变电站集水井排水泵智能控制技术研究

禹建锋，赵　冲，刘故帅，王　龙，李　飞

（国网山东省电力公司淄博供电公司，山东 淄博 255000）

摘　要：针对现有变电站集水井排水泵故障率高、排水效率低和巡视不到位的问题，提出并研制了一套变电站集水井排水泵智能控制系统。该系统集成应用多源水位监测技术、环境自动监测技术、水泵智能控制技术和远方集中监控技术，实现自动监测集水井水位、集水井环境质量、排水系统运行状态等运行工况的功能，可有效提高集水井排水系统巡视、维护工作质量和效率，改善人机工效，保障运维人员人身安全；同时，有效防止运维人员人工巡视中的漏检、误判事件发生，确保排水系统可靠运行，消除站内水浸隐患，避免发生因站内水浸导致的变电站设备停电事故。该系统在某220 kV变电站应用效果良好，解决了现有集水井排水泵的问题。

关键词：变电站；排水泵；智能控制；控制策略；水位监测

中图分类号：TM 631　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1006-348X(2025)02-0033-04

0　引言

目前，户外高压场容易积水、具有地下电缆层的变电站都安装有集水井及排水泵，但上述设备缺乏微机自动监测控制功能[1-3]，运维人员每月巡视或防风防汛特巡时，需人工对站内集水井及排水系统进行检查，主要存在以下问题：

1）缺乏自检及远方监测功能。依靠人工定期巡视检查排水系统运行状况，不能实时掌握排水系统运行状况信息。运维人员检查排水系统的主要方法是将水泵控制把手由“自动”位置切换至“手动”位置，根据水泵运行指示是否亮灯、集水井水位是否下降、出口水面有无翻滚、排出水流声音是否正常等现象，综合判断排水系统的状态。这种检查方法主观意识较强，且运维人员技术水平参差不齐，存在检查不到位、甚至误判的可能性。

2）监测水位的浮球电源电缆绝缘易损坏。集水井监测水位的浮球及其电源电缆长期浸泡在水中，容易造成电源电缆绝缘损坏，引发短路、电源跳闸等故障，导致排水系统失去排水功能，存在水浸隐患。

3）集水井没有环境自动检测及报警的功能。由于集水井长期密闭、空气不流通，可能产生废气，打开井盖散气缓慢，未经检测进入井内检修时，可能导致人员中毒事件。

近年来，国内对集水井排水泵系统开展了相应的研究。文献[4-6]对水泵房的排水系统的自动化控制系统进行研究，设计了自动化排水控制系统，提高了排水效率；文献[7]设计了一种新型排水系统，避免了水泵频繁启动烧毁电机，大大延长了泵的使用寿命；文献[8]设计了基于变频调速技术的排水泵，降低了排水泵整体能耗；文献[9]、文献[10]分别提出了一种排水泵故障检测方法，提高了水泵故障诊断的效率。但上述系统均缺乏智能控制和远方集中监控功能，变电站集水井排水泵智能控制技术领域尚无现有相关文献研究。

为解决上述问题，文中集成应用多源水位监测技术、环境自动监测技术、水泵智能控制技术和远方集中监控技术，提出并研制了一套变电站集水井排水泵智能控制系统，可自动监测集水井水位、集水井环境质量及排水系统工况，并上送告警信号，极大地提高了集水井及排水系统巡视维护工作质量和效率，确保变电站排水设施可靠运行。

