

Preparation and Applications of an Advanced Lubricant for Brine Water Based Drilling Fluids

Tao Zhang¹, Baolin Cui¹, Wei Xue¹, GuangHuan Li², Jun Su²,

Zhengqiang Xiong³, Fengbao Liu⁴ and Fengshan Zhou^{1*}

¹Beijing Key Laboratory of Materials Utilization of Nonmetallic Minerals and Solid Wastes, National Laboratory of Mineral Materials, School of Materials Science and Technology, China University of Geosciences(Beijing), 100083, China, ² Drilling Fluid Technology Service Company of CNPC Bohai Drilling Engineering Ltd., Tianjin 300280, China, ³ Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China, ⁴ Tabei Exploratory and Development Department of PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla 841000, China

*The correspondence should be addressed to Feng-shan Zhou; zhoufs@cugb.edu.cn

Abstract. Brine water based drilling fluids have advantages on protecting reservoir and stabilizing well hole, meanwhile, it also have some defects such as low lubricity and strong corrosivity, especially the low lubricity have already become an important problem demanding prompt solution. Focusing on the problem, a new lubricant named BLC that suit for brine water based drilling fluids were prepared.

As the basic material of BLC, a recycled animal and vegetable oil REO was made in to a special intermediate product SPP-REO that have good lubricity, heat resistance and salt resistance by using three steps of chemical modifications. Salt tolerance lubricants BLC-1(suit for summer) and BLC-2(suit for winter) were obtained by mixture of SPP-REO and other auxiliary materials.

With 0.6% BLC-1, the ΔK_f (reduction rate of sticking coefficient) of a special silica brine drilling fluid of Gang 308-2 Well reached more than 50%; with 0.5% BLC-1, the ΔK_f of polymer drilling fluid of Zhong 3-56 Well reached 64%; with 0.5% BLC-2, the ΔK_f of organic salt drilling fluid of Baiku-H1 Well reached more than 30%; With 0.6% BLC-2, the ΔK_f of silica drilling fluid of Fang 15-16 Well reached 59%; with 0.5% BLC-2, the ΔK_f of polymer drilling fluid of Xi 48-21 Well reached 59%. BLC lubricant obtained good performances when it was used by CNPC Bohai Drilling Engineering Ltd. in Dagang Oilfield.

Keywords: Brine water based drilling fluids; Lubricants; Animal and vegetable oil; Salt tolerance; Temperature resistance

钻井液用新型抗盐润滑剂制备及其应用研究

张涛¹, 崔保林¹, 薛伟¹, 李广环², 苏君², 熊正强³, 刘锋报⁴, 周凤山^{1*}

(¹非金属矿物和固废资源材料化利用北京市重点实验室, 矿物材料国家专业实验室, 中国地质大学(北京)材料科学与工程学院, 北京 100083, ²中国石油渤海钻探集团泥浆技术服务分公司, 天津 300280, ³北京探矿工程研究所, 北京 100083, ⁴中国石油塔里木油田分公司塔北勘探开发事业部, 新疆库尔勒, 841000)

摘要: 盐水钻井液具有稳定井壁、保护储层等优势, 但也具有腐蚀性大、润滑性差等缺点, 尤其润滑性差已经成为亟待解决的问题。为此, 本文研制了一种适用于盐水钻井液的新型润滑剂 BLC。

润滑剂 BLC 以回收动植物油脂 REO 为基础原料, 经三步化学改性, 得到润滑性、抗温性、抗盐性均得到提高的改性 REO, 即 SPP-REO, 再经过调质处理, 制备出钻井液抗盐润滑剂夏季型 BLC-1 和冬季型 BLC-2。

在港 380-2 井泥浆(硅基体系)加入 0.6%的 BLC-1 后, ΔK_f (粘附系数降低率)达到了 50%以上; 中 3-56 井泥浆(聚合物体系)加入 0.5%的 BLC-1 后, ΔK_f 达到了 64%; 白库-H1 井泥浆(有机盐体系)加入 0.5%的 BLC-2 后, ΔK_f 达到了 30%

以上; 房 15-16 井泥浆 (硅基体系) 加入 0.5% 的 BLC-2 后, ΔK_r 达到了 59%, 西 48-21 井泥浆 (聚合物体系), 加入 0.5% 的 BLC-2 后, ΔK_r 达到了 59%。抗盐润滑剂 BLC 在中石油渤海钻探大港油田五口井的现场试验中取得了良好效果。

