

笏山金矿抢险救援6号钻孔快速准确中靶施工技术

钟明

(山东省煤田地质局第一勘探队, 山东 青岛 266404)

摘要:笏山金矿发生事故后,我单位按应急救援指挥部的要求施工了6号救援钻孔。针对该矿区花岗岩硬度高,地层岩石破碎,以及地层含水丰富等特点,从设备安装到施工工艺及操作流程,制定了一套完整的施工技术方案。从而避免了误工误时,避免了救援过程中次生事故的发生。全孔采用气动潜孔锤钻进,合理调整钻进参数,不但解决了花岗岩地层进尺慢、钻效低的问题,还确保了钻孔一次性进入预定靶区,施工中做到了“稳、准、快”,最终圆满完成了救援孔的施工任务。

关键词:气动潜孔锤钻进;钻具中性点;保直防斜;中靶;抢险救援

中图分类号:P634.7 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2022)04-0131-06

Construction technology for target-hitting in No.6 borehole in Hushan Gold Mine

ZHONG Ming

(The First Exploration Team of Shandong Coalfield Geologic Bureau, Qingdao Shandong 266404, China)

Abstract: After the accident happened in Hushan Gold Mine, our unit was required to construct No.6 rescue borehole by the emergency rescue headquarters. In view of the characteristics in this mining area, such as high hard granite, broken and water-rich formation, a complete construction technical plan was formulated from equipment installation to construction technology and operation flow; thus avoiding the delay in work and time, and secondary accidents in the rescue process as well. The pneumatic DTH hammer was used to drill the whole borehole with the drilling parameters reasonably adjusted, which not only solved the problem of slow advance and low drilling efficiency in granite, but also ensured that the borehole entered the predetermined target zone at the first attempt. The construction was “stable, accurate and fast”, leading to successful completion of the rescue hole.

Key words: pneumatic DTH hammer drilling; neutral point of drilling string; keep straight and prevent deviation; target hitting; emergency rescue

0 引言

2021年1月10日13时13分,山东五彩龙投资有限公司栖霞市笏山金矿在基建过程中,回风井发生爆炸事故,造成22人被困。我单位接山东省应急厅指令,立即组织相关人员奔赴救援现场,按应急救援指挥部的要求施工了6号救援钻孔,该孔的作用:一是作为给养及通信联络孔;二是作为井巷排水孔;三是作为生命通道大口径施工先导孔。该孔1月15

日12时正式施工,采用气动潜孔锤钻进,解决了常规牙轮钻头钻进花岗岩硬地层钻进效率低的问题。截至1月19日,历时4天后钻进至孔深554 m。接指挥部通知,暂停施工,待命。该孔施工过程中经3次单点测斜仪测斜、3次陀螺测斜仪测斜,根据测斜情况合理调整潜孔锤钻进参数,终孔时孔底坐标相对井口坐标偏移在误差允许范围内。是所有救援钻孔中唯一未经定向纠斜就直接命中靶位的钻孔。

收稿日期:2021-11-16; **修回日期:**2022-06-08 **DOI:**10.12143/j.ztgc.2022.04.020

作者简介:钟明,男,汉族,1963年生,高级工程师,钻探专业,从事探矿工程技术研究与管理,山东省青岛市西海岸新区凤凰台路169号, ktydzh@163.com。

引用格式:钟明.笏山金矿抢险救援6号钻孔快速准确中靶施工技术[J].钻探工程,2022,49(4):131-136.

ZHONG Ming. Construction technology for target-hitting in No.6 borehole in Hushan Gold Mine[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(4):131-136.

1 6号钻孔概况

1.1 地层情况

0~10 m为强风化花岗岩,其余地层至终孔层位554 m均为坚硬花岗岩。

1.2 孔位选择

该孔位于巷道T字形交叉点(见图1),且为巷道最高点,受水患侵害可能性较少,受困人员在此等待救援的可能性大。

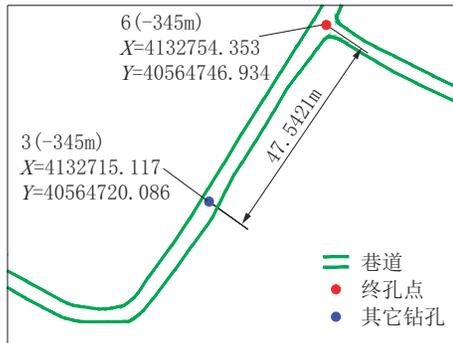


图1 钻孔终孔位置

Fig.1 Drilling completion point

1.3 钻身结构

孔身结构为:孔深0~9.50 m为 $\Phi 425$ mm孔径,下入 $\Phi 340$ mm \times 9.65 mm井口管,孔深9.5~554 m为 $\Phi 311$ mm孔径(裸孔),如图2所示。

