

涪陵页岩气水平井油基钻井液技术

孙 举¹, 李晓岚¹, 刘明华¹, 李午辰², 杨朝光¹

(1. 中石化中原石油工程有限公司钻井工程技术研究院, 河南 濮阳 457001; 2. 中石化中原石油工程有限公司技术公司, 河南 郑州 450018)

摘要:针对非常规油气藏开发及复杂地层安全钻井的需要,为解决水平井井壁稳定、摩阻、携岩及地层污染问题,开展了油基钻井液技术研究与应用。通过乳化剂、有机土、降滤失剂、封堵剂等处理剂的研选,形成以柴油、白油为基础油的油基钻井液配方、循环损耗量控制技术及应用现场施工工艺。在涪陵页岩气田应用了 100 余口井,满足了现场施工需要,取得良好的技术经济效果。结合涪陵区块的具体情况,不断深入研究,2015 年研究并现场试验了粉状乳化剂、无土相油基钻井液等新技术。

关键词:油基钻井液;页岩气;水平井;粉状乳化剂;无土相钻井液

中图分类号:P634.6;TE254 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)07-0014-05

Oil-based Drilling Fluids Used for Fuling Horizontal Shale Gas Well/SUN Ju¹, LI Xiao-lan¹, LIU Ming-hua¹, LI Wu-chen², YANG Chao-guang¹ (1. Sinopec Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd., Drilling Engineering Technology Institute, Puyang Henan 457001, China; 2. Sinopec Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd., Technology Company, Zhengzhou Henan 450018, China)

Abstract: In view of the development of unconventional oil and gas reservoirs and safety drilling in complex formations, the research and application of oil-based drilling fluids are carried out to solve wall stability of horizontal well, friction, cuttings carrying and formation pollution. Oil-based drilling fluid formula with diesel and white oil as base oil, circulation loss control technique and on-site operation process were formed by the study and selection of emulsifier, organic bentonite, filtrate reducer, plugging agent and some other treatment agents, which met the construction requirements in the application in more than 100 wells in Fuling with favorable technical and economic effects. Combined with the specific conditions of Fuling block, intensive study was continued, field tests of powder emulsifier and non-bentonite oil-based drilling fluid were made in 2015.

Key words: oil-based drilling fluid; shale gas; horizontal well; powder emulsifier; non-bentonite drilling fluid

0 引言

油基钻井液具有防塌效果好、抗污染能力强、热稳定性和润滑性好等特点,成为高温深井、页岩气水平井及各种复杂地层的首选钻井液体系^[1-4]。国外各大钻井液技术公司经过数十年的研究和应用已具备完善的油基钻井液技术^[5-9]。中原石油工程公司 2011 年立项开展了油基钻井液技术研究,先后开展了全油基钻井液技术、油包水钻井液技术、无土相油基钻井液技术、超高密度油基钻井液用关键处理剂、油基钻井液高温高压流变规律等攻关研究,开发出的密度达 2.5 g/cm³、温度达 180 ℃的全油基(白油基和柴油基)和油包水(油水比 90:10~70:30)钻井液体系,在西南、新疆、中原、陕北现场应用了 130 余口井,满足了页岩油气藏、强水敏地层钻井的需要^[10-12]。

针对涪陵页岩气地质特性及工程要求,结合油包水钻井液技术在焦石坝区块的应用情况,对现有技术进行了完善及技术升级工作,研究并现场试验了粉状乳化剂和无土相油基钻井液新技术,取得了预期的技术效果。

1 技术思路

(1) 钻井液配方设计以保持钻井液长期性能稳定为基础,最大限度减少井下复杂、缩短钻井周期,保证钻井安全施工,降低钻井工程综合成本。

(2) 保持钻井液抗钻屑、水污染能力性能,配套完井后钻井液处理技术,提高回收钻井液利用率及重复使用次数,降低区域油基钻井液总成本。

(3) 通过强化钻井液的封堵防漏性能,封堵页岩

收稿日期:2016-03-21

基金项目:中石化集团公司项目“无土相油基钻井液技术研究”(编号:JP14014);中原石油工程有限公司项目“油基钻井液用粉状乳化剂的研制”(编号:2014206)

