

基于压力实时反馈的 水导自动排水系统研究

王旨祥, 薛井俊, 田磊磊, 孙 衍

(江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225200)

摘要:为进一步提高江都第四抽水站水导轴承排水效率,解决传统水导排水模式运行维护难题,研究依据实时压力反馈的水导自动排水系统,提出了按需排水模式、智能传感器应用、PLC集成控制一体化技术方案。通过布设压力传感器,将数据集成到上位机监控管理平台,同时引入分级预警机制,实现了水导轴承渗漏水的可视化监测、早期诊断以及精准评估。改造前后对比显示,该系统实现了全自动排水,缩短了排水响应时间,降低了设备故障发生率和维修成本,同时为动静环的更换提供科学依据,也为类似泵站机组水导轴承智能化改造提供技术参考。

关键词:自动排水系统;实时压力反馈;PLC控制;分级预警

中图分类号:TV675 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2026)06-0059-0006

Research on an automatic drainage system for water guide bearing based on real-time pressure feedback

WANG Zhixiang, XUE Jingjun, TIAN Leilei, SUN Yan

(Jiangdu Water Conservancy Project Management Office of Jiangsu Province, Yangzhou 225200, China)

Abstract: To further improve the drainage efficiency of the water guide bearing in Jiangdu No.4 Pumping Station and solve the operational and maintenance difficulties of the traditional water guide drainage mode, this paper develops an automatic water guide drainage system based on real-time pressure feedback, and proposes an integrated technical scheme including on-demand drainage mode, intelligent sensor application and PLC integrated control. By arranging pressure sensors, integrating the data into the upper computer monitoring and management platform, and setting up a hierarchical early warning mechanism, the visual monitoring, early diagnosis and accurate judgment of water seepage in water guide bearings are achieved. Comparative analysis before and after the transformation shows that the system has realized the full automation of water guide drainage, shortened the drainage response time, and reduced the equipment failure rate and maintenance costs. Meanwhile, it provides a scientific basis for the replacement of dynamic and static rings, and provides a technical reference for the intelligent transformation of water guide bearings in similar pumping station units.

Key words: automatic drainage system; real-time pressure feedback; PLC control; graded warning

收稿日期: 2026-03-31

作者简介: 王旨祥(1999—),男,硕士,主要从事于水利工程运行管理工作。E-mail:2807540707@qq.com

1 概 述

江都第四抽水站^[1]在抽江北送、抽排涝水、保运通航、改善生态等方面发挥了重要的工程效益。江都四站于2008年9月至2010年6月完成更新改造,改造后站内装设7台ZLQ30-7.8型液压全调节立式轴流泵,叶轮直径2.9 m,单机流量30 m³/s,设计扬程7.8 m,配套为TL3400-40型3 400 kW立式同步电动机,配备S10-31500/110型主变压器。

在水利高质量发展转型模式下,水利工程运行管理模式正由传统人工值守、经验驱动逐步转向自动化、无人化、智能化的管理方向升级。江都四站水导层内部结构复杂,包含导水帽、固定油盆、转动油盆、水导轴承跟动静环等关键部件,该水导^[2]使用巴氏合金稀油润滑轴^[3]。当水导动静环因运行磨损较大使得密封效果下降,水导轴承渗漏水水位过高流入油盆时,会引起油质乳化无法发挥效能(水导轴承底部至固定油盆顶部约为58 cm),所以水导轴承的排水工作十分重要。目前,江都四站水导轴承排水系统主要依赖人工巡检与手动操作,工作人员需定期检查水导轴承渗漏水位。当渗水量较小时凭借环形管道自行排水,若渗水量增大至信号管出现溢流,则运行人员需手动启动自吸泵实行排水,操作过程中若排水不彻底或过度排水都可能在一定程度上影响机组的运行效率以及可靠性。

