

自动化监测系统在井下放水与卸压技术中的实现

邓亿

徐州矿务（集团）新疆天山矿业有限责任公司，新疆维吾尔自治区阿克苏地区库车市，842000；

摘要：自动化监测系统作为现代矿井安全管理的重要技术手段，在井下放水与卸压技术中发挥了关键作用，通过部署高适应性的传感器网络，实时采集井下水位、压力等关键数据，结合大数据分析和智能控制技术，自动化监测系统能够对矿井环境进行精准感知、动态监控和高效管理。在井下放水技术中，系统通过智能算法优化排水策略，有效提高了排水效率，降低了水泵能耗，同时减少了水患风险，在卸压技术中，系统通过实时数据分析和异常预警功能，精准定位危险区域，优化卸压方案，并保障作业安全性，与传统方法相比，自动化监测系统显著提升了井下作业的科学性、精准性和效率，为矿井安全运营提供了有力支持。

关键词：自动化监测系统；井下放水；卸压技术；矿井安全；实时监测

DOI：10.69979/3041-0673.25.01.084

井下放水与卸压是矿井生产中的关键技术，其目的是通过控制水体和压力变化，减少井下环境的不稳定性，保障人员与设备的安全，然而，由于矿井环境的复杂性和多变性，传统的人工监测手段存在效率低、准确性不足等问题。随着自动化技术的快速发展，基于传感器、数据采集与处理的自动化监测系统逐渐成为解决这些问题的重要途径，这些系统不仅能实现对矿井压力和水位的实时监控，还能对异常情况进行预测和预警，从而提高操作的安全性和精确性，本文旨在分析自动化监测系统在井下放水与卸压技术中的应用价值及其实现方法，以期为矿井技术优化提供新的思路。

1 自动化监测系统概述

1.1 井下放水与卸压技术的技术背景与需求分析

井下放水与卸压技术是矿井安全生产中的关键环节，其主要任务是解决矿井作业中因积水和地压变化带来的安全隐患，确保矿井的正常运行和工人的生命安全，在矿井开采过程中，地下水广泛分布于含水层、裂隙及矿井巷道中，由于开采活动的扰动，这些水体可能以突涌的形式侵入矿井，造成巷道积水、设备损坏甚至井下作业中断。同时，随着矿井开采深度的增加，地压问题日益显著。深部矿井的岩层受应力集中影响，容易发生岩爆、塌方等地压灾害，对矿井安全构成了巨大的威胁，故而，井下放水与卸压技术的研究与应用，是保障矿井安全、提升作业效率、减少灾害风险的必然选择。传统的井下放水与卸压技术以人工监测和机械化作业为主，依赖工人经验和定期巡视来判断积水和地压状况，这种

方式虽然在过去的矿井开采中发挥了一定作用，但随着矿井条件日趋复杂，传统技术的弊端逐渐显现：一方面，人工监测受制于人员精力、巡查频率和监测范围的限制，无法实现对矿井环境的实时、全面掌握，另一方面，人工操作容易因误判或延误而导致安全事故的发生。

矿井开采对放水与卸压技术的需求正变得越来越迫切，一方面，矿井开采深度不断增加，地质条件愈发复杂，传统技术已无法应对深井开采环境下的高地压、高水压条件，另一方面，随着国家对矿山安全监管力度的加大，以及矿山企业对生产效率和安全水平要求的提升，智能化、自动化的放水与卸压技术已成为行业发展的主要趋势，采用这些先进技术，不仅能够显著降低矿井生产的安全风险，还能提升矿山的生产效率，优化资源利用率，助力矿山企业实现绿色、安全、高效发展^[1]。井下放水与卸压技术是矿井开采过程中不可或缺的重要技术，其应用范围和技术水平直接关系到矿井的安全性与生产效益，通过引入现代信息技术和智能化控制手段，放水与卸压技术正在从传统的经验式、机械式作业向实时化、智能化管理转型，这种转型既是矿井开采领域技术进步的必然结果，也是当前复杂开采环境对安全生产提出的新要求。

