



吉兰泰油田吉华1区块超浅层水平井钻井关键技术

谭天宇 邱爱民 汤继华 李浩 席佳男 霍丽芬

Key Drilling Technologies for Ultra-Shallow Horizontal Wells in the Jihua-1 Block of Jilantai Oilfield

TAN Tianyu, QIU Aimin, TANG Jihua, LI Hao, XI Jia'nan, HUO Lifan

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021038>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

新疆玛湖油田砂砾岩致密油水平井钻井关键技术

Key Technologies for Drilling Horizontal Wells in Glutenite Tight Oil Reservoirs in the Mahu Oilfield of Xinjiang

石油钻探技术. 2019, 47(2): 9-14 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019029>

涪陵平桥与江东区块页岩气水平井优快钻井技术

Optimized and Fast Drilling Technology for Horizontal Shale Gas Wells in Pingqiao and Jiangdong Blocks of Fuling Area

石油钻探技术. 2018, 46(3): 13-19 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018071>

吉林油田致密油水平井优快钻井完井技术

Optimized Drilling and Completion Technology for Horizontal Wells in Tight Oil Reservoirs in the Jilin Oilfield

石油钻探技术. 2021, 49(2): 9-13 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020123>

南海西部超浅层气田水平井EZFLOW无固相弱凝胶钻井液研究与应用

Research and Application of EZFLOW Solid-Free Weak Gel Drilling Fluid in Horizontal Wells in Shallow Gas Fields in the Western South China Sea

石油钻探技术. 2018, 46(2): 38-43 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018024>

济阳坳陷页岩油水平井钻井完井关键技术

Key Technologies for Drilling and Completion of Horizontal Shale Oil Wells in the Jiyang Depression

石油钻探技术. 2021, 49(4): 22-28 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021073>

克拉苏构造带博孜1区块复杂超深井钻井完井关键技术

Key Technologies for Drilling and Completing Ultra-deep Wells in the Bozi 1 Block of Kelasu Structure

石油钻探技术. 2021, 49(1): 16-21 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020130>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2021038

引用格式: 谭天宇, 邱爱民, 汤继华, 等. 吉兰泰油田吉华 1 区块超浅层水平井钻井关键技术 [J]. 石油钻探技术, 2021, 49(6): 37-41.

TAN Tianyu, QIU Aimin, TANG Jihua, et al. Key drilling technologies for ultra-shallow horizontal wells in the Jihua-1 Fault Block of Jilantai Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(6): 37-41.

吉兰泰油田吉华 1 区块超浅层水平井钻井关键技术

谭天宇¹, 邱爱民², 汤继华², 李 浩¹, 席佳男², 霍丽芬¹

(1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司, 河北任丘 062550; 2. 中国石油华北油田分公司, 河北任丘 062550)

摘 要: 吉兰泰油田吉华 1 区块在钻超浅层水平井时, 由于上部白垩系地层松软, 下部片麻岩地层硬度高、可钻性差、非均质性强, 存在造斜率难以保证、钻井周期长、硬地层水平段延伸困难和后期固井套管下入困难等问题。针对该情况, 开展了超浅层水平井钻井技术研究。结合该区块的地质特性, 应用片麻岩岩石力学参数进行模拟计算, 优化了井身结构, 进行了 PDC 个性化钻头设计, 优化了钻具组合及提速工具, 并集成环保性好、储层保护效果好的低固相钻井液和漂浮下套管等配套技术, 形成了吉兰泰油田吉华 1 区块超浅层水平井钻井关键技术。现场应用 4 口井, 均未发生任何井下复杂情况, 成井效果良好, 为该区块后续的水平井开发提供了技术支持。

关键词: 片麻岩; 水平井; 钻井; 超浅层; 井身结构; 吉华 1 区块; 吉兰泰油田

中图分类号: TE243⁺.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2021)06-0037-05

Key Drilling Technologies for Ultra-Shallow Horizontal Wells in the Jihua-1 Block of Jilantai Oilfield

