

大型泵站机组状态监测技术综述

谢 利

徐州市南水北调工程管理中心 江苏 徐州 221000

摘 要:大型泵站机组长期连续运行,工况复杂且运维难度较高,稳定的状态监测是保障设备安全运转的关键支撑。本文系统梳理大型泵站机组状态监测的完整体系架构、软硬件配置与数据传输存储模式,分类归纳机械、水力、电气及辅助系统四大类监测参数,总结振动、温度、油液、声学等主流监测技术的应用特点,剖析智能化融合、分布式组网、多源数据融合及自适应监测等技术迭代方向,可为泵站机组状态监测技术的优化升级提供系统参考。

关键词:大型泵站; 机组设备; 状态监测; 信号采集; 智能监测

引言:大型泵站是水利调蓄、流域输水、排涝减灾的核心水利设施,机组设备的运行稳定性直接关系水利工程的整体运行效能。长期高负荷、不间断的运行模式,易使机组产生机械损耗、水力异常、电气故障等各类隐患。依托专业化、系统化的状态监测技术,可全方位捕捉机组运行工况变化,精准把控设备运行状态。结合现有监测体系与主流技术的发展现状,梳理技术应用特点与迭代方向,对提升泵站机组运维精细化水平具备重要意义。

1 大型泵站机组状态监测体系构成

1.1 监测系统架构组成

大型泵站机组状态监测依托分层化架构搭建完整运行体系,整体结构适配泵站机组连续运转的运行特性。架构分为现场感知、数据中转、平台管控多个层级。现场感知层级贴近机组本体,负责捕捉设备运行过程中的各类动态状态信息。数据中转层级承接前端采集内容,完成信号的规整与上传输送。平台管控层级集中对接各类监测数据,支撑后续状态分析与设备管控工作。各层级结构划分清晰,层级之间形成稳定的信息流转链路,适配大型泵站多机组、大负荷、长时间运行的工况特点,为常态化状态监测提供结构支撑^[1]。

1.2 监测硬件设备类别

监测硬件是获取泵站机组运行状态信息的实体载体,各类设备针对性适配不同监测维度。振动类硬件设备用于采集机组轴承、转子等核心部件的振动动态,捕捉机械运行的细微工况变化。温度、压力类硬件设备布置于机组管路、电机、泵体关键位置,实时捕捉运行过程中的热力与水力参数变化。流量、液位类硬件设备适配泵站水流运行场景,监测水系工况的动态变化。电气

类硬件设备对接机组电气回路,采集电力运行相关状态信息。各类硬件设备针对性覆盖机组机械、水力、电气的运行监测需求。

1.3 监测软件功能模块

监测软件依托模块化设计实现多样化运行管控功能,覆盖机组状态监测的全流程需求。数据解析模块对上传的原始监测信号进行分类甄别与规范处理,剔除杂乱无效信息。状态展示模块将各类监测参数以可视化形式呈现,直观呈现机组实时运行工况。异常识别模块依托既定运行阈值,筛查机组运行中的非正常工况信息。数据管理模块规整各类监测信息,保障监测数据的有序留存与调取。功能模块独立运行且相互配合,覆盖机组日常状态监测的核心需求。

1.4 数据传输与存储架构

数据传输与存储架构保障监测数据的稳定流转与长效留存,适配大型泵站全天候运行的监测需求。传输架构依托专用传输链路,搭建现场设备与管控平台的信息通道,保障监测信号持续稳定输送。链路设计适配泵站复杂运行环境,降低外界环境对数据传输的干扰。存储架构采用分级存储模式,临时运行数据依托高速存储介质快速缓存,历史监测数据依托大容量存储介质长期留存。架构设计兼顾数据传输效率与存储安全性,适配机组长期不间断的监测工作开展。

2 大型泵站机组状态监测关键参数

2.1 机械运行状态参数

机械运行状态参数是反映泵站机组本体结构运行品质的核心指标,能够直观体现转动部件与支撑结构的运行稳定性。此类参数涵盖机组振动幅值、振动频率、轴系跳动、轴承温度以及部件磨损形变等内容。机组振动

相关参数可以反映泵体、电机转子、轴承座等关键结构的运行波动情况。轴系类参数用于判断主轴运转的平稳程度,规避偏心、晃动等结构问题。轴承温度参数实时反映摩擦副的工作状态,规避过热引发的结构损伤^[2]。形变与磨损参数记录设备长期运行产生的结构损耗。完整的机械参数监测可以精准反馈机组机械结构的运行状态,为设备运行稳定性把控提供有效参考。

