

大直径单人救援钻孔在某煤矿避难硐室 应急逃生系统中的应用

白领国^{1,2}, 李源汇^{*1,2}

(1.河南省资源环境调查四院,河南 郑州 450016; 2.河南省大口径钻井工程技术研究中心,河南 郑州 450016)

摘要:目前,大直径钻孔救援技术多用在矿井发生事故后的快速紧急救援,属于“事后”被动等待救援,为实现传统的被动等待救援向积极主动逃生转变,将大直径救援钻孔与矿井避难硐室结合,提前构建灾害应急逃生系统。结合大直径单人救援钻孔在某煤矿避难硐室应急逃生系统中应用实例,分析了救援钻孔的布置、结构设计原则,重点研究了救援钻孔的成孔方法选择、分级扩孔工序、钻进参数、钻井液工艺、成井设备等钻探技术,并对大直径救援钻孔的适用条件进行了研究,研究成果可为类似矿山实施大直径单人救援钻孔提供借鉴和参考。

关键词:大直径钻孔;单人救援钻孔;应急逃生系统;避难硐室

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0216-05

Application of large diameter man-wide rescue borehole drilling in the emergency escape system of the refuge chamber in a coalmine

BAI Lingguo^{1,2}, LI Yuanhui^{*1,2}

(1. The Fourth Institute of Resources and Environment Investigation of Henan Province, Zhengzhou Henan 450016, China;

2. Henan Provincial Mine Large Diameter Drilling Engineering Technological Research Center, Zhengzhou Henan 450016, China)

Abstract: At present, large-diameter borehole rescue technology is mostly used for rapid emergency rescue after the mine accident, which belongs to “post-event” passive waiting for rescue. In order to realize the transformation from traditional passive waiting for rescue to active and independent escape, the large-diameter rescue borehole is combined with the mine refuge chamber to build the disaster emergency escape system in advance. In relation to a field case of large-diameter man-wide rescue borehole drilling for the emergency escape system of the refuge chamber in a coalmine, the layout and structural design principles of rescue drilling are analyzed with focus on the selection of the drilling method, the sectional reaming process, drilling parameters, drilling fluid technology, well completion equipment and other drilling technologies, as well as the applicable conditions of large-diameter rescue drilling. The research results can provide reference for the implementation of large diameter man-wide rescue borehole drilling in similar mines.

Key words: large diameter borehole; man-wide rescue borehole; emergency evacuation system; refuge chamber

0 引言

近年来,多个矿难救援的成功经验表明,发生

重大灾害事故造成井下作业人员被困时,利用大直径钻孔救援技术建立救援通道,能够有效进行人员

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.035

作者简介:白领国,男,汉族,1972年生,中心主任,高级工程师,探矿工程专业,从事钻探技术及管理工,河南省郑州市商鼎路70号, blg7210@163.com。

通信作者:李源汇,男,汉族,1987年生,高级工程师,注册安全工程师,从事钻探技术及管理工,河南省郑州市商鼎路70号, 592951565@qq.com。

引用格式:白领国,李源汇.大直径单人救援钻孔在某煤矿避难硐室应急逃生系统中的应用[J].钻探工程,2021,48(S1):216-220.

BAI Lingguo, LI Yuanhui. Application of large diameter man-wide rescue borehole drilling in the emergency escape system of the refuge chamber in a coalmine[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1):216-220.

施救,大直径救援钻孔可作为矿山应急逃生的出口,实现地面垂直救援。传统的钻孔救援技术多用在发生事故后的快速紧急救援,属于“事后”被动等待救援^[1]。而对于条件合适的矿井,在井巷设计与工作面开拓布局阶段,通过提前构建灾害应急逃生系统,将大直径救援钻孔与矿井避难硐室结合,实现传统的被动等待救援向积极主动逃生转变,形成矿井应急逃生救援的新模式,对于提高矿井抗灾和应急救援能力具有重要的应用价值和现实意义^[2-4]。

矿井避难硐室应急逃生系统通常以安全避险“六大系统”为基础,主要由井下逃生设施、大直径救援钻孔与地面辅助救援设施组成^[5]。作为连通井下避难硐室与地面的垂直通道,我们运用现有的钻探技术和设备在山西某煤矿参与实施了一个大直径单人救援钻孔,对钻孔成孔工艺进行了有益探索,取得了较好的实践应用效果。

