

山东笏山矿难3号救援钻孔施工技术

董泽训

(山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队,山东招远265400)

摘要:2021年1月10日下午2点,位于山东烟台栖霞市的山东五彩龙投资有限公司笏山金矿井下240 m发生爆炸事故,造成井下22名工人被困。事故应急救援指挥部首批布设了4个救援孔,山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队承担了3号救援孔的施工任务,采用“潜孔锤钻进+高精度测斜+套管护壁止水”的施工方案,快速钻进至521 m。之后配合国家矿山应急救援大地特勤队采用定向钻进技术完成剩余60 m施工任务,实现第一个透巷并收到井下被困矿工的回应。本次成功救援,开创了一种接力钻探救援的新模式,为矿山救援工作提供了借鉴与思路。

关键词:矿难救援;救援钻孔;潜孔锤钻进;定向钻进;接力救援;笏山矿难

中图分类号:P634;TD77 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)10-0104-06

Construction technology of No.3 rescue borehole in Hushan mine disaster, Shandong province

DONG Zexun

(The 6th Geological Brigade of Shandong Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Zhaoyuan Shandong 265400, China)

Abstract: At 2 pm. on January 10, 2021, an explosion occurred at 240m underground of Hushan gold mine of Shandong Wucailong Investment Co., Ltd. in Qixia City, Yantai, Shandong, resulting in 22 workers trapped underground. The Accident Emergency Rescue Headquarters deployed four rescue boreholes in the first batch. The 6th Geological Brigade of Shandong Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development undertook the construction task of No. 3 rescue hole. The construction scheme of “DTH hammer drilling+high-precision inclinometer+casing wall protection and water stop” was adopted to quickly drill to 521m. Then, cooperate with the national mine emergency rescue geodetic survey team to complete the remaining 60m construction task by using directional drilling technology. The first one penetrated the roadway and received a response from the trapped miners underground. This successful rescue has created a new model of relay drilling rescue and provided reference ideas for mine rescue work.

Key words: mine rescue; rescue borehole; DTH drilling; directional drilling; relay rescue; Hushan mine disaster

0 引言

2021年1月10日下午2点,位于山东烟台栖霞市的山东五彩龙投资有限公司笏山金矿井下240 m发生爆炸事故,造成井下22名工人被困。接报后,山东省委、省政府,应急管理部立即作出部署,当地立即成立省市县一体化应急救援指挥部,第一时间

开展应急救援工作^[1]。专家组研究讨论后制定了“两条腿”并行的救援方案,即井上施工生命通道(小口径透巷钻孔,实现与被困人员的联系定位,输送营养及药品)及救援通道(清理回风井井筒障碍物,实现对被困人员的升井)。

收稿日期:2021-04-06; **修回日期:**2021-09-23 **DOI:**10.12143/j.ztgc.2021.10.014

作者简介:董泽训,男,汉族,1967年生,探矿工程处经理,全国技术能手,全国五一劳动奖章获得者,齐鲁工匠,主要从事小口径钻探技术研究工作,山东省招远市金城路126号,634348643@qq.com。

引用格式: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.

1 钻孔设计及施工概述

指挥部首批布设了4个救援孔:1号救援孔(排水保障通道)钻至六中段水泵房,旨在确定六中段水仓是否损毁,探明六中段巷道内涌水情况,排出积水;2号救援孔(生命监测通道)钻至五中段巷道拐角处,旨在探明五中段内情况,是否有人被困;3

号救援孔(生命维护通道)钻至五中段巷道中部,旨在确定五中段被困人员位置,并与其取得联系,为其输送给养;4号救援孔(辅助监测通道)在当其他任一孔与井下取得联系时,即刻开钻至其位置,下放生命探测仪,实时监测被困人员生命体征。4个救援钻孔平面分布详见图1。

