

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2019085

φ228.6 mm 射流冲击器研制及硬地层提速试验

索忠伟

(中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

摘 要: 涪陵页岩气田二开 φ311.1 mm 直井段钻遇的龙潭组、茅口组地层坚硬, 可钻性差, 钻头使用寿命短, 机械钻速低。为了提高该井段机械钻速, 研制了 φ228.6 mm 射流冲击器, 并进行了台架试验, 结果显示, 该射流冲击器性能参数可调范围大, 当行程、冲锤质量和排量变化而其他条件不变时, 冲击力、单次冲击功、冲击频率随之呈近线性变化。在台架试验的基础上, 优选了 φ228.6 mm 射流冲击器的结构及性能参数, 优化了钻具组合及旋冲钻井参数, 并在焦页 109-1HF 井硬地层进行了现场试验。现场试验结果表明, φ228.6 mm 射流冲击器提速效果显著, 较邻井二开平均机械钻速提高 104.9%。φ228.6 mm 射流冲击器的成功研制, 为涪陵页岩气田二开直井段硬地层钻井提速提供了有效的技术手段。

关键词: 射流冲击器; 硬地层; 冲击功; 冲击频率; 旋冲钻井; 钻井提速

中图分类号: TE242; TE921+.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2019)04-0054-05

The Development of φ228.6 mm Hydro-Efflux Hammer and ROP Increase Test in Hard Formations

SUO Zhongwei

(Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

Abstract: The Longtan- Maokou Formations in the φ311.1 mm vertical section of Fuling Shale Gas Field are characterized by high hardness and poor drillability, resulting in short service life of drill bit, and low ROP. In order to improve the ROP in this interval, a φ228.6 mm hydro-efflux hammer was developed, and the bench test was conducted. The results of bench test showed that the performance parameters of φ228.6 mm hydro-efflux hammer were adjustable in a wide range. While stroke, hammer mass and flowrate were variable, and other conditions remained unchanged, the impact force, single impact work and impact frequency exhibited a nearly linear change correspondingly. On the basis of bench tests, the structure and performance parameters of φ228.6 mm hydro-efflux hammer were properly selected, BHA and rotary percussion drilling parameters were optimized, and a field test was carried out in Well Jiaoye 109-1HF. The results of field test suggested that the φ228.6 mm hydro-efflux hammer had a significant drilling speed-up effect, which was 104.9% higher than the average ROP in the second interval of the adjacent wells. The successful development of φ228.6 mm hydro-efflux hammer could provide an effective solution for drilling speed-up in the hard formation of the second vertical section in Fuling Shale Gas Field.

Key words: hydro-efflux hammer; hard formation; impact power; impact frequency; rotary percussion drilling; drilling speed-up

涪陵页岩气田二开 φ311.1 mm 直井段钻遇的龙潭组、茅口组地层以灰岩为主, 夹碳质泥岩、硅质泥岩, 局部含黄铁矿, 软硬地层交错, 可钻性差, 通常需要 2 趟钻才能钻完该井段^[1-4]。使用 PDC 钻头钻进软硬交错地层时, 易造成 PDC 齿剪崩, 影响钻头使用寿命, 且机械钻速通常为 7.00~10.00 m/h, 仍有很大的提速空间; 使用牙轮钻头钻进时进尺少、钻速低, 平均进尺 100.00 m 左右, 机械钻速不到 5 m/h。因此, 需要探索适合涪陵页岩气田二开井段的钻井提速技术, 以解决该井段硬地层机械钻速低、钻头

使用寿命短和进尺少的问题。

旋冲钻井技术用于油气钻井提速, 已得到国内外广泛认同, 并日趋成熟^[5]。目前, φ177.8 mm 射

收稿日期: 2018-10-30; 改回日期: 2019-06-18。

作者简介: 索忠伟 (1970—), 男, 辽宁锦州人, 1994 年毕业于长春地质学院勘察工程专业, 2006 年获吉林大学地质工程专业博士学位, 高级工程师, 主要从事钻井工艺及提速工具方面的研究工作。E-mail: suozhongwei123@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项“复杂地层钻井提速提效关键工具与装备”(编号: 2016ZX05021-003) 资助。

