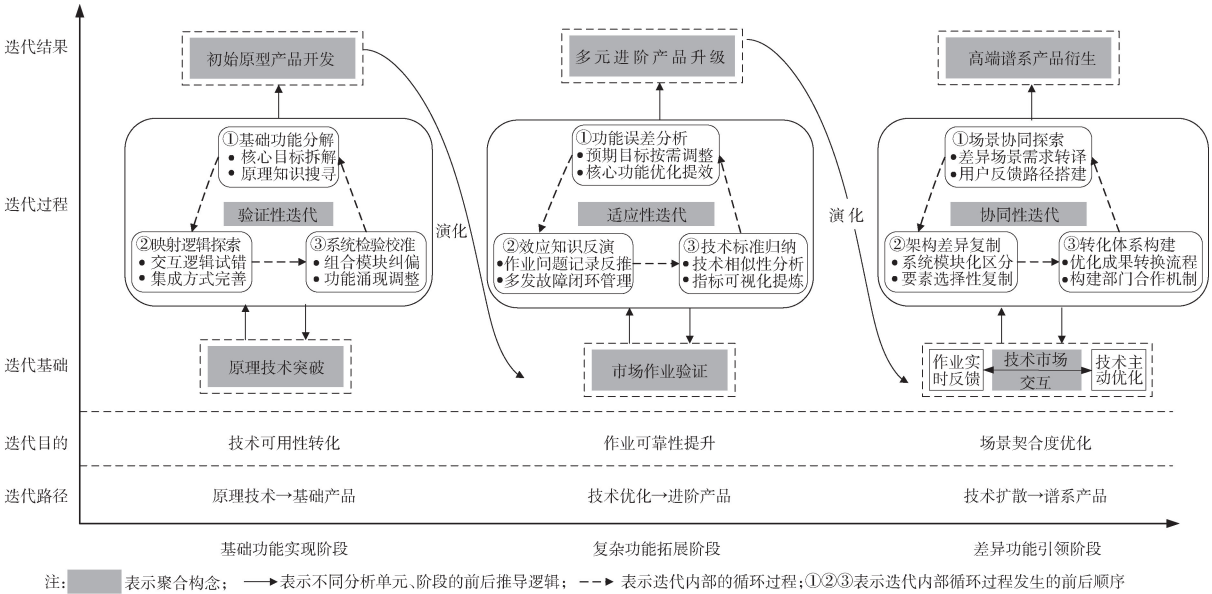


图3 关键核心技术成果转化中迭代式创新机制

Figure 3 Iterative innovation mechanism in the transformation of key and core technological achievements

最后,本文将传统产品设计 FBS 框架拓展为“功能分析—行为构建—结构输出”的产品迭代理论框架,为技术复杂性突出的产品系统研发以及迭代提供理论参照。FBS 产品设计模型已成为指导产品概念设计和开发过程的重要方法论^[17,18],但在实际运用中存在概念模糊和需求端关注不足等问题^[19]。本文基于产品迭代情景将 FBS 框架进一步拓宽至“功能分析—行为构建—结构输出”,突出“功能分析”部分需求端影响,为复杂产品系统的概念设计提供有益借鉴。

4.3 实践启示

基于研究结论,关键核心技术成果转化应注重迭代式创新的系统推进。作为创新主体,企业应构建“基础—过程—结果”递进式迭代框架,识别技术原理与市场需求的动态耦合关系,推动原型产品向多元高端化演进;在不同转化阶段,政府和企业应匹配差异迭代策略,针对性提升技术可用性、可靠性和契合度;在迭代过程中,企业应遵循“功能分析—行为构建—结构输出”的产品开发架构,围绕场景需求和功能目标设计产品,将关键核心技术的创新优势转化为发展优势。

4.4 局限与展望

本文仍有以下不足以供未来研究讨论,不同行

业关键核心技术成果转化过程迭代目的可能呈现出新的特征,一方面未来研究可拓展到不同行业验证和深化现有理论模型;另一方面未来可采取多案例研究方法,进一步对比分析成果转化过程中的差异化迭代过程。

参考文献:

[1] 邵云飞,陈燕萍,吴晓波,等. 从“研发”到“市场”:链主企业如何实现关键核心技术的商业化?[J]. 管理世界, 2024, 40(12): 19-43. Shao Y F, Chen Y P, Wu X B, et al. From "R&D" to "market": How can leading-chain enterprises commercialize key core technology? [J]. Journal of Management World, 2024, 40(12): 19-43.

[2] 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. Hu X B, Yuan C H. Key part of core technology: Concept, characters and breakthrough factors [J]. Studies in Science of Science, 2022, 40(1): 4-11.

[3] 刘志迎. 论创新链与产业链耦合的两个理论假说与现实价值[J]. 江淮论坛, 2025(2): 141-150, 193. Liu Z Y. On the two theoretical hypotheses and practical value of the coupling of innovation chain and industrial chain [J]. Jiang-huai Tribune, 2025(2): 141-150, 193.

