

## 顺北区块超深小井眼水平井优快钻井技术

刘彪<sup>1</sup>, 潘丽娟<sup>1</sup>, 张俊<sup>1</sup>, 白彬珍<sup>2</sup>, 李双贵<sup>1</sup>

(1. 中国石化西北油田分公司石油工程技术研究院, 新疆乌鲁木齐 830011; 2. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

**摘要:** 顺北区块超深小井眼水平井钻井过程中, 钻遇易漏易塌的层位多、摩阻扭矩大、 $\phi 120.6$  mm 井眼轨迹控制困难, 导致机械钻速低、钻井周期长, 为此进行了优快钻井技术研究。通过分析钻井、测井、测试等资料, 建立了地层三压力剖面, 并据此确定必封点, 将六级井身结构优化为四级井身结构; 针对易漏易塌地层的特点, 通过室内试验, 制定了防漏防塌技术措施; 通过分析大角度螺杆的造斜率和采用双增式轨道, 降低了小井眼段轨迹控制难度; 通过降低定向井段长度、钻具和井壁的接触面积和采用混油钻井液, 降低了摩阻扭矩; 试验应用“扭力冲击器+PDC 钻头”钻井工艺, 提高了机械钻速。通过研究和试验形成了顺北区块超深小井眼水平井优快钻井技术, 并在 5 口井进行了现场应用, 与采用六级井身结构的 X1 井相比, 机械钻速提高了 29.36%, 钻井周期缩短了 93 d。研究与应用表明, 超深小井眼水平井优快钻井技术能满足顺北区块超深小井眼水平井安全高效的钻井需求, 为该区块碳酸盐岩海相油气藏的高效开发提供了工程技术保障。

**关键词:** 小井眼; 水平井; 井身结构; 井眼轨道; 井眼稳定; 顺北区块

**中图分类号:** TE242 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0890(2016)06-0011-06

## The Optimized Drilling Techniques Used in Ultra-Deep and Slim-Hole Horizontal Wells of the Shunbei Block

LIU Biao<sup>1</sup>, PAN Lijuan<sup>1</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>, BAI Binzhen<sup>2</sup>, LI Shuanggui<sup>1</sup>

(1. Institute of Engineering Technology, Sinopec Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang, 830011, China; 2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

**Abstract:** The drilling of ultra-deep slim hole horizontal wells in the Shunbei Block encountered multiple challenges such as formations susceptible to lost circulation, significant friction torque, trajectory control difficulties for borehole with diameter of  $\phi 120.6$  mm, low ROPs and long drilling time. Accordingly, research has been conducted to develop fast and high-quality drilling techniques. Through comprehensive analyses of drilling, logging, testing and other data, pore pressure, borehole collapse and fracturing pressure gradient profiles were determined. Accordingly, sealing points were identified and the six stage casing program was optimized to four stages. With consideration to specific features of formations susceptible to circulation lost and borehole collapsing, experimental study was performed to clarify technical solutions for those potential problems. Through analyzing build-up capacity of PDM and the deployment of dual-incremental trajectory, difficulties in slimhole trajectory control would be effectively minimized. By reducing the length of directional drilling intervals, minimizing the contact areas between drilling tools and sidewalls and by the utilization of oil-mixed drilling fluid, friction torques would be reduced dramatically. In the investigation, drilling techniques of “torsion impact device+PDC bit” were applied to enhance ROP. Through experimental tests and field testing, fast and high-quality drilling techniques for ultra-deep slim-hole wells in the Shunbei Block were determined. These techniques have been used in five wells in this region. It compared the Well X1 with six-stage casing program, ROP and drilling time for wells drilled with innovative techniques increased 29.36% and reduced for 93 days. Research results and on-site application performance showed that the newly-developed rapid and high-quality drilling techniques for the ultra-deep slim hole can satisfy the safe and high-efficiency drilling of slim hole horizontal wells in Shunbei Block. Generally speaking, the application of these techniques may provide necessary technical support for high-efficiency development of marine carbonate reservoirs in this block.