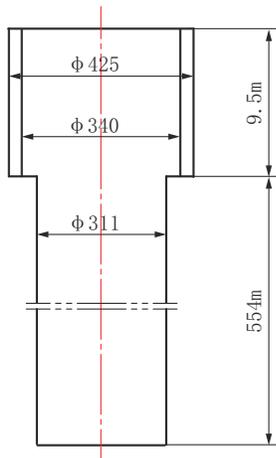


图2 钻孔结构

Fig.2 Structure of the drill hole

2 钻探施工难点及设备工艺选择

2.1 钻探施工难点

全孔地层为坚硬花岗岩,采用普通牙钻钻头钻

进速度慢,有些地层破碎且含水;孔斜度要求高,钻孔要准确命中靶位,终孔坐标偏斜不得超过巷道中心点1.5 m;要求钻孔进度快,工作中要争分夺秒,时间就是生命,要尽快完成应急救援任务。

2.2 施工工艺选择

依据本孔的施工难点及技术要求,宜采用气动潜孔锤钻进;为采取保直防斜措施,防止钻孔偏斜,及时监测孔身偏斜质量,以便采取纠偏措施。钻孔钻进过程中每钻进50 m测斜一次,如果钻孔偏斜超限,调整钻进参数纠斜无效,立即采用定向钻进对钻孔实施纠斜。

2.3 施工设备选择

XSC1200型液压顶驱钻机1台,1125型空气压缩机3台,1070型空气压缩机1台,3NB-1300型石油钻井泵1台,12V190型柴油机1台^[1]。

3 钻进参数选择

钻进参数选择需要考虑快速钻进及钻孔偏斜两方面因素。在钻孔施工中做到既要“快”又要“准”,把好开孔关,开孔时“轻压吊打”,勤测孔斜,及时调整钻进参数。

3.1 导致钻孔偏斜的因素分析

3.1.1 钻柱中性点

在钻柱中性点以上的钻柱受拉伸状态,中性点以下的钻柱即是钻压,其受压缩状态^[2]。其中性点距离孔底高度计算公式如式(1):

$$L_N = W / (q_c K_B) \quad (1)$$

式中: L_N ——中性点距离孔底高度,m; W ——钻压,kN; q_c ——钻铤单位长度的重力,kN/m; K_B ——浮力系数。

由式(1)可以看出,钻压越大,钻柱中性点越高,钻柱越容易弯曲倾斜,钻机转盘驱动钻柱既发生自转又同时发生公转而导致孔斜。故本孔采用“减压吊打”降低钻柱中性点高度,钻压由20 kN减到15 kN使钻压在钻柱上重心降低,避免或减小钻具弯曲,钻具旋转保持垂直状态,是预防孔斜的有效手段之一^[3]。其浮力系数计算公式如式(2):

$$K_B = 1 - (\rho_d / \rho_s) \quad (2)$$

式中: ρ_d ——钻井液密度, g/cm^3 ; ρ_s ——钻柱钢材密度, g/cm^3 。

钻柱钢材密度 ρ_s 不变,钻井液密度 ρ_d 越大,浮力系数 K_B 越小,钻柱中性点越高,钻孔越容易偏斜。

空气潜孔锤钻进,采用空气作为循环介质,其钻井液密度 ρ_d 可以视为零,浮力系数 $K_B=1$ 达到最大值,故钻柱中性点为 $L_N=W/(q_c K_B)$ 最小值,钻柱重心最低,钻柱不容易弯曲偏斜,即气动潜孔锤空气钻进有利于钻孔防斜。

3.1.2 离心力

当钻柱绕井眼轴线公转时,将产生离心力,离心力将引起钻柱弯曲或加剧钻柱的弯曲变形。其离心力计算公式如式(3):

$$F = mv^2/r \quad (3)$$

式中: F ——离心力,N; m ——质量,kg; v ——速度,m/s; r ——钻柱半径,m。

由式(3)可以看出,钻柱质量不变,钻柱旋转速度越快,离心力越大,钻柱弯曲变形越严重,钻孔越容易弯曲^[4]。一般情况下气动潜孔锤钻进,钻柱旋转速度低(本孔20 r/min左右),离心力小,不容易发生孔斜。

