

笏山矿难应急救援钻孔施工技术

杜兵建^{1,2,3}, 周 兢^{1,2,3}, 肖明国^{1,2}, 孙红波^{1,2}, 李红叶^{1,2}

(1. 北京大地高科地质勘查有限公司, 北京 100043; 2. 国家矿山应急救援大地特勘队, 北京 100043;
3. 中国煤炭地质总局, 北京 100038)

摘要: 2021年笏山矿难钻孔救援是我国钻孔救援成功的典型案例。由于地层坚硬且裂隙发育, 导致钻孔易偏斜且易发生卡钻事故, 针对这一特殊情况采用潜孔锤空气泡沫钻进及螺杆马达纠偏等钻进工艺, 成功完成了小口径生命保障孔钻探救援任务, 同时本文也对生命保障孔、排水孔和大口径救生孔钻探救援技术进行了总结, 对今后开展钻孔救援工作提出有待改进的问题和建议。

关键词: 笏山矿难; 应急救援; 救援钻孔; 空气反循环

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)S1-0195-05

Drilling technology for the rescue borehole in Hushan Mine disaster

DU Bingjian^{1,2,3}, ZHOU Jing^{1,2,3}, XIAO Mingguo^{1,2}, SUN Hongbo^{1,2}, LI Hongye^{1,2}

(1. Beijing Dadi High-tech Geological Exploration Co., Ltd., Beijing 100043, China;

2. National Mine Emergency Rescue Daditekan Team, Beijing 100043, China;

3. China National Administration of Coal Geology, Beijing 100038, China)

Abstract: The drilling rescue in 2021 Hushan mine disaster is a typical case of successful borehole rescue in China. The hard formation and fracture easily lead to borehole deflection and sticking accidents. For this special condition, some drilling technologies such as DTH hammer air foam drilling and PDM deviation correction drilling was used to successfully complete the drilling rescue mission of the small diameter life support hole. This paper also summarizes the drilling rescue technologies for the life support hole, the drainage hole and the large diameter rescue hole, and puts forward some suggestions and problems on improving rescue work in the future.

Key words: Hushan Mine disaster; emergency rescue; rescue borehole; air reverse circulation

0 引言

随着煤矿和非煤矿山开采深度的增加, 矿井透水、矿井瓦斯问题已成为制约矿山开发的因素之一。矿山发生灾害事故后, 工作人员被困在狭小空间而救援人员又无法靠近事故区域时, 除了传统的井下疏通巷道救援外, 地面快速钻孔技术为实现快速透巷、快速施救增加了一条有效途径^[1-3]。近年来, 通过地面施工钻孔进行救援的方式有了多个成

功案例^[4-6]。本文以山东省烟台市栖霞市笏山金矿爆炸事故地面钻孔救援为例, 分析了钻孔施工过程中的相关技术措施。此次钻孔救援根据实战需求, 利用和借鉴煤层气钻井、煤矿大口径工程井钻井等相关领域的技术和经验^[7-11], 采用气动潜孔锤钻进、螺杆马达+PMWD定向钻进等钻进技术方法, 顺利完成钻孔救援任务。

收稿日期: 2021-05-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.S1.031

基金项目: 国家重点研发计划资助课题“地面生命保障孔精准定位及快速成孔技术”(编号: 2018YFC0808201)

作者简介: 杜兵建, 男, 汉族, 1955年生, 中国煤炭地质总局救援首席专家, 教授级高级工程师, 主要从事矿井水文地质、钻孔救援技术管理及研究工作, 北京市石景山区玉泉路59号, dubingjian@126.com。

通信作者: 周兢, 男, 汉族, 1982年生, 高级工程师, 主要从事地质勘查、钻孔救援技术管理及研究工作, 北京市石景山区玉泉路59号, zhoukeke2003@163.com。

引用格式: 杜兵建, 肖明国, 孙红波, 等. 笏山矿难应急救援钻孔施工技术[J]. 钻探工程, 2021, 48(S1): 195-199.

DU Bingjian, ZHOU Jing, XIAO Mingguo, et al. Drilling technology for the rescue borehole in Hushan Mine disaster[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1): 195-199.