相关研究中,李泽松^[4]基于现有排水系统的弊端结合现有工业技术和控制理论研制了煤矿井下的自动排水系统,实现自动排水;王勇^[5]提出基于PLC的煤矿排水自动控制装置,设计了系统的硬件选型和软件程序,提高排水的有效性和经济性;孙杰等^[6]采用自动排水PLC控制装置用于井下水仓水位的自动监控,实现无人智能化控制。现阶段国内泵站水导排水仍以人工操作和巡检为主,运行人员需要根据管理经验手动启停自吸泵,从发展趋势来看,引入先进的监测设备并研发适配泵站工况的水导自动排水系统^[7]已变成高质量发展的必然选择。依据江都四站目前水导排水的实际工况,本文围绕硬件选型、技术方案研讨、自动排水系统的设立等多个环节展开研究,给出按需排水的技术方案。具体措施包含在水导轴承支架下部安装压力传感器^[8]实时地监测渗漏水水位数据,设定合理的自吸泵启停阈值并凭借PLC编码自动控制启停,同样把水导渗漏水水位、自吸泵的启停频次等数据上传至上位机监控管理平台,靠着自吸泵启停频次的变化判断动

静环密封效果的优劣,并设定分级预警机制^[9],给动静环的更换给予可靠的依据,最终实现水导轴承渗漏水的可视化监测、早期诊断和准确研判。

2 技术方案及功能设计

为进一步提高江都四站水导排水效率,解决润滑油污染隐患,提升设备运行稳定性,本研究加强动静环密封件磨损状态监测,并进行了相关研究。

2.1 技术设备选型

融合江都四站的实际运行需求,调研了市场上多个品牌跟型号的监测设备,收集了不同产品的技术参数、性能特点、用户反馈等信息,着重分析了核心指标(测量精度、测量范围、响应速度、运行可靠性)以及设计要求的匹配度,凭借对比分析,初步筛选出符合标准的多个设备型号,为后续精确选型给予了可靠的依据。

依据前期调研结果,融合水导自动排水装置的实际需求跟预算,选取压力传感器以及干簧管液位计2种渗漏水监测方案实行比选。干簧管液位计凭借浮球以及干簧管的联动配合实现水位监测,结果直观且后期维护便捷,但输出信号为离散型,仅能实现定点液位报警,无法对渗漏水水位变化趋势实行连续捕捉。相比之下,压力传感器可实现水位的高精度连续监测,输出的模拟信号能直观折射水位动态变化趋势,可实现渗漏水的早期预警,同时该类传感器适配泵站繁复恶劣的运行工况,抗干扰能力优异,能长期保持稳定高效的监测性能,完全匹配本装置的设计监测需求。

从技术性能、可靠性、成本效益、售后服务等多个方面进行权衡,最终确定选用压力传感器配合智能数字显示控制仪(图1)监测方案,实现对渗透水的实时精准监测,为水导自动排水系统提供可靠的监测保障。



图1 压力传感器及智能数字显示控制仪

2.2 自动排水方案研究

结合江都四站水导排水现状分析和自动排水

的需求,本文从定时排水和按需排水2个方案对水导的排水情况进行对比分析。

(1)定时排水:在江都四站6#机组中,通过安装时间继电器^[10]的方式实现水导的自动排水功能。利用继电器面板或者旋钮设定定时参数,把固定周期设定为“开启3 min,停止40 min”的循环运行形式,借此实现排水泵的定时启停控制。该方案虽实现了自动化,但排水频次固定,适用性较差,频繁启停特别无水时空转,会缩短水泵寿命,导致设备损坏。

(2)按需排水:在江都四站3#机组水导轴承支架下部安装传感器(图2),用于实时监测水导中的渗透水水位,确保及时感知水位变化。当水位升至阈值上限时,系统会自动启动自吸泵进行排水,防止水位继续升高;而当水位降至下限时,自吸泵将自动停止工作,避免能源浪费。该方案可根据实际水位触发排水操作,避免无效运行,实现精准控制,同时还可实时监测水导轴承渗漏水水位,响应时间达到秒级,仅在必要时启动设备,降低自吸泵启停频率,从而减少机械损耗。

