

矿山应急救援钻探技术装备及工艺应用

张双伟^{1,2,3}, 王盼盼^{1,2,3}, 杨振^{1,2,3}, 李磊^{1,2,3}

(1. 山东省煤田地质局第三勘探队, 山东 泰安 273100; 2. 泰安市穆如泰山灾害应急研究院, 山东 泰安 273100; 3. 深地探矿山东省工程研究中心, 山东 泰安 273100)

摘要: 矿山安全备受关注, 事故发生后及时救援至关重要。在矿山事故被困人员救援过程中, 迅速打通生命通道可以极大地缩短救援时间, 减少人员伤亡。钻探救援在矿山应急救援中的应用越来越受到人们的重视。本文介绍了目前矿山应急救援中快速钻探装备及工艺发展现状, 分析矿山钻探救援装备性能, 总结应急救援钻进工艺方法及适用范围、特点; 分析CMD钻机在矿山应急救援钻探中的应用成效, 探讨其工艺技术特点、运输优势、钻进效率等, 分析其在提升应急救援响应速度和救援效率方面的重要作用。同时, 本文还针对矿山应急救援钻探中存在的问题, 提出了钻探设备升级与多工艺钻进融合、开展多工艺钻进对复杂地层的适应性研究、建立井下事故应急处理一体化技术方案、加强智能辅助技术应用等建议。

关键词: 矿山应急救援; 钻探救援; 钻探装备; 钻探工艺技术; CMD钻机; 应急救援体系

中图分类号: P634; TD77 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2025)S1-0220-06

Emergency rescue equipment and technology application in mine

ZHANG Shuangwei^{1,2,3}, WANG Panpan^{1,2,3}, YANG Zhen^{1,2,3}, LI Lei^{1,2,3}

(1. The Third Exploration Team of Shandong Coalfield Geologic Bureau, Tai'an Shandong 273100, China; 2. Rock-firm Mount Tai Disaster Emergency Response Research Institute, Tai'an Shandong 273100, China; 3. Shandong Engineering Research Center for Deep Exploration, Tai'an Shandong 273100, China)

Abstract: Mine safety has always been a topic of concern. After a mine accident, timely rescue is very critical. In the rescue process of trapped personnel in the mine accidents, quickly opening up the rescue shaft can greatly shorten rescue time and reduce casualties. More and more attention has been paid to the application of rapid drilling equipment and technology in mine emergency rescue. This paper introduces the current development status of rapid drilling equipment and technology, analyzes the performance of mine drilling rescue equipment, and summarizes the emergency rescue drilling technology and its applicable scopes and characteristics. It also analyzes the application effect of the CMD rig in mine emergency rescue drilling, discusses its technical characteristics, transportation advantages and drilling efficiency, and analyzes its important role in improving emergency response time and rescue efficiency. At the same time, in view of the problems existing in mine emergency rescue drilling, this paper also puts forward some suggestions, such as equipment upgrading and multi-process integration, carrying out the adaptability study of multi-process to complex formation, establishing the integrated technical scheme of in-mine accident emergency treatment, and strengthening the application of intelligent auxiliary technology.

Key words: mine emergency rescue; drilling rescue; drilling equipment; drilling technology; CMD rig; emergency rescue system

收稿日期: 2024-12-04; 修回日期: 2025-03-28 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.S1.033

基金项目: 山东省煤田地质局科研专项“人机结合快速响应机制应用的研究”(编号: MTDZKY-2024-23)

第一作者: 张双伟, 男, 汉族, 1981年生, 高级工程师, 机械工程专业, 硕士, 从事矿山钻探应急救援方面的研究工作, 山东省泰安市乐园街17号, zhangshuangwei921@163.com。

通信作者: 李磊, 男, 汉族, 1985年生, 高级工程师, 矿产普查与勘探专业, 硕士, 从事地质调查、矿产资源勘查及矿山应急救援工作, 山东省泰安市乐园街17号, 504983013@qq.com。

引用格式: 张双伟, 王盼盼, 杨振, 等. 矿山应急救援钻探技术装备及工艺应用[J]. 钻探工程, 2025, 52(S1): 220-225.