1 概况

山东省栖霞市笏山金矿设计新建一条混合井和一条回风竖井形成提升、运输、通风、排水等系统, -450 m中段以下采用盲竖井+盲回风井开拓。井下0~-650 m标高内,每50 m为一个中段,共14个中段,其中0 m中段为回风中段。2021年1月10日14时,山东省烟台市栖霞市笏山金矿发生爆炸事故,风井井筒装备部分损坏,阻断井下人员升井,致22名矿工被困井下。事发时,笏山金矿处于基建

期,正在进行混合井、回风井间的巷道贯通工程施工。由于回风井井口实施罐笼气割作业产生的高温熔渣块掉入井内,碰撞井筒设施,弹到一中段马头门内乱堆乱放的炸药包装纸箱上,引起纸箱等可燃物燃烧,导致杂乱存放在硐室内的导爆管雷管、导爆索和炸药爆炸。此时,一部分工人在五中段进行支护作业,一部分在六中段安装临时泵站水泵和启动柜。主要救援钻孔位置见图1。

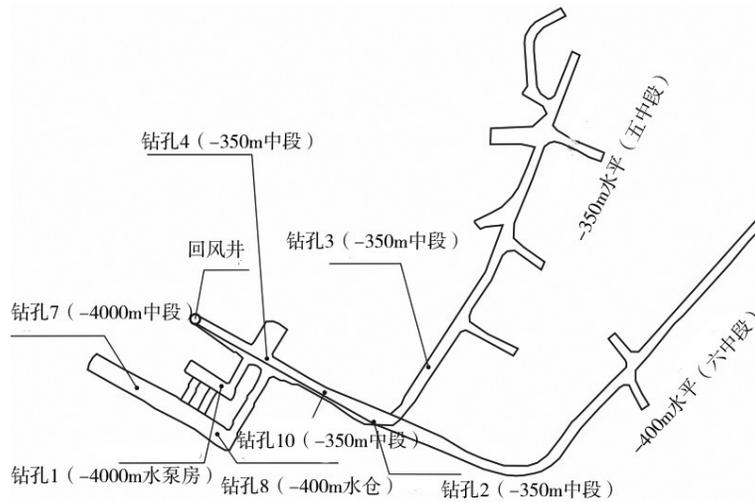


图1 主要救援钻孔位置示意

“1·10”矿难事故发生后,山东省委及烟台市成立了救援指挥机构,组织力量进行救援。12日,现场救援指挥部一方面积极组织井筒修复;另一方面,决定实施地面钻孔救援,布置了小口径生命保障孔、大口径排水孔和大口径救生孔等3类救援钻孔,主要目的是探寻被困人员、输送给养、疏排矿井内积水及打通生命救援通道。17日地面小口径生命保障孔探寻到被困矿工,并输送给养及通讯设备,24日风井清障取得突破性进展,成功将被困人员由风井提升至地面。各救援钻孔参数见表1。

2 生命保障孔钻探救援

小口径生命保障孔主要目的是探寻井下被困人员,与井下被困人员取得联系,为被困人员提供饮用水、食物、药品等维持生命的基本物品,必要时输送小型音响设备,建起生命支持、心理疏导和医疗指导的通道,为后续救援争取宝贵时间。根据爆炸时矿工在五中段和六中段作业,布置了4个小口径生命

表1 主要救援孔参数

钻孔编号	钻孔类型	目标中段	设计孔深/m	终孔直径/mm
1	生命保障孔	六中段	629	152
2	生命保障孔	五中段	589	152
3	生命保障孔	五中段	578	152
4	生命保障孔	五中段	582	152
7	排水孔	水仓	637	311
8	排水孔	水仓	637	311
10	救生孔	五中段	579	580

保障孔,其中1号孔目标为六中段,2号、3号和4号孔目标为五中段。17日3号孔在五中段探寻到被困矿工,并输送给养及通讯设备;18日1号钻孔顺利贯通六中段但未探测到被困矿工;20日4号钻孔顺利贯通五中段接替3号孔保持与被困矿工的联系并提供给养,同时3号孔顺利完成封孔堵水作业。

2.1 使用装备

小口径生命保障孔施工采用了国外进口的雪姆车载钻机以及国产的车载钻机、水井钻机, 钻机的性能参数见表2, 配套有寿力1150型空压机、3NB-1300型泥浆泵、泥浆固控设备、泥浆脉冲随钻测量仪器(PMWD)及钻铤等工具。

表2 生命保障孔钻机性能参数对比

钻机型号	最大提升力/kN	最大钻井直径/mm	扭矩/(kN·m)	整机质量/t
雪姆 T200	900	1200	30	45
雪姆 T130	591	711	12	40
徐工 XSC1200	1200	820	28	55
正远 SL1000	520	800	20	17.5
金科 JKS800	370	450	24.5	16.5

