

煤矿井下主排水无人值守系统的设计改造与应用

贺广强 任永力 焦文锦

自2015年“机械化换人、自动化减人”科技强安专项行动以来，越来越多的煤矿完成了机械化改造，自动化升级，机械化换人、自动化减人取得显著时效，并逐渐凝练出“智能化无人”的安全生产意识。2019年4月4日《煤炭资讯网》发表“机械化换人 自动化减人 智能化无人——潞安集团司马煤业公司大力推进智能化矿山建设纪实”，标志着煤矿安全生产实践进入新阶段；2021年6月5日国家能源局，国家矿山安全监察局印发的《煤矿智能化建设指南（2021年版）》对煤矿主排水系统建设提出如下指导意见：“建设基于压力、液位、流量、温度等监测传感器和电动阀的智能排水系统，实现主排水系统设备的智能运行，智能排水系统可按照水量实现排水用电自动削峰填谷，智能优化排水方式，实现能耗自评估和故障自诊断，具备智能报警、智能统计分析排水量等功能”。笔者从煤矿安全智能高效排水实际出发，总结煤矿主排水系统现状，参照相关文件要求，利用PLC控制柜、信号传感器、AI智能摄像机、地面上位机分析平台等软硬件设备，对主排水系统进行重新设计改造，优化算法分析模型，以实现主排水设备无人值守、智能运行。

煤矿井下主排水无人值守系统结构设计

煤矿井下主排水无人值守系统主要由地面控制室设备、泵房现场设备组成，其中地面集控室主要配置包括：工控机、打印机、报警音箱、上位机软件平台，泵房现场主要配置PLC控制柜、本安操作台、就地操作箱、声光报警器、执行阀门、各类信号采集传感器、AI智能摄像机等设备。

地面集控室

地面集控室主要由工控机、打印机、报警音箱、上位机软件平台等组成。上位机软件平台选用力控组态软件，力控组态平台是为工业过程控制和实时监测领域服务的通用计算机系统软件，具有功能完善、操作简便、可视性好、可维护性强的突出特点；工控机主要用于承载组态软件，显示开发好的上位机集控软件；打印机选用A3彩色打印机，主要用于各种报表及记录的打印；报警音箱主要用于系统预警及设备启停动作时播报设备启停信息，实时播报操作系统当前任务，方便值班人员识别系统状态。

泵房现场

泵房现场主要配置PLC控制柜、本安操作台、就地操作箱、声光报警器、执行阀门、各类信号采集传感器、AI智能摄像机等设备。

PLC控制柜主要由可编程控制器、信号变送器、中间继电器等组成，完成对信号的接收、放大、运算、判断发出各种指令，并作为采集、控制现场闸阀控制装置的主令设备，将采集到的信号传递给上位机平台，根据平台指令及下位机逻辑运算结果，控制排水系统设备启停，实现远程控制以及可根据现场水位及其他信号进行自动控制。

本安操作台主要由显示屏、按钮、指示灯组成，泵房内配置1台，既可以实现任意泵组的一键启停，也可以单独控制泵组中的某一设备启停，实现泵房设备就地集中智能控制。

就地操作箱主要由按钮、指示灯组成，每台水泵配置1台，用于单台设备的启停控制。

智能AI摄像机内建NPU,算力2.0 T,可实现目标抓拍、行人侦测、人脸侦测、人脸识别及其他视频结构化应用,同时具有语音对讲功能,可满足现场检修时地面与井下之间信息交互的需要。

闸阀和球阀选择手自一体阀门,满足系统智能运行时的自动控制要求,同时可满足系统检修或设备检修时的手动控制要求。

现场传感器主要包括水仓水位、水泵出水压力、各水泵真空度、管道流量、电机电流、轴承温度、振动监测、电动机及电动闸阀等设备开停及到位状态采集等传感器。

传输设备主要选择以太网模块、工业交换机、光缆、网线等设备实现,其中PLC通过以太网模块接入到汇聚交换机上,AI摄像机通过自带的KJ45口接入到汇聚交换机上,最终通过工业环网上传到地面集控室。

