

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2021085

引用格式: 李玉海, 李博, 柳长鹏, 等. 大庆油田页岩油水平井钻井提速技术[J]. 石油钻探技术, 2022, 50(5): 9-13.

LI Yuhai, LI Bo, LIU Changpeng, et al. ROP improvement technology for horizontal shale oil wells in Daqing Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2022, 50(5): 9-13.

大庆油田页岩油水平井钻井提速技术

李玉海, 李 博, 柳长鹏, 郑瑞强, 李相勇, 纪 博

(中国石油集团大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院, 黑龙江大庆 163413)

摘 要: 针对大庆油田古龙区块页岩油水平井钻井过程中存在井壁易失稳、摩阻扭矩大和钻井周期长等技术难点, 以大庆页岩油高效快速开发为目的, 分析了该区块地层特点和钻井施工难点, 优化了三开井身结构, 确保页岩目的层施工安全; 根据实钻经验及现有技术水平, 对井眼轨道进行优化, 降低施工难度; 针对二开直井段缩径、三开造斜段和水平段钻井周期长等问题, 进行了井壁修整工具、旋冲螺杆钻井工具、清砂接头和水力振荡器等工具研究, 并进行了钻井参数优化, 形成了大庆油田页岩油水平井钻井提速技术。该技术在古龙区块 3 口页岩油水平井进行了现场试验, 平均完钻井深 4 691 m, 平均机械钻速 19.03 m/h, 机械钻速提高 53.7%, 平均钻井周期 35.23 d。研究与现场试验表明, 大庆油田页岩油水平井钻井提速技术可为大庆油田页岩油高效开发提供技术支持。

关键词: 页岩油; 水平井; 钻井提速; 钻井参数; 井身结构; 提速工具; 大庆油田

中图分类号: TE242

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2022)05-0009-05

ROP Improvement Technology for Horizontal Shale Oil Wells in Daqing Oilfield

LI Yuhai, LI Bo, LIU Changpeng, ZHENG Ruiqiang, LI Xiangyong, JI Bo

(Drilling Engineering Technology Research Institute, CNPC Daqing Drilling Engineering Corporation, Daqing, Heilongjiang, 163413, China)

Abstract: Technical difficulties including borehole wall instability, large friction torque, and long drilling cycles are encountered while drilling horizontal shale oil wells in the Gulong Block of Daqing Oilfield. For the purpose of efficient and rapid development of shale oil, a series of research works have been carried out. In light of the formation characteristics and drilling construction difficulties of the block, a third-spud casing program was optimized to ensure safe well construction in the target shale formation. According to drilling practices and existing techniques, the wellbore trajectory was upgraded to reduce the construction difficulty. In addition, the research was performed considering the hole shrinkage in the second-spud vertical section and the long drilling cycles in the third-spud build-up and horizontal sections. The research was performed on the tools and technologies, such as borehole wall dressing tools, rotary screws, sand cleaning joints, and hydraulic oscillators, and the drilling parameters were optimized. Finally, a rate of penetration (ROP) improvement technology for horizontal shale oil wells in Daqing Oilfield was developed. Field tests were conducted in three horizontal wells in Daqing Oilfield, with an average well depth of 4 691 m, an average drilling cycle of 35.23 d, and an average ROP of 19.03 m/h (enhanced by 53.7%). The research and tests demonstrate that this technology can provide technical support for the efficient development of shale oil in Daqing Oilfield.

Key words: shale oil; horizontal well; ROP improvement; drilling parameters; casing program; drilling speedup tool; Daqing Oilfield

我国页岩油资源丰富, 储量超过 700×10^8 t, 准噶尔盆地、松辽盆地、渤海湾和鄂尔多斯盆地等多个

区域均发现页岩油, 部分地区初具开发规模^[1-3]。松辽盆地北部大庆古龙页岩油为典型的陆相页岩油,

收稿日期: 2021-04-02; 改回日期: 2022-05-23。

作者简介: 李玉海(1965—), 男, 黑龙江大庆人, 1988年毕业于大庆石油学院矿业机械专业, 高级工程师, 长期从事石油天然气钻井技术研究及管理工作。E-mail: liyuhai@cnpc.com.cn。

