文章编号:1000-4092(2021)03-401-05

大位移井完井液润滑剂性能评价*

江 华[1],杨 洋[2],由福昌[2],杜佳琪[2],邓 聪[2]

(1. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司,广东 深圳518067;2. 荆州嘉华科技有限公司,湖北 荆州434000)

摘要:大位移井由于水平位移长、井斜角大、地层压力系数高、完井时摩阻扭矩高,影响管柱下入。为解决这一问题,室内研发了一种完井液润滑剂CR301,研究了加有该润滑剂的KCl盐水完井液体系的降摩减阻性、抗磨能力、配伍性、对储层保护效果及水锁效应。结果表明,当CR301加量为2%时,KCl盐水完井液的摩阻系数由空白的0.078降至0.046,摩阻系数降低率可达40%以上,抗磨能力由4块砝码卡停提高至10块砝码卡停。同时润滑剂CR301与KCl盐水完井液具有很好的配伍性,可以提高岩心的渗透率恢复值,降低完井液体系的表面张力,降低储层伤害。润滑剂CR301可明显提高KCl盐水完井液体系的降摩减阻性,且对储层有保护效果,可在大位移井完井液中使用。表6参15

关键词:大位移井;摩阻扭矩;完井液;摩阻系数;抗磨能力;储层伤害

中图分类号:TE257 **文献标识码:**A **DOI:** 10.19346/j.cnki.1000-4092.2021.03.004

大位移井一般是指水平位移与垂直深度之比大于2的定向井和水平井。目前为了开发边际油田、减少海上钻井平台和提高投资效益,大位移水平井作业需求不断增长,水平位移不断延长,目前水平位移已突破10 000 m,水平位移与垂直深度之比远远大于2。与直井相比,大位移井完井作业中最大的难点是生产管柱下入过程中,由于重力影响,管柱贴近井眼低边一侧,完井管柱与井壁接触面积增大,摩阻增加,导致完井管柱下入困难,完井管柱也会因此产生摩擦损伤,严重影响完井作业的进行[1-2]。

含固相完井液存在以下问题:(1)含固相完井液静止时凝胶强度高,开泵时易引起压力波动,停泵时固相易沉降,增加了井下复杂事故发生的可能性[3-5];(2)黏度大,固相含量高,增加井下工具摩阻,引起井筒中高摩擦压力损失[6-8];(3)固相会增加作业过程中的钻井液当量密度[9-10];(4)容易对储层带来固相伤害[11-12]。而无固相完井液或清洁盐水完井液具有以下优点[13-14]:(1)固相含量低,对储层保护效果好;(2)矿化度高,抑制能力强;(3)黏度低,摩阻压力损失小,完井管柱下入过程中的摩阻要小于含固相完井液,降低完井管柱及工具的磨损破坏。因此,无固相完井液或清洁盐水完井液更适合大位移井的完井作业。

无固相完井液或清洁盐水完井液本身的润滑性较好,但在现场完井作业中,仅仅依靠完井液自身的润滑性并不能满足完井作业中的降摩减阻要求,需要加入一定量的润滑剂。但是目前常用润滑剂多为油溶性润滑剂,含油量较多,在无固相完井液或者清洁盐水完井液中容易产生浮油或者油珠,给储层带来伤害。针对这一情况,本文以润滑剂主剂、植物油脂酸乙酯、二烷基二硫代氨基甲酸钼、脂肪醇醚磷酸酯钾盐、单丁醚为主要原料研发了一种完井液水溶性润滑剂CR301,研究了加有该润滑剂

* **收稿日期:**2020-02-23;**修回日期:**2020-11-16。

作者简介:江华(1986—),男,高级工程师,长江大学石油工程专业学士(2008),主要从事完井测试作业方面的研究工作,E-mail:jiang-hua3@cnooc.com.cn。杨洋(1988—),女,中级工程师,本文通讯联系人,长江大学石油工程专业学士(2010),主要从事钻完井液、漏失封堵、井筒修复等方面研究,通讯地址:434000 湖北省荆州市沙市区燎原路111号荆州嘉华可以有限公司,E-mail:yangrang0000@126.com。

的KCl盐水完井液体系降摩减阻性、抗磨能力、配伍性、对储层保护效果及水锁效应。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

