

山东平邑石膏矿矿难大口径救援钻孔施工技术

杨 涛, 杜兵建

(中煤地质工程总公司, 北京 100043)

摘要:2015年“12.25”平邑矿难钻孔救援是我国首例通过钻孔救生的成功案例。由于地层不断坍塌变形,导致了复杂地层条件的产生,给救援钻孔的施工带来极大困难。针对这一特殊情况,采用空气反循环钻井工艺技术,处理钻孔事故时采用气举反循环工艺技术。总结了大口径钻孔施工经验,对今后施工大口径救援钻孔提出有待改进的问题和建议。

关键词:平邑矿难;钻孔救援;大口径救援钻孔;救生孔;钻具组合;空气反循环;气举反循环

中图分类号:P634;TD77 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2017)05-0019-05

Construction Technology of Large Diameter Rescue Borehole in Pingyi Gypsum Mine Disaster of Shandong/YANG Tao, DU Bing-jian (China Coal Geology Engineering Corporation, Beijing 100043, China)

Abstract: The rescue of Pingyi mine disaster in Dec25. 2015 is the first successful rescue case by hole drilling in China. The continuous collapse and deformation result in complicated stratum conditions, which caused much difficulty to the rescue drilling hole construction. As to these special conditions, air reverse circulation drilling technology was used; and airlift reverse circulation drilling technology was used to deal with drilling accidents. This paper summarizes the experience of large diameter drilling construction and puts forward some problems to be improved in the future.

Key words: Pingyi mine disaster; rescue by hole drilling; large diameter borehole for rescue; rescue hole; BHA; air reverse circulation; airlift reverse circulation

1 概述

2015年12月25日7时56分,山东省临沂市平邑县玉荣石膏矿采空区发生坍塌事故,引发矿震(国家地震测报震级4.0级),使29名矿工被困井下。

“12.25”矿难事故发生当天,山东省委及临沂市成立了救援指挥机构,当天下午就组织力量进行井下搜救。在井下巷道中采取先掘后支护再救援的办法实施巷道掘进救援,共修复通道350 m,营救出11名被困矿工,并发现一名遇难矿工遗体,由于井下大面积坍塌,巷道水位不断上升,救援人员安全难以保障,被迫停止井下救援。26日上午,国家安监总局矿山应急救援指挥中心领导及专家与现场指挥部研究决定,实施地面钻孔救援方案。

地面钻孔救援采用先探寻,再送给养,同时布置大口径救生钻孔施工,最后成功救援提升被困人员到地面,完成地面大口径救援任务。本次钻孔救援共钻7个钻孔,其中1号小口径钻孔是探测钻孔,未探测到有被困人员;2号小口径钻孔探测到被困人

员,并输送给养及通讯设备等;3号大口径救生钻孔由于地层坍塌破碎钻进15 m停止并放弃;4号大口径救生钻孔钻进178 m结束(5号已完成救生目的,所以结束4号钻进);5号大口径救生钻孔钻进220 m并最终完成救人目的;6号小口径钻孔未探测到被困人员;7号小口径钻孔探测到被困人员,并输送给养及通讯设备等。本文总结5号大口径救生钻孔施工过程。

2 矿区地层地质概况及矿体开采现状

矿区位于山东省临沂市平邑县境内,矿体发育在奥陶系下统冶里亮甲山组。底部石膏矿体厚度10~20 m,顶底板为含砂质泥页岩层。

地表有1~2 m耕植土,下覆5~10 m紫红和黄色分化层,基岩为奥陶系石灰岩地层,岩溶裂隙发育,存在溶洞,溶洞充填物为稀黄泥。120~207 m为砂质泥岩,地层较破碎,中间部位有薄层石膏体,夹泥质灰岩层。207 m以深到巷道底部225 m为石膏矿体地层。

收稿日期:2016-11-14;修回日期:2017-04-11

作者简介:杨涛,男,汉族,1979年生,高级工程师,北京大地高科煤层气工程技术研究院矿山应急救援分院院长,国家矿山应急救援指挥中心大地特勘救援队队长,平邑矿难救援现场指挥部专家组成员,北京市石景山区玉泉路59号院3号楼1306,zmddyt@126.com。