3.1.3 扭矩

钻柱所受扭矩和剪应力的与钻柱尺寸、钻头类型及直径、岩石性质、钻压和转速、钻井液性质及井眼质量等因素有关^[5]。钻柱与井壁之间的间隙小、钻柱刚性强,近乎“满眼钻具”有利于钻孔防斜;采用凹心式钻头钻进时,在钻孔底部始终保持同凹心钻头相配的岩石锥形体导向,进而钻头套在岩石锥形体导向钻进有利于防斜^[6];岩石的结构及构造无各向异性有利于防斜;钻压小(减压吊打)、转速低(减小离心力)有利于防斜;钻井液密度小、粘度低有利于防斜。上述情况均可形成扭矩相对减小,故有利于钻孔防斜。

3.1.4 弯曲力矩

正常钻进时,当施加的钻压超过钻柱的临界值时,下部钻柱就产生弯曲变形,钻柱在离心力的作用下亦会产生弯曲,钻柱在弯曲井眼工作时也将产生弯曲,产生弯曲变形的钻柱在轴向压力的作用下,将受到弯曲力矩的作用,在钻柱内产生弯曲应力。在弯曲状态下,钻柱如绕自身轴线旋转,则会产生交变的弯曲应力。预防孔斜、控制钻压、避免钻柱弯曲或减少钻柱弯曲,才能有效减少钻柱弯曲力矩,有效防止孔斜^[7]。

3.1.5 钻头

本孔采用了凹芯潜孔锤钻头,钻头采用凹心导向,切削刃分布均匀同心度好,底出刃高度一致无高

差,防止钻头切入岩石深度不一导致钻孔偏斜^[8]。

3.1.6 钻具

钻具组合各类转换变径接头要高精度同心,避免钻具同心度不高,导致钻具弯曲,产生交变应力,造成钻孔弯曲偏斜^[9]。本孔采用了“刚、长、直”的钻具组合原则,钻具组合为:Ø311 mm 钻头→Ø180 mm 潜孔锤→Ø203 mm 钻铤单根(无磁钻铤)→Ø203 mm 钻铤单根→Ø178 mm 钻铤单根→Ø127 mm 钻杆^[10]。

3.2 影响钻进效率的因素分析

3.2.1 钻压

气动潜孔锤钻进,空压机产生的压力既要克服孔内液体高度产生的背压,又要克服钻压产生的背压而工作,故气动潜孔锤钻进,钻压不宜过高,钻压过大将气动潜孔锤压住,使潜孔锤丧失往复运动而不工作,但钻压也不宜过小,钻压小了气动潜孔锤冲击力不足以有效碎岩,钻进进尺缓慢,因而钻压的选择,应为其产生的冲击功能有效破碎岩石为宜。

3.2.2 转速

气动潜孔锤钻进,转速不宜高,转速高了不利于冲击功碎岩裂隙发育,而影响钻进进尺,一般情况下气动潜孔锤钻进转速选择20~30 r/min。

3.2.3 气量

依据本孔钻孔结构,浅孔施工时气量一般选择30 m³/min,较深钻孔时气量一般选择60 m³/min,其气量选择应保持孔底清洁,孔底无岩屑重复破碎,孔口返气排渣正常,否则要增加钻井施工的气量气压,以满足钻井正常施工的需要。增加风量就是为了增加孔内上返风速,从而增加孔内岩屑上返速度,进而增加了岩屑的上返动能,其动能主要用来克服岩屑的下沉重力、井壁摩擦力、钻具摩擦力等。岩屑的上返动能、岩屑的质量、岩屑的上返速度关系如式(4)所示:

$$E = 0.5mv^2 \quad (4)$$

式中: E ——岩屑的上返动能,J; m ——岩屑的质量,kg; v ——岩屑的上返速度,m/s。

由式(4)可以看出,岩屑质量不变,风量越大,风速越高,岩屑上返速度越快,岩屑上返动能越大,岩屑越不易下沉;当岩屑上返速度为零时,动能为零,岩屑沉降在孔内聚集,导致孔内排渣困难,钻进进尺缓慢,此时孔内聚集的岩屑极易造成卡埋钻具的发生。发现上述情况,一是应立即上下串动钻具并向

