

沥青层钻井液柱压力关键影响因素及控制技术

任立伟^{1,2}, 夏柏如¹, 毛迪², 郭元恒¹

1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083
2. 中石化石油工程技术服务有限公司, 北京 100101

摘要 沥青层安全钻井问题困扰Y油田的开发,微小的钻井液柱压力波动即可引起沥青流动侵入井内而发生复杂事故或弃井。分析表明,污染后钻井液性能恶化快、沥青易黏附固相颗粒、高温可流动性好、钻井液与沥青的置换型漏失等造成钻井液柱压力难以控制,进而造成沥青侵入速度与程度得不到有效控制。室内和现场试验表明,保持钻井液膨润土含量1%、随钻堵漏材料含量8%左右有利于钻进时钻井液柱压力控制;稠化封堵技术可减慢停止循环时的沥青侵入速度;控压钻井(MPD)技术可有效调控井筒液柱压力,以较低钻井液密度钻穿沥青层,降低沥青与钻井液置换量、侵入速度与程度到可控水平。

关键词 液柱压力;沥青;膨润土含量;控压钻井;稠化封堵

中图分类号 TE254

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.03.003

Key Influencing Factors and Control Technology of Drilling Fluid Pressure in the Bitumen Zone

REN Liwei^{1,2}, XIA Bairu¹, MAO Di², GUO Yuanheng¹

1. College of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
2. Sinopec Oilfield Service Corporation, Beijing 100101, China

Abstract The exploration of Y oilfield seriously suffered from safety problems in the bitumen zone. Slight fluctuation of low drilling fluid pressure may trigger the mobilization and invasion of near-wellbore bitumen, which may lead to complex accidents or well abandonment. Analysis indicated that it is hard to control the drilling fluid pressure because properties of bitumen-contaminated drilling fluid quickly got worse. Bitumen has good liquidity at high temperature and adhered solid particles easily. Even worse, displacement loss of drilling fluid and bitumen accelerated invasion of bitumen. Thus, the degree and speed of bitumen invasion got out of hand. Test results in lab and field showed that, in order to control drilling fluid pressure, the contents of bentonite and plugging materials at about 1% and 8% respectively in drilling fluid are crucial while drilling. Meanwhile, invasion speed of bitumen can be reduced by thickening and plugging technology during circulation stop. The managed pressure drilling (MPD) technology can be used to effectively control wellbore drilling fluid pressure and drill through bitumen formation with lower drilling fluid density. Then the displacement amount of bitumen and drilling fluid, invasion degree and speed were reduced to a "controlable" level.

Keywords drilling fluid pressure; bitumen; bentonite content; managed pressure drilling; thickening and plugging

近年来,非目的层的深部沥青层给钻井安全造成不同程度的影响,在塔河、辽河等油田都有钻遇干沥青的经验,提高钻井液密度可压住沥青层。而墨西哥湾 Spa Prospect、Hess Pony、Big Foot 等油田则钻遇了几米至十几米厚可流动性较高的湿沥青层,钻穿后下套管或固井作业难度极大,多口井侧钻或报废^[1-4]。经过对墨西哥湾沥青层的研究得出,

上覆岩层压力是驱动沥青进入井筒的主要原因,微小的液柱压力变化即可导致沥青侵入井内,提高钻井液密度无法控制湿沥青侵入井内,填井侧钻绕开是解决墨西哥湾沥青层安全钻井的唯一方法^[5-7]。伊朗 Y 油田多口井在 3500 m 左右的 Kazh 地层也钻遇了 60~80 m 厚的活跃沥青层,其可流动性较墨西哥湾沥青更好,常规压井堵漏措施效果较差,钻井液柱压

收稿日期:2013-11-15;修回日期:2013-12-23

基金项目:国家科技重大专项项目(2008ZX05031)

作者简介:任立伟,博士研究生,高级工程师,研究方向为钻井液技术与管理,电子信箱:8267892@qq.com

引用格式:任立伟,夏柏如,毛迪,等. 沥青层钻井液柱压力关键影响因素及控制技术[J]. 科技导报, 2014, 32(3): 29-33.

