

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.11911/syztjs.201506006

## 胜利坨 826 区块裸眼内转化合成基钻井液技术

王金利, 陈二丁, 张海青, 刘学明, 李秀灵, 蔡 勇

(中石化胜利石油工程有限公司钻井工程技术公司, 山东东营 257064)

**摘 要:**胜利油田坨 826 区块油井在钻至储层时需将井内钻井液转化成合成基钻井液,以保护储层,提高油井产能。由于井下安全的需要,转化成合成基钻井液时需要多下一层技术套管,从而增加了钻井成本,为此,胜利油田进行了裸眼内转化合成基钻井液技术研究。在合成基钻井液基本配方基础上,优化油基封堵材料 DF-1 用量,确定了封堵型合成基钻井液配方,并与现场施工工艺相结合,形成了裸眼内转化合成基钻井液技术。通过可视砂床试验和封堵能力测试、抗污染试验及滤饼破坏试验,对封堵型合成基钻井液的封堵性能、抗污染性能及其对水基钻井液滤饼的影响进行了评价。结果表明:封堵型合成基钻井液的承压能力大于 7.5 MPa;钻屑、井场水、水基钻井液和隔离液侵入量达到 15.0% 时,该钻井液的流变性和电稳定性符合设计要求;可以压缩已形成的水基钻井液滤饼,使滤饼质量提高。坨 826 区块 3 口井应用了裸眼内转化合成基钻井液技术,均在裸眼内顺利转化成封堵型合成基钻井液,稳定了井壁,保护了储层。这表明,在裸眼内转化合成基钻井液是可行的,能够有效降低钻井成本。

**关键词:**裸眼 合成基钻井液 钻井液转化 钻井液性能 坨 826 区块 胜利油田

**中图分类号:**TE254 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2015)06-0029-06

## Conversion Technology of Synthetic Based Drilling Fluid in Open Hole in Block Tuo 826, Shengli Oilfield

Wang Jinli, Chen Erding, Zhang Haiqing, Liu Xueming, Li Xiuling, Cai Yong

(Drilling Engineering and Technology Company, Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257064, China)

**Abstract:** During the drilling of Block Tuo 826 in the Shengli Oilfield, synthetic based drilling fluid should be used to protect the reservoir, but one more technical casing must be used for drilling fluid conversion. In order to avoid running another technical casing and reduce drilling costs, the conversion technology of synthetic based drilling fluid in open hole was researched. Based on the basic formula of synthetic based drilling fluid, a formula of plugging synthetic based drilling fluid was determined by optimizing the amount of oil based plugging material DF-1. And combined with field operation technologies, the conversion technology of synthetic based drilling fluid in open hole was developed. Evaluation was conducted on the plugging capacity and anti-contamination capacity of the plugging synthetic based drilling fluid and its effect on water based mud cake by means of visual sand-bed test, plugging capacity test, anti-contamination test and filter cake breaking test. It was shown that its pressure bearing capacity was over 7.5 MPa. When the invasion amount of the cuttings, well site water, water base drilling fluid and spacer? fluid reached 15%, its rheological property and electrical stability could also meet the design requirements. And this system could improve the quality of the existing cake by means of compression. The technology was successfully applied in 3 wells in Block Tuo 826 and the goals of wellbore stability and reservoir protection were realized. It was shown that the conversion of synthetic based drilling fluid in open hole was feasible. Based on this technology, drilling cost could be reduced significantly.

