

# 低油水比油基钻井液在保页 3 井的应用

陈安明<sup>1</sup>, 李国楠<sup>2</sup>

(1. 中石化华东石油工程有限公司六普钻井分公司, 江苏 镇江 212000; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

**摘要:**为了解决油基钻井液成本高、钻屑含油量高、后期环保处理难度大等技术难题, 加快页岩气的开发进度, 缓解油气资源短缺局面, 通过室内实验, 成功研制出了一套低油水比油基钻井液体系。该体系具有良好的流变性、电稳定性和抑制性, 滤失量低, 能有效地保护井壁稳定, 降低摩阻和扭矩, 降低钻井液使用成本。经过在保页 3 井的应用, 满足了现场的施工要求, 保证了井下安全。

**关键词:**油基钻井液; 低油水比; 页岩气井; 钻井液性能; 流变性能

**中图分类号:** P634.6   **文献标识码:** B   **文章编号:** 1672-7428(2016)07-0121-04

**Application of Oil-based Drilling Fluid with Low Oil-water Ratio in Baoye Well - 3/CHEN An-ming<sup>1</sup>, LI Guo-nan<sup>2</sup>**  
(1. Liupu Drilling Branch, Sinopec East China Petroleum Engineering Company, Zhenjiang Jiangsu 212000, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to solve the technological problems of high cost of oil-based drilling fluids, cuttings with high oil content and difficult late environmental treatment and speed up the progress of shale gas development to ease the shortage of oil and gas resources, by the laboratory experiments, an oil-based drilling fluid system with low oil-water ratio was successfully developed. This system has good rheological property, electrical stability and inhibitory property with low filtration, by which drilling fluid cost is reduced through effectively wellbore stability control and friction & torque reducing. The application of this system met the construction requirements and ensured construction safety in Baoye well - 3.

**Key words:** oil-based drilling fluid; low oil-water ratio; shale gas well; drilling fluid property; rheological property

## 1 概述

页岩地层岩石间的空隙太小, 渗透率低, 气流阻力大, 开采难度大。水平井钻井技术是页岩气开发的核心技术之一<sup>[1-2]</sup>。在钻井施工中, 使用水基钻井液会面临井壁失稳、高摩阻高扭矩、岩屑不易清除、产层易损害等技术难题。而油基钻井液具有抗高温、抗盐钙侵、润滑性好、利于井壁稳定及对油气层损害程度小等突出优点, 目前已经成为钻高难度的水平井、大斜度定向井、高温深井和各种复杂地层的重要手段<sup>[3-5]</sup>。近几年, 随着页岩油气资源勘探开发的迅猛发展, 国内油基钻井液技术也取得了迅速的发展<sup>[6-11]</sup>。但国内油基钻井液油水比多采用 85:15 ~ 80:20, 在密度条件下其油水比甚至高达 95:5。同时, 高油水比的钻井液产生的钻屑含油量更高, 为后期的环保处理也带来更大的难度。为了解决以上钻井液技术难题, 加快页岩气的开发进度, 需要开发具有抑制能力强、润滑性能好、热稳定性好、抗污染能力强、易于保护产层等优良性能的低油

水比油基钻井液体系。

保页 3 井位于湖南省湘西州龙山县内, 是神华集团采用自主设计的直井加大斜度定向井技术进行页岩气勘探井, 主要为评价龙山县马蹄寨—保靖县野竹坪向斜西北部龙马溪组单井产能和资源潜能, 主要目的层为龙马溪组地层。为防止页岩水化膨胀、垮塌, 并提高钻井液的润滑性, 在三开采用油基钻井液。油基钻井液具有很好的抑制页岩水化、分散和垮塌能力, 且具有优异的润滑性能, 可满足页岩地层长水平段的钻进要求。

