

雄安新区D19井破碎热储层气举反循环钻进技术

赵长亮^{1,2}, 王勇军^{*1,2}, 聂德久^{1,2}, 王磊^{1,2}

(1. 山东省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质大队(山东省鲁北地质工程勘察院), 山东德州 253072;

2. 山东省地热清洁能源探测开发与回灌工程技术研究中心, 山东德州 253072)

摘要: D19井是雄安新区地热清洁能源调查评价项目的一个勘探孔, 完钻井深4021.78 m, 揭穿雾迷山组和高于庄组2个热储层。为应对热储层钻进严重漏失及保护热储层, 选用了气举反循环钻进工艺。对深井气举反循环钻进设备进行配套, 同时对双壁钻杆下深、风量等工艺参数进行了现场试验优选。针对钻遇复杂破碎地层时返水(渣)通道经常堵塞无法顺利钻进的问题, 研制出了适宜于破碎地层气举反循环钻进的防堵进水接头, 同时对进水(渣)口进行保护, 有效地解决了破碎地层气举反循环钻进易堵塞的难题, 顺利完成了钻探任务。完善了极破碎热储层气举反循环钻进工艺技术, 为气举反循环钻进工艺在破碎热储层的应用和推广打下了基础。

关键词: 清洁能源调查; 破碎热储层; 气举反循环钻进; 防堵进水接头; 雄安新区

中图分类号: P634; TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2022)04-0137-07

Gas lift reverse circulation drilling technology for D19 well in broken thermal reservoir in Xiong'an New Area

ZHAO Changliang^{1,2}, WANG Yongjun^{*1,2}, NIE Dejiu^{1,2}, WANG Lei^{1,2}

(1. *The Second Hydrogeology and Engineering Geology Brigade of Shandong Provincial Bureau of Geological Survey (Lubei Geological Engineering Survey Institute of Shandong Province), Dezhou Shandong 253072, China;*

2. *Shandong Geothermal Clean Energy Exploration and Development and Recharging Engineering Technology Research Center, Dezhou Shandong 253072, China)*

Abstract: Well D19 is an exploration hole in the geothermal clean energy survey and evaluation project in Xiong'an New Area. Drilling was completed at 4021.78m, penetrating two thermal reservoirs each in Wumishan Formation and Gaoyuzhuang Formation. Gas lift reverse circulation drilling was used to deal with serious leakage of the thermal reservoirs and protect the thermal reservoirs. The drilling equipment was selected, and the setting depth of the dual wall drilling string and the air volume were tested and optimized. In view of the drilling difficulty due to blockage in the return (cuttings) channel encountered in complex broken strata in the process of gas lift reverse circulation drilling, an anti-blocking inlet sub suitable for the reverse circulation drilling broken strata with protection of the inlet (cuttings) port have been developed. It effectively solved the blockage difficulty with gas lifting reverse circulation drilling in broken formation, and the drilling job was successfully completed. The gas lift reverse circulation drilling process for extremely broken thermal reservoir has been improved, which lays a foundation for the application and promotion of the gas lifting reverse cycle drilling process in broken thermal reservoirs.

Key words: clean energy survey; broken thermal reservoir; gas lift reverse circulation drilling; anti-blockage inlet sub; Xiong'an New Area

收稿日期: 2022-02-11; 修回日期: 2022-06-15 DOI: 10.12143/j.ztgc.2022.04.021

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“雄安新区地热清洁能源调查评价”(编号: DD20189112); 山东省地质勘查引领示范与科技攻关项目“高温地热超深孔勘查取心钻探关键技术研究与应用”(编号: KY202219)

第一作者: 赵长亮, 男, 汉族, 1978年生, 高级工程师, 石油工程专业, 主要从事深部资源钻探管理和技术研究工作, 山东省德州市大学东路1499号, 2877716960@qq.com。

通信作者: 王勇军, 男, 汉族, 1984年生, 高级工程师, 勘察技术与工程(岩土钻掘)专业, 主要从事深部大口径资源钻探技术研究工作。山东省德州市大学东路1499号, wyjcd511@sina.com。

引用格式: 赵长亮, 王勇军, 聂德久, 等. 雄安新区D19井破碎热储层气举反循环钻进技术[J]. 钻探工程, 2022, 49(4): 137-143.

