

胜利油田钻井完井技术新进展及发展建议

韩来聚

(中石化胜利石油工程有限公司, 山东东营 257000)

摘 要:“十二五”期间,胜利油田为了实现复杂油气藏的高效开发和剩余油气的挖潜增效,深入开展了复杂结构井钻井、随钻测控仪器、新型破岩工具、膨胀管及钻井液完井液等技术与工具研制,初步形成了满足滩海浅海、低渗透、超稠油等难动用油气藏勘探开发需要的配套钻井完井技术。现场应用表明,大位移井、密集型丛式井技术的进步有力推动了滩海浅海油气藏的整体开发和降本增效,水力喷射径向水平井、近钻头地质导向及磁性导向钻井等技术丰富了复杂断块、超稠油等类型油气藏的精细开发手段,捷联式垂直钻井、扭转冲击钻井工具、高性能钻井液及实体膨胀管封堵等技术有效解决了复杂深井机械钻速慢且井下故障多的技术难题。在分析目前胜利油田钻井完井技术现状的基础上,分别从钻井装备自动化、高端随钻测控、信息化及绿色环保钻井等方面提出了“十三五”期间的发展建议,有利于进一步推动胜利油田钻井完井技术的快速发展,更好地满足复杂油气藏高效开发和剩余油气挖潜增效的需求。

关键词:复杂油气藏;钻井;完井;新进展;发展建议;胜利油田

中图分类号:TE24 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2017)01-0001-09

The Latest Progress and Suggestions of Drilling and Completion Techniques in the Shengli Oilfield

HAN Laiju

(Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257000, China)

Abstract: To develop complex reservoirs more efficiently, and to accelerate the progress of drilling and completion techniques in the Shengli Oilfield during the 12th Five-Year Plan Period, development requirements and drilling difficulties encountered in some difficult-to-produce reservoirs were reviewed in detail. Such reservoirs include shallow marine beach deposits, low permeability and extra heavy oil reservoirs. During the course, research was performed related to the drilling of complex wells, the development of measuring-while-drilling instruments, innovative rock-breaking tools, expandable pipes, drilling fluids and other techniques and tools. Onsite application results showed technical progress in highly-deviated wells, high-density cluster wells and while other aspects effectively enhanced the overall development performances of shallow-marine hydrocarbon reservoirs. At the same time, relevant costs were reduced with development efficiencies enhanced dramatically. Hydraulic jet radial horizontal wells, near-bit geosteering drilling and magnetic guidance drilling technique enriched the fine development of complex reservoirs such as those with extra heavy oil and those in complex blocks. Automated strap-down vertical drilling, torsional impact drilling tools, high-performance drilling fluids and expandable tubular plugging techniques effectively removed the technical problems of slow ROPs and more complicated situations in deep wells. In consideration of existing drilling and completion techniques in the Shengli Oilfield, development proposals for the 13th Five-Year Plan Period were highlighted with regard to automatic operation of drilling facilities, top-end monitoring and control while-drilling, digitalization and environment-friendly drilling techniques. Application of these techniques might further promote fast development of drilling and completion technologies in the Shengli Oilfield, and to develop complex reservoirs more efficiently and to tap potential remaining recoverable oil/gas reserves.

Key words: complex reservoir; drilling; well completion; technical progress; development proposal; Shengli Oilfield

近年来,随着胜利油田逐渐进入开发中后期,滩海浅海、低渗透、超稠油、复杂断块及西部深层等各类难动用油气藏逐渐成为开发重点,钻井完井工程面临一系列技术难题,如滩海浅海油田采用常规模式开发投资巨大,低渗透油气藏钻井完井技术不成

收稿日期:2016-10-22;**改回日期:**2016-12-25。

作者简介:韩来聚(1963—),男,山东昌邑人,1983年毕业于华东石油学院钻井专业,1991年获石油大学(北京)油气井工程专业硕士学位,2004年获石油大学(华东)油气井工程专业博士学位,教授级高级工程师,主要从事钻井新技术研究及相关管理工作。系本刊编委。E-mail:hanlaiju_slyt@sinopec.com。

熟、施工后期效率偏低,复杂断块、超稠油和薄层等油气藏精细开发手段不足,准噶尔、吐哈等西部地区深井钻井速度慢且井下故障多。胜利油田钻井完井技术经过多年发展,尽管已经初步形成了相对成熟的钻井完井配套技术,较好地解决了复杂油气藏的勘探开发难题,但是仍然存在着复杂结构井钻井完井技术水平低、高端随钻测控系统可靠性差和深层高研磨性地层钻井提速手段单一等方面的问题^[1-3]。因此,笔者系统总结了“十二五”以来胜利油田复杂结构井、随钻测控仪器、深井提速提效、膨胀管及钻井液完井液等工程配套技术的研究进展及应用效果,并针对油气勘探开发需要和钻井技术难题,分别从钻井装备自动化、高端随钻测控、信息化及绿色环保钻井等方面提出了发展建议,以进一步推动胜利油田钻井完井技术的快速发展,实现胜利油田复杂油气藏的高效开发、剩余油气的挖潜增效,进一步激发老油田发展活力。

