

120 °C 环境友好型钻井液在冀东油田的应用

陈春来

中国石油冀东油田钻采工艺研究院

摘要 冀东油田为了从源头上解决钻井废弃物的环保问题,优选了环境友好的钻井液处理剂,开展了体系润滑性、抑制性和油层保护性能评价,研制出 120 °C 环境友好型钻井液,并进行现场试验。应用效果表明:该钻井液润滑性好,抑制性能强,定向施工顺利,起下钻通畅,能够满足冀东油田中浅层地层现场施工的需要;体系滤失量低,渗透率恢复值均在 90% 以上,油层保护效果好;该体系荧光级别低于 4 级,电阻率可调,对现场录井无影响,环评指标均达标,钻井液废弃物短期内色度降低明显,降解速度快,环境友好。

关键词 环境友好型钻井液 润滑性 抑制性 电阻率 油层保护

DOI: 10.3969/j.issn.1007-3426.2018.06.015

Application of 120 °C environment-friendly drilling fluid in Jidong Oilfield

Chen Chunlai

Drilling and Production Technology Institute, PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei, China

Abstract: In order to solve the environmental problem of drilling waste from the source, the environmentally friendly drilling fluid treatment agent was selected, the performances of lubrication, inhibition and reservoir protection of fluid were evaluated, then 120 °C environment friendly drilling fluid was formed and field test was taken. The application results showed that the drilling fluid has good lubricity, strong inhibition performance, smooth directional construction, smooth drilling and tripping, which can meet the construction need of the middle and shallow strata in Jidong Oilfield, the system has low filtration volume, and the oil layer is well protected as the permeability recovery value is above 90%. The fluorescence is lower than 4 and the resistivity is adjustable. It has no impact on site logging, the EIA indicators are all up to standard, the chroma of drilling fluid waste obviously reduced in short term, the degradation speed is fast, and it is friendly to environment.

Key words: environment-friendly drilling fluid, lubricity, inhibition, resistivity, reservoir protection

随着世界范围内环境保护意识的日益增强和环境保护法律法规的日益严格,钻井液及其废弃物对环境的影响引起了国内外环境保护界、石油工业界及公众的普遍关注^[1]。2015 年 1 月 1 日,新版《中华人民共和国环境保护法》颁布实施,对钻井液提出更严格的要

求。聚合物钻井液处理剂以聚合物大分子包被剂、聚合物中小分子降滤失剂(如 NPAN 等)及沥青类防塌剂(如 Soltex 等)、改性抗温降滤失剂为主,产品含有部分未完全转化的有毒单体,导致钻井液的生物毒性指标难以满足环境保护的要求,且部分处理剂生物降

基金项目: 中国石油冀东油田公司项目“钻井废弃物综合治理技术研究”(ZC2015B01)

作者简介: 陈春来(1984—),工程师,学士。毕业于长江大学石油工程系,现在中国石油冀东油田钻采工艺研究院从事钻井液技术研究工作。E-mail:jdzc_chencl@petrochina.com.cn

表 1 环境友好型钻井液与聚磺钻井液性能对比

Table 1 Performance comparison between environment-friendly drilling fluid and sulfonation polymer drilling fluid

体系	常规性能						环保性能	
	$\rho/$ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	$PV/$ ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	$YP/$ Pa	$FL_{API}/$ mL	$FL_{HTHP}/$ mL	K_f	BOD 值/COD 值 %	$EC_{50}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
聚磺钻井液 ^①	1.20	20	9	5.5	11.2	0.08	14.8	1 040
环境友好型钻井液 ^②	1.20	22	10	6.5	12.0	0.08	25.7	40.6×10^4

注:①聚磺钻井液配方:3% (w) 膨润土+0.3% (w) PMHA+2% (w) SPNH+2% (w) SMP+2% (w) SAS+2% (w) 润滑剂 HLB+石灰石加重至 1.20 g/cm³;②环境友好型钻井液配方见表 3 所列。

