

大港油田卤水压井液结垢问题治理研究

尤秋彦¹ 宋晓莉² 薛子钰³ 廖兴松¹ 樊松林¹

1. 中国石油大港油田公司石油工程研究院油层保护中心, 天津 300131;
2. 中海油天津化工研究设计院有限公司, 天津 300131;
3. 山东大学海洋学院, 山东 威海 264209

摘 要:为解决盐卤水结垢问题,采用三种阻垢剂 WJ-1、TJ-302、TS-6 对中高密度的盐卤及钙卤进行改性研究,制备出配方并应用于大港油田地区地层水及回注水进行阻垢性能的评价。试验结果表明:两种改性配方钙卤+1%~3% WJ-1+0.2% 十二烷基硫酸钠和盐卤+1%~3% WJ-1+1%~3% TS-6+0.2% 十二烷基硫酸钠,能使 7 000 mg/L NaHCO_3 和 500 mg/L Na_2SO_4 地层水在 90 ℃ 不结垢,钙保留率达到 90.0% 以上,地层渗透率恢复率达到 89%。因此配方适用于高碱高盐的地层,可以解决大港油田卤水压井作业结垢堵塞地层的问题,同时对其他类似地层的油田也有一定指导意义。

关键词:压井液;改性;钙卤;盐卤;阻垢剂

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2020.05.013

Study on Treatment of Scaling in Brine Kill Fluid in Dagang Oilfield

You Qiuyan¹, Song Xiaoli², Xue Ziyu³, LiaoXingsong¹, Fan Songlin¹

1. Petroleum Engineering Research Institute of PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin, 300131, China;
2. CNOOC Tianjin Chemical Research and Design Institute Co., Ltd., Tianjin, 300131, China;
3. Marine College, Shandong University, Weihai, Shandong, 264209, China

Abstract: To solve the problem of salt brine scaling, three kinds of scale inhibitors WJ-1, TJ-302 and TS-6 were used to modify the medium and high density brine and calcium brine. The formulation was prepared and applied to evaluate the scale inhibition performance of formation water and reinjection water in Dagang Oilfield. The test results show that the two modified formulas of calcium halide+1%~3% WJ-1+0.2% sodium dodecyl sulfate and salt brine+1%~3% WJ-1+1%~3% TS-6+0.2% sodium dodecyl sulfate can make the formation water of 7 000 mg/L NaHCO_3 and 500 mg/L Na_2SO_4 free from scaling at 90 ℃, the calcium retention rate reaches 90.0%, and the recovery rate of formation permeability 89%. Therefore, the formula is suitable for the formation with high alkali and high salinity, which can solve the problem of scaling and plugging formation in brine well killing operation in Dagang Oilfield, and has certain guiding significance for other formations of the same nature.

Keywords: Killing fluid; Modified; Calcium halide; Bittern; Scale inhibitor

收稿日期:2020-06-08

基金项目:中国石油天然气股份有限公司重大专项“大港油田效益增储稳产关键技术研究与应用——深层低渗透油藏有效开发关键技术研究”(2018 E-11-05)

作者简介:尤秋彦(1969-),女,天津人,工程师,本科,主要从事油层保护研究。E-mail:1067759374@qq.com

0 前言

近年来随着油田注水工程的开展,油层压力呈现恢复乃至上升的良好趋势,所以修井作业对中密度压井液的需求也在逐步增加^[1-3]。油田上常用的压井液为甲酸盐体系或者卤水体系,其中甲酸盐体系性能优良但成本太高,而卤水廉价易得,因此应用较广。目前油田常用的卤水体系压井液主要为盐卤和钙卤两种,但其矿化度高,直接使用时会形成质地坚硬、附着牢固、难以清除的垢层,对生产造成诸多不便:地层结垢会堵塞近井地带的液流通道,造成油井产液量降低;井筒结垢会造成卡泵,堵死筛管,增加生产作业的躺井时间和停产次数;此外垢层还会引发金属局部腐蚀,严重时可使管线、设备穿孔,造成破坏性事故;更甚者,卤水进入地层与地层流体发生乳化作用,对中低渗透层造成水锁伤害,直接导致地层产量下降。为避免传统卤水体系高矿化度造成的损害,对卤水体系进行改性,制备既廉价又可避免带来二次伤害的改性卤水压井液成为当今研究的热点^[4-8]。

