

# 顺北油田钻井参数强化的提速效果评价

李银婷<sup>1</sup>, 董小虎<sup>2</sup>

(1. 中国石化西北油田分公司石油工程技术研究院, 新疆 轮台 841600;  
2. 中国石化西北油田分公司石油工程监督中心, 新疆 轮台 841600)

**摘要:** X、Y井是部署在塔里木盆地顺北油田的2口勘探井, X井为钻井参数强化试验井, X井较Y井在实钻中更好地执行了钻井参数强化措施, 三开5600~7500 m井段X井机械钻速较Y井提高了119%。对比分析, X井通过配置压力级别更高的地面设备, 实钻实现了更高的排量和泵压, X、Y井的钻头冲击力分别为0.73~1.02 kN、0.61~0.85 kN, 钻头水功率分别为6.79~11.38 kW、5.37~8.79 kW, 机械比能为0.23~2.15 MPa、0.52~3.5 MPa。钻井参数强化的实验过程中, X井获得了更高的井底机械能量与水力能量以及更理想的破岩环境, 其机械钻速明显高于Y井, 符合钻井参数强化提速的预期。

**关键词:** 顺北油田; 钻井参数强化; 水力参数; 机械破岩; 提速

**中图分类号:** TE242; P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)07-0072-07

## Evaluation on the effect of enhanced drilling parameters on ROP improvement in Shunbei Oilfield

LI Yinting<sup>1</sup>, DONG Xiaohu<sup>2</sup>

(1. *Engineering Technology Institute, SINOPEC Northwest Oilfield Branch, Luntai Xinjiang 841600, China;*  
2. *Petroleum Engineering Supervision Centre, SINOPEC Northwest Oilfield Branch, Luntai Xinjiang 841600, China*)

**Abstract:** X well and Y well were two exploration wells deployed in Shunbei Oilfield of Tarim Basin. X well was a field test well with enhanced drilling parameters. Compared with Y well, X well was drilled with better measures for enhanced drilling parameters in actual drilling. The mechanical drilling rate of X well in the third section from 5600 to 7500m was increased by 119% over that of Y well. Comparative analysis showed that X well was drilled with surface equipment with higher pressure; thus achieving higher volume and pump pressure in actual drilling. The bit impact forces for X well and Y well were 0.73 to 1.02kN and 0.61 to 0.85kN, bit hydraulic power 6.79 to 11.38kW and 5.37 to 8.79kW, and specific mechanical energy 0.23 to 2.15MPa and 0.52 to 3.5MPa respectively. In the experiment with enhanced drilling parameters, higher downhole mechanical energy and hydraulic energy were obtained in X well with better rock breaking environment. The mechanical ROP at the third drilling section was significantly higher than that in Y well, which met the expected ROP improvement with enhanced drilling parameters.

**Key words:** Shunbei Oilfield; drilling parameter enhancement; hydraulic parameter; mechanical rock breaking; ROP increase

## 0 引言

塔里木盆地顺北油田地处新疆维吾尔自治区沙雅县境内, 属顺托果勒构造低隆北缘。顺北区块

钻井平均井深超过7900 m, 属超深井范畴。X、Y井为顺北油田7号断裂带的勘探井, 所需钻穿的地层较多, 井段较长, 其中志留系塔塔埃尔塔格组、柯坪

收稿日期: 2020-03-22; 修回日期: 2021-04-21 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.07.011

作者简介: 李银婷, 女, 汉族, 1985年生, 工程师, 钻井工程专业, 长期从事石油钻井工程技术科研和钻井工程设计工作, 新疆巴州轮台县, 405159856@qq.com。

引用格式: 李银婷, 董小虎. 顺北油田钻井参数强化的提速效果评价[J]. 钻探工程, 2021, 48(7): 72-78.

LI Yinting, DONG Xiaohu. Evaluation on the effect of enhanced drilling parameters on ROP improvement in Shunbei Oilfield[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(7): 72-78.

