

旋挖钻机在平邑石膏矿坍塌事故 大直径救生孔钻进中的应用

李亮^{1,2}

(1. 山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 济宁 272100; 2. 山东省华鲁工程总公司, 山东 济宁 272100)

摘要:2015年12月25日,山东省平邑县一石膏矿发生坍塌事故,多人被埋井下。由于救援人员通往井下的通道被堵死,利用巷道进行救援很难实施。为避免次生事故,决定采用大口径钻机打孔救援方案。救援过程中,多台钻机相互配合, BG26、BG38型旋挖钻机钻进上部孔段, RB-T90、T200XD型多功能钻机钻进下部孔段。钻达最终深度220 m后,成功将被困人员救出,创造了中国矿山救援史上第一个通过地面打孔救援的案例。主要介绍旋挖钻机在大直径救生孔成孔过程中关键技术点的控制,从钻头选择、护筒埋设、成孔钻进方面对钻孔垂直度进行控制;采用下入护筒、熟练人员精心操作、干成孔工艺等避免钻孔坍塌。

关键词:旋挖钻机; 钻孔救援; 大直径救生孔; 平邑石膏矿坍塌事故; 矿难救援

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2016)05-0017-05

Application of Rotary Drilling Rig in Large Diameter Rescue Hole Drilling in the Collapse Accident in Pingyi Gypsum Mine/Li Liang^{1,2} (1. Shandong Provincial Lunan Geo-engineering Exploration Institute, Jining Shandong 272100, China; 2. Shandong Hualu Engineering Corporation, Jining Shandong 272100, China)

Abstract: In the collapse accident in Pingyi gypsum mine rescue, the underground channel was blocked. The rescue plan with large diameter drilling rig was determined to avoid the secondary accident. Several drilling rigs were put into use, BG26 and BG38 rotary drilling rigs were used for upper hole drilling segment and RB-T90 and T200XD multi-function drill for lower segment. The trapped persons were rescued while getting to the final depth, which created the first rescue case by drilling hole from the ground in the history of China's mine rescue. The paper introduces the control on key technologies of rotary drilling rig in rescue hole construction process, such as bit selection, protection tube embedment and verticality control in borehole drilling; borehole collapse was avoided by protection tube lowering, skilled operation and dry-hole drilling.

Key words: rotary drilling; rescue by drilling hole; large diameter rescue hole; the collapse accident in Pingyi gypsum mine; mine disaster rescue

0 引言

2015年12月25日,山东省临沂市平邑县一石膏矿发生垮塌事故,多人被埋井下。由于事故现场地质条件复杂、井下状况不稳定,救援人员通往井下的所有通道都被堵死,实施巷道救援方案已不现实。为避免次生事故,大口径钻机打孔救援方案成为唯一可行的办法。

我单位临危受命,参与了本次救援,采用新购置的德国宝峨BG26型旋挖钻机,与德国宝峨天津分公司投入的BG38型钻机以及国家矿山应急救援淮南队投入的RB-T90型多功能钻机、北京大地特勘救援队投入的T200XD型多功能钻机一起,担负起大直径救生孔的钻进成孔任务。在这场与时间赛跑的生命大营救中,救援人员通力协作,并肩战斗,集

思广益,全力以赴,救援钻机更是24 h昼夜施工。经过不懈的努力,2016年1月29日,被困井下36天的4名幸存矿工成功升井获救,创造了中国矿山救援史上第一个通过地面打孔救援成功的案例。图1为通过地面钻孔救出的被困矿工。



图1 第一名被困矿工成功升井场景

1 事故情况简介

该石膏矿发生垮塌事故后,引发震动致使山东省临沂市平邑县(北纬 35.5°,东经 117.7°)发生 4.0 级地震。事故还引发了次生灾害,致使平邑县保太镇万庄村附近农田出现多条裂痕,路面发生大面积坍塌断裂,部分路段悬空(见图 2、图 3)。经过认真分析,并结合现场情况,确定石膏矿垮塌的原因是因临近的废弃石膏矿采空区坍塌而引发坍塌,属非天然地震。塌陷地震是地震种类的一种,是因岩层崩塌陷落而形成的地震,主要发生在石灰岩等易溶岩分布的地区。这是因为易溶岩长期受地下水侵蚀形成了许多溶洞,洞顶塌落而造成,它占世界地震总数的 3% 左右。