ZHANG Shuangwei, WANG Panpan, YANG Zhen, et al. Emergency rescue equipment and technology application in mine [J]. Drilling Engineering, 2025, 52(S1): 220-225.

0 引言

我国矿山井下生产透水、火灾、冒顶等事故时有发生,井下工作人员被困在灾区而救援人员无法靠近。为了尽快实施救援、输送救援物资维持被困人员生命安全,需要及时建立直达灾区的通道。钻探救援技术是一种快速打通生命通道的方法,能够在矿山应急救援中发挥重要作用。该技术利用机动、高效的钻机,在短时间内完成钻孔,形成连通灾区的直径相对较大的通道,来进行人员救援或排除危险情况,而快速钻探装备及工艺是钻探救援技术的核心。

1 快速钻探装备及工艺现状

1.1 快速钻进技术装备

1.1.1 应急救援钻机

矿山应急救援钻机应具备高机动性,可实现快速转场、就位、安装、施工,模块化集成化程度高,操作简单灵活等特点。钻探救援钻孔按直径及功能分为小直径生命保障孔与大直径救生孔,不同救援钻孔类型需适配相应规格的钻机进行施工。车载钻机适用于多种工况,占地面积小。采用车载顶驱钻机配套大直径风动潜孔锤反循环钻进工艺,可以高效地完成大直径钻孔施工,钻速是常规泥浆正循环钻进的 3~5 倍。目前,我国煤矿及部分非煤矿山的矿井深度一般在 300~800 m,对于这一深度的小直径钻孔,钻机提升能力应不小于 300 kN,扭矩应不小于 10 kN·m,大直径钻孔钻机提升能力 600~1200 kN,扭矩 15~36 kN·m,同时要考虑处理孔内复杂情况时钻机的最大提升力^[1]。车载钻机自带顶驱动力头,在遇到孔内复杂情况时可进行多种操作,如倒划眼解决砂桥卡钻、掉块坍塌问题,并且可以在必要时使用动力头下压加大给进力解除遇阻问题^[2]。深井转盘式钻机结构紧凑、传动平稳、操作方便、安全可靠、密封性能好、起下钻时间短、成本低,在较深矿井救援方面具有一定的优势^[3]。

目前我国在矿山钻探救援方面还没有专用钻机,仅根据救援钻孔的施工技术要求,以快速、准确、安全为原则来选择钻机及辅助装备。主要选用煤层气钻探领域常用的美国雪姆、德国宝峨、瑞典阿特拉斯等公司的钻机,以及近年来国产化全液压力头车载钻机和深井转盘式钻机^[4-6],如表 1 所示。

表 1 常用矿山钻探救援钻机性能参数

国家	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
德国	宝峨 RBT90	900	1500	36	60
	宝峨 RB50	500	1200	32	33
美国	雪姆 T200XD	900	1200	30	45
	雪姆 T130XD	591	711	12	40
	雪姆 T685WS	450	711	12	30
瑞典	阿特拉斯 RD20	499	762	10.8	54
	中煤科工 MDY-60	588	711	13	60
	徐工 XSC1200	1200	820	28	55
	正远 SL1000	520	800	20	17.5
	金科 JK800	370	450	24.5	16.5
	中煤科工 ZMK5	1000	711	30	53
	中国 530TZJ100				
	天合众邦 CMD100	1000	810	27.5	55
	国煤 GZ-2600	115	445	30	9.96
	石煤 SMJ5510 TZJ15/800Y	800	711	15	51
	永明 TSJ-2600	100	445	25	9.1

1.1.2 应急救援钻进辅助装备

矿山应急救援钻进施工技术规范要求空压机系统需满足 100 h 以上持续运行能力,目前单台空压机输出的最大工作压力一般为 1.75~3.5 MPa,风量 25.5~42.5 m³/min。空气钻进中,钻孔直径越大、深度越深,所需风量及风压越大。小直径生命保障孔施工可按实际情况采用单台大排量空压机或配备 2 台 30 m³/min 以上空压机,当钻孔深度超过 300 m 时,配置单级增压系统。大直径救生孔救生通道孔径通常≥ $\varnothing$ 565 mm,钻进深度多超过 500 m,特别是孔内有水时背压大,需要根据孔径、孔内水位等情况,配备 3 台 30 m³/min 以上空压机,当钻孔深度超过 300 m 时,配置多级增压串联系统^[1],以满足抢险作业需要。

