

# 风城油田重18井区浅层SAGD双水平井钻井技术

万 亿, 张祖海, 盛春明, 王维尧, 虎江云, 张志栋

(新疆地矿局第一水文工程地质大队, 新疆 乌鲁木齐 830091)

**摘要:** SAGD 钻井技术是开发超稠油油藏的一种前沿技术, 在国内外的超稠油油藏开发中已经被大规模采用。2008 年新疆油田公司开辟先导试验区并尝试使用 SAGD 技术开采风城油田重 18 井区超稠油油藏, 取得了一定的效益。在此基础上, 近年来开始进行大规模的 SAGD 钻井。本文结合近年来施工的 SAGD 双水平井中其中的一对井——FHW117P 生产水平井和 FHW117I 注汽水平井, 对 SAGD 双水平井钻井技术进行了介绍。塔式满眼防斜钻具、磁性定位导向技术、针对性的钻井液技术等, 是该对双水平井顺利完钻的关键。另外, 通过保持钻井液良好的润滑性、使用可循环式加压装置和大质量钻铤对筛管施加下压力的措施, 使  $\varnothing 177.8$  mm 筛管顺利下入  $\varnothing 215.9$  mm 井眼内。

**关键词:** SAGD; 双水平井; 轨迹控制; 磁性定位导向

**中图分类号:** TE243      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1672-7428(2016)03-0041-04

**Shallow Dual Horizontal Well Drilling Technology for SAGD in Zhong18 Well Area of Fengcheng Oilfield/WAN Yi, ZHANG Zu-hai, SHENG Chun-ming, WANG Wei-yao, HU Jiang-yun, ZHANG Zhi-dong** (No. 1 Hydrogeology & Engineering Geology Exploration Team of Xinjiang Geology & Mineral Bureau, Urumqi Xinjiang 830091, China)

**Abstract:** As an advanced technology in ultra-heavy oil reservoirs development, SAGD drilling technology has been used in large scale both in China and abroad. Pilot test area was set up by Xinjiang Oilfield Company in 2008 and SAGD technology was tried for ultra-heavy oil reservoirs development in Zhong18 well area of Fengcheng oilfield with definite benefits. Based on the recent construction cases of horizontal producing well FHW117P and horizontal steam injection well FHW117I, the paper introduces the dual horizontal well drilling technology for SAGD. Tower type packed hole anti-deflection tool, magnetic orientation technology and specific drilling fluid technology were the key in the dual horizontal well drilling construction, through keeping lubricity of drilling fluid and putting downforce on screen pipe by circulative pressure device and large-weight drill collar,  $\varnothing 177.8$  mm screen pipe was smoothly lowered into  $\varnothing 215.9$  mm borehole.

**Key words:** SAGD; double horizontal wells; trajectory control; magnetic orientation

## 0 前言

SAGD (Steam-Assisted Gravity Drainage), 即蒸汽辅助重力泄油技术, 其机理是在注汽井中注入高温蒸汽, 蒸汽向上超覆在地层中形成蒸汽腔, 蒸汽腔向上及侧面扩展, 与油层中的原油发生热交换, 加热后的原油和蒸汽冷凝水靠重力作用泄到下面生产水平井中被采出。

2008 年, 新疆油田在充分借鉴国内外超稠油开发先进经验的基础上, 将风城超稠油油藏重 32 井区 SAGD 先导试验作为股份公司重大开发试验项目的具体内容进入实施阶段。根据开发方案主要以 SAGD 成对水平井为主, 当年部署并依托国内辽河油田、奥瑞恩特公司等作为主要技术支撑完成了 SAGD 双水平井 4 对, 取得了良好的效果。近年来, 新疆油田大力开发风城油田重 18 井区超稠油油藏,