**Key words:** open hole; synthetic based drilling fluid; drilling fluid conversion; drilling fluid performance; Block Tuo 826; Shengli Oilfield

胜利油田坨 826 区块构造位于济阳拗陷东营凹陷北部陡坡带西段坨 826 断块,储层为沙 3 段上部地层,具有强水敏的特点,使用水基钻井液钻进时易导致黏土矿物水化膨胀而对储层造成伤害,而使用油基钻井液钻进时容易造成稠油溶解而引起井壁坍塌。

收稿日期:2015-02-24;改回日期:2015-10-19。

作者简介:王金利(1982—),男,山东东营人,2005 年毕业于山东轻工业学院化学工程与工艺专业,2008 年获中国石油大学(华东)应用化学专业硕士学位,工程师,主要从事钻井液技术研究工作。

联系方式:513482369@qq.com。

基金项目:中国石化集团科技攻关项目“合成基钻井液技术研究”(编号:JP10007)部分研究内容。

塌或钻井液漏失。合成基钻井液具有极强的抑制性,可有效抑制泥岩水化及稠油溶解,起到保护储层的作用<sup>[1-4]</sup>。为此,胜利油田坨 826 区块油井在钻进储层时将井内钻井液转化为合成基钻井液。

目前,转化为合成基钻井液时需多下一层套管,这会增加钻井成本。为少下一层技术套管,降低钻井成本,通过优选钻井液处理剂,研制了封堵型合成基钻井液,结合现场施工工艺形成了裸眼内转化合成基钻井液技术,并在胜利油田坨 826 区块 3 口井进行了成功应用。

## 1 技术难点及对策

### 1.1 技术难点

坨 826 区块上部的明化镇组、馆陶组地层成岩性差,易坍塌脱落。沙 3 段泥岩微裂缝、层理发育,极易发生坍塌掉块,造成起下钻阻卡、憋泵,甚至造成无法正常钻进。沙 3 段上部 1 砂层组地层具有强水敏、弱速敏、弱盐敏、弱碱敏及弱酸敏的特点,使用水基钻井液钻进时易造成黏土矿物水化膨胀而堵塞油流通道,使用油基钻井液钻进时容易造成稠油溶解而引起井壁坍塌或钻井液漏失。在裸眼内转换为合成基钻井液需解决上部地层的稳定和裸眼井段对合成基钻井液的污染等问题。

### 1.2 技术对策

文献调研可知,合成基钻井液具有优良的抑制防塌性能,能满足该区块强水敏及稠油地层安全钻进的需要<sup>[5-7]</sup>。针对该区块裸眼内转化钻井液时存在的井壁失稳和封堵防塌等问题,可向合成基钻井液中加入含有不同粒度的桥堵剂、可变形材料和填充粒子的油基封堵材料 DF-1,从而降低其滤失量,增强合成基钻井液的封堵性能,使其能够有效封堵裂缝,稳定井壁。表 1 为油基封堵材料 DF-1 的组成和功能。

表 1 油基封堵材料 DF-1 的组成和功能

Table 1 Composition and function of oil-base plugging material DF-1

组分	含量, %	功能
刚性粒子材料	60.0	填充微裂缝,提高滤饼质量
弹性材料	20.0	随井温升高可软化变形,强化封堵
纤维材料	20.0	填充裂缝,桥堵架桥填充

现场施工中,钻井液转化前,配制隔离液,通井

保持井眼清洁;转化后,清除固相并及时调整转化工序,从而可有效解决上部地层的井壁失稳和裸眼井段合成基钻井液污染等问题,并利用封堵型合成基钻井液良好的封堵性,减少下部地层渗漏,达到保护油气层的目的。

## 2 封堵型合成基钻井液配方优化及性能评价

### 2.1 钻井液性能设计

合成基钻井液的基本配方为合成基液+3.5%有机膨润土+5.0%乳化剂+1.0%润湿剂+2.0%JZ-1+20.0%CaCl<sub>2</sub>+2.5%CaO。该合成基钻井液以气制油为合成基液,气制油具有较高的闪点(125℃)和苯胺点(85℃)、较低的凝点(-20℃)和运动黏度(23 mm<sup>2</sup>/s),几乎不含芳香烃,特别是其运动黏度低,适合作为合成基钻井液的基液<sup>[8-9]</sup>。

为满足钻井要求,根据钻井液技术难点、油藏特点及合成基钻井液基本配方,设计封堵型合成基钻井液性能为:密度 1.05~1.15 kg/L,漏斗黏度 50~90 s,滤失量 2.0 mL,滤饼厚度 0.1 mm,初切力 3~5 Pa,终切力 4~15 Pa,含砂量小于 0.3,塑性黏度 20~50 mPa·s,动切力 6~15 Pa,破乳电压大于 400 V。

