

气举反循环钻进工艺在贵州地热井中的推广应用

王 剑^{1,2}, 王 虎^{1,2}, 李 勇^{1,2}, 赵华宣³, 陈 怡^{1,2}, 兰永飞^{1,2}

(1.贵州省地质矿产勘查开发局 111 地质大队, 贵州 贵阳 550008;
2.贵州地质工程勘察设计院, 贵州 贵阳 550008;
3.贵州省地质矿产勘查开发局 114 地质大队, 贵州 遵义 563000)

摘要:结合贵州省地热钻井设备及井身结构等情况,就气举反循环钻进工艺在地热井施工中的应用,对冲洗液正循环和气举反循环两种钻进工艺原理、设备配套、钻具组合、沉没比、钻进参数等进行了分析和总结。气举反循环钻进工艺在地热井施工中的应用效果,证明了该工艺能够提高溶蚀裂隙地层施工效率,减少孔内事故的发生,同时该工艺在热储层中应用还具有明显的洗井效果。

关键词:地热井;气举反循环钻进;冲洗液

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)12-0018-06

Popularization and application of air-lift reverse circulation drilling technology in Guizhou geothermal deep wells

WANG Jian^{1,2}, WANG Hu^{1,2}, LI Yong^{1,2},
ZHAO Huaxuan³, CHEN Yi^{1,2}, LAN Yongfei^{1,2}

(1.111 Geological Brigade of Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang Guizhou 550008, China;
2.Guizhou Geological Engineering Investigation Design and Research Institute, Guiyang Guizhou 550008, China;
3.114 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Zunyi Guizhou 563000, China)

Abstract: In the context of geothermal drilling equipment and well structures in Guizhou Province, the application of air-lift reverse circulation drilling technology in geothermal well drilling is summarized, including the direct mud circulation and air-lift reverse circulation principles, drilling equipment, BHA, immersion ratio, drilling parameters and so on. The field results of air-lift reverse circulation drilling technology in geothermal well drilling proved that it can improve the drilling efficiency in dissolved fractured formation, reduce incidents down the holes. At the same time, this technology provides good borehole cleaning in thermal reservoirs.

Key words: geothermal well; air-lift reverse circulation technology; flushing fluid

0 引言

地热资源集热、水、矿为一体^[1],是一种清洁和可再生的低碳能源^[2],在供暖^[3-4]、发电、洗浴、医疗保健^[5]、矿泉饮用、种植与养殖等方面应用广泛^[6]。贵州省地热资源丰富,但开采水平不高^[7],所以不断

加强地热资源分布及水化学特征和规律等方面的综合研究^[8]对做好本省地热资源勘查与开发具有重要意义。

随着钻探工艺技术的不断进步,地热钻井正从单一的正循环冲洗液回转钻进为主^[9-10],向螺杆钻

收稿日期:2019-07-06;修回日期:2019-11-28 DOI:10.12143/j.tkge.2019.12.004

基金项目:贵州省地矿局地质科研资金资助项目“双壁钻杆空气潜孔锤局部反循环钻井工艺在贵州地热深井中的应用研究”(编号:黔地矿科合〔2017〕1号);贵州省地矿局地质科研资金资助项目“扭力冲击器在贵州地热井施工中的应用研究”(编号:黔地矿科合〔2019〕13号)

作者简介:王剑,男,侗族,1968年生,副队长,高级工程师,主要从事钻探工程技术研究及管理工作,1198432168@qq.com。

通信作者:李勇,男,汉族,1988年生,钻探工程部副主任,工程师,主要从事钻井工程技术研究及管理工作,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,243158792@qq.com。

引用格式: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 Jiang, WANG Hu, LI Yong, et al. Popularization and application of air-lift reverse circulation drilling technology in Guizhou geothermal deep wells[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(12):18-23.