基金项目: 中国石油大庆油田分公司科技攻关项目“古龙页岩油水平井高效钻完井配套技术研究与应用”(编号: 110017333001035)部分研究内容。

主要目的层分布范围广、厚度大,岩性以层状页岩、纹层状页岩和泥岩为主。大庆油田已在古龙区块完成3口页岩油预探水平井,完钻井深2 135~4 230 m,水平段长1 630~2 220 m,钻井过程中存在井壁不稳定、井眼缩径、钻进摩阻大和定向困难等问题,导致钻井周期长、机械钻速低,全井平均机械钻速仅12.38 m/h^[4-6]。国外采用LWD+螺杆定向、旋转导向、水力振荡器和高效PDC钻头工具和采取优化钻井参数等措施,以提高页岩油钻井速度;国内川渝地区、渤海湾和新疆玛湖地区等页岩油气开发的重点区域,采用高造斜旋转导向系统、水力振荡器和高效PDC钻头等方法提高钻井速度^[7-8]。

笔者根据现场实钻经验及现有技术水平,对井身结构、井眼轨道进行优化,以降低施工难度;针对二开直井段缩径、三开造斜段和水平段钻井周期长等问题,研究了井壁修整工具、旋冲螺杆钻井工具、清砂接头和水力振荡器等工具,并进行了钻井参数优化,形成了大庆页岩油水平井钻井提速技术,现场应用效果较好,为大庆油田采用水平井高效开发页岩油提供了技术支撑。

1 页岩油地层特点及钻井难点

大庆油田页岩油储层岩性以富含有机质的泥岩、页岩为主,黏土矿物含量高,且多孔多缝,呈纹层状结构,地层水敏性强,易发生层间散裂。目的层上部为泥岩、粉砂质泥岩互层,中下部为灰黑、灰绿、紫红色泥岩、粉砂质泥岩互层,存在长泥岩段,钻进时易出现缩径、泥包钻头和卡钻等复杂情况。泥岩遇水膨胀导致缩径,影响钻井时效,增大井下遇阻卡钻事故风险;造斜段采用三维井眼轨道,造斜率难保证,入靶精准度低,并且施工困难;水平井水平段长,岩屑易堆积形成岩屑床,导致钻进过程中摩阻扭矩大,最大摩阻超过343 kN,最大扭矩24.5 kN·m,严重影响了水平段钻井速度。分析认为,大庆页岩油地层钻井提速主要存在以下技术难点:

1) 大庆页岩油水平井上部地层存在流砂层和大段泥岩,特别是目的层上部地层水化膨胀,易引起井眼缩径,导致起下钻阻卡、测井和固井前需多次反复通井,影响钻井时效;页岩储层黏土矿物含量高,井壁易剥落形成岩屑床,导致卡钻、遇阻和憋泵故障频发,已施工的3口页岩油水平井均存在不同程度的井壁剥落或坍塌、频繁憋泵和卡钻等问题。

2) 大庆油田页岩油开发以丛式井为主,一般设

计为大位移三维井眼轨道,在增斜的同时要扭方位,与常规二维井眼轨道相比,钻进摩阻增加40%以上;长水平段三维水平井因位垂比大、裸眼段长,消除偏移距后易形成井眼拐点,造成井眼轨迹控制难度大^[9-13]。已钻井采用三维井眼轨道,造斜段钻进过程中滑动摩阻扭矩急剧增大,定向工具和钻头作用力方向易偏离设计轨道,工具面不稳,滑动钻进比例高,严重影响机械钻速。

3) 页岩油水平井水平段长,岩屑不易返出,在钻柱低边堆积形成岩屑床,钻进后期钻柱与井壁之间摩阻扭矩大,钻头难以有效传递钻压,钻具极易发生弯曲,导致钻具疲劳损坏;滑动钻进时托压严重,工具面失稳,机械钻速低。已施工3口水平井水平段的平均机械钻速为8.05 m/h,与全井平均机械钻速(12.38 m/h)相差较大。

2 钻井提速关键技术

针对页岩油水平井钻井存在的井壁不稳定、井眼轨迹控制困难和钻进摩阻大等问题,提出了提高钻井速度、减少井下故障的技术思路,开展了井身结构、井眼轨道和钻井参数优化及钻井提速配套工具研究,形成了大庆油田页岩油水平井钻井提速技术,达到了提高单趟钻进尺、减少井下故障、提高机械钻速和提高“一趟钻”成功率的目的。

