

矿井事故垂直救援孔快速钻进技术研究

田彦强

(宁夏回族自治区煤炭地质局,宁夏银川 750011)

摘要:近些年来,在矿井事故应急救援中,钻探垂直救援井是重要手段之一。当矿井事故发生后,人员被困井下,地面救护人员无法通过井巷进行快速救援的情况下,在被困井下人员生命尚存的“黄金救援”时限内,运用先进的钻探工程技术方法,可安全、快速、精准地打通地面直通井下巷道的钻孔,从而达到维持生命、营救井下被困人员的预期目的。本文根据宁东煤田羊场湾煤矿地质条件,进行矿山钻探垂直应急救援小口径钻孔孔身结构设计、钻井方法选择、钻具结构设计、钻井液设计及钻井参数设计等快速钻井技术研究,旨在为宁夏矿山钻探垂直救援孔提供支持,促进矿山事故救援成功率的提升。

关键词: 矿井事故;应急救援;垂直救援孔;孔身结构设计;快速钻进技术;轨迹控制;安全透巷

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)S1-0211-05

Application of fast drilling technology in vertical drilling rescue for mine accidents

TIAN Yanqiang

(Coal Geological Exploration Institute of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan Ningxia 750011, China)

Abstract: In recent years, drilling vertical rescue wells is one of the important means for emergency rescue in mine accidents. When the mine accident occurs, and people are trapped underground, there is a golden rescue time window for the life of the personnel trapped underground; however, the surface rescue personnel are unable to carry out rapid rescue through the roadway. Advanced drilling technology can be used to drill boreholes safely, quickly and accurately to connect surface to the underground roadway, so as to achieve the expected purpose of maintaining life and rescuing the trapped underground personnel. According to the geological conditions of the Yangchangwan mining area in Ningdong Coalfield, this paper mainly studies fast drilling technology, such as the hole structure design, drilling method selection, drilling tool structure design, drilling fluid design and drilling parameter design for small-diameter vertical drilling for mine emergency rescue, so as to provide support for vertical rescue hole drilling for Ningxia mines, and promote the improvement of the rescue success rate of mine accidents.

Key words: mine accident; drilling emergency rescue; vertical rescue hole; hole structure design; fast drilling technology; trajectory control; safe drilling through roadway

0 引言

总结以往的矿井事故救援案例,当矿井事故发生后,由于井巷内情况复杂,采用井下平行救援的方法,救援时间的长短无法确定,往往延误救援最佳时机。即使最后透巷成功,被困人员也许早已无生命体征。例如:2003年4月,湖南娄底涟源市七一

煤矿发生突水事故,17名矿工被困井下。矿方采取新掘绕巷的方式组织救援,第6 d才到达灾区的巷道,被困矿工已经死亡。如果在事故发生后第一时间打通与被困人员的联系通道,并且及时提供有效的给养物资,在维持矿工生命的条件下,逐步开展下一步的救援工作,将大大降低人员伤亡率。

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.034

作者简介:田彦强,男,回族,1980年生,工程师,一直从事钻探工程施工工作,宁夏银川市金凤区富安西巷102号,1079622753@qq.com。

引用格式: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.

TIAN Yanqiang. Application of fast drilling technology in vertical drilling rescue for mine accidents[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1):211-215.

近年来,在矿井事故应急救援中,钻探垂直救援井是重要手段之一^[1-2]。当矿井事故发生后,人员被困井下,地面救护人员无法通过井巷进行快速救援的情况下,在被困井下人员生命尚存的“黄金救援”时限内,运用先进的钻探工程技术方法,可安全、快速、精准地打通地面直通井下巷道的钻孔,从而达到维持生命、营救井下被困人员的预期目的。因此,小口径生命保障孔的快速钻探技术应用研究,将大大提升地面垂直救援效率,是现有矿山应急救援技术的重要组成部分^[3]。