为了降低钻井液成本, 兼顾降低含油废弃物处理的难度, 通过大量室内实验, 成功研制了一套低油水比、低成本的油基钻井液配方: 0 号柴油 + CaCl<sub>2</sub> 水溶液 (25% 的 CaCl<sub>2</sub>) + 2.5% ~ 3% 主乳化剂 + 0.8% ~ 1.2% 辅乳化剂 + 0.6% ~ 1.0% 润湿剂 + 2% ~ 3% 有机土 + 2.5% ~ 3% 降滤失剂 + 2% CaO + 重晶石, 油水比定在 80:20 ~ 70:30。密度可控制在 1.20 ~ 1.35 g/cm<sup>3</sup>, 流变性能稳定, 乳化稳定性好, 具有

收稿日期: 2016-04-28

作者简介: 陈安明, 男, 汉族, 1971 年生, 经理, 高级工程师, 石油工程专业, 从事油气资源的勘探开发工作, 江苏省镇江市天桥路 22 号, chenam.oshd@sinopec.com。

较低的滤失量,可满足现场钻井工程的要求。

## 2 低油水比油基钻井液配方的优选

油基钻井液的油水比例对钻井液性能的影响较大,油水比越高,水相占的比例越小,越有利于乳状液的稳定。油水比降低时钻井液电稳定性变差,可以采用提高乳化剂加量的办法来提高乳化稳定性,采用减少有机土加量的办法来减小油水比造成的高粘切的问题。通过大量的室内实验,对有机土、乳化剂、降滤失剂等处理剂的加量进行优化,得到了不同低油水比钻井液配方(见表1,测试温度50℃)。室内评价了不同油水比钻井液体系120℃下热滚动16h前后的性能变化(见表2,测试温度50℃)。

表1 不同低油水比钻井液配方

油水比	主乳化剂/%	辅乳化剂/%	润湿剂/%	有机土/%	降滤失剂/%	CaO/%
80:20	2.5	0.8	0.6	3.0	2.5	2
75:25	2.7	1.0	0.8	2.5	2.8	2
70:30	3.0	1.2	1.0	2.0	3.0	2

表2 不同低油水比下油基钻井液性能

油水比	状态	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	YP/ PV	Gel/ (Pa/Pa)	FL <sub>HTHP</sub> / mL	ES/ V
80:20	滚前	26.5	19	7.5	0.395	1.5/2.0	-	735
	滚后	27.5	20	7.5	0.375	3.0/3.5	4.8	677
75:25	滚前	25.5	19	6.5	0.342	2.0/2.5	-	712
	滚后	30.5	22	8.5	0.386	3.5/4.5	3.4	657
70:30	滚前	27.5	20	7.5	0.375	3.0/3.5	-	667
	滚后	33.5	23	10.5	0.457	5.0/6.0	2.6	594

由表1和表2可以看出,该油基钻井液体系在较低的油水比(80:20~70:30)条件下也具有较好的乳化稳定性,破乳电压在400V以上。对于该油基钻井液体系而言,70:30的油水比例也具有较好的乳化稳定性,体系同样具有较好的流变性能,油水比的下降大大节省了钻井液基础油的费用。

## 3 低油水比油基钻井液体系性能评价

### 3.1 不同密度油基钻井液性能

保证低油水比油基钻井液不同密度条件下的悬浮稳定性及合理的流变性能,是钻井液现场应用和钻井液性能调节的基础,为此通过室内实验评价了不同密度下低油水比油基钻井液的性能。采用重晶石将低油水比油基钻井液分别加重至1.20、1.25、1.30和1.35 g/cm<sup>3</sup>,在120℃条件下热滚16h,其性能见表3(测试温度50℃)。

表3 不同密度油基钻井液的基本性能

密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	YP/ PV	Gel/ (Pa/Pa)	FL <sub>HTHP</sub> / mL	ES/ V
1.20	35.0	24	11.0	0.458	4.0/4.5	3.0	857
1.25	37.0	26	11.0	0.423	4.5/5.5	2.6	879
1.30	39.5	28	11.5	0.412	5.0/6.0	2.5	893
1.35	40.5	29	11.5	0.397	5.5/6.5	2.3	912

由表3可以看出,不同密度的低油水比钻井液体系经120℃热滚老化后的破乳电压都保持在400V以上,说明该体系具有较好的乳化稳定性。该体系密度在1.25~1.35 g/cm<sup>3</sup>时,塑性粘度在41 mPa·s以内,动塑比在0.39~0.46之间,说明该低油水比钻井液体系具有较低的塑性粘度和较高的动切力。