孔内加入泡沫剂及泡沫稳定剂,直至孔口返风正常,孔内钻具活动无阻力后,再恢复正常钻进^[11];二是增加冲击器的风压及风量,提高孔内岩屑的动能,使其克服下沉的重力及孔内各类阻力。增加风压可以在高压循环管路中串联增压机,增加风量可以并联压力相同参数空压机。加入泡沫剂的目的,一是泡沫可以增加对岩屑的悬浮力,以利于携带岩屑,克服岩屑的下沉重力,保持孔内清洁;二是改善钻孔及钻具的润滑性能;三是分散钻进时孔内产生的岩屑岩粉,防止岩屑岩粉聚结造成卡钻埋钻事故发生;四是泡沫对地层裂隙有封堵作用,起到稳固保护井壁的作用,五是克服孔内液柱高度产生的背压。泡沫稳定剂的作用,是防止泡沫由孔底上升过程中,泡沫逐渐减压增大破损,而造成泡沫失效,岩屑重新聚集下沉,而影响孔内排渣和进尺。泡沫剂中加入 100 mg/L 浓度的 PHP,以及 1 m³泡沫剂液体中加入 2~3 kg 的 CMC,PHP 分子中的网状结构,CMC 分子中

的链状结构相互作用,增强了泡沫的稳定性,促进了钻井进尺正常进行^[12]。

3.3 钻进参数的选择及调整

该钻孔施工中,钻进参数的选择从钻进速度及钻孔偏斜两方面考虑,一般情况下选择的钻进参数见表 1。

表 1 钻进参数

Table 1 Drilling parameters

钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	风量/(m ³ ·min ⁻¹)	风压/MPa
20~15	20~30	30~60	2.4

钻压过大,钻具将发生弯曲。弯曲的钻具在自转的同时发生公转,钻具公转将导致钻孔偏斜;为预防钻压过大钻具弯曲导致孔斜,应合理控制钻压^[13]。

0~310 m 孔段,钻压保持在 20 kN,转速 30 r/min 以内,风量维持在 50 m³/min 时,钻孔偏斜数据及偏斜轨迹如表 2 所示^[14]。

表 2 测斜成果数据

Table 2 Inclination measurement results

测量深度/ m	钻孔顶角/ (°)	钻孔方位/ (°)	钻孔垂深/ m	ΔX(北向为正)/ m	ΔY(东向为正)/ m	水平偏移 距离/m	X	Y
0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.000	4132754.307	40564747.035
50	0.5	25.4	50.00	0.39	0.19	0.436	4132754.701	40564747.222
100	0.5	331.9	100.00	0.78	-0.02	0.779	4132755.086	40564747.017
150	0.3	106.7	150.00	0.70	0.23	0.741	4132755.011	40564747.267
200	0.5	353.5	199.99	1.14	0.18	1.152	4132755.444	40564747.218
250	0.4	130.7	249.99	0.91	0.45	1.014	4132755.217	40564747.483
300	0.4	306.3	299.99	1.12	0.17	1.129	4132755.423	40564747.201
310	0.4	334.8	309.99	1.18	0.14	1.187	4132755.487	40564747.172

根据以上数据及钻孔偏斜轨迹,发现钻孔轨迹向巷道北部边缘倾斜,钻孔有跑出巷道的倾向,为防止钻孔跑出巷道,及时调整了钻压,从 20 kN 降到 15 kN 以内,目的是降低钻压在钻铤上的重心高度,改变钻具的弯曲度,减小钻具的扭矩及反扭矩^[15],通过钻压的改变取得了较好的防斜效果,钻孔终孔坐标位于巷道中间,达到了预期的目的。

310~554 m 孔段钻孔偏斜数据见表 3,钻孔轨迹水平投影见图 3。

4 施工中的注意事项

(1) 钻探设备安装要周正、稳固、水平,钻塔天轮中心、主动钻具中心及孔口中心三点要在同一铅垂线上,开孔前要使用经纬仪对上述这三点进行校正,确保上述三点在同一铅垂线上,再开孔施工^[15]。

