

# 中国石化海外油气田钻井完井技术现状与发展建议

马开华<sup>1</sup>, 侯立中<sup>2</sup>, 张洪宝<sup>1</sup>

(1. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101; 2. 中国石化集团国际石油勘探开发有限公司, 北京 100029)

**摘 要:** 中国石化海外油气田年权益油气产量当量已超过  $4\,000 \times 10^4$  t, 成为我国油气能源供应安全的重要保障。钻井完井工程技术是实现中国石化海外油气勘探开发目标的关键, 国际油气市场新形势和中国石化海外资源分布新格局给钻井完井工程技术发展提出了新要求。为此, 总结了近年来中国石化各海外区块钻井完井工程技术主要进展, 分析了目前海外油气田钻井完井技术存在的问题和面临的挑战, 并建议以持续推进技术创新策略应对油价低位震荡, 通过“瓶颈”技术攻关、成熟技术集成应用、基础研究和储备技术、技术管理体系建设, 加快中国石化海外油气田钻井完井工程技术发展, 实现海外油气田勘探开发中的挖潜增效。

**关键词:** 中国石化; 海外区块; 钻井; 完井; 发展建议

**中图分类号:** TE2    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1001-0890(2018)05-0001-07

## Drilling & Completion Technologies of Sinopec Overseas Oilfields: Status Quo of Technology & Development Suggestions

MA Kaihua<sup>1</sup>, HOU Lizhong<sup>2</sup>, ZHANG Hongbao<sup>1</sup>

(1. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China; 2. Sinopec International Exploration and Production Corporation, Beijing, 100029, China)

**Abstract:** The yearly oil & gas production from Sinopec overseas fields has exceeded  $4\,000 \times 10^4$  t, which has become an important guarantee for the safety of oil and gas energy supply in China. Drilling & completion engineering plays a key role in achieving Sinopec overseas oil and gas exploration and development targets. The continual fluctuation within the international oil and gas market environment and the new Sinopec overseas resources distribution pattern have put forward new requirements for the development of drilling & completion engineering. Therefore, this paper summarizes primary progress in drilling & completion engineering achieved in Sinopec overseas fields in past years, and it analyzes existing problems and challenges. Finally, it proposes development suggestions. It proposes to take the strategy of continuously promoting technology innovation to deal with oil price fluctuations, and to accelerate the development of drilling & completion technology and realize potential resource tapping and efficiency improvement by tackling “bottlenecks”, integrative applications, basic research and technology development of reserves, and the construction of a technical management system.

**Key words:** Sinopec; overseas fields; drilling; completion; development suggestions

中国石化自 2001 年开始实施“走出去”战略以来, 海外油气勘探开发业务发展迅速, 截至 2017 年底, 中国石化拥有境外油气勘探开发项目 40 余个, 分布于全球 20 多个国家, 年权益油气产量当量超过  $4\,000 \times 10^4$  t, 成为我国油气能源供应安全的重要保障。在发展海外油气勘探开发业务过程中, 中国石化根据国家油气资源战略需求和国际油气资源市场

收稿日期: 2018-08-22。

作者简介: 马开华(1960—), 男, 湖北荆门人, 1982 年毕业于江汉石油学院钻井工程专业, 副院长, 教授级高级工程师, 主要从事深井、超深井复杂地层固井方面的研究及相关管理工作。系本刊主编。  
E-mail: makh.sripe@sinopec.com。

基金项目: 国家科技重大专项课题“海上油气田关键工程技术”(编号: 2016ZX05033-004)资助。

形势变化,不断调整发展策略与海外油气资源结构。目前,中国石化海外油气资源类型主要包括:1)深层/海洋油气,如巴西、安哥拉、尼日利亚、喀麦隆、伊朗等国家的油气区块;2)老油田低品位油气,如阿根廷、哈萨克斯坦、哥伦比亚等国家的油气区块;3)非常规油气,如美国、加拿大、澳大利亚等国家的油气区块。

