

煤矿井下排水机电系统节能改造应用分析

宋满刚

宁夏银星煤业有限公司 宁夏 银川 750408

摘要: 煤矿井下排水机电系统是矿井安全生产的关键配套设施, 长期运行过程中受设备老化、管路损耗与粗放控制模式影响, 整体能耗水平偏高。本文结合井下特殊作业环境与水文变化特征, 系统梳理机电设备性能损耗、管路铺设缺陷、控制方式短板等各类能耗诱因, 全方位剖析排水系统的能耗形成机制。依托现场运行特性设计设备升级、管路减阻、变频调控与时序优化等节能改造方案, 搭建适配复杂井下工况的协同运行模式与运维保障体系。改造内容可有效改善排水系统运行短板, 优化设备负荷状态, 推动矿井排水环节实现绿色高效运行。

关键词: 煤矿井下; 排水机电系统; 能耗分析; 节能改造; 协同运维

引言: 矿井排水系统承担井下涌水收集与外排的核心任务, 运行状态直接关乎煤矿生产安全性与电力资源消耗水平。井下高湿、多尘、涌水杂质繁杂的特殊环境, 会持续加剧排水设备损耗, 干扰系统稳定运行。多数传统矿井排水设备匹配固定运行模式, 无法适配动态波动的涌水负荷, 输水管路与控制体系存在多处能耗漏洞, 造成电力资源的持续浪费。通过梳理排水系统运行机理与能耗影响因素, 针对性开展节能改造设计, 能够优化设备运行状态, 减少无效能耗损耗, 为矿井机电系统高效运行提供可靠支撑。

1 煤矿井下排水机电系统基础构成与运行机制

1.1 井下排水机电系统整体组成结构

煤矿井下排水机电系统是矿井生产的重要配套设施, 用于处理巷道与采掘工作面产生的涌水。整套系统由多种功能设备组合构成, 不同功能模块相互配合, 共同完成积水收集与外排工作。水泵机组作为核心执行设备, 依靠机械运转完成井下积水抽取与输送作业, 保障巷道积水及时排出^[1]。电机装置为水泵运转提供持续动力, 通过电能与机械能的转化, 输出稳定转矩驱动设备运行。管路体系包含主输水管、分支管路及各类密封、连接配件, 规整井下输水通道, 引导积水定向输送。电控装置整合各类开关、保护元件与调控模块, 管控设备启停操作与运行工况切换。水位、压力传感设备布置在井下关键点位, 实时采集积水深度、管路压力等关键运行参数, 为设备运行调控提供数据支撑。

1.2 排水机电设备基本工作原理

井下排水作业普遍采用离心式水泵, 依靠流体动力学原理实现水体连续输送。电机通电运转后, 带动泵体内部叶轮高速转动, 搅动泵腔内部空气形成负压环境。井下积存的水体在气压作用下, 沿进水管流入泵腔内

部, 跟随叶轮做高速圆周运动。水体在转动过程中持续积累动能, 泵壳的特殊结构可完成水体能量转换, 提升水体静压数值。具备压力势能的水体顺着出水管向外输送, 完成井下积水的排放作业。电控装置可调节供电参数, 稳定叶轮运转速度, 控制水体输送效率。传感设备持续捕捉设备运行数据, 为工况调整提供可靠的数据支撑。

1.3 井下特殊环境对排水系统的运行要求

煤矿井下作业环境复杂特殊, 各类环境条件对排水系统运行形成硬性约束。井下空间密闭、空气湿度较大, 长期潮湿环境会腐蚀机电设备外壳与线路结构, 设备必须具备优良的绝缘性能与密封能力。井下涌水掺杂大量煤渣、泥沙与悬浮颗粒物, 杂质进入管路与泵体内部, 会造成管路堵塞、内壁磨损, 设备构件需适配含杂质水体的作业工况。井下巷道空间狭小规整, 设备布设、管路铺设需要贴合空间尺寸, 适配紧凑的井下安装条件。矿井生产工序的变动, 会改变井下涌水产生量, 排水系统需要适配动态变化的排水负荷, 满足不同时段的排水需求。

1.4 排水机电系统常规运行模式与工作特性

煤矿井下排水机电系统依靠间歇式运行方式适配井下积水变化规律。井下积水堆积至设定水位高度时, 设备启动运转, 快速抽排巷道内部积水。积水水位下降至低位标准后, 设备停止运行, 减少无效电能消耗。矿井涌水量随生产进度产生波动, 采掘作业高峰期积水生成量更大, 设备会长期处于高负荷运转状态。生产间歇阶段涌水量大幅减少, 设备进入轻载运行或待机状态。井下多尘、高湿的环境条件会加速机电设备零部件损耗, 降低设备运行稳定性。管路内壁磨损、通道积垢产生的流通阻力, 会改变水体输送效率, 直接影响排水系统的