图 2 田间裂缝



图 3 路面断裂、悬空

2 大直径钻孔救援方案的确定

面对井下岩层破碎、水文地质条件极其复杂等诸多不利因素,救援人员最初采用通过连续不断的井下巷道掘进、生命探测和钻孔等多种方式实施搜寻失联人员。但在随后的救援过程中,井下坍塌不断发生,积水位置不断攀升,一氧化碳浓度不断提高。为避免次生事故,指挥部组织专家进行论证,决定停止实施巷道救援方案,启动采用打小直径救援孔输送食物,大直径救生孔进行救人的救援方案。

根据地质情况,指挥部确定了先采用旋挖钻机钻进上部孔段,再利用多功能钻机钻达最终深度的方案。不同钻机发挥各自优势,相互配合,共同作业,同时施打了 3 号、4 号、5 号三个大直径钻孔。钻孔具体位置如图 4 所示。

3 旋挖钻机在大直径救生孔钻进中的应用

3.1 旋挖钻进工艺

旋挖钻机施工工艺在日本、欧洲应用相当普遍,我国在青藏铁路修建时大规模应用,近几年,该工艺在我国逐渐成为发展最快的一种新型钻孔施工方法。

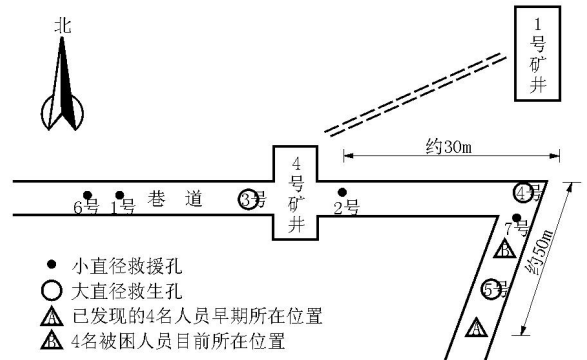


图 4 被困矿工位置及救援钻孔平面布置示意图

国内生产旋挖钻机的厂家曾多达 40 余家,型号超过 300 多种,但是自主创新的产品较少,对旋挖钻机施工工法研究不多,与德国、意大利、日本等国外产品相比,性能方面还存在一定的差距。旋挖钻机具有装机功率大、输出扭矩大、轴向压力大、机动灵活、施工效率高及多功能特点,是一种适合建筑基础工程中成孔作业的施工机械,广泛用于市政建设、公路桥梁、高层建筑等地基础施工工程,配合不同钻具,适应于干式(短螺旋)或湿式(回转斗)及岩层(岩心钻)的成孔作业。但用于矿山抢险救援还是第一次。

本次用于平邑矿难救援的旋挖钻机为德国宝峨集团生产的 BG26、BG38 型钻机。宝峨旋挖钻机对于处理复杂、坚硬地层有很大优势,更适用于大直径钻孔的开孔,且在覆盖层破碎岩石中钻进时,具有成孔质量好、钻进效率高等特点, BG26、BG38 型旋挖钻机主要用于大直径救生孔的开孔和上部孔段的施工任务(图 5)。



图 5 BG26 型旋挖钻机正在进行大直径救生孔钻进

3.2 旋挖钻机钻进过程中关键技术点控制

与小直径钻孔相比,大直径救生孔的难度高出许多。第一,需要准确判断井下可能有人幸存的位置;第二,确保打准钻孔、不跑偏。利用西安科技大学提供的“生命信息钻孔探测系统”,地面指挥人员清晰地看到了井下被困矿工,指挥部确定 4 号井底

部巷道很可能存在气穴,这里因坍塌而渗出的水体进不去,还存在一定量的气体可供人呼吸。确定位置之后,最重要的便是确保打准钻孔、不跑偏。然而,事发矿区地质结构复杂,从地表至井下巷道顶板220 m,依次为表土层、灰岩层、砂岩层和石膏层。除表土层外,其它3层均夹杂着石灰岩并有2层含水层。钻头行至软泥和石头相接处,便会向软泥一侧偏斜,打准的难度很大。此外,事发矿区在矿震发生后地层极不稳定,持续塌方,井筒不断有水、泥浆、砂石等涌出,救援人员不得不在钻孔的同时,不断地采取护筒加固措施。