流冲击器已成功推广应用, 主要适用于 $\phi 215.9 \sim \phi 241.3$ mm 井段的钻井提速, 但无法满足 $\phi 311.1$ mm 直井段的排量要求, 因此, 针对 $\phi 311.1$ mm 直井段硬地层机械钻速低、钻头使用寿命短等问题, 进行了与其相适应的 $\phi 228.6$ mm 射流冲击器的研制。笔者分析了目标层段的技术需求及射流冲击器的优势, 进行了结构参数设计; 开展了台架性能试验, 得出了行程、冲锤质量及排量对射流冲击器单次冲击功、冲击力、冲击频率的影响规律; 根据台架试验结果, 优化了射流冲击器的结构性能参数, 并在焦页 109-1HF 井进行了现场试验, 取得了显著提速效果。

1 射流冲击器的优势及结构设计

1.1 射流冲击器的优势

涪陵页岩气田二开 $\phi 311.1$ mm 直井段钻井仅靠研发新型钻头或仅靠优化钻井参数已不能满足提速要求, 需要研究“新型高效破岩钻头+协同破岩工具+强化钻井参数”的复合钻井提速技术。旋冲钻井技术是一种复合钻井提速技术, 是在常规钻井的基础上加装射流冲击器, 在常规旋转破岩的同时, 给钻头施加高频冲击力, 从而实现旋转与冲击联合破岩。尤其是对于硬脆性地层, 当冲击功达到一定值后即可产生“体积破碎”, 提高破岩效率, 同时延长钻头使用寿命, 降低井下故障的发生概率, 提高钻井速度。

射流冲击器与 PDC 钻头配合使用, 能有效发挥 PDC 钻头钻速高、进尺长的优势, 减少起下钻次数, 缩短钻井周期, 从而降低钻井成本。钻进过程中, 射流冲击器可以将钻井液的能量转化为低幅、高频动载冲击, 该冲击的周向分力提供脉冲扭矩, 与钻机旋转系统产生的稳态扭矩叠加并传递给钻头; 其轴向分力能够辅助钻头吃入岩层, 并造成岩石应力集中, 在剪切破岩的同时产生冲击, 压碎破岩。而且, 在钻进过程中高频、有规律的冲击动载既能防止钻头憋卡或打滑, 又有助于减少跳钻等有害振动, 进而延长钻头的使用寿命, 提高单只钻头的进尺^[6-10]。

1.2 结构设计及工作原理

$\phi 228.6$ mm 射流冲击器的总体设计方案: 优选工具材料, 优化核心部件结构参数, 优化传递机构参数, 轴向、径向静密封选用耐高温、耐高压及耐疲劳的橡胶密封件; 运动副采用金属环槽密封, 优选

运动副表面处理技术; 为满足不同层段的岩性要求, 其性能参数要可调, 以确保不影响钻头使用寿命; 进行强度校核, 以确保射流冲击器的安全性和可靠性。

该射流冲击器主要由控制机构、动力机构和能量传递机构等部分组成, 其结构如图 1 所示(左端为上部)。

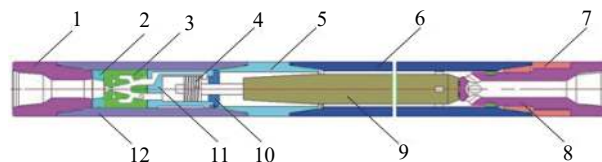


图 1 射流冲击器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the hydro-efflux hammer

1. 上接头; 2. 分流装置; 3. 射流元件; 4. 活塞; 5. 中接头;
6. 外管; 7. 八方; 8. 砧子; 9. 冲锤; 10. 缸盖; 11. 缸体; 12. 外缸