解能力差,对环保造成较大的不利影响^[2]。为了从源头上消除钻井液及废弃物的环保隐患,环境友好型钻井液应具有以下特点:与油基钻井液相近的抑制性能;配制和维护成本与普通水基钻井液相近;满足施工地区的环保排放标准,对生态环境无害;保证施工人员的健康和安^[3]。冀东油田调研了国内外环保指标合格的钻井液处理剂及体系,筛选目前普遍使用的钻井液处理剂,从色度、生物降解性和生物毒性等 7 个方面进行评价,优选构建了可抗温 120 °C 的环境友好型钻井液。该体系具有流变性好、抑制能力强、低摩阻,低滤失量和低荧光等特点;体系抗温性能稳定,经过 120 °C × 16 h 老化后,体系各项指标无明显变化。在冀东油田现场成功试验应用 12 口井,在性能调整上,环境友好型钻井液体系与传统聚合物钻井液体系相同,利于现场调整钻井液性能,具备较好的工程应用效果;同时,该体系环保性能达标,与常用的聚磺钻井液对比,该体系体现出明显较好的环境保护效果,见表 1。

1 处理剂优选评价

冀东油田勘探开发区块分为南堡滩海和南堡陆地,钻遇中浅层地层主要为平原组、明化镇组、馆陶组和东营组。其中,南堡陆地部分区块东营组缺失,沙河街地层温度相对较低,约 110 °C 左右;上部平原组、明化镇组和馆陶组多以砂泥岩为主,黏土含量高,钻井过程中岩屑水化分散严重,快钻时要求钻井液体系有较强的包被抑制能力,馆陶组底部普遍发育玄武岩和底砾岩,要求钻井液体系有较好的抑制能力和封堵能力。钻遇储层要求钻井液体系具有良好的降滤失性能和高孔渗储层保护性能。

针对冀东油田中浅层中低温地层的钻井工程特点,从环保角度对冀东油田在用常规处理剂进行了筛

选,在选材上采用以下原则:钻井液处理剂成分无毒、可生物降解,具有较高的环境可接受性;钻井液处理剂颜色尽可能浅,利于环保色度的处理;钻井液体系具有一定的使用广谱性,即有一定的抗温性、抗污染能力,满足复杂地区钻井的一般需要^[4]。目前,钻井液毒性评价采用急性毒性试验方法,主要实验方法有:糠虾生物检测法、微生物毒性法和累计生物荧光法^[5]。优选实验中毒性实验采用了累计生物荧光法,生物降解性实验采用了 BOD 值/COD 值的比值评价法,优选出了 EC_{50} 大于 3×10^4 mg/L、生物降解率大于 15% 的较易降解和无毒类处理剂(见表 2)。

表 2 优选钻井液处理剂生物毒性评价
Table 2 Evaluation of degradability and biological toxicity of optimized drilling fluid additives

$w/$ %	处理剂	外观	物性	BOD 值/COD 值 %	$EC_{50}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
3.0	聚醚多元醇	乳白色液体	水溶性	18.59	1 534 300
2.0	无荧光白沥青	白色粉末	水溶性	16.25	648 500
2.0	改性淀粉	白色粉末	水溶性	46.39	603 400
2.0	聚合醇	透明液体	水溶性	29.2	7×10^4
0.5	包被剂 HV-500	白色粉末	水溶性	25.2	108 440
0.8	LV-PAC	白色粉末	水溶性	26.2	$>1 \times 10^6$
1.0	氨基硅醇 ^①	透明液体	水溶性	29.3	121 200

注:①氨基硅醇为体系稀释剂。

上述处理剂分别为天然高分子包被抑制剂、降滤失剂、封堵抑制剂和润滑抑制剂。根据优选出的环保处理剂,开展配伍性实验,形成了 120 °C 环境友好型钻井液体系,配方为(以质量分数入场,下同):3%~5% 膨润土+0.3%~0.5% 天然高分子包被剂 HV-500+0.8%~1% LV-PAC+1%~2% 聚合醇+1%~2% 聚醚多元醇+1%~2% 白沥青+1%~1.5% 改性淀粉。

