

江苏油田开窗侧钻井KCl聚合物钻井液应用研究

何竹梅, 杨小敏, 王 建, 杨雪山, 施智玲

(中国石化江苏油田分公司石油工程技术研究院, 江苏 扬州 225009)

摘要:为控制投资成本,提高勘探开发效率,油田加大了套管开窗侧钻井技术的应用力度。开窗侧钻施工中,由于环空间隙小,受小钻具振动、起下钻压力激动、高环空返速冲蚀,以及地层强水敏性等因素影响,井壁易失稳,导致起下钻遇阻、电测遇阻等井下复杂情况多发。为此,开展了KCl聚合物钻井液体系配方优化实验研究,并在CH113A、CSX23A侧钻井中成功应用,取得了理想的应用效果。研究表明:KCl聚合物钻井液具有抑制性强、流型好、性能稳定等特点,能满足开窗侧钻井对钻井液性能需求,为油田推广应用低成本开窗侧钻井开发提供了技术支持。

关键词:KCl聚合物钻井液;套管开窗;侧钻井;江苏油田

中图分类号:TE254 **文献标志码:**A

Application of KCl polymer drilling fluid in sidetrack drilling in Jiangsu Oilfield

HE Zhumei, YANG Xiaomin, WANG Jian, YANG Xueshan, SHI Zhiling

(Petroleum Engineering Technology Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China)

Abstract: In order to control the investment cost and improve the efficiency of exploration and development, the application of sidetrack drilling technology for casing windows has been strengthened in Jiangsu Oilfield. During the construction of sidetracking with windows, due to influencing factors such as the small annular space gap, the vibration of small drilling tools, the excitation of tripping pressure, the erosion of high annular return velocity, and the strong water sensitivity of the formation, etc., the borehole wall is easy to lose stability, resulting in complex and frequent downhole problems such as tripping resistance, reaming and electrical measurement resistance, and so on. Therefore, it was carried out studies on the formula optimization of KCl polymer drilling fluid system, and it was successfully applied in CH113A and CSX23A sidetracking wells, achieving ideal application effects. The research shows that KCl polymer drilling fluid has the characteristics of strong inhibition, good flow pattern, stable performance, etc., which can meet the drilling fluid performance requirements of sidetrack drilling technology for casing windows, and provide technical support for the popularization and application of low-cost sidetrack drilling for casing windows in the oilfield.

Key words: KCl polymer drilling fluid; casing windowed; sidetrack drilling; Jiangsu Oilfield

套管开窗侧钻井能利用老井的部分井眼、套管、井场及地面设施,从而大幅减少钻井、套管、地面建设等费用,同时有利于环保,是投资少、见效快、经济显著的开发手段^[1-2]。江苏油田自1996年开展了套管开窗侧钻井技术的应用研究与现场实践,在近几年低油价时期,开窗侧钻实施井数占年钻井数的15%~43%,为油田稳产发挥着举足轻重的作用。但因井眼间隙小,受小钻具振动、起下钻压力激动、环空高速冲蚀,以及地层强水敏性等因素影响,井壁易失稳,导致起下钻遇阻、电测遇阻等复杂情况多发。为此,开展了强抑制强封堵KCl聚合物钻井液体系配方的优化实验和现场应用,为开窗

侧钻井有效应用提供了技术保障。

1 套管开窗侧钻井对钻井液性能要求

套管开窗侧钻井是指在原套管内某一深度处坐斜向器开窗或锻铣,打水泥塞后侧钻出新井眼^[3]。江苏油田开窗侧钻井采用工艺是在 $\varnothing 139.7$ mm套管上坐斜向器开窗,采用 $\varnothing 118$ mm钻头侧钻至目标井深,悬挂 $\varnothing 90.5$ mm生产尾管、水泥固井、射孔完

收稿日期:2021-07-06;改回日期:2021-09-18。

第一作者简介:何竹梅(1966—),女,高级工程师,从事钻井液设计与相关技术研究工作。E-mail:hezmm.jsyt@sinopec.com。

井^[4]。因此类井环空间隙小,使用的钻头、钻杆的尺寸小,环空压力损耗大,工作压力高,同时受地面设备影响,钻井液循环排量选择受限,排量过低井眼将出现清洁不良,造成机械钻速慢,摩阻增大,井下复杂等问题;而循环排量过高,地面设备以及井壁都将承受高循环压力,同时井浆高速流动,加剧了对井壁的冲蚀。故套管开窗侧钻井的钻井液需具有以下性能特点:

(1)低黏高切。既有利于控制泵压和井内的压力激动,减少沿程压力损耗,提高喷射效率和钻速;又能确保钻井液悬浮携岩能力,防止岩屑沉降,减少托压现象。

(2)强抑制性能。能强力抑制水敏性泥页岩吸水膨胀、缩径和分散造浆,从而有助于控制井浆黏度上升和环空间隙进一步缩小,保持井眼清洁。

(3)强封堵降滤失性能。能提高泥饼质量,降低滤失量,有利于井壁稳定。

(4)突出的润滑防粘卡能力。由于开窗侧钻井多为定向井或水平井,随侧钻技术进步,侧钻井段进一步延长,加上使用钻具尺寸小,柔性大,在重力作用下,井下钻具多“侧躺”在下井壁,滑动钻进时,托压现象多见,若遇软泥岩或井下岩屑较多时,托压会更加明显。

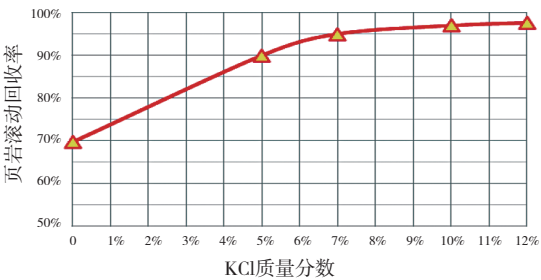
(5)储层保护要求高。江苏油田多为强—极强水敏性储层,长期的注水开发,地层压力紊乱,存在钻遇高压地层风险。为防溢流,常采用较高密度钻井液,固相含量增多,井内压差增大,储层极易造成损害。

通过技术调研,KCl聚合物钻井液具有流变性好、抑制性强等性能特点,符合套管开窗侧钻井对钻井液的性能要求^[5-6]。由此,开展了适应江苏油田开窗侧钻井KCl聚合物钻井液体系配方优化实验研究与现场应用实践。

2 KCl聚合物钻井液体系配方优化实验研究

2.1 抑制性能评价

采用H158井Ed₁垮塌物,制成6~10目岩屑和小于100目的岩心粉,通过页岩滚动回收率和页岩膨胀实验,评价KCl不同质量分数下的抑制性、优选KCl配伍性高的抑制剂,结果见图1和表1。可见,KCl具有增强钻井液抑制泥页岩水化膨胀分散的能力,且抑制性随质量分数增加而增强,质量分数超过7%增势趋缓,初选质量分数5%~7%;由膨胀率实验可见,FA367+KCl组合的抑制性最佳。



实验条件:120℃,16 h。

图1 不同质量分数KCl钻井液的岩屑滚动回收率

表1 抑制剂优选

配方	8h泥页岩膨胀率/%
基浆:3%膨润土+0.3%Na ₂ CO ₃	10.83
基浆+0.3%FA367+5%KCl	7.86
基浆+0.3%PMHA-II+5%KCl	8.56
基浆+0.3%KD-03+5%KCl	9.15
基浆+0.3%DS-301+5%KCl	8.06

2.2 封堵性能评价

在配方为3%膨润土+0.3%FA367+7%KCl的基浆中加入不同降滤失剂,测量试样的滤失量及流变性能,结果见表2。可见,LV-PAC降滤失效果最好,同时对钻井液的流变性能影响较小,因此优选LV-PAC作为体系降滤失剂。

表2 降滤失剂优选

配方	AV/(mPa·s)	PV/(mPa·s)	YP/Pa	G _{10s} /Pa·s	G _{10min} /Pa	FL _{API} /mL
基浆	13	10	3.07	0.5	1	27.6
基浆+1%LV-PAC	14	10	4.60	1	2	9.4
基浆+1%DSPX-1	19	10.5	8.69	2.5	6	9.8
基浆+1%REDUL1	14	11.5	2.56	0.5	1	10
基浆+1%NH4HPAN	9	7.5	1.53	0.5	0.75	12.2

注:AV为表观黏度;PV为塑性黏度;YP为切力;G_{10s}为初切力;G_{10min}为终切力;FL_{API}为API滤失量。

在配方为 3% 膨润土+0.2%FA367+7%KCl+1.5%FH-96+3%QS-4+CaCO₃(密度 1.15 g/cm³)的基浆中加入不同比例 LV-PAC,测量其降滤失性能,结果见图 2。可见, LV-PAC 质量分数达到 0.5% 时具有较好的降滤失效果,达 1.0% 后,滤失量降幅趋缓,初选 0.5%~1.0%。

