

皖页 1HF 井油基钻井液技术研究及应用

樊继强¹, 刘学娜²

(1.中国石化华东石油工程有限公司江苏钻井公司,江苏 扬州 225161; 2.中国地质大学(北京),北京 100083)

摘要:针对皖页 1HF 水平井用油基钻井液性能的要求,开展了密度 1.3 g/cm^3 和抗温 120°C 钻井液体系的优选与评价。以 0 号柴油为基础油,通过分析主乳、辅乳、润湿剂、有机土和降滤失剂对体系性能的影响,优选出 5 种因素的最优配比,并对优选配方进行了密度和抗温性能的评价,确定油基钻井液体系为主乳 4%、辅乳 1.5%、润湿剂 1%、有机土 3.5%、降滤失剂 5%,该体系经过 120°C 老化 16 h 后,塑性粘度 $33 \text{ mPa}\cdot\text{s}$,动切力 9 Pa ,平均破乳电压 735 V ,高温高压滤失量 1.8 mL ,该体系在皖页 1HF 井现场应用中性能稳定。

关键词:水平井;油基钻井液;密度;抗温性能;皖页 1HF 井

中图分类号:P634;TE24 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)10-0023-06

Research and application of oil-based drilling fluid technology for Well Wanye - 1HF

FAN Jiqiang¹, LIU Xuena²

(1.Jiangsu Drilling Company, Sinopec East China Petroleum Engineering Company, Yangzhou Jiangsu 225261, China;
2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: This paper addresses the performance requirements on oil-based drilling fluid for drilling of the horizontal well Wanye - 1HF. The drilling fluid system with density of 1.3 g/cm^3 and temperature resistance of 120°C was optimized and evaluated. The effects of 5 main components: emulsifier, auxiliary emulsifier, wetting agent, organic clay and filter loss reducer on the system performance were analyzed to find out the optimum ratio of the 5 components. Then the density gradient and temperature gradient were evaluated for the optimum formula to determine the drilling fluid system suitable for the shale gas block. The system was applied in the field at Well Wanye - 1HF, and achieved good performance.

Key words: horizontal well; oil-based drilling fluid; density; temperature resistance; Well Wanye - 1HF

0 引言

页岩油,是以页岩为主的页岩层系中所含的原地滞留油气资源,圈闭界限不明显,无法形成自然工业产能^[1-5]。通常情况下,主要包括了泥页岩岩层内部孔隙或裂缝、致密碳酸岩或碎屑岩的邻层或夹层内部的石油资源^[6-7]。由于储层位置原因,要求在钻探过程中所使用的钻井液体系有良好的抑制性、润滑性能、流变性以及稳定性能^[8-10]。根据国际有关机构的勘探及预测,我国页岩油资源储备量极其丰富,可采资源量约 45 亿 t,页岩油含量居世界第三,仅次于美国和俄罗斯^[11-13]。中国从 2010 年

以来大力开展页岩油勘探工作,中国石油和中国石化均开展了页岩油资源量评价和钻井勘探,研究揭示中国拥有海量的页岩油储量,初步预测可开采页岩油资源量约为 $(30\sim 60)\times 10^8 \text{ t}$ ^[14]。皖页 1HF 井是中国地质调查局在长江下游(安徽)部署的第一口水平井,目的是为了进一步落实二叠系有利页岩油气资源评价参数,为长江下游(安徽)页岩油气勘查资源新基地建设奠定基础。为了保证高效、快速地钻进并且保护油气层,针对性地开展油基钻井液的体系优化和评价具有十分重要的现实意义。

收稿日期:2020-02-24; 修回日期:2020-07-27 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.10.004

作者简介:樊继强,男,汉族,1968 年生,高级工程师,钻井工程专业,从事油气井工程方面的管理与研究工作,江苏省扬州市江都区邵伯镇甘棠路 101 号,fanjq.oshd@sinopec.com。

引用格式:樊继强,刘学娜.皖页 1HF 井油基钻井液技术研究及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):23-28.

FAN Jiqiang, LIU Xuena. Research and application of oil-based drilling fluid technology for Well Wanye - 1HF[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(10):23-28.