### 2.2 配方优化

#### 2.2.1 DF-1 对钻井液常规性能的影响

根据钻井液性能设计,在基本配方基础上加入不同量的封堵材料 DF-1 测定其性能,结果见表 2。

由表 2 可以看出:DF-1 对钻井液的流变性和破乳电压影响较小;当其加量达到 10.0%时,黏度稍有升高,电稳定性基本无变化;其加量为 5.0%时,老化前后滤失量均为 0,表明其封堵性能良好。

#### 2.2.2 封堵性能评价及用量确定

通过可视砂床滤失试验,评价封堵材料 DF-1 的封堵性能,并确定其加量。以粒径 40~60 目砂粒为砂床,测量加入不同量 DF-1 合成基钻井液的侵入深度和侵入率,结果见表 3。由表 3 可看出,DF-1 具有良好的封堵性能,当加量达到 7%时,老化前后的侵入深度均降至 0.8 cm。

表 2 封堵材料 DF-1 对钻井液性能的影响

Table 2 Effect of plugging material DF-1 on the properties of drilling fluids

DF-1 加量, %	条件	表观黏度/(mPa·s)	API 滤失量/mL	高温高压滤失量/mL	静切力/Pa	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	破乳电压/V
0	老化前	30	1.5	5.0	2.5/3.0	20	8.0	470
	老化后	32	1.2	4.8	3.0/4.0	22	8.0	480
3.0	老化前	31	0.5	4.0	2.5/3.0	21	8.0	472
	老化后	33	0.5	3.7	3.0/4.0	24	8.5	485
5.0	老化前	32	0	3.5	2.5/3.5	22	8.0	475
	老化后	35	0	3.2	3.0/5.0	26	9.0	483
7.0	老化前	32	0	2.5	3.0/4.0	23	8.5	480
	老化后	35	0	2.0	4.0/6.0	28	9.0	489
10.0	老化前	33	0	2.0	3.0/4.0	25	10.0	475
	老化后	36	0	1.8	5.0/6.0	29	10.0	483

表 3 封堵性能评价结果

Table 3 Results of plugging capacity tests

DF-1 加量, %	条件	侵入深度/cm	侵入率, %
0	老化前	14.0	70
	老化后	12.0	60
3.0	老化前	7.0	35
	老化后	6.0	30
5.0	老化前	3.0	15
	老化后	3.0	15
7.0	老化前	0.8	4
	老化后	0.8	4
10.0	老化前	0	0
	老化后	0	0

注:砂床长度为 20 cm,试验压力 0.7 MPa,试验时间 30 min。

根据以上试验结果,为提高转化时的封堵效果,确定封堵剂加量为 10.0%,因此,封堵型合成基钻井液配方为合成基液+3.5%有机膨润土+5.0%乳化剂+1.5%润湿剂+2.0% JZ-1+20.0% CaCl<sub>2</sub>+2.5%CaO+10.0%DF-1。

2.3 性能评价

根据应用中存在的情况,通过承压能力测试、滤饼破坏试验和抗污染试验,评价封堵型合成基钻井液的性能。

2.3.1 承压能力测试

筛选粒径 40~60 目砂粒,使用高温高压滤失仪,对钻井液的承压能力进行测试,结果见表 4。由表 4 可以看出,封堵型合成基钻井液老化前后的承压能力均大于 7.5 MPa,说明其封堵承压能力强。

2.3.2 滤饼破坏试验

1) 滤饼制备。采用胜利油田坨 826 区块井深

表 4 钻井液承压能力测试结果

Table 4 Pressure bearing capacity test results of drilling fluids

配方	条件	承压能力/MPa
基本配方	老化前	2.5
	老化后	2.5
封堵型配方	老化前	>7.5
	老化后	>7.5

1 000.00 m 处的水基钻井液,通过中压滤失试验制备滤饼,滤失时间为 30 min。水基钻井液性能:漏斗黏度 32 s,密度 1.12 kg/L,API 滤失量 20 mL,初切力 1 Pa,终切力 3 Pa,含砂量 0.2%,pH 值 8,塑性黏度 8 mPa·s,动切力 3 Pa,固相含量 8.0%。