笔者参与了该区块的钻井工作, 已成功钻成近 30 口 SAGD 双水平井, 取得了非常好的效益, FHW117P 生产水平井和 FHW117I 注汽水平井便是其中一对。目前 SAGD 试验区中的单井产量达到 45 t 以上, 油气比 0.48, 是直井单井产量的 10 倍, 常规水平井的 5 倍。超稠油油藏采收率一般超过 50%, 高的可以达到 70% 以上。

## 1 地质概况

重 18 井区自下而上发育的地层有二叠系、侏罗系齐古组、白垩系吐谷鲁群。目的层侏罗系齐古组超覆沉积于古生界侵蚀面之上, 其上又被白垩系吐谷鲁群超覆。目的层侏罗系齐古组油藏主要受构造和岩性控制, 四面被断面遮挡, 中细砂岩厚度的变化直接影响油层厚度的变化。 $J_3 q_2^{2-1} + J_3 q_2^{2-2}$  油藏中部埋

收稿日期: 2015-04-23; 修回日期: 2015-12-28

作者简介: 万 亿, 男, 汉族, 1983 年生, 钻探分公司副经理, 工程师, 勘察技术与工程专业, 从事石油、煤层气、页岩气等钻井工作, 新疆乌鲁木齐市南昌路 76 号, 1172800329@qq.com。

深 200 m,原油粘度高,地层条件下原油粘度超过  $100 \times 10^4 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。因此,重 18 井区齐古组  $J_3 q_2^{2-1} + J_3 q_2^{2-2}$  层油藏是典型的构造、岩性控制带边水的浅层断块超稠油油藏。

2 井身结构、井眼轨道设计

2.1 井身结构设计(见表 1)

表 1 井身结构设计

开钻次序	套管直径/mm	设计说明
一开	339.7	一开采用 $\varnothing 444.5 \text{ mm}$ 钻头钻至井深 25 m 下入 $\varnothing 339.7 \text{ mm}$ 套管,水泥浆返至地面,封隔地表松散易塌地层及水层,并为井口控制和后续安全钻井创造条件
二开	244.5	二开采用 $\varnothing 311.2 \text{ mm}$ 钻头钻至靶窗 A 点后,根据现场技术套管情况继续钻进 10 ~ 15 m,下入 $\varnothing 244.5 \text{ mm}$ 技术套管,固井水泥浆返至地面,以利于三开下部地层安全钻进和完井作业
三开	177.8	三开采用 $\varnothing 215.9 \text{ mm}$ 钻头钻至靶窗 B 点完钻,水平段悬挂 $\varnothing 177.8 \text{ mm}$ 尾管(筛管完井),悬挂于 $\varnothing 244.5 \text{ mm}$ 技术套管内,尾管与技术套管重叠 30 m

井身结构如图 1 所示。

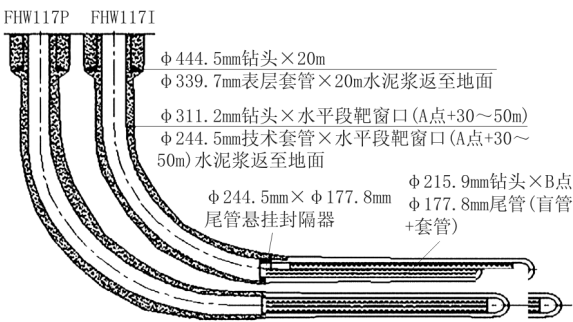


图 1 井身结构示意图

2.2 井眼轨迹设计

井眼轨迹设计见表 2。

3 SAGD 双水平井施工难点

(1)造斜点浅,仅有 55 m 左右,直井段钻柱重力太小,不易控制直井段井斜和方位角的变化,此外施工造斜段和水平段施加钻压也较困难。

(2)测斜零长大,靶窗小(只有  $1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ ),轨迹控制困难。在水平段钻进时,由于下入了地质导

