

南水北调东线工程江苏段 大型泵站非电量保护研究与应用

沈昌荣, 杜鹏程

(南水北调东线江苏水源有限责任公司淮安分公司, 江苏 淮安 223001)

摘要:针对泵站设备中还有大量非电气数据尚未有效利用与保护的问题,结合南水北调东线工程江苏段洪泽站监控系统软硬件改造,从非电气数据处理、模型构建、逻辑完善、定值管理等方面开展非电量保护研究并试点应用,为泵站非电量保护研究提供借鉴。

关键词:南水北调东线工程江苏段; 泵站; 非电量保护

中图分类号:TV125 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2023)12-0039-0005

Research and application on non-electricity protection of large pumping station in Jiangsu section of the eastern route of south-to-north water diversion project

SHEN Changrong, DU Pengcheng

(Huai'an Branch of the Eastern Route of South-to-North Water Diversion Jiangsu Water Resource Co., Ltd.,
Huai'an 223001, China)

Abstract: Aiming at the problem that a large amount of non-electrical data in pumping station equipment has not been effectively used and protected, combined with the software and hardware transformation of the monitoring system at Hongze station in Jiangsu section of the eastern route of south-to-north water diversion project, non-electrical data processing, model construction, logic perfection, fixed value management and other aspects of non-electricity protection research and pilot application are carried out to provide reference for the research of non-electricity protection of pumping station.

Key words: Jiangsu section of the eastern route of south-to-north water diversion project; pumping station; non-electricity protection

1 概 述

洪泽站是南水北调东线第一期工程的第3级抽水泵站,位于入江水道和洪泽湖之间,具有调水、发电、挡洪和改善水环境等功能,工程主要由泵站、挡洪闸、进水闸及引河等组成,安装立式全调节混流泵5台(含备机1台),单机设计流量 $37.5\text{ m}^3/\text{s}$,配套10 kV同步电机,单机功率3 550 kW。

洪泽站自2013年建成投运以来,工程发挥了应有的效益。为更好推进大型泵站群“远程集控、少人值守”工作,2020年以来对洪泽站工程监控系统软硬件进行了试点改造,针对原泵站工程存在保护不全面、不可靠等问题,选用基于全国产自主可控的现地控制单元(PLC)、操作系统、应用软件和数据库等。在认真分析设备运行现状的基础上,重点在数据处理、模型构建、逻辑完善^[1]、定值管理方面开

收稿日期:2023-10-18

作者简介:沈昌荣(1972—),男,高级工程师,本科,主要从事水利工程运行管理工作。E-mail:435158349@qq.com

展研究,逐步形成大型泵站非电量保护^[2]类型、设备保护配置等体系成果并试点应用,经3年多不断完善,切实保障了泵站主辅设备的运行安全,工程效益得到有效发挥,取得了良好效果。

2 洪泽站非电量保护总体分析

2.1 主要设备情况

洪泽站主机组具备正向抽水、反向发电功能,通过变频发电机组实现反向变速发电。主要设备包括主电机、主水泵、高低压设备、工程监控系统(含视频)、油气水系统以及配套闸门、启闭机等。原工程监控系统主要由现场传感器、现地控制单元(PLC)及上位机组成,相互之间通过线缆或交换机连接。现场传感器负责数据测量,PLC负责数据的采集与处理,上位机负责实现保护功能并提供人机界面。

洪泽站原工程监控系统PLC选用国外设备,上位机安装 windows 操作系统和 Intouch 组态软件,配主从机2台。国外PLC主要实现数据采集和控制,上位机安装的 Intouch 组态软件,自带少量非电量如温度、压力等保护功能。

2.2 存在问题

(1)保护逻辑单一。洪泽站原少数非电量保护功能简单,均为上下限值阈值保护,存在一定的保护死区,在泵站工况发生变化时易造成保护误动或拒动,且缺少相应的保护闭锁,保护可靠性较差。

(2)保护配置不完整。因上位机组态软件非电量功能简单,目前仅对泵站部分参数可以设置一定的非电量保护,未针对主机组、供水系统、油压系统等对象进行标准化的非电量保护配置。与电力系统继电保护相比,保护配置不完整,且泵站非电量保护目前尚无统一标准。

