

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2019084

## 沧东凹陷致密油气藏水平井钻井关键技术

王建龙<sup>1</sup>, 齐昌利<sup>2</sup>, 柳 鹤<sup>1</sup>, 陈 鹏<sup>2</sup>, 汪 鸿<sup>2</sup>, 郑永锋<sup>2</sup>

(1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司工程技术研究院, 天津 300280; 2. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司第一钻井分公司, 天津 300280)

**摘 要:** 为了提高沧东凹陷致密油气藏长水平段水平井的钻井安全和效率, 分析了地层特点及钻进中面临的摩阻扭矩大、井眼轨迹控制难度大、紫红色泥岩地层钻速低和石膏层污染钻井液等技术难点, 进行了井身结构优化、井眼轨道设计和井眼轨迹控制方式优选、钻井设备及工具优选、钻井液体系优选和性能优化、提速提效技术措施选择及套管安全下入方式优选, 形成了沧东凹陷致密油气藏水平井钻井关键技术。在 GD1701H 井和 GD1702H 井的现场试验表明, 该钻井关键技术可以解决沧东凹陷致密油气藏水平井钻井存在的技术难题, 满足安全高效钻井的需求。综合研究认为, 沧东凹陷致密油气藏水平井钻井关键技术应用效果良好, 可为该类油气藏水平井钻井提供技术支持, 建议进行推广。

**关键词:** 致密油气藏; 长水平段; 水平钻井; 沧东凹陷

中图分类号: TE243<sup>+</sup>.1 文献标志码: A 文章编号: 1001-0890(2019)05-0011-06

## Key Technologies for Drilling Horizontal Wells in Tight Oil and Gas Reservoirs in the Cangdong Sag

WANG Jianlong<sup>1</sup>, QI Changli<sup>2</sup>, LIU He<sup>1</sup>, CHEN Peng<sup>2</sup>, WANG Hong<sup>2</sup>, ZHENG Yongfeng<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Engineering and Technology, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Tianjin, 300280, China; 2. The No.1 Drilling Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Tianjin, 300280, China)

**Abstract:** In order to safely and efficiently drill the long lateral horizontal wells in the tight reservoirs of the Cangdong Sag, a team analyzed the characteristics of the strata as well as the drilling challenges such as large friction torque, well trajectory control difficulty, low ROP in the purple-red mudstone, and drilling fluid contamination in gypsum layer. The key technologies and guidelines for horizontal well drilling in the tight reservoirs of Cangdong Sag were formed by developing casing program optimization, well trajectory and its control design, drilling equipment and tools optimization, drilling fluid system optimization, rapid and efficient drilling technical measures optimization and safety casing RIH methods selection. Field tests on two wells of GD1701H and GD1702H show that the application of key drilling technologies can successfully overcome such drilling challenges as difficulty in controlling the well trajectory, stringent requirements for drilling fluid anti-gypsum contamination and lubrication/anti-sticking, and low ROP in Kongdian Group. According to the comprehensive research, the key technologies of horizontal well drilling in tight oil and gas reservoirs of Cangdong Sag have achieved good results in field applications, which can provide technical support in horizontal well drilling for similar reservoirs, and can be promoted widely.

**Key words:** tight oil and gas reservoirs; long horizontal section; horizontal drilling; Cangdong Sag

沧东凹陷位于黄骅坳陷南部, 孔店组二段形成于相对封闭的湖盆环境, 发育形成致密油气藏。随着石油工程技术的不断进步及对地质情况认识的深入, 沧东凹陷孔二段细粒沉积岩的勘探开发取得了突破, 致密油气已成为大港油田重要的接替资源。为了提高沧东凹陷致密油气的开发效益, 需要采用长水平段水平井开发。但是, 该区域无长水平段水平井钻探先例, 可借鉴经验少, 需要进行关键技术研究。为此, 笔者从井身结构优化、井眼轨道设计、