力控制难度极大,沥青侵入速度与程度得不到有效控制,发展为涌漏并存而无法钻穿沥青层,多井报废或更改设计,严重影响了对下部储层的开发^[8-12]。本文在实钻资料和室内试验的基础上,对影响沥青侵入后钻井液柱压力控制的关键因素进行分析,并对沥青层钻井液柱压力控制技术进行探讨。

1 钻井液柱压力影响关键因素

1.1 污染后钻井液流变性迅速恶化

沥青侵入井筒后,钻井液漏斗黏度和切力急增,如F19井沥青侵后钻井液漏斗黏度从57 s升至120 s, F13井从50 s增至110 s,后期甚至呈膏状,根据现场实践与文献^{[8],[9]}报道,应是钻井液中某些组分与沥青发生作用,造成钻井液性能急变。加稀剂、乳化剂效果较差,而柴油稀释乳化法虽有一定效果,但因“相似相溶”原理,柴油使近井壁处地层孔道中沥青更容易侵入井内,可能恶化复杂程度,在F19井沥青侵处理过程已得到验证^[8-10]。钻井液流变性恶化后井筒液柱压力波动大,复杂情况恶化迅速,给沥青层安全钻进造成重大隐患。

1.2 钻井液出口密度难以维持

沥青温敏性强,高温下易流动,侵入井筒后占据井内空间,且其密度小于 1.1 g/cm^3 ,与处理复杂情况时钻、压井液密度差超过 0.5 g/cm^3 ,造成有效液柱压力降低。沥青中胶质、沥青质组分具有较强极性和表面活性,易黏附、包裹固相颗粒。在温差和搅动作用下,重晶石、岩屑等固相颗粒在钻井液上返和降温稠化过程中被沥青黏附和包裹,至地面后随沥青被筛除或排放,有用固相含量降低,钻井液出口密度降低,井筒液柱压力维持困难,沥青侵入速度难以调控^[11-13]。

1.3 置换型漏失

伊朗沥青软化点在 50°C 左右,温敏性强,高温可流动性好, 100°C 时运动黏度超过 $15000 \text{ mm}^2/\text{s}$,自身团聚不易分散,与钻井液、压井液间黏度和密度差异大,互溶性差,无法形成针对水层、储层压井时的密度梯度,地层孔道中沥青与地层孔壁的间隙极易被压开(图1中A),或因密度差、重力原因(图1中B),沥青和钻井液从不同孔道进行空间交换,钻、压井液进入地层深处,沥青被置换进井筒,发生涌漏同存。

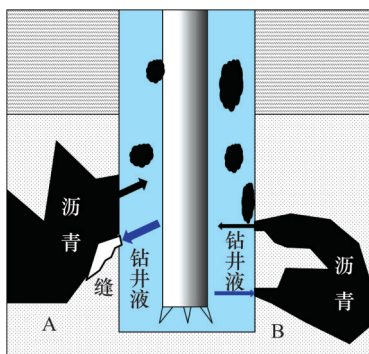


图1 置换型漏失模拟

Fig. 1 Modeling of displacement type leakage

因F19井、F13井和APP2漏失钻井液都超过 3000 m^3 ,而排放沥青混浆量与漏失量基本持平,现场称为置换型漏失^[15]。

2 关键技术对策探讨

针对沥青污染后钻井液柱压力控制困难的问题,优化钻井液抗沥青污染性能,借鉴道路沥青老化机理和应用于窄密度窗口地层安全钻井的控压钻井技术(MPD),在室内试验基础上,优化钻井液柱压力控制关键技术措施,以满足沥青层安全施工需要^[15-19]。

2.1 合理控制膨润土含量

沥青层钻井液原基本配方 3% 膨润土+ $0.2\% \text{ Na}_2\text{CO}_3$ + $0.7\% \text{ NaOH}$ + $0.5\% \text{ XN367}$ + $0.5\% \text{ CMC(L)}$ + $1.5\% \text{ ZWJS}$ (淀粉类)+ $3\% \text{ TRS-MFG-I}$ (防塌剂)+ $2\% \text{ SMP-2}$ + $2\% \text{ SPNH}$ + $5\% \text{ KCl}$,密度 1.45 g/cm^3 。室内考查了钻井液中各材料对钻井液抗沥青污染能力的影响,确定膨润土和重晶石是沥青侵入后钻井液流变性被迅速破坏的主因,但为保持钻井液密度无法减少重晶石加量,因此,考查了膨润土加量对钻井液被 5% 现场沥青污染后流变性能的影响(表1),沥青软化点为 49.5°C ,在 110°C (地层温度)下热滚 16 h ,冷却至振动筛处温度 52°C 。钻井液抗沥青污染能力随着膨润土加量的增加而快速降低,膨润土加量至 2% 后,表观黏度、塑性黏度和动切力迅速增大,初、终切力增幅尤为明显,钻井液流变性迅速恶化。