作者简介:孙举,男,汉族,1968 年生,中原钻井工程技术研究院首席专家,高级工程师,从事油田化学品及钻井流体研究与应用工作,河南省濮阳市中原东路 462 号,sjszh001@163.com。

地层微裂缝、提高地层承压能力,达到防漏及降低钻井液向地层的渗漏量的目的,控制单井钻井液使用量。

(4)控制钻井液的粘度,同时在乳化剂的选择和用量上考虑降低钻屑对钻井液的吸附能力,减少钻井液在钻屑上的吸附量;降低钻井液损耗,减少废弃物处理工作量。

2 油基钻井液技术及现场应用

2.1 技术配方及评价

2.1.1 油基钻井液基础配方

根据现场钻井需求,在控制有机土加量的基础上,优选其他处理剂的加量,形成抗温 100 ~ 220 °C、密度 0.85 ~ 2.2 g/cm³ 油基钻井液配方:

基液油水比(90:10 ~ 70:30) + 2% ~ 3% 主乳化剂 + 2% ~ 3% 辅乳化剂 + 2% ~ 4% 有机土 + 4% ~ 5% 降滤失剂 + 3% CaO + 重晶石。

按上述配方配制钻井液的基础性能见表 1。从实验结果可以看出,不同油水比钻井液性能稳定,乳化稳定性好,破乳电压都在 400 V 以上,动塑比在 0.2 ~ 0.4 之间,能够满足现场需要。

表 1 基础配方钻井液性能

| 油水比 | AV/(mPa·s) | PV/(mPa·s) | YP/Pa | 动塑比 | ES/V |
|-------|------------|------------|-------|------|------|
| 纯油 | 38.0 | 28 | 10.0 | 0.36 | 2047 |
| 90:10 | 40.5 | 29 | 11.5 | 0.39 | 1600 |
| 80:20 | 55.0 | 35 | 20.0 | 0.57 | 858 |
| 70:30 | 67.0 | 43 | 24.0 | 0.56 | 434 |

注:油相为 0 号柴油,水相为 20% 氯化钙水溶液。

2.1.2 封堵降损耗技术配方

油基钻井液虽然具有较强的抑制性,但是钻遇微裂缝、层理发育地层,油的侵入对井壁造成不稳定,井壁坍塌掉块,同时钻井液在压差作用下,循环损耗量大。

因此针对油基钻井液的特点,在凝胶微球封堵剂的基础上,配合其它封堵材料,确定合适的粒度级配,形成凝胶微球为主剂的封堵降损耗技术:

0.5% ~ 1.5% 凝胶微球封堵剂 + 1% ~ 3% 纤维状封堵剂 + 0 ~ 0.5% 亲油柔性封堵剂 + 3% 超细碳酸钙。

采用高温高压失水仪测试加入 2% 封堵剂前后油基钻井液高温高压滤饼渗透率。结果表明,封堵材料加入前后,滤饼厚度由 4.0 mm 降低至 1.5 mm,滤饼渗透率降低 98.3%。由图 1 泥饼对比也可看出,加入封堵材料后泥饼更加致密,表明封堵材

料参与了泥饼形成,改善了泥饼质量。



封堵材料加入前 封堵材料加入后

图 1 加入封堵材料前后的泥饼质量对比

2.2 现场应用

2015 年 1 ~ 9 月,中原石油工程有限公司在焦石坝工区完成 33 口油基钻井液工作量,完成进尺 66420 m,除部分井因地质原因发生井漏外,钻井施工顺利,应用中井壁稳定,井径规则;井眼清洁,钻井液动塑比 > 0.2;钻井液润滑性好,起下钻、下套管顺利。单井钻井液平均使用量 425 m³。