井眼轨迹控制方式优选、钻井设备及工具优选、

收稿日期: 2018-10-26; 改回日期: 2019-06-20。

**作者简介:** 王建龙(1984—), 男, 天津人, 2010年毕业于中国石油大学胜利学院油气储运专业, 2013年获中国石油大学(华东)油气井工程专业硕士学位, 工程师, 主要从事钻井提速工具研发与应用工作。E-mail: 383462010@qq.com。

**基金项目:** 中国石油天然气股份公司重大科技专项“大港油区效益增储稳产关键技术研究与应用”(编号: 2018E-11)和中国石油渤海钻探工程有限公司科技项目“大港油田页岩油钻完井配套技术研究”(编号: 2018ZD13Y-01)联合资助。

钻井液体系优选与性能优化、提速提效技术措施选择和套管安全下入方式优选等方面进行了研究,形成了致密油气藏水平井钻井关键技术,并在2口井进行了成功试验,为实现沧东凹陷致密油气藏的高效开发提供了技术支持。

## 1 钻井技术难点

沧东凹陷致密油气藏埋深3 500.00~4 000.00 m,水平井造斜点井深超过3 000.00 m、裸眼段长大于2 500.00 m、水平段长大于1 500.00 m,且钻遇巨厚石膏层和多个漏层,给安全高效钻井带来了极大挑战。分析认为,主要钻井技术难点为<sup>[1-2]</sup>:

1)水平段和裸眼段长,摩阻高、扭矩大、循环压耗高,对钻井设备和钻具的性能要求高,设备和钻具的优选难度大。

2)要求靶框范围上下 $\leq 2.0$  m、左右 $\leq 5.0$  m,且着陆后的控制点多,需要频繁调整井眼轨迹,对井眼轨迹控制技术的要求很高。钻井过程中携岩困难,尤其在井斜角 $45.0^{\circ}\sim 65.0^{\circ}$ 井段极易形成岩屑床,增大了井眼轨迹控制难度和卡钻的风险。

3)孔一段地层顶部有厚约110.00 m的石膏层,石膏纯度高,易造成钻井液污染,对钻井液抗污染性能要求高;馆陶组底部砾岩段、沙一段底部生物灰岩段和孔一段断层存在不整合面,钻井过程中发生井漏的风险高,对钻井液封堵性能要求高;水平段和裸眼段长,摩阻大,施加钻压困难,卡钻风险高,对钻井液润滑防卡性能要求高<sup>[3-4]</sup>。

4)储层以泥岩和页岩为主,硬脆性强,部分地层含有少量浅灰色细砂岩。泥岩以紫红色和灰色泥岩为主,硬度高、研磨性强,钻头磨损严重,机械钻速低。页岩微裂缝和层理发育,容易发生页岩表面水化及渗透性水化,引起井眼失稳。

## 2 钻井关键技术

针对上述钻井技术难点,从井身结构、井眼轨道、井眼轨迹、钻井设备、钻进工具、钻井液,以及钻井提速提效技术、套管安全下入技术等方面进行了研究,形成了致密油气藏水平井钻井关键技术。

### 2.1 井身结构优化

水平井井身结构设计时,除了考虑地层压力和必封点等因素外,还应考虑钻井设备负荷和井下风

险。在保证实现地质目标的前提下,尽可能缩短裸眼段长度、降低摩阻扭矩、缩短裸眼浸泡时间和减轻钻机负荷,并降低井壁垮塌风险<sup>[5-6]</sup>。

根据沧东凹陷致密油气藏的地层岩性、三压力剖面、注水情况、漏层分布和施工难度,水平井设计采用三开井身结构:1)一开采用 $\phi 339.7$  mm表层套管封固明化镇组以上松软地层,并安装井口装置,为下部安全钻井提供条件;2)为了兼顾地层压力、注水情况、裸眼段长度和施工难度的需求,二开采用 $\phi 244.5$  mm技术套管封固孔一段枣Ⅲ油组注水层位;3)三开采用 $\phi 139.7$  mm油层套管封隔油、气、水层。

