

空气潜孔锤孔底局部反循环封堵工具研究与应用

王 剑¹, 李 勇¹, 李奇龙¹, 赵华宣², 王 虎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. 贵州省地质矿产勘查开发局114地质大队, 贵州 遵义 563000)

摘要:空气潜孔锤钻进工艺钻进效率是常规钻井工艺的10~20倍,对提高矿产资源勘探开发效率,促进贵州省经济发展具有重大意义。西南(贵州)喀斯特地区是全球最大的喀斯特连片分布区,碳酸盐岩地层分布广泛,溶洞及裂隙、裂隙发育,在使用空气潜孔锤钻进工艺钻进时,容易发生漏风现象,导致返渣困难,甚至发生卡钻、埋钻事故。双壁钻杆空气潜孔锤局部反循环钻进工艺可以有效解决喀斯特地区空气潜孔锤钻进工艺使用困难的问题,但该工艺使用的封堵工具极易磨损,限制了该工艺在深井钻探中的应用。本项目主要以双壁钻杆空气潜孔锤局部反循环封堵工具为对象,通过调整封堵工具结构,增加封堵环旋转性能等手段,对封堵环进行改良和优化设计,增加封堵工具的使用寿命,实现双壁钻杆空气潜孔锤局部反循环钻进工艺在深井钻探中的应用。

关键词:反循环钻进;空气钻进;钻探技术优化;潜孔锤

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)03-0061-06

Sealing device for partial reverse circulation drilling with the DTH air hammer

WANG Jian¹, LI Yong¹, LI Qilong¹, ZHAO Huaxuan², WANG Hu¹

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

2. 114 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Zunyi Guizhou 563000, China)

Abstract: The drilling efficiency of air DTH hammer drilling technology is 10 to 20 times higher than that of conventional drilling technology, which is of great significance for improving mineral resource exploration and development efficiency, and promoting the economic development of Guizhou Province. The southwest (Guizhou) karst area is the largest karst continuous area in the world, where carbonate strata is widely distributed, and karst caves, dissolution fissures and fractures are developed. When drilling with air DTH hammer drilling technology, air leakage is prone to occur, which leads to difficulty in return of cuttings, and even bit sticking and burial accidents. Though the partial reverse circulation drilling process with dual-wall drill rods and the air DTH hammer can effectively solve the difficulty in application of the air DTH hammer drilling process in the Karst area, but the existing sealing device is prone to wear, which limits the application of the process in deep well drilling. With the sealing device for partial reverse circulation drilling with the dual-wall drill rod and the air DTH hammer as the subject of study, through

收稿日期:2020-12-24; **修回日期:**2021-02-20 **DOI:**10.12143/j.ztgc.2021.03.008

基金项目:贵州省地矿局地质科研项目“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)、“接头式水位水温测量装置研究”(黔地矿科合[2018]15号)、“压裂增产技术在贵州基岩地下水井和地热井中的应用研究”(黔地矿科合[2018]16号)

作者简介:王剑,男,侗族,1968年生,高级工程师,探矿工程专业,主要从事钻井工程工作,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,1198432168@qq.com。

通信作者:王虎,男,满族,1985年生,钻探工程公司主任工程师,高级工程师,地质工程专业,硕士,主要从事钻井工程工作,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,wanghu235@163.com。

引用格式:王剑,李勇,李奇龙,等.空气潜孔锤孔底局部反循环封堵工具研究与应用[J].钻探工程,2021,48(3):61-66.

WANG Jian, LI Yong, LI Qilong, et al. Sealing device for partial reverse circulation drilling with the DTH air hammer[J]. Drilling Engineering, 2021,48(3):61-66.

adjusting the structure of the sealing device and improving the rotation performance of the sealing ring, modification and optimization is conducted of the sealing ring to extend the service life of the sealing tool so that local reverse circulation drilling with the dual-wall drill rod and the air DTH hammer can be applied in deep well drilling.