TAN Tianyu¹, QIU Aimin², TANG Jihua², LI Hao¹, XI Jia'nan², HUO Lifan¹

(1. CNPC Bohai Drilling Engineering Company Limited, Renqiu, Hebei, 062550, China; 2. PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei, 062550, China)

Abstract: During the drilling of ultra-shallow horizontal wells in the Jihua-1 Block of Jilantai Oilfield, some problems were encountered due to the soft Cretaceous strata in the upper part and the high hardness, poor drillability and strong heterogeneity of the gneiss strata in the lower part. In these wells, the build up rate can not be guaranteed, the drilling cycle is long, the horizontal sections are difficult to extend in hard strata, and the later completion casings are hard to run safely. In the light of this, the drilling technologies for ultra-shallow horizontal wells were studied. Considering the geological characteristics of this region, the rock mechanics parameters of gneiss were adopted in simulation and the casing program was optimized. A customized PDC bit was designed and the bottomhole assembly and speed-up tools were optimized. In addition, supporting technologies such as float casing running and environmentally friendly low-solid drilling fluid which would effectively protect the reservoir were integrated. Thus, key drilling technologies were formed for ultra-shallow horizontal wells in the Jihua-1 Block of Jilantai Oilfield. They were applied to four wells in the field with no downhole complexity occurred, suggesting good well completion results. These technologies can provide technical support for the future development of horizontal wells in this block.

Key words: gneiss; horizontal well; drilling; ultra-shallow layer; casing program; Jihua-1 Block; Jilantai Oilfield

吉兰泰油田位于河套盆地临河坳陷西南部^[1-2], 吉华 1 区块为潜山区块, 是裂缝性块状底水油藏, 是该油田主力开发区块之一。该区块地质层系自上而

下依次为新生界第四系、中生界白垩系和太古界, 上部地层以上部和中部棕红色泥岩为主, 与灰色细砂岩互层, 胶结疏松, 易发生垮塌、井漏等井下故

收稿日期: 2020-09-01; 改回日期: 2021-02-21。

作者简介: 谭天宇 (1986—), 男, 四川武胜人, 2009 年毕业于东华大学软件工程专业, 工程师, 主要从事非常规油气钻井完井技术研究。
E-mail: tantianyu@cnpcc.cn。

基金项目: 中国石油重大科技专项“华北油田持续有效稳产勘探开发关键技术研究与应用”(编号: 2017E-15)资助。

障;目的层为太古界,岩性为片麻岩,高角度裂缝比较发育,可钻性差。为有效贯穿更多裂缝,降低水锥速度,增大油气层裸露面积,提高油井开发效率,吉华1区块采用了水平井开发。

吉华1区块潜山顶面距离地表200~600 m。而吉兰泰油田已完钻井的最大造斜率为 $4.8^{\circ}/30\text{m}$,初步估算水平井的造斜率为 $5.0^{\circ}/30\text{m}$,折算A靶点距离地表埋深应在400 m左右。考虑一定的避水高度,根据钻井工艺要求,初步确定吉华1区块水平井水平段长600~1 000 m。

截至目前,吉兰泰油田还未钻过以太古界片麻岩地层为目的层的浅层水平井。为此,针对吉华1区块超浅层水平井钻井中,由于上部白垩系地层松软,下部片麻岩地层硬度高、可钻性差,而导致的造斜率难以保证、钻井周期长、硬地层水平井眼延伸、后期固井套管下入困难等问题进行了技术攻关,形成了吉兰泰油田吉华1区块超浅层水平井钻井关键技术,取得了较好的应用效果,为该区块后续部署更长水平段的水平井提供了技术参考、积累了经验^[3-4]。