1 “十二五”钻井完井技术主要进展

1.1 复杂结构井钻井技术

1.1.1 大位移井钻井技术

大位移井钻井技术可以大范围控制含油面积、减少平台数量,大幅降低钻井成本,已经成为开发滩海和海上油气资源的重要手段^[4-5]。胜利油田以国家“863 计划”项目“海上大位移井钻完井关键技术开发与集成”为依托,深入开展了考虑钻柱屈曲和井径变化的摩阻扭矩计算、以井眼清洁为目标的水力参数优化设计、全井段井壁稳定实时变化规律分析、轴向振动加压工具研制、漂浮下套管及液压扶正套管居中等技术研究,形成了大位移井钻井工程优化设计、提高大位移井钻井延伸能力及大位移井固井等3项关键技术,并通过大位移井钻井完井技术配套,满足了水平位移超过6 000.00 m的大位移井钻井完井技术要求。截至目前,胜利油田先后顺利钻成了GP1井、Z129-1HF井和PH-ZG1井等10余口大位移井,其中水平位移最大达5 350.58 m,水垂比最大4.02,显著提升我国大位移井钻井完井技术整体水平,为我国海上能源战略目标的实现提供了技术支撑。

1.1.2 密集型丛式井钻井技术

密集型丛式井由于具有可以有效减少人工岛或

固定平台数量、便于油井综合管理等优点,已经成为滩海浅海油田高效开发、提高采收率的重要手段。“十二五”期间,针对密集型丛式井组防碰绕障风险大、浅部地层松软造斜困难、三维井眼轨迹控制难度高等钻井难题,胜利油田深入开展了丛式井组平台位置优化设计、三维可视化防碰绕障、超浅层大井眼定向钻井和优质无污染海水钻井液等系列钻井关键技术研究,形成了成熟的密集型丛式井钻井技术^[6-7],先后顺利完成了KD12、QD5及CB11NA等滩海浅海大型丛式井组施工,实现了胜利油田滩海浅海油气藏的整体开发。KD12井组总计完钻114口井,是当时国内最大的海油陆采丛式井组,其中40口井的水平位移超过1 000.00 m,34口井水垂比超过1.0;QD5井组人工岛长150 m,宽90 m,共计完钻61口井,平均水平位移1 019.65 m,井网密集、井口间距仅2.00 m,创造了胜利油田单一平台井数最多的纪录。

1.1.3 长水平段水平井钻井技术

长水平段水平井可以实现储层有效进尺最大化,在国内外众多油田得到了广泛应用,已经成为低渗透油气藏高效开发的一项重要技术^[8-10]。针对储层物性平面变化大、钻头适应性及钻具稳斜性能差、后期滑动钻进效率低等问题,通过“十二五”攻关研究,胜利油田分别形成了下部钻具钻进趋势定量预测和长水平段多参数优化控制技术,研制出了高耐磨、长寿命的PDC钻头及液压膨胀式双级变径稳定器、轴向振荡器等辅助工具,逐步形成了长水平段水平井钻井配套技术,并且实现了千米长水平段一趟钻完钻的目标。胜利油田先后在国内多个油田或地区钻成了60余口长水平段水平井,其中SF310HF井和XS21-27H井等6口井实现了一趟钻完成长度1 000.00 m左右水平段的目标;F154-P2井 $\phi 152.4$ mm水平段长度为2 015.00 m,创造了当时中国石化小井眼水平段最长的纪录。

1.1.4 水力喷射径向水平井技术

水力喷射径向水平井技术是在垂直井眼中一个或多个层面上沿径向钻出呈辐射状分布的一个或多个水平孔眼,能够穿透近井污染带,极大地增加泄油半径,从而可以适配老区井网,实现均衡驱替,挖掘剩余油,以及优化新区注采井网,实现与分段压裂联作。“十二五”期间,胜利油田通过研制套管内耐冲蚀转向装置、高性能射流喷嘴,与径向水平井地层适

应性评价和射流工作液优选相结合,并配套地面高压喷射泵组、连续油管系统等装备,形成了水力喷射径向水平井配套技术。该技术先后在胜利油田 C6-G16 井、P612-4 井等 27 口井进行了应用,最大作业井深 2 933.50 m,最小作业井深 292.50 m,单井最多钻水平孔眼 12 个,单水平孔眼长度最长 100.00 m,单井最大进尺 800.00 m,与采用常规射孔的油井相比,作业后单井产量增加 1 倍以上,表明该技术具有显著的增产效果。

1.2 随钻测量与控制技术

1.2.1 近钻头地质导向技术

针对复杂断块、薄互层等复杂油气藏钻进期间油层辨识难度大、井眼轨迹控制要求高等难题,胜利油田依托国家“863 计划”项目“随钻测井核心探测器关键技术研究”,将井斜和方位伽马传感器集成到钻头附近位置,通过短程技术实现测量参数与 MWD 通讯,研发出了测量零长仅 0.60 m 的近钻头地质导向系统,形成了地层界面识别和解释技术,能够实时获取近钻头的井斜角和地层岩性,有利于及时调整井眼轨迹,控制钻头始终在油藏最佳位置穿行。该技术先后在胜利油田 Y451-P27 井和 C23-58 井等 16 口井进行了应用,其中 Y451-P27 井是胜利油田 Y451 断块上的一口水平井,油层平均厚度 4.30 m,地下井网密布、断裂系统复杂,应用井段 1 980.00~2 332.00 m,通过近钻头井斜和方位伽马传感器实时准确地获取钻头处的地层变化信息,大大降低了钻穿油层的风险,储层钻遇率高达 97.3%。

1.2.2 磁性导向钻井技术

磁性导向钻井技术是指利用有源磁性测量仪器精确控制井眼轨迹在目的层穿行或者使多口井精确连通的一种导向钻井技术,主要用于钻成对平行水平井和连通井,开采超稠油、煤层气及地下可溶性矿物等。“十二五”期间,胜利油田重点突破了低频交变磁场导向定位原理、目标端测量探管电路设计和源端近钻头磁钢短节研制等技术瓶颈,自主研发出了磁性导向测量仪器,同时结合磁性导向钻井井位优选、测量仪器数据误差分析以及待钻轨道设计与井眼轨迹控制配套软件的开发,形成了磁性导向钻井技术。该技术先后在 DFS-C04-H2、ZMU1 和 SN06 等 5 个井组进行了连通试验,成功率达 100%,可以探测到距目标端 70.00~80.00 m 的磁场信

