

基于风险评估的井下探放水孔内事故处理方案优化

付皓得

国能亿利能源有限责任公司黄玉川煤矿 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要:为解决井下探放水孔内事故处理针对性不足、效率偏低等问题,保障矿井施工安全,本文围绕孔内事故展开系统研究。先概述事故类型、成因及作业流程,再构建含4个一级、12个二级指标的风险评估体系,采用层次分析法与模糊综合评价法建立复合评估模型,划分低、中、高三个风险等级。通过评估现有处理方案的不足,以风险为导向制定差异化优化原则与策略,细化各等级事故处理流程,配套设备、人员、管理等保障措施。优化方案提升了事故处理的精准性与安全性,降低了作业成本及次生灾害风险,为井下探放水孔内事故高效处置提供技术支撑。

关键词:探放水;孔内事故;风险评估;方案优化;井下施工安全

引言:井下探放水是矿山防治水害的核心环节,直接关系到矿井及作业人员生命财产安全。但受地质条件复杂、设备状态各异、操作管理不当等因素影响,孔内卡钻、埋钻、钻具断裂等事故频发,现有处理方案缺乏风险差异化设计,易延误处置时机、引发安全隐患。随着矿山开采深度增加,事故防控难度进一步提升。基于此,本文结合风险评估技术,构建事故风险评估模型,精准划分风险等级,优化现有处理方案及配套措施,旨在破解传统方案短板,为矿山探放水作业安全高效开展提供理论与实践依据。

1 井下探放水孔内事故概述

1.1 井下探放水作业流程

井下探放水作业是煤矿及非煤矿山防治水害的核心环节,流程需遵循“预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采”原则。作业前先开展地质勘察,明确含水层分布、水压及隔水层厚度等参数,编制专项作业规程并进行安全技术交底。随后定位布孔,根据地质条件确定钻孔深度、角度及间距,搭建钻场并固定钻机,做好排水、通风及防突设施布置。钻孔施工中实时监测钻压、转速及返水情况,记录岩芯数据,同步进行水位、水压观测^[1]。钻进至预定深度后,进行封孔作业,采用合格封孔材料确保密封效果,作业完成后整理资料并提交验收。全流程需全程做好安全监护,防范孔内事故及水害突发风险,保障作业人员及矿井安全。

1.2 孔内事故的类型与分类

井下探放水孔内事故类型多样,按事故成因及表现形式可分为四大类。一是卡钻事故,最为常见,包括砂卡、泥卡、落物卡及钻具粘卡,多因孔内坍塌、岩粉堆积或钻具老化变形导致;二是埋钻事故,由钻孔周边岩体失稳坍塌,大量泥沙、碎石掩埋钻具引发,常伴随孔

壁垮塌现象;三是钻具断裂事故,分为钻杆、钻头及接头断裂,主要源于钻具疲劳、材质缺陷或钻进参数控制不当;四是钻孔漏失事故,因岩层裂隙发育、溶洞存在导致冲洗液漏失,进一步可能引发孔壁坍塌或水害倒灌。按事故严重程度可分为一般事故、较大事故及重大事故,以钻具损失量、处理时长及是否引发次生灾害为划分依据,为后续风险评估及处理提供分类基础。

1.3 孔内事故的成因分析

井下探放水孔内事故成因复杂,涉及地质、设备、操作及管理多方面因素。地质因素是核心诱因,复杂地质条件如破碎带、裂隙发育区、含水层富水区等,易导致孔壁坍塌、冲洗液漏失,引发卡钻、埋钻事故。设备因素方面,钻具老化、配件损坏未及时更换,钻机精度不足或固定不牢固,会增加钻具断裂、钻孔偏斜风险,进而诱发孔内事故。操作因素占比极高,作业人员未严格执行规程,钻进速度过快、钻压控制不当,岩粉清理不及时,封孔材料选用不合理或施工不规范,均会直接导致事故发生。管理因素层面,安全技术交底不到位、作业监督缺失、应急准备不足,以及岗前培训不达标导致人员操作不熟练,会加剧事故发生概率及危害程度。

2 井下探放水孔内事故风险评估模型构建

2.1 风险评估指标体系建立

基于系统性、科学性以及可操作性的重要原则,精心构建井下探放水孔内事故风险评估指标体系。该体系全面涵盖4个一级指标以及12个二级指标。一级指标包含地质条件、设备状态、操作规范和管理水平这四个关键方面。地质条件下的二级指标有岩层稳定性、含水层水压、裂隙发育程度,这些指标直接反映井下地质环境对探放水作业的影响程度。设备状态的二级指标涵盖钻具完好率、钻机精度、配件可靠性,关乎作业设备的运行