为了在最短的时间内完成救生孔的施工,旋挖钻机钻进时主要需要解决以下几个问题。

3.2.1 垂直度控制问题

大直径救生孔的钻进对钻孔垂直度的控制有着更加严格的要求,因为被困矿工所处巷道宽度有限,如果钻孔垂直度控制不好,救生孔与巷道对接不上,形不成通路,被困矿工就无法顺利升井。经过研究分析,对于钻孔垂直度控制出现较大偏差的原因如下:

(1) 旋挖钻机钻进过程中地质软硬不均匀,钻头的选择不能满足不同地质情况的需求,导致钻头发生偏位,进而出现垂直度偏差超出要求;

(2) 护筒埋设出现偏位;

(3) 钻孔过程中因地层软硬不一及孔壁探头石导致钻杆出现偏移。

为确保救生孔与被困矿工所处巷道贯通无误,钻进过程中垂直度偏差应采取相关控制措施。

3.2.1.1 根据地层情况选用钻头

(1) 表层粘土选用单层底的旋挖钻斗;

(2) 砂岩层配备截齿筒式取心钻头、锥形螺旋钻头、双层底的旋挖钻斗,或者截齿直形螺旋钻头、双层底的旋挖钻斗,根据钻进情况及时更换;

(3) 灰岩层配备牙轮筒式取心钻头、锥形螺旋钻头、双层底的旋挖钻斗,根据钻进情况及垂直度偏差控制情况及时更换。

3.2.1.2 护筒埋设

钢护筒埋设前,进行准确测量放样,保证钢护筒顶面位置偏差满足要求,埋设中保证钢护筒斜度 $\gt 1\%$;钻机就位,钻头精确对准基准点,埋设钢护筒前,采用较大口径的钻头先预钻至护筒底的标高位置后,使用吊车吊起护筒下入孔口(图6),用旋挖钻机的钻斗将钢护筒压入到预定位置。



图6 利用吊车吊放、埋设护筒

埋护筒时为保持护筒垂直度,应通过以不同的引桩到钻孔中心距离进行交汇控制,直至护筒顶到指定标高。护筒埋好之后以此距离和之前定好的方向恢复钻孔中心位置,并检测护筒中心是否与钻孔中心重合,同时对护筒周围进行夯实,使其稳固不会在钻进过程中偏移。

3.2.1.3 成孔钻进

由于事发矿区地质结构复杂,钻头行至软泥和石头相接处,便会向软泥那边偏,垂直度很难控制。所以钻孔开孔时应轻压慢转,缓慢钻进,旨在形成良好稳固的护壁,保证孔位正确。在钻孔过程中定期用距离交汇校核钻杆位置,发现偏位立即调整,把偏差控制在允许范围内。

在钻孔作业之前需要对桅杆进行定位设置,作业的过程中也需要对桅杆进行调垂。调垂有手动调垂和自动调垂2种方式。在桅杆相对零位 $\pm 5^\circ$ 范围内才可通过显示器上的自动调垂按钮进行自动调垂作业;而桅杆超出相对零位 $\pm 5^\circ$ 范围时,只能通过显示器上的点动按钮或左操作箱上的电气手柄进行手动调垂工作。在调垂过程中,可通过显示器的桅杆工作界面实时监测桅杆的位置状态,使桅杆最终达到作业成孔的设定位置。

在经过近30天紧张作业之后,5号大直径救生钻孔终于钻至预定深度,但与巷道有0.8 m的偏离。随后,救援人员通过小直径救援孔向井下被困矿工递送了工具,指导他们用1天时间打通井下巷道,准确找到了大口径救生孔。

3.2.2 钻孔坍塌问题

3.2.2.1 地层因素

由于事发矿区地质结构复杂,地层破碎严重,在

矿震发生后地层极不稳定,持续塌方,井筒不断有水、泥浆、砂石等涌出,钻进过程中如不能及时采取相应措施稳定住易塌地层,随时都有塌孔的可能。

为确保孔壁稳定,救援人员只能在钻孔的同时,不断地下入护筒,加固孔壁(见图7)。



图7 施工人员正在焊接、安放护筒

3.2.2.2 人为因素

操作人员在钻进过程中操作不当也会造成孔壁坍塌。钻具在提下钻的过程中会产生抽吸力,抽吸力作用到孔壁上对孔壁产生扰动,从而造成孔壁坍塌,所以操作人员的水平和经验起着至关重要的作用。