宁夏煤矿开采大致分3个主要区域,石嘴山采煤区基本全部停产,宁东地区和固原地区进行采煤工作,其中宁东地区为主要产煤区,且羊场湾煤矿属于风险等级较高的橙色煤矿,单班下井人数超过几

百人,采深已达800多米,出现风险的可能性较大。本文以宁东煤田羊场湾矿区为例,分析研究快速钻井技术在矿难发生后快速打通生命保障通道的运用。

1 羊场湾矿区地层条件及可钻性分析

羊场湾矿区表层地层为厚约11 m的第四系覆盖层,与下伏侏罗系地层不整合接触,主要由风积砂、细砂、卵砾石组成,地层松软,易掉块、易漏、坍塌。下伏的侏罗系安定组、直罗组、延安组软弱基岩地层主要由泥岩、砂质泥岩、各粒级砂岩及煤系地层组成。地层由于受采煤沉陷影响,裂隙可能非常发育,再加上该地层夹杂泥岩地层,遇水易膨胀,造成缩径现象发生。具体见表1。

表1 羊场湾矿区地层条件及可钻性分析

地层 系组	厚度/m	岩性	地层产状		岩石 名称	Ø216 mm疏 干涌水量/ (m ³ ·h ⁻¹)	可钻 性等 级	故障 提示
			倾 向	倾角/ (°)				
第 四 系	6~11	为松散沉积物,岩性主要为第四系风积砂,为黄—黄褐色的粉、细砂,松散,干燥,杂色的砾石层,砾石间有粉、细砂充填,覆盖在各地层之上,与下伏地层不整合接触	东				1~3	防漏、 防塌、 防斜
侏 罗 系	82~95	上部以紫红、棕红、紫褐色粉砂岩为主,夹薄层或中厚层细粒砂岩,薄层粗粒砂岩。砂岩中长石比例大。下部为粉砂岩与细粒砂岩互层。底部往往由一层紫红色砂岩,与下伏直罗组假整合接触	东	8~15	粉砂岩、 细砂岩		2~4	防卡、 防斜
直 罗 组	442~463	上部以灰、灰绿夹紫斑的细粒砂岩为主,中部以灰色粉砂岩为主,下部以灰、绿灰色粉砂岩、细粒砂岩为主,少量中、粗粒砂岩。底部为一巨厚层砂岩	东	8~15	粗砂岩、 粉砂岩	14.18	3~5	防卡、 防斜
延 安 组	312~384	灰、灰白色的各粒级的砂岩,灰、灰黑色粉砂岩、泥岩,炭质泥岩,夹可采不可采煤层	东	8~15	粗砂岩、 粉砂岩	13.02	3~7	防塌、 防斜

计依据^[4-5]。井身结构设计数据见表2,井身结构见图1。

2 井身结构设计

根据羊场湾矿区15、16采区地质、水文资料,该区检1、检2孔实钻资料,有关技术规范及行业标准为设

3 钻井工艺技术

根据羊场湾矿区地层岩石特性和地层含水情

表2 井身结构设计数据

开钻次序	井深/m	钻头尺寸/mm	套管尺寸/mm	套管下入地层层位	套管下入深度/m	环空水泥浆返深/m
一开	20	311	244.5	安定组	20	井口
二开	809	222	177.8	延安组	808.5	井底以上100 m
三开(透巷)	814	152				

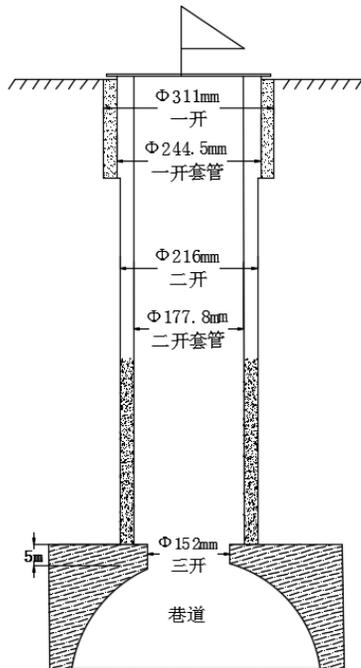


图1 井身结构示意图

况,该区块第四系和侏罗系地层可钻性在1~5级,岩性较软,且含水层涌水量按216 mm孔径疏干计算为 $27.2 \text{ m}^3/\text{h}$,按照空气钻井对岩石可钻性和含水层涌水量的要求,得出该区块不适合应用空气钻井