(2) 严格钻具检查,丝扣不合格的钻具、弯曲的钻具严禁下入孔内。

(3) 钻具下入孔内时要注意清洁,钻孔内不能有泥砂、铁锈等异物,防止钻进时卡住冲击器,造成潜孔锤不工作。

表3 测斜成果数据

Table 3 Inclination measurement results

测量深度/ m	钻孔顶角/ (°)	钻孔方位/ (°)	钻孔垂深/ m	ΔX (北向为正)/ m	ΔY (东向为正)/ m	水平偏移 距离/m	X	Y
310	0.4	334.8	309.9928	1.213	0.218	1.232	4132755.52	40564747.25
325	0.3	330.4	324.9925	1.281	0.179	1.293	4132755.59	40564747.21
350	0.4	2.2	349.9919	1.455	0.186	1.467	4132755.76	40564747.22
375	0.4	17.3	374.9913	1.622	0.238	1.639	4132755.93	40564747.27
400	0.4	109.2	399.9907	1.565	0.403	1.616	4132755.87	40564747.44
425	0.4	120.6	424.9901	1.476	0.553	1.576	4132755.78	40564747.59
450	0.4	128.3	449.9895	1.368	0.690	1.532	4132755.67	40564747.72
470	0.5	63.2	469.9887	1.446	0.846	1.675	4132755.75	40564747.88
490	0.5	147.9	489.9880	1.2984	0.9383	1.602	4132755.61	40564747.97
510	0.3	57.9	509.9877	1.3540	1.0271	1.699	4132755.66	40564747.06
535	0.3	71.5	534.9874	1.3955	1.1512	1.809	4132755.70	40564747.19

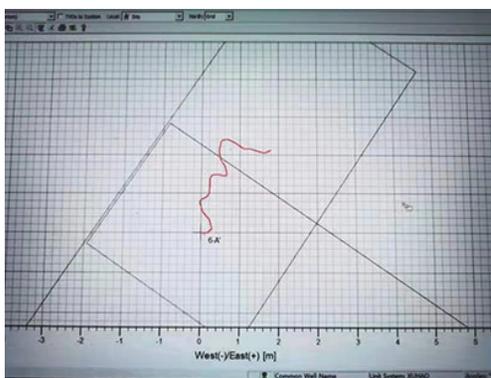


图3 钻孔轨迹水平投影

Fig.3 Horizontal projection of the borehole trajectory

(4)连接钻具时,钻具公扣母扣要清洁干净,并均匀涂抹丝扣油,上紧丝扣,注意丝扣连接密闭,防止钻具中途跑气,影响正常钻进。

(5)潜孔锤正常钻进时,发现上返岩屑潮湿或者返气不畅、钻进速度明显减慢时,要及时使用泡沫剂并上下串动钻具,清理孔内岩屑,防止孔内岩屑吸附在井壁及钻具外部,形成泥环,造成卡埋钻具事故发生。

(6)潜孔锤钻进时,要及时使用好泡沫泵注入泡沫,以及注油器注油,润滑冲击器,防止冲击器卡顿而失去工作效能。

(7)潜孔锤钻进时要合理使用钻压,防止钻压过大,击断锤头,导致事故发生。

5 取得的成果

本孔采用空气潜孔锤钻进工艺,钻进时转速低(一般20~30 r/min),压力小(一般50~100 N/mm),空气钻进比泥浆冲洗液钻进回转阻力小,扭矩小。该孔终孔深度554 m,纯钻时间48 h,钻进效率11.54 m/h;钻孔水平偏距1.809 m,距巷道左边缘1.87 m,距巷道右边缘1.13 m,一次性进入目标靶区,为被困22名矿工11名生还升井做出了应有贡献,2021年1月我单位被中共山东省委、山东省人民政府授予“笏山救援争分夺秒,攻坚克难彰显担当”荣誉称号。

通过本次工作,证明了以冲击为主、回转为辅的空气潜孔锤钻进工艺在硬岩钻进中,相比于传统工法,钻探效率高,进尺快,孔斜控制程度高,终孔位置定位准确,具有传统工艺无可比拟的优势,为今后施工类似钻孔积累了经验。

6 结语

应急抢险工作要做到“稳、准、快”。为做到“稳”:钻孔施工前组织钻探、水文、地质等专家,认真分析研究地质、水文地质资料,详细制定钻孔结构及施工技术措施,避免钻孔结构和施工技术措施不合理导致次生事故发生而影响救援工作顺利开展。要做到“准”:施工过程中严格对钻孔轨迹进行检测,发现钻孔轨迹偏斜立即进行钻进参数调整,必要时采用螺杆钻进行定向纠斜,使钻孔命中靶点。要坚持“快”:对每项工作必须做到分工明确,责任到人,紧