1 皖页 1HF 井概况及钻井液体系选择

皖页 1HF 井位于宁国凹陷的西部深凹斜坡带构造部位上,地理位置位于安徽省宣城市宣州区黄渡乡,设计井西南方向距泾页 1 井(JY1)41.6 km,东南方向距港地 1 井(GD1)7.6 km。皖页 1HF 井是在皖页 1 井开窗侧钻,针对二叠系有利页岩段部署实施的一口水平井。

皖页 1HF 井是一口参数井,井型为水平井。设计井深 2553.57 m,垂深 1358 m,设计为三开结构。其中一开、二开采用常规水基钻井液,三开水平段采用油基钻井液。钻探目的是进行压裂改造后试气求产,落实二叠系大隆组、龙潭组、孤峰组页岩气产能,力争获得工业油气流,实现新区页岩油气突破,为长江下游(安徽)页岩气勘查资源新基地建设奠定基础。

本井目的产层位于二叠系大隆组中段,水平井段完全在页岩中钻进,水平位移较长,泥页岩易水化膨胀,井壁稳定性较差,常规水基钻井液无法满足钻井需求,因此采用抑制防塌性强的油基钻井液体系,做好井壁稳定工作。该井钻遇三叠系、二叠系灰岩地层可能有溶洞发育,因此钻井过程中应做好相应的防涌、防漏工作。为了避免长水平井段导致的摩阻过大,要求钻井液具有良好的润滑性能和流变性能^[15-16]。同时在钻井过程中要根据实际情况及时调整钻井液密度,确保安全钻井^[17]。

2 油基钻井液配方室内优选及性能评价

2.1 油基钻井液配方室内优选

为探究油基钻井液添加剂对其性能的影响,结合钻井施工要求,优选出适合该井的钻井液配方,要求油水比 80 : 20,氧化钙 2%,水相为质量分数 25%氯化钙水溶液,钻井液密度 1.3 g/cm³。采用五因素三水平正交实验设计,以钻井液塑性粘度(PV)、动切力(YP)、破乳电压(ES)和高温高压滤失量(FL_{HTHP})为指标,对油基钻井液主乳、辅乳、润湿剂、有机土和降滤失剂加量进行探索,优选出最佳钻井液配方。正交实验设计因素和水平见表 1。

按五因素三水平正交试验的规则,选 18 组钻井液配方配制钻井液,在 120 ℃条件下热滚老化 16 h。

2.2 正交实验结果

老化后的钻井液在 66 ℃条件下测其流变性和破乳电压,在 120 ℃条件下测其高温高压滤失量。实验结果见表 2。对表 2 中的实验结果进行处理,

见表 3。

表 1 钻井液体系优化因素与水平

Table 1 Optimization components and levels of the drilling fluid system					
水平	因 素				
	A 主乳/ %	B 辅乳/ %	C 润湿剂/ %	D 有机土/ %	E 降滤失剂/ %
1	2.0	1.00	0.50	2.5	3.0
2	3.0	1.50	1.00	3.0	4.0
3	4.0	2.00	1.50	3.5	5.0

表 2 正交实验结果

Table 2 Orthogonal experiment results										
编 号	旋转粘度计读数						初切/ Pa	终切/ Pa	ES/ V	FL _{HTHP} / mL
	φ ₆₀₀	φ ₃₀₀	φ ₂₀₀	φ ₁₀₀	φ ₆	φ ₃				
1	95	59	45	30	10	9	4.5	4.5	453	19
2	110	70	54	36	11	9	4.5	5.0	490	5
3	146	95	74	50	14	13	6.0	7.5	499	2
4	101	64	50	34	13	12	6.0	6.5	577	2.5
5	125	79	61	42	14	13	6.5	7.0	593	2
6	66	36	26	16	5	4	2.0	2.5	356	4.5
7	88	52	38	35	7	6	3.0	4.0	618	2.5
8	88	52	40	25	7	6	3.0	3.5	561	3
9	104	63	48	32	11	10	4.5	5.5	684	2.5
10	111	69	52	34	11	10	4.5	7.0	490	2.5
11	87	52	39	25	7	6	3.0	3.5	455	2
12	87	53	39	25	6	4	2.5	3.0	441	4
13	111	68	53	36	12	11	5.4	6.0	558	3.5
14	76	42	31	19	5	4	2.0	2.5	508	2.5
15	110	67	51	34	11	9	4.4	5.0	567	2
16	98	59	45	31	11	10	5.0	5.5	675	2.5
17	95	57	44	29	10	9	4.5	5.0	639	5
18	71	41	30	19	6	5	2.5	3.0	535	2.5