号,并且实现 50.00 m 以内的准确定位,探测精度与国外仪器相当,能够满足磁性导向钻井的施工要求。

1.2.3 自动垂直钻井技术

自动垂直钻井技术在地层倾角较大地区防斜快方面具有明显技术优势。为了有效解决胜利油田西部新区复杂深井钻井易井斜的问题,解放钻压、提高机械钻速并保证井身质量,在现有捷联式自动垂直钻井系统的基础上,重点改进了高速旋转密封和防斜执行机构,研制了旋转磁场式钻井液发电机,优化了垂直钻井系统内部结构和捷联式稳定平台,进一步提升了捷联式自动垂直钻井系统的可靠性和稳定性。截至目前,胜利油田已经研制出了适合 $\phi 311.1$ 、 $\phi 241.3$ 及 $\phi 215.9$ mm 井眼的系列垂直钻井系统,并在 25 口井进行了现场应用,累计进尺超过 8 000.00 m。其中,该系统在贵州 AS1 井 $\phi 311.1$ mm 井眼的 2 436.00~2 610.79 m 井段进行了应用,井斜角由 6.25° 降至 1.00° 以内,降斜效果明显,平均机械钻速 1.02 m/h,与常规钻井方式相比提高了 25.9%,表明捷联式垂直钻井系统工作稳定、性能可靠。

1.2.4 旋转导向钻井技术

旋转导向钻井技术具有井眼轨迹平滑、位移延伸能力强、井下安全性高等优点,已经成为复杂三维多目标井、大位移井、超深及长水平段水平井钻井的有效技术手段^[11]。“十二五”期间,为了适应高造斜率导向需求,攻关突破了三导向翼肋压力动态矢量控制、液压泵输出压力区间控制等测控系统技术瓶颈,完成了液压系统优化设计和发电机、整流器、驱动心轴等关键单元的研制,结合气密性检测装置、指令下传系统的研发配套,自主研发了静态推靠式旋转导向系统工程样机,取得了阶段性的技术突破。该工程样机在胜利油田 H183-X6 井和 3-9-X160 井等 7 口井进行了试验,造斜率最高达到了 $18.73^\circ/100\text{m}$,且旋转导向各种模式切换正常、工作稳定,充分验证了系统原理的正确性和可行性,为“十三五”实现工程化应用奠定了基础。

1.3 深井提速提效关键技术

1.3.1 火成岩气体钻井技术

胜利油田西部新区准噶尔及吐哈盆地火成岩地

层厚度大、岩性复杂、研磨性强和可钻性差,严重制约了新区的勘探开发进程。“十二五”期间,胜利油田深入开展了火成岩破岩效率室内评价试验,完善了深部火成岩地层注气量计算模型,加强了高效空气锤结构优化设计,研制了高效抗盐、抗油发泡剂,满足了大出水量和出油条件下气体钻井的需要,形成了火成岩空气/泡沫+牙轮钻头钻井技术和空气/雾化+空气锤钻井技术。截至2015年底,该技术先后在H1井、HS3井、HS2井及HS201井共7开次钻进中进行了成功应用,累计进尺5 413.29 m,机械钻速和单趟钻进尺同比分别提高了11.28倍和8.68倍。HS201井 $\phi 311.1$ mm井眼在出水量20.0~22.5 m³/h时应用雾化+空气锤钻井技术,单趟钻进尺高达450.51 m,机械钻速5.31 m/h,大幅提高了火成岩地层钻井速度;HS2井创造了中国石化气体钻井井深最深(5 173.50 m)及空气锤应用最深(5 100.90 m)的纪录。

1.3.2 精细控压钻井技术

精细控压钻井是一种精确管理、主动约束与控制井筒环空压力的自适应钻井技术,能够有效解决窄密度窗口引起的严重井漏、喷漏同存等复杂钻井难题。在研究自动控制原理和分析井底压力影响因素的基础上,胜利油田首次提出了基于立压、套压和流量的三参数综合控制方法,开发了钻井流体环空ECD实时计算软件,同时结合电动液控节流管汇、压力补偿系统、数据采集及控制系统等关键设备,形成了CSF-MPD三参数精细控压钻井技术,不仅实现了钻进、起下钻、排溢流等不同工况下全过程井底压力闭环自动控制,而且实现了各工艺流程的无缝无扰切换,大大提高了控制速度及精度,其中压力控制精度 ± 0.35 MPa,溢流、漏失量控制在0.8 m³以内。该技术在塔中SN5-2井6 920.00~7 106.83 m井段奥陶系地层进行了试验,通过有效控制井底压力和井口回压,及时发现了井漏和溢流等井下复杂情况,保证了钻井井下安全。

1.3.3 高效金刚石钻头的研制与应用

1) 高效PDC钻头。随着油气勘探开发向深层不断发展,地质条件更加复杂,为有效解决复杂深井钻井中普遍存在的单只钻头进尺少、机械钻速慢、钻井周期长等钻井难题,“十二五”期间,胜利油田加强了高效PDC钻头结构设计、金刚石和基体配方优选、热压烧结加工等方面的研究,自主开发了PDC