表1 膨润土加量优化试验

Table 1 Test results of bentonite content optimization

膨润土加量/%	表观黏度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	塑性黏度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	动切力/ Pa	初终切力
0	23	16	7	1.5/4
1	26	18	8	1.5/5
2	37	25	13	4/11
3	71	42	29	7.5/15
4	121	79	42	23/35

将配方中的膨润土加量降至 1% ,再分别加入 5% 、 7% 、 8% 、 9% 沥青(表2)。钻井液在未混有岩屑和堵漏材料时,沥青加量达 8% 时钻井液流变性保持良好,沥青加量至 9% 后流变性才明显恶化,但恶化幅度仍较小,说明降低膨润土含量后的钻井液抗沥青污染性能明显提升。因此,在沥青层钻进应使

表2 沥青加量对优化后钻井液流变性的影响

Table 2 Effects of bitumen content on the rheology of optimized drilling fluid

沥青加量/%	表观黏度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	塑性黏度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	动切力/ Pa	初终切力
5	26	18	8	1.5/5
7	30	21	9	2/6
8	38	25	13	3/8.5
9	68	40	22	9/19

用较低土相含量钻井液,推荐膨润土含量在1%左右,即可保证钻井液性能稳定,又可防止沥青侵入后钻井液柱压力激动过大。

2.2 提高加重材料利用效率

现场处理沥青侵入时,压井堵漏后返出的沥青团块表面有大量堵漏材料、岩屑等固相,结合沥青黏附特性,在黏附固相颗粒总量一定时,加大其他固相的被黏附量,势必会减少对重晶石的黏附,有利于稳定钻井液出口密度而控制沥青侵入速度^[12]。因此,室内向1%膨润土含量钻井液中加入3%现场堵漏材料,加重至1.60 g/cm³(压井液密度),60~70℃条件下加入10%沥青,110℃下热滚2 h,滚动着降温至52℃,使用45目筛网过滤并测定密度(图2)。未加入堵漏材料的钻井液密度下降近10%,而其他的密度下降程度较低。尤其是SNDF、Kwick Seal、Mix Seal等表面积大、表面粗糙组分含量高的材料,更易被沥青黏附,其占据的沥青团块可黏附面积更多,有效降低了重晶石被黏附量^[13]。因此,在沥青层钻进中应保持一定的堵漏材料含量,既可降低重晶石损耗量,又可防漏,有利于稳定钻井液柱压力。

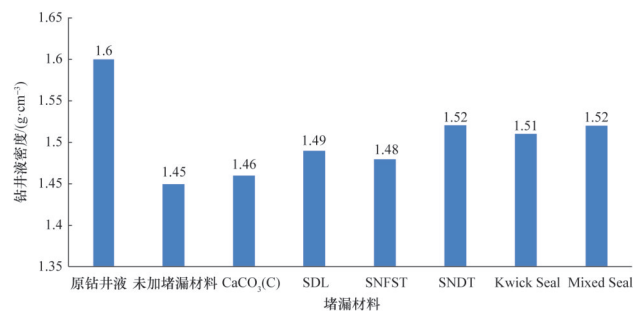


图2 选择性黏附试验

Fig. 2 Test results of selective adhesion

2.3 封堵沥青层

沥青四组分中的沥青质含量与沥青软化点之间存在如下式所示的定量关系^[16]:

$$(1-\omega)t_s = C \quad (1)$$

式中, ω 为沥青质含量; t_s 为软化点,℃; C 为常数。

由式(1)得出,沥青质含量增加则沥青软化点增高,沥青黏度增大,温度敏感性下降,高温下可流动性降低,有利于提高压井、堵漏成功率^[15,16,18]。因此,根据石油沥青氧化机制,室内优选了沥青氧化剂F,将4%膨润土浆+40%沥青+15%F在110℃下热滚4 h,因发生了氧化、聚合、团聚等一系列反应,小分子的轻组分数量减少,大分子的重组分含量增加,既沥青质含量增多,沥青软化点从49.5℃增加到115℃,已高于沥青层110℃的地层温度,且聚结硬化后与液相分离(图3(a))^[20]。

