

◀专家视点▶

doi:10.11911/syztjs.2025001

引用格式: 王敏生, 姚云飞. 石油工程领域新质生产力发展路径思考 [J]. 石油钻探技术, 2025, 53(1): 1-9.

WANG Minsheng, YAO Yunfei. Development paths for new quality productive forces in petroleum engineering industry [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2025, 53(1): 1-9.

石油工程领域新质生产力发展路径思考

王敏生, 姚云飞

(中石化石油工程技术研究院有限公司, 北京 102206)

摘 要: 打造石油工程领域新质生产力是保障国家能源安全, 推动油气勘探开发高质量发展的重要途径。在深刻理解新质生产力理论内涵和发展目标的基础上, 分析了我国石油工程领域高质量发展存在的问题, 提出了石油工程领域打造新质生产力的技术路径, 其包括创新驱动传统领域转型升级、创新引领新领域发展、加强赋能技术融合创新、加速成果转化等, 并从加快石油工程领域创新链、产业链、资金链和人才链融合, 打造高水平石油工程创新联合体, 深化石油工程领域科技体制改革, 打造石油工程领域高层次创新队伍 4 个方面给出了石油工程新质生产力发展的策略支撑, 为高效推动石油工程领域新质生产力的形成与发展提供了参考。

关键词: 能源安全; 高质量发展; 石油工程; 新质生产力; 发展路径; 策略支撑

中图分类号: F416.22; F403.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2025)01-0001-09

Development Paths for New Quality Productive Forces in Petroleum Engineering Industry

WANG Minsheng, YAO Yunfei

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

Abstract: To ensure national energy security and promote high-quality development of oil and gas exploration and development, it is crucial to strengthen new quality productive forces in the petroleum engineering industry. On the basis of understanding the theoretical connotation and development goals of new quality productive forces, the problems hindering the high-quality development of China's petroleum engineering industry were analyzed. The technical paths to develop new quality productive forces in the petroleum engineering industry were proposed, including transformation and upgrading of traditional fields driven by innovation, development of new fields led by innovation, strengthening of technologies for enabling integration and innovation, and acceleration of achievement transformation. Supporting strategies for the development of new quality productive forces in the petroleum engineering industry were provided from four aspects: accelerating the integration of the innovation chain, industrial chain, capital chain, and talent chain in the petroleum engineering industry, creating high-level petroleum engineering innovation consortium, deepening the reform of scientific and technological systems in the petroleum engineering industry, and building high-level innovation team in the petroleum engineering industry, providing a reference for efficiently promoting the formation and development of new quality productive forces in the petroleum engineering industry.

Key words: energy security; high-quality development; petroleum engineering; new quality productive forces; development path; strategic support

2023 年 9 月, 习近平总书记在黑龙江考察期间
首次提出“新质生产力”, 此后在多个重要场合对

新质生产力作了深入论述, 并强调高质量发展需要
新的生产力理论来指导。在全球百年未有之大变局

收稿日期: 2024-08-12。

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。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。

加速演进,俄乌冲突、巴以冲突等地缘因素综合影响下,我国能源安全面临较多不确定性,能源供应对传统能源的依赖有所增强,同时全球应对气候变化迫在眉睫,能源低碳转型发展已成为共识。能源行业高质量发展是保障国家能源安全的必经之路,促进传统能源提质升级和新能源快速发展将是解决能源安全和低碳转型发展的重要途径^[1]。

我国能源安全特别是油气安全形势依然严峻,2023年原油和天然气对外依存度分别超过70%和40%^[1]。习近平总书记多次强调能源安全事关经济社会发展全局,油气资源保障已成为我国能源安全的核心问题之一,也是我国石油工程发展的核心目标。当前国内油气勘探开发已进入“深水深层”阶段,新投入开发的油气资源以低渗透、低品位为主,稳产增产难度日益增大^[2];天然气开发处于勘探大发现和开发快速上产期,未来非常规天然气占比将达到50%,天然气稳产增产难度也日益增大。在此背景下,通过推动油气增储上产保障油气供应安全对石油工程技术创新提出了更高要求。目前,国内石油工程技术发展还存在诸多挑战和难题,技术创新对油气高质量发展的引领保障作用还未充分发挥,需要加快培育和发展新质生产力,大力推动石油工程科技进步,促进油气生产降本提质增效,进而助力油气高质量发展。

发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点^[3],形成石油工程领域新质生产力是实现石油工程高质量发展的根本途径,也是保障能源安全的重要助力。通过解读新质生产力的内涵和要求,针对石油工程领域高质量发展存在的问题,

提出了石油工程领域形成新质生产力的目标和技术路径,并给出了新质生产力发展支撑策略和建议。

1 新质生产力的内涵及发展目标

1.1 新质生产力的内涵

新质生产力是创新起主导作用,具有高科技、高效能、高质量特征,符合新发展理念的先进生产力质态,是由技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级而催生,以劳动者、劳动资料、劳动对象及其优化组合的跃升为基本内涵(见图1)^[4]。在石油工程领域,高科技特征体现在石油工程关键技术的创新和应用上,通过加强核心技术攻关,人工智能、大数据、云计算等数智技术赋能和交叉融合创新,实现生产方式的革命性改变,提高勘探开发效率和质量,降低油气生产成本。高效能特征体现在石油工程施工效率和资源利用水平上,通过优化施工流程,提高石油工程装备、工具、仪器的利用率,提升人员的技能水平等措施,实现施工效率的提升,降低施工成本。高质量特征体现在石油工程服务质量上,通过应用先进的技术装备,创新管理模式,优化工程设计和施工流程,不断提升地震资料采集处理和解释、钻完井及石油工程建设等工程和服务的质量水平,满足油气勘探开发需要。这些是石油工程提升竞争力和实现高质量发展的关键,也是推动油气勘探开发高质量发展的重要保障。

