

自激振荡旋转冲击钻进工艺应用研究

惠航¹, 王虎^{1,2*}, 陈新勇³, 陈登齐⁴, 常兴仁¹, 李勇¹

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局111地质大队, 贵州 贵阳 550081;

2. 中国地质调查局长沙自然资源综合调查中心, 湖南 长沙 410600;

3. 中国石油集团渤海钻探工程技术研究院, 河北 任丘 062550; 4. 贵州省地质矿产勘查开发局, 贵州 贵阳 550004)

摘要: 自激振荡旋转冲击钻进工艺可提高碎岩效率, 提升机械钻速。在冀中地区北部试验井中进行了应用试验。试验井段钻孔直径215.9 mm, 钻具组合为PDC钻头+ZJXC-178型自激振荡冲击工具, 分试钻井段和后续井段两个井段进行了现场应用试验。通过对同井、邻井的扭矩、钻头使用情况、机械钻速及岩屑等分析对比, 自激振荡旋转冲击钻进工艺显著提升了钻井速度, 实现了高达73.4%的提速效果, 并且单只钻头的进尺量也得到了48.2%的提升。验证了该工艺在提升钻井效率方面的有效性, 在保证钻头破岩切削力的同时, 有效减小了扭矩的突变, 显著抑制了钻头粘滑振动现象, 从而实现提速的同时保护钻头。

关键词: 自激振荡; 旋转冲击; 钻井工具; 钻井提速

中图分类号: P634.5; TE242 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)S1-0166-06

Research on the application of self-excited oscillation rotary impact drilling technique

HUI Hang¹, WANG Hu^{1,2*}, CHEN Xinyong³, CHEN Dengqi⁴, CHANG Xingren¹, LI Yong¹

(1. Geological Brigade 111, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province, Guiyang Guizhou 550081, China;

2. Changsha General Survey of Natural Resources Center, China Geological Survey, Changsha Hunan 410600, China;

3. Engineering Technology Research Institute, CNPC Bohai Drilling Engineering Company Limited, Renqiu Hebei 062550, China;

4. Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province, Guiyang Guizhou 550004, China)

Abstract: The self-excited vibration rotary percussion drilling technology can improve the rock breaking efficiency and the ROP. The application test in a test well located in the northern part of the Jizhong region were presented. The drilling diameter of the test well section is 215.9mm, and the BHA is PDC bit+ZJXC-178 self-excited vibration impact tool. The field application tests are carried out in two well sections, the test drilling section and the subsequent well section. Through a meticulous analysis and comparison of torque, bit usage, ROP and cuttings in the same well and adjacent well, the self-excited vibration rotary percussion drilling technology significantly improved the drilling speed, achieved the speed increase effect of up to 73.4%, and the footage of a single bit also increased by 48.2%. The effectiveness of this technology in improving drilling efficiency is verified. While ensuring the rock breaking cutting

收稿日期: 2024-07-18; 修回日期: 2024-07-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.S1.024

基金项目: 贵州省地矿局地质科研项目“贵州地热深井自激振荡旋转冲击井提速技术研究与应用”(编号: 黔地矿科合[2021]28号); 贵州省科技厅重大科技成果转化项目“地下河走向物理化学探测及数字地图绘制技术集成与应用”(编号: 黔科合成果[2023]重大006); 贵州省科技厅科技支撑计划“煤矿井下定向钻进轨迹动态控制技术”(编号: 黔科合支撑[2022]一般245)

第一作者: 惠航, 男, 汉族, 1989年生, 工程师, 地质工程(岩土工程)专业, 从事岩土工程方面的技术工作, 贵州省贵阳市观山湖区石林西路5号贵州省地质科技园5号楼, 553768853@qq.com。

通信作者: 王虎, 男, 满族, 1985年生, 高级工程师, 地质工程专业, 硕士, 从事钻探工程技术及管理工作, 贵州省贵阳市观山湖区石林西路5号贵州省地质科技园5号楼, 516775129@qq.com。

引用格式: 惠航, 王虎, 陈新勇, 等. 自激振荡旋转冲击钻进工艺应用研究[J]. 钻探工程, 2024, 51(S1): 166-171.

HUI Hang, WANG Hu, CHEN Xinyong, et al. Research on the application of self-excited oscillation rotary impact drilling technique [J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 166-171.

force of the bit, the sudden change of torque is effectively reduced, and the stick slip vibration of the bit is significantly inhibited, so as to achieve speed increase and protect the bit at the same time.

