

doi:10.11911/syztjs.2023026

引用格式: 王敏生, 闫娜, 光新军. 石油工程跨界融合技术创新态势研究与建议 [J]. 石油钻探技术, 2023, 51(4): 95-103.

WANG Minsheng, YAN Na, GUANG Xinjun. Research and suggestions on cross-border syncretisation innovation of petroleum engineering technologies [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2023, 51(4): 95-103.

石油工程跨界融合技术创新态势研究与建议

王敏生, 闫娜, 光新军

(中石化石油工程技术研究院有限公司, 北京 102206)

摘 要: 为顺应技术融合的趋势, 推动石油工程技术快速高效发展, 追踪研究了近十年石油工程跨界融合技术创新举措, 认为石油工程跨界融合技术创新主要包括跨界科研联盟与技术合作、风险投资、技术集成创新、技术收并购等。跨界融合技术创新推动油田服务企业的经营环境日益透明、运作模式更加灵活、作业方式和程序不断优化、施工性能指标不断提升、适用范围不断拓宽, 油田服务的内涵也愈发丰富。基于跨界融合技术创新对石油工程技术的影响, 提出了 4 项石油工程跨界融合技术创新的发展建议, 包括提升外部技术扫描能力, 强化外部连接能力, 打造共生创新生态, 注重 T 型人才的培养和聚集等。研究结果与建议对加快推进石油工程跨界融合技术发展具有重要意义。

关键词: 跨界融合; 技术创新; 开放创新; 风险投资; 技术集成; 发展建议

中图分类号: F416.22

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2023)04-0095-09

Research and Suggestions on Cross-Border Syncretisation Innovation of Petroleum Engineering Technologies

WANG Minsheng, YAN Na, GUANG Xinjun

(Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering Co., Ltd., Beijing, 102206, China)

Abstract: In order to follow the trend of technological syncretization and promote the rapid and efficient development of petroleum engineering technologies, measures for cross-border syncretization innovation of petroleum engineering technologies in the past ten years were studied. It is believed that the cross-border syncretization innovation of petroleum engineering technologies mainly includes cross-border scientific research alliance and technological cooperation, venture capital, technological syncretization innovation, technological merger and acquisition, etc. The operating environment of oilfield service enterprises is increasingly transparent, and the operation mode is more flexible. The operation mode and procedure are constantly optimized, and the construction performance index is constantly improved. Furthermore, the scope of application is constantly expanded, and the connotation of oilfield service is increasingly enriched. According to the influence of cross-border syncretization innovation on petroleum engineering technologies, four development suggestions on cross-border syncretization innovation of petroleum engineering technologies were put forward, including improving the ability to scan external technologies, strengthening the external connection ability, creating a symbiotic innovation ecology, and focusing on the cultivation and aggregation of talents with T-shaped knowledge structures. The results and suggestions are of great significance to accelerate the development of cross-border syncretization of petroleum engineering technologies.

Key words: cross-border syncretisation; technological innovation; open innovation; venture capital; technological syncretisation; development suggestion

随着技术环境的动态性和复杂性逐渐深化, 跨界融合已成为技术创新的重要形式。目前, 关于跨界融合技术创新的研究广泛分布在产业互动、学科交叉、知识流动、企业合作等各个领域^[1-4], 但对于

收稿日期: 2023-01-15; 改回日期: 2023-02-23。

作者简介: 王敏生 (1973—), 男, 河南信阳人, 1995 年毕业于江汉石油学院钻井工程专业, 2009 年获中国石油大学 (华东) 油气井工程专业博士学位, 正高级工程师, 主要从事油气井工程及石油工程战略规划方面的研究与管理工。系本刊主编。E-mail: wangms.sripe@sinopec.com。

基金项目: 中国石化科技攻关项目“面向 2035 年的油气开发工程前沿技术战略研究”(编号: P20031) 资助。

跨界融合技术创新尚未形成广泛认可的概念阐释。企业是技术创新的主体,跨界融合本质上是企业通过知识、技能、资本等要素的跨界互动,实现技术融合和创新,取得技术进步的过程^[5-7]。跨界融合技术创新对石油工程领域已产生了广泛而深入的影响,但目前对于如何顺应技术趋势推动跨界融合创新还没有深入研究。在明确跨界融合技术创新内涵的基础上,追踪近十年来石油工程企业的跨界融合技术创新举措,分析其对石油工程技术发展的影响,发现助推石油工程跨界融合技术创新的有效措施,对推动石油工程技术快速高效发展具有重要意义。

1 石油工程跨界融合技术创新背景

从汉字本义来看,“跨”的含义为抬腿向前或向旁移动越过;“界”本义为疆界、边界、界限,依靠一定规则使界内外得以区隔。由于“界”具有时空、行业、组织机构、专业领域、文化等多维的划分标准,跨界融合技术创新具有丰富的内涵和应用场景,在国家层面表示产业的融合,企业层面表示跨部门、机构、组织、地域等的经营活动,在学术界教育层面则表示跨学科、跨专业等。而从本质上看,“创新”是属于经济范畴的概念,意为将生产要素与生产条件重新组合,创建新的生产函数,达到获得更好收益的目的。跨界融合技术创新应是以跨界为手段、以异质元素的深入融合为主要特征、以获得有价值回报为目的的技术创新。因此,笔者认为,跨界融合技术创新是企业通过知识、技能、资本等要素的跨界互动,实现技术融合和创新、取得技术进步的过程。