将上述实验的4%膨润土浆替换为沥青层钻井液后,钻井液黏度降低近30%,已无法使用,为此,将4%膨润土浆+40%沥青+30%桥堵材料+15%F配成封堵浆,110℃养护4 h

后放入烧杯(图3(b))。加入堵漏材料后,沥青凝硬化程度更高,两者完全聚结在一起。因此,F可与桥堵材料配成封堵浆,在进入沥青流动孔道后,可增加桥堵材料滞留几率和提高堵漏段塞抗返吐能力,提高压井堵漏成功率,降低沥青侵入速度。

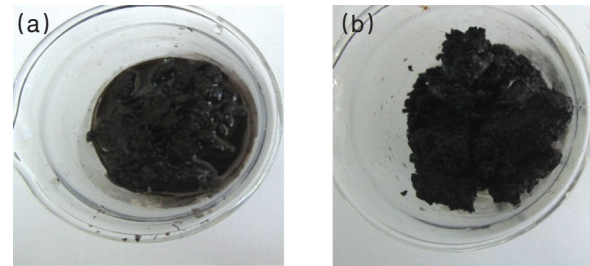


图3 堵漏材料对沥青稠化效果的影响

Fig. 3 Effects of LCM on bitumen bodying

2.4 MPD 配套技术措施

MPD是解决压力敏感地层漏失、井涌窄密度安全窗口问题的有效手段。当沥青侵入导致井口存在套压时,可以不关井,施加一定的回压继续钻进,在钻井液循环当量密度大于地层压力的前提下可使用低密度钻井液钻进,控制沥青侵入速度,并减少沥青与钻井液置换量^[17]。因此,MPD辅以适当的配套技术措施,可大幅提高安全钻过沥青层的几率。根据实钻资料和MPD技术特点,确定MPD配套技术措施如下:1)采用专打专封井身结构,上层套管下至沥青层上部,避免多压力体系下上部地层发生漏失。2)使用欠饱和和盐水钻井液体系,保持Cl⁻质量浓度140 g/L左右以提高液相密度,防止被沥青污染时钻井液密度下降过快;加入3%左右随钻堵漏材料,以期封堵沥青流动孔道并减少沥青对重晶石的黏附;钻井液流变性能可控时,不加入乳化剂和柴油。3)简化钻具组合和采用大水眼,以减弱井底压力激动,并为过胶芯起下钻创造条件,减少后续处理复杂情况时堵水眼几率。4)采用恒定井底压力控制方法,控制井底压力略大于地层压力0.69 MPa,溢流后通过循环节流逐步调高套压的方法控制溢流保障钻进。若置换量仍然较大,采用加压泥浆帽控制方法,在环空中注入一段高密度的钻井液,钻进期间关闭环空,并且通过井口套压的指示对井下情况进行判断,强行穿过沥青层。5)接单根、起下钻时通过钻井泵—压井管汇—四通—节流管汇流程施加回压,回压等于环空压耗,保持井底压力恒定。

3 现场应用

3.1 低膨润土含量钻井液抗沥青污染性能优异

F17井三开在3330 m的Sar地层承压堵漏封闭上部井段易漏地层,简化钻具组合,降低钻井液膨润土至1%~1.3%。钻至3334 m时,大量表面黏附有岩屑和堵漏材料的沥青条块返出(图4),此为首次在Sar地层发现明显沥青侵入。钻井液出口密度从1.35 g/cm³降至1.32 g/cm³,漏斗黏度从50 s增至52 s,油含量从0.5%升至1.5%。增加入口密度至1.39 g/cm³后,出口