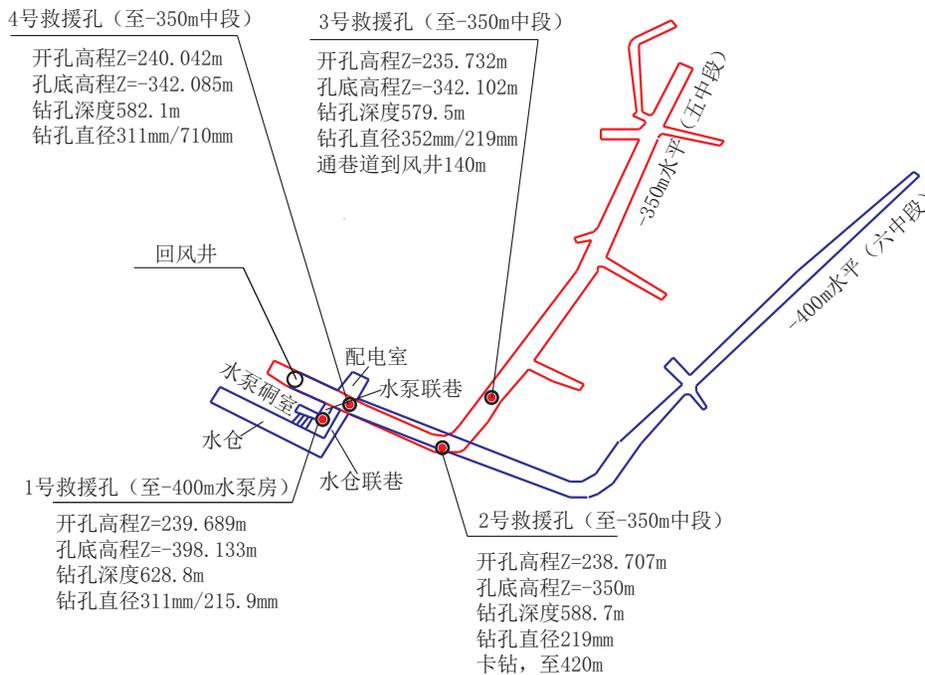


图1 回风井和救援钻孔位置平面示意

Fig.1 Location plan and construction progress diagram of return air shaft

回风井和被困人员位置、钻孔救援方案参见图2。

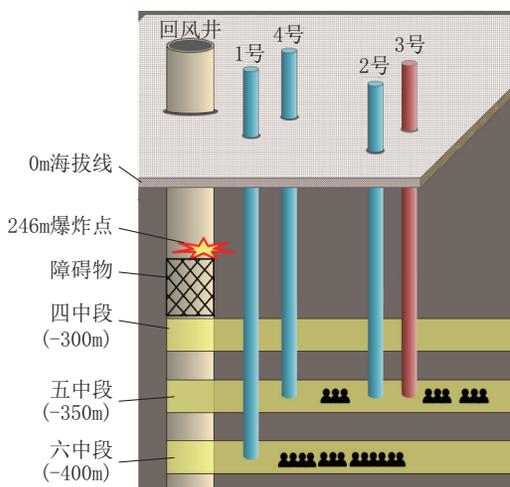


图2 回风井和被困人员位置、钻孔救援方案示意

Fig.2 Schematic diagram of location of return air shaft and trapped personnel and drilling rescue scheme

我队承担了3号救援孔的施工任务,根据现场地质资料,设计两级钻孔结构,即 $\varnothing 350$ mm开孔,下入 $\varnothing 273$ mm套管,二开 $\varnothing 219$ mm透巷。钻孔柱状图见图3。

2 钻探救援难度分析

事故发生地的地质条件、矿工被困深度、救援时间及救援硬件设备要求等多方面因素交织在一起,给此次矿难的救援带来了极大的难度。

2.1 时间紧

事故企业存在30 h迟报行为,耽误了宝贵的救援时间;坑道内无紧急避难室、无给养;井下共发生2次爆炸,产生强烈冲击波并伴有大量有害气体;坑道内水位不断上涨。这些都会危及被困矿工的生命安全,因此及时争分夺秒地抢救井下被困矿工是当务之急。

