

煤矿探放水技术优化与风险评估研究

贺晓忠

陕煤集团神木张家峁矿业有限公司 陕西榆林 719300

【摘要】随着煤矿采深与采大，煤矿井下水文地质条件日益复杂，致使矿井井下水位升高或者渗水压力加大等现象越来越突出。本文研究目的是对煤矿探放水技术进行优化和风险评估，从而为煤矿安全生产提供更科学，更高效的技术支持。

【关键词】煤矿探放水技术；风险评估体系；地质勘探；水文监测

引言

随着煤矿开采深度不断加大，地质条件日益复杂化，煤矿探放水技术对确保矿井的安全生产起到了关键作用。但目前煤矿探放水作业存在技术水平较低，作业不够规范，风险评估体系不够健全等多方面的挑战。这些问题既影响探放水作业效率又加大矿井水害危险。因此健全煤矿探放水风险评价体系、提高探放水技术水平、强化安全管理已成为现阶段煤矿安全生产中的一项重要工作。

1 概述

1.1 煤矿探放水技术

煤矿探放水技术作为煤矿安全生产必不可少的环节，对防治矿井水害和确保矿工生命安全有着十分重要的作用。探放水技术涉及探水与放水两部分。探水是指采用先进勘探方法准确查清采掘工作面顶底板，侧帮以及前方等重点区域水体的空间位置与状态，旨在为预防矿井水害提供所需资料支撑^[1]。而放水就是在查明水体状况之后，用钻孔这种安全的方法把水释放出去，从而达到防止水害事故发生的作用。煤矿钻孔超前探水技术是其重要革新之一，该技术利用迎头钻孔与探测仪器相结合的方式实现钻孔周围条件的全方面超前探水工作，从而有效地提升探水精确度与效率。

1.2 煤矿探放水技术的重要性

煤矿探放水技术可以对地下水进行预先的探测和治理，从而有效地减少煤矿事故的发生风险。统计表明水灾事故对煤矿安全生产具有重大隐患，探放水技术应用能及时发现和治理采掘期间水源，避免突水事故发生，保障矿工生命安全及矿井稳定生产^[2]。煤矿探放水技术对生态环境的保护有着十分重要的意义。在进行煤矿开采时，地下水有可能破坏地表生态环境，探放水技术能够降低地下水在煤矿开采中的作用，减少生态环境破坏，达到绿色开采、可

持续发展的目的。煤矿探放水技术也可以提升煤矿生产的效率。采掘时地下水有可能给生产带来中断并影响效率^[3]。

1.3 煤矿探放水风险评估方法

定性评估是基于专家的经验与直觉来主观评价风险。通常采用风险矩阵法和事件树法进行计算。通过对探放水期间可能发生的风险事件分类描述，并分析了各类风险事件发生的严重程度及概率，在此基础上确定了风险等级^[4]。定量评估采用定量分析与计算相结合的方法来客观地评价风险。通常采用风险公式法和蒙特卡洛模拟法进行模拟。在分析历史数据与实时监测数据基础上，构建风险预测模型对探放水期间可能发生的风险事件以及发生风险事件的可能性与损失程度进行预测^[5]。综合评估结合主观与客观的评估方式，对各种风险进行全方位的评价。

2 煤矿探放水技术优化与风险评估存在的问题

2.1 探放水设备性能不足，探放水方法单一

探放水设备性能好坏，直接影响探放水效率与精度。目前，一些煤矿使用的探放水设备探测精度不高，稳定性较差，很难适应复杂地质条件探放水的需要。探放水方法单一，也制约着该工艺的深入发展。常规探放水方法通常只能针对具体地质条件进行探放水，对于不同地质条件适应性不强。这样就使得复杂地质条件下探放水作业很难达到理想效果，同时给风险评估工作带来较大困难。

2.2 探放水施工队伍专业素质不高，探放水施工制度不完善

煤矿探放水施工队伍专业素质不高，具体表现在技术人员理论知识与实践经验不系统、操作技能不娴熟、难以应付复杂多变探放水工作环境等。这样不仅会造成探放水作业效率低、效果差，而且也会加大安全风险和影响煤矿正常开采。部分煤矿探放水施工制度不够科学系统、施工流程不明、职责划分不清，造成探放水作业盲目随意。这

样不仅会造成资源浪费,增加成本,同时也会造成安全事故,对煤矿造成无法估量的危害。

2.3 风险评估方法不完善,水文地质条件复杂多变

传统风险评估方法通常很难全面,准确反映煤矿探放水作业的真实风险状态已有风险评估方法多是根据历史数据与专家经验进行评估,实时性与动态性不强,很难适应井下环境的快速不确定变化。煤矿井下水文地质条件复杂多样,主要有地下水位涨落、含水层分布、断层及陷落柱等地质构造,各因素互相联系、互相作用,使风险评估工作显得极为复杂。