根据大港油田的地层特点筛选了三种新型无磷阻垢剂,对卤水压井液进行改性,通过对成垢离子螯合分散和抑制晶格畸变的作用,改变垢的结晶形态,促使其溶解,来实现阻垢的目的^[9-12]。改性后的卤水不仅能够阻止或减少卤水结垢并提高卤水进入地层后的返排^[13-14]能力,而且对各大站地层水及回注水均取得不结垢或降低结垢程度,不形成硬垢或推迟结垢时间的效果。

1 实验部分

1.1 研究思路与目的

以大港油田的典型地层水为研究对象,用阻垢剂对不同水样及其在钙卤、盐卤中的阻垢性能进行综合评价,通过实验模拟地层温度,观察不同时间的结垢情况和钙离子保留率指标,研究出合适的阻垢配方并对卤水进行改性,达到改性后的卤水不结垢或降低结垢程度、不形成硬垢或推迟结垢时间的目的,解决了卤水压井液结垢堵塞地层的问题。

1.2 实验材料

试验材料:阻垢剂 WJ-1、TJ-302、TS-6,十二烷基硫酸钠,具塞比色管,EDTA 标准溶液,盐酸溶液,滴定管。

盐卤水:成分为 Na_2SO_4 、 CaCl_2 及 NaCl 、 MgCl_2 等,密度为 $1.21 \sim 1.26 \text{ g/cm}^3$ 。

钙卤水:成分为 CaCl_2 及少量 CaSO_4 、 MgCl_2 、 NaCl 等。中密度 $1.30 \sim 1.36 \text{ g/cm}^3$,高密度可至 1.46 g/cm^3 。

实验水样:取自大港油田各大站的地层水,见表1。

表1 大港油田地层水分析表

Tab.1 Analysis of formation water in Dagang Oilfield

油田	层位	水型	总矿化度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氯根/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
北大港	明馆东沙	NaHCO_3	8 333	2 452
周清庄	沙一下二、三	NaHCO_3	12 318	5 521
羊二庄	明馆沙	NaHCO_3	8 025	3 339
王徐庄	沙一下二、三	NaHCO_3	9 493	3 567
高尘头	沙三	NaHCO_3	12 586	2 500
孔店	馆一、二、三	NaHCO_3	5 638	2 887
枣园	沙孔中生界	CaCl_2 、 NaHCO_3	47 245	17 584
王官屯	沙一下中生界	CaCl_2 、 NaHCO_3	20 382	12 138
小集	枣 II III IV	CaCl_2	34 433	20 571
段六拔	沙三枣 III	NaHCO_3	21 258	11 223
板桥	东沙	NaHCO_3	8 214	2 206
张巨河	东沙	NaHCO_3	6 357	1 250
塘沽	沙三	NaHCO_3	12 261	4 840
自营区	—	CaCl_2 、 NaHCO_3	14 813	6 302

1.3 实验方法

1.3.1 地层水阻垢性能试验

取一定量的地层水加入阻垢剂,封闭情况下置于 90°C 水浴中,恒温一段时间后,取出放置至室温目测观察比色管中的结垢情况,再取上层清液,用 EDTA 标准滴定法测定游离钙含量,计算出钙保留率。

钙保留率 $T\%$,按式(1)计算:

$$T\% = \frac{V_1}{V_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: V_1 为滴定上层清液消耗的 EDTA 标准滴定溶液体积, mL; V_0 为滴定地层水样消耗的 EDTA 标准滴定溶液体积, mL。

1.3.2 地层水卤水混合液阻垢性能试验

取一定量的卤水置于比色管中,加入一定量的阻垢剂和地层水,摇晃使其充分溶解,再将比色管放于 90°C 水浴中,恒温一段时间后,取出放置至室温目测观察比色管中的结垢情况,随后过滤出钙垢,用去离子水洗涤滤出的垢及比色管壁上残留的垢,用盐酸将垢样全部溶解,收集起来用 EDTA 标准液测定钙垢的质量。

2 实验结果

2.1 阻垢剂对地层水的阻垢效果

用 WJ-1、TJ-302、TS-6 三种阻垢剂,分别以王徐庄、小集及王官屯三个油田的地层水各 50 mL 为样本进行阻垢实验,考察此三种阻垢剂对不同水质地层水的阻垢性能。