科技是推动生产力发展的重要动力,而技术革命性突破则是新质生产力发展的关键因素之一。石油工程技术突破特别是颠覆性技术突破,能够带来

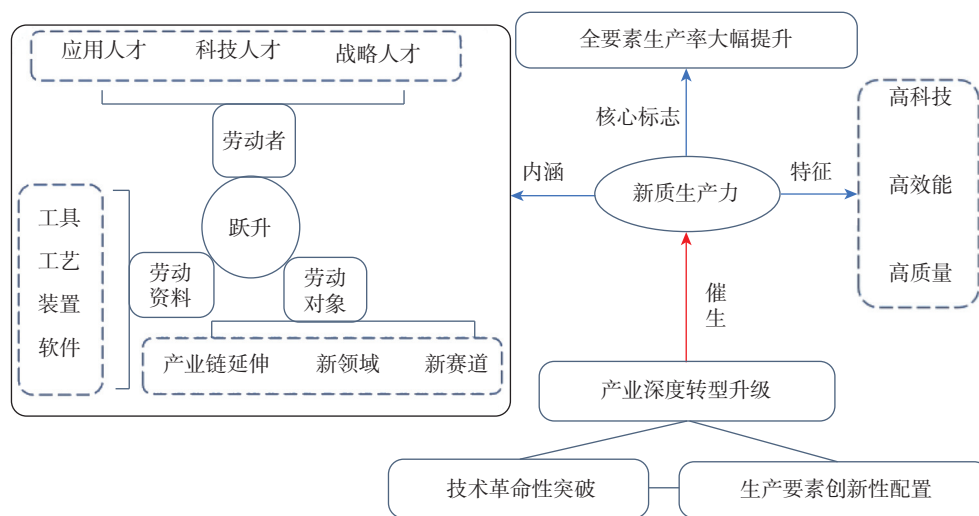


图1 新质生产力内涵框架

Fig.1 Conceptual framework of new quality productive forces

石油工程施工和服务方式、装备工具及组织方式的革命性改变,从而提高效率、优化资源配置、拓展发展空间。生产要素创新性配置方面,劳动力、资本、土地、知识、技术、数据等生产要素的创新性配置,意味着石油工程生产活动将更加高效地统筹利用各类要素资源,提高资源利用效率,降低施工服务成本,从而实现水平和质量的提升。产业深度转型升级方面,作为传统油气产业的重要支撑服务部分,石油工程转型升级伴随着油气产业结构的调整而不断优化,油气及新能源勘探开发为石油工程业务结构调整提供了应用场景,整个能源行业的低碳化和智能化发展也将带来革命性影响,石油工程组织方式、产品和服务结构及市场定位将全面升级,从而实现产业的高质量发展和新质生产力的提升。技术革命性突破、生产要素创新性配置和产业深度转型升级是推动石油工程领域新质生产力发展的三大因素,只有这三大因素持续突破,实现劳动者、劳动资料、劳动对象及其优化组合的跃升,才能够实现石油工程业务结构的优化升级,推动油气勘探开发实现高质量发展。

1.2 发展目标

全要素生产率大幅提升是新质生产力的核心标志,创新是其显著特点。全要素生产率的提升意味着生产效率提高和产业竞争力提升,而创新无疑是实现这一目的的核心途径,也是企业可持续发展的根本动力,是保持市场核心竞争优势的关键。这给石油工程领域新质生产力发展提出了目标和方向,即引领传统业务转型升级和新业务跨越发展。

1)以科技创新引领传统业务转型升级。聚焦石油工程高端技术服务业务发展,以需求、市场和问题为导向,突破制约油气勘探开发高质量发展的关键核心技术,促进全业务链高端化发展。聚焦石油工程数智化转型,统筹内外部资源,广泛开展跨学科交叉融合创新,加快研发石油工程数字化、智能化融合技术,提高施工和服务的生产效率和管理水平,助力油气勘探开发降本增效、提质升级。聚焦石油工程绿色低碳转型,加快低碳环保技术研发,降低施工过程中碳和污染物的排放量,加大污染物处理技术的创新,提升“三废”处理能力,推动传统业务绿色低碳发展。

2)以科技创新引领新业务跨越式发展。围绕油公司新业务拓展的需求,以科技创新提升新能源工程、低碳工程、数智化服务等业务的能力。优化研发布局,加大新能源技术、低碳技术、数智化技术

的研发投入,加大人才引进与培养,创新技术攻关模式,通过联合创新、技术收购等方式快速掌握核心技术,在新业务领域建立核心竞争优势,实现跨越式发展。

2 石油工程行业高质量发展存在的问题

我国油气勘探开发取得了举世瞩目的成就,原油年产量保持在 2×10^8 t,天然气产量实现了快速增长^[5],石油工程技术创新为此做出了突出贡献。目前,我国油气勘探开发已全面进入深层、深水、非常规领域,面临着巨大的挑战,油气勘探开发稳产上产形势严峻,石油工程行业高质量发展面临诸多挑战和问题。