钻井完井工程技术是提高油气开发效益的关键。美国“页岩气革命”再次证明,钻井完井工程技术的进步可以大幅度降低油气开发成本甚至改变国际能源格局<sup>[1]</sup>,以 Barnett 页岩气田为例,2004 年开采成本为 0.177 美元/m<sup>3</sup>,单井钻井周期长达 110 d,以水平井钻井技术和分段压裂技术为主的技术革新导致 2011 年开采成本降至 0.088~0.106 美元/m<sup>3</sup>,钻井周期缩短至 18 d。因此,有效发挥钻井完井工程技术对海外油气勘探开发的支撑作用,对于保障中国石化海外油气勘探目标的实现至关重要。路保平等人在<sup>[2]</sup>在多年前分析了中国石化海外油气勘探开发面临的工程技术难题,并提出了对策,但近几年中国石化海外油气资源类型有了较大变化——深层/海洋油气资源勘探开发的工程地质环境更加复杂,老油田低品位油气挖潜和提高采收率成为新的关注重点,非常规油气的低成本开发技术需求增强——这些都对钻井完井工程技术提出了新要求。当前国际原油市场持续低迷,通过钻井完井工程技术创新实现降本增效也显得更为迫切。

为此,笔者总结了近年来中国石化各海外区块钻井完井工程技术的主要进展,分析了新资源格局和低油价市场形势下海外油气田钻井完井工程技术存在的问题与面临的挑战,有针对性地提出了发展建议,以保障中国石化海外油气战略的实施。

## 1 技术现状

作为大型国际石油公司,中国石化在发展过程中持续关注国际石油工程技术发展趋势,不断通过技术创新提升钻井完井技术水平,应用新型提速工具有效提高了钻井速度,适应复杂地层和环境的能力进一步增强,钻井完井装备自动化和智能化水平不断提高,利用工程技术挖掘油气藏潜力效果明显。钻井完井工程技术创新在伊朗雅达油田的集成应用效果表明,工程技术进步对于降低油气田开发成本和提高开发效益具有重要作用。

### 1.1 钻井提速技术

一系列钻井提速工具的应用,提高了复杂地层

的钻井速度和效率。如加拿大 Daylight 项目在 Warburg 地区的大位移井钻井中应用了水力振荡器,通过在钻具上产生周期性振动破坏岩屑堆积和降低滑动钻进摩阻<sup>[3]</sup>,配合顶驱振动模式,创造了最大水平位移 2 973.00 m 和最快机械钻速 62.20 m/h 的纪录;巴西 RSB 项目和加拿大 Daylight 项目在硬地层或软硬交错地层中使用了 PDC-牙轮复合钻头,实践证明,这种钻头集合了 PDC 钻头与牙轮钻头的特点,在硬地层、夹层和高研磨性地层的钻进中具有高破岩效率、长寿命和高稳定性的特点<sup>[4]</sup>,巴西 BM-S-11 区块  $\phi 660.4$  mm 井眼采用该复合钻头,平均机械钻速提高 43.60%,平均进尺增加 15.70%,目标井段单位进尺成本降低 27.33%;巴西 RSB 项目采用“涡轮钻具+孕镶金刚石钻头”钻进盐下高研磨性硅质碳酸盐岩地层,与普通螺杆钻具相比,涡轮钻具具有全金属、耐高温和高转速的特点;与常规 PDC 钻头相比,孕镶金刚石钻头具有磨损自锐、长期保持攻击性和寿命长的特点<sup>[5]</sup>。

### 1.2 复杂地层和复杂环境钻井技术

海外许多区块钻井液密度窗口窄,因此,确保钻井安全尤为重要。尼日利亚、喀麦隆和安哥拉的海上项目普遍应用控压钻井技术应对窄密度窗口钻井难题;伊朗雅达油田应用控压钻井技术,精确控制应力敏感地层井底压力,应对巨厚活跃沥青层钻井难题<sup>[6]</sup>,如 S03 井应用控压钻井技术,沥青层作业时间缩短至 25 d,与邻井相比节约钻井液 2 200 m<sup>3</sup>,钻井成本降低 400 万美元。为提高钻井机械钻速、改善井眼质量和提高储层钻遇率,海上项目中的定向井和大位移井钻井普遍应用了旋转导向技术,喀麦隆项目在  $\phi 152.4$  mm 井眼中应用  $\phi 120.7$  mm 小尺寸旋转导向技术,成功钻进了 167.00 m 长的水平段。埃及 Apache 项目应用套管钻井技术,降低了漏失量,建井成本降低 8~17 万美元。巴西和安第斯项目采用可膨胀尾管悬挂器,解决了定向深井尾管下入和封隔器坐封难题。阿根廷 SJ 油田应用非渗透防塌钻井液,提高了泥页岩抑制能力,井径扩大率由 40%降至 5%,钻井周期缩短 15%<sup>[7]</sup>,单井钻井成本降低 16%。尼日利亚、喀麦隆和巴西 RSB 海上油田普遍应用合成基钻井液技术,该钻井液具有优良的抑制性、润滑性、安全性、低温稳定性和环保特点<sup>[8]</sup>。美国 MLJV 项目在 MISSI-LIME 地层成功实施多分支井钻井,双分支井钻井完井成本较常规方式降低 26%,三分支井钻井完井成本较常规方式降低