2) 滤饼浸泡试验。将制得的滤饼放入合成基钻井液中浸泡 24 h,考察合成基钻井液对滤饼的影响,结果见图 1。由图 1 可以看出,滤饼无龟裂,坚韧,厚度无变化,说明合成基钻井液不会破坏已形成的滤饼。

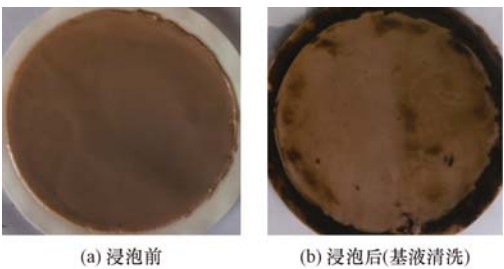


图 1 滤饼经合成基钻井液浸泡前后对比

Fig. 1 Comparison of the filter cake before and after immersed in the synthetic based drilling fluid

3) API 中压滤失滤饼破坏试验。以上述制得的滤饼为滤层,进行合成基钻井液 API 中压滤失试验,分析中压条件下合成基钻井液对滤饼的影响,结果见图 2。从图 2 可以看出,滤饼厚度由 2.0 mm 压

缩至 0.5 mm,滤饼变薄且坚韧,无龟裂等现象,滤饼压缩挤出 1.5 mL 水。这表明,转化为合成基钻井液后,在压差作用下,合成基钻井液挤压已形成的滤饼,使滤饼变薄而坚韧,提高了滤饼质量。

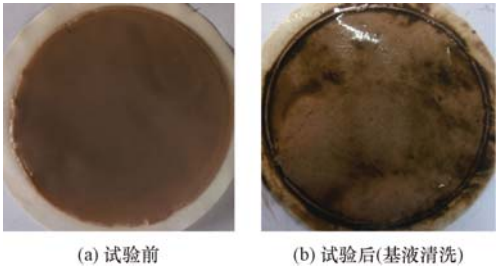


图 2 滤饼经中压滤失试验前后对比

Fig. 2 Comparison of filter cake before and after the medium pressure filtration test

4) 砂床滤失试验。采用可视砂床仪器,以粒径 40~60 目砂粒为砂床,进行砂床滤失试验,试验压力 0.7 MPa。

首先在可视砂床仪中倒入 350 mL 坨 82 区块井深 1 350.00 m 处的水基钻井液,进行滤失试验。试验结束后,倒出剩余的水基钻井液,替入 350 mL 合成基钻井液继续进行滤失试验,观察合成基钻井液形成滤饼后的渗透情况,发现合成基钻井液与砂层界面的滤饼完好,钻井液未渗透侵入砂层,说明合成基钻井液不会破坏滤饼,能够在滤饼上形成有效封堵。

2.3.3 抗污染性能

1) 抗岩屑污染性能。取胜利油田坨 826 区块上部地层的钻屑,粉碎后过孔径 0.45 mm 的筛网,加入到封堵型合成基钻井液中,测试钻井液的性能,结果见表 5。由表 5 可看出,钻屑的侵入对合成基钻井液的黏度影响较大,随着钻屑侵入量增大,黏度及切力明显上升,同时破乳电压逐步降低,但仍然能保持较高的稳定性。因此,钻井过程中必须及时清除钻屑,保证钻井液清洁。

表 5 合成基钻井液抗岩屑污染试验结果

Table 5 Anti cuttings contamination experimental results of synthetic based drilling fluid

岩屑加量, %	表观黏度/(mPa·s)	滤失量/mL	滤饼厚度/mm	静切力/Pa	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	破乳电压/V
0	33	0	0.1	3/4	25	8	475
5.0	35	0	0.1	4/6	26	9	460
10.0	38	0	0.1	5/8	30	8	437
15.0	43	0	0.1	6/11	33	7	415

