

# 钻探技术在矿山灾害事故应急救援中的应用

周 兢<sup>1,2,3</sup>, 杜兵建<sup>1,2,3</sup>, 阴慧胜<sup>1,2</sup>, 张 彪<sup>1,2</sup>, 李红叶<sup>1,2</sup>

(1.北京大地高科地质勘查有限公司,北京 100043; 2.国家矿山应急救援大地特勘队,北京 100043;  
3.中国煤炭地质总局,北京 100038)

**摘要:**钻探作为一种有效的应急救援手段在矿山灾害事故应急救援工作中得到了应用。本文根据应用目标不同将应急救援钻孔分为生命保障孔、救生孔、排水孔、灭火孔、瓦斯抽放孔等。生命保障孔钻探技术、排水孔钻探技术、大口径救生孔钻探技术等3种典型的矿山灾害事故应急救援钻探技术在矿山灾害应急救援工作中得到成功应用,取得了不错的效果。加强矿山灾害事故应急救援钻探技术配套设备的研发和相关钻探工艺研究将有力促进矿山灾害事故应急救援的发展。

**关键词:**矿山灾害事故;应急救援;钻孔救援;快速钻进

**中图分类号:**P634.5 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0200-06

## Application of drilling technology in emergency rescue in mine disasters

ZHOU Jing<sup>1,2,3</sup>, DU Bingjian<sup>1,2,3</sup>, YIN Huisheng<sup>1,2</sup>, ZHANG Biao<sup>1,2</sup>, LI Hongye<sup>1,2</sup>

(1.Beijing Dadi High-tech Geological Exploration Co., Ltd., Beijing 100043, China;

2.National Mine Emergency Rescue Daditekan Team, Beijing 100043, China;

3.China National Administration of Coal Geology, Beijing 100038, China)

**Abstract:** As an effective method, drilling technology has been used in emergency rescue in mine disasters. In this paper, according to different application objectives, emergency rescue drilling holes are divided into life support holes, life-saving holes, drainage holes, fire holes, gas drainage holes and so on. Three typical drilling techniques, including life support hole drilling technology, drainage hole drilling technology and large diameter life-saving hole drilling technology, have been successfully applied in mine disaster emergency rescue work and achieved good results. Strengthening the research and development of drilling equipment and related drilling technology will promote the development of emergency rescue in mine disaster accidents.

**Key words:** mine disaster; emergency rescue; rescue by hole drilling; fast drilling

## 0 引言

水灾、爆炸等矿山灾害会导致人员被困井下,通过快速构建生命保障和救援通道能够有效地减少人员伤亡,降低社会影响。一旦发生矿难,在最短时间内将被困人员救援至地面是挽救矿工生命的最有效手段,除了传统的井下疏通巷道救援外,近年来通过地面施工钻孔进行救援的方式取得了

较大成功<sup>[1-2]</sup>。21世纪以来,世界范围内已有3例利用钻进通道成功营救井下被困人员的案例:2002年美国魁溪煤矿透水事故、2010年智利圣何塞铜矿坍塌事故和2015年我国平邑石膏矿坍塌事故。成功救援实践表明钻孔救援是进行矿山灾害救援的一种有效途径。

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.032

基金项目:国家重点研发计划资助课题“地面生命保障孔精准定位及快速成孔技术”(编号:2018YFC0808201)

作者简介:周兢,男,汉族,1982年生,高级工程师,主要从事地质勘查、钻孔救援技术管理及研究工作,北京市石景山区玉泉路59号, zhouke2003@163.com。

引用格式: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.

ZHOU Jing, DU Bingjian, YIN Huisheng, et al. Application of drilling technology in emergency rescue in mine disasters[J]. Drilling Engineering, 2021,48(S1):200-205.