表 2 井眼轨迹设计表

井号	井深/ m	井斜角/ (°)	方位角/ (°)	垂深/ m	南北位 移/m	东西位 移/m	投影位 移/m	“狗腿”度/ $[(^\circ) \cdot (30 \text{ m})^{-1}]$	增斜率/ $[(^\circ) \cdot (30 \text{ m})^{-1}]$	方位变化率/ $[(^\circ) \cdot (30 \text{ m})^{-1}]$
FHW117P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
	52.00	0.00	360.00	52.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
	205.12	58.34	244.89	180.00	-30.32	-64.69	71.45	11.430	11.430	0.000
	226.07	58.34	244.89	191.00	-37.88	-80.85	89.28	0.000	0.000	0.000
	311.28	90.00	244.97	213.95	-72.17	-154.16	170.22	11.148	11.148	0.028
	711.23	90.00	244.97	213.95	-241.37	-516.56	570.17	0.000	0.000	0.000
FHW117I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
	57.00	0.00	0.00	57.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
	156.92	37.32	244.96	150.00	-13.29	-28.45	31.40	11.204	244.960	11.204
	156.92	37.32	244.96	150.00	-13.29	-28.45	31.40	0.000	0.000	0.000
	294.19	90.00	244.97	208.79	-63.53	-136.03	150.13	11.514	0.020	11.514
	694.14	90.00	244.97	208.79	-232.73	-498.43	550.09	0.000	0.000	0.000

注:(1)设计剖面数据已含转盘面高度 4.5 m;(2)FHW117I 井为以槽口为中心计算的轨迹数据。

向仪器,使得仪器的井斜方位测斜零长达到 20 m 左右,这样使得井底的井斜角和方位角不能及时测量,只能靠预测进行轨迹调整。而且水平段的靶窗小,轨迹调整难度大。

(3)重 18 井区油藏储层地层胶结疏松,钻时快,造斜率低,尤其在水平段中钻进时跟压困难,在复合钻进过程中容易出现井斜角减小的现象。

(4)水平段长达 400 m 左右,且两口井纵向、横向间距均有严格要求,井口距离为 20.22 m,两井水平段的垂直距离为 5.0 m。所以两井水平段间的防

碰至关重要。

(5)因为垂深浅,技术套管( $\varnothing 244.5 \text{ mm}$ )下入有一定的难度。

(6)水平段井眼尺寸为  $\varnothing 215.9 \text{ mm}$ ,而要求下入的套管尺寸为  $\varnothing 177.8 \text{ mm}$ 。按照规程要求, $\varnothing 215.9 \text{ mm}$  井眼下入的最大套管的尺寸应为  $\varnothing 168.3 \text{ mm}$ 。因此,水平段筛管的下入也是一大挑战。

4 主要工程技术措施

4.1 直井段钻进技术

针对造斜点只有 55 m 左右,且要求造斜点的井斜  $<1^\circ$  的情况,为了满足设计要求,为后续施工提供基础,我们在钻进过程中采用了塔式满眼防斜钻具。在钻进过程中取得了良好的效果,直井段(造斜点)井斜均  $<1^\circ$ 。

## 4.2 井眼轨迹测量、控制技术

按照工程设计的轨迹要求,轨迹控制采用先进的 MGS 磁导向、Sperry-Sun 650 正脉冲 MWD 工具、轨迹反演分析等工具软件,实施了两水平井的造斜段、稳斜段、水平段等的施工。

双水平井的水平段轨迹除了要保证在预计储层段内以一定的角度和方向穿行外,还必须严格控制上下两个水平段的轨迹在重力垂向和水平方向的相对位置关系。减少水平段轨迹的上下位移,应将水平段轨迹在垂向上的位移控制在 1~2 m 以内,水平面方向上的位移控制在 5.0 m 以内。因此,对双水平段轨迹的精确跟踪测量工艺和随钻控制能力都提出了非常高的要求。常规水平井轨迹测量手段和控制工艺很难达到这种精度要求。