关键词: 盐水钻井液; 润滑剂; 动植物油脂; 抗盐性; 抗温性

引言

盐水钻井液是一类重要的钻井液, 随着油气勘探开发向着深部地层、海洋、页岩气储层挺进, 其应用日益广泛。盐水钻井液因其矿化度高而具有一般水基钻井液不具有的优势。例如, 抑制性强, 防止泥页岩水化, 稳定井壁; 抗钙侵、抗盐侵的能力强, 利于保护储层等^[1]。但同时, 盐水钻井液还具有对设备腐蚀性大, 对钻井液处理剂伤害大, 润滑性差等缺点, 尤其润滑性差已经成为盐水钻井液应用中的突出问题。目前尚无专门适用于盐水钻井液的润滑剂, 通常的做法是将淡水钻井液润滑剂加大剂量用于盐水钻井液, 在盐水钻井液中, 润滑剂的使用量一般是淡水钻井液中的 1.5~2 倍^[2]。受盐水钻井液的高矿化度和高浓度金属离子的影响, 常用的矿物油类、表面活性剂乳液类、脂肪酸类、聚合醇类等类型的钻井液润滑剂应用到盐水钻井液中往往效果不好、甚至失效, 亟需适用于盐水钻井液的润滑剂。

动植物油脂的主要成分为甘油酯和脂肪酸, 吸附作用较强, 能够在钻具和岩石表面形成较为牢固的润滑膜, 具有润滑性好、无毒、资源可再生、生物降解性好等特点, 是制备钻井液润滑剂的优良原料^[3-6]。但是直接利用动植物油脂作钻井液润滑剂还不能满足工程应用, 未改性的动植物油脂存在以下问题^[7-9]: 第一, 氧化安定性差, 油脂分子中的不饱和键易被氧化, 导致润滑性变差; 第二, 油脂在钻井液的碱性氛围中容易水解, 生成大量的脂肪酸盐表面活性剂, 导致钻井液起泡; 第三, 甘油酯容易皂化, 抗盐、抗钙能力不强。因此, 利用动植物油脂制备钻井液润滑剂, 必须对其进行化学改性, 动植物油脂分子中具有高反应活性的官能团有酯键、羧酸根以及双键, 化学改性多从这三个官能团入手。目前, 常用的改性方法有改性的方法主要有氢化^[10]、酯化^[11]、环氧化^[12]以及硫化^[13]。

本文选用动植物油脂为原料, 对油脂进行硫化、季戊四醇酯化、磷酸酯化改性, 提高油脂的润滑性、抗盐性和抗温性, 再经调制处理制备出抗盐钻井液润滑剂 BLC。

1 钻井液抗盐润滑剂BLC的制备及性能评价方法

1.1 原料及仪器

动物油、植物油为市售, 酸催化剂、硫磺、季戊四醇、五氧化二磷为 CP, 调质剂 A、调质剂 B 为实验室自制。

EP 极压润滑仪, 青岛得顺电子机械有限公司; NF-1 粘附系数测定仪, 青岛海通达公司; ZNN-D6S 六速旋转粘度计, 青岛海通达公司; ZNS-2A 中压滤失仪, 青岛海通达公司; Spectrum 100 系列红外光谱仪, 美国 Perkin Elmer 公司。

1.2 制备方法

第一步, 基础油脂 REO 化学改性: 取一定质量的动植物油脂置于装有温度计、回流冷凝管和搅拌器的三口烧瓶中, 逐步加入一定质量的升华硫, 在一定温度下搅拌反应一段时间; 将回流冷凝管改为冷凝排水装置, 加入一定质量的酸催化剂和季戊四醇, 在一定温度下搅拌反应一段时间; 降温到一定温度, 逐步加入一定质量的五氧化二磷, 搅拌反应一段时间, 得到改性的动植物油脂, 命名为 SPP-REO。

第二步, 调质处理, 优化性能: 取一定质量 SPP-REO, 加入一定质量的调质剂 (如果用调质剂 A 则得

到夏季型 BLC-1，如果用调质剂 B 则得到冬季型 BLC-2)，搅拌均匀，再根据需要加入适量的表面活性剂、消泡剂等，即可得到钻井液抗盐润滑剂 BLC-1 或 BLC-2。

1.3 润滑性评价

润滑性能考察粘附系数降低率 (ΔK_f) 和润滑系数降低率 (Δf) 指标，评价方法见 Q/SY 1088-2012 钻井液用液体润滑剂技术指标 [14]。

1.4 流变性评价

流变性能考察表观粘度 (AV)、塑性粘度 (PV)、动切力 (YP) 及常温中压滤失量 (FLAPI)，评价方法见 GB-T 16783.1-2006 钻井液现场测试 第 1 部分-水基钻井液 [15]。

