

悬浮乳液钻井液在江苏油田水平井中的应用

何竹梅¹ 薛芸

(江苏油田分公司石油工程技术研究院, 江苏 扬州 225009)

摘 要: 为了减轻江苏水平井中的原油污染, 实现钻井生产的安全优质, 我们开展了悬浮乳液钻井液技术研究。室内优选了体系配方, 评价了体系性能, 现场试验水平井 4 口。室内与现场试验表明, 该体系具有优良的润滑、防塌和保护油气层等性能, 试验井钻井顺利, 与对比井相比, 钻井周期缩短 0.4~6.6 天, 机械钻速提高 0.7%~56.77%, 共节约原油消耗 140 多吨, 减少有害钻井废弃物产生量 1200 多方, 取得了良好的节能减排和提优提速钻井效果。

关键词: 江苏油田; 水平井; 乳液; 钻井液

0 前言

江苏油田地处长江中下游地区, 长江、淮河入海口附近, 油区内河流密布, 人口稠密, 环境保护要求苛刻。受地面条件和“小、碎、散、贫”复杂小断块构造的限制, 近年来江苏油田定向井高达 98%以上, 尤其是水平井增速加快。目前江苏油田水平井主要采用正电胶混油钻井液, 其中, 原油含量 10%以上, 沥青类防塌剂含量 2%以上, 此类井产生的钻井废弃物毒性大。到目前为止, 水平井钻井消耗原油 2720 多吨, 产生有害废弃钻井液 20400 多方, 环保压力高, 已成为非常突出的问题。近年来研用的环保型聚合醇钻井液、杂聚糖苷钻井液, 虽然荧光级别和生物毒性满足地质录井和环境保护要求, 但钻井液成本相对较高, 其润滑、抑制防塌等性能还不能满足水平井钻井技术需求, 均未能在水平井应用。

通过调研得知: 乳化石蜡具有突出的润滑性能和保护储层效果, 并兼有较强的防塌抑制性能, 对环境无影响, 在石油领域中的应用正逐渐成为热点^[1]。为此, 我们开展了乳化石蜡与其它环保型处理剂性能评价和配伍性试验, 研究建立一套适应江苏油田水平井钻井技术要求的环境友好型保护油气层悬浮乳液钻井液体系。

1 悬浮乳液钻井液的作用机理

悬浮乳液钻井液主要是由环保型处理剂阳离子乳液聚合物(DS-301)、乳化石蜡(RHJ-1)、有机硅醇(DS-302)以及降滤失剂等组成。体系通过阳离子乳液聚合物长链的包被、架桥作用和阳离子的吸附、中和作用, 使粘土的比表面和负电荷大大下降, 降低粘土的水敏性, 从而有效抑制粘土颗粒的膨胀、分散、运移, 起到稳定粘土的作用; 结合乳化石蜡具有的较低油水界面张力、扩散系数和渗透性高, 能够快速在粘土表面形成软膜屏蔽带, 阻缓滤液进入地层, 减小滤液及有害固相进入储层, 有效地防止井壁坍塌和保护油气层^[2]。

2 室内研究试验

2.1 阳离子乳液聚合物(DS-301)抑制性试验

将 ShX14 井 E2s1 岩屑(10~20 目)加入含有不同抑制剂 5% 般土浆中, 在 120℃ 下热滚 16h 后测定回收率, 结果见图 1 和图 2。可见, DS-301 抑制性较 PMHA-II 和 FA368 强; 随

作者简介: 何竹梅, 工程师、1966 年 10 月生、1989 年 7 月毕业于西安石油学院应用化学系, 本科学历, 现在江苏油田石油工程技术研究院从事钻井液设计与研究工作, 通讯地址: 江苏省扬州市维扬路 188 号, 225009, hezm@joeco.com.cn, 0511-87760962(办)。