表 2 为王徐庄、小集及王官屯油田地层水阻垢评价表。由表 2 可知,王徐庄地层水为 NaHCO_3 型, HCO_3^- 为 6 000 mg/L 左右,90 ℃ 下,WJ-1 的加入对王徐庄地层水阻垢效果不明显,TJ-302 在短时间内有一定的阻垢效果,但是超过 48 h 就有垢生成,而 TS-6 对王徐庄地层水有明显的阻垢效果。小集地层水为 CaCl_2 型,矿化度为 34 660 mg/L,TS-6 对其阻垢效果不佳,TS-302 加入小集地层水后在短时间内有絮状漂浮,随着时间的延长,漂浮物减少。WJ-1 效果比前两者略好。针对小集地层水,WJ-1/TJ-302 复配后效果较好,药剂配比在 4:1 时能达到阻垢要求。王官屯地层水为 CaCl_2 、

NaHCO_3 混合型,在 90 ℃ 条件下很快会沉淀,单一阻垢剂无法达到阻垢要求,复配效果比较好,当 WJ-1、TJ-302、TS-6 配比为 4:1:3 时效果最佳。

2.2 阻垢剂对钙卤水阻垢效果

钙卤中钙离子含量较高,易与地层水中 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 产生 CaCO_3 和 CaSO_4 沉淀。大港油田地层水大多以 HCO_3^- 型为主^[15-18],因此着重对 CaCO_3 垢进行研究。

将 WJ-1、TJ-302、TS-6 三种阻垢剂分别加入密度为 1.30 g/cm³ 的钙卤中,加药量为 100 mg/L,混合均匀后再与浓度为 3 000、5 000、7 000 mg/L 的 NaHCO_3 溶液以 1:1 比例混合,在 90 ℃ 水浴中加热,考察其阻垢效果,见表 3。

表 2 王徐庄、小集及王官屯油田地层水阻垢评价表

Tab.2 Evaluation of scale inhibitors on water sample scale inhibition of Wangxuzhuang,Xiaoji and Wangguantun oilfields

油田	阻垢剂配方及加药量	90 ℃ 加热 24 h 结垢情况	90 ℃ 加热 48 h 结垢情况	90 ℃ 加热 72 h 结垢情况	72 h 钙 保留率/(%)
王徐庄	0	絮状沉淀,可摇散	絮状,片状挂壁	白絮沉淀	42
小集	0	片状沉淀	沉淀挂壁	大量沉淀	35
王官屯	0	片状沉淀	沉淀挂壁	大量沉淀	28
王徐庄	50 mg/L WJ-1	无沉淀,液体发白	絮状沉淀	黄絮可摇	77
王徐庄	50 mg/L TJ-302	无沉淀,清透	无沉淀,浑浊	有沉淀	89
王徐庄	50 mg/L TS-6	无沉淀,清透	无沉淀,清透	无沉淀	95
小集	50 mg/L WJ-1	少量絮状	少量絮状	少量絮状	87
小集	50 mg/L TS-6	无沉淀	白色絮状	白絮状	74
小集	50 mg/L TJ-302	絮状漂浮	絮状漂浮	少量絮状	82
王官屯	30 mg/L WJ-1 + 30 mg/L TJ-302 + 30 mg/L TS-6	片状沉淀	管壁结垢	管壁结垢	56
王官屯	40 mg/L WJ-1 + 10 mg/L TJ-302 + 30 mg/L TS-6	清澈	清澈	少量絮状摇匀变透明	94

表 3 阻垢剂在钙卤中对 HCO_3^- 的阻垢影响表

Tab.3 Effect of scale inhibitor on the scale inhibition of HCO_3^- in calcium halide

阻垢剂配方及加药量	常温现象	90 ℃ 加热 12 h 后现象	90 ℃ 加热 72 h 后现象
1.30 g/cm ³ 钙卤 + 1 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	少量沉淀	片状水垢
1.30 g/cm ³ 钙卤 + 3 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	灰白沉淀	灰白水垢增多
1.30 g/cm ³ 钙卤 + 5 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	灰白沉淀	大量白色沉淀
1.30 g/cm ³ 钙卤 + WJ-1 + 1 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	清亮透明	清亮透明
1.30 g/cm ³ 钙卤 + WJ-1 + 3 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	清亮透明	清亮透明
1.30 g/cm ³ 钙卤 + WJ-1 + 5 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	清亮透明	清亮透明
1.30 g/cm ³ 钙卤 + TJ-302 + 1 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	透明	略有白色絮物
1.30 g/cm ³ 钙卤 + TJ-302 + 3 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	透明	略有白色沉淀
1.30 g/cm ³ 钙卤 + TJ-302 + 5 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	透明	略有沉淀
1.30 g/cm ³ 钙卤 + TS-6 + 1 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	透明	略有白色絮物
1.30 g/cm ³ 钙卤 + TS-6 + 3 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	透明	略有白色絮物
1.30 g/cm ³ 钙卤 + TS-6 + 5 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	透明	略有白色絮物

