

阿根廷圣豪尔赫湾油田复杂地层防塌钻井液技术

牛成成¹, 肖 超¹, 韩艳浓¹, 冯江鹏¹, 张好林¹, 李贵恩²

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

摘 要: 阿根廷圣豪尔赫湾油田二开钻遇地层以泥岩和凝灰岩为主, 地层破碎且微裂缝发育, 岩石中蒙脱石和石英含量高, 水敏性强, 在应用 BIOCAT 钻井液钻进二开井段时井塌频繁, 井径扩大率超过 100%, 每年有 2~4 口井因井塌而报废。为此, 优选防塌抑制性能强的 SRIPE-inhibitor 系列抑制剂代替 BIOCAT 抑制剂, 并添加非渗透剂 SMT3、弹性石墨和碳酸钙等封堵材料, 形成了非渗透强抑制防塌钻井液。室内抑制性能评价结果表明, 非渗透强抑制防塌钻井液比 BIOCAT 钻井液具有更强的防塌抑制性能, 膨胀率降低 10 个百分点以上, 回收率提高 60~70 百分点, 坍塌周期延长 1 倍。阿根廷圣豪尔赫湾油田 24 口井应用了非渗透强抑制防塌钻井液, 与应用 BIOCAT 钻井液的邻井相比, 井塌明显减少, 二开井段井径扩大率由 100% 降至 10%, 钻井周期缩短 15%, 钻井成本降低 10%。这表明, 非渗透强抑制防塌钻井液可解决阿根廷圣豪尔赫湾油田二开井段井壁失稳的问题。

关键词: 井眼稳定; 井塌; 防塌钻井液; 抑制剂; 井径扩大; 阿根廷; 圣豪尔赫湾油田

中图分类号: TE28; TE254 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0890(2016)01-0023-06

Drilling Fluid Technology for Enhancing Borehole Stability for Complex Reservoirs in the San Jorge Oilfield, Argentina

NIU Chengcheng¹, XIAO Chao¹, HAN Yannong¹, FENG Jiangpeng¹, ZHANG Haolin¹, LI Guien²

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

Abstract: In the second section drilling of Argentina San Jorge Oilfield, it is necessary to drill through mudstone and tuff formations. These formations are characterized by extensive micro-fractures. Both montmorillonite and quartz contents are high with strong water-sensitivity. Currently the BIOCAT drilling fluid system adopted often results in wellbore collapse frequently and abandoning 2-4 wells every year. The borehole enlargement rate was over 100% in an unstable hole section in drilled wells. In order to resolve these problems, the impermeable anti-collapsing inhibitive polymer drilling fluids system is developed by optimizing the SRIPE-inhibitors with high anti-collapsing inhibitor instead of BIOCAT. In addition, an inhibitor with addition of impermeable agent SMT3 and sealing materials such as graphite, calcium carbonate, etc. were included. Laboratory experimental results showed that the optimized drilling fluid system has stronger inhibitive and anti-collapse capacities than BIOCAT system. The swelling increment decreases by over 10% and recovery rate increases by 60%-70%. In addition, it can efficiently prolong the borehole wall stable period by 100%. Good results have been achieved in applications of the system in 24 wells. Compared with adjacent wells with application of BIOCAT drilling fluid system, wellbore collapses decreased significantly and borehole diameter enlargement in unstable hole section in wells decreased from 100% to 10%, drilling time decreased by 15% and drilling cost decreased by 10%. Results suggest that the impermeable anti-collapsing inhibitive polymer drilling fluid system application in Argentina's San Jorge Oilfield can effectively solve wellbore instability problems.

Key words: hole stabilization; hole caving; anti-collapsing drilling fluid; inhibitor; borehole enlargement; Argentina; San Jorge Oilfield

阿根廷圣豪尔赫湾(San Jorge)油田(简称 SJ 油田)位于阿根廷南部。该油田开发井以二开直井为主, 典型井身结构为: 一开, $\phi 339.7$ mm 钻头 $\times$ $\phi 244.5$ mm 套管; 二开, $\phi 215.9$ mm 钻头 $\times$ $\phi 139.7$ mm 套管。一开使用 BOREMAX 钻井液钻进, 二开使用 BIOCAT 钻井液钻进。该油田地层为正常压力地层, 钻井液密度为 1.03~1.21 kg/L。该油田所