塔格组,奥陶系桑塔木组地层压实作用强,深部地层的超致密压实作用,使岩石具有高强度、高硬度、高研磨性等特点,导致钻头破岩困难,一般钻井周期在200 d以上,期望提高机械钻速,达到提速增效的目标<sup>[1-3]</sup>。其中钻头优选、提速工具优选、钻井液优化、钻井参数优化是钻井提速的有效办法。为此,顺北油田7号断裂带开展了钻井参数强化的现场试验。

## 1 基本情况

### 1.1 井身结构

X、Y井为7号断裂带南部的2口相距2.3 km的勘探井,采用顺北区域内较常见的四开制井身结构<sup>[4]</sup>,X井具体为:

(1)一开 $\varnothing 444.5$  mm牙轮钻头,采用聚合物无固相钻井液钻至上新近系地层,井深1200 m,下入 $\varnothing 339.7$  mm表层套管,常规注水泥浆固井,水泥浆返至地面。

(2)二开 $\varnothing 311.2$  mm PDC钻头,采用氯化钾聚合物和钾胺基聚磺钻井液钻穿卡拉沙依地层4 m,井深5464 m,下入 $\varnothing 244.5$  mm技术套管,双级固井,水泥浆返至地面。

(3)三开 $\varnothing 215.9$  mm PDC钻头,采用钾胺基聚磺钻井液钻入至奥陶系一间房组5 m,井深7671 m,下入 $\varnothing 177.8$  mm油层尾管,悬挂后固井。

(4)四开 $\varnothing 149.2$  mm PDC钻头,采用高效低摩阻钻井液钻至奥陶系鹰山组565.84 m(斜深)完钻,井深8233.8 m,裸眼完井。

### 1.2 硬件配置

X井采用9000 m电动钻机,配置了3台F-2200型高压泥浆泵,地面循环系统的额定承压能力52 MPa,硬件设备配制可以实现水力参数强化;Y井采用7000 m加强型电动钻机,施工期间配制F-1600型泥浆泵2台,地面循环系统额定承压能力为35 MPa,水力参数强化受限于硬件设备能力。2口井均搭配了顶驱装备,为机械破岩参数稳定提供了硬件设备保障,X井更高的设备配置为钻井参数强化提供了设备保障。

## 2 对比井段选取及施工数据

三开井段裸眼段长,穿越志留系塔塔埃尔塔格组、柯坪塔格组,奥陶系桑塔木组地层提速需求高<sup>[1]</sup>,具有较好的对比评价意义,故选取三开井段进

行对比分析。

### 2.1 钻具组合

X井: $\varnothing 215.9$  mm PDC钻头(水眼: $\varnothing 22$  mm $\times$ 5个)+ $\varnothing 172$  mm螺杆+浮阀+ $\varnothing 158.8$  mm钻铤 $\times$ 1根+ $\varnothing 212$  mm扶正器+定向接头+ $\varnothing 155.8$  mm无磁钻铤 $\times$ 1根+ $\varnothing 158.8$  mm钻铤 $\times$ 14根+ $\varnothing 127$  mm加重钻杆 $\times$ 9根+ $\varnothing 127$  mm钻杆+ $\varnothing 139.7$  mm钻杆。

Y井: $\varnothing 215.9$  mm PDC钻头(水眼: $\varnothing 22$  mm $\times$ 3个+ $\varnothing 20$  mm $\times$ 2个)+ $\varnothing 172$  mm螺杆+ $\varnothing 177.8$  mm无磁钻铤+无磁悬挂+ $\varnothing 212$  mm扶正器+ $\varnothing 165.1$  mm钻铤 $\times$ 18根+ $\varnothing 127$  mm加重钻杆 $\times$ 9根+ $\varnothing 127$  mm钻杆+ $\varnothing 139.7$  mm钻杆。

### 2.2 钻井液

采用钾胺基聚磺钻井液体系。

X井主要钻井液性能:密度 $1.35$  g/cm<sup>3</sup>、粘度48 s、塑性粘度24 mPa·s、动切力5.5 Pa、初终切力1/5.5 Pa、失水量3.6 mL、HTHP失水量10 mL。

Y井主要钻井液性能:密度 $1.38$  g/cm<sup>3</sup>、粘度50 s、塑性粘度20 mPa·s、动切力6.5 Pa、初终切力2/6 Pa、失水量3.6 mL、HTHP失水量9.6 mL。