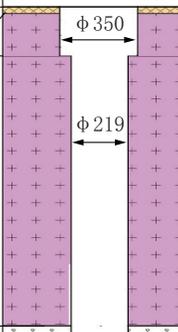
钻孔深度/m	钻孔柱状结构	地层描述
2.06		人工填土
22		
320		碎裂状二长花岗岩。墨绿、肉红色, 坚硬, 岩心呈柱状、块状, 花岗结构, 块状构造, 裂面平直光滑, 裂隙较发育, 透水性一般
412		破碎带。岩石破碎, 呈块状、碎块状, 透水性较好
581		破碎带。岩石破碎, 呈块状、碎块状, 透水性较好

图3 3号钻孔柱状图

Fig.3 Borehole 3 histogram

2.2 岩石硬度高, 钻进效率低

采矿过程中发生的事故, 常以煤矿居多, 世界十大矿难均为煤矿事故。赋存煤矿地层的岩石类型一般为沉积岩, 硬度较低, 钻进效率高。与煤矿地层不同, 笏山金矿区内围岩主要为二长花岗岩, 岩石硬度高, 岩石可钻性7~9级, 钻进效率低。

2.3 岩石破碎

陡崖断裂为区内主要控矿断裂, 断裂带呈膨胀收缩波状起伏, 地表出露不连续, 呈北宽南窄, 宽度200~1000 m, 总体走向 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$, 倾向SE, 倾角 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$, 地表向深部逐渐变缓, 呈铲状。笏山金矿床地处陡崖断裂带南段, 是该断裂带目前发现的最大破碎蚀变岩型金矿床^[2-4]。钻探时极易发生卡钻、涌水等事故, 其中2号钻孔在钻进至412 m处因发生卡钻事故, 经过几天的处理后无果, 不得不中断施工。

2.4 救援深度大

被困矿工位于井下600 m左右, 救援深度较为罕见。已有资料表明只有2010年智利圣何塞铜矿矿难救援深度(700 m)超过此次救援深度^[5]。

2.5 孔斜精度要求高

井下坑道宽3 m, 要求终孔偏差不超过 ± 1.5 m, 而岩层裂隙发育, 容易造成偏斜。

3 3号救援孔钻进工艺及设备选择

3.1 钻进工艺选择

与回转钻进相比, 潜孔锤钻进工艺是以钻头冲击破碎岩石取代切削岩石, 以动载冲击代替静载研磨, 以岩石的体积破碎代替研磨剪切破碎, 在硬岩中钻进具有效率高、钻头使用寿命长、回转速度低、扭矩小、轴心压力轻等特点^[6], 针对本次救援时间紧, 岩石坚硬、破碎等实际困难情况, 3号救援孔采用潜孔锤钻进工艺。

3.2 钻机选择

根据现场情况, 3号救援孔采用SL-1000型钻机(图4), 该设备具有对场地条件要求低、安装快速、钻进效率高等优点。其主要参数见表1。



图4 SL-1000型钻机

Fig.4 SL-1000 drilling rig

表1 SL-1000型钻机性能参数

Table 1 Performance parameter table of SL-1000 drilling rig

最大钻孔深度/m	1000
钻孔直径/mm	105~800
提升力/kN	510
轴压力/kN	110
快升速度/($m \cdot min^{-1}$)	29
最大回转扭矩/($N \cdot m$)	20000/10000
外形尺寸(长×宽×高)/m	8.8×2.25×2.65
整机质量/t	17

3.3 空压机选择

合理选用空压机是保证潜孔锤快速钻进的基础, 3号钻机施工选用1350XH型空压机, 额定排气

量 $38 \text{ m}^3/\text{min}$, 额定排气压力 $2.4\sim 3.45 \text{ MPa}$ 。

3.4 气动潜孔锤的选择

潜孔锤性能的优劣直接影响钻进效率。按工作压力, 潜孔锤分为低风压、中风压、高压风压3种钻进方式。随着风压的增加, 冲击功和冲击频率均有较大提升, 其钻进效率提升更加明显。3号救援孔选用了新金刚 8 in ($1 \text{ in}=25.4 \text{ mm}$, 下同) 潜孔锤, 其参数为外径 185 mm , 风压 $1.5\sim 3.3 \text{ MPa}$, 耗风量 $25\sim 34 \text{ MPa}$, 总质量 181 kg , 总长 1264 mm 。