泥浆泵选型需依据钻孔直径、地层条件和工艺要求。小直径生命保障孔一般采用正循环钻进工艺,选用中小型泥浆泵(如 F800/F1000 或 3NB800/3NB1000),泵量与压力适中,在保证有效携岩和孔壁稳定的同时兼顾设备机动性,配合风动潜孔锤工艺时,泵量需求降低。大直径救生孔要求泥浆泵具

备高压、大排量特性,优先选用大功率石油钻井泵(如3NB1300/F1300型),泵压需满足500~600 m深孔作业需求,优先使用上限排量以减少孔底沉渣,且需支持正反循环模式快速切换以应对复杂地层,深孔或复杂工况可配置多泵并联提升携岩效率。

目前,可供选择的空压机有复盛埃尔曼、阿特拉斯、寿力等国内外品牌,增压机以阿特拉斯品牌为主,泥浆泵有3NB系列、F系列^[7],见表2。

表2 常用的应急救援辅助装备			
类别	品牌	型号	
空压机	复盛埃尔曼	PDSK1200S	
		XRVS1350	
	阿特拉斯	XRVS476	
		XRXS1275	
		XRXS1350	
		LUY280-25	
	寿力	DLQ1250XH/1350XH/1525XH	
		Sullair1250/1525	
增压机	特沃特	TWT1250XH	
	韩国斗山	XHP1070/XHP1170	
	阿特拉斯	40S系列	
泥浆泵	3NB系列	3NB800、3NB1000、3NB1300	
	F系列	F500、F800、F1000、F1300	

1.2 快速钻进工艺技术

矿山应急救援钻孔包括生活保障孔(生命探测孔、通讯孔、物资补给孔、排水孔、通风孔、注浆堵漏孔等)和救生孔。目前大直径救生孔表层钻进不易成孔,边钻进边坍塌,成孔效率低;孔内坍塌掉块、漏失、涌水、破碎等复杂条件下,钻速低、成孔难;无法进行定向纠偏,在复杂地层条件下,很难准确透巷,救援效率低。为解决上述问题,前期专家学者在钻探救援实践中,探索出各种具有针对性的钻进工艺方法^[8-15]。在实际应用中,应根据地层岩性、钻孔直径、孔深和施工条件,选择相适应的钻进方法或多种钻进方法组合使用,见表3。

2 CMD钻机应急救援应用分析

2.1 CMD钻机救援成功案例

CMD100型钻机在救援过程中凭借其快速响应、高效钻进、安全可靠、适应多种救援工艺以及持

续稳定的工作性能等优势,为救援工作提供了有力的支持。

(1)陕西渭南矿山救援试验:2014年国家矿山钻井应急救援技术装备研讨会上,CMD100型车载钻机配备 $\varnothing 711$ mm集束式潜孔锤实施救援钻孔钻进作业,下入 $\varnothing 660$ mm胶囊救生舱,稳定性获得了与会专家的认可。

(2)山西沁水煤矿透水事故救援^[16]:2016年7月,山西沁水中村煤矿发生透水事故,CMD100型钻机在现场成功施工了一口小直径生活保障孔,采用空气钻进工艺,为被困矿工打通了生命通道,使得第一批营养补给顺利送达井下。

2.2 钻探救援施工工艺

CMD钻机在钻探救援中,能够根据不同情况选择合适的钻进方式和工艺(泥浆钻进、空气钻进、泡沫钻进)。松散覆盖层、较软地层孔内水位较浅,宜采用泥浆循环钻进工艺,基岩裸露地区、较硬地层宜采用风动潜孔锤正(反)循环钻进工艺。