1.5 发泡性评价

发泡性评价方法见 Q/SY TZ 0022-2000 钻井液用润滑剂性能技术要求及分析方法 [16]。

2 结果与讨论

2.1 抗盐润滑剂 BLC 抗盐性评价

将润滑剂 BLC-1 和 BLC-2 分别加入到淡水浆中和五种盐水浆中，测定其 Δf ，实验结果如下：

表 1 润滑剂 BLC 在不同基浆中 Δf (%)

型号	淡水浆	4% 盐水浆	36% 盐水浆	海水浆	9% 氯化钾浆	10% 甲酸钠浆
BLC-1	90.8	79.2	73.3	58.5	53.2	11.4
BLC-2	88.2	88.3	84.9	79.0	81.1	35.3

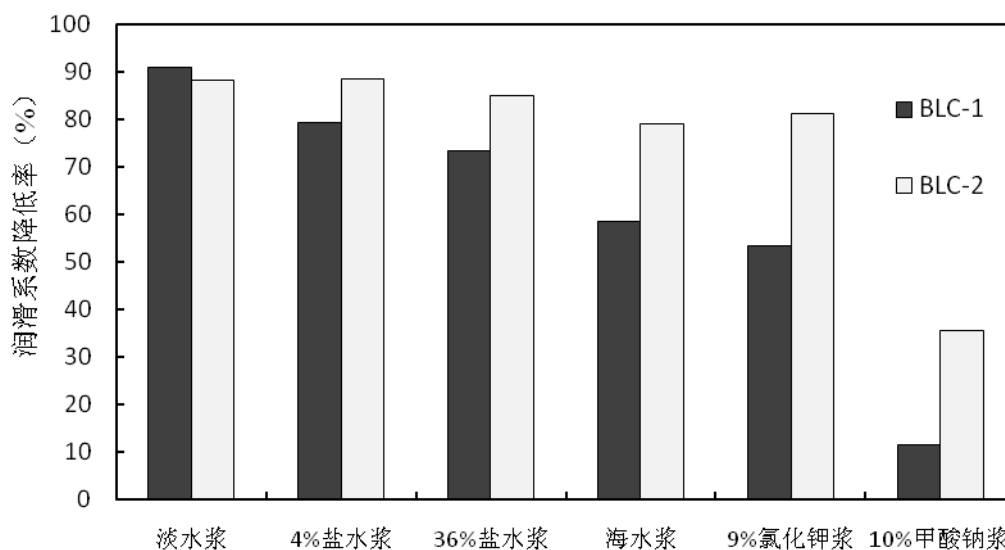


图 2 润滑剂 BLC 在不同盐水浆中 Δf

实验表明：润滑剂 BLC-1 具有较好的抗盐性能，尤其在饱和氯化钠盐水浆中， Δf 仍然能够达到 70%，但在甲酸钠浆中 Δf 仅有 11%，这可能跟甲酸钠基浆本身特性有关；润滑剂 BLC-2 具有更好的抗盐性，在

氯化钠盐水浆、海水浆、氯化钾浆中 Δf 都达到了80%左右，但同样，在甲酸钠浆中的 Δf 仅有35.3%。

2.2 抗盐润滑剂 BLC 抗温性评价

将润滑剂 BLC-1 和 BLC-2 分别加入到淡水浆中和五种盐水浆中，热滚老化后，测其润滑性和起泡率，以此衡量其抗温性。实验结果如下：

2.2.1 BLC-1 抗温性评价

表 2 润滑剂 BLC-1 抗温性评价结果

性能	淡水浆	4% 盐水浆	36% 盐水浆	海水浆	9% 氯化钾浆	10% 甲酸钠浆
常温 Δf /%	90.8	79.2	73.3	58.5	53.2	11.4
120°C×16h Δf /%	87.4	96.3	90.3	84.4	78.5	69.9
120°C×16h 起泡率%	31	30	21	35	35	34