2.1 高端技术有差距,高质量技术供给不足

目前,我国石油工程部分专业的科技创新能力不强,高质量技术供给能力受制约,部分关键产品和技术,高精尖装备、工具和仪器,深海勘探技术装备等自主创新能力较差,新技术装备的原始创新能力不足。高造斜率旋转导向钻井技术,恶性井漏控制技术,超高温高压井下工具、仪器与工作液等的技术瓶颈制约了我国油气勘探开发高质量发展;国产钻头及提速工具在深部难钻地层的应用效果不佳,与高水平进口钻头及工具差距较大;缺乏自主成熟的随钻远探测与前探成像、随钻井下流体在线分析、井间电磁与声波成像和特高温高压(260℃、200 MPa以上)高端测井技术与装备^[6];深水作业的关键机具、关键材料和零部件主要依赖进口,高端压裂装备缺乏,深水高温高压钻井技术处于空白,深水浮式生产平台的研发能力薄弱,缺少深水浮式生产平台开发模式的油气田设计、建造、安装、运营维保经验^[7]。

2.2 智能化水平有差距,低碳技术创新进展慢

油气行业数字化转型和智能化发展的最前沿是大数据和人工智能在油气勘探开发全业务链上的广泛应用^[8],国内外油公司、油服公司积极开展数字化、智能化和绿色低碳转型。我国石油工程数字化、智能化转型处于起步阶段,数字化方面存在数据零散与标准不统一、多源异构数据与非结构化数据的处理和标注等系列基础性难题^[9],数字化融合创新还比较缓慢;智能钻井方面,与世界先进水平相比还有较大差距,地面作业系统、井下控制工具和决策系统的智能化程度低,各装备、工具、系统之间的融合程度低^[10],随钻资料获取、井下与地面的

信息高速传输、钻井大数据集成分析等核心技术有待集成突破^[10-13]；智能压裂方面，对压裂参数智能优化与控制、智能压裂流体及材料、智能压裂设备及工具、压裂风险智能预警系统、压裂裂缝智能监测技术进行了探索研究，没有形成完整的智能压裂技术体系，距离智能精准压裂还有较大距离^[14-15]。

“双碳”目标背景下，我国油气行业低碳发展的任务艰巨，挑战较多，油气勘探开发的低碳发展离不开石油工程低碳技术的支撑。当前国内石油工程低碳转型正在进行，大力推进碳减排技术的研发与推广应用，在装备电气化改造、节能技术应用及提速提效技术的研发与应用等方面取得了较大进展，但离助力油气行业实现“双碳”目标还有一定差距，支撑油气减排技术的积累还有不足，需要拓展业务领域，加强新能源、储能、储碳等领域的创新投入，为油气行业低碳转型提供更多的技术手段。

2.3 面向未来的技术储备不足，应对未来油气勘探开发挑战的能力不够

目前，虽然我国已形成了深层、深水、非常规系列关键技术体系，但与国际先进水平相比，差距还比较明显，还不能很好地满足我国深水、深层、非常规、低渗透等复杂油气藏高效勘探开发的需求，特别是缺少适用于极高温高压、极低温、高含 H_2S 、恶劣地形等复杂工况和地质环境的关键核心技术。在页岩油原位转换、超级“井工厂”、智能精准压裂、极地海洋油气装备、海底智能机器人、数字孪生井筒、智能钻完井、智慧油藏、绿色低碳钻井等方面还需持续加大投入，为支撑油气高质量勘探开发储备更多高水平的工程技术。

2.4 科技创新体制机制有待完善，科技人才队伍建设有待加强

我国石油企业已建立了相对完善的科技体制，形成了较为完备的科技创新管理制度体系，但科技创新体制机制的整体效能还未发挥，企业研究机构总体布局和管理未能实现科研资源的有效统筹，各级研究院大多是独立作战，缺乏有效协同，重复性研究现象依然存在^[16]。研究院科技成果转化与应用企业的协同机制不健全，产学研用一体化机制还有很大提升空间。科研组织模式还局限于传统方式，不能适应快速研发的需求，特别是在重大科技任务攻关方面，科研创新模式的应用还较少。激励约束机制还不完善，不能有效激发科研人员的主观能动性。目前，虽然形成了一支庞大的科技人才队伍，但人才需求的结构性矛盾仍较为突出。科研人才创

新能力有待提升，高层次领军人才缺乏、后备人才接替不足、技术人才流失等问题比较显著。

3 发展新质生产力的关键路径

新质生产力已经在实践中展示出对高质量发展的强劲推动力、支撑力^[4]，解决高质量发展面临的问题可以从培育和发展新质生产力着手，技术的革命性突破是形成新质生产力的关键。石油工程领域形成新质生产力就要加强石油工程科技创新，以科技创新驱动传统领域转型升级，同时引领新领域新业务快速发展，充分应用数智技术、低碳减排技术，加快融合，创新推动业务数智化、绿色低碳化发展，加快科技成果转化为实现现实生产力的速度，实现以科技创新推动产业创新。

3.1 创新驱动传统领域转型升级

1) 勘探开发工程一体化发展。推进勘探开发工程一体化发展，首先要具有一体化的理念，以石油工程推动勘探开发，以勘探开发指导石油工程，以提高采收率和单井产能为共同目标，促进部署、产能和工作量的多重优化。其次要搭建一体化协同平台，消除数据孤岛，促进一体化数据融合。在一体化管理机制和技术融合的基础上，建立不同专业系统化、集成化、标准化、可视化的互动式一体化协同决策支持平台^[17-18]。最后要发挥石油工程“主力军”的作用，建立起勘探开发与石油工程一体部署、协同解题、交叉促进的运行机制，促进地震与地质、地质与钻井、地质与完井的一体化深度融合。