2.1 井身结构优化

原井身结构采用3层套管结构,二开钻至造斜点下技术套管,三开钻进造斜段和水平段,技术套管下深2 000 m左右,三开下部地层井壁失稳,影响了三开造斜段和水平段钻井安全和效率。根据大庆页岩油地质特性及后期压裂施工工艺,依据钻井安全、提高钻井效率的原则,对井身结构进行了优化:一开,采用 $\phi 444.5$ mm钻头钻进,下入 $\phi 339.7$ mm表层套管,水泥返至地面,封隔浅部水层;二开,采用 $\phi 311.1$ mm钻头钻进,下入 $\phi 244.5$ mm技术套管,水泥返至地面,封隔目的层以上大段易垮塌泥页岩层,为三开水平段钻进提供安全施工环境;三开,采用 $\phi 215.9$ mm钻头钻进,下入 $\phi 139.7$ mm油层套管,水泥返至地面,为后期压裂提供安全保障。

2.2 井眼轨道设计优化

在实现地质设计目的的前提下,充分考虑地质特征、井眼轨迹控制技术、钻进摩阻扭矩及钻井参数等因素,优化井眼轨道,以降低施工难度。已钻井采用三维井眼轨道,由于二开为直井段,三开造

斜段需要同时进行增斜和扭方位,导致滑动钻进比例高、井眼轨道不平滑、钻进摩阻增大和机械钻速低。针对以上问题,优化井眼轨道,依据造斜率小于 $6.5^{\circ}/30\text{ m}$ 的原则,在实现地质目的的前提下,兼顾降低施工难度,合理上移造斜点,二开就进行造斜施工,以降低造斜率,提高井眼平滑度。在保证水平段长度的前提下,将三维井眼轨道优化为双二维井眼轨道,上部二维井段完成偏移距,下部井段按照常规二维水平井施工,实现三维变二维。采用双二维井眼轨道井眼轨迹更平滑,井眼曲率最高降低 20%,复合钻比例提高 25%,钻进摩阻、扭矩更小,造斜段和水平段机械钻速显著提高。

2.3 钻井提速工具研究

2.3.1 井壁修整工具

页岩油水平井二开上部姚家组等地层易缩径,导致 $\phi 311.1\text{ mm}$ 井眼起下钻阻卡,测井固井前需多次往复通井,严重影响钻井周期。为解决此问题,研制了随钻井壁修整工具(见图 1)。该工具设计为四直棱结构,直棱侧面、上下斜面设计有切削齿。钻柱旋转过程中,切削齿进入缩径井段对其进行扩眼、修整,易缩径井段位置每隔 $200\sim 300\text{ m}$ 安放 1 只井壁修整工具,解决了泥岩段缩径需要多次通井的问题,可显著提高钻井时效。

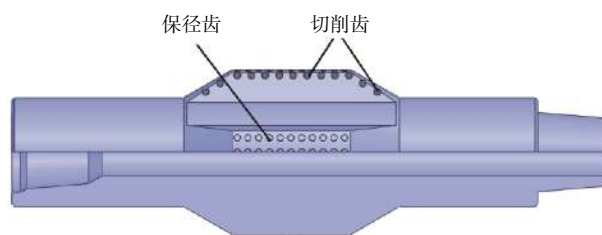


图 1 井壁修整工具的结构

Fig.1 Structure of the borehole wall dressing tool

2.3.2 旋冲螺杆钻井工具

为提高页岩油二开造斜段造斜率和机械钻速,研制了旋冲螺杆钻井工具。该工具为螺杆钻具+冲击工具一体化设计(见图 2),采用高输出扭矩的等壁厚高效螺杆,冲击部分能够将钻井液的压力能量转化为旋转破岩动力,输出高频冲击辅助钻头破岩,提高机械钻速。通过整体方案设计,旋冲螺杆工具弯点至连接钻头端面距离小于常规螺杆弯点至钻头端面距离,可提高造斜率。工具主要技术参数为:额定工作压耗 $\leq 8\text{ MPa}$,输出扭矩 $8\sim 18\text{ kN}\cdot\text{m}$,工作转速 $70\sim 130\text{ r/min}$,冲击频率 $10\sim 40\text{ Hz}$,工作温度 $0\sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$,使用寿命不小于 180 h ,弯点距离不大于 2.00 m 。旋冲螺杆钻井工具可以保护钻头,提高单只钻头的进尺和钻井速度,目前该工具已形成系列化产品及成熟的现场施工工艺。

