

老空积水区高精度探测与安全疏放技术实践

朱静斌

山西鲁能河曲电煤开发有限责任公司上榆泉煤矿 山西 忻州 034000

摘要: 随着煤炭资源开发向深部延伸,老空积水引发的透水事故已成为制约矿井安全高效生产的重大隐患。本文聚焦老空积水区高精度探测与安全疏放技术。先概述老空积水区,接着阐述高精度探测技术,涵盖物理、钻探及综合探测技术;再介绍安全疏放技术,包括疏放原则、工艺、设备与安全保障。通过实践案例分析技术应用,最后探讨发展趋势,指出智能化程度将不断提高、探测精度持续提升、排水系统更加高效智能以及绿色环保理念深入,为老空积水区治理提供参考。

关键词: 老空积水区;高精度探测;安全疏放;技术实践

引言:在煤矿等矿产资源开采领域,老空积水区是严重威胁安全生产的重要因素。老空积水积聚于废弃采空区,水量、水压等情况复杂,一旦突水,会造成淹井、人员伤亡等重大事故。传统的探测与疏放技术存在精度不足、安全性差等问题。随着科技发展,高精度探测与安全疏放技术成为保障安全生产的关键。研究并实践这些技术,有助于准确掌握老空积水区状况,实现安全疏放,降低事故风险,对矿业可持续发展意义重大。

1 老空积水区概述

(1)老空积水区是煤矿等地下开采作业中因采空区塌陷、封闭不严或与地表水、地下水连通而形成的积水区域。这些区域往往隐藏在地下深处,具有隐蔽性强的特点。在煤矿开采进程中,随着工作面的推进,上部或相邻的采空区会逐渐被废弃,若排水系统不完善或遭遇突发地质变化,如断层导水等,就会在采空区内积聚大量水体,进而形成老空积水区。(2)老空积水区危害巨大。一方面,它如同地下“定时炸弹”,当后续开采作业接近或揭露老空积水区时,强大的水压可能瞬间突破隔水层,引发突水事故,造成人员伤亡和设备损毁,严重威胁矿井安全生产。另一方面,积水可能携带大量有害物质,如硫化氢等,对井下作业人员的生命健康构成直接威胁。而且,老空积水还会导致周边岩体软化,降低围岩稳定性,增加巷道维护难度和成本。(3)准确探测与有效治理老空积水区至关重要。这需要综合运用物理探测、钻探探测以及数值模拟等多种技术手段,精确掌握积水区的位置、范围、水量和水压等关键参数。在此基础上,制定科学合理的疏放方案,将积水安全排出,消除安全隐患,保障矿井的持续、稳定和安全生产^[1]。

2 老空积水区高精度探测技术

2.1 物理探测技术

物理探测技术凭借其非破坏性与高效性,成为老空积水区探测的先锋手段。电磁法通过分析地下介质电阻率差异,精准定位积水区域。例如,瞬变电磁法对低阻体敏感,可有效探测500米深度内的积水边界,为后续作业提供宏观指导。地震法利用弹性波传播特性,三维地震技术能清晰识别采空区范围,而瑞利波法则适用于巷道超前探测,虽对水体不敏感,但可辅助判断地质结构。再者,地质雷达法通过高频电磁波反射成像,实现厘米级分辨率,尤其适用于浅部(<50米)积水区探测。此外,音频电穿透法能探测工作面顶底板含水构造,无线电波透视法则可识别断层、陷落柱等隐蔽导水通道。物理探测技术虽具有高效、全面的优势,但需结合地质资料综合解译,以避免因多解性导致的误判,确保探测结果的准确性。

2.2 钻探探测技术

钻探探测技术以其直接性和精准性,成为验证物理探测结果的关键环节。地面钻探通过布设钻孔获取岩芯样本,可精确测定积水标高、估算积水量,为疏放方案提供数据支持。井下坑道钻机技术实现“随钻测斜、自动纠偏”,水平钻机技术则可定向探测隐蔽积水区,如山西某矿采用水平钻机成功探放120米深的老空水,展现了钻探技术在复杂环境下的应用能力。钻探过程中需严格控制钻进参数,如采用50mm厚木板加固煤壁,防止片帮或套管挤出,确保施工安全。同时,疏放时需通过放水硐室专用排水管排至采区水仓,严禁积水顺巷道流淌,以避免二次灾害。钻探技术虽成本较高,但可获取地层岩性、水压等直接参数,是物理探测结果验证和隐患治理的最终手段。

