

复杂水文地质条件下探放水工程技术研究

薛路伟

陕西彬长孟村矿业有限公司, 陕西 咸阳 713600

[摘要] 矿井水害, 作为矿山安全生产中最为严峻的挑战之一, 尤其在水文地质环境复杂的地区, 显得尤为突出。随着矿井开采的深入, 传统的防水措施已无法有效应对复杂地质条件下的水害问题。为了应对这一问题, 探放水工程作为一种创新的水害防治技术, 已经逐渐成为矿井水害治理中不可或缺的一部分。通过综合运用水文地质勘探与水文数据分析, 结合钻探、排水、封堵等技术手段, 探放水技术能够有效控制地下水体的活动, 显著降低水害发生的风险。在多层含水层、裂隙水及岩溶地貌等复杂地质环境中, 探放水技术展现出了其巨大的应用潜力, 为矿井安全生产提供了坚实的保障。文中探讨在复杂水文地质条件下, 如何应用探放水技术的成套方案, 分析其在矿井水害防治中的实际应用情况以及面临的挑战。

[关键词] 复杂水文地质条件; 探放水工程; 地下水运动规律; 风险管理; 技术经济分析

DOI: 10.33142/ect.v3i1.15107

中图分类号: TD745

文献标识码: A

Research on Exploration and Drainage Engineering Technology under Complex Hydrogeological Conditions

XUE Luwei

Shaanxi Binchang Mengcun Mining Co., Ltd., Xianyang, Shaanxi, 713600, China

Abstract: Mine water hazards, as one of the most severe challenges in mine safety production, are particularly prominent in areas with complex hydrogeological environments. With the deepening of mine mining, traditional waterproof measures are no longer effective in dealing with water hazards under complex geological conditions. In order to address this problem, water exploration and drainage engineering, as an innovative water hazard prevention and control technology, has gradually become an indispensable part of mine water hazard control. By comprehensively using hydrogeological exploration and hydrological data analysis, combined with drilling, drainage, plugging and other technical means, water exploration and drainage technology can effectively control the activities of groundwater bodies and significantly reduce the risk of water hazards. In complex geological environments such as multi-layered aquifers, fissure water, and karst landforms, water exploration technology has demonstrated its enormous potential for application, providing a solid guarantee for mine safety production. The article explores how to apply a complete set of exploration and drainage technology under complex hydrogeological conditions, analyzes its practical application and challenges in mine water hazard prevention and control.

Keywords: complex hydrogeological conditions; exploration and drainage engineering; the law of groundwater movement; risk management; technical and economic analysis

引言

我国幅员辽阔, 水文地质环境复杂多变, 地域气象、地质构造等因素直接影响矿井水害的发生。在水文地质条件复杂的地区, 矿井水害隐患相对较大, 因此, 在矿井作业过程中, 防范和处理水害问题显得尤为重要。随着矿井探放水技术的迅速推广, 施工探放水已成为应对矿井水害的有效手段, 相关学术讨论与研究也日益增多。

1 复杂水文地质条件的特性分析

1.1 水文地质条件分类及其特征

矿区水文地质环境的复杂性直接决定了水害的发生形式及其治理难度。根据水文地质条件的复杂程度, 可分为简单、中等复杂及极复杂三类。简单条件下, 地下水系统较为单一, 岩层透水性差, 水流缓慢且呈静态, 通常仅存在局部的裂隙水或孔隙水。此类条件下, 水害的风险较

低, 治理相对容易。在中等复杂条件下, 地下水系统呈现一定的复杂性, 局部裂隙水补给及流动变得更加显著, 水流的分布不仅局限于表层, 且可渗透至更深的岩层。水流的不均匀性加大了水害发生的可能性, 地下水在破碎岩层及裂隙的补给增加了矿井的水害风险。极复杂水文地质条件下, 地下水的分布与流动变得更加复杂且不可预测。含水层之间的相互作用, 以及断裂构造、溶洞等地质特征的存在, 进一步增加了地下水流动的复杂性。这种情况下, 水害发生的频率增高, 治理难度较大。