2.2.1 专项技术应用效果

2.2.1.1 高温高压流变控制技术

油基钻井液可压缩性强,流变性能受温度、压力影响大,井底高温高压下的流变特性与地面相差较大。为了掌握油基钻井液在井底的流变状态,研究了油基钻井液高温高压下的流变规律,结合焦石坝地区的地质和工程情况,形成了高温高压流变控制技术。

现场钻井液低粘高切,高温下 Φ_0 的读数 8 ~ 12,动塑比 0.2 ~ 0.45,携砂效果好,保证了井眼清洁。图 2 是焦石坝现场使用密度 1.5 g/cm³、油水比 85:15 的油包水钻井液,测定井深(垂深)分别为 1000、1500、2000、2500、3000 m 时温度和压力下的油基钻井液性能。结果显示,在井底条件下,流变参数随温度压力变化下降,在井底动切力 > 4 Pa。

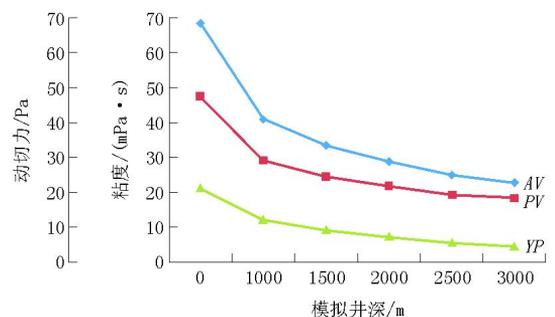


图 2 井下高温高压条件下油基钻井液流变参数

2.2.1.2 钻井液损耗量控制技术

为降低油基钻井液消耗量,提高地层承压能力,

采用全井段封堵,重点高渗地层强化封堵的方式,有效减少了油基钻井液消耗量,降低了钻井液使用总量。

2015年应用井平均循环损耗量 $<0.077\text{m}^3/\text{m}$,较2014年下降8.33%($0.084\text{m}^3/\text{m}$),较技术使用前下降35.83%($0.12\text{m}^3/\text{m}$)。

2.2.1.3 钻井液循环使用维护处理技术

针对回收油基钻井液存在低密度固相含量高、水含量高、处理剂成分复杂的技术难点,提出了预处理方案。使用离心机降低低密度固相含量,补充乳化剂等处理剂调整钻井液流变性和悬浮稳定性;钻井液在储存中,定期搅拌和性能检测,保持悬浮稳定

性和乳液稳定性性能稳定;最后确定回收钻井液的应用比例,进行混浆,性能评价,达到循环利用。

2015年1—9月完成的33口井共配制钻井液 14021m^3 ,其中回收钻井液 6760m^3 、补充新浆 7261m^3 ,回收钻井液占比48.2%,其中焦页61-4HF井回收钻井液占比87.5%。回收钻井液利用率100%。

2.2.2 存在的问题

(1)回收钻井液性能难以保证。由于回收钻井液低密度固相含量高、固井前置液的污染,导致钻井液的粘度高、滤失量大,增加了重复利用的难度和成本。表2是部分井回收钻井液的性能。

表2 部分井回收钻井液性能

| 井号 | 密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) | $AV/(\text{mPa}\cdot\text{s})$ | YP/Pa | $Gel/(\text{Pa}/\text{Pa})$ | FL_{API}/mL | FL_{HTHP}/mL | 固含/% | 油水比 | ES/V |
|--------|--------------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|------|-------|--------|
| 焦页18-2 | 1.53 | 57 | 9 | 4/8 | 4.2 | | 35 | 75:25 | 304 |
| 焦页56-1 | 1.51 | 54 | 10 | 4.5/6 | 6.4 | 15 | 38 | 85:15 | 900 |
| 焦页87-3 | 1.50 | 82 | 18 | 7/16 | 7 | 26 | 37 | 60:40 | 417 |
| 焦页54-2 | 1.55 | 71 | 15 | 7/10 | 7 | | 28 | 74:26 | |

(2)钻井液钻屑吸附损耗大。现场应用中,油基钻井液由于长期使用,低密度固相增多,同时由于沥青和有机土的存在,钻井液粘滞性增强,大量固相颗粒优先吸附在钻屑表面,钻屑不清洁,一级固控效率较低,造成钻井液流失。

