

◀ YD 油田工程技术专题 ▶

doi:10.11911/syztjs.201503002

YD 油田沥青层安全钻井技术

江 朝, 郭京华, 王子进, 黄在福, 王学杰

(中国石化国际石油勘探开发有限公司, 北京 100029)

摘 要:在 YD 油田钻穿沥青层的过程中, 易出现沥青侵入导致的溢流、井涌等井下故障, 极大影响了钻井安全, 为此, 开展了 YD 油田沥青层安全钻井技术研究。根据已钻井的沥青侵入特点、沥青所造成的井下故障及采取的主要技术措施, 将钻遇沥青层的井分为 4 类。对 YD 油田钻遇沥青层时所采用技术及采取的技术措施进行了总结, 并结合钻遇沥青层井的分类, 提出应根据沥青侵入的特征及程度, 采用相应的安全钻井技术并采取相应的技术措施。YD 油田的钻井实践表明, 针对不同类型的沥青侵入情况采用相应的钻井技术和技术措施, 可以解决 YD 油田沥青层安全钻井的技术难点。

关键词:沥青层 沥青侵入 井溢流 压井 侧钻 控压钻井 YD 油田

中图分类号:TE28⁺3 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2015)03-0007-06

Discussion on Safe Drilling Technologies for the Asphalt Layer in the YD Oilfield

Jiang Zhao, Guo Jinghua, Wang Zijin, Huang Zaifu, Wang Xuejie

(Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing, 100029, China)

Abstract: During drilling through asphalt layer in the Yada Oilfield, asphalt invasion posed a lot of down-hole issues such as mud contamination, well kick and mud loss coexistence, bringing tremendous challenges in operation. In order to solve those problems, studies were conducted on safe drilling technologies for the asphalt layer in the YD Oilfield. Depending on asphalt invasion characteristics, induced down-hole issues and major techniques and measures taken, the wells were divided into 4 classes. The techniques and measures applied in drilling through asphalt layer in the YD Oilfield were summarized. For each of the 4 classes of wells, it is proposed to employ specific drilling techniques and measures depending on the characteristics and extent of asphalt invasion. The drilling practices in the YD Oilfield demonstrated that specified drilling techniques and measures should be implemented depending on types of asphalt invasion in order to effectively ensure the safe drilling through asphalt layer in the YD Oilfield.

Key words: asphalt layer; asphalt invasion; well overflow; killing well; sidetracking; managed pressure drilling; YD Oilfield

YD 油田轻质油的主力产层 Fahliyan 层具有埋藏深、地层压力和温度高、地层水矿化度高、富含硫化氢和二氧化碳等特点, 钻井过程中井下问题复杂多样, 特别是在钻穿含沥青的 Kazhdumi 地层时, 由于沥青侵入、气侵、地层漏失等原因导致井下故障频发, 给钻井施工安全带来了极大的挑战。国内外关于如何解决沥青侵入导致钻井困难和沥青侵入机理研究的文献甚少, 可借鉴的经验或研究成果较少^[1-4]。

针对 YD 油田钻井过程中存在的沥青层钻井技术难点, 笔者在分析沥青侵入机理的基础上, 总结了 YD 油田沥青层钻井过程中所采取的技术措施和方法, 并针对不同的沥青侵入特征, 提出了相对应的沥

收稿日期:2015-02-20; **改回日期:**2015-05-04。

作者简介:江朝(1983—), 男, 湖北孝昌人, 2006 年毕业于西南石油大学石油工程专业, 2009 年获中国石油大学(北京)油气井工程专业硕士学位, 工程师, 主要从事钻井技术及管理工作。

联系方式:(010)69165367, zjiang_sipc@sinopec.com。

青层安全钻井技术,以期为 YD 油田后期开发过程中的沥青层安全钻井提供借鉴和指导。

1 沥青层地质特征

1.1 地层特征

Kazhdumi 层埋藏深度 3 400.00 m 左右。钻时差异及测井解释结果表明,Kazhdumi 层是一个封闭性较好且非均质性较强的地层。YD 油田油井实钻资料发现,Kazhdumi 层部分区域钻遇干质沥青,其他区域以湿质沥青呈现。其中,湿质沥青分为流动性好、流动性差及黏稠状的沥青。Kazhdumi 层富含沥青质,是一个较好的烃源岩地层;同时,由于其微裂隙发育和封闭性能良好,属于生储盖同层。