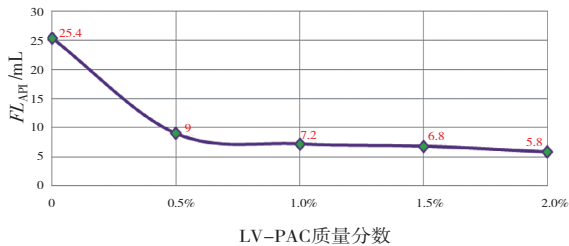


图 2 不同质量分数的 LV-PAC 降滤失性能

2.3 防塌剂性能评价

在配方为 3% 膨润土+0.2%FA367+1%LV-PAC+7%KCl+3%QS-4 的基浆中加入 4 种不同的防塌剂,测量试样的 API 滤失量,结果见图 3。可见, FH-96、GL-1 和 OSAM-K 均具有较好的降滤失效果。进一步对三种防塌剂进行复配评价,结果见表 3。可见, 1.5%FH-96 和 1.5%OSAM-K 复配时降滤失效果最佳,故优选防塌剂 FH-96、OSAM-K 复配使用。

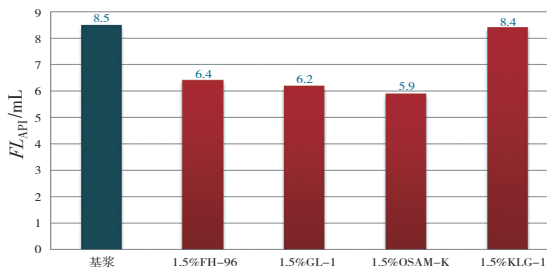


图 3 防塌剂优选

表 3 防塌剂复配配方优选

防塌剂复合配方	FL _{API} /mL
基浆+1%FH-96+1%GL-1+0.5%OSAM-K	5.8
基浆+1 %FH-96+1%GL-1+1 %OSAM-K	5.9
基浆+1.5%FH-96+1%GL-1+1.5%OSAM-K	4.8
基浆+1.5%FH-96+1.5%OSAM-K	4.2

2.4 润滑性能评价

在配方为 3% 膨润土+0.2%FA367+1%LV-PAC+7%KCl+1.5%FH-96+1.5%OSAM-K+3%QS-4 的基浆中添加不同品种和比例的润滑剂,使用极压润滑仪测量润滑系数,评价其润滑性能,结果见表 4、图 4。可见, JS-LUB-1 的润滑性较好,相对基浆,其极压摩阻系数降低 50%;随着 JS-LUB-1 加量增加,摩阻系数随之降低,初选加量 1%~2%。

表 4 不同配方润滑性能评价

配方	极压摩阻系数	摩阻系数降低率/%
基浆	0.132	
基浆+1%KD-21C	0.088	33.33
基浆+1%JS-LUB-1	0.066	50.00
基浆+1%RHJ-1	0.082	37.88

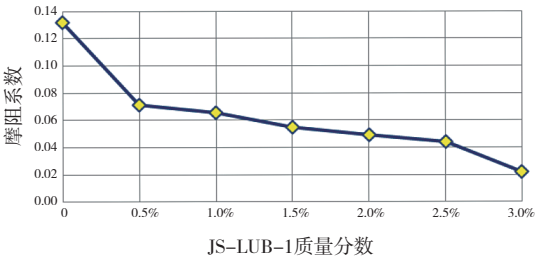


图 4 JS-LUB-1 不同质量分数下润滑性能评价

2.5 悬浮性能评价

从基本配方性能评价结果看出, KCl 聚合物钻井液的 Φ_3/Φ_6 值偏低,为提高体系的悬浮携砂能力,进行了提切剂 XC 加量的优选,结果见表 5。可见,随着 XC 质量分数增加,试样 Φ_3/Φ_6 值逐渐增加,当质量分数达到 0.05%~0.1% 时,试样的悬浮性已较好。但 XC 质量分数持续增加,体系表观黏度呈递增趋势。故 XC 初选加量为质量分数 0.05%~0.1%。

通过上述实验,优化建立 KCl 聚合物钻井液体系配方为:3% 膨润土+0.2%~0.3%FA367+1%~1.0% LV-PAC+5%~7%KCl+1.5%FH-96+1.5%OSAM-K+1%~2%JS-LUB-1+3%QS+0.05%~0.1%XC

表 5 XC 质量分数对钻井液体系性能的影响

XC 质量分数/%	AV/(mPa·s)	PV/(mPa·s)	YP/Pa	YP/PV	Φ_3	Φ_6	FL _{API} /mL
0	25.5	20.0	5.62	0.28	1	2	4.9
0.05	26.0	17.5	6.5	0.37	4	6	4.0
0.10	27.5	18.0	7.0	0.39	6	7	3.8
0.15	29.0	21.0	8.5	0.40	6	9	3.8
0.20	32.0	21.9	9.2	0.42	7	11	3.9