煤矿井下主排水无人值守系统信号采集设计

控制系统可对水泵运行的各种参数进行实时采集并上传至地面,主要数据包括模拟量和数字量2大类。

需要采集的参数如下:

(1) 水泵压力采集。在每台泵的出水口安装1台压力变送器,采集水泵出水口压力。

(2) 水泵真空度采集。在水泵泵体末端或抽真空管路上安装1台负压变送器,采集水泵泵体的负压值,判断泵体是否已经注满水。

(3) 电参数采集。通过三相电参数模块,实现水泵电机的三相电压、三相电流、有功功率、无功功率等参数的采集,进而判断水泵系统的运行状态,以便进行预警及趋势分析。

(4) 温度采集。配置温度巡检仪采集泵体预埋的轴承温度、定子温度、转子温度,配置温度传感器采集电机温度。

(5) 泵体振动采集。通过在泵体底座的横向和纵向分别安装振动传感器,采集水泵泵体的横向和纵向振动,判断水泵是否振动异常。

(6) 水仓水位采集。采用投入式液位和超声

波液位2种不同工作原理的传感器实时检测水仓水位,实现高水位起泵低水位停泵。超声波液位传感器、投入式液位传感器2种出现水位相差较大时,提示检查传感器及标校液位。

(7) 阀门开度采集。利用阀门位置传感器,将开度电阻信号转换为4~20 mA电流信号,接入PLC。

(8) 流量采集。在2趟排水管路上分别安装满足管径要求的超声波流量传感器,采集瞬时流量、累计流量等参数。

(9) 开停状态采集。配置开停传感器采集水泵开停状态,PLC直接读取闸阀、电磁阀的工作状态及到位信号。

(10) 故障信息采集与判断。水泵故障发生前一般会伴随温度升高,振动加剧等情况,可以通过采集的温度、振动变化趋势,提前预警。同时,通过电机电流、排水压力、排水流量等参数辅助判断水泵系统的运行状态,做到提前预警及设备停止并开启备用水泵。

上位机界面及功能设计

上位机软件开发完成后,可实时显示现场的视频信息,并支持和现场进行语音对讲,显示系统参数,显示各设备运行图,且图形画面之间具有链接功能,可以很方便地切换其他画面显示,包括实时曲线,年、月、日各时间段的历史曲线和具体数据报表。当参数超限、控制对象故障或状态变化时,能自动在当前画面以不同颜色进行显示,并有音响提示。在现场控制箱上可汉字显示各故障信息并报警,在地面监控主机上亦可显示现场单元当前的报警信息以及保存的报警记录。

煤矿井下主排水无人值守系统参数包括主排水管的累积流量及瞬时流量、水泵抽真空情况和出水口压力值、电机电压、电流、功率参数、泵体振动情况、水位情况、每台泵的运行时间、各种阀门的状态等。这些参数不仅是水泵启停的必要依据,同时也是对系统进行统计、查询的重要依据。在地面监控计算机中可以记录上述参数的数据并绘制趋

势曲线,便于管理人员进行统计,同时将数据进行按年、月、日时间段进行历史数据储存,系统提供任意时间段的历史数据查询并数据显示。对每台泵正常运行时的电流、电压、压力、流量、真空度、温度等参数变化的时间等参数形成一套有针对性的“工业配方”,与运行时参数进行比较,以便在早期发现系统中存在的隐患。在地面监控计算机中实时显示报警数据,并保存历史报警,高级报警数据用红色显示,能够进行声音报警,异常(过载、水位溢出等)数据用醒目的其他颜色区别显示,同时历史报警可以按照时间区段和报警级别进行查询。