### 2.3 循环系统

X井用宝石机械厂F-2200型三缸单作用钻井泵3台,并配备 $\varnothing 170$  mm缸套,冲程356 mm,实钻中单泵钻进。

Y井用宝石机械厂F-1600型三缸单作用钻井泵2台,并配备 $\varnothing 170$  mm缸套,冲程304 mm,实钻中双泵钻进。

## 3 施工参数对比分析

7号断裂带南部三开井段在5464~7671 m,裸眼段地层稳定,提速方面潜力大。在井下螺杆转动和地面顶驱转动的复合钻井情况下<sup>[5]</sup>,选取2口相邻探井的钻井参数强化前后的施工情况进行对比分析。查阅综合录井曲线数据可知,三开段钻进中X井实施的钻井参数较Y井更强,对应的平均机械钻速更高,其中X井钻进排量控制在螺杆厂家推荐最大耐受排量以下,钻压和转速参数强化需满足设备和井下工具正常工作。具体而言,X、Y井三开井段的平均钻压分别为64.91、83.34 kN;平均转速分别为52.29、44.1 r/min;平均排量为35.25、29.45 L/s;平均泵压为27.52、19.83 MPa;机械钻速分别为

8.86、4.18 m/h,两井机械钻速对比情况见图1。

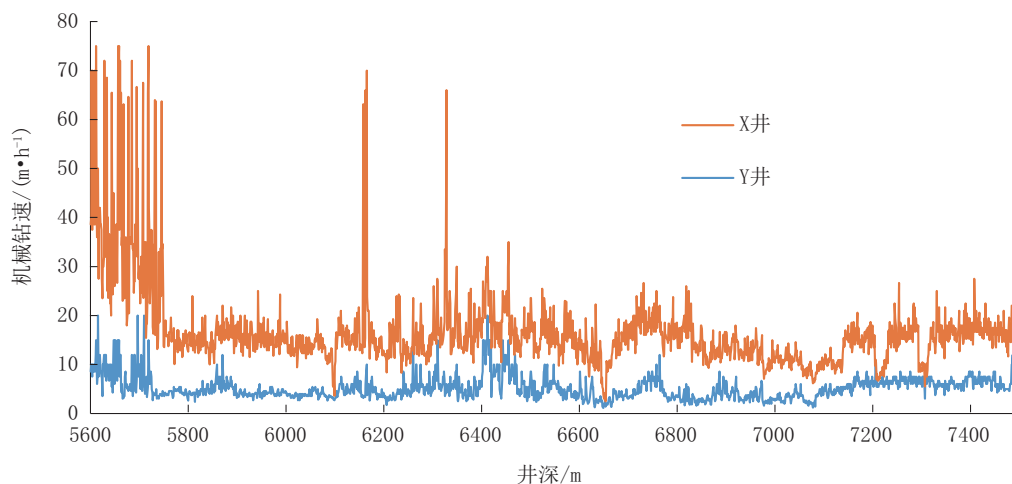


图1 X、Y井三开井段5600~7500 m机械钻速对比

Fig.1 Comparison of ROP at the third sections from 5600m to 7500m of X well and Y well

### 3.1 水力参数

在三开5600~7500 m井段,每隔10 m取一个数据点,建立排量和泵压的对比图(见图2)。从图2中可见X井实钻水力参数强于Y井。其中:X、Y井的

泵压分别为25.5~28.5、18~22.7 MPa,平均泵压分别为27.52、19.83 MP;排量分别为31.8~40、27~33.2 L/s,平均排量分别为35.12、29.45 L/s。