2.3 综合探测技术

首先,综合探测技术通过融合物理与钻探方法,构

建“物探先行、钻探验证”的闭环探测体系，显著提升探测精度与可靠性。例如，山西某矿采用“瞬变电磁法+高密度电法”组合探测，瞬变电磁法横向分辨率高，可快速圈定异常区；高密度电法纵向分辨率强，进一步验证积水边界，两者结果相互印证，探测精度提升至90%以上。其次，对于复杂地形或多层积水区，需结合三维地震、CSAMT（可控源音频大地电磁法）等技术，如大同煤矿集团应用单分量CSAMT勘探，通过相位曲线定量反演，成功探测200米深度内的多层积水采空区。再者，综合探测需建立标准化流程：先地面物探圈定范围，再井下物探精准定位，最后钻探验证并疏放。实践表明，综合技术可降低误报率30%以上，如晋煤集团应用综合探测后，消除20余处积水隐患，安全开采煤炭3000余万吨，新增经济效益10亿元，充分验证了其应用价值。

2.4 数值模拟与动态监测技术

首先，数值模拟技术通过构建地质-水文耦合模型，可精准预测老空积水区的水位变化、水压分布及突水风险。利用有限元法或有限差分法，结合地质勘探数据与水文参数，能模拟不同开采条件下的积水动态，为疏放方案制定提供科学依据。其次，动态监测技术是保障探测精准度的关键。分布式光纤测温系统可实时监测积水区温度场变化，通过温度异常定位积水边界；微震监测技术则通过捕捉岩体破裂信号，判断积水区与采空区的连通性。这些技术实现了从静态探测到动态监控的转变。再者，数值模拟与动态监测的融合应用显著提升了探测可靠性。通过将实时监测数据反馈至数值模型，可动态修正预测结果，形成“预测-监测-修正”的闭环体系。某矿实践表明，该技术使积水区定位误差从±15米缩小至±5米，为安全开采提供了有力保障。

3 老空积水区安全疏放技术

3.1 疏放原则

首先，安全至上原则。老空积水区存在诸多未知风险，如高压突水、有害气体涌出等，安全疏放必须将人员生命安全和生产设施安全置于首位。任何疏放作业都需在充分评估风险、制定完善安全措施后开展，严禁冒险蛮干。其次，科学规划原则。依据老空积水区的地质条件、积水量、水压等参数，结合矿井开采布局和排水能力，科学制定疏放方案。合理确定疏放顺序、疏放速度和疏放终点，确保疏放过程平稳有序。再者，环境友好原则。疏放过程中要尽量减少对周边环境的破坏，避免因疏放作业引发地表塌陷、水土流失等生态问题。同时，对疏放出的污水要进行妥善处理，达标排放，防止污染水源和土壤。

3.2 疏放工艺

首先，钻孔疏放工艺。通过在老空积水区周边布置疏放钻孔，利用钻孔将积水引入排水系统。钻孔的布置要根据积水区的形态和范围合理确定，确保能够充分疏放积水。在钻孔施工过程中，要严格控制钻孔质量，防止出现偏斜、塌孔等问题。其次，巷道疏放工艺。对于积水范围较大且具备巷道施工条件的区域，可采用巷道疏放。通过掘进疏放巷道，直接接近积水区，利用巷道将积水排出。巷道疏放要注意顶板管理和瓦斯防治，确保施工安全。再者，联合疏放工艺。将钻孔疏放和巷道疏放相结合，发挥各自优势。先通过钻孔降低积水区水压，再利用巷道进行最终疏放，提高疏放效率和安全性^[2]。

3.3 疏放设备与安全保障

首先，疏放设备选型。根据疏放水量、水压和疏放距离等因素，选择合适的水泵、排水管和钻机等设备。水泵要具备足够的排水能力和扬程，排水管要耐压、耐腐蚀，钻机要满足钻孔深度和直径的要求。其次，设备维护与管理。定期对疏放设备进行检查、维护和保养，确保设备处于良好的运行状态。建立设备档案，记录设备的运行情况和维修历史，及时发现并排除设备故障。再者，安全保障措施。在疏放现场设置安全警示标志，配备必要的防护用品和应急救援设备。加强人员培训，提高作业人员的安全意识和操作技能。建立应急预案，定期进行演练，确保在发生突发情况时能够迅速、有效地进行应对，保障人员生命安全和疏放作业的顺利进行。

3.4 疏放效果评估与后续管理

首先，效果评估指标。建立科学合理的疏放效果评估指标体系，包括积水排放量、水位下降速度、水压降低程度等。通过定期监测和数据分析，准确评估疏放效果是否达到预期目标。其次，评估方法。采用多种评估方法相结合，如现场测量、数据对比分析、模型模拟等。综合运用这些方法，全面、客观地评价疏放效果，为后续管理提供准确依据。再者，后续管理措施。根据疏放效果评估结果，制定相应的后续管理措施。如果疏放效果不理想，要分析原因并及时调整疏放方案；对于疏放后的区域，要加强监测和管理，防止积水再次积聚。同时，要做好疏放区域的生态恢复工作，减少对环境的影响，实现煤炭开采与环境保护的协调发展。