- [4] 杨筱恬,关月,于森,等. 重大工程推动关键核心技术产业化的实现路径——以“华龙一号”核电工程项目为例[J]. 科学学研究, 2025, 43(4): 834 – 844. Yang X T, Guan Y, Yu M, et al. Research on the realization of the industrialization of key core technologies promoted by megaprojects——A case study based on "HPR1000" nuclear power project[J]. Studies in Science of Science, 2025, 43(4): 834 – 844.
- [5] 蔡莉,张玉利,蔡义茹,等. 创新驱动创业:新时期创新创业研究的核心学术构念[J]. 南开管理评论, 2021, 24(4): 217 – 226. Cai L, Zhang Y L, Cai Y R, et al. Innovation – driven entrepreneurship: A core academic construct of innovation and entrepreneurship research in the new era[J]. Nankai Business Review, 2021, 24(4): 217 – 226.
- [6] Fini R, Rasmussen E, Wiklund J, et al. Theories from the lab: How research on science commercialization can contribute to management studies[J]. Journal of Management Studies, 2019, 56(5): 865 – 894.
- [7] 时省,魏新茹,侯伯军. 政府引导基金对促进科技成果转化作用的研究[J]. 科学学研究, 2025, 43(11): 2425 – 2437. Shi X, Wei X R, Hou B J. Role of government guidance fund in promoting transformation of scientific and technological achievements[J]. Studies in Science of Science, 2025, 43(11): 2425 – 2437.
- [8] 刘大勇,李妍,王孟柔,等. 财政科技政策实施特征与科技成果转化[J]. 科学学研究, 2026, 44(1): 178 – 193. Liu D Y, Li Y, Wang M R, et al. Implementation characteristics of fiscal science and technology policies and the commercialization of scientific and technological achievements[J]. Studies in Science of Science, 2026, 44(1): 178 – 193.
- [9] 李晓华,李纪珍,杨若鑫. 科技成果转化:研究评述与展望[J]. 外国经济与管理, 2023, 45(4): 119 – 136. Li X H, Li J Z, Yang R X. Scientific and technological achievement transformation: A literature review and prospects [J]. Foreign Economics & Management, 2023, 45(4): 119 – 136.
- [10] 尹西明,钱雅婷,武沛琦,等. 场景驱动科技成果转化:理论逻辑与过程机理[J]. 科学学研究, 2024, 42(11): 2286 – 2294, 2317. Yin X M, Qian Y T, Wu P Q, et al. Context – driven technology transfer: Theoretical logic and process mechanism [J]. Studies in Science of Science, 2024, 42(11): 2286 – 2294, 2317.
- [11] 李阳,许晖,王千金. 打破“小院高墙”:不确定情境下“单项冠军”企业如何实现关键核心技术创新突破? [J]. 南开管理评论, 2025, 28(7): 197 – 208. Li Y, Xu H, Wang Q J. Breaking the “ small courtyard high wall ”: How can single – item champion enterprises achieve key core technology innovation breakthroughs under uncertain circumstances [J]. Nankai Business Review, 2025, 28(7): 197 – 208.
- [12] 黄艳,陶秋燕. 迭代创新:概念、特征与关键成功因素[J]. 技术经济, 2015, 34(10): 24 – 28. Huang Y, Tao Y Q. Iterative innovation: Concept, character and key successful factor [J]. Journal of Technology Economics, 2015, 34(10): 24 – 28.
- [13] Feldman M S, Pentland B T, D’Adderio L, et al. Beyond routines as things: Introduction to the special issue on routine dynamics [J]. Organization Science, 2016, 27(3): 505 – 513.
- [14] Ghosh S, Wu A. Iterative coordination and innovation: Prioritizing value over novelty [J]. Organization Science, 2023, 34(6): 2182 – 2206.
- [15] 王毅,吴贵生. 技术创新管理[M]. 北京:清华大学出版社, 2025. Wang Y, Wu G S. Management of Technological Innovation [M]. Beijing: Tsinghua University Publishing House co., Ltd, 2025.
- [16] 陈光宇,税发萍,鲁若愚,等. 重大工程价值创造过程的适应性迭代机制——以都江堰水利工程“惠泽永敷”为例[J]. 管理世界, 2025, 41(3): 205 – 227. Chen G Y, Shui F P, Lu R Y, et al. Adaptive iteration mechanisms for value creation process of megaprojects: The case of "Huize Yongfu" of Dujiangyan water conservancy project [J]. Journal of Management World, 2025, 41(3): 205 – 227.
- [17] Gero J S. Design prototypes: A knowledge representation schema for design [J]. 1990, 11(4): 26 – 26.
- [18] 白仲航,张资恒,李晨辉,等. 功能 – 行为 – 结构 (FBS)模型方法研究综述[J]. 图学学报, 2022, 43(5): 765 – 775. Bai Z H, Zhang Z H, Li C H, et al. Review on research of FBS model method [J]. Journal of Graphics, 2022, 43(5): 765 – 775.
- [19] Eppinger S D, Ulrich K. Product Design and Development, 6th Edition [M]. New York: McGraw – Hill Education, 2015.
- [20] 龚璇,蔡爱新,吴津润. 欲速则不达——基于组织吸收能力的迭代式产品创新机制研究[J]. 南开管理评论, 2022, 25(4): 99 – 111. Gong X, Cai A X, Wu J R. More haste less speed? Iteration speed of high – tech products and innovation performance: A perspective of absorptive capability theory [J]. Nankai Business Review, 2022, 25(4): 99 – 111.
- [21] 姜诗尧. 创业者“动机 – 能力”视角下迭代式创新机

