

# 扭力冲击器-螺杆复合钻进工艺应用实践

兰永飞<sup>1,2</sup>, 韩玉香<sup>1,2</sup>, 陈明勇<sup>1,2</sup>, 王虎<sup>\*1,2</sup>

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

2. 贵州地质工程勘察设计院有限公司, 贵州 贵阳 550081)

**摘要:** 扭力冲击器可以将钻井液的动能转化成下部钻具的高频周向动能, 从而消除粘滑振动, 保护PDC钻头, 提高施工效率。在广西百色及贵州毕节2口地热钻井施工过程中, 受软硬夹层的影响, 粘滑振动效应强烈, 导致PDC钻头的复合片迅速崩碎, 钻头提前报废。使用扭力冲击器-螺杆钻具复合钻进工艺, 通过合理设计钻具组合和钻进参数, 与单纯的螺杆钻进工艺相比, 因粘滑振动得到有效控制, 钻头复合片崩齿现象显著减少, 使用寿命增加, 平均机械钻速提高了1倍以上, 整体提高了施工效率和经济效益, 为软硬夹层等易发生粘滑效应的地层施工提供了新的解决方案。

**关键词:** 扭力冲击器; 螺杆钻具; 粘滑振动; 软硬夹层; 地热井

**中图分类号:** P634.5; TE249 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0399-06

## The application and practical of torque impactor + screw drilling tool composite drilling technology

LAN Yongfei<sup>1,2</sup>, HAN Yuxiang<sup>1,2</sup>, CHEN Mingyong<sup>1,2</sup>, WANG Hu<sup>\*1,2</sup>

(1. No. 111 Geological Team, Bureau of Geological and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang Guizhou 550081, China;

2. Guizhou Geological Engineering Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Guiyang Guizhou 550081, China)

**Abstract:** The torque impactor can convert the kinetic energy of drilling fluid into high-frequency circumferential kinetic energy of the lower drilling tool, thereby eliminating stick-slip vibration, protecting PDC drill bits, and improving construction efficiency. During the construction of two geothermal wells in Baise, Guangxi and Bijie, Guizhou, due to the influence of soft and hard interlayers, the stick-slip vibration effect was strong, causing the composite pieces of PDC drill bits to quickly collapse and the drill bits to be scrapped in advance. A composite drilling process of torque impactor + screw drilling tool is used. By reasonably designing the drilling tool combination and drilling parameters, compared with the simple screw drilling process, due to the effective control of stick-slip vibration, the phenomenon of tooth collapse of the drill bit composite piece is significantly reduced, the service life is increased, and the average mechanical drilling speed is increased by more than twice. Overall construction efficiency and economic benefits has been improved. It provides a new solution for the construction of formations prone to stick-slip effects such as soft and hard interlayers.

**Key words:** torsion impactor; screw drilling tools; stick-slip vibration; soft and hard interlayers; geothermal well

收稿日期: 2023-05-28; 修回日期: 2023-08-15 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.063

基金项目: 贵州省科学技术厅科技支撑计划(编号: 黔科合支撑[2022]一般245); 贵州省地质矿产勘查开发局地质科研项目(编号: 黔地矿科合[2019]13号、黔地矿科合[2019]14号、黔地矿科合[2021]25号、黔地矿科合[2021]28号)

第一作者: 兰永飞, 男, 汉族, 1990年生, 助理工程师, 主要从事钻探技术研究工作, 贵州省贵阳市观山湖区石林西路171号贵州地质科技园5号楼402室, 172828124@qq.com。

通信作者: 王虎, 男, 汉族, 1985年生, 高级工程师, 地质工程专业, 硕士, 主要从事钻探技术研究工作, 贵州省贵阳市观山湖区石林西路171号贵州地质科技园5号楼402室, 516775129@qq.com。

引用格式: 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.

LAN Yongfei, HAN Yuxiang, CHEN Mingyong, et al. The application and practical of torque impactor + screw drilling tool composite drilling technology[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 399-404.