1　变电站集水井排水泵智能控制系统结构与功能设计

1.1　系统结构设计

变电站集水井排水泵智能控制系统由监控系统、

收稿日期：2024-06-11

作者简介：禹建锋(1991)，男，硕士，工程师，主要从事变电设备检修、智能技术及研究工作。

网络设备、就地控制装置、液位传感器、流速传感器、排水泵、电流传感器、环境监测传感器组成，变电站集水井排水泵智能控制系统结构设计如图1所示。

液位传感器采用激光液位传感器、浮球式液位传感器两种不同的监测技术，集水井水位监测、水位启停排水系统开入量于一体，实现N-1冗余设计，提高集水井水位监测、排水系统自动启停的可靠性。流速传感器采集集水井排水管道出水口水流速度信息数据，以便检测集水井积水是否顺利被强排至站外。电流传感器采集集水井排水泵电流数据，通过电流值监测排水泵运行状况。排水泵采用主备双水泵，主要作用是将集水井内的积水排出站外，确保排水系统的效率和可靠性。排水泵通过集水井水位自动控制电机的启动与停止，避免因积水导致的设备损坏或安全隐患。环境监测传感器可监测集水井内氧气含量及氨气、硫化氢等有毒气体含量，异常时自动报警，确保进入集水井内运维人员的人身安全。就地控制装置可自动控制两台主备水泵切换运行，设置水泵抽水超时告警时间以及水泵启动、返回时间，可延时启动、延时返回，避免水位处于临界值波动时造成水泵频繁启停而损坏水泵电机。网络设备是就地控制装置与监控系统之间的数据传输介质。监控系统可监控集水井水位、集水井环境、排水泵运行状况、排水系统工况及告警指示等运行状态信息数据，方便运维人员检查。还可通过系统界面设定集水井排水泵智能控制装置运行定值，确保运行正常。

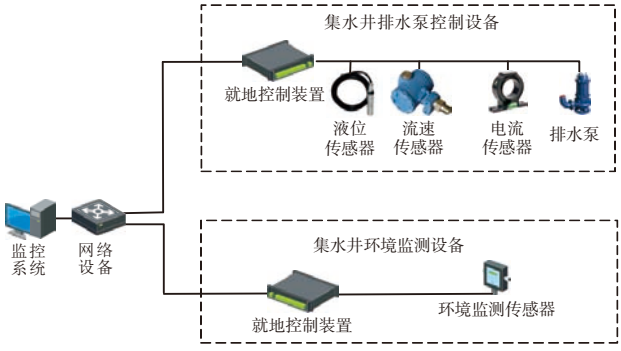

图1 变电站集水井排水泵智能控制系统结构

1.2 功能设计

变电站集水井排水泵智能控制系统需监测集水井水位、集水井环境质量、传感器与排水泵运行状况等数据，下发系统控制策略。其主要功能如下：

1）采用两种水位监测技术，提高排水启停开入量冗余度。该系统采用两种不同水位监测技术，实现集水井水位监测、水位自动启停开入量的冗余功能，提升水位监测、排水系统自动启停的可靠性。

2）采集多源监测数据，提高排水监测工作质量。该系统采集变电站集水井水位、出水口水流速度、电流传感器数值等数据，根据排水泵是否启动、集水井水位是否下降、出水口水流速度是否为零、排水泵电流是否正常等信息自动判断排水系统排水功能是否正常，通过系统界面显示结果并上传告警信号，提高系统工作质量和效率。

3）自动监测集水井空气质量，确保运维人员人身安全。该系统环境监测传感器可监测集水井内氧气含量及氨气、硫化氢等有毒气体含量，氧气含量不足或有毒气体超标时自动报警，确保运维人员人身安全。

4）集成多种水泵控制策略，提升排水系统可靠性。该系统可按设定策略，控制两台主备水泵轮换启动，可设定抽水超时告警时间，防止水泵长时间运转而烧毁，提高水泵使用寿命；该装置可设置水泵启动、返回时间，可延时启动、延时返回，有效防止集水井内水位在临界值波动时水泵频繁启停，提升排水系统运行可靠性。

5）采用可控硅控制技术，提高水泵控制回路可靠性。该系统的水泵控制回路舍弃传统的大电流接触器，通过可控硅控制水泵启停，装置回路简洁、配线少，可有效减少水泵控制回路故障发生率。

6）实现排水系统周期自检，提升排水系统检查效率。该装置可按设定的周期开展排水系统自检，自动启动并判断排水系统排水是否正常，也可在现场按下试验按钮一键自动完成排水系统功能检测，可有效防止人工检查排水系统时发生人为误判、漏判的事件。

