

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2019116

北部湾盆地开发井高效安全钻井技术

刘贤玉, 管 申, 韩 成, 陈 力, 曹 峰

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东湛江 524057)

摘 要:南海西部北部湾盆地地层微裂缝发育,水敏性强,尤其是涠洲组2段地层井眼失稳问题突出,导致井下故障频发。为了提高北部湾开发井钻井效益,使用废弃井槽,在隔水导管内开窗侧钻建立井口,以高效利用槽口资源;表层井段使用海水聚合物钻井液,同时减小其井眼直径,达到增加表层井段钻深的目的;目的层井段使用强封堵全油基钻井液钻穿涠洲组2段地层;在优选钻井液的基础上,将三开井身结构优化为二开井身结构,提高了目的层井段钻井安全,同时提高了机械钻速、缩短了钻井周期,最终形成了北部湾盆地开发井高效安全钻井技术。该技术在北部湾盆地多个油田30余口井进行了现场应用,避免了槽口资源浪费,降低了表层井段钻井液成本和目的层井段发生井下故障的概率,全井段机械钻速提高超过20%,钻井周期缩短近25%。北部湾盆地开发井高效安全钻井技术为类似油田的高效开发提供了技术借鉴。

关键词:开发井;全油基钻井液;井身结构;安全钻井;机械钻速;北部湾盆地

中图分类号:TE242

文献标志码:A

文章编号:1001-0890(2020)01-0021-05

High-Efficiency and Safe Drilling Technologies for Development Wells in the Beibuwan Basin

LIU Xianyu, GUAN Shen, HAN Cheng, CHEN Li, CAO Feng

(Zhanjiang Branch, CNOOC Ltd., Zhanjiang, Guangdong, 524057, China)

Abstract: The Beibuwan Basin in the western South China Sea has well developed micro-fractures and strong water sensitivity, which leads to frequent drilling complexities, especially wellbore instability in the second member of the Weizhou Formation. In order to improve the drilling efficiency of development wells in Beibuwan Basin, drilling technologies and practices were summarized. The wellhead was constructed by sidetracking the riser of the abandoned wellhead slot, so as to make full use of the wellhead slot; the seawater polymer drilling fluid system was used to drill the surface casing section while reducing the borehole size of surface casing section, and to achieve deep drilling of this section; the strong plugging full oil-based drilling fluid was used to penetrate the target layer which named Weizhou 2 Formation; the casing program was optimized, and the intermediate casing and production casing were integrated, so as to improve the drilling safety of the target layer and reduce the operation time. Thus, high-efficiency and safe drilling technologies for development wells in Beibuwan Basin were finally formed. With these technologies applied in more than 30 wells in several oilfields in Beibuwan Basin, the waste of wellhead slot resources was avoided, the drilling fluid cost for surface casing section was reduced, the complex accident ratio of the target layer was reduced, the ROP of the whole well was improved by more than 20%, and the drilling period of development well was shortened by nearly 25%. These drilling technologies could provide technical references for the efficient development of similar oilfields.

Key words: development well; full oil-based drilling fluid; casing program; safe drilling; penetration rate; Beibuwan Basin

北部湾盆地开发井钻遇地层从上到下依次为望楼组、灯楼角组、角尾组、下洋组、涠洲组和流沙港组,地层条件复杂,尤其是涠洲组2段上部硬脆性灰色泥岩微裂缝发育,水化现象严重,井眼失稳问题十分突出^[1-2]。北部湾盆地开发井 $\phi 609.6$ mm隔水导管一般采用锤入法下入,多采用 $\phi 444.5$ mm+ $\phi 311.1$ mm+ $\phi 215.9$ mm井眼的三开井身结构,对应下

收稿日期:2019-03-16;改回日期:2019-10-25。

作者简介:刘贤玉(1987—),男,广东湛江人,2009年毕业于中国石油大学(华东)工程力学专业,2012年获中国石油大学(华东)工程力学专业硕士学位,工程师,现主要从事海上钻井完井技术研究工作。E-mail: liuxy19@cnooc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“南海西部海域低渗油藏勘探开发关键技术”(编号:2016ZX05024-006),中海石油(中国)有限公司科研项目“北部湾油田经济开发钻井完井技术研究”(编号:YXKY-2019-ZJ-04)部分研究成果。