4 潜孔锤钻进施工

4.1 钻进参数

4.1.1 钻压

气动潜孔锤钻进是在静压力(钻压)、冲击力和回转力3种力作用下碎岩的工作过程, 主要靠潜孔锤的活塞来冲击钻头, 而不是靠钻杆柱加压提高钻速^[7-9]。其钻压的主要作用是为保证钻头齿能与岩石紧密接触, 克服潜孔锤及钻具的反弹力, 以便有效地传递来自潜孔锤的冲击功。在钻进过程中应根据钻进深度随时调整钻压。当钻具的重力在正常的钻压范围时, 可用钻具自重形成的钻压; 随着钻孔的加深, 当钻具的重力超过所需的钻压时, 应用钻机的液压提升给进装置提升钻具进行减压, 避免钻压太大损坏潜孔锤锤头和造成孔斜。为了减少偏斜, 本次施工钻压为 15 kN 。

4.1.2 转速

气动潜孔锤钻进是冲击回转钻进并以冲击作为碎岩主要方式的钻进方法, 回转只为改变钻头冲击破岩位置, 避免重复破碎, 所以不需要过快的线速度^[10-12]。如果转速过高, 钻杆柱回转离心力增大, 会加剧钻具的横向振动和钻具倾斜, 引起孔斜; 但如果转速太慢, 则将使柱齿冲击时与已有冲击破碎点(凹坑)重复, 导致钻速下降、孔径变大。本次钻进中采用的转速为 30 r/min 。

4.1.3 风压、风速和供风量

潜孔锤的冲击频率和冲击功都与空气压力有关, 空气压力是影响机械钻速的主要参数, 资料表明, 钻速和风压几乎成正比关系, 风压从 0.6 MPa 提高到 1.30 MPa 时, 钻进效率可提高1倍^[13-14]。即压缩空气的压力越高, 则潜孔锤钻进的效率也越高, 而且钻头的使用寿命也会变长。

高压空气为潜孔锤冲击做功及克服空气排渣上返的阻力提供动力, 同时须克服管道压力损失、孔内压力降、潜孔锤压降、孔内液柱压力等。风压计算公式:

$$P=QL+P_m+P_c+P_s$$

式中: P ——风压, MPa ; Q ——每米干孔的压力降, 一般为 0.0015 MPa/m ; L ——钻杆柱长度, m ; P_m ——管道压力损失, 取 $0.1\sim 0.3 \text{ MPa}$; P_c ——潜孔锤压力降, MPa ; P_s ——钻孔内水柱压力。

风量计算公式:

$$Q=V(D^2-d^2)/21220.66$$

式中: Q ——供风量, m^3/min ; V ——上返风速, m/s ; D ——钻孔直径, mm ; d ——钻杆直径, mm 。

风量根据上返速度确定, 上返速度约为 25 m/s , 风量为 $38 \text{ m}^3/\text{min}$, 风压为 3.2 MPa 。钻进中涌水、孔内液柱压力增加致钻进中风压增大 $0.1\sim 0.3 \text{ MPa}$ (现场试验记录)。钻进中需根据孔径、潜孔锤性能参数及孔内涌水、漏风、超径等情况匹配空压机, 本次钻进采用的是2台 XH1350 型空压机并联。

4.2 施工方案及措施

之前施工的距离3号钻孔 30 m 处的2号钻孔在孔深 412 m 处钻遇复杂地层, 出现埋钻事故, 因此, 3号孔施工时专家组从设备配置、钻具组合、钻进工艺及操作等方面制定了以下措施:

(1) 增设一台空压机, 防止供风量偏小、上返风速达不到排砂要求。

(2) 勤观察, 加强排屑口异常情况观察, 钻屑变大、出屑减少、不返屑及扭矩变化较大时, 调整钻进参数或停止钻进, 判明情况后恢复正常钻进。

(3) 当钻遇软弱层、裂隙破碎带时, 降低钻速, 勤排屑, 每钻进 $0.5\sim 1 \text{ m}$ 将钻具提离孔底进行排渣, 以利于钻效的提高, 避免孔内事故的发生。