2.2.1 泥浆+空气钻进工艺

小直径生活保障孔一般选用泥浆+空气钻进工艺。一开采用泥浆钻进,下入表层套管以封固松散层、易垮塌层等复杂地层;二开采用泥浆钻进,防斜、防垮、防漏,要求快速钻进至距离巷道10~15 m处停钻,下入技术套管;三开采用风动潜孔锤透巷。

一开孔径 $\varnothing 311.15$ mm,下入 $\varnothing 244.5$ mm套管。钻具组合: $\varnothing 311.15$ mmPDC钻头+630 $\times$ 4A10变径接头+ $\varnothing 159$ mm钻铤+4A11 $\times$ 410变径接头+ $\varnothing 127$ mm加重钻杆+ $\varnothing 127$ mm钻杆。钻进参数:钻压5~20 kN,转盘转速60 r/min+螺杆,排量30~40 L/s。使用膨润土泥浆,可以适当加入高分子聚合物以提高携砂能力,配方:8%~10%膨润土+0.4%~0.6%纯碱+0.5%高黏CMC。性能参数:密度1.05~1.10 g/cm³,漏斗黏度30~45 s。

二开孔径 $\varnothing 215.9$ mm,下入 $\varnothing 177.8$ mm套管。钻具组合: $\varnothing 215.9$ mmPDC钻头+ $\varnothing 172$ mm1.5°螺杆+411 $\times$ 410浮阀+411 $\times$ 410定向接头+ $\varnothing 165$ mm无磁钻铤+ $\varnothing 127$ mm加重钻杆+ $\varnothing 127$ mm钻杆。钻进参数:钻压20~80 kN,转盘转速60 r/min+螺杆,排量30~40 L/s。使用不分散低密度聚合物泥浆,具备较强携砂、防垮、防漏能力,配方:4%~6%膨润土+0.1%~0.5%高黏CMC+0.1%~0.5%聚丙烯酸钾+1.5%~3%防塌剂。性

表 3 各种钻进工艺方法适用性及特点

方 法	适 用 范 围	特 点	案 例
冲击钻进	漂石、卵砾石层中钻进效率较高,在坚硬完整的基岩中钻进效率不高	护壁性能差、能量消耗大、纯钻进时间少,可以利用高频冲击力破碎硬岩(如花岗岩、玄武岩),可用于抗压强度>80 MPa 地层	智利圣何塞铜矿
旋挖钻进	第四系黏土、砂层及风化基岩,大口径(一般 1000 mm 以上),钻孔深度一般不超过 60 m	安装快,钻进效率高,成孔直径大,井壁不易坍塌,下表层套管不易受阻,适用地层广	山东平邑石膏矿、山东栖霞五彩龙金矿
人工挖孔法	一般直径 800 mm 以上,无地下水或地下水较少的黏土、粉质黏土,含少量砂、砂卵石、砾石的黏土,钻孔深度一般小于 30 m	施工工艺简单,复杂地形适应性强,适用于障碍物多或机械无法进入的区域,进行覆盖层施工,提高救援效率	
刮刀钻头钻进	第四系松软地层及较致密、完整基岩钻进,适用于黏土、砂砾等软岩层,不适用卵砾石层及破碎地层钻进	钻头加工容易,成本较低,松散地层钻进效率高,钻速可达 10~20 m/h	
牙轮钻头	第四系松软地层,完整、破碎、致密、研磨性岩石及卵砾石层	适用范围广,效率高,尤其在卵砾石及破碎地层效果更好,易发生掉牙轮事故,钻头损耗严重	茂华万通源煤业有限公司透水、山东笏山
PDC 钻头+单弯螺杆	相对均质大段地层,避免易坍塌地段	防斜,钻速快,井下安全,易憋泵	茂华万通源煤业有限公司透水
大直径 PDC 扩孔钻进技术	可在不稳定地层、涌水地层应用,相同地层条件下,较牙轮扩孔钻头扩孔钻进效率提高 100~160%	扩孔钻进效率、钻头寿命高。存在 PDC 磨损不均、上返流速低导致的排渣困难等问题。	
孔底螺杆马达钻进	定向精度较高的较稳定地层,长钻孔、地质异常条件探测钻孔	钻进速度快,防斜打直,实时随钻测量精度高,定向效果好	山东笏山
全套管钻进	在流砂层、卵砾石层、松散填土层等坍塌、破碎性地层适应性强,复杂地层施工优选工艺	钻孔垂直度达 1/500,不会出现井内复杂,施工效率高;套管可起拔、更换,可调整救援井井身结构	
气动潜孔锤正(反)循环钻进	基岩及第四系胶结、半胶结地层和卵、砾石层钻进;尤其适用于缺水或供水困难地区;具有冲击和回转双重碎岩作用,孔底岩石受压小、钻效高	干空气:排渣所需注风量中,携砂、水能力弱,冷却钻具能力弱,适应漏失地层能力弱 雾化:排渣所需注风量大,含水量小,携砂、水能力中,冷却钻具能力中,适应漏失地层能力中 泡沫:排渣所需注风量小,携砂能力强,冷却钻具能力强,适应漏失地层能力	美国宾州魁溪煤矿、河南新密、山西王家岭、山东平邑、山东笏山、骆驼山煤矿、山西中村煤矿、智利圣何塞铜矿、宁夏煤业集团白茆沟煤矿
气动潜孔锤跟管钻进	含有漂石、卵砾石不稳定第四系覆盖层,钻进深度一般小于 50 m	以潜孔锤破碎岩石,钻头超前钻进,套管随后紧跟,对易坍塌的卵砾石地层极为有效	
气举反循环钻进	第四系砂土、砂粒层以及硬度不大的基岩大口径孔钻进,孔深大于 30 m 后使用,超过 50 m 后效果最佳	冲洗液上返速度快、洗孔彻底,孔内干净,钻进效率高	山东平邑石膏矿
先导孔钻进技术	复杂地层条件下精准透巷,先施工先导孔,再用大孔径钻头进行扩孔	精准钻进,钻进效率高	智利圣何塞铜矿、山东平邑