3 煤矿探放水技术与风险评估优化对策

3.1 优化煤矿探放水技术

3.1.1 引进先进的探放水设备和技术,提高探测精度和效率

煤矿企业可以主动与科研机构和设备制造商合作,把握探放水设备和技术的最新发展动态,甄别适合本矿条件的设备和技术。企业要强化内部培训和技术交流,提高技术人员的操作技能和使用水平,确保先进设备和技术在实践中得到有效应用。煤矿企业要关注新技术的发展趋势,不断进行技术的创新和改造,以适应日益复杂的煤矿地质条件和安全生产的要求。孔中瞬变电磁技术是以法拉第电磁感应定律及麦克斯韦方程组为基础,由巷道中场源激励,钻孔中采用电磁传感器观测感应电压信号。孔中瞬变电磁技术展现了全方位的空间响应特性,能更深入地揭示地层的电性特征。由于接收探头放置在钻孔中,离探测目标较近,可以观察到较强的响应信号。由于距离地表较远,能有效地减弱孔外各种电磁信号对地表的扰动。电磁法勘探技术通过测定地下介质电磁性质的变化,可以探测含水层、断层等异常地质体,为煤矿探放水提供重要的水文地质信息。瞬变电磁法技术具有深度探测,高分辨率以及强抗干扰性等优点,尤其适用于复杂地质环境下煤矿探放水作业。

3.1.2 开发适用于不同地质条件的探放水方法,提高适应性

对于高地应力区域而言,常规探放水方法也许很难处理高应力条件下岩石复杂的变化情况。为此,煤矿企业及技术研发团队有必要对岩石力学原理进行深入研究,将先进探测技术与理论相结合,开发适合高地应力地区探放水技术。该技术可通过岩石变形与应力变化的实时监测来预测与防治潜在水害风险。同时本技术还应具有较高灵敏性与准确性,以及时发现和应对潜在安全隐患。破碎岩层

中探放水作业所面临的问题是岩层失稳且容易垮塌。可通过注浆加固及其他辅助工具,提高探放水作业稳定性与安全性。注浆加固技术是将浆液灌注到破碎岩层内,使之凝固后与周边岩层紧密地结合在一起,形成稳定整体。这既能加强岩层承载能力,又能有效预防岩层坍塌、渗漏等病害。除高地应力、破碎岩层外,含水层的不均匀分布是煤矿探放水作业应着重考虑的。

3.2 提升煤矿探放水作业操作

3.2.1 加强操作人员的技术培训,提高技能水平

煤矿企业要建立完善培训计划,保证参加探放水作业人员均能够得到系统全面技术培训。训练内容要包括探放水设备基本原理、操作流程、安全操作规程和应急处理措施,让操作人员能熟练运用探放水技术并保证操作时的安全性。煤矿企业要重视实践操作能力。采用模拟操作,现场观摩和实际操作相结合的方法,使操作人员在实践中积累经验和提高技能。也可举办技术交流活动,使操作人员相互学习、相互参照、共同提升技能水平。煤矿企业应建立健全考核激励机制。采用定期考核与评价的方式,量化考核操作人员技能水平,并对业绩突出的操作人员予以表彰奖励,以调动他们的工作热情与学习积极性。对于技能水平欠缺的操作人员要有针对性地加以训练与辅导,以帮助他们提高技能水平。

3.2.2 制定规范的探放水作业流程,确保作业安全

探放水操作前要做好充分准备。其中包括对全部探放水设备进行综合检验,以保证其工作状态良好、可靠性高、稳定性好。安全设施配置同样必不可少,例如安全警示标志、应急照明设备、逃生通道等,均需在操作之前确认并安排到位。对于作业人员来说,资质审核同样非常重要。参加探放水作业者均须经过专业培训并获得相关操作证书。操作前应重新审查操作人员资格,以保证其有充分的能力和知识处理可能发生的各种复杂问题。操作时,要对每一个环节进行细致的计划,明确每个环节负责人及操作流程。比如在设备操作环节要由有经验的技术人员来承担,这些技术人员要对设备操作方法及注意事项了如指掌,以保证设备能正常稳定地工作。数据采集环节是由专业地质人员承担,要具备相关地质知识及数据分析技能以保证所采集数据的准确性与可靠性。异常处理环节要制定周密的应急预案及处理措施。通过识别、评价操作过程中可能存在的各种风险,可提前制定出相应对策,使异常情况下得到快速有效处理。应建立应急响应机制以保证紧急情况下能快速启动应急预案以保证作业人员安全。从作

业流程上讲，要突出安全操作规程。全体作业人员一定要严格遵守操作规程，以免因为操作失误造成安全事故。应加强作业人员安全教育与训练，增强其安全意识与风险意识，以保证其在操作过程中能随时提高警惕。