$\phi 228.6$ mm 射流冲击器既可以直接与钻头连接使用, 也可放置在螺杆钻具和 MWD 之间。

$\phi 228.6$ mm 射流冲击器的工作原理是: 钻井液循环时经过射流冲击器上接头、分流装置, 一部分钻井液经分流装置两侧的分流孔直接流到井底, 不参与做功; 另一部分钻井液流过射流元件(控制机构), 基于射流附壁原理, 钻井液流动方向发生有规律的高频切换, 使钻井液交替作用于缸体(动力机构)的上、下腔。如果钻井液首先从上腔流入, 则从下腔排出, 推动活塞带动冲锤向下高速运动(冲程), 直到冲锤冲击到砧子(传递机构), 砧子将冲击产生的能量以应力波的形式传递给钻头, 辅助钻头高效破岩, 完成一次冲击。同时, 钻井液在控制机构的作用下, 完成流动方向的切换, 改变流动方向, 即钻井液从下腔流入, 从上腔排出, 推动活塞带动冲锤向上运动(回程), 直到活塞运动到上死点, 完成一次回程。回程完成后, 进入下一轮的冲击和回程, 如此循环往复, 产生高频连续冲击。砧子与八方滑动配合, 可以同时传递轴向冲击能量和周向扭矩, 轴向传递高频动载冲击, 径向带动钻头回转切削复合破岩, 从而提高破岩效率。

2 冲击器性能台架试验

通过台架试验分析射流冲击器的性能参数(冲击功、冲击力和冲击频率)与结构参数(行程和冲锤质量)及水力参数(排量)之间的关系, 进而为射流冲击器的结构及性能参数优化提供试验依据。台架

试验选取不同行程、不同冲锤质量和不同水力参数,通过系列试验,分析 $\phi 228.6$ mm射流冲击器不同条件下冲击功、冲击力及冲击频率的变化规律。

2.1 排量对性能参数的影响

当行程为 55.0 mm、冲锤质量为 85 kg、分流直径为 15.0 mm 时,通过试验,分析排量对 $\phi 228.6$ mm射流冲击器性能参数的影响规律,试验结果见表 1。

表 1 排量对射流冲击器性能参数的影响

Table 1 Effect of flowrate on performance parameters of hydro-efflux hammer

序号	排量/ (L·s ⁻¹)	泵压/ MPa	背压/ MPa	冲击力/ kN	冲击功/ J	冲击频率/ Hz
1	45	2.9	0	105	258	8.9
2	50	3.2	0	115	345	10.8
3	55	3.6	0	136	425	11.6

从表 1 可以看出,其他条件不变时, $\phi 228.6$ mm射流冲击器的冲击力、单次冲击功、冲击频率随排量增大呈近线性增大。

2.2 行程对性能参数的影响

当排量为 50 L/s、冲锤质量为 85 kg、分流孔直径为 15.0 mm 时,通过试验,分析行程对 $\phi 228.6$ mm射流冲击器性能参数的影响规律,试验结果见表 2。

表 2 行程对射流冲击器性能参数的影响

Table 2 Effect of stroke on performance parameters of hydro-efflux hammer

序号	行程/ mm	泵压/ MPa	背压/ MPa	冲击力/ kN	冲击功/ J	冲击频率/ Hz
1	25	3.2	0	86	168	12.2
2	35	3.2	0	102	236	11.1
3	55	3.2	0	115	345	10.8

从表 2 可以看出,其他条件不变时, $\phi 228.6$ mm射流冲击器的冲击力、单次冲击功随行程增大呈近线性增大,频率呈近线性降低。

2.3 冲锤质量对性能参数的影响

当排量为 50 L/s、行程为 55.0 mm、分流孔直径为 15.0 mm 时,通过试验,分析冲锤质量对 $\phi 228.6$ mm射流冲击器性能参数的影响规律,结果见表 3。

从表 3 可以看出,其他条件不变时, $\phi 228.6$ mm射流冲击器的冲击力、单次冲击功随冲锤质量增大

表 3 冲锤质量对射流冲击器性能参数的影响

Table 3 Effect of hammer mass on performance parameters of hydro-efflux hammer

序号	冲锤质量/ kg	泵压/ MPa	背压/ MPa	冲击力/ kN	冲击功/ J	冲击频率/ Hz
1	65	3.1	0	46	215	11.2
2	75	3.1	0	57	259	10.9
3	85	3.2	0	115	345	10.8