### 2.2 井眼轨道设计与井眼轨迹控制技术

水平井井眼轨道设计需要综合考虑邻井防碰、井眼轨迹控制方式和难度等因素,进行分段优化,保证井眼轨迹平滑,并精确中靶<sup>[7-10]</sup>。

#### 2.2.1 井眼轨道设计

1)造斜点优选。东营组和沙河街组地层有大段硬塑性泥岩,容易发生井眼失稳; $\phi 311.1$  mm井段深部泥岩层定向钻进托压严重,定向效率低。因此,选择在孔一段造斜,造斜点井深3 000.00~3 200.00 m。

2)造斜率优化。为了保证井眼轨迹平滑,尽量缩短造斜段长度,降低施工难度,减轻设备负荷、降低钻井风险。因此,将第一增斜段造斜率控制在 $(2.4^{\circ}\sim 3.0^{\circ})/30$  m,井斜角控制在 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ;第二增斜段造斜率控制在 $(3.0^{\circ}\sim 3.5^{\circ})/30$  m,井斜角控制在 $82^{\circ}\sim 86^{\circ}$ 进入第一控制点;微降斜段降斜率控制在 $(2.1^{\circ}\sim 2.4^{\circ})/30$  m,井斜角控制在 $80.0^{\circ}\sim 82.0^{\circ}$ 进入第二控制点;第三增斜段造斜率控制在 $(2.1^{\circ}\sim 2.4^{\circ})/30$  m,快速进入末端控制点,开始钻进水平段。

#### 2.2.2 井眼轨迹控制技术

考虑施工难度和井下风险,确定了2种井眼轨迹控制技术方案:若造斜点在 $\phi 311.1$  mm井段,第一增斜段和稳斜段采用“ $\phi 215.9$  mm $\times 1.25^{\circ}$ 螺杆钻具+ $\phi 172.0$  mm MWD”控制井眼轨迹,后续井段采用“ $\phi 172.0$  mm旋转导向钻具+ $\phi 172.0$  mm LWD”控制井眼轨迹;若造斜点在 $\phi 215.9$  mm井段,则全程采用 $\phi 172.0$  mm旋转导向钻具控制井眼轨迹。由于旋转导向钻井成本高,为了降低成本,建议现场根据水平段的长度选择经济高效的井眼轨迹控制技术:水平段不大于1 000.00 m的水平井,采用“水力摆

荡器+MWD+螺杆钻具+近钻头地质导向工具”控制井眼轨迹;水平段长度大于 1 000.00 m 的水平井,采用旋转导向钻具控制井眼轨迹。

## 2.3 钻井设备和钻具优选

选择钻井设备和钻具时,需要综合考虑大钩载荷、扭矩、循环压耗、井眼清洁和井下故障处理能力等因素。利用软件模拟分析了不同井眼轨道、钻具组合、钻井液性能、钻井参数和摩阻系数等条件下大钩载荷、扭矩、循环压耗和井眼清洁效果等关键参数的变化规律,优选出最佳的钻井设备和钻具。

1) 顶部驱动装置优选。大钩载荷和扭矩模拟计算结果如图 1 所示。由图 1 可知,最大扭矩为 27.7 kN·m。为了提高井下故障处理能力,选用 DQ70BSD 型顶部驱动装置,最高转速 200.0 r/min,最大连续输出扭矩 60.0 kN·m。

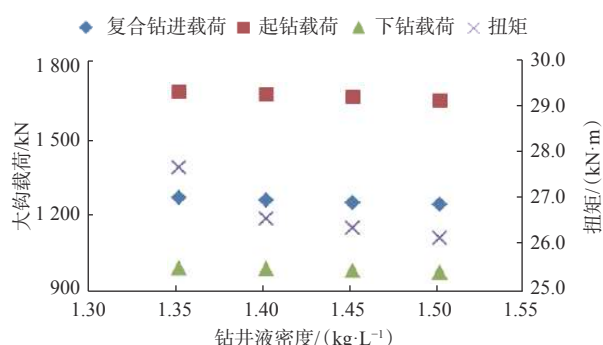


图 1 大钩载荷和扭矩模拟计算结果

Fig. 1 Simulation calculation results of the hook load and torque

2) 钻井泵优选。循环压耗模拟计算结果如图 2 所示。由图 2 可知,最高循环压耗为 37.4 MPa。为了提高钻井泵的安全性,选用 1 台 F-2200HL 高压