## 0 引言

贵州省地热资源较为丰富,但因地质条件复杂<sup>[1]</sup>,钻探施工成本高,效率低。近年来,推广应用了螺杆钻进工艺<sup>[2]</sup>、空气潜孔锤钻进工艺<sup>[3-4]</sup>、气举反循环钻进工艺<sup>[5]</sup>、双壁钻杆空气潜孔锤局部反循环钻进工艺<sup>[6]</sup>及多工艺复合钻进技术<sup>[7]</sup>等钻进工艺技术,并对相关配套设备机具进行了完善<sup>[8]</sup>,取得了一定的成果<sup>[9]</sup>。但在软硬夹层、硬岩地层及破碎地层钻进时,因粘滑效应导致的钻头寿命短<sup>[10-11]</sup>、钻进效率低的问题一直没有得到有效解决。扭力冲击器可以有效缓解粘滑效应<sup>[12]</sup>,并提高机械钻速<sup>[13-14]</sup>,在我国油气钻井施工中已经得到了一定程度的推广应用,但在地热井施工中应用还较少。本文将扭力冲击器提速工具引入到地热钻井施工中,为进一步提高地热钻井施工效率,降低施工成本提供了新的解决方案。

### 1 扭力冲击器工作机理

如图1(a)所示,在理想状态下,钻头在碎岩过程中是与钻具以相同的速度转动的,即钻头为持续旋转碎岩的。实际上,钻头在地层中钻进的过程中,当前扭矩不足以切削岩石时,会有一个短暂的停滞蓄能过程,被称为“粘滞状态”(见图1b),随着钻头处积蓄的能量达到破碎岩石的需求时,钻头破碎岩石并高速旋转,被称为“滑脱状态”(见图1c),直到能量释放到低于破碎岩石所需,钻头又进入“粘滞状态”。钻头这种“粘滞状态”与“滑脱状态”反复循环的过程,即为“粘滑振动”<sup>[15]</sup>。这种振动会导致钻头发生崩齿、跳钻等现象<sup>[16-17]</sup>,从而减少钻头寿命,降低钻进效率,增加施工成本。

扭力冲击器能够产生高频低幅的周向冲击力,该周向冲击力通过扭力冲击器下端的传动短接传递给钻头,能够有效地抑制粘滑振动,提高钻头碎岩效率,并增加钻头寿命(见图1d)<sup>[18]</sup>。此外,该钻具为纯机械构造,内部无电子元件及橡胶部件<sup>[19]</sup>,具有较强的耐用性和安全性。

## 2 扭力冲击器-螺杆复合钻进工艺在地热井中的应用方法

### 2.1 扭力冲击器型号选择

在地热井施工中,拟采用螺杆钻进工艺配合扭力冲击器提速工具的复合钻进方式,即将扭力冲击

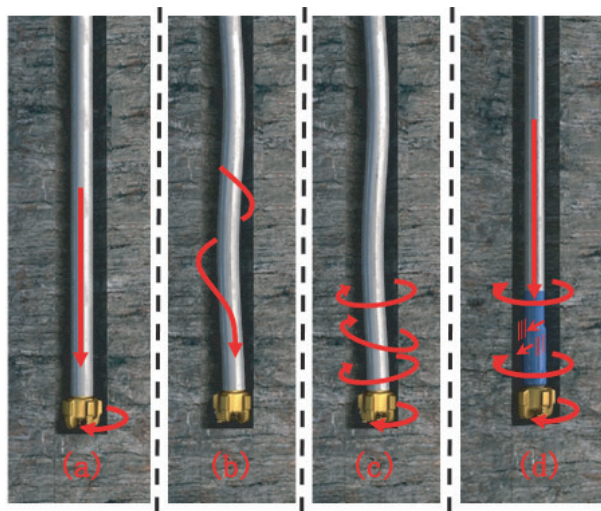


图1 粘滑振动机理示意

器置于螺杆钻具与PDC钻头之间,由螺杆钻具提供孔底动力,由扭力冲击器解决粘滑效应,最终实现增加钻头寿命、提高施工效率和降低施工成本的目的。综合地热井常规钻井结构,结合钻具接头型号及泥浆泵能力等情况,最终选定BHDC-182型和BHDC-230型2种扭力冲击器,其具体性能参数见表1。

