

数智化背景下矿井排水系统优化策略研究

郭光杰

深圳市中金岭南有色金属股份有限公司凡口铅锌矿 广东韶关

【摘要】 矿井排水系统是矿产类企业安全生产与高效运营的核心支撑，传统运行模式长期存在能耗过高、响应滞后、运维粗放、安全承压等突出问题，已难以适配数智化转型与绿色发展的现实要求。本文立足企业生产经营实际，聚焦数智化技术应用核心，系统剖析传统排水系统的四大核心弊端，阐明数智化优化的实践价值，重点构建设备升级、算法优化、平台集成、场景适配四位一体的优化策略体系。本研究旨在为铅锌矿企业提供逻辑清晰、落地可行的数智化转型路径，对推动矿井排水系统提质增效、助力企业高质量发展具有重要参考意义。

【关键词】 数智化；矿井排水系统；优化策略

【收稿日期】 2025 年 11 月 16 日 **【出刊日期】** 2025 年 12 月 17 日 **【DOI】** 10.12208/j.sdr.20250302

Research on optimization strategies for mine drainage systems in the context of digital intelligence

Guangjie Guo

Shenzhen Zhongjin Lingnan Nonferrous Metals Co., Ltd. Fankou Lead Zinc Mine, Shaoguan, Guangdong

【Abstract】 The mine drainage system is the core support for the safe production and efficient operation of mineral enterprises. The traditional operation mode has long had prominent problems such as high energy consumption, lagging response, extensive operation and maintenance, and safety pressure, which are difficult to adapt to the practical requirements of digital transformation and green development. This article is based on the actual production and operation of enterprises, focusing on the core application of digital technology. It systematically analyzes the four core drawbacks of traditional drainage systems, clarifies the practical value of digital optimization, and focuses on building an optimization strategy system that integrates equipment upgrading, algorithm optimization, platform integration, and scene adaptation. This study aims to provide a logically clear and feasible digital transformation path for lead-zinc mining enterprises, which has important reference significance for promoting the improvement and efficiency of mine drainage systems and assisting enterprises in high-quality development.

【Keywords】 Digitization; Mine drainage system; Optimization strategy

引言

如今，智慧矿山建设逐渐成为矿产行业的主要导向，国家及相关部门提出了一系列政策来推进该领域的数智化转型与发展。其中矿井排水系统是矿产类企业生产的生命线工程，核心功能在于排出井下涌水、抵御水害隐患、保障生产环境稳定，直接关系到企业安全生产秩序、成本控制水平与长远发展能力。当前我国铅锌矿行业正处于向智能化、绿色化、

高效化转型的关键时期，企业内外部发展环境发生深刻变革，对排水系统的运行标准提出了更高要求。作为生产经营责任主体，企业对排水系统优化的需求极为迫切，既追求技术层面的先进性，更注重实践层面的可行性与投入产出的合理性。基于此，本文将严格围绕“矿井排水系统数智优化”这一核心主题，聚焦问题，提出策略，为企业提供兼具理论高度与实践指导价值的学术成果，进而使其实现高效、

作者简介：郭光杰（1994-）男，汉族，安徽省固镇人，深圳市中金岭南有色金属股份有限公司凡口铅锌矿电气助理工程师，主管，主要研究方向：井下电气。

安全、低碳的发展目标。

1 传统矿井排水系统的核心症结

1.1 设备效能滞后，能耗冗余显著

部分企业仍沿用服役时间久、能效等级低的老旧水泵与电机，部件磨损及性能衰退导致实际运行效率远低于设计标准，造成持续性能耗损；设备选型阶段对井下地质条件、涌水规律的精准分析不足，设备参数与实际工况需求不匹配，大马拉小车或小马拉大车的情况进一步加剧能耗冗余。辅助设备与管路系统规划缺乏科学性，管路弯头数量偏多、管径选取不当，长期使用后出现的腐蚀与淤积问题会缩小流通截面，增大水力损耗，间接加重水泵运行负荷与能耗支出；阀门、过滤器等辅助设备智能化程度不足，无法动态匹配系统运行状态进行适配调节。

1.2 管控模式落后，响应被动迟缓

传统管控以人工巡检与手动操作为核心，监测环节依靠人工定时采集水位、压力、流量等参数，劳动强度大且难以实现参数的实时精准获取，无法全面掌握系统动态变化；部分矿井虽配备简易监测设备，但设备布局分散、功能单一，数据传输存在延迟，难以形成全域感知效果。决策与执行环节依赖运维人员的经验判断，缺乏科学数据支撑，面对涌水量突变、设备故障等突发状况时响应滞后，无法快速启动应急处置方案；未结合电价时段差异、涌水规律变化实施动态调度，决策科学性欠缺，难以实现系统的优化配置。