2 变电站集水井排水泵智能控制系统关键技术

2.1 多源水位监测技术

变电站集水井水位监测采用激光测距、磁耦合两种不同的监测技术，两种技术互不干扰，液位监测采

用N-1冗余设计，多源水位监测可提高集水井水位监测、排水系统自动启停的可靠性；浮球式液位传感器主要包括浮球和插杆两部分，当集水井内的水位发生变化时，浮球随着水位的上升或下降而上下移动，传感器的干簧管被磁性吸收，将液面位置变化转化为电信号，再被传输到就地控制装置，从而实现液位的远程检测和控制；激光液位传感器主要采用近红外光，利用激光束进行探测[11]。近红外光通过半透射反射镜处理发射出激光，其中一部分激光用作基准值参考信号，其它激光经过光学处理形成平行光束照射在物体面上，反射回传感器再转换成电信号进行处理。

2.2 环境自动监测技术

环境自动监测技术利用先进的传感器技术和数据采集技术，能够实时采集集水井内温度、湿度、有毒气体浓度等环境数据，并通过就地控制装置、网络设备实时上传至监控系统。监控系统可对传感器采集的数据进行智能化的算法分析，根据预设的控制策略下发控制命令，控制集水井内抽风机启停，抽风机会根据环境数据进行功率自适应调节，实现集水井环境数据的远程实时准确传输和监控，确保集水井内环境质量满足运行要求。

2.3 水泵智能控制技术

系统可自动控制两台主备水泵切换运行，设置水泵抽水超时告警时间以及水泵启动、返回时间，可延时启动、延时返回，避免水位处于临界值波动时造成水泵频繁启停而损坏水泵电机。该模块可根据水位、流速、环境监测等数据，按设定的周期开展自检，自动启动并综合判断排水系统及集水井内环境是否正常，异常时自动告警，通过液晶屏及指示灯显示检测结果并上传告警信号，如图2所示。该系统还可在现场按下试验按钮，一键自动完成排水系统功能检测，可有效防止人工巡视检查排水系统导致的漏检、误判事件发生。

该装置可选用AC 220 V、DC 220 V或DC 110 V工作电源，与变电站站用交直流电源相匹配。系统采集传感器数据并上送至监控系统，该系统下发控制策略，控制排水泵启停；同时，传送监测传感器、排水泵及就地控制装置的运行状态或故障信息至监控系统。

2.4 远方集中监控技术

变电站集水井排水泵智能控制监控系统实时在线监测网络设备、就地控制装置、液位传感器、流速传感器、排水泵、电流传感器、环境监测传感器运行状态，并告警设备异常。该系统对监测数据进行智能分析与处理，通过对比历史与实时监测数据，诊断设备运行异常并告警，及时发现设备隐患。该系统可与变电站其他监控系统进行数据交互，有助于实现变电站设备监控全覆盖，为变电站智能巡视提供决策支持。远方集中监控系统可以使运行人员实时监测集水井数据，无需到达作业现场，这样不仅节省了人力物力，而且降低了运行人员的作业风险。

远方集中监控系统配备了变电站集水井排水泵智能预警功能，当监测数据超出设定值时，系统就会立即发出预警信号，提醒运行人员及时采取措施，消除设备安全隐患，提高了监控系统的响应速度和准确性。