由表3可知,在未加入阻垢剂的空白试样中,地层水中 NaHCO_3 含量越多,结成的垢越多,且随时间增长而增多,而加入阻垢剂的试样则具有明显的阻垢效果。其中 WJ-1 阻垢效果最优,可阻止 5 000 mg/L NaHCO_3 在钙卤中沉淀,并保持 72 h 内无明显结垢;而 TJ-302 在 12 h

内阻垢效果好,时间增长后,有沉淀产生,效果减弱,根据测得的钙垢质量可知,阻垢效果 $\text{WJ-1} > \text{TS-6} > \text{TJ-302}$ 。同时由表4 WJ-1 在高密度钙卤中对 HCO_3^- 阻垢分析表可知,WJ-1 对高密度钙卤也有较好的阻垢效果。

表4 WJ-1 在高密度钙卤中对 HCO_3^- 阻垢分析表

Tab.4 Analysis of WJ-1 scale inhibition on HCO_3^- in high-density calcium halide

阻垢剂配方及加药量	常温现象	90℃加热12 h后现象
1. 45 g/cm ³ 钙卤 + 5 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	大量白色沉淀
1. 45 g/cm ³ 钙卤 + 60 mg/L WJ-1 + 5 000 mg/L NaHCO_3	无沉淀	无沉淀

2.3 阻垢剂对盐卤阻垢性能研究

由于盐卤中 SO_4^{2-} 含量高,易与地层水中 Ca^{2+} 产生 CaSO_4 沉淀^[19-20]。根据钙卤的改性试验研究,WJ-1 对

硫酸钙垢有较好的阻垢效果。因此考察了 50 mg/L 的 WJ-1 在盐卤中的阻垢效果。见表5。

表5 WJ-1 对盐卤阻垢分析表

Tab.5 Analysis of WJ-1 scale inhibition on bittern

阻垢剂配方及加药量	常温现象	90℃加热6 h后现象
1. 26 g/cm ³ 盐卤 + 1 500 mg/L CaCl_2	无沉淀	白色沉淀
1. 26 g/cm ³ 盐卤 + WJ-1 + 500 mg/L CaCl_2	无沉淀	无沉淀
1. 26 g/cm ³ 盐卤 + WJ-1 + 1 500 mg/L CaCl_2	无沉淀	白色沉淀
1. 2 g/cm ³ 盐卤 + WJ-1 + 3 000 mg/L NaHCO_3 + 300 mg/L Na_2SO_4	无沉淀	无沉淀
1. 36 g/cm ³ 钙卤 + WJ-1 + 3 000 mg/L NaHCO_3 + 300 mg/L Na_2SO_4	无沉淀	无沉淀
1. 43 g/cm ³ 钙卤 + WJ-1 + 3 000 mg/L NaHCO_3 + 300 mg/L Na_2SO_4	无沉淀	无沉淀

由表5可知 WJ-1 不仅在钙卤中有良好的阻垢效果,在盐卤中也有较好的阻垢效果,可以阻止 3 000 mg/L HCO_3^- 结垢,也能阻止 500 mg/L SO_4^{2-} 结垢。WJ-1 还能阻止含有 3 000 mg/L 的 HCO_3^- 和 300 mg/L SO_4^{2-} 的地层水结垢。因此,WJ-1 对外来 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 引起的结垢是有效的。

2.4 改性压井液对回注水的应用

将 WJ-1、TJ-302、TS-6 与卤水压井液复配,制备改性卤水压井液。改性钙卤压井液:钙卤 + 1% ~ 3% WJ-1 + 0.2% 十二烷基硫酸钠。改性盐卤压井液:盐卤 + 1% ~ 3% WJ-1 + 1% ~ 3% TS-6 + 0.2% 十二烷基硫酸钠。对上述配方进行各项指标测试,结果见表6。