44%,使原来不具备商业开采价值的土地单元具有了开发价值。

### 1.3 智能化钻井完井技术

随钻测量、随钻测井技术在海上作业中广泛应用。安第斯项目采用主动随钻测井技术,保证储层钻遇率为 100%;采用 Well Commander 循环旁通阀技术配合随钻测压,通过投球激活和关闭,泵送高浓度堵漏液、压井液,改善了井眼清洁状况,防止了井下复杂情况的发生。加拿大 Daylight 项目采用 BlackBox 随钻记忆存储装置实时记录钻头振动和粘滑信息,实现了钻头优选和钻井参数优化<sup>[9]</sup>;该项目“井工厂”技术应用成熟,单井场 8 口井采用工厂化作业,平均井深 4 600.00 m 左右,钻井周期仅 25 d,搬迁费用降低 40%<sup>[10]</sup>。智能完井技术通过分布式数据采集、传输、油井生产状态自动分析与诊断和远程自动调节井下流量控制阀,实现油藏实时注采自动管理。Addax 尼日利亚项目通过智能分段完井技术实现 3 个储层同时开采,降低了钻井完井作业成本,提高了采收率。哥伦比亚 NGEC 项目通过远程实时传输技术,实现了北京一波哥大一钻井现场实时监控随钻地质导向作业,提高了油层钻遇率。

### 1.4 提高油气产量工程技术

针对海外各区块的地质特点,应用了先进的石油工程技术提高油气产量。哥伦比亚圣湖能源项目采用优化泡沫调剖工艺(优化了注入时机、方式和流程),平均单井产量提高了 150%;加拿大 Daylight 项目的致密砂岩油气水平井引入“井工厂”技术,实现了单井场 8 口井丛式井组同步压裂,分段压裂级数最高达到 40 级,单井产量提高近 1 倍,作业成本比同类井常规压裂降低 30%;喀麦隆项目引进同心环空充填系统,砾石充填一次成功率 100%,增产效果明显;阿尔及利亚扎尔则项目采用了油基钻井液,钻井液密度控制在 0.84~0.95 kg/L,实现了储层超近平衡压力钻井,减少了储层污染;阿根廷 SJ 油田应用了低伤害压裂液,单井平均产量较常规压裂技术提高 25%;伊朗雅达油田应用自转向酸化技术,解决了非均质碳酸盐岩储层长水平段均匀酸化的问题,单井产量提高 5.5 倍。

### 1.5 技术创新集成应用效果

技术创新集成应用是降低油气田整体开发成本和提高开发效益的重要途径。以伊朗雅达油田为

例,该油田是中国石化海外第一个自主设计、建设和运营的千万吨级大型整装油田,自 2010 年开始钻井施工以来,该油田通过井身结构优化、高效破岩工具应用、钻井液体系优化、沥青层钻井技术攻关等,建井周期较前期缩短 63.0%,平均非生产时间缩短 31.7%,累积节约投资 8 940 万美元。

## 2 存在的问题及面临的挑战

中国石化海外油气田钻井完井技术提质增效效果明显,但是依然存在区块间技术发展水平不均衡、自主技术竞争力不强等问题。持续低迷的原油市场、日益严苛的国际投资环境、新资源结构下复杂的工程地质环境和迫切的技术创新需求,都给中国石化海外油气田钻井完井技术提出了挑战。

### 2.1 存在的问题

#### 2.1.1 海外区块间技术发展水平不均衡

尽管一系列先进、高效钻井完井工程技术的应用产生了巨大的降本增效效果,但部分海外区块仍较多地采用常规的钻井完井技术,主要原因为:

1) 部分海外区块地质条件良好,钻井完井技术挑战不大,常规工程技术可以满足钻探和开发需求;或受到资源国市场整体技术水平限制,先进技术引进困难或成本高,不利于油气资源经济开发。