2.2 水力运行状态参数

水力运行状态参数聚焦泵站流体输送过程的工况变化,适配泵站输水运行的核心工作属性。参数体系包含进出口压力、管路压差、水体流量、上下游液位、流道紊动强度等内容。压力参数展现泵体内部与输水管道的承压水平,反映流体输送的动力特性。流量参数体现单位时间内的输水能力,衡量泵站实际运行效能。液位参数决定泵站运行的工况边界,影响机组启停与负荷调节的运行逻辑。紊动相关参数可以捕捉流道内部水流的紊乱变化,排查空化、湍流等影响输水稳定性的水力问题。

2.3 电气运行状态参数

电气运行状态参数针对泵站驱动电机及配套电气设备设置,覆盖电力传输与设备驱动的运行全过程。常见监测参数包含工作电压、运行电流、绕组温度、绝缘电阻、功率因数以及设备温升变化等。电压与电流参数反映电气回路的供电稳定性,排查供电波动带来的运行隐患。绕组温度与绝缘电阻参数把控电机绝缘结构的工作状态,规避绝缘老化、过热击穿等故障。功率因数参数体现电气设备的电能利用水平,保障电力系统运行的规范性。各类电气参数构成完整的电力运行监测体系。

2.4 辅助系统状态参数

辅助系统状态参数服务于主机组稳定运行,覆盖泵站配套辅助设备的运行工况。参数范围包含润滑系统油压、冷却介质温度、通风系统风量、密封系统压力以及管路介质流速等。润滑系统参数保障机组摩擦部件的润滑效果,减少机械磨损。冷却系统参数把控设备散热水平,维持机组常规工作温度区间。通风与密封系统参数保障机组运行环境的密闭性与通风条件,规避粉尘堆积、介质泄漏等问题。辅助系统参数的全面监测,能够夯实主机组长效稳定运行的基础条件。

3 大型泵站机组主流状态监测技术

3.1 振动监测技术

振动监测技术是大型泵站机组机械故障排查的基础性手段,广泛用于泵体、电机、轴承、主轴等核心转动部件的状态感知。现场布设的传感元件可持续拾取设

备运转过程中的振动信号,从时域、频域维度完成信号拆解与分析工作^[3]。泵站机组多以低频稳态模式长期运行,该项技术可以识别微米级的振动偏移量,及时发现转子失衡、轴系对中偏差、轴承松动等常见机械异常。设备不同位置的振动信号具备独特特征,泵体壳体产生的振动大多源于水力扰动,电机端振动问题多由装配偏差、长期转动损耗引发。长期持续的振动监测,能够持续追踪设备结构性能的变化趋势,为机组机械运行状态管控提供稳定可靠的技术支撑。

3.2 温度监测技术

温度监测技术用于捕捉泵站机组运行全过程的热态变化,监测范围覆盖机械摩擦构件、电机电气绕组、输水配套设备等关键核心区域。高精度测温元件定点布设,实时采集各关键点位的温度数值,梳理设备运行过程中的温升变化规律。轴承、机械密封等摩擦结构持续运转会积累热量,温度异常升高可直接反映摩擦损耗加剧的问题。电机绕组、接线端子等电气构件的温度波动,能够直观体现负载变化与绝缘层工作状态的优劣。测温技术支持不间断连续采集,响应速度快,完全适配泵站全天候连续运行的工作模式,可快速排查各类热异常引发的设备安全隐患。

3.3 油液监测技术

油液监测技术主要针对泵站机组润滑、液压系统的工作介质开展检测,通过分析油液各项理化指标,间接判定传动结构与摩擦构件的实际运行状态。监测重点包含油液黏度、含水比例、固体颗粒浓度、氧化变质程度等核心指标。齿轮箱、滑动轴承等依靠油液润滑的结构,运行磨损脱落的金属微粒会直接混入油液当中。油液内部水分超标会大幅降低润滑效果,加速金属构件锈蚀老化。油液出现氧化变质后,自身理化性能会大幅衰减,散热、防护、降噪等功能都会受到影响。这项技术从介质状态切入研判设备工况,有效填补了纯机械监测方式存在的监测盲区。

3.4 声学监测技术

声学监测技术属于非接触式监测方式,依靠捕捉设备运行产生的声场信号,完成机组隐性故障的筛查与识别。机组正常运转时会形成稳定、规律的声场环境,结构损伤、水流空化、管路堵塞等异常工况,都会打破原有声场的稳定特征。技术可同步采集设备运行的高频噪声与低频声波,精准区分机械结构异响和水力流动异响的不同特征。泵体内部空化、流道湍流冲击、轴承轻微卡滞等隐蔽性故障,很难通过常规振动监测捕捉,可依托声学信号的特征变化实现精准识别。这项技术适配泵