Key words: self excited oscillation; rotating impact; drilling tools; drilling speed up

0 引言

随着钻进工艺技术水平的提升,振动冲击钻进工艺对提升碎岩效率的作用得到了越来越广泛的认可^[1-2],其碎岩机理研究^[3-6]及工具研制^[7-9]呈逐年上升的趋势,并在油气井^[10-11]、地热井^[12-14]等深井钻探施工中得到了越来越多地推广应用。自激振荡旋转冲击钻井工具成功实现了脉冲射流与液动冲击的协同作用,从而显著提高碎岩效率,有效降低钻柱与井壁之间的摩擦阻力。因此,该技术能提升机械钻速,增加钻井极限延伸距离^[15]。为此,进行了自激振荡旋转冲击钻进工艺现场应用研究。

1 自激振荡冲击钻井工具工作机理

图1为自激振荡旋转冲击钻井工具结构示意图,其原理是将从上接头进入工具的钻井液通过两级振荡腔内的水力振荡元件调制生成脉冲射流作用于与钻头/下部钻柱相连的八方驱动杆上端,对钻头施加5~20 kN、400~600 Hz的周期性机械冲击作用力,产生以下两种作用:(1)使钻头所承受连续钻压产生波动,通过振动载荷降低岩石的相对破坏强度;同时,水力振荡元件所激发的水力脉动作用,将能量传递至井底,进一步改善了井底岩石的受力状况,并促进了岩屑的有效净化。上述两种机制的协同作用,显著提升了钻头的碎岩效率。(2)激发与驱动杆相连接的下部钻柱产生轴向振动,显著减小滑动钻进时下部钻柱与井壁之间的摩擦,从而提高了钻柱载荷传递效率。激发与驱动杆相连接的下部钻柱产生轴向振动,显著减小滑动钻进时下部钻柱与井壁之间的摩擦,从而提高了钻柱载荷传递效率。最终,这些作用共同提高了机械钻速^[16]。

2 试验井概况

试验井位于冀中地区北部,地表起伏微弱,地势平坦。井场地表为第四系粘土层,地表承压强度小。为一个预探定向井,钻探目的为预探储层发育特征及含油气情况,落实储层、含油气面积、储量,完钻井深为5410.67 m(补心垂深)。试验段主要岩

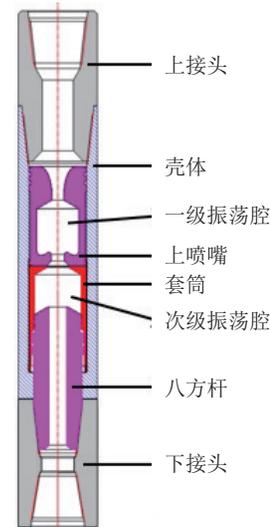


图1 自激振荡旋转冲击钻井工具结构原理

性为:

新生界孔店组(4831~4841 m):浅灰色细砾岩夹紫红色、深灰色泥岩。

上古生界石炭二叠系(4841~5090 m):上部为灰、紫红色泥岩、灰黑色碳质泥岩与浅灰色含砾细砂岩、粉砂岩、细砂岩呈略等厚互层,局部见泥质白云岩、玄武岩;中部为深灰色泥岩、灰黑色碳质泥岩与黑色煤层、浅灰色粉砂岩、灰质粉砂岩、细砂岩呈略等厚互层;下部为灰、深灰色泥岩与浅灰色粉砂岩、灰质粉砂岩、灰褐色泥灰岩呈略等厚互层,底部见紫红色泥岩、灰色铝土质泥岩。

试验井段地层软硬交错,使用常规钻进工艺施工时钻头易发生粘滑振动^[17],机械钻速低,钻头使用寿命短。

3 自激振荡冲击钻井现场应用情况

本次自激振荡旋转冲击钻进工艺现场应用试验,使用ZJXC-178型自激振荡冲击工具1套,入井一趟,入井时间共计132 h,总进尺259 m,纯钻时间59.52 h。