2) 抗水污染性能。向合成基钻井液中加入不同量的井场水,进行抗水污染性能评价,结果见表 6。由表 6 可见,少量水侵入对合成基钻井液流变性影响较小,主要表现为表观黏度逐渐升高,塑性黏度、动切力稍有增加,但能够保持良好的电稳定性。

3) 抗水基钻井液污染性能。取坨 826 区块的常用水基钻井液,进行抗水基钻井液污染性能评价,结果见表 7。由表 7 可见,水基钻井液侵入对合成基钻井液流变性影响较小,随侵入量增大,合成基钻井液的黏度、切力先降低后升高,电稳定性下降。

表 6 合成基钻井液抗水污染试验结果

Table 6 Anti water contamination experimental results of synthetic based drilling fluid

水加量, %	表观黏度/(mPa·s)	滤失量/mL	滤饼厚度/mm	静切力/Pa	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	破乳电压/V
0	33	0	0.1	3.0/4.0	25	8	475
5.0	34	0	0.1	3.5/4.0	26	8	440
10.0	35	0	0.1	4.0/4.0	27	9	450
15.0	37	0	0.1	3.5/4.0	28	9	480

表 7 合成基钻井液抗水基钻井液污染性能试验结果

Table 7 Anti water-base drilling fluid contamination experimental results of synthetic based drilling fluid

水基钻井液加量, %	表观黏度/(mPa·s)	滤失量/mL	滤饼厚度/mm	静切力/Pa	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	破乳电压/V
0	33	0	0.1	3.0/4.0	25	8.0	475
5.0	32	0	0.1	3.0/4.0	25	7.0	450
10.0	28	0	0.1	2.5/3.5	23	6.5	430
15.0	29	0	0.1	2.5/3.5	24	6.0	415
20.0	31	0	0.1	2.5/3.5	24	6.5	420

4) 抗隔离液污染性能。取坨 826 区块的井浆加入增黏剂等配制成高黏隔离液,进行合成基钻井液抗隔离液污染性能评价,结果见表 8。高黏隔离液的性能:密度 1.15 kg/L,漏斗黏度 150 s,API 滤失量 2 mL,初、终切力 5/25 Pa,含砂 0.2%,pH 值

9,塑性黏度 44 mPa·s,动切力 30 Pa,固相含量 8.0%。由表 8 可看出,随着隔离液侵入量增大,合成基钻井液的黏度、切力逐渐升高,电稳定性逐渐降低,但仍能够保持较高值,因此必须控制隔离液的混入量,施工中尽量放掉混浆。

表 8 合成基钻井液抗隔离液污染性能试验结果

Table 8 Anti spacer fluid contamination experimental results of synthetic based drilling fluid							
隔离液加量, %	表观黏度/(mPa·s)	滤失量/mL	滤饼厚度/mm	静切力/Pa	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	破乳电压/V
0	33	0	0.1	3.0/4.0	25	8.0	475
5.0	34	0	0.1	3.0/4.0	25	8.5	456
10.0	36	0	0.1	3.0/4.0	27	9.0	430
15.0	39	0	0.1	3.5/4.0	30	9.0	415
20.0	40	0	0.1	3.5/4.5	30	9.5	407

3 转化工艺及注意事项

3.1 钻井液转化

- 1) 水基钻井液完钻前调整合成基钻井液性能,确保其有良好的剪切稀释性和悬浮携岩能力,防止因黏度、切力过高造成混浆严重。
- 2) 钻井液转化前充分通井循环,保证井眼清洁通畅。
- 3) 清理循环罐,保证罐内无钻井液、无沉砂、无积水,以减少对合成基钻井液的污染。
- 4) 配制高黏隔离液,搅拌均匀后备用。
- 5) 首先泵入配制好的隔离液,然后以最大排量泵入合成基钻井液,顶替过程中不能停泵,减少其与水基钻井液接触产生的混浆。
- 6) 观察隔离液和混浆的返出情况,当合成基钻井液返出地面,及时建立正常循环,以减少合成基钻井液损失,完成转化工作。

