

文章编号: 1008-2336 (2025) 02-0072-04

## 近钻头扭转脉冲钻井提速工具现场试验研究

赵金成<sup>1</sup>, 陈杰<sup>1</sup>, 陈立伟<sup>1</sup>, 李汉兴<sup>2</sup>, 柴龙顺<sup>1</sup>, 刘成真<sup>1</sup>, 程载斌<sup>2</sup>

(1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452; 2. 中海油研究总院, 北京 100029)

**摘要:** 为解决传统扭力冲击技术在解决 PDC 钻头黏滑问题时, 只能给钻头提供周向冲击扭矩, 无法提供轴向冲击震荡, 因此不能增加切削齿吃入地层深度, 提速效果受限的问题, 研制了近钻头扭转脉冲钻井提速工具。该工具在泥浆驱动下为钻头提供周向冲击扭矩和轴向震荡冲击, 实现切削地层增加, 消除和减缓钻头黏滑振动。选取海南文昌区块难钻地层作为试验井段, 采用提速工具的文昌 X-X-5 井四开 8-1/2" 井段相比 2 口对照井, 平均机械钻速提升 60.43%、75.96%, 顶驱平均扭矩值和增幅最小、变化更平顺, PDC 钻头切削齿磨损轻微。表明该工具可增加钻头吃入地层深度, 降低钻具及顶驱扭矩, 减缓或消除钻头黏滑效应, 在可钻性较差地层提速与保护钻头方面效果明显。

**关键词:** 扭转冲击; 水力脉冲; 钻井提速; 黏滑振动; 试验研究

中图分类号: TE242

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1008-2336.2025.02.072

## Field test and study for near bit torque pulse drilling speed enhancement tool

ZHAO Jincheng<sup>1</sup>, CHEN Jie<sup>1</sup>, CHEN Liwei<sup>1</sup>, LI Hanxing<sup>2</sup>, CHAI Longshun<sup>1</sup>,  
LIU Chengzhen<sup>1</sup>, CHENG Zaibin<sup>2</sup>

(1. EnerTech-Drilling & Production Co., CNOOC, Tianjin 300452, China; 2. CNOOC Research Institute, Beijing 100029, China)

**Abstract:** When deals with PDC bit stick-slip issues, the traditional torsion impact technology can only provide the bit with circumferential impact torque, but cannot provide the axial impact oscillation, so it is unable to deepen cutting teeth's penetration and has limited speed increase effect. To address this issue, a near-bit torsional pulse drilling speed enhancement tool was developed. Driven by mud, the tool provides the bits with both circumferential and axial impacts, realizing the increase of cutting formation and reduction and elimination of stick-slip vibration. The difficult-to-drill formation in Hainan's Wenchang block was selected as test sections. Compared with the two offset wells, the average penetration rate in the 8-1/2" section of Well Wenchang X-X-5 using the tool increased by 60.43% and 75.96%, the average top drive torque value and increase was minimal with smoother changes, and the PDC bit's cutter wear was slight. The results show that the tool can increase the drill bit penetration depth, reduce the tool and top drive torque, slow down or eliminate stick-slip, and is effective in improving the speed and protecting the bit in poor drillability formations.

**Key words:** torsional impact; hydraulic impulse; drilling acceleration; stick-slip; experimental research

随着油气勘探开发的不断深入, 浅层易开发常规油气资源越来越少, 深部复杂非常规油气资源正逐步成为勘探开发的重点<sup>[1]</sup>。在深部复杂非常规地层钻进过程中, 通常采用 PDC 钻头解决砾岩、花岗岩、硬砂岩难钻问题, 然而 PDC 钻头在钻进上述地层时, 钻具会出现横向涡动, 纵向憋跳及扭向黏滑等有害振动, 其中扭向黏滑严重制约 PDC 钻头机械钻速, 还影响其寿命<sup>[2-5]</sup>。