能参数:密度 1.03~1.10 g/cm³;漏斗黏度 30~45 s, API 滤失量≤5 mL。采用聚丙烯酸钾限制地层造浆,控制黏土含量;采用高黏 CMC 降低滤失,提高黏度;采用防塌润滑剂加强泥饼质量,降低高温高压下的滤失,防止井眼坍塌。

三开孔径 Ø152.4 mm,裸眼完钻,钻具组合:Ø152.4 mm 锤头+Ø133.35 mm 潜孔锤+Ø121 mm 钻铤+Ø89 mm 外平钻杆。钻进参数:钻压 5~11 kN,转速 20 r/min,风量 6.1 m³/min。

2.2.2 空气钻进工艺

在矿难发生后一般要求72 h内构建生命保障孔,确保被困人员在救援黄金时间内得到救援。在时间紧迫或地层条件复杂(如坚硬岩石、破碎带及干旱缺水地区)情况下,优先采用空气(泡沫)潜孔锤钻进技术,钻进过程中采用“低钻压,高转速”,严格控制孔底位移,确保精准贯通巷道。

2.2.2.1 小直径生命保障孔空气钻进工艺

小直径生命保障孔作为建立通讯、送风供氧、输送给养的通道,可延续被困人员生命体征,为后续救援争取更多的宝贵时间。小直径生命保障孔终孔直径不一,一般不小于 $\Phi 152$ mm。

一开表土层, $\Phi 311.1$ mm钻进至基岩,下入 $\Phi 244.5$ mm套管固井。钻具组合: $\Phi 311.1$ mm锤头+ $\Phi 304.8$ mm潜孔锤+ $\Phi 178$ mm无磁钻铤+ $\Phi 178$ mm钻铤+ $\Phi 165$ mm/ $\Phi 159$ mm钻铤+ $\Phi 127$ mm钻铤+ $\Phi 127$ mm外平钻杆+孔口密封。