1.3 运维体系粗放，管理成本高昂

故障排查依赖人工经验，缺乏有效的状态监测与预警机制，故障发生后才被察觉，排查耗时较长，非计划停机时间增多，影响生产连续性；维护保养工作缺乏科学计划与标准规范，存在过度维护或维护不到位的问题，过度维护会增加成本与停机时长，维护不到位则易导致故障频发，进一步抬高维修成本与生产损失。运维岗位作业环境恶劣、劳动强度大，难以吸引并留存专业人才，现有人员技术水平参差不齐，对新型设备与技术的接受能力有限，制约运维管理水平的提升。

1.4 安全保障薄弱，合规风险显著

风险预警环节因监测体系不完善，对水害隐患、设备故障前兆的识别能力不足，无法提前开展预判与预警，只能在事故发生后被动处置；应急处置缺

乏自动响应机制，面对超高水位、管路泄漏等紧急情况需人工启动备用设备，响应速度与处置效果难以保障，易扩大事故影响范围；环保合规方面，缺乏对排水水质的精准监测与全流程管控，部分矿井将达标水直接排放，既造成水资源浪费，又面临环保处罚风险；能耗指标超标与国家节能降碳政策导向相违背，影响企业合规经营与社会形象建设。

2 数智化背景下矿井排水系统的优化策略

2.1 设备智能升级

核心设备优化需结合企业经营现状与设备服役年限时长，制定分阶段更新方案规划，淘汰能效偏低、性能衰减严重、维修成本偏高昂的老旧水泵与电机，替换为高效节能型设备，保障运行效率达到行业先进水平；对服役年限较短、性能尚可可行的设备实施针对性改造，例如诸如优化水泵叶轮优化、改进密封性能改进，电机，对电机进行变频改造实现转速无级调节控，适配不同工况的实际需求。新设备选型需充分考量井下地质条件、涌水规律及长期运行负荷情况，开展精准论证工作，规避因参数不匹配引发的能耗冗余问题。监测设备配置要构建全要素全覆盖的智能监测网络，遵循关键区域全面覆盖、次要区域按需配置布设原则，在水仓、主干管路、水泵出口等关键位置部署高精度水位、压力、流量传感器，实时采集核心运行参数；在水泵电机、轴承等易损部件安装振动、温度传感器，精准捕捉故障前兆信号；在排水出口配置多参数水质传感器，监测 pH 值、悬浮物、化学需氧量等关键指标。所选传感器需符合铅锌矿安全标准规范，具备抗高湿、高粉尘、强电磁干扰的性能，确保在井下恶劣环境中稳定运行，提供精准的数据支撑。

辅助设备适配要形成需构建核心设备±监测设备±辅助设备的智能生态体系，配置智能稳压罐维持管网压力稳定，减少水泵频繁启停次数，延长设备使用寿命；安装自动反冲洗过滤器，依据水质监测数据自动开展清洗作业，避免管路淤积堵塞；配备智能应急备用泵组，与主泵组建立联动控制机制，实现故障状态下的自动切换，保障涌水量突变或主泵故障时排水作业持续进行，提升系统运行可靠性与应急处置能力。

2.2 算法精准优化

企业在矿井排水系统数智化改造中，将涌水变化规律、水位波动态势等核心要素融入智能调度的

实际操作，技术人员借助算法工具规划水泵启停与转速调节方案。谷段电价时段优先集中排水、涌水量激增时启动多泵协同，这些调度动作通过算法形成自适应运行逻辑，既控制能耗成本，又避免水位超标风险。水泵轮换运行的损耗平衡需求，也通过算法的自主学习能力逐步优化，技术人员持续积累运行数据，不断调整参数设置，让系统更适配井下复杂工况的动态变化。

运维模式的转型依托故障诊断与预测技术推进，企业搭建的传感器数据采集网络，实时获取设备振动、温度等运行信息。技术人员运用机器学习工具挖掘这些数据中的异常特征，区分设备正常运行与故障状态的差异，在此基础上形成精准的故障定位方案，快速锁定轴承磨损、叶轮损坏等问题。结合数据变化趋势搭建的预警体系，能提前预判故障发生时间与类型，运维人员据此制定专项维护计划，及时更换老化部件，最大限度减少非计划停机对生产的影响。

水泵转速、阀门开合度等核心参数的优化，是企业提升系统运行效率的关键环节。技术人员可以结合实时运行数据与能耗最低、压力稳定等管控目标，采用 PID 调节、模糊调节等成熟技术形成闭环调节，进而实现参数的动态适配。当井下工况变动时，这套调节算法快速响应并调整参数，技术人员通过系统实时监控运行状态，确保参数调整精准有效，维持系统始终处于最优运行水平。

2.3 平台集成联动

矿井排水系统与综合智能化平台的协同发展主要在于打破信息阻隔、实现数据价值最大化。企业可借助工业互联网与物联网技术，将传感器、PLC 等设备的实时监测数据，与设备档案、能耗统计等管理数据集中整合起来。与此同时，技术人员可相应地制定统一的数据接口规范、清洗转换规则，以此来解决不同设备间的数据兼容问题，最终为数据分析与决策提供数据支撑。