### 3.2 抑制性

抑制性反映了钻井液稳定井壁的能力。室内通过滚动回收率考察了该体系的抑制性能。100℃下烘干的6~10目钻屑50g,分别加入清水和该油基钻井液中,120℃×16h热滚,40目筛出,烘干至恒重,计算滚动回收率分别为89.3%和96.3%,表明低油水比油基钻井液具有良好的页岩抑制性能。

### 3.3 抗污染性

针对施工过程中油基钻井液可能受到的污染,分别进行了抗钻屑和抗水污染试验,其结果见表4和表5。

表4 抗钻屑污染试验结果(120℃,16h)

钻屑加量/%	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	YP/ PV	Gel/ (Pa/Pa)	FL <sub>HTHP</sub> / mL	ES/ V
0	37	26	11	0.423	4.5/5.5	2.6	879
5	39	27	12	0.444	5/5.5	2.1	842
10	39	27	12	0.444	5/5.5	1.8	865

注:油水比75:25,测试温度50℃,密度为1.25 g/cm<sup>3</sup>;配方:2.7%主乳化剂+1.0%辅乳化剂+0.8%润湿剂+2.5%有机土+2.8%降滤失剂+2%CaO。

由表4和表5可知,随着钻屑的侵入,油基钻井液的破乳电压基本不变,其塑性粘度和切力略微上升,说明其具有良好的乳化稳定性和抗钻屑污染的能力;当油基钻井液中水的侵入量增加时,其塑性粘度与切力上升,但变化不大,说明其流变性能稳定。同时,水的大量侵入导致其破乳电压下降,当水侵入量为10%时,实际油水比为68:32,此时破乳电压仍达526V,表明油基钻井液具有良好的乳化稳定性和抗水污染的能力。

上述试验结果表明,低油水比油基钻井液具有优良的抗污染性能。

表 5 抗水污染试验结果(120 ℃、16 h)

钻屑加 量/%	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	YP/ PV	Gel/ (Pa/Pa)	FL <sub>HTHP</sub> / mL	ES/ V
0	37	26	11	0.423	4.5/5.5	2.6	879
5	39	28	11	0.393	5/5.5	2.9	624
10	47	33	14	0.424	6.5/7	3.6	526

注:油水比 75:25,测试温度 50 ℃,密度为 1.25 g/cm<sup>3</sup>;配方:2.7% 主乳化剂 + 1.0% 辅乳化剂 + 0.8% 润湿剂 + 2.5% 有机土 + 2.8% 降滤失剂 + 2% CaO。

### 3.4 封堵性

室内实验方法:向可视砂床漏失柱中装入预先洗净、烘干处理的粒度为 20~40 目的砂粒,装填厚度为 21 cm ± 0.5 cm,铺平使其端面均匀,然后缓慢地倒入 400 mL 的评价浆,在室温、0.7 MPa 下测试 30 min 评价浆侵入砂床的深度或漏失量。

该油基钻井液在未加任何堵漏剂的情况下,砂床侵入深度仅为 1.4 cm。实验结果表明,低油水比油基钻井液具有优良的封堵性能。

## 4 低油水比油基钻井液的现场应用

### 4.1 三开井段钻井液主要技术难点

本井段钻遇主要地层是在奥陶系的龙马溪组,岩性为:上部黑色薄层炭质板岩、下部黑色薄层炭质板岩夹硅质岩。重点是防漏、防喷和防硫化氢。三开井斜角最高达到 64.31°。要求钻井液具有良好的润滑性能,含有较低的含沙量和固相含量。所以三开采用润滑性能良好的油基钻井液。因此要求钻井液具有以下功能特点:

- (1) 很强的抑制性,防止井壁失稳,保证井眼稳定;
- (2) 较高的粘度、切力,保证悬浮和携带岩屑;
- (3) 良好的流变性和润滑性;
- (4) 较低的滤失量。