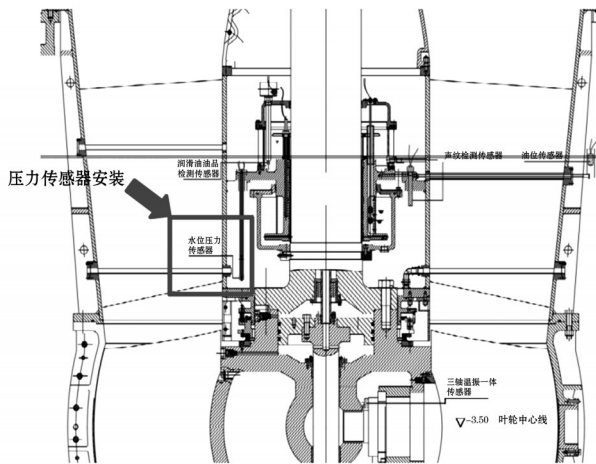


图2 压力传感器安装位置

在技术改良上,本文选用高精度压力传感器实时地监测水导轴承渗漏水水位,靠着监测数据驱动按需排水机制,实现自吸泵启停频次的精确控制,避免不必要的启动,减少自吸泵损坏概率。此方案克服传统人工检查排水形式的排水滞后问题,增加排水能力,防止水位异常升高引发的设备故障风险,保障机组稳定运行,显现水导稀油润滑轴承排水技术由粗放式向精细化、智能化的进步。

2.3 自动化排水系统构建

2.3.1 系统架构设计

水导自动排水系统由监控层、控制层及设备层

构成,如图3所示。监控层由控制室的管理人员进行操作以及管理,管理人员可在系统里查看水导渗漏水的水位趋势、自吸泵运行频次统计情况及预警报警分析,实时监测渗漏水情况,实现数据可视化,当发生报警时可帮助管理人员做出决策并提前研判干预,保证水导的安全运行。控制层是自动化系统的重点单元,PLC是控制层的重点控制设备,可以采集水位等信号并控制I/O设备,增加自动化水平跟可靠性,保证实时响应,保护交换机,保证通信安全及冗余。设备层包含了受控对象以及监测设备,本文的对象为压力传感器、自吸泵以及数字控制仪等,依靠此结构可实现数据采集到决策执行的闭环操作,便于维护和扩展。

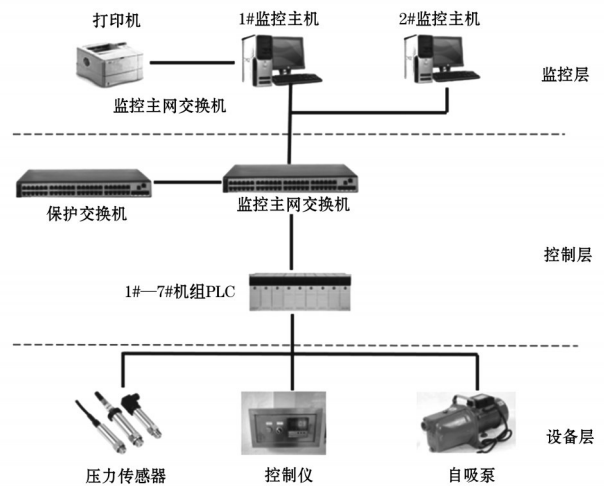


图3 水导自动排水网络关系拓扑图

2.3.2 PLC选型及配置

结合相关调研数据和江都四站自动化需求,选用NJ4008系列CPU模块,其关键特性如表1所示。

2.3.3 最优排水阈值设定

为改良自吸泵启停的运行方案,在渗漏水排水系统阈值设定上实行了多次对比实验,实验的核心参数是从静环到固定油盆的垂直高度(58 cm),这直接关系到油质的安全界限,本文设计了4种排水阈值方案实行对比分析(表2)。

方案一,当渗漏水水位高于40 cm时自吸泵启动(启动阈值),而水位低于20 cm时自吸泵停止(停止阈值);方案二,使用30 cm作为启动阈值,10 cm作为停止阈值;方案三,选择15 cm作为启动阈值,5 cm作为停止阈值;方案四,设定5 cm为启动阈值,2 cm为停止阈值。

表1 技术参数

模块类型	型号	参数	功能
CPU 模块	NJ4008-CPU001	双核 160 Hz, 16 千兆网口	核心逻辑控制与数据整合
模拟量输入模块	AIM003-1001	16 位分辨率, 1 ms/通道	实时水位信号采集
数字量输出模块	DOM301-3201D	32 通道, 24 VDC/0.5 A 输出	自吸泵启停控制
电源模块	PWM601-0504	DC24 V 输入, 支持热插拔	系统供电与冗余保护