表 3 正交实验结果处理

Table 3 Processing of orthogonal experimental results					
编 号	AV/ (mPa · s)	PV/ (mPa · s)	YP/ Pa	ES/ V	FL _{HTHP} / mL
1	47.5	36	11.5	453	19
2	55	40	15	490	5
3	73	51	22	499	2
4	50.5	37	13.5	577	2.5
5	62.5	46	16.5	593	2
6	33	30	3	356	4.5
7	44	36	8	618	2.5
8	44	36	8	561	3
9	52	41	11	684	2.5
10	55.5	42	13.5	490	2.5
11	43.5	35	8.5	455	2
12	43.5	34	9.5	441	4
13	55.5	43	12.5	558	3.5
14	38	34	4	508	2.5
15	55	43	12	567	2
16	49	37	12	675	2.5
17	47.5	38	9.5	639	5
18	35.5	30	5.5	535	2.5

2.3 正交实验结果分析

按照正交试验设计数据处理规则,分别计算出五因素、三水平中各测定结果的总值和平均值,用 K_i 表示 i 水平某一因素数值测定结果的总和(i 代表 1、2、3);用 k_i 表示 i 水平某一因素数值测定结果的平均值,分析不同因素加量对钻井液性能的影响。

2.3.1 对塑性粘度(PV)的影响(见表 4)

表 4 钻井液 PV 处理结果

Table 4 Drilling fluid PV treatment results mPa · s

因素	K1	K2	K3	k_1	k_2	k_3	R
A	238	233	218	39.667	38.833	36.333	3.344
B	231	229	229	38.500	38.167	38.167	0.333
C	230	229	230	38.333	38.167	38.333	0.167
D	201	227	261	33.500	37.833	43.500	10.000
E	217	224	248	36.167	37.333	41.333	5.166

根据表 4 中极差值的大小,影响钻井液的塑性粘度 PV 的因素按影响程度排序依次为 D>E>A>B>C。按照塑性粘度越小越好的原则,就有利于塑性粘度降低的因素而言,最优配方为有机土 2.5%、降滤失剂 3.0%、主乳 4.0%、辅乳 1.50%、润湿剂 1.00%。

2.3.2 对动切力(YP)的影响(见表 5)

表 5 钻井液 YP 处理结果

Table 5 Drilling fluid YP treatment results Pa

因素	K1	K2	K3	k_1	k_2	k_3	R
A	80.0	61.5	54.0	13.333	10.250	9.000	4.333
B	71.0	61.5	63.0	11.833	10.250	10.500	1.583
C	66.0	67.0	62.5	11.000	11.167	10.417	0.750
D	40.5	70.0	85.0	6.750	11.667	14.167	7.417
E	54.0	62.5	79.0	9.000	10.417	13.167	4.167

根据表 5 中极差值的大小,影响钻井液的动切力 YP 的因素按影响程度排序依次为 D>A>E>B>C。按照动切力越大越好的原则,就有利于动切力提高的因素而言,最优配方应该为有机土 2.5%、主乳 4.0%、降滤失剂 5.0%、辅乳 1.00%、润湿剂 1.00%。

2.3.3 对破乳电压(ES)的影响(见表 6)

根据表 6 中极差值的大小,影响钻井液的电稳定性 ES 的因素按影响程度排序依次为 A>D>E>B>C。按照电稳定性越大越好的原则,就有利于电稳定性提高的因素而言,最优配方应该为主乳 4.0%、有机土 3.5%、降滤失剂 5.0%、辅乳 1.00%、润湿剂 0.50%。

表 6 钻井液 ES 处理结果

Table 6 Drilling fluid ES treatment results V

因素	K1	K2	K3	k_1	k_2	k_3	R
A	2828	3159	3712	471.3	526.5	618.7	147.4
B	3371	3246	4082	561.8	541.0	513.7	48.1
C	3375	3235	3089	562.5	539.2	514.8	47.7
D	2925	3311	3463	487.5	551.8	577.2	89.7
E	3008	3284	3407	501.3	547.3	567.8	66.5

2.3.4 对高温高压滤失量(FL_{HTHP})的影响(见表 7)