1.1 钻井液常规性能

环境友好型钻井液经 60 °C、90 °C、120 °C 老化 16 h 后的性能见表 3。钻井液老化前后流变性能稳定,表观黏度保持在 30 mPa·s 左右,动塑比在 0.45~0.59,具有较好的携岩性;老化后,API 滤失量在 5.0~6.5 mL,高温高压滤失量为 13 mL 左右,能较好地满足钻井需要。

表 3 环境友好型钻井液抗温性能评价

Table 3 Evaluation of temperature resistance of Environment-friendly drilling fluid

实验条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	动塑比	FL _{API} / mL	FL _{HHP} / mL
常温	32.0	22	10.0	0.45		
60 °C 老化	34.0	23	11.0	0.48	6.5	12.0
常温	28.0	18	10.0	0.56		
90 °C 老化	31.0	20	11.0	0.55	5.0	12.0
常温	27.5	18	9.5	0.53		
120 °C 老化	27.0	17	10.0	0.59	6.5	13.0

注:环境友好型钻井液配方为:3%膨润土+0.3%天然高分子包被剂 HV-500+0.8%LV-PAC+1%聚合醇+1%聚醚多元醇+1%白沥青+1%改性淀粉+石灰石加重至 1.20 g/cm³。

1.2 钻井液抑制性

采用泥页岩膨胀率和滚动回收率两种方法对环境友好型钻井液进行抑制性评价,实验结果见表 4 和表 5。将 20 g 膨润土粉经 3.5 MPa×15 min 压制成药 25.4 mm×5 mm 的泥页岩饼,常温下分别浸泡于环境友好型钻井液和清水中,泥页岩饼经过 24 h 膨胀后,清水 24 h 的线性膨胀率为 72%,而环境友好型钻井液仅为 21.65%,其线性膨胀率降低率为 69.9%。取不同区块泥岩岩心,开展滚动回收率评价实验,环境友好型钻井液对不同区块岩心的抑制性不同,清水滚动回收率为 5.28%~31.86%,120 °C 环境友好型钻井液滚动回收率均在 60% 以上,表现出良好的抑制性能。

表 4 120 °C 环境友好型钻井液泥页岩线性膨胀率评价

Table 4 Evaluation of shale linear expansion rate in 120 °C environment-friendly drilling fluid

岩心	浸泡时间/ h	清水/ %	钻井液/ %	降低率/ %
膨润土压制岩饼	24	72	21.65	69.9

表 5 120 °C 环境友好型钻井液对不同区块泥岩回收率评价
Table 5 Evaluation of recovery rate of different blocks mudstone in 120 °C environment-friendly drilling fluid

岩心	井深/ m	清水/ %	钻井液/ %	提高率/ %
高 34	3 146.6	16.48	71.78	335.6
柳北检 1-24	3 082.61~3 115.91	31.86	81.52	155.9
南堡 11-E27-X226	2 340.34~2 341.27	5.28	63.14	1 095.8

1.3 钻井液润滑性能

对环境友好型钻井液不同润滑剂加量的润滑性开展评价,实验结果见表 6。当体系中润滑剂聚醚多元醇质量分数为 2% 时,极压润滑系数为 0.074,黏附系数 0.15,具有良好的润滑性,能够满足常规钻井需要。当聚醚多元醇加量增至 4% 时,极压润滑系数可降低至 0.039,黏附系数 0.11,与 2% 加量的相比,极压润滑系数和黏附系数均明显降低,可有效降低钻进过程中的摩阻扭矩,能够满足大位移井钻井需要。

表 6 120 °C 环境友好型钻井液润滑性评价

Table 6 Lubricity evaluation of 120 °C environment-friendly drilling fluid

w(润滑剂 PPL)/%	极压润滑系数	黏附系数
2	0.074	0.15
3	0.048	0.13
4	0.039	0.11

1.4 钻井液油层保护性能

采用不同渗透率的岩心分别进行了 80 °C 和 90 °C 的岩心渗透率恢复值实验,实验结果见表 7。采用中、高渗透率的露头岩心,经环境友好型钻井液污染后渗

表 7 120 °C 环境友好型钻井液油层保护评价

Table 7 Oil reservoir protection evaluation of 120 °C environment-friendly drilling fluid

