

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2020037

液力扭转冲击器配合液力加压器的钻井提速 技术与现场试验

罗恒荣¹, 崔晓杰², 谭勇¹, 黎有炎¹, 赵建军²

(1. 中石化西南石油工程有限公司临盘钻井分公司, 山东临邑 251500; 2. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

摘要: 在应用PDC钻头钻进硬地层时易出现钻具粘滑振动、跳钻、钻具突然回转等问题, 导致钻头崩齿、钻具扭转变形, 从而影响钻井效率和钻头、钻具的使用寿命。为此, 研制了液力扭转冲击器和液力加压器并组合应用, 形成了液力扭转冲击器配合液力加压器的钻井提速技术。室内性能试验结果表明, 液力扭转冲击器能够产生高频冲击扭矩, 且随着排量的增加, 冲击扭矩、冲击频率和节流压力均会增加; 液力加压器可以降低钻头的剧烈振动, 从而达到提高钻速、保护钻头的目的。该技术在3口井进行了现场试验, 与邻井相比, 机械钻速分别提高了50%, 33%和68%, 且单只钻头进尺显著增加。研究表明, 液力扭转冲击器配合液力加压器的钻井提速技术, 可以大幅度提高机械钻速, 并解决定向钻井中存在的托压问题, 为实现油气藏高效开发提供了一种新技术。

关键词: 扭转冲击器; 液力加压器; 机械钻速; 钻具寿命; 钻具振动; 现场试验; 盘2-斜125井

中图分类号: TE249

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2020)03-0058-05

Research and Field Test on Drilling Acceleration Technology with Hydraulic Torsional Impactor Combined with Hydraulic Boosters

LUO Hengrong¹, CUI Xiaojie², TAN Yong¹, LI Youyan¹, ZHAO Jianjun²

(1. Linpan Drilling Company, Sinopec Southwest Oilfield Service Corporation, Linyi, Shandong, 251500, China; 2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

Abstract: When drilling into hard formations with a PDC bit, problems such as stick-slip vibration, bit bouncing and whirling of drilling string occur frequently, which causes the drill bit to collapse and the drilling string to twist and deform, hence compromising the drilling efficiency and the service life of the bit and the drill string. For this reason, based on the development of hydraulic torsional impactor and hydraulic booster as well as the combined application, a drilling acceleration technology was developed by jointly using hydraulic torsional impactor and hydraulic booster. The results of indoor performance test showed that the hydraulic torsional impactor could generate high-frequency impact torque, and the impact torque, impact frequency and choking pressure would increase with the flowrate. The hydraulic booster could effectively reduce the severe vibration in the drill bit, so as to achieve the purpose of improving ROP and protecting the drill bit. This technology was field tested in 3 wells. Compared with the adjacent wells, the ROPs were increased by 50%, 33% and 68%, respectively, and the footage of single bit was increased significantly. The research showed that the drilling speed-up technology of combining hydraulic torsional impactor with hydraulic booster could greatly increase ROP and solve the problem of WOB stacking in the directional drilling of this oilfield, which provided a technical measure to achieve an efficient development of reservoirs.

Key words: torsional impactor; hydraulic booster; penetration rate; drilling tools life; drilling tools vibration; field test; Well Pan2-Xie 125

在应用PDC钻头钻进中硬以上及高研磨性地层时, 存在严重的粘滑现象, 导致钻柱扭转振荡、钻进过程不稳定, 不但容易造成钻头复合片崩齿损坏, 也容易发生钻柱松扣及疲劳破坏等井下故障, 从而导致钻井效率降低^[1-3]。为此, 众多研究者开展了射流冲击器、液力扭转冲击器及其他复合钻井工

收稿日期: 2019-06-20; 改回日期: 2020-03-27。

作者简介: 罗恒荣(1970—), 男, 云南云县人, 1993年毕业于中国石油大学(华东)钻井工程专业, 2007年获中国石油大学(华东)石油与天然气工程专业工程硕士学位, 高级工程师, 主要从事钻井技术方面的研究与管理工作。E-mail: 13953451809@139.com。