1 工程概况

山西某煤矿开采条件复杂,易发生透水、冒顶、煤与瓦斯爆炸和火灾等典型事故,结合该矿现有的巷道条件及开采生产现状,拟构建避难硐室应急逃生系统,如图1所示。系统中设计的大直径应急救援钻孔为单人救援模式,服务井下作业人员100人,为满足人机工程及提升容器的尺寸要求,钻孔内设计安装 $\varnothing 820\text{ mm}\times 15\text{ mm}$ 的无缝管管路,材质Q345B,管路长度309 m。

救援钻孔技术要求为:终孔偏移距 $< 1.5\text{ m}$,套管对接牢固,无侧漏,工程交付时工作管内无淋水。

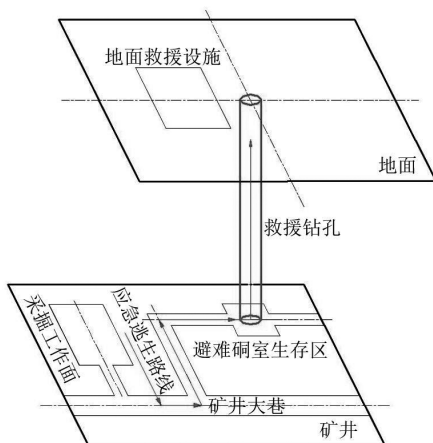


图1 矿井避难硐室应急逃生系统

2 救援钻孔布置

救援钻孔布置应综合考虑地层条件、井下作业人员分布、施工难度等多方面因素,尽量置于稳定的岩层中,保证钻孔的服务年限。

为确保钻孔能够正常施工,其下方设计的避难硐室需在救援钻孔全部成孔之后建造,钻孔与周围巷道应保持一定的安全距离,间隔距离的大小根据地质条件、巷道断面尺寸及支护条件确定。整个应急逃生系统应避开地质构造带、高温带、应力异常区及透水危险区,事故发生后人员能够快速安全进入应急逃生系统,避难硐室距离工作面不宜过长。布置于钻孔底部的避难硐室两侧出入口均应为进风巷道,以防止有毒有害气体的涌入,在应急逃生系统的日常维护中也可避免对矿井通风系统造成影响^[6-9]。

本次实施的大直径单人救援钻孔井下位置在矿井的两条大巷之间,见图2,且均为进风主巷,地面位置处于山坡边缘,场地平整后地面标高 $+894.878\text{ m}$,钻遇地层自上而下依次为第四系(Q)、二叠系上统石盒组(P_2s)、二叠系下统下石盒子组(P_{1x})与二叠系下统山西组(P_{1s}),终孔孔深309 m。

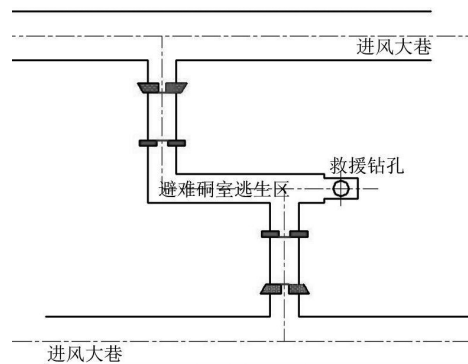


图2 救援钻孔井下布置

3 救援钻孔结构

大直径钻孔井身结构尺寸设计通常由内向外进行,以给定的工作套管尺寸要求和地层特征为基准,依次进行终孔孔径、表层套管尺寸和表土层钻孔孔径的设计。多个实践与研究结果表明,大直径钻孔井眼与套管直径之比在1.20~1.35较为合适^[10-12]。

根据涉及的地层特征及给定的套管尺寸要求,结合上述井眼与套管的关系,大直径救援钻孔结构按二级孔径设计施工,设计井眼与套管直径比为

1.22。一开孔径 $\Phi 1400$ mm,孔深80 m,钻过第四系卵石、流砂层、风化基岩,见完整基岩后钻进至坚硬稳定岩层,下入 $\Phi 1150$ mm \times 14 mm的表层护壁螺旋套管,水泥固井。二开孔径 $\Phi 1000$ mm,孔深309 m,下入 $\Phi 820$ mm \times 15 mm的无缝管309 m,水泥固井,钻孔结构如图3所示。