2) 深层超深层油气。深层油气藏地质条件更加复杂，地层流体、压力等基本地质特征不明确，地层裂缝发育，地层温度、压力更高，钻井过程中井下故障多发，井控风险高。目前，我国已初步形成具有自主知识产权的深层超深层油气工程技术体系，但需进一步加强技术迭代升级，加快核心技术的突破，为深层超深层油气高质量发展提供技术保障。需要重点开展超深井井身结构优化、防漏钻井液技术、裂缝性储层安全钻井技术攻关，研制高温高压井下仪器、新型抗高温油田化学材料和工作液体系，低密度高强度金属材料（如钛合金）等，持续缩短工程作业时间，降低施工成本，提升安全环保水平。

3) 深水油气。深水油气勘探开发作业环境复杂，对钻完井技术、海洋工程技术、工程装备及水下生产系统要求较高^[6]。我国深水油气勘探开发技术总体处于起步阶段，大部分产品的核心部件需要进

口,深水工程技术的概念设计与基本设计仍是空白,亟需加大科技创新力度,促进我国深水油气工程提质升级。需要重点布局海洋宽频地震勘探技术、海洋电磁勘探技术、丛式井钻完井技术、先进溢流监测与识别技术、海上快速救援响应技术、智能完井技术等核心技术,研制深水智能钻井平台、新型智能浮式生产平台、高效智能水下生产控制系统、水下机器人等,研发新型水下产品,积极开展智能化、数字化、电气化转型,加快核心技术与装备的国产化,助力深海油气高质量发展。

4)非常规油气。我国非常规油气资源较为丰富,对保障油气供应安全十分重要。受北美“页岩革命”的影响,我国非常规油气勘探开发取得了良好进展和成效,但工程技术和经济指标与国际先进水平还有着较大差距^[19],还需进一步开展地质-工程一体化设计、集约化“井工厂”作业模式研究,持续提高大位移水平井延伸极限和安全控制技术水平,推动“一趟钻”关键技术迭代升级,加快超长水平段水平井钻井关键技术、页岩地层防塌钻井液技术、高性能水基钻井液体系研发,优选抑制、润滑、封堵等高性能材料,提升韧性水泥浆体系的性能,形成地质-压裂一体化技术体系,进一步节省土地资源,缩短作业时间,降低施工成本,提升安全环保水平、作业效率和开发效益。同时开展页岩油差异化压裂优化设计,攻关智能精准压裂技术和少水压裂技术,开展重油、油砂、页岩油、油页岩等非常规石油井下电加热开采技术研究,提升非常规资源的高效绿色开发水平。

5)老油气田。目前,我国超过70%的石油探明储量和产量均来自高含水老油气田,但大都面临着高含水、高采出程度条件下的持续稳产难题^[20]。提高采收率是老油气田持续稳产的核心手段和途径,需要开展大幅度提高采收率技术研究,特别是高含水砂岩油藏提高采收率技术、复杂天然气田提高采收率技术、低渗透-致密油藏提高采收率技术、稠油油藏提高采收率技术、复杂碳酸盐岩油藏提高采收率技术等,以支撑主力老油气田长期稳产、低渗透-致密油藏和稠油油藏快速提产、常规和非常规天然气提产稳产、深层-超深层油藏提产稳产^[4]。同时,需要加大开发技术协同研究力度,以持续提高采收率,加强低渗透油藏压驱-注水协同开发、缝洞型油藏气-水-井网协同提高采收率、老油田油藏-井筒-地面一体化开采及页岩气井复合排水采气等技术协同发展^[20],助力老油气田持续稳产。

3.2 创新引领新领域发展

1)推进石油工程与新能源工程融合创新。国家推动油气与新能源融合发展为石油工程与新能源工程融合创新带来了良好的发展机遇,并提供了丰富的应用场景。海上风电领域,深入开展石油工程先进技术与海上风电施工的融合创新与应用^[21],加强高分辨率物探地震采集在海上风电建设方面的适应性研究,包括海上风电场选址的海底评估、施工地质评估等;加强传统海洋工程技术与海上风电施工、浮式平台运营与安全监测,锚泊系统、动态海缆铺设与管理等领域融合创新。氢能领域,积极探索地下空间改造与利用,开展钻完井技术与井筒储氢融合,利用地球物理技术促进氢气长期储存与监测技术突破。地热与干热岩领域,充分融合应用石油工程技术,加快推进地质选址、高温地热钻完井、高温测井、耐高温钻井液、干热岩储层改造等工程技术进步,探索开展地下热能储存、超临界地热技术等前沿技术布局。伴生资源领域,加快推进油气伴生资源综合利用,加强工艺流程优化创新,实现在油气田采出流体中低成本提取锂、氦等伴生资源。

2)引领油气业务低碳发展。在实现碳中和背景下,油气供应安全和绿色低碳发展需要统筹推进,建立清洁、低碳、安全、高效的能源体系是能源行业的核心要务。坚持油气与新能源协同融合发展,加快形成绿色低碳生产方式,已成为油气高质量发展的重要课题。油气业务低碳发展一方面要加强与新能源协同融合,打造综合能源供应体系,充分利用地下空间,布局地下储氢、储能技术,持续攻关储层选址与评价、注采参数优化设计、储层保护及固井、运行风险预警及管控等关键技术,降低储氢成本,提升存储安全;开展深层干热岩开发利用技术研究,重点攻关高温硬地层钻井提速技术、高温测井、耐高温钻井液、井筒降温冷却技术等;持续开展低成本高效开发利用浅层、中层水热型地热能的技术研究,提升地热能竞争优势。另一方面要充分利用地下储层空间,通过储碳、储能为减排提供更多路径选择。CCUS作为支撑实现碳中和目标的“兜底”技术之一,是目前实现化石能源大规模低碳利用的主要途径。通过布局CO₂强化页岩气开采技术、枯竭油气田封存技术、深部咸水层封存技术等,特别是加强储层精细勘查与表征技术、地质特征和封存特性、甲烷脱附与CO₂吸附的机理及配套技术、封存监测与安全风险管控、项目全生命周期经济评价等关键技术攻关,构建低成本、低能耗、

