

川南深层页岩气水平井随钻防漏堵漏技术

何英君 中石化华北石油工程有限公司西部分公司

【摘要】本研究优选出对油基钻井液性能影响较小的三种堵漏材料：聚硅短纤维-1，随钻堵漏剂-2，超细碳酸钙，并进行复配实验，最终得出油基钻井液随钻防漏堵漏配方：硅短纤维-1（1.5%）+随钻堵漏剂-2（1%）+超细碳酸钙（0.5%），形成了油基钻井液随钻防漏堵漏工艺技术，在泸州区块应用7口井，有效地预防渗透性漏失的发生，7口井在四开井段未出现井漏复杂情况。

【关键词】川南地区；深层页岩气水平井；油基钻井液；随钻防漏堵漏

【DOI】 10.12316/j.issn.1674-0831.2022.06.019

川南地区深层页岩气水平井目的层龙马溪组页岩裂缝较发育，天然裂缝以斜缝为主，层理整体较发育，裂缝主要以小缝为主，少量中缝，多数未填充，少量半填充或全填充，从而容易发生微小型漏失或中小型漏失。微漏失导致的钻井液消耗量较大，增大了页岩气井勘探开发的整体成本，地质上对天然裂隙发育层段的漏失预测或漏失压力预测不确定性，制约钻井液密度和随钻堵漏配方的选择，需优选高效油基钻井液封堵材料，形成有效地油基随钻防漏堵漏配方。

一、油基钻井液随钻防漏堵漏材料优选

本次研究为不同加量的六种堵漏材料在油基钻井液体系中的影响，通过测试在油基钻井液中分别加入不同加量的六种惰性堵漏材料后流变性、破乳电压以及渗透滤矢量的变化情况，分析同种材料的不同加量对油基钻井液的影响趋势以及不同材料同种加量对油基钻井液的性能影响，优选出其中效果较好的三种材料进行复配实验，研究油基钻井液在加入不同惰性材料的流变性、破乳电压以及渗透漏失量的变化，得出一个较好的复配体系。

1.纤维堵漏材料优选。实验选择基浆配方为：油水比80：20，主乳2.5%，辅乳3%，润湿剂1.5%，降滤失剂4%，有机土1%，氧化钙1.5%，配方不进行加重。在此基浆条件下分别测定不同实验条件对基浆性能的影响结果。实验中选取了竹纤维与聚硅短纤维作为纤维堵漏材料。

(1)对流变性的影响。不同类型的纤维材料对油基钻井液性能的影响结果。

①聚硅短纤维-1随着加量的增加，对油基钻井液的表观黏度（AV）和塑性黏度（PV）都没有明显的影响，在0.5%、1%、2%的加量时，油基钻井液的动切力（YP）没有改变一直是1.5Pa，但是在3%的加量时，动切力（YP）突然增大到3.0Pa；

②竹纤维随着加量的增加，有明显提升油基钻井液表观黏度（AV）的趋势，但是不影响钻井液的塑性黏度以及动切力；

③两种材料在0.5%到3%的加量下都不影响油基钻井液的流变性。

(2)对电稳定性的影响。不同纤维对基浆电稳定性影响结果见表1。

表1 老化后破乳电压影响

配方	加量	破乳电压					平均值
		566	559	558	551	547	
基浆		566	559	558	551	547	556.2
	0.5%	563	546	524	484	468	517
	1%	535	528	517	500	487	513.4
	2%	575	569	564	539	532	555.8
	3%	696	680	667	636	612	658.2
聚硅短纤维-1	0.5%	634	580	550	536	535	567
	1%	556	536	526	521	511	530
	2%	486	465	462	463	453	465.8
竹纤维	3%	449	443	438	438	430	439.6

由表1实验结果可以看出：

①聚硅短纤维-1和竹纤维不影响油基钻井液的乳化稳定性；②油基钻井液的破乳电压随着聚硅短纤维-1的加量增加呈现出上升趋势，不过在加量为0.5%时，轻微降低了油基钻井液的破乳电压，并且在加量达到3%时，提升破乳电压的效果与2%加量相比更加明显；③竹纤维在0.5%的加量时，有提升破乳电压值，但是随着加量的增加，降低破乳电压的效果尤为明显。

(3)封堵效果评价。纤维封堵效果评价结果见表2。

表2 130℃老化后封堵效果的影响

配方	加量	砂床实验/mm			
		瞬时	10min	20min	30min
基浆		41	44	45	45
	0.5%	15	19	20	20
聚硅短纤维-1	1%	11	15	16	16
	2%	9	10	11	11
	3%	6	6	7	7
竹纤维	0.5%	9	11	14	14
	1%	13	15	15	15
	2%	10	14	17	20
	3%	7	9	12	12

由表2实验结果可以看出：聚硅短纤维-1在0.5%到3%的加量时，随着加量的增加，对油基钻井液的封堵效果越来越好；竹纤维在加量为0.5%时封堵效果效果较好，随着用量从0.5%增加到2%，封堵效果有所下降，而在加到3%

时封堵效果有所提高，但效果并不太好。因此，选用聚硅短纤维-1作为油基钻井液中的较好纤维状堵漏材料。

2.弹性堵漏材料优选。选择了弹性石墨与随钻堵漏剂-2作为弹性堵漏材料。

(1)对流变性影响。弹性石墨与随钻堵漏剂-2对油基钻井液流变性影响结果。

①随钻堵漏剂-2略微降低了油基钻井液的表现黏度(AV)和塑性黏度(PV)，但加量对该两项数值没有影响，在加量为0.5%时不影响油基钻井液的动切力(YP)，但随着加量增加到1%时，动切力(YP)突变到2.6Pa之后不再随着加量增加而变化；

②弹性石墨的加量对油基钻井液的表现黏度和塑性黏度几乎没有影响，但是在0.5%加量时，油基钻井液动切力(YP)有轻微降低，增加到1%时动切力增大到2.6Pa，继续加量到3%时，动切力又降低到2%；

③弹性石墨和随钻堵漏剂-2在0.5%到3%的加量下，对油基钻井液的流变性没有明显影响。

(2)对电稳定性影响

堵漏材料对电稳定性的影响结果。

随着加量的增加，弹性石墨与随钻堵漏剂-2对油基钻井液的破乳电压都有明显的降低，相比之下，随钻堵漏剂-2对破乳电压的降低现象更加明显一些。

(3)封堵效果评价。随钻堵漏材料对老化后油基钻井液封堵效果影响结果见表3。

表3 老化后封堵效果

配方	加量	砂床实验/mm			
		瞬时	10min	20min	30min
基浆		41	44	45	45
	0.5%	32	35	36	36
	1%	26	28	29	29
弹性石墨	2%	18	20	20	21
	3%	20	23	24	24
	0.5%	16	18	19	19
随钻堵漏剂-2	1%	17	17	18	18
	2%	8	12	13	16
	3%	8	9	10	10

随着两种堵漏材料用量的增加，对钻井液的封堵效果更好。在3%时是随钻堵漏剂2材料封堵效果最好的加量。但是弹性石墨在该钻井液中的封堵效果并不理想，最佳用量为2%，当用量超过2%时，封堵效果下降明显，虽有效果但是不如2%加量时效果明显，并且还有降低破乳电压的效果，用量多了反而不好。

两种材料都有降低破乳电压的效果，并且随着加量增加，降低效果相差并不大。但是随着加量的增加，随钻堵漏剂-2的封堵效果大大提升。因此，选用封堵效果更好地随钻堵漏剂-2作为弹性堵漏材料。

3.刚性堵漏材料优选。实验选取了不同目数的碳酸钙作为刚性堵漏材料。

(1)对流变性影响。刚性堵漏材料对老化后油基钻井液流变性影响结果。

①碳酸钙(400目)和超细碳酸钙在0.5%到3%的加量下，对油基钻井液的流变性几乎都没有影响；

②两种材料都有降低油基钻井液表观黏度(AV)的趋势，但是效果并不明显；

③碳酸钙(400目)对油基钻井液的塑性黏度(PV)没有影响，超细碳酸钙对塑性黏度呈现出降低的趋势；

④在碳酸钙加量为0.5%时，油基钻井液的动切力(YP)最大，为3.0Pa，随着加量的增加，动切力值下降；而超细碳酸钙随着加量的增加，油基钻井液的动切力呈现上升的趋势。

(2)对电稳定性影响。刚性堵漏材料对老化后油基钻井液破乳电压影响结果。

①碳酸钙(400目)和超细碳酸钙不影响油基钻井液的电稳定性。随着用量的增加，碳酸钙(400目)呈现出降低破乳电压的趋势，在加量为0.5%和1%时，碳酸钙有提升破乳电压的效果，但是当加量达到2%时，油基钻井液的破乳电压呈现出下降的趋势，在3%的加量时，破乳电压从289.4V突降到169.8V，效果较为明显；

②加入超细碳酸钙的油基钻井液的破乳电压，随着超细碳酸钙加量的增加一直呈现上升的趋势，但提升破乳电压的效果并不明显。

(3)封堵效果评价。刚性堵漏材料对老化后油基钻井液封堵效果影响结果见表4。

表4 老化后封堵效果

配方	加量	砂床实验/mm			
		瞬时	10min	20min	30min
基浆		41	44	45	45
	0.5%	20	24	26	28
	1%	23	28	33	36
碳酸钙	2%	19	20	20	20
	3%	29	30	30	31
	0.5%	20	21	24	24
超细碳酸钙	1%	27	28	28	28
	2%	26	28	29	29
	3%	18	20	21	21

由上表可以看出：碳酸钙(400目)和超细碳酸钙对油基钻井液都有堵漏的效果。碳酸钙(400目)随着用量的增加，直到用量达到2%(8g)时，钻井液的封堵效果是最好的，但是总体的堵漏能力并不好，因此该材料最佳用量即为2%；超细碳酸钙随着用量增加，对钻井液的封堵效果越好。

两种颗粒状堵漏材料都有堵漏的效果，但是效果都不太理想，因此需要和其他堵漏材料复配使用。碳酸钙(400目)有降低油基钻井液破乳电压的效果，而超细碳酸钙有提升破乳电压的效果。因此选择超细碳酸钙作为刚性堵漏材料。

二、复配实验

按照不同的总加量分为6组实验，三种堵漏材料的总加量分别为1%、2%、3%、6%、9%、12%。复配实验结果见表5。

表5 优选堵漏剂复配情况

编号	总加量	聚硅短纤维-1	随钻堵漏剂-2	超细碳酸钙
1#	1%	0.5%	0.33%	0.17%
2#	2%	1%	0.67%	0.33%
3#	3%	1.5%	1%	0.5%
4#	6%	3%	2%	1%
5#	9%	4.5	3	1.5%
6#	12%	6%	4%	2%

1.对流变性影响。三种堵漏材料复配使用对老化后油基钻井液流变性影响结果见表6。

表6 老化后流变性能

编号	旋转粘度计读数						AV mPa.s	PV mPa.s	YP Pa
	Φ600	Φ300	Φ200	Φ100	Φ6	Φ3			
基浆	21	12	10	6	2	2	10.5	9	1.5
1	23	14	11	7	2	2	11.5	9	2.6
2	22	13	10	8	3	2	11	9	2.0
3	21	12	10	7	3	3	10.5	9	1.5
4	22	13	10	7	3	3	11	9	2.0
5	23	14	10	8	4	3	11.5	9	2.6
6	24	13	11	8	3	3	12	11	1.0

由表6可以看出，各组复配加量的配方对油基钻井液的流变性并没有明显的影响。随着总加量的增加，油基钻井液的表现黏度（AV）呈现上升的趋势，而塑性黏度（PV）几乎没有影响。但是在12%的加量时，动切力值达到最小仅为1.0Pa。

2.对电稳定性影响。三种堵漏材料复配使用对老化后油基钻井液破乳电压影响结果见表7。

表7 老化后破乳电压

配方	破乳电压					平均值
	566	559	558	551	547	
基浆	566	559	558	551	547	556.2
1	568	555	549	548	529	549.8
2	570	558	554	544	528	550.8
3	566	562	552	545	531	551.2
4	588	587	571	565	542	570.6
5	550	539	534	531	531	537
6	485	484	474	472	464	475.8

由上表可以看出，三种堵漏材料的总加量在1%时，对油基钻井液的破乳电压有轻微的降低效果，随着三种总加量的增加，直到总加量达到6%时，破乳电压一直呈现上升的趋势。从对油基钻井液破乳电压的影响，可以看出较好的总加量分别为3%和6%，即聚硅短纤维-1加量1.5%、随钻堵漏剂-2加量1%、超细碳酸钙加量0.5%，或聚硅短纤维-1加量3%、随钻堵漏剂-2加量2%、超细碳酸钙加量1%。

3.封堵效果评价

三种堵漏材料复配使用封堵效果见表8。

表8 封堵效果实验数据表

配方	砂床实验/mm			
	瞬时	10min	20min	30min
基浆	41	44	45	45
1#	16	17	18	18
2#	13	14	15	15
3#	8	9	10	12
4#	7	8	9	9
5#	7	10	12	12
6#	8	10	11	11

由上表可以看出：在加量为1%~6%时，随着总加量的增加堵漏效果越来越好，但是当加量达到6%之后，堵漏效果开始下降。然后，3#在30min后达到12mm，4#在30min后达到了9mm，可以看出3#、4#两组的封堵效果相差不大，但是4#的加量更大，花费就更大。因此可以得出，最佳的用量为3#。通过上述对随钻堵漏体系的评价。在总加量为3%和6%时，油基钻井液的破乳电压已经封堵效果是最好的，加量增多以后不仅封堵效果提升不明显，而且破乳电压大幅度降低。当3#、4#两组对比时，两组的堵漏效果相处不大，第四组的破乳电压相比第三组略有提升，但是第四组堵漏材料的总加量为第三组的两倍，花费加倍但堵漏效果没有提升。因此，最佳配方应该为第三组的配方，不仅堵漏效果好，而且节约成本，同时有提升破乳电压的效果。最优堵漏材料复配的配方为：聚硅短纤维-1（1.5%）+随钻堵漏剂-2（1%）+超细碳酸钙（0.5%）。

三、油基钻井液随钻防漏堵漏工艺技术

在水平段钻进过程中，如果预计可能发生渗透性漏失，或者已经发生漏速小于 $2\text{m}^3/\text{h}$ 的轻微渗透性漏失，可以采用防漏体系进行随钻措施。在钻进过程中，聚硅短纤维-1（1.5%）+随钻堵漏剂-2（1%）+超细碳酸钙（0.5%），并每12小时补充刚性堵漏剂，可预防渗透性漏失的发生；若发生轻微渗透性漏失，可适当降低密度和排量，在新钻开地层井壁形成泥饼后会自然停止渗漏；当渗漏停止后可恢复排量；若适度降低排量和密度渗漏依然存在，则推荐在井浆中加入：2~4%超细碳酸钙+2~3%聚硅短纤维-1+0.5~1%随钻堵漏剂-2，小排量循环，并观察钻井液有无渗漏，如无漏失，逐步提高排量，恢复正常钻进。如果继续渗漏，可以继续提高堵漏材料加量，控制钻速，边钻边观察。油基钻井液随钻防漏堵漏工艺技术在四川泸州区块应用7口井，在四开钻进过程中钻井液中加入2~3%刚性堵漏剂和聚硅短纤维-1或0.5~1%随钻堵漏剂-2，并每12h补充刚性堵漏剂，有效地预防渗透性漏失的发生，7口井在四开井段未出现井漏复杂情况。

参考文献：

[1]何骁,李武广,党录瑞,等.深层页岩气开发关键技术难点与攻关方向[J].天然气工业,2021.