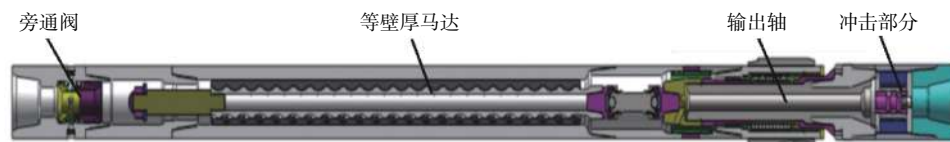


图 2 旋冲螺杆钻井工具的结构

Fig.2 Structure of the rotary screw

2.3.3 清砂接头

页岩油水平井井壁易失稳,大斜度段、水平段易形成岩屑床,仅依靠水力参数优化和工艺改进不能完全解决井眼清洁的问题^[14],为此,研制了清砂接头(见图 3)。该接头设计有 V 形螺旋槽式流道和反向螺旋结构,采用漏斗式结构,流道入口尺寸大于出口尺寸,悬浮岩屑进入 V 形螺旋槽后流速急剧增大并改变方向,提高岩屑运移速度,上返钻井液流经 V 形螺旋槽后进入反向螺旋结构形成紊流,可将低边岩屑悬浮在井筒中。工具主要技术参数为:总长 $1\,250\text{ mm}$,上下接头外径为 165 mm ;V 形螺旋槽长 $240\sim 350\text{ mm}$,最大外径 165 mm 。该工具可以破坏岩屑床,解决页岩油水平井塌块剥落造成的岩

屑堆积问题,降低沉砂卡钻风险和水平段钻进摩阻,提高机械钻速。



图 3 清砂接头的结构

Fig.3 Structure of the sand cleaning joint

2.3.4 水力振荡器

针对三开水平段滑动钻进时的托压问题,研制了水力振荡器。该工具主要由振动部分、动力部分和阀体总成组成(见图 4),其原理是利用钻井液在流经阀体总成时,因过流面积发生周期性变化从而

产生水力脉冲,将钻具与井壁之间的静摩擦力转变为动摩擦力,降低钻柱与井壁之间的摩擦阻,提高钻压传递效率^[15-16]。应用水力振荡器能够给钻头施加真实的钻压,并保证工具面稳定,提高水平井钻井

效率,降低发生井下故障的概率。水力振荡器主要工作技术参数为:排量 32~36 L/s,压降 3~4 MPa,频率 16~17 Hz,振动幅度 3~10 mm,振动冲击力 37~43 kN。



图4 水力振荡器的结构

Fig.4 Structure of the hydraulic oscillator

2.4 钻井参数优化

根据古龙页岩油地质特性,模拟计算了不同钻速、钻杆条件下返砂所需的最小排量及岩屑床高度。计算结果表明:采用 $\phi 127.0$ mm钻杆,当机械钻速为 15.0 m/h、转速为 90 r/min、排量为 33 L/s时,岩屑床高度为 3.2 mm;排量为 36 L/s时,岩屑床高度为 2.1 mm,排量与岩屑床高度成反比关系;排量超过 40 L/s时,对页岩井壁冲刷严重,井壁冲刷力增大 25%,因此确定最优排量为 33~40 L/s。数值模拟计算结果表明,当转速为 90 r/min、钻压为 98 kN时,涡动转速可达 400 r/min 以上,井壁受到瞬时侧向应力最高可达 600 MPa。为了减少钻具涡动、钻井液冲刷对井壁稳定的影响,并保证最大限度地携岩,减小岩屑床高度,根据理论计算和现场实践,对钻井参数进行了优化,确定了最优的钻井参数:排量 33~40 L/s,转速 90~110 r/min,钻压 58.8~98.0 kN。采用该钻井参数钻进可达到提速效果。

3 现场应用

3.1 总体应用情况

大庆油田页岩油水平井钻井提速技术在古龙页岩油区块 3 口井进行现场试验,平均完钻井深 4 691 m,平均机械钻速 19.03 m/h,平均钻井周期 35.23 d,与该区块之前施工的水平井相比,机械钻速提高 53.7%(见表 1)。下面以试验 1 井为例介绍现场试验情况。

表 1 3 口水平井现场试验数据

Table 1 Field test data from 3 horizontal wells

井号	井深/ m	水平段长/ m	机械钻速/ (m·h ⁻¹)	钻井周期/ d	钻速提高 效果, %
试验1井	4 735	2 150	19.34	35.25	56.22
试验2井	4 623	1 820	18.65	34.23	50.65
试验3井	4 715	2 140	19.10	36.21	54.28