安全可靠的碳封存与利用技术体系,实现创新引领油气行业 CCUS 发展。同时,加强地下储能工程技术创新力度,推进高质量钻完井技术、精准布腔技术、快速定制化溶腔技术等压缩空气储能核心技术迭代升级;探索深水恒压压缩空气储能技术,助力油气行业打造综合能源体系。

3.3 加强赋能技术融合创新

1) 数智赋能。(a) 数字经济与石油工程行业的深度融合。加强数字技术和数据要素的创新供给、深化数字经济与实体经济的融合是推动新质生产力发展的关键^[22]。利用数字技术对石油工程产业进行全方位、全链条的改造,可以有效提高全要素生产效率。加强石油工程数字化转型顶层设计,搭建统一的数据管理平台,完善数据内外部流通共享机制,积极参与油气行业数字化技术的标准制定,加大石油工程数字孪生技术攻关,推进石油工程装备制造制造业数字化转型,推动智慧供应链、智能车间、智能工厂等建设,加快发展智能制造。(b) 加强数字化、智能化技术在石油工程科技领域的融合创新。加快数字技术、智能技术与传统领域技术融合创新是实现数智赋能的主要手段。在石油工程领域,数字化、智能化技术应用持续推进,数字化自动化钻机逐渐成为主流,智能钻井、智能压裂技术突飞猛进,这些都显著提升了施工效率和安全,同时也大幅降低了作业成本。未来随着数智技术创新和石油工程数字化转型推进,围绕油气业务数字化转型需求,需进一步加快先进数字化、智能化技术在石油工程领域的融合应用,加大与石油工程技术交叉融合创新力度,在石油工程数字孪生、智能钻机、智能建井、智慧油气藏、生产智能化监测和维护等方面加快突破。充分利用油气勘探开发领域的钻完井、生产大数据,提升数据治理能力,加强算法和算力合作,推进数字化服务能力建设。针对石油工程人工智能技术应用场景,构建系统化、流程化、平台化的人工智能技术发展生态系统,搭建石油工程领域人工智能应用软件平台,将人工智能技术应用于地震资料处理解释、井眼轨道优化、风险预警、钻速优化、完井优化、油气藏数值模拟和产能预测等应用场景中。

2) 低碳转型。(a) 低碳减排技术仍是石油工程实现“双碳”目标的基础。石油工程作为油气上游碳排放的主要来源,直接影响了油气行业“双碳”目标的实现^[23]。在能源体系和结构实现全面转型、深度零碳和负碳技术全面成熟应用之前,应继续加强传统石油工程碳减排技术的研发与应用,充分发

挥碳减排技术的基础性作用。持续提升现有石油工程技术水平,优先布局钻井提速提效技术(包括钻头、钻具设计与制造)、钻完井工艺优化设计、流体研发等,提高作业效率,进而实现节能减排。积极推广应用节能低碳技术装备,快速推进装备、设备电动化改造,推广应用钻井液、压裂液可循环利用技术,降低碳排放量。(b) 优化石油工程管理模式,保障碳减排目标顺利实现。北美“页岩革命”表明,采用先进的石油工程管理模式可有效实现提质、提速、提效、提产和降本,但国外石油工程管理模式并不一定适合中国国情。因此,应本着“因地制宜、试点先行”的原则,进一步解放思想、坚定信心,加快探索和实施地质-工程一体化、“井工厂”钻井模式、日费制等先进的管理制度,保障资源高效利用、施工高效进行、装备高效运转和信息高效利用,实现“打成井、打好井、打快井”的目标,不断提高作业效率,以保证碳减排目标的顺利实现。

3.4 加速成果转化

1) 建立规范的石油工程技术产品中试平台体系及中试标准体系。中试基地和检验检测是科技成果向现实生产力转化的重要基础,是科技与产业之间的桥梁^[24]。国内三大石油公司、石油院校、中国科学院等企业和研究机构已经建立了一批专业性较强的石油工程中试基地,具备了部分领域技术、工具、仪器和装备的中试功能,但总体上分布较散,缺乏统一中试标准和认证管理体系。加快建立规范的石油工程技术产品中试平台体系对促进成果转化具有重要意义,需要统筹石油工程中试资源,发挥各自的优势和特色,因地制宜地建立石油工程专业中试基地,形成统一的石油工程技术产品中试标准体系,建立石油工程中试全流程标准体系,统一技术产品成熟度定级、中试试验评价和认证。同时,探索建立重点技术成果检验检测服务联盟,推进结果互认与信息共享。

2) 促进科技成果市场化定价与交易。科技成果的客观准确定价是其能否成功转化的基础^[25],建立市场化的定价评估机制是促进石油工程科技成果转化的重要前提。首先要建立健全统一的科技项目成果技术成熟度评价标准,对待转化成果进行客观的成熟度定级。其次是健全协议定价、挂牌交易、拍卖等交易定价方式,客观准确评估科技成果价值。第三要打造一站式石油工程技术交易市场平台,提供专业化的科技成果确权、确价服务。最后要建立健全科技成果转化相关机制,包括健全科技

