

东海无固相钻开液体系优化研究

朱胜

中海石油（中国）有限公司上海分公司 上海 200335

【摘要】：东海地区存在诸多大型的低孔渗油气田，储层大多埋藏较深，地层岩性均质性差，且由于此类低孔渗油气藏地层岩性致密，孔隙度小，毛细管压力和渗流阻力大，使得外来液体侵入后返排困难，同时易产生水锁及水敏等损害，对储层损害十分敏感，是目前制约其开发的一个重要瓶颈。EZF 无固相钻开液体系是东海地区目前主要应用的成熟体系，使用效果和经济性良好。为满足东海井深日益增加的高温、低压、低孔渗深井的储层保护需求，同时保证钻井工程安全，通过实验对现有无固相钻开液进一步优化研究，优化后的体系的抗温性能、流变性能、滤失性和渗透率恢复性能更优，更有利于东海地区低孔渗储层的储层保护。

【关键词】：低孔渗油气田；高温深井；无固相；钻开液；储层保护

东海地区近年来低渗储层的勘探不断突破，发现了一批大型低孔低渗天然气田，其中西湖凹陷区块花港组中下段、平湖组储层普遍为低孔低渗或低孔特低渗储层；此类储层水锁伤害潜在性大，且受固相侵入而发生的储层伤害更为严重。低孔渗油气藏由于地层岩性致密，孔隙度小，毛细管压力和渗流阻力大，使得外来液体侵入后返排困难，同时易产生水锁及水敏等损害，对储层损害十分敏感，是目前制约其开发的一个重要瓶颈^[1]。

此外，东海的油气构造中花港组下段和平湖组中上段部分层位伊蒙混层、蒙脱石和绿泥石含量较多，部分层位粘土含量局部达到 30%~50%，且粘土中伊蒙混层高达 40%~70%，此类储层水敏损害较为严重，钻开液需要有较强的封堵、抑制和防水锁性能。

1 东海地区储层特征引起的伤害源

分析东海低孔渗储层特征，主要为中中孔低渗，低孔低渗，储层物性差，孔隙结构参数一般，泥灰质胶结细砂、粉砂岩为主，该类储层的损害特征主要有以下几点：。

（1）固相侵入

中孔低渗和低孔低渗类储层的物性差，大部分孔隙孔喉弯曲度大，连通性一般，在一定程度上降低了对储层损害的承受能力，对各种敏感性因素的损害程度加剧，且易受外来固相侵入的损害。而在中孔低渗、低孔低渗类储集层中，孔隙度高而孔隙半径很小，固相侵入使此类储层易于伤害。

当钻井完井液中的固相粒子与岩石孔喉不匹配时，固相可以侵入储层内，造成钻井液漏失，导致形成泥饼的时间延续较长，从而引发一切与滤液侵入有关的各种类型的地层损害。固相粒子与储层不匹配时，尤其是大量粘土级固相侵入

储层，相当于在近井地带砂岩中额外加入粘土基质，而后试油时较大压差作用下，进一步压实，必将引起高的表皮系数。

（2）应力敏感性损害

研究区块油层具有正常压力系统，最大主应力方向为垂向，当仅考虑由上覆负荷引起的有效应力时， $\sigma = S - P$ ，其中总应力（S）保持不变，孔隙流体压力（P）的变化将使 σ 增大或减小，大量的室内试验和生产实践表明，有效应力增加，渗透率持续下降，至某一临界值后，下降幅度趋于平缓

2 东海地区无固相钻开液体系优化

东海地区目前使用的无固相钻开液体系（EZF）已应用多年，取得了较好的应用效果；随着开发井深增加，温度高、密度窗低的温压特征需要对现有钻开液体系进一步优化，以提高体系抗温性和储层保护性能，满足东海井深日益增加的高温深井的作业需求。

2.1 加重方式优化

EZF 体系加重材料为常用无机和有机盐，研究表明，甲酸盐的加入可以有效提高体系抗温性能，室内对比评价了氯化钠和甲酸钠加重对体系的性能影响。

基本配方：海水+0.2%Na₂CO₃+0.3%NaOH+0.7%EZVIS+2.5%EZFLO+2%JLX-C+5%KCl+8%EZCARB(165目)+加重至1.2g/cm³。

实验条件：135℃老化 16h，50℃测试流变性。

表 1 EZF 体系配方优化后性能数据

加重方式	状态	AV (mPa·s)	PV (mPa·s)	YP (mPa·s)	Φ_6/Φ_3	LSRV (mPa·s)	FL _{API}	pH
NaCl 加重	滚前	34	14	20	21/19		8.4	
	滚后	25	16	9	4/3	13260	3.4	8
HCOONa 加重	滚前	32	13	19	19/17		7.8	
	滚后	27	15	12	10/8	26352	2.8	8

从实验结果可以看出,甲酸钠的加入可以有效提高体系抗温性能,高温老化后3转数值显著提高,且具有更高的低剪切速率粘度,能进一步提高携岩能力,有效防止岩屑床的产生。同时,甲酸盐复合加重,体系滤失量更低,可以进一步降低因为钻开液滤液对地层的伤害。

2.2 防水锁剂 SATRO 性能影响评价

对于低渗储层,主要从两个方面出发来优化体系储层保护性能。一是改变加重方式,将原来的无机盐加重剂氯化钾换成具有更好封堵性能的有机盐加重剂甲酸钠;二是尽量降低钻开液表面张力,进一步减小滤液对储层的水锁伤害,配方中提高防水锁剂 SATRO 加量。