3.1 钻具组合

试验井段为直井段,钻头选用T1655AUG型PDC钻头,钻头直径215.9 mm;自激振荡冲击工具

型号为ZJXC-178型,具体钻具组合: $\text{O}215.9\text{ mm}$ PDC钻头+自激振荡冲击工具+165浮阀+ $\text{O}212\text{ mm}$ 钻具稳定器+ $\text{O}165\text{ mm}$ 螺旋钻铤 $\times 1$ 根+ $\text{O}212\text{ mm}$ 钻具稳定器+ $\text{O}165\text{ mm}$ 无磁钻铤 $\times 1$ 根+ $\text{O}165\text{ mm}$ 螺旋钻杆 $\times 1$ 根+ $\text{O}127\text{ mm}$ 加重钻杆 $\times 23$ 根+ $\text{O}165\text{ mm}$ 随钻+ $\text{O}127\text{ mm}$ 加重钻杆 $\times 4$ 根+ $\text{O}127\text{ mm}$ 钻杆。

3.2 现场应用情况

试验井段钻井液密度为 1.5 g/cm^3 ,分为试钻井段和后续井段两个井段进行了现场应用试验。

3.2.1 试钻段钻进情况

钻头下至井底,在正常钻进之前进行了试钻,试钻相关参数见表1。

经过试钻,钻井参数定为钻压 $100\sim 140\text{ kN}$,转速 80 r/min 。

3.2.2 后续井段钻进情况

进入石炭二叠系,机械钻速基本稳定。在泥岩段钻时为 $10\sim 20\text{ min/m}$,钻压 $100\sim 120\text{ kN}$;在煤层和碳质泥岩段地层钻时为 $5\sim 10\text{ min/m}$ 。

表1 自激振荡旋转冲击钻进试钻相关参数

井段/m	钻压/kN	转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	钻时/ ($\text{min}\cdot\text{m}^{-1}$)	扭矩/ ($\text{kN}\cdot\text{m}$)
4831~4834	60~80	50	20~30	16~28
4835~4837	100	80	15~18	18~30
4838~4840	100~140	80	10	18~30

5066 m后岩性以泥岩为主,钻时增加至 $20\sim 40\text{ min/m}$,钻压 $120\sim 140\text{ kN}$,扭矩 $20\sim 40\text{ kN}\cdot\text{m}$,考虑到煤层段存在掉块风险,因此决定起钻并下入牙轮钻头通井。

3.3 现场应用相关参数统计

根据实际钻井情况,试验井段钻进相关参数见表2。

3.4 机械钻速分析

因新生界孔店组地层在试验井段仅有 10 m ,且处于试钻井段,钻压与转速均较低,钻进机械效率相对较低;正常钻进后,机械钻速略有提高,详见表3及图2。

表2 自激振荡旋转冲击钻进工艺现场应用井段相关参数统计

井段/m	进尺/m	钻压/kN	转速($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	排量/ $(\text{L}\cdot\text{s}^{-1})$	扭矩/ $(\text{kN}\cdot\text{m})$	钻井液密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	泵压/MPa
4831~4871	40	60~140	50~80	35	16~30	1.50	28
4871~4958	87	100~120	80	35	16~30	1.50	28
4958~5058	100	80~100	80	35	16~30	1.50	28
5058~5075	17	100~140	80	32	16~30	1.50	28
5075~5090	15	100~140	80	32	20~40	1.50	28

表3 自激振荡旋转冲击钻进工艺现场应用井段机械钻速统计

地层	井段/m	进尺/m	钻压/kN	转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	排量/ ($\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$)	钻井液密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	纯钻时间/ h	平均机械钻速/ ($\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$)
孔店组	4831~4841	10	60~140	50~80	35	1.5	2.97	3.37
石炭二叠系	4841~5090	249	80~140	80	35	1.5	56.55	4.40
合计	4831~5090	259	80~140	50~80	35	1.5	59.52	4.35

4 试验结果及分析

4.1 同井相邻井段扭矩对比分析

图3为试验井扭矩波动曲线,对比相邻井段和试验段两者波动情况可以看出,试验段扭矩更为均匀,说明钻具在孔内状态较稳定,振荡冲击工具对消除钻具粘滑振动起到了良好的作用。

4.2 钻头使用情况分析

试验段总进尺 259 m ,仅使用了一个PDC钻

头,对比钻头入井前(图4a)和出井后(图4b)照片可以看出,钻头出井后状态完好(见图4)。与同井相邻井段的钻头(图4c)使用情况对比,试验段出井钻头复合片无机械破碎,磨损更均匀,结合扭矩情况,表明振荡冲击钻井能够有效减小底部钻具粘滑振动,保护钻头,延长钻具使用寿命。