石油工程属于技术密集型行业,包括钻完井工程、采油工程、油藏工程等多个作业环节的设计、施工与管理,涉及石油机械、油田化学、油田地质学、工程流体力学等应用技术学科,集成了物理、化学、化工、机械、电子等多个基础学科的成果。石油工程技术以解决施工及管理中的问题、不断提升工程质量和效益为导向,不同学科互相融合贯通、共同发展,是天然的跨界融合技术创新场所。除上述行业自身特征外,石油工程跨界融合技术创新的产生与发展还受外部技术经济环境影响。

1.1 低碳发展约束,石油工程技术创新需求迫切

随着全球油气勘探开发不断深入,易开采资源逐渐走向稀缺,油气勘探目标向非常规资源及深层、超深层、深水、超深水、极地等处油气资源推

进。全球常规油气田普遍进入中后期,地质条件差、开采成本高,效益开发难度大。当前,碳中和成为全球主要经济体的共同责任,碳排放成为能源发展的约束因素。石油工程作为油气生产环节的重要组成部分,必将面对更严格的碳排放要求,随着碳税、碳排放交易机制在全球的推广,碳排放的合规性将成为影响油气开采经济性的重要因素。与此同时,新能源发展迅速,在环保水平、成本水平等方面对油气等传统能源形成了竞争。石油工程必须要强化技术创新,提升创新效率,回应资源类型多元化、开发条件复杂化、环保要求严格化等带来的一系列挑战。

1.2 科技创新空前活跃,发展环境不确定性激增

油气行业发展受地缘政治、能源结构、供需关系、金融政策、贸易争端等多种因素影响,发展环境具有典型的复杂、不确定、不可预测、模棱两可等特征。同时,信息技术、生物技术、生命科学、新材料技术等新兴技术融合发展,全球技术创新进入空前密集活跃期,技术发展周期大幅缩短,颠覆性技术产生的概率大幅提升,与之相伴的管理认知、商业形态不断被重塑。石油工程企业所处外部环境的动态性、复杂性、难以预测性、不连续性空前,需要不断强化创新能力以支撑可持续发展。

1.3 信息技术与传统产业融合,跨界便利性提升

新兴前沿技术与传统产业融合,颠覆了传统的经营规则。跨界融合在对某些产业形成颠覆性影响的同时,也为组织内、组织间、组织和外部环境的协同提供了更大的便利和可能性。例如,互联网、物联网等技术清除了人与人、人与物交流的时空障碍,将生产经营底层逻辑打通,使价值链由“碎片化”转向“一体化”,实现了企业经济活动在物理世界与数字世界之间的穿越。

1.4 跨界融合技术创新是企业开放创新的追求

技术创新无法一蹴而就或一劳永逸。当客户需求不断变化更新、企业经营环境急剧变化时,技术创新必然是企业获取竞争优势的重要途径。但在技术复杂度提升和产品生命周期缩短的背景下,企业依靠自身资源不能达到目的时,会采取集成创新、开放式创新、协同创新、战略联盟等多种形式来共享资源、降低成本、提升效率,集成、开放、协同创新都具有一定的“跨界”属性,与跨界融合技术创新有一定交集,但它们都仅体现了跨界创新的某一侧面。相比之下,跨界融合的适用场景更加丰富,也更强调创新的成果与影响。特别是在“中兴”事

件之后, 跨界融合技术创新更侧重于表达对原创性、基础性、突破性创新的追求^[8]。

2 石油工程跨界融合技术创新措施

2.1 跨界联盟与技术合作, 推动融合技术创新

为了解决行业共同面临的问题, 大量油田服务公司以科研联盟或技术合作的方式, 通过共享基础信息、优势互补、技术协同实现共同目标, 各类技术联盟、创新创业联盟、联合工业项目、跨行业合作项目等, 如雨后春笋般涌现。中国石油勘探开发研究院与新西兰惠灵顿维多利亚大学共同成立“油气工业磁共振应用技术”国际科技共享联盟, 推动先进磁共振技术在油气勘探、开发、工程、炼制及化工领域的应用。中国石油大学(北京)联合中国石油、华为等 28 家单位, 成立油气人工智能产学研创新联盟。康菲、道达尔、斯伦贝谢、贝克休斯等油公司和油田服务公司组成的先进能源财团(advanced energy consortium, AEC), 致力于通过部署纳米传感器转变对地下油气藏的认识。近 5 年, 石油公司的合作和联盟数量增长 1 倍以上^[9]。

2.2 积极开展风险投资, 畅通跨界融合渠道

为了提升企业外部技术扫描的能力, 部分油田服务公司设立科技风险投资部门搜寻外源创意, 建立信息资源网络, 采用外源技术内部应用、新兴技术联合资助等方式, 推动技术在跨界融合中迅速实现从研发到试验和商业化的过程。例如, 斯伦贝谢的新能源公司利用风险投资方式进入氢能、锂电池等新领域; 哈里伯顿成立实验室子公司, 创建企业家、学者、投资者和工业实验室共同参与的协作环境, 面向社会征集新技术, 入选技术可获得 10 万美元现金投资和为期一年的加速器体验, 为技术发展提供硬件设备、专家观点、全球商业网络等关键资