基金项目: 国家科技重大专项之课题“海上油气田关键工程技术”(编号: 2016ZX05033-004)资助。

具辅助破岩的研究与现场试验^[4-17], 使机械钻速得到大幅提高; 同时, 针对定向井、水平井钻井中出现的托压问题, 研制应用了液力加压器^[18-20], 利用其独特的液体弹性吸收原理, 来降低钻柱的纵向振动, 改善钻进过程中钻头及钻柱的受力, 从而延长钻头、钻具的使用寿命和提高机械钻速, 避免发生井下钻具故障。为更好地发挥液力扭转冲击器及液力加压器的提速优势, 笔者研制了液力扭转冲击器和液力加压器, 并将两者组合应用, 形成了液力扭转冲击器配合液力加压器的钻井提速技术, 现场试验了 3 口井, 结果表明, 该技术提高机械钻速的效果非常明显, 为硬地层高效钻进提供了一种新的技术手段。

1 工具结构及工作原理

1.1 液力扭转冲击器

1.1.1 结构及原理

液力扭转冲击器主要由外壳和本体组成, 外壳和本体通过防脱机构及花键连接, 外壳与钻柱相连接, 本体与 PDC 钻头相连接。当钻柱旋转时, 带动冲击器外壳旋转, 外壳将钻进扭矩通过花键传递到本体和钻头。本体由碟簧、推力轴承、防砂套、启动锤、冲击锤、座体、滑动轴承、喷嘴和防脱机构组成 (如图 1 所示), 其外径为 186.0 mm、长度为 0.97 m、抗拉强度为 1 800 kN、抗扭强度为 313 kN·m, 采用 431×430 扣型。

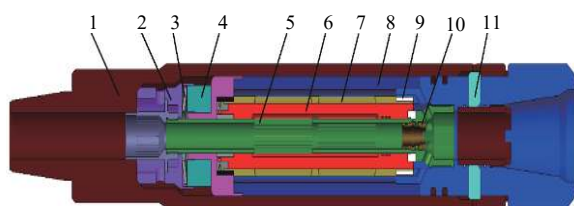


图 1 液力扭转冲击器的基本结构

Fig.1 Basic structure of hydraulic torsional impactor

1. 外壳; 2. 支撑套; 3. 碟簧; 4. 推力轴承; 5. 防砂套; 6. 启动锤;
7. 冲击锤; 8. 座体; 9. 滑动轴承; 10. 喷嘴; 11. 防脱机构

钻进过程中, 钻井液进入液力扭转冲击器内部后, 一部分钻井液从节流喷嘴流过, 产生节流压差 (Δp), 在喷嘴前后分别产生高压区和低压区; 另一部分钻井液进入工具内部液压腔体, 推动启动锤和冲击锤运行, 撞击座体产生冲击扭矩。

冲击锤和启动锤在节流压差 (Δp) 作用下一起顺时针加速旋转, 当冲击锤撞击到座体后, 停止转动, 而启动锤会因为惯性继续旋转直至撞击到冲击

锤的内部棱边, 此时高压区和低压区因为流道的切换而发生变换, 冲击锤和启动锤则在压差作用下一起反向逆时针加速旋转, 高压区和低压区会再次因为流道的切换而发生变换, 冲击锤和启动锤则又一次转向加速旋转。高压区和低压区会这样循环往复切换, 从而推动冲击锤循环往复撞击座体, 给钻头的正常钻进扭矩上叠加了一个连续、均匀、稳定的高频冲击扭矩。

1.1.2 关键设计

1) 降摩减阻设计。为了提高液力扭转冲击器的能量转化效率, 进行了降摩减阻设计: 1) 在启动锤与防砂套以及冲击锤与座体之间安装滑动轴承, 并在冲击锤与座体之间的配合面上镶嵌硬质合金块, 从而降低冲击锤和启动锤高速运转过程中的摩擦力; 2) 在外壳与本体之间安装推力轴承, 保证高频冲击扭矩可以传递到钻头而非损耗到外壳上, 从而提高冲击扭矩的传递效率, 降低冲击能量损失。

2) 耐磨损处理。启动锤、防砂套等活动部件除了承受冲击载荷作用外, 还在进行高速相对运动; 另外, 还要承受含固相颗粒流体的高速冲刷, 易发生磨损和冲蚀损坏, 从而影响工具的整体性能和使用寿命。为此, 液力扭转冲击器的高速活动部件选用了高强高韧模具钢, 淬火加回火后基体硬度可达 HRC59, 工件表面经过磁控溅射 D+ 涂层处理后硬度可达 HV2635, 耐磨性也得到了大幅提高。