1 超浅层水平井钻井技术难点

1)地层可钻性差。吉华1区块太古界岩性主要为片麻岩,含石英岩夹层。统计得知,在该地层钻井时,平均机械钻速为2.01 m/h。通过岩石力学试验和测井数据可知,太古界地层均质性较差,可钻性6~8级。另因地层研磨性强,纯度、成分和胶结强度等存在差异,不同井的岩石单轴抗压强度波动较大,硬度不同。但该地层内摩擦角变化小,研磨性变化不大。

2)地层松软,定向困难。吉华1区块潜山埋藏浅,白垩系地层胶结疏松,成岩性差,可钻性1~3级,造斜率难以保证,定向困难。

3)垂深浅、水垂比大,水平段延伸困难。吉华1区块潜山最浅埋深200 m,以水平段长500 m计算,水平井的水垂比超过了2,钻具摩阻扭矩大,钻压难以有效传递,滑动钻进困难。

4)对钻井液性能要求高。吉华1区块浅层大斜度井,存在稳斜井段长、易形成岩屑床、携岩困难、易出现托压现象等问题。同时,储层钻遇率高,储层保护要求高。且该区块为环境敏感地区,对环保要求更为严格。

5)套管下入难度大。水垂比高,下套管时下行

阻力大,仅靠自重无法下至设计位置,需加压才能向下滑动,但常规钻机大钩加压能力有限,同时加压也可能导致套管柱发生屈曲。

2 钻井关键技术

针对上述钻井技术难点,从井身结构优化、钻具组合优化、钻井液优选,以及钻井提速提效、套管安全下入等方面进行了研究,形成了吉兰泰油田吉华1区块超浅层水平井钻井关键技术。

2.1 井身结构优化

设计水平井的井身结构时,除了考虑地层压力、密封点等因素外,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。

根据吉华1区块的地质条件和地层三压力剖面,提出了3种井身结构:

井身结构1:1)下入30 m长的导管,封流沙层;2)一开采用 $\phi 311.1\text{ mm}$ 钻头钻入太古界3~5 m,下入 $\phi 244.5\text{ mm}$ 套管;3)二开采用 $\phi 215.9\text{ mm}$ 钻头专打储层,下入 $\phi 139.7\text{ mm}$ 套管。

井身结构2:1)减小钻头尺寸,保障造斜率,下入30 m长的导管,封流沙层;2)一开采用241.3 mm钻头钻入太古界3~5 m,下入 $\phi 200.0\text{ mm}$ 套管;3)二开采用 $\phi 171.3\text{ mm}$ 钻头专打储层,下入 $\phi 139.7\text{ mm}$ 套管。

井身结构3:1)一开采用 $\phi 311.1\text{ mm}$ 钻头钻至井深201 m,下入 $\phi 244.5\text{ mm}$ 套管;2)二开采用 $\phi 215.9\text{ mm}$ 钻头钻至完钻井深,下入 $\phi 139.7\text{ mm}$ 套管完钻。

从地质情况、后期完井情况等方面考虑,选用“直—增—稳—增—稳”五段制井身剖面,造斜段采用 $6^{\circ}/30\text{m}$ 左右造斜率增斜至 60° ,稳斜20~30 m,增斜段采用 $(4^{\circ}\sim 6^{\circ})/30\text{m}$ 造斜率增斜至A靶和B靶连线井斜角度。该剖面具有以下优点:1)在白垩系地层完成造斜段施工,增斜段以较小的狗腿度增斜至设计井斜,有效降低潜山片麻岩地层定向施工难度;2)有效缩短潜山片麻岩地层定向段长度,提高机械钻速,缩短钻井周期,降低钻井施工难度。因此,选用井身结构1。

2.2 钻具组合优化

1)一开造斜钻具组合优化。主要指一开井段的螺杆优选。通过在吉华1平1井使用牙轮钻头+ 1.5° 螺杆钻具发现,白垩系泥岩起步造斜率较低,导致后期对造斜率要求高的情况。在吉华1平7井试

验了牙轮钻头+1.75°螺杆钻具,满足了造斜率 5.7°/30m 的要求。之后,吉华 1 平 11 井和吉华 1 平 13 井根据造斜率直接选用了 1.75°螺杆钻具+PDC 钻头进行造斜。