### 4.2 钻井液的现场配制

三开前,用二开钻井液扫水泥塞,扫塞结束后,将泥浆罐清洗干净。

(1) 洗干净并准备好容积为 60 m<sup>3</sup> (A) 和 30 m<sup>3</sup> (B) 的配置罐各一个,每个罐上均具备 2 台功率为 15 kW 的强力搅拌机,同时配备泥浆枪,每个泥浆罐上部必须具有覆盖,避免雨水侵入。

(2) 在 A 罐中放入基础油,开泵并打开泥浆枪,在强力搅拌下加入设计加量的乳化剂,高速搅拌剪切 1~2 h。

(3) 在 B 罐中配制浓度为 25% 的 CaCl<sub>2</sub> 溶液。

(4) A 罐中乳化剂分散均匀后,将 B 罐中的水相按配方中的油水比趁热逐渐加入到 A 罐中混合,加入过程中保持搅拌机和泥浆枪工作良好,加入完毕后充分剪切混合 2~4 h。

(5) 然后向混合后的体系中依次加入有机土、降滤失剂和氧化钙,每种材料加入后均强力剪切 1~2 h,所用材料加完后再强力搅拌 2 h,直至形成稳定的油包水乳化体系。

(6) 检测体系的流变性、电稳定性、密度、油水比等性能。合格后按设计加入计算量的加重剂,加重到设计密度,加完后再循环 2 h 以上。

(7) 按照上述配置程序配置好一罐油基泥浆后,转移至储备循环罐中,搅拌维持其性能稳定。

(8) 加重完毕后测试已配制好油基泥浆的乳化稳定性和各种性能,检验已配制好的油基泥浆是否达到设计指标。

(9) 根据现场测得的性能和设计值之间的偏差,进行性能微调,达到设计要求,方可入井。

### 4.3 油基钻井液的替换过程

(1) 油基钻井液和各项设备准备完毕后,进行油基钻井液转换顶替。顶替时,排量需大于 30 L/s,顶替过程中不能停泵,确保顶替效率。

(2) 注意观察返浆,隔离液返回到分离池,直到未受污染的油基泥浆返出,才使油基泥浆返回至循环池,顶替作业结束。

(3) 油基钻井液转换完毕后,大排量充分循环 3 次至性能均匀、稳定。

(4) 充分循环后,测定全套性能,符合设计要求后开始钻进。

注意:①顶替时,泥浆从振动筛的旁通阀通过(不过筛),不进沉砂池,以尽量减少水污染。②用于顶替的第一罐油基泥浆多加 5~10 kg/m<sup>3</sup> 的乳化剂预处理以减小水污染的影响。