钻头三维设计及模拟软件,形成了高效PDC钻头设计与制造技术,研制出了PK5363SJ型和PQ6256SJ型等100余种适合各种复杂地层的高效PDC钻头,并在胜利、四川、新疆等油田或地区1 000余口井中进行了推广应用,累计创造/刷新了30余项区域钻井工程纪录。其中,川东北地区YB273井在钻进沙溪庙组地层时应用了 $\phi 444.5$ mm PK5363SJ型PDC钻头,机械钻速3.28 m/h,单只钻头进尺1 003.24 m,较邻井常规PDC钻头进尺提高1倍以上;长庆油田L21井在钻进延长组和石千峰组地层时应用了 $\phi 241.3$ mm PQ6256SJ型PDC钻头,机械钻速17.86 m/h,单只钻头进尺达2 000.00 m,创造了该井所在区块单只钻头进尺最长、全井钻井周期最短等4项工程纪录。

2) 孕镶金刚石钻头。孕镶金刚石钻头是一种自锐型钻头,具有耐磨性高、使用寿命长等特点。针对火成岩、砂砾岩等高研磨地层的特点及钻井难点,综合考虑孕镶金刚石钻头和PDC钻头的技术特点,改变了以往孕镶钻头纯研磨破岩方式,以高强度、超耐磨圆柱形孕镶块为主要切削元件,同时结合孕镶金刚石钻头结构设计、金刚石参数优选、孕镶块胎体配方优化等方面的研究,研制了一种兼具切削和研磨2种破岩方式的孕镶金刚石钻头,并分别形成了适合 $\phi 149.2 \sim \phi 311.1$ mm井眼的6种规格孕镶金刚石钻头。该钻头在新疆和四川等地区20余口井进行了应用,累计进尺超过了5 000.00 m。其中,川东北地区YL30井在钻进千佛崖组和自流井组地层时应用了1只 $\phi 215.9$ mm DIA256S型孕镶金刚石钻头,应用井段3 818.50~3 977.06 m和4 089.17~4 349.16 m,累计进尺418.55 m,平均机械钻速1.10 m/h,较同井同层相邻井段平均提高了66.7%,钻头性能达到了国际先进水平。

1.3.4 新型辅助提速工具的研发

“十二五”期间,为提高复杂深井钻井速度,胜利油田先后研制了多种新型提速提效工具。

1) SLTIT型扭冲工具。SLTIT型扭冲工具是专门解决PDC钻头卡滑问题、以提高难钻地层机械钻速为目的而自主研发的一种新型辅助钻井工具。它借助部分钻井液驱动工具内部冲击锤产生一个附加的、周向扭转的、连续高频冲击扭矩,不仅能够有效改善PDC钻头的工作环境,同时通过给钻头增加一个扭转冲击能量辅助钻头破岩,可以提高难钻地层的钻井速度^[12-13]。截至目前,胜利油田已经研制

了适合 $\phi 152.4 \sim \phi 444.5$ mm 井眼的 4 种规格 SLTIT 型扭冲工具,在东海、南海、新疆和甘肃等地区累计应用 120 井次,进尺超过了 40 000.00 m。其中,该工具在准噶尔盆地 HS3 井 $\phi 311.1$ mm 井眼 2 888.00~3 345.50 m 井段石炭系地层进行了应用,单趟钻进尺 457.50 m,较上部相邻牙轮钻头钻进井段平均提高了 11.35 倍,并创造了准噶尔盆地单趟钻钻进时间(649.00 h)及纯钻时间(455.25 h)最长的纪录。

2) 恒扭矩钻井工具。针对复杂深井高研磨难钻地层机械钻速慢、PDC 钻头易卡滑蹩钻、定向钻进易托压、钻遇岩性剧烈变化地层时易导致井下仪器和钻柱连接损坏等问题,深入开展了 PDC 钻头恒扭矩技术原理、工具结构设计、性能检测及室内测试等方面的研究,自主研制了一种 PDC 钻头恒扭矩钻井工具。当钻进过程中钻头瞬时扭矩超过该工具设定扭矩时,其内部花键结构转动带动钻头上行,可瞬时减小钻压和扭矩,始终保持钻头平稳钻进,从而实现在保护钻头和钻柱的同时提高机械钻速和进尺的目的。该工具在川东北 X101 井钻进沙溪庙组和千佛崖组地层时进行了试验,单趟钻进尺 414.85 m,较同区块最大指标提高了 121.55 m,机械钻速同比提高了 53.03%,并创造了该区块同层位单趟钻进尺最大、纯钻时间最长等多项纪录。

3) 钻柱减振增压工具。为有效解决深井钻进硬地层或软硬夹层时的钻柱振动问题,同时增大井底水力能量或提高其利用效率,胜利油田研制了一种集钻柱减振和井底钻井液增压于一体的钻柱减振增压工具,利用钻柱纵向振动引起的井底钻压波动作为能量来源,将钻柱振动机械能转化为钻井液液压能,在井底产生超高压射流实现水力破岩,既能减小钻柱振动、延长钻柱和钻头的使用寿命,又可以实现有效利用钻柱振动能量提高机械钻速的目的。截至 2015 年底,该工具先后在胜利和新疆等油田或地区成功应用近 20 井次,机械钻速平均提高 30% 以上。其中,该工具在 KX21 井 $\phi 311.1$ mm 井眼钻进白垩系和侏罗系地层时进行了应用,井下工作时间 247 h,进尺 2 280.00 m,平均机械钻速 21.2 m/h,与邻井相比提高了 67.0%,尤其是在钻进下部井段(2 286.00~2 780.00 m)时,机械钻速提高 151.0% 以上,提速效果显著。

1.4 膨胀管技术

膨胀管技术是在井下对钢管及其螺纹进行冷

扩,使其直径增大以满足钻井完井要求的一项石油工程技术。“十二五”期间,针对复杂结构井和特殊工艺井的钻井完井技术难点,胜利油田先后研制了实体膨胀管、膨胀悬挂器等多种工具,初步实现了膨胀管产品规格系列化。