### 2.2 钻具组合

根据选定的扭力冲击器型号,结合地热井常规钻井设计及螺杆钻进工艺的钻具组合情况,对扭力

表1 扭力冲击器技术参数

型 号	BHDC-182	BHDC-230
适用井眼尺寸/mm	215.9~241.3	311.2
工具长度/mm	710	880
上端直径/mm	166	200
下端直径/mm	182	230
打捞颈长度/mm	280	280
最大工作温度/°C	200	200
最大抗压载荷/kN	>3000	>3000
最大抗拉载荷/kN	>1000	>1000
材料屈服极限/MPa	930	930
压降/MPa	0.5~2	1.8~2.5
上端扣型	410/411	630/631
上端上扣扭矩/(kN·m)	5.5~6.5	5.5~6.5
下端扣型	430/630	630
推荐转速/(r·min <sup>-1</sup> )	50~70	50~70
钻压范围/kN	40~120	40~160
排量/(L·s <sup>-1</sup> )	26~38	40~60

冲击器-螺杆钻具复合钻进工艺进行钻具组合设计。

(1) 一开:主动接头+ $\text{\O}127$  mm 钻杆+ $\text{\O}159$  mm 钻铤+ $\text{\O}203$  mm 钻铤+ $\text{\O}203$  mm 螺杆钻具+BHDC-230 型扭力冲击器+ $\text{\O}311$  mm PDC 钻头;

(2) 二开:主动接头+ $\text{\O}127$  mm 钻杆+ $\text{\O}159$

mm 钻铤+ $\text{\O}172$  mm 螺杆钻具+BHDC-182 型扭力冲击器+ $\text{\O}216$  mm PDC 钻头。

### 2.3 钻进参数

结合扭力冲击器技术参数要求及螺杆钻具技术参数要求,可以确定扭力冲击器-螺杆钻具复合钻进工艺钻进参数合理范围见表2。

表2 扭力冲击器-螺杆钻具复合钻进工艺钻进参数

开次	钻孔直径/mm	扭力冲击器型号	螺杆型号	排量/(L·s <sup>-1</sup> )	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	钻压/kN
一开	311	BHDC-230	7LZ203×7.0L-5	40~41	50~70	155~160
			5LZ172×7.0L-4	26~31	50~70	100~120
二开	216	BHDC-182	5LZ172×7.0L-5	26~31	50~70	100~120
			7LZ172×7.0L-5	26~38	50~70	100~120

## 3 现场应用试验及效果分析

为验证扭力冲击器的提速降本效能,在广西百色及贵州毕节2口地热井施工中进行了应用试验。由于新工具引进具有不确定性,基于成本和风险控制原则,应用试验只针对 $\text{\O}216$  mm 口径进行。

### 3.1 广西百色地热井

#### 3.1.1 工程概况

2019年12月至2020年1月,项目组在广西百色地热井施工过程中进行了扭力冲击器+螺杆钻具组合钻进工艺现场应用试验,试验井位于百色市右江区龙景街道园博园附近,钻遇地层情况见表3,地层硬度5~6级,属中硬地层,设计井深1700 m,井身结构采用二开结构设计,详见表4。

#### 3.1.2 现场应用试验设计

本次试验井段为900~1400 m,井径为 $\text{\O}216$  mm。900~1100 m 为对比段,采用螺杆钻进工艺施

工;1100~1400 m 为试验段,采用扭力冲击器-螺杆钻具复合钻进工艺施工。施工钻机为RB-T100型全液压多功能钻机,使用3NB-500型泥浆泵,选用BHDC-182型扭力冲击器。

900~1100 m 井段钻具组合为:主动接头+ $\text{\O}127$  mm 钻杆+ $\text{\O}159$  mm 钻铤+ $\text{\O}172$  mm 螺杆钻具+ $\text{\O}216$  mm PDC 钻头。

1100~1400 m 井段钻具组合为:主动接头+ $\text{\O}127$  mm 钻杆+ $\text{\O}159$  mm 钻铤+ $\text{\O}172$  mm 螺杆钻具+BHDC-182型扭力冲击器+ $\text{\O}216$  mm PDC 钻头。