甘油脂肪酸酯GMS、丙二醇单月桂酸酯BPML、油酸二乙醇酰胺ODEA、椰油酸二乙醇酰胺6501(1∶2)、磷酸酯TXP-4、脂肪醇醚磷酸酯钾盐MOA3PK、表面活性剂OP-10,江苏省海安石油化工厂;纳米石墨001,青岛东凯石墨有限公司;乙醇,工业级,济南双盈化工有限公司;植物油脂酸乙酯,广州镁洛迪生物化工科技有限公司;二烷基二硫代氨基甲酸钼F1510,杭州施特安化工有限公司;单丁醚,济南麦丰化工有限公司;消泡剂DEL,荆州嘉华科技有限公司;KCl,工业级;缓蚀剂ZJ,河南森瑞化工有限公司;润滑剂JX-108,毅嘉新材料(山东)有限公司;润滑剂-1(钻井液用水基润滑剂),濮阳市豪然化工有限公司;润滑剂-2(钻井液用润滑剂),天津雄冠科技发展有限公司;润滑剂lube,荆州嘉华科技有限公司;润滑剂DX621,德旭新材料(广州)股份有限公司。去离子水;模拟海水,矿化度35000 mg/L、pH值7.6;实验采用人造模拟岩心(荆州嘉华科技有限公司),岩心渗透率为10×10^{-3}～20×10^{-3} μm^2。

Fann21200型极压润滑仪,Fann仪器公司;KMY201-1A抗磨试验机,成都浩宇驰仪器仪表有限公司;WZT-2型光电浊度计,上海平轩科学仪器有限公司;HKY-1型多功能岩心驱替装置,荆州塔林仪器设备公司;QBZY系列全自动表界面张力仪,上海方瑞仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 润滑剂CR301研制

室温下,将75份脂肪酸酯(甘油脂肪酸酯和丙二醇单月桂酸酯的质量比1∶1)加入反应釜中,然后在搅拌的条件下加入10份表面活性剂(油酸二乙醇酰胺和椰油酸二乙醇酰胺的质量比1∶1)和210份去离子水,搅拌升温至180 ℃后,负压到0.1～0.2 MPa的条件下充分反应3 h,冷却并恒温至60 ℃后加入混合均匀的5份磷酸酯和10份纳米石墨,在温度为60～80 ℃时,负压到0.1～0.2 MPa,反应2 h,然后用10份乙醇洗涤,分离出过滤层;降温后得到黄色液体即为钻井液润滑剂CR301的主剂。

将润滑剂主剂、植物油脂酸乙酯、二烷基二硫代氨基甲酸钼、脂肪醇醚磷酸酯钾盐、单丁醚、OP-10和消泡剂按一定比例在一定条件下混合得到润滑剂CR301。

1.2.2 完井液体系的配制

取一定量的配方为模拟海水+25% KCl+2%缓蚀剂ZJ的KCl基础完井液,加入一定量的润滑剂,用磁力搅拌器以1000 r/min的转速搅拌10 min,备用。

1.2.3 评价方法

(1)CR301降摩减阻效果评价

按照Q/SH 1025 0512—2007《钻井液用润滑剂通用技术条件》,用Fann21200极压润滑仪在150 ln.lb的扭矩下测定了加入润滑剂前后完井液的摩阻系数。

使用KMY201-1A抗磨试验机,主要工作部件由一个随主轴旋转的磨环以及压在磨环上的固定磨柱构成,试验时在不同压力条件下,磨环磨柱之间产生滑动摩擦,试验机通过砝码及杠杆构成的加力系统,可以测试出润滑剂的油膜强度以及由润滑剂在金属摩擦接触表面所形成的抗磨保护层的强度,在不断加砝码的过程中,磨环与磨柱抱死卡停,通过加压砝码(砝码一块重约837 g)的块数来评价润滑剂抗磨减阻能力,可以很好地模拟完井液存在的情况时下管柱过程中金属管材之间的磨损情况。

(2)与完井液的配伍性

将加有一定量润滑剂CR301的KCl完井液体系在90 ℃的水浴锅或150 ℃恒温加热箱中加热养护,然后使用光电浊度计测定不同温度下养护2 h后的加入润滑剂前后的完井液体系的浊度,以判断润滑剂与完井液的配伍性。

(3)储层保护效果评价

采用HKY-1型多功能岩心驱替装置对岩心进行渗透率的测定,并根据渗透率恢复值来判定储层保护效果。实验正向气驱测定伤害前渗透率,利用完井液反向污染60 min后,正向气驱测定伤害后岩心的渗透率,计算渗透率恢复率。

(4)水锁效应评价

采用QBZY系列全自动表界面张力仪在60 ℃下测定加入润滑剂前后完井液体系的表面张力,以判定完井液体系发生水锁效应的概率。

2　结果与讨论

2.1　润滑剂CR301的降摩减阻效果

2.1.1　润滑剂CR301加量对KCl完井液摩阻系数的影响

不同润滑剂CR301加量的KCl完井液体系的摩阻系数见表1。随着CR301加量的增大，完井液的摩阻系数减小，当CR301加量为3%时，摩阻系数为0.032，摩阻系数降低率达58%。摩阻系数越小，润滑性越好，金属间的摩擦阻力越小，在完井作业中管柱下入过程中的阻力越小，管柱的摩擦损伤越小。由此可见，CR301可明显改善KCl完井液体系的润滑性。

表1　CR301加量对KCl完井液体系摩阻系数的影响

CR301加量/%	摩阻系数	摩阻系数降低率/%
0	0.078	
1.0	0.065	16.67
2.0	0.046	41.03
3.0	0.032	58.97
4.0	0.030	61.54

2.1.2　润滑剂CR301加量对KCl完井液抗磨能力的影响

抗磨试验机主要模拟的是在完井液存在的情况下，金属与金属之间的摩擦，砝码加重的外力可以很好地模拟摩擦阻力。如果完井液的抗磨能力差，则在砝码加重的外力很小的情况下，试验机就会卡停。不同CR301加量的完井液体系的抗磨能力见表2。从表2可以看出，KCl完井液不加润滑剂时，在4块砝码的外力下即会卡停；润滑剂CR301为2%时，完井液体系的抗磨能力明显增强，在10块砝码的外力下才会卡停；润滑剂CR301加量大于2%时，在10块砝码的外力下也不会卡停。此外，还可以从磨柱磨痕的状态来推断完井液体系的抗磨能力。在未加CR301的完井液中的磨柱磨痕的表面积远远大于在CR301加量为2%的完井液中钢球的磨痕。加入CR301后完井液体系的抗磨能力大大提高，CR301可明显改善完井管柱下入过程中的磨损伤害。

表2　不同CR301加量下完井液体系的抗磨能力

CR301加量/%	抗磨能力
0	4块卡停
1	6块卡停
2	10块卡停
3	10块未卡停
4	10块未卡停

2.1.3　不同润滑剂对KCl完井液润滑性能的对比

室内评价了润滑剂CR301与其他几种润滑剂对KCl完井液体系润滑性能的改善效果，结果见表3，润滑剂加量为2%。在相同加量下，加入润滑剂CR301和润滑剂-2的KCl完井液体系体系的抗磨能力相当，均为10块砝码卡停。加入润滑剂-2的KCl完井液体系的摩阻系数降低率为43.59%，略高于加入润滑剂CR301的KCl完井液体系的（41.03%），但润滑剂-2在完井液体系中以油珠的形式均匀分散，在储层中容易附着在地层岩石上而封堵岩石孔隙，给储层带来伤害。加入润滑剂Lube的KCl完井液体系的摩阻系数降低率也在40%左右，但抗磨能力比加入CR301的KCl完井液体系的差，且完井液表面有油花，在储层中容易附着在地层岩石上而封堵岩石孔隙，给储层带来伤害。

表3　相同加量下不同润滑剂对KCl完井液润滑性能的影响

润滑剂	摩阻系数	摩阻系数降低率/%	抗磨能力	备注
空白	0.078		4块卡停	清澈透明
CR301	0.046	41.03	10块卡停	清澈透明
JX-108	0.058	25.64	6块卡停	清澈透明
润滑剂-1	0.069	11.54	5块卡停	表面有油花
润滑剂-2	0.044	43.59	10块卡停	有油珠均匀分散在完井液中
lube	0.049	37.18	7块卡停	表面有油花
DX621	0.062	20.51	5块卡停	清澈透明

综上，在KCl完井液中加入润滑剂CR301后可以大大降低完井液的摩阻，提高完井液的抗磨性能，减小金属之间的磨损，从而在完井液作业中降低管柱下入的摩擦阻力，减小管柱摩擦损伤。此外，加入润滑剂CR301的完井液体系清澈透明无油花，不会给储层带来伤害。

2.2　其他性能

2.2.1　润滑剂CR301与KCl完井液的配伍性

加有不同量润滑剂CR301的KCl完井液体系

分别在室温、90 ℃、150 ℃下放置2 h后的浊度见表4。润滑剂CR301对KCl完井液体系的浊度影响不大，不管是在室温还是在150℃高温下均没有不溶物产生，外观清澈透明。这说明润滑剂CR301与KCl完井液体系具有良好的配伍性，不会在完井液作业中给储层带来伤害。

表4 CR301加量对完井液浊度的影响

CR301加量/%	在不同温度下放置2 h后的浊度/NTU		
	室温	90 ℃	150 ℃
0	2.15	1.89	2.01
2	2.32	2.02	2.36
4	3.21	2.69	2.58

2.2.2 对储层的保护性能

采用HKY-1型多功能岩心驱替装置对完井液体系进行储层保护性能评价，结果如表5所示。从表5可以看出，KCl完井液体系对储层的伤害程度较小，岩心渗透率恢复值为75.4%；加入2%的润滑剂CR301后，岩心渗透率恢复值由75.4%提高至85.4%。这说明润滑剂CR301对储层的保护效果很好，可一定程度上减小完井液体系对储层的伤害。

表5 CR301对完井液储层保护性能的影响

CR301加量/%	岩心号	渗透率/(10^{-3} μm^2)		渗透率恢复率/%
		伤害前	伤害后	
0	22#	10.69	8.06	75.4
2	23#	12.95	11.06	85.4

2.2.3 水锁效应评价

表面张力越大，越容易产生水锁效应，越容易带来储层伤害。从储层保护效果考虑，完井液的表面张力越小越好。加有不同量润滑剂CR301的KCl完井液体系的表面张力见表6。加入CR301后，KCl完井液体系的表面张力明显降低，加量为2%和3%时表面张力可降至30 mN/m以下。加入润滑剂CR301可以减小KCl完井液体系水锁效应的发生，降低储层伤害，这与储层保护实验结果一致。

表6 不同加量CR301下KCl完井液体系的表面张力

CR301加量/%	表面张力/(mN·m^{-1})
0	64.16
1	40.64
2	29.53
3	28.06
4	30.61
5	32.59

注：水的表面张力73.81 mN/m。

3 结论

水溶性润滑剂CR301可大大改善KCl完井液的润滑性能，降低完井液的摩阻，减小完井管柱下入阻力，降低完井管柱的摩擦损伤。与空白KCl完井液相比，加入2% CR301的KCl完井液体系的摩阻系数降低率可达41.03%，抗磨能力可以承受10块砝码的重量，且磨痕明显变小。

CR301与KCl完井液具有很好的配伍性，外观清澈透明，表面无油花。CR301可改善完井液体系的储层保护性能，减小水锁效应，减低对储层伤害。CR301可作为完井液的润滑剂用在大位移井完井作业中。

参考文献：

[1] 李钟. 大斜度大位移井钻井液技术探讨[J]. 科技视界，2017，10(11)：23-23.

[2] 谢彬强，邱正松，黄维安，等. 大位移井钻井液关键技术问题[J]. 钻井液与完井液，2012，29(2)：81-87.

[3] 丁团峰，夏廷波. 水平井无固相洗井完井液技术研究与应用[J]. 吐哈油气，2007，12(1)：67-69.

[4] 贾敏松，甘赠国，吕兴辉. 浅谈大位移井摩阻控制技术[J]. 中国石油和化工标准与质量，2013，13(19)：64.

[5] 程玉生，杨洪烈，胡文军，等.乐东22-1气田超浅层大位移井钻井液技术[J].石油天然气学报，2014，36(12)：146-148.

[6] 李海东. 大位移井摩阻扭矩分析[J].化工管理，2017，13(1)：130.

[7] 谢中成，付建红，李进，等. 东海油气田超深大位移气井钻井关键技术[J]. 石油钻采工艺，2018，40(4)：18-25.

[8] 刘均一，邱正松，黄维安，等. 南海东方气田高密度抗高温钻井液完井液室内研究[J]. 石油钻探技术，2013，41(4)：84-88.

[9] 管申，侯珊珊，王佳，等. 大位移井抗高温低摩阻钻井液室内研究[J]. 长江大学学报(自科版)，2019，16(8)：49-52.

[10] 史凯娇，徐同台. 甲酸铯/钾无固相钻井液和完井液研究[J]. 石油钻探技术，2011，39(2)：77-80.

[11] 王冲敏. 高温高密度完井液体系研究[J]. 内蒙古石油化工，2018，44(4)：123-124.

[12] 舒福昌，向兴金，李蔚萍，等. 活性盐水完井液体系研究[J]. 石油天然气学报，2010，32(5)：141-143.

[13] 王卫国，刘梅全，艾贵成，等. 无固相钻井完井液的研究与应

用[J]. 石油科技论坛，2012，31(2)：42-45.
[14] 吴若宁，熊汉桥，岳超先，等. 新型高密度清洁复合盐水完井液[J]. 钻井液与完井液，2018，35(2)：142-146.
[15] 高鸿锦，孙素琴，王鹤泉，等. 润滑剂分子结构及其润滑作用机理的红外发射光谱研究[C]//第五届全国摩擦学学术会议，湖北 武汉，1992：99-104.

Performance of Drag Reducer for Completion Fluid of Extended Reach Well

JIANG Hua[1], YANG Yang[2], YOU Fuchang[2], DU Jiaqi[2], DENG Cong[2]
(*1. Shenzhen Branch Company, CNOOC, Shenzhen, Guangdong 518067, P R of China; 2. Jingzhou Jiahua Technology Company Ltd, Jingzhou, Hubei 434000, P R of China*)

Abstract: Due to long horizontal displacement, large deviation angle, high formation pressure coefficient and high friction torque during completion, the running of string is affected. In order to solve this problem, a kind of completion fluid lubricant CR301 was developed in laboratory, and the friction reducing and drag reducing performance, anti-friction ability, compatibility, reservoir protection effect and water locking effect of KCl brine completion fluid system with the lubricant were studied. The results showed that when the dosage of CR301 was 2%, the friction coefficient of KCl brine completion fluid decreased from 0.078 to 0.046, the friction coefficient decreased by more than 40%, and the anti-friction ability increased from 4 weights to 10 weights. At the same time, CR301 had good compatibility with KCl brine completion fluid, which could improve the permeability recovery value of core, reduce the surface tension of completion fluid system and reduce reservoir damage. CR301 could obviously improve the drag reduction performance of KCl brine completion fluid system, and had protective effect on reservoir, so it could be used in extended reach well completion fluid.

Keywords: *extended reach well; friction torque; completion fluid; coefficient of friction resistance; anti-friction ability; reservoir damage*

(上接第387页。continued from p.387)

Effect of Dispersible Silica Nanoparticles with Different Functional Groups on Filtration Properties of Drilling Fluid

TIAN Xiao, ZHOU Changhua, YANG Guangbin, SONG Ningning, ZHANG Zhijun, ZHANG Shengmao
(*Engineering Research Center for Applied Technology of Hybrid Nanomaterials, Henan University, Kaifeng, Henan 475004, P R of China*)

Abstract: In this paper, API filtration experiments were carried out to study the influence of silica nanoparticles with amino (SiO_2-A), double bond (SiO_2-D) and epoxy groups (SiO_2-E) on the filtration of water-based drilling fluid and their compatibility with commercial filtrate reducer, including phenolic resin, sulfonated asphalt, low viscosity CMC and potassium humate. And the molecular structure of surface modifiers, morphology and hydrophilic/hydrophobic properties of nanoparticles were studied by means of infrared spectrometer, transmission electron microscope and contact angle measuring instrument, respectively. The results showed that the filtrate loss of drilling fluid was reduced by 41% and 29%, respectively, compared with adding commercial filtrate reducer alone, when SiO_2-D was combined with low viscosity CMC and potassium humate at mass ratio of 2∶1 and 1∶1, respectively. After aged at 180 ℃, SiO_2-D still had good compatibility with humic acid potassium, and the filtrate loss of the drilling fluid adding SiO_2-D and humic acid potassium was 28% lower than that adding humic acid alone. The reason for the good compatibility between SiO_2-D and potassium humate was that the polar groups in potassium humate, such as —OH, —OCH_3, =CO, could implement the hydrogen bond adsorption with hydroxyl groups on the surface of SiO_2-D, which could stabilize the viscosity of drilling fluid and maintain the particle size distribution of solid phase in drilling fluid. Ultimately, thin and dense mud cake in the filtration process was formed, so as to effectively control the API filtrate loss of drilling fluid.

Keywords: *nano-silica; commercial fluid loss agent; compatibility; water-based drilling fluid; fluid loss*