入 $\phi 339.7\text{ mm} + \phi 244.5\text{ mm} + \phi 177.8\text{ mm}$ 套管。其中, $\phi 609.6\text{ mm}$ 隔水导管和 $\phi 444.5\text{ mm}$ 井段为表层井段, $\phi 311.1\text{ mm}$ 和 $\phi 215.9\text{ mm}$ 井段为目的层井段。经过多年开发, 目前北部湾盆地开发井槽口资源紧张, 导致部分开发井无槽口可用, 前期表层使用 PLUS/KCl 钻井液钻进, 无法满足表层井段对排量的要求, 导致岩屑成球严重^[3], 严重影响作业时效; 目的层井段所用钻井液的封堵性能较差, 井身结构不合理, 导致下洋组地层井漏、涠2段地层坍塌卡钻等井下故障频发。统计结果表明, 已钻井发生的井下故障中, 与井壁失稳有关的井下故障约占 48%, 与井漏有关的井下故障约占 20%, 严重制约了北部湾盆地油气资源的高效开发。

为了实现北部湾盆地开发井的高效安全钻进, 笔者进行了隔水导管开窗技术、表层海水聚合物钻井液技术、表层提速技术、强封堵全油基钻井液技术和井身结构优化研究, 形成了开发井高效安全钻井技术。该技术在北部湾盆地 30 余口开发井取得了很好的应用效果, 钻井周期缩短, 井下故障发生的概率降低, 为类似油田开发提供了技术借鉴。

1 钻井技术难点

1) $\phi 609.6\text{ mm}$ 隔水导管采用锤入法下入, 部分隔水导管在锤入过程中桩管鞋发生变形, $\phi 444.5\text{ mm}$ 钻头无法通过, 导致井槽报废, 浪费槽口资源, 造成严重损失。

2) $\phi 444.5\text{ mm}$ 井眼钻穿大段易漏的下洋组砂砾岩层, $\phi 339.7\text{ mm}$ 表层套管需下至涠洲组 1 段上部杂色泥岩层, 需要解决钻井过程中角尾组大段绿灰色泥岩层缩径、钻屑结块和钻头泥包, 下洋组大段砂砾岩层漏失和涠 1 段杂色泥岩层井眼失稳等问题^[4]。

3) 目的层井段主要钻遇涠 2 段易垮塌泥岩及流沙港组 2 段大段页岩和油页岩地层。其中, 涠 2 段地层坍塌压力高, 尤其是上部硬脆性灰色泥岩层微裂缝发育, 水化现象严重, 极易发生井眼失稳; 另一方面, 流 2 段页岩和油页岩的层理发育良好, 地层坍塌应力较高, 尤其是井眼轨迹与地层倾角的夹角越小, 坍塌应力越高, 井眼失稳风险越高, 容易导致缩径、井壁坍塌等井下故障发生^[5]。

4) 目的层断层发育, 被多条断层切割, 构造较复杂, 高部位断层多、断距大, 最大断距达到 120 m; 同时裂缝发育明显, 极易发生井漏, 安全钻井难度大。

2 高效安全钻井技术

2.1 隔水导管开窗技术

为重新利用废弃槽口, 避免浪费槽口资源, 进行了废弃 $\phi 609.6\text{ mm}$ 隔水导管开窗侧钻技术研究。其中, 开窗点的选择是关键技术之一, 若开窗点过深, 则钻进绕障及防碰难度大; 若开窗点过浅, 桩土承载力不足, 无法支撑井口。以某油田 A17 井为例, 介绍开窗点井深的计算方法。该井井口补心海拔 41.00 m, 水深 39.00 m, $\phi 609.6\text{ mm}$ 隔水导管入泥深度 37.00 m 左右, 隔水导管所用材料为 X52 钢材。

采用有限元方法计算开窗后隔水导管的强度, 同时结合桩土承载力计算来优选开窗点深度, 按 100 年一遇海况、油田开发周期 20 年、井口载荷 1 470 kN 和隔水导管自重 372 kN 进行计算。结果发现, 当开窗点在泥线以下 25.00 m 时, 开窗后隔水导管变形不大, 窗口处应力集中现象明显, 最大 Mises 应力为 196 MPa, 隔水导管屈服强度为 355 MPa, 强度安全系数为 1.81, 满足工程要求。同时, 开窗后桩土对隔水导管的承载力为 1 911 kN, 大于隔水导管自重与最大井口载荷之和 (1 842 kN), 即隔水导管开窗后桩土承载力满足要求。现场施工时, 首先对 $\phi 609.6\text{ mm}$ 隔水导管通井, 然后下入隔水导管斜向器, 进行开窗、修窗, 最后进行钻井作业。