表 7 钻井液 FL_{HTHP} 处理结果Table 7 Drilling fluid FL_{HTHP} treatment results mL

因素	K1	K2	K3	k_1	k_2	k_3	R
A	34.5	17.0	18.0	5.8	2.8	3.0	2.9
B	32.5	19.5	17.5	5.4	3.3	2.9	2.5
C	33.0	19.5	17.0	5.5	3.3	2.8	2.7
D	33.0	19.0	17.5	5.5	3.2	2.9	2.6
E	39.0	17.5	13.0	6.5	2.9	2.2	4.3

根据表 7 中极差值的大小,影响钻井液的高温高压滤失量 FL_{HTHP} 的因素按影响程度排序依次为 E>A>C>D>B。按照高温高压滤失量越小越好的原则,就有利于高温高压滤失量降低的因素而言,最优配方应该为降滤失剂 5.0%、主乳 3.0%、润湿剂 1.50%、有机土 3.5%、辅乳 2.00%。

2.4 最佳实验结果评价

将以上 5 种因素根据实际重点因素统筹考虑后,油基钻井液体系优选配方确定主乳 4.0%、辅乳 1.5%、润湿剂 1%、有机土 3.5%、降滤失剂 5%,氧化钙 2%,油水比 80:20,水相为质量分数 25%的氯化钙水溶液,密度为 1.3 g/cm³。

按最佳配方配置油基钻井液,测量其老化前和 120 °C 热滚老化 16 h 后的钻井液性能。结果如表 8 所示。

表 8 最佳配方评价结果

Table 8 Evaluation results of the optimum formula

条件	AV/ (mPa · s)	PV/ (mPa · s)	YP/ Pa	Gel/ Pa/Pa	ES/ V	FL_{HTHP} / mL
老化前	41	32	9	3.0/3.5	520	
老化后	42	33	9	3.5/4.0	735	1.8

评价实验的结果表明,优选的配方对体系各性能的优化效果都十分明显,体系粘度低,破乳电压>400 V,高温高压滤失量<4 mL,能够满足皖页 1HF 井油基钻井液体系施工要求。

3 现场应用

3.1 油基泥浆的配制

在配制罐中加入大约罐体容积 2/3 的柴油,在充分搅拌的情况下,按配方顺序依次加入主乳化剂、辅助乳化剂、润湿剂、有机土、生石灰、降滤失剂,经充分搅拌、循环剪切后,加入预先配制的浓度为 25%~30% 的 CaCl_2 盐水溶液,充分搅拌,循环调整其常规性能,再根据密度需要加入加重剂。体系比例:基础油+4.0%主乳化剂+1.5%辅助乳化剂+1%润湿剂+3.5%有机土+2.0%生石灰+ CaCl_2 盐水(25%~30%)溶液+5%降滤失剂+加重剂。

3.2 油基钻井液的转换与维护

(1)在钻水泥塞前,用加重后的油基钻井液顶替井内水基钻井液,采用 10 m³ 纯油油基钻井液做隔离液,有效避免了高密度水基钻井液和高密度油基钻井液相混后造成的高泵压现象^[18],检测井口钻井液返出情况,顶替过程顺利完成后,充分循环,待钻井液乳化稳定后,测得钻井液性能如表 9 所示。

表 9 顶替完成后井浆性能

Table 9 Drilling fluid properties after displacement

$\rho/$ (g·cm ⁻³)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	Gel/ (Pa/Pa)	ES/ V	O/W
1.30	38	8	2.5/7.0	660	75:25

(2)流变性控制。皖页 1HF 井顶替完成后,由于混浆缘故导致井浆油水比偏低、塑性粘度偏高。在现场通过控制钻井液固相含量和钻井液油水比的

方式来控制钻井液的流变性,主要通过以下措施^[19-22]:①通过调整维护新浆油水比,在维护过程中控制井浆油水比在 80:20 左右,保持较高的油水比;②在配置新浆的过程中适量减少有机土用量,新浆在加重前通过混入部分井浆来提升新浆的切力,满足加重需求;③加强固控设备的控制,减少无用固相。

(3)乳化稳定性控制。破乳电压是衡量油基钻井液乳化稳定性的一项重要指标^[23-24],皖页 1HF 井要求破乳电压高于 400 V。针对钻井液性能的变化,现场一般通过调整维护浆中乳化剂和润湿剂浓度的方式来控制破乳电压;同时,通过调整氧化钙的用量,控制碱度在 1.5~2.5 之间,使钻井液具有较好的稳定性。