3 新技术研究及现场试验

3.1 粉状乳化剂

乳化剂是油基钻井液的核心处理剂,对于油基钻井液的乳化稳定性、流变性及性能稳定起着重要的作用。目前国内外常用乳化剂为液态产品,较好地满足了油基钻井液现场施工需要,但还存在冬季施工操作困难(低温粘稠)、占用井场空间大、包装及储运费用高等不足。为了提升乳化剂性能和便于操作,研制了粉状乳化剂。

3.1.1 研制思路

针对粉状乳化剂的性能要求,分子设计时兼顾分子结构上既具有亲油性的长碳链,又具有亲水性的短碳链,同时链段上具有主要官能团和次生官能团,调节乳化剂的聚集态结构和性能。

(1)分子中苯环、酰胺基增强分子的刚性,长碳链之间及官能团之间通过内作用力改变分子的聚集态结构,保证 $0\sim 120\text{ }^\circ\text{C}$ 之间是固体;

(2)长碳链及支链结构和亲水性官能团吸附在油水界面,形成稳定的界面膜保证乳化性能,同时分子

中长碳链和支化结构可充分保证乳化剂的提粘切性。

3.1.2 产品性能

(1)乳化能力强。评价了粉状乳化剂在不同油水比基液中的乳化性能,结果见表3。从表3可以看出,不同油水比的乳状液具有良好的乳化稳定性,当油水比为70:30时,破乳电压 $>600\text{ V}$,悬浮体静置24h后,悬浮体的油层析出体积为 0 mL ,乳化率为100%。结果表明,粉状乳化剂能够降低油水界面张力,形成稳定的界面膜,阻止水滴的聚结,使油水体系更加稳定。

表3 粉状乳化剂对不同油水比乳状液的影响

| 油水比 | ES/V | 乳化率/% |
|-------|--------|-------|
| 90:10 | 1056 | 100 |
| 80:20 | 984 | 100 |
| 70:30 | 625 | 100 |

注:乳状液配方为240 mL柴油+60 mL蒸馏水+2%乳化剂+2%有机土。

(2)可改善钻井液流变性能。采用粉状乳化剂在0号柴油配制不同油水比的油基钻井液(水相为20% CaCl_2 水溶液),并对性能进行评价,结果见表4。结果表明,粉状乳化剂配制的不同油水比钻井液具有良好的流变性和乳液稳定性,动塑比在0.30以上。当油水比为70:30时,破乳电压为445 V,动塑比为0.33,具有良好的乳液稳定性和剪切稀释性,能够满足现场需要。

表 4 粉状乳化剂配制柴油基钻井液性能

| 油水比 | 密度/ (g·cm ⁻³) | AV/ (mPa·s) | PV/ (mPa·s) | YP/ Pa | Gel/ (Pa/Pa) | ES/ V | 动塑比 | FL/ mL |
|-------|------------------------------|----------------|----------------|-----------|-----------------|----------|-------|-----------|
| 全油 | 1.6 | 53.0 | 40 | 13.0 | 8/14 | 2047 | 0.325 | 2.2 |
| 90:10 | 1.6 | 45.0 | 34 | 11.0 | 6.5/9.0 | 1378 | 0.324 | 3.0 |
| 80:20 | 1.6 | 68.0 | 52 | 16.0 | 7.5/9.5 | 778 | 0.307 | 1.8 |
| 70:30 | 1.6 | 66.5 | 50 | 16.5 | 8.0/10.0 | 445 | 0.330 | 3.2 |

注:配方为 300 mL 基液 + 3% 乳化剂 + 3% 有机土 + 4% 降滤失剂 + 3% CaO + 重晶石, 150 °C/16 h 老化, 60 °C 测定。

3.1.3 现场试验

粉状乳化剂产品已在焦石坝焦页 56 - 5HF 井、焦页 61 - 4HF 井、焦页 38 - 3HF 井、焦页 56 - 3HF 井及焦页 56 - 1HF 井等 5 口井进行现场试验。粉状乳化剂乳化能力强, 可提高钻井液的乳液稳定性; 可有效改善钻井液流变性能, 提高钻井液动塑比和静切力(见表 5)。