对比井段与试验井段地层岩性为泥岩、砂岩,为进一步减少影响因素,增强对比度,两段采用相同的钻进参数,钻进时泥浆泵排量为26 L/s,转速50~70 r/min,钻压100~120 kN。

#### 3.1.3 现场应用试验效果分析

表5为本次试验数据统计表。试验井段与对比

表3 百色地热井地层概况

地层名称	底板埋深/m	地层厚度/m	主要岩性描述
桂平组	34	34	上部为粘性土,下部为砂砾岩
伏平组	850	816	石英细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩及泥岩
百岗组	1200	350	灰、浅灰、灰绿色泥岩,砂质泥岩,粉砂岩及少量砂岩
那读组	1700	500	泥岩,钙质泥岩及含油砂岩、粉砂岩及2~3层可采褐煤,局部夹泥砾岩及细砾岩

表4 百色地热井井身结构设计

开钻次序	井段/m	钻头直径/mm	套管直径/mm	套管下入地层层位	套管井段/m	水泥封固段/m
表层	0~40	395	377	桂平组	0~40	0~40
一开	40~900	311	244.5	伏平组	0~900	0~900
二开	900~1700	216	177.8	百岗组、那读组	870~1700	根据需要调整

井段的岩性基本相同,钻井直径相同,使用的钻进参数基本一致,对比段900~1100 m井段使用螺杆钻进工艺,施工进尺200 m,纯钻时间131 h,平均机械钻速1.53 m/h,最高机械钻速2.20 m/h,机械钻速不稳定,使用全新的5翼PDC钻头入井,起钻后钻头多处复合片有崩齿现象;试验段1100~1400 m井段使用扭力冲击器+螺杆复合钻进工艺,施工进尺300 m,纯钻时间96 h,平均机械钻速3.13 m/h,对比段提高约105%,最高机械钻速3.61 m/h,机械钻速较稳定,起钻后钻头基本无崩齿现象(图2),钻头新度与对比段相比略新,说明钻头受到了较好的保护。

表5 百色地热井试验数据统计

井段/m	进尺/ m	纯钻 时间/ h	地层岩性	施工 工艺	机械钻速/ (m·h <sup>-1</sup> )	
					平均	最高
900~1100	200	131	泥岩、砂岩	螺杆	1.53	2.20
1100~1400	300	96	泥岩、砂岩	螺杆+ 扭冲	3.13	3.61

### 3.2 贵州毕节金沙城北地热井

#### 3.2.1 工程概况

施工地点位于贵州省毕节市金沙县,设计井深2200 m,地层岩性情况见表6,井身结构设计见表7。

表6 金沙地热井地层岩性

地层名称	底板埋 深/m	地层厚 度/m	主要岩性描述	钻进注意事项
第四系(Q)	20	20	残坡积亚粘土	防垮
寒武系第三统至奥陶系下统娄山关组( $\epsilon_{3-4}O_1l$ )	176	156	主要为灰、浅灰色白云岩、硅质条带白云岩	防漏失
寒武系第二统至第三统陡坡寺组至石冷水组( $\epsilon_{2-3}dp-sh$ )	276	100	上部为灰黄色薄层泥质粉砂岩夹灰色泥质白云岩,下部为白云岩夹粉砂岩	防漏失,降滤失
寒武系第二统清虚洞组( $\epsilon_{2q}$ )	426	150	上部主要为灰色中厚层夹薄层泥质、灰质白云岩,下部为灰色中厚层至厚层灰岩及白云质灰岩	防漏失
寒武系下统金顶山组( $\epsilon_j$ )	573	147	上部主要为灰绿、黄绿色粉砂质页岩夹砂岩	降滤失
寒武系下统明心寺组( $\epsilon_2m$ )	926	353	上部为灰绿色粉砂质页岩及砂岩,中部为灰、深灰色厚层灰岩夹黄绿色砂岩,下部为黄绿色页岩及泥质砂岩	降滤失
寒武系下统牛蹄塘组( $\epsilon_{1-2n}$ )	1078	152	上部为深灰、黄灰色含泥质页岩夹少量炭质页岩,下部为炭质页岩夹少量硅质岩	降滤失,防垮
震旦系上统至寒武系组芬兰统灯影组( $Pt_3^{3b}\epsilon_1dy$ )	1690	612	主要为浅灰、灰色中厚层白云岩夹燧石条带白云岩	防漏失,夹硬岩
震旦系下统陡山沱组( $Pt_3^3d$ )	1904	214	上部主要为紫红色夹灰绿色粘土岩,下部主要为紫红、灰绿色泥质白云岩	水敏地层
南华系上统南沱组( $Pt_3^{2c}n$ )	2015	111	主要为紫红色夹灰绿色冰碛砾岩	硬岩,防跳钻,防斜
南华系中统澄江组( $Pt_3^{2b}ch$ )	2086	71	主要为浅灰、灰绿色厚层细—粗粒砂岩夹粘土岩,浅灰、灰绿色薄层粉—细砂岩夹粘土岩状玻璃凝灰岩,紫红色含砾岩屑长石砂岩及长石岩屑砂岩,夹少量紫红或灰绿色粉砂质粘土岩	水敏地层
平坝断层	2186	100	断层角砾岩或破碎带	防垮,防漏失
青白口系下江时期清水江组( $Pt_3^{1d}q$ )	2200	—	主要为变余砂岩及变余凝灰岩夹绢云母板岩	硬岩,防跳钻,防斜