## 1 矿山灾害种类

矿山灾害事故严重威胁着矿山安全生产,它会造成巨大经济损失,乃至人身伤亡。因此,对于已经发生的灾害事故应及时补救,尤其是在有人员被困的情况,须进行全力营救,将损失降低到最小。矿山灾害事故主要包括:瓦斯事故、水灾、火灾、冒顶以及粉尘灾害等。

### 1.1 瓦斯灾害

主要的瓦斯灾害有瓦斯燃烧和爆炸以及煤与瓦斯突出,这两种瓦斯灾害均会引起严重的井下事故,造成巨大的损失。瓦斯燃烧和爆炸事故将切断救援通道,造成井下人员被困的严重后果,此时应及时采取有效措施对被困人员进行施救。煤与瓦斯突出事故喷出大量的煤岩能堵塞巷道,造成煤岩埋人事故,导致人员被困。

### 1.2 水灾

水灾是矿山常见的灾害之一,按表现形式可划分为:突水事故和涌水事故<sup>[3-4]</sup>。突水事故突发性强、破坏性大,现场人员往往无法及时安全撤离,常常会发生人员被困的现象。为了及时解救被困人员,此时可采用钻孔救援进行排水和施救作业。矿井涌水事故发展缓慢、水量较小,现场人员撤离有足够的反应时间,一般不会发生人员被困的情况。

### 1.3 冒顶和片帮

冒顶、片帮是指煤矿巷道开挖、支护过程中因开挖或支护不当,顶板或侧壁大面积垮塌造成伤害的事故。矿井作业面、巷道侧壁在矿山压力作用下变形,破坏而脱落的现象称为片帮,顶部垮落称为冒顶,二者常同时发生。冒顶和片帮会造成人员伤亡、设备损坏并导致生产中止。大型的冒顶和片帮会堵塞巷道,切断井下人员逃生通道,同时释放出大量瓦斯,严重威胁井下被困人员人身安全,此时可采用井下钻孔实施救援。

在以下种类的矿山灾害事故时,可考虑运用钻孔施行救援行动:(1)因顶板冒落而堵塞巷道,造成人员被困井巷中的事故。(2)因透水带出的泥石淤积堵塞巷道,造成人员被困井巷中的事故。(3)透水淹井后,注浆封堵水源,实现快速恢复生产。(4)井下发生区域性火灾,人员被困井下事故。(5)煤层自燃发火失控、井巷封闭后,从地面布置钻孔进行直接灭火<sup>[1]</sup>。

## 2 钻探在应急救援中的应用分类

由于矿山事故灾害类型千差万别,矿井构成形式也有不同,因此钻探在矿山灾害事故应急救援起着不同作用,相应的钻孔也分多种类型。

### 2.1 生命保障孔

生命保障孔一般终孔直径 $>152\text{ mm}$ ,其主要有3种作用:侦测险情、通信联络、输送给养。

(1)侦测险情。井下发生事故后,事故区往往会和外界隔离,由于种种原因外界救援人员无法直接进入事故区实施救援。此时,可向井下事故区域施工钻孔,再通过钻孔下入相关探测装置,探测井下生命和环境参数(温度、氧含量、甲烷浓度、CO等),以指导后续救援工作。

(2)通信联络。通过生命保障孔侦测到井下存在被困人员时,从钻孔内下放通话器及对讲机,主要功能是与井下被困人员取得联系。

(3)输送给养。通过生命保障孔向井下提供水、食物、药品等维持生命的基本物品,必要时输送小型音响设备,以便井下被困人员听到亲人问候,医生进行心理干预。

### 2.2 救生孔

救生钻孔是指将井下被困人员通过钻孔提升到地面,也称逃生孔。救生钻孔的透巷直径要求必须大于 $580\text{ mm}$ ,使得提升设备能够顺利提升。救生孔救援特点是被困人员以钻孔作为逃生通道,被困人员通过钻孔逃离事故现场,要求钻孔钻进地层具有良好的稳定性,以避免救生通道被堵。

### 2.3 排水孔

排水孔是指矿井发生透水事故后,从井下安全区域的适宜位置施工钻孔,通过钻孔疏水、排水,作为巷道排水的辅助措施,钻孔终孔直径 $>311\text{ mm}$ ,以便下入潜水泵,加快人员被困区域的排水速度,为营救灾区被困人员创造条件。

## 3 典型应急救援钻探技术

矿山灾害事故的应急救援工作对钻探工作提出一些特殊要求。这些既不同于地质岩心钻探也不同于水文地质钻探的特殊要求<sup>[5-10]</sup>,促使一些典型应急救援钻探技术的形成。

### 3.1 生命保障孔钻探技术

生命保障孔主要用于矿山事故灾害的险情侦测,探明被困人员具体位置,下放通信器材与被困人

员取得联系,向被困人员投送水、食物、药品等维持生命的基本物品,终孔孔径一般 $\leq 152$  mm。一般要求在矿难发生后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。