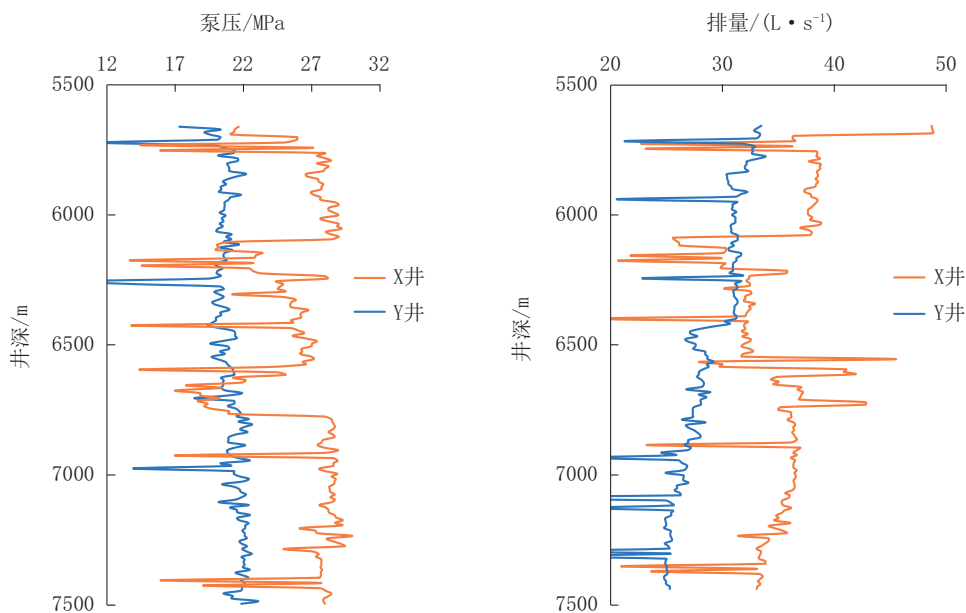


图2 X、Y井三开井段5600~7500 m水力参数对比

Fig.2 Comparison of hydraulic parameters at the third sections from 5600m to 7500m of X well and Y well

复合钻井施工时,水力参数主要作用体现在水力破岩、螺杆转速和井底净化3个方面。通过钻头喷嘴的水力射流产生的冲击力,辅助钻头破岩,在螺

杆厂家推荐排量范围内<sup>[6-8]</sup>,排量增加时传递螺杆的水能量增大,螺杆转速越高,增加钻头转动切削破岩频次,从而提高机械钻速,其中<sup>[9-10]</sup>:

钻头水功率:

$$N = \frac{0.05\rho Q^3}{C^2 A^2} \quad (1)$$

钻头冲击力:

$$F = \frac{\rho Q^2}{2.96GA} \quad (2)$$

式中: $N$ ——钻头水功率,kW; $\rho$ ——钻井液密度,  $g/cm^3$ ; $Q$ ——排量,L/s; $C$ ——常数,取0.95; $G$ ——常数,取0.95; $F$ ——钻头冲击力,kN; $A$ ——钻井液过

流面积, $cm^2$ 。

由表1可知,X井在钻井液密度更低、水力参数更高的情况下,螺杆工作能力更强,钻头的冲击力更高,钻头水功率更高,相同井段X井较Y井的机械钻速更高,表明强水力参数更有利于井底钻头破岩,与机械钻速具有一定正相关关系。但需指出的是,机械钻速受地层差异、钻头磨损程度等多种因素影响,局部范围内两者趋势并非完全一致。

表1 X、Y井在5600~7500 m井段的水力能量对比

Table 1 Comparison of hydraulic energy at the well section from 5600m to 7500m of X well and Y well

井段/m	密度/( $g \cdot cm^{-3}$ )		排量/( $L \cdot s^{-1}$ )		立管压力/MPa		钻头冲击力/kN		钻头水功率/kW		机械钻速/( $m \cdot h^{-1}$ )	
	X井	Y井	X井	Y井	X井	Y井	X井	Y井	X井	Y井	X井	Y井
5600~6000	1.35	1.38	38	33	31	21	1.02	0.85	11.38	8.79	12.13	4.44
6000~6800	1.35	1.38	35	30	28	22	0.87	0.70	8.88	6.60	9.24	3.53
6800~7500	1.35	1.38	32	28	28	22	0.73	0.61	6.79	5.37	7.50	5.06

