

机组在线检测的实时状态监控与故障预警新探索

黄 燕

内蒙古引绰济辽供水有限责任公司 内蒙古 兴安盟 137400

摘要: 本文以引绰济辽工程文得根水利枢纽的状态监测系统为研究对象, 阐述其分层分布的硬件架构(含数据服务器、工作站等)与网络安全设计, 分析系统对水轮发电机组、主变、启闭机及闸门的实时监控功能, 探讨其故障预警机制。该系统实现多设备一体化监测, 提升枢纽设备运维效率与安全性, 为同类水利枢纽机组监测系统提供参考, 推动行业运维模式革新。

关键词: 文得根水利枢纽; 机组在线检测; 实时监控; 故障预警

引言

在水利水电工程领域, 机组的稳定运行直接关系到整个工程的发电效率、防洪能力及安全可靠。随着智能化技术的不断发展, 传统的离线检测与定期维护模式已难以满足大型水利枢纽对机组运行状态实时监控、故障提前预警的需求。引绰济辽工程文得根水利枢纽作为重要的水利基础设施, 其配备的机组在线检测系统——文得根项目状态监测系统, 创新性地实现了对卧式及立式水轮发电机组、主变、溢流坝液压启闭机及弧形闸门的全方位实时监控与故障预警, 为水利枢纽机组的安全高效运行提供了坚实保障。本文将该系统为研究对象, 深入探讨机组在线检测中实时状态监控与故障预警的新路径、新方法, 剖析系统的技术架构、功能特点及应用价值, 为同类水利枢纽机组监测系统的建设与优化提供参考。

1 文得根项目状态监测系统总体架构设计

1.1 硬件系统组成

系统硬件核心包括状态数据服务器、工程师工作站、Web服务器及网络设备, 各设备功能协同, 保障系统稳定运行。

状态数据服务器作为数据核心, 承担存储、分析与管理职责。采用机架式机型, 配置高性能CPU(主频 $\geq 2.2\text{GHz}$ 、核心数 ≥ 10 核)、16GB可扩展内存, 搭配1.2TB*210KSAS硬盘及RAID磁盘阵列卡, 满足1年原始数据、4年压缩数据存储需求, 且具备黑匣子功能, 完整记录机组异常数据。配置多接口实现通信, 预留同步时钟接口接入GPS系统。

工程师工作站为现场操作平台, 机架式设计, CPU主频 $\geq 3.0\text{GHz}$ 、核心数 ≥ 8 核, 8GB可扩展内存与1TB SATA硬盘, 支持多窗口显示, 以多种形式呈现主变、机组运行状态, 方便工程师实时掌握情况并开展故

障分析^[1]。

Web服务器负责与电站管理信息系统、远程诊断中心通信, 硬件配置与数据服务器相近, 采用组柜布置, 存储相同数据并实现数据共享与远程应用。

网络设备遵循IEEE802.3u及TCP/IP规约, 采用100/1000M自适应光纤以太网, 选用与电站主交换机一致的工业级交换机, 模块化安装于数据服务器柜, 保障数据传输高效稳定。如图1所示, 该图为文得根项目状态监测系统硬件架构图, 清晰展示了状态数据服务器、工程师工作站等核心硬件与水轮发电机组、主变、启闭机及闸门的连接关系, 直观呈现了数据从采集端到服务器端的传输路径。

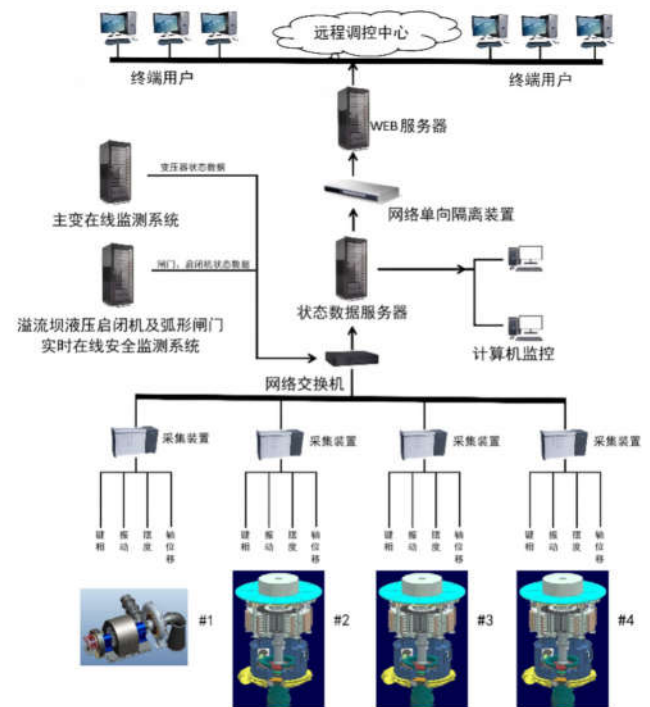


图1 文得根项目状态监测系统硬件架构图

1.2 网络安全防护设计

系统严格依据《电力监控系统安全防护规定》等规范，构建多层次防护体系。将生产控制大区分为安全I区（计算机监控系统）与II区（状态监测系统），区间设防火墙隔离风险。Web服务器与外部系统连接时，除硬件防火墙外，采取物理隔离与软件防护（综合过滤、访问控制、应用代理），实现全方位隔离。数据服务器采用安全加固操作系统，提升访问控制能力，保障运行安全。