表 5 加入 0.3% 粉状乳化剂油基钻井液性能(60 °C)

| 乳化剂加量 | AV/ (mPa·s) | PV/ (mPa·s) | YP/ Pa | Gel/ (Pa/Pa) | ES/ V | 动塑比 | FL/ mL |
|-------|----------------|----------------|-----------|-----------------|----------|------|-----------|
| 基浆 | 46 | 40 | 6 | 3.0/3.5 | 366 | 0.15 | 3.0 |
| 0.3% | 56 | 46 | 10 | 4.5/5.5 | 450 | 0.22 | 3.0 |

3.2 无土相油基钻井液

针对胶质沥青质含量高不利于流型控制和进一步提高机械钻速, 钻屑吸附损耗高且环保处理压力大

表 7 不同密度钻井液的高温悬浮稳定性

| 密度/(g·cm ⁻³) | 油水比 | AV/(mPa·s) | PV/(mPa·s) | YP/Pa | Gel/(Pa/Pa) | FL/mL | 动塑比 | ES/V | 120 °C/96 h 沉降稳定性 |
|--------------------------|-------|------------|------------|-------|-------------|-------|-------|------|-------------------|
| 1.4 | 80:20 | 37.0 | 30 | 7.0 | 2/3.5 | 0.8 | 0.230 | 502 | 未沉 |
| 1.6 | 80:20 | 45.5 | 36 | 9.5 | 2.5/3.5 | 1.0 | 0.260 | 690 | 未沉 |
| 1.8 | 80:20 | 54.0 | 45 | 9.0 | 2.5/4 | 1.2 | 0.200 | 802 | 未沉 |
| 2.0 | 85:15 | 55.0 | 45 | 10.0 | 3/4 | 2.2 | 0.222 | 802 | 未沉 |
| 2.2 | 90:10 | 58.5 | 48 | 10.5 | 3/4.5 | 2.6 | 0.219 | 840 | 未沉 |

(3) 粘滞性低、利于降低钻井液吸附损耗和环保处理。无土相油基钻井液不含粘滞性高的有机土和沥青, 因此在钻屑上吸附量少, 可降低油基钻井液的吸附损耗, 并利于后期钻屑的环保处理, 结果见表 8。可以看出, 无土相油基钻井液在钻屑上的吸附量比有土相油基钻井液少 10.6%。

表 8 无土和有土油基钻井液钻屑吸附量对比

| 体系类型 | 钻屑/g | 含油钻屑/g | 吸附量/g | 降低率/% |
|------|------|--------|-------|-------|
| 有土 | 40 | 60.92 | 20.92 | 10.6 |
| 无土 | 40 | 58.70 | 18.70 | |

(4) 高密度时润滑性能佳。无土相油基钻井液体系与有土相体系相比, 由于所用增粘提切剂和降

等具体情况, 开展了无土相油基钻井液技术研究。在增粘提切剂、聚合物降滤失剂等专用处理剂研制基础上, 研究形成了油水比 95:5 ~ 70:30、温度 80 ~ 150 °C、密度 0.9 ~ 2.2 g/cm³ 的无土相油基钻井液体系。

3.2.1 钻井液性能

(1) 流型好, 利于钻头水马力传递和提高机械钻速。无土相体系中由于不含有有机土和沥青类降滤失剂, 固相颗粒含量低, 在层流情况下, 体系的固相颗粒之间、固相颗粒与液相之间的摩擦作用小于常规油基泥浆体系。无土相油基钻井液和有土油基钻井液的流型对比见表 6。