ZHAO Changliang, WANG Yongjun, NIE Dejiu, et al. Gas lift reverse circulation drilling technology for D19 well in broken thermal reservoir in Xiong'an New Area[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(4): 137-143.

0 引言

气举反循环钻进是利用向钻柱内注入压缩空气,降低钻柱内流体密度从而改变钻柱内外液柱压差,在钻柱内外液柱压差的推动下,实现钻井液从钻柱外环空流入、从钻柱内环空返出的一种钻进工艺^[1-2]。空压机将压缩空气经供气管线、气盒子、双壁主动钻杆、双壁钻杆、气水混合器进入双壁钻杆内管内,气体与钻井液混合形成密度小于钻井液的混合流体,进入双壁钻杆内管的气体沿内管快速上升,产生气举作用^[2-4]。当连续注入压缩空气时,在钻柱内外液柱压差及水下气体上移托举的作用下,钻孔内钻柱外的流体经钻具底部钻头水眼连续进入钻柱内,当液流达到一定速度时,就能带走钻孔底部的岩屑^[4-5]。水与岩屑混合的固、液二相混合物经下部钻柱内腔达到气水混合器处,与注入的压缩空气混合形成固、液、气三相混合物继续沿双壁钻杆内管内腔内上返循环至地面。返出地面的混合流体经清除固相后可再次注入井筒内参与循环^[6]。该工艺广泛应用于深层基岩地热资源的勘探开发中,特别是漏失严重的地层中,具有能耗低、孔底清洁、钻进效率高、保护储层等优点^[7-9]。我们在雄安新区D19井破热储层钻进中进行了气举反循环钻进的研究应用。

1 D19井概况

中国地质科学院水文地质环境地质研究所组织实施了雄安新区地热清洁能源调查评价项目,D19井为该项目2019年工作任务中的一个勘探孔,位于安新县城区北,雄安新区核心区南部,交通便利。钻探施工任务由山东省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质大队(山东省鲁北地质工程勘察院)承担。D19完钻井深4021.78 m,揭穿雾迷山组和高于庄组2个热储层。钻探施工现场见图1。

1.1 钻探设备

D19井采用ZJ50型石油钻机进行施工,主要设备情况见表1。

1.2 地质概况

雄安新区地质构造位于渤海湾盆地的冀中拗陷内,主要涉及的构造单元有徐水凹陷、容城凸起、牛驼镇凸起、霸县凹陷、保定凹陷、高阳低凸起,主体构造线以NE向为主,主要断裂有NE向容城断裂、牛东断裂、保定断裂、高阳断裂,NWW向牛南断裂^[10-13]。D19井钻遇地层情况见表2。

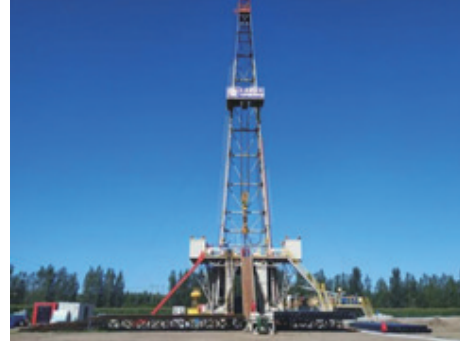


图1 D19井钻探现场

Fig.1 Panoramic view of Well D19 drilling site

表1 主要钻探设备

Table 1 Main drilling equipment

序号	设备名称	型号	功率/kW	
1	钻机	ZJ50/3150D		
2	井架	JJ315/45-K		
3	转盘	ZP375		
4	绞车	JC50	1100	
5	泥浆泵	F-1300	960	
6	动力机	1号	电动机	800
		2号	电动机	800
7	固控系统	ZJGK-50	220	
8	井控装置	2FZ35-21	144	

1.3 井身结构

D19井成井结构为四开^[14]:

一开 $\varnothing 444.5$ mm牙轮钻头钻进至700 m,下入 $\varnothing 339.7$ mm石油套管;