的方法施工小口径生命保障通道,建议采用常规钻井液循环钻井施工的方法。

3.1 钻具组合

小口径生命保障孔要求在拥有较快的钻进速度的同时,还要能有效控制钻进轨迹^[6-8]。根据羊场湾矿区地层条件和李12气探井实钻经验,选择钻具组合见表3。

李12井二开后的3种钻具组合均为液动螺杆马达加PDC钻头组合,具有钻进速度快且防斜打直的特点。其中首选钻具组合为塔式钻具组合带螺杆,特点是结构简单,轻钻压、高转速、防井斜。备选1钻具组合为钟摆塔式带螺杆钻具组合,特点是在钻头以上20~30 m处加一个与钻头尺寸相近的扶正器,防斜能力更强,但是结构复杂一些。备选2钻具组合为“四合一”钻具组合,此钻具组合的特点是不但防斜还能随时定向纠斜,与MWD随钻测量仪配合使用。

3.2 钻井液设计^[9]

钻井液主要功能是携带和悬浮岩屑、稳定井壁和平衡地层压力、冷却和润滑钻头与钻具、传递水功率。以井内安全、快速钻进为目标,根据地层物性及地质构造特征、水文特征及钻探经验选择合适钻井液体系,配置优质性能的钻井液,保障生命通道的快速打通。具体参数见表4。

表3 钻具组合

开次	井眼尺寸/mm	钻进井段/m	钻具组合
一开	311	0~20	Φ311 mm 铣齿牙轮钻头+Φ203 mm 螺杆+Φ178 mm 钻铤(2根) 首选:Φ222 mm PDC 钻头+Φ185 mm 直螺杆+Φ178 mm 钻铤(3根)+Φ165 mm 钻铤(3根)+Φ127 mm 钻杆 备选1:Φ222 mm PDC 钻头+Φ185 mm 直螺杆+Φ178 mm 钻铤(1根)+Φ214 mm 扶正器(1根)+Φ178 mm 钻铤(2根)+Φ165 mm 钻铤(4根)+Φ127 mm 钻杆 备选2:Φ216 mm PDC 钻头+Φ172 mm 单湾螺杆(1)+Φ165 mm 短钻铤(2m)+Φ212 mm 扶正器(1根)+Φ165 mm 无磁钻铤(1根)+Φ165 mm 钻铤(4根)+Φ127 mm 钻杆+无线随钻仪器
二开	222	20~809	
三开	152	809~814	Φ152 mm 潜孔锤钻头+Φ121 mm 钻铤(5根)+Φ89 mm 钻杆(采用空气钻井)

表4 钻井液设计

开次	井深/m	钻井液体系	密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	漏斗粘度/s	API失水量/mL	泥饼厚度/mm	pH值	含砂量/%
一开	0~20	细分散	1.05~1.10	35~50	<15	<15	9	<1
二开	20~809	低固相聚合物	<1.06	28~36	<12	<0.5	8~9	<0.5

3.2.1 钻井液配方

(1)一开细分散钻井液。2%~5%膨润土+0.07%~0.15%NaOH+0.1%~0.3%CMC+0.2%~0.3%Na₂CO₃。

(2)二开低固相聚合物钻井液。1%~3%钠基膨润土+0.1%~0.5%K-PAM+0.1%~0.3%PAC-141+2%~4%FT-1+0.1%~0.3%CMC+0.07%~0.1%NaOH。