处构造在演化过程中, 受挤压和推覆(断层)切割作

收稿日期: 2015-01-28; 改回日期: 2015-12-21。

作者简介: 牛成成(1986—), 男, 山东临沂人, 2009 年毕业于中国石油大学(北京)石油工程学院, 2012 年获中国石油大学(北京)油气井工程专业硕士学位, 工程师, 主要从事定向钻井、钻井液技术等方面的研究。E-mail: niucc, sripe@sinopec.com。

基金项目: 中国石化科技攻关项目“提高阿根廷 SJ 油田开发效果工程技术研究”(编号: P14096)。

用的影响,地层倾角大、地层破碎、微裂缝发育。地层以泥岩、凝灰岩和灰岩为主,其中蒙脱石、伊蒙混层和石英含量高。二开钻进过程中由于井壁坍塌严重,井径扩大率达到100%,全井平均井径扩大率达到30%,每年都有2~4口井因井壁坍塌严重而报废。储层段由于井径不规则导致测井仪器遇阻率达到27%,固井质量不合格率大于20%,给后续的完井和储层改造留下隐患。因此,急需解决二开井壁失稳的问题,以降低发生井下故障的概率,加快该油田的勘探开发进程。

1 井壁失稳机理分析

1.1 矿物组成及微观结构

1.1.1 矿物组成分析

根据行业标准 SY/T 5163—2010,利用 TTRⅢ型多功能 X 射线衍射仪对 SPC-3025 井和 EH-3111 井二开井段的岩样进行了分析,结果见表 1 和表 2。

表 1 二开井段岩样矿物全岩分析结果

Table 1 The whole rock analysis results of cores in the second drilling section %

井号	井深/m	石英	钾长石	钠长石	方解石	菱铁矿	黏土矿物
EH3111	2 212.00	38.7		26.1	3.0		32.2
EH3111	1 733.00	64.8		12.0	0.1		23.1
EH3111	1 391.00	25.5	1.2	19.7	6.8		38.9
SPC3025	755.50	15.5		6.3	41.7	3.8	32.7
SPC3025	822.00	16.7		8.6	36.8	2.5	34.2
SPC3025	1 676.00	20.2		20.6	38.7		20.5

表 2 二开井段岩样黏土矿物分析结果

Table 2 The clay mineral analysis results of cores in the second drilling section %

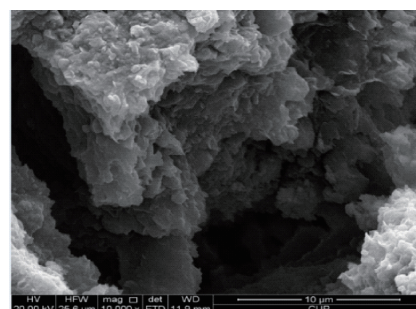
井号	井深/m	蒙脱石	伊蒙混层	伊利石	高岭石	绿泥石	伊蒙混层比
EH3111	2 212.00		58	2	4	36	30
EH3111	1 733.00	58		1	23	18	
EH3111	1 391.00	51			34	15	
SPC3025	755.50		71	29	0		93
SPC3025	822.00		80	20	0		85
SPC3025	1 676.00		76	13	11		83

由表 1 和表 2 可看出,二开井段岩样中石英、长石和方解石含量较高,黏土矿物含量 20.5%~38.9%;黏土矿物以强水敏矿物伊/蒙混层为主。当钻井液抑

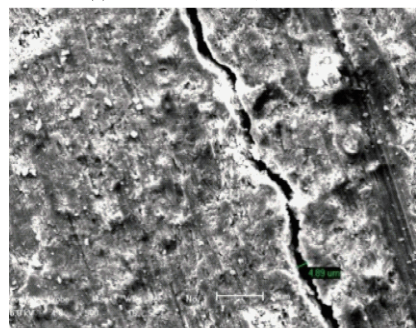
制能力不足时,二开井段地层岩石会发生水化,导致岩石强度降低及裂缝扩展,诱发井壁失稳。因此,钻井液必须具有较强的抑制性能和较低的滤失量,以尽量降低水敏性地层岩石水化程度,防止岩石水化后强度下降引起的井壁坍塌^[1-3]。

1.1.2 微观结构分析

根据行业标准 SY/T 5162—1997,利用 TESCAN-VEGA-3 LMU 型扫描电子显微镜对 SPC3025 井和 EH3111 井二开井段岩心进行电镜扫描,结果见图 1。