### 3.2 机械破岩参数

在三开5600~7500 m井段,每隔10 m取一个数

据点,建立钻压和扭矩的对比图(见图3),由图3可知,X井实钻机械破岩参数总体强于Y井。

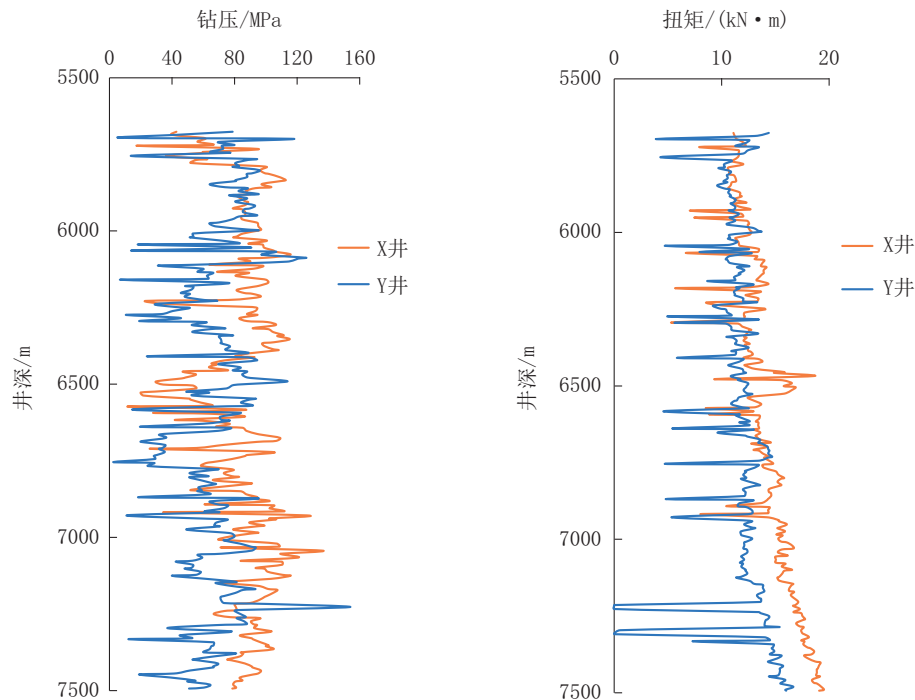


图3 X、Y井三开井段5600~7500 m机械破岩参数对比

Fig.3 Comparison of mechanical parameters at the third sections from 5600m to 7500m of X well and Y well

运用Teale R等所提出的经典机械比能模型,对机械破岩参数进行分析评价,其模型为<sup>[11-13]</sup>:

$$E = \frac{4W}{\pi d^2} + \frac{480nT}{d^2 v} \quad (3)$$

式中: $E$ ——机械比能,MPa; $W$ ——钻压,kN;

$v$ ——机械钻速, m/h;  $d$ ——钻头直径, mm;  $n$ ——转速, r/min;  $T$ ——扭矩, kN·m。

在三开 5600~7500 m 井段, 每间隔 10 m 取一个数据点, 对应井深的实钻钻压、转速、扭矩、机械钻速

及钻头直径等代入公式(3), 得出 X 与 Y 在对应井深所对应机械比能分别为 0.23~2.15、0.52~3.5 MPa。将计算结果进行插值作图(见图 4)。

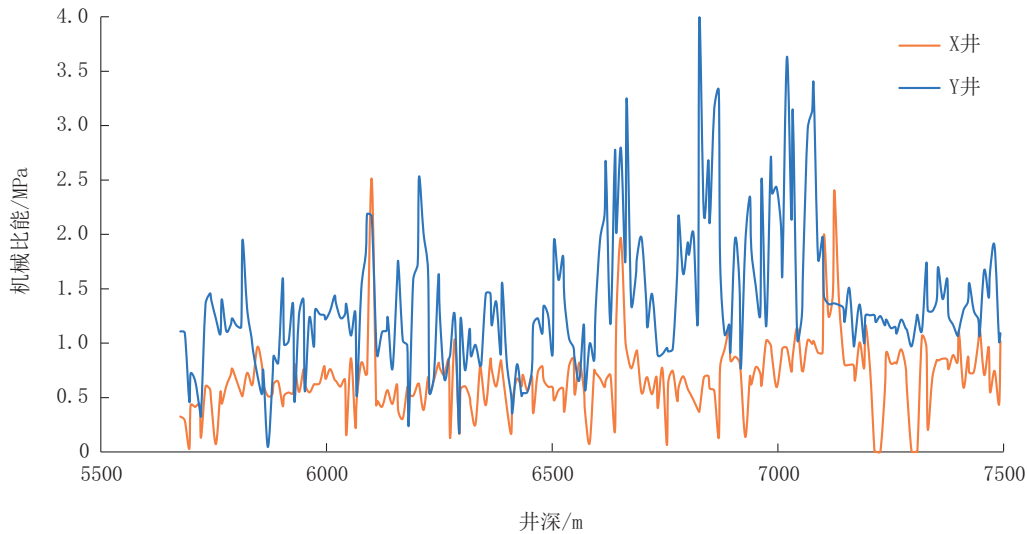


图 4 X、Y 井三开井段 5600~7500 m 机械比能对比

Fig.4 Comparison of mechanical specific energy at the third sections from 5600m to 7500m of X well and Y well