经研究发现, 通过给钻头周向提供冲击扭矩, 即

扭力冲击技术, 可缩小 PDC 齿破岩剪切力的波动范围, 减缓对 PDC 齿冲击, 降低崩齿风险, 延长钻头寿命, 提高机械钻速<sup>[6-7]</sup>。但扭力冲击技术无法增加 PDC 齿轴向吃入地层深度, 导致对钻头攻击性有较高要求, 限制了该技术的发展<sup>[8-9]</sup>。为弥补上述不足, 研制了近钻头扭转脉冲钻井提速工具。工具的扭向冲击机构与常规扭力冲击技术采用相同原理, 给钻头周向提供冲击扭矩, 水力脉冲振荡腔可产生轴向震荡冲击, 直接传递到钻头上, 增加切削齿吃入地层深度, 实现

收稿日期: 2024-08-01; 改回日期: 2024-12-10

基金项目: 中海油能源发展股份有限公司重大科技项目“海上深层深井高效钻井技术研究与工具研制(I期)”(HFKJ-ZX-GJ-2023-05-05)。

第一作者简介: 赵金成, 男, 1989年生, 硕士, 高级工程师, 2015年毕业于中国石油大学(华东)机械工程专业, 从事井下工具研发及工艺研究。

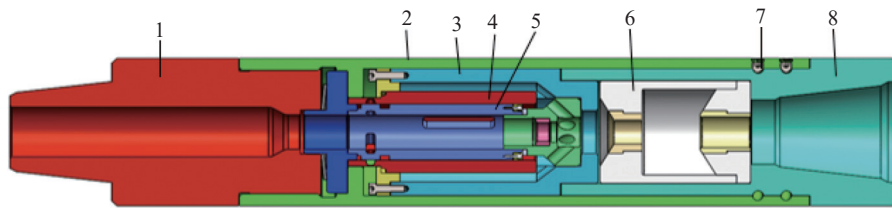
E-mail: zhaojch13@163.com。

更优提速效果。

## 1 工具结构原理及参数

提速工具上部与动力钻具或钻铤连接, 下部与 PDC 钻头连接, 工具外壳与上下接头分别采用梯形螺纹、悬挂滚珠连接 (图 1)。工具以高压钻井液为驱动介质, 钻井液从上端进入工具内部, 在内部节流喷

嘴作用下, 会产生局部压降, 驱动扭向冲向机构输出周向冲击扭矩, 周向冲击扭矩由传递轴施加到 PDC 钻头上。流经节流喷嘴及泄流通道的钻井液在水力脉冲振荡腔上方汇集, 在通过水力脉动振荡腔时, 在腔体内形成涡旋, 将连续的流体转换成震荡冲击, 增加 PDC 吃入地层深度, 同时所产生的流体脉冲可提高井底岩屑清除能力, 提速工具技术参数见表 1。



1-钻头接头; 2-工具外壳; 3-传递轴; 4-扭向冲向机构; 5-换向器; 6-水力脉冲振荡腔; 7-悬挂滚珠; 8-下接头。

图 1 近钻头扭转脉冲钻井提速工具结构示意图

Fig. 1 The structure of the near bit torsional pulse drilling speed-acceleration tool

表 1 近钻头扭转脉冲钻井提速工具参数

Table 1 Parameters of the near bit torsional pulse drilling speed-acceleration tool

型号	适用井眼/mm	适用排量/(L·s <sup>-1</sup> )	工具压耗/MPa	最大钻压/kN	工具打捞径/mm	工具长度/mm
SWN-127-I	149~200	10~18	0.8~2.6	70	121	750
SWN-178-I	212~251	25~40	1.5~3.8	180	172	930
SWN-260-I	311~445	40~75	1.8~6.3	280	244	1035