4.3 同井相邻井段机械钻速对比

图5为试验井机械钻速,从图中可以看出,使用

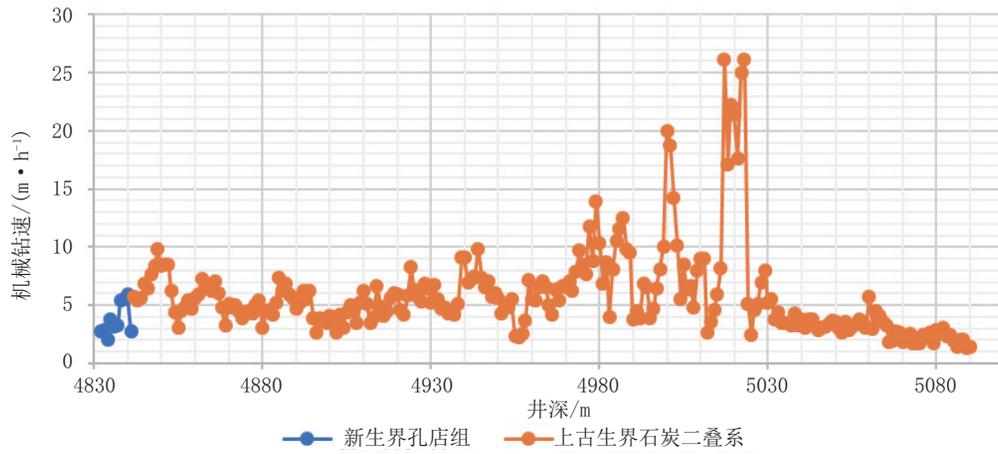
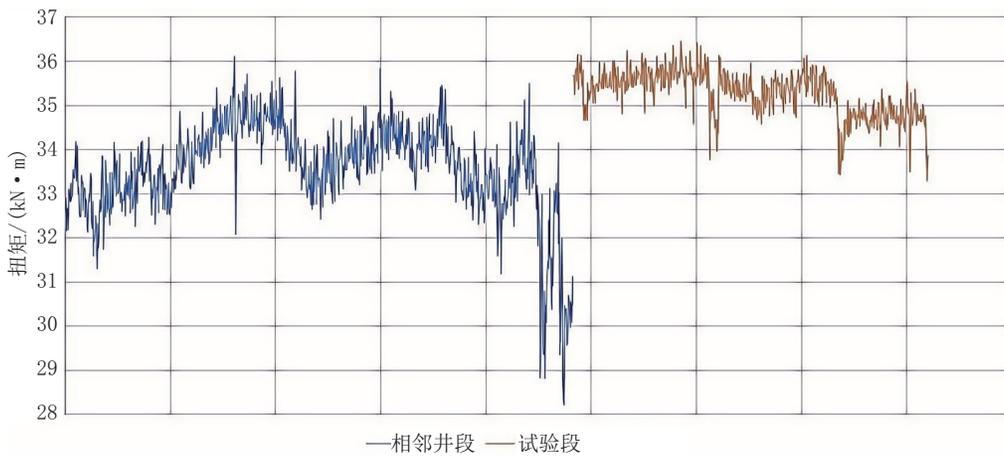


图2 试验井段分地层机械钻速



—相邻井段 —试验段

图3 试验井扭矩波动曲线



(a) 入井前

(b) 出井后

(c) 邻井段钻头

图4 钻头使用情况对比

自激振荡旋转冲击钻进工艺机械效率明显高于使用螺杆钻具。

表4为试验井钻井数据对比统计,从表中可以看出,与同井相同井段相比,使用自激振荡旋转冲击钻进工艺时,机械钻速提高73.4,单钻头进尺提高75%。

4.4 邻井分地层机械钻速对比

对试验井和邻井在二叠系的机械钻速和钻头使用情况进行了对比,邻井钻进时采用的是螺杆钻进工艺。从表5数据可以看出,相对于螺杆钻进工艺,使用自激振荡旋转冲击工具,平均机械钻速可提高57.5%,平均单钻头进尺增加48.2%。