表2 方案对比

项目	启动频次/ (次/d)	自吸泵开机 时间/(s/次)	渗漏水是否出现进入 油盆的情况
方案一	3	35	轻微
方案二	4	24	无
方案三	6	18	无
方案四	8	12	无

在综合考量排水频率与水导轴承的安全运行需求后,为确保油盆内部的安全运转,方案二由于启动次数较少,能有效延长自吸泵的使用寿命,此方案在保障设备安全之际,达成了运行效率的最优。

2.3.4 构建分级预警机制

江都四站水导排水装置和长期机组运行数据经深度的分析后,运行人员在开机时统计每日自吸泵启停次数,每周检查水导,观察动静环磨损状况^[11]。测量发现,动环以及静环间的橡胶密封高度为 1.4 mm,分析历年动静环磨损变化量特征值及自吸泵启停频次的数据统计结果,用线性拟合方法得出自吸泵日均启停频次以及动静环磨损程度呈明显的正相关关系(图4)。

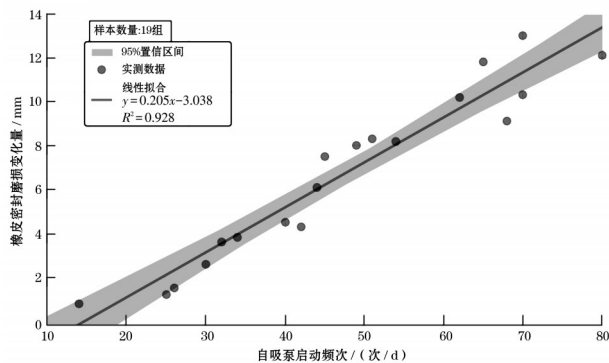


图4 自吸泵启动频次与密封磨损量拟合曲线

由实验数据分析可知,自吸泵的日均启停次数保持在 3 次时,橡胶密封的变化量为 1.2 mm,动静环

的密封性能处于正常状态,磨损量在允许的范围内;当日均次数增加到 5 次时,橡胶密封变化量为 4.1 mm,说明动静环出现轻微磨损,此时密封性能有所减少;当日均次数升至 7 次时,橡胶密封变化量为 7.2 mm,说明动静环已产生中度磨损;若日均次数到了 10 次,橡胶密封变化量增至 13 mm,则说明动静环已严重磨损,密封功能受到明显的干扰。这一量化关系为设立精确的预警机制给予了可靠的数据依据,使系统可以凭借监测自吸泵运行参数间接判断动静环的磨损情况(图5)。

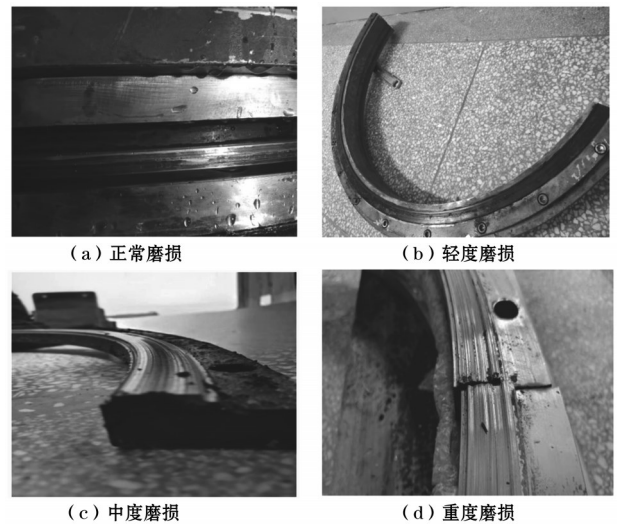


图5 动静环磨损情况

本文围绕量化分析动静环磨损状态以及排水行为内在关联展开研究,为水导自动排水系统建立了三级预警响应机制,该机制以日监测维度为基准,实时跟踪自吸泵运行工况,根据启停频次阈值启动分级预警响应。水导自动排水系统流程见图6。

当启停频次到了 3 次/d 时,系统启动一级预警,自动推送提示信息提醒运维人员留意水导轴承运行状态;启停频次到了 5 次/d 时,系统启动二级预警,同步提醒运维人员加强水导轴承运行数据监测并完成核心参数记录;当启停频次上升至 7 次/d 时,