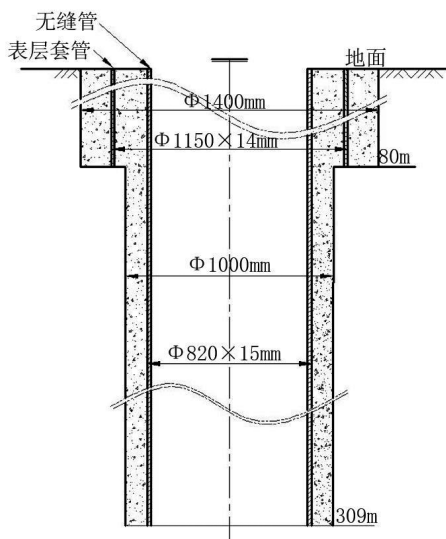


图3 救援钻孔结构

4 救援钻孔成孔工艺

4.1 成孔方法选择

大直径救援钻孔垂直度要求高,完井后入井套管必须进入设计的避难硐室中心所在的靶区,成孔方法的选择必须首先考虑有利于中靶。实现防斜保直中靶的成孔方法有两种:

(1)是选用与所钻口径相匹配的大扭矩、大提升力重型钻机、重型钻具及一次成孔钻头,采用先进的钻进工艺、合理的钻进参数一次成孔;

(2)是采用石油钻井工艺中成熟的定向钻井技术先钻超前导向孔,中靶的前提下,采用同径导向的扩孔钻头分级钻进成孔。

由于一次成孔法对钻机、钻具的要求较高,因而选用超前先导孔钻进加分级扩孔成井的施工工艺,该工艺的优势在于:

(1)防斜、纠斜效果好,中靶率高。先导孔钻进的钻具组合与石油钻井基本相同,可使用成熟的定向钻井技术防斜,纠斜可以利用井下动力螺杆钻具等技术,钻井过程中能够有效控制井眼轨迹并按设计要求进入预计靶区,保证井身质量。

(2)提前了解地层情况,制定相关技术措施。先导孔施工通过超前钻遇地层获取地层的详细资料,为下部分级扩孔制定相应的、更加具体有针对性的钻进技术措施提供依据。

(3)由于大口径救援钻孔井眼尺寸大,井壁裸露表面积比常规井眼大几倍,保护井眼井壁稳定是施工的关键,通过调整钻井液的性能平衡地层压力,抑制水敏性地层,能有效地预防井内坍塌、掉块,避免卡、埋钻事故的发生,保证救援钻孔的稳定性^[13-15]。

4.2 分级扩孔工序

合理地确定扩孔分级对保证大直径救援钻孔的安全、提高钻孔质量和成孔效率具有重要意义,也关系着扩孔钻头的加工制造和钻井生产成本。

本工程救援钻孔先导孔孔径 $\Phi 215.9$ mm,表土段分 $\Phi 550$ 、 780 、 1000 、 1200 、 1400 mm 5级扩孔使一开井径扩至 $\Phi 1400$ mm,基岩段分 $\Phi 550$ 、 780 、 1000 mm 3级扩孔使二开井径扩至 $\Phi 1000$ mm。采用多级扩孔的办法,可以有效减少一次碎岩面积,弥补了设备能力的不足,此外采用分级扩孔阶梯型破碎井底,增加了井底岩石自由面,从而降低了破碎单位体积岩石所需的破碎功,使在同等机械破碎功的条件下,机械钻速获得较大的提高。

4.3 成孔钻进参数

(1)钻压:先导孔一般使用PDC复合片钻头和三牙轮钻头,PDC复合片钻头钻压选择原则是 $0.116\sim 0.154$ kN/mm,三牙轮钻头钻压选择的原则是 $0.231\sim 0.386$ kN/mm,所以大直径救援钻孔先导孔钻压推荐: $\Phi 215.9$ mm PDC复合片钻头的压力 $24\sim 32$ kN, $\Phi 215.9$ mm牙轮钻头的压力 $48\sim 80$ kN。扩孔钻头选用的是超前导向式阶梯组合牙轮扩孔钻头,钻头体强度大,可在砾石层和基岩段普遍使用,综合考虑钻头的磨损,以及设备、钻具的安全问题,扩孔时钻压应在 $0.05\sim 0.1$ kN/mm之间。

(2)转速:导向孔钻进转速选择范围,松散层 $60\sim 80$ r/min,基岩地层 $80\sim 100$ r/min为宜。扩孔时,对于浅层的松软地层,由于钻具负荷小可适当提高转速,一般选 $40\sim 60$ r/min;对于钻孔深度较大、岩石较硬的地层,可适当降低转速,一般选择 40 r/min以下。