(3)定值管理不便。随着设备更新、工况改变、运行数据积累,根据实际管理需要,部分保护定值需要调整、优化,功能需投退,原保护定值及功能一般固化在PLC或上位机系统程序中,泵站现场人员难以及时修改,给定值管理带来较大难度。

(4)保护运行不可靠。国外PLC一般算力不足,少量的保护功能需要在上位机实现,存在以下2个方面问题:一是传感器异常、受电磁干扰、非正常波动等,采集数据不能得到有效处理,造成数据不准确,产生误报警;二是上位机 Windows 为多任务操作系统,经多年实践证明,虽采用主从机配置,长期运行会大量占用内存,经常出现应用系统运行速

度变慢或死机,导致保护不可靠。

3 洪泽站非电量保护研究

3.1 非电量保护范围

经对洪泽站各类技术参数梳理分析,除电气量外,有温度、液位、压力、流量、振摆、时间、速度、图像等,涉及的主要设备包括主电机、主水泵、供排水、抽真空、叶调装置、启闭机、电力电缆等,上述设备运行安全对泵站效益发挥具有直接影响,应统一纳入非电量保护范围。

3.2 设备更新改造

针对上述泵站非电量保护存在的问题,在满足“远程集控、少人值守”技术要求下,提高非电量保护可靠性,将原以上位机为核心的部分非电量保护统一改由 PLC 实现,同时提高 PLC 边缘计算能力,上位机仅作为人机交互接口。在充分论证基础上,本次改造选用的 PLC 全部使用国产自主可控 N500 系列,上位机选用 Linux 操作系统、IMC 一体化应用平台。另外主从上位机采用负载均衡技术、互相监测技术等,3年多运行一直稳定。

3.3 采集数据处理

洪泽站现场采集的所有非电量数据统一由 PLC 处理,除振摆以外的大部分非电量数据不会在短期内发生较大变化,为提高采集数据准确性,采取以下措施对其进行处理:一是对数据品质进行判断,避免“假数据”超限造成报警,如测量元件损坏或断线、接触不良等;二是对突变数据进行筛选和分离,减小信号干扰带来的数据跳变,使获取的数据更加合理,如红外测温、压力数据等;三是对周期变化数据进行过滤,取一定周期内平均值,如机组运行过程中油缸油位等;四是采用不同策略合理确定存储周期,既保留数据完整性,又避免大量正常数据占用存储资源,降低数据抽取难度;五是对影响工程安全运行较大的数据,采用不同设备、不同原理、不同电源的双套采集装置,并相互比较。

3.4 保护类型总结划分

根据泵站非电量数据划分,洪泽站非电量保护种类分为温度、液位、压力、流量、振摆、时间、速度、图像等,见图1。

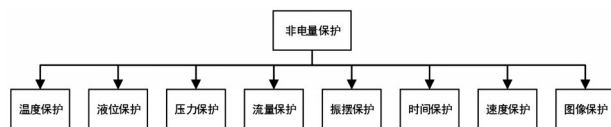


图1 非电量保护类型

3.4.1 温度保护

温度保护是泵站非电量保护中应用最广泛的保护,主要应用于主电机轴瓦、油缸、定子绕组、碳刷、变压器、冷却水以及填料函等多种设备或部件。按照保护的重要性、可靠性和灵敏性要求,不同设备或部件所采用的保护不完全相同。以洪泽站为例,根据多年运行经验,轴瓦作为主电机薄弱部件,仅仅采用温度阈值保护,还不能完全预防烧瓦事故的发生,因此增加了温度变化率、加速趋势保护模型,并提前发出分类信号。

(1)变化率保护。以主电机推力瓦温度保护为例,上限运行温度设定为55℃,正常运行温度约为30℃,根据运行经验,若推力瓦或机组冷却系统出现故障,瓦温缓慢上升到上限温度也需要数分钟甚至数小时。为尽早发现推力瓦故障,机组轴瓦设置变化率保护,以设定的单位时间计算温度上升的幅度,当变化率超过设定值时触发相应动作。

(2)加速趋势保护。若机组异常振动、电机推力瓦机械紧固(支撑)件发生异常松动脱落,轴瓦出现瞬时性故障,如果接触面润滑油膜被破坏,瓦温会呈加速度上升趋势,如保护不及时动作,短时间在主电机瓦面极有可能受损。