岩心	K _{气体} / 10 ⁻³ μm ²	实验 温度/ °C	K _{油相} / 10 ⁻³ μm ²	K _{污染} / 10 ⁻³ μm ²	恢复值/ %	滤液 体积/ mL
露头岩心	2 460.200	80	903.980	846.850	94.0	4.2
露头岩心	356.236	80	312.300	279.500	89.5	3.2
露头岩心	373.360	90	337.949	254.379 331.953	85.0 98.0	4.0 3.2
露头岩心	232.550	90	83.940	81.670	93.7	2.4
南堡 306x1 4 218.4 m 岩心	257.000	80	110.000	105.000	95.45	2.5

透率恢复值均为 85% 以上, 钻井液动滤失量小于 4.5 mL。南堡 1 号构造东一段地层岩心渗透率恢复值为 95.45%, 岩心动滤失量 2.5 mL。可见, 环境友好型钻井液体系针对露头岩心和地层岩心的渗透率恢复值均较高, 油层保护效果好。

1.5 钻井液抗污染性能

环境友好型钻井液抗钻屑和水污染实验结果见表 8(老化条件为 90 °C、16 h)。不同区块的钻屑对钻井液性能影响较小, 随着钻屑量的增加, 钻井液黏度和切力略有增加, 20% 南堡岩屑污染后较原体系有一定变化, 钻进过程中钻遇大段泥岩及钻时较快时, 需要及时补充包被剂加量并提高钻井液抑制能力, 通过加入稀释剂保证良好流变性, 少量水侵对钻井液有较小的稀释效果, 动切力略降, 滤失量略增, 不会对体系性能产生明显的影响。

1.6 钻井液环保性能

对 120 °C 环境友好型钻井液的重金属、石油类、生物降解性和生物毒性等的环评结果见表 9。从表 9 可

表 8 120 °C 环境友好型钻井液抗污染评价
Table 8 Antipollution evaluation of 120 °C environment-friendly drilling fluid

配方	实验条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	动塑比	FL _{API} / mL
120 °C 环境友好型 钻井液	常温	22.0	17	4.5	0.265	
	老化后	23.0	19	5.0	0.263	5.5
加 10%(w) 高 308-4 井钻屑	常温	24.5	19	5.5	0.289	
	老化后	26.5	21	5.5	0.262	5.5
加 10%(w) 庙 30-9 井钻屑	常温	24.5	20	4.5	0.225	
	老化后	25.5	20	5.5	0.275	5.5
加 20%(w) 南堡 13-X1064 井钻屑	常温	33.5	27	6.5	0.241	
	老化后	35.5	28	7.5	0.268	5.5
加 5%(w) 水	常温	23.5	18	5.5	0.306	
	老化后	24.5	19	5.5	0.301	5.6
加 10%(w) 水	常温	21.5	17	3.5	0.210	
	老化后	22.0	18	4.0	0.217	6.0

看出, 钻井液重金属和石油类远小于标准要求, 生物降解度为 25.7%, 属于极易降解物质。环境友好型钻井液糠虾毒性实验结果为 40.6×10^4 mg/L, 优于一级标准 3×10^4 mg/L, 体系具有较好的环保性能。

表 9 120 °C 环境友好型钻井液环保性能评价

Table 9 Environmental protection evaluation of 120 °C environment-friendly drilling fluid

体系	检测项目							
	$\rho(\text{镉})/(10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{汞})/(10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{铬})/(10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{砷})/(10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{铅})/(10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1})$	石油类/ %	BOD 值/COD 值 %	EC ₅₀ / (mg·L ⁻¹)
标准	<3	<1	<500	<40	<500	<1%	>25%	> 3×10^4
基浆	0.047 7	0.005 88	53.0	2.15	40.9	0.02	27.4	
120 °C 环境 友好型钻井液	0.134 0	0.006 94	50.9	0.884	34.6	0.01	25.7	40.6×10^4

2 现场应用

该环境友好型钻井液体系已在南堡滩海和南堡陆地成功应用 12 口井。应用效果表明, 该钻井液体系具有较好的流变性, 荧光级别低于 4 级, 井壁稳定效果好, 油层保护效果好, 各项环评指标均合格。