成果高效转化的激励约束机制,创新职务科技成果转化机制,强化科技成果转化绩效考核,健全科技成果转化服务保障体系。

4 新质生产力发展的支撑策略

发展新质生产力,需要形成与之相适应的新型生产关系,关键是建立与新质生产力相适应的创新体制机制并集聚高层次人才^[26]。需要创新石油工程领域要素配置方式,探索新方法和新模式,加快建立有利于石油工程科技创新的新体制机制,同时加大石油工程科技人才队伍建设,丰富创新资源,多措并举助力石油工程领域新质生产力的形成与发展。

4.1 加快石油工程领域创新链、产业链、资金链和人才链的融合

创新链、产业链、资金链和人才链“的四链”融合契合了新质生产力的内在逻辑,为加快形成和发展新质生产力提供了强劲动力^[27]。做好“四链”融合的顶层设计,加强创新、产业、资金、人才专业规划协同,完善“四链”融合机制,以重大科技创新工程、“卡脖子”技术和颠覆性技术攻关、新领域融合创新为纽带,推动“四链”一致的问题导向、目标导向和需求导向。

1) 围绕产业链部署创新链。围绕油气勘探开发和新能源发展的技术难题,加强油气和能源工程技术领域基础研究、技术攻关、产品开发、成果转化等全链条创新,推动石油工程产业链延链、补链、强链,助力石油工程产业高质量发展。

2) 围绕技术链布局产业链。加快石油工程技术成果转化,核心是推进产学研用一体化,加强孵化器平台建设。探索产学研深度融合新模式,建立完善基于价值共享的产学研用一体化协同机制,建立健全协调一致的价值评判、风险把控、考核评价和成果共享机制。建设石油工程领域特色孵化器平台,提升平台专业化服务能力,健全平台商业模式,拓宽平台的投融资渠道,完善平台与在孵企业之间的利益共享机制,利用孵化器推进科技成果快速成功转化。

3) 聚焦创新链、产业链融合发展,精准匹配资金链。资金链是“四链”能否成功融合的重要保障,石油工程应用基础研究、应用技术开发、中试、技术成果转化等环节都需要资金投入,借助资本力量,加强技术收并购,丰富技术获取工具箱;持续扩大研发资金来源,优化研发资金供给结构,发展多

元化股权融资,形成创新链和产业链融合的稳定资金链保障。

4) 形成“四链”融合的人才支撑力量。人才链是“四链”融合的主体力量,要依托各类平台集聚人才,形成多元化、多层次人才链,为“四链”融合发展起到人才支撑作用。围绕创新链打造,引进、培育石油工程领域战略科学家、高水平科技领军人才和创新团队;围绕产业链发展,引进、培育优秀企业家、卓越工程师、高水平技术工人;围绕资金链完善,引进、培育高水平金融人才。

4.2 打造高水平石油工程创新联合体,促进跨领域交叉融合创新

1) 联合打造国家战略科技力量,共建共性技术平台。推进石油工程领域原创技术策源地建设,健全策源地建设运行管理体系,完善政策保障,加强考核评价;加强国家战略科技任务攻关,联合组织国家级科研项目攻关,持续加大全国重点实验室、工程研究中心等国家级研发平台联合建设力度,健全实验室主任负责制和探索实体化运行模式;坚持目标导向和需求导向,聚焦石油工程领域共性技术,依托重点实验室,统筹行业内创新资源,建立联合创新平台;加强交叉融合创新,统筹行业内外资源,联合打造石油工程智能化、大数据服务支撑、低碳减排、安全环保等新型共性技术平台,成立智能技术等新型共性技术研究院,布局产业发展的共用基础技术;搭建共性技术资源库,开展核心技术攻关、核心产品研制、典型场景验证、标准制定与检测,打造技术创新和应用创新双循环的发展生态;提供测试、验证、推广等一体化共性技术基础服务,参与产品性能完善及迭代;实行实体化运营,建立多元参与的治理机制和市场化运作机制,坚持对外开放和合作共建。

2) 加大跨领域交叉融合创新,共建开放共享创新平台。在石油工程领域推进多学科交叉融合、技术一体化集成,助力油气勘探开发大幅度降本提效。以“随钻远探测+前探成像+旋转导向”集成系统为核心的“一趟钻”技术、水平井+多级压裂技术、油藏三维可视化技术等都是多学科交叉融合、技术一体化集成的代表。需要依托石油工程技术创新联合体,构建交叉融合创新平台,成立虚拟网络组织。在创新联合体的框架内,建立交叉融合创新平台,以成立虚拟网络组织的形式,推进与国内外相关企业、高校和研究机构等的战略合作,开展广泛的跨学科、跨专业、跨领域交叉融合创新活动。

4.3 深化石油工程领域科技体制改革, 加快形成适应新质生产力的新型生产关系

1) 创新科研组织模式。科研组织模式作为一种多层次、多要素的复杂系统, 在科研工作中起着非常重要的协调、组织作用。先进的科研组织模式, 能够有效整合、利用各种科研资源, 提高科学研究和技术开发的整体效益, 加快人才队伍培养。因此, 需要探索新型链条式科研组织模式和科研管理机制, 建立高效的关键核心技术攻关科研管理体系。一是建立重大科技任务任务长负责制, 完善科技评价机制并充分发挥科技评价在激励约束机制中的作用。二是完善“揭榜挂帅”“大兵团”“赛马”等机制, 推动从基础研究到工业转化的贯通式创新, 充分发挥“市场引领科研, 科研指导生产, 生产满足需求”的产学研用一体化协同创新机制、竞争机制和市场机制的作用。