- 制研究[J]. 科学学研究, 2020, 38(9): 1698 – 1705. Jiang S R. Research on iterative innovation mechanism based on the perspective of "motivation – ability" of entrepreneur [J]. Studies in Science of Science, 2020, 38(9): 1698 – 1705.
- [22] Eisenhardt K M, Graebner M E. Theory building from cases: Opportunities and challenges [J]. Academy of Management Journal, 2007, 50(1): 25 – 32.
- [23] 李亮, 刘洋, 冯永春. 管理案例研究: 方法与应用 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2020. Li L, Liu Y, Feng Y C. Case study Research: Methods and Practice [M]. Beijing: Peking University Press, 2020.
- [24] 王凤彬, 张雪. 用纵向案例研究讲好中国故事: 过程研究范式、过程理论化与中西对话前景[J]. 管理世界, 2022, 38(6): 191 – 213. Wang F B, Zhang X. Telling Chinese stories well with longitudinal case studies: Process study paradigm, process theorization and the prospects of sino – western dialogue [J]. Journal of Management World, 2022, 38(6): 191 – 213.
- [25] 许晖, 龙杨, 李阳, 等. 人机联合认知视角下制造企业如何实现智能决策[J]. 中国工业经济, 2025(4): 174 – 192. Xu H, Long Y, Li Y, et al. How can manufacturing companies achieve intelligent decision – making from the perspective of Human – AI joint cognition [J]. China Industrial Economics, 2025(4): 174 – 192.
- [26] Gioia D A, Corley K G, Hamilton A L. Seeking qualitative rigor in inductive research: Notes on the gioia methodology [J]. Organizational Research Methods, 2013, 16(1): 15 – 31.
- [27] Saldaña J. The Coding Manual for Qualitative Researchers [M]. California: Sage Publications Ltd, 2009.
- [28] Miles M B, Huberman A M. Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook [M]. California: Sage Publications, Inc, 1994.
- [29] 高常青. TRIZ: 产品创新设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2019. Gao C Q. TRIZ: Product Design Innovation [M]. Beijing: China Machine Press, 2019.

Iterative innovation mechanism for transformation of key core technology achievements —— A longitudinal case study based on CNOOC's "Wellleader + Drilog" system

XU Hui¹, LONG Yang¹, LU Yi – bin¹, WANG Hao^{1,2}

(1. Business School, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2. China Oilfield Services Limited, Tianjin 300459, China)

Abstract: As China continues to make significant breakthroughs in critical and strategic technological domains, the transformation of scientific and technological achievements into practical applications has emerged as a pressing national priority. Effectively overcoming the challenges in the commercialization of such key technologies is increasingly recognized as a central driver for translating scientific progress into productive capacity and national competitiveness. However, the process by which core technological innovations evolve into complex, market – ready systems remains insufficiently understood, particularly in the context of large – scale, high – stakes industrial applications. This study addresses this gap by adopting an iterative innovation perspective and conducting an in – depth case analysis of the "Wellleader + Drilog" system—an exemplar of China's national strategic equipment developed by China National Offshore Oil Corporation (CNOOC).

Through longitudinal case evidence, this study reveals the underlying mechanisms that shape the transformation of critical core technologies into high – end industrial solutions. First, the process of technology commercialization follows a logic of "iterative foundation – iterative process – iterative outcome," advancing through a three – stage trajectory: (1) basic function realization, where core technical principles are translated into rudimentary product forms; (2) complex function expansion, in which capabilities are enhanced and diversified to meet operational complexity; and (3) differentiated function leadership, where innovation enables the development of unique product attributes that serve as competitive advantages in strategic scenarios. This dynamic evolution highlights how the iterative nature of innovation supports both technical maturity and functional sophistication over time.

Second, the transformation path is shaped by stage – specific innovation patterns, characterized as "validating iteration – adaptive iteration – collaborative iteration." These correspond to distinct transformation goals; the initial stage focuses on converting technical feasibility into operational usability; the middle stage emphasizes improving reliability under varying operational conditions; and the final stage aims to achieve optimal fit between technology capabilities and complex industrial application scenarios. This staged approach

(下转第 1500 页)