表 6 无土和有土油基钻井液流型对比

| 体系类型 | n | k | AV/ (mPa·s) | PV/ (mPa·s) | YP/ Pa | Gel/ (Pa/Pa) | YP/ PV | FL _{1000P} / mL | ES/ V |
|------|------|------|----------------|----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------------------|----------|
| 无土 | 0.78 | 0.14 | 30.0 | 25 | 5.0 | 2.0/3.0 | 0.20 | 4.5 | 450 |
| 有土 | 0.70 | 0.22 | 28.5 | 22 | 6.5 | 2.5/3.5 | 0.30 | 4.6 | 560 |

可以看出, 与有土相油基钻井液相比, 无土相油基钻井液体系的流型指数较大, 稠度系数较低, 在低剪切应力下即可很好的流动, 利于在低泵压下实现高排量, 有效传递钻头水马力和提高机械钻速。

(2) 高温悬浮稳定性良好。不同密度的无土相油基钻井液在 120 °C 静置 96 h 均未发生沉降现象(表 7), 说明其悬浮稳定性良好。

滤失剂本身具有一定的表面活性, 利于重晶石的润湿和分散, 可有效降低固相颗粒之间的摩擦, 因此利于提高油基钻井液本身的润滑性能。图 3 为无土相油基钻井液体系和有机土体系的润滑性能对比, 可以看出, 在低密度时无土相油基钻井液和有土相油基钻井液润滑性能相当, 当密度升高时无土相油基钻井液的极压润滑系数无明显变化, 说明在高密度时无土相油基钻井液在润滑性能方面更具优势。

3.2.2 现场试验

无土相油基钻井液在焦页 47 - 6HF 井进行了现场试验, 该井设计井深 5090 m, 完钻井深 5217 m, 三开井段段长 2037 m, 三开累计配浆量 380 m³, 回收

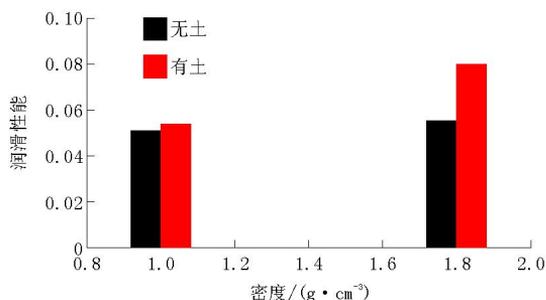


图3 无土相和有土相油基钻井液润滑性能对比

钻井液 250 m³, 损耗 130 m³, 每米损耗 0.064 m³/m。现场钻井液流变性能可控性强, 易于调节; 高温高压降滤失效果好, 滤饼质量高; 原材料种类少易于现场操作。表 9 是实钻钻井液性能。

4 认识及下一步工作

4.1 认识

实践证明, 油基钻井液体系的应用, 可大幅减少

表 9 分段钻井液性能

| 井深/m | 密度/(g·cm ⁻³) | FL _{HHP} /mL | 高压滤饼/mm | AV/(mPa·s) | PV/(mPa·s) | YP/Pa | 动塑比 | 初切/Pa | 含油量/% | 固相含量/% | ES/V |
|------|--------------------------|-----------------------|---------|------------|------------|-------|------|-------|-------|--------|------|
| 3360 | 1.36 | 0.8 | 0.3 | 40.0 | 34 | 6.0 | 0.18 | 2.5 | 60 | 20 | |
| 3394 | 1.42 | 0.6 | 0.3 | 41.5 | 35 | 6.5 | 0.19 | 2.0 | 65 | 20 | 640 |
| 3464 | 1.42 | 0.8 | 0.4 | 41.5 | 34 | 7.5 | 0.22 | 2.5 | 65 | 19 | 665 |
| 3961 | 1.44 | 0.8 | 0.5 | 51.0 | 39 | 12.0 | 0.31 | 4.5 | 60 | 25 | 732 |
| 4353 | 1.44 | 1.0 | 0.4 | 47.5 | 36 | 11.5 | 0.32 | 4.0 | 64 | 23 | 750 |
| 4490 | 1.43 | 2.8 | 1.0 | 52.5 | 40 | 12.5 | 0.31 | 4.5 | 59 | 23 | 550 |
| 4691 | 1.43 | 2.2 | 1.0 | 54.5 | 41 | 13.5 | 0.33 | 4.5 | 61 | 22 | 500 |