1.2 复杂水文地质条件下的地下水运动规律

复杂水文地质条件下, 地下水运动表现出强烈的非均质性及多样性。断裂带成为地下水流动的主要通道, 水流速度较快, 流量较大, 且水流的方向与速度受断裂带分布的影响, 具有较强的不确定性。岩溶地貌同样影响地下水

的流动。在岩溶地区，地下水流动具有突发性，水流变化较为剧烈。溶洞的形成与岩层的溶蚀，使水流的稳定性降低，地下水的流向与速度不可预测，增加了水文地质条件的复杂性。多个含水层之间的水力联系与补给关系使地下水的运动规律更加复杂。水位、压力等的剧烈变化，进一步影响地下水流动的稳定性，这对矿井水害治理与探放水工程实施构成挑战。

1.3 常见工程问题及其成因分析

复杂水文地质条件下，矿井常面临突水、渗漏及流砂等工程问题。突水发生时，地下水的突然涌入矿井，通常源自断层带、溶洞或丰富的含水层。若探放水孔未能及时控制水流，水害可能迅速扩展，威胁矿井安全及作业正常进行。渗漏问题主要出现在地下水流动强的区域，岩层裂缝或破碎区域常成为渗漏的源头。水流的不均匀性使得渗漏现象难以控制，可能改变地下水流动的路径，影响工程进度与效果。强水流会导致砂粒与细小颗粒的上升，从而引发井壁不稳或塌方。流砂不仅影响施工质量，亦威胁矿井设施的安全。因此，施工过程中需特别关注水流速度与水压的控制，避免此类次生灾害的发生。

2 探放水工程技术体系

2.1 探放水技术的基本原理

探放水技术的核心原理是通过钻探的方式揭示潜在的含水层与地下水体结构，并利用排水或封堵等手段，显著降低水害发生的可能性。关键的控制环节是地下水的压力调节，这一操作能够有效地提升岩体的稳定性，防止水流过大而引发矿井塌陷等安全事故^[1]。同时，作业环境的安全性也通过这一技术手段得到了有效保障。探放水技术不仅着眼于控制水流，还通过消除潜在的水害隐患，确保岩体的稳定性与施工环境的安全。

2.2 地质勘探与水文测量技术

地质勘探与水文测量是探放水工程的基础环节。通过钻探、物探以及水文试验等手段，能够准确识别地下含水层的分布、岩层的物理性质及水力特性。这些信息为确定水流的流向、流速以及水源的分布提供了必要的依据。在此基础上，水文测量技术通过实时监控地下水位、流量和水质的变化，确保了数据的动态获取。这些数据不仅能够作为施工过程中可能发生的环境变化提供重要反馈，还为调整施工方案与优化作业流程提供了依据。

2.3 地下水动态监测与预警技术

地下水动态监测与预警技术在现代水文地质研究中发挥着至关重要的作用。借助高精度监测设备，实时掌握地下水位、水压以及水质变化，为地下水动态提供了全面的监控手段。通过这些技术，地下水流动趋势能够迅速被捕捉，并通过数据分析与模型预测，准确地判断水流变化的未来走向。在这一过程中，预警信息的及时发布能够有效避免水害事故的发生，保证了施工方能够在水害发生前

采取必要的应对措施^[2]。地下水监测不仅能够实时反馈水位变化，还能在流动异常或环境变化中识别潜在的风险，增强了工程的安全性。

2.4 新型探放水技术研究进展

近年来，随着新型探放水技术的不断发展，探放水工程的精准性与施工效率得到了大幅提升。超前探测技术的引入，使得潜在水害隐患得以提前识别，确保了防治措施能够及时实施，提升了水害防控的精准度与效率。微震监测技术的应用，也为地下水流动异常提供了实时监测手段，通过震动数据分析，能够及时发现地下水流动的不规律变化，进一步提高了水害防控的能力。三维地质建模技术的出现，则使地下水与地质结构之间的复杂关系得到了更加直观与精准的展示，帮助施工团队全面了解水文地质条件，为合理制定防控策略提供了数据支持。在这些技术的支持下，探放水工程不仅更加高效、精准，也提高了复杂水文地质环境下的水害防控能力。