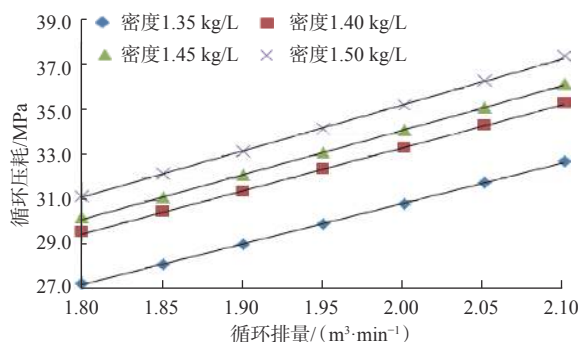


图 2 循环压耗模拟计算结果

Fig. 2 Simulation calculation results of the circulation pressure loss

钻井泵和 2 台 F-1600 加强型钻井泵,其额定工作压力分别为 52.0 和 40.0 MPa。

3) 钻具优选。从图 1 可以看出,起钻、复合钻进和下钻的最大大钩载荷分别为 1 677.6, 1 268.0 和 999.5 kN。兼顾大钩载荷、扭矩和循环压耗,根据满足强度前提下尽可能降低钻机负载的原则,选用  $\phi 139.7$  mm 钻杆(钢级 S137) $\times 2\,000.00$  m +  $\phi 127.0$  mm 钻杆(钢级 G105)。其中, $\phi 127.0$  mm 钻杆采用非标准 NC52 扣型和  $\phi 107.7$  mm 水眼,以进一步降低循环压耗,减轻钻井泵负载。

## 2.4 钻井液体系优选和性能优化

综合考虑石膏层抗污染、斜井段携岩、水平段抑制防塌和润滑防卡等因素<sup>[11]</sup>,三开  $\phi 215.9$  mm 井段选用钾盐聚合物钻井液,配方为:4.0%~6.0% 膨润土+5.0%~7.0% KCl+0.3%~0.5% 抗盐强包被抑制剂 BYJ-I+2.0%~3.0% 抗盐降滤失剂+2.0%~3.0% 抑制防塌剂 BZ-YFT+0.2%~0.3% 提切剂+0.8%~1.0% 低渗透封堵剂+2.0%~3.0% 液体润滑剂+0.2%~1.0% KOH。钻井液性能优化措施为:

1) 提高抗石膏污染能力。钻井液中定时补充六偏磷酸钠胶液,并随钻加入 KOH 进行处理。但是  $\text{OH}^-$  含量过高会分散剥离泥页岩,影响防塌效果,要求 pH 值维持在 8.0~10.0。

2) 提高钻井液的抑制性。为了保证钻井液的抑制防塌效果,钻井期间要求  $\text{K}^+$  含量不低于 500.0 mg/L,并及时补充抗盐强包被抑制剂 BYJ-I 和抑制防塌剂 BZ-YFT,改善滤饼质量,控制 API 滤失量不大于 3.0 mL、高温高压滤失量不大于 10.0 mL。

3) 提高携岩能力。用大分子处理剂和携砂粉等控制钻井液动切力,孔一段和孔二段的钻井液动切力分别控制在 8.0~12.0 和 12.0~16.0 Pa;保证钻井液动塑比不小于 0.5、六速旋转黏度计 3 r/min 的读数不小于 4.0。

4) 提高润滑防卡性能。用原油作为润滑剂,钻井液含油量控制在 5.0%~8.0%,保证摩阻系数不大于 0.06;同时,进入水平段后全程开启离心机,清除钻井液中的有害固相,降低摩阻。

## 2.5 钻井提速提效技术

1) 提高定向效率。 $\phi 311.1$  mm 造斜段和稳斜段采用  $\phi 203.2$  mm 水力振荡器,减轻滑动钻进托压,提高定向效率。该工具基本结构见图 3,主要通过自身产生的轴向振动,将滑动钻进过程中钻柱与井壁