着 DS-301 加量的增加,回收率逐渐增大,加量超过 0.2%后,回收率增大趋势减缓,故 DS-301 初选加量为 0.1%~0.2%。

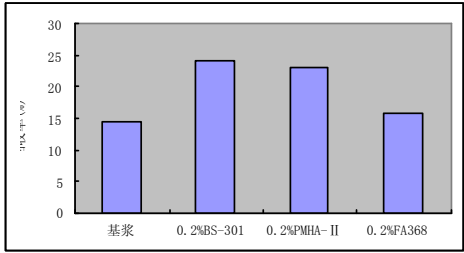


图 1 不同抑制剂般土浆中的岩屑回收率

图 2 不同浓度 DS-301 般土浆中的岩屑回收率

2.2 有机硅醇(DS-302)抑制泥岩分散试验

5%般土浆加入不同防塌剂,高速搅拌 10min 后加入 5%膨润土,再高速搅拌 20min,测量试样在常温下养护 24h 和 120℃热滚 16h 后的表观粘度变化,以考察其抑制性能,结果见表 1。可见: DS-302 抑制性比目前常用防塌剂 KLG- I、OSAM-K 强,与 FT-388 相当;常温下, DS-302 抑制能力随加量的增加而增强,浓度增至 1.5%后 AV 降低率变化趋缓,高温下, 0.5%DS-302 抑制性能明显高于 1.5%其他防塌剂的,故 DS-302 抑制性好,初选加量为 0.5%~1.5%。

表 1 DS-302 抑制性能试验

样品配方	实验条件	Φ 600 mPa·s	AV mPa·s	降低率 AV (%):
				$\frac{(\phi 6001-\phi 6002)}{\phi 6001} \times 100\%$
5%般土浆	常温	41	20.5	
	120℃×16h	35	17.5	
5%般土浆+0.5%DS-302	常温	33	16.5	19.5
	120℃×16h	17	8.5	51.4
5%般土浆+1.0%DS-302	常温	26	13	36.6
	120℃×16h	7	3.5	80.0
5%般土浆+1.5%DS-302	常温	20	10	51.2
	120℃×16h	10	5	71.2
5%般土浆+2.0%DS-302	常温	18	9	56.1
	120℃×16h	16	8	54.3
5%般土浆+1.5%KLG- I	常温	26	13	36.6
	120℃×16h	24	12	31.4
5%般土浆+1.5%FT-388	常温	20	10	51.2
	120℃×16h	29	14.5	17.1
5%般土浆+1.5%OSAM-K	常温	25	12.5	39.0
	120℃×16h	25	12.5	28.6

2.3 乳化石蜡(RHJ-1)润滑性试验

在 5%般土浆中加入不同润滑剂,使用极压润滑仪,评价其润滑性能,结果见表 2、图 3。可见, RHJ-1 的润滑性较 FXRH、原油好; RHJ-1 加量超过 2%后, 润滑效果明显,高温条件下 RHJ-1 仍具有较好的润滑性能,初选加量 1%~2%。

表 2 不同润滑剂在常温下润滑性能对比表

序号	配方	AV,mPa·s	PV,mPa·s	FL _{APL} ,ml	Kf	降低率 Kf,%
1	基浆	12	3	28	0.3400	-

2	基浆+5%原油	14	3	19	0.1451	57.3
3	基浆+2%FXRH	15	3	28	0.3033	10.8
4	基浆+2%RHJ-1	14.5	4	28.5	0.0596	82.5
5	基浆+3%RHJ-1	16	4	28	0.0541	84.1

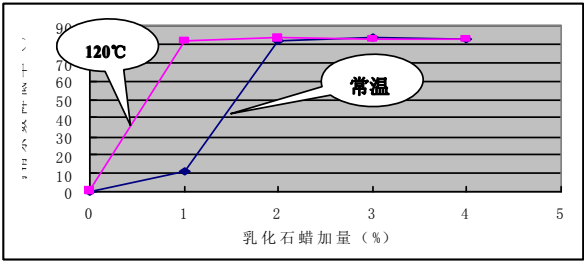


图 3 加入不同浓度的 RHJ-1 般土浆润滑系数降低率变化趋势图

2.4 与体系配伍的降滤失剂优选

在 5%般土浆中加入 0.2%DS-301 和 1.5%DS-302 配成基浆，加入降滤失剂，测量试样的滤失量及流变性能，结果见表 3。可见：NH₄-HPAN、Na-HPAN 降滤失效果较其它的好，而 Na-HPAN 具有一定的增粘作用，故优选 NH₄-HPAN 作为体系降失水剂。