**Key words:** slim hole; horizontal well; casing program; borehole trajectory; stable borehole; Shunbei Block

塔河油田顺托果勒低隆北缘(即顺北区块)为中国石化西北油田分公司探明的重点区块, 储层埋深约 7 500.00 m, 属碳酸盐岩海相油气藏<sup>[1]</sup>。该区块地质特征复杂, 纵向发育新近系—奥陶系全套地层, 岩性种类多, 地层非均质性强, 易塌、易漏层多。其中, 新近系—三叠系地层以砂泥岩为主, 地层疏松、

收稿日期: 2016-03-27; 改回日期: 2016-11-04。

作者简介: 刘彪(1983—), 男, 湖北天门人, 2007年毕业于长江大学石油工程专业, 2010年获长江大学油气井工程专业硕士学位, 主要从事钻井工艺优化与设计工作。E-mail: lieren2222@126.com。

基金项目: 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”之课题“碳酸盐岩缝洞型油藏钻井技术完善与推广”(编号: 2011ZX05049-02-02)资助。

岩石胶结强度低,易发生缩径;二叠系火成岩地层裂缝发育,易发生井漏;石炭系和志留系地层存在砂泥岩互层,易发生坍塌;奥陶系桑塔木组地层岩性为有辉绿岩侵入体的泥岩,易发生井漏和坍塌;目的层奥陶系一间房组地层为裂缝性碳酸盐岩地层,易发生放空和井漏。同时,若采用水平井开发,还将面临超深井小井眼定向难的问题。该区块首口探井——顺北1井钻井过程中,多次出现井下复杂情况,被迫采用六级井身结构完钻,钻井周期长达461.5 d。据调研,国内外没有井眼直径小于130.0 mm、井斜角由0°增至90°的短半径水平井钻井方面的施工报道,没有可借鉴的经验,且井眼轨迹控制的风险未知。为此,笔者在分析顺北区块地层特征的基础上,对超深小井眼水平井井身结构进行了优化,采取了井壁稳定、防漏堵漏<sup>[2-5]</sup>和小井眼短半径水平井井眼轨迹控制等技术措施,并试验应用了钻井提速新技术,初步形成了顺北区块超深小井眼水平井优快钻井技术,顺利完成了5口超深小井眼水平井的钻井作业,钻井周期缩短93 d,机械钻速提高了29.36%,为实现该区块油气的高效开发提供了技术支撑。

## 1 钻井技术难点

### 1.1 巨厚火成岩地层易漏

顺北区块二叠系火成岩地层埋深4 400.00~5 100.00 m,厚度450.00 m,岩性以英安岩、凝灰岩为主。电镜扫描与成像测井解释结果表明,英安岩内部微裂缝缝宽60~150  $\mu\text{m}$ ,微裂缝纵向上间隔20~30 m,大裂缝缝宽1~6 mm,钻井过程中极易发生井漏,且桥堵承压堵漏技术的应用效果不好,易沟通裂缝造成复漏。顺北区块X1-1H井在钻进二叠系火成岩地层时发生井漏,采用桥浆堵漏25次、挤水泥堵漏1次和化学固结堵漏1次,共耗时39 d,共漏失密度1.25 kg/L的钻井液2 876  $\text{m}^3$ 。

### 1.2 深部泥岩地层井壁易失稳

顺北区块古生界地层厚度达2 488.00 m,较邻区厚800.00 m,以泥岩为主,黏土含量42.4%,高岭石含量34.0%,伊/蒙混层含量45.0%,水敏性强,易吸水分散,造成井壁失稳。X1井采用密度1.25 kg/L的钻井液钻穿志留系地层,由于地层吸水分散,井眼扩径严重,井径扩大率最大达到35.6%。