源, 助力参与者获得更多融资, 以此广泛接触到了企业外、行业外的最新技术。

2.3 组合装备与技术, 技术集成实现融合创新

技术集成是一种“综合”的技术, 是多项技术的融合、整合, 在石油工程技术服务领域多表现为一体化服务。如图 1 所示, 斯伦贝谢一体化钻井技术集成了数字化钻井设计与地质工程一体化技术, 围绕钻井挑战优化钻井设计, 根据地质及地质力学模型优化压裂设计, 通过一体化建井项目管理体系管控风险、组织项目运行。如图 2 所示, 哈里伯顿推出的资产模型一体化(asset model integration, AMI)集成了油气藏、井筒和管网数字模型、 workflow、优化算法和成果可视化等多项技术成果。针对石油工程提速提效的需求, 各油服公司都推出了综合提速提效系统, 如国民油井的自动钻井系统(automated drilling system, ADS)、斯伦贝谢的 OptiDrill、贝克休斯的英特克(INTEQ)等, 上述系统整合了地面设备与井下工具、钻头等信息, 司钻与远程实时作业中心技术人员可在统一平台上互动协作, 依托钻井仿真预测模型和大数据分析优化决策, 从而实现提高机械钻速、提升井下指令的效率

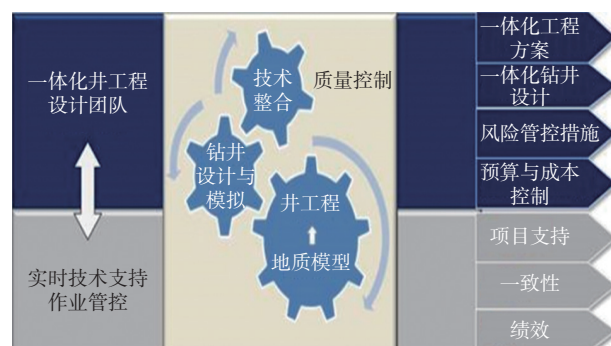


图 1 斯伦贝谢一体化钻井技术的构成

Fig.1 Composition of Schlumberger's integrated drilling technology



图 2 哈里伯顿 AMI 的构成

Fig.2 Composition of Halliburton's AMI model

及可靠性,降低钻具失效风险等目标。

2.4 灵活技术收并购,强化异质元素的融合

当技术集成的对象跳出单一组织的控制后,技术收并购成为了常用的技术融合手段。先进油田服务公司的收并购活动,充分体现了技术融合的特点。斯伦贝谢在并购企业后,按照业务链条归并新旧业务的同类项,将研发系统纳入智能化管理平台统一管控,推动技术融合。以其一体化陆地钻井服务研发为例,顶驱、管柱处理系统和防喷器技术并购自卡麦隆,钻机设计技术并购自 T&T 公司^[10]。美国通用电气公司(General Electric Company,简称 GE)收购贝克休斯后,将贝克休斯的石油工程数字化设备接入其工业互联网平台 Predix,目前贝克休斯已重新独立,但该平台已经成为其优势服务的支撑,贝克休斯工业设备内部缺陷检测服务同样融入了 GE 公司的前期成果。GE 曾先后并购了超声波便携检测、工业 X 射线、涡流检测等多个检测公司,打造了全球知名无损检测企业,该企业在重组时被并入贝克休斯,贝克休斯将光电成像技术与数字化处理技术相融合,推动无损检测技术迈向了新的高度。技术收并购推动的技术集成、技术链延长与技术的快速升级迭代,推动了行业技术的高效发展。

2.5 改变信息管理方式,强化跨学科互动

先进油田服务公司通过“成果管理”与“知识管理”强化数据、信息与技术研究的互动,通过管理机制优化强化跨学科互动。斯伦贝谢对各专业形成的中间成果和最终成果进行统一管理;在从地学、井筒和油藏跨学科角度整体优化成果的同时,通过确定不同主题的分析框架和 workflows、设计成果的调用程序实现知识管理。以统一的 SeaBed 数据库管理基础数据和成果数据,设计统一的数据检索、提取和分析窗口。此类管理方式的价值初期主要体现在获取数据、建立数据库和支撑决策上,而在未来将主要体现在定制方案和通过跨学科互动创造新价值上。

2.6 内外部技术链融合,强化内外部的协同

为了剔除条块分割导致的内部协同障碍,2008 年斯伦贝谢启动了支持系统改革,整合各产品线的服务支持职能,打通研发与工程、供应链、设备管理等支持系统底层,实现了不同产品线及多个产品研发中心之间的资源共享和知识、能力协同。经过价值链融合,打破了专业和部门的壁垒,以解决问题为目标,组建多学科团队协同攻关,各部门以低成本为目标进行技术优选和路径优化^[11]。

在自身价值链融合的基础上,油田服务公司追求与上下游价值链的外部协同。斯伦贝谢在与供应链的协同中,建立了区域物流控制塔,打破用户、运输和供应商之间的壁垒,以信息共享促进及时协调。供应链管理集成应用了跟踪物料的信息技术射频技术、用于供应链和物流分析的地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)、支撑运筹与决策工作的数据库技术、人工智能技术等。为了推动与油田公司的协同,斯伦贝谢推出了 DELFI 感知勘探和生产环境平台,油气勘探开发所涉及专业互联互通,甲乙双方在同一环境中制定计划,跟踪作业进展,最大限度地避免了专业壁垒和沟通不畅。哈里伯顿 4.0 数字化战略以“开放、连接和协同”为核心,推动地质、油藏、建井和大数据平台 4 大领域相互协同,同时以开放态度倡导共建共享 4.0 数字化生态系统。

2.7 强化数据共享质量,提升跨界融合效率

为推动全球范围内地下和油气井信息安全共享,提高整个行业地下数据共享的数量和质量,近 40 家油公司共同创建了开放地下数据空间(OSDU)论坛,建立了一个标准化数据平台,全行业可基于该平台数据共享。为提升跨界融合效率,斯伦贝谢开放其数据生态系统和 NExT 培训网络,实行内外部一体化管理,推动供应商和学术界资源共享。哈里伯顿、法国地球物理公司(CGG)向大学开放软件使用权,向长江大学、中国石油大学、阿曼的苏丹卡布斯大学等行业院校赠送软件,在通过共享提前培训潜在员工的同时,利用学校资源优化软件。