进工艺^[11]、空气正循环取心钻探^[12]、空气潜孔锤钻进工艺^[13]、气举反循环钻进工艺^[14]及多工艺复合钻进发展^[15-16]。由于贵州省地层岩性多变,地质条件极为复杂,主要表现为溶蚀洞隙发育、软硬互层较多、水敏地层分布广泛、地下水赋存及活动形式多样等,加之地热钻井目的层多为断层破碎带,钻探难度大,单一的钻进工艺往往钻进效率低下,施工成本也居高不下。为提高地热钻井施工效率与经济效益,贵州省地质矿产勘查开发局(简称“贵州省地矿局”)及其下属各单位近年来不断开展深井钻探工艺技术研究工作,目前已经建立了集常规牙轮正循环钻进工艺、气举反循环钻进工艺^[17]、螺杆钻进工艺^[18]、空气潜孔锤钻进工艺^[19-20]等多工艺复合钻进体系^[21-22],已在 20 余口钻井中得到推广应用。使得贵州省地热深井施工效率和经济效益显著提高。

1 贵州省地热井钻探概况

1.1 主要钻探设备

包括钻机、泥浆泵、固控系统。钻机以水源钻机为主,主要为 RPS 或 SPS 系列钻机,钻进深度 2000~3200 m 不等。随着钻井设备的发展和市场需求,石油钻机和全液压动力头车载钻机被大量引入地热深井钻探施工,石油钻机主要型号为 ZJ20 和 ZJ30 型等,车载钻机主要型号有德国宝峨 RB-T100 型多功能全液压钻机、国产 CMD-150 型大吨位全液压动力头模块化钻机等。2010 年前,贵州省地热深井钻探主要使用 3NB-350 型和 3NB-500 型泥浆泵,随着钻井工艺的进步,目前已逐渐被 3NB-1300 型和 F-800 型等更为强大的泥浆泵所取代。为了加强冲洗液的固相控制,包含振动筛、除气器、除砂器、除泥器、离心机等设备的固控系统也逐渐成为贵州省深井钻探队伍的标配(见表 1)。

表 1 贵州省地热井主要钻探设备配套
Table 1 Main drilling equipment for geothermal drilling in Guizhou Province

设备名称	主要型号
水源钻机	SPS-2000、RPS-2000、SPS-2600、RPS-2600、SPS-3000、RPS-3000、RPS-3200
石油钻机	ZJ20、ZJ30、ZJ40
车载钻机	RB-T100 型多功能全液压钻机、CMD-150 型大吨位全液压动力头模块化钻机
泥浆泵	3NB-350、3NB-500、3NB-1300、F800
固控系统	振动筛、除气器、除砂器、除泥器、离心机

1.2 井身结构

根据不同深度、地层和岩性,贵州省地热深井一般采用三开或二开井身结构,分别见图 1 和图 2。

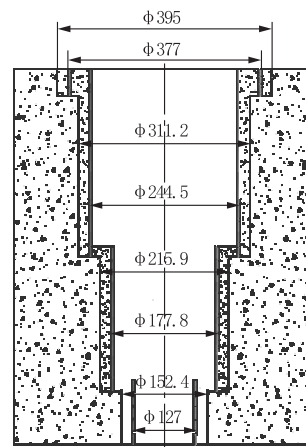


图 1 三开井身结构

Fig.1 Three-section well structure

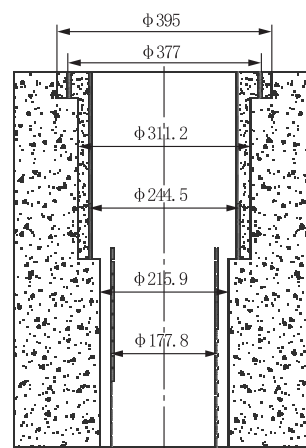


图 2 二开井身结构

Fig.2 Two-section well structure

2 气举反循环钻进工艺原理

气举反循环钻进工艺工作原理是将压缩空气沿空气输送通道送入一定深度后,使压缩空气与钻杆内的冲洗液混合,混合后的冲洗液密度下降,致使钻杆内外冲洗液产生压差,冲洗液在压差的作用下沿钻杆以较高的速度上返,从而将孔底的岩屑连续不断地带出地表,排入沉淀池,沉淀后的泥浆再流回孔内,补充循环液的空间,如此不断循环形成连续钻进的过程^[23]。该工艺是一种欠平衡钻井工艺,在溶蚀洞隙及裂隙发育层段,冲洗液有漏失的情况下仍能保持较好的机械钻速,具有钻进效率高、钻头寿命长、成井质量好等特点,在地热井热储层中钻进时,