### 4.4 钻井液维护与处理

(1) 钻井液量的补充:正常钻进过程中,每天逐渐补充新配制的油基钻井液用于维护日常钻井液消耗。

(2) 油水比的调节:通过加入含有油溶胶体的油相或 CaCl<sub>2</sub> 盐水相,调节油基泥浆的油水比。

(3) 水相活度的调节:通过调节水相中的 CaCl<sub>2</sub> 浓度,调节油基泥浆的活度。

(4)电稳定性调节:钻进中如果发现泥浆破乳电压指标呈下降趋势或滤液中含有水相,需及时补充乳化剂的加量。

(5)携岩效果调剂:钻进中如果出现携带岩屑困难或岩屑沾糊振动筛的现象,可适当补充有机土、降滤失剂和提切剂,提高钻井液的携岩能力和润湿性能。

(6)高温高压滤失量的调节:钻进中如果出现滤失量呈增大趋势,需及时补加降滤失剂或封堵材料。

(7)固相含量调节:油基钻井液施工过程中充分利用固控设备,清除钻井液中的低密度有害固相,确保体系中低密度固相含量低于8%,维持钻井液的性能稳定,确保快速钻进。

(8)碱度调节:油基泥浆的碱度是反映体系中的石灰剩余量。碱度控制在1.5~2.5,在钻井过程中,每天检测碱度并根据需要添加石灰,以补充消耗。

#### 4.5 钻井液应用效果

保页3井三开1346~2390 m井段所用高性能油基钻井液性能见表6。

表6 保页3井三开油基钻井液性能

井深/ m	密度 $\rho$ / ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	温度 $T/^\circ\text{C}$	FV/ s	YP/ Pa	PV/ ( $\text{mPa} \cdot \text{s}$ )	YP/ PV	ES/ V
1406	1.27	61	44	14.5	29	0.50	870
1446	1.28	58	41	13.5	27	0.50	940
1483	1.29	56	40	13.5	26	0.52	941
1526	1.29	58	42	14.0	28	0.50	1108
1610	1.29	57	40	14.0	26	0.54	1165
1699	1.28	56	39	13.5	25	0.54	1259
1728	1.29	60	42	14.0	28	0.50	1261
1829	1.29	57	38	12.5	25	0.50	1190
1887	1.29	57	38	13.0	25	0.52	1223
1929	1.28	57	37	12.5	24	0.52	1248
1975	1.29	58	39	13.0	26	0.50	1273
2001	1.29	58	39	13.0	26	0.50	1274
2077	1.29	61	43	14.0	29	0.48	1413
2240	1.29	65	41	14.0	27	0.52	1387
2286	1.29	64	45	15.0	30	0.50	1389
2300	1.29	65	45	15.0	30	0.50	1387
2353	1.30	71	47	17.0	30	0.57	1483
2390	1.29	66	46	15.5	30	0.52	1489

由表6及现场应用情况可知,三开油基钻井液乳化效果好,破乳电压高,性能稳定;具有突出的低塑性粘度、高动切力、高动塑比等流变特性;无形成岩屑床、摩阻、扭矩低,起下钻顺利;封堵防塌能力

强,滤失量低,井壁稳定,无剥落掉块,下套管能顺利到底。

## 5 结论

(1)通过室内实验,研制出了一套低油水比油基钻井液体系,其配方为:0号柴油+CaCl<sub>2</sub>水溶液(25%的CaCl<sub>2</sub>)+2.5%~3%主乳化剂+0.8%~1.2%辅乳化剂+0.6%~1.0%润湿剂+2%~3%有机土+2.5%~3%降滤失剂+2%CaO+重晶石,油水比为80:20~70:30。密度可控制在1.20~1.35 g/cm<sup>3</sup>。

(2)该钻井液体系流变性能稳定、塑性粘度低、切力高、滤失量低、乳化稳定性好,具有较好的抗污染能力和强抑制性能。

(3)现场应用表明,该油基钻井液对页岩的水化、分散有很好的抑制作用,全井段钻进顺利,未出现井壁垮塌等复杂事故,很好地满足了保页3井的作业要求。且该钻井液为低油水比钻井液,降低了钻井液成本,同时减少了对环境的污染,具有推广应用前景。

## 参考文献:

- [1] 闫存章,黄玉珍,葛春梅.页岩气是潜力巨大的非常规天然气资源[J].天然气工业,2009,29(5):1-6.
- [2] 李世臻,乔德武,冯志刚.世界页岩气勘探开发发现及对中国的启示[J].地质通报,2010,29(6):918-924.
- [3] 张炜,刘振东,刘宝锋.油基钻井液的推广及循环利用[J].石油钻探技术,2008,36(6):34-38.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 何涛,李茂森,杨兰平,等.油基钻井液在威远地区页岩气水平井中的应用[J].钻井液与完井液,2012,29(3):1-5,91.
- [7] 何恕,李胜,王显光,等.高性能油基钻井液的研制及在彭页3HF井的应用[J].钻井液与完井液,2013,30(5):1-4.
- [8] 王显光,李雄,林永学.页岩水平井用高性能油基钻井液研究与应用[J].石油钻探技术,2013,41(2):17-22.
- [9] 吴彬,王荐,舒福昌,等.油基钻井液在页岩油气水平井的研究与应用[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2014,36(2):101-104.
- [10] 刘永贵,胡志强,王俊杰,等.大庆油田高密度油包水钻井液技术研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):24-26,30.
- [11] 李建成,钱志伟,杜兴国,等.辽河油田油页岩地层全油基钻井液技术[J].钻井液与完井液,2015,32(4):9-12.