

矿山钻探应急救援中生命通道的钻井技术

——以山东栖霞笏山金矿事故救援1号孔为例

武程亮^{1,3}, 滕子军^{2,4}, 赵后明^{1,3}, 牟海萍^{1,3}, 郭涛^{1,3}

(1. 山东省煤田地质局第二勘探队, 山东 济宁 272000; 2. 山东省煤田地质规划勘察研究院, 山东 济南 250109;
3. 山东省矿山钻探应急救援中心, 山东 济宁 272000; 4. 山东省非煤矿山事故防范技术中心, 山东 济南 250109)

摘要: 矿山事故发生后, 首先救人。如果井筒或巷道遭到破坏, 救援人员要想到达井下事故现场, 必须清理井筒、巷道, 如清理所需时间长, 危险性高, 则必须果断采取地面钻井救人的方法。先钻小眼井, 贯通巷道, 保障被困矿工生命, 包括送风、送给养、送药品、通讯等, 称为生命通道; 然后, 钻进大眼井, 实施地面钻井垂直救援, 称为救生通道。以栖霞笏山金矿救援1号孔为例, 介绍生命通道的钻井工艺技术。

关键词: 矿山救援; 钻探; 救生; 生命通道; 快速钻井

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)S1-0206-05

Drilling technology for the lifeline channel in mine emergency rescue

—A case study of the accident rescue of the Hushan Gold Mine in Qixia city, Shandong province

WU Chengliang^{1,3}, TENG Zijun^{2,4}, ZHAO Houming^{1,3}, MU Haiping^{1,3}, GUO Tao^{1,3}

(1. *The Second Exploration Team of Shandong Provincial Bureau of Coal Geology, Jining Shandong 272000, China*;
2. *Shandong Provincial Research Institute of Coal Geological Planning and Prospecting, Jinan Shandong 250109, China*;
3. *Shandong Provincial Mine Drilling Emergency Rescue Center, Jining Shandong 272000, China*;
4. *Shandong Non-coal Mine Accident Prevention Technology Center, Jinan Shandong 250109, China*)

Abstract: After the mine accident, the first thing to do is to save people. If the shaft or roadway is damaged, rescuers must clean up the shaft and roadway if they want to reach the underground accident site. If cleaning takes a long time and there is high risk, they must decisively adopt surface drilling methods to rescue people. The small diameter borehole, also known as lifeline channel, is first drilled through to the roadway to provide life supply to the trapped miners, including air, food, drugs, communications; then, the large diameter borehole, known as rescue channel, is vertically drilled from surface for rescue. Taking the No. 1 rescue hole in the Qixiashan gold mine as an example, the drilling technology for the lifeline channel is introduced.

Key words: mine rescue; drilling; life-saving; life channel; fast drilling

0 引言

通过矿山地面钻探实施矿山救生时, 须首先快速贯通小井眼生命通道, 探测生命迹象、送风、送给养、送药品、建立联络。救援工程中, 时间就是生命, 救援钻井的特点是高效、精准、安全。必须最大

限度提高钻进效率^[1-2], 缩短辅助时间, 争取救援时间。科学地设计井眼轨迹, 并在钻进中精准控制^[3-4]。生命通道贯通前, 必须有效阻隔上覆含水层及井眼内的泥浆, 避免含水层的水或井筒内泥浆进入巷道, 对被困人员造成二次伤害。然后, 钻进大

收稿日期: 2021-05-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.S1.033

作者简介: 武程亮, 男, 汉族, 1980年生, 工程师, 探矿工程专业, 从事定向井工艺研究与施工管理工作, 山东省济宁市任城区任城大道120号煤田地质大厦1306室, wxwerrorsx@126.com。

引用格式: 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.

WU Chengliang, TENG Zijun, ZHAO Houming, et al. Drilling technology for the lifeline channel in mine emergency rescue[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1): 206-210.