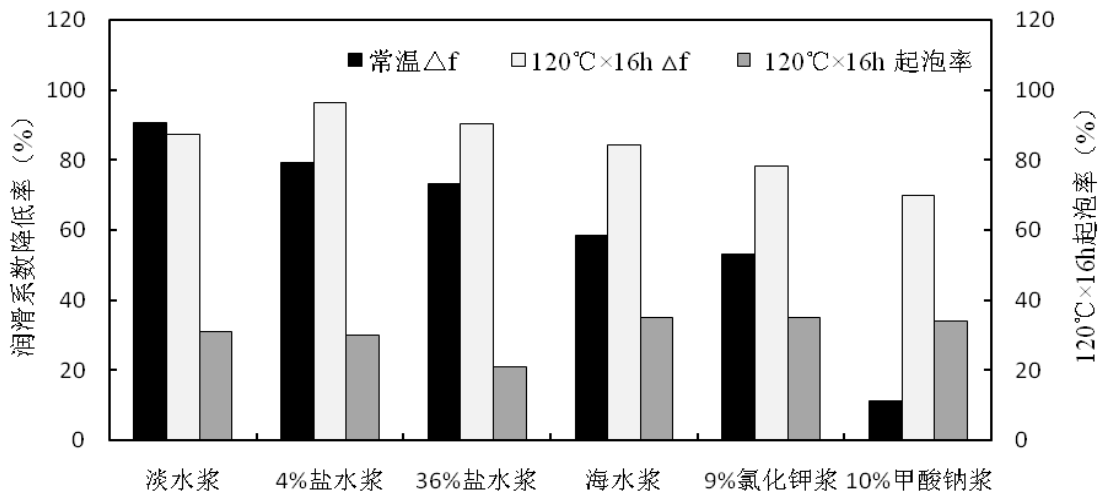


图 3 润滑剂 BLC-1 抗温性能评价

通过上表和上图可以看出：第一，经过热滚后，润滑剂 BLC-1 的润滑性除了在淡水浆中略有下降外，在其他五种盐水浆中都有明显的上升，有的甚至成倍的提高，说明润滑剂 BLC-1 具有良好的抗温性，随着钻井液的循环，润滑性逐渐提高；第二，经过热滚后，BLC-1 的起泡率偏高，在 30%左右，还需加入少量消泡剂 D 对起泡性进行调整。

2.2.2 BLC-2 抗温性评价

表 3 润滑剂 BLC-2 抗温性评价结果

性能	淡水浆	4% 盐水浆	36% 盐水浆	海水浆	9% 氯化钾浆	10% 甲酸钠浆
常温 Δf /%	88.2	88.3	84.9	79.0	81.1	35.3
120°C×16h Δf /%	96.1	97.4	97.9	95.2	95.2	77
120°C×16h 起泡率%	21	22	33	18	30	23

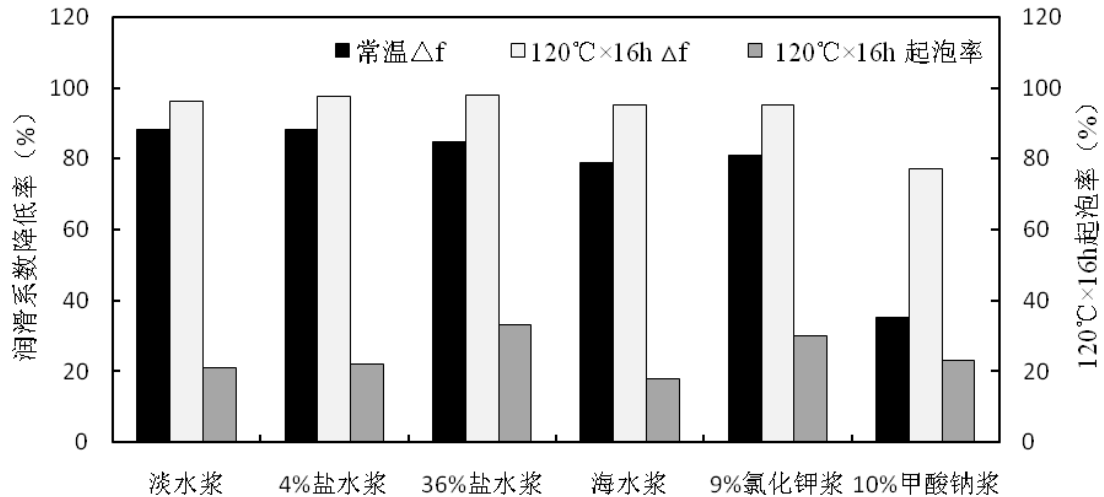


图4 润滑剂 BLC-2 抗温性能评价

通过上表和上图可以看出：第一，经过热滚后，无论在淡水浆中还是在五种盐水浆中润滑剂 BLC-2 的润滑性均有明显的上升，说明润滑剂 BLC-2 的抗温性良好，随着钻井液在井筒中的循环，BLC 的润滑性逐渐体现出来；第二，经过热滚后，BLC-2 在淡水、4%盐水、海水和甲酸钠基浆中起泡率约 20%，在饱和盐水浆和 9%氯化钾浆中起泡率约 30%，还需要加入少量消泡剂对起泡性进行调整。