实际运行状态。

2 煤矿井下排水机电系统能耗影响因素分析

2.1 机电设备自身性能损耗带来的能耗问题

井下排水机电设备长期处于恶劣工况运行，机械结构与电气部件会出现持续性性能衰减。水泵内部叶轮、泵壳等过流部件长期接触含泥沙水体，表面会出现磨损、结垢现象。过流结构形态发生改变后，水体流通流畅性下降，流体阻力大幅增加，设备需要消耗更多电能维持既定输水流量。电机内部绕组老化、绝缘性能衰减会造成电能浪费，电磁转换效率出现持续性下降，输入电能无法完全转化为机械动力。轴承、转轴等传动构件磨损会增大机械摩擦阻力，动力传输过程产生大量无用损耗。老旧设备内部结构精度下降，运行过程出现转速波动、工况偏移等问题，进一步加剧电力资源消耗^[2]。

2.2 管路铺设与输水工况产生的能耗隐患

排水管路的铺设形式与运行状态，会对输水能耗产生直接影响。井下管路铺设存在长短不一、弯道过多的情况，水体流动过程会持续克服沿程阻力与局部阻力。管路内壁长期积累煤泥、水垢等杂质，有效通水孔径收缩，水体流动阻力持续上升，输水过程能耗逐步增加。管路衔接位置存在细微渗漏缺陷，压力水体出现外泄，有效输水流量缩减，设备重复启停补水会额外消耗电能。管路高低落差布置不合理，会形成局部积水死角与回水压力，增大水泵输水负荷，提升整体能耗水平。

2.3 系统控制运行方式存在的能耗短板

传统井下排水系统控制模式较为固化，运行逻辑难以适配动态的井下排水需求。多数排水设备采用固定转速运行，无论涌水量大小均维持恒定工作状态。涌水低谷时段设备持续空载、轻载运行，产生大量无效能耗。设备启停机制较为单一，仅依托固定水位阈值完成工况切换，无法根据积水增速、生产时段灵活调整运行状态。老旧控制体系缺少精细化负荷调节功能，无法根据实际排水需求匹配动力输出。粗放的运行调控模式，让设备长期处于不合理负荷区间工作，持续造成电力资源浪费。

2.4 井下水文动态变化引发的能耗波动规律

矿井水文条件具备极强的动态变化特征，直接改变排水系统的能耗水平。日常采掘作业会扰动岩层结构，巷道涌水流量会出现阶段性增减，排水负荷处于持续变动状态。雨季、地层渗水变化会提升井下涌水总量，设备需要长时间高负荷运转，能耗水平显著提升。涌水杂质含量会随生产状态发生改变，高泥沙含量的水体流动性更差，输水阻力更高，设备运行能耗随之上升。水文

条件的动态变动让排水负荷处于不稳定状态，能耗数值随工况变化出现规律性波动，增加排水系统能耗管控难度。

3 井下排水机电系统节能改造关键技术设计

3.1 排水机电设备节能优化选型与升级设计

排水机电设备的性能参数匹配度，直接决定井下排水作业的电能消耗水平。结合矿井实际涌水负荷、输水扬程等基础工况参数，重新筛选适配井下作业环境的高效节能水泵设备。优选过流结构设计合理、抗磨损、抗结垢的泵体机型，降低水体输送过程中的流体阻力，减少机械运转产生的无用损耗。更换能效等级更高的驱动电机，优化内部电磁结构与绕组布局，提升电能向机械能的转化效率^[3]。淘汰结构老化、精度不足的老旧设备，规避零部件磨损、工况偏移带来的能耗增量。针对高泥沙涌水工况，适配具备强抗污能力的专用排水设备，减少设备频繁故障与超负荷运行带来的能源消耗。

3.2 排水管路系统结构优化与减阻改造方案

排水管路的结构改造以降低输水阻力、减少管路损耗为核心方向。重新规划井下管路铺设路径，删减多余管路段落，减少弯道、折角等特殊管路结构，弱化水体流动过程中的局部阻力与沿程阻力。替换内壁光滑、抗腐蚀、抗结垢的新型管材，规避传统管材内壁粗糙、易积垢的缺陷，保持通水截面的规整性。对现有管路衔接结构进行整改，优化接头密封工艺，封堵管路细微渗漏点位，避免压力水体外泄造成的能量损耗与流量流失。定期清理管路内部堆积的煤泥、水垢杂质，维持管路通水通畅性，降低水泵输水承压。调整管路铺设高差，消除管路内部回水压力与积水死角，减轻设备输水负荷。

3.3 智能变频调控系统的改造与搭建

变频调控改造可以改变传统设备定速运行的单一模式，实现排水负荷的动态适配。为排水电机配套专用变频调控装置，依托实时积水工况调节电机运转转速，匹配不同涌水规模的排水需求。积水负荷偏低时降低设备运行转速，削减轻载工况下的无效能耗。积水负荷偏高时提升运转功率，保障排水作业的高效推进。搭建工况数据采集链路，依托水位、压力传感设备捕捉井下实时积水状态，为变频调节提供精准数据支撑。优化变频调节的响应逻辑，规避参数频繁波动引发的运行异常，让设备输出功率始终适配现场排水工况。

3.4 系统启停联动与时序控制优化设计

优化排水系统启停控制逻辑，改善传统固定阈值调控模式的不合理性。重构设备启停判定逻辑，结合积水水位变化速率、巷道积水存量等多重参数，精准判定设备启停时机。设置多档位启停阈值，区分不同涌水工况

的运行需求,减少设备频繁启停造成的电能损耗与设备冲击。设计多机组排水设备的时序运行逻辑,错开多台设备的启动时序,避免瞬时集中启动带来的电网负荷激增。规范单台设备运行时长与轮换机制,均衡各组设备作业负荷,规避单台设备长期超负荷运行的情况,稳定系统整体能耗水平。

4 节能改造体系的运行适配与保障机制

4.1 改造方案与井下复杂工况的适配逻辑

井下排水工况具备动态多变的特征,固定改造模式难以覆盖全部生产场景。各类节能改造技术需要依托矿井水文条件、巷道布局、生产节奏完成动态适配调整。涌水杂质含量偏高的作业区域,设备改造侧重抗磨损、防堵塞设计,强化过流部件的结构稳定性,维持稳定输水效率。涌水量波动幅度较大的采掘工作面,重点落实变频调控与启停逻辑优化,适配积水增量的动态变化。巷道坡度复杂、管路布设受限的区域,以管路减阻、路径优化为主要改造方向,弱化空间结构对输水能耗的负面影响^[4]。结合不同作业区域的工况特征拆分改造内容,针对性调整设备参数、管路结构与控制逻辑,让改造内容匹配现场实际运行条件。

4.2 排水系统多设备协同运行优化机制

井下排水系统由多组水泵、电机与电控设备组成,单设备独立运行容易出现负荷分配失衡问题。搭建多设备协同运行机制,能够重新分配各组设备的作业负荷,改善无序运行带来的能耗浪费。依据单台设备的能效参数与运行状态,划分主次作业设备,让高能效设备承担基础排水负荷,低能效设备作为辅助备用。结合井下积水增量调整设备投入数量,积水负荷较小时启用单组设备独立运行,积水负荷增大后逐步投入备用设备参与作业。统筹各组设备的运行时长,交替轮换作业任务,避免单一设备长期持续运行产生过度损耗,均衡整套系统的运行状态与能耗水平。

4.3 改造后机电系统日常运维管理体系构建

节能改造完成后的排水系统,设备结构与控制模式出现明显调整,传统运维方式无法适配全新运行体系。建立针对性的常态化运维管理制度,规范设备巡检、部

件养护、故障排查的各项流程。针对变频调控装置、传感采集设备等新增构件,制定专项检查内容,及时排查参数偏移、信号异常等隐性问题。细化管路运维工作内容,定期开展管路内部清垢、接头密封检测、管壁磨损排查,维持管路输水性能。记录设备每日运行工况、负荷状态与能耗数据,形成完整运维台账,为后续参数调整、设备检修提供数据支撑。标准化运维流程可以持续留存改造成效,规避运维疏漏引发的能耗回升。

4.4 系统长期稳定节能运行的保障措施

长效化节能效果需要配套完善的保障措施作为支撑,抵消设备老化、工况变动带来的不利影响。建立设备性能动态监测机制,持续跟踪电机能效、水泵输水效率、管路阻力等关键指标,及时识别性能衰减问题。定期校正电控参数与传感设备精度,避免数据偏差造成调控逻辑偏差,维持控制系统的精准调节能力。结合矿井生产阶段的工况变化,阶段性微调设备运行参数与协同策略,适配全新的排水作业需求。落实设备零部件预防性更换机制,在构件性能下降初期完成更替,杜绝老旧部件引发的能耗攀升与运行故障,让排水系统长期维持优良的节能运行状态。

结束语

整套改造逻辑覆盖从硬件升级到调控优化再到长效运维的全链条环节,各模块之间形成紧密联动的运行体系,可适配不同复杂程度的井下排水场景。这套优化思路跳出传统排水系统的运行局限,兼顾能效提升与运行稳定性,能为同类矿井的排水机电系统改造提供清晰的实践参考,支撑井下排水作业的高效可靠运转。

参考文献

- [1]李鹏.煤矿井下智能排水机电设备节能运行模式及策略[J].凿岩机械气动工具,2025,51(10):213-215.
- [2]任帅.煤矿井下机电设备电能消耗分析与节能优化策略[J].矿业装备,2026(4):40-42.
- [3]郑启跃.高效节能技术在煤矿矿山机电系统中的应用分析[J].山东煤炭科技,2026,44(4):114-117,122.
- [4]袁华斌.基于变频技术的煤矿机电设备节能改造分析[J].能源与节能,2026(5):104-107.