在破碎地层钻进,钻具应轻提慢放,为确保成孔质量,我单位选派山东省首届地勘技能大赛冠军得主王延攀赶赴事故现场,负责旋挖钻机的钻进成孔任务。

3.2.2.3 其它因素

因为本次抢险救援情况的特殊性 & 地层的复杂性,抢救方式稍有不妥,产生的后果不可设想。所以在钻进设备、成孔工艺选择上有严格的限制。为确保井下被困矿工的安全,旋挖钻机成孔过程没有使用液体循环介质(泥浆),采用干成孔工艺。RB-T90型多功能钻机钻进下部孔段时停用潜孔锤而采用气举反循环工艺。

3.2.3 岩溶地层入岩钻进问题

在成孔钻进过程中,地质条件复杂各异,没有“全能钻机”,也没有“万能工法”,每种钻机都有其适用范围。旋挖钻机破岩的原理是依靠加大压力将钻具截齿压入岩石,在强大的动力头输出扭矩的作用下,使岩石产生剪切破碎。旋挖钻机能够顺利钻进不同的岩层,需要考虑钻机的动力问题、整机稳定性问题以及岩石破碎问题。

笔者最早接触该工艺是在十多年前贵州某电厂项目。该工程所处地区属典型的喀斯特岩溶地区,开工之初遇到了很多问题,地质情况复杂,钻孔中有

溶隙、溶洞存在,给施工、入岩判定带来了极大难度;地层中有孤石存在,钻进、纠偏难度大;入岩施工难度大,设备损坏非常严重;桩长匹配问题不好解决等等,工程处于停滞状态。后来业主邀请了多名专家来施工现场,一起研究想办法。根据诸位专家的意见,在后续的施工中主要采取了静压注浆法、冲击成孔法、孔内爆破法和补桩法等解决了相关问题,可谓费尽周折。随着科技的发展,近几年设备研发水平不断提高,旋挖钻机“入岩施工难”的问题,得到了有效解决,入岩钻进靠冲击钻的局面发生了改变,潜孔锤、旋挖工艺等,均能进行入岩施工,只是考虑到本次救援工作的特殊性,为确保被困人员的安全,钻进过程尽量不产生振动,旋挖工艺的优越性就凸显出来。旋挖钻进取出的岩心见图8。

由于事发矿区地层情况复杂,灰岩地层中有大小不一的溶洞存在,溶洞中充塞软泥,现场使用的钻头很难将软泥顺利从孔内提出,给施工带来了很大难度,钻进效率一度停滞不前。提高钻进效率的措施一般从3个方面着手:调整钻机的操作方式,更换适用的钻具,优化钻齿的布置。针对本工程的特殊性和时间的紧迫性,操作人员与宝峨天津公司驻现场人员讨论、研究后,加工制作了一个筒体加长的旋挖钻头(图9),专门用于充塞软泥的岩溶地层钻进,有效地解决了岩溶地层成孔钻进和软泥提取问题。



图8 旋挖钻机钻进过程中取出的岩心

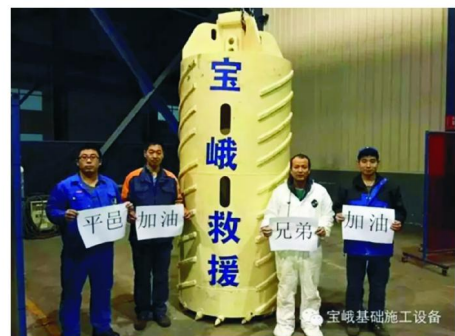


图9 筒体加长的旋挖钻头

3.3 旋挖钻机施工成果

该石膏矿坍塌事故救援为国内第一次施工大直径救生孔救人,具有以下难点:地层为第三系半成岩,泥岩遇水就垮塌,矿层上部有100多米灰岩含水层,且富水性强;事发地周围有6个废旧矿山,地下老窟水有随时涌入的威胁;所处地层地质条件本身就比较破碎,发生矿难事故后,造成地层情况更加复杂,矿区整体垮塌,并受到地下水浸泡,石灰岩地层中又有溶洞存在,给钻进施工带来很大难度。多功能钻机在这样的地层中钻进极易糊钻、埋钻,进尺缓慢。而旋挖钻机的适应能力比较强,能够进行大直径钻孔的开孔和上部孔段的钻进,且成孔质量好,钻进效率高。以5号救生孔为例,旋挖钻机采用 $\varnothing 1500$ mm钻头开孔,然后换 $\varnothing 1250$ mm钻进,历时4天5夜,钻孔深度54 m。经检测,钻孔垂直度满足要求,随即下入 $\varnothing 800$ mm的钢护筒。换用RB-T90型多功能钻机换径钻进,钻孔直径711 mm换565 mm,用时近1个月(孔深170 m时卡钻,停待了几天),最终钻至预定孔深220 m,实现了大直径救生孔与被困人员所处巷道的贯通。