(a) EH3111井岩样,放大5 400倍



(b) SPC3025井岩样,放大4 040倍

图 1 EH3111 井和 SPC-3025 井岩样电镜扫描结果

Fig. 1 The electron microscope scanning results of cores in well EH3111 and SPC-3025

由图 1 可以看出,二开井段岩石胶结疏松,微裂缝发育,缝间充填石英、伊利石,黏土矿物以伊蒙混层为主,以片状、粒状存在。该类岩石易水化膨胀分散,且钻井液易沿微裂缝侵入。

1.2 水化性质分析

1.2.1 膨胀试验

将 EH4103 井二开井段不同井深处的岩屑用球磨机碾磨,过 100 目筛,取 10 克岩粉,在 42 MPa 下压制成人造岩心。将人造岩心分别放在清水和 SJ 油田 BIOCAT 钻井液中测定 24 h 线性膨胀率,结果见表 3。SJ 油田 BIOCAT 钻井液配方为 1.5%膨润土+0.1%NaOH+0.3%MARPOL507+0.1%黄

原胶+0.6% BIOCAT+0.2%高黏 PAC+1.0%弹性石墨+1.0%纤维+1.0%碳酸钙+重晶石。

表3 岩心膨胀试验结果

Table 3 The cores swelling tests results

井深/m	24 h 膨胀率, %	
	清水	BIOCAT 钻井液
1 690.00	61	23
2 670.00	35	17
2 690.00	35	18

由表3可以看出:二开井段岩心的24 h线性膨胀率均高于35%,因此属易膨胀地层;SJ油田二开使用的BIOCAT钻井液虽具有一定的防膨效果,但岩心仍然有较高的膨胀率,说明其无法有效防止地层岩石水化而引起的井壁坍塌^[4-5]。

1.2.2 钻屑回收试验

选取EH4103井二开不同井深处4~10目岩屑,烘干后,放在清水和BIOCAT钻井液中在90℃下滚动16 h,测试岩屑的回收率,结果见表4。

表4 岩屑在清水和BIOCAT钻井液中的回收率

Table 4 The cuttings rolling recovery in fresh water and BIOCAT drilling fluid

井深/m	岩屑回收率, %	
	清水	BIOCAT 钻井液
1 532.00	10.3	12.9
1 735.00	9.9	12.0
1 895.00	10.6	13.5
2 070.00	11.7	14.5
2 410.00	9.6	12.4

由表4可以看出,清水中岩屑的回收率为9.6%~11.7%,BIOCAT钻井液中岩屑的回收率为12.0%~14.5%,岩屑回收率提高幅度很小。

综上所述,二开钻遇地层的黏土矿物含量高,易吸水膨胀分散,且BIOCAT钻井液虽然有一定的防止黏土矿物吸水膨胀分散的能力,但无法有效防止地层吸水膨胀分散引起的井壁失稳,因此需要优选抑制性更强的防塌钻井液,以保持井壁稳定。

2 防塌钻井液优选及性能评价

2.1 防塌钻井液设计思路

1) 提高钻井液封堵微裂缝的能力。在二开井段可选用SMT3、沥青、弹性石墨等材料封堵地层的微裂缝,维护破碎地层的完整性,并防止钻井液沿微裂缝侵入地层深处^[6]。

2) 增强钻井液的抑制性。由于环保的需要,SJ油田不允许使用污染环境的抑制剂(无机盐和油类抑制剂),因此,要优选抑制性能优良的环保型抑制剂,以增强钻井液的抑制性。

3) 降低钻井液滤失量。控制钻井液API滤失量小于5 mL,以减少钻井液滤液侵入地层的量。调节钻井液流变性,将膨润土含量提高至4%~6%,以提高钻井液的黏度和切力。降低排量,减轻钻井液对井壁冲刷,维护井眼稳定^[5,7-12]。

2.2 防塌抑制剂优选

将膨润土在42 MPa下压制成人造岩心放在蒸馏水及21种常用抑制剂溶液中浸泡,观察24和72 h时岩心的状态,优选抑制剂。观察发现,浸泡在0.3% SRIPE-inhibitor1 + 1.0% SRIPE-inhibitor2溶液中的岩心膨胀分散程度最低,说明0.3% SRIPE-inhibitor1 + 1.0% SRIPE-inhibitor2的抑制性最好。因此,抑制剂选用0.3% SRIPE-inhibitor1 + 1.0% SRIPE-inhibitor2。