3 跨界融合技术创新对石油工程的影响

3.1 石油工程企业经营环境更加透明

3.1.1 更严格的外部监管环境

从外部监管环境来看,新兴技术与行政管理的深度融合,为监管部门提供了更先进的监测工具,企业生产经营活动涉及的人财物信息均在互联网上留有痕迹,可查询、追溯,可以互相验证或证伪。另外,基于移动互联网的自媒体兴起及其在舆情影响方面力量的释放,使企业的依法依规经营面临更严格的监管环境。

3.1.2 更科学的绩效衡量方式

从企业间的互动来看,油公司与油田服务企业的合作模式在跨界技术的支持下,向更精细、更科学的方向发展。在石油工程领域,设定各环节关键绩效指标并用于支撑价值分配,一直是一项非常具

有挑战性的工作,所以签订不与最终交付成果挂钩的日费制合同是油公司和油田服务公司合作的主要方式,具有激励作用的利益分享合同很难推行。随着工业传感器、物联网等技术的应用,多环节、多角度实时数据的获取,使甲乙双方在施工过程中能够实施精益管理,为公平分享利益奠定了基础。在北美的非常规资源开发中,油公司在与内波斯(Nabors)等油田服务企业的合作中,详细监测施工过程 17 个环节的多项性能指标,通过对比历史数据,确定成果交付后的利益分配^[12]。另外,区块链技术以其分布式核算和存储、开放与自治性、信息不可篡改等重要特性,为石油工程多节点协作的数据存储与共享提供了技术支持。美国戴蒙德海底钻探公司已经推出了区块链钻井服务。随着与应用场景的不断融合,区块链的价值将得到更多的认可。例如,在区块链架构下,通过智能合同编程,在钻机数据显示钻头已达到特定测量深度时,系统即自动触发向钻井承包商付款,订单核对和等待时间可缩短近一个月^[13]。

3.2 石油工程企业运作模式发生改变

3.2.1 服务与产品形态多样化

跨界融合技术创新推动石油工程企业的产品和服务向高度复杂、高度精密、高附加值转变。产品和服务形态不再是独立的装备、工具、软件等,而是越来越多地以软件+硬件、产品+服务、平台+终端、线上+线下等方式呈现,数据、内容、服务、作业过程等融为一体,基于数字化平台的服务都具有这个特征。

3.2.2 数据赋能企业决策质量提升

打通全过程、全领域数据流,实现全方位数据自动采集、实时流动与共享,5G 支撑的高带宽、低延时的设备互联,人工智能支撑的跨领域数据价值挖掘,虚拟现实、增强现实等模拟技术,推动油田服务企业决策效率、决策质量、决策精准度大幅提升。

3.2.3 企业边界趋向模糊

油田服务企业在跨界融合技术创新中,越来越

强调打破壁垒,通过内外部资源的协同与整合效应,构建自己的“共生”系统,应对发展环境的不确定性,企业的联盟、合作和共享,对原有组织边界具有一定破坏作用,但出于低成本获取竞争优势的考量,企业从强调资源拥有,转向更注重资源的使用^[14]。随着企业间互相渗透的加强,企业的边界由清晰变得模糊,而组织的边界和结构也从稳定向动态调整转变。

3.3 石油工程作业方式发生改变

3.3.1 操作简单化

跨界融合技术创新把石油工程施工所需要的支撑、控制程序集成在一个平台之上,并与自动化的设备相结合,施工过程就变成了“机在干,网在看,云在算”,而作业人员的操作则趋于简化,“一键式”作业不断增多。如哈里伯顿智能压裂系统 SmartFleet,整合地下压裂测量数据、有效三维可视化和实时压裂指令,可实现“一键压裂”。中国石油研发的自动钻机能实现关键设备及作业流程“一键式”操控。国民油井的自动化钻井系统,可自动进行重复性钻井作业。威福德公司推出的 AutoTong 自动化接套管系统,用速度控制算法准确控制接扣过程,专用评价系统可对套管与完井管柱进行精确控制与无差错评估,系统操作员只需按下大钳手柄上的按钮即完成操作。

3.3.2 流程简洁化

跨界融合技术创新带来的高新技术,能在减少工序的同时达到同样的施工效果。例如, Terves 公司研发的镁铝纳米复合材料可降解压裂球(见图 3),通过控制流体电解质或温度进行分解,不再需要返排或磨铣等作业;为解决裸眼砾石充填完井存在与环空封隔工具不匹配、页岩层段和长水平段砾石充填难度大等问题,贝克休斯研发了形状记忆聚合物防砂筛管,其具有较好的力学性能、化学稳定性、滤失性、抗腐蚀能力和可膨胀特性等,能够替代常规砾石充填完井,大大简化了传统砾石防砂作业流程。