可以实现钻进即洗井,减去了洗井程序,可有效地缩短工期、降低施工成本^[24]。

气举反循环钻进工艺所用钻具分双壁钻杆和悬吊式钻杆两种形式。图3为双壁钻杆气举反循环钻进工艺原理示意图,其空气输送通道为双壁钻杆内管和外套之间的环状空隙,压缩空气在水气混合器处进入双壁钻杆内管,实现气体、液体、固体三相流混合。

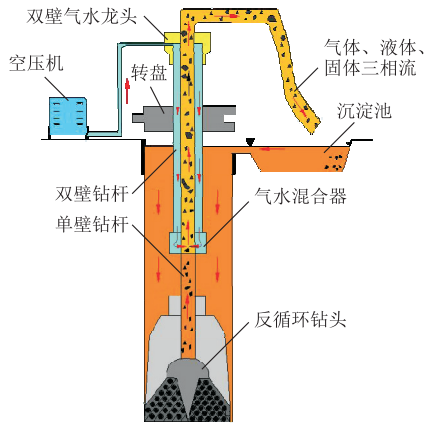


图3 双壁钻杆气举反循环钻进工艺原理
Fig.3 Air-lift reverse circulation drilling principle with dual-wall drill pipes

图4为悬吊式气举反循环钻进工艺原理示意图,其空气输送通道为插在单壁钻杆内的空气管,高压空气从空气管底部的出气孔进入单壁钻杆内与钻杆内的气体、液体、固体三相流混合。

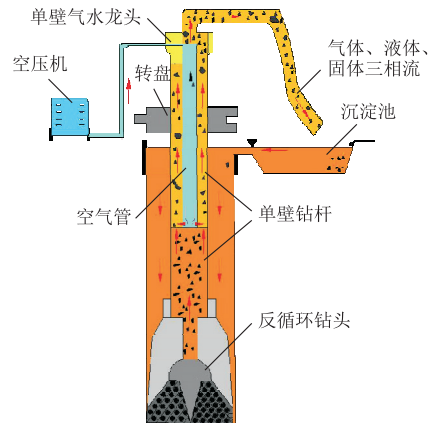


图4 悬吊式气举反循环钻进工艺原理
Fig.4 Suspended air-lift reverse circulation drilling principle

及时判断地层情况,还需要使用反循环连续取样排渣装置。气举反循环钻进工艺要求空压机高压力、低风量,一般选择风量 $10\sim 16\text{ m}^3/\text{min}$,启动风压 $6\sim 15\text{ MPa}$,目前贵州省地热深井施工中主要使用风量 $10\text{ m}^3/\text{min}$ 、压力 15 MPa 的国产活塞+螺杆复合式电动空压机。

3.2 钻具组合

虽然气举反循环钻进工艺钻具分为双壁钻杆和悬吊式两种钻杆,但市场上主要以双壁钻杆为主。目前贵州省地热深井一般使用 $\text{O}127\text{ mm}$ 双壁钻杆,单壁钻杆根据情况可选择使用 $\text{O}127$ 或 89 mm 两种规格;此外,转盘钻机和全液压力头钻机因钻机结构不同,也有一定的区别,转盘钻机通过气盒子实现反循环,而全液压力头钻机一般也通过气盒子送气,只是转盘钻机气盒子上下是反扣,动力头钻机是正扣,但有些动力头钻机的动力头本身就设计为双通道,故不需要气盒子。气举反循环钻进用钻具组合见表2。

表2 气举反循环钻进工艺钻具组合

Table 2 Drilling tool assemblies for air-lift reverse circulation drilling technology