2) 完善激励约束机制。科技激励约束机制, 对优化创新环境、激发创新活力、促进科技创新有重要的保障作用。因此, 需要建立更加正向、科学、公平、公正的创新评价体系, 实施以知识价值为导向的创新收益分配政策, 激发科技人员的创新创造力, 加快形成一流的创新生态环境。一是按照基础研究、应用研究、技术开发和产业化等要素界定不同成果类型, 形成符合科学规律的多元化分类评价机制。二是加强对作出重大贡献人员和团队的物质和精神奖励, 健全长期稳定支持科技人员潜心研究的保障机制。三是拓宽中长期激励途径, 探索引入股票期权制来完善激励约束机制。

4.4 打造石油工程领域高层次创新队伍, 筑牢新质生产力发展的人才根基

1) 打造一批高水平创新团队。聚焦基础研究领域、关键核心技术、颠覆性技术等方向, 集聚各方面优秀人才, 整合科技资源, 搭建创新平台, 打造一批高层次创新团队。不定期开展团队评估, 优选高水平示范团队, 在人才引进、经费投入、项目申请等方面给予优先支持, 促进团队快速成长, 创造高水平、高影响力的成果, 扩大行业影响力。

2) 建强高层次人才队伍。一是实施高层次人才计划, 创新高层次人才自主培养机制, 构建跨学科、多元化的人才培养模式。二是加大高端科技人才引进使用力度, 建立与创新成果挂钩的人才激励措施、动态调整和退出机制。三是完善国际化人才选育用留机制, 建立多样化人才引进模式, 实施领军人才及团队引进项目和核心人才柔性引进项

目, 建立国际化人才评价和薪酬体系, 建设一站式服务平台, 做好保障服务。四是注重创建灵活开放的人才环境, 营造识才、爱才、敬才和用才的良好氛围。

5 结束语

加快培育和发展新质生产力, 强化科技创新支撑引领, 是石油工程实现高质量发展的内在要求和重要着力点。在石油工程领域因地制宜地发展新质生产力, 需要牢牢抓住科技创新这个“牛鼻子”。无论是实现技术的革命性突破、生产要素的创新性配置还是产业深度转型升级, 都需要加强创新。同时, 发展新质生产力还要遵循科技向生产力转化的基本规律, 要注重基础研究, 加大核心技术攻关投入, 加强成果转化应用。还需要打造石油工程高层次创新队伍建设, 高效推动石油工程领域新质生产力的形成与发展, 以有效保障我国能源安全, 为经济社会高质量发展提供高水平支撑。

参 考 文 献

References

- [1] 杨丽丽. 新质生产力理念下中国油气高质量发展战略思考[J]. 中国矿业, 2024, 33(5): 32-38.
YANG Lili. Study on high-quality development strategy of oil and gas industry in China under the concept of new quality productive forces[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(5): 32-38.
- [2] 贾承造. 全国油气勘探开发形势与发展前景[J]. 中国石油石化, 2022(20): 14-17.
JIA Chengzao. National situation and prospects of oil and gas exploration and development[J]. China Petrochem, 2022(20): 14-17.
- [3] 胡莹, 刘铿. 新质生产力推动经济高质量发展的内在机制研究: 基于马克思生产力理论的视角[J]. 经济学家, 2024(5): 5-14.
HU Ying, LIU Keng. Research on the internal mechanism of new quality productivity promoting high quality economic development: from the perspective of Marx's productivity theory[J]. Economist, 2024(5): 5-14.
- [4] 习近平. 发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点[J]. 求是, 2024(11): 4-8.
XI Jinping. Developing new quality productive forces is an inherent requirement and important focus for promoting high-quality development[J]. Seeking Truth, 2024(11): 4-8.
- [5] 贾承造. 中国石油工业上游前景与未来理论技术五大挑战[J]. 石油学报, 2024, 45(1): 1-14.
JIA Chengzao. Prospects and five future theoretical and technical challenges of the upstream petroleum industry in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2024, 45(1): 1-14.
- [6] 贾承造. 中国石油工业上游发展面临的挑战与未来科技攻关方向[J]. 石油学报, 2020, 41(12): 1445-1464.
JIA Chengzao. Development challenges and future scientific and technological researches in China's petroleum industry upstream[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(12): 1445-1464.