### 1.3 辉绿岩侵入体易塌

辉绿岩侵入体埋深6 900.00 m,由于辉绿岩中长石含量高达82.5%,导致其脆性强,受到冲击易掉块;辉绿岩侵入体内部微裂缝缝宽40~420  $\mu\text{m}$ ,高密度钻井液滤液侵入时易发生水力劈裂;辉绿岩侵入体的最大、最小水平主应力梯度分别为2.56和1.62 MPa/100m,属走滑应力场<sup>[6]</sup>;受地应力作用与岩石特性影响,辉绿岩侵入体的坍塌压力高<sup>[6-7]</sup>。顺北区块X1井在钻进辉绿岩侵入体时,发生掉块,将钻井液密度由1.25 kg/L升至1.55 kg/L后,不但没能抑制井眼掉块,还导致上部地层发生18次井漏。

### 1.4 井眼轨迹控制难度大

顺北区块的水平井井深大于7 500.00 m,温度160~170  $^{\circ}\text{C}$ ,为短半径水平井,且水平段井眼直径小于130.0 mm。国内外没有可以借鉴的小井眼短半径水平井钻井经验,在钻井过程中不但存在钻压传递困难、井眼清洁难度大、井眼稳定与防卡要求高等常规水平井钻井的技术难点,而且存在螺杆钻具初始造斜率不确定、井下摩阻扭矩未知、钻井方位不易控制等技术难点。

## 2 优快钻井技术

### 2.1 井身结构优化

顺北区块水平井初期采用六级井身结构,将复杂地层分别封隔,以保障钻井安全,但存在套管层序多、钻井周期长的问题。为此,笔者利用Drillworks地层压力分析软件对钻井、测井、试油资料进行分析计算<sup>[8]</sup>,建立了该区块地层三压力剖面(见图1)。

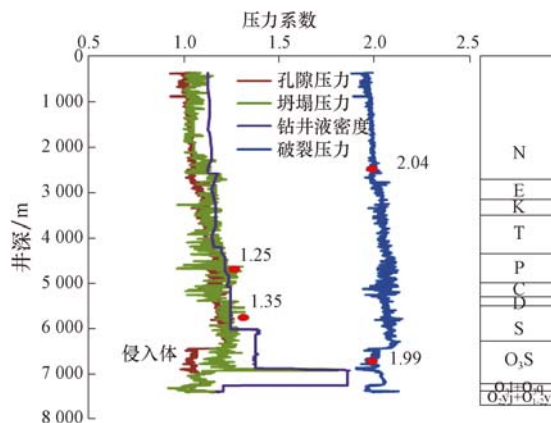


图1 顺北区块地层三压力剖面

Fig. 1 Pore pressure, borehole collapse and fracturing pressure gradient of Shunbei Block

由图1可知:顺北区块的地层孔隙压力系数1.04~1.23,属于正常压力系统;地层坍塌压力系数0.90~1.81,其中,二叠系、志留系地层坍塌压力系数1.22~1.35,桑塔木组地层坍塌压力系数1.81;地层破裂压力系数2.00,辉绿岩顶部地层破裂压力系数1.91;桑塔木组下泥岩段地层破裂压力系数1.99。

通过分析该区块的压力剖面可知:采用密度1.81 kg/L钻井液钻开辉绿岩侵入体,会造成上部地层漏失,因此,上层套管必须下至辉绿岩顶部。采用高密度钻井液钻进目的层奥陶系一间房组地层

时,其上部地层的裂缝带易发生漏失,因此上层套管必须下至目的层顶部。

在确定2个必封点后,采用先中间后两端的设计方法,将六级井身结构优化为四级井身结构:一开井段,φ273.1 mm表层套管下至井深1 999.00 m,封隔浅部疏松地层;二开井段,φ193.7 mm技术套管下至辉绿岩侵入体顶部,将低压地层与下部易塌地层分开;三开井段,φ139.7 mm尾管下至目的层顶部,封隔辉绿岩侵入体;四开井段,采用φ120.6 mm钻头钻开目的层,裸眼完钻(见图2)。