针对此类情况,通过计算一段时间内温升变化加速趋势概率可以判断瓦温是否快速上升,见图2。该方法引用了Mann-Kendall单调趋势检验法,其算法程序如下:

对保存的最近10个时间序列样本 $T\Delta$,进行如下计算:

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{Sgn}(T\Delta_i - T\Delta_j) \quad t \quad (1)$$

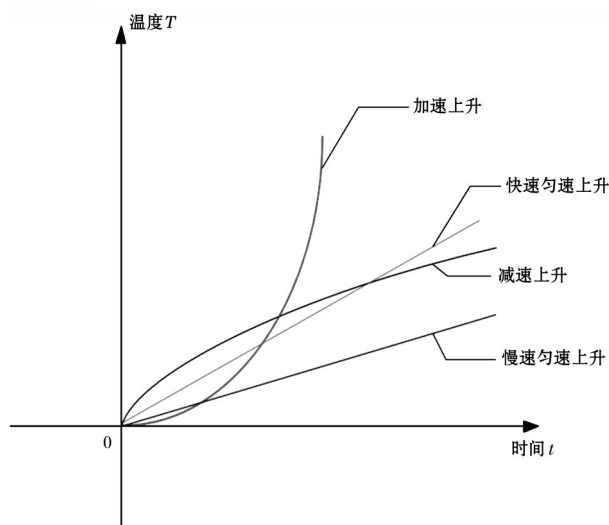


图2 温度随时间上升几种情况

其中:

$$\text{Sgn}(T\Delta_i - T\Delta_j) = \begin{cases} 1 & T\Delta_i - T\Delta_j > 0 \\ 0 & T\Delta_i - T\Delta_j = 0 \\ -1 & T\Delta_i - T\Delta_j < 0 \end{cases}$$

其原理是,如果出现趋势,符号值将趋向于不断增加,或不断减少。将每个值与时间序列中之前每个值进行比较,这将给出总共 $n(n-1)/2$ 对数据,其中“ n ”是集中的观测数。变化率加速递增趋势概率 $\alpha = S/[n(n-1)/2]$ 。

通过越限保护、变化率保护、加速趋势保护3种不同的保护逻辑算法,形成对机组轴瓦温度常规越限、匀速上升、加速上升的互补保护,可有效避免烧瓦现象发生。

3.4.2 液位保护

液位包括水位和油位,正常情况下,设备液位不会迅速变化,故液位一般采用阈值保护,如油缸(箱)油位,高位水箱、廊道、上下游水位等。其中,油缸(箱)油位、廊道水位、上下游水位采用上、下限值保护,高位水箱水位采用下限值保护。

3.4.3 压力保护

压力保护分为正压和负压。其中,叶片调节压力油系统为正压,工作压力范围为3.6~4.0 MPa,采用上、下限值保护;抽真空系统为负压,压力小于-30 kPa,采用上限值保护。

3.4.4 流量保护

洪泽泵站流量参数包括技术供水、填料润滑水、稀油站供油流量等。为确保设备冷却润滑效果和经济性,实际工作流量通过设备操作调整,因此流量保护一般只设下限保护,少量设置上限保护。如水泵填料函供水流量需要设置上限,目的是防止填料供水流量大会溢出至顶盖,增加管理工作量。

3.4.5 振摆保护

振动摆度保护是泵站旋转机械的主保护,用于监测主电机机架、水泵叶轮外壳两方向或三方向振动以及主泵轴摆度,振摆保护采用上限值保护。

3.4.6 时间保护

洪泽站非电量参数均为实时数据,如温度、压力、液位等。本次首次引入时间保护,时间保护对象分为2种:一是周期性工作的设备,如液压站、排水泵,属于具备周期性规律的工作设备,通过对多次运行时间统计,设置时间保护上限;二是闸门启闭机,对闸门上升、下降启闭机运行时间进行正负值累计,并结合实际闸门的上升(下降)安全时间余

量,合理设置闸门保护上限值,防止闸门超出正常行程范围。

3.4.7 速度保护

主要用于闸门保护,防止闸门异常坠落。一是监测闸门在未操作情况下是否存在下滑现象;二是闸门运行时若启闭机发生故障,闸门快速下滑、坠落时可以接通低压电源,使电机进入反馈制动状态,牵制闸门下滑、降低速度,减小闸门下滑对底板造成的损伤。速度保护设置上下限值。