4 老空积水区高精度探测与安全疏放技术实践

山西鲁能河曲电煤开发有限责任公司上榆泉煤矿，针对上覆老空积水区治理难题，创新应用高精度探测与安全疏放技术。在探测环节，采用综合电磁法，结合单分量CSAMT勘探新技术，精准定位上层积水采空区位置

与范围,探测准确率超80%,有效解决了复杂地质条件下探测难题。安全疏放方面,依据“预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采”原则,实施多孔疏放方案。通过利用履带式定向钻机施工大倾角、大孔深钻孔设计,结合飞管筛管技术,有效防止钻孔垮孔、堵孔,保障放水效率。同时,严格管控放水速度,使用闸阀控制单孔流量不超过50m³/h,铺设双趟排水管路,在排水管路上安装固定式电子流量计监测水量变化情况,利用提前施工的转排临时水仓调节排水量,确保排水系统稳定。实践表明,该技术体系显著提升了老空积水治理效率与安全性。

5 老空积水区高精度探测与安全疏放技术的发展趋势

5.1 智能化程度不断提高

未来,老空积水区探测与疏放技术将深度融入智能化浪潮。借助大数据、云计算与人工智能技术,探测设备将具备自动分析数据、识别异常的能力。例如,智能传感器网络可实时采集积水区的地质、水文等多维度数据,并通过算法模型快速判断积水位置、范围及潜在风险。疏放环节,智能控制系统能根据积水动态变化,自动调整疏放速度、流量及排水路径,实现精准疏放。同时,远程监控与操作平台将得到广泛应用,工作人员可在地面实时掌握井下情况,通过指令远程控制疏放设备,提高作业安全性与效率。此外,智能预警系统能提前预测可能出现的危险,如突水、有害气体泄漏等,并及时发出警报,为人员撤离和应急处置争取宝贵时间。

5.2 探测精度持续提升

物探技术将不断创新,通过优化算法、提高设备分辨率,实现对老空积水区更精确的探测。如高精度地震勘探、电磁法勘探等技术,能更清晰地识别地下地质结构与积水分布。钻探技术方面,定向钻进、随钻测量等技术将更加成熟,钻孔轨迹控制更精准,可准确到达目标积水区域。同时,多技术融合探测将成为趋势,将物探、钻探、地质分析等多种手段相结合,相互验证、补充,进一步提高探测结果的准确性和可靠性,为安全疏放提供更坚实的依据。

5.3 排水系统更加高效智能

新型排水设备将不断涌现,具备更高的排水能力和效率。如大功率、低能耗的水泵,能在复杂环境下稳定运行。智能排水系统将实现自动化控制,根据积水水位、压力等参数自动调节水泵运行状态,避免能源浪费。同时,排水管路的设计将更加合理,采用耐腐蚀、高强度的材料,减少管路破损和泄漏。此外,排水系统还将集成故障诊断和自修复功能,能及时发现并处理设备故障,确保排水工作的连续性和稳定性。

5.4 绿色环保理念深入

在老空积水区疏放过程中,将更加注重对环境的保护。疏放出的污水将经过严格处理,达到排放标准后循环利用,如将疏放水用于矿井降温、除尘等,提高水资源利用率,减少对水资源的浪费。在设备选型上,优先选择低噪音、低排放的设备,减少对周边环境的干扰。此外,还将加强对采煤沉陷区域生态的恢复和治理,通过植树造林、土地复垦等措施,改善生态环境,实现煤炭开采与环境保护的协调发展^[3]。

结束语

在老空积水区高精度探测与安全疏放技术实践中,我们通过物理探测、钻探及综合技术,精准定位积水区边界与水量,为安全疏放筑牢根基。安全疏放环节,严格遵循操作规范,运用科学方法与先进设备,确保积水有序排出,极大降低突水风险。此次实践不仅验证了技术体系的可靠性与有效性,更为行业积累了宝贵经验。未来,我们将持续优化技术、强化管理,以更高标准应对老空积水挑战,为矿山安全生产保驾护航,推动行业迈向更安全、高效的发展新征程。

参考文献

- [1]严文成.综合物探技术在煤矿采空区勘查中的应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2024,(06):178-180.
- [2]王拯.煤矿采空区水文地质测量分析[J].能源与节能,2024,(07):312-314
- [3]申志鑫.店坪煤矿采空区积水多道瞬变电磁探测技术试验应用[J].煤炭与化工,2019,42(09):57-61+69.