玉荣石膏矿是 2004 年通过山东省临沂地矿局报省地矿厅批准开采的矿井,面积 60 km²,可开采储量 9.5 亿 t,设计开采 3000 万 t/年,实际开采 3500 万 t/年,开采方式为房柱法(一般为采 8 留 7 的方

法)。经过 10 多年开采,矿体已开采近 2/3。

根据对石膏矿开采状况调查,4 号井的西部、南部均全部采空,北部和东部地区已有部分采空,留下有 1/3 资源正在采掘(如图 1)。



图 1 石膏矿矿体平面布置及救援钻孔布置

3 钻孔救援装备及钻进工艺

3.1 使用装备

2012 年国家安全生产监管总局根据智利 2010 年圣何塞铜矿救援案例的启示,拟建设我国矿山应急救援体系,向国务院、国家发改委、财政部报告请示,申请 40 亿元人民币,分 2 期建设国内区域矿山救援队和国家应急救援队伍。其中针对地质钻孔救援的队伍有 14 家,主要在煤炭生产企业和地质矿山相关企业。配备的装备分 2 批,第一批从国外引进“世界先进、国内领先”的装备,经国际招标选择了

德国宝峨公司生产的 RBT90 型拖车钻机和美国雪姆公司生产的 T200 型车载钻机;第二批在我国选购自主研发的国内领先,接近或达到国际先进水平的钻机产品,经严格的招投标程序,中煤科工集团西安研究院的 MDY-60 型钻机产品被选入我国矿山应急钻进救援的专用装备。

根据本次平邑矿难救援位置距离情况,国家安监总局救援指挥中心通知国家矿山应急救援淮南救援队和国家矿山应急救援北京大地特勘救援队出征参战,所用钻机是宝峨的 RBT90 型钻机和雪姆的 T200 型钻机,钻机的性能参数见表 1。

表 1 钻机性能参数对比

钻机型号	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
宝峨 RBT90	900	200	708.8	1500	23.8	36	150	60
雪姆 T200	900	180	559.5	1200	22.0	30	150	45

3.2 救生孔钻进工艺

3.2.1 钻孔设计

按照国家救援队伍建设装备配备设计,一开人工挖掘孔口直径 1000 mm,深 1 m,下 Ø800 mm 护

筒。二开用 $\varnothing 711$ mm 潜孔锤钻到 205 m, 下 $\varnothing 660$ mm 套管固井, 最后 15 m 地层用 $\varnothing 600$ mm 钻头透巷完井, 再使用 $\varnothing 600$ mm 救生舱从钻孔将被困人员提出孔外。

在具体施工中, 由于地层原因, 这一方案在一开和二开中地层坍塌受阻, 未能达到目的。

3.2.2 钻孔设计变更

由于地层的不稳定和结构的变化, 实际施工中根据地层地质条件钻孔设计做了变更(见图2)。

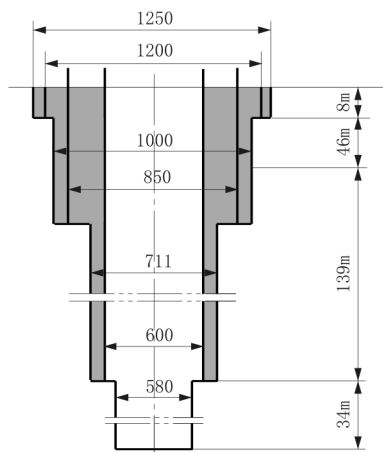


图2 救生钻孔施工示意

根据地表 5 m 左右的黄土泥沙层和 3 m 左右基岩分化层, 一开: 采用旋挖钻机钻进直径 1250 mm、深度 8 m 的孔口, 下 $\varnothing 1200$ mm 护壁管; 二开: 继续用旋挖钻机钻进直径 1000 mm、深度到 54 m, 下 $\varnothing 850$ mm 套管固井; 三开: 采用直径 711 mm 潜孔锤钻头, 深度到 195 m, 下 $\varnothing 600$ mm 套管, 下深 185 m, 固井; 四开: 采用直径 580 mm 潜孔锤直接打到底, 结果由于没有打导向孔, $\varnothing 580$ mm 孔段未直接透巷, 在井下被困人员的配合下施工找到救生孔。因 $\varnothing 580$ mm 孔段无法再下护壁套管, 只得采取绳索直接升井。