眼井^[5-8], 实施地面垂直救援^[9-11], 此为救生通道。

2021年1月10日13时13分许, 山东五彩龙投资有限公司栖霞市笏山金矿在基建施工过程中, 回风井发生爆炸事故, 造成22人被困。经全力救援, 11人获救, 11人死亡^[12]。本次救援中, 山东省煤田地质局第二勘探队承担了1号、9号2个生命通道孔的抢险救援施工任务, 受地面场地限制, 2孔均须设计为定向井, 其中1号孔靶点水平位移约5.2 m。凭借高性能设备、先进的工艺和过硬的技术, 轨迹设计合理, 控制精准, 止水效果完好, 钻进效率高, 受到了现场救援指挥部的高度评价。以1号孔为例, 介绍生命通道的钻井工艺技术。

1 地层情况及钻井要求

(1) 表层10~20 m为矿井、巷道掘进中运出的岩石碎块及第四系地层。下部为古元古代粉子山群祝家介组, 其上部为长石石英岩、黑云变粒岩夹透闪长石石英岩, 下部为黑云片岩、黑云变粒岩、透闪变粒岩夹透镜状透闪透辉大理岩, 地层硬度高且研磨性强, 适宜空气潜孔锤钻进^[13]。

(2) 金矿的矿化带位于断层内, 而巷道沿矿化带开掘, 地层破碎易“卡钻”。

(3) 岩层有节理, 钻孔易偏斜。

(4) 地层裂隙比较发育, 局部沟通多层含水层。

(5) 由于场地所限, 钻孔只能设计为定向孔。为精确控制轨迹, 必须随钻测量, 用1.5°螺杆, 滑动钻进+复合钻进, 无法采用冲击回转钻进。

(6) 地层坚硬, 研磨性强, 时效降低, 同时造斜率低, 又需要造斜进尺多, 导致造斜时间长。

(7) 透巷前, 必须下套管并进行有效的止水, 防止把地层水导入巷道, 危及被困人员, 井眼曲率必须满足下套管的需要。

2 井身结构

1号孔作为生命通道, 其井身结构和技术要求见表1。井身结构见图1。

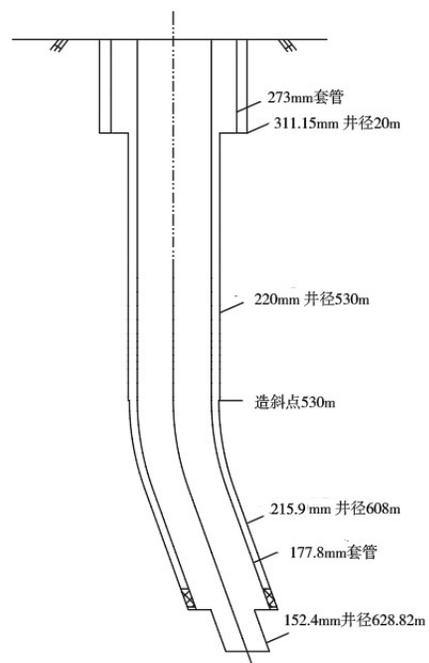


图1 井身结构

表1 井身结构和技术要求

开次	井深/m	井径/mm	套管/mm	技术要求
一开	0~20	311.1	273	直井, 空气钻进, 下套管隔离第四系及地表堆积的碎石层, 保护井口
二开直井段	20~530	220		直井, 空气钻进, 大幅提高纯钻效率, 为缩短全井钻进时间, 尽量增大直井段长度, 但须满足定向段的要求
二开定向段 (水平位移5.4 m)	530~608	215.9	177.8	定向钻进段, 必须保证准确透巷; 井眼曲率必须满足套管能顺利下入; 止水质量要好, 防止透巷后地层水进入巷道; 尽量不固井, 采用替代方式止水, 节省救援时间
三开	608~ 628.82	152.4	裸眼	空气钻透巷, 吹出井筒内的水, 防止井筒内水进入巷道

3 主要设备与器具

采用的主要钻井设备与工具见表2。

空气钻空压机采用寿力多功能空气压缩机, 该压

缩机采用双工作模式, 即大风量低风压及低风量高风压模式, 实际使用过程中, 依据现场钻进情况, 及时调整工作模式, 确保持续稳定工作。作为空气钻进的关键设备空压机, 关系到钻进的安全和效率, 必须持续稳