3.2 转化后性能维护

- 1) 转化后,及时开启振动筛和除砂器清除固相,根据需要调整振动筛孔径,防止跑浆,尽量使用小孔径振动筛布;根据井下情况及地层坍塌压力及时调整钻井液密度,同时补充适量润湿剂。
- 2) 钻进过程中,根据钻井液性能变化情况补充乳化剂等,以提高钻井液的乳化稳定性,确保破乳电压不小于 400 V。
- 3) 钻进过程中,随着固相侵入及合成基液消耗,钻井液黏度上升,应根据钻井液性能补充合成基液,降低钻井液黏度。
- 4) 根据钻井液的消耗情况,及时补充合成基钻

- 井液,确保有足够的循环量。
- 5) 及时测定合成基钻井液性能,根据其性能及井下情况调整钻井液性能,提高钻井液的携岩能力,保证井眼清洁。
- 6) 进入水平段后,根据需要补充封堵材料,以增强对微裂缝的封堵能力,减少钻井液的渗透性滤失,提高井壁稳定性。

3.3 注意事项

- 1) 钻井液转化为合成基钻井液后黏度升高,电稳定性降低。长裸眼井段形成的虚滤饼在起下钻时剥落或附着在井壁上,没有被及时携带至地面而混入合成基钻井液中,由于虚滤饼含水量高且已水化松软,易分散,使钻井液含水量和固相含量升高,导致其黏度升高,电稳定性降低。在转化成合成基钻井液后,发现其黏度升高、电稳定性降低时,开启离心机、除砂器清除固相;补充合成基液、乳化剂、润湿剂、降滤失剂和氧化钙等,降低钻井液黏度,提高其电稳定性。
- 2) 钻井后期钻井液黏度、密度升高。由于水平段钻速快及微裂缝渗透,导致固相含量升高,含油量降低,钻井液的黏度、密度迅速升高。在钻井后期,发现钻井液黏度、密度升高时,尽量减小重晶石加量;充分使用固控设备,并需要根据开启离心机,尽量清除细分散固相;及时补充封堵材料和降滤失剂,以增强钻井液对微裂缝的封堵能力,减少钻井液消耗;根据性能补充合成基液及润湿剂,降低钻井液黏度。

4 现场应用

裸眼内转化合成基钻井液技术在坨 826 区块坨 826-平 30 井、坨 826-平 31 井和坨 826-平 32 井成功

进行了应用,由应用效果可看出,封堵型合成基钻井液封堵性能优良,抑制性强,能够保证裸眼井段井壁稳定,解决了该区块强水敏性地层水化和稠油油层的井壁坍塌问题,具有良好的油气层保护效果。

坨826-平30井完钻井深1 780.00 m,完钻水平位移598.83 m,水平段长201.17 m。采用水基钻井液钻至井深1 349.00 m转化成合成基钻井液。转化前,通井清洗并眼后根据转化工艺进行转化。针对转化后上部地层污染导致合成基钻井液黏度升高、电稳定性降低等问题,及时开启离心机、除砂器清除固相,补充合成基液 $30\text{ m}^3$ ;同时加入乳化剂、润湿剂、降滤失剂等调整钻井液性能。钻井后期根据需要使用离心机,补充封堵材料和降滤失剂等,并根据维护方案调整钻井液性能。

水基钻井液转化成合成基钻井液后,上部地层稳定,下部沙河街组地层未出现坍塌掉块。该井使用合成基钻井液钻进井段平均井径扩大率仅为3.62%,低于使用常规钻井液钻进的相同井段(平均井径扩大率7.00%)。

该区块应用水基钻井液钻进的目的层为沙3段上部的已完钻井,投产均未形成工业油气流。坨826-平30井使用合成基钻井液完钻后,产油量稳定在8 t/d,解决了油气层保护难的问题,表明合成基钻井液具有优良的油气层保护效果。