呈近线性增大,频率呈近线性降低。

2.4 主要技术参数设计

$\phi 228.6$ mm射流冲击器的型号为 YSC-228。依据台架试验结果,结合其性能参数与岩石抗钻特性参数的匹配关系,设计了其主要技术参数:长度 2 793.00 mm,冲击功 120~660 J,冲击频率 6~20 Hz,压降 1.0~3.8 Pa;上、下接头的扣型均为 API 630。

3 旋冲钻井参数设计

3.1 设计依据

影响旋冲钻井提速效果的主要因素有钻压、转速、排量和冲击功。现场应用中,通常不改变常规钻井参数(钻压、转速、排量),因此旋冲钻井参数设计的关键是冲击功的优化设计。钻进不同地层时,破岩所需要的最优冲击功不同,依据岩石可钻性、硬度或抗压强度与冲击器性能参数的匹配关系,确定合理的冲击器结构性能参数,以满足破岩所需的冲击功^[11-14]。

利用测井资料求取试验井段几种典型岩石(泥岩、砂岩和页岩)的抗压强度,构建了几种岩石抗压强度与冲击功的匹配关系,结果见图 2。

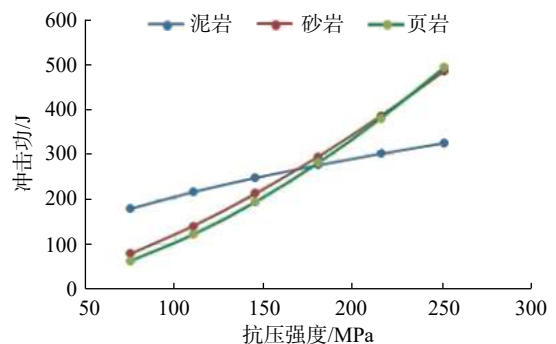


图 2 泥岩、砂岩、页岩抗压强度与冲击功的关系

Fig. 2 Relationships between the compressive strength of mudstone, sandstone and shale and impact power

3.2 配合牙轮钻头时的参数设计

$\phi 228.6$ mm 射流冲击器在与牙轮钻头配合使用时,依据牙轮钻头的额定钻压,确定该冲击器需要额外施加的钻压。例如:HJT637G 型钻头的额定钻压为 260 kN,常规钻井钻压为 180 kN,则 $\phi 228.6$ mm 射流冲击器需要额外施加的钻压应小于 80 kN,通常设为 40 kN,即安全系数取 2.0,以确保钻头不会受损。

3.3 配合 PDC 钻头时的参数设计

$\phi 228.6$ mm 射流冲击器与 PDC 钻头配合使用时,依据 PDC 钻头额定抗冲击功设计,PDC 钻头额定抗冲击功为其所有单齿抗冲击功的总和,其大小取决于单齿抗冲击功及钻头冠部布齿数量。例如:FX65X3 型钻头冠部共有 49 颗切削齿,单齿抗冲击功为 60 J,因此,理论上该型号钻头额定抗冲击功为 2 940 J,远远大于冲击器设计的最大冲击功,进一步证明了冲击器不会损害钻头。实际应用中,考虑 PDC 齿的寿命,通常采用更高的安全系数,目前安全系数采用 5~10,推荐冲击功在 600 J 以内。

4 现场试验

涪陵页岩气田志留系(嘉陵江组、飞仙关组)、二叠系(长兴组、龙潭组、茅口组)地层岩石可钻性级值为 4~7 级,抗压强度为 80~210 MPa。

$\phi 228.6$ mm 射流冲击器在涪陵页岩气田焦页 109-1HF 井进行了现场试验。焦页 109-1HF 井为水平井,设计井深 6 140.00 m,试验井段 1 306.00~2 183.00 m,钻遇地层为龙潭组、茅口组,地层岩性为碳质泥岩、灰色灰岩和生屑灰岩。现场试验时不改变常规钻井参数,钻压 60~80 kN,转盘转速 90 r/min,排量 55 L/s。针对试验井段岩石抗压强度,优选了 $\phi 228.6$ mm 射流冲击器的性能参数:冲击功 325~415 J,冲击力 50~60 kN,冲频率 11~12 Hz。优选钻具组合为: $\phi 311.1$ mm PDC 钻头+1.0°弯螺杆+稳定器+止回阀+ $\phi 228.6$ mm 射流冲击器+MWD 短节+无磁钻铤+钻铤+钻杆。