密度稳定在 1.38 g/cm^3 , 返至地面沥青数量明显减少, 耗时 2 d 钻至 3370 m 的 Kazh 地层顶部, 共钻遇 8 m 沥青层, 期间钻井液流变性能稳定, 漏斗黏度最高增至 58 s, 未出现前期其他井发现沥青侵入后钻井液流变性急变的问题, 表明低膨润土钻井液抗沥青污染性能优异, 有利于钻进时的钻井液柱压力控制。



(a) 3334 m (b) 3341 m

图4 Sar地层返至地面的沥青

Fig. 4 Bitumen returned to the ground in Sar Formation

3.2 有效控制了钻井液柱压力

F17井在进入Kazh地层1个循环周后, 返出的黏稠沥青急剧增多, 黏连度高, 糊筛跑浆严重(45目筛布), 出口密度 1.39 g/cm^3 降至 1.37 g/cm^3 , 漏斗黏度 53 s 增至 57 s, 膨润土含量 1.2%, 含油量 2% 升至 4%。将纤维和细果壳类堵漏材料含量增至 5%, 出口密度维持在 $1.37\sim 1.38 \text{ g/cm}^3$ 钻进至 3376 m, 接立柱停泵 13 min, 排放受污染浆即混浆 5.1 m^3 (图5), 出口密度降至 1.32 g/cm^3 。将入口密度提至 1.50 g/cm^3 后, 出口密度仍缓慢下降, 堵漏材料含量提至 8% 后, 出口密度稳定在 $1.47\sim 1.48 \text{ g/cm}^3$, 钻井液漏斗黏度最高增至 66 s, 含油超过 5%。穿出沥青层后将堵漏材料量降至 3%~4%, 钻井液消耗量从 $2 \text{ m}^3/\text{h}$ 增至超过 $4 \text{ m}^3/\text{h}$, 重新提高堵漏材料含量至 6% 后, 恢复正常。历时 9 d 钻至 3424 m 沥青层底界, 沥青稠化封堵现场试验取得良好效果^[20,21]。F17井现场试验结果表明, 在不引起其他复杂情况的前提下, 加大堵漏材料有利于减少沥青对重晶石的吸附, 并封堵近井壁处一部分沥

青渗流通道, 可基本满足循环时沥青层安全钻井需求; 而稠化封堵技术措施能对沥青渗流通道形成更好的封堵, 满足停止循环工况下的安全钻井需求。

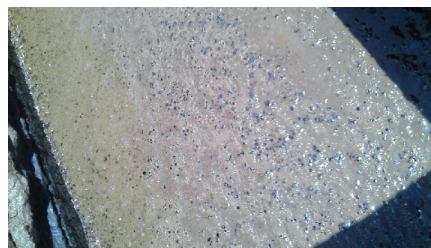


图5 接进入沥青层首根立柱后返出的混浆
Fig. 5 Drilling fluid contaminated by bitumen after firstly picked up stands in the bitumen zone

3.3 MPD控压效果显著

S3井距离因Kazh沥青污染而被迫封固Kazh地层, 改为Sar储层水平井的F13井400 m, 上层套管封至Kazh沥青层顶, 按照第2.4节所述技术措施作好钻遇沥青层准备。在3494 m 发生沥青侵入, 至3501 m 共溢流 3 m^3 后开始控压钻进, 采用调节井口回压, 控制井底压力稳定方法, 历时 4 d 钻穿 142 m Kazh 沥青层, 期间关井求得沥青层地层压力系数 1.87 g/cm^3 , 共耗时 10 d 钻至井深 3808.5 m 的四开设计井深, 进尺 371.5 m。从表3统计数据可以看出, 在施加低回压或修旋转控制头而采用常规方式钻进时, 依靠增加钻井液密度而提高井筒液柱压力的作法, 无法有效控制沥青侵入速度, 需排放大量混浆; 而MPD可根据井下情况随时调整施加的回压, 调整井筒液柱压力快速、准确, 避免了因井筒液柱压力过高或过低而诱发漏失或溢流等复杂情况, 且可在不同工况下保持恒定的井筒液柱压力, 以较低密度钻井液钻进时与沥青密度差小, 减弱了沥青与钻井液置换速度, 沥青侵入速度与程度得到有效控制。因此, 通过旋转控制头密封井口, 调节回压, 控制油气后效, MPD可有效控制井筒液柱压力, 降低沥青侵入速度与程度, 避免了恶性漏失、井涌的发生, 实现了沥青层安全钻进。