测定人造岩心在0.3% SRIPE-inhibitor1 + 1.0% SRIPE-inhibitor2和0.6% BIOCAT中的24 h线性膨胀率,结果见图2。由图2可以看出,岩样在0.3% SRIPE-inhibitor1 + 1.0% SRIPE-inhibitor2中的膨胀率(40%)远小于在0.6% BIOCAT中的膨胀率(70%)。说明0.3% SRIPE-inhibitor1 + 1.0% SRIPE-inhibitor2的抑制性优于BIOCAT。

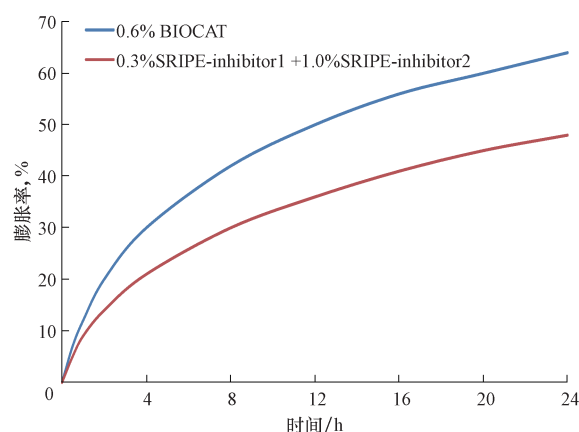


图2 人造岩心在不同抑制剂中的膨胀率

Fig. 2 Swelling of artificial cores in different inhibitors

2.3 防塌钻井液配方的确定

以0.3% SRIPE-inhibitor1 + 1.0% SRIPE-inhibitor2代替抑制剂BIOCAT,提高钻井液的抑制性。另外添加非渗透剂SMT3,降低钻井液滤失,提高地层的承压能力。为使钻井液性能达到最佳,通

过试验适当调整了其他添加剂的加量,确定了非渗透强抑制防塌钻井液(以下简称防塌钻井液)配方:0.3%SRIFE-inhibitor1+1.0%SRIFE-inhibitor2+2.0%防塌剂 SOLTEX+1.0%快钻剂+4.0%预水化膨润土浆+3.0%碳酸钙+0.6%降滤失剂 PAC+1.0%弹性石墨+2.0%SMT3。其基本性能:塑性黏度 17 mPa·s,动切力 9 Pa,静切力 4.51/6.50 Pa,API 滤失量 1.8 mL,pH 值 9.5。

2.4 防塌钻井液性能评价

2.4.1 抑制性评价

取 EH4103 井二开不同井深处的岩屑压制成岩样,放在清水、SJ 油田 BIOCAT 钻井液及防塌钻井液中,测试其 24 h 的膨胀率,结果见表 5。

表 5 岩心膨胀率试验结果

Table 5 The cores swelling increment tests results

岩样井深/m	24 h 膨胀率, %		
	清水	BIOCAT 钻井液	防塌钻井液
1 690.00	61	23	13
2 670.00	35	18	6
2 690.00	35	17	3

从表 5 可以看出,与 BIOCAT 钻井液相比,防塌钻井液能显著降低岩屑的膨胀率,说明其能减缓水化对岩屑造成的影响。

取 EH4103 井二开不同井深处的岩屑放在 SJ 油田 BIOCAT 钻井液和防塌钻井液中,在 120 °C 下滚动 16 h,测其回收率,结果见表 6。

表 6 岩屑回收率试验结果

Table 6 The cuttings rolling recovery test results

岩样井深/m	回收率, %	
	BIOCAT 钻井液	防塌钻井液
1 532.00	12.9	80.1
1 735.00	12.0	72.7
1 895.00	13.5	78.7
2 070.00	14.5	85.2
2 410.00	12.4	75.4

由表 6 可以看出,与 BIOCAT 钻井液相比,岩屑在防塌钻井液中的回收率提高 60~70 百分点,说明防塌钻井液的抑制性能更好,能较好地防止钻屑分散。

2.4.2 防塌钻井液对岩石强度的影响

使用三轴应力仪测试了二开井段岩样经 BIO-

CAT 钻井液与防塌钻井液浸泡不同时间后的抗压强度,结果见表 7。为模拟地层环境下的上覆岩层压力和保证试验结果的准确性,减少不确定因素,围压设定为 30 MPa。