二开 $\Phi 215.9$ mm钻进至透巷段,下入 $\Phi 139.7$ mm $\times$ 7.72 mm套管固井。钻具组合: $\Phi 215.9$ mm锤头+ $\Phi 203.2$ mm潜孔锤+ $\Phi 165$ mm无磁钻铤+ $\Phi 165$ mm/ $\Phi 159$ mm钻铤+ $\Phi 121$ mm钻铤+ $\Phi 114$ mm外平钻杆+孔口密封。

2.2.2.2 大直径救生孔空气钻进工艺

大直径救生孔作为救援通道,救生通道孔径一般不小于 $\Phi 565$ mm,满足救生舱下入要求,特殊情况下应不小于 $\Phi 460$ mm。大直径救生孔采用风动潜孔锤反循环钻进,开孔采用泥浆正循环。

一开 $\Phi 900$ mm钻进至基岩,下入 $\Phi 750$ mm套管固井。

二开 $\Phi 711$ mm钻进至透巷段,下入 $\Phi 610$ mm套管固井。钻具组合: $\Phi 711$ mm锤头+ $\Phi 609.6$ mm潜孔锤+ $\Phi 680$ mm扶正器+ $\Phi 279$ mm双壁钻铤+ $\Phi 219$ mm双壁钻杆+气盒子。

三开 $\Phi 565$ mm透巷。钻具组合: $\Phi 565$ mm锤头+ $\Phi 457.2$ mm潜孔锤+减震器+ $\Phi 279$ mm双壁钻铤+ $\Phi 219$ mm双壁钻杆+气盒子。

2.3 CMD钻机的应急救援优势及其技术局限性

2.3.1 应急救援优势分析

(1)快速响应、高效钻进。CMD钻机具备机动性强、搬迁运输方便的特点,能够在短时间内到达救援现场,并迅速投入救援工作;具有强大的提升力(1000 kN)和下压力(200 kN),以及大扭矩的动

力头(27.5 kN $\cdot$ m),能够高转速钻进(0~300 r/min);具有调节钻压的功能,可根据地层情况有效地控制钻进力的大小。

(2)适应性强、工作持续稳定。钻机适用于多种复杂地质条件,在钻探救援中能够根据不同情况选择合适的钻进方式和工艺(泥浆钻进、空气钻进、泡沫钻进);较大的提升力对处理施工中的钻进事故具有很大的帮助^[17];钻机在救援过程中能够保持持续稳定的工作性能,确保救援工作的顺利进行;大口径的定心盘和动力头通孔,使得钻机能够施工大直径的救生孔,满足救援需求^[18]。

2.3.2 在应急救援中存在的技术局限

(1)施工工艺适应性不足,辅助设备匹配度不高。CMD100型钻机在 >1000 m深井、极硬岩层中钻进效率较低,配套的辅助设备(如泥浆泵、稳定器)性能不足,在复杂地层中难以满足高负荷需求,导致泵压异常升高或泥浆循环不畅,降低钻探效率。CMD100型钻机理论最大孔径为810 mm,常规地层大直径救生孔一开孔径在900~1500 mm,需配套多级扩孔工艺完成施工,影响钻进效率。采用空气正循环工艺在漏失地层排渣效率低,反循环工艺装备成本高。

(2)应对复杂地层和孔内事故应急处理能力有限。复杂地层(裂隙、破碎带)中,精准钻进困难,轨迹控制精度不足;钻遇特殊地层易产生钻孔坍塌、钻具卡阻、岩屑上返受阻等问题,影响钻进效率和安全。CMD钻机虽具有强大的提升力和下压力,但应急强提能力不足,难以应对深孔或极硬岩层中的卡钻问题。

(3)自动化与智能化水平不足。CMD100型钻机操作依赖人工经验,可能导致参数调整滞后,引发孔斜超标或钻具卡阻,缺乏自动化控制系统;模块化程度低,设备集成度不足,快速转换工艺能力弱。

3 结论与建议

(1)矿山应急救援钻机不仅要求机动性、灵活性要强,还要适用多工艺钻进技术,尽可能降低辅助时间,目前我国还没有矿山应急救援的专用钻机,亟待研发适用于我国矿山灾害救援的先进钻探装备。钻探救援设备应引入智能监测模块(如实时扭矩报警系统),建立应急提升系统(如双制动器+