二开 $\varnothing 311$ mm钻头钻进至2926 m,并进行定深取心,揭露雾迷山组白云岩,下入 $\varnothing 244.5$ mm石油套管;

三开 $\varnothing 215.9$ mm钻头钻进至3767 m,并进行定深取心,揭露雾迷山组白云岩,下入 $\varnothing 177.8$ mm石油套管;

四开 $\varnothing 152.1$ mm钻头全面钻进至4021.78 m,并进行定深取心,揭露高于庄组热储层,裸眼完井。

成井井身结构如图2所示。

1.4 钻井液体系

D19井钻探施工过程中,根据不同井段地层的岩性特征,采用了不同体系的钻井液^[15],见表3。

2 气举反循环钻进的应用研究

根据设计要求,为保护热储层、防止热储层因钻

表 2 D19 井钻遇地层分层情况

Table 2 Geological stratigraphy at Well D19

地 层	实际分层		岩性特征	
	界 系 组	底深/m		厚度/m
新生界	第四系 平原组	433.90	433.90	土黄色、灰黄色、浅灰色粉土、粉质粘土、粘土,灰黄色、灰白色细砂、粉细砂
	新近系 明化镇组	1270.00	836.10	灰褐色、灰绿色泥质粉砂岩,灰白色、灰绿色泥岩
	东营组	1665.00	395.00	灰白色、灰绿色细砂岩,灰色、灰绿色泥质粉砂岩互层;红褐色、棕褐色泥岩,灰色、灰绿色泥质粉砂岩,灰白色、浅灰色细砂岩互层
古近系	沙河街组	2920.00	1255.00	灰白色、灰绿色含砾细砂岩,浅灰色、灰白色细砂岩,灰黑色、灰褐色泥岩,杂色砾岩互层
	元古界 蓟县系 雾迷山组	3760.00	840.00	灰白色、浅灰色白云质灰岩为主,局部夹灰白色白云岩
元古界	杨庄组	3770.00	10.00	灰色泥岩,易塌陷
	长城系 高于庄组	4021.78(未揭穿)	251.78	灰色、浅灰色白云质灰岩为主,局部夹灰白色白云岩

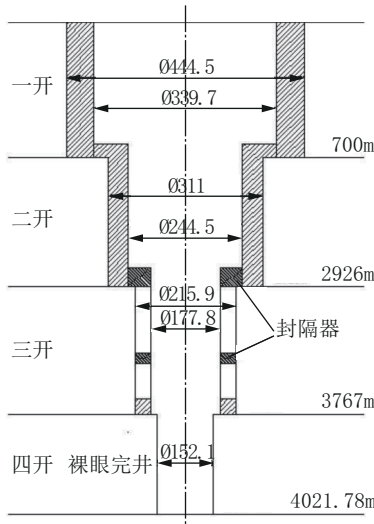


图 2 D19 井成井结构示意图

Fig.2 Completion structure of Well D19

表 3 各开次钻井液体系

Table 3 Drilling fluid systems

开次	井段/m	钻井液体系	备注
一开	0~700	聚合物	性能以携带为主
二开	700~2926	聚合物	性能以护壁和提高钻效为主
三开	2926~3767	清水	保护储层
四开	3767~4021.78	清水	保护储层

井液造成污染,在三开、四开热储层井段应使用清水钻进。三开扫开水泥塞后换清水继续钻进,钻进至 2949 m 出现漏失、井口不返水,经项目技术人员综合分析,如采用清水顶漏钻进,将消耗大量的水,施

工用水的供给无法得到保障,同时顶漏钻进的岩屑会随着漏失而进入热储层中,也会对热储层造成一定的影响;另一方面钻进产生的较大块岩屑无法随清水进入到裂隙中,会导致孔底积累的大块岩屑随钻进逐渐增多,造成重复破碎影响效率,甚至可能出现沉渣卡钻等复杂情况。经综合研究决定采用气举反循环钻进工艺继续钻进,可避免正循环的漏失问题,通过在钻柱内腔建立起反向循环,将孔底的碎岩屑携带至地面,解决孔底沉渣的问题、实现正常钻进,同时可以防止岩屑进入储层裂隙中、达到保护储层的目的。