采用实时趋势图方式和数字形式准确实时地显示水仓水位,并在启停水泵的水位段发出预告信号和低段、低低段、低段、高段、高高段水位分段播报,用事先录制的语音提示形式提醒操作人员注意。

煤矿井下主排水无人值守系统通过图形动态显示水泵、真空管路、电动球阀和电动闸阀的运行状态,直观地实时显示电动球阀和电动闸阀的开关位置。

煤矿井下主排水无人值守系统预留参数修改界面,可以根据现场实际进行各种触发值、报警

值、策略投入与退出的设定与选择,满足系统临时修订工艺流程的需要。上位机界面如图1所示。

煤矿井下主排水无人值守系统控制方式设计

主排水智能控制系统可选择的控制模式有自动控制、集中控制、检修控制3种工作方式,且各控制方式之间应设有互锁功能,即同一时间只允许1种控制方式存在。水泵启动流程及水泵停机流程如图2、图3所示。

自动控制

根据水位等参数,PLC按照设定参数,以避峰填谷的原则自动选择运行水泵,并按照控制流程,完成单台或多台水泵等的寿命轮换关停。

在自动控制时,系统将井下水仓水位分为4档,即低低水位(停泵水位)、低水位(峰值电费时段停泵)、高水位(谷值电费时段启泵)、高高水位(触发既启泵);煤矿井下主排水无人值守系统还设计了多台泵自动轮换工作控制,控制程序将水泵启停次数及运行时间和管路使用次数及流量等