状况与可靠性。操作规范的二级指标包括规程执行度、人员技能水平、参数控制精度,体现作业人员操作的规范性与精准性。管理水平的二级指标含安全交底质量、监督检查频次、应急保障能力,反映管理层面对于事故预防与应对的能力^[2]。采用层次分析法确定各指标权重,该方法通过构建层次结构模型,将复杂问题分解为多个层次,结合现场实测数据以及专家评分,对各指标进行两两比较,量化各指标风险值,为后续风险评估模型的建立提供坚实、准确的数据支撑。

2.2 风险评估方法选择

综合考虑井下探放水作业的独特特点以及事故风险的复杂特性,选用层次分析法与模糊综合评价法相结合的复合评估方法。层次分析法具有显著优势,它能够有效解决多指标权重确定这一难题。通过构建递阶层次结构,对各指标的重要性进行两两比较,进而计算权重向量,并严格检验一致性,确保权重分配科学合理、准确无误。模糊综合评价法适用于处理风险评估中存在的模糊不确定因素,它可以将定性指标巧妙地定量化。通过建立模糊评判矩阵,结合指标权重进行多层次模糊运算,最终得出综合风险等级。这两种方法相互补充,层次分析法精确定指标权重,模糊综合评价法妥善处理模糊信息,避免了单一方法的局限性。同时结合现场实际案例进行验证,根据案例情况优化评估参数,确保评估方法具有高度的适用性,评估结果可靠准确,为风险等级划分提供科学、合理的依据。

2.3 风险评估模型建立

以构建完善的指标体系为基础,结合选定的复合评估方法,建立井下探放水孔内事故风险评估模型。首先,通过现场勘察、设备检测以及资料整理等途径,全面收集各二级指标的原始数据。为使数据具有可比性和统一性,采用标准化处理方法将原始数据转化为统一的量化值。随后,将标准化后的数据代入层次分析法计算得出的指标权重,构建模糊评判矩阵。通过模糊变换计算各一级指标的风险值,再将各一级指标风险值进行加权求和,从而得到综合风险值。根据综合风险值划分低、中、高三个风险等级,并制定明确的等级划分标准:综合风险值 ≤ 0.3 为低风险,0.3-0.7为中风险, ≥ 0.7 为高风险。为实现对孔内事故风险的动态监测与预警,模型嵌入数据反馈机制,能够实时更新指标数据,并根据新数据动态调整评估结果,为事故预防以及处理策略的制定提供精准、有效的支撑。

3 现有井下探放水孔内事故处理方案评估

3.1 常见事故处理方案

针对不同类型孔内事故,现有处理方案各有侧重且形成常规流程。卡钻事故处理以“解卡为主、防护为辅”,砂泥卡钻采用冲洗液循环稀释、低压慢转解卡,落物卡钻使用打捞器精准打捞,粘卡则注入解卡剂后缓慢活动钻具。埋钻事故需先清理孔内坍塌物,采用高压冲洗结合捞砂筒清砂,若埋钻较深则分段钻孔泄压后打捞。钻具断裂事故需先确定断裂位置,选用对应打捞工具,浅部断裂直接打捞,深部断裂采用套铣后打捞工艺。钻孔漏失事故可采用注浆封堵法,选用水泥浆或化学浆液填充裂隙,漏失严重时先投放骨料再注浆。各类方案均以快速处理、减少损失为目标,形成了相对成熟的操作流程^[3]。

3.2 现有处理方案存在的问题分析

现有处理方案虽能应对常规孔内事故,但在针对性、高效性及安全性方面仍存在明显不足。一是方案针对性薄弱,未结合风险等级差异化处理,高风险事故沿用常规方案,易延误处理时机,低风险事故采用复杂工艺,增加作业成本。二是处理效率偏低,卡钻、埋钻事故依赖人工判断及经验操作,缺乏精准定位及智能辅助工具,处理周期长,易引发次生事故。三是安全隐患突出,部分方案需拆除安全设施作业,且应急防护措施不完善,处理过程中易发生人员伤害或水害倒灌。四是配套措施不足,缺乏与处理方案适配的设备维护、人员培训体系,方案执行效果受人员技能影响较大,且无事后复盘优化机制。

4 基于风险评估的孔内事故处理方案优化

4.1 优化原则与思路

优化工作严格遵循风险导向、差异化处置、安全高效、闭环管理四大核心原则。以风险评估结果作为重要依据,针对不同风险等级的事故制定适配性极强的处理方案,达成“低风险简化处理、中风险规范处理、高风险强化处理”的目标。对于低风险事故,重点聚焦于效率提升,简化繁琐流程,减少不必要的冗余操作,让处理过程更加简洁高效。中风险事故则着重于流程规范,强化安全防护措施以及过程管控力度,确保每一步操作都符合安全标准。高风险事故强化应急保障,优化工艺流程并配备专项设备,以应对复杂严峻的情况。同时,融入动态调整理念,依据事故处理过程中风险的变化情况,实时优化处置策略。另外,同步完善配套体系,涵盖设备、人员、管理等多个方面,保证方案具备可落地性和可推广性,最终形成“评估-处置-复盘-优化”的完整闭环机制,持续提升事故处理水平。

4.2 不同风险等级事故处理策略制定

结合风险评估等级,精心制定差异化的事故处理策

略。对于低风险事故（综合风险值 ≤ 0.3 ），采用简易高效策略。像卡钻、埋钻事故，优先运用常规工具快速处理，简化审批流程，安排经验丰富的熟练人员到现场处置，最大程度缩短处理时长，提高工作效率。中风险事故（0.3-0.7）实施规范管控策略，配备专用处理设备，明确详细的操作流程以及关键安全要点，设置现场监护小组，实时监测风险变化情况。一旦发现风险有升级趋势，必要时暂停周边作业，有效防范次生灾害的发生。高风险事故（ ≥ 0.7 ）执行强化应急策略，立即启动专项应急预案，迅速调配专业救援队伍以及高端设备，采用分段处置、注浆加固等强化工艺，先全力控制风险扩散，再逐步处理事故。同时，做好人员撤离以及应急物资储备工作，确保处置过程安全可靠。

4.3 优化后的具体处理方案

优化后的处理方案针对不同事故类型及风险等级，对操作流程进行了细致入微的细化。低风险卡钻事故，采用“冲洗+低速转动”的组合解卡方式，无需注入解卡剂，有效减少材料消耗，降低处理成本。低风险漏失事故，选用低成本水泥浆进行局部封堵，既解决问题又节约资源。中风险埋钻事故，新增孔内成像设备精准定位坍塌范围，采用“高压冲洗+分段捞砂”工艺，同步注浆加固孔壁，提高处理效果。中风险钻具断裂事故，使用智能打捞器提升打捞精度，大大缩短处理周期。高风险事故优化核心工艺，卡钻伴坍塌采用“先注浆封堵+再解卡打捞”，漏失伴水压超标则先泄压再分层注浆，配备应急排水泵及防突设备。方案明确各环节操作时限及责任分工，融入智能监测手段，提升处理精准度及安全性，最大程度降低事故损失。

4.4 优化方案的配套措施

为保障优化方案能够切实有效落地，建立了全方位的配套措施体系。在设备配套方面，配备孔内成像仪、智能

打捞器、高压注浆泵等专用设备，并建立设备定期检测及维护台账，确保设备性能始终保持稳定，随时满足事故处理需求。人员配套方面，开展分级培训，针对不同风险等级事故处置流程开展专项演练，考核合格后方可上岗。组建专业应急救援队伍，通过定期训练提升应急处置能力。管理配套方面，完善事故处理审批流程，建立动态监测及反馈机制，实时跟踪方案执行情况，及时调整优化^[4]。安全配套方面，优化钻场安全设施布置，配备充足的应急防护物资，制定次生事故预防预案，确保人员和设备安全。事后配套方面，建立事故复盘机制，总结处理经验并优化方案，形成配套措施与优化方案协同运行的良好格局，推动事故处理工作不断进步。

结束语

本文通过风险评估与方案优化，形成了适配不同等级孔内事故的处置体系，有效弥补了传统方案的缺陷，为井下探放水事故处理提供了新路径。优化后的方案以风险为导向，兼顾安全性与高效性，配套措施保障方案落地可行性。但研究仍存在现场复杂地质条件下模型参数适配性不足的问题，后续可结合更多矿山实测数据，优化指标权重与评估参数。期望本文研究能为矿山探放水事故防控提供参考，推动井下探放水技术规范、智能化发展，切实降低事故发生率，筑牢矿井水害防治防线。

参考文献

- [1]春雷,王正伟,马跃.分析定向钻进技术在界沟煤矿井下探放水孔施工中的应用[J].煤炭新视界,2023(1):28-30.
- [2]李亚胜.矿井探放水孔施工中定向钻进技术探究[J].能源与节能,2024(12):127-129,311.
- [3]袁东平,孟宪亮.井下探放水钻孔不良地层段导水防护应对措施[J].煤炭科技,2023,44(3):123-126.
- [4]朱利斌,吴昊飞,路遥,等.煤矿井下精确定向探放水技术[J].内蒙古煤炭经济,2025(4):16-18.