1.4.1 实体膨胀管封堵技术

复杂深井在钻遇异常高压、严重漏失等地层时,由于难以平衡井下压力体系,易出现井壁垮塌、井漏等井下故障,为此胜利油田开展了井身结构优化设计、大斜度深井扩眼、深井膨胀管裸眼封堵及非标小井眼钻井等技术研究,自主开发了以膨胀套管作为“临时井壁”的复杂地层封堵技术,进一步优化了深井膨胀管封堵施工工艺,并形成了适用于深井复杂地层的膨胀管钻井封堵系统及配套完井技术,有效解决了国内深层侧钻井无法下入技术套管进行二次钻井的技术瓶颈。该技术在塔河油田 TK816-KCH2 井、TK6-463CH 井和 TH12119CH 井等 4 口深层侧钻井进行了应用,创造了中国石化 $\phi 139.7$ mm 实体膨胀管下深最深(5 690.68 m)和钻后扩眼井斜角最大(53.42°)2 项纪录^[14-15],为深井超深井小井眼复杂地层侧钻井的顺利施工提供了有力保障。

1.4.2 膨胀悬挂器完井技术

针对尾管完井时常规悬挂器密封性能差、悬挂尾管尺寸受限等技术难题,“十二五”期间,胜利油田深入开展了膨胀悬挂原理分析、膨胀管材和密封悬挂材料优选、一体式工具结构设计及膨胀性能检测等方面的研究,同时利用钢管膨胀及高强度橡胶材料作为密封悬挂机构以解决水力密封的问题,自主研制了适用于套管、筛管和旋转尾管固井要求的膨胀悬挂器^[16]。该悬挂器具有耐高温、大通径、高强度密封和双向悬挂等特点,可以悬挂更大尺寸套管,减少重叠段套管段长度,实现不同套管之间的无缝连接,整体性能达到了国际先进技术水平。截至目前,膨胀悬挂器先后在国内外多个油田或地区 300 余口井进行了应用,最大坐挂深度 5 822.00 m,最大悬挂尾管长度 1 639.56 m,套管重叠段由传统的 150.00~200.00 m 减少到 20.00~30.00 m,不仅避免了侧钻窗口出水现象的发生,而且显著节约了套管用量。

1.4.3 膨胀筛管防砂技术

膨胀筛管防砂技术是近年来兴起的一项新型防

砂技术^[17],筛管膨胀后紧贴井壁,对井壁形成一定的支撑,能够有效减少井壁坍塌以及砂粒的运移与冲蚀,具有防砂效果好、通径大和可靠性高等技术优点。“十二五”期间,胜利油田在筛管膨胀原理分析、膨胀管管材优选、割缝参数优化及膨胀性能测试等方面进行了深入研究,设计加工了大通径筛管悬挂器、二次变径膨胀锥、带割缝的膨胀螺纹、膨胀防砂筛管及其配套工具,并且利用变径膨胀锥自上而下通过机械加压实现筛管膨胀,开发出了具有顺应井壁膨胀的膨胀筛管系统。截至目前,已开发出适用于 $\phi 152.4$ mm 井眼的膨胀筛管,并进行了段铣井段和加深井段的裸眼井膨胀筛管防砂试验,先后在 9 口井进行了套管内和裸眼内的防砂作业,为实现疏松砂岩有效防砂提供了一种新型技术手段。

1.4.4 等井径钻井技术

应用膨胀管技术实现等井径钻井属于国际钻井完井领域的前沿技术,主要解决复杂地层钻井中的封堵难题,实现优化井身结构、保障钻井完井作业安全的目的。与常规膨胀套管钻井封堵技术相比,等井径钻井技术可在钻井过程中采用同一种规格的钻头及钻具,使全井保持相同井眼尺寸,实现无内径损失钻进。“十二五”期间,胜利油田先后攻克了大变形膨胀材料、膨胀螺纹、变径膨胀机构及固井附件的研制等技术难题,设计研制了大变形膨胀螺纹、可变径膨胀工具、压力分级控制机构、变径锥闭合助力机构、固井附件及配套工具,累计进行了 20 余次工单工具及整体膨胀室内试验,并且在 S2-X101 井开展了功能性试验,验证了等井径钻井系统的可行性,为该技术的现场试验奠定了基础。

1.5 钻井液与完井液技术

1.5.1 储层保护技术

胜利油田中低渗透储层在钻井过程中固相、聚合物污染严重,水锁伤害问题突出,导致油气采收率较低、开发后期效果较差。针对泡沫钻井液在钻进低压低渗透储层时存在的抗压能力不足、遇油消泡、携岩性差等问题,从分子结构出发,采用分子模拟及室内测试相结合的方法,研制了发泡能力超过 800 mL 的发泡剂 AC-2 和半衰期超过 2 h 的稳泡剂 WP-2,形成了抗油泡沫钻井液,其具有抗温 150 °C、抗 30% 油污染和抗压 28 MPa 的良好性能。该钻井液在 Y227-1HF 井和 DP2 井等 10 余口井进行了应

用,平均渗透率恢复率大于 95%,储层保护效果良好。针对中低渗透储层黏土伤害严重的问题,基于表面张力与水锁伤害原理,研制了水锁解除率达 90% 的防水锁剂 YFS-3 和抗温 180 °C 的高温增黏剂 TV-5,形成了无黏土钻井液,多口井的现场应用结果表明,平均渗透率恢复率大于 95%,表皮系数 ≤ 2.0 ,其中 CB812A-1 井的表皮系数为 -3.57,不存在污染,采用 $\phi 10.0$ mm 油嘴放喷,日产油 74.6 m³,较邻井同比提高 2 倍以上,储层保护效果明显。