3.2.2 钻井液维护注意事项

(1)一开:①要选用优质的钠基膨润土,配浆要用软化水,若水中含有大量Ca²⁺和Mg²⁺或其矿化度>1000 mg/L时,必须用Na₂CO₃预处理,以提高造浆率。②膨润土提前预水化,将所需数量的膨润土、水和烧碱或纯碱按一定比例在罐中充分搅拌。③必要时加入一定数量的降失水剂和增粘剂。④此类型体系的钻井液对松散的第四系地层能起到很好的防漏防塌的作用。

(2)二开:①由于安定组地层较稳定,钻井液性能可适当放宽,满足正常携砂即可。②由于安定组地层岩石倾角大,易产生井斜,所以钻井液的润滑性能一定要好,防止粘卡的发生。③使用固控设备机

械除砂,控制钻井液密度升高。④进入直罗组前50 m把钻井液一次性转换成强抑制性低固相聚合物钻井液。⑤在直罗组补充新浆一定要坚持勤补少补的原则,严禁大量补充新浆,保持钻井液性能稳定。⑥K-PAM量要加足,保证钻井液中含有足够的K⁺。勤观察钻井液出口返砂情况,若出现坍塌掉块,立即处理。⑦pH值不能过大,防止直罗组泥页岩的水化分散。⑧进入延安组,可减小K-PAM用量,适当降低钻井液粘度,加入CMC或其他降失水剂降低钻井液滤失量,在进入煤层前,保持井眼稳定。

3.3 钻进参数设计

钻探应急救援的核心使命是在最短时间内安全打通生命保障通道,保障被困人员基本物资供给和通讯联系,因此钻井速度是关键要素。根据钻具组合设计,影响钻井速度的主参数有岩石可钻性级值、螺杆级值、钻压、转速、钻井液流量和性能,根据李智鹏等^[10]运用数学模型优化马达与钻头参数,提高机械钻速的研究结果,以及董智煜^[11]机械参数影响PDC钻头钻速的室内试验及分析,进行钻井参数设计,具体参数见表5。

表5 钻进参数设计

开次	井段/m	钻具	喷嘴组合/ (个数×mm)	钻进参数			
				钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	排量/(L·s ⁻¹)	立管压力/MPa
一开	0~20	1	3×16	5~15	60+螺杆	30~40	4~6
	20~809	首选	3×12+2×13	20~80	60+螺杆	30~40	5~8
二开	20~809	备选1	3×12+2×13	20~80	60+螺杆	30~40	5~8
	20~809	备选2	3×12+2×13	20~80	60+螺杆	30~40	7~11
三开	809~814	潜孔锤		5~11	20	6.1(m ³ /min)	空气钻进

以上钻井施工工艺技术在我单位施工的多口天然气井工程中已得到充分实践,尤其是在宁东区块气探井李12施工中运用比较明显。该井为直井,设计井深4400 m,实际完钻井深4390 m,采用ZJ50型石油钻机施工,一开井深为576 m,钻具组合为Ø346 mm镶齿牙轮钻头+Ø203 mm螺杆+Ø178 mm钻铤(2根)+Ø165 mm钻铤(10根)+Ø127 mm钻杆,机械钻速为15.6 m/h,井斜为0.5°。二开完井井深为4390 m,钻具组合为Ø241 mm PDC钻头+Ø185 mm直螺杆+Ø178 mm钻铤(1根)+Ø214 mm扶正器(1个)+Ø178 mm钻铤(2根)+Ø165 mm钻

铤(8根)+Ø127 mm钻杆(备选1钻具组合),机械钻速平均为11 m/h,全井段井斜未超过3°。在809 m钻孔施工中采用钻具组合结构和钻井参数设计,使钻速和防斜能力明显高于常规钻具组合。采用T200XD型大功率车载钻机和3NB1000型泥浆泵及相应配套设备施工,能够在该区块矿井事故应急救援“黄金72 h”的时间限定内,快速打通生命保障通道。