平台功能模块的搭建应紧密贴合企业管理实际，使得实时监控、智能决策、运维管理等功能形成联动体系；智能决策模块的搭建需要技术人员通过可视化界面远程跟踪系统运行状态与设备参数，进而整合调度、故障诊断等算法生成优化方案，同时保留人工干预空间；运维管理模块则覆盖维护计划制定、备件库存管控等流程；能耗分析模块精准识别

浪费环节并给出节能建议；报表统计功能则为企业决策提供直观的数据支撑。

全矿井协同管控的实现，需要排水系统平台与采掘、通风、供电等系统深度融合。技术人员可以通过共享跨系统数据，根据采掘进度与涌水预测结果来调整排水方案，使得排水作业精准匹配生产需求。企业在制定生产计划、调配资源时，可将排水系统承载能力纳入考量，通过综合平台实现全矿井安全监控与资源优化的统筹，以此来提升整体运营效率与安全保障水平。

其中需要注意的是平台安全与操作便捷性是落地的关键，为此，企业需搭建完善的安全防护体系，其中包含有数据加密、权限分级、日志审计等内容，避免出现未授权访问或是违规操作等行为。同时，技术人员需设计简洁易懂的人机交互界面，简化操作流程、降低运维难度，同时支持 PC 端、移动端多终端访问，以便运维人员随时掌握系统状态、及时处理各项事务，使得管理工作变得更加高效与灵活。

2.4 场景适配落地

常规排水场景下，技术人员结合历史涌水规律与当前电价，通过智能监测与调度算法规划水泵运行方式，调节转速与运行数量减少无效能耗，同时优化阀门开度与管网压力降低水力损失；高应力、高湿高尘等特殊工况区域，针对性加强管路监测防护、选用高防护等级设备、优化监测设备采样频率，确保系统在复杂环境下稳定运行。

应急排水场景中，企业搭建的预警机制通过传感器实时监测水位突变、管路泄漏等异常，发现问题立即触发声光预警并启动应急程序，智能决策算法快速生成处置方案，自动完成备用泵组启动等关键操作，平台实时推送进度为现场指挥提供支持；水资源回用场景则聚焦环保合规与资源节约，技术人员通过多参数水质传感器监测水质，自动判定采掘喷雾、设备冷却等回用方向，调控水处理设备参数确保出水达标，同时建立台账详细记录回用信息。

在特殊工况场景下，企业有必要结合自身特点进行针对性优化，针对高应力区域，应加强管路监测与防护，通过传感器监测管路压力与变形情况，预测破损风险，及时加固处理；针对高湿高尘区域，需选用高防护等级的数智化设备，加强设备密封与防尘防潮处理，定期开展维护保养确保稳定运行；而针对涌水量极不稳定区域，则需要优化监测设备

采样频率与精度,提升对涌水突变的响应速度,通过调度算法快速切换水泵运行模式,全方位保障生产安全。

3 结语

综上所述,本文立足企业生产经营实际,紧扣数智化背景下矿井排水系统优化这一主题,系统分析传统排水系统在设备效能、管控模式、运维体系、安全保障等方面存在的核心症结,进而详细重点构建设备智能升级、算法精准优化、平台集成联动、场景适配落地的四位一体的优化策略体系,使得矿井排水系统趋于 AI 智能化,为各个企业提供具体的数智化转型路径,最终期望能为企业推动排水系统优化、实现高质量发展提供有益参考。

参考文献

- [1] 刘利刚.高效节能型矿井排水系统设计与应用实践研究[J].工程施工新技术,2024,3(16):121-123.
- [2] 郑立军,岳俊超,魏亚辉,等.基于差分进化算法的旧采空区水分质利用优化配置[J].河南理工大学学报(自然科学版),2024,43(2):68-76.
- [3] 赵应华,乔子龙,王艳波,等.分时电价下矿井多级接力式

排水系统的优化策略[J].工矿自动化,2024(002):050.

- [4] 张立朋文/图.智能化技术的矿井排水系统优化与治理[J].能源新观察,2025(2):36-38.
- [5] 李冉李朝明刘文文.数智化赋能"给水排水管网系统"课程教学改革路径探究[J].科技风,2025(30).
- [6] 谢家强,王万琼,尹炜,等.排水系统溢流污染韧性控制技术策略探讨[J].给水排水,2025(9).
- [7] 方圆.矿井排水系统智能监控关键技术[J].2025.
- [8] 梁金夏,潘天赐,杨超.矿井智能排水监控系统的设计与实现[J].工矿自动化,2025,51(S1):156-159.
- [9] 安江伟.矿井排水系统智能化改造技术应用[J].能源与节能,2024(10):248-250.
- [10] 畅建庭.矿井供排水系统的智能化监控与优化设计[J].工程技术研究,2025(2).

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS