

油基钻井液提切剂标准用基浆探讨

韩秀贞^{1,2}

(1.页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室; 2.中石化石油工程技术研究院有限公司)

摘 要: 为了满足高温深井、大斜度定向井、页岩长水平井等复杂井的钻探需求,提高油基钻井液的切力相当重要。目前提切剂产品标准制定不统一,均为各企业标准,且没有统一的基准物,无法对提切剂进行对比分析。收集了6种现场用提切剂,讨论了提切剂评价所需的基浆,为提切剂的检验统一标准基础,同时为提切剂标准的制定提供参考,有利于提切剂质量分析。

关键词: 油基钻井液, 提切剂, 分析, 标准

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2024.08.013

Exploration of Standard Base Mud for Oil-based Drilling Fluid Rheology Modifier

HAN Xiu-zhen^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Shale Oil and Gas Enrichment Mechanisms and Effective Development;
2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering Co., Ltd.)

Abstract: In order to meet the drilling needs of complex wells such as high-temperature deep wells, highly deviated directional wells, and shale long horizontal wells, it is important to improve the shear force of oil-based drilling fluids. At present, the product standards for rheology modifiers are not uniform, which are all enterprise standards without unified reference material. Based on the collected test data of 6 rheology modifiers and experimental data, the required base mud for the evaluation of rheology modifiers is discussed, providing a basis for the inspection of rheology modifiers and reference for the development of rheology modifier standards, which is beneficial for the quality analysis of rheology modifiers.

Keywords: oil-based drilling fluid, rheology modifier, analysis, standard

0 引言

油基钻井液具有抑制性强、抗温性好、利于井壁稳定、润滑性能出众和储层损害程度小等诸多优点,目前已成为页岩气水平井、大斜度定向井

和各种复杂地层的重要手段^[1-8]。油基钻井液如切力不足,会破坏钻井液的稳定性,出现较差的携岩能力,而导致岩屑床出现、卡钻等情况发生。为保证油基钻井液的适当切力,通常需要加入提切剂调节油基钻井液的流变性^[9,10]。目前对于油基钻井

基金项目: 本文受国家自然科学基金企业创新发展联合基金“海相深层高温高压钻完井工程基础理论及控制方法”(项目编号: U19B6003-05)资助。

作者简介: 韩秀贞,博士,副研究员,主要从事钻井液技术研究工作。

液提切剂质量优劣的判断,没有统一的标准。检索到现有油基钻井液提切剂相关标准6项,均为国内各生产企业的企业标准,未见油基钻井液提切剂相关的国家标准与行业标准,且多数标准以各企业生产的有机土、乳化剂为基准物,存在指标不统一、测试方法不一致等问题;另外有些标准只有常温下的性能测试,与实际井下高温提切能力工作环境差别较大。为了更好地对油基钻井液提切剂的技术指标进行有效分析,控制提切剂的质量,有利于油基钻井液技术的发展,笔者收集了不同现场用的6种提切剂及其标准,通过实验讨论了提切剂评价用的基准体系,为提切剂标准的制定提供参考。

1 实验部分

1.1 实验材料

柴油:应符合GB/T 19147中0号柴油指标的要求;氧化钙,无水氯化钙:分析纯;司盘80,十二烷基苯磺酸钠,十二烷基硫酸钠,吐温60,烷基酚聚氧乙烯醚:化学纯;有机土:符合GB/T 27798规定的要求;提切剂、主乳化剂和辅乳化剂:各生产厂家;钻井液用重晶石:符合GB/T 5005规定的密度为4.20g/cm³以上的重晶石粉。

1.2 实验仪器

高速搅拌机: GJS-B12K型或同类产品,负载转速12000r/min±300r/min; 钻井液密度计: 量程

0.80~2.00g/cm³,精度0.01g/cm³;六速旋转黏度计: Fann35型或同类产品,带加热套;电稳定性测定仪: Fann23E型或同类产品;天平: 精度0.01g;温度计: 分度值1.0℃;滚子加热炉: OFITE型或同类产品,控温精度±5℃。

2 实验分析

2.1 简单基浆的选择

油基钻井液通常由基础油、乳化剂、有机土、氯化钙盐水、氧化钙、降滤失剂、重晶石组成。这些成分共同作用,使得油基钻井液在钻井过程中具有良好的稳定性、润滑性和防塌能力。但这些处理剂质量的优劣及相互间的配伍性对提切剂的性能评价产生一定的影响,因此评价提切剂的基准体系越简单越好。

2.1.1 基础油

选用最简单体系作为基浆,首选提切剂在柴油中性能评价。基浆: 柴油。试样浆: 柴油+1%提切剂, 150℃老化16h。按照GB/T 16783.2-2012中规定的方法在50℃下测试流变性能,结果见表1。由表1可知,在基浆中加入1#~6#提切剂,老化前后黏度、切力、破乳电压均没有变化。这说明基础油不能作为基浆判断提切剂性能。

2.1.2 基础油+有机土

基浆: 400mL柴油+4%有机土,试样浆: 基浆

表1 提切剂在基础油中的流变性

编号	配 方	ES/V	R ₆₀₀	R ₃₀₀	R ₆	R ₃	PV/mPa·s	YP/Pa
1	基浆	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
	150℃ /16 h	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
2	基浆+1#	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
	150℃ /16 h	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
3	基浆+2#	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
	150℃ /16 h	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
4	基浆+3#	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
	150℃ /16 h	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
5	基浆+4#	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
	150℃ /16 h	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
6	基浆+5#	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
	150℃ /16 h	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
7	基浆+6#	2047	7	4	1.5	1	3	0.5
	150℃ /16 h	2047	7	4	1.5	1	3	0.5

+1%提切剂, 150℃老化16h, 结果见表2。由表2可知, 2~7号基浆中加入1%提切剂, 150℃老化后基浆的黏度稍微有变化, 但切力均没有提升, 且有机土在底部沉降。可见基础油+有机土不能作为基浆判断提切剂性能。

2.1.3 基础油+有机土+盐水

基浆: 320mL柴油+4%有机土+80mL25% CaCl₂水溶液, 试样浆: 基浆+1%提切剂, 150℃老化16h, 结果见表3。由表3可知, 1号的基浆150℃老化后分层, 底部有机土沉降, 测试数据较低。3号中加入1%2#提切剂, 150℃老化后分层, 底部有机土沉降, 指针来回摆动, 几乎无法测试, 数据不准确。4号中加入1%3#提切剂后, 150℃老化后上部有2cm油析出, 测试数据较低, 数据不准确。2号、5号和6号加入提切剂后底部未发现有机土沉降。但

由于1号基浆老化后分层, 基准数据不准, 无法有效对比。这说明基础油+有机土+盐水不能作为基浆判断提切剂性能。

通过以上实验可看出, 采用柴油+提切剂、柴油+有机土+提切剂和柴油+有机土+盐水+提切剂的配方均无法判断提切剂效果, 因此后面实验, 我们选择加入乳化剂配制成油包水乳状液, 通过加入提切剂前后乳状液体系切力变化情况来判断提切剂效果。

2.2 油包水基浆的选择

2.2.1 试剂类乳化剂

目前市场上油基钻井液常用的乳化剂有1#司盘80, 2#十二烷基硫酸钠, 3#吐温60, 4#烷基酚聚氧乙烯醚, 5#十二烷基苯磺酸钠, 以下实验分别采用互相组合配制基浆, 优选可靠的乳化剂。基浆:

表2 提切剂在基础油+有机土中的流变性

编号	配 方	ES/V	R ₆₀₀	R ₃₀₀	R ₆	R ₃	PV/mPa·s	YP/Pa
1	基浆	2047	10	7	3	3	3	2
	150℃/16 h	2047	9	6	3	2	3	1.5
2	基浆+1%1#	2047	8	5	2	2	3	1
	150℃/16 h	2047	9	6	2	2	3	1.5
3	基浆+1%2#	2047	10	6	2	2	4	1
	150℃/16 h	2047	9	6	2	2	3	1.5
4	基浆+1%3#	2047	9	6	3	3	3	1.5
	150℃/16 h	2047	10.5	6.5	2	2	4	1.25
5	基浆+1%4#	2047	11	7	2	2	4	1.5
	150℃/16 h	2047	9	6	2	2	3	1.5
6	基浆+1%5#	2047	8	5	2	2	3	1
	150℃/16 h	2047	9	6	2	2	3	1.5
7	基浆+1%6#	2047	10	6	2	2	4	1
	150℃/16 h	2047	9	6	2	2	3	1.5

表3 提切剂在基础油+有机土+盐水中的流变性

编号	配 方	ES/V	R ₆₀₀	R ₃₀₀	R ₆	R ₃	PV/mPa·s	YP/Pa	状态
1	基浆	39	32	25	13	8	7	9	老化后分层
	150℃/16 h	12	5	3	1	1	2	0.5	
2	基浆+1#	121	22	14	7	6	8	3	未分层
	150℃/16 h	242	26	15	6	5	11	2	
3	基浆+2#	42	28	21	13	10	7	7	老化后分层
	150℃/16 h	61	22	/	8	8	/	/	
4	基浆+3#	34	32	24	14	10	8	8	老化后上部油析出
	150℃/16 h	28	16	9	1	1	7	1	
5	基浆+4#	34	32	25	17	15	7	9	未分层
	150℃/16 h	392	34	22	9	8	12	5	
6	基浆+5#	212	25	17	5	4	8	4.5	未分层
	150℃/16 h	374	28	18	7	7	10	4	

320mL柴油+4%有机土+80mL25%CaCl₂水溶液+4%乳化剂(二者前后比例为2:1)+1.5%氧化钙+重晶石,密度1.5g/cm³,120℃老化16h,实验结果见表4。由表4可知,上述乳化剂形成的乳状液体系老化后均一,没有沉降。老化后4号配方的流变性较好,破乳电压最高,4号为司盘80和十二烷基苯磺酸钠组合,表明此配方形成的乳状液体系更稳定,适合作为基浆体系。

2.2.2 基浆的优化

(1) 120℃基浆的优化

基浆:320mL柴油+4%有机土+80mL25%CaCl₂水溶液+乳化剂+1.5%氧化钙+重晶石,乳化剂为司盘80和十二烷基苯磺酸钠,比例为2:1,密度1.5g/cm³,通过乳化剂加量优化基浆性能,120℃老化16h,实验结果见表5。由表5可看出,乳化剂加量为4%时切力较低。提高乳化剂加量至12%,破乳电压提高,但切力变化不大,因此需要提高有机土加量。

通过表6的实验结果可看出,5%有机土加量配方较合适。有机土加量越高体系黏度太大,不适

合判断提切剂性能。因此我们采用6%乳化剂和5%有机土的配方评价120℃条件下提切剂性能。

(2) 150℃/180℃基浆的优化

1) 试剂类乳化剂

基浆:320mL柴油+4%有机土+80mL25%CaCl₂水溶液+乳化剂+1.5%氧化钙+重晶石,乳化剂为司盘80和十二烷基苯磺酸钠比例为2:1,密度1.5g/cm³,150℃/180℃老化16h,实验结果见表7和表8。

由表7可知,1号基浆150℃老化后有沉降,底部有1.5cm软泥,加入收集到的6种提切剂后试样浆依旧有1.0cm沉降。其中5号浆老化后几乎不流动,无法测试;7号浆老化后增稠,流动性较小。进一步实验发现,即使加入6%乳化剂和5%有机土,油基钻井液150℃老化后依旧沉降,不适合作为150℃基浆评价用。由表8可知,基浆180℃老化后沉降严重,底部有2cm硬泥,用力才可搅动,加入4种提切剂后油基泥浆依旧有硬泥沉降,切力均为0。

由表7和表8可知,市场上通用的化学品乳化剂

表4 化学试剂类乳化剂优选

编号	配方	ES/V	R ₆₀₀	R ₃₀₀	R ₆	R ₃	PV/mPa·s	YP/Pa	状态
1	1#+2#	356	64	32	2.5	2	32	0	均一
2	1#+3#	432	40	20	2	1	20	0	均一
3	1#+4#	70	50	25	3	2	25	0	均一
4	1#+5#	635	52	26	3	2	26	0	均一
5	2#+3#	406	28	15	2	1	13	0	均一
6	2#+4#	102	36	18	2	1	18	0	均一
7	3#+5#	423	26	13	2	1	13	0	均一
8	4#+5#	104	36	18	2	1	18	0	均一

表5 乳化剂加量对油基测试液流变性的影响

编号	乳化剂加量	ES/V	R ₆₀₀	R ₃₀₀	R ₆	R ₃	PV/mPa·s	YP/Pa
1	4%	635	52	26	3	2	26	0
2	6%	655	51	26	3.5	3	25	0.5
3	8%	673	53	27	3	2.5	26	0.5
4	10%	830	53	27	3	2.5	26	0.5
5	12%	866	69	35	3	2.5	34	0.5

表6 有机土加量对油基测试液流变性的影响

编号	有机土加量	ES/V	R ₆₀₀	R ₃₀₀	R ₆	R ₃	PV/mPa·s	YP/Pa
1	4%	655	51	26	3.5	3	25	0.5
2	5%	788	71	39	7	6	32	3.5
3	6%	1302	107	60	8	7	47	6.5
4	8%	1336	177	105	14	11	72	16.5

司盘80和十二烷基苯磺酸钠作为乳化剂基准物在150℃和180℃老化后均有沉降,即使加入收集到的6种提切剂后,油基泥浆依旧沉降,并且切力也几乎不变。由此可见化学品乳化剂司盘80和十二烷基苯磺酸钠在150℃/180℃老化后不能形成稳定的基浆体系,这是由于试剂类乳化剂司盘80和十二烷基苯磺酸钠不耐高温,150℃以上高温时不能作为基浆用乳化剂,150℃/180℃提切剂评价只能采用抗高温的乳化剂作为基浆体系。

2) 高温乳化剂

优选了2种抗温性能较好的工业化生产的脂肪酸类乳化剂作为基准乳化剂进行评价。实验结果见表9。由表9可知,1#乳化剂配制的基础浆,150℃老化前后性能较好,老化罐内泥浆均一旦底部无沉降,可以作为评价提切剂基础浆;180℃老化后流变性能较好,老化后无沉降,与未老化前及150℃老化后的性能变化大,但破乳电压较低。2#乳化剂配制的基础浆,150℃老化后性能较好,老化罐内泥浆均一旦底部无沉降,可以作为评价提切剂基础浆;180℃老化后流变性能也很好,无沉

降,破乳电压高于700V,适合作为180℃老化后基础浆用。作为评价提切剂性能的基础浆,优选性能比较稳定的2#乳化剂。鉴于试剂类乳化剂不耐高温,可作为120℃提切剂评价用,而各个企业研发的抗高温乳化剂虽然可以抗高温,但工业化乳化剂不能保证每批次的稳定性,建议采用实验室制抗高温乳化剂作为评价用标准物质。

2.3 提切剂评价

2.3.1 120℃评价

基浆: 320mL柴油+5%有机土+80mL25%CaCl₂水溶液+6%乳化剂+1.5%氧化钙+重晶石,乳化剂为司盘80和十二烷基苯磺酸钠比例为2:1,密度1.5g/cm³,试样浆: 基浆+1%提切剂,120℃老化16 h,实验结果见表10。

由表10可知,未加提切剂时基浆切力为3.5Pa,加入1%提切剂后切力升高为4.5~14Pa。6#提切剂加入后塑性黏度和切力显著提升,塑性黏度由32.5 mPa·s提高至52mPa·s,切力由3.5Pa提高至10Pa,切力提高率为185.7%,但动塑比提高率仅为90%,和其他提切剂相比动塑比提升幅度较小。此体系

表7 不同提切剂在油基测试液中的流变性 (150℃老化前后)

编号	配方	ES/V	R ₆₀₀	R ₃₀₀	R ₆	R ₃	PV/mPa·s	YP/Pa	状态
1	基浆	760	45	26	18	12	19	3.5	老化后 沉降
	150℃/16 h	716	43	22	16	9	21	0.5	
2	基浆+1#	1782	81	54	44	34	27	13.5	老化后 沉降
	150℃/16 h	1198	53	30	22	14	23	3.5	
3	基浆+2#	1609	81	56	46	34	25	15.5	老化后 沉降
	150℃/16 h	793	53	28	20	11	25	1.5	
4	基浆+3#	1022	51	32	24	17	19	6.5	老化后 沉降
	150℃/16 h	845	43	22	15	9	21	0.5	
5	基浆+4#	944	66	34	32	23	32	1	老化后 沉降
	150℃/16 h	/	/	/	/	/	/	/	
6	基浆+5#	1260	65	40	30	22	25	7.5	老化后 沉降
	150℃/16 h	572	51	26	17	10	25	0.5	
7	基浆+6#	810	49	25	18	11	24	0.5	老化后 沉降
	150℃/16 h	1260	177	130	108	87	47	41.5	

表8 不同提切剂在油基测试液中的流变性 (180℃老化后)

编号	配方	ES/V	R ₆₀₀	R ₃₀₀	R ₆	R ₃	PV/mPa·s	YP/Pa	状态
1	基浆	262	28	14	2	1	14	0	沉降严重
2	基浆+1#	581	36	18	2	1	18	0	沉降严重
3	基浆+2#	485	30	15	2	1	15	0	沉降严重
4	基浆+3#	510	28	14	2	1	14	0	沉降严重
5	基浆+4#	332	30	15	2	1	15	0	沉降严重

中, 1#、2#和4#提切剂切力提高率和动塑比提高率均大于100%。3#提切剂的切力提高率和动塑比提高率最低, 说明3#提切剂效果最差。考虑到添加提切剂的主要作用是提高油基钻井液的切力, 为与增粘剂等予以区分, 建议提切剂在提高油基钻井液体系切力的同时要尽可能地降低黏度的提高, 加入动塑比提高率指标。

2.3.2 150℃/180℃评价

基浆: 320mL柴油+5%有机土+80mL25%CaCl₂水溶液+6%乳化剂+1.5%氧化钙+重晶石, 乳化剂为工业化生产的高温乳化剂(主/辅乳化剂比例为2:1), 密度1.5g/cm³, 试样浆: 基浆+1%提切剂, 150℃/180℃老化16h, 实验结果见表11和表12。

由表11和表12可知, 150℃老化后提切剂1#、2#和3#提切剂的提切率大于100%(含100%), 动塑比提高率大于50%, 说明这3种提切剂150℃老化

表9 不同乳化剂老化后的流变性

编号	配方	ES/V	R ₆₀₀	R ₃₀₀	R ₂₀₀	R ₁₀₀	R ₆	R ₃	PV/mPa·s	YP/Pa
1	1#基础浆	921	52.5	30	23	17	7	6	22.5	3.75
	150℃/16 h	834	47	26.5	19	13	4.5	4	20.5	3
	180℃/16 h	435	39	21	15	10	3.5	3	18	1.5
2	2#基础浆	511	46	28	21	14	5	4.5	18	5
	150℃/16 h	755	48	27	20	13	6	5	21	3
	180℃/16 h	611	43	24	18	12	5	4	19	2.5

表10 基浆加入1.0%提切剂120℃老化后的数据

编号	配方	ES/V	R ₆₀₀	R ₃₀₀	PV/mPa·s	YP/Pa	YP/PV Pa/(mPa·s)	YP 提高率%	动塑比 提高率%
1	基浆	806	72	39.5	32.5	3.5	0.10	/	/
2	基浆+1#	1043	86	51	35	8	0.23	128.5	109.6
3	基浆+2#	1137	89	53	36	8.5	0.24	142.8	116.6
4	基浆+3#	972	65	37	28	4.5	0.16	28.6	47.5
5	基浆+4#	1286	144	88	56	16	0.29	357.1	162.1
6	基浆+5#	1012	73	43	30	6.5	0.22	85.7	96.9
7	基浆+6#	1162	124	72	52	10	0.19	185.7	90

表11 基浆加入1.0%提切剂150℃老化后的数据

编号	配方	PV/ mPa·s	YP/Pa	YP/PV Pa/(mPa·s)	YP提高率%	动塑比 提高率%
1	基浆	21	3.5	0.167	/	/
2	基浆+1#	33	8.5	0.258	142.9	54.2
3	基浆+2#	28	8	0.286	128.6	71.1
4	基浆+3#	27	7	0.259	100	55.2
5	基浆+4#	31	7.5	0.242	114.3	44.9
6	基浆+5#	25	6	0.24	71.4	43.7
7	基浆+6#	31	6	0.194	71.4	16.2

表12 基浆加入1.0%提切剂180℃老化后的数据

编号	配方	PV/ mPa·s	YP/Pa	YP/PV Pa/(mPa·s)	YP提高率%	动塑比 提高率%
1	基浆	20	2.5	0.125	/	/
2	基浆+1#	26	5	0.19	100	53.8
3	基浆+2#	20	3	0.15	40	20.0
4	基浆+3#	25	5	0.20	100	60.0
5	基浆+4#	26	4.5	0.173	80	38.4
6	基浆+5#	20	3	0.15	20	20.0
7	基浆+6#	24	3.5	0.146	40	16.8

后具有较好的提切效果,适合在150℃钻井液体系中应用。而7#提切剂老化后切力提高率和动塑比提高率均较低,不耐150℃高温。180℃老化后1#和3#提切剂的切力提高率均大于100%,动塑比提高率均大于50%,说明1#和3#提切剂180℃老化后相较于其他提切剂具有较好的提切效果。5#和6#提切剂切力提高率和动塑比提高率均较低,说明这2种提切剂180℃老化后效果较差,不耐180℃高温。

3 结论及建议

随着勘探开发向深部发展,油基钻井液的应

用范围越来越广,对油基钻井液的要求越来越多,油基钻井液的切力提高的需求越来越迫切。针对油基钻井液提切剂评价标准的要求,建议120℃以下钻井液用提切剂采用试剂类乳化剂作为提切剂基准物质进行评价;高温条件下的提切剂的优选,150℃和180℃条件下采用高温乳化剂作为基准物进行评价优选,同时要尽量避免使用工业级乳化剂,最好采用实验室制乳化剂,有利于实验结果的重复性和一致性,便于对比提切剂的性能。提切剂标准制定时建议采用提切力提高率和动塑比提高率进行考察,以便于优选的提切剂在切力提高的同时,黏度提高幅度不大。

参考文献

- [1] 王志远,黄维安,范宇,等. 长宁区块强封堵油基钻井液技术研究及应用[J]. 石油钻探技术, 2021,49(5):31-38.
- [2] 赵文,孙强,张恒. 抗高温高密度油基钻井液在塔里木油田大北12X井的应用[J]. 钻井液与完井液, 2020,37(6):709-714,720.
- [3] 王友兵,薛峰. INVERMUL油基钻井液在DB1202井的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022,42(16):145-147.
- [4] 王建华,闫丽丽,谢盛,等. 塔里木油田库车山前高压盐水层油基钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2020,48(2): 29-33.
- [5] 张立新,刘瑞. 高密度油基钻井液在阳101H3-6井长水平段的应用[J]. 钻探工程, 2021,48(7):79-83.
- [6] 吴江,李龙,任冠龙,等. 海上复杂易垮塌地层高性能油基钻井液研发与应用[J]. 钻井液与完井液, 2018,35(5):55-60.
- [7] 邱正松,赵冲,张现斌,等. 超高温高密度油基钻井液研究与性能评价[J]. 钻井液与完井液, 2021,38(6):663-670.
- [8] 由福昌,文华,吴娇,等. 高密度无土相油基钻井液[J]. 钻井液与完井液, 2022,39(2):146-150.
- [9] 罗春芝,章楚君,王怡迪,等. 聚醚脂肪酸类油基钻井液提切剂的研制与应用[J]. 钻井液与完井液, 2023,40(3):303-312.
- [10] 黄宁,吕开河,孙金声,等. 油基钻井液提切剂研究现状与发展趋势[J]. 钻井液与完井液, 2022,39(4):397-405.