表 3 降滤失剂优选

体系	FL,ml	PV,mPa.s	YP,Pa	YP/PV	G _{10²/10²} , Pa	PH
基浆	13.5	20	3	0.15	3/9	10
基浆+0.5%NH ₄ -HPAN	10	11	0.5	0.05	0.5/1.0	10
基浆+0.5%Na-HPAN	10	26	0.5	0.02	1.5/7	10
基浆+0.5%LV-CMC	10.5	26	7.5	0.29	3/7	10
基浆+0.5%SMP-II	12	19	5.5	0.29	2/3.5	10
基浆+0.5%LV-PAC	12.5	15	12.5	0.83	2.5/4	10
基浆+0.5%CMS	11.5	13	17.5	1.35	3.5/4.5	11

2.5 悬浮乳液钻井液性能评价

(1)流变性与润滑性能

悬浮乳液钻井液基本配方如下，性能见表 4。可见，该体系具有良好的流变性、悬浮携岩能力和润滑性能。

5% 般 土 浆 +0.1% ~ 0.2%DS-301+1% ~ 2%DS-302+0.5% ~ 0.8%NH₄-HPAN+1% ~ 3%RHJ-1

表 4 悬浮乳液钻井液性能

钻井液	试验条件	PV,mpa.s	YP,pa	YP/ PV	G _{10²/10²} , Pa	FL/ml	PH	Kf
悬浮乳液	60℃	18	12	0.67	6/9	9.4	7.5	0.0262
	120℃×16h	25	13	0.52	3.5/7.5	8.4	7.5	0.0787
聚合醇	60℃	26	11	0.42	2/9	8.2	7.5	0.0349
	120℃×16h	30	11	0.37	2/5	7.8	7.5	0.0799
聚合物	60℃	25	8.5	0.34	1.5/7	7	7.5	0.1317
	120℃×16h	25	5.5	0.22	1.5/2	7.8	7.5	0.1139

(2)防塌抑制性能

通过 WT-150-80 型页岩膨胀仪，模拟井下钻井液流动状态，测试钻井液对 Sh14 块(Es1 小于 100 目)岩芯粉的膨胀率。可见，悬浮乳液钻井液页岩膨胀率最小，防塌抑制性好。

表 5 悬浮乳液钻井液抑制性评价对比实验

钻井液	页岩膨胀率,%									
	1h	2h	4h	8h	16h	20h	24h	25h	26h	27h
基浆	5.87	7.91	9.36	10.83	11.69	11.85	12.00	12.01	12.01	12.17
悬浮乳液	3.17	4.36	4.62	4.66	4.81	4.96	4.96	5.11	5.12	5.31
聚合醇	3.46	4.12	4.12	4.28	5.08	5.56	5.88	6.01	6.02	6.18
聚合物	5.71	6.24	6.70	7.86	9.16	9.53	9.99	10.02	10.02	10.19

(3)抗温性能

将悬浮乳液钻井液在 60℃下搅拌 30min 后测量其性能,再分别于 120℃、140℃热滚 16h 后测量其性能变化,结果见表 6。可见,悬浮乳液钻井液抗温达 120℃。

表 6 抗温性能试验

条件	FL,ml	AV,mPa·s	PV,mPa·s	YP,Pa	YP/PV	G _{10°/10'} , Pa	Kf
60℃	9.4	19.5	14	5.5	0.39	2.5/3.5	0.0262
120℃/16h	11.8	11	8	3	0.38	0.8/1	0.0787
140℃/16h	22.5	20	18	2	0.11	0/0.5	0.1051

(4)储层保护评价试验

使用 shx14 井储层(2485.48m)岩心,通过 JHMD-II 高温 高压动态损害评价仪,在温度 60℃左右、损害压差 3.5Mpa、损害速梯 200s-1 条件下,按照动态损害评价步骤,测定加入不同钻井液的岩心渗透率,对比评价悬浮乳液钻井液的储层保护效果,结果见表 7。可见:悬浮乳液钻井液渗透率恢复值最大,储层保护效果好。

表 7 钻井液动态损害天然岩心试验结果

岩芯序号	钻井液体系	Ko,10 ⁻³ μm ²	Kro,10 ⁻³ μm ²	Krd,%
1#	聚合物钻井液+2%FQ-2	7.01	2.4	34.24
2#	聚合物钻井液+2%LXJ-1	7.8	2.4	30.77
3#	聚合物钻井液+2%RHJ-1	7.3	6.1	83.56
4#	悬浮乳液钻井液+3%QS-2	6.5	5.507	84.72