3.3 煤矿探放水风险控制

3.3.1 结合煤矿井下的实际情况和具体条件，选择适合的风险评估方法

煤矿井下实际条件涉及地质构造、水文条件、设备状况、人员技能等诸多方面。这几个因素交织在一起影响探放水作业风险等级。可以使用风险矩阵分析法（LS）来对煤矿的探放水操作进行风险估计。这种方法是通过评定事故发生概率（L）和其产生的后果的严重程度（S）来计算风险值（ $R=L \times S$ ），进而明确风险的级别。评价时，可将历史数据与专家经验相结合，量化分析事故发生概率与后果严重程度，保证评价结果准确可靠。作业条件危险性分析法（LEC）同样是一种适用于煤矿探放水作业的风险评估手段。该计算方法是通过评估事故发生概率（L）、人员在危险环境中的暴露频率（E）以及事故产生的后果的严重程度（C）来估算潜在的危险性（ $D=L \times E \times C$ ）。评价时，可综合考虑人员对设备操作熟练程度，设备故障率和地质条件稳定性来全面评价作业条件是否危险。德尔菲法（专家调查法）也是一种常用的风险评估方法（如表1所示）。通过向多名专家进行咨询，得到其对于风险的评价与判断，并可根据专家的建议制定出相应的风险控制措施。煤矿探放水工作时，可邀请地质、采矿及安全工程方面的专家对工作过程中存在的风险作出评价，以保证风险控制措施科学有效。

表1 煤矿探放水风险评估的科学评估方法表

序号	评估方法	评估因素	计算公式	备注
1	风险矩阵分析法（LS）	事故概率（L） 后果严重程度（S）	$R = L \times S$	结合历史数据与专家经验进行量化分析
2	作业条件危险性分析法（LEC）	事故概率（L） 暴露频率（E） 后果严重程度（C）	$D = L \times E \times C$	综合考虑人员操作熟练度、设备故障率和地质条件稳定性
3	德尔菲法（专家调查法）	专家经验与判断	-	邀请地质、采矿及安全工程专家参与评价

3.3.2 综合考量多方因素，确保对策的可行性和有效性

对煤矿井下实际状况进行深入调查，主要有地质构造复杂、水文条件动态变化、设备状况稳定、人员技能专业等。这些因素都会对探放水作业风险的种类及大小产生直

接的影响。从技术可行性角度来看，有必要对已有技术与装备进行适用性评价，并思考引进新技术或者新装备的必要性与可行性。新技术或者新装备可能会导致效率提高，风险降低，但是还必须考虑到它们的费用，技术难度及对操作人员培训的要求等。也要与技术供应商或者专家充分的交流和沟通，以保证选用的技术或者装备能符合作业需求。就经济合理性而言，有必要综合分析应对措施的成本效益。其中包括评估对策执行过程中直接投入的经费投入，设备购置费用，人员培训费用及其他可能产生的经济社会效益。通过对各种对策成本效益的比较和分析，可选择具有较高经济效益的对策方案。从安全可靠角度来看，必须保证拟定的应对措施可以有效地减少风险和保证作业人员安全。这就要求必须根据实际情况制定与安全标准相适应的安全操作规程与应急预案，同时要加强安全培训与监管。还要定期检查、考核作业现场，发现并消除隐患，保证作业过程安全、可靠。还要考虑一些非技术因素，如环境因素、法规政策和社会影响。环境因素可包括气候，地形和其他自然条件在操作中所起到的作用。

总结

完善煤矿探放水技术及风险评估体系，是保障煤矿安全生产的重点。通过先进探放水设备与技术的引进，研制出适合不同地质条件下的探放水方式，可提高探放水作业效率与精度。建立标准的探放水作业流程、加强对操作员技术培训、利用先进地质勘探与水文监测技术等可综合获得煤矿地质与水文地质资料，并为风险评价提供精确依据。健全的风险评估体系可为矿井探放水作业安全管理、减少水害风险、确保矿井安全生产提供科学依据。在今后的发展中，科技在进步，管理在完善，煤矿探放水技术及风险评估体系也会越来越成熟，越来越高效，从而为煤矿的安全生产提供了更扎实的保证。

参考文献：

- [1] 祝凌霄, 孙林. 综合矿井物探在煤矿探放水中的应用研究[J]. 中国矿业, 2023, 32 (S02): 192-196.
- [2] 魏宏超. 煤矿超前探放水硬岩定向长钻孔精准高效施工技术[J]. 煤矿机械, 2023, 44 (6): 79-83.
- [3] 孙超. 定向钻进技术在煤矿井下探放水孔施工中的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023 (19): 121-123.
- [4] 崔振. 长距离定向钻探技术在煤矿探放水中的应用研究[J]. 机械管理开发, 2023, 38 (2): 288-289.
- [5] 王颜. 煤矿巷道探放水安全技术措施分析[J]. 山西冶金, 2022 (001): 045.