由表6可知,改性卤水压井液可使钙保留率达到 $\geq 90.0\%$,渗透率恢复率达 89%,达到了预期研究的目的。

由于各大站回注水需注入地层,回注水中含有多成垢因素,因此需要进一步考察改性卤水与各大站回注水的反应效果。现场取马西、板大站、西一联、西二联、东二污回注水,按改性卤水:回注水 = 1:1 的配比进行

实验,见表7。

实验结果表明,短时间内盐卤与各大站回注水不产生沉淀,但在长时间加热条件下会有垢产生。改性后的钙卤与各大站水样反应阻垢效果明显。阻垢效果见图1。

表6 改性卤水压井液理化指标表

Tab.6 Physical and chemical indexes of modified brine kill fluid

项目	阻垢型改性卤水指标
外观	均匀液体
密度/(g·cm ⁻³)	1.10 ~ 1.45
pH 值	5 ~ 7
防膨率/(%)	≥ 90.0
钙保留率/(%)	≥ 90.0
黏度/(MPa·s)	6
界面张力/(mN·m ⁻¹)	≤ 10
渗透率恢复率/(%)	89

表 7 改性卤水与部分大站回注水阻垢试验表

Tab. 7 Scale inhibition tests of modified brine and sewage from some large stations

序号	配方	常温现象	90 ℃加热 6 h 后现象	90 ℃加热 5 d 后现象
1	1. 26 g /cm ³ 盐卤 + 东二污	无沉淀	无沉淀	有微量结垢
2	1. 26 g /cm ³ 改性盐卤 + 东二污	无沉淀	无沉淀	不结垢
3	1. 43 g /cm ³ 钙卤 + 东二污	无沉淀	底部白色沉淀	有轻微结垢
4	1. 43 g /cm ³ 改性钙卤 + 东二污	无沉淀	无沉淀,有絮状物悬浮	不结垢,有絮状分散物
5	1. 26 g /cm ³ 盐卤 + 马西	无沉淀	无沉淀	不结垢
6	1. 26 g /cm ³ 改性盐卤 + 马西	无沉淀	无沉淀	不结垢
7	1. 43 g /cm ³ 钙卤 + 马西	无沉淀	略有沉淀	有轻微结垢
8	1. 43 g /cm ³ 改性钙卤 + 马西	无沉淀	无沉淀,白片状漂浮物	不结垢,有絮状分散物
9	1. 26 g /cm ³ 盐卤 + 西一联	无沉淀	无沉淀	严重结垢
10	1. 26 g /cm ³ 改性盐卤 + 西一联	无沉淀	无沉淀	不结垢
11	1. 43 g /cm ³ 钙卤 + 西一联	无沉淀	白色沉淀	有轻微结垢
12	1. 43 g /cm ³ 改性钙卤 + 西一联	无沉淀	无沉淀,有灰色团絮	不结垢,有絮状分散物
13	1. 26 g /cm ³ 盐卤 + 西二联	无沉淀	无沉淀	微量结垢
14	1. 26 g /cm ³ 改性盐卤 + 西二联	无沉淀	无沉淀	不结垢
15	1. 43 g /cm ³ 钙卤 + 西二联	无沉淀	白色沉淀	有轻微结垢
16	1. 43 g /cm ³ 改性钙卤 + 西二联	无沉淀	灰色沉淀	不结垢,有絮状分散物
17	1. 26 g /cm ³ 盐卤 + 板大站	无沉淀	无沉淀	严重结垢
18	1. 26 g /cm ³ 改性盐卤 + 板大站	无沉淀	无沉淀	不结垢
19	1. 43 g /cm ³ 钙卤 + 板大站	无沉淀	白色沉淀	有晶体结垢
20	1. 43 g /cm ³ 改性钙卤 + 板大站	无沉淀	无沉淀,少量絮	不结垢,有絮状分散物

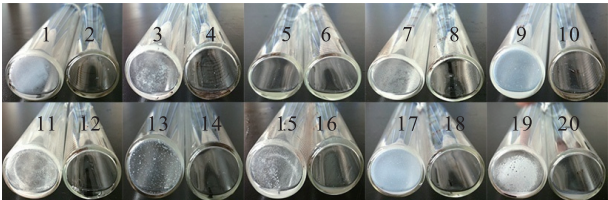


图 1 表 7 中各个配方下的阻垢效果图

Fig. 1 Scale inhibition effect of each formula in Table 7

未改性的盐卤或钙卤与各站回注水混合,常温下均不结垢,但在 90 ℃下会产生不同程度结垢,西一联、板大站较严重,东二污、马西、西二联轻微结垢。然而卤水改性后,与各站水混合,在 90 ℃加热的条件下除个别有少量絮状物生成外均无硬垢生成。