3.2.3 钻具组合

3.2.3.1 旋挖钻机的钻具组合

一开: $\varnothing 1250$ mm 旋挖钻头, 接 $\varnothing 316$ mm 旋转钻杆, 钻压 100 kN。

二开: $\varnothing 1000$ mm 旋挖钻头, 接 $\varnothing 316$ mm 旋转钻杆, 钻压 150 kN。

3.2.3.2 潜孔锤钻具组合

三开: $\varnothing 711$ mm 潜孔锤钻头 + $\varnothing 680$ mm 扶正器 + $\varnothing 279$ mm 双壁钻铤 + $\varnothing 219$ mm 双壁钻杆, 接空气

反循环动力头。

四开: $\varnothing 580$ mm 潜孔锤钻头 + $\varnothing 279$ mm 双壁钻铤 + $\varnothing 219$ mm 双壁钻杆, 接空气反循环动力头。

3.2.4 空气反循环钻进工艺

空气反循环钻进工艺(图3)是以空气作为循环介质, 利用双壁钻杆环状间隙将高压空气输送到孔底, 并驱动孔底钻头(潜孔锤)等破岩工具, 以冲击碎岩和旋转研磨碎岩方式进行钻进, 也是空气钻进技术在破岩方法上的一种突破, 所使用的压缩空气既作为洗井循环介质, 又作为破岩动力的来源。它利用驱动孔底钻头的气体携带岩屑经双壁钻杆中的管路上返至地表, 完成钻进的目的。本次救生钻孔配套使用的主要循环系统为空压机装备, 最大排气量为 3.4 MPa(二挡), 最小 2.4 MPa。在施工 $\varnothing 711$ mm 大口径潜孔锤钻进时使用 3 台空压机, 在最后施工 $\varnothing 580$ mm 钻孔时使用 5 台空压机。

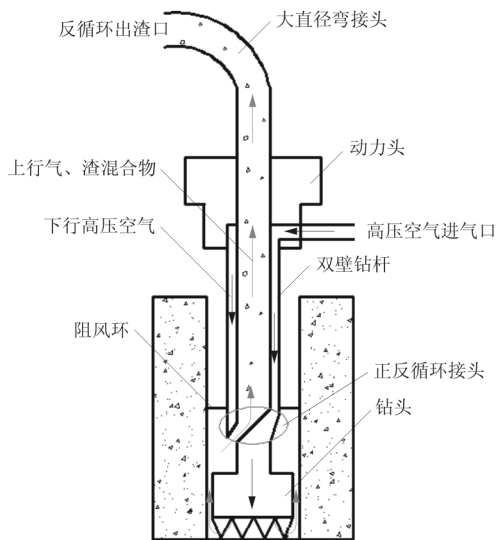


图3 空气反循环钻进工艺示意

3.2.5 气举反循环钻进工艺

应用空气反循环钻进工艺后, 钻进速度得到了迅速的提高, 平均钻进速度达到了 4 m/h, 最高时速曾达到 8 m, 但由于地层的不稳定, 当钻进到 174 m 时, 矿井再次大面积坍塌, 导致钻孔 160 m 处的地层裂隙带轰然坍塌, 发生了严重的埋钻事故, 钻头埋深 14 m 左右, 经反复提升钻具未果, 采取了气举反循环工艺技术处理被埋大口径钻头。