$\phi 228.6$ mm 射流冲击器试验井段与邻井对应井段机械钻速对比情况如表 4 所示。

表 4 焦页 109-1HF 井与邻井机械钻速对比
Table 4 Comparison on the ROPs of Well Jiaoye 109-1HF and adjacent wells

井号	钻头型号	钻进方式	钻进井段/m	进尺/m	钻进时间/h	钻速/(m·h ⁻¹)
焦页109-1HF	KM1653DAR	旋冲	1 306.00~2 183.00	877.00	52.83	16.60
焦页109-3HF	KM1653DAR	非旋冲	1 320.00~1 938.00	618.00	82.95	7.45
焦页109-4HF	KM1653DAR	非旋冲	1 316.00~1 943.00	627.00	70.77	8.86
同平台平均指标	KM1653DAR	非旋冲	二开井段	622.00	76.79	8.10

由表 4 可知, $\phi 228.6$ mm 射流冲击器试验井段单只钻头进尺与邻井焦页 109-3HF 井、焦页 109-4HF 井相比分别增加 259.00 和 250.00 m,机械钻速分别提高 122.8% 和 87.4%,与该平台二开平均机械钻速相比提高 104.9%。出井后 PDC 钻头未见明显损坏,表明射流冲击器有效提高了机械钻速,而且有利于消除钻头的蹩卡及跳钻现象,延长钻头使用寿命。

$\phi 228.6$ mm 射流冲击器试验井段与同平台邻井同井段钻井进程对比情况如图 3 所示。

由图 3 可知, $\phi 228.6$ mm 射流冲击器试验井段与邻井同井段相比,所用时间最短,缩短了钻井周期,有利于降低钻井成本,实现降本增效的目的。

5 结论与建议

1)为了满足涪陵页岩气田二开 $\phi 311.1$ mm 直井段的提速需求,研制了适用于该尺寸井眼工况条件

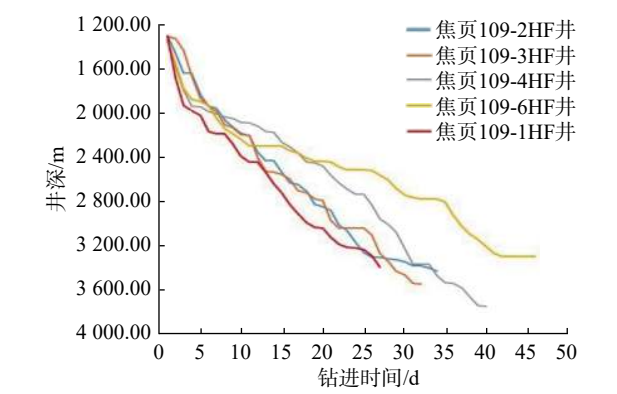


图 3 试验井段与同平台邻井同井段钻井进程对比
Fig. 3 Comparison on the drilling progression of the testing well section and the same well section in adjacent wells of the same platform