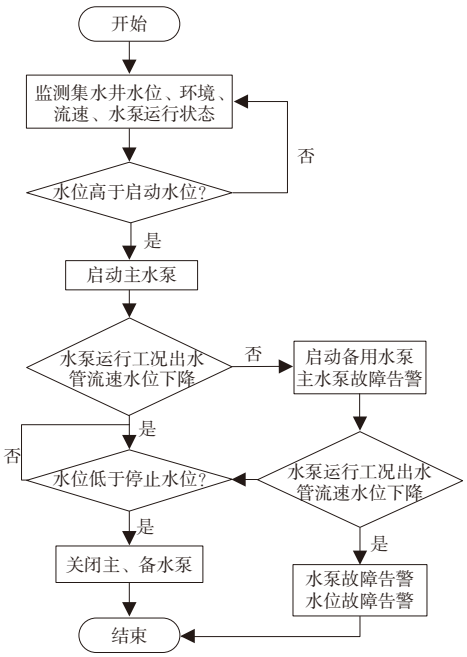

图2 变电站集水井排水泵智能控制系统软件框图

3 应用实例

变电站集水井排水泵智能控制系统已在某220 kV变电站集水井试点应用，应用效果良好，可自动监测集水井水位、集水井环境质量及排水系统工况，并上送告警信号，极大地提高了集水井及排水系统巡视维

护工作质量和效率，确保变电站排水设施可靠运行，系统参数如表1所示。

表1　变电站集水井排水泵智能控制系统参数

项别	参数	规格
1	设备输入电源	AC：220 V±15%
2	水位测量精度	精度±1%（m）
3	流速精度	精度±5%（L/min）
4	环境监测精度	精度±4%
5	设备工作条件	温度范围：-10℃~45℃
6	储运环境条件	相对湿度范围：5%~90%

实时监测集水井水位、集水井环境质量、排水系统工况及故障信号等，点击水泵启动水位、停止水位设置水泵的启停水位，点击“使能”使水泵启停设置有效，“手动水泵启停”键用于运行人员手动操作，检查水泵的运行状况，实物如图3所示。

图3　变电站集水井排水泵智能控制装置实物图

系统界面可自动监测集水井水位、集水井环境、主备水泵状态、出水流速、水泵电流、告警等信息，自动上送告警信号，极大地提高了集水井及排水系统巡视维护工作质量和效率；设置水泵启动水位、水泵停止水位、环境告警值等参数，确保变电站集水井排水泵可靠运行，主界面如图4所示。

图4　变电站集水井排水泵智能控制装置主界面

4　结语

变电站集水井排水泵智能控制系统能自动监测集水井水位、集水井环境质量、排水系统运维状态等运维工况，避免了因变电站水浸造成的停电事故，减少了负荷损失。

系统满足了作业班组运维需求，同时保障了运行人员安全，缩短了运行人员日常巡视时间，避免了因集水井长期密闭、空气不流通，可能产生废气，打开井盖散气缓慢，可能导致人员进入井内检修时发生中毒事件。

参考文献：

[1] 李晨，陈芸，马斌，等.电力系统中排水泵控制系统的智能化探究[J].科技与创新，2019(23)：88-89.

[2] 郭建峰，杨燕华，周刚.变电站电缆层远程智能排水控制系统[J].农村电气化，2021(3)：45-47.

[3] 吴复京，齐亮，邱合锦，等.一种新型变电站自动排水控制装置[J].农村电工，2024，32(7)：37.

[4] 杨帆.自动化排水控制系统在煤矿中的应用研究[J].内蒙古煤炭经济，2022(22)：63-65.

[5] 孙毅，徐进，房飞，等.智能远端排水控制系统在泵站工程中的研究与应用[J].四川水利，2024，45(2)：168-170.

[6] 黄遵文.煤矿智能排水控制系统优化及应用[J].电子制作，2024，32(14)：88-90，101.

[7] 齐亮，吴复京，刘发成，等.一种变电站集中排水系统[J].农村电气化，2024(5)：27-29.

[8] 左为东.煤矿井下主排水泵变频调速系统研究[J].机械管理开发，2022，37(12)：249-250，253.

[9] 唐孝舟，孙长兰，张玉彬，等.基于BP神经网络的水电厂排水泵故障预警研究[J].水电与新能源，2022，36(9)：22-26.

[10] 李伟，张康，宋波.基于贝叶斯网络的矿井供排水泵故障诊断[J].煤矿机械，2024，45(6)：186-189.

[11] 白浪，郑刚，张雄星，等.一种光纤调频连续波激光干涉液位传感器[J].激光与光电子学进展，2021，58(7)：293-300.