1.2 液力加压器

液力加压器适用于大斜度井、水平井、定向井和套管开窗侧钻井^[18-20], 主要利用环空和工具内的钻井液压力差, 给钻头施加钻压, 可以解决水平井、大斜度井钻进过程中的托压问题。液力加压器主要由芯轴、花键筒、一级缸筒、防掉半环、连接筒、二级缸筒和上接头组成, 基本结构如图 2 所示。该工具外径为 165.1 mm、长度为 3.9 m、抗拉强度为 1 200 kN、抗扭强度为 132 kN·m, 采用 410×411 扣型。

在钻井过程中, 液力加压器直接连接在钻具组合中, 钻井液经钻柱由液力加压器上接头进入工具中心孔道, 当钻井液经下部钻具并通过钻头水眼建立循环后, 产生节流压差, 在液力加压器内部与环空之间形成的压力差对活塞杆和芯轴形成推力, 芯轴下行给钻头加压, 推动钻头钻进。当钻柱发生纵向振动时, 因钻头、芯轴、活塞杆与缸筒是通过钻井液建立的柔性连接, 向上跳动时缸筒内钻井液受压, 从钻头喷嘴流出, 起到液力减振作用, 从而达到保护钻具和钻头的目的。

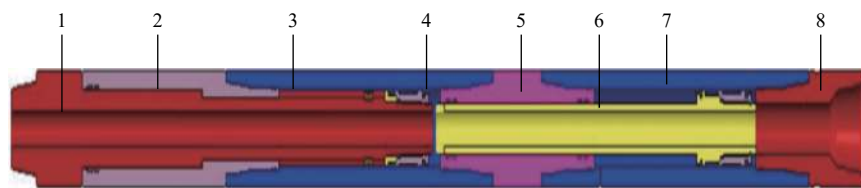


图2 液力加压器的基本结构

Fig.2 Basic structure of hydraulic booster

1. 芯轴; 2. 花键筒; 3. 一级缸筒; 4. 防掉半环; 5. 连接筒; 6. 活塞杆; 7. 二级缸筒; 8. 上接头

2 工具性能试验

2.1 冲击性能试验

为了评价液力扭转冲击器的基本性能及运行的可靠性,搭建了地面性能测试系统(如图3所示)。该系统的进液管道前端装有超声波流量计及压力表,可以准确计量工作排量和节流压力。液力扭转冲击器通过支架固定在底板上以防止发生转动,通过回液接头与管道相连,将工作流体返排至液罐,其后端与扭矩传感器连接(扭矩传感器通过支架与底板固定),当流体带动冲击锤撞击座体时,通过扭矩传感器就可以采集到冲击过程中的冲击扭矩信号,通过信号处理软件可以提取冲击过程中的冲击扭矩和频率。

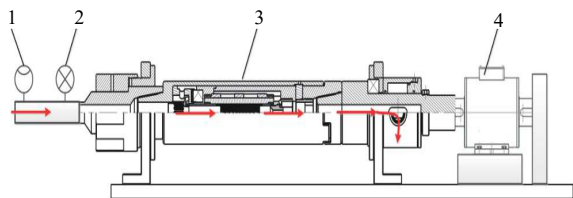


图3 液力扭转冲击器地面性能测试平台

Fig.3 Surface performance test platform of hydraulic torsional impactor

1. 流量传感器; 2. 压力传感器; 3. 液力扭转冲击器; 4. 扭矩传感器

应用如图3所示的测试平台,对液力扭转冲击器的节流压力、冲击扭矩、冲击频率与排量的关系进行了试验,结果见图4。从图4可以看出,当排量达到30 L/s时,节流压力为3.2 MPa,冲击扭矩达到了850 N·m,冲击频率达到了13 Hz。由此可见,在流体流过液力扭转冲击器时,能够产生高频冲击扭矩,且随着排量增大,冲击扭矩、冲击频率和节流压力均会增加。因此,现场应用时需要根据钻井携岩排量和压降的要求,调整合适的性能参数。