气举反循环技术是将压缩空气沿输气管线进入一定深度的钻孔, 经混合器进入排渣管内与循环液混合, 混合后的液体密度小于冲洗液的密度, 这样井

筒和管内就产生压差,并在井筒液柱压力作用下,使管内混合的气体和液体,以较高的速度向上流动,从而将孔底的岩屑连续不断带出地表,经地面沉淀后流出地面液体再补充给井筒维持内外液体压差,如此循环形成气举反循环工艺流程,如图4所示。本次是在钻孔中安装一根长度162 m、直径50 mm的混合出渣金属管路,一根 $\varnothing 25$ mm的高压橡胶管路,并在金属管头4 m位置开口与橡胶管焊接连通,在钻孔内注入清水,与沉淀池形成水力循环工作程序,成功处理此次埋钻事故。

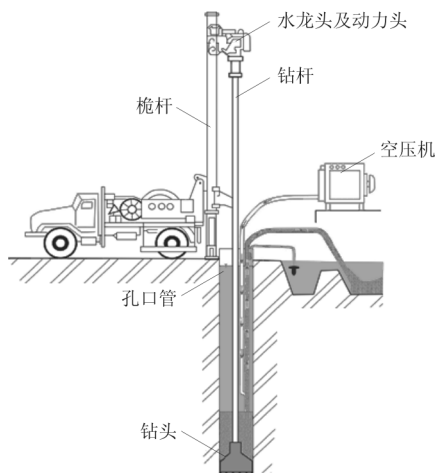


图4 气举反循环钻进工艺示意

4 救援效果

本次平邑玉荣石膏矿矿难救援工作所遇到的困难是前所未有的,主要是在一个还在变形的地质体上进行大口径钻进,这在世界钻探史上前所未有,总结本次钻探救援,取得了如下成果。

4.1 大口径救生钻孔是特殊矿难灾害救援的快捷手段

本次平邑矿难救援是一次与死神赛跑、穿越生死的竞赛,随着时间推移,井下积水水位越来越高,被困矿工所在位置的标高为-222.50 m,矿井积水由原来刚发生坍塌时水位-228 m上升到升井时的-221.00 m,被困矿工用以生存的巷道空间长度仅剩42 m,如果救援时间再延长半个月或者10天,井下水位有可能上升淹没被困人员,巷道坍塌也可能会把他们置于更加危险的境地。所以采用大口径救生孔,使用先进快速的钻进工艺和施工技术,是矿难救援的有效手段。

4.2 实现了大口径救生钻孔空气潜孔锤反循环钻进

空气反循环钻进和气举反循环钻进是有区别的。气举反循环是用2套独立的管路,一路进气管路在适当的位置与另一路出气排渣管路连通,通过负压作用抽排钻孔中的岩屑,气举反循环工艺需在钻孔中注入一定高度的水柱。

本次大口径救援钻孔使用 $\varnothing 219$ mm双壁反循环钻杆,循环介质使用5台30 m³的空压机,同时配套使用泡沫泵以12 L/min的速度向空气中注入泡沫剂。这在我国大口径救援钻孔的施工中也是首次使用,其优点在于钻进速度快,方法简单,工艺先进。

4.3 旋挖钻进与潜孔锤的组合应用提高了复杂条件下的钻进效率

旋挖钻机在大口径基础工程领域有它得天独厚的优势,而在地质钻探和水文地质、工程地质钻探中则以钻井液为主要循环介质的钻探工艺占有一定优势,但在矿难救援工作中,特别是在地层条件比较复杂的情况下把旋挖钻进和空气潜孔锤钻进技术相结合在本次矿难救援钻孔施工中还是首例,不仅解决了循环介质在复杂地层中的钻进困难问题,而且提高了救生钻孔的施工效率,实现了极复杂地层地质条件下困难环境中的钻进成孔。

5 有待改进的问题和建议

5.1 大口径救生钻孔应施工导向孔

在本次平邑矿难救援钻孔施工中,2号、6号、7号救援探查孔都准确透巷,是因为采用了定向钻井装置对钻孔轨迹进行了监测。2号、6号钻孔使用单点测斜仪器对孔斜进行了检测,当在孔深110 m时孔斜达到3°时,及时采取轻压慢打、反复划眼的措施,7号孔使用了无线随钻测斜仪进行了监控,并及时采取了纠斜措施。