1.2 岩性特征

Kazhdumi 层以灰色石灰岩、泥质灰岩为主,部分层段含有深色沥青。岩屑录井显示 Kazhdumi 层微裂隙发育。钻遇干质沥青的井,岩屑录井显示沥青与石灰岩已较好地融合一起,形成类似于泥质灰岩的沥青质灰岩。

1.3 地层孔隙压力

不同井间沥青层的孔隙压力差异较大。F09 井 SFT 测井数据显示,沥青层孔隙压力的当量密度为 1.191 和 1.318 kg/L;F15 井 SFT 测井数据显示,沥青层孔隙压力的当量密度平均为 1.266 kg/L;WD2 井 DST 测试资料显示,沥青层的孔隙压力当量密度为 1.45~1.60 kg/L。利用 YD 油田已完钻井的关井资料反算,沥青层的孔隙压力当量密度为 1.30~1.65 kg/L。

1.4 地层温度

通过测试回归,求得 YD 油田的平均地温梯度约为 2.89 °C/m,据此预测沥青层的温度为 110~120 °C。

1.5 沥青性质

各井钻遇沥青的特性存在较大的差异性。F19 井钻遇的沥青黏稠、流动性差、能够黏附在钻具及振动筛的筛布上;APP2 井和 F21 井钻遇的沥青流动性好,黏性较小,不会黏附在钻具及筛布上;F13 井钻遇的沥青质软、黏稠,水浴加热至 98 °C 时融化分

散;其他井钻遇沥青的特性介于 F19 井和 APP2 井之间;F4 井和 F14 井钻遇的沥青硬脆,断口光亮,没有流动性,水浴加热至 98 °C 仍保持原来的形状。从地质沉积上看,沥青的不同特性反映了其生成后经历过不同的环境,硬质和黏稠的沥青很可能由于接触空气氧化而导致,流动性能较好的沥青很可能未受到氧化。

图 1 为 50 MPa 压力下 YD 油田沥青的黏温曲线,图 2 为不同温度下 YD 油田沥青的黏压曲线。

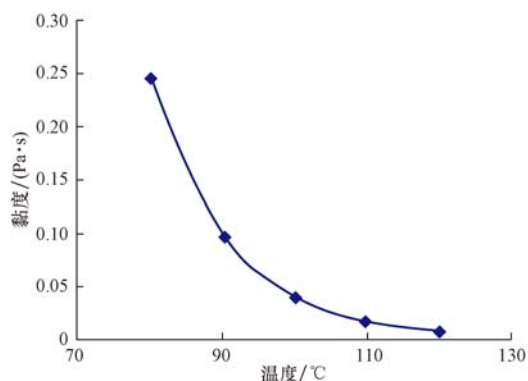


图 1 50 MPa 下 YD 油田沥青的黏温曲线

Fig. 1 Viscosity vs. temperature curve of the asphalt in the YD Oilfield under pressure of 50 MPa

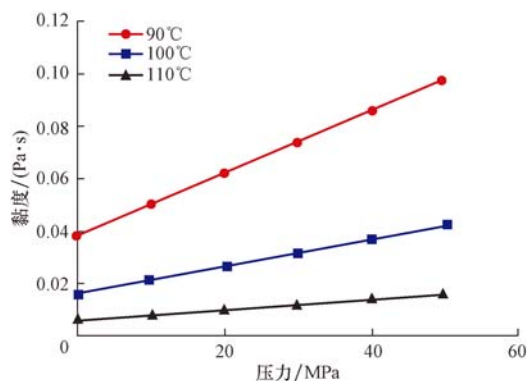


图 2 不同温度下 YD 油田沥青的黏压曲线

Fig. 2 Viscosity vs. pressure curves of the asphalt in the YD Oilfield under different temperatures

由图 1 和图 2 可知:YD 油田沥青的黏度受温度影响较大,压力同样对沥青的黏度有影响;温度越低,压力越高,沥青的黏度越高;测定温度范围内,温度越低,黏度越高,受压力影响的程度也越大。