由图 1 和图 4 可知, 在三开井段 5600~7500 m, X 井较 Y 井而言, 其机械比能明显更低而机械钻速更高, 即 X 井在破碎单位体积岩石的耗费机械能量更低且相应破岩速度更快, 一定程度上表明 X 井的钻头在相同岩层钻进时攻击性更好, 实施的强机械破岩参数更有助于井底破岩。

#### 4 参数强化效果评价

X、Y 井三开 5600~7500 m 井段, 均 3 趟钻完成进尺, 钻具组合相似, 机械钻速分别为 8.86、4.18 m/h。X、Y 井的钻头纯钻时间差异明显, 具体见表 2。钻头磨损情况见图 5、图 6。

表 2 X、Y 井的钻头使用情况对比

Table 2 Comparison of bit usage between X well and Y well

钻 趟	井段/m	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	起 钻 原 因
X 井 1 趟	5495~6097	49.7	12.13	起钻后钻头严重磨损(参见图 5)
X 井 2 趟	6097~6652	60	9.24	起钻后钻头严重磨损
X 井 3 趟	6652~7674	136	7.50	完钻起钻
Y 井 1 趟	5520~6390	196	4.44	至螺杆安全时间, 钻头完好(参见图 6)
Y 井 2 趟	6390~7075	194	3.53	至螺杆安全时间, 钻头完好
Y 井 3 趟	7075~7517	87.5	5.06	钻遇辉绿岩

X、Y 井在 3 趟的钻进进尺一致, 可满足三开进尺需求, 辅助起下钻时间相同。X 井通过钻井参数强化, 提高了钻头和螺杆的工作效率, 通过提高破岩效率<sup>[14-15]</sup>, 提升机械钻速, 在纯钻时间 245.3 h 完成进尺。Y 井 3 趟钻, 使用常规钻井参数施工, 纯钻时

间 477.5 h, 钻头磨损少, 完成了进尺任务。X 井较 Y 井机械钻速显著提高, 在相同井段施工中缩短纯钻时间 232.2 h, 钻井周期节约超过 10 d, 综合评价设备、油料、工具损耗和工程周期结余的经济效益, X 井较 Y 井经济效益显著提升。



(a) 入井前



(b) 出井后磨损情况

图5 X井第一趟钻的钻头磨损对比

Fig.5 Comparison of bit wear before and after the first tripping in X well



(a) 入井前



(b) 出井后磨损情况

图6 Y井第一趟钻的钻头磨损对比

Fig.6 Comparison of bit wear before and after the first tripping in Y well

## 5 结论和建议

(1) X井三开井段机械钻速较Y井提高了119%，一定程度上归结于执行了钻井参数强化，在较强的机械破岩参数、水力参数及较低的钻井液密度情况下，获得了更高的井底机械能量与水力能量以及更理想的破岩环境。

(2) 在钻井参数强化的环境下，顺北区块三开井段的机械钻速明显提高，同时钻头的磨损程度加快，钻头寿命缩短。为了更好地执行钻井参数强化措施，建议加快钻头的抗研磨性研究，做好技术匹配，进一步提高钻井时效。

(3) 确定了钻井参数强化在提高钻井速度方面

的优势。在钻井装备、地面设备及工具等硬件设备稳定可靠的前提下，通过实施参数强化，最大化动用设备及工具能力，提高井底破岩效率，实现钻井提速。

## 参考文献(References):

- [1] 于洋,南玉民,李双贵,等.顺北油田古生界钻井提速技术[J].断块油气田,2019,26(6):780-783.  
YU Yang, NAN Yumin, LI Shuanggui, et al. Technology for increasing drilling speed of paleozoic stratum in Shunbei Oilfield [J]. Fault-Block Oil Gas Field, 2019,26(6):780-783.
- [2] 赵志国,白彬珍,何世明,等.顺北油田超深井优快钻井技术[J].石油钻探技术,2017,45(6):8-13.