1.5.2 钻井防漏堵漏技术

胜利和四川等油田或地区的部分区块属于裂缝性地层,同时钻井液密度窗口狭窄,钻井过程中恶性漏失、漏涌同层问题严重,严重影响了钻井施工的顺利进行。为此,胜利油田分析了不同漏失特点漏失层的井漏机理,形成了复杂深井漏点判断与测量技术,研制了 DL 型高温高压堵漏模拟装置(180 °C/40 MPa),利用该装置能够模拟评价钻井液循环对堵层冲刷后的承压能力。通过研制纳微复合封堵材料、超短复合纤维等关键处理剂,形成了系列防漏堵漏钻井液,可对缝宽 1~3 mm 的裂缝实施有效封堵,正向承压能力超过 30 MPa。防漏堵漏钻井液在 HB107 井和 Z7-CP4 井等 30 余口井进行了应用,一次堵漏成功率达 100%。其中,HB107 井二开钻进沙溪庙组地层过程中多次出现失返性漏失,先后尝试各种常规堵漏技术均无法有效封堵,应用自主研发的超短复合纤维承压复合堵漏技术,裸眼地层承压能力由 1.32 g/cm³ 提高到了 1.51 g/cm³,有效避免了二次或多次重复漏失。

1.5.3 强抑制钻井液井壁稳定技术

胜利油田馆陶组、东营组地层存在大段的硬脆性、裂缝性泥页岩及砂泥岩互层,钻井过程中井壁失稳问题较为严重。针对硬脆性泥页岩的应力坍塌问题,胜利油田研制了三次页岩回收率超过 90% 的铝胺聚合物 LAM-1,并优选胺基抑制剂、高效封堵剂等配套处理剂,形成了强抑制铝胺钻井液。该钻井液在大芦湖地区 18 口井及多口深探井中进行了应用,钻井完井施工顺利,井径规则且扩大率均低于 6.0%。针对砂泥岩互层泥岩膨胀缩径严重的问题,胜利油田利用胺基抑制剂、有机盐提高钻井液的页岩抑制性,增加油相含量和采用高效润滑剂提高钻井液的润滑性,以及采用铝基聚合物、纳微封堵材料提高钻井液的封堵能力,形成了高混油比水基钻井

液,并在 B435-1HF 井和 Y123-1HF 井等 30 余口井进行了应用,有效解决了砂泥岩互层易水化膨胀的难题。其中,该钻井液在胜利油田首口滩坝砂非常规水平井 B435-1HF 井水平段钻井施工中进行了应用,先后钻穿了砂岩层 483.00 m、泥岩层 512.00 m 和砂泥岩层 166.00 m,无任何井下故障发生。

1.5.4 生物完井液技术

非射孔完井水平井在采用常规技术消除近井地带污染时,存在滤饼清除不完全、残余滤饼易堵塞地层和筛管,以及滤饼清除后容易发生漏失造成二次污染等问题,为此,将生物酶引入完井液,降解滤饼中的大部分聚合物,有效解除近井地带污染问题,结合疏水缔合聚合物、防水锁剂等配套处理剂的研制,形成了适合不同储层的系列生物完井液,泥饼解除率和渗透率恢复率分别超过 90.0% 和 85.0%,有效避免了酸洗、射孔等带来的二次污染问题,达到了负压射孔的储层保护效果。该完井液在胜利油田 CB22G、Y901 和 Y8 等 16 个区块的 200 余口井进行了应用,平均表皮系数仅为 2.32,较邻井降低了 50.0%,平均单井产量增加了 23.0%。其中,Y8-P16 井和 Y8-P17 井等 4 口井应用该完井液完井,单井产油量超过 20 t/d,较邻井产量提高了 2 倍以上,取得了显著的开发效果。

2 “十三五”钻井完井技术发展方向

“十二五”期间,胜利油田钻井完井技术取得了长足的进步,形成了适合滩海浅海、低渗透、超稠油、复杂断块及西部深层等难动用油气藏的钻井完井配套技术,基本满足了胜利油田降本增效、优快钻井的技术需求,但是仍然存在高端装备技术体系不完善、技术应用综合成本居高不下等问题,并且在自动化钻井、信息化建设和绿色环保等领域与国际先进技术之间仍然存在着较大差距^[18]。为了进一步推动胜利油田钻井完井技术快速发展,“十三五”期间亟需深入开展地面自动化钻井装备与井下高端随钻测控系统研发、井场信息一体化平台与新一代井下“高速公路”建设、新型环保钻井液完井液与钻井废弃物无害化研究等方面的工作。

2.1 自动化钻井技术国产化研究

1) 地面自动化钻井装备的研制。钻井装备自动化已经成为石油钻井发展的必然趋势,也是实现

自动化钻井的重要支撑。通过开展管柱自动处理系统、井口自动化工具、远程电子司钻及其集成技术研究,胜利油田已经研制出钻柱自动输送装置、动力鼠洞、液压卡瓦和钻台多功能机械手等自动化单元设备,建成了钻柱自动化处理模拟仿真试验系统,但是在钻机自动化解决方案、钻机集成控制等方面与国外相比仍然存在较大差距,因此有必要结合现场作业流程,继续加强钻井管柱输送、排管自动化设备研发,同时丰富产品种类,进一步提高可靠性;加快钻机集成控制技术研究,实现各子系统之间控制指令和状态信息的实时共享;加强钻井液性能在线监测、自动化固控设备开发,实现整个钻井液循环系统的自动控制;开发专家故障诊断系统,实现钻机故障在线诊断和预警,延续钻机后续增值服务。

2) 井下高端随钻测控系统的研发。近年来,国内研发的随钻测控仪器基本满足了常规油气藏水平井地质导向及地层评价的需求,但是随着高温高压深井日益增多和地质环境日趋复杂,对于随钻测控仪器整体性能及技术适应性提出了更高的要求。为了进一步提高各种复杂油气藏精细地质评价与自动导向控制水平,亟需开展随钻深方位电阻率、多扇区方位伽马及随钻补偿中子与方位密度一体化等高端随钻测井仪器的研发,确保随钻测井仪器具备测量参数更多、探测距离更远、耐 175℃ 以上高温等性能的同时,满足不同油藏工程地层边界探测、精细地质成像的要求;研发旋转导向系统专用配套工具,强化旋转导向工具的抗温抗压能力,同时结合地质、工程参数建立智能控制算法,深入开展旋转导向自动化控制技术研究,进一步提高旋转导向工具的造斜能力、控制精度及整体可靠性,并最终实现无干预闭环自动旋转导向钻井的目的。

2.2 信息化钻井技术快速发展

1) 井场信息一体化平台建设。随着互联网、大数据、云计算等技术的应用,信息化技术改变了传统的生产管理模式,石油工程行业也要适应新形势,必须逐步加大信息化技术应用的广度和深度,井下信息、工程信息和待钻地层信息能够实时采集、及时共享和协同处理,从而显著提升钻井完井信息化水平,稳步推进数字化油田的建设步伐。为此,“十三五”期间仍需进一步完善石油工程数据应用中心,实现钻井、测井、录井和试井各专业数据资料的集成管理;加快井筒数据一体化采集系统建设,实现现场数据、生产动态的全面跟踪及实时共享;提高钻井现场

自动化监控程度,实现整个钻井工况的实时监控、预测,降低工程施工风险;开发石油工程作业远程协同支持平台,建立现场与远程协同工作机制,实现各学科专家协同决策与实时最优化钻井施工。

2) 新一代井下双向传输“高速公路”的研发。实现井下钻井数据信息双向传输,且传输速率至少达到 10 kB/s,是信息化钻井技术的关键之一。通过开展电力线载波信号传输、动力信息传输钻杆结构设计及其配套接口关键技术研究,胜利油田成功研制了滑环导电式动力信息传输钻杆样机、直流无刷式井下电动钻具以及电机控制器、减速器等配套工具,实现了新一代井下双向传输“高速公路”关键技术的突破,然而为了满足现场复杂工况下高速大容量实时传输的需要,“十三五”期间,需继续在传输电缆布线、电动钻具旋转密封等方面进行深入研究,进一步提高系统的整体可靠性、适应性及传输效率;深入开展智能钻杆磁感应传输技术及其信道特性分析,利用电磁感应耦合原理实现信号在钻杆之间的非接触式高速传输;加强分布式光纤传输及处理解释技术前瞻性研究,探索利用光纤遥测技术实现全井筒数据信息的高速实时传输,从而助力信息化、智能化钻井技术的快速发展。

2.3 绿色油田全过程清洁化生产

1) 新型环保钻井完井液的研发。随着国家新环保法的颁布实施,实现绿色清洁生产已经成为石油企业必须担负的责任。近年来,尽管国内已经研发出了多元醇钻井液、甲基葡萄糖苷钻井液和多羟基化合物钻井液等多种环保钻井液,但是仍然存在着环保处理剂匮乏、维护使用成本高等技术难题,同时为实现钻井全过程清洁生产的目标,需基于来源丰富、价格低廉的天然材料,简化合成工艺,提高综合性能,研发系列化、多种类低成本环保处理剂,以满足复杂地质环境的需要;应用先进化学、生物技术和智能材料,有针对性的开发高效、高纯度的新型环保处理剂,增强复杂井况下的环境保护能力;通过加强钻井液完井液余浆的净化再利用技术及设备研发,加快钻井液完井液环保指标分析实验室建设,实现污染成分源头控制、钻井期间随钻监测、废弃钻井液末端无害化处理。

2) 钻井废弃物无害化技术研究。随着国家对工业废弃物尤其是危险废弃物管理的日益严格,国内各油田对环境保护工作高度重视,近年来分别研究形成了含油钻屑随钻处理、废弃物高强度固化处

理和油基钻井液循环再利用等技术,以及钻井废弃物不落地及无害化处理装置。然而由于钻井作业废弃物处理总量较大,难以有效实现无害化及资源化利用,因此“十三五”期间,需要进一步加强水基钻井液强抑制剂减量化技术集成及关键配套设备研发的力度,同时针对钻井液废弃固相处理成本高的问题,深入开展固相废弃物资源化利用研究,尽可能减少外排数量;针对需要外排的废弃固相,则深入开展污染物生物降解及土壤修复技术的攻关,保证无“危废”固相产生,最终形成成熟的钻井废弃物环保处理和综合利用技术,为实现油田绿色清洁化可持续发展提供技术保障。

3 结论与建议

1) 通过深入开展复杂结构井钻井、随钻测控仪器、新型破岩工具、膨胀管及钻井液完井液等系列技术的研发,形成了适合滩海浅海、低渗透、超稠油、复杂断块及西部深层等难动用油气藏的钻井完井配套技术,基本满足了胜利油田降本增效、优快钻井的技术需求。

2) 水力喷射径向水平井、高效金刚石钻头及扭转冲击工具的推广应用,近钻头地质导向、捷联式垂直钻井、膨胀管封堵与防砂技术的工程化应用,以及旋转导向、磁性导向、等井径钻井及精细控压钻井技术的重大突破,提升了胜利油田钻井完井技术水平,增强了核心竞争力。

3) 建议“十三五”期间进一步加大大地面自动化钻井装备与井下高端随钻测控系统研发,加强井场信息一体化平台与新一代井下“高速公路”建设,加快新型环保钻井液完井液与钻井废弃物无害化的研究,缩短与国际先进技术差距的同时,进一步推动胜利油田钻井完井技术的快速发展。

参 考 文 献

References

- [1] 张桂林. 胜利油田钻井技术现状及发展方向[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(1): 74-78.
ZHANG Guilin. Developments of drilling techniques in Shengli Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(1): 74-78.
- [2] 韩来聚, 周延军, 唐志军. 胜利油田非常规油气优快钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(3): 11-15.
HAN Laiju, ZHOU Yanjun, TANG Zhijun. High quality and fast drilling techniques for unconventional oil and gas reser-

- voirs in Shengli Field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(3): 11-15.
- [3] 闫光庆, 张金成. 中国石化超深井钻井技术现状与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(2): 1-6.
- YAN Guangqing, ZHANG Jincheng. Status and proposal of the Sinopec ultra-deep drilling technology[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(2): 1-6.
- [4] 刘兴成, 任飞, 张凤江, 等. 海油陆采大位移井钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2001, 29(5): 28-30.
- LIU Xingcheng, REN Fei, ZHANG Fengjiang, et al. Extended reach drilling technique in offshore drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2001, 29(5): 28-30.
- [5] 张凯. 大庆垣平 1 大位移井的钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(1): 26-28.
- ZHANG Kai. Drilling technology of Yuanping 1 extended reach well in Daqing[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(1): 26-28.
- [6] 马凤清, 李琳涛, 赵洪山, 等. 海油陆采丛式井组优快钻井技术[J]. 特种油气藏, 2014, 21(2): 135-137.
- MA Fengqing, LI Lintao, ZHAO Hongshan, et al. The optimized fast drilling technology of cluster wells in onshore-platform for offshore oil recovery[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(2): 135-137.
- [7] 刘永亮. 垦东 12 区块 4 号岛丛式井钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(5): 24-27.
- LIU Yongliang. Drilling technology for cluster wells on No. 4 Island at Kendong Block 12[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(5): 24-27.
- [8] 韩来聚, 牛洪波. 对长水平段水平井钻井技术的几点认识[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(2): 7-11.
- HAN Laiju, NIU Hongbo. Understandings on drilling technology for long horizontal section wells[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(2): 7-11.
- [9] 闫振来, 牛洪波, 唐志军, 等. 低孔低渗气田长水平段水平井钻井技术[J]. 特种油气藏, 2010, 17(2): 105-108, 115.
- YAN Zhenlai, NIU Hongbo, TANG Zhijun, et al. Drilling technology of long horizontal section for low porosity and low permeability gas field[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2010, 17(2): 105-108, 115.
- [10] 崔海林, 陈建隆, 牛洪波, 等. 胜利油田首口小井眼长水平段水平井钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(5): 14-18.
- CUI Hailin, CHEN Jianlong, NIU Hongbo, et al. The first slim hole long horizontal-section horizontal well drilling technique in Shengli Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(5): 14-18.
- [11] 张程光, 彭烈新, 马琰. 指向式旋转导向钻井系统角位置测量方法[J]. 石油钻采工艺, 2015, 37(5): 1-4.
- ZHANG Chengguang, PENG Liexin, MA Yan. Angular position measurement method for directional rotary steerable drilling system[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2015, 37(5): 1-4.
- [12] 周燕, 安庆宝, 蔡文军, 等. SLTIT 型扭转冲击钻井提速工具[J]. 石油机械, 2012, 40(2): 15-17.
- ZHOU Yan, AN Qingbao, CAI Wenjun, et al. Model SLTIT torsional impact drilling speedup tool[J]. China Petroleum Machinery, 2012, 40(2): 15-17.
- [13] 赵洪山, 周燕, 王涛, 等. 哈山 3 井火成岩地层钻井难点与提速对策[J]. 石油机械, 2014, 42(9): 40-43.
- ZHAO Hongshan, ZHOU Yan, WANG Tao, et al. Difficulties and its technical solutions while drilling in igneous rocks of Well Hashan 3[J]. China Petroleum Machinery, 2014, 42(9): 40-43.
- [14] 何伟国, 唐明, 吴柳根. 塔河油田深层侧钻水平井膨胀套管钻井完井技术[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(5): 62-66.
- HE Weiguo, TANG Ming, WU Liugen. Expandable casing drilling and completion technology in deep sidetracked horizontal wells of Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(5): 62-66.
- [15] 唐明, 吴柳根, 赵志国, 等. 深层侧钻水平井膨胀套管钻井封堵技术研究[J]. 石油机械, 2013, 41(2): 6-9.
- TANG Ming, WU Liugen, ZHAO Zhiguo, et al. Research on the technology of expandable casing drilling plugging for deep layer sidetrack horizontal well[J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(2): 6-9.
- [16] 张煜, 安克, 张延明, 等. 完井修井膨胀悬挂器的研制与应用[J]. 石油学报, 2011, 32(2): 364-368.
- ZHANG Yu, AN Ke, ZHANG Yanming, et al. Technology and application of expandable hanger on completion and workover engineering[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(2): 364-368.
- [17] 吴柳根. 膨胀筛管技术研究现状及发展建议[J]. 石油机械, 2015, 43(3): 26-30.
- WU Liugen. Current researched and development proposals for technologies related to expandable screen[J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(3): 26-30.
- [18] 韩来聚. 自动化钻井技术[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2012: 8-16.
- HAN Laiju. Automated drilling technology[M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2012: 8-16.

[编辑 滕春鸣]