表 7 岩样在不同钻井液中浸泡不同时间的抗压强度

Table 7 Compressive strength of cores soaked in indifferent drilling fluids for different time

浸泡时间/d	抗压强度/MPa	
	BIOCAT 钻井液	防塌钻井液
0	215.78	215.78
3	151.49	192.06
8	128.35	170.24
14	102.68	151.36

由表 7 可以看出,岩心在 BIOCAT 钻井液中浸泡 8 d 后抗压强度降低了 87.43 MPa,降低率为 41%,而在防塌钻井液中浸泡 8 d 后降低了 45.54 MPa,降低率为 21%;在 BIOCAT 钻井液中浸泡 14 d 后抗压强度降低了 113.10 MPa,降低率为 52%,在防塌钻井液中浸泡 14 d 后降低了 64.42 MPa,降低率为 30%。可见防塌钻井液抑制页岩水化、维持二开井段井壁稳定的能力明显优于 BIOCAT 钻井液。

2.4.3 防塌钻井液对井壁坍塌周期的影响

由于压力传递具有时间和空间效应,导致井周应力分布也具有时间和空间效应,当作用于井周围岩石上的应力大于岩石强度时,井壁就会发生破坏。对于水敏性地层,除了地层本身理化性特点外,岩石的水化作用会显著影响井壁坍塌压力,岩石的水化具有时间效应,因此井壁坍塌存在一个时间周期^[13-14]。

井周围岩应力动态分布模型:

$$\begin{cases} \sigma_r = p_0 - S_0 \cos 2\theta + \sigma_r^{(1)} + \sigma_r^{(2)} + \sigma_r^{(3)} \\ \sigma_\theta = p_0 - S_0 \cos 2\theta + \sigma_\theta^{(1)} + \sigma_\theta^{(2)} + \sigma_\theta^{(3)} \\ \sigma_{r\theta} = S_0 \sin 2\theta + \sigma_{r\theta}^{(3)} \\ p_p = p_{p0} + p_p^{(2)} + p_p^{(3)} \end{cases} \quad (1)$$

式中: σ_r 、 σ_θ 和 $\sigma_{r\theta}$ 分别为径向、周向和切向应力,MPa; $\sigma_r^{(1)}$ 、 $\sigma_r^{(2)}$ 、 $\sigma_r^{(3)}$ 、 $\sigma_\theta^{(1)}$ 、 $\sigma_\theta^{(2)}$ 、 $\sigma_\theta^{(3)}$ 、 $\sigma_{r\theta}^{(3)}$ 、 $p_p^{(2)}$ 和 $p_p^{(3)}$ 分别为求解过程中的分解式; θ 为井周角,rad; p_0 为远场平均地应力, $p_0 = (\sigma_H + \sigma_h)/2$,MPa; S_0 为远场地应力偏量, $S_0 = (\sigma_H - \sigma_h)/2$,MPa; p_{p0} 为无穷远处原始孔隙压力,MPa; p_p 为近井地带孔隙压力,MPa。

考虑岩石力学强度随水化时间变化的弱面破坏模型为:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan \beta \cot [\beta - \phi_w(t)] + \frac{C_w(t) \cos \phi_w(t)}{\cos \beta \sin [\beta - \phi_w(t)]} \quad (2)$$

式中: σ_1 和 σ_3 分别为最大、最小主应力, MPa; $C_w(t)$ 和 $\phi_w(t)$ 分别为岩石弱面内摩擦角和弱面内聚力随水化时间的变化关系, 可通过水化作用下岩石三轴力学试验获取; β 为最大主应力方向与弱面法向的夹角, rad。

将井壁围岩应力动态分布模型和考虑岩石力学强度随水化时间变化的弱面破坏模型结合, 即可得到力学与化学耦合的井壁围岩动态坍塌压力模型。将井壁围岩动态坍塌压力模型编制成软件, 利用 SPC3033 井二开 1 776.00~1 800.00 m 井段的岩石力学参数, 计算了 BIOCAT 钻井液和防塌钻井液下的井壁坍塌周期, 并绘制成了图版(见图 3)。