2.1 钻具组合及工艺参数研究

现场监测井内静水位为 167 m,根据以往其他类似项目气举反循环钻进经验,双壁钻杆深度与钻孔深度比值一般控制在 1:(5~8)、空压机风量一般为 4~15 m³/min 等^[1-2]。同时考虑钻孔深度、井身结构、钻具设备配备等因素,D19 井气举反循环钻进配备的主要设备及钻具见表 4。

表 4 气举反循环钻进主要设备

Table 4 Main equipment of gas lift reverse circulation

名称	规格	数量	备注
空压机	15 m ³ /min、10 MPa	1 台	变频控制
双壁钻杆	Ø127 mm	800 m	S135 钢级
常规钻杆	Ø114 mm	3500 m	S135 钢级
	Ø89 mm	3500 m	S135 钢级
双壁主动钻杆	Ø133 mm	1 根	长 12.5 m
气盒子		1 套	

根据以往的研究成果和施工经验,气举反循环钻进中,钻柱内腔中混合流体的上返速度关系着携带岩屑能力,是气举反循环钻进顺利进行的关键,可以运用下式计算气举反循环钻进携带不同直径岩屑所需的最小流速^[16]:

$$V_{\min}=5.72[d_1(r_f-r_1)/r_1]^{1/2}/10 \quad (1)$$

式中: d_1 —岩屑颗粒直径,cm; r_f —岩屑密度, g/cm^3 ; r_1 —钻井液密度, g/cm^3 。

根据本井漏失发生前正循环钻进及以往类似地层气举反循环钻进经验,钻头刻取的岩屑直径大多在5~10 mm的范围内,现场测量正循环返出的白云岩岩屑密度为 $2.73 \text{ g}/\text{cm}^3$,代入式(1)计算,携带直径10 mm的岩屑颗粒 $V_{\min}=0.75 \text{ m}/\text{s}$;携带直径5 mm的岩屑颗粒 $V_{\min}=0.53 \text{ m}/\text{s}$ 。

为满足钻进过程中岩屑上返流速的要求、找到最优的工艺参数,参考沉没比一般应大于0.5^[1-2],结合上述双壁钻杆下深及风量的经验值,以往气举反循环研究成果、施工经验以及现场钻具配备,经综合分析研究,对双壁钻杆下深347.76 m(沉没比0.5)、492.66 m(沉没比0.65)、695.52 m(沉没比0.75),风量8、10、12 m^3 时的返水量进行了试验测试,计算出了相应的上返速度。

首先采用 $\text{O}215.9 \text{ mm}$ 钻头+ $\text{O}165 \text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}89 \text{ mm}$ 常规钻杆+ $\text{O}127 \text{ mm}$ 双壁钻杆的钻具组合,根据试验测试数据计算的上返速度见图3。在实际测试中上返水量较小、携带岩屑效果很差,无法满足正常钻进需求,现场研究分析认为: $\text{O}89 \text{ mm}$ 常规钻杆内径太小($\text{O}71 \text{ mm}$),在深度较深(2949 m)的条件小,能上返的水量较小,无法满足正常钻进携带岩屑的需求。综合研究决定将 $\text{O}89 \text{ mm}$ 常规钻杆全部替换为内径较大($\text{O}96 \text{ mm}$)的 $\text{O}114 \text{ mm}$ 常规钻杆,返水量有了明显的提高,根据试验数据计算出的钻柱内流体上返速度也有一定的提高(见图4),携带岩屑效果明显提升。

依据图4可以看出:当风量超过10 m^3/h 时,随着风量继续增加,上返速度增加得很少;双壁钻杆下深从492.66 m增加至695.52 m,上返速度提升亦较少,而根据现场试验记录,双壁钻杆下深695.52 m时,空压机负荷明显增加,空气循环系统的密封部件损耗亦明显增加。