(3)泵量:大直径救援钻孔施工要求钻进、扩孔过程最好使用配置设备的最大泵量,泵量的大小与岩粉上返速度和井底沉渣直接相关,泵量愈大,岩粉

上返速度愈快,孔底岩粉的沉淀愈少,岩粉的重复破碎愈少,钻进愈安全,钻速相对也较快。

4.4 钻井液工艺

本工程救援钻孔钻遇地层为新近系粘土、流沙及卵石等松散地层以及水敏性地层和造浆性较强的地层。钻井液的设计和选用借鉴煤田勘查钻探泥浆工艺经验,在新近系地层采用细分散钻井液体系,在煤系地层采用不分散低固相钻井液。

新近系细分散钻井液基本配方:单位泥浆质量中加入10%~30%粘土粉+3%~4%粘土质量的纯碱+0.5%高粘CMC(羧甲基纤维素)。钻井液性能指标:漏斗粘度18~25 s;密度1.10~1.20 g/cm³;失水量<16 mL/30 min;泥饼厚度1~2 mm;含砂量<8%;pH值8~9。如果遇流沙、卵石地层,钻井液的主要作用体现在防止坍塌掉块上,可将泥浆密度调高到1.3 g/cm³,粘度30 s,并加入适量防塌剂,以提高钻井液防塌能力。

煤系地层不分散低固相钻井液配方:单位泥浆质量中加入3%~4%粘土粉+3%~4%粘土质量的纯碱+0.18%聚丙烯腈(HPAN)+0.3%~0.6%聚丙烯酰胺(HPAM)。钻井液性能指标:漏斗粘度18~23 s;密度1.05~1.10 g/cm³;失水量<10 mL/30 min;泥饼厚度<1 mm且韧性较好;含砂量<4%;pH值8~9。该段钻井液的作用主要体现在提高钻效,防止水敏地层吸水膨胀和滤失粘钻方面,如果在使用过程中发现失水量增大,孔内掉块,可适时加入CMC和HPAN,同时添加腐植酸钾,增大粘度降低失水量。

4.5 救援钻孔成井设备

根据大直径单人救援钻孔成孔工艺的要求,结合国内现有成熟配套的钻井设备及性能,选取GZ-2600型工程钻机,其主要技术参数见表1。

配套JJ110-29A型钻塔,3NB-1000型泥浆泵,MWD无线随钻测斜仪,旋流除砂器、振动筛、离心机等泥浆固控系统,以及 \varnothing 159、178、203 mm钻铤与无磁钻铤, \varnothing 127 mm钻杆和 \varnothing 311 mm螺旋扶正器,各种规格PDC钻头与扩孔组合牙轮钻头。

5 救援钻孔的适用性分析

大直径救援钻孔作为避难硐室应急逃生系统的核心,是煤矿发生灾害时实现提升救援的关键设施,但并非所有的矿井都适合构建钻孔救援系统,需要

表1 GZ-2600型钻机主要技术参数

名称	参数
钻进深度(使用 \varnothing 127mm钻杆)/m	1800
转盘通径/mm	\varnothing 445
转盘转速(正、反)/(r·min ⁻¹)	43、63、93、159
转盘扭矩/(kN·m)	30
卷筒容绳量 \varnothing 24.5/m	300
卷扬机单绳慢速提升能力/kN	115
电动机功率/kW	560
重量(不含动力)/kg	9960
外形尺寸(不含动力)L×W×H/mm	5722×2670×1750

对其适用性进行分析。

(1)由于井下事故具有较强的突发性和破坏性,大直径救援钻孔在事故发生后复杂环境下的安全稳定性是避难硐室应急逃生系统成功的关键。构建大直径救援钻孔一般适用于地质条件较好的矿井,且能保证钻孔在5~10年的服务年限内能维持较好的稳定性。对地质条件复杂矿井,除了施工难度大以外,钻孔在使用维护期内,随着时间的变化其稳定性难保证,且后续的维护难度与成本高,不利于逃生救援系统功能的实现^[16-17]。

(2)随着矿井开采深度的增加,地压不断增大,救援钻孔及井下避难硐室的结构稳定性变差,整个应急逃生系统的可靠性降低,提升救援的深度越深,对提升设备的性能及提升过程中的人员安全保障要求加大,系统构建成本也将大大增加。为此,对于开采深度超过1000 m的矿井,不建议建立钻孔逃生救援系统;开采深度在600~1000 m的矿井应根据矿井的开采布局、地质条件等情况,酌情考虑建立避难硐室应急逃生系统;开采深度不超过600 m的矿井,地质条件稳定的前提下,原则上可以构建钻孔逃生救援系统^[18-19]。