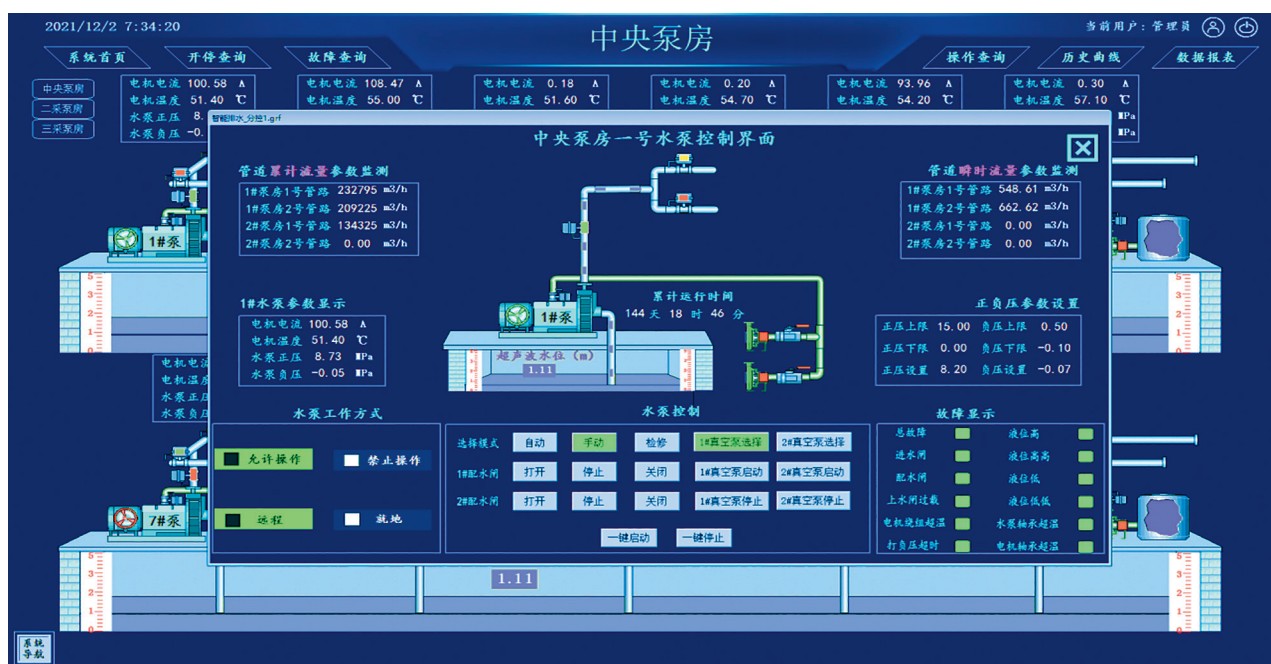


图1 上位机界面

水泵启动流程（单台）

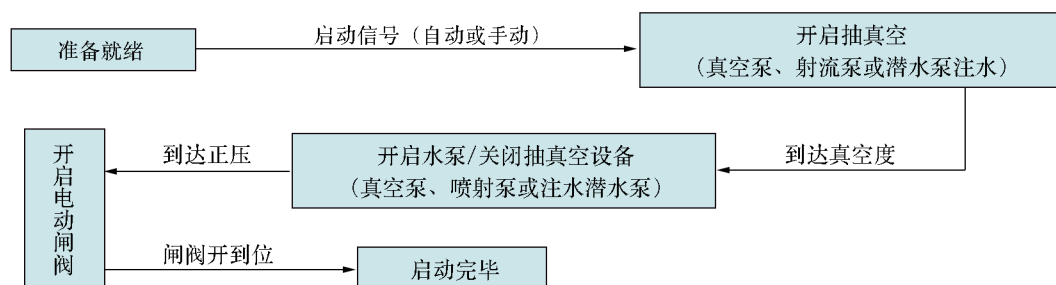


图2 水泵启动流程

水泵停止流程（单台）

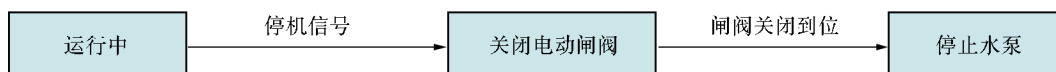


图3 水泵停止流程

参数自动记录并累计，系统根据这些运行参数选择自动启停的水泵和相应管路，使各水泵及其管路的使用率分布均匀。当某台泵或所属阀门故障时，系统将自动发出声光报警，记录事故，同时将故障泵或管路自动退出轮换工作，并开启备用设备。PLC自动化控制系统根据水仓水位的高低、井下用电负荷的高、低峰和供电部门所规定的平段、谷段、峰段供电电价时间段、水泵运行总时间、水泵工况等因素，建立数学模型合理调度水泵，根据实际情况按照“错峰填谷及节能”“水泵等寿命轮换关停”的原则，先后开启水泵、或者同时开启多台水泵，并且在出现险情时能够及时报警。

集中控制

集中控制分为井下集中控制和远程集中控制2种方式。

（1）井下集中控制。操作人员使用井下操作台在选择完管路后，每1台水泵都能做到一键启动和停止。

（2）远程集中控制。地面操作人员利用矿井综合信息自动化系统或者地面上位机对每1台水泵的集中控制，实现远程排水。

检修控制

检修控制为操作人员在水泵房起、停水泵。此种情况下可操作任何一台水泵电机、闸阀、电动球阀的开关，相互动作互不闭锁。

结 语

煤矿井下主排水无人值守系统具有“错峰就谷、等寿命智能运行”、运行可靠、操作方便、智能化程度高等特点，该系统可实现根据工况设定以及时间、水位等参数自动开启、停止水泵的运转。煤矿井下主排水无人值守系统的实施不仅实现主排水无人值守，节约人力成本，还可节省水泵的运行费用，达到减轻劳动强度及减员增效的目的，同时还达到了提高煤矿安全生产水平，智能化运行水平的目的，实际应用效果良好。

■ 责任编辑：李艾稣

作者简介：

第一作者：贺广强，高级工程师，主要从事煤矿自动化、信息化、智能化相关领域的研究与实践。E-mail: heguangqiang1981@163.com

作者单位：华洋通信科技股份有限公司
黔西金坡煤业有限责任公司