- [7] 罗超, 亢武臣, 薛钊, 等. 我国深海油气工程核心技术与装备国产化挑战及对策[J]. 舰船科学技术, 2022, 44(23): 74-79.
LUO Chao, KANG Wuchen, XUE Zhao, et al. Research on challenges and countermeasures of localization of core technology and equipment of China's deep-sea oil and gas engineering under global market mechanism[J]. Ship Science and Technology, 2022, 44(23): 74-79.
- [8] 曾涛, 袁园. 国际油服公司数字化转型和智能化发展策略分析[J]. 国际石油经济, 2022, 30(7): 36-43.
ZENG Tao, YUAN Yuan. Analysis on digital transition and intelligent development of international oilfield service companies[J]. International Petroleum Economics, 2022, 30(7): 36-43.
- [9] 刘合. 油气勘探开发数字化转型人工智能应用大势所趋[J]. 石油科技论坛, 2023, 42(3): 1-9.
LIU He. Digital transformation of oil and gas exploration and development; unstoppable AI application[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2023, 42(3): 1-9.
- [10] 王敏生, 光新军. 智能钻井技术现状与发展方向[J]. 石油学报, 2020, 41(4): 505-512.
WANG Minsheng, GUANG Xinjun. Status and development trends of intelligent drilling technology[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(4): 505-512.
- [11] 李根生, 宋先知, 田守增. 智能钻井技术研究现状及发展趋势[J]. 石油钻探技术, 2020, 48(1): 1-8.
LI Gensheng, SONG Xianzhi, TIAN Shouceng. Intelligent drilling technology research status and development trends[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(1): 1-8.
- [12] 闫铁, 许瑞, 刘维凯, 等. 中国智能化钻井技术研究发展[J]. 东北石油大学学报, 2020, 44(4): 15-21.
YAN Tie, XU Rui, LIU Weikai, et al. Research and development of intelligent drilling technology in China[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2020, 44(4): 15-21.
- [13] 李根生, 宋先知, 祝兆鹏, 等. 智能钻井井技术研究进展与前景展望[J]. 石油钻探技术, 2023, 51(4): 35-47.
LI Gensheng, SONG Xianzhi, ZHU Zhaopeng, et al. Research progress and the prospect of intelligent drilling and completion technologies[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2023, 51(4): 35-47.
- [14] 蒋廷学, 周珺, 廖璐璐. 国内外智能压裂技术现状及发展趋势[J]. 石油钻探技术, 2022, 50(3): 1-9.
JIANG Tingxue, ZHOU Jun, LIAO Lulu. Development status and future trends of intelligent fracturing technologies[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2022, 50(3): 1-9.
- [15] 张世昆, 陈作. 人工智能在压裂技术中的应用现状及前景展望[J]. 石油钻探技术, 2023, 51(1): 69-77.
ZHANG Shikun, CHEN Zuo. Status and prospect of artificial intelligence application in fracturing technology[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2023, 51(1): 69-77.
- [16] 孙丙向. 石油工程企业科技创新管理与研发体系构建及实践[J]. 石油科技论坛, 2021, 40(2): 61-67.
SUN Bingxiang. Technological innovation management and R & D system constructed and practiced by petroleum engineering enterprises[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2021, 40(2): 61-67.
- [17] 牛栓文. 胜利油田低渗致密油藏地质工程一体化探索与实践[J]. 中国石油勘探, 2023, 28(1): 14-25.
NIU Shuanwen. Research and application of geology and engineering integration for low-permeability tight oil reservoirs in Shengli Oilfield[J]. China Petroleum Exploration, 2023, 28(1): 14-25.
- [18] 张衍君, 王鲁瑀, 刘娅菲, 等. 页岩油储层压裂-提采一体化研究进展与面临的挑战[J]. 石油钻探技术, 2024, 52(1): 84-95.
ZHANG Yanjun, WANG Luyu, LIU Yafei, et al. Advances and challenges of integration of fracturing and enhanced oil recovery in shale oil reservoirs[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2024, 52(1): 84-95.
- [19] 高德利. 非常规油气井工程技术若干研究进展[J]. 天然气工业, 2021, 41(8): 153-162.
GAO Deli. Some research advances in well engineering technology for unconventional hydrocarbon[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(8): 153-162.
- [20] 孙焕泉, 杨勇, 方吉超, 等. 提高油气田采收率技术协同方法与应用[J]. 石油与天然气地质, 2024, 45(3): 600-608.
SUN Huanquan, YANG Yong, FANG Jichao, et al. Technological synergy for enhancing hydrocarbon recovery and its applications[J]. Oil & Gas Geology, 2024, 45(3): 600-608.
- [21] 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.
- [22] 洪银兴. 新质生产力及其培育和发展[J]. 经济学动态, 2024(1): 3-11.
HONG Yinxing. New quality productivity and its cultivation and development[J]. Economic Perspectives, 2024(1): 3-11.
- [23] 蒋海军, 耿黎东, 王晓慧, 等. 国外石油工程碳减排技术与作业管理发展现状及启示[J]. 石油钻探技术, 2022, 50(5): 125-134.
JIANG Haijun, GENG Lidong, WANG Xiaohui, et al. Carbon emission reduction technologies and operation management in petroleum engineering abroad: Up-to-date status and implications[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2022, 50(5): 125-134.
- [24] 侯小星, 曾乐民, 罗军, 等. 科技成果转化中试基地建设机制、路径及对策研究[J]. 科技管理研究, 2022, 42(21): 112-119.
HOU Xiaoxing, ZENG Lemin, LUO Jun, et al. Research on the construction mechanism, path and countermeasures of the pilot base for the transformation of scientific and technological achievements[J]. Science and Technology Management Research, 2022, 42(21): 112-119.
- [25] 吴梦圆. 科技成果评价政策演变研究: 趋势、特征和脉络[J]. 中国科技论坛, 2023(8): 16-26.
WU Mengyuan. Study on evolution of sci-tech achievement assessment policies: Trends, features and routes[J]. Forum on Science and Technology in China, 2023(8): 16-26.
- [26] 任保平. 生产力现代化转型形成新质生产力的逻辑[J]. 经济研究, 2024, 59(3): 12-19.
REN Baoping. The logic behind the modernization transformation of productivity and the formation of new quality productivity[J]. Economic Research Journal, 2024, 59(3): 12-19.
- [27] 徐政, 牟春伟. 以高水平对外开放推进新质生产力发展: 基于“四链”融合视角[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2024, 26(3): 74-83.
XU Zheng, MU Chunwei. Promoting the development of new quality productive forces through high-level opening-up: analysis based on the integration of “four chains” [J]. Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences), 2024, 26(3): 74-83.