注:实验条件为 120℃高温热滚老化 16 h;密度为 1.15 g/cm³;测定温度为 50℃; Φ_3 、 Φ_6 分别为旋转黏度计转速在 3 r/min 和 6 r/min 时的读数。

2.6 储层保护效果评价

使用SX23井强水敏储层(1 829.0~1 852.2 m)岩心,通过JHMD-Ⅱ高温高压动态损害评价仪,测定KCl聚合物钻井液中加入不同储层保护剂的岩心渗透率恢复值,优选与体系匹配的储层保护剂,配加FQ的试样储层保护效果明显优于其他试样,见表6,因此,优选3%FQ作为储层保护剂。

再用氮气、KCl聚合物钻井液滤液、聚合物钻井液滤液、纯净水为驱替介质,分别测定岩心渗透率

恢复值,对比评价KCl对储层水敏损害情况,结果见表7。可见:KCl有助于降低聚合物钻井液滤液对储层的水敏损害,分析原因可能是由于KCl对岩心中的泥岩起到抑制分散作用。

由上述实验结果可以看出,优化建立的KCl聚合物钻井液配方体系,具有优越的抑制性、流变性、封堵降滤失性、润滑性和储层保护效果,符合套管开窗侧钻井对钻井液的性能要求。储层段配用保护剂3%FQ,能得到较好的储层保护效果。

表6 钻井液动态损害天然岩心实验结果

岩心序号	钻井液体系	$K_0/(10^{-3}\mu\text{m}^2)$	$K_{10}/(10^{-3}\mu\text{m}^2)$	$K_{10}/K_0/\%$
1#	KCl聚合物钻井液	7.615	4.130	54.24
2#	1#+2%KLG-1	7.800	5.520	70.77
3#	1#+2%LYD	7.356	5.998	81.54
4#	1#+3%FQ	7.869	6.885	87.49
5#	1#+2%LXJ-1	6.506	5.252	80.72

注: K_0 为污染前油相渗透率; K_{10} 为污染反排后油相渗透率; K_{10}/K_0 为渗透率恢复值。

表7 KCl聚合物钻井液滤液储层水敏分析

岩心序号	驱替介质	$\phi/\%$	$K_a/10^{-3}\mu\text{m}^2$	$K_f/10^{-3}\mu\text{m}^2$	水敏损害率/%	水敏损害降低率/%
6#	7%KCl+聚合物钻井液滤液	16.93	25.192	3.951	84.32	12.20
7#	聚合物钻井液滤液	15.59	21.522	2.612	87.86	8.65
8#	纯净水	16.15	20.564	0.716	96.52	

注: ϕ 为岩心孔隙度; K_a 为气相渗透率; K_f 为介质污染渗透率;水敏损害率= $(K_a-K_f)/K_a\times 100\%$ 。

3 现场应用与效果分析

3.1 现场应用

KCl聚合物钻井液技术已在CH113A、CSX23A井中成功应用,试验井的基本情况见表8。

两口试验井均在 $\varnothing 139.7\text{ mm}$ 的套管内开窗侧钻,采用 $\varnothing 118\text{ mm}$ 钻头钻至设计井深,下入 $\varnothing 95.25\text{ mm}$ 生产尾管完井。CH113A井轨迹正常,但裸眼较长,而CSX23A井四段制轨迹复杂,最大井斜 39° ,降磨减阻问题突出。试验井均具有的难点是:①上部

棕色泥岩易吸水膨胀缩径、分散造浆,黏度不易控制,下部灰黑色泥岩易水敏垮塌,起下钻不畅,长时间划眼现象在邻近侧钻井中时有发生;②小井眼定向井,环空间隙小,钻具小柔性大,侧钻中托压和泵压高现象常见;③老区井,邻近注水井多,为防溢流需要采用高密度钻井液,高压差下易加剧托压、粘卡及压漏风险。

根据上述分析,结合实验研究,决定在CH113A、CSX23A井侧钻中采用KCl聚合物钻井液技术,以保证这两口侧钻井的安全施工。

表8 KCl聚合物钻井液试验井的基本情况

井号	井深/m	侧钻段长/m	最大井斜/ $^\circ$	轨迹	钻遇地层	岩性	邻近注水井数
CH113A	2 543	988	30	增—稳	$E_{s1}-E_{d2}-E_{d1}$	$E_{s1}-E_{d2}$:棕色泥岩夹粉细砂岩 E_{d1} :灰色泥岩夹粉砂岩	8
CSX23A	1 951	584	39	降—稳—增—稳	$E_{s1}-E_{d4}-E_{f3}$	$E_{s1}-E_{d4}$:棕色泥岩与砂岩不等厚互层 E_{f3} :大套灰黑色泥岩 E_{f3} :粉砂岩与灰黑色泥岩呈不等厚互层	6