Key words: reserve circulation drilling; air drilling; drilling technique optimization; DTH hammer

0 引言

贵州省是我国南方矿产资源大省之一^[1]。据调查,贵州省广泛分布有大量的水热型地热资源^[2]和煤层气、页岩气资源^[3]。钻探技术是各种矿产资源勘查与开发必需的也是最直接的手段,钻探技术水平的提高直接关系着各种矿产资源开发利用的效率。贵州省地矿局自2014年起即展开了“贵州省深井钻探技术攻关”项目,内容涵盖了螺杆钻井工艺、空气钻井工艺、多工艺转换接力钻进技术、钻井液技术等^[4]。实践表明,空气潜孔锤正循环钻进工艺在碎屑岩地层钻进效率可达常规钻进工艺的20.4~35倍^[5],在碳酸盐岩地层钻进效率可达常规钻进工艺的17.6~31.5倍^[6],在钻进效率方面具有巨大的优势。

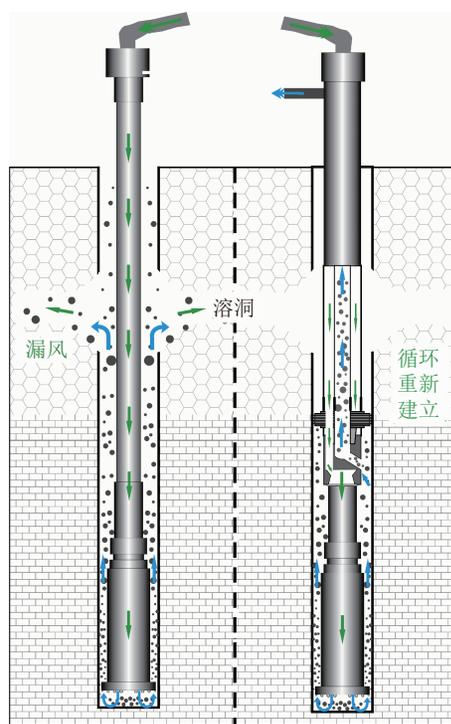
1 双壁钻杆空气潜孔锤局部反循环钻进工艺原理

空气潜孔锤正循环钻进工艺在具有较高的钻进效率的同时,也存在着明显的缺陷^[7],即在钻遇溶洞、溶隙和裂隙等发育的地层时,携带钻渣的空气会有部分进入溶洞、溶隙或裂隙内^[8],致使上返的空气不足以将钻渣携带至地表,从而导致钻进效率下降,甚至会有卡钻、埋钻等事故风险^[9](见图1a)。

双壁钻杆空气潜孔锤局部反循环钻进工艺在施工时,压缩空气从双壁钻杆外管进入井下,通过正反工艺转换接头的空气流通通道进入空气潜孔锤,驱动潜孔锤冲击碎岩^[10];空气从空气潜孔锤底部进入孔内,携带钻渣上返,在封堵工具的阻挡下,从正反工艺转换接头的返渣孔进入双壁钻杆内管,从内管返回地表^[11-12](见图2)。该工艺的优点在于,当钻遇溶洞、溶隙、裂隙等发育的地层时,只需封堵工具穿过溶洞、溶隙或裂隙发育井段,即可重新建立循环,恢复正常钻进^[13-14](见图1b)。因此,双壁钻杆空气潜孔锤局部反循环钻进工艺在贵州岩溶地区具有更大的优势。

2 环空封堵工具现状分析

环空封堵工具是一种用于封堵井筒与双壁钻



(a)正循环钻遇溶洞 (b)反循环钻遇溶洞

图1 空气潜孔锤正、反循环钻进工艺钻遇溶洞情况对比

Fig.1 Comparison of direct and reverse circulation drilling with the air DTH hammer through karst caves