2.2 井身结构优化

北部湾盆地开发井前期一般采用三开井身结构, 套管程序一般为: $\phi 339.7\text{ mm}$ 表层套管下至下洋组底部或涠 1 段顶部, $\phi 244.5\text{ mm}$ 技术套管封固涠 2 段易垮塌地层, $\phi 177.8\text{ mm}$ 尾管封固目的层, 采用射孔完井。由于涠 2 段泥岩及流 2 段油页岩地层极易垮塌, 为缩短裸眼段的浸泡时间, 要求采用大排量循环以提高携岩效率, 但 $\phi 215.9\text{ mm}$ 井段环空间隙较小, 使用大排量钻进时频繁出现托压现象, 导致该井段机械钻速较低。由于采用强封堵全油基钻井液钻进涠 2 段灰色泥岩及流 2 段油页岩地层时, 可以有效保证井壁稳定, 因此, 将三开井身结构优化成二开井身结构 (优化前后的井身结构如图 1 所示)^[6-7], 即: 将原井身结构中表层井段的 $\phi 444.5\text{ mm}$ 钻头改用 $\phi 406.4\text{ mm}$ 钻头, 仍然下入 $\phi 339.7\text{ mm}$ 表层套管, 以减小该井段的井眼直径, 从而减少破岩体积, 可在一定程度上提高钻速; 将 $\phi 311.1\text{ mm}$ 及 $\phi 215.9\text{ mm}$ 2 个井段合为 1 个井段, 使用 $\phi 311.1\text{ mm}$ 钻头直接钻穿涠 2 段或流 2 段地层直至完钻井深, 下入 $\phi 244.5\text{ mm}$ 套管后进行射孔完井。

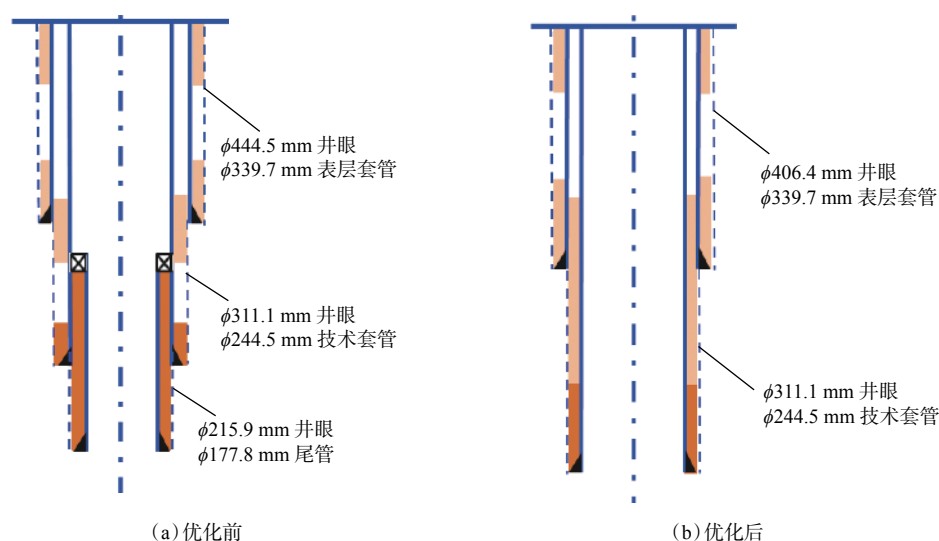


图 1 优化前后的井身结构对比

Fig.1 Comparison of casing programs before and after optimization

2.3 海水聚合物钻井液技术

$\phi 444.5$ mm 井眼钻进具有钻井液排量大、钻速高的特点,前期使用 PLUS/KCl 钻井液钻进时,由于固控设备的限制,无法满足钻井液大排量循环的要求,井眼中有害固相不断累积,导致钻井液密度增大,且钻屑结块现象频繁发生,而且因钻井液固相含量高,钻头、螺杆冲蚀严重,平均每口井需要使用 2~3 只钻头和 2~3 根螺杆。

为解决上述难题,通过总结北部湾盆地数百口开发井的钻井经验,根据钻遇地层特点精细调整钻井液性能,形成了 $\phi 444.5$ mm 井眼海水聚合物钻井液作业模式:利用角尾组及以上地层大段泥岩自然造浆性能好的特点,采用海水聚合物钻井液钻进,适时用膨润土浆清洁井眼;进入易漏的大段砂砾岩地层之前,加入适量膨润土浆、少量改性淀粉和低黏聚阴离子纤维素,使海水聚合钻井液能在井壁形成简单的滤饼,确保钻井液具有较好的防漏性能;进入涠 1 段大段杂色泥岩地层后,加入少量 KCl 增强钻井液抑制性,以保证井壁稳定。现场应用表明,与 PLUS/KCl 钻井液相比,海水聚合物钻井液配制方便,处理剂成本低廉,具有显著的经济效益^[8-9]。

2.4 表层井段钻井提速技术

北部湾盆地开发井井身结构优化后,使用 $\phi 406.4$ mm 钻头钻进表层井段,使井眼容积相对于 $\phi 444.5$ mm 井眼减小 20%,钻屑也就减少 20%。在相同排量及钻压条件下,钻井液环空返速得到提高,井眼清洁能力得到增强。这更有利于提高机械钻

速,实现增加表层井段钻深的目的。

$\phi 406.4$ mm 表层井段钻深增加后, $\phi 339.7$ mm 表层套管可以下至下洋组底部或涠 1 段顶部泥岩地层,从而提高了地层承压能力,为二开井段钻井作业拓宽了安全密度窗口。同时,表层井段钻穿下洋组砂砾岩地层,可缩短目的层井段进尺、涠 2 段及流 2 段地层的钻井液浸泡时间,有利于井壁稳定。

2.5 强封堵全油基钻井液技术

$\phi 311.1$ mm 井眼一般要钻穿厚度超 800.00 m 的涠 2 段及多条断层,裸眼段长达 1 500.00 m,对钻井液的井壁稳定性及封堵能力要求极高。针对涠 2 段泥岩地层微裂缝发育及流 2 段油页岩地层层理发育的情况,选用了承压封堵剂 PF-MOSTRH。该封堵剂可在泥页岩等地层的井壁表面形成液相膜,阻止钻井液滤液侵入,从而增强全油基钻井液的封堵能力。同时,优化超细碳酸钙、防塌树脂、乳化沥青和纳米纤维等封堵材料颗粒大小及加量,改善滤饼质量,通过液相膜和封堵材料的共同作用,提高钻井液的封堵能力^[10-11],降低钻遇断层时发生漏失的风险。

用 1.0 mm 梯形缝模拟井壁裂缝,利用 CDL-II 型高温高压动态堵漏仪评价全油基钻井液优化前后的承压堵漏效果,结果如图 2 所示(全油基钻井液密度为 1.55 kg/L,在 120 °C 条件下老化 16 h)。由图 2 可知,优化前全油基钻井液的承压能力小于 7 MPa,优化后全油基钻井液的承压能力达 18 MPa,封堵能力较优化前显著提高。

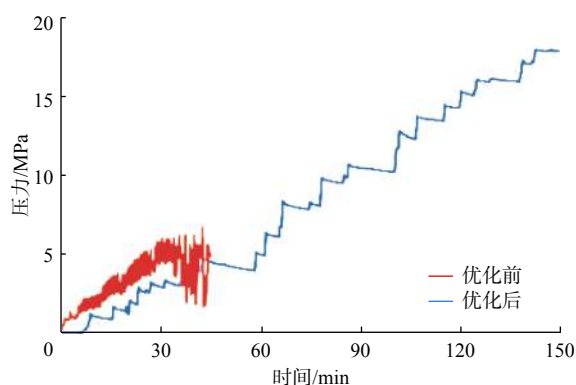


图2 优化前后全油基钻井液承压封堵性能评价结果

Fig. 2 Evaluation results of under-pressure plugging performances of full oil-based drilling fluid before and after optimization

3 现场应用

北部湾盆地开发井高效安全钻井技术在涠洲A油田、涠洲B油田等的30余口开发井中进行了应用,在井深及开发层位相同的情况下,与前期开发井相比,取得了显著的提速效果及经济效益:全井段机械钻速由37~43 m/h提高到48~52 m/h,机械钻速平均提高20%以上;钻井周期由14.48~18.32 d缩短至11.00~13.53 d,每口井钻井周期平均缩短近25%;井下故障率由30%降至5%。其中,表层井段钻井提速技术、强封堵全油基钻井液技术、井身结构优化取得的应用效果简述如下。