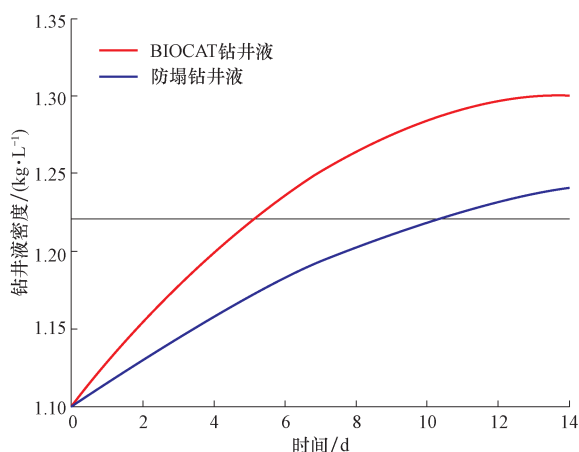


图3 SPC3033 井 1 776.00~1 800.00 m 井段应用不同钻井液的井壁坍塌周期

Fig. 3 The borehole collapsing cycle diagram in different drilling fluids (SPC3033, 1 776-1 800m)

由图 3 可以看出, 当钻井液密度为 1.22 kg/L 时, 应用 BIOCAT 钻井液钻进时, 井壁会在 5 d 后失稳; 而应用防塌钻井液钻进时, 井壁将在 10 d 后失稳, 防塌钻井液的坍塌周期比 BIOCAT 钻井液延长了 100%。

3 现场应用

防塌钻井液在 SJ 油田的 24 口井进行了应用, 这 24 口井与应用 BIOCAT 钻井液的 50 余口邻井相比, 井塌现象明显减少, 井径规则, 平均井径扩大率由 30% 降至 5%, 二开井段井径扩大率由超过 100% 降至 10%; 单井钻井成本降低 10%; 钻井周期缩短 15%; 油层保护效果明显, 产量达到了预期的目标; 取消了压裂解堵作业, 降低了开发成本。下面以 SPC3033 井为例介绍应用情况。

SPC3033 井位于 SJ 油田的 SPC 区块, 考虑到与

该井相邻的 2 口井因二开 1 100.00~1 300.00 m 井段坍塌严重而报废, 在该井二开井段钻进中使用了防塌钻井液。

SPC3033 井钻井过程中采取了以下钻井液维护处理措施:

1) 将储备罐中的 SRIPE-inhibitor1 + SRIPE-inhibitor2 溶液缓慢补充到循环罐中, 保持钻井液中抑制剂的质量浓度大于 2 kg/m³, 以保证钻井液具有良好的抑制性。

2) 每 1 h 加入一定量的 SMT3、弹性石墨和不同粒径的碳酸钙, 强化钻井液的封堵防塌、防漏、储层保护效果。

3) 每 4 h 测钻井液 API 滤失量, 如果 API 滤失量大于 5 mL, 加入降滤失剂 PAC 和防塌剂 SOL-TEX, 以降低钻井液滤失量。

4) 在钻至设计井深前, 开动振动筛和离心机, 控制钻井液漏斗黏度小于 60 s、含砂量小于 0.5%。

5) 钻至设计井深后, 将钻井液密度提高至 1.22 kg/L, 起钻电测前按 10 L/m³ 加入润滑剂, 提高钻井液的润滑性。

SPC3033 井使用非渗透强抑制防塌钻井液顺利钻至设计井深, 二开井径扩大率小于 3%, 钻井速度 664 m/d, 二开钻井周期 4.4 d, 钻井成本 168 美元/m, 完钻直接下测井仪器测井, 然后下套管固井, 未进行通井作业, 油层保护效果显著, 在未采取压裂解堵措施的情况下, 测试产量达到预期要求。而使用 BIOCAT 钻井液的邻井 SPC3034 井, 二开井段井径扩大率大于 40%, 钻井速度 508 m/d, 钻井周期 6.0 d, 钻井成本 201 美元/m, 测井前划眼通井 2 次, 测试前采取了压裂解堵措施。这表明, 使用非渗透强抑制防塌钻井液可以解决 SJ 油田二开井段井壁失稳的问题, 且可以提高钻井速度, 缩短钻井周期, 降低钻井成本。