## 2 试验井及井段选取分析

根据前期作业统计, 海南文昌区块的珠海组二段、珠海组三段、恩平组一段地层岩性致密性高, 可钻性差, 地层研磨性高, 岩石抗压强度及特点见表 2。

PDC 钻头在钻进砂岩和砂砾岩层等软硬夹层, 由于地层稳定性和抗冲击性较差, 侧向不平衡力明显, 切削齿过早破坏, 影响整体机械钻速和进尺量<sup>[10-11]</sup>。因此, 选定该区块珠海组二段、珠海组三段、恩平组一段作为试验井段。

表 2 文昌区块难钻地层岩石抗压强度及特点

Table 2 The characteristics of rocks in the difficult-to-drill formations in Wenchang block

地层	岩石抗压强度/MPa	特点
珠海组二段	60~80	地层岩性较为致密, 砾石颗粒直径较小, 研磨性偏高
珠海组三段	65~120	上部地层岩性较为致密, 砾石颗粒直径小, 研磨性偏高 下部地层岩性致密性高, 可钻性极差, 研磨性极高
恩平组一段	85~150 (局部高达170)	地层岩性致密性高, 可钻性极差, 研磨性极高

南海西部文昌 X-X-5 井位于文昌 A 凹陷南部, 同平台前期已完成 4 口井钻井作业。对珠海组二段、珠海组三段、恩平组一段的出井钻头进行分析, 出现不同程度肩部切削齿磨损和肩部环形槽, 甚至部分切削齿出现崩齿现象, 对机械钻速影响明显。

文昌 X-X-5 井设计井型为直井, 已完钻四口井中也有两口直井。由于直井井身结构较简单, 作业过程

中只需监测井斜, 可避免长时间定向造斜和稳斜作业对机械钻速干扰影响, 因此选定文昌 X-X-5 井为试验井, 同平台文昌 X-X-1 井、文昌 X-XN-1 井作为对照井。

## 3 现场试验

提速工具在南海西部文昌 X-X-5 井四开 8-1/2"井

段试验应用, 设计井深 3 935.30 m, 实际完钻井深 3 945 m, 四开作业累计进尺 799 m。

试验井钻井参数为循环排量 1900~2200 L/min, 顶驱转速 90~120 r/min, 钻压 8~11 t, 泵压 11~17 MPa。两口对照井与试验井采用相同循环排量和顶驱转速, 钻压分别为 9~12 t、8.5~13 t, 泵压分别为 11~18.5 MPa、14~21 MPa, 参数接近。试验井钻具组合为 8-1/2" PDC 钻头+SWN-178-I 近钻头扭转脉冲钻井提速工具+6-3/4" 螺杆钻具+6-3/4" LWD +8-3/8"划眼器+6-3/4"滤网短节+6-3/4"浮阀接头+6-1/2"钻铤×6根+6-1/2"机械震击器+5-1/2"加重钻杆×11根+5-1/2"钻杆, 试验井与两口对照井钻具组合区别是在钻头和螺杆钻具之间增加近钻头扭转脉冲钻井提速工具。试验井采用 PDC 钻头 ST636RS 型号,

外径 215.9 mm, 六刀翼结构, 切削齿 16 mm, 喷嘴数量 6 个, 喷嘴直径 15 mm。两口对照井 PDC 钻头采用 MS1664、TS1962BR 型号, 钻头外径、刀翼数量、切削齿直径和喷嘴直径相同, 喷嘴数量为 4 个。

### 3.1 提速效果分析

提速工具在文昌 X-X-5 井四开 8-1/2"井段纯钻时间 30.74 h, 泥浆循环时间 70.04 h, 平均机械钻速 25.99 m/h。与文昌 X-X-1 井、文昌 X-XN-1 井同井段平均机械钻速 16.20、14.77 m/h 相比, 分别提速 60.43%、75.96%。从图 2 可看出, 随着地层可钻性变差, 三口井机械钻速逐渐降低; 试验井与两口对照井相比, 在珠海组一段提速较低, 在珠海组二段、珠海组三段、恩平组一段提速较高。