2 系统实时状态监控功能实现

2.1 水轮发电机组实时状态监控

水轮发电机组作为核心动力设备，其稳定性决定发电效率与安全，系统为此构建全维度监控体系。数据采集层面，通过部署在大轴、导轴承、定子铁芯、水轮机顶盖的高精度传感器，实时获取大轴轴线摆度（径向、轴向）、导轴承温度与振动幅值、定子铁芯振动频率、过流部件压力脉动等关键信息，同步采集有功功率、无功功率、运行水头、转速（额定转速 $\pm 0.5\%$ 波动）、相对

效率、流量、耗水率等工况参数，采集频率达1次/秒，保障数据时效与准确。

数据可视化上，系统提供多形式满足运维需求：监测参数数值表按“机组本体-辅助系统-工况参数”分区，同步展示实时数据，如“导轴承状态”分区可查看1#-4#导轴承温度与振动峰峰值，超预警阈值自动标红；时域波形图实时绘制振动、摆度波动曲线，工程师可通过波形周期与峰值变化，判断是否存在冲击性振动；趋势图支持1小时-7天自定义时间范围，展示参数长期规律，如分析7天转速趋势预判调速系统稳定性；频谱图通过傅里叶变换分解振动信号频率成分，辅助定位故障源（如2倍频异常指向不对中问题）；轨迹图模拟大轴轴心运动轨迹，正常时呈规则圆形或椭圆形，畸变时可发现轴系不对中、轴承间隙异常。多种形式协同，让工程师从微观到宏观掌握机组状态，支撑精准运维。如图2所示，该图为2#水轮发电机组在线监测界面，界面按“机组本体 - 辅助系统 - 工况参数”分区展示了上导摆度、机架振动、转速、有功功率等关键参数的实时数据。

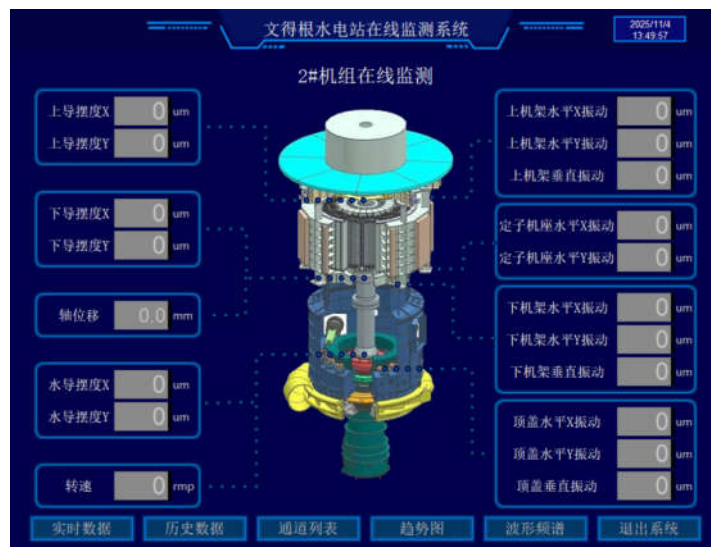


图2 2#水轮发电机组在线监测图

2.2 主变实时状态监控

主变是电能传输关键设备，其绝缘与温度状态影响供电可靠性，系统针对核心风险点设专项监控模块。数据采集环节，通过主变在线监测系统的油气分离装置与温度传感器，实时获取油中溶解气体（甲烷、乙烷、乙炔、乙烯、一氧化碳、二氧化碳）浓度、产气速率，以及顶层油温、底层油温、高低压绕组温度，其中乙炔浓度采集精度达 $0.1\mu\text{L/L}$ ，确保早期隐患可识别。

监控界面采用“数值-趋势-预警”三位一体逻辑：数值列表按“气体成分-温度参数”分类更新数据，如油中

乙炔浓度默认阈值 $5\mu\text{L/L}$ ，超阈值时列表项自动闪烁；趋势曲线支持单参数或多参数对比，如同时绘制甲烷与乙炔72小时趋势，同步攀升可预判局部过热故障；系统还设“气体组分比值分析”功能，自动计算特征气体比值（乙炔/乙烯、甲烷/乙烷），与行业导则比对后生成“正常-注意-异常”评级，如乙炔/乙烯 > 0.5 时评级切换为“异常”并弹窗提示，引导运维排查。通过精细化监控与分析，提前发现主变绝缘老化、局部放电等隐患，避免故障扩大。