- ZHAO Zhiguo, BAI Binzhen, HE Shiming, et al. Optimization of fast drilling technology for ultra-deep wells in the Shunbei Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017,45(6):8-13.
- [3] 李宁,周小君,周波,等.塔里木油田HLHT区块超深井钻井提速配套技术[J].石油钻探技术,2017,45(2):10-14.  
LI Ning, ZHOU Xiaojun, ZHOU Bo, et al. Technologies for fast drilling ultra-deep wells in the HLHT Block, Tarim Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017,45(2):10-14.
- [4] 陈养龙,席宝滨,晁文学,等.顺北区块1号断裂带钻井分层提速技术[J].断块油气田,2018,25(5):649-652.  
CHEN Yanglong, XI Baobin, CHAO Wenxue, et al. Improving drilling speed technologies by stratification for No. 1 fault-zone of Shunbei Block [J]. Fault-Block Oil Gas Field, 2018,25(5):649-652.
- [5] 张凯.复合钻进技术在红柳煤矿冻结孔施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):54-58.  
ZHANG Kai. Application of combined drilling technique in the freezing well in Hongliu Coalmine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(2):54-58.
- [6] 熊虎林,徐龙生.泉子街地区地层可钻性分析及钻头选型[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(2):30-34.  
XIONG Hulin, XU Longsheng. Formation drillability analysis and drill bit selection for the Quanzijie area [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(2):30-34.
- [7] 黄迪箫笙.涪陵页岩气田江东区块优快钻井技术研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):18-23.  
HUANG Dixiaosheng. Research and application of fast drilling technology in Jiangdong Block of Fuling Shale Gas Field [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(4):18-23.
- [8] 翟科军,于洋,刘景涛,等.顺北油气田火成岩侵入体覆盖区超深井优快钻井技术[J].石油钻探技术,2020,48(2):1-5.  
ZHAI Kejun, YU Yang, LIU Jingtao, et al. Ultra-deep well drilling technology in the igneous invasion coverage area of the Shunbei Oil and Gas Field [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020,48(2):1-5.
- [9] 杜晓瑞,李华泰.钻井工具手册[M].北京:中国石化出版社,2013.  
DU Xiaorui, LI Huatai. Handbook of drilling tools [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2013.
- [10] 张杰,宋国志,杨兰田,等.高压喷射钻井水力参数优化研究[J].科学技术与工程,2015,34(15):157-161.  
ZHANG Jie, SONG Guozhi, YANG Lantian, et al. Study on optimization of hydraulic parameters in high pressure jet drilling [J]. Science, Technology and Engineering, 2015,34(15):157-161.
- [11] Teale R. The concept of specific energy in rock drilling [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics, 1965,2:57-73.
- [12] 崔猛,李建军,纪国栋,等.基于机械比能理论的复合钻井参数优选方法[J].石油钻探技术,2014,42(1):66-70.  
CUI Meng, LI Jiajun, JI Guodong, et al. Optimize method of drilling parameter of compound drilling based on mechanical specific energy theory [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014,42(1):66-70.
- [13] 伍葳,郭建华,曹权,等.长宁页岩气井215.9mm井眼水力参数强化研究及应用[J].重庆科技学院学报,2019,21(4):56-60.  
WU Wei, GUO Jianhua, CAO Quan, et al. Study and application of strengthening hydraulic parameters in 215.9mm borehole of Changning shale gas well [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology, 2019,21(4):56-60.
- [14] 胡群爱,孙连忠,张进双,等.硬地层稳压稳扭钻井提速技术[J].石油钻探技术,2019,47(3):107-112.  
HU Qun' ai, SUN Lianzhong, ZHANG Jinshuang, et al. Technology for drilling speed increase using stable WOB/torque for hard formations [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019,47(3):107-112.
- [15] 甘心.钻井提速用振动冲击工具研究进展[J].钻探工程,2021,48(2):85-93.  
GAN Xin. Advances in vibration impactors for drilling acceleration [J]. Drilling Engineering, 2021,48(2):85-93.

(编辑 荐华)