张有序,忙而不乱;确保设备完好,注意维护保养,不能因设备故障而耽误工期,做好后勤保障工作,施工物资供应及时,确保施工正常高效,尽最快效能以最快速度完成应急救援任务。

参考文献(References):

- [1] 和国磊,冯起赠,许本冲,等.SDC-2500型全液压车载钻机的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(6):44-48.
HE Guolei, FENG Qizeng, XU Benchong, et al. Design and application of SDC-2500 full hydraulic truck mounted rig[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(6):44-48.
- [2] 夏本玉,孙旭,杜亮,等.半周期自修正防弯钻具(XBZX)的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):39-43.
XIA Benyu, SUN Xu, DU Liang, et al. Development and application of half-period self-correction deviation prevention drilling tool[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(4):39-43.
- [3] 赵亮,汪程林.页岩气地质调查皖含地1井施工工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):42-47.
ZHAO Liang, WANG Chenglin. Drilling of Well Wanhandi 1 for shale gas geological survey [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(4):42-47.
- [4] 杨芳,陈师逊.深部地质钻探钻孔结构设计与施工分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):21-26.
YANG Fang, CHEN Shixun. Analysis of design and construction of deep geo-drilling boreholes [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):21-26.
- [5] 陈庭根,管志川.钻井工程理论与技术[M].东营:中国石油大学出版社,2006:72-96.
CHEN Tinggen, GUAN Zhichuan. Engineering Theory and Technology of Drilling [M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2006:72-96.
- [6] 汤凤林,宁伏龙,段隆臣.各向异性岩石钻进用钻头和孔底装置的分析研究与探讨[J].钻探工程,2021,48(2):54-63.
TANG Fenglin, NING Fulong, DUAN Longchen. Analytical research and discussion about drill bit and borehole bottom device used for drilling in anisotropic formations [J]. Drilling Engineering, 2021,48(2):54-63.
- [7] 杨宽才,孔二伟,宁赞格,等.小秦岭金矿田大口径电缆通风孔钻进实践与研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(5):44-47.
YANG Kuancai, KONG Erwei, NING Zange, et al. Practice and exploration of larger diameter cable vent in Xiaoqingling Goldfield [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(5):44-47.
- [8] 罗宏保,李俊萍,吴金生.高温硬岩空气潜孔锤钻头设计[J].钻探工程,2021,48(4):60-65.
LUO Hongbao, LI Junping, WU Jinsheng. Development of the air DTH hammer drilling bit for high temperature hard rock [J]. Drilling Engineering, 2021,48(4):60-65.
- [9] 王勇军,谭现锋,邵立宁,等.宁夏固原采卤井施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(11):21-25.
WANG Yongjun, TAN Xianfeng, SHAO Lining, et al. Construction technology of brine wells in Guyuan of Ningxia [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(11):21-25.
- [10] 张凯.复合钻进技术在红柳煤矿冻结孔施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):54-58.
ZHANG Kai. Application of combined drilling technique in the freezing well in Hongliu Coalmine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(2):54-58.
- [11] 宋继伟,赵华宣,苏宁,等.空气潜孔锤钻进典型事故原因分析及处理措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):22-28.
SONG Jiwei, ZHAO Huaxuan, SU Ning, et al. Analysis on the causes of typical accidents of air DTH hammer drilling and the treatment measures [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(5):22-28.
- [12] 董海燕,单文军,李艳宁,等.耐高温泡沫钻井液技术研究概况及研究方向探讨[J].地质与勘探,2014,50(5):991-996.
Dong Haiyan, SHAN Wenjun, LI Yanning, et al. Research progress and directions of the anti-high temperature foam drilling fluid [J]. Geology and Exploration, 2014,50(5):991-996.
- [13] 董泽训.山东笏山矿难3号救援钻孔施工技术[J].钻探工程,2021,48(10):104-109.
DONG Zexun. Construction technology of No.3 rescue borehole in Hushan mine disaster, Shandong province [J]. Drilling Engineering, 2021,48(10):104-109.
- [14] 赵运兴,等.煤田钻探技术手册[M].北京:煤炭工业出版社,1989:351.
ZHAO Yunxing, et al. Handbook of Coalfield Drilling Technology [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1989:351.
- [15] 杨力.几种防斜技术在宣页1井的试验应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5):37-38,56.
YANG Li. Experimental application of deviation control technologies in Xuanye Well 1 [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(5):37-38,56.

(编辑 荐华)