4号孔和5号孔做为大口径救生钻孔,5号孔是先达到施救深度,但由于没有使用定向设备先打导向孔,使得大口径救生孔偏斜未能直接透巷,延长了救援时间。所以施工大口径救生孔须先施工导向孔。

5.2 提升舱应考虑制作不同规格

本次救援在钻孔施工中,考虑提升舱的规格为 $\varnothing 600$ mm,按照直径700 mm钻孔下 $\varnothing 630$ mm套管设计施工。由于地层地质环境复杂原因,不得已下入 $\varnothing 600$ mm套管,将原制作好的 $\varnothing 600$ mm提升舱改变为 $\varnothing 540$ mm,现场又重新设计加工,给本来紧

张的救援工作增加了新的工作程序。

由于地层地质环境持续恶化, $\varnothing 600$ mm 套管下放至孔深 186 m 破碎带时, 套管一侧卡在台阶上, 套管以下钻孔与套管不在同一轴心, 提升舱受阻而不能使用, 导致用提升舱救人的方案无法实施, 不得已采取绳索直接提人升井的措施。

5.3 复杂地层地质条件下的大口径钻进工艺有待改进

本次大口径救生孔的施工中, 由于浅部松散破碎的地层给大口径空气潜孔锤钻进工艺带来了诸多困难。

第四系松散地层和基岩地层中的破碎带受地层坍塌的不稳定因素影响, 导致大口径钻孔发生孔壁坍塌而埋钻的钻孔事故。因此应进一步加强对“大口径跟管护壁钻进”的研究与试验, 确保复杂地层地质条件下救生钻孔的快速顺利实施。

5.4 救援队钻井设备配套有待完善

本次施工的 4 号、5 号大口径救生钻孔均使用国家救援队配套的装备。4 号孔使用美国雪姆公司生产的 T200 型钻机, 5 号孔使用德国宝峨公司生产的 RBT90 型钻机。由于过去我国的救援队伍从未施工过大口径救生钻孔, 对钻进如此大口径所需的钻具配套比较陌生, 因此按照钻孔设计和钻机能力选配的钻具有待调整。

(1) 对钻机动力头装置结构需改进, 使其满足空气正循环与反循环互相转换的结构。

(2) 对第四系松散地层施工中, 开孔孔径 > 1 m 的钻孔应再配备护壁装置, 避免钻进过程中孔壁不稳定导致的塌孔事故的发生。

(3) 完善大口径救生钻孔的系列钻具。

(4) 开孔钻具需要 $\varnothing 1200$ mm 牙轮组合钻头, 配合跟管钻进工艺, 解决开孔孔壁不稳定问题。

(5) 配备 4 组 $\varnothing 655$ mm 扶正器, 解决预防钻孔深部的偏斜问题及提高钻进效率。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 杜兵建. 华北型煤矿施工大口径直排孔的工艺探讨[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(S1): 76-78, 81.
- [3] 杨涛. 随钻测量在水平井中的推广应用[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(S1): 69-70, 84.
- [4] 石智军, 李泉新. 煤矿区钻探技术装备新进展与展望[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(10): 150-153, 169.
- [5] 李亮. 平邑石膏矿坍塌事故救援成功后的几点思考[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(10): 281-286.
- [6] 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.
- [7] 刘家荣, 王建华, 王文斌, 等. 气动潜孔锤钻进技术若干问题[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(5): 40-44.
- [8] 牛庆磊, 吕永亮, 贾炜, 等. 旋挖钻机配套集束式潜孔锤硬岩施工方法研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(12): 57-60.
- [9] 赵鸿杰, 孙智杰. 空气潜孔锤与气举反循环钻进组合工艺在水文水井钻探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(11): 52-53.
- [10] 孙丙伦. 应用气举反循环钻进工艺成功解决钻井施工疑难技术问题[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(3): 12-14.
- [11] 周曙春, 杜坤乾, 谢军. 正循环钻进、气举反循环清孔工艺施工应用[J]. 岩土工程学报, 2011, (S2): 166-168.
- [12] 熊杰, 来甲, 高卫乾. 金华山煤矿大口径瓦斯抽排孔施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(7): 27-29, 33.