具之间环形空间的工具^[15],根据需要配置在钻具上,随钻具一起下入,在正常钻进时其双壁本体只起一个配合接头的作用,其橡胶密封单元起封隔环空作用。目前国内井下环空封堵工具有2种,一种由多层环状铁板夹持多层橡胶,将其固定在钻具上,环状铁板主要起固定橡胶环的作用,宽度不大,而橡胶环直径与孔径相等或略大于孔径,起封堵作用^[16](见图3);另一种则为直接将接近孔径的环形金属板固定在钻具上,直接起封堵作用(见图4)。由于在地层中采用冲击钻进形成的钻孔孔壁较难形成规整的圆孔,采用金属板做封隔器封堵效果难以达到施工要求,而多层橡胶有一定的弹性,且直径可略大于孔径,即使孔径不规整,仍然可以起到较好的封堵效果。因封堵工具直径大于上下钻具

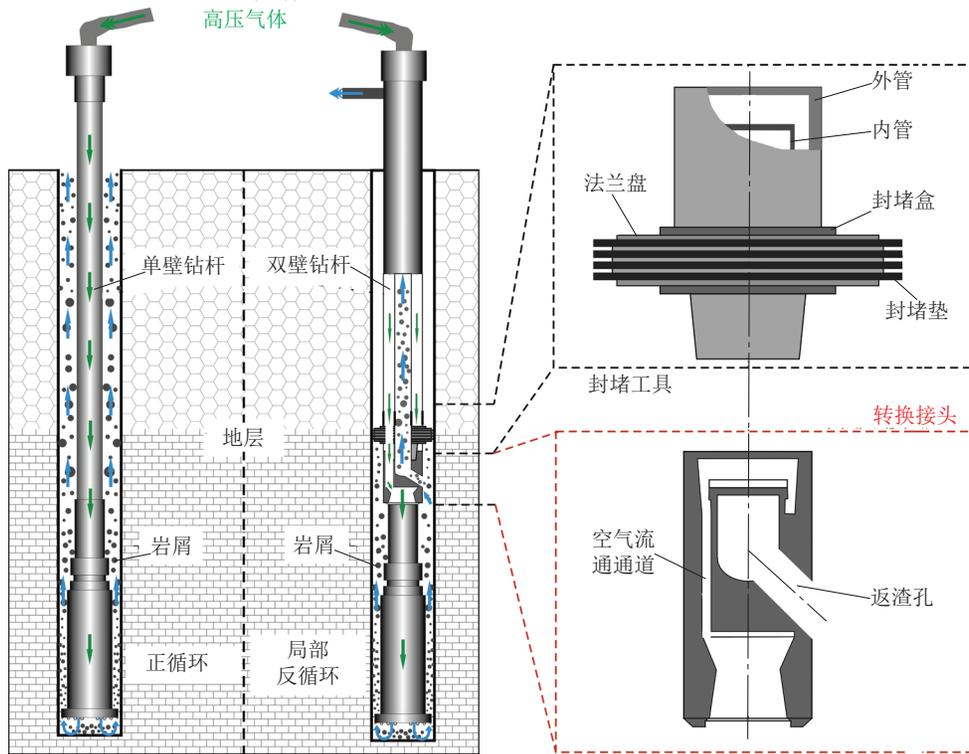


图2 空气潜孔锤正、反循环钻进工艺工作原理

Fig.2 Working principles of direct and reverse circulation air DTH hammer drilling

的直径,在井内形成了突出点,当封堵工具上部有落物时,容易在封堵工具处形成堆积,从而有卡钻风险。发生卡钻时,橡胶封堵工具因具有一定的柔韧性,处理难度小,钻进安全性高,但橡胶强度小,耐磨性差,使用寿命短;金属板封堵工具抗磨损能力强,使用寿命长,但发生卡钻时处理难度大,钻进安全性低。由此可见,两种封堵工具各有优势,也都存在着明显的缺陷,从而影响了其在深井钻探中的应用。