2.2 密封试验

液力加压器需要通过管串内外压力差推动活塞杆运动,其密封性对于正常运动有着至关重要的影

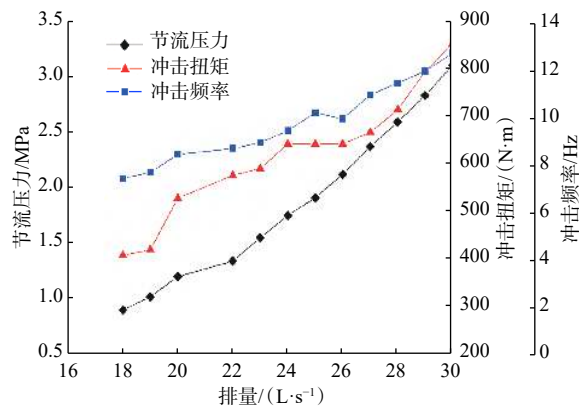


图4 液力扭转冲击器冲击性能试验结果

Fig.4 Impact test results of hydraulic torsional impactor

响。为此,通过试压试验测试了液力加压器的密封性。试验时,将专用试压接头连接到工具两端,并把进水高压胶管一端与试压接头的进水口连接,另一端与电动泵出水口连接。使下端试压接头的放气孔朝上,卸掉放气孔上的螺塞,启动电动泵注水,当工具水眼内注满水时,停泵并旋紧螺塞,再继续开泵加压至20 MPa时停泵5 min,然后再开泵,压力升至30 MPa时停泵3 min,观察压力变化情况,试验结果如图5所示。由图5可知,在两次停泵期间,压力均保持不变,表明液力加压器在30 MPa的压力下无渗漏现象,试压合格,其密封性满足现场使用要求。

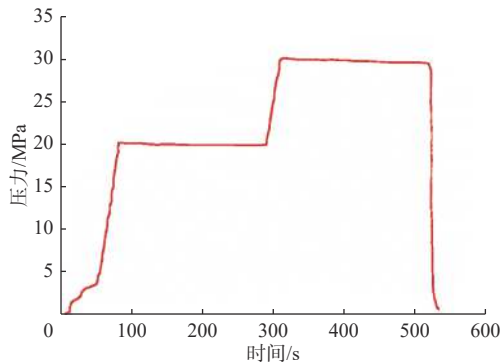


图5 液力加压器密封性试验结果

Fig.5 Sealing test results of hydraulic booster

3 现场试验

液力扭转冲击器配合液力加压器的钻井提速技术在鄂尔多斯桃 2-4-18A 井、延长油田的延 491 井以及临盘油田的盘 2-斜 125 井进行了现场试验, 与邻井相比, 机械钻速分别提高了 50%、33% 和 68%, 现场试验效果见表 1。下面以盘 2-斜 125 井为例, 详细介绍该技术的现场试验情况。

表 1 液力扭转冲击器配合液力加压器的钻井提速技术现场试验效果

Table 1 Field test results of the drilling speed-up technology of combining hydraulic torsional impactor with hydraulic booster with hydraulic booster

井号	钻进井段/ m	入井时间/ h	机械钻速/ (m·h ⁻¹)	钻速提高 幅度, %
2-4-18A	2 146~2 600	117	8.40	50
延491	3 194~3 438	76	6.39	39
盘2-斜125	260~1 317	69	26.44	68

3.1 盘 2-斜 125 井概况

盘 2-斜 125 井是一口定向井, 目的是开发盘 2-12 块沙三段下部剩余油, 设计井深 1 874.00 m, 采用二开井身结构, 一开采用 $\phi 346.1$ mm 钻头钻至井深 251.00 m, 二开采用 $\phi 215.9$ mm 钻头钻至井深 1 874.00 m。

该井造斜段 (260.00~1 317.00 m 井段) 钻遇地层为明化镇组 and 馆陶组一段及二段, 明化镇组地层岩性为土黄色泥岩、棕黄色泥岩、砂质泥岩与灰白色砂岩 (中细砂岩) 互层, 馆陶组地层岩性以灰白色砾状砂岩、中细砾岩、细砂岩为主。邻井在造斜段钻进时出现托压问题, 导致机械钻速较低, 因此该井在二开造斜段进行了液力扭转冲击器配合液力加压器的钻井提速技术试验, 以提高机械钻速。