名称	钻具组合
转盘钻机 双壁钻杆	$\text{O}311\text{ mm}$ 牙轮钻头+ $\text{O}203\text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}178\text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}89/127\text{ mm}$ 单壁钻杆+气水混合器+ $\text{O}127\text{ mm}$ 双壁钻杆+ $133\text{ mm}\times 133\text{ mm}$ 双壁主动钻杆+气盒子+水龙头
顶驱钻机 双壁钻杆	$\text{O}216\text{ mm}$ 牙轮钻头+ $\text{O}159\text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}89/127\text{ mm}$ 单壁钻杆+气水混合器+ $\text{O}127\text{ mm}$ 双壁钻杆+ $133\text{ mm}\times 133\text{ mm}$ 双壁主动钻杆+气盒子+水龙头
	$\text{O}152\text{ mm}$ 牙轮钻头+ $\text{O}121\text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}89\text{ mm}$ 单壁钻杆+气水混合器+ $\text{O}127\text{ mm}$ 双壁钻杆+ $133\text{ mm}\times 133\text{ mm}$ 双壁主动钻杆+气盒子+水龙头
	$\text{O}311\text{ mm}$ 牙轮钻头+ $\text{O}203\text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}178\text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}89/127\text{ mm}$ 单壁钻杆+气水混合器+ $\text{O}127\text{ mm}$ 双壁钻杆+气盒子或双通道动力头
	$\text{O}216\text{ mm}$ 牙轮钻头+ $\text{O}159\text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}89/127\text{ mm}$ 单壁钻杆+气水混合器+ $\text{O}127\text{ mm}$ 双壁钻杆+气盒子或双通道动力头
	$\text{O}152\text{ mm}$ 牙轮钻头+ $\text{O}121\text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}89\text{ mm}$ 单壁钻杆+气水混合器+ $\text{O}127\text{ mm}$ 双壁钻杆+气盒子或双通道动力头

3.3 沉没比

沉没比是指气水混合器下入水中的深度与自混合器算起的扬程高度之比。它是气举反循环钻进中重要的参数之一,它的大小直接影响钻进效率及反循环的形成^[25]。钻进工艺要求不小于 0.5,沉没比越大,钻杆内外形成的压力差越大,携带岩屑上返的速度就越高,孔底也越清洁,重复破碎机率越小,有利于提高钻进效率。孔内动水位深时可采用向孔内补水的方式增加沉没比以提高钻进效率。

4 钻进参数

气举反循环钻进工艺的主要参数包括钻压、转速、风压、风量等,根据实践经验,不同条件下具体钻进参数见表 3。

表 3 气举反循环钻进工艺参数
Table 3 Air-lift reverse circulation drilling parameters

钻头直径/mm	地层岩性	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	风量/(m ³ ·min ⁻¹)	风压/MPa
311	软质岩类	30~40	40~70	10	1.4~2.0
	硬质岩类	40~50	60~90		1.2~1.5
	破碎、溶蚀裂隙带	20~30	35~45		1.5~2.4
216	软质岩类	30~40	40~70	10	1.4~2.0
	硬质岩类	30~50	60~90		1.2~1.5
	破碎、溶蚀裂隙带	20~30	35~45		1.5~2.4
152	软质岩类	25~35	40~70	10	1.4~2.0
	硬质岩类	30~45	60~90		1.2~1.5
	破碎、溶蚀裂隙带	20~25	35~45		1.5~2.4

5 关键技术措施

为确保该工艺在钻进中的正常进行,减少孔内事故的发生,达到提高钻进综合效益的目的,通过对实施地热钻孔的总结分析,在钻进过程中拟采取如下技术措施。

(1)采用气举反循环钻进工艺时,应先对所钻地层的岩性、钻速及富水程度、动水位进行预测,以选择合适的沉没比和风压,可采用井内补水以加大沉没比。

(2)加减杆及起大钻时,认真检查双壁钻杆内管的完好性及密封性能,有问题及时更换。

(3)下钻到底前应先送风,待出渣正常后方可钻进;起钻(加杆)时,应将钻渣排尽并待主动钻杆提出井口后方能停风,以防井内液柱反压造成岩屑堵塞内管。

(4)钻进中应随时观测气压表的压力变化和返

水量的变化,以判断双壁钻杆内管密封性能是否完好。

(5)做好“三看”“二听”“一及时”,仔细判断孔内情况。三看——看压力表和进尺速度,看气压表和井口返水情况,看胶管跳动和水笼头接头情况;二听——听机器运转声音,听孔内震动声;一及时——发现异常及时处理。