2.3 启闭机与弧形闸门实时状态监控

启闭机与弧形闸门是防洪调度关键设备，系统按其运行特性设计专项监控方案。数据采集方面，通过闸门主梁、支臂的应变传感器实时监测应力，确保不超材料许用值；通过启闭机液压系统、电机轴承的温度传感器采集液压油温度、电机定子温度；借助振动传感器捕获启闭机振动幅值与频率、闸门启闭振动响应，采集间隔动态调整——闸门静态时1次/分钟，动态启闭时1次/秒，兼顾时效与能耗。

监控界面以“动态模拟+数据面板”实现直观监控：动态模拟图按1:1还原闸门布局，通过动画展示启闭位置

（精确到厘米）、速度（默认0.5m/min），开启至预设高度（如防洪限制水位对应高度）时，闸门边框自动变蓝提醒；数值面板分“闸门结构-启闭机机械”两区，同步显示闸门主梁最大应力、支臂应力、启闭机液压油温度等参数，如应力超80%许用值时面板背景色变黄预警，如图3所示；趋势图支持查看闸门启闭过程应力变化曲线，如分析全关到全开的应力峰值，判断是否因卡阻导致应力突变。此外，系统支持近3个月历史操作回溯，调取启闭时间、位置、应力数据，为故障溯源与调度优化提供依据，确保设备在防洪、泄洪场景稳定运行，规避安全风险。

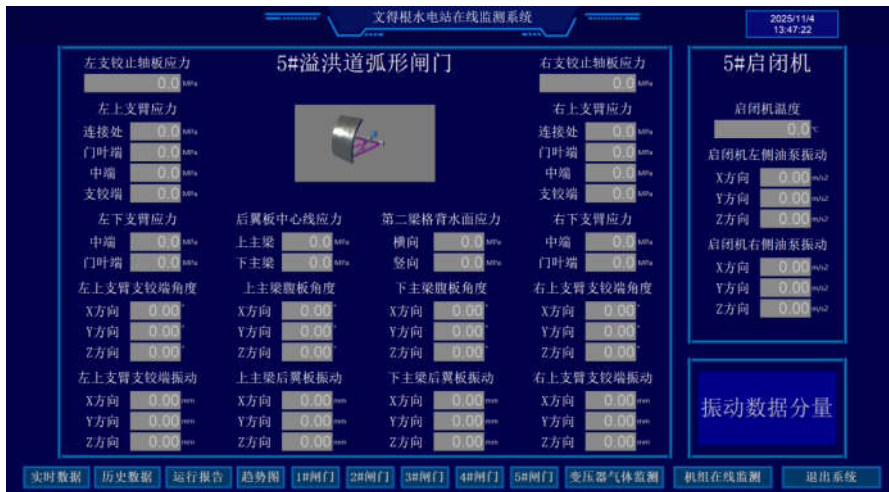


图3 溢洪道闸门与启闭机实时监测界面图

3 系统故障预警机制与技术创新

3.1 故障预警机制

系统基于采集数据构建多维度预警模型，实现精准预警。针对水轮发电机组，设定振动、摆度等参数阈值，当数据超阈值或趋势异常（如振动频率突变），触发预警；主变监测中，依据油中气体成分含量及产气速率，结合温度数据，判断绝缘老化、局部放电等隐患并预警；启闭机与闸门则根据应力、温度、振动异常变化，预警结构损伤或机械故障。预警信息通过声光、弹窗等形式推送至工程师工作站与远程诊断中心，同步记录预警数据，为后续分析提供依据^[2]。

3.2 技术创新点

针对文得根水利枢纽地处偏远、现场技术资源有限的特点，系统依托Web服务器搭建远程协同诊断平台。远程诊断中心通过加密网络实时获取枢纽设备数据，当现场出现预警信息时，远程专家可通过系统共享的波形图、趋势图等数据，与现场工程师开展在线会商。例如某次机组振动超标预警中，远程专家结合实时频谱图与历史数据，快速判断为导轴承间隙异常，指导现场人员

精准检修，将故障处理时间缩短40%，有效解决偏远地区枢纽技术支援滞后问题^[3]。

结束语

文得根项目状态监测系统在机组在线检测的实时状态监控与故障预警领域，实现了技术突破与实践创新。其一体化监测架构、精准预警机制与显著应用效果，证明了智能化监测系统在水利水电工程中的重要价值。未来，随着人工智能、大数据技术的发展，可进一步优化系统数据分析模型，提升预警准确性与智能化水平，推动水利枢纽机组运维向更高效、更安全、更智能的方向迈进，为水利水电行业高质量发展注入新动力。

参考文献

- [1]舒登春.水电站在线检测及远程辅助诊断系统研究[D].电子科技大学,2012.
- [2]胡东海.水轮发电机组振动在线监测和故障诊断研究[D].浙江大学,2008.
- [3]孙玮,苏胜威,葛军强.抽水蓄能机组主轴密封实时在线检测系统[J].水力发电,2012,38(12):64-66.