3.4.8 图像保护

为满足“远程集控、少人值守”泵站运行需要,首次提出图像保护应用于工程设备保护,图像保护与以上使用阈值或其他数据形式作为判据的保护方式不同,它使用视频AI识别技术,通过不同类型的算法实现保护功能,主要应用于闸门设置限位、填料涵溢水等场景。

3.5 保护闭锁及动作

3.5.1 保护闭锁

(1)状态闭锁。洪泽泵站设备状态分为运行、停运和检修3种,非电量保护主要在设备运行过程中发挥作用。对这3种设备状态,采集数据是不相同的,如不采取措施,就会产生误动作。采取的保护策略:增加状态闭锁功能,当设备停运时,相应非电量保护自动闭锁^[3],不发任何信号。当设备检修时,根据工作票要求,在上位机界面上完成安全措施后,相应非电量保护自动退出,检修完成后,恢复安全措施后,保护功能自动恢复。

(2)延时闭锁。在泵站设备运行全过程中,有部分非电量数据仍会造成误动作,一是在设备运行初期或启停瞬间,有些设备运行尚不稳定,参数有时会出现波动;二是设备有时会出现偶发性故障,运行数据会出现较大震荡,如振摆值。同时还要考虑不能对真实故障造成影响,因此采用延时闭锁,通过设置一定合理延时,当采集数据与延时闭锁同时满足条件时,保护功能再启动,进一步增加保护的可靠性与设备运行的连续性。

3.5.2 动作信号

为确保保护策略运用的可靠性,针对各种不同功能的保护,按照故障严重程度不同,进行分类分级管理,保护动作后,发出的信号分为提醒、报警、调节和跳闸,报警设定值比跳闸值低。

(1)报警。对于任意一点采集的数据发生异常时均发出提醒信号,以便及时维护。当满足相应闭锁条件,且保护功能投入时,PLC发出语音报警信

号,上位机采用弹窗推出,及时提醒值班人员。

(2)调节。为最大能力保证泵站连续发挥效益,充分利用设备的潜在能力,发生某些故障时,可以通过调节相关运行状态,消除短时故障。如当水泵工况变差或有异物进入时,泵壳振动数据变化最明显。当泵壳两点越限时,在满足前置条件的前提下,按照预先设置调节水泵叶角,改善机组运行工况,可使故障消失。

(3)跳闸。故障严重,影响设备安全运行时,根据不同设备、同类参数采集量等实际情况,按照既最大程度保护、又不耽误动作的原则,采用单点或多参数联合,迅速发出跳闸信号停运设备,并对故障参数自动记录。

3.6 定值管理

为解决现场运维人员难以灵活修改非电量保护定值的问题,洪泽站非电量保护以现地控制单元为核心,所有保护定值及功能全部存储在现地控制单元,计算机监控系统提供人机交互平台,远程集控中心和现地泵站上位机同时与现地PLC通讯,共享一套非电量保护数据。

洪泽站保护定值及功能,可以根据运行情况和实际需要,通过工程监控系统,登录相应权限的账户,即可根据需求优化、调整存储在PLC中的非电量保护定值或对其功能进行投退,运用管理高效便捷。

3.7 保护配置

根据工程现场实际情况和需求,洪泽站非电量保护总体按照以下要求配置^[4]:(1)主机组,包括主电机和水泵,配置的非电量保护包括温度保护、流量保护、压力保护、振摆保护、液位保护、图像保护;(2)辅机系统,主要包括供水系统、排水系统、抽真空系统、叶片调节系统、稀油站等,配置的非电量保护包括温度保护、流量保护、压力保护、液位保护、时间保护;(3)变配电系统,主要包括主变压器、站(所)用变压器、变频机组及配套高低压电气柜,配置的非电量保护类型包括温度保护、液位保护;(4)水闸设备,主要包括闸门、启闭机,配备的非电量保护主要包括时间保护、速度保护、图像保护。

4 结 语

洪泽站非电量保护现已成为泵站保护系统重要组成部分,为全站设备安全稳定运行提供保障,也为行业发展提供了借鉴与思路。考虑到各泵站保护对象的广泛性、多样性,泵站非电量保护仍需持续深入研究。

参考文献:

- [1] 杨洪涛,周建中,胡肇伟.抽水蓄能机组非电气量保护控制逻辑优化[J].水电站机电技术,2017,40(4):32-35,38.
- [2] 电力行业水电站自动化标准化技术委员会.抽水蓄能机组非电气量保护系统技术导则:DL/T 2396—2021[S].