表3 Kazh地层MPD施工简况

Table 3 General MPD operation situation in Kazh zone

井段/m	工况	入口密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	出入口密度 差/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	回压/MPa	当量循环密 度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	排放混 浆/ m^3	备注
3501~3505	控压钻进	1.62	0.04~0.06	1	1.67~1.71	—	溢流 3.5 m^3
	更换冲管	1.62	—	2.1	1.66~1.68	8	压井管汇施压
3505~3535	控压钻进	1.62	0.04~0.06	0.9~3.4	1.67~1.76	—	—
3535~3543	控压钻进	1.66	0.02~0.06	0.9~3.8	1.71~1.80	—	—
3543~3550	常规钻进	1.66	0.06~0.10	—	—	30, 15	修旋转控制头
3550~3572	控压钻进	1.66	0.04~0.10	1~2.8	1.71~1.80	—	—
3572~3589	控压钻进	1.66	0.06~0.08	1.4~2.1	—	12	修旋转控制头
3589~3600	控压钻进	1.66	0.09~0.21	3.4~6.2	1.74~1.94	—	试加高回压
3600~3637	控压钻进	1.66	0.02~0.10	1.4~4.1	—	14, 29	修旋转控制头

4 结论

1) 沥青污染后钻井液性能恶化快,有效固相含量降低,钻井液出口密度难以控制,沥青高温可流动性好,易发生置换型漏失,造成沥青层钻井液柱压力波动大而引发复杂事故,即钻井液柱压力是控制沥青侵入速度和程度的关键因素。

2) 低膨润土含量有利于提高钻井液抗沥青污染性能,合理利用沥青选择性黏附特性有利于维持钻井液有用固相含量,稳定出口密度,与沥青稠化封堵技术配合使用,可实现沥青层安全钻进。

3) MPD通过灵活调节回压控制井底压力,实现对钻井液柱压力全过程控制,极大降低了沥青层钻井风险,沥青侵入速度得到控制,为解决沥青层安全钻井提供了一种新思路。

参考文献(References)