2.1 配制和维护

120 °C 环境友好型钻井液配制方法与普通聚合物钻井液一样, 预水化 3%~5% 膨润土浆 24 h, 加入 0.1%~0.2% 天然高分子包被剂 HV-500, 循环均匀, 保证钻井液体系合适密度和黏切打完表套后, 一开中完固井; 二开钻塞放掉部分污染钻井液, 加入纯碱处理

污染钻井液, 开始逐渐加入小分子降滤失剂 LV-PAC 进行护胶, 保证钻井液的稳定性, 上部明化镇组地层钻时快, 胶结疏松, 蒙脱石含量高, 易于水化, 钻进过程中根据钻时及时补充包被剂“包裹”岩屑, 遵循 0.5~1 kg/m 加量加入包被剂, 并适时加入稀释抑制剂氨基硅醇, 防止钻井液堰含上升过快影响体系流变。在进入馆陶组之前, 胶液补充 0.5%~0.8% LV-PAC、1.0%~1.5% 淀粉、1.0%~1.5% 聚合醇和 1.0%~1.5% 白沥青, 控制滤失量在 5 mL 左右, 保证泥饼质量薄而韧, 提高钻井液抑制封堵能力, 安全钻穿玄武岩和底砾岩。进入储层前充分利用四级固控清除上部钻井液中劣质固相, 通过加水、稀释剂或补充胶液等方法

降低钻井液膨润土质量浓度至60 g/L以下,加入降滤失剂和封堵剂,控制较低钻井液密度,实现近平衡钻井,做好油层保护。

性能维护如下:①维持钻井液 pH 值为 8~11,保障 pH 值在合适范围,避免因 pH 值变化导致钻井液性能变差;②按钻井液设计性能维护,保持适当钻井液黏度、初终切力,使钻井液具有良好的触变性,为了保障井眼的清洁,确保钻井液具有良好的悬浮和携岩性能,应维持钻井液良好的流变性参数: $YP \geq 5 \text{ Pa}$, $\Phi 6:4 \sim 8$, $\Phi 3:3 \sim 6$,动塑比 $YP/PV > 0.4$;③进入造斜段若定向困难,可加入 1%~2% 聚醚多元醇润滑剂,配合聚合醇使用,提高体系的润滑性,保持体系较低的摩阻系数,钻进过程中发现摩阻系数升高或活动钻具拉力异常时,及时增加润滑剂加量;④针对南堡油田浅层泥岩段造浆问题突出,塌含上升过快,该体系的包被剂以天然高分子聚合物为主,如现场机械钻速快,高分子聚合物溶解时间不能满足及时加入的需要,根据现场情况补充适量 PMHA,保证对泥岩的包被抑制效果。定期监测塌含,维持塌含在 55~80 g/L 左右,塌含过低和过高都容易带来流变性调控难度增大的问题。钻进中使用好四级固控设备,清除钻井液中的有害固相,维持较低的固相含量。

2.2 常规性能检测

对应用井的钻井液体系进行的常规性能检测结果见表 10。从表 10 可看出,该体系流变性好,性能稳定,荧光级别低于 4 级,油层段控制高温高压滤失量小于 12 mL。

2.3 电阻率控制方法

随着油田勘探开发程度的不断加深,泥质砂岩储层中越来越多的复杂隐蔽、非常规的低对比度油气层被发现,这类油气层是广义上的低阻油气层,其电阻率分布范围较广,但都与相邻水层的电阻率差别不大,具有较低的电阻增大率(小于 2)。合理设计钻井液电阻率,改善测井的钻井液环境,获得适宜的正异常幅度自然电位,是利用自然电位测井资料识别复杂隐蔽低对比度油气层、剔除高阻水层的有效措施^[6]。

目前,冀东油田部分井区为了有效识别低对比度油气层,测井要求对钻井液电阻率控制在 0.4~1.2 $\Omega \cdot \text{m}/18 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间。通过室内评价表明,低塌含条件

表 10 应用井钻井液常规性能评价
Table 10 General performance evaluation of drilling fluid in applied well

