

## 复杂地下铁矿巷道含水岩层盲炮处理的关键技术与实践探究

熊 波

湖南南岭衡阳民用爆破服务有限公司, 湖南 衡阳 421600

**[摘要]**就地下铁矿巷道掘进穿越含水岩层时盲炮频发、处理风险大的工程问题展开分析,对含有水的环境下盲炮产生原因做了系统的剖析。从研究结果来看,含水裂隙造成炸药受潮钝化、雷管起爆能受水介质阻隔衰减是造成拒爆的主要原因,盲炮具有爆破失效和水害风险双重属性。研究创建起以精细探查、风险分级、防水控水为主要内容的处置技术体系,提出包含探查判定、安全处置、围岩稳定控制、效果复核的全流程关键技术。根据某地下铁矿巷道含水层掘进盲炮处理实践,证明集排水降位、聚能殉爆和平行孔法相结合的处置方案是有效的。实践证明,严格实行防水隔离和控水排水措施可以有效地减少含水盲炮处理的二次危险,保证作业安全。

**[关键词]**地下铁矿;巷道掘进;含水岩层;盲炮处理

DOI: 10.33142/hst.v9i8.20434

中图分类号: TD235.4

文献标识码: A

### Key Technologies and Practical Exploration on Unexploded Charge Treatment for Water Bearing Rock Layers in Complex Underground Iron Mine Tunnels

XIONG Bo

Hunan Nanling Hengyang Civil Blasting Service Co., Ltd., Hengyang, Hunan, 421600, China

**Abstract:** This article analyzes the frequent occurrence and high risk of unexploded charge during the excavation of underground iron mine tunnels through water bearing rock layers, and systematically analyzes the causes of unexploded charge in water containing environments. From the research results, it can be seen that water containing cracks cause moisture passivation of explosives, and the detonation energy of detonators is hindered and attenuated by water media, which are the main reasons for misfires. unexploded charge has dual attributes of blasting failure and water damage risk. Research and establish a disposal technology system with fine exploration, risk grading, and waterproofing and water control as the main contents, proposing key technologies for the entire process including exploration and judgment, safety disposal, rock stability control, and effectiveness review. According to the practice of unexploded charge treatment in the excavation of aquifer in a certain underground iron mine tunnel, it has been proven that the treatment plan combining drainage lowering, energy gathering and detonation, and parallel hole method is effective. Practice has proven that strict implementation of waterproof isolation and water control drainage measures can effectively reduce the secondary hazards of water containing unexploded charge treatment and ensure operational safety.

**Keywords:** underground iron mine; tunnel excavation; water bearing rock layer; unexploded charge treatment

### 引言

地下铁矿巷道掘进爆破施工过程中,盲炮(又称拒爆)属于直接威胁到作业人员生命安全和施工进度的高危事故。当巷道掘进遇到含水岩层的时候,裂隙水和孔隙水的存在造成爆破器材的工作环境变差,炸药拒爆、半爆的概率增大,盲炮处理遇到水害引发次生灾害的危险性也高,复杂地下水环境下的盲炮处置一直是一个重要的研究课题。目前国内外对于含水地层爆破施工的研究,大多集中于露天矿含水炮孔的排水工艺和装药结构的优化上,对于

地下铁矿巷道有限空间、高水压条件下盲炮的精准探查和安全处置技术,系统的探究还比较欠缺。因此,本文主要研究含水岩层盲炮的特殊形成机理,识别出它的潜在危险,进而建立一个包含探查、处理、控制和复核的全过程关键技术体系,并通过工程实践来检验它的有效性,从而给类似复杂水文地质条件下地下矿山安全生产提供技术参考。

### 1 复杂地下铁矿巷道含水岩层盲炮形成机理及影响因素

含水岩层盲炮的形成机理与无水情况下有很大不同,

主要是水对爆炸初始能量传递和传播介质的干扰。在含有裂隙和孔隙的含水岩层里,积水渗入到炮孔内,直接接触到工业炸药和起爆器材。对于非抗水型炸药来说,水分会溶解硝酸铵等氧化剂成分,造成炸药变质、结块,降低爆轰感度,防水乳化炸药虽然可以防潮,但是炮孔内水压过高或者水介质长时间浸泡,药卷外壳破损之后仍然存在受潮钝化风险。

