

# 水电站监控系统实时数据采集与动态响应机制研究

李华威

南京南瑞水利水电科技有限公司, 江苏 南京 210015

DOI:10.61369/ERA.2025070013

**摘要**：在水电行业蓬勃发展的大背景下，水电站监控系统对于确保电站安全无虞、稳定持久、高效运转发挥着极为关键的作用。本文聚焦于水电站监控系统的实时数据采集与动态响应机制开展深入研究，详细阐释了相关技术原理以及实际应用状况，精准剖析了现存问题，并对未来发展趋势展开前瞻性展望，期望能为水电站监控系统性能的提升提供极具价值的参考依据。

**关键词**：水电站监控系统；实时数据采集；动态响应机制

## Research on Real-Time Data Acquisition and Dynamic Response Mechanism of Hydropower Station Monitoring System

Li Huawei

Nanjing NARI Water Conservancy and Hydropower Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210015

**Abstract**：In the context of the booming development of the hydropower industry, the hydropower station monitoring system plays a crucial role in ensuring the safety, stability, durability, and efficient operation of the power station. This article focuses on conducting in-depth research on the real-time data acquisition and dynamic response mechanism of the hydropower station monitoring system. It elaborated on the relevant technical principles and practical application status, accurately analyzed the existing problems, and provided a forward-looking prospect for future development trends. It is hoped that this article can provide a valuable reference for improving the performance of hydropower station monitoring systems.

**Keywords**：hydropower station monitoring system; real-time data acquisition; dynamic response mechanism

## 引言

随着全球对清洁能源需求增长，水电在能源结构中地位越发重要。如今水电站装机容量增大、机组增多，运行环境复杂，对监控系统要求更高。及时准确采集实时数据并快速响应，是保障安全稳定运行、提升发电效率的关键。但传统监控系统已无法满足需求，研究新的实时数据采集与动态响应机制迫在眉睫。深入探究该机制，能保障安全、优化发电调度，还能推动行业技术进步，助力水电事业长远发展。

## 一、水电站监控系统概述

### （一）监控系统组成

水电站主要由挡水、泄水、取水等建筑物及发电厂房组成，实现防洪、发电、灌溉、调水调沙等功能。监控系统是水电站实现远程自动化控制的重要途径。因此水电站监控系统是一个集计算机、控制、通信、网络、电力电子设备于一体的综合自动化系统，多以独立的局域网形式存在，主要实现设备运行监视、控制调节及操作、日志报告统计、发电自动控制、有功和无功功率自动调节等功能<sup>[1]</sup>。水电站监控系统由四层协同构成。数据采集层部署设备采集核心设备关键参数，为系统提供基础数据。传输层用有线或无线技术，快速稳定传输数据。处理与管理层接收数据后

分析、处理、存储并依规则决策。人机交互层为操作人员提供直观界面，助其掌握运行状态、下达指令，实现高效管控。

### （二）监控系统功能

水电站监控系统具备多种关键功能，保障着水电站稳定运行与高效管理。实时监测功能借助全方位传感器网络，全天候不间断监测设备运行状态，一旦设备运行参数异常，能迅速察觉，为后续处理争取时间。故障诊断功能凭借先进算法和模型，深度分析大量设备运行数据，精准判断故障类型、位置及影响，为技术人员提供可靠处理建议，提高故障排查修复效率，减少设备停机时间。自动控制功能按照预设策略，实现对水电站设备的远程精准控制，从机组启停、发电功率调节到设备协同运行，全面实现发电自动化，降低人力成本，提升发电稳定性与可靠性<sup>[2]</sup>。数据管