2.2 钻进工艺

2.2.1 钻孔设计

由于矿区钻遇的主要为花岗岩等坚硬的岩石, 所以选用空气潜孔钻进工艺。生命保障孔采用三开结构: 一开用 $\phi 311$ mm潜孔锤钻进穿过覆盖层后下入 $\phi 245$ mm护筒, 二开用 $\phi 216$ mm潜孔锤钻进至距巷道5 m, 下入 $\phi 178$ mm套管固井, 最后5 m地层用 $\phi 152$ mm潜孔锤进行透巷。钻孔结构见图2。

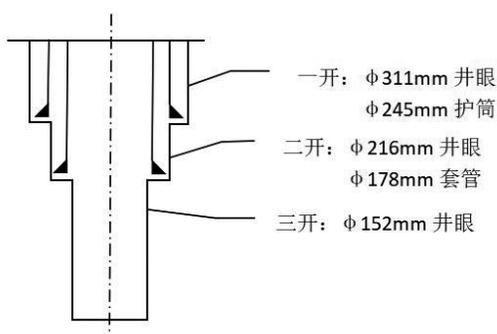


图2 生命保障孔钻孔结构

2.2.2 钻具组合

一开: $\phi 311$ mm潜孔锤 + $\phi 178$ mm钻铤。

二开: $\phi 216$ mm潜孔锤 + $\phi 178$ mm钻铤 + $\phi 114$ mm钻杆。

三开: $\phi 152$ mm潜孔锤 + $\phi 121$ mm钻铤 + $\phi 89$ mm钻杆。

2.2.3 实施过程

3号钻孔采用正远SL1000型水井钻机利用空气潜孔锤钻进工艺进行施工, 钻至521 m距离巷道还有60 m时, 停钻测斜发现井底水平位移达7.4 m, 而矿井的巷道宽度是3 m, 中靶半径是1.5 m, 若不采取纠偏措施将无法实现贯穿巷道。受正远SL1000型水井钻机动力头行程限制, 其采用的6 m钻杆, 无法与现场的定向钻具及随钻仪器配套, 所以纠偏作业由雪姆T200型钻机采用“螺杆马达+随钻测斜仪(PMWD)”定向钻进方法完成。纠偏完成后, 为了避免透巷时孔内泥浆涌入巷道, 先利用空压机将孔内泥浆吹出, 然后采用空气潜孔锤钻进工艺在井深580 m处顺利贯通巷道。

4号钻孔同样也采用空气潜孔钻进工艺。为了控制井底位移量, 严格控制钻压, 保证钻压中合点落在钻铤上, 同时加快动力头的转速, 使得钻孔轨迹为一条螺旋线, 确保将井底位移量控制在一定范围内, 最后成功透巷。通过测量, 4号孔孔底位移仅有0.14 m。在井深420 m处, 钻遇破碎带, 裂隙发育但出水量不大, 采用潜孔锤空气泡沫钻进工艺顺利穿过破碎带。在井深582 m处, 顺利贯通巷道。该孔采用空气潜孔锤钻进工艺一次成孔, 无需纠偏, 实现快速、安全、精准的钻进目标。

3 大口径排水孔钻探救援

爆炸发生后, 矿井的排水系统遭到破坏, 如果矿井内的积水不能及时排出, 将会威胁被困矿工的生命安全, 因此指挥部布置了7号和8号地面大口径排水孔, 主要目的是通过钻孔排水, 排出被困区域的矿井积水, 为营救灾区被困人员创造条件。

3.1 使用装备

大口径排水孔施工采用了国外进口的雪姆车载钻机, 配套寿力1150型空压机、3NB-F1300型泥浆泵组、泥浆脉冲随钻测量仪器(PMWD)、泥浆固控设备、 $\phi 127$ mm钻杆及钻铤等。

3.2 钻进工艺

为了争取宝贵的救援时间, 一开采用 $\phi 580$ mm正循环单体潜孔锤进行钻进, 待泥浆泵组、固控设备及地面管汇连接好后, 下入孔口管进行二开钻进。排水孔采用三开结构: 一开孔径为580 mm, 下入 $\phi 508$ mm孔口管, 二开孔径为445 mm, 下入 $\phi 340$ mm石油套管, 三开(透巷)孔径为311 mm。钻孔结