(a)入井前



(b)起钻后

图2 试验用PDC钻头入井前后对比

### 3.2.2 现场应用试验设计

本次现场应用试验计划在二开井段实施,井径

为 $\Phi 216$  mm。1092.22~1400 m为对比段,采用螺杆钻进工艺施工;1400~1800 m为试验段,采用扭力冲击器-螺杆钻具复合钻进工艺施工,选用扭力冲击器型号为BHDC-182。

对比井段钻具组合为:主动接头+ $\Phi 127$  mm钻杆+ $\Phi 159$  mm钻铤+ $\Phi 172$  mm螺杆钻具+ $\Phi 216$  mm PDC钻头。

试验井段钻具组合为:主动接头+ $\Phi 127$  mm钻杆+ $\Phi 159$  mm钻铤+ $\Phi 172$  mm螺杆钻具+BHDC-182型扭力冲击器+ $\Phi 216$  mm PDC钻头。

对比段与试验段分别使用全新M1365DG型PDC钻头1个,为进一步减少影响因素,增强对比度,两段采用相同的钻进参数,钻进时泥浆泵排量为26 L/s,转速50~70 r/min,钻压100~120 kN。

### 3.2.3 现场应用试验效果分析

#### 3.2.3.1 钻头保护效果分析

现场应用试验时,对比段钻进至1245 m时,因进尺缓慢,起钻查看钻头,发现钻头因受粘滑振动影响,复合片崩齿,崩碎的复合片在井底进一步破坏钻头复合片及胎体,最终导致钻头报废(图3b),故提前终止对比段试验,进入试验段程序。试验井段变更为1245~1600 m,试验结束后,起钻查看钻头新度仍在90%以上(图3c)。

表7 金沙地热井井身结构

钻井次序	钻 井		套 管			固井井段/m
	井径/mm	井段/m	外径/mm	井段/m	型 号	
表层	395	0~10.60	377	-2.00~10.60	无缝钢管	0~11.60
一开	311	10.60~1092.22	244.5	-1.73~1092.22	J55API石油套管	0~1092.22
二开	216	1092.22~2195.6	177.8	1035.8~1642.78	J55API石油套管和筛管	1035.80~1537.10
			127	1642.78~2195.60	J55API石油套管和筛管	—



(a)新钻头



(b)螺杆钻进工艺出井钻头



(c)扭冲-螺杆复钻进工艺出井钻头

图3 PDC钻头使用情况对比

### 3.2.3.2 钻进效率分析

表8为二开1092.22~1600 m钻进情况统计表。从表中可以看出,单纯使用螺杆钻进工艺时,因钻头

迅速损坏,平均机械钻速仅为1.58 m/s;而使用扭力冲击器+螺杆钻具复合钻进工艺,平均机械钻速提高到3.35 m/h以上,机械效率提高了1倍以上。

表8 金沙地热井钻进效率分析

井段/m	进尺/m	纯钻时间/h	地层岩性	施工工艺	机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	
					平均	最高
1092.22~1245	152.78	97	泥质白云岩夹页岩夹白云岩及砂岩	螺杆	1.58	4.02
1245~1523	278	79.5	泥质白云岩夹页岩夹白云岩及砂岩	螺杆+扭冲	3.50	4.05
1523~1600	77	23	粘土岩夹砂岩	螺杆+扭冲	3.35	3.67