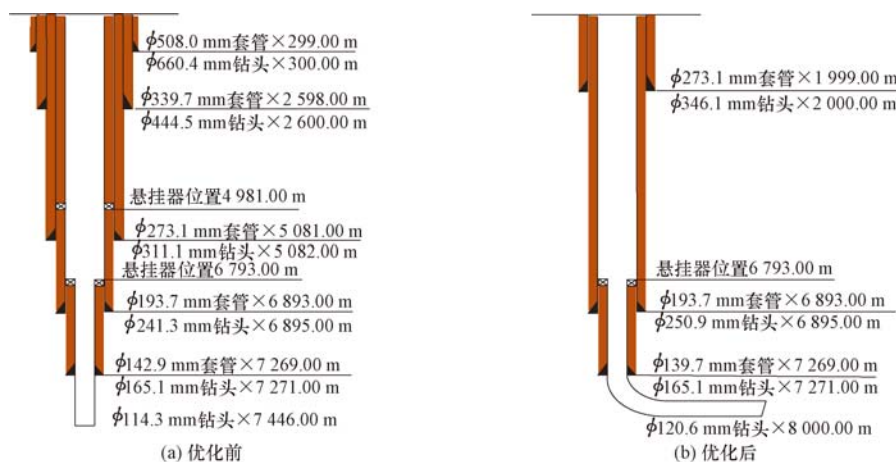


图2 顺北区块油井优化前后的井身结构

Fig. 2 Casing programs before and after optimization in the Shunbei Block

由图2可知:优化后的井身结构减少了2个开次;将φ311.1 mm井眼缩小至φ250.8 mm,可以提高钻井速度。同时,φ142.9 mm直连扣套管换成了接箍外径150.0 mm的φ139.7 mm套管,方便使用套管吊卡和安放扶正器,有利于提高下套管效率和固井质量;φ142.9 mm厚壁套管换成了φ139.7 mm套管,套管通径由115.0 mm增大至121.0 mm,允许通过钻头尺寸由φ114.3 mm增大至φ120.6 mm。

## 2.2 井眼稳定技术

优化井身结构后,针对二开裸眼段延长引发的二叠系地层漏失与深部泥岩段井壁坍塌的矛盾,进行了长裸眼井眼稳定技术研究,并针对三开辉绿岩侵入体地层坍塌压力高与微裂缝发育的岩性特征,进行了随钻封堵技术研究。

### 2.2.1 二叠系火成岩防漏堵漏技术

对于裂缝缝宽小于2 mm的地层,通过室内试验优选竹纤维、碳酸钙和高软化点乳化沥青复配作为堵漏材料,并确定其配方为2%~3%碳酸钙CSC

-100+1%~2%竹纤维+2%高软化点乳化沥青。该堵漏材料依靠微米颗粒、变形粒子和网状结构形成的低渗透封堵层封堵裂缝。对于纵向裂缝缝宽大于2 mm的地层,如果出现多点漏失或复漏,采用10%~12%堵漏浆(配方为1%中粗核桃壳+2%细核桃壳+2%SQD-98+2%PB-1+1%中粗云母+2%细云母+井浆)进行笼统堵漏;当井口发生失返时,可将钻具上提至二叠系地层之上,先进行承压堵漏,待井眼稳定后,再继续钻进。

### 2.2.2 深部泥岩井段防塌钻井液技术

针对深部泥岩水敏性强,以钾基聚磺钻井液为基础<sup>[7]</sup>,根据“抑制水化-成膜隔离”协同防塌原理,采用减少泥岩与钻井液滤液接触的方法,降低泥岩水化。通过室内试验对抗高温成膜剂CMJ、新型聚胺抑制剂HPA、抗温抗盐聚合物降滤失剂RHPT-1等3种关键处理剂的性能进行了评价,并确定了其加量,形成了深部泥岩井段防塌钻井液配方:基浆+1.0%RHPT-1+0.5%HPA+0.8%CMJ。室内试验结果表明,泥页岩在该防塌钻井液中的线性膨胀



率为 2.5%，岩屑滚动回收率为 92.5%，与常规聚胺抑制防塌钻井液相比，线性膨胀率降低了 18.0 百分

点，滚动回收率提高了 27.0 百分点。表 1 为深部泥岩井段防塌钻井液的基本性能。

表 1 深部泥岩井段防塌钻井液的基本性能

Table 1 Properties of anti-collapsing drilling fluid for deep mudstone interval

试验条件	密度/( $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	漏斗黏度/s	API 滤失量/mL	高温高压滤失量/mL	塑性黏度/( $\text{mPa} \cdot \text{s}$ )	动切力/Pa
老化前	1.30	48	3	6.5	26	6
老化后	1.30	52	4	7.5	28	8

注：老化条件为在 150℃下滚动 16 h。

### 2.2.3 辉绿岩地层井壁稳定技术

针对辉绿岩地层易掉块、而采用密度 1.81 kg/L 钻井液钻进又易发生井漏的情况，以钾胺基聚磺钻井液为基础，添加封堵材料，封堵裂缝来提高辉绿岩地层的承压能力。通过砂床滤失试验评价了钾胺基聚磺钻井液添加不同封堵材料后的封堵效果，结果见图 3。

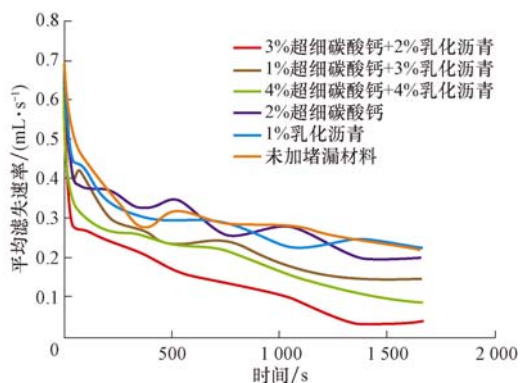


图 3 钾胺基聚磺钻井液添加不同封堵材料后的砂床滤失试验结果

Fig. 3 Sandbed filtration test results for potassium-amine based polysulfonate drilling fluid

由图 3 可知，3%乳化沥青和 2%超细碳酸钙复配加入到钾胺基聚磺钻井液中的封堵效果最好。因此，采用加入 3%乳化沥青和 2%超细碳酸钙的钾胺基聚磺钻井液钻进辉绿岩地层。

## 2.3 钻井提速技术

### 2.3.1 井眼轨道优化

顺北区块超深小井眼水平井的造斜点至水平段

的垂深只有 90.00 m，井眼轨迹调整空间小，且油藏位置不是十分确定，导致井眼轨迹控制存在一定难度。为降低井眼轨迹控制难度，为井眼轨迹调整预留空间，该区块水平井设计采用双增式轨道，第一增斜段造斜率设计为 15°/30m，待井斜角增大至 20°后，将造斜率提高至 25°/30m，继续钻进第二增斜段。

### 2.3.2 定向 PDC 钻头优选

单牙轮钻头的芯轴强度低，在小井眼钻进中极易发生掉牙轮事故；常规 PDC 钻头是整体式钻头，随钻具振动横向位移偏移量大，方位不稳定<sup>[9-10]</sup>，也不适合于在小井眼水平井中应用。为此，笔者与钻头厂家合作研制了适用于小井眼水平井钻井的 M0864 型 PDC 钻头，其冠部采用中等深度内锥和短平式外锥，有利于钻头稳定，降低钻头对侧向位移的敏感度；φ8.0 mm 抛光 PDC 复合片切削齿螺旋分布，分散了切削力，并减少了钻头回旋次数，有利于降低钻头鼻部和圆弧过渡带处切削齿的损坏概率；短保径齿呈螺旋分布，增大了钻头与井壁的接触面积，也有利于钻头稳定。

### 2.3.3 抗高温螺杆与随钻测量工具优选

顺北区块短半径水平井井眼轨迹调整空间小，对工具造斜率要求高。为此，该区块小井眼水平井钻井选用了 5LZ95×7-Ⅷ-SF-2.5°型螺杆。该螺杆能抗温 180℃，自带 φ110.0 mm 稳定器的有效长度为 160.0 mm，弯点至底部的距离为 975.0 mm。笔者利用 WellPlan 管柱力学软件对其造斜能力进行了分析，结果见表 2。

表 2 5LZ95×7-Ⅷ-SF-2.5°型螺杆造斜能力评价

Table 2 Build-up capability of Model 5LZ95×7-Ⅷ-SF-2.5° PDM

井斜角/(°)	地层倾角/(°)	地层单轴抗压强度/MPa	井径扩大率，%	钻头侧向力/kN	螺杆造斜率/(°)·(30m) <sup>-1</sup>
1	5	120	7	220	15
86	8	170	4	310	30

由表 2 可知，在初始造斜段与造斜结束段，该螺

杆的造斜率为 (15°~30°)/30m，可以满足顺北区块

短半径水平井钻井的定向要求。

顺北区块油藏埋藏深, 储层温度高, 要求随钻测量工具具有较好的耐温性和稳定性。经过调研分析, APS-MWD 随钻测量工具能耐温  $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[11]</sup>, 且在塔河油田井深  $6\,500.00\text{ m}$  短半径水平井钻井中应用较多, 表现出良好的稳定性。因此, 顺北区块小井眼水平井钻井中选用 APS-MWD 随钻测量工具。

#### 2.3.4 减摩降阻技术措施

1) 将  $\phi 139.7\text{ mm}$  套管下至目的层顶部, 造斜点选在四开裸眼段, 以缩短定向井段长度, 达到降低摩阻的目的。

2) 选用聚磺混油钻井液, 利用该钻井液良好的润滑性降低摩阻。

3) 采用不带稳定器的柔性钻具组合, 减小钻具与井壁的接触面积, 以降低摩阻。

#### 2.3.5 钻具组合优选

钻进四开井段时需要约  $1\,800.00\text{ m}$  长的倒装钻具组合, 考虑钻具与井眼间隙的匹配性, 采用接箍外径  $108.0\text{ mm}$  的  $\phi 88.9\text{ mm}$  钻杆, 其抗拉强度  $2\,175\text{ kN}$ , 相比  $\phi 73.0\text{ mm}$  钻杆提高了  $27\%$ , 安全系数得到提高, 可降低断钻具的风险。上部选用壁厚  $9.65\text{ mm}$  的  $\phi 101.6\text{ mm}$  钻杆<sup>[12]</sup>, 该钻杆抗拉强度  $2\,598\text{ kN}$ , 相比  $\phi 101.6\text{ mm}$  标准钻杆提高了  $13.6\%$ , 钻井极限深度  $8\,150.00\text{ m}$ 。排量为  $10\text{ L/s}$ 、泵压为  $21.4\text{ MPa}$  时, 采用  $\phi 88.9\text{ mm}$  钻杆和  $\phi 101.6\text{ mm}$  钻杆组成的倒装钻具组合钻进, 最小环空返速为  $0.58\text{ m/s}$ , 满足携岩要求。

#### 2.3.6 二叠系钻井提速技术

顺北区块二叠系火成岩地层厚度  $450.00\text{ m}$ , 抗压强度  $90\sim 150\text{ MPa}$ , 可钻性级值  $5.0\sim 6.5$ , 为提高该地层的钻进速度, 笔者试验应用了“扭力冲击器+PDC 钻头”钻井工艺, 利用扭力冲击器轴向液力冲击与周向高频剪切破岩, 来提高机械钻速, 而且扭力冲击器采用中空式设计, 粒径小于  $1.5\text{ cm}$  的堵漏颗粒可以通过, 便于随钻堵漏。由于钻头要同时具有攻击性与抗研磨性, 因此选用了 5 刀翼、 $\phi 13.0\text{ mm}$  切削齿的 PDC 钻头。同时, 为预防井斜与卡钻, 应用了钟摆钻具组合和欠尺寸螺旋稳定器。

### 3 现场应用效果

顺北区块 2016 年部署的 X1-2H 井、X1-3H 井、

X1-4H 井、X1-5H 井和 X1-6H 井等 5 口超深小井眼水平井均采用四级井身结构, 三开平均中完井深  $7\,390.00\text{ m}$ , 与采用六级井身结构的 X1 井相比, 钻井周期缩短  $93\text{ d}$ , 机械钻速提高了  $29.36\%$ 。

1) 防漏堵漏效果显著。5 口超深小井眼水平井采用随钻堵漏方式钻穿二叠系火成岩地层, X1-5H 井和 X1-6H 井在钻井液中加入  $1\%\sim 2\%$  竹纤维, 井底循环当量密度控制在  $1.30\text{ kg/L}$  左右, 没有发生漏失, 其余 3 口井的钻井液中未加入堵漏材料, 均出现漏失, 后加入颗粒级配优化的堵漏材料, 安全钻达中完井深, 但堵漏造成钻井周期延长, 平均延长  $7.2\text{ d}$ 。

2) 防塌效果显著。X1-5H 井和 X1-6H 井二开采用密度  $1.26\sim 1.28\text{ kg/L}$  的钾胺基聚磺成膜钻井液钻进, 井径扩大率分别为  $11.3\%$  和  $10.6\%$ , 与邻井 X1-2H 井( $14.5\%$ )、X1-3H 井( $13.8\%$ )和 X1-4H 井( $14.2\%$ )相比, 井径扩大率有所降低, 且这 2 口井井眼通畅,  $\phi 193.7\text{ mm}$  套管顺利下至井深  $7\,000.00\text{ m}$ 。5 口超深小井眼水平井三开井段均采用密度  $1.81\text{ kg/L}$  的钾基聚磺钻井液钻进辉绿岩地层, 并在钻井液中加入堵漏材料进行随钻堵漏, 没有出现明显的阻卡和漏失, 井径扩大率  $11.5\%\sim 16.5\%$ , 与 X1 井的  $45.6\%\sim 58.5\%$  相比大幅降低。

3) 提速明显。X1-3H 井、X1-4H 井和 X1-6H 井等 3 口井应用“扭力冲击器+PDC 钻头”钻井工艺钻进二叠系地层, 平均进尺  $480.00\text{ m}$ , 机械钻速  $4.87\text{ m/h}$ , 钻井周期  $6.35\text{ d}$ , 相比采用常规钻井技术的邻井, 机械钻速提高了  $75.8\%$ , 钻井周期缩短了  $67.7\%$ 。

4) 井眼轨迹控制效果良好。5 口井均采用螺杆定向钻具组合, 全部命中靶区, 井眼轨迹与设计轨道的符合率达  $85\%$  以上。其中, X1-4H 井为顺北区块  $\phi 120.6\text{ mm}$  井眼从井斜角  $0^{\circ}$  开始定向钻进的最深井, 完钻井深达  $8\,050.00\text{ m}$ , 该井最大摩阻仅  $150\text{ kN}$ ,  $2.5^{\circ}$  螺杆定向钻具组合的造斜率由井斜角  $1^{\circ}\sim 15^{\circ}$  时的  $(17^{\circ}\sim 20^{\circ})/30\text{ m}$  升至井斜角  $20^{\circ}\sim 32^{\circ}$  时的  $(25^{\circ}\sim 27^{\circ})/30\text{ m}$ , 满足了短半径水平井对造斜率的要求, 两趟钻进尺  $130.00\text{ m}$ , 并成功进入着陆点。

### 4 结论与建议

1) 通过分析顺北区块复杂地层特征与地层压力, 在确定 2 个必封点后, 选用  $\phi 139.7\text{ mm}$  的薄接箍套管, 将井身结构由六级优化为四级。

2) 为降低井眼轨迹控制难度,将井眼轨道设计为双增式轨道,为井眼轨迹调整预留空间。

3) 将竹纤维与其他堵漏材料复配,可在一定程度上解决顺北区块二叠系火成岩地层的漏失问题;使用加入复配成膜降滤失剂的钾基聚磺钻井液,可解决深部泥岩地层井壁失稳的问题;使用加入乳化沥青和超细碳酸钙的钾胺基聚磺钻井液,可以解决辉绿岩地层掉块的问题。

4) 现场5口井的应用表明,顺北区块超深小井眼水平井优快钻井技术能够满足小井眼水平井安全高效钻井的需求,能显著提高机械钻速,缩短钻井周期。

5) 建议在不降低钻杆抗拉强度的前提下,研究接箍外径小于135.0 mm的 $\phi 114.3$  mm防硫钻杆,为顺北区块含硫区域深井钻井做好技术储备。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 王洋,赵兵,袁清芸,等.顺9井区致密油藏水平井一体化开发技术[J].石油钻探技术,2015,43(4):48-52.  
WANG Yang, ZHAO Bing, YUAN Qingyun, et al. Integrated techniques in tight reservoir development for horizontal wells in Block Shun 9[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(4): 48-52.
- [2] 陈曾伟,刘四海,林永学,等.塔河油田顺西2井二叠系火成岩裂缝性地层堵漏技术[J].钻井液与完井液,2014,31(1):40-43.  
CHEN Zengwei, LIU Sihai, LIN Yongxue, et al. Lost circulation control technology for fractured Permian igneous rock formation in Well Shunxi 2 of Tahe Oilfield[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2014, 31(1): 40-43.
- [3] 刘四海,崔庆东,李卫国.川东北地区井漏特点及承压堵漏技术难点与对策[J].石油钻探技术,2008,36(3):20-23.  
LIU Sihai, CUI Qingdong, LI Weiguo. Circulation loss characteristics and challenges and measures to plug under pressure in Northeast Sichuan Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 20-23.
- [4] 陈亮,王立峰,蔡利山,等.塔河油田盐上承压堵漏工艺技术[J].石油钻探技术,2006,34(4):63-66.  
CHEN Liang, WANG Lifeng, CAI Lishan, et al. High pressure circulation lost techniques for salt beds in the Tahe Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(4): 63-66.
- [5] 黄进军,罗平亚,李家学,等.提高地层承压能力技术[J].钻井液与完井液,2009,26(2):69-71.  
HUANG Jinjun, LUO Pingya, LI Jiaxue, et al. A study on the enhancement of formation bearing resistance[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2009, 26(2): 69-71.
- [6] 金衍.井壁稳定力学研究[D].北京:石油大学(北京)石油天然气工程学院,1997.  
JIN Yan. Research on mechanics of borehole stability[D]. Beijing: University of Petroleum (Beijing), College of Oil & Gas Engineering, 1997.
- [7] 王贵,曹成,蒲晓林,等.塔河油田桑塔木组钻井液优化与室内评价[J].钻采工艺,2015,38(5):73-76.  
WANG Gui, CAO Cheng, PU Xiaolin, et al. Optimization and laboratory study for drilling fluids of Sangtamu Group in Tahe Oilfield[J]. Drilling & Production Technology, 2015, 38(5): 73-76.
- [8] 刘彪,白彬珍,潘丽娟,等.托甫台区块含盐膏层深井井身结构优化设计[J].石油钻探技术,2014,42(4):48-52.  
LIU Biao, BAI Binzhen, PAN Lijuan, et al. Casing program of deep well with evaporite bed in Tuofutai Block[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(4): 48-52.
- [9] SINOR L A, POWERS J R, WARREN T M. The effect of PDC cutter density, back rake, size and speed on performance[R]. SPE 39306, 1998.
- [10] 罗恒荣,唐玉响,徐玉超,等.新型定向井PDC钻头的研制与应用[J].石油钻探技术,2007,35(5):86-89.  
LUO Hengrong, TANG Yuxiang, XU Yuchao, et al. Research and application of a new PDC bit in directional drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(5): 86-89.
- [11] 张福胜. APS-MWD 在新疆哈拉哈唐地区的应用与推广[J].钻采工艺,2013,36(3):110-111, 115.  
ZHANG Fusheng. The application and promotion of the APS-MWD in the Halahatang Area [J]. Drilling & Production Technology, 2013, 36(3): 110-111, 115.
- [12] 孙宁.钻井手册(上)[M].北京:石油工业出版社,2013:456-462.  
SUN Ning. Drilling handbook: part A [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2013: 456-462.

[编辑 刘文臣]