(6)气举反循环钻进时,应加强对井口水温、水量及井内静、动水位的观测,以了解井内水资源情况。

(7)在裂隙发育地层、破碎地层及孔壁掉块时,在钻头水眼处加设挡砂板,使井底较大粒径的岩屑进不了钻具内,以防止堵钻头。

(8)复杂地层钻进井壁欠稳定时,可视地层岩性及欠稳定情况,从井口补入性能适宜的冲洗液进行护壁。

6 典型应用分析

6.1 工程概况

自 2010 年以来,气举反循环钻进工艺已经在贵州省内地热井施工中广泛应用,其中枫香 1 井较为有代表性。该井 0~455 m 为寒武系下统明心寺组至牛蹄塘组页岩、粉砂岩、炭质页岩,为热储盖层;455~1045 m 为灯影组储热蓄水层。该井钻井结构如下:

一开井段 0~250.15 m, $\Phi 311$ mm 井段揭穿第四系后钻至 250.15 m,下入 $\Phi 244.5$ mm 套管水泥固井;

二开井段 250.15~496 m,井径 216 mm,在确认进入灯影组后,下 $\Phi 177.8$ mm 石油套管水泥固井;

三开井段 496~1266.56 m,井径 152 mm 裸孔钻至 1266.56 m 终孔。

6.2 施工情况简介

一开井段井深较浅,无法形成足够的压差建立反循环,且地层水剪性强,因此采用牙轮正循环钻进工艺钻进,配合使用聚合物冲洗液护壁。

二开井段 250.15~464.4 m 采用气举反循环钻进工艺,钻至 464.4 m 后,因检修空压机停待时间较长(5 d),强水敏性的牛蹄塘组井段井壁因页岩吸水膨胀而崩塌严重失稳,该井段下部采用牙轮正循环钻进、聚合物冲洗液护壁。

三开井段 496~644.02 m 由于 $\varnothing 127$ mm 双壁钻杆返厂家检修而采用牙轮正循环钻进、聚合物冲洗液护壁,钻至 644.02 m 遇裂隙,冲洗液失返(水位 34.9 m);下部井段采取气举反循环钻进工艺。钻至 1159.48 m 后直接进行测井和抽水工作,达到勘探目的而终孔。

6.3 气举反循环钻进工艺应用效果分析

枫香 1 井钻进情况统计见表 4。

表 4 枫香 1 井钻进情况统计
Table 4 Drilling data of Well Fengxiang-1

井段/m	地 层	孔径/ mm	钻进 方法	纯钻时 间/h	机械钻速/ ($m \cdot h^{-1}$)
0~250.15	明心寺组泥页岩	311	正循环	161.67	1.55
250.15~300	明心寺组泥页岩	216	反循环	19.00	2.62
300~455	牛蹄塘组碳质页岩	216	反循环	97.54	1.59
455~464.4	灯影组白云岩	216	反循环	13.50	0.70
464.4~496	灯影组白云岩	216	正循环	60.68	0.52
496~644.02	灯影组白云岩	152	正循环	286.20	0.52
644.02~1045	灯影组白云岩	152	反循环	469.26	0.85
1045~1160	陡山沱碳质页岩	152	反循环	79.31	1.45
1160~1200	南沱组泥页岩	152	反循环	37.67	1.06
1200~1266.56	板溪群变余砂岩	152	反循环	203.65	0.33

从表 4 可以看出,同样的井况下,气举反循环钻进工艺的机械钻速超过牙轮正循环钻进工艺近 1 倍,提高钻效明显。

7 结论与建议

7.1 结论

实践表明,气举反循环钻进工艺在贵州省溶蚀裂隙地层地热井施工中具有明显的优势,主要体现在以下几个方面。

(1)提高了钻进速度。气举反循环钻进是将一定压力的压缩空气沿双壁钻具输气管道送入一定深度经混合器进入管内循环液,使混合后的液体密度小于冲洗液(管外)的密度,在井筒与管内形成压差,并在井筒液柱压力作用下,将管内混合的气液屑以较高的速度向上流动,实现将孔底的岩屑(岩心)连续不断地带出地表。只要输入的空气量和压力足够,就能实现孔底清洁而避免重复破碎,从而提高了钻进速度。