注: Ko 为污染前油相渗透率、Kro 为污染反排后油相渗透率、Krd=Kro/Ko 为渗透率恢复值。

(5)表面张力

在 60℃恒温下,用 TX500C 全量程界面张力测量仪测定试样表面张力,结果见表 8。可见,加入 1%RHJ-1 的清水表面张力降低近 50%,悬浮乳液钻井液滤液的表面张力明显小于聚合醇钻井液滤液。表明,悬浮乳液钻井液能减小毛管阻力,滤液易于返排,能降低水锁损害。

表 8 表面张力试验

试样	清水	1.0%RHJ-1 溶液	悬浮乳液钻井液滤液	聚合醇钻井液滤液
表面张力,mN/m	72	38	39	45

(6)体系荧光测试

取悬浮乳液钻井液 0.5g 用 50ml 氯仿溶解,摇晃均匀静置 12h,萃取 5ml 溶液直照荧光级别为 3 级,体系荧光级别低,符合地质录井要求。

3 现场应用与效果评价

3.1 现场应用

悬浮乳液钻井液技术今年在江苏油田 Sh14p2、Sh14p3、W2p3 和 W2p4 井中成功应用，4 口试验井的基本情况见表 9。

表 9 悬浮乳液钻井液试验水平井的基本情况

井号	井深,m	井斜,°	水平段长,m	水平段水眼粘度, mPa.s	水平段摩阻,t	钻井液体系	备注
W2p1	2008	92	335	14.5-16	8-10	正电胶混油钻井液	对比井
W2p2	1939	93.9	232	13-15	6-8	正电胶混油钻井液	对比井
W2p3	2009	91.34	384	12-14	4-5	悬浮乳液钻井液	试验井
W2p4	1888	93.2	306	12.5-14	4-6	悬浮乳液钻井液	试验井
Sh14p1	2530	91.9	372	14-16	9-10	正电胶乳化石蜡钻井液	对比井
Sh14p2	2710	91.5	427	12.8-14.6	5-9	悬浮乳液钻井液	试验井
Sh14p3	2625	93.4	447.23	13-14.8	6-10	悬浮乳液钻井液	试验井

这 4 口试验水平井均采用三开制井身结构，一开用Φ425 钻头钻完一开井深，下Φ339.7 表层套管 65~85m 后，用Φ311.1 钻头钻完二开井深，下入Φ244.5 技术套管 650~750m，最后用Φ215.9 钻头钻至完钻，下入Φ139.7 油层套管完井。W2 块井深在 2000m 左右，双靶点，Sh14 块井深在 2600m 上下，三靶点，井斜均在 91 度以上，水平段长达 400m 以上，尤其是 Sh14p3 井，造斜率高达 30°/100m，直-增-稳-增-降-平六段制轨道，且 B、C 靶点垂直高差达 18.2m(设计是 28m)，靶体要求纵向不得超出±0.5m，横向不得超出±5m，井眼轨迹控制难度大。

W2 块的目的层是 E1f2 和 E1f1，中孔-中低渗，强水敏储层；Sh14 块的目的层是 E2d1，为高孔-中高渗储层。这两个丛式井组的井场邻近河道与鱼塘，环境保护要求苛刻。根据目

标井的地理环境和储层特点以及井眼轨迹特殊性，结合室内研究，决定选用对环境无影响，具有突出的润滑和保护油气层功能的悬浮乳液钻井液进行钻井施工，以满足该井安全钻井和保护储层、保护环境的需要。

现场施工措施的重点是：一开用清水钻进，丛式井用老浆钻进。二开用般土浆配加少量聚合物钻进。三开转换成悬浮乳液钻井液，转换前，清除循环系统内的沉砂，降低钻井液中的固相含量，一次性加入 0.1%-0.2%DS-301 和 0.5%-0.6%NH4-HPAN，钻进过程中，定期补充聚合物胶液，根据震动筛上钻屑的水化分散情况和性能监测数据，增减聚合物的加量，确保钻井液的包被抑制性能，定向成功后，加入 0.5t RHJ-1，钻井过程中每钻进 50-100m 或 24h，添加 RHJ-1 0.3~0.5t，井斜小于 50 度时，RHJ-1 含量达 1%~2%，井斜在 50~80 度，RHJ-1 含量达 2%以上，井斜大于 80 度至水平段，RHJ-1 含量达 2%~3%，泥饼粘滞系数均在 0.08 以下，钻具提升摩阻在 10t 以下，还根据钻井液动塑比和切力大小，配加适量 PMHA- II 和 MMF- I，提高钻井液的携岩能力，试验井钻井液表现出良好的润滑性、包被抑制性和悬浮携带性能，全井作业顺利。从表 10 Sh14p2 井大斜度段至水平段钻井液性能数据，可见，钻井液性能稳定。

