

集成超低渗透与屏蔽暂堵优势的新型钻井完井液

王永恒¹ 康毅力¹ 兰林² 徐兴华³

(1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室·西南石油大学, 四川成都;

2. 中国石化西南油气分公司工程技术研究院, 四川成都; 3. 中国石化西南石油局, 四川成都)

摘要 超低渗透钻井完井液缺乏架桥的刚性粒子, 形成的滤饼强度值低, 在裂缝宽度大于 50 μm 时, 滤饼强度不足 5 MPa, 且返排恢复率低, 对裂缝性储层的保护具有一定局限性。选取四川盆地致密砂岩岩心, 开展了集成超低渗透与屏蔽暂堵优势的钻井完井液保护裂缝性储层能力的实验评价。结果表明, 在 3.5 MPa 正压差下, 该钻井完井液对 500 μm 以内不同宽度级别的裂缝均有很好的封堵效果, 且滤饼强度均可承受 15 MPa 的压差, 返排恢复率也有所提高, 特别是酸洗后返排恢复率在 80% 以上。该钻井完井液充分利用超低渗透钻井液动态降滤失剂的降滤失性和较宽的封堵范围, 并具有屏蔽暂堵技术的高强度、高返排恢复率的优点, 拓展了利用固相颗粒保护裂缝性储层的能力。

关键词 超低渗透钻井完井液 防止地层损害 滤液 临时性封堵 滤饼

中图分类号: TE254.3

文献标识码: A

屏蔽暂堵技术多用于保护裂缝宽度小于 200 μm 的油气层, 对于裂缝宽度大于 200 μm 的油气层或裂缝宽度变化范围较宽的油气层的保护效果尚不理想, 技术还不成熟^[1]。超低渗透钻井完井液克服了屏蔽暂堵技术在粒径匹配方面的不足, 显著降低了滤失量, 然而实验研究表明, 进入裂缝的超低渗透处理剂多在壁面处吸附滞留, 不能完全被返排出来, 导致岩样返排恢复率多在 40% 以下, 说明超低渗透钻井完井液对实验岩心端部造成的损害比较严重^[2~7]。而且, 超低渗透钻井完井液中缺乏刚性架桥粒子, 全靠较软的超低渗透处理剂形成封堵, 对于宽度大于 50 μm 的裂缝形成的滤饼强度逐渐降低。钻井过程中当钻井液液柱压力变化时, 会破坏已形成的滤饼, 使钻井完井液进一步侵入、滤饼重复形成, 加剧储层损害。对超低渗透钻井完井液进行了改性研究, 加入可溶性较强的刚性大粒子, 提高滤饼强度和返排恢复率, 从而达到保护裂缝性储层的目的。

1 实验方法

选用高温高压动态损害评价仪进行实验。该仪器模拟原地层条件, 能更真实地反映储层的受损情况, 它已成功应用于各种敏感性评价、屏蔽暂堵方案

优选及工作液优选等^[8~10]。

1.1 实验装置及材料

实验选取四川盆地致密砂岩岩心, 人工造出不同宽度级别的裂缝, 对 3 种不同的钻井完井液进行了动态损害评价, 研究它们对裂缝的封堵能力、滤饼承压能力和解堵返排能力。钻井完井液配方如下。

- 1# 井浆 A+超低渗透处理剂 NP-11000
- 2# 井浆 B(含石灰石粉加重剂)+FLC2000
- 3# 井浆 A+NP-11000+屏蔽暂堵剂

1.2 实验步骤

1.2.1 滤饼的形成及返排

①岩样造缝后烘干, 用 CMS-300 全自动岩心测试仪测定部分岩样的气体渗透率 K_g , 然后抽真空饱和地层水 48 h, 备用; ②测岩样正向地层水渗透率 K_w ; ③在高温高压动态损害评价仪上, 用超低渗透钻井液对岩样进行反向损害 60 min, 并详细计量滤液体积随时间的变化情况(钻井液的温度为 80 $^{\circ}\text{C}$, 压差为 3.5 MPa, 围压为 7.5 MPa); ④在较低流压下正向地层水返排, 记录最低返排压力 P_i 及岩样渗透率 K_{wi} ; ⑤逐级升高返排压力, 并记录对应返排压差下渗透率, 计算渗透率恢复值 K_{wi}/K_w 。