2) 部分海外区块钻井完井工程技术力量薄弱,项目收购后未进行科学、详细的工程技术适应性评价,而是沿用收购前的工程技术方案,先进有效的技术没有得到应用,导致施工效率低下、投资成本较高。

3) 海外区块间信息共享机制不成熟,成功经验无法实现快速共享、评价和移植,无法发挥一体化信息资源优势。如加拿大 Daylight 项目采用水力振荡器、旋转导向钻井和一趟钻技术等进行水平井钻井,平均机械钻速达 15.0 m/h,可通过技术移植实现其他海外油气田水平井钻井提质增效;巴西 RSB 和加拿大 Daylight 项目采用 PDC-牙轮复合钻头钻进软硬交错地层,对哈萨克斯坦 KOA 软硬交错地层钻井提速和延长钻头使用寿命具有借鉴意义。钻井信息实时跟踪技术已经在主要海上区块和加拿大、安第斯等项目应用,而其他区块钻井信息化水平相对较低,不利于数据驱动下的作业效率管理和提升。北美页岩气“井工厂”和自动化钻机等技术也具有应用于其他常规油气田提高作业效率和降低成本



的潜力。

### 2.1.2 中国石化自主研发技术竞争力不强

中国石化海外项目涉及的国家和地区多,技术应用水平参差不齐,这些年虽然注重自主研发技术的推广和应用,但与国际大型油气技术服务公司相比竞争力依然不强。海外区块目前应用的中国石化自主研发技术主要为常规钻井完井工具和化学助剂(如PDC钻头、螺杆钻具、尾管悬挂器和套管附件、钻井液和水泥浆添加剂等),高附加值技术和综合配套技术应用较少。随钻地质导向、套管钻井、旋转导向钻井、海上精细控压钻井和智能完井等技术主要掌握在国际大型石油公司或技术服务公司手中,如Shell公司、Schlumberger公司、Halliburton公司等。随着中国石化海外勘探开发逐步进入深层、深水 and 非常规等资源动用难度大的领域,对钻井完井工程技术水平的要求越来越高,国际大型油气技术服务公司的技术垄断导致服务费用高,不利于降低作业成本。

## 2.2 面临的挑战

### 2.2.1 国际油价低位震荡,降本增效压力依然较大

在原油产量持续上升、供大于求、原油市场利空预期和国际地缘政治等因素的影响下,国际原油价格在短期内难以实现高位反弹,根据美国能源信息署(EIA)2018年7月的预测,布伦特原油价格在2020年以前将大概率位于80美元/桶以下,目前大部分学者认为油价将长期低位震荡,油气行业的“寒冬期”短时间内不会结束<sup>[11-12]</sup>。低油价形势下,某些钻井完井工程技术会导致原油开发成本过高,甚至超过经济开采界限,钻井完井技术如何配合经营策略的调整快速降低工程成本和提高油气产量,成为迫切需要解决的问题。

### 2.2.2 资源国法律法规、合同条款要求苛刻

国际油气资源合作项目的合同模式日趋苛刻。以回购合同为例,石油公司需要在较短的合同期限内回收成本,如何保障海外项目在较短的时间内实现投资效益的最大化是钻井完井工程技术需要解决的问题。安全生产、绿色环保也已经成为国际油气合作最基本的和重要的要求,如俄罗斯萨哈林等项目要求钻井液、钻屑、废水等“零排放”;为了保护饮用水资源不受污染,美国一些州相继立法禁止采用

水力压裂技术开采天然气;阿根廷为保护森林资源,井位审批日益严格。

### 2.2.3 复杂地质环境下钻井周期长、成本高

1) 海上窄密度窗口钻井压力控制困难。海上区块储层孔隙压力普遍较高且海水产生的上覆压力低,导致浅部地层易破裂。海上区块普遍存在窄密度窗口难题,深水区块更加突出。钻井过程中漏、喷问题严重,导致非生产时间长,井控风险大、钻井周期长,工程成本高。巴西PDA深水区块(水深2 600.00~3 000.00 m)盐下灰岩地层裂缝、溶洞发育,安全密度窗口窄(0.02~0.05 kg/L),PDA-1井钻井过程中漏失钻井液约12 000 m<sup>3</sup>,单井非生产时间达841 h,钻井成本增加6 000万美元。尼日利亚近海Addax OML137区块(水深65.00~496.00 m)的Asanga-2井 $\phi 165.1$  mm井段进行静态流动测试时出现溢流,压井时又发生漏失,非生产时间占比高达32.0%。