旋挖钻机顺利完成大直径救生孔的开孔和上部孔段的施工任务,为下部多功能钻机继续钻进创造了有利条件。

(1)有利于钻孔中心偏移的调整控制。旋挖钻机钻进过程中钻孔垂直度控制虽然满足要求,但钻孔中心毕竟还存在一定偏差,正是由于旋挖钻机成孔直径比较大,在多功能钻机开钻前可通过护筒埋设进行偏差修正,为多功能钻机准确就位创造了可调空间。

(2)为多功能钻机钻进过程中应对意外情况留有余地。由于地层破碎,地质条件复杂,钻进过程随时都可能发生意外发生,而进行变径钻进是应对意外的方法之一,旋挖钻机采用 $\varnothing 1500$ mm钻头开孔,为下一步多功能钻机成孔钻进和护筒的下入、安放方案调整留出了余地。由于救援钻孔的特殊性,终孔直径的大小受到限制,要能够满足救援工作的需要,即必须确保救生舱顺利下入孔底将被困人员救出。而最后被困人员提升方式由救生舱变为救生绳,主要就是因为钻孔下部孔径小,无法使用救生舱救人而改用救生绳直接提升。

4 结语

在本次大直径救生孔施工过程中,现场来自全

国各地60多名钻探、地质、水文、机电、测井等行业专家集思广益的指导性意见起到了关键的作用,加上投入钻机的先进性,高水平的工法技术支持以及钻机操作人员的操作经验和随机应变的能力,以及全体救援人员的共同努力,创造了我国矿山救援史上的一个奇迹。

本次事故救援中采取的“地面大口径钻孔救人”是国内首例,也是世界第三例通过钻井打孔实现井下救援的案例。国内首次大直径钻孔救援的成功,为日后我国事故救援积累了非常宝贵的经验。以后无论是煤矿还是非煤矿山,发生坍塌、爆炸、透水等事故时,又多了一条新的救援途径。通过本次抢险救援,我们同时意识到:在钻探施工领域,无全能钻机,也无万能工法,科技创新是必由之路。

参考文献:

- [1] 李亮,石燕霞. 建筑桩基技术规范修订实施以来的若干思考[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):72-76,84.
- [2] 李亮,王天放,曲守全. 旋挖成孔工艺在黔东某电厂桩基工程中的实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(9):30-33.
- [3] 李亮. 关于桩与深基础施工技术发展创新的思考[J]. 地质装备,2015,(6).
- [4] 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.
- [5] 黎中银,王宏伟,解大鹏. 旋挖钻机入岩机理和钻岩效率的分析[J]. 建筑机械,2008,(1):73-77.
- [6] 姚涛,王增胜,顾金成,等. 强渗漏与坚硬岩层组合条件下旋挖钻机施工工法研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):64-69.
- [7] 牛庆磊,吕永亮,贾炜,等. 旋挖钻机配套集束式潜孔锤硬岩施工方法研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(12):57-60.
- [8] JGJ 79—2012,建筑地基处理技术规范[S].
- [9] 沈保汉. 桩基与深基坑支护技术进展[M]. 北京:水利水电出版社,2006.
- [10] 刘金波. 建筑桩基技术规范的理解和应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [11] JGJ 94—2008,建筑桩基技术规范[S].
- [12] 编写组. 水文地质手册(第二版)[M]. 北京:地质出版社,2012.
- [13] GB 51004—2015,建筑地基基础工程施工规范[S].

致谢:本文撰写过程中,得到了山东省鲁南地质工程勘察院王天放研究员的大力帮助和精心指导,在此深表感谢。王天放研究员是本次平邑矿难救援专家组成员,作为钻探工程方面的专家,他始终坚守在抢险救援一线,直接参与救援方案的制定。