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科技风险创新研究项目和四川省杰出青年学科带头人培养基金项目(07ZQ026-113; 02ZQ026-042)资助。

第一作者简介: 王永恒, 硕士研究生, 1981 年生, 主要从事地质开发及储层保护理论与技术研究。地址: 河南省郑州市伏牛南路 197 号华北分公司开发处; 邮政编码 450001; 电话 13783636939; E-mail: wyh4623@163.com。

1.2.2 滤饼强度的评价实验

①同 1.2.1 中的①~③;②在流压分别为 4、5、7、10、12、15 MPa 条件下,用地层水反向测定岩样滤失量,并计量出各流压条件下 10 min 内的累积滤失体积,计算此时的岩样渗透率 K_i 及滤饼暂堵率 $Z_d = (K_w - K_i) / K_w \times 100\%$ 。若滤失量突然增大,说明滤饼已经被破坏,即可终止实验,此时的压差为滤饼所能承受的最大强度值。

2 实验结果

2.1 滤饼的形成

在 3.5 MPa 正压差下对岩样进行滤饼形成实验,结果如表 1 所示。

表 1 岩样滤饼形成实验结果

样品号	长度/cm	缝宽/ μm	$K_w / 10^{-3} \mu\text{m}^2$	累积滤失量/mL			$Z_d / \%$		配方
				1 min	5 min	60 min	1 min	5 min	
1#	5.1	20	5	0.10	0.11	0.13	99.999	99.999	
2#	4.1	60	142	0.17	0.18	0.38	99.999	99.999	
3#	5.1	160	1 902	0.59	0.61	0.68	99.999	99.999	1#
4#	5.1	240	3 387	0.35	0.44	0.96	99.999	99.999	
5#	5.0	400	4 936	0.73	0.80	1.16	99.999	99.999	
6#	4.9	40	102	0.15	0.35	1.03	99.931	99.966	
7#	5.1	100	1 150	0.20	0.40	1.15	99.992	99.998	
8#	6.0	200	3 490	0.40	0.63	1.85	99.994	99.999	
9#	4.8	280	3 600	0.30	0.60	1.30	99.996	99.999	2#
10#	6.0	400	4 200	0.40	0.70	2.05	99.995	99.999	
11#	4.7	500	6 655	0.50	0.85	2.50	99.997	99.999	
12#	4.2	85	695	0.20	0.37	0.91	99.988	99.998	
13#	4.3	110	1 750	0.40	0.46	1.05	99.990	99.996	
14#	4.9	200	1 243	0.19	0.31	0.90	99.993	99.999	3#
15#	4.8	360	3 902	0.48	0.50	0.73	99.994	99.999	
16#	5.1	520	5 133	0.69	0.95	1.90	99.993	99.999	

注:岩心直径均为 2.5 cm,6#、7#、12#、13# 岩心气测渗透率分别为 2.056×10^{-3} 、 4.472×10^{-3} 、 2.056×10^{-3} 、 $4.472 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

从表 1 可以看出,3 种钻井完井液都表现出很好的封堵性能,能够很好地封堵 500 μm 以内不同宽度级别的裂缝,在 1~5 min 内能形成暂堵率为 99.999% 的滤饼,总体上呈现出滤失量随着裂缝宽度增大也随之增大的趋势,但 60 min 内累积滤失量多在 1 mL 左右,只有 2# 浆对 2 块岩样的累积滤失

量超过 2 mL。

2.2 返排恢复率

在 1 MPa 压差下,对不同裂缝宽度的岩样进行了返排恢复率实验,结果见图 1。从图 1 可看出,3 种钻井完井液的返排恢复率多在 40% 以下,3# 浆的返排恢复率比 1#、2# 浆好,2# 浆的返排恢复率最差,均小于 20%。第 1 次返排后,又对 2#、3# 浆岩心进行了盐酸酸洗处理,然后再进行返排,结果见图 2。从图 2 可以看出,酸洗后钻井液返排恢复率得到了明显改善,特别是 3# 浆,其返排恢复率大幅度提高,多数大于 80%。