3.2 试验效果

盘 2-斜 125 井试验井段钻具组合为 $\phi 215.9$ mm 钻头+ $\phi 186.0$ mm 液力扭转冲击器+ $\phi 171.5$ mm×1.25°单弯动力钻具+止回阀+ $\phi 158.8$ mm 无磁钻铤 1 根+MWD+ $\phi 165.1$ mm 液力增压器+ $\phi 127.0$ mm 加重钻杆 15 根+ $\phi 127.0$ mm 钻杆, 主要钻井参数为: 钻井液密度 1.1 kg/L、黏度 35 s、排量 30 L/s, 转盘转速 60~70 r/min。钻台上的短测试结果显示, 液力扭转冲击器的节流压力为 2.5 MPa, 液力增压器下部钻具压耗 7.5 MPa, 计算柔性加压为 90 kN。

该井试验井段钻进时间 68 h, 进尺 1 057.00 m, 平均机械钻速 26.44 m/h, 与邻井盘 2-斜 124 井同井

段相比, 机械钻速提高了 68%。这表明, 液力扭转冲击器配合液力加压器的钻井提速技术, 可大幅度提高机械钻速, 并解决定向钻井中存在的托压问题, 为实现油气藏的高效开发提供了一种新技术。

4 结论与建议

1) 室内试验表明, 液力扭转冲击器可以为 PDC 钻头提供频率为 13 Hz、扭矩为 850 N·m 的高频扭转冲击, 液力增压器可以起到液力减振作用, 从而达到保护钻具和钻头的目的。

2) 3 口井的现场试验结果表明, 液力扭转冲击器配合液力加压器的钻井提速技术不但能够提高机械钻速和单只 PDC 钻头的进尺, 还能保护钻头和井下工具, 延长其使用寿命。

3) 液力扭转冲击器配合液力加压器的钻井提速技术不需要改变原有的钻井工艺和钻具组合, 施工操作简单, 性能可靠, 具有良好的适应性。

4) 建议在长定向段和中硬以上地层进行试验, 进一步验证液力扭转冲击器和液力加压器的可靠性和对硬地层的适用性。

参 考 文 献

References

- [1] 闫光庆, 张金成. 中国石化超深井钻井技术现状与发展建议 [J]. 石油钻探技术, 2013, 41(2): 1-6.
YAN Guangqing, ZHANG Jincheng. Status and proposal of the Sinopec ultra-deep drilling technology [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(2): 1-6.
- [2] 汪海阁, 葛云华, 石林. 深井超深井钻完井技术现状、挑战和“十三五”发展方向 [J]. 天然气工业, 2017, 37(4): 1-8.
WANG Haige, GE Yunhua, SHI Lin. Technologies in deep and ultra-deep well drilling: present status, challenges and future trend in the 13th Five-Year Plan period (2016-2020) [J]. Natural Gas Industry, 2017, 37(4): 1-8.
- [3] 柳贡慧, 李玉梅, 李军, 等. 复合冲击破岩钻井新技术 [J]. 石油钻探技术, 2016, 44(5): 10-15.
LIU Gonghui, LI Yumei, LI Jun, et al. New technology with composite percussion drilling and rock breaking [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(5): 10-15.
- [4] 陈志学, 冯晓炜, 樊洪海, 等. 扭力缓冲器在新疆火山岩地层的应用研究 [J]. 石油机械, 2013, 41(11): 11-13.
CHEN Zhixue, FENG Xiaowei, FAN Honghai, et al. Research on the application of torsional impactor in Xinjiang's volcanic strata [J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(11): 11-13.
- [5] 周燕, 金有海, 董怀荣, 等. SLTIDT 型钻井提速工具研制 [J]. 石油矿场机械, 2013, 42(1): 67-70.
ZHOU Yan, JIN Youhai, DONG Huairong, et al. Development of SLTIDT type torsion impact fast drilling tool [J]. Oil Field Equip-