2)二开钻具组合优化。主要指二开井段的钻具组合优化。主体采用倒装钻具组合,在近钻头加放 2 柱加重钻杆,提高底部刚性,增强稳斜能力。上部在 60°井斜角之前安装加重钻杆,以保证井底钻压充足。因此,推荐二开采用以下钻具组合: $\phi 215.9$ mm 个性化 PDC 钻头+ $\phi 172.0$ mm 1.0°螺杆钻具+浮阀+MWD+ $\phi 165.1$ mm 无磁钻铤×1 根+ $\phi 127.0$ mm 加重钻杆×6 根+ $\phi 127.0$ mm 钻杆×22 根+ $\phi 127.0$ mm 水力振荡器+ $\phi 127.0$ mm 钻杆×32 根+ $\phi 127.0$ mm 加重钻杆×24 根+ $\phi 127.0$ mm 钻杆。

2.3 钻井液优选

根据室内试验结果和吉华 1 区块前期现场应用

情况,选用低固相钻井液,其配方为 1.5%~2.0% 膨润土+0.1%~0.2% 纯碱+0.1%~0.3% 烧碱+0.1%~0.2% KPAM(钻井液用聚丙烯酰胺钾盐)+0.5%~1.0% 双聚胺盐+1.0%~2.0% 改性降滤失剂+1.0%~1.5% 纳米润滑防塌剂+1.0%~2.0% 润滑封堵剂+环保润滑剂。KPAM 具有提黏、降滤失、防塌和堵漏等作用,润滑封堵剂增强封堵性能,环保润滑剂在水平井段加强润滑性。该钻井液的主要性能参数:密度为 1.05~1.08 kg/L,黏度为 40~50 s,初切力为 1~4 Pa,终切力为 5~10 Pa,API 滤失量≤5 mL。该钻井液具有环保性好、储层保护效果好、润滑性好、可减小托压、携岩效率高等特点^[5]。

2.4 套管下入方式优选

采用软件模拟分析用常规方式下套管时不同摩擦系数下的载荷和下放摩阻,结果见表 1。

由表 1 可知, $\phi 139.7$ mm 套管下至水平段距离根

表 1 常规下套管模拟分析结果

Table 1 Simulation results of conventional casing running

套管外径/mm	摩擦系数		上提载荷/kN	静载荷/kN	下放载荷/kN	下放摩阻/kN	水平段长/m
	管内	管外					
139.7	0.25	0.40	284.7	137.8	31.4	106.4	800
	0.25	0.45	300.6		17.3	120.4	

端 800 m 处时,下放摩阻 120.4 kN,而下放载荷仅为 17.3 kN,若下套管遇阻,可供下压的操控余量少,且井斜角、位移较大,存在套管无法下入的风险。

基于此,提出了下套管方案 1(漂浮下套管)和下套管方案 2(顶驱下套管),并进行了相应的效果

分析^[6-8]。

1)漂浮下套管。对不同漂浮段长度进行了模拟计算,发现漂浮段长度为 800 m 时,最有利于套管安全下入。在此基础上,模拟计算漂浮下套管时不同摩擦系数下的载荷和下放摩阻,结果见表 2。

表 2 漂浮下套管模拟分析结果

Table 2 Simulation results of float casing running

套管外径/mm	摩擦系数		上提载荷/kN	静载荷/kN	下放载荷/kN	下放摩阻/kN	水平段长/m
	管内	管外					
139.7	0.25	0.40	191.4	115.9	53.4	62.5	800
	0.25	0.45	198.0		47.7	68.2	

由表 2 可知, $\phi 139.7$ mm 套管下至水平段距离根端 800 m 处时,下放摩阻在 65 kN 左右,下放载荷在 50 kN 左右,井口操作余量较常规下套管方式增加 32.7 kN,处理复杂能力有效提高。