2) 复杂地层钻井周期长、成本高。高温高压环境下作业困难、硬地层/软硬交错地层钻速低、井漏、井壁失稳等传统钻井难题在部分海外区块依然存在。喀麦隆项目Ngosso区块平均水深2.00~3.00 m,储层孔隙压力当量密度达1.94~2.08 kg/L,井底温度高达196℃,AZOBE-1X井钻井过程中发生溢流、漏失、井壁坍塌等复杂情况,导致钻井周期比设计周期长22.71 d,钻井费用超支2 050万美元。哈萨克斯坦KOA油田完钻井深3 000.00~3 200.00 m,平均钻井周期达110 d左右,钻遇地层多为砾石层、盐层、巨厚盐膏层、塑性泥岩、泥板岩和碳酸盐岩,部分地层研磨性强,导致机械钻速低,井斜控制难度大,且坍塌、漏失情况频发,非生产时间占比达到11.8%。

3) 高强度、高研磨性地层机械钻速低。一些强度和研磨性极高的地层机械钻速低,导致作业周期增长,钻井提速的挑战性巨大。尤其在作业日费高昂的深水区块,作业时间增长导致作业成本迅速增加。巴西RSB项目盐下储层中下部为坚硬的硅化碳酸盐岩,伴有燧石和页岩,单轴抗压强度达240 MPa,PDA构造3口井的实钻数据表明,平均单只钻头进尺45.00 m,平均机械钻速仅为1.29 m/h。

### 2.2.4 特殊储层油气资源动用难度大

1) 非常规油气储层识别困难。与常规油气相比,非常规油气的岩性特征和成藏条件更加复杂,储层的强非均质性和各向异性导致地球物理响应多解

性更强,“甜点”识别更加困难<sup>[13]</sup>。如美国 SDA 项目的主要目的层为 Mississippi 层,采用水平井分段压裂开发,但在开采初期含水率即达到 80% 以上,储层“甜点”识别不准确、油水分布规律认识不清楚等问题导致开发效果不理想,需要基于综合地球物理技术对储层进行精细评价。

2) 老油田油井效益提升空间大。中国石化海外油气产量主要来自开发中后期油田,“双高”(高采出程度、高含水率)现象突出,部分油田可采储量的采出程度高于 80%,含水率高于 80%。同国内老油田开发实践相比,海外油田精细化管理程度相对较低,普遍没有形成体系化的综合治理措施,具有通过国内技术移植提高效益的较大潜力。如何利用工程技术实现稳油控水、提高单井产量,成为迫切需要解决的问题。

3) 完井井筒流动保障困难。出砂、深水天然气水合物、沥青和蜡析出等流动保障问题在海外区块普遍存在,阻碍了油气通道畅通和产量目标的实现。哈萨克斯坦 FIOC 区块地层疏松、出砂严重,主要采用套管射孔完井(部分井采用筛管完井),防砂作业井修井周期短(6~12 个月)、单井产量低(1~5 t/d),开发效果差;哥伦比亚圣湖能源 Moriche 和 Jazmin 稠油油田砂岩储层埋藏浅(400.00~600.00 m)、中高渗、胶结差,原油黏度高,蒸汽吞吐热采生产出砂严重,防砂周期短、难度大、效果差,甚至发生割缝筛管堵塞变形现象;巴西 RSB 项目采用大量注入甲醇的方法抑制生产过程中天然气水合物的形成,依然无法阻止天然气水合物形成堵塞生产管柱,PDA 井生产过程中天然气水合物堵塞 4 次,其中 2 次导致气井停产;伊朗雅达油田以 Fahliyan 储层为目的层的生产井完井测试时原油中的沥青质析出并附着在油管内壁上,导致钢丝作业时工具下入遇阻,5 口井由于油管内沥青析出沉积导致井下堵塞器取出困难;阿根廷 SJ 油田 MEN 区块沥青质和 CO<sub>2</sub> 含量高,生产压差大,生产过程中严重结垢造成生产管柱被卡、腐蚀,结垢井段甚至长达 200.00~300.00 m,采用分段挤酸清洗和套铣,单井作业成本达 80~100 万美元。