(2)减少孔内事故的发生。气举反循环钻进冲洗液为清水或低粘度冲洗液,减少了冲洗液的粘度,降低了吸附力,可有效减少井内事故的发生;气举反循环钻进过程中,可有效解决大裂隙井段冲洗液失

返的钻进难题,节约了堵漏时间和避免了堵漏失败的风险。

(3)洗井效果明显。气举反循环钻进冲洗液为清水时,钻进过程中的孔底抽吸作用,也起到了疏通裂隙通道的目的,实现了钻进即洗井,减去了洗井程序,可有效缩短工期、降低施工成本。

7.2 建议

(1)浅井段不适宜采用气举反循环钻进工艺。由于气举反循环钻进工艺使用的前提是需要形成足够的压差以建立有效的反循环,因此本工艺使用必须满足一定的井深,根据实践经验,井深至少要达到 200 m 以深。

(2)破碎地层、水敏性地层不宜采用气举反循环钻进工艺。

参考文献(References):

- [1] 胡郁乐,张惠,张秋冬,等.深部地热钻井与成井技术[M].武汉:中国地质大学出版社,2013,2-5.
HU Yule, ZHANG Hui, ZHANG Qiudong, et al. Drilling and completion techniques of deep geothermal well[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2013:2-5.
- [2] Kong Y, Pang Z, Shao H, et al. Recent studies on hydrothermal systems in China: a review[J]. Geotherm Energy, 2014,2(1):20.
- [3] Pang Z, Kong Y, Pang J, et al. Geothermal resources and development in Xiongan New Area[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2017, 32(11):1224-1229.
- [4] 许刘万,伍晓龙,王艳丽.我国地热资源开发利用及钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):1-5.
XU Liuwan, WU Xiaolong, WANG Yanli. Development and utilization of geothermal resource in China and the drilling technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(4):1-5.
- [5] Luo J, Pang Z, Kong Y, et al. Geothermal potential evaluation and development prioritization based on geochemistry of geothermal waters from Kangding area, western Sichuan, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2017,76(9):343.
- [6] 吴景华,云希斌.地热开发应用及效益评价[J].长春工程学院学报(自然科学版),2003,4(1):31-34.
WU Jinghua, YUN Xibin. Development and benefit evaluation of geothermal energy[J]. Journal of Changchun Institute of Technology (Natural Sciences Edition), 2003,4(1):31-34.
- [7] 王明章,王尚彦.贵州省地热资源开发问题及对策建议[J].贵州地质,2007,24(1):9-12,16.
WANG Mingzhang, WANG Shangyan. Concerns of developing geothermal resources in Guizhou Province and countermeasure proposals[J]. Guizhou Geology, 2007,24(1):9-12,16.
- [8] 杨荣康,罗维,裴永伟,等.贵州省水热型地热资源分布及流体水化学特征[J].中国地质调查,2018,5(2):38-44.
YANG Rongkang, LUO Wei, PEI Yongwei, et al. Distribution and fluids hydrochemistry characteristics of hydrothermal