2.3 与同类产品对比

选取三种在现场应用中综合性能表现较好的润滑剂进行了对比，分别是：胜利油田沃德润滑剂 S-WD、塔里木油田油建公司 MHR-86D、上海洋世钻井液润滑剂 T-YS。分别测定这三种产品在淡水浆和 4%盐水浆中的润滑性能，对比结果如下：

表4 BLC 润滑剂与市售产品润滑性对比

性能	S-WD	MHR-86D	T-YS	BLC-1	BLC-2
淡水浆 Δf	77.2	83.1	68.1	90.8	88.2
4%盐水浆 Δf	71.6	77.4	73.4	79.2	88.3

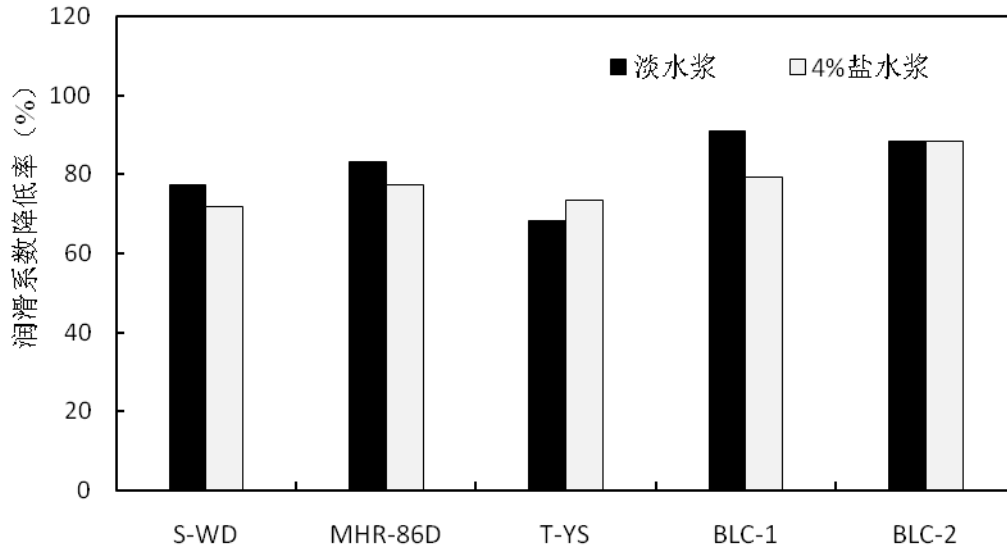


图 5 BLC 润滑剂与市售产品对比

由上表和图可以看出，在淡水浆中和 4%的盐水浆中，抗盐润滑剂 BLC 的 Δf 均优于三种市售产品。

3 现场应用

钻井液抗盐润滑剂 BLC 在大港油田成功应用 5 口井，其中夏季型 BLC-1 应用于 2 口井，中 3-56 井和港 380-2 井；冬季型 BLC-2 应用于 3 口井，房 15-16 井、西 48-21 井和白库-H1 井。试验井最大井深 3890m（房 15-16），最大井斜 79.32°（白库-H1 井），最大水平位移 848m（白库-H1 井）。

3.1 港 308-2 井

港 308-2 井是位于唐南构造港 380 断块高部位的一口生产井，井型为定向井，井深 3144m，井斜 17.79°。现场应用试验时钻至深度 2734m，所使用钻井液为硅基体系，密度为 1.41g/cm³，钻井液漏斗粘度为 63s，加入的润滑剂为 BLC-1。

3.1.1 BLC-1 的加入对现场井浆润滑性的影响

现场应用加量为 0.6%，原有井浆共 250m³，加入 1.6t 的 BLC-1。润滑剂加入前后井浆粘附系数对比如下：

表 5 BLC-1 润滑剂加入井浆后不同时间测得的粘附系数对比

样品	5min	10min	15min	30min	45min
井浆	0.05	0.12	0.16	0.20	0.24
井浆+0.6%润滑剂	0.01	0.07	0.12	0.12	0.12

由上表可以看出，BLC-1 的加入对井浆的润滑性有了很大的提高，45min 时，系数由 0.24 降低至 0.12，粘附系数降低了 50%，说明润滑剂 BLC-1 具有很好的润滑性能。

3.1.2 润滑剂的加入对现场井浆其他性能的影响

表 6 BLC-1 润滑剂加入后对井浆其他性能影响

样品	表观粘度 (mPa s)	漏斗粘度 (s)	密度 (g/cm ³)	滤失量(mL)
井浆	39.5	63	1.41	4.5
井浆+0.4% 润滑剂	40	63	1.41	4.5

上表为 BLC-1 的加入对井浆的流变性能、密度以及滤失量的影响。从表中可以看出 BLC-1 的加入表观粘度从 39.5mPa·s 升到 40mPa·s, 漏斗粘度、滤失量和密度都没有发生变化。