1.2 自动化监测系统的构成及工作原理

自动化监测系统由传感器模块、数据传输模块、中央控制系统和终端反馈装置组成，各部分协同工作形成完整的监测与控制体系，传感器模块负责采集井下环境中的水位、压力及温湿度等关键参数，通过无线传输技

术将数据实时传输至中央控制系统，中央控制系统利用智能算法对数据进行分析与处理，并结合预设的安全阈值对异常情况进行预警或自动调控。最终，反馈装置执行调节操作，如启动水泵放水或打开卸压阀门，从而实现矿井的动态稳定与智能化管理，这种闭环控制机制显著提高了系统的响应速度和准确性，为井下作业提供了强有力的技术保障。

1.3 自动化技术在矿井领域应用的现状与发展趋势

近年来，自动化技术在矿井中的应用日益广泛，尤其是在井下放水与卸压技术领域，自动化监测系统逐渐取代了传统的人工操作，成为主流技术手段，尽管当前系统已能够满足大部分矿井生产需求，但在高温高湿等恶劣井下条件下，仍存在传感器寿命较短、信号传输易受干扰等问题。此外，系统在数据智能化分析和深度学习应用方面还处于初步阶段。随着物联网、大数据和人工智能技术的不断进步，未来的自动化监测系统将实现更高水平的集成化与智能化，进一步提升矿井的安全性、稳定性和经济效益，同时为实现无人化矿井奠定坚实基础^[2]。

2 自动化监测系统在井下放水技术中的应用

2.1 放水系统的监测与控制原理

井下放水系统的核心任务，在于通过精准控制水泵与排水管道的运行状态，及时降低矿井积水水位，以有效避免矿井遭受水浸或承受水压威胁，自动化监测系统在这一过程中发挥着至关重要的作用，它凭借实时监测、智能控制与高效调度的功能，实现了对水位的精细化管理，系统通常配备包括超声波水位传感器、压力传感器及流量计在内的多种传感设备。这些设备负责实时采集井下水位及环境参数数据，并通过无线通信技术将数据传送至地面控制中心，在这里，数据与安全阈值分析以及智能算法相结合，共同动态确定最优的放水策略：一旦水位触及预警值，系统便会自动启动水泵，优化水泵运行组合，调节流量，同时依据排水通道容量动态调整排水速度，有效规避水泵过载或排水不畅所带来的安全隐患。

以某大型煤矿为例，该矿井曾深受传统放水方式局限之苦，多次遭遇积水险情，问题主要集中在人工监测滞后、积水超限报警不及时、放水过程能耗高企以及设

备故障响应迟缓等方面，为破解这一难题，煤矿引入了基于自动化监测系统的智能放水方案，不仅在矿井积水区域布设了超声波水位传感器，还在水泵房安装了压力传感器与流量计。借助物联网技术，监测数据得以实时传输至地面监控室，监控人员通过大屏幕即可直观掌握矿井水位动态，更为关键的是，改造后的系统融入了智能算法，能够在水位攀升至预设阈值时，自动计算出最优放水策略，遴选能效最高的水泵投入运行，并依据实时水位灵活调整排水速度。

在一次强降雨天气中，该煤矿的自动化放水系统展现出了出色的应对能力，系统通过动态调度三台水泵协同作战，在积水水位逼近安全阈值之前，便高效完成了排水任务，有效避免了矿井停工与设备损坏的风险，此外，系统还通过对能耗数据的深入分析，进一步优化了水泵的运行参数，使得整体能耗降低了约15%。这一案例生动诠释了自动化监测系统在矿井放水领域的显著优势，其智能化控制不仅大幅提升了放水效率，还极大降低了人工干预的需求与放水成本，可以说，自动化监测系统的应用，成功推动矿井放水从“被动应对”向“主动防控”的转变，为矿山企业的安全生产筑起了一道坚实的防线，同时也为其他矿山的智能化改造提供了宝贵的借鉴经验。