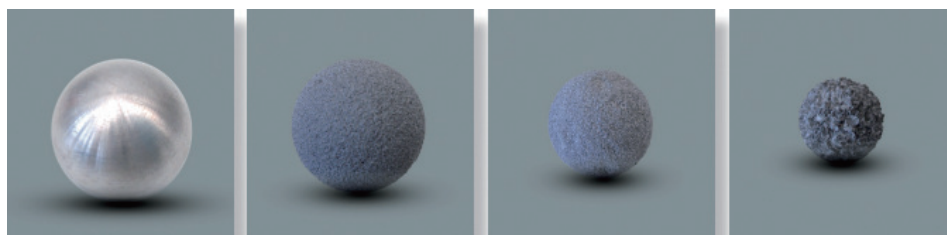


图 3 纳米复合材料可溶解小球溶解过程

Fig.3 Dissolution process of soluble nanocomposite pellets

3.3.3 现场少人化

在石油工程领域,工业机器人替代人类施工,在高危险性、高重复性、高精密性环节或者不适合人类作业的区域,发挥着越来越重要的作用,使石油工程施工现场朝少人化、无人化方向发展。如图4所示,挪威 Robotic Drilling Systems(RDS)公司研发的全自动钻台机器人具有自主学习、记忆和判断的功能,能够使用不同管柱操作工具精确高效地完成一系列钻台作业。如图5所示,Cameron Sense 公司研制的卸垛机器人^[15],能够根据监测到的密度、温度等数据中自动完成配制钻井液的工作。另外,远程作业中心与现场分工合作,能把更多的分析决策任务转移到远程中心,大大减少了现场作业人员。目前,贝克休斯 100% 的定向钻井作业通过远程服务中心完成,72% 的钻井工作通过远程操控来完成^[16]。

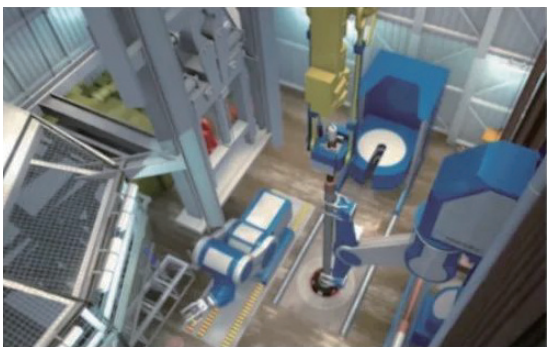


图4 RDS公司的钻台机器人自动钻井系统

Fig.4 RDS's automatic drilling system of derrick floor robots



图5 卸垛机器人

Fig.5 Destacking robot

3.3.4 响应智能化

与人工智能、实施监测等技术的融合,使油田服务逻辑由事后弥补变为了事前预防。如通过监测机械钻速、井底钻具组合响应特性、钻柱振动、钻头性能、钻遇地层特性等参数,采用人工智能方法来

降低钻井作业的不确定性。俄克拉何马大学采用机器学习方法随钻预测钻头处的岩性^[17]。得克萨斯 A&M 大学采用人工智能算法预测机械钻速^[18]。Pason 系统公司提出了一种适用于循环系统监测的机器学习算法框架,通过为循环出口流量和钻井液池增量提供预期的安全操作范围^[19]。在这些方法的支撑下,石油工程服务业务的响应方式由人为主观配置向实时智能精确配置转变。

3.4 石油工程技术全面提升

3.4.1 施工性能指标不断突破

跨界融合技术创新推动石油工程施工朝更快、更优、更环保、更智能的方向快速迈进,这不仅得益于电子光学工具装备提供的更全面的决策基础,大数据、人工智能带来的快速全面分析和预测,更得益于跨界融合创新带来的工具装备革新。吉林大学将仿生非光滑表面运用于金刚石仿生钻头,将钻头的进尺提高接近一倍,机械钻速提高 80%^[20-22]。NASA 形状记忆合金岩石压裂系统(SMARS)输出的能量超出同等尺寸液压系统的 100 倍,无需压裂液等耗材,且无环境破坏风险^[23]。

3.4.2 施工风险预防、实时优化能力不断提升

弥补原有技术在风险预防、实时优化等领域的不足,是跨界融合技术创新的重要攻关目标。以钻井液漏失防治为例,跨界融合创新在施工前、施工后,或者漏失发生后的应对都做了深入的探索。施工前预测方面,法赫德国王石油与矿业大学利用三维特征空间中的训练样对支持向量机井漏预测进行训练,使其井漏预测精度高于传统方法,可帮助现场工程师及时调整钻井参数或堵漏方案^[24]。漏失发生后,为快速准确地确定地层裂缝的位置、大小和形状,哈里伯顿采用微机电技术(MEMS)测定漏失裂缝状态,将微机电设备分散在钻井液中,获取漏失裂缝的深度及形状特征^[25]。在裂缝封堵方面,路易斯安那州立大学 A.Mansour 等人研制了形状记忆可膨胀智能堵漏钻井液,其对储层无伤害、不堵塞井下工具,膨胀后可有效封堵地层裂缝^[26-27]。

3.4.3 石油工程装备适用范围不断扩展

跨界融合技术创新使石油工装备对高温高压、深水等恶劣条件的适应能力不断提升,适用范围不断扩展。斯伦贝谢采用集成陶瓷电路技术(ICE)和多芯片组件技术研发了井下旋转导向和随钻测控工具,其在 200 ℃ 环境中工作性能稳定,并成功应用于墨西哥湾和泰国湾超高温钻井^[28]。贝克休斯在金刚石颗粒表面涂覆石墨烯薄膜并应用于 PDC 钻头

后, 钻头寿命增加且抗温能力达 1 200 ℃, 大大超过了普通钻头的抗温能力^[29-30]。Subsea7 与 SeeByte 公司针对深水领域, 设计了多功能水下自动检测机器人 AIV, 其可完成水深 3 000 m 海底基础设施的检查工作, 在数据质量和效率方面均超过了传统方法^[31]。