井号	井深/ m	ρ / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	AV/ ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	PV/ ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	YP/ Pa	$FL_{\text{API}}/FL_{\text{HTHP}}$ / mL	FL_{HTHP} / mL
NP23-2136	2 200	1.15	20	11	9	6.0	12.0
	2 450	1.15	29	25	4	5.5	11.4
NP32-3050	2 500	1.15	22	16	6	6.6	13.0
	3 000	1.15	23	13	10	5.4	12.0
NP23-2151	2 900	1.16	30	18	12	5.8	13.0
	3 236	1.16	28	17	11	5.0	11.6
NP23-2155	2 800	1.16	26	19	7	5.2	12.6
	3 360	1.18	28	19	9	4.8	11.8
G87-16	2 878	1.28	41	30	11	4.2	
	3 040	1.28	46	34	12	3.6	12.0
G87-19	2 940	1.27	38	28	10	3.8	
	3 238	1.28	39	30	9	3.6	11.6
G87-26	2 781	1.28	43	32	11	3.2	
	3 148	1.28	38	27	11	3.6	12.0
G87-28	2 617	1.23	30	23	7	4.0	
	3 056	1.28	33	24	9	3.6	11.2
G59-86	2 154	1.15	24	18	6	4.0	
	2 536	1.15	25	18	7	4.0	11.6

下,可以通过加入 Na_2SO_3 调整 120 $^\circ\text{C}$ 环境友好型钻井液电阻率。应用 Na_2SO_3 对 120 $^\circ\text{C}$ 环境友好型钻井液进行电阻率控制,在南堡 32-3050 侧井获得了成功。应用情况如下:2017 年 2 月 16 日,南堡 32-3050 侧井在钻进至 2 300 m 时,根据地质要求,进入储层前调整钻井液电阻率为 0.6~1.0 $\Omega \cdot \text{m}/18 \text{ }^\circ\text{C}$ 。调整前钻井液性能:密度 1.15 g/cm^3 、黏度 45 s、PV 15 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 、YP 5 Pa、初终切 2/5、API 滤失量 5.8 mL、塌含 70 g/L、电阻率 2.15 $\Omega \cdot \text{m}/18 \text{ }^\circ\text{C}$;取井浆加 10% (ω) 胶液稀释后,加入 1% (ω) Na_2SO_3 和 1% (ω) 氨基硅醇稀释剂。搅拌均匀后,钻井液性能:密度 1.15 g/cm^3 、黏度 46 s、PV 16 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 、YP 6 Pa、初终切 2/6、API 滤失量 4.2 mL、塌含 50 g/L、电阻率 0.72 $\Omega \cdot \text{m}/18 \text{ }^\circ\text{C}$ 。根据试验结果,补充置换 30 m^3 胶液,并少量多次补充 2 t Na_2SO_3 、2 t 氨基硅醇稀释剂调整钻井液流变性,循环均匀后,钻井液性能密度 1.15 g/cm^3 、黏度 47 s、PV 16 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 、YP 5.5 Pa、初终切 2/5、电阻率 0.73 $\Omega \cdot \text{m}/18 \text{ }^\circ\text{C}$ 。钻井液性能满足要求后,开始钻进施工,根据损耗量补充胶液维护。胶液配方为 0.3% (ω) 天然高分子+0.3% (ω) LV-PAC+2% (ω)

改性淀粉+0.5%~1%(w)Na₂SO₃。期间,钻井液电阻率为 0.6~0.8 Ω·m/18 °C,满足施工要求。

2.4 油层保护评价

对 120 °C 环境友好型钻井液体系进行的渗透率恢复值测定结果见表 11。从表 11 可看出,该体系渗透率恢复值大于 90%,滤液体积小于 4.5 mL,表现出较好的油层保护效果。

表 11 应用井钻井液油层保护评价
Table 11 Oil reservoir protection evaluation of drilling fluid in applied well