3 结论

采用三种阻垢剂 WJ - 1、TJ - 302、TS - 6 对中高密度的盐卤及钙卤进行改性。WJ - 1 可阻止 5 000 mg /L NaHCO₃ 水样在钙卤中结垢,同时可以阻止 3 000 mg /L NaHCO₃ 水样在盐卤中结垢。WJ - 1 与 TS - 6 配伍后能阻止 300 mg /L Na₂SO₄ 在钙卤中结垢。采用改性后的卤水对各大站水样进行阻垢实验,其钙保留率≥90. 0% ,渗透率恢复率可达 89% 。结果表明改性后的卤水能够达到不结垢或降低结垢程度、不形成硬垢或推迟结垢时间的效果,解决了钙卤在高盐高碱地层结垢的问题。

参考文献:

[1] 王中华. 国内外超高温高密度钻井液技术现状与发展趋势[J]. 石油钻探技术,2011,39(2):1-7.
Wang Zhonghua. Status and Development Trend of Ultra-High Temperature and High Density Drilling Fluid at Home and Abroad [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39 (2): 1-7.

[2] 钟新荣,黄雷,王利华. 低渗透气藏水锁效应研究进展[J]. 特种油气藏,2008,15(6):12-15.
Zhong Xinrong, Huang Lei, Wang Lihua. Research Progress of Water Lock Effect in Low Permeability Gas Reservoirs [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2008, 15 (6): 12-15.

[3] 张琰,崔迎春. 低渗气藏主要损害机理及保护方法研究[J]. 地质与勘探,2000,36(5):76-78.
Zhang Yan, Cui Yingchun. Investigation on the Mechanism and Prevention of Formation Damage of Low-Permeability Gas Reservoir [J]. Geology and Prospecting, 2000, 36 (5): 76-78.

[4] 向阳,向丹,杜文博. 致密砂岩气藏应力敏感的全模拟试验研究[J]. 成都理工学院学报,2002,29(6):617-620.
Xiang Yang, Xiang Dan, Du Wenbo. An Experimental Study of Simulating High-Speed Production in Tight Sandstone Gas Reservoir [J]. Journal of Chengdu University of Technology,