施工时,封堵工具在井内进行着2种运动,一种是轴向的上提和下放运动,另一种是随着钻具的转动而进行的绕轴旋转运动。因此,我们提出如下假说:封堵工具在井下与井壁发生2种相对运动,即轴向的运动和垂直轴向的运动,从而也受到2个方向的摩擦力影响;因钻具旋转速度与频率远大于上下活动的速度与频率,因此垂直轴向的摩擦力是磨损封堵工具的主要因素。如果能够减少或避免橡胶封堵工具的封堵胶环的绕轴转动,即可极大地提高封堵工具的使用寿命,达到深井钻探的使用要求。

本项目研究基于上述假设,通过在封堵工具的封堵胶环处增加旋转装置和调整封堵胶环结构,达

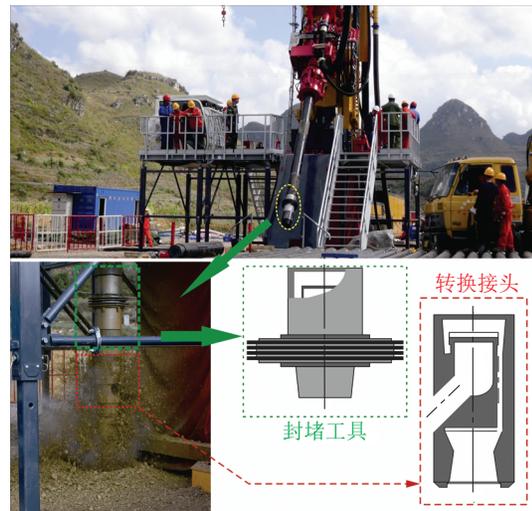


图3 橡胶封堵工具与正、反循环转换接头实物和结构示意图

Fig.3 Rubber sealing device and direct to reverse cross-over, and their structures

到增加封堵工具寿命和确保封堵效果的目的,最终实现双壁钻杆空气潜孔锤局部反循环钻进工艺在深井钻探中的应用^[17]。



图4 金属封堵工具实物

Fig.4 Metal sealing device

3 环空封堵工具结构设计

环空封堵工具由双壁短节外管、内管、紧定螺钉、扶正接头和密封环组成(见图5)。根据施工设计的要求,随钻下入双壁环空封堵工具,不仅可以封堵上部地层水,还能阻止岩屑沿环空上返造成卡钻事故。钻进时,双壁短节外管与内管组成的双壁本体相当于一个双壁钻具短节,双壁短节外管与内管之间的环形空间为空气流动。密封环双壁钻具之间可以相对转动,在挤压力的作用下,密封环橡胶盘紧贴井壁,封隔井筒与双壁钻具之间环形空间,封堵上部地层水,阻止岩屑沿环空上返,从而降低井筒施工风险。

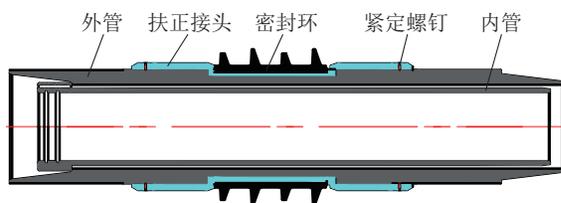


图5 双壁环空封堵工具结构示意图

Fig.5 Structure diagram of the dual-wall annulus sealing tool

在不影响工具整体强度下,设计了由双壁短节外管、内管、紧定螺钉、扶正接头和密封环组成的双壁环空封堵工具。制定了焊接骨架,然后整体裹胶,车削成型的加工工艺。具体流程如下:

- (1)加工双壁短节内、外管(完成工件外形、螺纹、密封槽加工);
- (2)加工密封环骨架(加工成环形基体后,线切割成均匀两瓣);
- (3)焊接密封环骨架(密封环骨架焊接后与外

管本体间应留有径向及轴向间隙,防止粘磨;密封环骨架与外管本体间径向及轴向间隙间加注润滑脂,起到润滑和防止粉尘进入间隙导致预留间隙失效的作用);

(4)裹胶(使橡胶缠绕、固定在骨架上);