### 3.1.1 技术特点

(1)一般地层条件下,钻孔宜为三开结构,一开孔径为311 mm,二开孔径为216 mm,三开(透巷)孔径为152 mm。

(2)要求在72 h内贯通巷道,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”严格控制井底位移,确保不用进行纠偏就能精准贯通巷道。

(3)由于孔内出水量过大或是采用螺杆定向钻进进行纠偏而采用了泥浆钻进工艺时,在透巷前把孔内的泥浆排到地面,并用空气潜孔锤钻进技术贯通巷道。

### 3.1.2 使用要求

水灾事故中利用生命保障孔钻进技术侦测险情,当被困人员处于水下封闭空间(一般称其为“气囊”)时,必须配合强制排水措施,防止钻孔造成“气囊”泄压,技术原则是人员所处空间气压与水压平衡。矿井瓦斯事故救援中利用生命保障孔钻进技术侦测险情,要重视钻孔对风压、风流带来的影响,防止空气与高浓度瓦斯气体混合达到爆炸界限。如果钻孔发生漏气或者钻进深度距离目标区30m左右时,及时更换使用钻井液钻进的工艺,保证安全透巷。地面钻井施工人员佩戴防毒面罩,以防有害气体造成伤害。

### 3.1.3 应用实例

目前生命保障孔钻探技术比较成熟,并且成功应用于矿山事故灾害的应急救援工作<sup>[11]</sup>,如表1所示。

表1 生命保障孔实例

时间	地点	事故类型	主要钻机	生命保障孔救援情况	救援效果
2004	河南新密	矿井坍塌、 人员被困	雪姆 T685	采用空气潜孔锤正循环钻井和泥浆钻进工艺。一开用 $\Phi 311$ mm潜孔锤钻进穿过覆盖层后下入 $\Phi 245$ mm护筒,二开用 $\Phi 216$ mm潜孔锤钻进(部分井段由于井壁稳定问题,采用泥浆钻进),下入 $\Phi 178$ mm套管固井,最后用 $\Phi 152$ mm潜孔锤进行透巷	生命保障孔顺利透巷,为救援赢得宝贵时间,最终12人获救
2014	山西王家岭	矿井透水、 人员被困	雪姆 T130	采用空气潜孔锤正循环钻井工艺施工生命保障孔:一开用 $\Phi 311$ mm钻头钻进,钻穿第四系进入基岩风化带10 m后,下入 $\Phi 244$ mm套管,二开用 $\Phi 216$ mm钻头钻进,钻穿2号煤层巷道停钻,下入 $\Phi 140$ mm技术套管固定	生命保障孔顺利透巷,为救援赢得宝贵时间,煤矿积水排干后,115人获救
2015	山东平邑	矿井坍塌、 人员被困	雪姆 T130 雪姆 T200	采用空气潜孔锤正循环钻井工艺方法。一开 $\Phi 311$ mm快速通过浅层破碎带和溶洞50~70 m,下入 $\Phi 286$ mm套管,二开 $\Phi 216$ mm钻至深度200 m后,下入 $\Phi 178$ mm套管,三开 $\Phi 152$ mm直接钻进至巷道顶板	生命保障孔顺利透巷,为救援赢得宝贵时间,4人从救生孔内提升至地面获救
2021	山东笏山	爆炸导致、 风井堵塞、 人员被困	雪姆 T130 雪姆 T200 徐工 XSC1200 正远 SL1000 金科 JKS800	采用空气潜孔锤正循环钻井工艺方法和螺杆马达+PMWD纠偏。一开用 $\Phi 311$ mm潜孔锤钻进穿过覆盖层后下入 $\Phi 245$ mm护筒,二开用 $\Phi 216$ mm潜孔锤钻进(部分钻孔进行纠偏),下入 $\Phi 178$ mm套管固井,最后用 $\Phi 152$ mm潜孔锤进行透巷	生命保障孔顺利透巷,为救援赢得宝贵时间,11人从风井内提升至地面获救

2010年3月1日骆驼山煤矿发生重大透水事故,国家矿山救援钻井专业队伍成功施工生命保障孔。

(1)主要设备:雪姆的T200型钻机,寿力

900XHH/1150XH型空压机、泥浆脉冲随钻测量仪器(PMWD)、 $\Phi 114$ 钻杆及钻铤等,如表2所示。

(2)钻孔结构:由于进入岩层后地层比较完整且孔壁稳定,钻孔较浅只有415 m深,所以没有采用

表2 雪姆 T200XD型钻机主要技术参数

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
900	180	559.5	1200	22.0	30	150	45