### 3 技术发展建议

根据中国石化海外油气田钻井完井技术发展现状、存在的问题及面临的挑战,建议持续推进技术创新应对油价震荡冲击,依靠“瓶颈”技术攻关、集成应

用、基础研究、精细化和信息化管理实现降本增效。

#### 3.1 不确定油气市场环境下低成本发展战略

低油价形势下各大国际石油公司相继通过精简机构、裁员减薪、压低服务价格等措施降低成本,但是研发投入却稳中有升,通过技术创新应对低油价冲击<sup>[14]</sup>。因此,在较低油价形势下,需要针对中国石化海外油气田钻井完井技术存在的问题和面临的挑战,持续推进技术创新实现降本增效、提升企业综合竞争力,具体内容包括:1) 针对海外油气田面临的突出工程技术难题进行攻关,形成配套技术,直接降低作业成本;2) 依托中国石化在国内外油田开发中积累的丰富技术资源,开展技术集成应用,快速提高开发效益;3) 加强基础研究和储备,提升自主创新能力和核心竞争力;4) 提高技术管理体系的标准化和信息化水平,通过先进的技术管理体系挖掘工程成本的降低空间。

#### 3.2 依靠技术创新降低成本和提升效益

##### 3.2.1 针对突出难题开展“瓶颈”技术攻关

针对中国石化各海外区块面临的突出技术难题开展“瓶颈”技术攻关,以关键工具、材料和工艺的优选与研发为手段,快速形成针对性的解决方案和技术系列,直接降低作业风险和成本。

1) 窄密度窗口井筒强化技术。针对海上和陆上区块裂缝性碳酸盐岩地层的特点,在精确地质环境因素描述的基础上,加强高效化学处理剂(如高性能防漏堵漏材料、强抑制强封堵防塌材料和智能固井堵漏聚合物材料等)的研发,形成配套工作液体系和施工工艺,提高薄弱地层的漏失压力,降低坍塌压力,拓宽钻井液密度窗口,实现窄密度窗口井筒强化。

2) 精细控压钻井技术。针对海外区块窄密度窗口地层的特点,在研究井筒多相流动规律的基础上,开展井下压力测量和控制方法研究,实现关键装备(如 PWD、旋转控制头、自动节流管汇、节流阀和回压泵系统等)的研发自主化,形成综合配套技术,进行控压钻井、接立柱、起下钻和控压下套管、注水泥等,降低施工风险。

3) 复杂地层快速破岩技术。针对地层软硬交错、研磨性高等特点,开展岩石力学特性分析(包括岩石研磨性、抗压强度和可钻性等)和不同类型破岩方式适应性评价(如“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”、复合钻头、“冲击器+牙轮钻头”等),优选钻头型号和

高效破岩工具,优化施工参数,以提高机械钻速、降低单位进尺成本。

4) 完井井筒流动保障技术。针对浅层砂岩储层结构疏松、高含沥青质油井沥青易析出、海上油气生产易受温度和压力的影响等特点,进行出砂机理、沥青质析出预测和天然气水合物形成机理分析,开展高效长效防砂工艺、沥青质析出防治工艺和天然气水合物形成防治工艺研究,以实现油气井井筒生产畅通,提高生产效率。

5) 非常规油气开发工程技术。以高效、低成本开发为目标,针对海外非常规油气开发技术难点开展技术攻关,形成非常规油气开发配套工程技术,包括:测录井综合评价技术、高效钻井技术、井眼稳定钻井液技术和分段完井与压裂技术等。

6) 深水钻井完井关键技术。依托海外深水油气资源勘探开发重点区块,借鉴国际先进技术,开展深水钻井完井关键技术攻关研究,包括:深水工程地质环境因素描述技术、井身结构优化设计技术、钻井液技术、固井技术、完井流动保障技术、智能完井技术、井筒完整性评价与保障技术等。

### 3.2.2 加快成熟技术的集成应用

在科学评价适应性的基础上,进行技术集成和移植,快速形成配套的工艺和技术,实现目标区块的挖潜增效。

1) 老油田挖潜增效综合技术。在老油田提高采收率、改善开发效果方面,国内油田积累了较为丰富的实践经验,形成了不同系列的针对性技术,如基于先进测录井解释方法的油藏精细描述技术、水平井钻井技术、智能找堵水技术和精细分层注水技术等。因此,有必要针对海外老油田的开发现状,借鉴国内类似油田挖潜增效的有效做法,形成有针对性的老油田综合治理集成技术。