站复杂多变的现场工况,有效拓宽了机组状态监测的覆盖范围。

3.5 工况参数实时采集技术

工况参数实时采集技术面向机组整体运行工况搭建动态采集体系,整合水力、电气、机械多维度运行参数。前端采集设备可对管路压力、水体流量、上下游液位、工作电流、运行电压等多项核心参数开展不间断采集与规整处理。采集逻辑贴合机组实际运行规律,可适配负荷升降、水位浮动、设备启停等各类工况场景。系统支持高频次数据录入,精准捕捉工况切换瞬间产生的细微参数波动。全方位、全时段的工况数据采集,能够完整还原机组真实运行状态,为各类监测技术的数据分析、状态研判提供扎实、全面的基础数据支撑。

4 大型泵站机组状态监测技术发展方向

4.1 智能化监测技术融合发展

智能化监测技术是大型泵站机组运维升级的核心趋势,依托智能算法与自主判别机制,彻底改变传统监测的运行模式。传统监测手段只能完成基础数据采集与固定阈值报警,很难提前捕捉机组运行中潜藏的各类隐患,识别精度存在明显短板。智能技术能够深度解析振动、温度、水力等数十类监测数据,精准捕捉常规技术难以分辨的细微工况异常。算法模型依托长期积累的运行数据完成迭代训练,贴合不同泵站的机组运行特征,大幅提升复杂工况下的状态判别精度。智能分析机制可独立完成工况分类、异常溯源与趋势预判,缩减人工研判的介入成本^[4]。智能技术与传统监测手段的深度融合,推动机组监测从被动告警转向主动预判,稳步提升泵站运维的自动化与精细化水平。

4.2 网络化与分布式监测技术升级

网络化与分布式监测技术,针对大型泵站多机组、大跨度、多站点的布局特点完成全面技术迭代。传统集中式监测架构布线繁琐、扩展空间有限,难以适配规模化泵站的长效运维需求。分布式监测架构可在泵站各机组、输水管道、电气设备区域布设独立采集节点,每个节点均可独立完成现场数据采集与初步预处理工作。网络传输体系搭载轻量化传输协议,可将站点监测数据的传输延迟控制在毫秒级,充分保障工况数据的实时性。组网方式灵活可调,能够根据泵站改造、机组扩容等工程需求增减监测节点。

4.3 多源数据融合监测技术发展

多源数据融合监测技术打破了单一参数监测的局限性,实现机组全维度运行状态的综合研判。常规监测方式仅依靠单一参数判定设备运行状态,工况波动、

外界环境干扰等因素,都会影响最终判定结果的准确性。该技术整合机械振动、水力工况、电气运行、辅助设备百余项监测数据,构建全方位、多层次的状态研判体系。技术通过数据清洗、特征关联、权重匹配等处理手段,有效抵消单一数据存在的误差干扰。多源数据交叉比对分析,能够清晰区分设备结构性故障与常规工况波动,强化大型泵站复杂工况下机组运行状态的辨识能力。多源数据融合可实现多维度信息互补校正,弱化环境与工况干扰,大幅提升机组状态研判的全面性与精准性。

4.4 全天候自适应监测技术迭代

全天候自适应监测技术能够适配泵站昼夜不间断运行、季节水位更迭、负荷动态波动等复杂工况,实现监测模式的动态优化调整。传统监测设置的参数阈值多为固定数值,无法适配不同季节、不同负载下的机组运行差异,大概率造成监测数据误报或漏报。自适应监测体系可以结合环境温度、上下游水位、机组实际负载等外部条件,灵活调整监测阈值与数据采集频次。机组处于高负荷运行状态时,系统自动提高采集密度;机组进入低负荷稳定运行状态后,恢复常规采集节奏。这套运行模式可以适配全年不同环境与工况变化,贴合泵站长期连续运行的工作属性,稳步提升机组状态监测的适配性与运行稳定性。

结束语

现阶段大型泵站机组状态监测已构建起完备的技术体系,各类监测手段功能互补、相互配合,能够全面覆盖机组机械、水力、电气等多维度运行感知需求。多技术融合应用、分布式网络化布设与自适应监测模式,有效弥补了传统单一监测方式的局限性。持续优化监测技术体系、深化多源数据融合应用,能够有效提升泵站机组运行状态的感知精度与适配能力,为水利泵站设备安全、平稳、长效运行提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 谭杰,汪勇,周岩,等.大型泵站机组状态监测技术综述[J].中国科技纵横,2025(13):79-82.
- [2] 王浩男,井志豪,刘海艳.大型泵站机组状态监测与预测性维护策略研究[J].水电站机电技术,2026,49(4):15-18,29.
- [3] 刘雪芹,力刚,葛强.基于声纹监测技术的大型泵站机组振动特性研究[J].中国农村水利水电,2024(2):103-108,114.
- [4] 贺金良,田军,薛灵燕,等.大型泵站主机组安全评价体系的构建——以博斯腾湖西泵站为例[J].水上安全,2024(18):38-40.