井下复杂, 缩短钻井周期, 降低整体钻井成本。与国外相比, 国内在油基钻井液研究和应用方面相对滞后, 今后更要重视并加快发展油基钻井液体系及配套技术研究。

(1) 研制高性能油基钻井液处理剂, 特别是高效乳化剂、增粘剂、降滤失剂, 在此基础上形成抗温能力强、密度可调范围宽、流变性容易控制油基钻井液体系及低毒环保钻井液体系。

(2) 钻井液循环损耗已得到有效控制, 但钻屑的吸附损耗仍然较大, 应研究减少钻井液在钻屑上吸附量表面活性剂, 减少钻井液吸附量。

(3) 目前制约油基钻井液应用的主要因素是环保问题, 应在油基钻井液循环利用、固液分离和含油钻屑处理等方面深入研究, 形成经济可行的废弃钻屑处理技术, 满足环境保护的需要。

(4) 油基钻井液堵漏的难题还未很好解决, 应重点开发亲油性专用堵漏材料、研究堵漏工艺, 提高一次堵漏成功率。

4.2 下一步的工作

结合焦石坝的具体情况, 对于油基钻井液, 下一步拟开展以下推广研究工作。

(1) 推广应用粉状乳化剂, 该剂已在焦石坝区块进行 5 口井的现场试验, 效果良好。

(2) 继续进行无土相油基钻井液的现场试验及技术完善, 该体系与现有体系相比在流变性控制、抗固相污染、减低钻屑吸附损耗等方面具有优势。

(3) 针对回收钻井液性能较差且重复利用难度逐步增大的问题, 完善循环使用维护处理技术。

参考文献:

- [1] 王中华. 页岩气水平井钻井液技术的难点及选用原则[J]. 中外能源, 2012, 17(4): 43-47.
- [2] 王中华. 国内外油基钻井液研究与应用进展[J]. 断块油气田, 2011, 18(4): 533-537.
- [3] 王中华. 关于加快发展我国油基钻井液体系的几点看法[J]. 中外能源, 2012, 17(2): 36-42.
- [4] 林永学, 王显光. 中国石化页岩气油基钻井液技术进展与思考[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(4): 7-12.
- [5] P. Kenny, M. Norman, A. M. Friestad, et al. The Development and Field Testing of a Less Hazardous and Technically Superior Oil Based Drilling Fluid[C]. SPE35952-MS, 1996.
- [6] Mike R. Chambers, Darrell B. Hebert, Chris E. Shuchart, et al. Successful Application of Oil-based Drilling Fluids in Subsea Horizontal, Gravel-Packed Wells in West Africa[C]. SPE58743-MS, 2000.
- [7] A. Arslanbekov, N. Sevodin, Dmitry Valuev, et al. Application and Optimization of Oil-based Drilling Fluids for ERD Wells YNAO Area[C]. SPE136310, 2010.
- [8] Knut Taubol, Gerd Marit, Daryl Cullum, et al. Reformulating An Oil-Based Drilling Fluid With Especially Selected Chemicals Lead To Development Of A Low-Viscosity High-Sag Stability Drilling Fluid[C]. SPE87139-MS, 2004.
- [9] Knut Taubol, Fimreite Gunnar, Ole Iacob Prebensen, et al. Development and Field Testing of a Unique High Temperature and High Pressure (HHP) Oil Based Drilling Fluid With Minimum Rheology and Maximum SAG Stability[C]. SPE96285-MS, 2005.
- [10] 刘明华, 孙举, 王中华, 等. 非常规油气藏水平井油基钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2013, 30(2): 1-5.
- [11] 刘明华, 孙举, 王中华, 等. 油基钻井液在中原油田非常规油气藏开发中的应用[J]. 中外能源, 2013, 18(7): 38-41.
- [12] 刘明华, 张滨, 王阳, 等. 油基钻井液用粉状乳化剂性能评价[J]. 钻井液与完井液, 2015, 32(5): 7-9.