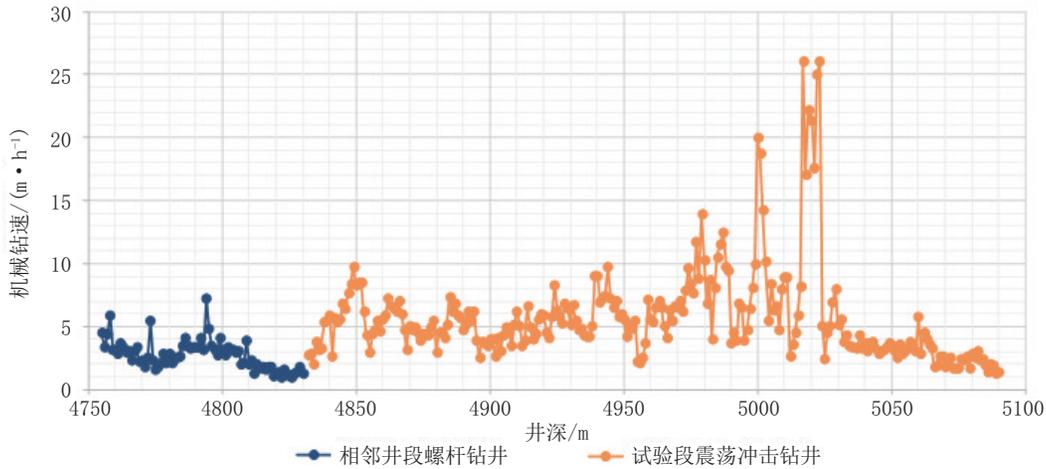


图5 试验井机械钻速

表4 试验井钻井数据对比

钻头型号	提速类型	地层	井段/m	进尺/ m	钻压/ kN	转速/ (r·min ⁻¹)	排量/ (L·s ⁻¹)	钻井液 密度/ (g·cm ⁻³)	纯钻时 间/h	平均机械 钻速/ (m·h ⁻¹)	机械钻速 提高/%	进尺提 高/%
T1655AUJ	自激振荡 旋转冲击	孔店组~石 炭二叠系	4831~5090	259	80~140	60~80	35	1.5	59.52	4.35		
T1665B	螺杆	孔店组	4387~4547	160	100	50+DN	32	1.5	74.5	2.15	102.5	61.9
T1665B	螺杆	孔店组	4547~4754	207	100	50+DN	32	1.5	60	3.45	26.1	25.1
T1665B	螺杆	孔店组	4754~4831	77	100	50+DN	30	1.5	42.5	1.81	140.1	236.4
平均提高											73.4	75.0

表5 同区块邻井石炭二叠系机械钻速和钻头使用情况对比

井号	钻头型号	提速类型	井段/m	进尺/ m	钻压/ kN	转速/ (r·min ⁻¹)	排量/ (L·s ⁻¹)	钻井液 密度/ (g·cm ⁻³)	纯钻时 间/h	平均机械 钻速/ (m·h ⁻¹)	机械钻速 提高/%	进尺提 高/%
试验井	T1655AUG	自激振荡旋 转冲击工具	4831~5090	259	80~140	60~80	35	1.5	59.52	4.35		
邻井1	T1665DG	螺杆	4196~4433	237	80~120	50+DN	33	1.5	139.34	1.70	155.8	9.3
	T1665DG	螺杆	4433~4474	41	80~120	50+DN	32	1.5	28.84	1.42	206.0	531.7
	瑞德	螺杆	4483~4651	168	80~120	50+DN	31	1.5	50.5	3.33	30.8	54.2
	T1665DG	螺杆	4651~4874	223	80~120	50+DN	32	1.5	132.67	1.68	158.8	16.1
邻井2	M1655DG	螺杆	4313~4791	478	40	70+DN	34	1.55	97	4.93	-11.7	-45.8
邻井3	T1665B	螺杆	4480~4635	155	60~80	45+DN	32	1.5	85.66	1.81	140.4	67.1
	T1655AUG	螺杆	4635~4813	178	60~80	45+DN	32	1.5	36.17	4.92	-11.6	45.5
平均提高											57.5	48.2

4.5 同井邻井段岩屑对比

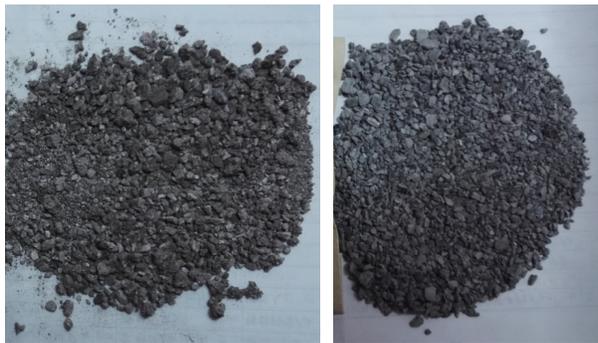
观察相邻井段与自激振荡旋转冲击工具应用试验井段岩屑形貌发现(图6),试验井段的岩屑呈片状,更符合PDC钻头切削钻进的机理;岩屑颗粒较大且均匀,表明振荡旋转冲击下PDC钻头的运动