## 4.3 水平段磁性定位导向技术

由于 SAGD 双水平井两水平段之间的距离只有 5 m,其施工工艺决定了在钻上部注汽井水平段时,常规测量仪器的轨迹测量参数必然会受到下部生产井已经下入完井管柱的磁干扰的影响。同时,考虑到目前水平井常规测量仪器的测量精度有限,因此,为确保 SAGD 水平井井眼轨迹能够满足油藏开采要求,必须采用精确测量的磁性定位导向技术。

该井采用了 MGT 磁性定位导向工具,作为电磁源与 MWD 系统配合使用来控制双水平井井眼轨迹,它可以实现精确测量正钻井相对于参考井水平和垂直方向的距离,测量精度为 0.1 m。MGT 磁性定位导向工具在生产井的水平段内发出磁场,位于注汽井内的 MWD 随钻测量工具可以时时根据 MGT 磁性定位导向工具发出的磁场进行测量数据,进行轨迹控制。MGT 磁性定位导向工具的测量有效范围一般为 25~30 m。在现场钻进过程中,MGT 磁性定位导向工具的移动由生产井井口的修井机实现,当 MGT 磁性定位导向工具下入一定井深后,注汽井内的钻头、钻具带动 MWD 钻进,每次钻进深度为 30 m。然后,MGT 磁性定位导向工具继续往下移送 30 m,位于注汽井内的钻头、钻具及 MWD 往下再钻进 30 m,以此类推,钻至完钻井深。

## 4.4 钻井液技术

### 4.4.1 钻井液设计配方(见表 3)

表 3 钻井液配方

开钻 次序	井段/ m	钻井液体系	配 方
一开	0~60	膨润土浆+CMC	8% 膨润土 + 0.4% $\text{Na}_2\text{CO}_3$ + 0.4% CMC
二开	60~ 311	聚磺钻井液体系	4% 膨润土 + 0.2% 纯碱 + 0.2% NaOH + 0.4% FA - 367 + 0.5% SP - 8 + 0.5% YLAY + 2% SHC - 1 + 2% KTL + 2% KR - n + 1% 石墨粉 + 重晶石粉
三开	311~ 711	聚磺钻井完井液 体系	4% 膨润土 + 0.2% 纯碱 + 0.2% NaOH + 0.4% FA - 367 + 0.5% SP - 8 + 0.5% YLAY + 2% SHC - 1 + 2% KTL + 3% KR - n + 1% 石墨粉 + 重晶石粉 + 2% WC - 1

### 4.4.2 一开钻井液

表层为干燥的砂质粘土层,泥质含量少,按照设计配制 8% 的充分水化的坂土浆,加入 0.4% CMC - MV 搅拌均匀开钻,确保高坂含、高粘切,防止井壁垮塌,钻进过程中钻井液的维护以坂土浆和 CMC 胶液为主,以细水长流的方式补充到井浆中;同时开动 3 级固控设备,控制泥浆密度为 1.05~1.10 g/cm<sup>3</sup>。

### 4.4.3 二开造斜稳斜段钻井液

钻井液体系:聚磺钻井液体系。

将一开钻井液用清水和胶液冲稀至坂含在 40 g/L 左右,按照设计加入 0.4% FA - 367 + 0.5% SP - 8 + 0.5% NP - 2 + 2% SHC - 1 等,性能满足二开要求后开钻。上部井段以泥岩及泥质砂岩为主,易发生固相污染,加足大分子聚合物包被剂,防止钻屑的分散,开动固控设备,及时有效清除岩屑,防止重复破碎;同时保持低流变、低粘切,确保大排量,保证上部井段的快速钻速,要具有很强的抑制性、防塌性和防漏性,防粘土水化膨胀,以 FA - 367 加强包被抑制。以 SP - 8 配合复配铵盐降失水,以 2% SHC - 1 改善钻井液泥饼质量增强井眼的造壁性和防塌能力,加入润滑剂保持钻井液润滑性。

### 4.4.4 三开水平段钻井液

钻井液体系:聚磺钻井完井液体系。

三开前在钻井液中加入油层保护剂,以利于在钻井中形成高强度的屏蔽环,阻止钻井液完井液对油气层造成严重的伤害。钻进中及时补充阳离子乳化沥青、SHC - 1(胶液)和润滑剂,以保证井壁稳定和提高造壁稳壁能力及泥浆的润滑性。施工过程中通过大、中、小分子量聚合物的合理复配,并用等浓度聚合物胶液,以细水长流的方式加入钻井液中,保

持钻井液性能均匀稳定,以确保钻井液具有优良的悬浮和携屑能力,防止岩屑床的形成,增强体系的携带能力和悬浮能力,有效清除岩屑床,防止阻卡。严格控制提下钻速度,减少压力“激动”,避免造成漏失和垮塌。保证4级固控设备运转良好,钻进中振动筛开动率100%,除砂器运转率100%,尽力清除有害固相,以“净化”保“优化”。

#### 4.5 完井技术

能将 $\varnothing 177.8$  mm筛管安全顺利下入 $\varnothing 215.9$  mm井眼,是SAGD水平井完井的关键。其中不仅涉及到管柱下入动力的问题,还牵涉到大尺寸管柱在井眼中的丝扣密封变形、强度等问题。因此,在钻前对管柱的安全下入问题进行了充分的评估和论证。首先严格执行了钻井设计,保证井眼轨迹不出现急扭方位,井斜不急增或急减;其次要在钻井液中添加润滑剂,提高钻井液的润滑性能;再次,在筛管下入过程中,地面以上配备可循环加压装置,直井段尽可能采用质量较大的钻铤,以防止筛管在下入过程中由于井眼条件及其他因素造成的送入钻具质量不足的情况。通过以上措施, $\varnothing 177.8$  mm尾管安全顺利下入 $\varnothing 215.9$  mm井眼。

### 5 施工简况

#### 5.1 FHW117P井

(1)一开采用 $\varnothing 444.5$  mm钻头+ $\varnothing 177.8$  mm钻铤+方钻杆的钻具组合钻至井深25.20 m一开完钻, $\varnothing 339.7$  mm表层套管下深24.99 m。

(2)二开采用 $\varnothing 311.15$  mm牙轮钻头+ $\varnothing 197$  mm螺杆(2°)+ $\varnothing 127$  mm无磁钻杆+ $\varnothing 165$  mm MWD短节+ $\varnothing 165$  mm无磁钻铤+ $\varnothing 127$  mm斜坡钻杆(4根)+ $\varnothing 127$  mm加重钻杆的钻具组合钻至造斜点52.0 m后,更换造斜钻具,进行造斜钻进,造斜至井深205 m,开始复合钻进稳斜段,稳斜至225 m,继续造斜钻进至311.5 m着陆(A点),继续钻进至319 m中完。甩掉螺杆钻具后用带有扶正器的通井钻具下钻通井后,下入 $\varnothing 244.5$  mm技术套管后固井。

(3)三开采用 $\varnothing 215.9$  mm钻头+ $\varnothing 172$  mm螺杆+ $\varnothing 127$  mm无磁钻杆(1根)+MWD短节+ $\varnothing 165$  mm无磁钻铤(1根)+ $\varnothing 127$  mm斜坡钻杆(24根)+ $\varnothing 127$  mm加重钻杆的钻具组合,以滑动和旋转复合钻进相结合的方式施工,钻进至712.00 m完钻。完钻后起钻取出仪器,甩掉螺杆,下入单稳定器钻具组

合通井,下钻到底后单泵大排量充分洗井,下完筛管,投球憋压,倒扣成功,FHW117P井顺利完井。

#### 5.2 FHW117I井

(1)一开采用 $\varnothing 444.5$  mm钻头+ $\varnothing 177.8$  mm钻铤+方钻杆的钻具组合钻至井深25.20 m一开完钻, $\varnothing 339.7$  mm表层套管下深24.99 m。

(2)二开采用 $\varnothing 311.15$  mm牙轮钻头+ $\varnothing 197$  mm螺杆(2°)+ $\varnothing 127$  mm无磁钻杆+ $\varnothing 165$  mm MWD短节+ $\varnothing 165$  mm无磁钻铤+ $\varnothing 127$  mm斜坡钻杆(4根)+ $\varnothing 127$  mm加重钻杆的钻具组合钻至井深301.00 m中完,用通井钻具通井后,下入 $\varnothing 244.5$  mm技术套管后,固井候凝。

(3)三开采用 $\varnothing 215.9$  mm钻头+ $\varnothing 172$  mm螺杆+ $\varnothing 127$  mm无磁钻杆(1根)+MWD短节+ $\varnothing 165$  mm无磁钻铤(1根)+ $\varnothing 127$  mm斜坡钻杆(24根)+ $\varnothing 127$  mm加重钻杆的钻具组合采用小钻压快速钻灰塞至279 m洗井,充分循环钻井液后提钻。此时调配修井车在FHW117P井中用电缆传输下入电磁导向仪器,FHW117I井中的MWD仪器从FHW117P井获取数据引导FHW117I井水平段钻进。同时利用MWD的工具面参数以滑动和旋转复合钻进结合的方式,控制井眼轨迹位于生产井的正上方5.0 m左右(见图2、图3)。导向钻进至694 m完钻。

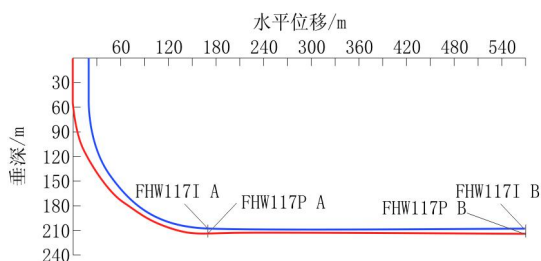


图2 FHW117井组实钻轨迹垂直剖面对比图

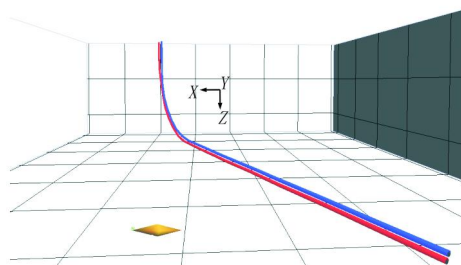


图3 FHW117井组实钻轨迹三维立体图

为保证完井筛管顺畅下入,完钻后起钻取出仪器,甩掉螺杆,下入单稳定器钻具组合通井,下钻到底  
(下转第48页)

管被切开后,适当尝试“点放”钻具<sup>[9-10]</sup>,增加切割时的钻压的措施,最终第四次套铣  $\varnothing 339.7$  mm 套管共 27 m,切割时间 5 h;第五次套铣  $\varnothing 339.7$  mm 套管至 158 m,切割时间仅 4.25 h。



图7 出井双层套管切割口

## 5 结语

(1)通过对大尺寸井槽内部套管的弃井处理,可以实现单筒双井再利用,这为海上槽口的再利用提供了新的思路。

(2)通过实践对比,“PDC 齿”套铣钻头在  $\varnothing 339.7$  mm 套管套铣中具有机械钻速高的优势。

## (上接第44页)

后单泵大排量充分洗井,对筛管悬挂的位置进行刮壁,确保悬挂固定可靠。下筛管过程中采取了可循环加压装置、大质量的钻铤等工具,对筛管施加下压力,保证筛管顺利下入,投球憋压,倒扣成功,FHW117I 井完井。

## 6 结语

(1)常规水平井实行轨迹测量开环控制,双水平井实行闭环控制。双水平井的轨迹测量技术在传统随钻测量技术的基础上,利用已钻生产井的轨迹数据,在钻进注气井的水平段时,通过跟踪、预测、反演推算注气井的井眼轨迹数据,在此基础上,再实施井眼轨迹的调整,以有效的控制两个水平井段的相对误差。双水平井轨迹测量、控制技术,是在传统井眼轨迹测量、控制技术基础上的延伸与发展。

(2)SAGD 双水平井造斜段、稳斜段和水平段施工时,要保证钻井液粘切和流型,保证排量,有效携岩,防止形成岩屑床。钻井液的润滑性能和泥饼质

(3)在对双层套管贴靠关系明确的前提下,利用 210 mm 水力割刀刀片可实现双层套管( $\varnothing 339.7$  mm 和  $\varnothing 244.5$  mm)的一次性切割,即便是环空间有水泥封固也如此。

## 参考文献:

- [1] 姜伟.单筒双井钻井技术在渤海油田的应用[J].石油钻采工艺,2000,22(1):9-13.
- [2] 李凡,赵少伟,张海,等.单筒双井表层预斜技术及其在绥中 36-1 油田的应用[J].石油钻采工艺,2012,34(S1):12-15.
- [3] 梁奇敏,冯舒,赵铁桥,等.单筒双井表层预斜扩眼钻井技术在渤海油田定向井中的应用[J].中国海上油气,2013,(5):64-68.
- [4] 董星亮,曹式敬,唐海雄,等.海洋钻井手册(第一版)[M].北京:石油工业出版社,2011.
- [5] 刘卫坡,刘晖,韩联合,等.表层套管侧钻取生产套管技术[J].石油钻采工艺,2012,34(4):40-42.
- [6] 庞炳章,徐荣强,牟小军,等.非对称单筒双井技术在文昌 13-2 油田的应用[J].石油钻采工艺,2007,29(6):4-6.
- [7] 霍建忠,李红星.单筒双井钻井技术在 QK17-2 油田的实施[J].世界石油工业,2000,7(6):26-28.
- [8] 吕三友,李中,李龙.表层造斜技术在海上单筒双井中应用研究[J].世界华商经济年鉴·科技财经,2012,(7).
- [9] 于庆国.庄海 5 井等 8 口井弃井作业工程[J].Well Testing, 2008,(3):48-49.
- [10] 阳文学,姜清兆,汪顺文,等.深水弃井套管切割技术[J].石油钻采工艺,2015,(1):132-134.

量方面选择良好的钻井液润滑剂和胶体沥青,保证套管的顺利下入,防止发生井内事故。

(3)由于 SAGD 采油要求, $\varnothing 177.8$  mm 筛管下入  $\varnothing 215.9$  mm 井眼内,除了钻井液要保持良好的润滑性外,采用可循环式加压装置和大质量的钻铤对筛管施加下压力,也是筛管顺利下入的保证。

## 参考文献:

- [1] 黄兵,吴宗国,杨伟,等.天东 012-H1 井长水平段安全快速钻井技术[J].钻采工艺,2010,33(6):132-133.
- [2] 杨明合,夏宏南,屈胜元,等.磁导向技术在 SAGD 双水平井轨迹精细控制中的应用[J].钻采工艺,2010,33(3):12-14.
- [3] 王志超,李树金,周明升.杜 84 断块馆陶油藏双水平井 SAGD 优化设计[J].中外能源,2008,13(2):48-51.
- [4] 王佩虎.蒸汽辅助重力泄油 SAGD 开发稠油研究[D].黑龙江大庆:东北石油大学,2006.
- [5] 张世忱.MGT 钻井新技术在杜 229 块 SAGD 水平井中的应用[J].特种油气藏,2009,16(S1):105-108.
- [6] 唐志军,等.超薄油层水平井钻井技术[J].河南石油,2003,17(3):51-53.
- [7] 林晶,宋朝晖,罗煜恒,等.SAGD 水平井钻井技术[J].新疆石油天然气,2009,5(3):56-60.
- [8] 徐云龙,马凤清,冯光通,等.磁性导向钻井技术现状及发展趋势[J].钻采工艺,2012,35(2):35-37.