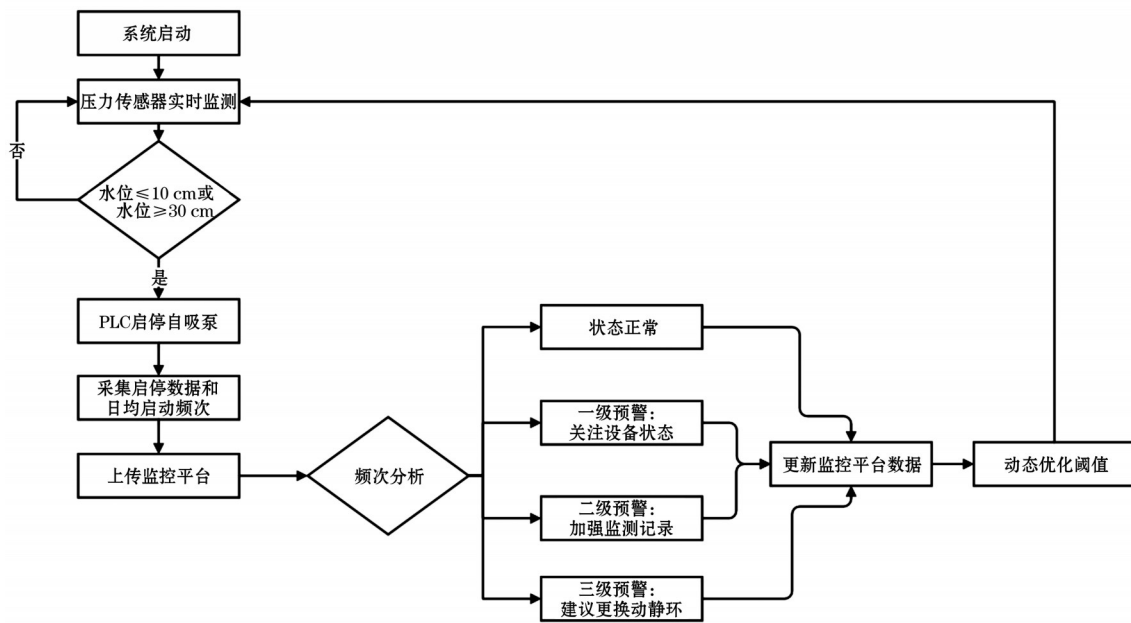


图6 水导自动排水系统流程

系统启动三级紧急预警,提示动静环已发生严重磨损,须及时更换密封部件。该机制可以敏锐地捕捉设备磨损的早期特征信息,准确地预判潜在故障风险,不仅能有效延长关键部件的使用寿命,明显减少泵站机组非计划停机的概率,还为设备全生命周期管理^[12]提供了技术支撑,保障机组稳定可靠运行。

2.3.5 系统设计与实施

(1)硬件安装与连接:先把压力传感器的输出信号接到PLC的模拟输入模块,再把智能数字显示控制仪的输入信号接到PLC的数字输出模块,最后靠智能数字显示控制仪的控制信号完成自吸泵自动启停,操作时需保证所有连接遵守电气接线规范,防止短路及信号干扰。

(2)PLC编程与调试:依据水导轴承自动排水的逻辑需求,借助PLC编程软件编写控制程序,实现压力传感器数据采集、排水控制、启停统计、故障诊断、预测预警等功能,依靠模拟输入信号同时观察输出动作,验证程序的逻辑正确性以及功能的完整性,并针对发现的问题及时修改完善,保证系统能按预期运行。

(3)系统联调与优化:硬件安装以及PLC编程完成后,开展系统联合调试,让整个排水系统投入运行,验证其在实际运行条件下的工作状况,检查各设备间的协调性还有系统的整体性能,再根据调试结果改良及修正PLC程序及系统参数,以达到最