2)顶驱下套管。由模拟计算结果可知, $\phi 139.7$ mm 套管的安全临界载荷约为 130 kN,安全系数取 1.25,则井口套管可承受 104 kN 的压力。在水平段长 800 m、

井斜角小于 80°的工况下,常规顶驱重量按 100 kN 计算,则顶驱下套管时井口有 117.3 kN 的操作余量,而在相同工况下,漂浮下套管时井口只有 50 kN 的操作余量,说明顶驱下套管应对风险的能力更强。同时,配合半刚性套管扶正器,可减小下套管阻力。在水平段长度大于 1 000 m 且井斜角大于 80°时,建议采用“漂浮+顶驱”复合下套管方式。

2.5 钻头优选及提速提效技术

2.5.1 个性化钻头设计

针对太古界片麻岩强度高、研磨性强的特点以及浅层水平井钻压不足的问题,设计了个性化PDC钻头。具体设计方案为:采用6刀翼、 $\phi 13.0$ mm复合片孕镶切削齿,增加钻头的抗研磨性,提高钻头单趟钻的有效进尺;调小切削齿的后倾角,增强钻头吃入地层的能力;整体刀翼采用弧形设计,便于优化水力参数^[9]。

2.5.2 井眼清洁技术

在所钻水平井中,从二开造斜开始,每钻进150~200 m进行一次短起下,以破坏岩屑床,确保井眼清洁通畅。但随着井眼延伸及井斜角增大,仅依靠提高排量无法将岩屑循环出,需要在钻具组合中添加井眼清洁器。井眼清洁器的特点是直接安装在钻杆上,成为钻柱的一部分,随钻柱旋转。在旋转钻进中,井眼清洁器“清洁段”的槽道勺形结构可以起到搅动和破坏岩屑床的作用,通过改善大斜度井、大位移井、水平井井眼底边区域钻井液的流场特性,将岩屑“抛向”高边环空,

被钻井液携出,从而减少或消除岩屑堆积形成的岩屑床。理论计算认为,保证井眼不产生岩屑床的最小排量为33 L/s、转盘转速60 r/min。使用井眼清洁器时,建议尽量维持较高的排量和转速,以保证返屑顺利^[10]。

2.5.3 提速提效技术

为了克服水平井摩阻扭矩大、托压严重的问题,需要在水平稳斜段增加水力振荡器。水力振荡器在水力作用下可产生轴向振动,从而降低钻柱与井眼之间的摩阻,提高钻进中钻压传递的有效性。在定向钻进中改善钻压的传递情况,从而有效解决钻头加压难题,增加水平井的延伸长度,提高钻井效率^[11-12]。

3 现场应用

截至目前,吉兰泰油田吉华1区块4口超浅层水平井应用了超浅层水平井钻井关键技术,钻井过程中均未出现任何井下故障,现场应用效果良好(见表3)。

表3 4口超浅层水平井钻井完井参数

Table 3 Drilling and completion parameters of 4 ultra-shallow horizontal wells

井号	井深/m	垂深/m	最大井斜角/(°)	水平位移/m	水平段长/m	套管下放方式推荐	实际施工
吉华1平1井	1 422	636	78.00	1 080	817	顶驱下压	顶驱下压 (压力70~100 kN)
吉华1平7井	1 326	641	72.38	1 040	783	顶驱下压	顶驱下压 (压力40~60 kN)
吉华1平13井	1 493	663	78.13	1 132	843	顶驱下压	顶驱下压 (压力10 kN)
吉华1平11井	1 922	634	85.82	1 591	1 204	“漂浮+顶驱”复合下套管	复合下套管至接箍位置 (井深797.67 m处)

其中,吉华1平1井首次应用该技术获得成功,属于国内首口潜山片麻岩浅层水平井;吉华1平11井创造了完井井深1 922 m、水平位移1 591 m、水平段长1 204 m等3项行业纪录。