本井钻井液中加入了 0.6% 的润滑剂之后钻井液摩擦阻力减小, 进尺快, 起下钻和完井作业正常, 技术套管下入顺利。

3.2 中 3-56 井

中 3-56 井是位于港中油气田南三区的一口开发井, 该井为定向井, 井深 3370m, 最大井斜为 27.23 度。现场应用试验时钻至井深 2070m, 所使用钻井液为聚合物体系, 密度 1.24g/cm³, 漏斗粘度 45s, 使用润滑剂为 BLC-1。

3.2.1 BLC-1 的加入对现场井浆润滑性的影响

现场应用加量为 0.5%, 原有井浆共 300m³, 加入 1.5t 的 BLC-1。润滑剂加入前后, 井浆粘附系数变化如下表所示:

表 7 BLC-1 加入井浆后不同时间测得粘附系数对比

样品	5min	10min	15min	30min	45min
井浆	0.165	0.22	0.28	0.31	0.31
井浆+润滑剂	0.045	0.08	0.10	0.10	0.11

从表中可以看出, BLC-1 加入后, 井浆的润滑性有了很大的提高, 45min 时, 井浆的粘附系数由 0.31 降低至 0.11, ΔK_f 达到了 64%, 说明 BLC-1 在井浆中具有很好的润滑性能。

3.2.2 BLC-1 的加入对现场井浆其他性能的影响

表 8 BLC-1 的加入对井浆其他性能的影响

样品	表观粘度 (mPa s)	漏斗粘度 (s)	密度 (g/cm ³)	滤失量(mL)
井浆	21	45	1.24	5
井浆+润滑剂	22	46	1.24	5

从上表中可以看出润滑剂的加入使表观粘度从 21 mPa·s 升到 22mPa·s, 漏斗粘度由原来的 45s 增加到 46s, 滤失量无变化, 说明润滑剂对该井浆无不良影响。

本井加入了 0.5% 的润滑剂之后钻井液摩擦阻力减小, 进尺快, 起下钻和完井作业正常, 技术套管下入顺利。

3.3 白库-H1 井

中 3-56 井是位于白水头断层和过白 14-1 井断层所夹持地块的一口天然气注采井, 该井为水平井, 设

计井深 3636m, 现场应用试验时钻至深度 3224m, 所使用钻井液为有机盐体系, 密度 1.16g/cm³, 漏斗粘度 60s, 使用润滑剂为 BLC-2。

3.3.1 BLC-2 的加入对现场井浆润滑性的影响

现场应用加量为 0.5%, 原有井浆共 220m³, 加入 1.2t 的润滑剂。现场应用润滑剂加入前后的粘附性能下表所示:

表 9 BLC-2 加入井浆后不同时间测得粘附系数对比

样品	5min	10min	15min	30min	45min
井浆	0.03	0.15	0.18	0.20	0.20
井浆+0.5%润滑剂	0.01	0.07	0.12	0.11	0.11

由上表可以看出, 润滑剂的加入对井浆的润滑性有了很大的提高, 45min 时, 系数由 0.20 降低至 0.11, 粘附系数降低了 30%, 说明 BLC-2 的润滑性能较好。

3.3.2 BLC-2 的加入对现场井浆其他性能的影响

表 10 BLC-2 的加入对井浆的其他性能的影响

样品	表观粘度 (mPa s)	漏斗粘度 (s)	密度 (g/cm ³)	滤失量(mL)
井浆	39.5	60	1.16	3.8
井浆+0.4%润滑剂	40	60	1.16	3.8

上表为润滑剂 BLC-2 的加入对井浆的流变性能、密度以及滤失量的影响。从表中可以看出润滑剂的加入使表观粘度从 39.5mPa·s 升到 40mPa·s, 仅有稍微的升高, 漏斗粘度密度没有发生变化, 滤失量和密度都没有发生变化, 说明润滑剂 BLC-2 对本井钻井液其他性能没有不良影响。

本井当时正处于定向阶段, 遇到托压现象, 之后加入 BLC-2, 并疏通井眼, 增加了井壁的润滑性, 并且最终起下钻和完井作业正常, 技术套管下入顺利。

3.4 房 15-16 井

房 15-16 井是位于六间房油田滨 48X1 井区断鼻圈闭的一口生产井, 井型水平井, 最大井斜为 26.48 度, 设计井深 3969m, 现场应用试验时钻至井深 3039m, 所使用钻井液为硅基体系, 密度 1.38g/cm³, 漏斗粘度 53s, 使用润滑剂为 BLC-2。

3.4.1 BLC-2 的加入对现场井浆润滑性的影响

现场应用加量为 0.5%, 原有井浆共 300m³, 加入 1.5t 的润滑剂 BLC-2。BLC-2 加入前后的粘附系数变化如下表示:

表 11 BLC-2 加入井浆后不同时间测得粘附系数对比

样品	5min	10min	15min	30min	45min
井浆	0.035	0.12	0.28	0.31	0.22
井浆+润滑剂	0.02	0.07	0.09	0.09	0.10

从上表可以看出, BLC-2 的加入后, 45min 时, 粘附系数由 0.22 降低至 0.09, 粘附系数降低了 59%,

说明 BLC-2 在硅基钻井液中具有很好的润滑性能。

3.4.2 BLC-2 的加入对现场井浆其他性能的影响

表 12 BLC-2 的加入对井浆的其他性能的影响

样品	表观粘度 (mPa s)	漏斗粘度 (s)	密度 (g/cm ³)	滤失量(mL)
井浆	21	53	1.38	4
井浆+润滑剂	22	54	1.38	3.8

从表中可以看出 BLC-2 的加入使表观粘度从 21 mPa·s 升到 22mPa·s，漏斗粘度由原来的 53s 增加到 54s，滤失量由 4 mL 减至 3.8mL，变化很小，说明 BLC-2 对该井浆无不良影响。

本井加入了 0.5% 的润滑剂 BLC-2 之后钻井液摩擦阻力减小，进尺快，起下钻和完井作业正常，技术套管下入顺利。

3.5 西 48-21 井

西 48-21 井是位于北大港潜山构造带港西油田一区一断块的一口生产井，该井为定向井，最大井斜为 39.58 度，设计井深 1361m。现场试验时钻至井深 1053m，钻井液为聚合物体系，密度 1.31g/cm³，漏斗粘度 45s，使用润滑剂为 BLC-2。

3.5.1 BLC-2 的加入对现场井浆润滑性的影响

现场应用加量为 0.5%，原有井浆共 200m³，加入 1.0t 的 BLC-2。润滑剂加入前后的粘附系数变化如下表所示：

表 13 BLC-2 加入井浆后不同时间测得粘附系数对比

样品	5min	10min	15min	30min	45min
井浆	0.165	0.22	0.28	0.31	0.34
井浆+润滑剂	0.05	0.09	0.10	0.125	0.14

从表中可以看出，BLC-2 的加入对井浆的润滑性有了明显改善，45min 时，系数由 0.34 降低至 0.14，粘附系数降低了 59%，说明 BLC-2 润滑性能很好。

3.5.2 润滑剂的加入对现场井浆其他性能的影响

表 14 BLC-2 的加入对井浆的其他性能的影响

样品	表观粘度 (mPa s)	漏斗粘度 (s)	密度 (g/cm ³)	滤失量(mL)
井浆	16	45	1.31	5
井浆+润滑剂	16.5	46	1.31	5

从上表可以看出 BLC-2 加入后，井浆的流变性能、密度以及滤失量均无明显变化，说明 BLC-2 对该井浆无不良影响。

本井加入了 0.5% 的润滑剂 BLC-2 之后，钻井液摩擦阻力减小，进尺快，起下钻和完井作业正常，技术套管下入顺利。

4 结论

(1) 以动植物油脂为原料, 经过硫化、季戊四醇酯化、磷酸酯化改性, 制得改性基础油脂 SPP-REO, 以 SPP-REO 为基础油, 分别辅以调质剂 A 和调质剂 B、消泡剂等, 制得钻井液抗盐润滑剂夏季型 BLC-1 和冬季型 BLC-2。

(2) 经实验检测, BLC-1 和 BLC-2 均具有良好的润滑性、抗盐性和抗温性, 并且在优于同类产品。

(3) 抗盐润滑剂 BLC 在大港油田现场试验中取得了良好效果。

Conflict of Interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.

Acknowledgements

This research work was supported by The National Key Technology RandD Program of China (2014BAC31B01).

参考文献:

- [1] 鄢捷年. 钻井液工艺学 (修订版). 中国石油大学出版社, 2012, 8: 164~170
- [2] 蔡利山, 赵素丽. 钻井液润滑剂润滑能力影响因素分析与评价. 石油钻探技术, 2003, 31(1): 53~54
- [3] Fox N J, Stachowiak G W. Vegetable oil-based lubricants –a review of oxidation [J].Tribology International, 2007, 40:1035-1046.
- [4] 杨汉民, 何东平. 植物油制备绿色环保润滑剂的展望. 中国油脂, 2003, 28(11): 65~ 67
- [5] KNOX D, JIANG P. Drilling further with water-based fluids-selecting the right lubricant[C]// SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, 2-4 February 2005, The Woodlands, Texas.
- [6] WAGNER H, LUTHER R, MANG T. Lubricant base fluids based on renewable raw materials: their catalytic manufacture and modification[J]. Applied Catalysis A: General, 2001, 221(1-2):429-442.
- [7] 刘建芳, 顾卡丽. 植物油基环保润滑剂的研究状况. 第二届全国工业摩擦学大会论文集, 福州, 2004.212-215
- [8] ERHAN S Z, SHARMA B K, LIU Z, et al. Lubricant base stock potential of chemically modified vegetable oils[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2008, 56(19): 8919-8925.
- [9] Hohn B R; Michaelis K; Dobereiner R Load carrying capacity properties of fast biodegradable gear Lubricants [J] 1999(55):15-35.
- [10] 刘军海, 裘爱泳. 植物油氢化技术研究进展 (I) [J]. 中国油脂, 2003, 28 (8): 13-17.
- [11] 宋生印. 一种钻井液润滑添加剂及其制备方法[P], CN 1743404A, 2006-3-8.
- [12] Wu X D, Zhang X G, Yang S G, et al. The study of epoxidized rapeseed oil used as a potential biodegradable lubricant [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2000, 77(5):561-563.
- [13] 陈忠祥, 蒋伟锋. 硫磷化改性菜子油润滑剂的制备及其摩擦学性能. 润滑与密封, 2005, 4:91~93
- [14] Q/SY 1088-2007 钻井液用液体润滑剂技术要求[S].
- [15] GB-T 16783.1-2006, 钻井液现场测试 第 1 部分-水基钻井液[S].
- [16] Q/SY TZ 0022-2000, 钻井液用润滑剂性能技术要求及分析方法[S].

References:

- [1] Yan Jienian. Drilling Fluids Technology (Revised Edition). China University of Petroleum Press, 2012, 8: 164~170
- [2] Cai Lishan, Zhao Suli. Analysis and Evaluation on Influence Factors of Lubricating Ability of Lubricants for Drilling Fluid. Petroleum Drilling Techniques, 2003, 31(1): 53~54
- [3] Fox N J, Stachowiak G W. Vegetable oil-based lubricants –a review of oxidation [J]. Tribology

International, 2007, 40:1035-1046.

- [4] Yang Hanmin, He Dongping. Prospects of Preparation of Vegetable Oil Green Lubricants. China Oils and Fats, 2003, 28(11):65~67
- [5] KNOX D, JIANG P. Drilling further with water-based fluids-selecting the right lubricant[C]// SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, 2-4 February 2005, The Woodlands, Texas.
- [6] WAGNER H, LUTHER R, MANG T. Lubricant base fluids based on renewable raw materials: their catalytic manufacture and modification[J]. Applied Catalysis A: General, 2001, 221(1-2):429-442.
- [7] Liu Jianfang, Gu Kali. Research Conditions of lubricants of Vegetable Oil Based and Environmental Protection. Proceedings of the Second Session of the National Industrial Tribology Conference, Fuzhou, 2004. 212-215
- [8] ERHAN S Z, SHARMA B K, LIU Z, et al. Lubricant base stock potential of chemically modified vegetable oils[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2008, 56(19): 8919-8925.
- [9] Hohn B R; Michaelis K; Dobereiner R Load carrying capacity properties of fast biodegradable gear Lubricants [J] 1999(55):15-35.
- [10] Liu Junhai, Qiu Aiyong. Research Progress of Vegetable Oil Hydrogenation Technology (I)[J]. China Oils and Fats, 2003, 28(8):13-17.
- [11] Song Shengyin. A Drilling Fluid Lubricant Additive and Its Preparation Method [P], CN1743404A, 2006-3-8.
- [12] Wu X D, Zhang X G, Yang S G, et al. The study of epoxidized rapeseed oil used as a potential biodegradable lubricant [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2000, 77(5):561-563.
- [13] Chen Zhongxiang, Jiang Weifeng. Preparation of Sulfur Phosphorus Modification of Rapeseed Oil and Its Tribological Properties of Lubricant. Lubrication Engineering, 2005, 4:91~93
- [14] Q/SY1088-2007 Technical Requirements of Drilling Fluid of Liquid Lubricant [S].
- [15] GB-T16783.1-2006, section one of Field Testing of Drilling Fluids-Water-Base Drilling Fluids [S].
- [16] Q/SYTZ0022-2000, Technical Requirements and Analysis Methods of Drilling Fluid of Liquid Lubricant [S].