构见图3。

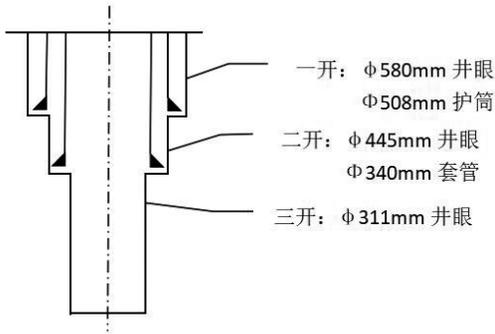


图3 大口径排水孔钻孔结构

钻具组合:

一开: $\text{O}580\text{ mm}$ 潜孔锤 + $\text{O}203\text{ mm}$ 钻铤。

二开: $\text{O}445\text{ mm}$ 三牙轮钻头 + 单弯螺杆 + $\text{O}203\text{ mm}$ 钻铤 + $\text{O}127\text{ mm}$ 钻杆。

三开: $\text{O}311\text{ mm}$ PDC 钻头 + $\text{O}203\text{ mm}$ 钻铤 + $\text{O}127\text{ mm}$ 钻杆。

3.3 实施过程

7号钻孔设计井深637 m,于20日开钻,一开采用 $\text{O}580\text{ mm}$ 正循环单体潜孔锤钻进,为了保证开孔垂直度以便孔口管顺利下入井中,钻进过程中严格控制钻压,实施“吊着打”。钻进至18 m深时,泥浆泵组、固控设备及地面管汇已连接好,接着下入 O

508 mm孔口管,然后采用泥浆钻进工艺钻进二开井段,同时采用2台3NB-F1300泥浆泵组并泵来加大排量从而提高泥浆上返速度。24日上午,风井清障取得突破性进展,指挥部下达停钻指令,此时7号孔钻至井深210 m。

8号钻孔设计井深637 m,采用与7号一样的钻进工艺。于22日开钻,一开采用 $\text{O}580\text{ mm}$ 正循环单体潜孔锤钻进至井深8 m,下入 $\text{O}508\text{ mm}$ 孔口管,然后采用泥浆钻进工艺钻进二开井段,24日上午,风井清障取得突破性进展,指挥部下达停钻指令,此时8号孔钻至井深56 m。

4 大口径救生孔钻探救援

爆炸发生后,风井井筒装备部分损坏,阻断井下人员升井。为了确保被困人员能顺利升井,指挥部一方面积极组织救援人员修复风井井筒,计划从风井井筒将被困人员提升至地面;另一方面组织钻机在地面施工10号大口径救生钻孔至5中段,直接通过10号钻孔提升营救井下被困人员。

4.1 使用设备

大口径救生孔采用旋挖钻机和宝峨的RBT90型钻机施工,配套有寿力1150型空压机、增压机, $\text{O}219$ 双壁钻杆及钻铤等。见表3。

表3 宝峨RBT90型钻机主要技术参数

最大提升力/ kN	动力头加压 力/kN	发动机功率/ kW	最大钻井直 径/mm	桅杆高度/ m	动力头扭矩/ (kN·m)	动力头通径/ mm	整机质量/ t
900	200	708.8	1500	23.8	36	150	60

4.2 钻进工艺

大口径救生孔采用三开井身结构,一开: $\text{O}1000\text{ mm}$,下 $\text{O}900\text{ mm}$ 护壁管;二开: $\text{O}711\text{ mm}$,下 $\text{O}600\text{ mm}$ 套管,三开: $\text{O}580\text{ mm}$,裸孔。钻孔结构图见图4。

钻具组合:一开:1000 mm旋挖钻头,接 $\text{O}316\text{ mm}$ 旋转钻杆。二开: $\text{O}711\text{ mm}$ 潜孔锤 + 正反循环接头 + $\text{O}680\text{ mm}$ 扶正器 + $\text{O}279\text{ mm}$ 双壁钻铤 + $\text{O}219\text{ mm}$ 双壁钻杆,接空气反循环动力头。三开: $\text{O}580\text{ mm}$ 潜孔锤钻头 + 正反循环接头 + $\text{O}279\text{ mm}$ 双壁钻铤 + $\text{O}219\text{ mm}$ 双壁钻杆,接空气反循环动力头。