表2 采用的主要钻井设备与工具

序号	名称	数量
1	Schramm T130XD多工艺车载钻机	1台
2	Sullair空压机(1250/1525)	2台
3	F-500型泥浆泵(含动力)	1台套
4	Ø311.15 mm潜孔锤	1套
5	Ø220 mm潜孔锤	2套
6	Ø152.4 mm潜孔锤	1套
7	Ø165 mm钻铤	6根
8	Ø165、121 mm无磁钻铤	各1根
9	Ø89 mm钻杆	800 m
10	Ø165、Ø127 mm螺杆	各1根
11	电子单点测斜仪	1套
12	MWD无线随钻测斜仪	1套

定地提供足够的风量、风压。寿力公司2名服务主管在现场提供技术服务,制定了空压机运行保障方案。所有寿力设备到场后进行检查,使用过程中每小时巡检,易损件配备充足,非易损件保证随时发货。

4 技术措施

4.1 轨迹设计与控制

井眼设计井眼轨道数据见表3,投影图见图2、图3。实钻轨迹见表4。实钻井眼轨迹见图4、图5。轨迹控制措施:

(1)直井段加足钻铤,同时控制钻压,发挥冲击回转钻进的防斜作用,确保直井段的垂直度,为定向造斜创造条件。

(2)直井段加密测斜,每30~50 m用单点测斜仪测斜1次。

(3)改定向钻进下钻过程中,连续测量顶角、方位,准确掌握井眼轨迹,为修正轨道设计提供可靠依据。

表3 设计井眼轨道数据

井深/m	井斜/(°)	方位/(°)	垂深/m	[北(+)/南(-)]/m	[东(+)/西(-)]/m	视位移/m	“狗腿”度/[(°)·(30 m) ⁻¹]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
530.00	0.00	0.00	530.00	0.00	0.00	0.00	0.00
566.90	3.69	305.48	566.87	0.69	-0.99	1.19	3.00
628.97	3.69	305.48	628.82	3.01	-4.22	5.18	0.00

4.2.3 钻进参数见表6。

4.2.4 技术措施

(1)直井段。生命通道钻孔依据矿井巷道的分布情况,布置孔位较多,要求钻进施工高效(钻进效

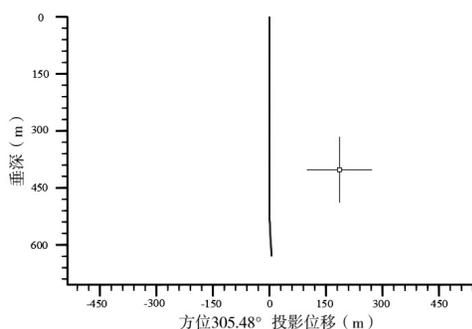


图2 设计垂直投影图

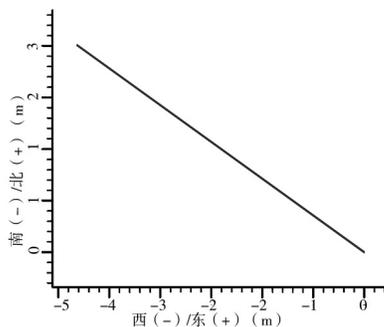


图3 设计水平投影图

(4)定向钻进时,采用MWD随钻测量。

4.2 钻进工艺

4.2.1 气动潜孔锤钻进技术

潜孔锤钻进工艺是利用压缩空气驱动冲击器活塞,以较大的冲击功和高频冲击潜孔锤钻头,使岩石破碎所产生的岩屑被高压空气携至地面。由于是通过锤击破碎,不依靠研磨或切削,故潜孔锤钻进工艺比常规钻进工艺具有钻进效率高、钻头寿命长、钻井质量好的特点。是一种高效钻井手段,特别适宜中硬—硬岩层钻进^[14]。

4.2.2 钻具组合见表5。

率高、定向钻进精准)^[15]。为争取时间,提高钻效,采用空气冲击锤钻进工艺,地层出水时,若出水量小,加入泡沫剂,改用空气泡沫钻进,以利于岩屑排出,保障钻进安全^[14]。出水量过大,无法实施空气钻进