- ment, 2013, 42(1): 67–70.
- [6] 查春青, 柳贡慧, 李军, 等. 复合冲击钻具的研制及现场试验 [J]. 石油钻探技术, 2017, 45(1): 57–61.
- ZHA Chunqing, LIU Gonghui, LI Jun, et al. Development and field application of a compound percussive jet[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(1): 57–61.
- [7] 贾红军, 王攀, 冯伟雄, 等. 深井硬岩地层钻井高频低幅扭转振荡耦合冲击器研制与应用 [J]. 特种油气藏, 2018, 25(4): 158–163.
- JIA Hongjun, WANG Pan, FENG Weixiong, et al. Development and application of high-frequency low-torque impactor with torsion-oscillation coupling for drilling of deep and hard formations[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2018, 25(4): 158–163.
- [8] 罗恒荣, 索忠伟, 谭覃, 等. 防托压冲击器在盘40斜501井的应用 [J]. 石油钻探技术, 2015, 43(5): 112–115.
- LUO Hengrong, SUO Zhongwei, TAN Yong, et al. Application of reducing WOB stack impactor in Well Pan 40-Xie 501[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(5): 112–115.
- [9] 查春青, 柳贡慧, 李军, 等. PDC钻头扭转振动减振工具设计及现场应用 [J]. 特种油气藏, 2019, 26(2): 170–174.
- ZHA Chunqing, LIU Gonghui, LI Jun, et al. PDC bit torsional vibration damper design and field application[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2019, 26(2): 170–174.
- [10] 索忠伟. $\phi 228.6$ mm射流冲击器研制及硬地层提速试验 [J]. 石油钻探技术, 2019, 47(4): 54–58.
- SUO Zhongwei. The development of $\phi 228.6$ mm hydro-efflux hammer and ROP increase test in hard formations[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(4): 54–58.
- [11] 孙起昱, 张雨生, 李少海, 等. 钻头扭转冲击器在元坝10井的试验 [J]. 石油钻探技术, 2010, 38(6): 84–87.
- SUN Qiyu, ZHANG Yusheng, LI Shaohai, et al. Application of bit torsional impact generator in Well Yuanba 10[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(6): 84–87.
- [12] 侯子旭, 李双贵, 贾晓斌, 等. 深部泥岩地层扭力冲击器钻井钻头优选研究 [J]. 钻采工艺, 2014, 37(3): 36–38.
- HOU Zixu, LI Shuangui, JIA Xiaobin, et al. Optimization of the PDC bit for torque impactor drilling in the deep mudstone formation[J]. Drilling & Production Technology, 2014, 37(3): 36–38.
- [13] 周祥林, 张金成, 张东清. TorkBuster扭力冲击器在元坝地区的试验应用 [J]. 钻采工艺, 2012, 35(2): 15–17.
- ZHOU Xianglin, ZHANG Jincheng, ZHANG Dongqing. Experimental application of TorkBuster torsional impactor in Yuanba region[J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(2): 15–17.
- [14] 郑瑞强. 液动旋冲工具的研制 [J]. 石油机械, 2017, 45(1): 30–33.
- ZHENG Ruiqiang. Development of hydraulic rotary impact tool[J]. China Petroleum Machinery, 2017, 45(1): 30–33.
- [15] 祝效华, 汤历平, 童华. 高频扭转冲击钻进的减振与提速机理研究 [J]. 振动与冲击, 2012, 31(20): 75–78.
- ZHU Xiaohua, TANG Liping, TONG Hua. Rock breaking mechanism of a high frequency torsional impact drilling[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(20): 75–78.
- [16] 汤历平. 深部硬地层钻头粘滑振动特性及减振方法研究 [D]. 成都: 西南石油大学, 2012.
- TANG Liping. Research of property of bit stick-slip vibration and method of vibration absorption in deep hard formation[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2012.
- [17] 李美求, 李嘉文, 李宁, 等. 周向冲击扭矩作用下PDC钻头的黏滑振动分析 [J]. 石油钻采工艺, 2018, 40(3): 287–292.
- LI Meiqiu, LI Jiawen, LI Ning, et al. Analysis on the stick-slip vibration of PDC bit under the effect of circumferential torque impact[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018, 40(3): 287–292.
- [18] 刘勤志, 李兴杰, 张国田, 等. 水力加压器的研制与现场应用 [J]. 石油机械, 2013, 41(1): 20–23.
- LIU Qinzhi, LI Xingjie, ZHANG Guotian, et al. Development and field application of hydraulic thruster[J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(1): 20–23.
- [19] 唐玉渤, 秦利民, 赵希江. 长伸缩距液力加压器的研制 [J]. 石油矿场机械, 2010, 39(3): 85–86.
- TANG Yubo, QIN Limin, ZHAO Xijiang. Development of hydraulic thruster with long expand and contract distance[J]. Oil Field Equipment, 2010, 39(3): 85–86.
- [20] 林元华, 黄万志, 施太和, 等. 水力加压器研制及应用 [J]. 石油钻采工艺, 2003, 25(3): 1–3.
- LIN Yuanhua, HUANG Wanzhi, SHI Taihe, et al. Development and application of the thruster[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2003, 25(3): 1–3.

[编辑 陈会年]