

文章编号:1000-4092(2023)01-032-07

表面活性剂提高页岩气井固井水泥浆的抗污染性能评价*

何冠羲¹, 姜洪斌¹, 梁悦¹, 杨扬¹, 韩龙²

(1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司第二固井分公司, 天津 300280; 2. 中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司海洋物探分公司, 天津 300280)

摘要:采取水平井开发页岩气储层时,由于套管偏心以及井径不规则等原因,通常会导致油基钻井液的顶替效率较低,部分油基钻井液渗入固井水泥浆中,影响水泥浆的性能。为了提高页岩气固井水泥浆的抗污染能力,室内将非离子表面活性剂与阴离子表面活性剂复配制得表面活性剂(AFSG-1),然后以现场油基钻井液和固井水泥浆为研究对象,开展了AFSG-1提高页岩气固井水泥浆抗污染性能的研究。结果表明,现场油基钻井液的掺入会严重影响固井水泥浆的流动度、稠化时间以及混浆水泥石性能;油基钻井液的掺入比例越大,污染越严重。随着固井水泥浆中AFSG-1加量的不断增大,水泥浆自身的抗污染能力逐渐增强;当固井水泥浆中AFSG-1的质量分数为2%时,再掺入20%的油基钻井液,混浆的流动度、稠化时间以及水泥石性能与未加表面活性剂时相比均有明显改善。另外,AFSG-1对固井水泥浆抗油基钻井液污染性能的改善效果明显优于其他常用表面活性剂。AFSG-1能有效提高页岩气固井水泥浆抗油基钻井液污染的能力,可提高固井质量,保障固井安全。

关键词:页岩气;水平井;水泥浆;固井;表面活性剂;油基钻井液

文献标识码:A **DOI:** 10.19346/j.cnki.1000-4092.2023.01.006

中图分类号:TE256

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



由于页岩气储层通常具有水敏性较强的特点,在钻井过程中往往采用抑制性较强的油基钻井液体系。油基钻井液与固井水泥浆的相容性较差,固井水泥浆中混入油基钻井液后会导致混浆的流动性变差,稠化时间缩短,水泥石强度降低,严重威胁固井施工的安全^[1-4]。因此,研究如何提高固井水泥浆抗油基钻井液污染的能力,对保障固井安全、提高固井质量具有十分重要的意义。

目前,针对防止油基钻井液对固井水泥浆产生接触污染方面的研究主要是采取顶替隔离液或者前置液的方法。国内外关于隔离液以及前置液的研究已开展了大量的工作,并取得了较多的研究成

果和经验^[5-12]。但由于页岩气储层特殊的地层条件,往往需要采用水平井钻井技术才能取得较好的商业开发价值。与常规井相比,水平井的井身结构具有水平段较长、井眼曲率大、井径不规则以及套管下入比较困难等特点,并且由于套管的自身重力作用极容易产生套管偏心的现象。这会造成油基钻井液的顶替效率低下,采取隔离液顶替的方式无法确保油基钻井液被完全顶替干净,井筒中仍可能存留一定量的钻井液^[13-16]。因此,固井水泥浆不可避免会与部分油基钻井液接触,这就需要固井水泥浆自身具备良好的抗污染性能,才能降低油基钻井液污染对固井施工的影响。然而,目前国内外针对

* 收稿日期:2022-04-22;修回日期:2022-06-30。

基金项目:渤海钻探工程有限公司重大工艺专项“泸州、渝西深层页岩气水平井安全优快钻完井及配套技术研究”(项目编号2021ZD18Y-01)。

作者简介:何冠羲(1990—),男,工程师,西南大学电子科学与技术专业学士(2012),从事固井工艺方面的研究,通讯地址:300280 天津市滨海新区大港海滨街东围堤道第二固井公司,E-mail:m16622844138@163.com。

提高固井水泥浆自身抗污染能力方面的研究相对较少^[17-19],缺少系统性和针对性的研究方法。因此,本文从提高固井水泥浆自身抗污染性能的角度入手,以页岩气井现场用油基钻井液和水泥浆体系为主要研究对象,开展了表面活性剂提高页岩气井固井水泥浆抗污染性能的研究,并对其作用机理进行了分析,为提高页岩气井固井质量、保障固井安全提供一定的技术支持。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

表面活性剂(AFSG-1),有效质量分数为85%,主要成分为非离子表面活性剂(AFO-2)和阴离子表面活性剂(LAS-30),其中AFO-2为实验室自制,LAS-30为市售产品(广州市泰力化工有限公司);阳离子表面活性剂(CTAB)、非离子表面活性剂(6501)、两性离子表面活性剂(CAB-35),山东穗华生物科技有限公司;长链烷基酚、环氧乙烷,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;多聚甲醛、氢氧化钠、氢氧化钾、浓硫酸、石油醚、醋酸异丙酯,分析纯,天津科密欧试剂有限公司;高纯氮气,石家庄福利特气体有限公司;实验用油基钻井液取自国内某页岩气井水平段油层套管,配方为:白油+25%CaCl₂盐水+1.5%主乳化剂+2%辅乳化剂+1.5%润湿剂+3%有机土+3%降滤失剂+重晶石,密度为2.15 g/cm³。实验用水泥浆配方为:G级水泥+30%硅粉+4%微硅+4%降失水剂+0.5%分散剂+0.15%缓凝剂+0.2%消泡剂+1.5%有机纤维+40%水。

Bruker VECTOR22型红外光谱仪,德国Bruker公司;常压稠化仪、高温高压稠化仪、高温高压养护釜,青岛森欣机电设备有限公司;水泥浆流动度测定仪,苏州中路通试验仪器有限公司;高精度压力试验机,苏州天氏库力精密仪器有限公司;孔渗联测仪,海安县石油科研仪器有限公司;FST300C型全自动界面张力仪,上海艾飞思精密仪器有限公司;CA200自动型光学接触角测量仪,广东北斗精密仪器有限公司;Zeta电位分析仪,大塚电子(苏州)有限公司;赛默飞扫描电子显微镜(SEM),北京欧波同光学技术有限公司。

1.2 实验方法

(1)表面活性剂AFO-2和AFSG-1的制备

将一定量的长链烷基酚和浓硫酸加入四口烧瓶中,搅拌混合均匀后,持续通入氮气,然后升高反应温度至40~60℃,在搅拌下缓慢加入一定比例的多聚甲醛,反应3~5 h,除去多余单体后再加入氢氧化钠将pH值调节至7左右,再使用石油醚和醋酸异丙酯的混合溶液洗涤分离,得到中间产物X;将一定比例的X和KOH混合后加入反应釜中,通入高纯氮气除氧20 min,然后再加入一定量的环氧乙烷,升高反应温度至120~140℃,用氮气加压至约2 MPa,反应约3 h,反应产物经中和、脱色处理后即得到非离子表面活性剂AFO-2。将AFO-2与LAS-30按质量比2:1混合,即得到AFSG-1。

(2)结构表征与性能评价

红外光谱分析实验采用溴化钾压片法,用红外光谱仪表征AFO-2的结构。

参照石油与天然气行业标准SY/T 6466—2016《油井水泥性能试验方法》,进行油基钻井液对水泥浆的污染评价实验和表面活性剂提高水泥浆抗污染能力评价实验,主要测定油基钻井液掺入对混浆流动度、稠化时间和水泥性能的影响。

采用全自动界面张力仪测定AFSG-1溶液与白油之间的界面张力。采用光学接触角测量仪测定蒸馏水在不同混浆水泥表面的接触角。采用Zeta电位分析仪测定表面活性剂对混浆中水泥颗粒Zeta电位的影响。采用扫描电子显微镜观察不同水泥石的微观结构。

2 结果与讨论

2.1 非离子表面活性剂AFO-2的结构

由AFO-2的红外光谱图(图1)可见,3480 cm⁻¹处为—OH基团的伸缩振动吸收峰;2925、2850 cm⁻¹处为烷烃链上C—H键的伸缩振动吸收峰;1715 cm⁻¹处为C=O键的伸缩振动吸收峰;1610、1505、1460 cm⁻¹处为苯环骨架中C—H键的伸缩振动吸收峰;1261、1105 cm⁻¹处为C—O—C键的伸缩振动吸收峰;945、840 cm⁻¹处为苯环骨架的弯曲振动吸收峰。在图1中均能找到代表合成产物(AFO-2)分子结构的特殊官能团的吸收峰,证明合成产物为目标产物。

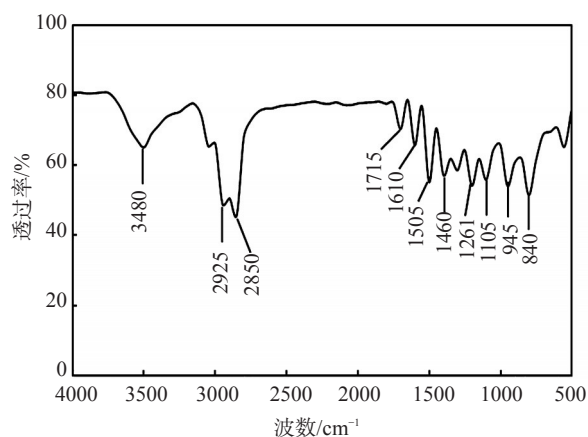


图1 非离子表面活性剂AFO-2的红外光谱图

2.2 油基钻井液对水泥浆的污染评价

2.2.1 不同比例混浆的流动度

水泥浆中掺混不同比例(体积分数)的油基钻井液后的流动度测定结果见图2,实验温度为25、93℃。随着油基钻井液掺量的不断增大,混浆在25℃和93℃下的流动度均呈现出逐渐降低的趋势。当油基钻井液的掺混比例达到20%时,混浆在25℃和93℃的流动度分别为11 cm和9 cm,流动度已经较差,再继续增大油基钻井液的掺混量,混浆慢慢的丧失流动性。这说明油基钻井液在常温或者高温条件下均会对水泥浆的流动性能产生比较严重的影响,水泥浆流动性的恶化会造成施工泵压的升高,对固井施工安全带来严重的危害。

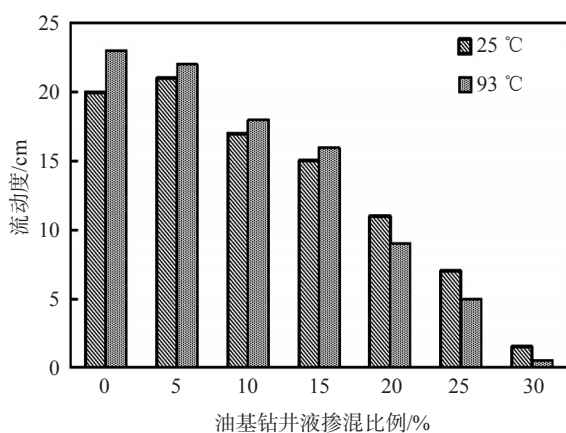


图2 油基钻井液掺混比例对混浆流动度的影响

2.2.2 不同比例混浆的稠化时间

水泥浆中掺混不同比例的油基钻井液后的稠化时间测定结果见图3。实验条件为:在80 min内将实验温度升高至125℃、压力升高至120 MPa。

随着油基钻井液掺量的不断增大,混浆的稠化时间呈现出逐渐缩短的趋势,而初始稠度则呈现逐渐升高的趋势。当油基钻井液的掺混比例达到20%时,混浆的稠化时间由初始的389 min缩短至48 min,而初始稠度则由初始的19.6 Bc升高至41.8 Bc,混浆出现了明显的包心现象,流动性较差。这与油基钻井液的掺混会导致水泥浆流动度变差的结果相吻合,进一步说明油基钻井液的掺入会对水泥浆造成比较严重的污染损害。

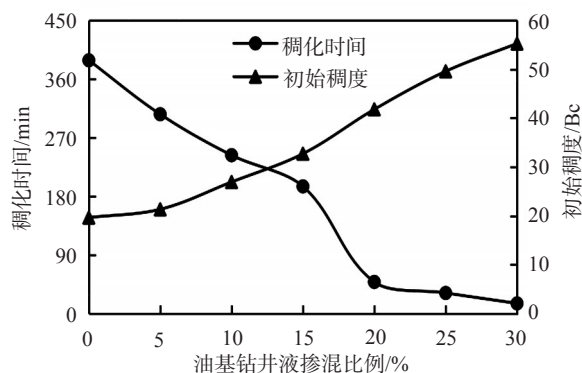


图3 油基钻井液掺混比例对混浆稠化时间的影响

2.2.3 不同比例混浆对水泥石性能的影响

水泥浆中掺混不同比例的油基钻井液后所形成的水泥石性能评价结果见表1。抗压强度和抗折强度的养护温度均为125℃,养护时间为3 d和7 d,其中孔隙度和渗透率的测定均采用养护7 d的水泥石。随着油基钻井液掺量的不断增大,养护不同时间后水泥石的抗压强度和抗折强度均呈现出逐渐降低的趋势,并且降幅较大。当油基钻井液的掺混比例达到20%时,水泥石养护3 d和7 d后的抗压强度降幅分别为81.5%和77.9%,抗折强度降幅分别为

表1 油基钻井液掺混比例对混浆水泥石性能的影响

油基钻井液掺混比例/%	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa		孔隙度/%	渗透率/(10 ⁻³ μm ²)
	3 d	7 d	3 d	7 d		
0	26.5	32.6	8.7	12.1	10.8	0.032
5	22.4	28.5	6.5	10.2	15.2	0.098
10	16.3	19.1	3.9	6.4	19.4	0.148
15	9.2	11.8	2.2	3.8	25.7	0.305
20	4.9	7.2	1.5	2.6	30.9	0.446
25	3.6	5.4	0.9	1.7	36.2	0.558
30	2.1	3.8	0.3	0.8	41.8	1.357

82.8%和78.5%,远未达到目标页岩气井水力压裂施工对固井质量的要求。同时水泥浆中油基钻井液的掺混量越大,水泥石的孔隙度和渗透率就越大。当油基钻井液的掺混比例大于20%时,水泥石中会生成大量的孔洞,这不仅对水泥石的强度造成严重的影响,还会使井下流体形成窜流通道,严重影响固井质量和施工安全。

综合以上实验结果可以看出,在页岩气井固井作业施工过程中,未被隔离液顶替完全的油基钻井液可能会对固井水泥浆产生比较严重的污染。当油基钻井液的比例达到一定程度(>20%)时,可能会导致固井水泥浆性能严重恶化,出现流动度丧失、稠化时间缩短以及水泥石强度显著下降等现象,影响固井施工的安全进行。因此,需要研究如何提高页岩气井固井水泥浆抗油基钻井液污染的能力,为提高页岩气井的固井质量提供保障。

2.3 表面活性剂提高水泥浆抗污染能力评价

2.3.1 AFSG-1对混浆流动度的影响

将复合型表面活性剂AFSG-1添加到固井水泥浆体系中,然后评价掺入油基钻井液后混浆流动度的变化情况。油基钻井液的掺混比例均为20%,实验温度为25、93℃。由图4可见,随着AFSG-1在水泥浆中加量的不断增大,混浆在25、93℃下的流动度基本呈现逐渐增大的趋势。当AFSG-1的质量分数达到2%时,混浆在25℃和93℃下的流动度分别为20 cm和23 cm,这与水泥浆自身的流动度基本相同,混浆的流动性能较好。这说明AFSG-1的加入能有效缓解油基钻井液对固井水泥浆的污染损害,防止混浆在常温 and 高温下流动性的恶化,提高水泥

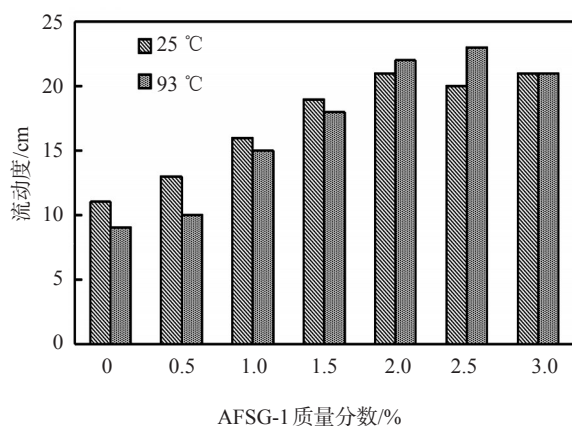


图4 表面活性剂加量对混浆流动度的影响

浆的抗污染能力。

2.3.2 AFSG-1对混浆稠化时间的影响

在水泥浆中加入不同质量分数的AFSG-1,在油基钻井液掺混比例为20%的条件下评价AFSG-1对混浆稠化时间的影响,结果见图5。随着AFSG-1在水泥浆中加量的不断增大,混浆的稠化时间先增加后逐渐趋于平稳,而初始稠度则先降低后逐渐趋于平稳。当AFSG-1的质量分数达到2%时,混浆的稠化时间由未添加表面活性剂时的48 min延长至381 min,而初始稠度则由41.8 Bc降至18.3 Bc,基本与水泥浆自身的稠化时间和初始稠度相当。这说明AFSG-1的加入能有效改善油基钻井液混入后水泥浆稠化时间缩短的问题。

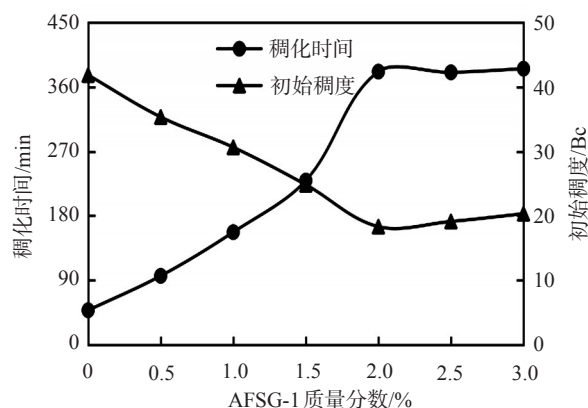


图5 表面活性剂加量对混浆稠化时间的影响

2.3.3 AFSG-1对水泥石性能的影响

与2.2.3节的实验条件相同,在油基钻井液的掺混比例为20%时,AFSG-1加量对混浆水泥石性能的影响见表2。随着AFSG-1在水泥浆中加量的增大,混浆水泥石养护3 d和7 d后的抗压强度及抗折强度值均呈现出逐渐增大的趋势。与未添加AFSG-1时相比,当AFSG-1的质量分数为2%时,混浆水泥石养护3 d和7 d的抗压强度与抗折强度均有大幅提高。与此同时,随着水泥浆中AFSG-1加量的增大,混浆水泥石的孔隙度和渗透率均逐渐减小。当AFSG-1加量为2%时,混浆水泥石的孔隙度可达12.8%,渗透率可达 $0.051 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,与未掺混油基钻井液时水泥石的测定结果基本相当。这说明AFSG-1的加入能有效改善混浆水泥石的性能,确保固井施工的安全。

表2 表面活性剂加量对混浆水泥石性能的影响

AFSG-1 质量分数/%	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa		孔隙度/%	渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)
	3 d	7 d	3 d	7 d		
0	4.9	7.2	1.5	2.6	30.9	0.446
0.5	7.2	10.8	2.7	5.9	22.7	0.405
1.0	11.8	15.7	4.2	7.2	18.3	0.267
1.5	15.7	21.8	5.8	8.7	15.7	0.105
2.0	20.6	26.3	7.2	10.5	12.8	0.051
2.5	20.8	26.5	7.4	10.8	12.2	0.049
3.0	21.2	26.9	7.8	11.0	11.8	0.045

2.3.4 AFSG-1 与其他常用表面活性剂性能对比

与 2.3 节的实验条件相同,室内对比评价了 AFSG-1 与其他几种常用表面活性剂对水泥浆抗污染性能的影响,其中表面活性剂的质量分数均为 2%,流动度实验温度均为 93 °C。由表 3 可见,只有阳离子表面活性剂 CTAB 使混浆的流动度和稠化时间均减小。其他不同类型的表面活性剂均能不同程度地改善混浆的流变性能和水泥石性能,提高水泥浆的抗污染能力。综合比较,AFSG-1 提高水泥浆抗污染性能的效果明显优于其他几种常用表面活性剂。

表3 不同类型表面活性剂对水泥浆抗污染性能的影响

表面活性剂	混浆性能		水泥石性能			
	流动度/cm	稠化时间/min	抗压强度/MPa	抗折强度/MPa	孔隙度/%	渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)
空白	9	48	7.2	2.6	30.9	0.446
AFSG-1	22	381	26.3	10.5	12.8	0.051
LAS-30	14	269	16.1	5.9	18.4	0.115
CTAB	3	30	10.3	3.8	28.7	0.435
6501	16	341	18.7	7.7	16.9	0.097
CAB-35	11	252	15.2	6.1	15.3	0.109

2.4 表面活性剂提高水泥浆抗污染能力作用机理

2.4.1 表面活性剂对油水界面张力的影响

固井水泥浆中掺入油基钻井液后,在高速剪切作用力下形成一种水包油型的水泥浆混浆,但稳定性较差,在地层温度和压力下极易产生乳化增稠的现象,影响其流动性能和稠化时间。表面活性剂 AFSG-1 的加入能通过降低油水界面张力的作用使得水包油型水泥浆混浆的结构更加稳定,在一定程

度上起到改善混浆流动性能和稠化时间的作用。AFSG-1 质量分数为 0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0% 时,AFSG-1 溶液与白油之间的界面张力分别为 0.9290、0.2084、0.0267、0.0075、0.0051、0.0024 mN/m。随着 AFSG-1 加量的增大,油水界面张力逐渐降低,当其加量大于 2% 时,可使油水界面张力降至 10^{-3} mN/m 数量级,具有良好的界面活性。

2.4.2 表面活性剂对混浆中水泥颗粒表面润湿性的影响

油基钻井液的掺入会使固井水泥浆中水泥颗粒表面的润湿性由亲水性转变为亲油性,从而影响水泥浆中水泥颗粒之间的正常胶结过程,严重降低混浆水泥石的强度。AFSG-1 的加入能有效改变混浆中水泥颗粒表面的润湿性,阻止表面由亲水性向亲油性转变,改善水泥颗粒的水化作用,在一定程度上提高混浆水泥石的强度。AFSG-1 对混浆水泥石表面接触角和混浆中水泥颗粒 Zeta 电位的影响见表 4,其中油基钻井液的掺混比例均为 20%。随着 AFSG-1 加量的增大,混浆水泥石表面的接触角和混浆中水泥颗粒的 Zeta 电位值均逐渐减小。当 AFSG-1 的加量为 2% 时,混浆水泥石表面的接触角由初始的 125.3° 降至 70.6°,而水泥颗粒的 Zeta 电位值由初始的 15.6 mV 降至 -15.2 mV。这是由于 AFSG-1 可以吸附在水泥颗粒的表面,使混浆中水泥颗粒表面由亲油性转变为亲水性,有效阻止油基钻井液中的处理剂进一步吸附在水泥颗粒表面,提高固井水泥浆抗油基钻井液污染的能力。

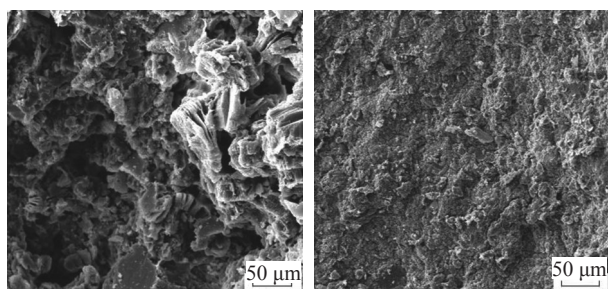
表4 表面活性剂对混浆中水泥颗粒表面润湿性的影响

AFSG-1 质量分数/%	接触角/°	Zeta 电位/mV	AFSG-1 质量分数/%	接触角/°	Zeta 电位/mV
0	125.3	15.6	2.0	70.6	-15.2
0.5	116.8	10.3	2.5	68.5	-16.9
1.0	100.4	4.1	3.0	67.9	-18.5
1.5	85.2	-4.9			

2.4.3 表面活性剂对混浆水泥石微观结构的影响

油基钻井液的掺入不仅会影响固井水泥浆的流动性和稠化时间,还会在混浆水泥石中形成大量的孔洞,并且油相的混入会使水泥石骨架结构更易受力变形,进而造成水泥石强度的显著下降。AFSG-1 的加入能减小混浆乳状液的粒径,提高混

浆的稳定性,改善混浆水泥石的微观结构,降低油基钻井液对混浆水泥石性能的影响。由加入AFSG-1前后混浆水泥石的SEM图(图6)可见,未加表面活性剂时,混浆水泥石中存在较多的孔洞;加入2% AFSG-1后,混浆水泥石中的大孔洞消失,水泥石的胶结状态较好。



(a)未加表面活性剂

(b)加入表面活性剂

图6 表面活性剂对混浆水泥石微观结构的影响

3 结论

随着固井水泥浆中油基钻井液掺入比例的不断增大,混浆性能逐渐变差。当油基钻井液的掺混比例达到20%时,混浆的流动度降低、稠化时间缩短、混浆水泥石强度降低、孔隙度和渗透率升高,油基钻井液的掺入对固井水泥浆产生了严重的污染。

表面活性剂AFSG-1的加入能显著提高固井水泥浆抗油基钻井液的污染能力。当其加量为2%时,对于掺入20%油基钻井液的水泥浆混浆而言,流动度升高、稠化时间延长、水泥石强度增强、孔隙度和渗透率降低。AFSG-1提高水泥浆抗污染能力的效果明显优于其他常用表面活性剂。

AFSG-1提高固井水泥浆抗油基钻井液污染能力的作用机理主要包括降低油水界面张力、改变混浆中水泥颗粒表面润湿性(减小接触角和Zeta电位值)以及改善混浆水泥石的微观结构等。

当页岩气水平井钻井施工完成后,油基钻井液无法完全顶替时,可以通过在固井水泥浆中加入AFSG-1来提高抗油基钻井液的污染能力,减少混浆流动性恶化以及水泥石强度降低的程度,确保固井施工的安全,提高固井质量。

参考文献:

- [1] 李明, 杨雨佳, 李早元, 等. 固井水泥浆与钻井液接触污染作用机理[J]. 石油学报, 2014, 35(6): 1188-1196.
- [2] 袁中涛, 杨谋, 李晓春, 等. 油基钻井液与水泥浆接触污染内因探讨[J]. 石油钻采工艺, 2017, 39(5): 574-579.
- [3] 李早元, 柳洪华, 郭小阳, 等. 油基钻井液组分对水泥浆性能的影响及其机理[J]. 天然气工业, 2016, 36(3): 63-68.
- [4] 李早元, 辜涛, 郭小阳, 等. 油基钻井液对水泥浆性能的影响及其机理[J]. 天然气工业, 2015, 35(8): 63-68.
- [5] TABATABAEE M S S, NIKOLAEV N I. Optimization of cement spacer system for zonal isolation in high-pressure high-temperature wells [C]//SPE Russian Oil and Gas Exploration & Production Technical Conference and Exhibition. Moscow, Russia, 2014: 171282.
- [6] SHADRAVAN A, NAEVAEZ G, ALEGRIA A, et al. Engineering the mud-spacer-cement rheological hierarchy improves wellbore integrity [C]//SPE E&P Health, Safety, Security and Environmental Conference-Americas. Denver, Colorado, USA, 2015: 173534.
- [7] PERNITES R, KHAMMAR M, SANTRA A. Robust spacer system for water and oil based mud [C]// SPE Western Regional Meeting. California, USA, 2015: 174005.
- [8] 赵启阳, 张成金, 严海兵, 等. 提高油基钻井液固井质量的冲洗型隔离液技术[J]. 钻采工艺, 2017, 40(5): 88-90.
- [9] 王涛, 申峰, 杨超, 等. 延长探区古生界页岩气水平井一次上返高效封隔固井技术[J]. 非常规油气, 2023, 10(1): 122-129.
- [10] 欧红娟. 油基钻井液条件下高效隔离液选材机理研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2016: 49-54.
- [11] 刘丽娜, 李明, 谢冬柏, 等. 一种适用于油基钻井液表面活性剂隔离液[J]. 钻井液与完井液, 2017, 34(3): 77-80.
- [12] 张家瑞, 屈勇, 郝海洋, 等. 高效驱油清洗液的研制与现场应用[J]. 油田化学, 2021, 38(3): 395-400.
- [13] 余海豪, 徐兆刚, 杨浩, 等. 固井水泥浆环空顶替效率研究[J]. 非常规油气, 2022, 9(2): 119-124.
- [14] 张顺平, 张森, 覃毅, 等. 威远页岩气水平井高密度防窜水泥浆固井技术[J]. 钻井液与完井液, 2016, 33(1): 63-67.
- [15] 赵常青, 谭宾, 曾凡坤, 等. 长宁-威远页岩气示范区水平井固井技术[J]. 断块油气田, 2014, 21(2): 256-258.
- [16] 王建龙, 于志强, 苑卓, 等. 四川盆地泸州区块深层页岩气水平井钻井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(6): 17-22.
- [17] 钟声. 油基钻井液下水泥浆抗污剂的研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2016, 33(5): 84-87.
- [18] 李晓春, 李宁, 刘锐, 等. 有机盐钻井液与水泥浆接触污染机理探讨及防止对策[J]. 钻采工艺, 2019, 42(6): 102-104.
- [19] 张刚刚. 长宁-威远页岩气固井水泥浆抗污染研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2019: 33-51.

Anti-pollution Performance Improvement of Shale Gas Well Cement Slurry by Surfactant

HE Guanxi¹, JIANG Hongbin¹, LIANG Yue¹, YANG Yang¹, HAN Long²

(1. The second Cementing Branch of Bohai Drilling Engineering Company, Ltd, CNPC, Tianjin 300280, P R of China; 2. BGP Offshore, China National Petroleum Corporation, Tianjin 300280, P R of China)

Abstract: When shale gas reservoir is developed by horizontal wells, due to casing eccentricity and irregular diameter, the displacement efficiency of oil-based drilling fluid is usually low. Some oil-based drilling fluid is mixed into cement slurry, which affects the performance of cement slurry. In order to improve the anti-pollution ability of shale gas cementing cement slurry, the surfactant (AFSG-1) was prepared by mixing non-ionic surfactant and anionic surfactant in the laboratory. The research on improving the anti-pollution performance of shale gas well cementing cement slurry by AFSG-1 was carried out with the field oil-based drilling fluid and cementing cement slurry as the research object. The results showed that the addition of oil-based drilling fluid in the field would seriously affect the fluidity, thickening time and mud-mixed water and debris properties of cement slurry. The greater the proportion of oil-based drilling fluid, the more serious the pollution was. With the increasing amount of AFSG-1 in cement slurry, the anti-pollution ability of cement slurry was gradually enhanced. When the mass fraction of AFSG-1 in cement slurry was 2%, and then 20% oil-based drilling fluid was added, the fluidity, thickening time and cement stone properties of the slurry were significantly improved compared with those without surfactant. In addition, the anti-pollution performance improvement effect of AFSG-1 on oil-based drilling fluid of cement slurry was significantly better than that of other commonly used surfactants. AFSG-1 could effectively improve the ability of shale gas cement slurry to resist the pollution of oil-based drilling fluid, improve the cementing quality and ensure the cementing safety.

Keywords: shale gas; horizontal well; cement slurry; cementing; surfactant; oil-based drilling fluid

(上接第 31 页。continued from p. 31)

powder, 20% diethyl toluene diamine. When the density of the plugging agent was 1.8 g/cm³ and the particle size was 0.5—2.0 mm, it had good dispersion in the field oil-based drilling fluid. ARP plugging agent had the ability of deformation, cementation and solidification. When ARP plugging agent was used in combination with bridge plugging particle, it could cement and solidify with other ordinary plugging particles in formation fractures, thus improving the pressure bearing capacity and anti-backflow ability of the overall plugging slug. When ARP plugging agent was combined with field plugging agent, the appropriate proportion of ARP was 15%—25%. Meanwhile, the cementing strength of the composite plugging agent could reach 2.7—7.8 MPa. When the lost circulation slurry prepared by ARP was used to seal fractures with 2—3 mm width, the positive pressure bearing capacity could reach 8 MPa, while the anti-backflow pressure bearing capacity could reach 3.3 MPa. According to the characteristics of materials, the site construction technology was designed and applied in a well in Changning, Sichuan. A good plugging effect was achieved.

Keywords: epoxy resin; plugging agent; pressure-bearing plugging; self-bonding; oil-based plugging; anti-returning