(4) 如钻遇潮湿、小涌水地层, 要及时上报更换钻进工艺, 采用泡沫钻进^[15], 泡沫液有发泡、吸附、润湿反转等作用, 起到将遇水粘结成的钻屑团和粘附孔壁的钻屑分离, 使循环系统气液固分布均匀, 有效阻止钻屑堆积现象再发生, 增强空气流的举屑、携水能力等效果。

4.3 钻遇复杂情况及解决措施

钻进至 430 m 时钻遇涌水地层, 涌水量为 $5\sim 8 \text{ m}^3/\text{h}$ 。调整泡沫液配方为: 水 + $0.3\%\sim 0.5\%$ CMC + $0.5\%\sim 1\%$ 发泡剂 + 0.2% Na_2CO_3 。顺利穿过了该地层。

在钻进至 521 m 处使用 GTL-40GX(W) 型光纤陀螺测斜仪和 JGS-1B 型智能测井系统设备进行 3 次测斜作业, 复核偏差 7.3 m。我队专家组在对测斜结果进行科学研判后及时上报指挥部并建议换用定向钻进设备进行定向钻进。经指挥部协调, 由国家矿山应急救援大地特勘队与我队联合施工剩余 60 m。

钻具组合为: $\text{O}152\text{ mm PDC 钻头} + \text{O}121\text{ mm 螺杆} + \text{O}121\text{ mm 定向短节} + \text{O}121\text{ mm 无磁钻铤} + \text{O}121\text{ mm 钻铤} + \text{O}89\text{ mm 钻杆}$ 。

钻进参数为: 钻压 50 kN, 泵量 20 L/s, 转速 30 r/min。

5 救援效果

1月17日13:55, 经过59 h施工, 3号钻孔第一个精准透巷、直中靶心, 率先与井下被困人员取得联系并及时输送营养和药品, 最大限度地保障了人民生命财产安全, 为被困矿工成功升井赢得了宝贵的时间。

6 认识与建议

总结本次3号孔救援情况, 有以下认识和建议。

(1)效率优先。矿难救援与生产任务不同, 是一次与死神赛跑、穿越生死的竞赛。如何快速地透巷, 建立与井下联系是救援队的首要任务。在国家专业设备进场之前第一时间组织救援是关键, 透巷时间距矿难发生时间7 d, 如果时间再耽误, 将会严重威胁井下矿工的生命安全。

(2)技术保障。由于笏山金矿地质条件较为复杂, 过硬的施工技术是成功救援的前提。在救援过程中, 相邻井出现卡钻事故, 导致救援难以持续, 经专家组研究, 调整施工参数, 顺利穿透破碎带。现场采用2套不同型号的陀螺测斜仪进行测斜3次, 技术人员计算后将数据上报专家组, 国家矿山应急救援大地特勘队根据实测数据实施定向钻进, 成功透巷。

(3)组织得力。1月12日9时, 我队在得知消息后立即主动请战, 3 h之内, 一支包含测量、地质、水文、物探、钻探等各专业60余名技术人员的队伍到达现场, 15 h完成了钻孔定位、场地平整、设备进场、开钻等工序, 创造了钻探救援新速度, 仅用时59 h实现钻进521 m, 为后期成功救援赢得了宝贵的时间。

(4)胶东半岛大小金矿较多, 为能在本地区第一时间对矿山救援做出响应, 减少人民的生命财产损失, 建议在胶东地区组建一支专业的矿山救援队伍, 配备高性能救援设备, 并进行专业的技术培训。

参考文献(References):