(3)大直径救援钻孔适用于采区、采煤工作面开采时间长,或采煤区域较为集中的矿井,避难硐室应急逃生系统服务的采区及工作面资源应比较丰富,接续变化较慢,或者采掘区域及接续相对集中,确保救援钻孔能够在较长时间内服务于井下作业人员。对工作面接续快,采区或者附近区域资源枯竭,开采年限较短的区域,不建议考虑构建救援钻孔。

(4)大直径救援钻孔还适用于采区距离提升出口较远的矿井。对距离井口、风井等矿井安全出口

较近的区域,灾害发生时作业人员可在较短的时间内转移至安全出口升井,不必构建逃生钻孔和救援系统,对距离安全出口较远的采区,撤离距离较远、风险较高情况下,可考虑构建救援钻孔。

6 结论

(1)大直径救援钻孔作为矿井避难硐室应急逃生系统的提升通道,能够实现作业人员的主动逃生,一定程度上可以解决矿山发生事故后被动等待救援的问题,形成了一种矿井主动应急救援的模式。

(2)救援钻孔属于大直径工程应用井的范畴,采用的钻探技术需要重点考虑钻孔的使用功能,选用合理的钻探工艺,确保在钻孔施工与应用期间的安全与稳定性。

(3)大直径救援钻孔的适用条件较为苛刻,整个系统所受限制较多,且随着国内矿山进入深部开采,其应用领域可能进一步压缩,为此需要继续开展大直径救援钻孔在深部矿井的应用研究,进一步提高矿井抗灾和应急救援能力,确保人员的生命安全。

参考文献:

- [1] 张博,孙文.大直径逃生钻孔施工工艺及应用研究[J].山西煤炭,2014,37(6):58-61.
- [2] 孙继平.煤矿井下紧急避险系统研究[J].煤炭科学技术,2011(1):69-71,114.
- [3] 李兴佳.关于某煤矿紧急避险系统建设的探讨[J].山西煤炭管理干部学院学报,2015,28(3):103-104,109.
- [4] 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(1):5-9.
- [5] 于兴建,金龙哲,黄凤祥,等.王家岭2号避难硐室逃生钻孔构建[J].煤矿安全,2015,46(7):225-227.
- [6] 王润平.大直径救生孔避难硐室的设计及应用分析[J].中州煤炭,2013(4):87-89.
- [7] 渠伟,李新年,张堃,等.大口径救援生命通道的施工工艺及钻具配置[J].中国安全生产科学技术,2016(12):44-48.
- [8] 林崇德.矿井水灾事故应急救援辅助决策系统[J].中国安全生产科学技术,2016(12):32-36.
- [9] 李钊源,金龙哲,李芳玮,等.煤矿避难硐室提升钻孔系统研究[J].中国安全科学学报,2013(11):97-101.
- [10] 白领国,袁志坚.超千米大直径煤矿降温井钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):37-39,62.
- [11] 袁志坚,熊亮.大口径瓦斯抽排井施工扩孔分级设计优选探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(11):17-19.
- [12] 杨富春.超大口径钻孔施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):25-30.
- [13] 杨健,孙家应,余大有,等.煤矿地面大口径瓦斯抽排钻孔施工关键技术[J].煤炭科学技术,2010,38(11):60-62.
- [14] 周兢.煤矿大口径工程井钻井技术研究[J].中国煤炭地质,2016,28(1):58-62.
- [15] 吴松贵,杨健,尹德战,等.大口径瓦斯抽排钻孔套管稳定性分析[J].安徽理工大学学报(自然科学版),2011,31(1):41-44,50.
- [16] 黄志凌.王家岭矿钻孔逃生救援系统研究与应用[D].北京:北京科技大学,2016.
- [17] 相桂生.应急避难室在矿难救援中的应用[J].劳动保护,2006(4):92-93.
- [18] 栗婧,金龙哲,汪声.基于应急避难空间的矿山安全防护体系研究[J].中国安全科学学报,2010,20(4):155-156.
- [19] 赵玉栋.煤矿井下避难硐室位置选择探讨[J].煤炭工程,2012(S1):103-105,108.