

工验收是工程交付最后关卡,按结构安全性和功能达标性验收,检查结构安全隐患,验证泄洪设施泄洪能力、输水洞过流能力等功能,保障工程安全稳定运行。

4.3 质量监督方法

为确保监督实效,监督方法采用多元化手段。一方面,质量监督人员定期开展现场巡查,借此直观掌握施工进度与质量状况,迅速发现并纠正施工中的违规操作。同时,针对关键部位和重要工序进行抽检,像对混凝土强度抽样检测,保障施工质量达标。另一方面,引入第三方检测机构,凭借其专业技术力量与先进检测设备,对工程质量进行独立、客观的检测与评价,增强监督的公正性和权威性,为工程质量筑牢保障。此外,还运用传感器、无人机巡检等信息化监控手段,实现实时、动态监控。传感器能实时监测结构参数,无人机巡检可快速全面检查现场质量,大幅提升监督效率。

4.4 常见质量问题与防治措施

水库工程常见质量问题需防患于未然。渗漏是常见问题之一,预防时要严控防水材料质量与施工工艺,像保证土工膜焊接质量、做好混凝土结构养护以避免裂缝。若出现渗漏,依严重程度和位置处理,轻微渗漏用化学灌浆封堵,严重部位或需返工。不均匀沉降会影响工程稳定与安全,施工前要详细勘察处理地基,保证承载力均匀;施工中严控填筑材料质量与工艺,分层填筑压实。对于已出现的不均匀沉降,要分析原因,采取加固地基、调整结构等措施妥善处理。

5 工程案例

5.1 案例选择依据及背景介绍

本案例选取的水库加固工程典型且具代表性,其面临的渗漏、结构稳定性不足等病害在水库工程领域常见,能提供解决思路;规模、环境及施工条件具普遍性,涵盖常见场景与监督要点,可展示工程全流程,为后续工程提供范例。该水库为中型,总库容 5800 万立方米,正常蓄水位库容 4200 万立方米,集雨面积 120 平方公里,大坝是均质土坝,对区域发展作用关键。但经检测,大坝基础渗漏,下游坡脚有约 20 平方米湿润区,渗水量每小时约 0.5 立方米;坝体多处裂缝,最宽 15 毫米;泄洪设施老化损坏,泄洪能力降约 30%,增加溃坝风险。

5.2 施工技术应用

针对该水库大坝病害,采用多种施工技术加固。对于大坝基础渗漏,运用混凝土防渗墙施工技术:先以钢筋混凝土结构建导墙,提供稳定作业平台;再用冲击式钻机成槽,严格控制槽孔垂直度与深度;成槽后泥浆护壁防坍塌;最后用直升导管法浇筑混凝土,形成连续防渗墙阻断地下水渗漏。对于坝体裂缝,依宽度和深度处理:宽度小于 2 毫米的浅裂缝,清理表面后涂环氧树脂胶泥封闭;宽度大于等于 2 毫米且深的裂缝,钻孔装灌浆嘴,高压注入环氧树脂浆液,

修补裂缝、恢复坝体整体性。

5.3 质量监督实践

质量监督工作贯穿水库加固工程全流程。施工准备阶段,审查施工单位资质、人员与设备,确保其有承担工程的能力。施工中,依进度定期巡查抽检,对防渗墙成槽、混凝土浇筑、裂缝灌浆等关键工序和部位旁站监督,保证施工质量达标。竣工阶段组织全面验收并评定质量。监督中获取大量检测数据,如防渗墙混凝土强度检测,抽 [X] 组试件,强度平均值达设计强度的 [X]%,最小值不低于设计强度的 [X]%;裂缝处理后注水试验,水位无明显下降,效果良好。同时,也发现一些问题,如防渗墙部分槽孔垂直度偏差超规范,要求停工整改,采取调整钻机等措施,复检合格后复工;裂缝灌浆不饱满则要求重新处理,确保修补质量。

5.4 效果评价与经验总结

经过加固施工与质量监督,该水库病害问题有效解决。大坝基础渗漏减轻,下游坡脚无湿润与渗水,稳定性显著提升;坝体裂缝处理后无扩展与新裂缝,整体性恢复;泄洪设施维修更新后,泄洪能力达设计要求,能安全及时排洪。经一个汛期考验,水库运行正常,无安全隐患,加固效果良好。此次工程总结出宝贵经验:施工前要详细勘察检测,掌握病害情况以定合理方案;选合适施工技术,针对不同病害与工程特点加固;加强质量监督,建完善体系,严格按流程操作;施工中及时发现问题并分析整改,避免扩大,为今后类似水库加固工程提供有益参考。

6 结论与展望

综上所述,本文围绕病险水库除险加固工程展开研究,全面剖析了结构、功能及材料等方面的病害类型与成因,明确设计缺陷、施工质量等是主因。详细阐述了结构加固、功能修复等施工技术要点,构建起完善的质量监督体系,提出常见质量问题防治措施。通过具体工程案例,验证了施工技术与质量监督的有效性,总结出施工前勘察等宝贵经验,为治理提供支撑。未来,该工程需持续创新,深化新材料与新工艺研究,强化信息化、智能化应用,完善质量监督长效机制,加强跨区域协作,推动治理向标准化等迈进,保障水利工程安全,促进区域可持续发展。

参考文献

- [1] 朱伯强.病险水库除险加固工程项目风险管理方法研究[J].水上安全,2025,(08):136-138.
- [2] 沈瑶.水利工程中农村水库除险加固工程实施探讨[J].农机市场,2024,(10):70-72.
- [3] 刘厚云.病险水库除险加固工程设计研究[J].水利科技与经济,2024,30(02):124-129.
- [4] 马健.某小型病险水库除险加固工程施工管理要点[J].河南水利与南水北调,2024,53(01):58-59.

Energy Efficiency Optimization of Mine Drainage System and Technology for Water Resource Recycling

Jixiang Gao

Xuzhou Mining (Group) Xinjiang Tianshan Mining Co., Ltd., Kuqa City, Aksu, Xinjiang, 842000, China

Abstract

As an important part of coal mine production, mine drainage systems account for a considerable proportion of the total energy consumption of mines. The direct discharge of mine water leads to both water resource waste and environmental pollution. This paper starts with the current energy efficiency of mine drainage systems and analyzes key challenges such as high energy consumption operation, complex water treatment, and low recycling rates. Research shows that by implementing hierarchical optimization strategies, including energy-saving retrofits of drainage equipment, application of intelligent scheduling systems, promotion of water quality-specific treatment technologies, and construction of recycling networks, energy consumption can be reduced by 30%–45% and water reuse rates can increase to over 85%. The paper proposes an energy consumption monitoring-based system optimization approach, a technical framework combining hierarchical treatment and precise purification, a collaborative integration plan for production water networks, and ideas for building an intelligent management platform, providing technical support for the green transformation of mine drainage systems.

Keywords

Mine drainage; Energy efficiency optimization; Water resource recycling; Hierarchical treatment; Intelligent management

矿井排水系统能效优化与水资源循环利用技术

高吉祥

徐州矿务(集团)新疆天山矿业有限责任公司, 中国·新疆阿克苏 842000

摘要

矿井排水系统作为煤矿生产的重要环节,其能耗占据矿山总能耗的相当比重,矿井水的直接排放造成水资源浪费和环境污染双重问题。本文从矿井排水系统能效现状入手,分析了当前面临的高能耗运行、水质处理复杂、循环利用率低等关键挑战。研究表明,通过实施分级优化策略,包括排水设备的节能改造、智能调度系统的应用、矿井水分质处理技术的推广以及循环利用网络的构建,能够实现能耗降低30%~45%,水资源回用率提升至85%以上。文章提出了基于能耗监测的系统优化路径、分级处理与精准净化相结合的技术体系、生产用水网络协同整合方案以及智能化管控平台建设思路,为矿井排水系统的绿色转型提供技术支撑。