3 探放水工程施工关键技术

3.1 施工前的水文地质调查与风险评估

在大数据时代，遥感技术作为一种重要的地表信息采集手段，发挥了日益突出的作用。通过卫星或飞机搭载的传感器，遥感技术能够高效地获取广泛的地表数据，特别适用于水文地质的调查。该技术为研究地表水文状况、地形、植被覆盖以及土壤湿度等方面提供了有力的支持，符合水文地质调查对时效性和广度的需求。结合遥感技术与地质数据库，能够实现数据的高效获取，进一步增强了水文地质调查的准确性与全面性。在进行风险评估时，这些数据有助于识别地下水分布、岩性特征等关键信息，为评估潜在施工风险提供科学依据。结合信息化管理系统，调查数据的处理效率大幅提升，确保了结果的高可靠性。

3.2 探放水孔布置及优化设计

探放水孔的合理布置设计是确保施工高效性与效果的关键。矿井的地质条件及含水层的分布对布孔方案的确定至关重要，钻孔的角度、深度及孔密度都需要科学规划，这有助于提高水流控制的精度，减少施工过程中可能遇到的困难。数值模拟技术在优化布孔方案中起到了至关重要的作用。通过对地下水流动的模拟，可以评估不同布孔方案的有效性，从而优化设计方案。此过程不仅最大限度地提升了布孔方案的可行性与科学性，还能有效减少施工中的资源浪费及成本。模拟技术使得设计具有更高的灵活性，面对地质变化时能够做出及时调整，保障了探放水工程的顺利进行。

3.3 施工过程中的安全控制技术

钻进速度、注浆压力及排水量的合理控制直接影响到水害的防控以及施工的安全性。过快的钻进速度可能导致地下水压力无法有效控制，从而引发突水事故；而钻进过慢则不仅降低施工效率，还可能对地下水流态产生不良影

响^[3]。保持钻进速度在合理范围内,可以有效提高施工进度,同时确保地下水流态的可控性。注浆压力的控制也十分重要,过高的压力可能导致岩层破裂,引发突水,而过低的压力则会导致封堵效果不佳,无法有效隔离地下水。因此,注浆压力必须严格控制在合理范围,以确保地下水流动得到有效抑制,减少施工中的安全隐患。排水量控制同样需要结合具体的水文地质条件,防止出现排水过度或不足的现象。设备的定期检查有助于减少设备故障,避免因设备问题导致的施工中断。对操作人员的培训,则使其能够迅速应对施工中的突发情况,从而保障施工过程的高效与安全。

3.4 探放水效果的动态评价方法

为确保探放水工程的效果,钻孔出水量的变化、地下水水质的波动及水压的变化,都能反映地下水流动状态,及时发现问题并进行调整。单纯依赖现场数据无法全面评估探放水的效果,因此,结合地质分析与数学模型进行动态评估显得尤为重要。通过建立地下水流动的数学模型,并将实时数据与模型结果结合,可以更精确地预测水文地质的变化趋势,确保施工过程中的科学决策。动态评估为施工过程中的问题发现与解决提供了理论支持,同时也为后续调整提供了数据依据。

4 探放水工程的风险管理与防控措施

4.1 工程风险的类型与特征

探放水工程面临地质风险、施工风险以及环境风险,具备隐蔽性、突发性和扩展性等特征。隐蔽性使得潜在的风险难以在工程早期阶段被发现,突发性则意味着一旦风险暴露,往往会迅速引发连锁反应,造成严重后果。而扩展性则是指一旦风险发生,可能迅速蔓延至工程的其他部分,甚至波及周围环境,进一步加剧事故的影响。采取先进的技术手段进行实时监控与评估显得尤为重要。此外,在工程规划与实施过程中,及时有效地采取防控措施也能显著降低这些风险的发生率,从而保障工程的顺利进行。

4.2 探放水施工风险的识别与评估

探放水施工的风险识别与评估依赖于详细的施工记录与实时监测数据,采用层次分析法与模糊综合评判法对风险进行量化评估已成为一种有效的手段。层次分析法通过将风险因素分层,帮助识别最关键的风险点;而模糊综合评判法则可以结合专家意见与数据分析,对风险进行更加全面和精确的评估。这些评估方法能够为工程提供科学的风险管理依据,使得工程团队能够明确每一项潜在风险的严重程度,从而制订出具有针对性的应对策略,能够更好地识别施工中可能遇到的各种风险,确保采取相应的措施进行有效管理与控制。