更加稳定,且破岩效率更高。

5 结论与建议

5.1 结论

通过在试验井的应用得出以下结论:



4825m岩屑 (邻井段) 4847m岩屑 (试验段)

图6 同井邻井段与试验井段岩屑形貌

(1)自激振荡旋转冲击钻进工艺能够较大幅度提高钻井速度,与同井使用螺杆井段对比提速73.4%,与邻井使用螺杆井段对比机械钻速平均提高了57.5%。

(2)自激振荡冲击工具强化钻柱扭矩传递,保证钻头破岩切削力,减小扭矩突变,抑制了大钻压水平下钻头的粘滑振动现象,从而实现提速的同时保护钻头,与同井使用螺杆井段对比单只钻头进尺提高了75.0%,与邻井使用螺杆井段对比单只钻头进尺提高了48.2%。

5.2 建议

(1)自激振荡冲击工具必须在钻压、转速和排量等钻井参数充分保证的前提下才能获得最佳的工作状态,因此,参数匹配是冲击提速的关键,需在正常钻进之前进行试钻,以获得最佳的钻井参数,并在钻进过程中维持参数稳定。

(2)地层岩性的变化导致钻头与地层的接触状态发生变化,因此,需根据地层岩性变化灵活调整钻井参数。

(3)将自激振荡冲击工具与螺杆钻具等结合使用^[18-19],发挥各自优势,有可能进一步提高施工效率,在后续施工中可以进一步开展论证和研究工作。

参考文献:

- [1] 李根生,穆总结,田守增,等.冲击破岩钻井提速技术研究现状与发展建议[J].新疆石油天然气,2024,20(1):1-12.
- [2] 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.
- [3] 闫炎,韩礼红,刘永红,等.全尺寸PDC钻头旋转冲击破岩过程数值模拟[J].石油机械,2023,51(6):36-42.
- [4] 张恒,倪红坚,刘书斌,等.自激振荡式冲击钻井提速系统输出凿入力特性研究[J].振动与冲击,2021,40(14):35-39,91.
- [5] 景英华,袁鑫伟,姜磊,等.高速旋转冲击钻井破岩数值模拟及现场实验[J].中国石油大学学报(自然科学版),2019,43(1):75-80.
- [6] 刘永旺,魏森,管志川,等.旋转冲击钻井方法硬岩破岩钻进特性的实验研究[J].实验技术与管理,2022,39(5):44-48,59.
- [7] 张昕,乔东宇,王新,等.旋转冲击钻井提速装置的研制与应用[J].钻采工艺,2022,45(5):106-111.
- [8] 王甲昌,滕春鸣,张海平,等.机械式旋转冲击钻井工具研制及试验[J].钻采工艺,2020,43(6):68-71.
- [9] 张海平.机械式旋转冲击钻井工具结构设计与试验[J].石油机械,2020,48(12):9-14.
- [10] 索忠伟.Ø228.6mm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.
- [11] 尹慧博,索忠伟,李博东,等.沙特HWY区块HWY-116井提速技术[J].石油钻探技术,2020,48(5):34-38.
- [12] 张宏涛.地热井钻井施工技术研究[J].化工管理,2023(29):89-92.
- [13] 张德龙,郭强,杨鹏,等.地热井花岗岩地层钻进提速技术研究与应用进展[J].地质与勘探,2022,58(5):1082-1090.
- [14] 谭现锋,战启帅,张强,等.扭力冲击器复合钻进工艺在干热岩钻井中的试验应用[J].钻探工程,2023,50(1):94-101.
- [15] 张会增,王名春,庞照宇.脉冲射流与液动冲击协同作用的破岩工具设计及研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(8):188-190,194.
- [16] 刘凯.顺北油气田钻井提速技术探讨[J].化学工程与装备,2022(2):89-91.
- [17] 兰永飞,韩玉香,陈明勇,等.扭力冲击器-螺杆复合钻进工艺应用实践[J].钻探工程,2023,50(S1):399-404.
- [18] 祝效华,李瑞,刘伟吉,等.深层页岩气水平井高效破岩提速技术发展现状[J].西南石油大学学报(自然科学版),2023,45(4):1-18.
- [19] 姜华,李军,张鹏翔,等.冲击螺杆钻具结构设计与参数优化[J].石油机械,2024,52(4):49-55.

(编辑 荐华)