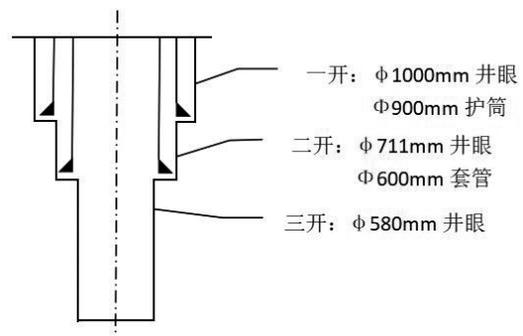
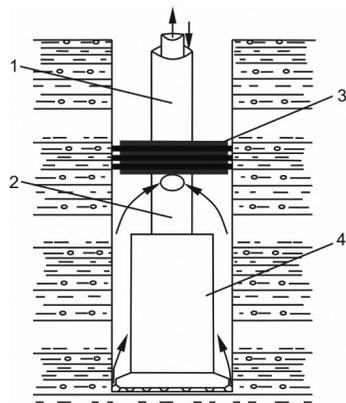


图4 大口径救生孔钻孔结构

4.3 实施过程

10号钻孔设计井深579 m,于20日开钻,一开

采用 $\varnothing 1000$ mm旋挖钻头钻进,钻进至18 m深时见基岩,接着下入 $\varnothing 900$ mm孔口管,然后采用 $\varnothing 711$ mm正循环潜孔锤配合正反循环转换接头、多层橡胶封堵器来实现空气潜孔锤反循环钻进工艺钻进二开井段。如图5所示,高压气体通过双壁钻杆1的环空到达孔底的气动潜孔锤4,并推动潜孔锤冲击破碎岩石,由于多层橡胶封堵器3阻断了正循环通道,迫使气体携带岩屑进入正反循环转换接头2的排渣口通过双壁钻杆的内管上返至地面,实现反循环钻进。24日上午,风井清障取得突破性进展,指挥部下达停钻指令,此时10号孔钻至井深32 m。



1—双壁钻杆;2—正反循环转换接头;3—多层橡胶封堵器;
4—气动潜孔锤

图5 多层橡胶封堵器气动潜孔锤反循环钻进工艺示意

5 认识与建议

(1)救援中无法对矿井遇险人员进行精准探测定位,生命保障孔布置和轨迹设计依据不足、救援孔定位精度差,透巷发现遇险人员几率低,建议开展适用于矿山灾害事故应急救援的遇险人员定位技术及装备研究。

(2)3号生命保障孔利用泥浆钻进工艺完成纠偏作业后,转换为气动潜孔锤钻进工艺耗时6 h,影响救援速度,建议开展适用于矿山灾害事故急救

援的气动螺杆定向钻进技术及装备研究,实现快速、精准、安全钻进小口径生命保障孔。

(3)7号和8号排水孔主要采用常规油气井钻井工艺试算,机械钻进速度仅为2 m/h,不能满足应急救援要求,在提高机械钻速、优化井身质量等方面存在很大提升空间,建议开展矿山灾害事故应急救援的排水孔快速钻进技术及装备研究。

(4)本次钻井救援中出动近10台钻机,但大部分是油气勘探开发、固体矿产勘探、水文水井钻凿等领域的钻进技术装备,存在钻井周期长、效率低、标准不统一等问题,给钻井救援带来极大挑战,建议开展矿山灾害事故应急救援专用钻井技术装备研究,统一钻井救援的技术装备标准。

参考文献:

- [1] 宋元明,刘志军,王万生.快速钻孔技术在煤矿应急救援中的实践[J].中国安全科学学报,2004(6):66-68.
- [2] 王志坚.矿山钻孔救援技术的研究与务实思考[J].中国安全生产科学技术,2011,7(1):5-9.
- [3] 杜兵建.矿难救援工作中钻井新技术的应用[J]//探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1):149-150.
- [4] 杜兵建,杨涛.大孔径救援钻孔技术应用[J].劳动保护,2018(2):88-90.
- [5] 杨涛,杜兵建.山东平邑石膏矿矿难大孔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.
- [6] 高广伟,张禄华.大直径钻孔救援的实践与思考——以山东平邑“12·25”石膏矿坍塌事故救援为例[J].中国应急管理,2016(3):74-75.
- [7] 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.
- [8] 王永全,周兢.钻探技术在煤矿水害防治工作中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(11):35-41.
- [9] 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.
- [10] 张福强.T200车载多功能钻机在煤层气参数井钻进中的应用[J].中国煤炭地质,2009,21(S1):85-87.
- [11] 刘永彬.多工艺钻进技术在煤层气预探井的应用[J].中国煤炭地质,2007,19(A01):46-47,58.