一般的三开井身结构,而是采用两开井身结构。一开: $\Phi 311$  mm,下 $\Phi 244$  mm石油套管隔离流沙层;二开: $\Phi 216$  mm,裸孔透巷。钻孔结构设计见图1。

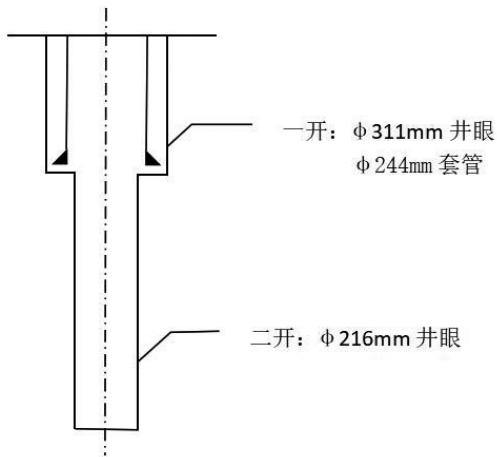


图1 生命保障孔钻孔结构

(3)钻具组合:一开: $\Phi 311$  mm空气潜孔垂钻头+钻铤+钻杆。二开: $\Phi 216$  mm空气潜孔垂钻头+ $\Phi 159$  mm钻铤+ $\Phi 114$  mm外平钻杆。

生命保障孔于3月4日开钻,设计井深207 m,此处巷道在水位上部,被困人员在此处最有生还希望,之前其他几支钻井队井身偏斜严重,不能准确透巷。3月6日下午15时55分,救援队精确地打到了预定位置,成功打通救援巷道中心。由于二开地层完整,井壁稳定,上部无含水层,所以未下入套管,而是以裸眼的方式直接透巷终孔。贯通巷道后,使井下巷道形成空气回路,为抢险救援工作中疏风送氧,探寻生命信息,输送通讯照明设备,视频采集设备和输送营养液等创造了条件。

## 3.2 排水孔钻探技术

### 3.2.1 技术特点

(1)一般地层条件下,钻孔宜为三开结构,一开孔径为508 mm,二开孔径为445 mm,三开(透巷)孔径为311 mm。

(2)可以采用泥浆循环钻进工艺,但是在透巷前必须循环一定时间,排空孔内钻屑,防治透巷时密度较

大的泥浆携带大量岩屑落入巷道,导致卡钻事故。

(3)透巷后继续钻进,在巷道底部施工口袋。这样下入水泵时,水泵电机下入到口袋中,水泵的进水口正好在巷道内,确保疏排水顺利进行。

### 3.2.2 使用要求

在被淹巷道上部地层有老窑水、出水量大的地层时,要慎重选择利用钻孔排水的救援方案。若此种情况下选择钻孔排水则要做好相关堵水、止水的预案和措施。

### 3.2.3 应用实例

2020年11月11日,中国华电集团所属茂华万通源煤业有限公司发生透水事故,国家矿山救援钻井专业队伍施工3号排水孔。3号孔位于主巷道突水点位置以北213 m处,是矿区最低洼处,为正常情况下的理想排水位置。钻孔上部有约60 m厚的回填层,60~226 m为煤系地层,主要含泥岩、石灰岩及砂岩。

(1)主要设备:雪姆的T200型钻机,F1300泥浆泵机组、泥浆脉冲随钻测量仪器(PMWD)、泥浆固控设备、 $\Phi 127$ 钻杆及钻铤等。

(2)钻孔结构:由于进入岩层后地层比较完整且孔壁稳定,钻孔较浅只有226 m,所以没有采用一般的三开井身结构,而是采用两开井身结构。一开: $\Phi 445$  mm,下 $\Phi 340$  mm石油套管隔离回填层;二开 $\Phi 311$  mm,裸孔。钻孔结构设计见图2。

(3)钻具组合:一开: $\Phi 445$  mm三牙轮钻头+钻铤+钻杆。二开: $\Phi 311$  mm PDC钻头+ $\Phi 172$  mm单弯螺杆(1.25°)+ $\Phi 165$  mm钻铤+ $\Phi 127$  mm钻杆。