吉华1平11井采用了二开井身结构,导管封固流沙层,一开从井深107 m造斜,增斜段为107~665 m,井斜角增为75°,二开调整至83°,并在水平段(1 625~1 922 m)使用了水力振荡器+MWD+高速螺杆等的钻具组合。

吉华1平11井固井下套管时采用了“漂浮+顶驱”复合下套管技术,管串结构为: $\phi 139.7$ mm旋转式导向浮鞋+ $\phi 139.7$ mm套管1根+ $\phi 139.7$ mm舌板式浮箍+ $\phi 139.7$ mm套管1根+ $\phi 139.7$ mm阀式浮

箍+套管柱+ $\phi 139.7$ mm漂浮接箍(位于井深797.67 m处)+ $\phi 139.7$ mm套管柱(井口)。在未采取任何技术措施的情况下,仅用时8 h便顺利将169根油层套管及全部附件顺利送至预定位置,整个过程中无阻卡及异常情况发生,漂浮工具开孔正常,漂浮接箍滑套顺利推送至浮箍位置。

4 结 论

1)从井身结构优化、钻具组合优化、钻井液优选,以及钻井提速提效技术、套管安全下入技术等方面进行研究,形成了吉兰泰油田吉华1区块超浅层水平井钻井关键技术。

2)在吉华1区块超浅层水平井二开造斜段和水平井段集成应用减摩减阻技术、井眼清洁技术及“漂浮+顶驱”复合下套管技术之后,水平段由800 m延伸到了1 200 m,提高了吉兰泰油田吉华1区块的水平井技术,大幅增加了油层接触面积。

3)建议进一步深化钻井提速提效技术研究,探索试验不同种类个性化钻头及配套提速工具,以实现吉兰泰油田吉华1区块超浅层油藏的高效开发。

参 考 文 献

References

- [1] 全晓虎,蒋官澄,吕传炳,等.双疏型储层保护技术在吉兰泰油田的应用[J].钻井液与完井液,2020,37(3):306-312.
QUAN Xiaohu, JIANG Guancheng, LYU Chuanbing, et al. Reservoir protection with double hydrophobic agent in Jilantai Oilfield[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2020, 37(3): 306-312.
- [2] 杨德相,屈争辉,陈树光,等.河套盆地吉兰泰凹陷中生代构造层划分及意义[J].高校地质学报,2020,26(6):691-703.
YANG Dexiang, QU Zhenghui, CHEN Shuguang, et al. Determination of mesozoic tectostratigraphic units and its significance in Jilantai Sag, Hetao Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2020, 26(6): 691-703.
- [3] 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 techniques for horizontal wells in the deep buried hills of the Nanpu No. 2 structure[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(2): 10-16.
- [4] 李伟峰,于小龙.延长东部超浅层大位移水平井钻井技术难点与对策[J].非常规油气,2017,4(1):100-103,83.
LI Weifeng, YU Xiaolong. The ultra-shallow large displacement horizontal well drilling difficulty and solution in Yan-chang East Oilfield[J]. Unconventional Oil & Gas, 2017, 4(1): 100-103, 83.
- [5] 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.
- [6] 李维,李黔.大位移水平井下套管漂浮接箍安放位置优化分析[J].石油钻探技术,2009,37(3):53-56.
LI Wei, LI Qian. Optimization of float collar position in extended reach wells[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(3): 53-56.
- [7] 陶红胜,王涛,于小龙,等.延长石油浅层大位移水平井固井技术[J].石油矿场机械,2015,44(6):17-20.
TAO Hongsheng, WANG Tao, YU Xiaolong, et al. Cement of shallow extended reach horizontal well in Yanchang Oilfield[J]. Oil Field Equipment, 2015, 44(6): 17-20.
- [8] 王同友,王永松,张黎明,等.大位移延伸井固井技术[J].石油钻采工艺,2001,23(2):18-21.
WANG Tongyou, WANG Yongsong, ZHANG Liming, et al. Cementing technology of extended reach well[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2001, 23(2): 18-21.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.

[编辑 令文学]