雷管起爆效率在水介质中比空气介质低,当雷管聚能穴和起爆药包之间有水隔层时,爆轰波要克服水的黏滞阻力和压缩波能量耗散,起爆能急剧衰减,造成炸药不能达到稳定爆轰,产生拒爆。另外,含水裂隙给爆炸应力波的传播提供通道,容易造成相邻炮孔间的殉爆或者爆轰中断。爆破后形成的裂隙网和水系贯通,会引发滞后出水,淹没或者浸泡盲炮孔,加重处理环境的状况。影响盲炮形成的因素有地质水文条件(含水层厚度、水压、裂隙发育情况)、爆破器材选择(抗水性、保质期)、装药工艺(防水措施、药卷密实度)、起爆网络设计(雷管配准、传爆序列可靠性)。炮孔积水造成装药位置漂浮或者药卷间隔增大,都是引起不连续装药盲炮的常见原因。

## 2 含水岩层盲炮处理的风险识别与技术原则

### 2.1 含水岩层盲炮的主要风险及成因分析

含水岩层盲炮处理风险可以分为爆炸风险、水害风险和围岩失稳风险这三个方面。爆炸风险属于盲炮的固有特性,拒爆药包处在非稳定的平衡状态,在外界的机械干扰、杂散电流或者水压改变的时候,它会突然引发爆炸<sup>[1]</sup>。水害风险属于含水环境特有的风险,在处理过程中盲目钻孔或者挖掘,会导通高压含水层,造成突水涌砂事故,淹没作业面,带走了人员和设备。围岩失稳风险是由于盲炮区岩体完整性遭到破坏,含水裂隙面的抗剪强度降低,在处理振动时容易造成局部坍塌或者片帮。

### 2.2 盲炮处理的基本原则与技术要求

处理含水岩层盲炮要严格遵守“安全第一、先探后放、防水控水、全程监护”这四个原则。处理前必须分析含水层水力联系,切断可能向作业面补给水源的通道。无关人员全部撤离到安全区域,顶帮稳定后方可靠近盲炮。处理过程中不能强行拉拉起爆线路,不能从炮眼中直接掏炸药、雷管,不能用压缩空气吹扫炮泥和爆炸物,以免造成摩擦静电引发爆燃。技术要求主要体现在对水环境的适应性上,探查工具要有防水绝缘性能,处置方法首先考虑在可控排水后的平行孔殉爆或者聚能射流销毁,减少对原炮孔的直接扰动,排水措施要纳入处理方案,保证作业区域水位一直低于盲炮孔底安全高度。

## 3 复杂地下铁矿巷道含水岩层盲炮关键处理技术

### 3.1 盲炮区域探查与危险状态判定

精准探查为安全处置打下了基础,也是风险最大的初始环节。探查内容有盲炮精确定位、孔内积水深度和水质、装药结构完整性和药卷实际位置、周边围岩裂隙发育和含水层水力连通情况<sup>[2]</sup>。探查手段按照“先物探后接触、先远后近”的原则进行,首先使用地质雷达对炮孔内的异常体位置和积水界面进行探测,精度可以达到厘米级,可以对含水炮孔状态做初步的筛查。需直接观察时,用带刻度的绝缘探杆配合矿用防水内窥镜慢慢插入孔内,实时观察积水液面、药卷沉底情况和炮泥封堵情况,操作过程中严禁探杆撞击药卷或者雷管脚线。

判定要点为核实拒爆雷管种类(电雷管检测脚线导通性,非电雷管检查导爆管完好性),评价杂散电流或者静电引爆风险,根据装药记录和探查影像估计孔内残留药量,检测孔口有害气体浓度来评价封孔状况,结合地质资料估计孔底水压,评价水压对处理作业的影响等级。危险状态分级考虑积水深度和动水补给能力、药包可及性和可见性、围岩完整性三个因素,分为三级,低风险为孔内无积水或者积水已经排干、药包完整可见、围岩基本稳定;中风险为孔内有积水但水位稳定(动水补给弱)、药包大体可见、围岩基本稳定;高风险为孔内高压涌水(水压 $\geq 0.3\text{MPa}$ )、药包浸泡位置不明或已上浮移位、周边围岩破碎且有掉块征兆。分级结果必须经过现场技术负责人签字后方可执行,直接对处置方案和安全防护等级做出决定,形成闭环的管理链条。

### 3.2 含水环境下盲炮安全处置技术

处置技术体系分为直接接触法和间接销毁法,选择标准是盲炮风险等级、孔内积水控制情况和现场装备条件。直接接触法适合于水位稳定、药包位置清楚的中低风险盲炮。在有效排水并使水位降到药包以下之后,操作人员在专职监护下接近盲炮孔,用竹质或者铝质非火花掏勺沿孔壁慢慢伸入,轻轻掏出上部炮泥,动作要均匀轻柔,不能回拉或者扭转原有的起爆线路。炮泥清除到药包顶部裸露之后,再将起爆药包装在原药包顶部,填塞后进行起爆诱爆。关键禁忌是绝对不能拖拽雷管脚线或者试图拉出炸药,不得用金属工具掏挖,以免产生摩擦冲击火花引起爆炸。

间接销毁法适合于高风险含水盲炮,特别是孔内水压高、药包位置不明或者围岩破碎不能近距离作业时使用<sup>[3]</sup>。首先采用平行孔殉爆法,在距盲炮孔周围不小于 $0.3\text{m}$ (破碎岩体取 $0.4\sim 0.5\text{m}$ )处钻凿 $1\sim 2$ 个平行辅助孔,深度大于盲炮孔底 $0.3\sim 0.5\text{m}$ 。辅助孔装入抗水乳化炸药,孔底

反向起爆,用水介质传递爆炸能量引爆原药包。通过实践得知,孔间距 0.3~0.4m,辅助孔装药量为盲炮孔药量的 1.2 倍以上时,殉爆成功率可以达到 90%以上。对于富水裂隙极其发育、平行钻孔困难的地区,可以采用聚能射流法,在安全距离外设置聚能装药装置,用金属射流穿透岩壁进入盲炮孔内引爆炸药,该方法可以避免近距离钻孔的振动扰动风险。

### 3.3 盲炮处理过程中的水害与围岩稳定控制

水害控制是含水盲炮处理的全过程。处置前在作业面顶部或者侧帮含水层主径流方向打设疏干钻孔(孔径不小于  $\phi 50\text{mm}$ ),配合集水明排装置把局部水位降到盲炮孔底以下 0.5m 以上,使孔内水压降到 0.1MPa 以下。排水系统具有双回路供电,排水能力按预计最大涌水量的 1.5 倍设置,防止停电造成水位回弹。处置过程中配有应急排水泵和水位报警装置,作业面水位大于底板 0.2m 时自动报警。疏干排水要贯穿探查、处理和复核全过程,达到水位全程控制的目的。动水补给强烈且不能完全疏干的地区,用化学注浆封堵主出水裂隙来形成短期无水期。

处理前在处理区周边 2m 范围内设置喷锚临时支护,喷射混凝土厚度不小于 50mm,锚杆间距  $1.0\text{m}\times 1.0\text{m}$ ,封闭裸露裂隙面,防止微振动引起片帮掉块。处理过程中由专人检查顶帮和底板有无暴露的剩余炸药、雷管,及时清理,并将剩余炸药、雷管收集起来。在盲炮区附近设立水文、位移观测站,定时观测水压的变化(每十分钟一次),观察围岩位移(精确度不小于 0.1mm),水压骤增或者位移速率大于 2mm/h 的时候立刻停止作业,并组织撤离。水害与围岩控制一起进行的管理,才是含水盲炮安全处理的根本保障。

### 3.4 盲炮处置后的检查、复核与安全恢复

处置完毕后进行全部检查和效果复查,保证盲炮已经完全销毁并且没有残留的爆炸物。复核内容为用探测设备确认原炮孔内没有炸药、雷管残留,检查邻近炮孔和裂隙内有无殉爆痕迹,检测作业面空气质量,保证有毒有害气体浓度不超过标准,重新评价含水层出水情况,确定无

滞后突水危险。效果复核时要重视孔内有没有残留未爆药卷或者雷管残体,含水层出水状况要持续观察不少于 30min,保证水量没有明显增加之后才能认定无滞后突水危险。复核安全之后,才可安排人员清理作业面,恢复通风和照明系统。当班盲炮未及时处理完时,应将盲炮数、炮眼方向、装药数及处理方案在现场向下一班交代清楚,填写专项记录台账。安全恢复之后,才可以解除警戒,允许其他工序进入工作面作业。

## 4 复杂地下铁矿巷道含水岩层盲炮处理实践及效果分析

### 4.1 工程概况与盲炮问题分析

以某地下铁矿-320m 水平运输巷道掘进工程为例,该段巷道穿过的 F3 断层影响带,岩性为破碎蚀变闪长岩,节理裂隙发育,含裂隙承压水,实测单孔涌水量为 0.5~1.2m<sup>3</sup>/h。采用 YT28 风钻凿岩, $\phi 32\text{mm}\times 300\text{g}$  岩石乳化炸药卷,毫秒导爆管雷管起爆。一次常规循环爆破结束以后,发现掌子面右侧下部出现 4 个炮孔全拒爆的现象,形成了盲炮群,孔内有积水,积水水面离孔口 0.8m~1.0m,初步判断是由于装药后药卷没有沉到底部上浮,造成水隔引起的拒爆。

### 4.2 盲炮处理技术方案及实施过程

根据现场情况确定了“排水降位、物探定位、平行诱爆”的处理方案。首先在盲炮前方施工 2 个倾角为-5° 的疏干斜孔,接入移动式潜水泵持续排水,经过 3 小时抽排后,盲炮孔水位下降到孔口以下 1.8m。其次用绝缘探杆和微型防水摄像头探查,确定孔内药卷已经沉到孔底附近。根据探查结果,在距盲炮孔 0.4m 处钻凿平行处理孔,孔深大于盲炮孔 0.3m,装药量为盲炮孔药量的 1.2 倍。装药结构如图 1(此处为表 1 所示位置对应内容描述)。处理孔用抗水乳化炸药,孔底反向起爆。连线后现场人员全部撤离到 300m 以外的安全硐室,用非电起爆系统起爆。起爆之后经过检查发现盲炮孔口有爆轰产物痕迹,证明诱爆成功。

表 1 含水盲炮处理前后关键参数对比

| 项目     | 处理前状态        | 处理后状态    | 变化特征      |
|--------|--------------|----------|-----------|
| 孔内水位   | 距孔口 0.8~1.0m | 孔口干燥     | 排水降位效果显著  |
| 药包完整性  | 未见明显药包,推测上浮  | 孔内无残留物   | 诱爆彻底      |
| 围岩裂隙出水 | 裂隙持续渗水,局部线流  | 裂隙渗水减弱   | 排水与爆破闭合裂隙 |
| 巷道顶板状况 | 局部有滴水        | 无新增开裂或掉块 | 围岩稳定可控    |

#### 4.3 盲炮处理安全控制效果分析

处理时实行全过程的安全监护。排水系统运行稳定,作业面没有出现突水或者水位突然上升的情况。平行孔钻凿时用低转速、低钻压的方式控制振动造成盲炮的意外扰动。诱爆时振动监测仪测得的峰值振速为 0.8cm/s, 小于《爆破安全规程》允许值,对巷道围岩和支护结构没有造成损坏。整个处理过程用了 4.5h,比原来估计的时间少大约 30%以上。

#### 4.4 关键技术应用效果与优化建议

本次实践证明“疏干先行、平行诱爆”对于含水岩层盲炮处理的适用性。露天矿含水炮孔排水实践证明,排除孔内积水是保证药卷不被水汽影响、不发生悬渣拒爆的基本手段。富水裂隙岩体爆破时,用阻波管或者岩粉填充可以阻止冲击波经由裂隙水异常传播,防止殉爆。优化建议有三个方面:研制适合井下狭窄巷道使用的高效防爆排水装置,推广使用带有定位芯片的防水数码雷管,实现盲炮精准测位,完善含水层盲炮处理的专项应急预案,把水害监测纳入处置标准流程。

#### 5 结语

复杂地下铁矿巷道含水岩层盲炮处理属于爆破安全技术的主要内容。从研究中可知,水介质对起爆能量传递

有阻碍作用,并且会对炸药性能造成损害,含水盲炮的产生主要是由于水环境风险控制不善造成的。建立探查分级、排水降险、隔离诱爆、效果复核的技术体系,严格遵守防水、控水、排水措施,可以大大提高含水盲炮处理的安全性和成功率。目前含水盲炮处理还大体上依靠作业人员现场经验来判断,加快智能探查装备和远程操控装置的研发和应用,是提高本质安全水平的主要途径。未来应该继续把智能感知和远程操控技术结合起来,使盲炮处理向着本质安全的方向前进。

#### [参考文献]

- [1]潘玉忠,池恩安,陈斌,等.复杂地层中深孔爆破盲炮产生的原因及预防措施[J].金属矿山,2012(2):27-29.
- [2]胡敏,张俊杰,姚煜国,等.新屋田露天矿拒爆原因分析及解决方案[J].现代矿业,2022,38(8):81-84.
- [3]费鸿禄,王天恒,荆广杰.露天矿富水裂隙岩体台阶爆破的殉爆机理和防殉爆研究[J].爆炸与冲击,2025,45(1):168-184.

作者简介:熊波(1989—),男,汉族,重庆市开州区人,本科,辽宁工程技术大学机械工程及自动化毕业,现就职于湖南南岭衡阳民用爆破服务有限公司,从事民用爆炸物品生产、技术、安全及设备物资等管理工作。