4.3 复杂条件下的风险防控技术

在复杂的地质条件下,单一的防控手段往往无法应对所有潜在风险。因此,必须采取多种防控技术相结合的策

略。例如,在遇到不稳定岩层时,实施预注浆加固措施可以增强岩体的稳定性,防止水流或外力引起的地层松动。此外,动态调整探放水方案也有助于根据实时变化的地下水流情况和岩层状态,灵活优化施工方案,从而最大限度地减少水害风险。完善的监测系统,设置全面的监测网络,可以实时跟踪地下水位、压力以及其他关键参数的变化,一旦发现异常,能够迅速采取相应的措施加以应对。

4.4 应急预案与管理机制

应急预案体系应根据不同类型的突发事件制定详细的应对措施,确保各个环节能够有条不紊地进行。同时,明确各部门的职责与协调机制,能够在发生紧急情况时,迅速启动应急响应程序,保障应对工作的高效进行。模拟实际事故场景,不仅可以验证应急流程的有效性,还能够发现其中的潜在问题,从而进行优化与改进。演练的反馈有助于提高应急响应的效率,增强应对突发事故时的灵活性,确保能够在最短时间内做出精准反应。

5 技术经济分析

5.1 探放水工程的成本结构

探放水工程的成本结构由多项因素组成,包括地质勘探费用、设备材料费用、施工人工费用以及后期的运行维护费用。地质勘探费用是工程初期阶段的主要支出,特别是在地质条件复杂的区域,勘探的投入会显著增加。此外,设备材料费用涵盖了项目中所需的各种设备与材料,其支出会根据矿井的地质条件及施工复杂度有所不同^[4]。人工费用是另一个重要的成本组成部分,尤其是在施工过程中所需的劳动力,涉及工人的薪酬、培训与管理等费用。运行维护费用主要包括工程完工后设备的管理与维护支出,这部分费用随着设备运行的时间增加而逐渐上升。

5.2 工程技术经济效益评估

技术经济效益评估通过成本-效益分析法来对探放水工程进行评估。在这一过程中,重点分析水害防治投资与矿井安全生产之间的经济效益。成本-效益分析不仅能够为施工方案提供科学依据,还能够在后期实施过程中,帮助优化资源配置。通过这种方式,能够合理分配资金和资源,以确保在保障安全的同时,最大化地提高经济效益,为工程项目的成功实施提供保障。

5.3 经济优化与资源利用建议

为了提高探放水工程的经济效益,建议采取模块化施工与智能化管理结合的模式。模块化施工能够将复杂的工程任务分解成独立的子模块,从而提高施工效率,降低整体工程的时间与成本。智能化管理则通过信息化技术,实现对施工过程的全面监控,使得资源配置更加合理,设备利用率进一步提高。实时监控设备运行状态,可以在设备出现故障前及时进行检修,避免因设备故障导致的施工延误。这种技术优化不仅提高了施工效率,还有效控制了成本,促进了资源的最优配置,进一步提升了工程的经济效益。

6 结语

随着科技的快速发展与矿井水害防治需求的不断增长,探放水技术在矿井水害防控中的作用愈发突出。面对复杂水文地质条件,实施探放水工程时,必须采用更为精细的技术手段与科学的风险管理方案。随着技术的不断进步与多学科交叉研究的深入,探放水技术将更加精准高效,并在矿井水害防治中发挥更为重要的作用。

[参考文献]

[1]孙玉学,张庆松,王凤刚,等.基于 TEM 的铁矿灰岩富水区探放水综合治理研究[J].金属矿山,2021(5):197-204.

[2]刘振,庆先斌,赵成洲,等.复杂地质条件下定向长钻孔远距离精准探放老空水技术及应用[J].科技创新与应用,2022,12(19):150-153.

[3]孙来.采空区探放水应用技术研究[J].煤,2021,30(11):52-54.

[4]杨星.定向钻机在井下探放水中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2022(17):163-165.

作者简介:薛路伟(1995.5—),男,学历:本科,毕业院校:西安石油大学,所学专业:地质学,目前职称:助理工程师,目前就职单位:陕西彬长孟村矿业有限公司。