2 钻遇沥青层油井的分类

Fahliyan 层是 YD 油田的目的层之一,以 Fahliyan 层为目的层生产井的典型井身结构为:一开,

φ444.5 mm 钻头×300.00 m, φ339.7 mm 表层套管×298.00 m; 二开, φ311.1 mm 钻头×1 560.00 m, φ244.5 mm 技术套管×1 558.00 m; 三开, φ212.7 mm 钻头×4 000.00 m, φ177.8 mm 技术套管×1 410.00~3 998.00 m; 四开, φ149.2 mm 钻头×4 500.00 m, φ114.3 mm 技术套管×3 850.00~4 498.00 m。实钻资料显示, 只有以 Fahliyan 层为目的层的生产井需要钻穿含沥青的 Kazhdumi 层。因此, 为了便于归纳分析和对比由于沥青侵入导致的井下故障, 根据各自的特点, 将以 Fahliyan 层为目的层的钻遇含沥青 Kazhdumi 层的 28 口井分为以下 4 类:

1) 无沥青侵入或有沥青侵入但未造成溢流等井下故障的油井。该类井存在以下现象: a) 在钻穿 Kazhdumi 沥青层的过程中, 钻井液出口密度小于进口密度的现象较为常见, 特别是在刚钻开沥青层时, 钻井液进出口密度差会相对较大; b) 钻进过程中, 钻井液总体积相对稳定; c) 井眼长时间静止时, 井眼液面正常, 钻具下至井底循环时, 有大量被沥青污染的钻井液返出。

2) 有溢流采用常规压井处理成功的油井。该类井井下漏失和沥青涌入并存, 但漏失量及涌入量相对较小, 利用常规的先压井后堵漏的方法即能成功的解决。

3) 有溢流, 采用常规压井处理未成功而导致侧钻的油井。该类井具有以下特点: a) 井下故障发生之前, 均先出机械钻速变快的情况, 如 F13 井在钻至井深 3 487.00 m 时出现了明显的放空, 大钩载荷从 1 280 kN 降至 1 200 kN, 机械钻速从 1.50 m/h 增至 5.00 m/h; b) 喷漏同存; c) 井下漏失速度较大 (大于 20 m³/h), 甚至出现失返性漏失, 且按照颗粒架桥理论^[5], 采用大颗粒的堵漏材料进行堵漏没有明显的效果; d) 由于沥青和钻井液的密度和黏度存在差异, 沥青难以被替出井筒或压回地层; e) 由于沥青的黏度具有随温度降低而升高的特性, 沥青在上升至井口附近易形成黏稠的段塞帽, 增大判断和分析井下故障的难度; f) 井下漏失通道的容纳能力随处理时间增长而增大^[6]; g) 沥青侵入对钻井液和水泥浆造成污染, 导致其中的添加剂失去应有的作用, 如水泥浆无法固化, 堵漏材料无法形成有效的级配, 重晶石塞和凝胶塞失效。

4) 有溢流, 采用控压钻井技术顺利钻穿 Kazhdumi 层的油井。

3 沥青侵入机理

3.1 蠕动侵入

国外学者^[3]研究认为, 深部地层沥青在原地应力作用下倾向于垂直方向运移, 在地层中的分布形态为不规则柱状, 与常规油气不同, 沥青自身体积占据较大的空间, 受上覆岩石压力影响巨大, 沥青地层被钻开后, 近井眼处的沥青受力失衡, 开始侵入井眼。由于上覆岩石压力给沥青提供了侵入井眼的驱动力, 只要钻井液密度不能平衡这一驱动力, 沥青会一直缓慢侵入井眼。

沥青蠕动侵入的特征较是活而压不死 (如 HOS2 井和 F19 井, 钻井液密度逐渐提高, 但是溢流量变化甚微)。沥青蠕动侵入的速度和侵入量与近井筒地带的渗透率以及孔缝连通性密切相关。另外, 不同井间沥青的特性差异较大, 特别是黏度差异较大。由于沥青的黏度不同, 导致其蠕动侵入过程中能量损失不同; 同时, 黏度对沥青蠕动侵入的速度和侵入量的影响也很大。上述 2 个方面是影响沥青蠕动侵入的主要因素, 从这 2 个方面能够解释已钻井之间沥青侵入特征不同的原因。