表 10 Sh14p2 试验井部分井段钻井液性能

井深 m	ρg/cm ³	FV s	AV mPa.s	PV mPa.s	YP Pa	YP PV	η∞m Pa.s	G _{10³/10³} Pa	FL ml	砂量 %	PH	提升 摩阻,t
1992	1.14	42	22.5	17	5.5	0.32	15.03	1/3	5.2	0.2	8	4-6
2041	1.13	43	26.5	19	7.5	0.39	15.36	1.5/4	5.2	0.2	8	4-6
2090	1.13	45	23	17	6	0.35	14.41	1/3	5.0	0.2	8	4-6
2144	1.13	43	22	16	6	0.38	14.34	1/3	5.6	0.2	9	5-8
2204	1.14	49	24	17	7	0.41	13.33	2/4	5.2	0.2	8	5-8
2266	1.14	49	24.5	18	6.5	0.36	12.85	2/8	5.0	0.2	8	7-9

3.2 效果评价

表 11 试验井与邻井钻井指标对比

井号	钻井	电测一次成功率,%	复杂时效,%	钻井周期	平均机械钻速,m/h	备注
W2p1	顺利	100	0	25d8h	6.58	对比井
W2p2	顺利	100	0	24d8h	6.28	对比井
平均	顺利	100	0	24d20h	6.43	对比井
W2p3	顺利	100	0	18d5h(-6d15h)	10.08 (+56.77%)	试验井
W2p4	顺利	100	0	21d7h(-3d13h)	7.91 (+23.02%)	试验井
Sh14p1	顺利	100	0	27d10h	7.12	对比井
Sh14p2	顺利	100	0	24d2h(-3d8h)	7.73(+8.57%)	试验井
Sh14p3	顺利	100	0	27d1h(-9h)	7.17(+0.7%)	试验井

由表 11 现场统计效果可见，试验水平井钻井作业、完井电测、下套管顺利，大斜度和水平段摩阻和水眼粘度相对较小，为提高钻速、缩短周期创造了有利条件，韦 2 块钻井周期缩短 3-6d、平均机械钻速提高 23%~56%；邵 14 块钻井周期缩短 9h~3d8h、平均机械钻速提高 0.7%~8.57%，节约原油消耗 140 多吨，累计控制有害钻井废弃物产生量 1200 多方，钻井成效显著。该技术解决了 13 年来江苏油田水平井长期使用原油润滑，钻井液不能满足环保要求的技术瓶颈问题。

4 认识

(1) 悬浮乳液钻井液体系的流变性好、携岩能力强、润滑性能突出，荧光级别低，不影响地质录井，有利于油气层发现，是一种性能优越的水基钻井液，能满足水平井钻井的性

能需求。

（2）乳化石蜡润滑剂用量少，见效快，使用简单，深受施工单位的欢迎。但现场使用时应以“少食多餐”方式加入，避免钻井液起泡现象发生。

（3）由渗透率恢复值试验得出：悬浮乳液钻井液动态污染岩心渗透率恢复值明显高于其它钻井液的，具有较好的储层保护效果。该配方体系滤液的表面张力低，能减小毛管阻力，滤液易于返排，减小水锁损害，有利于低渗透储层的保护。

（4）悬浮乳液钻井液的应用，不仅能减少原油消耗，提高大斜度段和水平段的润滑防卡能力，降低水平井钻井复杂，而且控制有害废弃钻井液的产生量，有利于保护环境，为江苏水乡油田水平井探索出了一条新的技术途径。

参考文献

[1] 蓝强，苏长明等.乳液和乳化技术及其在钻井液完井液中的应用. 钻井液与完井液，2006，23(2)

[2] 袁丽，郭祥鹃，王宝田. 钻井液用纳米乳液 RL-2 的研究与应用. 钻井液与完井液，2005，22(6)