储能器系统)。开发适用于 >1000 m深井、硬岩的模块化钻机,集成多工艺切换功能(如空气钻进与泥浆钻进快速转换),融合旋挖、潜孔锤、定向钻进等技术,形成“一机多能”解决方案,提升设备的自动化、智能化水平。

(2)目前针对钻进低效、孔壁失稳风险、岩屑运移阻滞、水文地质异常(涌/漏)及破碎地层成孔率低等技术瓶颈,已构建并成功应用风动潜孔锤高效碎岩钻进、气举反循环连续排渣、全套管跟管护壁等核心工艺体系,在一定程度上提高了钻进效率,但针对性不强。应进行多种钻进工艺地层适应性分析,开展多种钻进工艺对软硬交互、裂隙发育、富水性强等复杂地层的适应性研究,形成坍塌掉块、漏失、涌水、破碎等孔内复杂问题预测、应急处理的自适应一体化工艺。研发高精度随钻测量系统(如量子陀螺仪),结合北斗系统、井下GIS数据和地震波探测,提升钻孔定位精度。

(3)建立孔内事故应急处理一体化技术方案。鉴于救援工作的紧迫性,钻探救援采取预防为主、处理为辅的策略。需整合预防、监测、响应与恢复全流程,形成标准化、模块化、智能化的解决方案。确定事故类型、风险等级、触发条件、关键影响参数等,建立预防-监测-响应闭环系统。

(4)加强智能辅助技术应用,建立实时监测系统,部署孔底参数测量仪(测量范围:温度 $0\sim 150$ °C、压力 $0\sim 40$ MPa);应用AI算法预测卡钻等事故风险;应用定向钻进技术,采用螺杆钻具+随钻测量系统(MWD),在破碎带实现绕障钻进。

参考文献:

[1] 河北省市场监督管理局. 矿山应急救援钻探技术规范:DB13/

T5653-2023[S]. 北京:中国标准出版社,2023.

- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 张才. 大孔径应急救援孔钻井工艺研究[J]. 中国煤炭地质,2022,34(10):56-59.
- [5] 周兢. 矿山灾害应急救援生命保障孔钻井工艺研究[J]. 钻探工程,2022,49(1):128-134.
- [6] 韦海瑞,孙红波,贾明浩,等. 大口径地面钻孔救援技术与装备发展[J]. 钻探工程,2023,50(2):143-149.
- [7] 武程亮,滕子军,赵后明,等. 矿山钻探应急救援中生命通道的钻井技术[J]. 钻探工程,2021,48(S1):206-210.
- [8] 赵江鹏. 空气钻井在煤矿救援钻孔透巷施工中的应用[J]. 煤炭技术,2015,34(12):182-184.
- [9] 郝世俊,张晶. 大直径救援井高效钻井技术及装备现状与展望[J]. 煤炭科学技术,2021,49(4):75-81.
- [10] 湖南省市场监督管理局. 矿山应急救援大直径钻井施工安全技术规程:DB43/T 2541-2023[S]. 北京:中国标准出版社,2023.
- [11] 周兢,杜兵建,阴慧胜,等. 钻探技术在矿山灾害事故应急救援中的应用[J]. 钻探工程,2021,48(S1):200-205.
- [12] 朱泽斌. 矿山灾害应急救援生命保障孔钻井工艺研究[J]. 化工管理,2023,(3):118-121.
- [13] 田彦强. 田彦强. 矿井事故垂直救援孔快速钻进技术研究[J]. 钻探工程,2021,48(S1):211-215.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 徐培远,曹伟,王立峰,等. 山西中村煤矿抢险救援快速钻井施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):278-280.
- [17] 米树刚,李立明,梁有诚,等. CMD系列模块化钻机的研制及地热施工中的应用[J]. 钻探工程,2021,48(S1):333-338.
- [18] 王新敏,王立峰,张晓昂,等. CMD100型车载钻机在煤层气“L”型井施工中的应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流会论文集. 北京:地质出版社,2015:561-564.

(编辑 王跃伟)