井号	井深/ m	岩心	$K_{\text{气体}}/$ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	$K_{\text{油相}}/$ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	$K_{\text{污染}}/$ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	恢复值/ %	滤液 体积/ mL
南堡 23-2452	2 800	露头 岩心	760.36	700.13	653.78	93.37	4.2
高 56-37	2 559	露头 岩心	423.12	372.98	340.43	91.27	3.2
南堡 32-3050	3 000	露头 岩心	289.75	259.43	240.89	92.9	4.2
南堡 23-2151	2 800	露头 岩心	1 820.2	753.98	703.25	93.3	4.0

2.5 环保指标检测

对应用井的钻井液环保性能的测试结果见表 12。从表 12 可看出,两口井石油类质量分数均小于 0.4%,生物毒性优于一级标准。

表 12 应用井钻井液环保性能评价
Table 12 Environmental protection evaluation of drilling fluid in applied well

井号	井深/ m	密度/ (g·cm ⁻³)	w(石油 类)/%	pH 值	$\rho(\text{氯化物})/$ (mg·L ⁻¹)	BOD 值/ COD 值 %	EC ₅₀ / (mg·L ⁻¹)
南堡 23-2452	1 950	1.18	0.170	7.15	457.0	26.40	73 976
	2 800	1.24	0.372	7.40	301.0	28.82	21 848
高 56-37	2 330	1.18	0.084	6.83	123.0	27.60	100 985
	2 559	1.18	0.028	6.63	88.8	25.90	90 235
南堡 23-2136	2 200	1.15	0.070	8.88	91.3		
	2 450	1.15	0.048	8.97	109.0		
南堡 32-3050	2 500	1.15	0.086	8.02	64.8		
	3 000	1.15	0.145	8.33	223.0		37 848

根据 SY/T 7298—2016《陆上石油天然气开采钻井废物处置污染控制技术要求》第 4.4 固化/稳化物浸出液控制项目限值对石油类限值要求及 GB 8978《污

水综合排放标准》对第二类污染物最高允许排放浓度的要求,对于固化土浸出液含油和 COD 开展环评指标评价。通过对两口井废弃钻井液处理后的压滤泥饼进行后续跟踪检测:30 天时间内,南堡 23-2452 井固化土油质量浓度降低至 0.8 mg/L,COD 值由 112 mg/L 降低至 81 mg/L;20 天的时间内,高 56-37 井固化土油质量浓度降低至 1.69 mg/L,COD 值由 120 mg/L 降低至 93 mg/L;后期固化土色度明显降低,含油量及 COD 值均满足环保要求。

3 结论与认识

(1) 经过室内处理剂优选,研究出了一套抗 120 °C 的环境友好型钻井液体系,该钻井液体系具有良好的抑制性、润滑性及油层保护性能,能够抗钻屑及水污染,经检测体系无毒。

(2) 120 °C 环境友好型钻井液体系能够满足现场大位移井需要,经现场 12 口井的试验结果表明,该环境友好型钻井液体系性能良好,稳定性好,荧光级别低于 4 级,电阻率可调,钻井施工顺利,渗透率恢复值均大于 90%,油层保护效果好。

(3) 取现场试验井 120 °C 环境友好型钻井液样品测试,样品在 pH 值、氯化物含量、石油类、生物降解性和生物毒性等方面均符合环评标准,废弃物短期内色度明显降低,降解速度快,环保效果好。

参考文献

- [1] 李学庆,杨金荣,尹志亮. 钻井液废弃物无害化处理的新技术研发[J]. 石油与天然气化工, 2013, 42(4): 439-442.
- [2] 王睿,王娟,曾婷. 环保钻井液技术的研究与应用[J]. 钻采工艺, 2009, 32(6): 75-77.
- [3] 盖国忠,李科. 钻井液环境可接受性评价及环保钻井液[J]. 西部探矿工程, 2009, 21(2): 57-60.
- [4] 程启华,孙俊,王小石. 无害化钻井液体系的研究与应用[J]. 石油与天然气化工, 2005, 34(1): 74-76.
- [5] 杨振杰. 环保钻井液技术现状及发展趋势[J]. 钻井液与完井液, 2004, 21(2): 39-42.
- [6] 程相志,范宜仁,周灿灿,等. 基于钻井液性能优化设计的低对比度油层识别新技术[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2008, 32(3): 50-54.