3.2 置换侵入

国内学者用可视化平板模拟地层裂缝, 通过室内模拟试验研究了定容情况下沥青与钻井液发生置换的情况, 结果证实, 井眼内的钻井液与沥青会因密度差而发生置换, 并且裂缝宽度是影响置换速度的主要因素^[7]。

沥青层内裂缝本身的差异 (如裂缝的宽度、长度及连通性等) 与沥青黏度的差异导致沥青侵入特征不同。

4 沥青层安全钻井技术措施

4.1 常规压井

早期在遇到沥青侵入导致井涌时 (如 HOS2 井、F19 井和 F13 井), 由于对沥青侵入的机理和规律不是十分清楚, 常采用常规司钻法或工程师法压井处理沥青侵入造成的井涌。HOS2 井和 F19 井采用常规司钻法或工程师法压井成功处理了沥青侵入造成的井涌, 但 F13 井却未成功。分析认为: 沥青层处于三开长裸眼井段, 薄弱层导致常规压井过程

中出现井下漏失或置换。常规压井的优点是,在没有控压设备的情况下,进行常规压井可以快速处理由沥青侵入造成的井涌,如 F03 井和 WD2 井。由此可见,在处理沥青侵入造成的井涌时,常规压井适用于井下不易出现漏失或置换或漏失较小的情形。

4.2 水泥回填侧钻

墨西哥湾深海钻井实践表明,钻遇沥青地层后,立即回填侧钻是一个经济有效的技术手段^[2]。但是,由于沥青本身含有油的成分,再加上沥青的密度和黏度与水泥浆存在差异而导致置换无法避免,极易影响水泥浆的固结或者水泥浆与沥青形成窜槽而无法固结。F13 井、APP2 井和 F21 井先后采用重晶石隔离塞、凝胶隔离塞、膨润土水泥浆、滞留型水泥浆、氯化钙速凝剂和水玻璃闪凝剂等技术或工艺,才成功回填侧钻。

水泥回填存在钻柱被堵死的风险。另外,由于对沥青的分布规律不是十分清楚,难以准确把握侧钻方位和侧钻位移,存在侧钻后没有绕开沥青层的风险,如 APP2 井的侧钻井 APP2ST1 井还是钻遇了沥青层。

4.3 低固相混乳欠饱和盐水钻井液

沥青具有很强的吸附能力,能够絮凝固相颗粒形成网架结构或膜状结构,束缚大量自由水,轻则使钻井液增稠,重则使钻井液絮凝。针对沥青的这种特性,探索形成了低固相混乳欠饱和盐水钻井液。该钻井液通过提高盐水的饱和度(Cl^- 质量浓度保持 $(8 \sim 15) \times 10^4 \text{ mg/L}$) 提高其密度,降低固相含量,特别是膨润土的含量;同时,能更好地抑制地层中黏土造浆造成的钻井液黏度升高。该钻井液通过混入适量的乳化剂和柴油,可以对混入钻井液内的稠油进行适度分散,以保持钻井液的流性^[8]。

当沥青侵入量较小时,低固相混乳欠饱和盐水钻井液与常规机械清除沥青方法(利用除砂除泥器和离心机除去部分沥青)配合,就能解决沥青侵入的问题。当沥青侵入量较大或很大时,必须辅以置换方法(用新钻井液部分或全部置换污染严重的钻井液)和排放方法(由于起钻、电测、下套管或其他作业而导致井下长时间静止后,井底会侵入大段较纯的沥青,需开泵建立循环将该段沥青全部排放掉)。

4.4 承压堵漏技术

承压堵漏技术通过提高多压力层系井段中低压

地层的承压能力,以保证钻井正常进行^[9]。在多口井钻遇沥青的情况下,针对以 Fahliyan 层为目的层的油井,在钻开沥青层前,利用超细碳酸钙配以合适级配的堵漏材料,提高地层的承压能力。对钻开沥青层前已经发生过漏失的油井,采取了承压堵漏技术措施,如 F21ST1 井。

承压堵漏技术的缺点是不可能无限制地提高地层的承压能力;优点是经过承压堵漏,大体掌握地层的承压能力,可以为后续的压井作业提供依据。

4.5 “专打专封”井身结构

Kazhdumi 地层处于三开井段中,其上部裸眼段长达 1 900.00 m 左右,且存在 Asmari 层、Pebdeh 层、Gurpi 层和 Ilam 层等多套低压易漏地层,Sarvak 层(含 H_2S 巨厚稠油产层)也包含其中,增大了处理沥青侵入时发生井漏、卡钻以及 H_2S 防控等风险。为此,引入了“专打专封”理念,对井身结构进行了优化^[10]。优化后的井身结构为:一开, $\phi 660.4 \text{ mm}$ 钻头 $\times 300.00 \text{ m}$, $\phi 508.0 \text{ mm}$ 套管 $\times 298.00 \text{ m}$;二开, $\phi 444.5 \text{ mm}$ 钻头 $\times 1 560.00 \text{ m}$, $\phi 339.7 \text{ mm}$ 套管 $\times 1 558.00 \text{ m}$;三开, $\phi 311.1 \text{ mm}$ 钻头 $\times 3 380.00 \text{ m}$, $\phi 250.8 \text{ mm}$ 套管 $\times 3 378.00 \text{ m}$;四开, $\phi 212.7 \text{ mm}$ 钻头 $\times 4 000.00 \text{ m}$ (可以根据沥青侵入情况进行适当调整), $\phi 177.8 \text{ mm}$ 套管 $\times 3 998.00$;五开, $\phi 149.2 \text{ mm}$ 钻头 $\times 4 500.00 \text{ m}$, $\phi 114.3 \text{ mm}$ 套管 $\times 4 498.00$ 。

S03 井和 F16 井采用了“专打专封”井身结构,降低了沥青层以上低压易漏地层漏失的可能性,为及时判断井下情况和采取有效措施奠定了基础。

4.6 沥青稠化固化技术

室内试验发现,沥青与氧化剂或交联剂经过短时间的反应,软化点可以接近甚至超过 100°C 。沥青稠化固化技术^[11-14]就是建立在这一发现之上的。该技术通过泵入含有氧化剂或交联剂的桥堵浆,在地层压力温度条件下,处理剂与地层沥青充分混合反应,提高沥青软化点,使沥青与桥堵浆的混合物变稠甚至固化,降低近井壁沥青流动或蠕动的能力,增强沥青地层的稳定性,降低钻井和后续电测、固井的风险。

该技术在 YD 油田进行了 2 口井的先导试验,其中 F17 井取得了明显的效果,受沥青污染钻井液体积明显减小,而 F21ST1 井的应用效果不理想。

4.7 控压钻井技术

控压钻井技术能够对井下压力进行有效控制,

对于处理窄密度窗口、“漏喷同存”等复杂情况效果显著^[15]。YD油田在S03井3 437.00~3 808.50 m井段先后进行了控压钻进、控压循环、短程控压起下钻、控压封堵、控压条件下尾管下入与固井等现场试验^[7]。结果表明,利用旋转控制头的旋转密封功能,可以实现不停钻屏蔽井眼环空,防止有毒、有害气体侵袭钻台危害钻井作业人员安全;可以快速处理井下复杂情况,确保钻井、下套管和固井作业的顺利进行。同时,应用控压钻井设备可以避免处理井下复杂情况时钻柱在井内长时间静止而导致的卡钻风险。

应用控压钻井时应充分了解地层的孔隙压力和破裂压力,因不同井间沥青层的孔隙压力差异较大,实际应用过程中仍存在沥青不断侵入井筒污染钻井液的情况。另外,在不同工况切换过程中也要精确控制压力。

4.8 加压泥浆帽控压钻井技术

沥青通过漏失层段向井口上返,由于井筒内温度逐步降低,沥青的黏度升高,结构力增强,在井筒上部形成了能承受一定压力的沥青段稠塞。利用沥青稠塞的承压能力,应用类似于加压泥浆帽控压钻井技术,通过环空施加适当的回压进行强行钻进。强行钻进过程中只需泵入牺牲液,岩屑与牺牲液不返回地面,而是直接进入漏失层。

APP2ST1井应用了加压泥浆帽控压钻井技术,并取得成功。现场根据配浆能力,APP2ST1井进行4次加压泥浆帽控压钻井作业,各次牺牲液的密度分别为1.35, 1.15~1.20, 1.15~1.20和1.10~1.15 kg/L。应用加压泥浆帽控压钻井技术共钻进101.81 m,顺利钻穿了活跃的沥青层,并预留了固井“穿鞋”深度,成功下入尾管并固井。

应用加压泥浆帽控压钻井技术钻穿沥青层的风险是,漏失层与沥青帽之间可能没有完全充满钻井液,增大了由于钻杆发生氢脆导致井眼报废的风险。

4.9 沥青层安全钻井技术总结

通过分析该油田所采取的措施及效果发现,对于沥青侵入,要针对沥青侵入的特征和程度,进行分类处理^[16]:

1) 有沥青侵入但未造成井涌的油井,使用低固相混乳欠饱和盐水钻井液,配以随钻封堵技术处理沥青侵入,必要时采用沥青稠化固化技术。

2) 有井涌但采用常规压井成功的油井,在装有

控压设备的情况下,可采用常规压井进行快速处理,压井成功后,进行承压堵漏或在低固相混乳欠饱和盐水钻井液加入随钻堵漏浆材料进行随钻堵漏,必要时采用沥青稠化固化技术。

3) 压不稳但漏失可控的油井,在装有控压设备的情况下,可采用常规压井进行快速处理,在压不稳漏失可控的情况下,进行承压堵漏或在低固相混乳欠饱和盐水钻井液中加入随钻堵漏材料进行随钻堵漏,或采用控压钻井技术。

4) 压不稳且漏失严重不可控的油井,在装有控压设备的情况下,可以采用常规压井进行快速处理,如压不稳且漏失严重,可采用加压泥浆帽控压钻井技术,必要时可采用水泥回填侧钻技术。

5 潜在沥青层安全钻井技术

5.1 旋转尾管钻井技术

旋转尾管钻井技术的尾管悬挂系统采用双筒结构,采用高排量循环,尾管悬挂器不会提前坐挂,尾管送入工具能够满足尾管旋转、冲放、划眼和钻进等各项作业。采用合金材料制造的钻头能够满足钻穿漏失层、沥青层、塑性蠕变地层和高应力复杂地层的需要,并能够在下一开次用特殊的PDC钻头钻掉。墨西哥湾深海Walker Ridge区块在钻遇高活性沥青地层回填后,采用旋转尾管钻井技术成功恢复钻进,并顺利钻穿高活性沥青地层^[17]。

5.2 沥青层低温钻井技术

低温能使沥青变硬,降低沥青在金属表面的黏附,并容易利用固控设备去除钻井液中的沥青。另外,低温能增强沥青地层的强度,有利于井壁保持稳定。据此,加拿大在未胶结油砂地层钻井时,循环系统配备冷凝装置,钻井液入井前先采用冷凝装置降温至8~12℃,以便冷却地层中的沥青,降低沥青的活性。墨西哥湾深海油田钻遇沥青地层时也采用了钻井液冷凝装置,并取得了一定的应用效果。

6 结论及建议

1) 采用“专打专封”井身结构,利用控压钻井技术,使用低固相混乳欠饱和盐水钻井液,基本能解决YD油田活跃沥青侵入的问题。

2) YD 油田已钻井沥青侵入特征各异,在综合考虑工程风险和成本条件下,应根据沥青侵入的特征和程度进行分类处理。为更好地指导现场操作,建议制定 YD 油田沥青侵入分类处理规程。

3) 为更好地指导钻井过程中对沥青侵入的处理,建议开展 YD 油田沥青形成机理和分布规律研究。

4) 建议对旋转尾管钻井技术和沥青层低温钻井技术等潜在的沥青层安全钻井技术开展技术适用性和经济评价分析,在技术可行和成本有优势的情况下进行现场试验。

参 考 文 献

References

- [1] Romo L A, Shaughnessy J M, Lisle Ed T. Challenges associated with subsalt tar in the Mad Dog Field[R]. SPE 110493, 2007.
- [2] Weatherl M H. Encountering an unexpected tar formation in a deepwater Gulf of Mexico exploration well[R]. SPE 105619, 2007.
- [3] Han G, Hunter K C, Osmond J, et al. Drilling through bitumen in Gulf of Mexico: the shallower vs the deeper[R]. OTC 19307, 2008.
- [4] Markestad P, Christie O, Espedal A, et al. Selection of screen slot width to prevent plugging and sand production[R]. SPE 31087, 1996.
- [5] 张敬荣. 喷漏共存的堵漏压井技术[J]. 钻采工艺, 2008, 31(5): 30-33.
Zhang Jingrong. Well killing technology for wells with blowout and lost circulation coexisting[J]. Drilling & Production Technology, 2008, 31(5): 30-33.
- [6] 李大奇, 康毅力, 曾义金, 等. 缝洞型储层缝宽动态变化及其对钻井液漏失的影响[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(5): 76-81.
Li Daqi, Kang Yili, Zeng Yijin, et al. Dynamic variation of fracture width and its effects on drilling fluid lost circulation in fractured vuggy reservoirs[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2011, 35(5): 76-81.
- [7] 侯立中, 何青水, 何汉平, 等. 控压钻井技术在伊朗雅达油田 S03 井的应用[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(18): 204-208.
Hou Lizhong, He Qingshui, He Hanping, et al. Managed pressure drilling technique applied in Well S03 of YADA Oilfield, Iran[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(18): 204-208.
- [8] 王治法, 肖超, 侯立中, 等. 伊朗雅达油田复杂地层钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2012, 29(5): 40-43.
Wang Zhifa, Xiao Chao, Hou Lizhong, et al. Drilling fluid technology for troublesome formation in Yadavaran Oil Field of Iran[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2012, 29(5): 40-43.
- [9] 刘金华, 刘四海, 陈小锋, 等. 承压堵漏技术研究及其应用[J]. 断块油气田, 2011, 18(1): 116-118, 125.
Liu Jinhua, Liu Sihai, Chen Xiaofeng, et al. Study and application of pressure bearing and lost circulation technique[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(1): 116-118, 125.
- [10] 何青水, 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, 2013, 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, 2013, 41(1): 20-24.
- [11] 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.
- [12] 杨顺辉, 金军斌, 牛成成, 等. 一种沥青固化剂的研究与应用[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(21): 200-204.
Yang Shunhui, Jin Junbin, Niu Chengcheng, et al. The research and application of one bituminization agent[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(21): 200-204.
- [13] 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 technology for deep troublesome formation of Y Oilfield in Iran[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(4): 92-96.
- [14] 金军斌, 杨顺辉, 张洪宝, 等. 钻井液用沥青质稠油硬化剂的研究与应用[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(1): 50-54.
Jin Junbin, Yang Shunhui, Zhang Hongbao, et al. Development and application of a hardening agent for asphaltic heavy oil in drilling fluid[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(1): 50-54.
- [15] 蒋宏伟, 周英操, 赵庆, 等. 控压钻井关键技术研究[J]. 石油矿场机械, 2012, 41(1): 1-5.
Jiang Hongwei, Zhou Yingcao, Zhao Qing, et al. Study of key technology of managed pressure drilling[J]. Oil Field Equipment, 2012, 41(1): 1-5.
- [16] 金军斌, 何青水, 唐文泉, 等. Y 油田超厚沥青层安全钻进分强度控制技术[J]. 石油钻探技术, 2015, 43(1): 63-68.
Jin Junbin, He Qingshui, Tang Wenquan, et al. Contamination control technique for safe drilling in ultra-thick asphalt layer in Y Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(1): 63-68.
- [17] Kunning J, Wu Y, Thomson I, et al. Non-retrievable rotating liner drilling system successfully deployed to overcome challenging highly stressed rubble zone in a GOM ultra-deep-water salt application[R]. SPE 124854, 2009.

[编辑 刘文臣]