- geothermal resources in Guizhou Province[J]. Geological Survey of China, 2018, 5(2): 38-44.
- [9] 卢予北, 李艺, 卢玮, 等. 新时代地热资源勘查开发问题研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(3): 1-8.
LU Yubei, LI Yi, LU Wei, et al. Research on the exploration and development of geothermal resources in the new era[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(3): 1-8.
- [10] 卢予北. 地热井常见主要问题分析与研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(2): 43-47.
LU Yubei. Analyses and research on frequently occurred problems in geothermal well [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2004, 31(2): 43-47.
- [11] 申云飞, 张秋冬, 王俊杰, 等. 螺杆钻具在珠江三角洲深部地热资源勘查中的应用研究[J]. 地质装备, 2012, 13(4): 27-29.
SHEN Yunfei, ZHANG Qiudong, WANG Junjie, et al. Application of PDM drilling tools in the exploration of deep geothermal resources in the Pearl River Delta[J]. Geological Equipment, 2012, 13(4): 27-29.
- [12] 吴焯, 卢予北, 陈莹. 腾冲火山地热构造带空气钻探试验研究[J]. 地质与勘探, 2013, 49(3): 528-533.
WU Ye, LU Yubei, CHEN Ying. Research on the air drilling test in the Tengchong Volcano-Geothermal-Tectonic Zone[J]. Geology and Exploration, 2013, 49(3): 528-533.
- [13] 鲁国亮, 刘文涛, 孔祥武. 空气钻井技术在鲁东超深地热井施工中的应用[J]. 山东煤炭科技, 2015(4): 126, 129, 131.
LU Guoliang, LIU Wentao, KONG Xiangwu. Application of air drilling technology in the construction of Lu Dong super deep geothermal well[J]. Shandong Coal Science and Technology, 2015(4): 126, 129, 131.
- [14] 杨忠彦, 贾志, 安振营, 等. 悬挂式独立内管气举反循环在地热钻井中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(1): 34-38.
YANG Zhongyan, JIA Zhi, AN Zhenying, et al. Application of air-lifting reverse circulation system with suspension type independent inner pipe in geothermal well construction[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(1): 34-38.
- [15] 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 Guoyue, et al. Application of multi-process air drilling technology in geothermal well exploration[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(10): 225-229.
- [16] 郝文奎, 宋宏兵, 康亢, 等. 多工艺空气钻井工艺在深水井施工中的应用实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(12): 11-14.
HAO Wenkui, SONG Hongbing, KANG Kang, et al. Application practice of multi-process air drilling technology in deep well construction[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(12): 11-14.
- [17] 陈怡, 段德培. 气举反循环钻井工艺在地热深井施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(4): 23-24, 28.
CHEN Yi, DUAN Depei. Application of air-lift reverse circulation drilling in Baoli ZK3 deep geothermal well of Guizhou [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(4): 23-24, 28.
- [18] 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.
LI Qilong. Application of screw drill in geothermal well drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(3): 56-58.
- [19] 赵华宣, 王玉军, 陈涛, 等. 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.
ZHAO Huaxuan, WANG Yujun, CHEN Tao, et al. Research and application of air DTH hammer drilling technology in Guizhou deep geothermal well of clastic rock strata[J]. Geology and Exploration, 2016, 52(5): 942-949.
- [20] 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井工艺应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(2): 37-42.
ZHAO Huaxuan, LI Qiang, CHEN Tao, et al. Research and application of air DTH hammer drilling technology for deep geothermal well in Guizhou carbonate formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(2): 37-42.
- [21] 苏宁, 王虎, 王剑, 等. 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.
SU Ning, WANG Hu, WANG Jian, et al. Application of multi-process drilling technology to the Well ZK in Zunyi, Guizhou Province[J]. Geology and Exploration, 2016, 52(1): 165-172.
- [22] 宋继伟, 蒋国盛, 苏宁, 等. 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.
SONG Jiwei, JIANG Guosheng, SU Ning, et al. Drilling technology of deep geothermal wells for complex strata in Guizhou Province[J]. Geology and Exploration, 2018, 54(5): 1024-1037.
- [23] 王桦, 郝世俊, 莫海涛. 气举反循环钻进中空压机的启动风压初探[J]. 煤田地质与勘探, 2017, 45(4): 157-162.
WANG Hua, HAO Shijun, MO Haitao. The pilot study on start pressure of the air compressor during the air-lift reverse circulation drilling[J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(4): 157-162.
- [24] 彭彬, 李帮民, 王丹, 等. 气举反循环技术在石油钻井中的适应性分析[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(19): 179-184.
PENG Bin, LI Bangmin, WANG Dan, et al. Analyzing of the applicability for air-lift reverse circulation technology in petroleum drilling[J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(19): 179-184.
- [25] 樊文跃. 大直径超长桩气举反循环施工沉没比变化规律分析[J]. 世界桥梁, 2014, 42(4): 64-67.
FAN Wenyue. Analysis of submergence ratio variation law in air-lift reserve circulation construction of large diameter very long piles[J]. World Bridges, 2014, 42(4): 64-67.