经综合研究确定:采用 $\text{O}215.9 \text{ mm}$ 钻头+ $\text{O}165 \text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}114 \text{ mm}$ 常规钻杆+ $\text{O}127 \text{ mm}$ 双壁

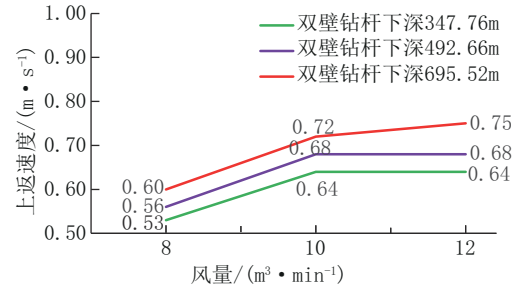


图3 采用 $\text{O}89 \text{ mm}$ 钻杆时不同风量上返速度

Fig.3 Up-hole velocity at different air volumes with $\text{O}89 \text{ mm}$ drill rod

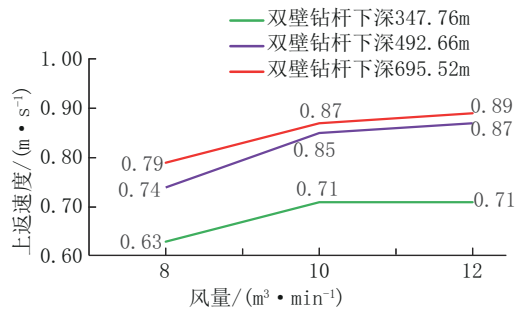


图4 采用 $\text{O}114 \text{ mm}$ 钻杆时不同风量上返速度

Fig.4 Up-hole velocity at different air volumes with $\text{O}114 \text{ mm}$ drill rod

钻杆的钻具组合,双壁钻杆下深492.66 m(沉没比0.65)、风量10 m^3/min ,此时现场测量的返水量 $22.12 \text{ m}^3/\text{h}$ 、计算的钻柱内流体上返流速为 $0.85 \text{ m}/\text{s}$ 。代入式(1)计算,上返速度能够满足 $\text{O}12.7 \text{ mm}$ 的岩屑颗粒的上返携带,根据现场实钻及以往类似地层经验判断,能够满足正常钻进需要。

实际钻进过程中,正常情况下返水稳定、返渣均匀(见图5),返出岩屑大多为3~10 mm的片状岩屑、有少量达到15 mm的块状岩屑,孔底较为干净。在地层较破碎时,返出岩屑增多、尺寸增大(10~15 mm)、且大多呈块状,孔底时有少量沉渣,偶出现堵塞现象,经上提活动钻具大多能解除堵塞问题,虽对钻进效率造成了一定的影响,但基本能维持正常钻进。气举反循环在D19井孔中机械钻进效率为1.5~2 m/h ,相比常规正循环钻进效率提高约25%~30%,且有效地解决了漏失问题、达到了保护热储层的目的。

2.2 防堵工艺研究应用

气举反循环工艺钻进至3226 m时遇断层带,进尺很快,钻进约1 m后出现堵塞(返水量降低甚至不



图5 气举反循环钻进正常返水(渣)情况

Fig.5 Normal water (cuttings) return in air lift and reverse circulation drilling

返水)现象,一般将钻具提高孔底,继续送风40~50 min后能恢复返水,有时则需继续送风1.5~2 h方能恢复返水、甚至不能恢复返水。恢复返水后集中返出大量岩屑、随后才能恢复正常,不能恢复返水则需要起钻清理钻具内堵塞物(见图6)。再次下放钻具孔底沉渣较多,继续钻进孔底沉渣逐渐增多,且经常出现堵塞现象,严重影响正常钻进、钻进效率很低。



图6 起钻清理出钻具内的堵塞物

Fig.6 Cleaning blockage in the drilling string

现场分析研究,造成此现象的主要原因有以下2个方面:一是地层破碎,孔底岩块较多,大量小粒径岩屑进入钻具内造成堵塞,较大粒径岩屑在吸水 and 钻头碾压的作用下卡堵钻头进水(渣)口;二是下放钻具扫进时,孔底碎岩块即被挤向四周、岩块埋住钻头底部进水(渣)口,造成进水受阻、进水量减少,使钻具内混合流体上返流速降低、携带能力降低而造成堵塞。为了有效解决破碎地层气举反循环钻进易堵塞难题,我们从以下2个方面进行了研究改进。