评价了防水锁剂 SATRO 对体系性能影响,结果如表2所示。

表2 SATRO 加量对体系性能影响评价

SATRO (%)	状态	AV (mPa·s)	PV (mPa·s)	YP (mPa·s)	Φ_6/Φ_3	LSRV (mPa·s)	FL _{API}	pH
0	滚前	32	13	19	18/15			
	滚后	26	15	11	9/8	28131	2.6	8
0.5	滚前	33	15	18	19/17			
	滚后	26	15	12	10/8	23582	2.8	8
1.0	滚前	32	13	19	19/17			
	滚后	27	15	12	10/8	27453	2.6	8
1.5	滚前	32	13	19	19/17			
	滚后	27	15	12	10/8	26352	2.8	8
2.0	滚前	35	15	20	21/19			
	滚后	28	15	13	11/9	27125	2.4	8

从实验结果可以看出,防水锁剂 SATRO 对体系流变性影响不大,随加量增加,粘切变化不大,对失水也影响不大;但随着 SATRO 加量不断增高,也会伴随着起泡越来越多,建议现场准备一定量的消泡剂。

根据以上评价确定 EZF 钻开液体系优化配方为:海水+0.2%Na₂CO₃+0.3%NaOH+0.7%EZVIS+2.5%EZFLO+2%PF-JLX-C+5%KCl+8%EZCARB(165目)+1-1.5% SATRO+HCOONa 加重至1.2g/cm³。

2.3 EZFLOW 体系优化后配方综合性能评价

室内评价了优化后的 EZF 体系的抗温、加重、抗侵污、封堵、抑制性与润滑性等性能。

2.3.1 抗温性能评价

一般情况下,由于钻开液体系均由天然化合物组成,随

着温度升高,会导致聚合物降解,导致钻井液体系的粘度降低,室内评价了不同温度下非破胶钻开液体系热滚 16h 前后的流变性能。热滚前后性能测定结果见表。

表3 EZF 体系抗温性能评价

老化温度 (℃)	状态	AV (mPa·s)	PV (mPa·s)	YP (Pa)	Φ_6/Φ_3	FL _{API} (ml)	LSRV (mPa·s)
	滚前	32	13	19	19/17		
100	滚后	33	13	17	16/14	2.8	44170
120	滚后	30	14	16	13/11	2.6	36820
135	滚后	27	15	12	10/8	2.6	26352
145	滚后	25	16	9	6/4	2.8	12280

从以上实验结果中可以看出,无论在 100℃还是在 135℃热滚后,体系的性能都较为稳定,说明非破胶钻井液体系具有较好的温度适应性,能够满足不同层位,不同井段和不同温度的储层钻井作业需求,相同的配方及加量在 145℃老化后粘度有所下降,但可以通过增加增粘剂 EZVIS 来调整其性能满足要求。

2.3.2 不同密度下的性能

在钻井过程中,为了平衡地层压力,就必须具有足够的液柱压力,因此,钻井液的密度就必须达到一定的范围,而一个好的钻井液体系的加重性能决定了体系的稳定性,加重剂对体系性能的影响直接决定了体系的稳定,尤其是对于钻井液的温度影响较大。室内对非破胶钻井液体系的在不同密度下的性能进行了分析。

室内评价了采用 KCl 和 HCOONa 复合加重后的的体系在不同密度下的性能。

表4 EZF 体系密度变化评价

密度 (g/cm ³)	状态	AV (mPa·s)	PV (mPa·s)	YP (Pa)	Φ_6/Φ_3	FL _{API} (ml)
未加重	滚前	36	15	21	23/21	
	滚后	26	17	9	4/3	5.8
1.10	滚前	35	16	19	21/19	
	滚后	28	16	12	8/6	3.4
1.20	滚前	32	13	19	19/17	
	滚后	27	15	12	10/8	2.8
1.30	滚前	33	17	16	16/14	
	滚后	30	15	15	12/11	2.4

从表中数据可以看出,随着密度的增大,体系总体性能变化不大,说明该体系能在各种地层压力下进行施工。不加重情况下,由于没有加甲酸钠,体系抗温会稍差点,粘切偏低。

3. 结论及建议

针对东海地区目前开发的层位和主要井型，在资料调研与室内评价的基础上，对 EZF 体系及储层保护进行了优化研究与评价：

1、对 EZF 钻开液体系配方进行了优化，优化配方如下：

海水+0.2%Na₂CO₃+0.3%NaOH+0.7%EZVIS+2.5%EZFLO+2%JLXC+5%KCl+8%PF-EZCARB(165 目) +1-1.5%SATRO+HCOONa 加重

至 1.2g/cm³；

2、优化后的 EZF 钻开液体系具有较好的抗温性能、流变性能、适中的低剪切速率粘度、较低的滤失性能、较好的抑制性能和润滑性能，能够满足低孔渗储层钻长水平段水平井安全钻进的要求；

3、优化后的 EZF 钻开液体系在低渗岩心上，在直接返排的情况下，其渗透率恢复值可以达到 85%以上，采用双效完井液完井，渗透率恢复值可以达到 90%以上。

参考文献：

- [1] 杨甲明. 中国近海天然气资源[J]. 中国海上油气（地质），2000，14（5）:300-305.
- [2] 张海山. 东海地区低孔低渗储层低自由水钻井液体系研究与应用[J]. 中国海上油气，2013，25（2）：71-72.
- [3] 吴若宁，熊汉桥，苏晓明，等.成膜封堵技术室内实验研究[J].油气藏评价与开发，2018，8（6）：57-61..

作者简介：朱胜，1985 年 10 月 19 日生，中级工程师，硕士，2013 年毕业于长江大学油气井工程专业，现从事海上油气勘探开发的钻完井工程技术工作。