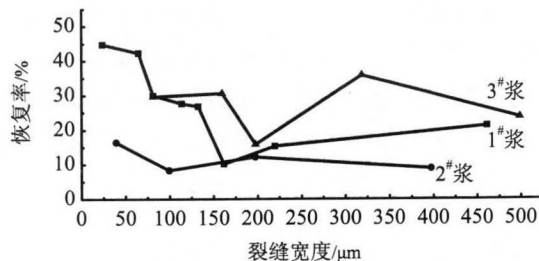


图 1 用不同钻井液污染后岩样的返排恢复率(1 MPa)

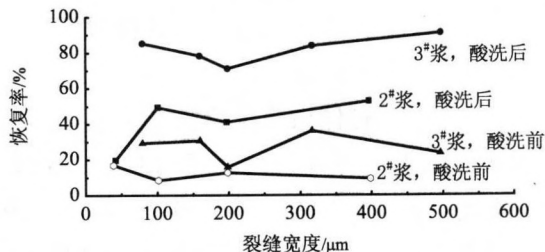


图 2 钻井液污染岩样酸洗前后的返排恢复率(1 MPa)

2.3 滤饼强度

滤饼强度的评价实验如图 3 所示。

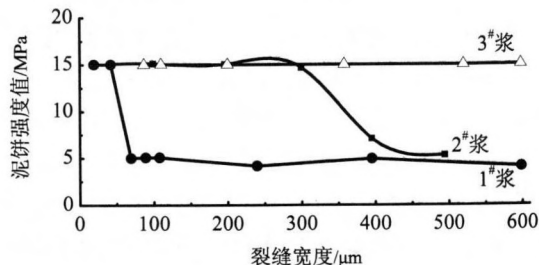


图 3 不同钻井液在不同宽度裂缝岩样上形成滤饼的强度

从图 3 可见,当裂缝宽度小于 50 μm 时,1# 浆形成的滤饼能够承受 15 MPa 的压力,当裂缝宽度超过 50 μm 后,1# 浆形成的滤饼强度不足 5 MPa;对于 2# 浆,当裂缝宽度小于 300 μm 时,所形成的滤饼能够承受 15 MPa 的压力,裂缝宽度超过该范围后,滤饼强度逐渐下降,当裂缝宽度为 500 μm 时,

滤饼强度只有 5 MPa;对于 3[#]浆,当裂缝宽度小于 600 μm 时,所形成的滤饼强度都能达到 15 MPa。3 种钻井完井液总体表现出了滤饼强度随着裂缝宽度增大而降低的趋势。

3 讨论

3.1 1[#]浆对裂缝性储层的保护能力

1[#]浆中井浆 A 中基本不含刚性粒子。由表 1、图 1、图 3 可见,该超低渗透钻井完井液对裂缝性储层具有一定保护效果,其封堵能力具有广谱性。超低渗透处理剂 NP-11000 的加入,对宽度小于 400 μm 的裂缝能够实现快速有效封堵,1~5 min 内可形成暂堵率为 99.99% 的致密滤饼,60 min 内累积滤失量均小于 1 mL,显著降低了滤液总量,抑制了储层损害。然而,由于该超低渗透钻井完井液中缺乏刚性的架桥粒子,导致了形成的滤饼强度随裂缝宽度很快下降,当裂缝宽度大于 50 μm 后,滤饼强度基本都小于 5 MPa,并且进入裂缝的超低渗透处理剂多在壁面处吸附滞留,不能完全被返排出来,导致岩样返排恢复率多在 40% 以下。说明该超低渗透钻井完井液对实验岩心端部造成的损害比较严重。