2) 海外区块成熟技术的推广应用。部分海外区块工程技术应用效果显著,如:北美非常规油气开发“井工厂”技术系列(包括自动化钻机、多级同步压裂、长水平段优快钻井技术等),对其他海外区块水平井、丛式井提质增效具有参考价值;阿根廷 SJ 油田非渗透防塌钻井液技术,可移植应用于其他区块易塌地层,改善井眼稳定性;伊朗雅达项目碳酸盐岩储层长水平段自转向酸化技术,也可应用于类似碳酸盐岩油田水平井,提高单井产量。在技术移植适应性评价基础上,开展成熟技术在海外区块的推广应用,有助于快速降低施工成本,提高作业质量和油

气产量。

### 3.2.3 重视基础研究和技術储备

基础理论不完善或机理不明是各类技术难题持续困扰海外区块勘探开发进程的根本原因。如地层参数预测不准确,导致钻井溢流、漏失等复杂情况频发;多相流动规律不明,导致深水生产过程中天然气水合物预测和防治困难,等等。有必要把握国际油气资源发展趋势,针对主要工程技术需求,加强关键领域的基础理论研究和技術储备工作,包括特殊岩性地层工程地质环境因素描述方法、深水控压钻井和油气生产过程中的多相流动规律、复杂地层井眼失稳机理、应力敏感裂缝性地层恶性漏失机理、高强度高研磨性岩石破碎机理、深水和大位移井钻井完井设计理论、井筒完整性评价方法、特殊油气储层地球物理识别方法、低品位油气渗流机理和剩余油分布规律、超深水和极地冷海钻井完井基础理论等,以基础理论研究促进技术载体的形成和工艺水平的提高,增强未来在国际潜在油气资源开发中的话语权。

### 3.3 完善工程技術管理体系

鉴于各国政策法规、承包方采用的质量控制与作业指导标准不同,各区块地质特点和采用的钻井完井工程技术不同,有必要通过钻井完井工程质量管理体系和一体化钻井完井工程信息平台实现海外区块施工的质量控制和作业管理,实现投资效益最大化。

1) 钻井完井工程质量管理体系。经过多年努力,中国石化形成了较为系统的海外油气田钻井完井工程质量管理体系,但还需要对标国际石油公司,进行体系的完善和推广工作,形成对工程招标、设计、施工和验收全过程的质量控制和管理,提高整体作业水平。

2) 石油工程一体化信息管理体系。对标国际先进的石油工程信息管理技术,依托先进的数据传输、数据存储、大数据挖掘和可视化技术,建立统一的数据平台,以整合石油工程信息资源,实现工程施工远程跟踪与决策支持、新项目收购工程风险分析、承包商绩效评价与管理、施工经验共享与作业优化等,提高整体技术管理水平。

3) 井控信息与监测平台。海外资源国井控标准不一,承包商水平及装备参差不齐,井控管理难度大,有必要建立全球井控信息与监测平台,实现对井控相关人员、设备、运行体系的查证、调用及更新的动态监控,以及井控相关数据资料共享、事前预防和事中监控等,提高海外项目井控管理水平及施工的



安全性。

## 4 结束语

十几年来,中国石化海外油气田钻井完井工程技术快速发展,为海外油气资源勘探和开发提供了强有力的支撑和保障。面对油气资源分布新格局和国际油气市场新形势,中国石化海外油气田钻井完井技术需要持续推进技术创新应对低油价挑战,并在以下方面加快发展:针对海外区块面临的突出技术难题,把握世界油气资源行业发展趋势,开展“瓶颈”技术攻关和技术储备研究,形成一系列核心技术,以技术创新驱动企业核心竞争力的提升;对海外区块进行工程技术普查与适应性评价,依托国内外成熟经验,开展高效钻井完井工程技术的推广应用工作,以降低作业成本,提高油气产量;重视大数据在提升技术管理水平中的作用,包括承包商管理、新项目收购、工程作业优化和成熟经验共享等,进行基于大数据技术的钻井完井工程信息管理体系建设,连通信息孤岛,挖掘海外区块降本增效潜力;加强工程技术同勘探、开发的一体化协同作用,在组织管理、作业部署、综合研究和信息采集等方面实现多专业协同运作,破除专业壁垒,提高效率,共同保障资源开发目标的实现和投资效益的最大化。