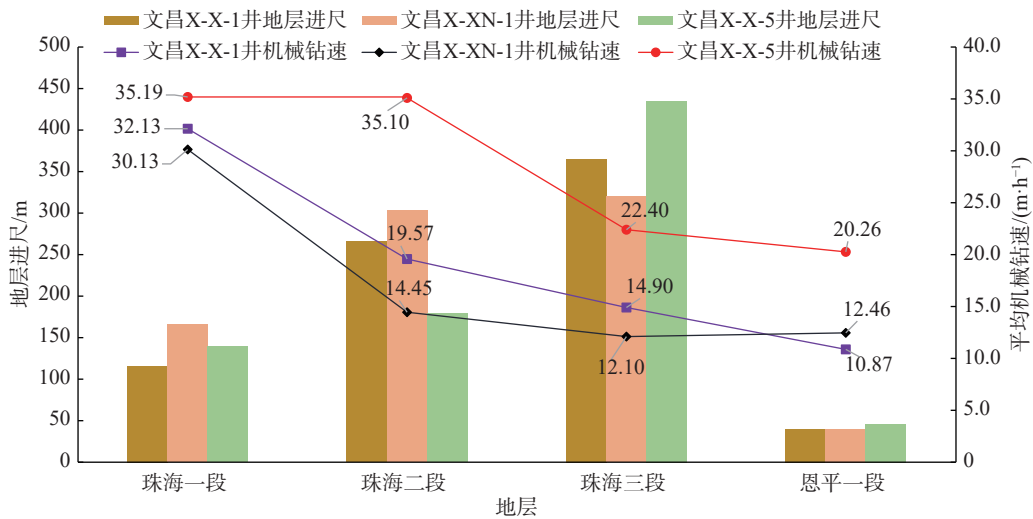


图2 文昌 X-X-5 井应用提速工具提速效果对比

Fig. 2 Comparison of drilling acceleration performance using drilling speed enhancement tool in Well X-X-5

### 3.2 钻头保护性分析

选取三口井 8-1/2"井眼部分井段顶驱输出扭矩值进行数据采集编号, 绘制折线 (图 3)。随着钻进井

段加深, 三口井顶驱输出扭矩值不断增大, 但试验井平均扭矩值和增幅最小, 且变化更加平顺。该结果说明试验井在采用提速工具后, 因钻头吃入地层深度增

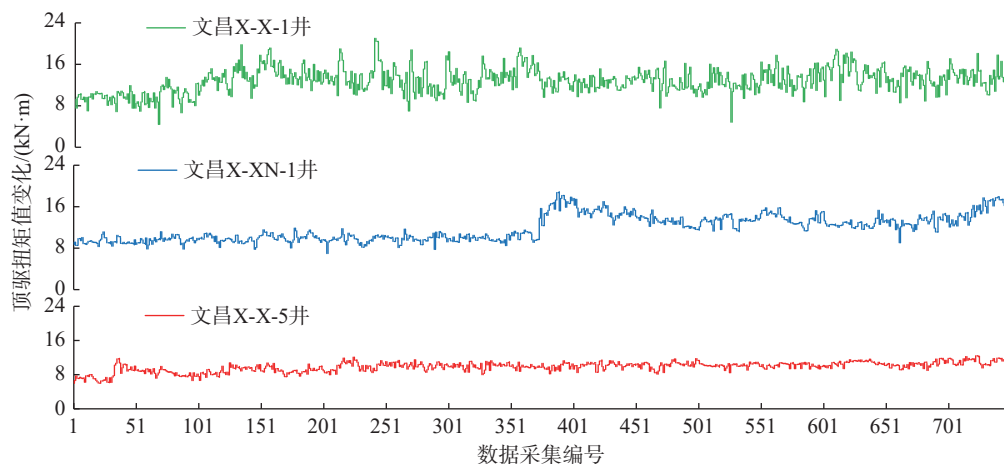


图3 钻组组合扭矩值变化曲线

Fig. 3 Curve of the change in torque values of the drilling assembly

加导致扭矩提高并未传递到顶驱, 主要由提速工具周向冲击扭矩提供。试验井 PDC 钻头切削齿在破岩时, 剪切扭矩波动幅度最小, 此现象对防止切削齿磨损和崩齿有积极效果。三口井 PDC 钻头参数见表 3, 使用前后对比见图 4。