(4)滤失量控制。油基钻井液滤失量低,这是有利于井壁稳定的主要原因^[25-26]。现场通过控制降滤失剂用量和不同材料的页岩封堵剂复配使用,控制高温高压滤失量低于 3 mL。

3.3 现场使用效果

该井于 2019 年 8 月 23 日钻遇溶洞裂缝性地层导致漏失,至 2019 年 9 月 19 日堵漏成功,累计漏失油基钻井液 638 m³,前期先后采用 2 次随钻堵漏、6 次高浓度桥塞堵漏、1 次水泥浆堵漏和 1 次桥浆+水泥浆复合堵漏技术均没有取得良好效果,通过化学凝胶堵漏后,漏速降低至 3~5 m³/h,最后采用聚硅纤维复合堵漏剂承压堵漏,成功堵漏。井浆与聚硅纤维复合堵漏剂配伍性及效果见表 10 和表 11。

表 10 聚硅纤维复合堵漏剂对井浆流变性影响

Table 10 Influence of the polysilicon fiber composite plugging agent on the rheology of well slurry

配 方	条 件	AV/(mPa·s)	PV/(mPa·s)	YP/Pa	YP/PV	ES/V	FL _{HTHP} /mL
井 浆	热滚前	40.0	31.0	9.0	0.29	437	3.8
	热滚后	34.5	28.0	6.5	0.23	1115	
加 5%聚硅纤维复合堵漏剂的井浆	热滚前	44.0	31.0	14.5	0.47	747	3.7
	热滚后	38.0	30.5	8.0	0.26	1016	

表 11 5%聚硅纤维复合堵漏剂沙床侵入效果

Table 11 Test results of the composite plugging agent with 5% polysilicon fiber on the sand bed

配 方	条 件	沙床实验/mm			
		瞬时	10 min	20 min	30 min
井 浆	120℃热滚后	55	61	63	65
加 5%聚硅纤维复合堵漏剂的井浆	120℃热滚后	4	5	5	6

由表 10 和表 11 可知,5%的聚硅纤维复合堵漏剂的加入对井浆流变性能影响较小,能够满足堵漏

施工需求;同时,加入 5%聚硅纤维复合堵漏剂,井浆瞬时沙床侵入由 55 mm 降至 4 mm,30 min 侵入量由 65 mm 降至 6 mm,配伍性和封堵效果良好。

皖页 1HF 井堵漏前后油基钻井液性能见表 12 和表 13。

由表 12、13 及现场应用情况可知,该油基钻井液体系性能稳定,流变性好,没有形成岩屑床;滤失量低;破乳电压高,乳化稳定性良好,能很好地满足皖页 1HF 井的施工要求。

表 12 皖页 1HF 井堵漏前油基钻井液性能

Table 12 Performance of oil-based drilling fluid before plugging in Wanye-1HF

日期	$\rho / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	FV/s	PV/(mPa · s)	YP/Pa	Gel/(Pa/Pa)	ES/V	O/W	FL _{HTHP} /mL
2019-08-13	1.28	60	32	9.0	4.0/5.5	671	78 : 22	2.8
2019-08-16	1.30	63	33	10.5	4.5/7.0	773	78 : 22	2.2
2019-08-19	1.30	63	34	10.5	4.5/7.0	790	80 : 20	1.8
2019-08-23	1.30	62	33	11.0	4.5/6.5	841	80 : 20	1.8

表 13 皖页 1HF 井堵漏后油基钻井液性能

Table 13 Performance of oil-based drilling fluid after plugging in Wanye-1HF

日期	$\rho / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	FV/s	PV/(mPa · s)	YP/Pa	Gel/(Pa/Pa)	ES/V	O/W	FL _{HTHP} /mL
2019-09-23	1.30	67	35	10.5	4.0/7.0	688	77 : 23	2.2
2019-09-27	1.31	62	32	9.5	4.0/6.5	700	80 : 20	1.4
2019-09-30	1.30	61	31	9.5	3.5/6.5	828	80 : 20	1.6
2019-10-03	1.31	60	32	10.0	4.0/6.5	798	80 : 20	1.6
2019-10-07	1.31	60	31	9.5	4.5/7.0	713	80 : 20	1.8
2019-10-09	1.30	60	31	10.0	4.5/6.5	759	80 : 20	1.6