(5)车削胶盘(采用车削工艺,完成密封胶盘加工)。

密封环成型(见图6)后安装特制扶正接头,扶正接头与外管通过螺纹连接(图7),并用紧定螺钉固定,最后通过焊接工艺加强固定。扶正接头不仅可以提高密封环的居中度,同时可以防止焊接骨架在外力作用下脱落,造成卡钻。



图6 密封环成型样机

Fig.6 Sealing ring prototype



图7 扶正接头安装位置

Fig.7 Installation position of the centralizer ring

此外,密封环骨架与外管配合区域均采用渗氮处理工艺,可以提高耐磨能力。

4 密封环橡胶材料的选择

双壁环空封堵工具核心部件为密封环,其随钻具入井时受上返岩屑冲击、井壁摩擦,需要具备很好的抗撕裂、磨损、耐热等性能。氢化丁腈橡胶是用于航空的一种橡胶,具有良好的耐油、耐氧、耐老化、耐磨、耐化学腐蚀等性能,因此被选为封堵工具密封环橡胶材料。

5 现场试验

2018年6月,在贵州省榕江县忠诚镇地热井施工中开展了反循环环空封堵工具现场试验。现场使用钻机为RB-T100型全液压多功能车载钻机,使

用2台寿力1400XH型空压机提供动力,试验井段为30~600 m,试验地层为三叠系下统永宁镇组灰岩,白云质灰岩及泥质灰岩,钻进组合为:Ø311 mm锤头+冲击器+正反循环转换接头+环空封堵工具+Ø273 mm双壁钻铤+Ø219 mm双壁钻杆。试验中钻进参数为风量35~70 m³/min,风压15~50 kPa,钻压10~25 kN,转速35~55 r/min。

入井前仔细检查了工具外包装及工具密封环(见图8)、内管无明显损坏。工具与现场钻具连接良好,入井前密封环涂抹润滑脂降低工具入井摩擦。本次试验共计进尺570 m,平均机械钻速为53.64 m/h,相对同地区同地层钻探经验,使用螺杆钻进工艺平均机械钻速3~6 m/h,机械钻速提高达到10倍左右。钻具起出后,4片封堵环中中间2片封堵环橡胶基本无磨损(见图9),可以继续正常使用,上下两片封堵环出现缺损为工具进出孔口套管时的机械损伤。试验过程中,封堵工具工作正常,封堵效果良好,气体返出连续,岩屑全部从内管返出,使用效果较好。



图8 工具入井

Fig.8 RIH of the device

6 结论与建议

6.1 结论

(1)通过增加旋转功能,新型环空封堵工具有效降低了工具在钻进过程中与井壁的摩擦,提高了工具使用寿命,为解决双壁钻杆空气潜孔锤局部反循环钻进工艺在地热井施工中的“瓶颈”问题提供了较好的思路。



图9 使用后的封堵工具

Fig.9 Sealing device after use

(2)组合式胶盘密封有效提高了环空密封的可靠性。

(3)现场试验证明,为解决大直径双壁钻具设计无法采用整体式结构的问题而采用的两瓣式焊接技术,通过裹胶、车削胶盘形成密封机构。这种工艺加工的环空封堵工具使用效果良好。

(4)工具起出井筒时,上下封堵橡胶环出现破损,但其他胶盘仍然具备密封效果,该工具胶盘还需进一步优化改进。

6.2 建议

(1)工具入井前胶盘涂抹润滑脂,减小与井壁的摩擦。

(2)优选性能更加优异的橡胶材质,提高抗磨性能。

(3)螺栓紧固的防松问题、胶盘密封承压能力与结构参数的关系问题,需要进一步试验测试。

参考文献(References):

- [1] 孙亚莉,江金进,曾芳.贵州省矿产资源综合利用现状及建议[J].中国国土资源经济,2017,30(7):20-22,52.
SUN Yali, JIANG Jinjin, ZENG Fang. Current situation and suggestions on comprehensive utilization of mineral resources in Guizhou province [J]. Natural Resource Economics of China, 2017,30(7):20-22,52.
- [2] 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.