2.2.1 改进钻头水眼

在三牙轮钻头的3个水眼外侧加装异形保护板(见图7),将保护板与牙轮之间的间隙控制在3~

5 mm,保证牙轮正常转动的情况下此处仍可进水、并吸入小颗粒岩屑,大部分岩屑通过轮齿间隙进入,由于在钻进过程中牙轮一直转动,所以不会出现岩屑卡堵轮齿间隙的现象。在井底岩屑较多时,可以有效地防止进水(渣)堵塞,同时可以控制吸入岩屑的粒径和数量、避免钻柱内腔因岩屑过多而堵塞。



图7 钻头进水(渣)口防堵保护

Fig.7 Blocking protection at bit water (cuttings) inlet ports

2.2.2 增设防堵进水短接

通过对破碎地层气举反循环堵塞现象及地层破碎情况的研究分析,深入研究气举反循环吸水(渣)机理,在钻头上部增加防堵进水短接,解决井底碎岩屑较多时、因钻头底部吸水(渣)口堵塞造成进水量减少的问题。其作用原理是将钻头底部吸水(渣)的作用进行分离,将吸水的功能主要赋予防堵进水短接的进水孔,其距离井底相对较远,一般情况下不受井底碎岩屑影响,可以保证进水量,从而保证正常循环。考虑增设了防堵进水短接后,钻头底部的吸水(渣)口的进水、吸渣能力就会减弱、甚至出现不进水不吸渣的情况。根据射流、虹吸相关理论的研究,进水孔距离钻头底面一般不应超过550 mm,同时应将进水孔设置为斜孔,使其在保证进水的同时辅助钻头底部吸渣。按相关理论:进水孔距离钻头底面越近,吸渣效果越好;进水孔竖向夹角越小,产生的射流、虹吸作用就越强,辅助吸渣的效果亦越好。但在实际加工中,竖向夹角 $<30^\circ$ 时加工十分困难、且对工具强度影响较大,进水孔位置亦需要避开下端母扣,同时考虑防堵进水短接的进水孔距钻头底面越近、越容易造成堵塞。因此本次研究吸水孔的竖向夹角设置为 30° ,进水孔距离钻头底面的距离设置为420~520 mm,竖向分3层均匀布置、每层径向设置3个孔,并根据等截面的原理,使9个进水孔截面积

的和与钻头体内腔截面积相近。经计算进水孔直径设置为 22 mm,防堵进水短接结构如图 8 所示。

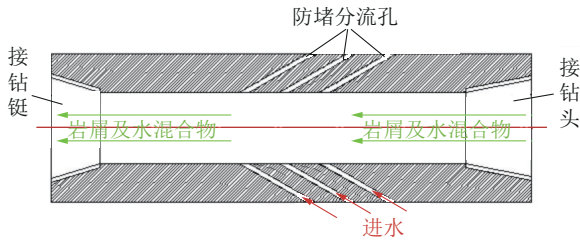


图 8 防堵进水短接结构示意图
Fig.8 Structure of the anti-blocking inlet sub

添加防堵进水短接后,堵塞问题明显减轻,基本实现了正常钻进。钻进至 3230 m 时地层特别破碎、井壁坍塌,钻具上提后井孔即被坍塌物填满,下放钻具扫进 0.5 m 左右防堵进水孔堵塞,上提钻具循环后再探井深又恢复至 3230 m,反复扫进多次无法通过。

现场分析认为,下放钻具扫进时,井底坍塌的碎岩块即被挤向四周,大量小粒径岩屑从防堵进水孔吸入钻具内腔形成“岩屑塞”,造成“憋压”现象^[1-3],进水量减少,使钻具内腔混合流体上返速度下降。同时大量的碎岩屑逐渐接近、甚至埋住防堵进水孔,其中粒径与进水孔径相近的岩块在被吸入的过程中卡堵进水孔(见图 9),造成进水受阻、进水量进一步减少,从而形成下放钻具 0.5 m 即发生堵塞的现象。