3.5 石油工程业务范围扩充

3.5.1 数字化服务

随着信息技术与油气生产的深入融合, 油气数字化转型形成了规模市场。先进油田服务公司积极布局数字化服务业务。斯伦贝谢成立了独立的数字与集成业务部门, 制定流程和方法辅助数字化转型, 抢占了数字化服务的先机, 先后与埃克森美孚、雪佛龙、巴西国油等油公司签署了数字化服务合同^[32]。贝克休斯的数字化管理系统产品覆盖运营、储层、设备、作业 4 个重点领域, 通过打破业务之间的信息壁垒, 实现设备互联、信息互通和全面控制, 采用云计算统一分析、优化, 可视化展现成果, 为操作人员和管理人员提供解决方案。

3.5.2 油气生产减排服务

针对油气公司低碳发展的需求, 油田服务企业采用技术集成、收并购等, 迅速形成了碳减排服务技术体系^[33]。斯伦贝谢针对碳管理进行了技术组合筛选, 明确了无组织排放管理、减少燃烧管理、电气化、油井建设排放管理和全油田开发排放管理等 5 个主题的技术组合。贝克休斯收购了 3C 碳捕集公司, 与 Horisont Energi 达成合作, 获得了 SRI 国际公司全球独家许可, 整合了远程钻井与自动化、零排放阀、无人机甲烷监测与分析、智能火炬管理、余热回收等业务, 形成了碳管理业务组合, 成功获得了俄罗斯石油公司碳管理服务、挪威 CCS 中心等项目。另外, 贝克休斯瞄准 3D 打印技术在个性化制造、降低运输成本、节能减排等方面的优势, 持续推动 3D 打印业务的发展, 与 3D 打印服务商伍尔特工业北美公司(WINA)签署联合服务计划, 提升了设计、数字库存和定制 3D 打印服务的能力。

3.5.3 网络安全服务

随着移动连接、数据库技术在行业中的逐渐扩展, 网络安全问题逐渐突出。斯伦贝谢于 2004 年开始提供网络安全服务。贝克休斯与全球网络安全解决方案供应商 Trend Micro Incorporated 达成合作, 将 Trend Micro 的产品与贝克休斯的 Nexus Controls 融合为新的产品组合, 该网络安全解决方案在能源、航空等行业具有广泛的适用性, 大幅拓展了油田服务公司的服务范围。

4 发展建议

4.1 强化外部技术扫描能力, 锤炼对创新洞察力

发现新技术是企业内外技术融合创新的基础, 而技术机会是一种稀缺资源, 需以开放的心态了解和接受外部技术, 使企业能够广泛地接触新思维、新技术。目前油田服务企业大部分都有新技术扫描和跟踪的机制, 常见的信息来源有现场需求、专题研讨、油气相关的技术刊物、大学、展览会及上下游的供应商等, 基本局限在原有技术范畴内。要强化外部技术扫描能力, 需改变常规的、发散的、被动的扫描方式, 采用多种方式捕捉机会, 如在技术活跃区建立分支机构; 或者针对某一领域的问题, 面向社会征集解决方案; 或者在学科结构化的基础上, 面向更广泛的学科、业务、产业进行持续跟踪扫描; 或者充分利用国内外知识产权中介服务机构获取外部创意。另外, 强化技术发现的能力, 结合技术成熟度、技术需求、技术原理等信息, 有助于探索技术融合的可能, 经过选择、评价、过滤等环节, 形成技术战略储备、现场应用、实验研发等发展建议。

4.2 强化外部连接能力, 打造共生创新生态

在跨界融合和开放创新的系统中, 创新要素有机集聚, 发生聚合反应, 创新主体共生共荣, 系统不断演化和自我超越。企业的技术创新过程从简单的线性过程转变为一个复杂网络状的反馈机制。构建一个合理、适度、柔性、可持续的创新生态系统, 是推动企业层面融合创新的重要途径。需要将以往产业链、供应链条件下的价值链, 转变为共生共荣、相互依存、共同成长的创新生态关系。首先要共建信息共享平台, 合作各方建立互动、互信和深层的知识交流机制。其次要推动价值共创, 网络连接松而不散, 合作各方在技术架构、技术细节、开发进度、资源投入等各方面进行毫无保留的深度交流。研发过程集思广益、交互共融, 真正达到提升科技创新效率的目的。再次, 价值共享是创新生态健康发展的动力, 创新生态里的各类主体在对生态贡献独特价值的同时, 也可在生态的整体发展中获得滋养, 满足其自身发展需求。

石油工程服务领域各类公司因产业链区间、核心竞争力来源不同而具有生态多样性, 在石油工程领域创新生态构建中, 对最终客户的需求认识明确、深刻的企业, 有能力集成不同来源技术的企业, 一般处于主导地位。各类油田服务企业在构建自身

创新生态时,需要瞄准自身价值定位,挖掘自身价值贡献的不可替代性,选择具有相同价值观的主体构建连接,并对连接主体、开发共享的内容、融合边界进行充分的论证和情景分析,把构建创新生态系统的决策建立在科学认识和严谨判断的基础上。

4.3 完善价值链融合机制,建立高弹性的组织

为适应外部环境剧烈变化与技术跨界融合的需求,很多企业都对组织架构和流程进行了重构。从技术跨界融合角度来看,企业的融合能力,取决于能否在企业内外部构建资源流动与分享的协同机制。油田服务企业可以把组织内融合看作是对外协作的试验场,在内部建立更灵活的机制,如采用项目长负责制、虚拟研究团队等攻关方式,打破壁垒,形成围绕一个中心进行灵活资源调动和合理利益分配的机制。