- [3] 陶平,陈建书,陈启飞,等.关于贵州省成矿区带的划分方案[J].贵州地质,2018,35(3):171-180,217.
TAO Ping, CHEN Jianshu, CHEN Qifei, et al. Distribution and fluids hydrochemistry characteristics of hydrothermal geothermal resources in Guizhou province [J]. Guizhou Geology, 2018,35(3):171-180,217.
- [4] 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.
- [5] 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. Application of air DTH hammer drilling technology to deep geothermal wells in clastic rock strata in Guizhou province [J]. Geology and Exploration, 2016,52(5):942-949.
- [6] 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.
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.
- [7] HE Jiangfu, SUN Bingxing, LIANG Yunpei, et al. Research on suction capacity and dust suppression performance of a reverse circulation air hammer in tunnel drilling [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2018,71:391-402.
- [8] 翟立新,杨建利,王雷浩.潜孔锤反循环钻进工艺在拉拉铜矿的试验应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(1):66-69.
ZHAI Lixin, YANG Jianli, WANG Leihao. Experimental application of DTH hammer reverse drilling technology in Lala Copper Mine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(1):66-69.
- [9] ZHANG Xinxin, LUO Yongjiang, FAN Liming, et al. Investigation of RC-DTH air hammer performance using CFD approach with dynamic mesh method [J]. Journal of Advanced Research, 2019,18:127-135.
- [10] LUO Yongjiang, PENG Jianming, LI Lijia, et al. Development of a specially designed drill bit for down-the-hole air hammer to reduce dust production in the drilling process [J]. Journal of Cleaner Production, 2016,12(1):1040-1048.
- [11] 殷其雷,殷琨,柳鹤,等.潜孔锤反循环钻进技术在某水电站的试验应用[J].吉林大学学报(地球科学版),2014,44(3):961-968.
YIN Qilei, YIN Kun, LIU He, et al. Application test of DTH hammer reverse circulation drilling technique in a hydropower station [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2014,44(3):961-968.
- [12] 程林,李艳丽,尹建国,等.平邑石膏矿坍塌事故5号救生孔施工工艺及钻具配置[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):13-16.
CHENG Lin, LI Yanli, YIN Jianguo, et al. Construction technology of 5# rescue hole in the collapse accident in Pingyi Gypsum Mine and the drilling tool configuration [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(5):13-16.
- [13] 李艳丽,王振志,李晓晖,等.正循环潜孔锤实现反循环钻进双壁钻具配套研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(2):52-55.
LI Yanli, WANG Zhenzhi, LI Xiaohui, et al. Development of double-wall drilling tools matching for reverse circulation drilling by positive circulation DTH [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(2):52-55.
- [14] 陈浩文,殷国乐,王艳丽,等.旋挖钻机用气动潜孔锤反循环硬岩钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(2):68-72.
CHEN Haowen, YIN Guoyue, WANG Yanli, et al. Reverse-circulation hard rock drilling technology with pneumatic DTH hammer for rotary drilling rig [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(2):68-72.
- [15] 王艳丽,许刘万,伍晓龙,等.大口径矿山抢险救援快速钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(8):1-5.
WANG Yanli, XU Liuwan, WU Xiaolong, et al. Fast drilling technology of large diameter well for emergency rescue in mine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(8):1-5.
- [16] 赵江鹏,刘建林,赵建国.矿山大口径钻孔循环钻进技术研究[J].金属矿山,2018(1):147-151.
ZHAO Jiangpeng, LIU Jianlin, ZHAO Jianguo. Research on reverse circulation drilling technology for large-diameter mine drilling hole [J]. Metal Mine, 2018(1):147-151.
- [17] 陈怡,王虎,王剑,等.贵州省地热钻井工艺现状及发展探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(S1):80-85.
CHEN Yi, WANG Hu, WANG Jian, et al. Present situation and development trend of geothermal drilling technology in Guizhou [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(S1):80-85.

(编辑 荐华)