北京:国家能源局,2021.

- [3] 司红建,段德荣,魏力.沙河抽水蓄能电站非电气量保护的优化[J].水力发电,2007,33(9):76-77,79.
- [4] 杨洪涛,周建中,散齐国,等.抽水蓄能电站非电气量保护故障原因分析及完善对策[J].水电能源科学,2016,40(4):154-157,206.

(上接第38页)

扬式启闭机联动启闭。针对水闸运行环境、安全风险和运行维护,设置的感知内容和项目包括动静一体化位移监测^[7]、启闭力检测^[8]等结构响应以及运行水位、风速风向以及闸门控制要素等感知子系统,为实现闸门自动控制配置了闸门自动控制系统^[9-10]。

内置模型方面根据水闸结构材料建立了数值模型,并采用模型修正、网格优化和数据同化等技术保证数值模型及其响应与真实水闸的一致性、同步性和显示逼真度,模型经调试检验合格并内置服务器之中并采用实时优化技术实现对模型和参数的滚动优化。

基于GIS+BIM构建水闸三维模型^[11],并依据闸门开闭控制信息及多场耦合结果建立动态可视化模型,实现动静力安全的数字孪生水闸展示,其中后端可采用Spring框架,前端可基于JavaScript开发,三维场景展示基于WebGL第三方库Three.js 3D引擎库。

在可视化和人机交互方面,不过分强调细节但突出结构整体安全、安全风险和演化和人机交互定量安全度量,根据实时监测信息实现故障树枝剪、故障信息入库。

为缓解中心计算带来的计算与通信压力,在数据采集地增加边缘计算设计以完成简单的数据滤波及预处理,中心计算平台处理多场耦合等大型计算。上述模型和系统采用端边云架构,平台采用B/S总体构架,数据库采用SQL Server。

4 结 语

为使数字孪生工程建设达到提高管理水平的目的,必须系统梳理信息流线,明确建设目标。由于水利工程运行环境、结构状态和运行目标的动

态性和特殊性,必须建成适合水利工程的模型库,通过人工智能和自适应方法提升方法运用的针对性效果。根据水工程的共性特征,给出了数字孪生工程整体架构和关键技术,明确了各阶段的关键算法和模型,并结合实际工程建设的关键环节进行讨论。

参考文献:

- [1] 陈晓楠,靳燕国,许新勇,等.南水北调中线干线智慧输水调度的思考[J].河海大学学报(自然科学版),2023,51(5):46-55.
- [2] 郭旭宁,李云玲,唱彤,等.“荆楚安澜”现代水网建设思路与实施路径[J].水资源保护,2023,39(3):1-7.
- [3] 张绿原,胡露骞,沈启航,等.水利工程数字孪生技术与探索[J].中国农村水利水电,2021(11):58-62.
- [4] 张社荣,姜佩奇,吴正桥.水电工程设计施工一体化精益建造技术研究进展——数字孪生应用模式探索[J].水力发电学报,2021,40(1):1-12.
- [5] 蒋亚东,石焱文.数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J].科技通报,2019,35(11):5-9.
- [6] 饶小康,马瑞,张力,等.基于GIS+BIM+IoT数字孪生的堤防工程安全管理平台研究[J].中国农村水利水电,2022(1):1-7.
- [7] 方卫华,胡丰,孙勇,等.基于机器视觉的水闸动静一体化位移监测系统[J].江苏水利,2022(9):49-53,64.
- [8] 邵园园,房晓玲,吴皓明.秦淮新河节制闸闸门启闭力的检测与分析[J].江苏水利,2015(3):34-35.
- [9] 王贤龙,吴庞,王鹏,等.多传感信息融合的闸门状态监测系统研究[J].水运工程,2022(1):157-164.
- [10] 戴冰清,茅泽育.基于流固耦合的平板闸门动水关闭过程数值模拟[J].人民长江,2021,52(8):214-221.
- [11] 陈翠,安觅,董家贤,等.基于BIM的水闸数字孪生平台设计与应用研究[J].水利技术监督,2022(3):43-46.