关键词

矿井排水; 能效优化; 水资源循环; 分级处理; 智能管控

1 引言

煤炭开采过程中地下水涌入矿井形成的矿井水需要及时排出,这一过程消耗大量电能,排水费用占矿山生产成本的15%~25%,中国每年矿井水排放量超过80亿立方米。深部开采矿井的排水扬程普遍超过500米,部分甚至达到1000米以上,排水能耗随深度增加呈指数级增长,而实际运行效率往往只有设计效率的60%~70%。绿色矿山建设背景下,传统排水模式存在设备老化、运行粗放、自动化程度低等问题亟须改造。矿井水从低矿化度的纯净水到高矿化

度的复杂水质差异巨大,处理难度和成本差异显著。能效优化涉及水泵选型、管网布置、调度策略等多个维度,水资源循环利用需要建立从源头收集、分质处理到末端回用的完整体系,技术创新与管理创新并重才能实现矿井排水系统的高效运行和水资源最大化利用。

2 矿井排水系统能效优化与水资源循环利用的现实图景

2.1 矿井排水系统能耗特征与水资源排放现状

当前深部开采矿井排水扬程普遍超过500米,部分甚至达到1000米,排水能耗随深度呈指数级增长。矿井涌水量季节性波动显著,雨季涌水量可达枯水期的3倍~5倍,而系统实际运行效率仅为设计值的60%~70%,多级排水方

【作者简介】高吉祥(1975-),本科,工程师,从事煤矿地质、煤矿防治水研究。

式叠加各类水力损失导致整体效率低下。全国矿井水利用率平均不足40%，大量矿井水未经深度处理直接排放，其水质复杂多变，矿化度从500mg/L到10000mg/L不等，pH值跨度3.5-9.0，单一处理技术难以满足需求，造成了严重的资源浪费和环境压力。

2.2 能效优化技术在矿井排水系统中的应用基础

变频调速技术通过实时调整水泵运行参数，有效避免传统阀门节流损失，实现20%~35%的节能率，投资回收期仅需2~3年。新一代矿用潜水泵、磁悬浮泵等高效设备效率比传统设备提高10~15个百分点，同时运行噪音降低20分贝以上。基于PLC或DCS的智能控制系统实现了无人值守运行，能够根据水位、流量参数自动调整运行策略，通过预测涌水量变化趋势优化设备运行。水力模拟软件的应用使管网设计更加合理，通过优化管径、减少弯头、改善管路走向，可降低管路阻力15%~20%，显著提升了系统整体效能^[1]。

2.3 政策导向与行业发展对矿井排水系统改造的需求

《“十四五”节能减排综合工作方案》和碳达峰碳中和目标对煤炭行业提出明确的能耗下降要求，矿井排水系统作为主要耗能环节成为改造重点。《水污染防治行动计划》要求矿井水达标排放并鼓励综合利用，水资源税征收使直接排放成本大幅增加，有力推动企业提高循环利用水平。智能矿山建设要求排水系统具备数据采集、远程监控、故障诊断等功能，绿色矿山评价标准将矿井水利用率70%以上作为重要指标。随着电价上涨和环保处罚力度加大，加之技术进步带来的改造成本下降，越来越多企业有能力实施系统性改造，推动排水系统向高效、清洁、智能方向发展。

3 矿井排水系统能效优化与水资源循环利用的主要挑战

3.1 高能耗排水设备与系统运行效率低下的矛盾

矿井建设初期按最大涌水量配置水泵，实际运行中涌水量远低于设计值，造成“大马拉小车”现象普遍，水泵长期偏离高效区运行，某矿井水泵实际运行效率仅为额定效率的55%，每年多消耗电能300万千瓦时。排水系统设计缺乏系统性思考，水泵、电机、管路、阀门等设备匹配不当造成能量传递过程大量损失，运行管理粗放，缺乏科学调度策略，水泵启停频繁或长时间空载运行，密封失效、叶轮磨损、轴承故障等问题降低设备效率^[2]。老旧矿井狭小的硐室空间、老化的供电系统制约改造方案实施，改造投资大、周期长、见效慢使部分企业望而却步，技术人员知识结构老化影响先进技术推广，尚未建立统一的能效评价标准，缺乏有效能耗监测手段，无法及时发现和解决能效问题。

3.2 矿井水水质复杂性与处理技术适应性的不足

高矿化度矿井水脱盐处理成本高昂，反渗透、电渗析等技术虽效果好但能耗高、浓水处理困难，含重金属矿井水需考虑不同金属离子去除机理，单一方法难以同时去除多种

重金属，酸性矿井水中和处理产生大量污泥，有机污染物需采用高级氧化技术深度处理。现有技术大多针对特定水质开发，面对水质波动较大的矿井水适应性差，季节性水质变化要求处理系统具有较强调节能力，固定工艺流程难以应对，小规模处理设施单位成本过高，各处理单元缺乏有机联系。在线监测设备缺乏使水质变化不能及时发现，监测指标不全面，数据分析能力弱，应急处理能力不足，处理技术采用“一刀切”方式造成过度处理或处理不足，处理成本与回用价值倒挂影响企业积极性^[3]。

3.3 循环利用系统建设成本与经济效益平衡的困境

药剂、电费、人工、维护等构成主要运行成本，膜更换费用高、使用寿命短，污泥处置费用逐年上升，专业技术人员培训聘用增加人力成本。水资源价值难以准确量化，特别在水资源丰富地区矿井水回用经济效益不明显，市场价格波动影响回用水销售收入，政策补贴不确定使投资回收期难以预测，环境和社会效益难以直接转化为经济收益。银行贷款门槛高、利率高，中小矿山企业难获充足资金支持，政府专项资金有限竞争激烈，社会资本参与度不高，煤炭市场低迷时期改造资金更加紧张。

3.4 智能化管控水平与系统集成度不高的制约

排水、水处理、供水系统各自独立运行，缺乏统一调度平台，不同厂家设备采用不同通信协议，数据交换困难，软件系统兼容性差，功能重复建设造成资源浪费，缺乏统一数据标准和接口规范。传统机电维修人员缺乏信息化智能化知识，高端技术人才引进困难，矿山地处偏远条件艰苦对人才吸引力不足，培训体系不完善，管理理念落后，重硬件轻软件、重建设轻应用现象普遍。缺乏智能化建设技术标准，企业各行其是建设水平参差不齐，评价体系不健全，验收标准不明确，知识产权保护不足影响技术创新积极性^[4]。

4 矿井排水系统能效优化与水资源循环利用的构建策略

4.1 基于能耗监测的排水系统运行优化与设备改造

在水泵、电机、变频器等关键设备上安装智能电表和传感器，实时采集电流、电压、功率、流量、压力等运行参数，构建能耗数据采集平台将分散监测点数据集中管理，运用数据挖掘技术分析能耗规律，识别高能耗环节和异常情况，建立能耗基准线和评价指标体系定期开展能效对标。严重老化、效率极低的设备实施淘汰更新，选用经过认证的高效节能产品，对运行状态尚可但效率不高的设备进行叶轮切削、涂层修复、密封改进等节能改造，根据涌水量变化规律配置不同规格水泵实现大小搭配、高低结合的优化配置，采用永磁电机替代异步电机提高效率3%~5%。建立基于涌水量预测的水泵启停优化模型，减少频繁启停和空载运行，利用峰谷电价差异将排水任务安排在电价低谷时段，根据总流量需求确定最佳水泵组合方式，在保证安全前提下适当提