- 2002, 29 (6): 617-620.
- [5] 谷江锐, 刘 岩. 国外致密砂岩气藏储层研究现状和发展趋势[J]. 国外油田工程, 2009, 25(7): 1-5.
Gu Jiangrui, Liu Yan. Present Study and Development Trend of Foreign Tight Gas Sandstone Reservoirs [J]. Foreign Oil Field Engineering, 2009, 25 (7): 1-5.
- [6] 李进步, 付 斌, 赵忠军, 等. 苏里格气田致密砂岩气藏储层表征技术及其发展[J]. 天然气工业, 2015, 35(12): 35-41.
Li Jinbu, Fu Bin, Zhao Zhongjun, et al. Characterization Technology for Tight Sandstone Gas Reservoirs in the Sulige Gas Field, Ordos Basin, and Its Development Prospect [J]. Natural Gas Industry, 2015, 35 (12): 35-41.
- [7] 张洪霞, 鄢捷年, 吴 彬, 等. 减轻深层低渗透储层水锁损害的钻井液研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2009, 26(4): 4-7.
Zhang Hongxia, Yan Jienian, Wu Bin, et al. Research and Application of Drilling Fluids to Mitigate Porosity Impairment of Deep and Low Porosity Reservoirs [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2009, 26 (4): 4-7.
- [8] 胡文瑞. 中国低渗透油气的现状与未来[J]. 中国工程科学, 2009, 11(8): 29-37.
Hu Wenrui. The Present and Future of Low Permeability Oil and Gas in China [J]. Engineering Science, 2009, 11 (8): 29-37.
- [9] 左景荣, 任韶然, 于洪敏. 油田防垢技术研究与应用进展[J]. 石油工程建设, 2008, 34(2): 7-14.
Zuo Jinglun, Ren Shaoran, Yu Hongmin. Research and Application Advances of Scale Control Methods in Oilfield [J]. Petroleum Engineering Construction, 2008, 34 (2): 7-14.
- [10] 杨小平, 周 海, 王纪春, 等. 高密度低损害压井液体系[J]. 石油钻采工艺, 2002, 24(6): 23-26.
Yang Xiaoping, Zhou Hai, Wang Jichun, et al. Killing Fluid System of High Density and Low Damage [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2002, 24 (6): 23-26.
- [11] 靳秀菊, 姚合法, 刘振兴, 等. 低渗透致密砂岩气田储层损害评价及保护措施[J]. 现代地质, 2002, 16(4): 408-413.
Jin Xiuju, Yao Hefa, Liu Zhenxing, et al. Reservoir Damage Evaluation and Protection For Low-Permeability Sand Gas Field [J]. Geoscience, 2002, 16 (4): 408-413.
- [12] 杨小平, 郭元庆, 樊松林, 等. 高密度低腐蚀无固相压井液研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2010, 27(5): 51-54.
Yang Xiaoping, Guo Yuanqing, Fan Songlin, et al. Study and Application on High Weight Low Corrosion and Clay-Free Kill Fluid [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2010, 27 (5): 51-54.
- [13] 姚培正, 包秀萍, 郭丽梅, 等. 油田水阻垢剂的阻垢机理及其研究进展[J]. 杭州化工, 2009, 39(1): 16-19.
Yao Peizheng, Bao Xiuping, Guo Limei, et al. The Operating Mechanism and Its Research Progress of Scale Inhibitor Applied to Oil Field Water [J]. Hangzhou Chemical Industry, 2009, 39 (1): 16-19.
- [14] 袁建强. 保护油层钻井液技术在宝浪油田的应用[J]. 钻井液与完井液, 2004, 21(5): 31-33.
Yuan Jianqiang. Drilling Fluid Technology for Formation Protection in Baolang Oilfield [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2004, 21 (5): 31-33.
- [15] 廖锐全, 徐永高, 胡雪滨. 水锁效应对低渗透储层的损害及抑制和解除方法[J]. 天然气工业, 2002, 22(6): 87-89.
Liao Ruiquan, Xu Yonggao, Hu Xuebin. Damage to Low-Permeability Reservoir by Water Locking Effect and Its Inhibiting and Removing Methods [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22 (6): 87-89.
- [16] 范文永, 舒 勇, 李 礼, 等. 低渗透油气层水锁损害机理及低损害钻井液技术研究[J]. 钻井液与完井液, 2008, 25(4): 16-19.
Fan Wenyong, Shu Yong, Li Li, et al. Researches on the Water Block in Low Permeability Reservoir and Minimized-Reservoir-Damage Drilling Fluid Technology [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2008, 25 (4): 16-19.
- [17] 张文斌, 李丛峰, 施晓雯. 醇酸酸化在青海油田的应用[J]. 油田化学, 2009, 26(1): 24-27.
Zhang Wenbin, Li Congfeng, Shi Xiaowen. Alcoholic Acidizing Fluids and Their Uses in Qinghai Oil Fields [J]. Oilfield Chemistry, 2009, 26 (1): 24-27.
- [18] 白方林. 气藏水锁伤害及解除措施实验研究[J]. 石油化工应用, 2010, 29(10): 14-17.
Bai Fanglin. Water Phase Trapping Damage and the Study of Relieving Measures in Gas Reservoir [J]. Petrochemical Industry Application, 2010, 29 (10): 14-17.
- [19] 赵东明, 郑维师, 刘易非. 醇处理减缓低渗气藏水锁效应的实验研究[J]. 西南石油学院学报, 2004, 26(2): 67-69.
Zhao Dongming, Zheng Weishi, Liu Yifei. Laboratory Research of Alcohol Treatment to Retard Water Blockage Effect in Low Permeability Gas Reservoir [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26 (2): 67-69.
- [20] 邓 灵, 杨振军. 苏里格气田低渗透砂岩储集层解水锁实验研究[J]. 辽宁化工, 2011, 40(3): 307-311.
Deng Ling, Yang Zhenjun. Experimental Study on Water Block Removal of Low Permeability Sand Gas Reservoir in Sulige [J]. Liaoning Chemical Industry, 2011, 40 (3): 307-311.