**致谢:**在本文撰写过程中,得到了中国石化集团国际石油勘探开发有限公司张传进,中国石化石油工程技术研究院侯绪田、宋明全、薛玉志、王敏生等同志的帮助,在此一并表示感谢。

## 参 考 文 献

### References

- [1] CHIN Y D, ROARK T. US shale revolution impacts on deep-water and global energy landscape[R]. OTC 27566, 2017.
- [2] 路保平, 苏勤. 中国石化海外油气勘探开发的工程技术难题与对策[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(5): 12-17.  
LU Baoping, SU Qin. The technical requirements and countermeasures for overseas exploration and exploitation of oil & gas fields by Sinopec[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(5): 12-17.
- [3] 明瑞卿, 张时中, 王海涛, 等. 国内外水力振荡器的研究现状及展望[J]. 石油钻探技术, 2015, 43(5): 116-122.  
MING Ruiqing, ZHANG Shizhong, WANG Haitao, et al. Research status and prospect of hydraulic oscillator worldwide[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(5): 116-122.
- [4] 程伟. PDC-牙轮复合钻头布齿设计技术研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2015.  
CHENG Wei. Research of tooth design technique of PDC-cone hybrid bit[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2015.
- [5] 王树超, 王维韬, 雨松. 塔里木山前井涡轮配合孕镶金刚石钻头钻井提速技术[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(2): 156-159.  
WANG Shuchao, WANG Weitao, YU Song. Combination of turbodrill and impregnated diamond bit to enhance ROP in drilling of wells in piedmont zone, Tarim Basin[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(2): 156-159.
- [6] 赵向阳, 豆宁辉, 黄在福, 等. 活跃沥青层控压钻井技术研究与应用[J]. 钻采工艺, 2015, 38(6): 8-11.  
ZHAO Xiangyang, DOU Ninghui, HUANG Zaifu, et al. Research and application of MPD technology in active asphalt formation[J]. Drilling & Production Technology, 2015, 38(6): 8-11.
- [7] 牛成成, 肖超, 韩艳浓, 等. 阿根廷圣豪尔赫湾油田复杂地层防塌钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2016, 44(1): 23-28.  
NIU Chengcheng, XIAO Chao, HAN Yannong, et al. Drilling fluid technology for enhancing borehole stability for complex reservoirs in the San Jorge Oilfield, Argentina[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(1): 23-28.
- [8] 胡友林, 岳前升, 刘书杰. 深水合成基钻井液研究[J]. 钻采工艺, 2012, 35(3): 71-74.  
HU Youlin, YUE Qiansheng, LIU Shujie. Research on deepwater synthetic based drilling fluid[J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(3): 71-74.
- [9] 侯立中, 郑德帅, 吴俊霞. 加拿大非常规油气田优快钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(6): 24-27.  
HOU Lizhong, ZHENG Deshuai, WU Junxia, et al. Optimized fast drilling technology for unconventional oil/gas field in Canada[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(6): 24-27.
- [10] 谈心, 贺婷婷, 王富群, 等. 日光油田“井工厂”关键技术应用研究[J]. 石油机械, 2015, 49(2): 34-39.  
TAN Xin, HE Tingting, WANG Fuqun, et al. Application of “well factory” key techniques in the Daylight Oilfield[J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(2): 34-39.
- [11] 王敏生, 孙键, 叶海超. 低油价下西方油服公司应对策略[J]. 石油科技论坛, 2016, 35(6): 57-63.  
WANG Minsheng, SUN Jian, YE Haichao. Study of western oilfield service companies' strategy under low oil prices[J]. Oil Forum, 2016, 35(6): 57-63.
- [12] US Energy Information Administration. Short-term energy outlook[R]. Washington D C: US Energy Information Administration(EIA), 2018.
- [13] 穆永利, 陈芳, 时新芹, 等. 测井在非常规油气藏中的应用[J]. 国外测井技术, 2013, 34(5): 47-50.  
MU Yongli, CHEN Fang, SHI Xinqin, et al. Application of well logging in unconventional hydrocarbon reservoir[J]. World Well Logging Technology, 2013, 34(5): 47-50.
- [14] 冯启海, 卫永刚, 郑德鹏, 等. 国内外石油企业应对低油价的做法及启示[J]. 国际石油经济, 2016, 24(7): 39-43.  
FENG Qihai, WEI Yonggang, ZHENG Depeng, et al. Domestic and international oil companies' practices under low oil price and its enlightenment[J]. International Petroleum Economics, 2016, 24(7): 39-43.

[编辑 令文学]