- [1] 王久平.“地心营救”既有收获也见不足——写在山东笏山矿难11名矿工获救之后[J]. 中国应急管理, 2021(2):10-13.
WANG Jiuping. “Geocentric rescue” has both gains and shortcomings—Written after 11 miners were rescued in Hushan mine, Shandong province [J]. China Emergency Management, 2021(2):10-13.
- [2] 徐娜. 智利矿难: 深井大救援[J]. 中国减灾, 2010(21):31-33.
XU Na. Chile mine disaster: Deep well rescue [J]. Disaster Reduction in China, 2010(21):31-33.
- [3] 智云宝, 孙海瑞, 李风华. 山东栖霞笏山金矿床成因——元素地球化学与流体包裹体证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020, 50(5):1552-1569.
ZHI Yunbao, SUN Hairui, LI Fenghua. Geological and geochemical features of Hushan Gold Deposit in Qixia, Shandong province [J]. Journal of Jilin University (Geoscience Edition), 2020, 50(5):1552-1569.
- [4] 徐萌. 山东省栖霞市笏山金矿构造特征及其成矿作用分析[D]. 石家庄: 河北地质大学, 2016.
XU Meng. The analysis of the structural feature and the mineralization of Hushan Goldfield in Qixia Shandong province [D]. Shijiazhuang: Hebei GEO University, 2016.
- [5] 原丽媛, 许凯磊, 田少斌. 山东省栖霞市笏山—西陡崖金矿集区综合研究报告[R]. 烟台: 山东省核工业二七三地质大队, 2018.
YUAN Liyuan, XU Kailei, TIAN Shaobin. Comprehensive study report on Hushan-Xidouya Gold Deposit in Qixia, Shandong province [R]. Yantai: Shandong Province Nuclear Industry Geological Group 273, 2018.
- [6] 程林, 满国祥, 孔令沪, 等. 多工艺空气钻进钻具配置研究[J]. 地质装备, 2021, 22(1):17-21.
CHENG Lin, MAN Guoxiang, KONG Linghu, et al. Research on drilling tool configuration for multi-process air drilling [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2021, 22(1):17-21.
- [7] 周志鸿, 耿晓光, 刘玉超. 潜孔钻机前沿技术与国内现状[J]. 凿岩机械气动工具, 2018(1):53-59.
ZHOU Zhihong, GENG Xiaoguang, LIU Yuchao. Cutting-edge technologies and status quo of DTH drilling rigs in China [J]. Rock Drilling Machinery & Pneumatic Tools, 2018(1):53-59.
- [8] 杨涛, 杜兵建. 山东平邑石膏矿矿难大口径救援钻孔施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(5):19-23.
YANG Tao, DU Bingjian. Construction technology of large diameter rescue borehole in Pingyi Gypsum Mine disaster of Shan-

- dong [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(5):19-23.
- [9] 宋国龙,李进安,王超.空气钻进技术及其在内蒙古供水井施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(11):52-54.
SONG Guolong, LI Jin'an, WANG Chao. Application of air drilling technology in water supply well construction in Inner Mongolia [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(11):52-54.
- [10] 张晗,卢玮,黄烜,等.河南省水热型地热成因模式及钻探方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):8-14,20.
ZHANG Han, LU Wei, HUANG Xuan, et al. Generation model and drilling method of hydrothermal geothermal resources in Henan province [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(9):8-14, 20.
- [11] 伍新民,易振兴,吴俊贤,等.湘西金矿复杂地层大口径充填孔定向钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):26-29.
WU Xinmin, YI Zhenxing, WU Junxian, et al. Directional drilling technique for a large diameter filling hole in complicated formation in Xiangxi Gold Mine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(6):26-29.
- [12] 张金昌.地质钻探技术与装备21世纪新进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):10-17.
ZHANG Jinchang. New development of the 21st Century geological drilling technology and equipment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(4):10-17.
- [13] 赵福森,谭家政,杨晨,等.空气(泡沫)潜孔锤钻进工艺在王家岭煤矿紧急避险孔中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(8):25-29.
ZHAO Fusen, TAN Jiazheng, YANG Chen, et al. Application of air foam DTH hammer drilling technology during the emergency refuge hole drilling in Wangjialing Coal Mine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(8):25-29.
- [14] 安民.气动潜孔锤快速钻进技术在山西水利建设中的应用[J].中国农村水利水电,2009(8):103-105.
AN Min. Application of pneumatic DTH hammer fast drilling technology in Shanxi water conservancy construction [J]. China Rural Water and Hydropower, 2009(8):103-105.
- [15] 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 in DTH drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(5):22-28.

(编辑 李艺)