研究决定对防堵进水接头进行改进,在进水孔外加保护管,其原理是将实际进水口上移,使其远离井底沉渣,达到进水而不吸渣的目的,从而防止堵塞问题出现,实际加工过程中因工具外径减小、壁厚减小,相应强度降低,因此将原 3 层进水孔改为了 2 层,并加大了防堵进水孔的直径及 2 层进水孔的间



图 9 堵塞的防堵进水短接
Fig.9 Jammed anti-blocking inlet sub

距(见图 10),保证钻具的强度。

使用改进后的防堵进水接头解决了堵塞问题,至 3234 m 穿过破碎带,清理坍塌岩块的过程中返出大量岩屑(图 11)。继续应用气举反循环钻进,后续钻遇多个破碎层段,均顺利穿过,至 4021.78 m 完成设计钻探任务。



图 11 特别破碎段返出的大量岩屑
Fig.11 Large amount of cuttings returning from the very broken section

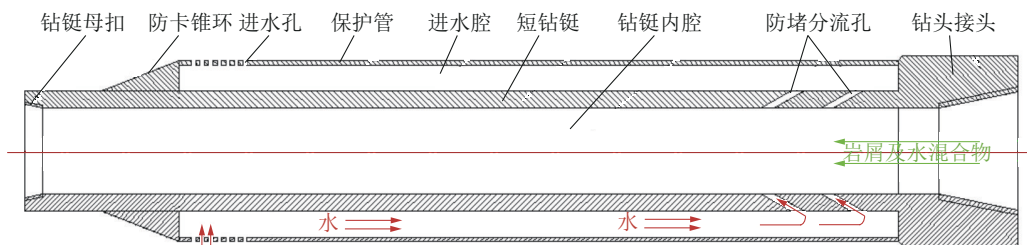


图 10 改进后的防堵进水短接示意
Fig. 10 Schematic diagram of the improved anti-blocking water inlet sub

3 结语

雄安新区地热清洁能源调查评价项目D19井热储层应用气举反循环钻进顺利地完成了设计工作任务。在应对复杂破碎地层时,通过研制的钻头进水口保护装置及防堵进水接头,有效地解决了破碎复杂地层气举反循环钻进易堵塞的难题,保障了气举反循环钻进的顺利进行,为气举反循环钻进在破碎复杂地层的推广应用奠定了基础。

参考文献(References):