的 $\phi 228.6$ mm 射流冲击器。
2)台架试验结果表明, $\phi 228.6$ mm 射流冲击器的冲击功随行程和冲锤质量增大呈近线性增大,冲

击频率随行程和冲锤质量增大呈近线性降低;二者均随排量增大呈线性增大。

3)现场试验结果表明,在保持现场钻井参数不变的情况下,钻具组合中增加 $\phi 228.6$ mm射流冲击器可有效提高机械钻速,增加单只钻头进尺。

4)建议开展 $\phi 228.6$ mm射流冲击器性能参数与钻头抗冲击特性匹配研究,进一步合理放大冲击能量,强化提速效果。

参 考 文 献

References

- [1] 牛新明. 涪陵页岩气田钻井技术难点及对策[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(4): 1-6.
NIU Xinming. Drilling technology challenges and resolutions in Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(4): 1-6.
- [2] 张敏, 刘明国, 兰凯, 等. 焦石坝页岩气水平井钻井提速工具应用[J]. 钻采工艺, 2016, 39(1): 6-9.
ZHANG Min, LIU Mingguo, LAN kai, et al. Application of drilling tools to improve ROP of shale gas well in Jiaoshiba Block[J]. Drilling & Production Technology, 2016, 39(1): 6-9.
- [3] 沈国兵, 刘明国, 晁文学, 等. 涪陵页岩气田三维水平井井眼轨迹控制技术[J]. 石油钻探技术, 2016, 44(2): 10-15.
SHEN Guobing, LIU Mingguo, CHAO Wenxue, et al. 3D trajectory control technology for horizontal wells in the Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(2): 10-15.
- [4] 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.
AN Jun, LIU Weidong, ZHANG Jincheng. Drilling technology progress and recommendations for the Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(4): 9-15.
- [5] 曹丽平, 雷明生, 鲍远敦, 等. 油井液动冲击器的应用[J]. 石油矿场机械, 2005, 34(4): 100-101.
CAO Liping, LEI Mingsheng, BAO Yuandun, et al. Hydraulic hammer application in oil well[J]. Oil Field Equipment, 2005, 34(4): 100-101.
- [6] 张明勇. 塔河油田长裸眼井快速钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(1): 17-19.
ZHANG Mingyong. The faster drilling techniques for long open holes in Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2004, 32(1): 17-19.
- [7] 李广国, 索忠伟, 王甲昌, 等. 射流冲击器配合PDC钻头在超深井中的应用[J]. 石油机械, 2013, 41(4): 31-34.
LI Guangguo, SUO Zhongwei, WANG Jiachang, et al. Application of jet hammer and PDC bit in superdeep wells[J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(4): 31-34.
- [8] 黄志强, 范永涛, 魏振强, 等. 冲旋钻头破岩机理仿真研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(1): 148-150.
HUANG Zhiqiang, FAN Yongtao, WEI Zhenqiang, et al. Emulation study on rock-breaking mechanism of percussion-rotary bit[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2010, 32(1): 148-150.
- [9] 黄家根, 汪海阁, 纪国栋, 等. 超声波高频旋冲钻井技术破岩机理研究[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(4): 23-29.
HUANG Jiagen, WANG Haige, JI Guodong, et al. The rock breaking mechanism of ultrasonic high frequency rotary-percussive drilling technology[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(4): 23-29.
- [10] 马广军, 王甲昌, 张海平. 螺杆驱动旋冲钻井工具设计及试验研究[J]. 石油钻探技术, 2016, 44(3): 50-54.
MA Guangjun, WANG Jiachang, ZHANG Haiping. The design and experimental study of PDM driven rotary percussion drilling tool[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(3): 50-54.
- [11] 张晓东, 易发全, 张强, 等. PDC钻头与岩石相互作用规律试验研究[J]. 江汉石油学院学报, 2003, 25(增刊A): 64-65.
ZHANG Xiaodong, YI Faquan, ZHANG Qiang, et al. Experimental study of interacting laws of PDC bit with rock[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2003, 25(supplement A): 64-65.
- [12] 徐小荷, 余静. 岩石破碎学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1987: 45-68.
XU Xiaohe, YU Jing. Rock fragmentation[M]. Beijing: Coal Industry Press, 1987: 45-68.
- [13] 马清明, 王瑞和. PDC切削齿破岩受力的试验研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2006, 30(2): 45-47, 58.
MA Qingming, WANG Ruihe. Experimental study on force of PDC cutter breaking rock[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2006, 30(2): 45-47, 58.
- [14] 陈勇, 吴仲华, 聂云飞, 等. 应用于螺杆钻具的轴向振动冲击装置研制[J]. 石油钻采工艺, 2017, 39(2): 212-217.
CHEN Yong, WU Zhonghua, NEI Yunfei, et al. Development of axial vibration impact device used for screw drill[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2017, 39(2): 212-217.

[编辑 令文学]