2.2 传感器与数据采集技术在井下环境中的适应性

井下环境复杂多变，包括高湿度、高温、粉尘以及潜在的爆炸性气体等，这些因素对传感器的稳定性和数据采集的准确性提出了严峻挑战，故而，自动化监测系统在井下放水中的应用离不开高适应性的传感器技术支持。目前，广泛应用的传感器类型包括超声波水位传感器、压力传感器以及多功能环境监测传感器等，这些传感器通常采用防水、防尘、防腐蚀设计，并具有抗电磁干扰能力，以确保其在恶劣井下条件下的稳定运行。此外，传感器采集到的数据通过无线通信技术传输到控制中心，系统利用先进的信号处理技术对噪声和误差进行校正，确保数据的精准性和可靠性，通过这种方式，自动化监测系统克服了井下复杂环境的影响，为放水作业提供了可靠的数据支撑和技术保障。

2.3 实现高效放水的智能化技术方案

为了实现井下放水的高效性和智能化，自动化监测

系统采用了一系列先进的技术方案，首先，在硬件层面，通过构建分布式监测网络，将传感器布置在矿井的关键位置，形成对水位变化的全方位实时监测体系。其次，在软件层面，系统结合大数据分析与机器学习技术，对长期积累的历史数据进行深度挖掘，建立矿井水位变化模型和放水优化策略。在放水过程中，系统通过智能算法实时计算最优放水路径和流量分配方案，最大程度地减少水泵能耗和排水时间，此外，系统还具备故障诊断功能，当排水设备出现异常时，系统可自动切换备用设备或发出报警，确保放水作业的连续性和安全性，综合来看，这种智能化技术方案不仅提高了放水效率，还显著降低了人工干预的需求，为井下水害防控提供了强有力的技术支持^[4]。

3 自动化监测系统在卸压技术中的应用

3.1 矿井压力监测与卸压系统的协同工作机制

矿井压力的变化对井下作业安全有着直接影响，尤其是在深部开采区域，地压的快速变化可能导致顶板坍塌、巷道变形甚至瓦斯突出等事故，为了有效控制地压风险，卸压技术通过钻孔卸压、注浆加固或煤层爆破等方式释放应力，从而减缓或消除危险。然而，传统的卸压操作依赖于人工经验，难以实现实时控制与精确干预，自动化监测系统的引入，构建了监测与控制协同工作的卸压机制，通过布置地压传感器网络，实时获取矿井不同区域的压力数据并进行动态分析，当系统监测到局部压力异常升高时，会自动启动相应的卸压装置，采取如开启卸压孔或控制注浆压力等操作，同时，系统会将操作过程记录并反馈给中央控制中心，以便操作人员随时掌握卸压进展并调整策略，从而显著提升了矿井卸压作业的安全性与效率。

3.2 井下动态压力数据的采集与分析技术

井下压力数据的采集与分析是卸压技术的核心环节，其精准性直接影响卸压作业的效果，自动化监测系统通过布置多个应力传感器，对矿井不同区域的压力分布进行全方位监测，采集的数据包括垂直应力、水平应力和围岩变形等关键参数。这些数据通过无线通信技术传输至中央控制系统，利用大数据分析算法和压力预测模型进行处理，最终得出压力变化趋势与危险区域分布，以下为某矿井压力监测系统的动态数据表（见表1）与分析图（示例图1）：

表1：某矿井压力监测系统动态数据表

时间 (小时)	压力值 (MPa)	压力变化率 (%)	状态分析
0	1.5	-	正常
4	1.8	+20%	警戒
8	2.3	+28%	危险区域形成
12	2.6	+13%	高危状态