北部湾盆地多个油田的开发井应用了表层井段钻井提速技术。其中,涠洲A油田一期和二期部分开发井表层井段的机械钻速见表1。从表1可以看出,在开发层位、表层井段完钻井深、钻井液体系、钻井排量及转速均基本相同的情况下,与一期 $\phi 444.5$ mm表层井段相比,二期 $\phi 406.4$ mm表层井段的机械钻速提高明显,表层作业时效显著提高^[12-13]。

涠洲A油田二期开发井具有井型多、断层多、井眼轨迹复杂和作业困难等特点,应用了适用于易垮塌地层的强封堵全油基钻井液钻进,取得了良好效果。其中,B2H井涠2段地层厚度超过1 100.00 m,使用密度为1.40 kg/L的强封堵全油基钻井液钻穿涠2段,井壁稳定性良好,无掉块;过断层前进一步提高了封堵剂的加量,以快速形成高质量滤饼,提高断层承压封堵能力,未发生漏失。该井段中完后直接起钻,中间无阻挂现象,套管下入顺利,作业时效提升明显。

涠洲A油田和涠洲B油田部分开发井井身结构优化前后的钻井指标对比情况见表2。由表2可知:在井深及进尺相当的情况下,涠洲A油田一期开发井采用三开井身结构,平均钻井周期14.48 d,平均机械钻速43.21 m/h;二期开发井采用二开井身结构,减少了 $\phi 215.9$ mm井段一趟起下钻、下 $\phi 177.8$ mm套管及固井作业时间,平均钻井周期为11.00 d,平均机械钻速52.36 m/h。涠洲B油田井身结构优化前后的平均机械钻速分别为37.43和48.46 m/h,平均钻井周期分别为18.32和13.53 d。由此可以看出,开发井井身结构优化后的机械钻速显著提高,钻井周期明显缩短。

表1 涠洲A油田一期和二期部分开发井表层井段钻井指标
Table 1 ROP Statistics in the surface casing section of some wells in the phase I and II development project of the Weizhou A Oilfield

项目	井号	井眼直径/ mm	井深/ m	进尺/ m	纯钻时间/ h	机械钻速/ (m·h ⁻¹)
一期	A2H	444.5	1 755.00	1 677.00	20.21	82.98
	A4	444.5	1 643.00	1 565.00	20.84	75.10
	A6	444.5	1 469.00	1 391.00	18.20	76.43
	A5	444.5	1 442.00	1 364.00	15.86	86.00
二期	B6	406.4	1 893.00	1 812.00	18.82	96.30
	B24	406.4	1 788.00	1 707.00	17.06	100.08
	B29	406.4	1 672.00	1 591.00	16.74	95.06
	B23	406.4	1 562.00	1 481.00	14.30	103.59
	B13	406.4	1 481.00	1 347.00	13.04	103.30

表2 北部湾盆地开发井井身结构优化前后钻井指标对比
Table 2 ROP comparison of development wells in Beibuwan Basin before and after optimization of the casing programs

油田	阶段	套管 层次	井数/ 口	平均井深/ m	平均机械 钻速/(m·h ⁻¹)	平均钻井 周期/d
涠洲A	一期	3	11	3 002.00	43.21	14.48
	二期	2	30	2 954.00	52.36	11.00
涠洲B	优化前	3	1	3 600.00	37.43	18.32
	优化后	2	4	3 569.00	48.46	13.53

4 结论与建议

1) 通过高效利用废弃井槽、根据地层特点有针对性地使用海水聚合物钻井液,以及使用 $\phi 406.4$ mm

钻头替代 $\phi 444.5$ mm 钻头钻进表层井段, 提高了北部湾盆地开发井表层井段钻井效率。

2) 北部湾盆地开发井涸2段及流沙港组地层使用强封堵型全油基钻井液钻进, 同时优化井身结构, 将技术套管和油层套管合二为一, 达到了缩短钻井周期、降低井下故障率的目的。

3) 建议进行北部湾盆地高效安全钻井技术的适用性研究, 以便在南海西部其他区块进行推广应用。

参 考 文 献

References

- [1] 黄凯文, 徐一龙, 李磊, 等. 南海西部油田北部湾难钻地层钻井提速技术[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(5): 20–23, 28.
HUANG Kaiwen, XU Yilong, LI Lei, et al. ROP acceleration technology for poor drill ability formation at Beibuwan Basin in the west of South China Sea Oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(5): 20–23, 28.
- [2] 魏安超, 罗鸣, 韩成, 等. 南海西部油田常规探井钻井提速技术与实践[J]. 钻采工艺, 2017, 40(3): 107–109.
WEI Anchao, LUO Ming, HAN Cheng, et al. Technology and practice of improving efficiency for conventional exploration wells in Western South China Sea Oilfield[J]. Drilling & Production Technology, 2017, 40(3): 107–109.
- [3] 林四元, 张杰, 韩成, 等. 东方气田浅部储层大位移水平井钻井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(5): 17–21.
LIN Siyuan, ZHANG Jie, HAN Cheng, et al. Key technology for horizontal well of extended reach drilling in the shallow reservoirs of the Dongfang Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(5): 17–21.
- [4] 蒲晓林, 梁大川, 王平全, 等. 抑制钻屑形成泥球的钻井液研究[J]. 西南石油学院学报, 2002, 24(2): 46–49.
PU Xiaolin, LIANG Dachuan, WANG Pingquan, et al. Study on drilling fluids of inhibiting formation of mud balls by rock cuttings[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2002, 24(2): 46–49.
- [5] 马勇新. 涸洲 12–1 油田储层损害及其防治[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(6): 389–393.
MA Yongxin. Reservoir damage and its control measures in Weizhou 12–1 Oilfield[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(6): 389–393.
- [6] 葛鹏飞, 马庆涛, 张栋. 元坝地区超深井井身结构优化及应用[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(4): 83–86.
GE Pengfei, MA Qingtao, ZHANG Dong. Optimization and application of ultra-deep well casing program in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(4): 83–86.
- [7] 杨玉坤. 川东北地区深井井身结构优化设计[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3): 33–36.
YANG Yukun. Deep well casing structure optimization in Northeast Sichuan area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 33–36.
- [8] 田宗强, 韦龙贵, 韩成, 等. 东方 1–1 气田浅层大位移水平井钻井液优化与实践[J]. 石油钻采工艺, 2017, 39(6): 713–718.
TIAN Zongqiang, WEI Longgui, HAN Cheng, et al. Optimization and application of drilling fluid in the shallow extended-reach horizontal well in Dongfang 1–1 Gas field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2017, 39(6): 713–718.
- [9] 赵宝祥, 陈江华, 徐一龙, 等. 北部湾盆地开发井表层钻井模式[J]. 石油钻采工艺, 2015, 37(6): 23–26.
ZHAO Baoxiang, CHEN Jianghua, XU Yilong, et al. The pattern of surface drilling in development wells of Beibu Gulf Basin[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2015, 37(6): 23–26.
- [10] 臧艳彬, 王瑞和, 张锐. 川东北地区钻井漏失及堵漏措施现状分析[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(2): 60–64.
ZANG Yanbin, WANG Ruihe, ZHANG Rui. Current situation analysis of circulation lost and measure in Northeast Sichuan Basin[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(2): 60–64.
- [11] 林永学, 王伟吉, 金军斌. 顺北油气田鹰 1 井超深井段钻井液关键技术[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(3): 113–120.
LIN Yongxue, WANG Weiji, JIN Junbin. Key drilling fluid technology in the ultra deep section of Well Ying-1 in the Shunbei Oil and Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(3): 113–120.
- [12] 韩成, 韦龙贵, 陈浩东, 等. 南海西部油田常规探井钻井提速配套技术[J]. 石油钻采工艺, 2018, 40(5): 567–571.
HAN Cheng, WEI Longgui, CHEN Haodong, et al. ROP enhancing technologies applied in conventional exploration wells in Western South China Sea Oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018, 40(5): 567–571.
- [13] 吴江, 李龙, 任冠龙, 等. 海上复杂易垮塌地层高性能油基钻井液研发与应用[J]. 钻井液与完井液, 2018, 35(5): 55–60.
WU Jiang, LI Long, REN Guanlong, et al. Development and application of a high performance oil base drilling fluid for drilling complex sloughing formations in offshore operations[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2018, 35(5): 55–60.

[编辑 滕春鸣]