之间的静摩擦转变为动摩擦,降低钻柱与井壁之间的摩擦阻力,提高滑动钻进钻压的传递效率<sup>[12-13]</sup>。

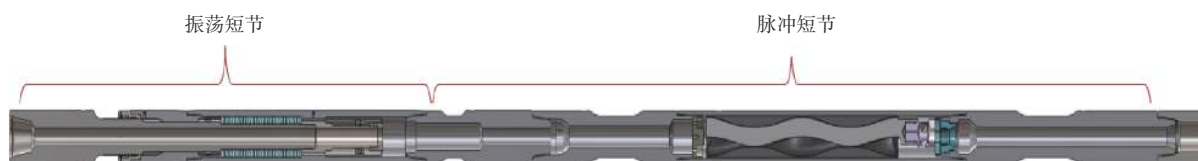


图3 水力振荡器基本结构

Fig.3 The basic structure of the hydraulic oscillator

2)优化钻井参数。为了提高 $\phi 215.9$  mm井段孔一段和孔二段地层的机械钻速和井眼清洁能力,采用大排量、大钻压和高转速钻进。大排量主要用来提高井眼清洁能力,高转速主要用来提高机械钻速和井眼清洁能力,大钻压主要用来提高机械钻速<sup>[5]</sup>。具体钻井参数为:钻压 100.0~140.0 kN,转速 120.0~130.0 r/min,排量 32.0~35.0 L/s。

3)PDC 钻头设计。根据孔二段砂泥岩研磨性高的特点,对 PDC 钻头进行了个性化设计<sup>[14]</sup>,具体设计方案为:五刀翼结构(3个长刀翼+2个短刀翼), $\phi 16.0$  mm 主切削齿,28颗前排切削齿,切削齿侧倾角  $2.0^{\circ} \sim 10.0^{\circ}$ ,后倾角  $15.0^{\circ} \sim 25.0^{\circ}$ ;每个刀翼3颗 $\phi 13.4$  mm 后排切削齿,后排齿与前排齿的高度差 1.5~2.0 mm。另外,为了使切削效率更高,采用顺时针布齿(比逆时针布齿攻击性更强);为了提高钻头的冷却效果、井底清洗效果和射流冲击力,设置5个 $\phi 7.9$  mm 喷嘴和2个 $\phi 8.7$  mm 喷嘴,可基本实现井底全覆盖。设计的 PDC 钻头流体动力学数值模拟结果如图4所示。由图4可知,井底最大漫流速度可达 28.6 m/s。

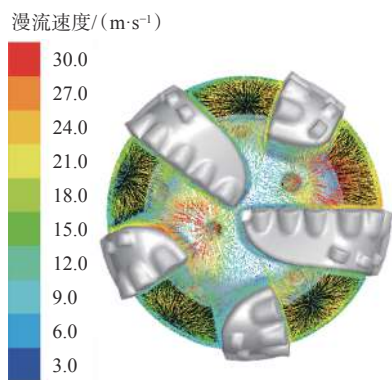


图4 PDC 钻头井底流场速度云图

Fig.4 PDC bit bottom hole smooth speed cloud map

4)提高携岩能力。每钻进1个单根划眼1次,钻进1个立柱正划眼、倒划眼各1次,充分循环携

岩。随着井眼延伸和井斜角增大,仅依靠提高排量无法保证井眼清洁。此时,需要在钻具中加入井眼清洁工具,利用其机械刮削和水力旋流的作用清除岩屑床<sup>[15]</sup>。井眼清洁工具主要由耐磨带、螺旋棱、导流槽和叶轮组成(见图5)。螺旋棱在旋转过程中刮削井壁上的虚滤饼或岩屑床,使其从压实状态变为自由状态;导流槽和叶轮在钻井液流过时产生涡流,将井眼中自由状态的虚滤饼或岩屑向上推移,携带出井口。综合裸眼段长度、井斜角和有效作用距离等因素,确定井眼清洁工具的安放方式为:钻具最底端安放1只,安放在距离钻头 60.0 m 左右;钻具最顶端安放1只,安放在井斜角  $40.0^{\circ}$  附近;钻具中间每隔 90.0~120.0 m 安放1只。