- [1] 岳前升,刘书杰,向兴金. 适于疏松砂岩稠油藏储集层保护的水平井钻井液[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(2): 232-235.
Yue Qiansheng, Liu Shujie, Xiang Xingjin. Drilling fluid technology for horizontal wells to protect the formations in unconsolidated sandstone heavy oil reservoirs [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(2): 232-235.
- [2] Weatherl M H. Encountering an unexpected tar formation in a deep water Gulf of Mexico exploration well[C]. SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, The Netherlands, February 20-22, 2007.
- [3] Perez G P. Compositions and methods for treatment of well bore tar: USA, US7665523B2[P]. 2010-2-23.
- [4] Romo L, Shaughnessy J, Lisle E. Challenges associated with subsalt tar in the Mad Dog field[C]. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Anaheim, USA, November 11-14, 2007.
- [5] Gang H, Keith H, Jamie R, et al. Deepwater bitumen drilling: what happened downhole?[C]. IADC/SPE Drilling Conference, Orlando, USA, March 4-6, 2008.
- [6] Gang H, Keith H, Jerry O, et al. Drilling through bitumen in the Gulf of Mexico: the shallower VS the deeper[C]. Offshore Technology Conference, Houston, USA, May 5-8, 2008.
- [7] Han G, Osmond J, Zambonini M. A USD 100 million "Rock": Bitumen in the deepwater gulf of Mexico[J]. SPE Drilling & Completion, 2010, 25(3): 290-299.
- [8] 郭京华,夏柏如,赵增新,等. F19井沥青侵及相关井下复杂情况的处理[J]. 特种油气藏, 2012, 19(4): 134-137.
Guo Jinghua, Xia Bairu, Zhao Zengxin, et al. Treatments for bitumen contamination and associated downhole problems in well F19[J]. Special Oil & Gas, 2012, 19(4): 134-137.
- [9] 郭京华,夏柏如,黄桂洪,等. 稠油沥青污染钻井液的处理技术[J]. 钻采工艺, 2012, 35(4): 91-94.
Guo Jinghua, Xia Bairu, Huang Guihong, et al. Treatment technique for bitumen-contaminated drilling fluids[J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(4): 91-94.
- [10] 何清水,宋明全,肖超,等. 非均质超厚活跃沥青层安全钻井技术探讨[J]. 石油钻探技术, 2012, 41(1): 20-24.
He Qingshui, Song Mingquan, Xiao Chao, et al. Discussion on safe drilling technology for heterogeneous, ultra-thick and active bitumen zone [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 41(1): 20-24.
- [11] 刘国祥,胡平,巩春伟,等. 几种国产渣油黏度的研究[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1996, 20(2): 80-84.
Liu Guoxiang, Hu Ping, Zhu Chunwei, et al. Determination of the viscosities of several petroleum residua[J]. Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science, 1996, 20(2): 80-84.
- [12] 周卫峰,原建安,戴经梁. 影响黏附性的沥青性质分析[J]. 石油沥青, 2003, 17(3): 22-25.
Zhou Weifeng, Yuan Jianan, Dai Jingliang. Analysis of asphalt properties influencing adhesion[J]. Petroleum Asphalt, 2003, 17(3): 22-25.
- [13] 朱迪. 沥青与集料的黏附性分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2009, 191(13): 53-56.
Zhu Di. Adhesiveness analysis between pitch and admixture[J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy, 2009, 191(13): 53-56.
- [14] 舒刚,孟英峰,李皋,等. 重力置换式漏喷同存机理研究[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(1): 6-11.
Shu Gang, Meng Yingfeng, Li Ao, et al. Mechanism of mud loss and well kick due to gravity displacement[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(1): 6-11.
- [15] 陈栋,李季,黄燕山,等. 胶质和沥青质对原油流动性影响的红外光谱研究[J]. 应用化工, 2010, 39(7): 1100-1113.
Chen Dong, Li Ji, Huang Yanshan, et al. Influence of the colloid and asphaltene on fluidity of the crude oil by IR spectrum[J]. Applied Chemical Industry, 2010, 39(7): 1100-1113.
- [16] 王大为,李铁虎,李宁利,等. 老化沥青软化点与沥青质关系的理论研究[J]. 炭素技术, 2008, 27(3): 19-21.
Wang Dawei, Li Tiehu, Li Ningli, et al. Theoretical correlation between softening point and asphaltene of aged asphalt[J]. Carbon Techniques, 2008, 27(3): 19-21.
- [17] 毛迪. 控压钻井地质适应性评价技术[J]. 科技导报, 2012, 30(23): 36-41.
Mao Di. Geological adaptability evaluation technology for managed pressure drilling[J]. Science & Technology review, 2012, 30(23): 36-41.
- [18] 朱静,周安娜. 沥青老化过程中温度敏感性的研究[J]. 燃料与化工, 2002, 33(1): 30-32.
Zhu Jing, Zhou Anna. Study on temperature sensitivity in pitch ageing process [J]. Fuel & Chemical Processes, 2002, 33(1): 30-32.
- [19] 范维玉,杨秋水. 高锰酸钾氧化法对孤岛原油沥青质结构的研究[J]. 燃料化学学报, 1998, 16(3): 237-244.
Fan Weiyu, Yang Qiushui. Study on the structure of gudao asphaltene with alkaline permanganate oxidation[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 1998, 16(3): 237-244.
- [20] 任立伟,夏柏如,唐文泉,等. 伊朗稠油沥青稠化封堵技术研究与应用I: 原位氧化[J]. 科技导报, 2013, 31(23): 31-35.
Ren Liwei, Xia Bairu, Tang Wenquan, et al. Technology research and apply on the bodying and sealing of bitumen in Iran I: In-situ oxidation[J]. Science & Technology Review, 2013, 31(23): 31-35.
- [21] 任立伟,夏柏如,唐文泉,等. 伊朗Y油田深部复杂地层钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(4): 92-96.
Ren Liwei, Xia Bairu, Tang Wenquan, et al. Drilling fluid technologies for complex deep well in Iran Y oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(4): 92-96.

(责任编辑 刘志远)