3.2 试验 1 井

试验 1 井是位于古龙页岩油试验区块的一口开发井,设计井深 4 735 m,设计水平段长 2 020 m,采用三开井身结构。现场施工时,一开,采用 $\phi 444.5$ mm钻头钻至井深 265.00 m, $\phi 339.7$ mm表层套管下至井深 264.48 m;二开,采用 $\phi 311.1$ mm钻头钻至井深 2 364.00 m, $\phi 244.5$ mm技术套管下至井深 2 363.42 m;三开,采用 $\phi 215.9$ mm钻头钻至井深 4 735.00 m, $\phi 139.7$ mm生产套管下至井深 4 730.58 m。

二开从井深 296.00 m 开始进行造斜,第 1 趟钻采用 1.25°旋冲螺杆钻具与 $\phi 311.1$ mm PDC 钻头配合的钻具组合,旋冲螺杆钻具增斜能力强,可合理确定滑动钻进和复合钻进比例,提高机械钻速;进尺 1 320 m,机械钻速 43.56 m/h。第 2 趟钻采用 $\phi 311.1$ mm PDC 钻头+1.25°常规螺杆的钻具组合,距钻头 300 m 的裸眼段每隔 7 柱钻杆使用 1 只井壁修整工具,共使用 5 只井壁修整工具,防止目的层上部地层缩径导致卡钻。1 700~1 856 m 井段钻进过程中工具面不稳,定向托压严重,采用小钻压钻进,并采用大排量循环和井壁修整工具修整缩径井眼,钻进情况得到改善,第 2 趟钻进尺 779 m,机械钻速 14.78 m/h。

三开 $\phi 215.9$ mm 井段进尺 2 371 m,钻至井深 4 735 m,3 趟钻完成。第 1 趟钻采用 PDC 钻头+1.50°常规螺杆+LWD 钻具组合,初期复合钻进正常,钻至井深 2 492 m 开始定向,定向过程中出现蹩跳钻现象,滑动钻进占比 78.82%;钻至井深 2 623 m,起钻更换钻头和螺杆;第 1 趟钻进尺 259 m(2 364~2 623 m),机械钻速 6.53 m/h。第 2 趟钻采用 PDC 钻头+1.50°常规螺杆+LWD+水力振荡器钻具组合,水力振荡器距钻头 150 m,滑动钻进占比降至 40.74%,机械钻速由 6.53 m/h 提至 12.47 m/h;第 2 趟钻进尺 256 m,进入 A 靶点后起钻,换旋转导向钻具组合。第 3 趟钻采用 PDC 钻头+旋转导向工具+清砂接头钻

具组合,距钻头200 m处安放第1只清砂接头,然后每隔5柱钻杆安装1只清砂接头,清砂接头能在一定程度上减小岩屑床高度,降低卡钻风险;第3趟钻进尺1 856 m(2 879~4 735 m),机械钻速18.29 m/h。

试验1井完钻井深4 735 m,水平段长2 150 m,钻井周期35.25 d,全井平均机械钻速19.03 m/h,其中二开机械钻速高达43.56 m/h,钻井提速效果较好。

4 结论与建议

1)针对大庆油田古龙区块页岩油水平井的钻井技术难点,开展了井身结构、井眼轨道和钻井参数优化及钻井提速工具研究和等技术攻关,形成了大庆油田页岩油水平井钻井提速技术。

2)大庆油田页岩油水平井钻井提速技术解决了地层稳定性差、井眼轨迹控制困难和水平段机械钻速低等技术难点,降低了井下钻井风险,大幅度地提高了钻井速度,缩短了钻井周期,为加快大庆油田古龙区块页岩油勘探开发提供了技术支撑。

3)为了进一步提高页岩油水平井机械钻速,建议加强钻井液井壁稳定井眼清洁技术、高性能旋转导向技术和高效减摩降阻等技术攻关,进一步完善页岩油水平井钻井提速技术,更好地满足大庆古龙区块页岩油高效勘探开发的需求。