知识产权跨界流动是技术跨界融合最常见的支撑工具,在石油工程领域,受技术专属性强等因素的影响,产权交易一直不活跃,随着石油工程技术与其他领域的互动日益频繁,利用外部的知识产权推动油田服务行业的发展是不可避免的趋势,在开放创新环境中进行知识产权谋划是必须要掌握的技巧。企业应该有能够客观评价知识产权价值的工具,支撑企业选择技术和融合方式。除了通过知识产权为企业创造更多价值外,还应该熟悉掌握外部知识产权的评估、选择购买、合作共享以及风险控制等技巧,重视通过企业内外知识产权整合来谋求更多的超额利润。

4.4 注重T型人才的培养和聚集

T型人才是基于知识结构定义的一种新型人才类型,以字母“T”描述其知识结构特点。“—”表示知识的广度,“|”表示知识的深度。T型人才既有扎实的专业知识,又有广博的知识面,集深与博于一身。技术融合背景下,知识的广度并不局限于知识面、知识结构,也代表着“横向的跨界混搭、整合资源的能力”,它不仅指丰富的知识技能和储备,更是意味着跨界整合的能力。石油工程具有多专业协同的特性,应充分发挥多学科接触的优势,强化学科间对话交流,在共同目标的引导下,不断融合创新,形成T型人才培养和跨界融合深入的良性循环^[34]。

5 结束语

企业是创新的主体,油田服务企业通过跨界科研联盟与技术合作、风险投资、技术集成创新、技术

收并购等方式推动跨界融合技术创新。跨界融合技术创新推动油田服务企业经营环境日益透明、运作模式更加灵活、作业方式和程序不断优化、施工性能指标不断提升、适用范围越来越广,油田服务的内涵也越来越丰富。

石油工程投资约占据油气上游投资的60%,石油工程技术水平决定了油气资源与新能源的相对竞争力水平,在空前复杂性的发展环境下,油田服务企业需要把握技术发展的窗口期,顺应技术发展趋势,广跨界、深融合、建生态,超前布局技术经济制高点,强化外部技术扫描能力,锤炼对不连续性创新的洞察力,提升外部连接能力,打造共生创新生态,完善价值链融合机制,建立高弹性的组织与新的能力体系,形成持续发展的能力。

参 考 文 献

References

- [1] 李健,余悦.合作网络结构洞、知识网络凝聚性与探索式创新绩效:基于我国汽车产业的实证研究[J].南开管理评论,2018,21(6):121-130.
LI Jian, YU Yue. Structural holes in collaboration network, cohesion of knowledge network and exploratory innovation performance: an empirical study on the Chinese automakers[J]. Nankai Business Review, 2018, 21(6): 121-130.
- [2] 刘臣,单伟,于晶.组织内部知识共享的类型及进化博弈模型[J].科研管理,2014,35(2):145-153.
LIU Chen, SHAN Wei, YU Jing. Type and evolutionary game model of knowledge sharing within organizations[J]. Science Research Management, 2014, 35(2): 145-153.
- [3] 滕延秀.产业跨界融合理论综述[J].中小企业管理与科技,2022(15):132-134.
TENG Yanxiu. Summary of industrial cross-border integration theory[J]. Management & Technology of SME, 2022(15): 132-134.
- [4] 李东红,陈显蓉,周平录.破解颠覆性技术创新的跨界网络治理路径:基于百度Apollo自动驾驶开放平台的案例研究[J].管理世界,2021,37(4):130-159.
LI Donghong, CHEN Yurong, ZHOU Pinglu. Paths of cross-boundary network governance in introducing disruptive technological innovation: the case of Baidu Apollo autonomous driving open platform[J]. Journal of Management World, 2021, 37(4): 130-159.
- [5] BATHELT H, MALMBERG A, MASKELL P. Clusters and knowledge: Local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation[J]. Progress in Human Geography, 2004, 28(1): 31-56.
- [6] 章长城,任浩.企业跨界创新:概念、特征与关键成功因素[J].科技进步与对策,2018,35(21):154-160.
ZHANG Changcheng, REN Hao. Cross-boundary innovation: concept, characters and key successful factors[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2018, 35(21): 154-160.
- [7] ROSENBERG N. Technological change in the machine tool industry, 1840-1910[J]. The Journal of Economic History, 1963, 23(4): 414-443.
- [8] 刘辉.跨界创新理论研究与现实分析:基于中国创新路径的探讨