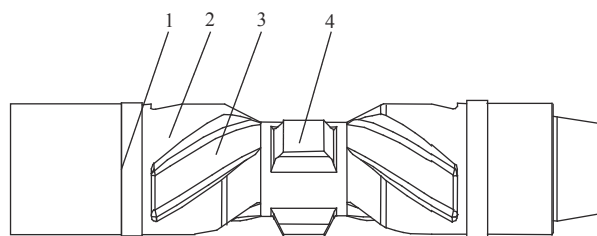


图5 井眼清洁工具基本结构

Fig.5 The basic structure of the wellbore cleaning tool

1.耐磨带; 2.螺旋棱; 3.导流槽; 4.叶轮

## 2.6 套管安全下入技术

为了保证套管安全顺利下入,利用软件分析了 $\phi 139.7$  mm 套管的下入能力,优化了扶正器的安放位置和数量。同时,为了提高预测精度,在下套管前最后一次通井时,记录起下钻悬重,测算起下钻摩阻系数,作为模拟套管下入的摩阻系数。

1)井眼准备。下套管前分别带单稳定器、双稳定器和三稳定器进行3次通井。通井时,若下钻阻力超过 40.0 kN,立即接顶驱划眼,划眼到底后对划眼井段进行短起下钻验证,确保顺畅后再进行下一步工序;起钻遇阻的井段再次进行划眼,并短起下钻验证。

2)套管扶正器下入方案。为了保证套管居中度 和套管能安全下入,选用  $\phi 206.4$  mm 整体式半刚性 扶正器。利用软件模拟优化确定了套管扶正器的下 入方案:水平段每隔 2 根套管加 1 只扶正器,造斜段 每隔 1 根套管加 1 只扶正器,直井段每隔 5 根套管 加 1 只扶正器。

3)套管下入方式优选。考虑裸眼段和水平段较 长,以及套管扶正器数量多、套管下入难度系数大 等情况,利用软件对常规下套管方式进行了模拟分 析。模拟结果表明,下入套管时,套管下放大钩载 荷 952.3 kN,套管静止大钩载荷 1 100.5 kN,套管下 放大钩载荷大于静止大钩载荷的 30%。结合模拟预

测结果和通井情况,确定采用常规下套管方式。

3 现场试验

大港油田沧东凹陷页岩油水平井 GD1701H 井和 GD1702H 井试验应用了沧东凹陷致密油气藏水平井 钻井关键技术,钻井过程中未发生井下故障,整体效 果良好,具体数据见表 1。2 口井平均井深 5 370.00 m, 平均水平段长 1 379.60 m,平均机械钻速 11.4 m/h,平 均钻井周期 59.2 d。其中, GD1701H 井创造了大港油 田 5 000.00 m 以深水平井钻井周期最短、机械钻速最 高、钻机月速最高和水平段最长等 4 项纪录。

表 1 沧东凹陷致密油气藏水平井钻井关键技术试验数据  
Table 1 Key technical test data for horizontal well drilling in tight oil and gas reservoirs of Cangdong Sag

井号	水平位移/m	水平段长/m	井深/m	垂深/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	钻井周期/d	机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )
GD1701H	1 984.00	1 449.10	5 465.00	3 851.30	91.3	91.5	55.2	13.2
GD1702H	1 835.90	1 310.10	5 275.40	3 930.40	85.1	193.4	63.2	10.0

GD1701H 井采用三开井身结构,施工过程中未 出现漏失、溢流和井眼失稳等问题,且钻井效率 高。该井钻进过程中井眼轨迹控制良好,钻井液润 滑性能高,采用常规下套管方式未出现遇阻现象。 其中,二开采用“水力振荡器+MWD+螺杆钻具” 控制井眼轨迹,定向机械钻速达到 3.3 m/h,且无托 压现象;三开采用“旋转导向钻具+LWD”控制井 眼轨迹,平均机械钻速达到 9.2 m/h。

