

高性能水基钻井液研究及应用

吕开河¹¹ 王树永² 徐先国³ 张歧安³

(1、中国石油大学, 山东东营, 257061; 2、胜利石油管理局黄河钻井总公司, 山东东营, 257053; 3、西部钻探准东钻井泥浆公司, 新疆阜康准东, 831511)

摘 要: 高性能水基钻井液是近年来国内外钻井液新技术的热点。本文对胺基聚醇 AP-1 和铝聚合物 DLP-1 的防塌能力及对钻井液性能的影响进行了评价, 在此基础上通过配方优选, 优选出了不同介质条件下的高性能水基钻井液配方, 并进行了现场应用。室内研究及现场应用证明, 铝基聚合物表现出一定的降粘和降滤失作用, 能有效抑制粘土的水化膨胀; 胺基聚醇对钻井液粘度、切力和滤失量影响不大, 就具有优良的页岩抑制性; 高性能水基钻井液具有良好的流变性能、滤失性能, 抑制性能好, 抗污染能力强, 综合性能优良, 对解决因水化不均匀或微裂缝发育导致的井壁不稳定具有良好的效果。

0 前言

高性能水基钻井液又称胺基钻井液(Amine-based mud), 在国外应用较广。高性能水基钻井液主要由页岩抑制剂、包被剂、分散剂和降滤失剂组成, 其实质是应用了一种新的阳离子胺基聚合物和一种铝基聚合物。该钻井液有更高的抑制能力和防泥包能力, 符合环保要求, 并具有成膜作用, 其效果与油基钻井液相当, 该体系可以认为是替代油基钻井液且又能安全钻进的一类性能更高的水基钻井液。

1 高性能水基钻井液防塌机理

(1) 强抑制作用

胺基聚醇有独特的分子结构, 可充填在粘土层间, 并把它们束缚在一起, 有效地减少粘土的吸水倾向; 胺分子通过金属阳离子吸附在粘土表面, 或者是在离子交换中取代了金属阳离子形成了对粘土的束缚。

(2) 减弱孔隙压力传递

保持井壁稳定最重要的因素是阻止钻井液侵入页岩基质中, 同时保持静液柱压力对井壁的支撑。就页岩稳定性而言, 一种理想的钻井液应该是无侵入的流体。铝基聚合物是通过其沉淀过程来控制孔隙压力传递。在钻井液体系的正常pH 值条件下, 这种聚合物是可溶的, 而当其进入页岩后, 由于pH 值的降低便会生成沉淀。

(3) 半透膜稳定井壁机理

高性能水基钻井液可在力学封堵和化学沉淀的共同作用下形成选择性半透膜, 这样可降低页岩的渗透率。资料证明, 20%NaCl 和氢氧化铝络合物能延缓孔隙压力的传递, 高性能水基钻井液的情况是地层孔隙压力随着时间的增加而减小, 这表明页岩孔隙中的流体单向流入了高性能水基钻井液中。这种地层压力的降低, 得益于高性能水基钻井液比传统的WBM 体系具有更高的膜效率。

2 铝基聚合物和胺基聚醇性能评价

2.1 铝基聚合物 DLP-1 性能评价

作者简介: 吕开河, 男, 1970 年12 月生, 博士, 副教授, 油田化学系副主任, 主要从事井壁稳定、油气层保护及油田化学剂开发方面的工作。Email :lvkaihe @vip. sina. com

2.1.1 对钻井液性能影响评价

分别测定 DLP-1 对 4%膨润土浆在室温及 120℃温度下老化 16h 后的性能影响，实验结果见表 1。

表 1 DLP-1 对钻井液性能影响实验结果

序号	DLP-1 加量 %	AV mPa·s	PV mPa·s	YP Pa	FL mL	备注
1	0	12	5	7	18.8	室温
		10.5	6	4.5	23	120℃\16h
2	1	8	7	1	15	室温
		4.5	4	0.5	16	120℃\16h
3	2	6.5	6	0.5	16.4	室温
		3.5	3	0.5	11	120℃\16h
4	3	6	6	0	14.8	室温
		5	5	0	12	120℃\16h
5	4	7	6	1	15	室温
		6.5	6	0.5	11	120℃\16h
6	5	8	7	1	13.2	室温
		7	6	1	11	120℃\16h

由表1可以看出，随DLP-1加量的增加，钻井液粘度、切力和滤失量降低，DLP-1表现出一定的降粘和降滤失作用。

2.1.2 防塌性能评价

利用页岩滚动回收率和膨胀实验，对DLP-1的防塌性能进行了评价，实验结果见表2和表3。

表 2 滚动分散实验结果

试液	回收岩屑质量, g	回收率, %
水	18.24	36.5
2%DLP-1	23.57	47.1

表 3 膨胀实验结果

试液	8h 膨胀率, %
水	29.2
5%KCl	28.1
3%水玻璃	32.8
2%DLP-1	15.4

由表和表3可以看出，铝基聚合物DLP-1对岩屑的分散也具有一定的抑制作用，能有效抑制粘土的水化膨胀、分散。

2.2 胺基聚醇防塌剂 AP-1 性能评价

2.2.1 对钻井液性能影响评价

分别测定AP-1对4％膨润土浆在室温及120℃温度下老化16h后的性能，实验结果见表4。

表 4 对钻井液性能影响

钻井液	AV	PV	YP	FL	备注
	mPa·s	mPa·s	Pa	mL	
基浆	12.5	5	7.5	22	常温
	12.5	4	8.5	33.6	120℃
基浆+0.5%胺基聚醇 AP-1	11.5	5	6.5	24	常温
	7.5	5	2.5	23.2	120℃
基浆+1%胺基聚醇 AP-1	10.5	4	6.5	22	常温
	7	5	2	22.8	120℃
基浆+0.5%有机胺(国外)	52.5	20	32.5	70	常温
	13	11	2	46	120℃
基浆+1%有机胺(国外)	54	15	39	114	常温
	15.5	12	3.5	126	120℃

由表4可以看出，AP-1对钻井液的粘度、API失水基本没有影响；而国外的产品对粘土浆严重絮凝，导致粘度、API失水大增，且严重发泡。

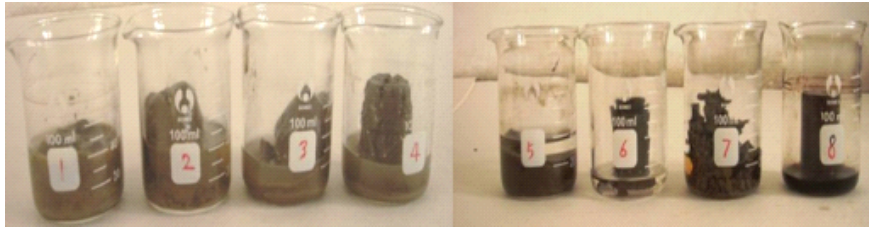
2.2.2 防塌性能评价

利用页岩滚动回收率实验和岩心浸泡实验，对AP-1的防塌性能进行了评价，实验结果见表5和图1。

表 5 岩屑回收率实验结果

序号	试验液	岩屑回收率		
		一次	二次	三次
1	水	40.82	17.74	8.98
2	1.5%多元醇	64.14	45.76	32.5
3	1.5%聚醚	48.04	25.28	13.46
4	1.5%AP-1	78.96	66.48	51.66
6	7%NaCl	36.06	18.76	11.1
7	7%KCl	64.52	34.16	21.86
8	7%水玻璃	75.42	41.26	31.12
9	3%水玻璃	75.6	41.46	21.32
10	1%AP-1+3%DLP-1	77.8	58.6	35.74
11	1.5% AP-1+5%KCl	69.24	54.44	37.46

由表5可以看出，AP-1溶液具有极高页岩回收率，特别是二次回收率和三次回收率均较高，表明其具有良好的抑制页岩膨胀作用的同时，由于阳离子的作用其再泥页岩上的吸附也非常牢固，有利于井壁的长期稳定。



1#: 水； 2#: 3%多元醇； 3#: 3%聚醚； 4#: 3%AP-1； 5#: 7%氯化钠； 6#: 7%氯化钾； 7#: 7%水玻璃； 8#: 3% DLP-1

图 1 岩心浸泡实验图片（48 小时状态）

由图1可以看出，对比岩心浸泡实验现象可以判断，相对而言，AP-1和DLP-1稳定岩心效果较好，能有效抑制岩心的坍塌。

3 高性能水基钻井液配方

通过大量实验，在合成出胺基聚醇、铝基聚合物和磺酸盐共聚物几种新产品，以此为主处理剂研制开发出了高性能水基钻井完井液。高性能水基钻井完井液配方主要组成：基浆+PAM + AP-1(胺基聚醇)+ DLP-1(铝基聚合物) + WNP-2(天然高分子降滤失剂) + DSP-2(磺酸盐共聚物降滤失剂)。高性能水基钻井液几种典型配方及性能见表6。

表 6 几种高性能水基钻井液典型配方及性能

配方	ρ g/cm ³	AV mPa.s	PV mPa.s	YP Pa	FL _{API} mL	FL _{HHP} mL	备注
水 +0.1%PAM+0.8%DSP-2+0.5%AP-1+1.5%WNP-1+3%WNP-2+0.5%DF+5%QS-2	1.05	44.5	33	11.5	4.4		室温
		38.5	27	11.5	5		100℃/16h
3%土浆+0.1%PAM+0.5%AP-1+2%WNP-2+0.5%DSP-2+1% DLP-1+5%QS-2+青石粉	1.20	47	34	13	5.0		室温
		57	38	19	3.2	14.5	120℃/16h
3%土浆+0.8%DSP-2+0.5%AP-1+2%WNP-2+6%FF-II+6%SMP-II+25%NaCl+5%KCl+重晶石	2.0	130	115	15	1.2		室温
		95	75	20	0.8	9.0	120℃/16h
3%土浆+1%DSP-2+0.5%AP-1+2%WNP-2+8%FF-II+6%SMP-II+25%NaCl+5%KCl+重晶石	2.0	135	112	23	1.2		室温
		100	74	26	1.2	12	150℃/16h
海水+0.25%纯碱+5%钙土+0.5%AP-1+1.5%DSP-2+4%WNP-2+青石粉	1.22	70.5	56	14.5	4.8		室温
		73	57	16	1.6	8.0	120℃/16h
海水+0.25%纯碱+5%钙土+0.5%AP-1+1.0%DSP-2+2%WNP-2+1.5%WNP-1+重晶石	1.60	90.5	71	19.5	4.0		室温
		73.5	58	15.5	2.4	13.0	120℃/16h

由表6可以看出，以胺基聚醇上述配方具有良好的抗高温降滤失性能，可分别作为无固相钻井完井液、淡水钻井完井液、高密度盐水钻井及海水钻井液使用。配方抗污染实验结果见表7。

表 7 配方抗污染实验

2# 配方	D g/cm ³	AV mPa.s	PV mPa.s	YP Pa	FL _{API} mL	备注
3%土浆+0.1%PAM+ 0.5%AP-1+2%WNP-2 +0.5%DSP-2+1%DLP-1 +5%QS-2+青石粉	1.20	47	34	13	5.0	室温
		57	38	19	3.2	120℃/16h
3%土浆+0.1%PAM+0.5% AP-1+0.5%DSP-2+2% WNP-2+1%DLP-1+5% QS-2+青石粉+3%岩屑粉	1.20	42.5	29	13.5	7.2	室温
		65	32	33	4.4	120℃/16h
3%土浆+0.1%PAM+0.5% AP-1+0.5%DSP-2+2% WNP-1+1%DLP-1+5% QS-2+青石粉+6%岩屑粉	1.20	45	28	17	8.0	室温
		50	28	22	2.4	120℃/16h
3%土浆+0.1%PAM+0.5% AP-1+0.5%DSP-2+2% WNP-1+1%DLP-1+5% QS-2+青石粉+0.5%石膏	1.20	38	30	8	7.6	室温
		45	28	17	3.6	120℃/16h
3%土浆+0.1%PAM+0.5% AP-1+0.5%DSP-2+2% WNP-1+1%DLP-1+5% QS-2+青石粉+1%石膏	1.20	52.5	7	45.5	9.6	室温
		47.5	21	26.5	5.0	120℃/16h

由表 7 可以看出，加入岩屑粉和石膏后，钻井液回性能变化不大，说明高性能水基钻井液具有较强的抗膨润土污染的能力。

4 高性能水基钻井液现场应用

在室内研究的基础上，铝胺高性能水基钻井液进行了现场应用。现场实验应用证明，高性能水基钻井液对解决因水化不均匀或微裂缝发育导致的井壁不稳定具有良好的效果。

4.1 在营 72-平 2 井的实验应用

营 72-平 2 井位于济阳坳陷东营凹陷中央隆起带，是开发沙三段的一口水平井，设计井深 3703m，244.5mm 技术套管下深 2300m。三开后因严重井塌无法施工被迫填井侧钻，填井水泥至技术套管内，自套管鞋下部侧钻。再次三开发现掉块后，先后采取严格控制钻井液失水，提高沥青粉（软化点 100℃-130℃）加量到 5%，增加用聚合醇防塌剂，并适当提高钻井液密度等措施，效果均不明显。并且钻井液密度达到 1.45g/cm³ 后出现粘卡严重的现象，影响施工安全。钻至 2920m 井塌现象已非常严重，影响到施工安全，为了解决井壁稳定问题，决定将钻井液转换为铝胺高性能水基钻井液。

现场加入 0.5%的胺基聚醇和 1%的铝基聚合物，转化完后第一个循环周掉块明显减少，

第二循环周掉块消失，起下钻顺利。但在旋转钻进时还有少量掉块，下钻到底会返出部分掉块，说明钻具碰撞对井壁稳定影响较大。应用该钻井液体系本井顺利钻至设计井深，完井作业顺利。各段钻井液性能见表 8。

表 8 转换铝胺钻井液后钻井液性能表

井深 m	ρ g/cm ³	FV s	FL ml	PV mP.s	YP Pa	Gel Pa/Pa	FL _{HTHP} ml
2955	1.43	49	2.8	25	6.5	3/13	13
3115	1.45	53	2.4	21	13	5/14	12
3308	1.42	54	2.4	20	17	5/8	9
3438	1.45	79	2.0	32	30	5/12	6.5

4.2 在辛 176-斜 12 井的应用

辛 176-斜 12 井是一口位于济阳坳陷东营凹陷中央隆起带，是开发沙三段的三开定向井，设计井深 3433.78m，244.5mm 技术套管下深 2980m。本井三开后一直存在井壁坍塌掉块现象，与其它大部分井沙三段泥岩地层掉块不同的是，本井钻屑、掉块岩性软、分散性强，清水回收率低。钻井过程中严格控制高温高压失水小于 10ml，加入大量沥青类封堵防塌材料，效果不明显，一直存在起下钻阻卡、划眼等问题。由于油气显示不好，甲方要求套管开窗测钻，开窗点 2770m。针对原井眼存在的井壁稳定问题，在开窗测钻期间采用了铝胺高性能水基钻井液。开窗测钻后，钻井液性能稳定，动筛返出的砂样清晰，基本无坍塌掉块现象，起下钻正常，顺利钻至 3577m 完钻。

5 结论

- (1) 铝基聚合物防塌剂表现出一定的降粘和降滤失作用，随其加量的增加，钻井液粘度、切力和滤失量降低；能有效抑制粘土的水化膨胀。
- (2) 胺基聚合物防塌剂对钻井液粘度、切力和滤失量影响不大；胺基聚醇AP-1在加量为0.5%时，就具有优良的页岩抑制性，是配制强抑制、高性能水基钻井完井液优良的页岩抑制剂。
- (3) 室内及现场应用证明，高性能水基钻井液具有良好的流变性能、滤失性能，抑制性能好，抗污染能力强，综合性能优良。

参考文献

[1] 杨振杰. 高性能水基钻井液研究进展. 油田化学, 1999, 16 (2): 179-84.

[2] 万仁溥, 罗英俊. 采油技术手册第九分册. 北京: 石油工业出版社, 1998: 12-18

[3] 黄浩清. 安全环保的新型水基钻井液 ULTRADRILL. 钻井液与完井液, 2004, 21(6): 4-7

[4] 孔庆明, 常锋, 孙成春, 等. ULTRADRILL 水基钻井液在张海 502FH 井的应用. 钻井液与完井液, 2006, 23(6): 71-74

[5] 冯文强, 鄢捷年. 独具特色的高性能水基泥浆技术在中东地区的各种应用. 国外钻井技术, 2006, 8(4): 39-48

[6] 李治龙, 钱武鼎. 我国油田泡沫流体应用综述. 石油钻采工艺, 1993, 11 (1) :1-5

[7] 李兆敏, 蔡国琰. 非牛顿流体力学. 山东东营: 石油大学出版社, 2001 :34

- [8] Enright D.P. . A new environmentally safe water-based alternative to oil muds . SPE Drilling Engineering, March 1992.
- [9] Bland R.G . Quality criteria in selecting as alternatives to oil-Based drilling fluid system.. SPE 27141.
- [10] 吴隆杰. 钻井液处理剂胶体化学原理. 成都: 成都科技大学出版社,1992: 3
- [11] 侯万国, 李东祥, 宋淑娥, 等. MMH/ KCl 和 MMH/ $AlCl_3$ 钻井液性能研究。钻井液与完井液, 1997 , 14(1) : 4-8