参 考 文 献

References

- [1] 王敏生,光新军,耿黎东.页岩油高效开发钻井完井关键技术及发展方向[J].石油钻探技术,2019,47(5):1-10.
WANG Minsheng, GUANG Xinjun, GENG Lidong. Key drilling/completion technologies and development trends in the efficient development of shale oil[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(5): 1-10.
- [2] 孙焕泉,蔡勋育,周德华,等.中国石化页岩油勘探实践与展望[J].中国石油勘探,2019,24(5):569-575.
SUN Huanquan, CAI Xunyu, ZHOU Dehua, et al. Practice and prospect of Sinopec shale oil exploration[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(5): 569-575.
- [3] 张锦宏.中国石化页岩油工程技术现状与发展展望[J].石油钻探技术,2021,49(4):8-13.
ZHANG Jinhong. Present status and development prospects of Sinopec shale oil engineering technologies[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(4): 8-13.
- [4] 杜金虎,胡素云,庞正炼,等.中国陆相页岩油类型、潜力及前景[J].中国石油勘探,2019,24(5):560-568.
DU Jinhui, HU Suyun, PANG Zhenglian, et al. The types, potentials and prospects of continental shale oil in China[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(5): 560-568.
- [5] 侯启军,何海清,李建忠,等.中国石油天然气股份有限公司近期油气勘探进展及前景展望[J].中国石油勘探,2018,23(1):1-13.
HOU Qijun, HE Haiqing, LI Jianzhong, et al. Recent progress and prospect of oil and gas exploration by PetroChina Company Limited[J]. China Petroleum Exploration, 2018, 23(1): 1-13.
- [6] 张瀚之,翟晓鹏,楼一珊.中国陆相页岩油钻井技术发展现状与前景展望[J].石油钻采工艺,2019,41(3):265-271.
ZHANG Hanzhi, ZHAI Xiaopeng, LOU Yishan. Development status and prospect of the drilling technologies used for continental shale oil reservoirs in China[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2019, 41(3): 265-271.
- [7] 雷浩,何建华,胡振国.潜江凹陷页岩油藏渗流特征物理模拟及影响因素分析[J].特种油气藏,2019,26(3):94-98.
LEI Hao, HE Jianhua, HU Zhenguo. Physical simulation and influencing factor analysis of the flow characteristics in the shale oil reservoir of Qianjiang Depression[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2019, 26(3): 94-98.
- [8] 王静,张军华,谭明友,等.砂砾岩致密油藏地震预测技术综述[J].特种油气藏,2019,26(1):7-11.
WANG Jing, ZHANG Junhua, TAN Mingyou, et al. Seismic prediction review for glutenite tight oil reservoir[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2019, 26(1): 7-11.
- [9] 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.
- [10] 杨灿,王鹏,饶开波,等.大港油田页岩油水平井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2020,48(2):34-41.
YANG Can, WANG Peng, RAO Kaibo, et al. Key technologies for drilling horizontal shale oil wells in the Dagang Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(2): 34-41.
- [11] 赵波,陈二丁.胜利油田页岩油水平井樊页平1井钻井技术[J].石油钻探技术,2021,49(4):53-58.
ZHAO Bo, CHEN Erding. Drilling technologies for horizontal shale oil well Fan Yeping 1 in the Shengli Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(4): 53-58.
- [12] 席传明,史玉才,张楠,等.吉木萨尔页岩油水平井JHW00421井钻完井关键技术[J].石油钻采工艺,2020,42(6):673-678.
XI Chuanming, SHI Yucai, ZHANG Nan, et al. Key technologies for the drilling and completion of shale oil horizontal well JHW00421 in Jimusar[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2020, 42(6): 673-678.
- [13] 柳伟荣,倪华峰,王学枫,等.长庆油田陇东地区页岩油超长水平段水平井钻井技术[J].石油钻探技术,2020,48(1):9-14.
LIU Weirong, NI Huafeng, WANG Xuefeng, et al. Shale oil horizontal drilling technology with super-long horizontal laterals in the Longdong Region of the Changqing Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(1): 9-14.
- [14] 郑锋,王建龙,吴欣袁,等.大斜度井岩屑床分析及新型井眼清洁工具应用[J].石油矿场机械,2018,47(1):80-82.
ZHENG Feng, WANG Jianlong, WU Xinyuan, et al. Analysis of cuttings bed in highly deviated well and application of new hole cleaning tools[J]. Oil Field Equipment, 2018, 47(1): 80-82.
- [15] 余长柏,黎明,刘洋,等.水力振荡器振动特性的影响因素[J].断块油气田,2016,23(6):842-845,850.
YU Changbai, LI Ming, LIU Yang, et al. Influence factors on vibration characteristics of hydraulic oscillator[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2016, 23(6): 842-845, 850.
- [16] 李建亭,胡金建,罗恒荣.低压耗增强型水力振荡器的研制与现场试验[J].石油钻探技术,2022,50(1):71-75.
LI Jianting, HU Jinjian, LUO Hengrong. Development and field tests of an enhanced hydraulic oscillator with low pressure loss[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2022, 50(1): 71-75.