4 轨迹控制

矿山事故钻探应急救援中,不但要求打得快还

要求打得准,如果存在地面附着物(变电站、高压线路、道路、桥梁等)和地下障碍物(巷道等)等因素影响,钻井设备不能安装在垂直于救援点的位置,这就需要移动井口位置,采取定向钻井的方式,绕过障碍物进行快速钻井。备选2钻具组合就是应用“四合一”钻具组合技术和MWD无线随钻测量仪配合使用,即把PDC钻头、单弯螺杆、短钻铤和稳定器4种工具合并运用的一种钻具结构^[12]。它的应用改变了以往定向后起钻换强增斜钻具组合、再起钻下稳斜钻具组合的轨迹控制思路,现在既利用了单弯螺杆的滑动可调能力,又具备了双稳定器刚性结构的稳斜稳方位性能,还充分发挥了PDC钻头的快速钻进优势,因而能够满足直井段防斜、定向造斜、复合调整和稳斜稳方位的轨迹控制要求,成功实现了“一趟钻”,达到减少起下钻和滑动调整、提高机械钻速、降低井下风险的使用效果。这也从另一个方面说明如果遇到定向钻探救援的施工任务时,因空气钻井无法实现定向钻进,所以只能选择钻井液循环钻进。

5 安全透巷

在煤矿生产过程中,可能存在由地表塌陷或地质构造形成裂隙、通道进入矿井的地表水危害,采空区和废弃巷道中的积水危害,含水地层以及裂隙等构造中的原岩水体的危害。救援孔的位置可能处于潜在水害危险区域,在钻至目标位置时要提前做好预防。

具体措施是在钻至目标位置时,根据地层坚硬程度,提前预留3~10 m厚度,起钻后直接下 $\varnothing 178$ mm套管用速凝水泥固井,水泥封住套管脚以上100 m即可。候凝后,采用气动潜孔锤钻进进行透巷,在透巷下钻的过程中分3段,用空气将管柱内的钻井液排出,确保井底无液体时开始透巷空气钻进^[13-15]。

透巷时,应当设有专职瓦斯检查员现场值班,随时检查空气成分。如果瓦斯或者其他有害气体浓度超过有关规定,应当做好防护措施,再进行透巷。

6 结论

本文针对宁东煤田羊场湾矿区矿井事故钻探垂直应急救援进行分析研究。结合该区块地质条件分析认为宁东煤田羊场湾矿区不适合运用空气循环介质施工小井眼钻孔的钻井方法。提出了常规钻井液循环施工的小口径钻孔的井身结构、钻井液体系和配方、4种钻具组合工艺、钻井参数设计及安全透巷方法等。供钻探施工人员参考借鉴。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 张桂林. 钻井工程技术手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 2017.
- [5] 周延军, 贾江鸿, 李真祥, 等. 复杂深探井井身结构设计方法及应用研究[J]. 石油机械, 2010, 38(4): 8-11, 29, 92.
- [6] 吕鹏翔. 钻井过程中防斜打直技术的探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2014, 34(2): 105.
- [7] 翟辉琼, 尚亚军, 杨建军, 等. 定向钻井技术在垂直井中的轨迹控制分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(6): 37-41.
- [8] 罗恒荣. 临盘油田PDC钻头防斜打快钻具组合优化及应用[J]. 石油钻探技术, 2016, 44(1): 12-17.
- [9] 乌效鸣, 胡郁乐, 贺冰新, 等. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2002.
- [10] 李智鹏, 许京国, 安秀娟, 等. 运用数学模型优化马达与钻头参数提高机械钻速[J]. 石油工业计算机应用, 2014, 4(84): 45-46.
- [11] 董智煜. 机械参数影响PDC钻头钻速的室内试验及分析[J]. 内蒙古石油化工, 2014, 40(10): 5-8.
- [12] 许庭云, 张建江. 四合一快速钻井在镇泾油田的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2009, 19(25): 221-222.
- [13] 郑学召, 王宝元, 马丽, 等. 矿山垂直救援关键技术及装备研发[J]. 煤矿安全, 2018, 49(27): 108-111.
- [14] 田宏亮, 张阳, 郝世俊, 等. 矿山灾害应急救援通道快速安全构建技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(5): 29-33.
- [15] 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.