(4)实施情况:3号排水孔于2020年11月14日开钻,于16日贯通,历时近2 d。钻至井深12 m处时,泥浆开始漏失,顶漏继续钻进,泥浆失返。停钻,采用水泥浆加水玻璃的堵漏方法进行堵漏,有一定的效果,但是泥浆依然漏失严重,继续顶漏钻进。钻进至62 m处见基岩,下入 $\Phi 340$  mm石油套管简单固井隔离回填层。由于井场场地受限,钻孔开孔点与靶点有约2 m的水平位移,同时考虑到提速,二开下入定向钻具组合,采用复合钻进和定向钻进相结合的方式,钻进至226 m处与井下巷道贯通。因二

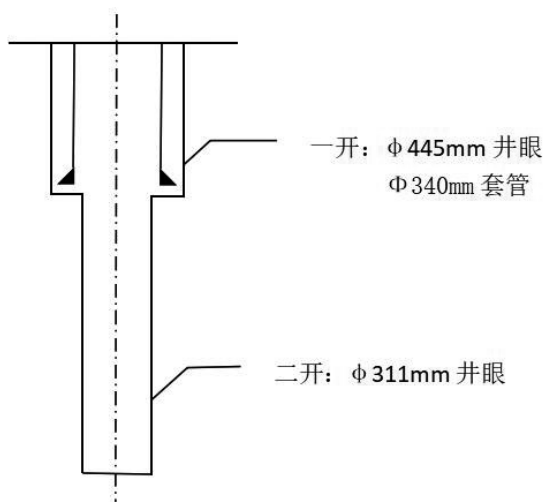


图2 排水孔钻孔结构

开地层完整,井壁稳定,上部无含水层,所以未下入套管,而是以裸眼的方式终孔。

### 3.3 大口径救生孔钻探技术

#### 3.3.1 技术特点

(1)一般地层条件下,钻孔宜为三开结构,一开孔径为1000 mm,二开孔径为711 mm,三开(透巷)孔径为580 mm。

(2)为了确保大口径救生孔顺利透巷,一般先

施工导向孔,然后再扩孔施工大口径救生孔。

(3)为了加快施工速度,不建议采用煤矿大直径工程井逐级扩孔工艺,覆盖层宜采用旋挖钻机施工,岩层采用空气反循环钻进工艺或气举反循环钻进工艺。

#### 3.3.2 使用条件

大口径救生孔是被困人员的逃生通道,要求钻孔钻遇地层具有良好的稳定性,以避免救生通道被堵,如果地层不稳定或者出水大必须下入套管。此外考虑到要下放和提升逃生仓,必须控制钻孔的狗腿度,避免逃生仓不能顺利下放和提升。

#### 3.3.3 应用实例

2015年12月25日,山东平邑玉荣石膏矿采空区发生坍塌事故,国家矿山救援钻井专业队伍施工5号大口径救生孔开展救援工作<sup>[12-14]</sup>。救援现场地表有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。

(1)主要设备:旋挖钻机、宝峨的RBT90型钻机,空压机、增压机,Ø219 mm双壁钻杆及钻铤等,如表3所示。

表3 宝峨RBT90型钻机主要技术参数

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
900	200	708.8	1500	23.8	36	150	60

(2)钻孔结构:由于上部地表层松散,存在易坍塌、难成孔、漏失严重等问题,钻孔没有采用一般三开井身结构,而是采用了四开井身结构。一开:Ø1250 mm,下Ø1200 mm护壁管;二开:Ø1000 mm,下Ø850 mm套管固井;三开:Ø711 mm,下Ø600 mm套管,四开:Ø580 mm,裸孔。钻孔结构设计见图3。

(3)钻具组合:一开:1250 mm旋挖钻头,接Ø316 mm旋转钻杆,钻压100 kN。二开:1000 mm旋挖钻头,接Ø316 mm旋转钻杆,钻压150 kN。三开:Ø711 mm潜孔锤钻头+正反循环接头+Ø680 mm扶正器+Ø279 mm双壁钻铤+Ø219 mm双壁钻杆,接空气反循环动力头。四开:Ø580 mm潜孔锤钻头+正反循环接头+Ø279 mm双壁钻铤+Ø219 mm双壁钻杆,接空气反循环动力头。