综上所述,使用扭力冲击器可以有效消除粘滑振动,提高钻头寿命,提高施工效率。

## 4 结论

扭力冲击器可以将钻井液的动能转化为下部钻具的周向高频振动,从而有效消除粘滑振动。将扭力冲击器安装在螺杆钻具与PDC钻头之间,使用扭力冲击器+螺杆钻具复合钻进工艺,可以保护钻头,增加钻头寿命,减少钻头使用费用,提高机械钻速,从而整体提高了施工效率和经济效益,为软硬夹层等易发生粘滑效应的地层施工提供了新的解决方案。

### 参考文献:

[1] 宋继伟. 贵州省复杂地层地热深井钻探工艺[J]. 地质与勘探, 2018, 54(5): 1024-1037.

[2] 李奇龙. 螺杆钻具在地热井钻探中的应用初探[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(3): 56-58.

[3] 赵华宣, 李强, 陈涛, 等. 贵州碳酸岩地层地热深井空气潜孔锤钻进技术应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(2): 37-42.

[4] 赵华宣. 贵州碎屑岩层地热深井空气潜孔锤钻进技术应用研究[J]. 地质与勘探, 2016, 52(5): 942-949.

[5] 曾远明. 气举反循环钻进工艺在地热井钻探施工中的应用[J]. 化工设计通讯, 2022, 48(9): 13-15.

[6] 王剑, 李勇, 李奇龙, 等. 空气潜孔锤孔底部反循环封堵工具研究与应用[J]. 探矿工程, 2021, 48(3): 61-66.

[7] 苏宁. 多工艺钻井技术在贵州省遵义县ZK1井施工中的应用研究[J]. 地质与勘探, 2016, 52(1): 165-172.

[8] 王虎, 苏宁, 王剑, 等. 车载钻机地热钻井多工艺组合钻进配套[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十九届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集. 北京: 地质出版社, 2017: 97-103.

[9] 宋继伟, 苏宁, 余立新, 等. 贵州省地矿局钻探工程发展回顾与展望[J]. 钻探工程, 2021, 48(3): 1-9.

[10] 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.

[11] 李小洋, 李宽, 张永勤, 等. 新型涡轮扭力冲击器的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(12): 40-43, 49.

[12] 毛良杰, 马茂原, 刘立鹏, 等. 扭力冲击器对钻柱黏滑振动的影响分析[J]. 断块油气田, 2022, 29(4): 545-551.

[13] 陈波, 马志忠, 和鹏飞, 等. 扭力冲击器在海洋6-1钻井提速中的应用[J]. 石油工业技术监督, 2021, 37(8): 65-67.

[14] 罗坚, 郑伟, 肖梦林, 等. 扭力冲击器提速工具在南海东部油田应用分析[J]. 石化技术, 2021, 28(7): 106-107.

[15] 赵金成, 陈杰, 陈立伟, 等. 国内外扭力冲击器的研究现状及展望[J]. 机械工程师, 2022, (5): 83-85.

[16] 田家林, 唐磊, 刘强, 等. 恒扭提速钻具动力学特性研究与试验分析[J]. 中国海上油气, 2022, 34(4): 203-212.

[17] 汪伟, 柳贡慧, 李军, 等. 脉动式扭转冲击钻井工具工作特性分析与测试[J]. 石油钻探技术, 2022, 50(5): 63-69.

[18] 江波, 任茂, 王希勇. 彭州气田PZ115井钻井提速配套技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(8): 73-78.

[19] 朱弘. 扭力冲击器在川东北地区陆相地层的应用分析[J]. 石化技术, 2020, 27(4): 21-22.

(编辑 周红军)