3.2 2[#]浆对裂缝性储层的保护能力

2[#]浆中井浆 B 含有一些粒度较细的 CaCO_3 颗粒,即 2[#]浆中含有一定量的刚性粒子。由表 1、图 1~图 3 可见,FLC2000 也起到了有效控制滤失量的作用,对宽度小于 500 μm 的裂缝能够快速有效地封堵,1~5 min 内可形成暂堵率为 99.99% 的致密滤饼,60 min 内累积滤失量均不超过 3 mL。虽然降滤失效果没有 1[#]浆好,但是其所形成的滤饼强度得到了提高,将能够承受 15 MPa 压力的裂缝宽度提高到了 300 μm ,这是刚性石灰石粉加重剂起作用的结果。但是,由于石灰石粉加重剂粒度较细,不能很好地匹配较宽的裂缝,加重剂混合超低渗透处理剂进入裂缝深处,吸附滞留在裂缝壁面上,导致返排渗透率低,多在 20% 以内。该加重剂酸溶能力较强,经过简单的酸洗处理后,返排恢复率有所提高,达到 50% 左右。

3.3 3[#]浆对裂缝性储层的保护能力

3[#]浆中的屏蔽暂堵剂具有很强的酸溶性,并且粒度较大,主峰在 400~500 μm 之间。由表 1、图 1~图 3 可见,该钻井完井液兼具了 1[#]和 2[#]浆的优点,能够有效控制滤失,对宽度小于 500 μm 的裂缝能够快速有效封堵,1~5 min 内可形成暂堵率为

99.99% 的致密滤饼,60 min 内累积滤失量均小于 2 mL。当裂缝宽度小于 500 μm 时,所形成的滤饼强度均能达到 15 MPa,返排恢复率相对 2[#]浆整体上提高了 10%,酸洗后返排恢复率大幅度提高,达到 80% 以上,能够满足保护裂缝性储层的目的。

4 结束语

超低渗透钻井完井液对裂缝性储层具有一定保护效果,其保护能力具有广谱性,能够在 1~5 min 内形成渗透率几乎为零的滤饼。但因缺乏刚性粒子作架桥其形成的滤饼强度不高,裂缝宽度大于 50 μm 时,滤饼强度不足 5 MPa,且返排恢复率低。集成超低渗透与屏蔽暂堵优势的新型钻井完井液,有效地提高了在宽度小于 600 μm 的裂缝上形成的滤饼强度,滤饼均可承受 15 MPa 的压差,返排恢复率也有所提高,特别是酸洗后返排恢复率达到 80% 以上。该钻井完井液充分利用了超低渗透处理剂的降滤失特性和较宽的封堵范围,也体现出了屏蔽暂堵技术的高强度、高返排恢复率的优点。

参考文献

- [1] 王永恒,康毅力,兰林,等.一种非渗透钻井完井液对裂缝性储层保护能力实验评价.钻采工艺,30(1):101
- [2] 于永新,樊松林,代礼杨,等.超低渗透钻井液技术研究.石油钻采工艺,2005,27(增刊):19-21
- [3] 孙金声,林喜斌,张斌,等.国外超低渗透钻井液技术综述.钻井液与完井液,2005,22(1):57-59
- [4] 张克勤,刘庆来,杨子超,等.无侵害钻井液技术研究现状及展望.石油钻探技术,2006,31(1):1-5
- [5] 罗向东,陶卫民,刘鹏,等.无渗透无侵害钻井液及其渗滤性能评价方法的探讨.钻井液与完井液,2005,22(1):5-8
- [6] Franck Labenski, Paul Reid, Helio Santos. Drilling Fluids Approaches for Control of Wellbore Instability in Fractured Formations. SPE 85304
- [7] Red P, Santos H. Nobel Drilling, Completion and Workover Fluids for Depleted Zones; Avoiding Losses, Formation Damage and Stuck Pipe. SPE 8532
- [8] 何健,康毅力,高波,等.滤饼返排压力的实验研究.钻井液与完井液,2005,22(3):29-31
- [9] 刘大伟,康毅力,刘静,等.钻井液完井液滤饼重复形成的实验模拟.钻井液与完井液,2005,22(6):26-29
- [10] 王永恒,康毅力,陈一健,等.水平井钻井完井液损害实验评价技术新进展.钻井液与完井液,2006,23(1):72

(收稿日期 2008-07-21; HGF=0806W9; 编辑 汪桂娟)