现场应用表明,合成基钻井液性能稳定,维护简单,使用安全。合成基液闪点高,安全性高,基本无毒,挥发性小,更利于作业人员的安全健康和环境保护。同时,合成基钻井液不会影响固井质量,该井固井质量合格。

合成基钻井液回收利用率达到70%,形成了回收—处理—再利用技术方案,降低了合成基钻井液的使用成本。

## 5 结论与建议

1) 封堵型合成基钻井液封堵性能强,可在裸眼内转化,从而避免了多下一层技术套管,有利于降低钻井成本和缩短施工周期。同时应用合成基钻井液可减少后期酸化、防砂等作业投资。

2) 应用裸眼内转化合成基钻井液技术时,应配套适于转化作业的地面循环系统,建立完善的合成基钻井液固相控制及废弃物收集处理系统,提高固相控制设备的使用效率,有效控制固相含量,及时收集处理废弃物,以降低地面合成基钻井液损耗量。

3) 合成基钻井液具有优良的油气层保护性能,建议进行规模化推广应用,通过重复利用降低其使用成本。

## 参考文献

### References

- [1] 李秀灵,沈丽,陈文俊.合成基钻井液技术研究与与应用进展[J].承德石油高等专科学校学报,2011,13(1):21-24.  
Li Xiuling, Shen Li, Chen Wenjun. Technology study and development research of synthetic drilling fluid[J]. Journal of Chengde Petroleum College, 2011, 13(1): 21-24.
- [2] 王越之,罗春芝,施建国,等.合成基钻井液储层保护技术研究[J].石油钻探技术,2003,31(1):31-32.  
Wang Yuezhi, Luo Chunzhi, Shi Jianguo, et al. Study on synthetic drilling fluids for reservoir protection[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2003, 31(1): 31-32.
- [3] 耿娇娇,鄢捷年,李怀科,等.具有恒流变特性的深水合成基钻井液[J].石油钻探技术,2010,38(2):91-94.  
Geng Jiaojiao, Yan Jienian, Li Huaik, et al. Synthetic-based drilling fluid with constant-rheology used in deepwater drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(2): 91-94.
- [4] 万绪新,张海青,沈丽,等.合成基钻井液技术研究与与应用[J].钻井液与完井液,2014,31(4):26-29.  
Wan Xuxin, Zhang Haiqing, Shen Li, et al. Study and application of synthetic base drilling fluid technology[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2014, 31(4): 26-29.
- [5] Messler D, Kippie D, Webb T. Improved techniques of deepwater SBM displacements: a case history[R]. SPE 73711, 2002.
- [6] 肖超,冯江鹏,宋明全,等.尼日利亚边际油田合成基钻井液技术[J].钻井液与完井液,2009,26(6):80-81,87.  
Xiao Chao, Feng Jiangpeng, Song Mingquan, et al. Synthetic base drilling fluid technology for marginal oilfield in Nigeria[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2009, 26(6): 80-81, 87.
- [7] 冯江鹏,郭和明,肖超,等.尼日利亚边际油田钻井实践及思考[J].石油钻探技术,2010,38(5):86-89.  
Feng Jiangpeng, Guo Heming, Xiao Chao, et al. Nigeria's stubb creek marginal oilfield drilling practice and thinking[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(5): 86-89.
- [8] 胡友林,乌效鸣,岳前升,等.深水钻井气制油合成基钻井液室内研究[J].石油钻探技术,2012,40(6):38-42.  
Hu Youlin, Wu Xiaoming, Yue Qiansheng, et al. Laboratory research on deepwater GTL synthetic-based drilling fluid[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(6): 38-42.
- [9] 罗健生,莫成孝,刘自明,等.气制油合成基钻井液研究与与应用[J].钻井液与完井液,2009,26(2):7-11.  
Luo Jiansheng, Mo Chengxiao, Liu Ziming, et al. The study and application of a GTL based drilling fluid[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2009, 26(2): 7-11.

[编辑 刘文臣]