佳运行效果。

3 应用效果分析

水导自动排水装置应用后,依靠预设的自吸泵启停阈值(渗漏水水位高于30 cm自动开机,渗漏水水位低于10 cm自动停机)让水导轴承按需排水,避免因排水不及时或者过度排水引发的系统故障,保障润滑油不受污染,发挥散热以及润滑的效果。运行监控环节,装置使用PLC集成方式实现可视化,直观地监测渗透水水位及自吸泵启停频次等核心工况数据。至2025年5月31日,江都四站3#机组启用水导自动排水装置后,润滑油未出现污染情况,轴承内渗漏水水位稳定地维持在2.4 cm的平均水平,自吸泵启停频次也得到改良。

本研究实现了渗漏水水位的实时监测以及自吸泵的秒级启停,把排水响应时间缩减至1~2 s,增进了排水能力,保证在水位到预设阈值时,自吸泵能迅速地启动并实行排水,有效防止水位过高引发的润滑油污染及设备故障,大大提高了排水系统的运行能力,设备故障率也显著降低。自动排水系统实现了排水全流程的自动化,大幅减少了人工巡检以及手动操作的需求,有效节约了人力资源,减少了人工运维成本,同时系统的准确控制缓解了水导轴承的腐蚀以及磨损,延长了动静环、自吸泵等关键设备的使用寿命,减少了设备更换以及维修的成本,也减少了因设备故障的非计划停机,节约了泵

站的整体运维成本。泵站运行管理环节,该系统投运后增加了智能化的运行管理水平,减少了运维人员的工作压力,可让运维人员把更多精力用于泵站的精细化管理。同时,系统分级预警机制实现了设备故障的早期诊断与准确研判,提升了泵站的应急处置能力,保证了泵站安全稳定运行。

4 结 语

本文成功研发构建了一套智能化水导自动排水系统,依托高精度监测设备及PLC控制等技术创新应用,实现了运行效率与可靠性的双重提升,降低了设备故障发生率和维修成本,取得了显著成效。此外,该系统的智能化管理功能大幅减轻了运维人员的工作负担,借助系统的实时监测和数据分析能力,运维人员可以迅速定位问题,及时采取针对性措施,从根本上规避了因设备故障引起的运行中断问题。相关研究为类似泵站机组水导轴承智能化监控改造提供了宝贵的经验和参考,具备广泛的应用前景与良好的推广价值。

现有研究成果说明,本文设立的自动化排水系统与分级预警机制虽已取得明显成效,但仍存在一定局限,比如固定的排水阈值触发的自动排水系统不易适应不同排水工况的需求,同时排水期间泥沙含量过多可能影响排水的效果。因此,排水阈值和反应速度的动态调整,以及水质与排水需求的考量将成为后续研究工作的重点。

参考文献:

- [1] 王诗文. 考虑开停机损耗的叶片全调节泵站优化运行方法研究[D]. 扬州:扬州大学,2023.
- [2] 祁英明,龚自成,黄伟. 里底电站水淹水导轴承快速原因查找与处理[J]. 水电站机电技术,2021,44(2):43-45.
- [3] 徐耀刚,黄长久. 水轮机导轴承结构型式研究现状及展望[J]. 机电技术,2023(4):52-54.
- [4] 李泽松. 井下水泵房自动排水系统研究[D]. 太原:太原理工大学,2005.
- [5] 王勇. 基于PLC的自动控制系统在煤矿排水中的应用[J]. 山东冶金,2018,40(4):70-71.
- [6] 孙杰,史殿峰. PLC控制在井下水仓无人自动排水中的应用[J]. 现代工业经济和信息化,2022,12(12):181-182.
- [7] 高飞翔,刘金凤,李家玮,等. 基于PLC技术的黄金矿山排水系统自动控制研究与应用[J]. 黄金,2023,44(10):30-33.
- [8] 徐海潮. 基于压力式传感器的航道水位实时监测系统设计[J]. 中国水运,2020,20(24):55-57.
- [9] 邓群,兰士刚. 上海水利泵闸工程深基坑信息化监测平台应用研究[J]. 水利技术监督,2021(4):48-52.
- [10] 刘茂成,张兵. 基于时间继电器的时序控制电路设计[J]. 电工技术,2022(24):1-2.
- [11] 颜蔚,滕军,李扬. 大型立式轴流泵水导机械密封技术改造与运行评价[J]. 中国农村水利水电,2018(9):96-100.
- [12] 韩启超. 基于风险理念的水利枢纽工程全生命周期信息管理[D]. 天津:天津大学,2012.