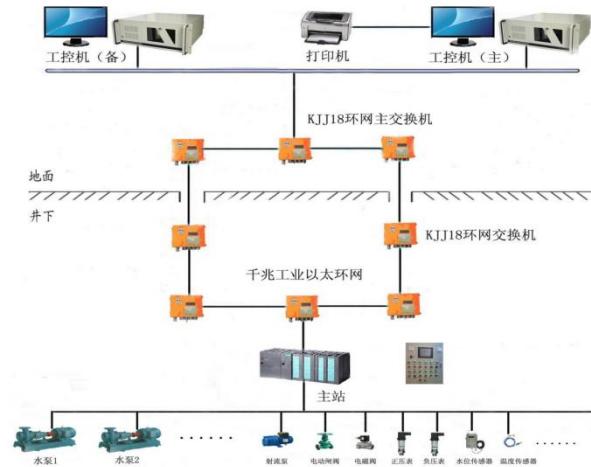


图1：某矿井压力监测系统分析图

通过这些数据的可视化展示，操作人员可以直观地了解压力变化情况，从而制定更加科学的卸压方案，动态压力数据的实时采集与分析技术，不仅提高了卸压操作的精准度，还有效降低了因地压变化引发事故的风险^[5]。

3.3 基于自动化监测的卸压技术优化与安全保障

自动化监测系统的应用不仅提升了卸压技术的效率，还在优化方案和安全保障方面展现出了显著优势，在卸压方案优化上，系统通过对矿井压力历史数据和实时数据的综合分析，能够准确判断压力集中区域及危险等级，并根据压力的分布特点生成最优卸压方案，例如优化钻孔布置位置与间距、调整注浆量或选择合适的爆破点。在安全保障方面，自动化系统具有异常预警与紧急响应功能，当某一区域压力变化速率过高或超过设定安全值时，系统会立即发出警报，同时自动启动防护设备（如支架增强或卸压孔加速排气），此外，系统的远程监控功能使得操作人员可以在地面监控中心对井下卸压作业进行实时监督，减少了人员直接进入高危区域的风险，通过上述优化与安全保障措施，自动化监测系统大幅提高了卸压技术的科学性和可靠性，保障了矿井作业的整体安全性。

4 结论

自动化监测系统在井下放水与卸压技术中的应用，极大地推动了矿井作业的现代化进程，显著提升了矿井的安全性、效率和管理水平，通过实时监测和智能控制，这些系统能够准确获取井下环境中水位、压力等关键数据，及时响应水患和地压等突发情况，避免了传统人工监测方式中的延迟和误差，减少了人为操作的风险。在井下放水技术中，自动化监测系统通过精准的水位监测和智能控制策略，有效优化了排水路径和水泵的运行参数，提高了排水效率并降低了能耗，而在卸压技术中，系统能够实时采集压力数据，通过大数据分析和智能预警，准确识别潜在的危险区域并实施有效的卸压干预，降低了压力异常引发事故的概率。此外，自动化监测系统的远程监控和故障诊断功能，为矿井操作提供了更加安全、可控的作业环境，展望未来，随着人工智能、大数据、物联网等技术的不断进步，矿井自动化监测系统

的应用将更加广泛与深入，其智能化、精准化水平将进一步提升，为矿井的安全开采和高效管理提供更加坚实的技术支持。

参考文献

- [1] 宋志龙, 王立敏. 井控装置自动化试压检测系统应用分析[J]. 石油矿场机械, 2015. DOI:CNKI:SUN:SKJX.0.2015-06-022.
- [2] 李长春. 空压机群节能监控系统在电厂的应用[D]. 华北电力大学, 2014. DOI: 10.7666/d.D529816.
- [3] 张申, 黄欢, 翟彦蓉, 等. 液压支架工作状态模糊识别系统研究[J]. 工矿自动化, 2012(6):4.
- [4] 胡熠, 郑立宁, 康景文, 等. 一种主动排水卸压自动化控制箱:CN202121699256.8[P]. CN216161022U[2024-12-11].
- [5] 文力. 自动化综采面一次采全高切顶卸压技术研究[J]. 机械管理开发, 2023, 38(10):258-260.