- [1] 许刘万,王艳丽,殷国乐,等.多工艺空气钻探技术在地热井开发中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):225-229.
XU Liuwan, WANG Yanli, YIN Guole, et al. Application of multi-process air drilling technology in geothermal well development[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Excavation Engineering), 2016, 43(10):225-229.
- [2] 张文庆.气举反循环钻进工艺选用原则及建议[J].西部探矿工程,2014,31(2):46-48.
ZHANG Wenqing. Principles and suggestions for selecting reverse circulation drilling technology in gas lift [J]. West-China Exploration Engineering, 2014, 31(2):46-48.
- [3] 王剑,王虎,李勇,等.气举反循环钻进工艺在贵州地热井中的推广应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(12):18-23.
WANG Jian, WANG Hu, LI Yong, et al. Application of reverse circulation drilling technology of gas lift in geothermal well in Guizhou [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Excavation Engineering), 2019, 46 (12):18-23.
- [4] 阴文行,冯红喜,左科峰,等.气举反循环钻进技术在干热岩开发中的应用[J].地质装备,2017,18(2):33-37.
YIN Wenxing, FENG Hongxi, ZUO Kefeng, et al. Application of reverse circulation drilling technology in dry hot rock development[J]. Geological Equipment, 2017, 18(2):33-37.
- [5] 陈涛,陈锦泉,李勇政,等.气举反循环钻井技术在复杂井的探索——以仙女山温泉2井为例[J].天然气技术与经济,2015,9(5):35-37.
CHEN Tao, CHEN Jinquan, LI Yongzheng, et al. Exploration of gas lift reverse circulation drilling technology in complex wells: A case study of Well No. 2 in Xiannvshan Wenquan [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2015, 9(5):35-37.
- [6] 郑伯乐,郑秀华,段晨阳,等.气举反循环钻进井壁稳定及适用性探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):13-18.
ZHENG Bole, ZHENG Xiuhua, DUAN Chenyang, et al. Discussion on stability and applicability of gas lift reverse circulation drilling [J]. Exploration Engineering (Rock and Soil Drilling and Excavation Engineering), 2020, 47(6):13-18.
- [7] 樊腊生,贾小丰,王贵玲,等.雄安新区D03地热勘探井钻探施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):13-22.
FAN Lasheng, JIA Xiaofeng, WANG Guiling, et al. Drilling and construction practice of D03 geothermal exploration well in Xiong'an New Area [J]. Exploration Engineering (Rock and Soil Drilling and Excitation Engineering), 2020, 47(10):13-22.
- [8] 刘文武,刘家荣,郭坤,等.雄安新区D14地热井钻探施工技术研究[J].西部探矿工程,2019,31(8):102-106.
LIU Wenwu, LIU Jiarong, GUO Kun, et al. Research on drilling and construction technology of D14 geothermal well in Xiong'an New Area [J]. West-China Exploration Engineering, 2019, 31(8):102-106.
- [9] 吕利强.雄安新区地热井钻探施工难点及措施[J].中国煤炭地质,2019,31(10):69-72.
LV Liqiang. Difficulty and measures of geothermal well drilling in Xiong'an New Area [J]. Journal of China Coal Geology, 2019, 31(10):69-72.
- [10] 王贵玲,李郡,吴爱民,等.河北容城凸起区热储层新层系——高于庄组热储特征研究[J].地球学报,2018,39(5):533-541.
WANG Guiling, LI Jun, WU Aimin, et al. A study of the thermal storage characteristics of Gaoyuzhuang Formation, A new layer system of thermal reservoir in Rongcheng uplift area, Hebei province [J]. Journal of Earth Sciences, 2018, 39(5):533-541.
- [11] 吴爱民,马峰,王贵玲,等.雄安新区深部岩溶热储探测与高产能地热井参数研究[J].地球学报,2018,39(5):523-532.
WU Aimin, MA Feng, WANG Guiling, et al. Research on deep karst heat reservoir exploration and high-productivity geothermal well parameters in Xiong'an New Area [J]. Journal of Earth, 2018, 39(5):523-532.
- [12] 王贵玲,高俊,张保健,等.雄安新区高阳低凸起区雾迷山组热储特征与高产能地热井参数研究[J].地质学报,2020,94(7):1970-1980.
WANG Guiling, GAO Jun, ZHANG Jianjian, et al. Study on thermal storage characteristics and high-productivity geothermal well parameters of Wumishan Formation in Gaoyang low uplift area, Xiong'an New Area [J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94 (7):1970-1980.
- [13] 马峰,王贵玲,张薇,等.雄安新区容城地热田热储空间结构及资源潜力[J].地质学报,2020,94(7):1981-1990.
MA Feng, WANG Guiling, ZHANG Wei, et al. Spatial structure and resource potential of heat storage in Rongcheng geothermal field, Xiong'an New Area [J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(7):1981-1990.
- [14] 潘德元,何计彬,杨涛,等.雄安新区驴镇地热田岩溶热储层地热深井井身结构优化设计[J].钻探工程,2021,48(2):78-84.
PAN Deyuan, HE Jibin, YANG Tao, et al. Optimization design of the geothermal wellbore structure in karst reservoir [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(2):78-84.
- [15] 高鹏举,董向宇,马峰,等.雄安新区D15地热勘探井钻探施工技术[J].钻探工程,2021,48(3):106-112.
GAO Pengju, DONG Xiangyu, MA Feng, et al. Drilling technology for D15 geothermal exploration well in Xiong'an New Area [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(3):106-112.
- [16] DZ/T 0260—2014,地热钻探技术规程[S].
DZ/T 0260—2014, Technical specification for geothermal well drilling [S].