4 结论

(1)通过对油基泥浆处理剂进行优选,针对皖页 1HF 井的施工要求,正交实验优化出一套油基钻井液体系,其比例为:油水比 80 : 20(25%CaCl₂水溶液)、4.0%主乳化剂、1.5%辅乳化剂、1%润湿剂、5%降滤失剂、3.5%有机土、2%CaO。

(2)该体系具有良好的流变稳定性和乳化稳定性,破乳电压高,流变性能良好,有利于水平井段的钻进,能够很好地满足该井施工要求。

(3)现场油基钻井液在顶替结束初期,由于混浆的存在以及上层井壁附着的水基钻井液泥饼会混入到油基钻井液中,因此在顶替结束后要充分循环井浆,同时根据现场情况适当补充乳化剂,避免井下复杂情况的发生。

参考文献(References):

- [1] 唐文明,何平,王建军.蚌页油 2 井盐下页岩油钻井液技术[J].江汉石油科技,2019,29(4):35-41.
TANG Wenming, HE Ping, WANG Jianjun. Drilling fluid technique of Bengyeyou-2 Well for exploring pre-salt shale oil [J]. Jiangnan Petroleum Science and Technology, 2019, 29 (4):35-41.
- [2] 吴应凯,石晓兵,陈平,等.深部盐膏层安全钻井技术的现状及发展方向研究[J].天然气工业,2004(2):67-69,8.
WU Yingkai, SHI Xiaobing, CHEN Ping, et al. Status quo and development of safety drilling techniques for deep evaporite beds[J]. Natural Gas Industry, 2004(2):67-69,8.
- [3] 耿铁,邱正松,苗海龙,等.东海大位移井油基钻井液体系研究及应用[J].石油化工高等学校学报,2019,32(6):84-89.
GENG Tie, QIU Zhengsong, MIAO Hailong, et al. Study and

field applications of oil-based drilling fluid for extended reach wells in the East China Sea[J]. Journal of Petrochemical Universities, 2019,32(6):84-89.

- [4] 朱胜.油基钻井液体系在东海气田的试验应用[J].钻井液与完井液,2017,34(1):77-82.
ZHU Sheng. Application of oil base drilling fluids in Donghai Gas Field[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2017, 34 (1):77-82.
- [5] Ali Piroozian, Issham Ismail, Zulkefli Yaacob, et al. Impact of drilling fluid viscosity, velocity and hole inclination on cuttings transport in horizontal and highly deviated wells[J]. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 2012, 2 (3):149-156.
- [6] 李沁周,刘夕侨.泸 203 井完井技术分析与认识[J].化工管理,2019(33):102-103.
LI Qinzhou, LIU Xiqiao. Analysis and understanding of Well Lu-203 completion technology[J]. Chemical Enterprise Management, 2019(33):102-103.
- [7] 王占武.采油工程对开发井完井技术要求的探讨[J].化学工程与装备,2016(3):52-53.
WANG Zhanwu. New technical requirements for well completion of development wells from the perspective of oil production engineering [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2016(3):52-53.
- [8] 齐从丽,周成华.油基钻井液在百色油田的应用[J].断块油气田,2014,21(6):806-808.
QI Congli, ZHOU Chenghua. Application of oil-based drilling fluid in Baise Oilfield[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2014, 21(6):806-808.
- [9] 王倩楠,游一,李茜,等.中国页岩油勘探开发前景[J].石化技术,2019,26(11):224-225.
WANG Qiannan, YOU Yi, LI Xi, et al. Exploration & development status and prospect of shale oil reservoirs in China[J]. Petrochemical Industry Technology, 2019,26(11):224-225.
- [10] 付茜.中国页岩油勘探发现现状、挑战及前景[J].石油钻采工艺,2015,37(4):58-62.