现场工艺措施是:在 3% 坂土浆中加入 0.3% FA367、0.5% LV-PAC 混合胶液,搅匀后加入 7% KCl,增强聚合物钻井液抑制性,钻穿上部棕色砂泥岩夹层段;钻至易垮塌地层前加入 1.5% FH-96 进行防塌预处理,后续定期补充,并配加 1.5% OSAM-K 和 3% QS-2,提高钻井液的封堵防塌能力;油层段加入 3% FQ 保护储层;根据需要,用 XC 进行切力调整,保证携

岩能力;用 NaOH 溶液保持 pH 值至 9 以上;定期添加 JS-LUB-1 保持粘附系数在 0.08 以下,全程高效使用固控设备,确保般土含量在 25~30g/L。试验井钻井液表现出良好的抑制性、封堵降滤失性、润滑性及悬浮携岩能力,侧钻井作业顺利。从表 9 列举的 CSX23A 井侧钻井段钻井液性能数据,可以看出,KCl 聚合物钻井液性能稳定。

表 9 CSX23A 井侧钻井段钻井液性能

井深/m	密度/(g·cm ⁻³)	FV/s	AV/(mPa·s)	PV/(mPa·s)	YP/Pa	YP/PV	G _{10s} /Pa	G _{10min} /Pa	FL _{API} /mL	含砂量/%	pH	钻具提升 摩阻/t
1 375	1.12	35	20.0	15.0	4.8	0.32	1	3	5.2	0.2	9	2~3
1 461	1.13	37	20.5	15.0	5.1	0.34	1.5	4	5.0	0.2	9	2~3
1 558	1.15	37	21	16.0	5.6	0.35	1	3	4.0	0.2	9	2~4
1 676	1.16	38	21.5	16.5	5.9	0.36	1	3	2.4	0.2	9	3~4
1 805	1.20	40	23	17.5	7.2	0.41	2	4	2.2	0.2	9	3~5
1 951	1.28	45	25	20.0	7.6	0.38	2	8	2.2	0.2	9	3~6

3.2 效果分析

CH113A、CSX23A 两口试验井侧钻顺利,侧钻段平均井径扩大率分别为 7.5%、5.3%,井径规则,钻具提升摩阻小,托压现象不明显,完井电测均顺利。区块平均复杂时效分别由 1.68%、1.5% 降至 0。试验井初期日产油量分别为 4.5 t、4.2 t,堵塞比分别为 0.67、0.71,储层处于完善状态,取得了较好的钻探效果。

4 认识

(1)室内研究与现场应用表明,优选的 KCl 聚合物钻井液配方体系具有抑制性和封堵防塌能力强、携岩性和润滑性好、流型易控制等特点,能够满足开窗侧钻井安全施工需要。

(2)KCl 聚合物钻井液配合 3% FQ 对储层有良好保护作用,同时 KCl 能减轻储层水敏损害。现场应用 2 口井的堵塞比均小于 1,储层处于完善状态,储层保护效果显著。

(3)现场配制 KCl 聚合物钻井液时,应将般土质

量分数严格控制在 3%~4%,预处理和维护时要按体系配方添加各种处理剂,合理使用四级固控设备,确保性能平稳。

参考文献:

[1] 周方喜,张国华.侧钻小井眼技术在老油区开发中的应用[J].钻采工艺,2003,26(6):101-102.
[2] 周煜辉,赵凯民,沈宗约,等.小井眼钻井技术[J].石油钻采工艺,1994(2):16-24,105.
[3] 刘乃震,王廷瑞.现代侧钻井技术[M].北京:石油工业出版社,2009.
[4] 贾禾馨,贾万根,王建,等.江苏油田小井眼钻井实践与分析[J].复杂油气藏,2020,13(2):87-90.
[5] 赵雷青,张金山,盖靖安,等.KCl 钻井液在乌国咸海区域两口探井的应用[J].西部探矿工程,2013,25(10):31-34.
[6] 于海波,王峰,邸百英.鲁迈拉油田无固相 KCl 钻井液体系的研究及应用[J].中国石油和化工,2015(5):62,64.

(编辑 韩 枫)