- [D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- LIU Hui. Theoretical research and practical analysis of cross-border innovation: discussion on China's innovation path[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2020.
- [9] 吕建中, 杨虹, 孙乃达. 全球能源转型背景下的油气行业技术创新管理新动向[J]. 石油科技论坛, 2019, 38(4): 1-8.
- LYU Jianzhong, YANG Hong, SUN Naida. New orientation of oil and gas industrial technology innovation management against background of global energy transformation[J]. *Petroleum Science and Technology Forum*, 2019, 38(4): 1-8.
- [10] 闫娜, 王敏生, 张大军. 世界石油工程技术研发管理动向及启示[J]. 石油科技论坛, 2018, 37(2): 56-63.
- YAN Na, WANG Minsheng, ZHANG Dajun. Trend and enlightenment for global petroleum engineering R&D management[J]. *Petroleum Science and Technology Forum*, 2018, 37(2): 56-63.
- [11] 闫娜, 王敏生, 李文博. 法国斯伦贝谢商业模式创新实践及启示[J]. 对外经贸实务, 2017(6): 22-25.
- YAN Na, WANG Minsheng, LI Wenbo. Practice and enlightenment of business model innovation in Schlumberger[J]. *Practice in Foreign Economic Relations and Trade*, 2017(6): 22-25.
- [12] de WARDT J, WYLIE R, LAING M, et al. History, disruptors and future of changing well construction business models[R]. SPE 208776, 2022.
- [13] Forbes. How blockchain is helping big oil optimize for a carbon friendly future[EB/OL]. <https://jpt.spe.org/how-blockchain-is-helping-big-oil-optimize-for-a-carbon-friendly-future>. [EB/OL]. (2021-02-04)[2022-03-12]. www.oilsns.com/article/410129.
- [14] 陈春花, 赵海然. 共生: 未来企业组织进化路径[M]. 北京: 中信出版集团股份有限公司, 2018.
- CHEN Chunhua, ZHAO Hairan. Symbiosis: the evolution path of enterprise organization in the future[M]. Beijing: CITIC Press Group, 2018.
- [15] LIOU J. Depalletizing robot automates mud-mixing process[J/OL]. (2013-09-14) [2022-03-12]. <https://drillingcontractor.org/depalletizing-robot-automates-mud-mixing-process-25986>.
- [16] Baker Hughes. We are taking energy forward[EB/OL]. [2022-03-12]. https://www.bakerhughes.com/sites/bakerhughes/files/2021-01/Baker%20Hughes%20-%20The%20path%20to%20net-zero%20and%20a%20sustainable%20energy%20future_0.pdf.
- [17] GUPTA I, TRAN N, DEVEGOWDA D, et al. Looking ahead of the bit using surface drilling and petrophysical data: Machine-learning-based real-time geosteering in Volve Field[J]. *SPE Journal*, 2020, 25(2): 990-1006.
- [18] NOSHI C I. Application of data science and machine learning algorithms for ROP optimization in West Texas: turning data into knowledge[R]. OTC-29288-MS, 2019.
- [19] UNRAU S, TORRIONE P. Adaptive real-time machine learning-based alarm system for influx and loss detection[R]. SPE 187155, 2017.
- [20] 高科, 李梦, 董博, 等. 仿生耦合聚晶金刚石复合片钻头[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(4): 485-489.
- GAO Ke, LI Meng, DONG Bo, et al. Bionic coupling polycrystalline diamond composite bit[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2014, 41(4): 485-489.
- [21] 徐良, 孙友宏, 李治文, 等. 仿生孕镶金刚石钻头在山东玲珑金矿的试验[J]. 地质与勘探, 2008, 44(4): 79-82.
- XU Liang, SUN Youhong, LI Zhiwen, et al. Experiment of bionics impregnated diamond bit in the Linglong gold mine, Shandong Province[J]. *Geology and Exploration*, 2008, 44(4): 79-82.
- [22] 徐良, 孙友宏, 高科. 仿生孕镶金刚石钻头高效碎岩机理[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2008, 38(6): 1015-1019.
- XU Liang, SUN Youhong, GAO Ke, et al. Efficient rock fragmentation mechanism analysis of impregnated diamond bionics bit[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2008, 38(6): 1015-1019.
- [23] 佚名. 石油行业的黑科技有多牛? 惠及航空航天、医疗、新能源……[EB/OL]. (2019-07-11)[2022-03-12]. www.oilsns.com/article/410129.
- Anon. How good is the black technology in the oil industry? Benefits to aerospace, medical and new energy[EB/OL]. (2019-07-11)[2022-03-12]. www.oilsns.com/article/410129.
- [24] AHMEED A, ELKATATNY S, ABDULRAHEEM A, et al. Prediction of lost circulation zones using support vector machine and radial basis function[R]. IPTC-19628-MS, 2020.
- [25] AL-HAMEEDI A T, ALKINANI H H, DUNN-NORMAN S, et al. Using machine learning to predict lost circulation in the Rumaila Field, Iraq[R]. SPE 191933, 2018.
- [26] MANSOUR A, EZEAKACHA C, TALEGHANI A D, et al. Smart lost circulation materials for productive zones[R]. SPE 187099, 2017.
- [27] MANSOUR A K, TALEGHANI A D, LI G Q. Smart lost circulation materials for wellbore strengthening[R]. ARMA-2017-0492, 2017.
- [28] LEE J. High-temperature target[J]. *Offshore Engineer*, 2017, 42(5): 78-79.
- [29] CHAKRABORTY S, DIGIOVANNI A A, AGRAWAL G, et al. Graphene-coated diamond particles and compositions and intermediate structures comprising same: US 9103173 B2[P]. 2015-08-11.
- [30] KESHAVAN M K, ZHANG Youhe, SHEN Yuelin, et al. Polycrystalline diamond materials having improved abrasion resistance, thermal stability and impact resistance: US 8309050 B2[P]. 2012-11-13.
- [31] GRAY A. Enabling autonomous inspection technology solutions to transform IMR operations[EB/OL]. (2018-08-12)[2022-03-12]. <https://www.subseauk.com/documents/documents2018/i-tech%20-%20alan%20gray%20-%20subsea%20expo%202019.pdf>.
- [32] SRINIVASAN H, MENON V, AL HAMDAN M, et al. Quantify and commit to sustainability[R]. IPTC-22456-EA, 2022.
- [33] 王敏生. 油气井钻完井作业碳减排发展方向与建议[J]. 石油钻探技术, 2022, 50(6): 1-6.
- WANG Minsheng. Development direction and suggestions for carbon emission reduction during drilling and completion[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2022, 50(6): 1-6.
- [34] 王敏生, 光新军, 闫娜, 等. 石油工程跨界融合技术创新[M]. 北京: 科学出版社, 2022: 233-234.
- WANG Minsheng, GUANG Xinjun, YAN Na, et al. Cross-border syncretisation innovation of petroleum engineering technologies[M]. Beijing: Science Press, 2022: 233-234.