GD1701H 井最大悬重 1 900.0 kN,最大扭矩 26.0 kN·m,循环压耗最高达 29.0 MPa,选用的钻机、 钻井泵和钻具满足了安全高效钻进要求。应用设计 的 PDC 钻头钻进孔一段和孔二段紫红色泥岩、灰色 砂岩、灰色泥岩和油页岩,单只钻头完成造斜段和 水平段,进尺 1 177.00 m,平均机械钻速 9.7 m/h,提 速效果显著,说明设计的个性化 PDC 钻头地层适应 性强。

该井馆陶组钻遇 8.0 m 厚的杂色砾岩,沙一段 钻遇 8.0 m 厚的生物灰岩,孔一段钻遇断层及不整 合面,钻进过程中及时补充随钻堵漏剂 BZ-DNA, 未出现漏失现象。孔一段钻遇厚约 149.0 m 的石膏 层,进入石膏层之前配制六偏磷酸钠胶液,维持钻 井液 pH 值始终在 9.0 以上,待振动筛处发现石膏侵 时加入胶液,未出现钻井液受钙污染的问题。定时 测量钻井液含油量、API 滤失量、高温高压滤失量 和动切力等关键参数,控制含油量在 5% 以上、API

滤失量不超过 3.0 mL、高温高压滤失量不超过 10.0 mL、 动切力在 15.0 Pa 左右,保证了钻井液抑制防塌、润 滑防卡和携岩性能满足要求。

4 结论与建议

1)沧东凹陷致密油气藏埋藏深,水平井具有造 斜点深和水平段长的特点,摩阻、扭矩和循环压耗 高,对钻井设备要求高;从上到下钻遇多个漏层和 巨厚石膏层,对钻井液性能要求高;孔一段和孔二 段地层有大段硬度高、研磨性强的泥岩,机械钻速 低,对钻头匹配性要求高。

2)沧东凹陷致密油气藏水平井钻井关键技术可 以解决长水平段水平井钻井过程中存在的技术难 题,尤其是井身结构及井眼轨道优化设计、高润滑 抗污染强抑制防塌钻井液和钻井提速提效等方面, 实现了沧东凹陷致密油气藏的高效开发。

3)钻前利用软件对大钩载荷、扭矩、循环压耗 和井眼清洁程度等进行预测,为优选钻井设备和钻 具提供了理论依据。高性能钻井设备和高强度钻具 确保了长水平段水平井的安全高效施工。

4)为了兼顾水平段施工难度和钻井成本,建议 根据水平段的长度选择经济高效的井眼轨迹控制技 术。对于水平段小于 1 000.00 m 的水平井,采用“水 力振荡器+MWD+螺杆钻具+近钻头伽马地质导向工