表4 实钻井眼轨迹数据

井深/m	井斜/(°)	方位/(°)	垂深/m	[北(+)/南(-)]/m	[东(+)/西(-)]/m	视位移/m	“狗腿”度/[°)/(30 m) ⁻¹]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31.39	1.10	270.70	31.39	0.00	-0.30	0.25	1.05
60.02	0.75	290.50	60.01	0.07	-0.75	0.65	0.49
97.77	0.40	294.70	97.76	0.21	-1.10	1.02	0.28
126.64	0.40	249.60	126.63	0.22	-1.29	1.18	0.32
155.83	0.48	249.30	155.82	0.14	-1.50	1.30	0.08
184.19	0.62	259.60	184.18	0.07	-1.76	1.48	0.18
212.85	0.79	268.70	212.84	0.04	-2.11	1.74	0.21
241.64	0.79	281.40	241.62	0.08	-2.50	2.08	0.18
269.69	0.53	293.20	269.67	0.16	-2.81	2.39	0.31
298.43	0.26	323.00	298.41	0.27	-2.97	2.58	0.35
327.10	0.26	67.50	327.08	0.35	-2.95	2.61	0.43
355.86	0.22	124.80	355.84	0.34	-2.85	2.52	0.24
384.84	0.13	204.30	384.82	0.28	-2.82	2.45	0.24
413.15	0.26	217.60	413.13	0.20	-2.87	2.45	0.15
442.23	0.40	197.10	442.21	0.05	-2.94	2.42	0.19
471.11	0.35	217.20	471.09	-0.12	-3.02	2.39	0.15
509.05	0.26	178.10	509.03	-0.30	-3.09	2.34	0.18
518.78	0.13	218.50	518.76	-0.33	-3.09	2.33	0.56
528.46	0.62	330.60	528.44	-0.29	-3.13	2.38	2.11
532.00	1.63	331.80	531.98	-0.23	-3.16	2.44	8.56
538.03	2.46	334.00	538.01	-0.04	-3.26	2.63	4.15
547.74	3.21	334.80	547.70	0.40	-3.46	3.05	2.32
556.87	2.77	341.10	556.82	0.84	-3.64	3.45	1.80
566.58	2.68	340.60	566.52	1.27	-3.80	3.83	0.29
576.23	2.64	343.40	576.16	1.70	-3.93	4.19	0.42
586.00	2.55	346.10	585.92	2.12	-4.05	4.53	0.47
628.00	1.50	344.00	627.89	3.56	-4.43	5.67	0.75

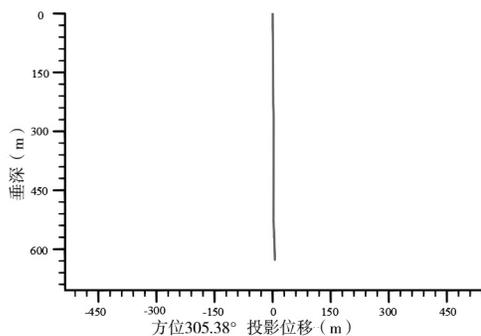


图4 实钻垂直投影图

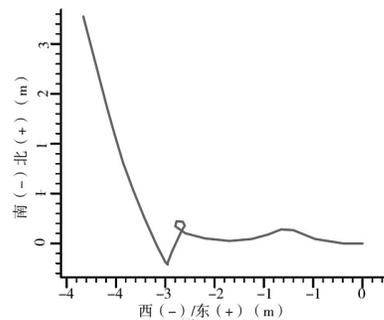


图5 实钻水平投影图

时,更换清水或泥浆钻进,同时添加堵漏材料进行随钻堵漏。为加快钻进速度,争取救援时间,不采用停钻堵漏工艺。

(2)定向段泥浆钻进。鉴于岩层坚硬、井壁稳定,用清水代替泥浆,同时使用高效长寿命牙轮钻头,提高时效缩短定向钻进时间。遇井漏添加堵漏

表5 钻具组合

井段	钻头	工艺方法	钻具组合
直井段	潜孔锤	空气潜孔锤正循环	潜孔锤+冲击器+ $\text{O}165$ mm 钻铤+ $\text{O}121$ mm 钻铤+ $\text{O}89$ mm 钻杆
定向钻进段	牙轮钻头	牙轮清水正循环	牙轮钻头+螺杆+ $\text{O}165$ mm 无磁钻铤+ $\text{O}165$ mm 钻铤+ $\text{O}121$ mm 钻铤+ $\text{O}89$ mm 钻杆