4 结 论

1) 阿根廷 SJ 油田二开井段地层微裂隙发育、黏土矿物含量高, 水敏性强是井壁失稳的内因; BIOCAT 钻井液的抑制性和封堵防塌能力不足是井壁失稳的外因。

2) 非渗透强抑制防塌钻井液比 BIOCAT 钻井液具有更好的防塌抑制性, 页岩膨胀率降低 10 百分点, 岩屑回收率提高 60~70 百分点, 井眼稳定周期延长 100%, 且流变性更好控制。

3) 现场应用结果表明,非渗透强抑制防塌钻井液能解决阿根廷 SJ 油田二开井段井壁失稳的问题,达到保护油气层、提高钻井速度和降低钻井成本的目的。

参考文献

References

- [1] CHESSER B G. Design considerations for an inhibitive, stable water-based mud system[R]. SPE 14757, 1987.
- [2] 马超,赵林,宋元森. 聚铝胺盐防塌钻井液研究与应用[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(1): 55-60.
MA Chao, ZHAO Lin, SONG Yuansen. Research and application of anti-sloughing drilling fluid of poly aluminum-amine salt [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(1): 55-60.
- [3] 王沫,杜欢,伊尔齐木,等. 顺南井区优快钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2015, 43(3): 50-54.
WANG Mo, DU Huan, EERQM, et al. Optimal and fast drilling technology for Shunnan Block[J]. Petroleum drilling Techniques, 2015, 43(3): 50-54.
- [4] 刘榆,卿鹏程. 沈北地区新型防塌钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2005, 33(3): 29-31.
LIU Yu, QING Pengcheng. The novel anti-caving drilling fluid in the Shenbei Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2005, 33(3): 29-31.
- [5] FJÆR E, HOLT R M, NES O M, et al. Mud chemistry effects on time-delayed borehole stability problems in shales[R]. SPE 78163, 2002.
- [6] 邱春阳,秦涛,司贤群,等. 准中征沙村区块定向防塌钻井液技术[J]. 断块油气田, 2015, 22(5): 664-667.
QIU Chunyang, QIN Tao, SI Xianqun, et al. Anti-caving drilling fluid for directional well in Zhengshacun Oilfield, middle Junggar Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2015, 22(5): 664-667.
- [7] 张凤英,鄢捷年,周劲辉,等. 苏丹六区低伤害防塌钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(2): 43-46.
ZHANG Fengying, YAN Jienian, ZHOU Jinhui, et al. An anti-sloughing and low-damage drilling fluid used in Block 6, Sudan [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(2): 43-46.
- [8] 张金龙. 胜利海区深部地层防塌钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2013, 30(5): 40-42.
ZHANG Jinlong. Anti-sloughing drilling fluid technology of deep formation in offshore of Shengli Oilfield[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2013, 30(5): 40-42.
- [9] 徐加放,邱正松,王卫国,等. KCC-TH 强抑制性防塌钻井液的研制及应用[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(1): 36-38.
XU Jiafang, QIU Zhengsong, WANG Weiguo, et al. Study and application of a strong inhibitive drilling fluid KCC-TH[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(1): 36-38.
- [10] 李方,余越琳,蒲晓林,等. 新型水基防塌钻井液室内研究[J]. 钻井液与完井液, 2013, 30(3): 1-3.
LI Fang, YU Yuelin, PU Xiaolin, et al. Research on novel anti-caving drilling fluid system[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2013, 30(3): 1-3.
- [11] 蔡记华,乌效鸣,朱永宜,等. 松科 1 井(主井)防塌钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(5): 54-57.
CAI Jihua, WU Xiaoming, ZHU Yongyi, et al. Anti-sloughing drilling fluid in main wellbore of SLCORE-1 Well[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(5): 54-57.
- [12] 许遵见,杜安,文兴贵,等. 非渗透抗压钻井液处理剂 KSY 的研究与应用[J]. 断块油气田, 2006, 13(1): 56-59.
XU Zunjian, DU An, WEN Xinggui, et al. Study and application of non-invasion and pressure-resistant drilling fluid additives KSY [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2006, 13(1): 56-59.
- [13] ALTUN G, OSGOUEI A E, OZYURTKAN M H. An alternate mud proposal to minimise borehole instability; International Petroleum Technology Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, December 10-12, 2014[C].
- [14] ZHANG J, STANDIFIRD W B. Impermeable drilling mud to strengthen wellbore stability[R]. ARMA-07-210, 2007.

[编辑 刘文臣]