具”控制井眼轨迹;对于水平段长度大于1 000.00 m的水平井,采用旋转导向钻具控制井眼轨迹。

## 参考文献

### References

- [1] 刘永贵. 大庆致密油藏水平井高性能水基钻井液优化与应用[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(5): 35–39.  
LIU Yonggui. Optimization and application of high performance water-based drilling fluid for horizontal wells in Daqing tight oil reservoir[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(5): 35–39.
- [2] 侯杰, 刘永贵, 李海. 高性能水基钻井液在大庆油田致密油藏水平井中的应用[J]. 石油钻探技术, 2015, 43(4): 59–65.  
HOU Jie, LIU Yonggui, LI Hai. Application of high-performance water-based drilling fluid for horizontal wells in tight reservoirs of Daqing Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(4): 59–65.
- [3] 于洋飞, 杨光, 陈涛, 等. 新疆玛湖区块2 000 m长水平段水平井钻井技术[J]. 断块油气田, 2017, 24(5): 727–730.  
YU Yangfei, YANG Guang, CHEN Tao, et al. Drilling technology of 2 km-long horizontal section in Mahu Block, Xinjiang Oilfield[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2017, 24(5): 727–730.
- [4] 李洪, 邹灵战, 汪海阁, 等. 玛湖致密砂砾岩2 000 m水平段水平井优快钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2017, 39(1): 47–52.  
LI Hong, ZOU Lingzhan, WANG Haige, et al. High-quality fast drilling and completion technologies for horizontal wells with horizontal section of 2 000 m long in Mahu tight glutenites[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2017, 39(1): 47–52.
- [5] 王波, 王旭, 邢志谦, 等. 冀东油田人工岛大位移井钻井完井技术[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(4): 42–46.  
WANG Bo, WANG Xu, XING Zhiqian, et al. Drilling and completion technologies of extended-reach wells in the artificial island of the Jidong Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(4): 42–46.
- [6] 李云峰, 徐吉, 徐小峰, 等. 南堡2号构造深层潜山水平井钻井完井技术[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(2): 10–16.  
LI Yunfeng, XU Ji, XU Xiaofeng, et al. Drilling and completion for horizontal wells in the deep buried hills of the Nanpu No. 2 Structure[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(2): 10–16.
- [7] 王建龙, 齐昌利, 陈鹏, 等. 长水平段水平井高效钻井关键技术研究[J]. 石油化工应用, 2018, 37(3): 95–97, 102.  
WANG Jianlong, QI Changli, CHEN Peng, et al. Research and application of key techniques for horizontal well drilling in long horizontal section oilfield[J]. Petrochemical Industry Application, 2018, 37(3): 95–97, 102.
- [8] 边瑞超, 周洪林, 曹华庆, 等. 冀东油田人工岛丛式井钻井防碰技术[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(5): 19–22.  
BIAN Ruichao, ZHOU Honglin, CAO Huaqing, et al. Anti-collision technology for drilling cluster wells in the artificial island of Jidong Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(5): 19–22.
- [9] 潘军, 刘卫东, 张金成. 涪陵页岩气田钻井工程技术进展与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(4): 9–15.  
PAN Jun, LIU Weidong, ZHANG Jincheng. Drilling technology progress and recommendations for the Fuling Shales Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(4): 9–15.
- [10] 李云峰, 胡中志, 徐吉, 等. 南堡1-3人工岛大斜度定向井钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(1): 61–65.  
LI Yunfeng, HU Zhongzhi, XU Ji, et al. High-inclination direction drilling technology in Nanpu 1-3 Artificial Island[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(1): 61–65.
- [11] 于雷, 张敬辉, 李公让, 等. 低活度强抑制封堵钻井液研究与应用[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(1): 44–48.  
YU Lei, ZHANG Jinghui, LI Gongrang, et al. Research and application of plugging drilling fluid with low-activity and high inhibition properties[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(1): 44–48.
- [12] 冯强, 陈世春, 王建龙, 等. 振动减摩阻工具振动参数及安放位置研究[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(4): 78–83.  
FENG Qiang, CHEN Shichun, WANG Jianlong, et al. Research on vibration parameters and determining the position of a vibration friction reducing tool[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(4): 78–83.
- [13] 王建龙, 张展豪, 冯强, 等. 水力振荡器与液力推力器集成应用研究[J]. 石油机械, 2017, 45(4): 44–47.  
WANG Jianlong, ZHANG Zhanhao, FENG Qiang, et al. Study on the integrated application of hydraulic oscillator and hydraulic thruster[J]. China Petroleum Machinery, 2017, 45(4): 44–47.
- [14] 徐建飞, 赵晓波. 硬地层定向PDC钻头个性化设计与应用[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2014, 34(3): 57–61, 66.  
XU Jianfei, ZHAO Xiaobo. Design and application of directional PDC bit in hard formation[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2014, 34(3): 57–61, 66.
- [15] 王建龙, 郑锋, 刘学松, 等. 井眼清洁工具研究进展及展望[J]. 石油机械, 2018, 46(9): 18–23.  
WANG Jianlong, ZHENG Feng, LIU Xuesong, et al. Advances and prospects of well cleaning tools[J]. China Petroleum Machinery, 2018, 46(9): 18–23.

[编辑 令文学]