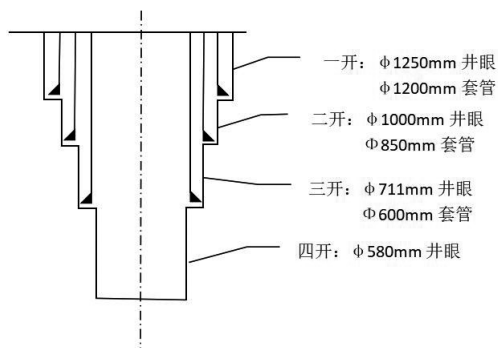
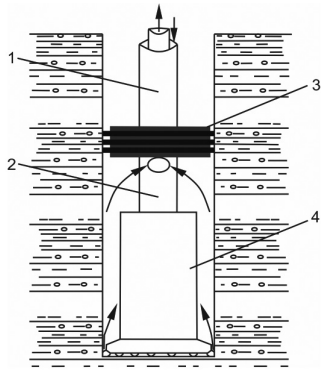


图3 大口径救生孔钻孔结构

(4)空气反循环钻进工艺。如果采用正循环钻进工艺,随着井眼直径的增大,循环介质上返速度急剧下降。上返速度小意味着井底的岩石要破碎到足够小的

粒度才能由循环介质带出。这需要更多的机械破岩能量,耗费更长时间进行重复破碎,影响机械钻速。因此选用正循环空气潜孔锤配合多层橡胶封堵器和正反循环转换接头的方法来实现空气反循环钻进,见图4。



1—双壁钻杆;2—正反循环转换接头;3—多层橡胶封堵器;  
4—气动潜孔锤

图4 多层橡胶封堵器气动潜孔锤反循环钻进工艺示意

如图4所示,高压气体通过双壁钻杆1的环空到达孔底的气动潜孔锤4,并推动潜孔锤冲击破碎岩石,由于多层橡胶封堵器3阻断了正循环通道,迫使气体携带岩屑进入正反循环转换接头2的排渣口通过双壁钻杆的内管上返至地面,实现反循环钻进。

2016年1月1日5号孔正式开钻,由于各种原因,特别是地层坍塌造成卡钻,造成救援进展缓慢,5号孔于2016年1月18日贯通,历时18 d。

#### 4 结论与建议

(1)成功救援实践表明:“小直径生命保障孔+大直径救援井”的模式是进行矿山灾害救援的一种有效途径。但是现有的大部分钻井救援装备为进口装备,且这些装备不能满足我国矿山灾害事故应急救援要求,所以亟待研发适用于矿山灾害事故应急救援的先进钻井装备,进一步提升我国钻井救援能力。

(2)目前钻井救援主要采用油气勘探开发、固体矿产勘探、水文水井钻凿等领域的钻井技术装备,导致标准不统一,钻具、套管、钻孔口径不统一,给救援工作

带来极大挑战,建议制定全国统一的钻井救援规范,规范钻孔救援的装备、工具、方案设计、施工等内容。

(3)针对应急救援中出现的涌水、漏失、孔壁失稳等复杂地层难钻进、易漏失、难成孔等问题,开展套管钻进技术装备、环保可控凝胶注浆材料、随钻注浆机具与工艺等方面的研究。

(4)针对大口径救生孔存在“钻进速度慢、井壁不稳定、岩屑上返困难”等问题,进一步完善大口径救生孔钻进技术,开展井深600 m、终孔(透巷)直径 $\leq 580$  mm的救援井快速钻进技术研究,解决矿山钻井救援技术领域的难点问题。

#### 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(6):66-68.
- [2] 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.
- [3] 王永全.大口径瓦斯抽放井施工工艺[J].中国煤炭地质,2009,21(1):65-66.
- [4] 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(4):76-81.
- [5] 季学亭.大口径瓦斯排放孔施工工艺探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):204-206.
- [6] 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.
- [7] 杜兵建,杨涛.大口径救援钻孔技术应用[J].劳动保护,2018(2):88-90.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 王永全,周兢.钻探技术在煤矿水害防治工作中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(11):35-41.
- [12] 康红普,张镇,黄志增.我国煤矿顶板灾害的特点及防控技术[J].煤矿安全,2020,51(10):24-33+38.
- [13] 杜兵建.峰峰矿区九龙矿隐伏突水陷落柱治理实践[J].中国煤炭地质,2012,24(3):31-35.
- [14] 刘永彬.大口径瓦斯排放井套管抗挤强度计算分析[J].中国煤炭地质,2009,21(S1):37-39.