通过表 3、图 4 分析, 两口对照井 PDC 钻头磨损严重, 且出现切削齿破碎、崩齿现象, 试验井 PDC 钻头切削齿轻微磨损, 满足再次入井要求。试验结果表明, 提速工具在保护钻头, 延长使用寿命方面具有明显效果。

表 3 三口井 PDC 钻头参数

Table 3 Parameters of PDC bits in three wells

井号	进尺/m	纯钻时间/h	平均钻速/(m/h)	钻头评价	数量
文昌X-X-1	787	46.16	16.20	3-1-CT-A-X-I-NO-TD	1只
文昌X-XN-1	829	56.13	14.77	3-3-CT-A-X-I-NO-TD	1只
文昌X-X-5	799	30.74	25.99	1-1-WT-A-X-I-NO-TD	1只



图 4 三口井 PDC 钻头使用前后对比

Fig. 4 Comparison of PDC bits in three wells before and after use

## 4 结论与认识

(1) 试验表明, 通过对钻头施加周向冲击扭矩及水力脉动震荡, 可增加钻头吃入地层深度, 有效降低钻具及顶驱扭矩值, 缩小扭矩值变化幅度, 减缓或消除钻头黏滑效应, 且提速工具对钻头切削齿具有保护作用。分析地层可钻性、机械钻速提高率, 表明提速工具在可钻性较差地层, 提速效果更加明显。

(2) 后续将结合提速工具周向冲击频率、水力脉动震荡频率与钻头切削齿破岩速度做进一步研究,

持续优化工具性能。

### 参考文献:

- [1] 谢玉洪. 中国海洋石油总公司油气勘探新进展及展望 [J]. 中国石油勘探, 2018, 23 (1): 26-35.
- [2] 穆总结, 李根生, 黄中伟, 等. 振动冲击钻井提速技术现状及发展趋势 [J]. 石油钻采工艺, 2020, 42 (3): 253-260.
- [3] 王滨, 邹德永, 李军, 等. 深部及复杂地层中 PDC 钻头综合改进方法 [J]. 石油钻采工艺, 2018, 40 (1): 44-51.
- [4] 靳大松, 霍如军, 张家振, 等. 塔里木油田富源区块钻井提速关键技术 [J]. 钻采工艺, 2021, 44 (1): 125-128.
- [5] 查春青, 陈杰, 赵金成, 等. 地层硬度突增时 PDC 钻头黏滑振动分析 [J]. 石油机械, 2019, 47 (8): 15-20.
- [6] 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.
- [7] 薛亮, 张伟国, 肖夏, 等. 新型钻井提速技术在南海东部古近系地层应用 [J]. 海洋石油, 2021, 41 (1): 73-77.
- [8] 陈杰, 牟小军, 李汉兴, 等. 旋冲振荡钻井提速工具的研制与应用 [J]. 断块油气田, 2020, 27 (3): 386-389.
- [9] 熊振宇, 田壮壮, 何阳子, 等. 复合冲击器在西湖凹陷深部地层钻井中的应用 [J]. 海洋石油, 2021, 41 (4): 85-89.
- [10] 史吉辉. 莺歌海盆地盖层泥岩钻井提速研究 [J]. 海洋石油, 2018, 38 (3): 52-55, 60.
- [11] 林四元, 李中, 黄熠, 等. 南海文昌区块深部地层旋转切削齿 PDC 钻头提速技术 [J]. 石油钻探技术, 2017, 45 (6): 65-69.