- FU Qian. The status, challenge and prospect of shale oil exploration and development in China[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2015,37(4):58-62.
- [11] Kirschbaum Mark A, Mercier T J. Controls on the deposition and preservation of the Cretaceous Mowry Shale and Frontier Formation and equivalents, Rocky Mountain region, Colorado, Utah, and Wyoming[J]. AAPG Bulletin, 2013,97(6):899-921.
- [12] 丁磊,罗春芝,肖瑞雪.油基钻井液主乳化剂的合成及性能评价[J].长江大学学报(自科版),2013,10(32):96-98.
DING Lei, LUO Chunzhi, XIAO Ruixue. Synthesis and performance evaluation of the main emulsifier for oil-based drilling fluids[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2013,10(32):96-98.
- [13] 苏长明,宫新军.油基钻井液配制剂研究[J].钻井液与完井液,2013,30(2):10-11,89.
SU Changming, GONG Xinjun. Research on compound agent for oil-based drilling fluid[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2013,30(2):10-11,89.
- [14] 王中华.国内外油基钻井液研究与应用进展[J].断块油气田,2011,18(4):533-537.
WANG Zhonghua. Research and application progress of oil-based drilling fluid at home and abroad[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011,18(4):533-537.
- [15] 邵宁,李子钰,于培志.高密度油基钻井液体系优选及其在页岩气水平井的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(8):30-35.
SHAO Ning, LI Ziyu, YU Peizhi. Optimization of high-density oil-based drilling fluid system and its application in shale gas horizontal wells[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(8):30-35.
- [16] 王燕,葛清晓,曾余祥.无黏土高温高密度油基钻井液[J].科学技术创新,2019(30):48-49.
WANG Yan, GE Qingxiao, ZENG Yuxiang. High density clay-free oil-based drilling fluid with high temperature tolerance[J]. Scientific and Technological Innovation, 2019(30):48-49.
- [17] 潘谊党,于培志.密度对油基钻井液性能的影响[J].钻井液与完井液,2019,36(3):273-279.
PAN Yidang, YU Peizhi. Effect of density on the performance of oil base drilling fluids[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2019,36(3):273-279.
- [18] 赵福,王平全,刘常旭,等.不同粒径的加重剂对水基钻井液黏度效应的影响[J].钻井液与完井液,2008,25(3):74-76.
ZHAO Fu, WANG Pingquan, LIU Changxu, et al. The effects of weight agents of different particle sizes on viscosity of water base drilling fluids[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2008,25(3):74-76.
- [19] 梁勇.油包水钻井液技术在古龙1井的应用[J].钻井液与完井液,2010,27(5):15-17,88.
LIANG Yong. Study and application of water in oil drilling fluid technology in the Gulong 1th Well[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2010,27(5):15-17,88.
- [20] 潘谊党,于培志,杨磊.高密度油基钻井液在威204H37-5井的应用[J].云南化工,2019,46(5):161-164.
PAN Yidang, YU Peizhi, YANG Lei. Application of high-density oil-based drilling fluid in Well Wei-204H37-5 [J]. Yunnan Chemical Technology, 2019,46(5):161-164.
- [21] 杨振周,刘付臣,周春,等.抗超高温高密度油基钻井液用新型降黏剂的性能[J].钻井液与完井液,2018,35(2):35-39.
YANG Zhenzhou, LIU Fuchen, ZHOU Chun, et al. Study on the performance of new ultra-high temperature high density oil base mud thinners[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2018,35(2):35-39.
- [22] 陈在君.高密度无土相油基钻井液研究及在四川页岩气水平井的应用[J].钻采工艺,2015,38(5):70-72.
CHEN Zaijun. Development of high density clay-free oil-based drilling fluid and its application in Sichuan shale gas horizontal well[J]. Drilling & Production Technology, 2015,38(5):70-72.
- [23] 何恕,李胜,王显光,等.高性能油基钻井液的研制及在彭页3HF井的应用[J].钻井液与完井液,2013,30(5):1-4.
HE Shu, LI Sheng, WANG Xianguang, et al. Research on high performance oil-based drilling fluid and its application on Well Pengye 3HF[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2013,30(5):1-4.
- [24] 孙金声,黄贤斌,蒋官澄,等.无土相油基钻井液关键处理剂研制及体系性能评价[J].石油勘探与开发,2018,45(4):713-718.
SUN Jinsheng, HUANG Xianbin, JIANG Guancheng, et al. Development of key additives for organoclay-free oil-based drilling mud and system performance evaluation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018,45(4):713-718.
- [25] 岳前升,向兴金,李中,等.油基钻井液的封堵性能研究与应用[J].钻井液与完井液,2006(5):40-42.
YUE Qiansheng, XIANG Xingjin, LI Zhong, et al. Study on sealing characteristics of oil based drilling fluid and its application[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2006(5):40-42.
- [26] 唐国旺,宫伟超,于培志.强封堵油基钻井液体系的研究和应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(11):21-25.
TANG Guowang, GONG Weichao, YU Peizhi. Research and application of strong plugging oil-based drilling fluid system [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(11):21-25.

(编辑 韩丽丽)