表6 钻进参数

孔径/mm	311.1	219	215.9	152.4
钻压/kN	30			
转速/(r·min ⁻¹)	30			
排量/(m ³ ·min ⁻¹)	43	60		
泵量/(L·min ⁻¹)			30	
小时效率/(m·h ⁻¹)	25	30	3	30
钻进工艺	空气潜孔 锤正循环	空气潜孔 锤正循环	牙轮清水 正循环	空气潜孔 锤正循环

材料进行随钻堵漏。

4.3 止水方法

透巷前必须下套管,并进行有效的止水,避免地层水进入巷道,危及井下人员安全。

考虑到巷道顶板的岩石强度,在距离巷道顶10 m 停止二开钻进,井下套管。为节省宝贵的救援时间,不采用水泥浆固井,采用多级止水伞(止水伞内径177.8 mm,外径260 mm)止水,同时底部缠膨胀橡胶、海带,确保了止水效果。后期下入生命探测仪时可看到,井内无水进入巷道,说明此方法止水非常成功。

透巷采用空气潜孔锤吹出井筒内的钻井液,避免井筒内的钻井液进入巷道,同时能确保快速透巷。临近透巷前,降低钻速确保井内清洁,然后减少1台空压机,以小风量透巷,避免对井下被困人员造成冲击。

5 结论及建议

(1)整个钻孔从开钻到完钻用时116 h,由于现场条件所限,辅助时间较多,扣除辅助时间,空气潜孔锤钻进时效30 m/h,钻井液回转钻进约3 m/h,基本实现了在坚硬且强研磨性花岗片麻岩的高效钻进。透巷后证明,轨迹控制精准,止水效果可靠。

(2)定向钻进必须用螺杆,但由于螺杆的转速高,不能配冲击器采用冲击回转钻进,而只能用回转钻进,影响硬岩的钻进速度。

(3)若采用空气螺杆和电磁波随钻测量系统EMWD,则可减少钻井泵、固控设备等泥浆钻进的设备和材料,这在时间紧、场地受限的救援现场是必要的。在煤层气水平井钻进中,空气螺杆则能最大限度地保护煤层的透气性。

(4)建议尽快制定出台矿山钻探应急救援的行业标准,以指导救援工作。该类标准在国内外尚属空白。

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,2004,14(6):63-65.
- [2] 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,(8):1-5.
- [3] 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.
- [4] 刘绍堂,官云兰.矿山灾害救援钻孔精准定位技术研究[J].河南理工大学学报(自然科学版),2013,32(3):260-264.
- [5] 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.
- [6] 赵建伟,张强,马建军.大口径地面专用钻孔在煤矿紧急避险系统中的应用[J].煤炭与化工,2015,38(10):121-122,126.
- [7] 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.
- [8] 渠伟,李新年,张堃.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(S1):44-48.
- [9] 谢涛,陈林.矿山事故钻孔救援技术及配套提升装备的研制[J].起重运输机械,2015(2):69-74.
- [10] 赤文林.矿井垂直救援绳缆提升系统的研究[D].太原:太原理工大学,2015.
- [11] 刘腾飞,汪芸.钻探技术在煤矿事故救援中的应用分析[J].矿业安全与环保,2010,37(4):86-88.
- [12] 山东省委省政府“1·10”事故调查组.山东五彩龙投资有限公司栖霞市笏山金矿“1·10”重大爆炸事故调查报告[R].2021.
- [13] 刘文革,刘智荣,黄建宁,等.矿山垂直钻井救生救援通道施工关键技术的研究[C]//2016中国煤炭学会钻探工程专业委员会学术研讨会,2016
- [14] 吴银奎.空气潜孔锤反循环钻进技术在矿山应急救援中的应用研究[J].广东化工,2013,40(14):92-93.
- [15] 刘智荣.矿山垂直钻井救援关键技术与装备[J].地质装备,2019,20(1):11-17.