理功能有序存储历史数据，方便技术人员查询，通过统计分析历史数据，可发现设备运行规律，优化设备维护计划，推动运行效率不断提升。

### （三）监控系统发展趋势

当下，水电站监控系统呈现多前沿发展趋势，智能化最为显著。引入人工智能和大数据技术，借助机器学习算法分析历史数据，能提前察觉设备潜在故障隐患并预警，让维护人员提前防范，精准判断故障，提升处理效率与自主决策能力。随着物联网技术发展，设备间互联互通更广泛，可实时采集、传输和交互数据，依据水情、负荷自动调整设备参数，提高发电效率。同时，监控系统朝着分布式、模块化发展。分布式架构适应复杂环境，分散数据处理与存储，提升性能；模块化设计便于功能模块集成、替换与添加，方便升级维护，降低运维成本，推动系统持续进步。

## 二、实时数据采集技术研究

### （一）数据采集概述

在水电站监控系统中，数据采集是极为关键的基石环节。它承担着获取水电站设备实时运行状态数据的重任，这些数据如展现设备运行状况。为给后续数据分析、处理及决策提供可靠依据，采集数据需兼具准确性、实时性与完整性<sup>[3]</sup>。准确性保障数据真实反映设备状态，避免误判；实时性让系统及时掌握设备动态，利于异常时快速响应；完整性提供全面分析所需信息，防止因数据缺失影响判断。数据采集范围广泛，涵盖水情数据、设备运行数据、电气参数等水电站生产各环节，从不同角度为监控系统提供全面信息，构成保障水电站稳定运行的关键数据基础。

### （二）数据采集方法

当前水电站监控系统常用模拟量、数字量及分布式采集三种数据采集方法。模拟量采集针对温度、压力等连续变化物理量，传感器将其转换为模拟电信号，再通过 A/D 转换器精准转化为数字量，便于系统后续分析处理。数字量采集面向开关状态、脉冲信号等离散量，可通过数字输入接口直接采集，简单高效，能快速获取离散量信息<sup>[4]</sup>。分布式采集借助现场总线技术，连接多个采集节点，实现对水电站各区域分散设备的数据采集。它提高了采集效率，增强了可靠性，能全面、及时获取设备数据，有效满足水电站复杂环境下的数据采集需求。

### （三）数据传输与存储

在水电站监控系统中，数据传输与存储对数据有效利用意义重大。数据传输技术丰富，有线通信里，以太网应用广泛、传输速率高，能稳定传输大量数据；光纤传输快、抗干扰且稳定，适用于高要求场景。数据存储方面，数据库管理系统作用关键。目前数据库主要有关系型数据库和非关系型数据库，水电站计算机监控系统目前主要使用的数据库类型为关系型数据库，比如 MySQL、Oracle、达梦数据库、南大通用数据库等；在巨型海量数据库场景及需要对数据时序性要求高的应用场景中，需要使用到时序数据库，全称时间序列数据库，时间序列数据库指主要

用于处理带时间标签（按照时间的顺序变化，即时间序列化）的数据，带时间标签的数据也称为时间序列数据。

### （四）数据预处理

在水电站监控系统中，数据预处理是提升采集数据质量的关键环节，对后续分析和应用十分重要。数据清洗是数据预处理的重要操作。由于传感器故障、传输干扰等原因，采集的数据中可能存在错误值，这些错误值会影响数据分析的准确性；同时，数据中还可能出现重复值，占用存储空间并增加处理负担<sup>[5]</sup>。通过数据清洗，能够有效去除错误值和重复值，减少干扰数据。去噪操作同样关键。在数据采集与传输过程中，不可避免会混入噪声，影响数据的真实性。采用滤波算法可以去除这些噪声，使数据更真实地反映设备运行状态。归一化也是数据预处理的必要步骤。不同类型的数据量纲和取值范围不同，若直接分析，可能会导致部分数据特征被忽视或过度放大。将数据映射到统一区间进行归一化处理，数据处于同一尺度，便于对比分析，能有效提高数据可用性，让分析结果更准确，从而为水电站的运行管理提供可靠的数据支持。

## 三、动态响应机制分析

### （一）动态响应概述

在水电站运行体系中，动态响应极为关键。它是监控系统对实时数据变化或异常迅速决策与行动的能力，直接关乎系统稳定、电站安全及可靠性。动态响应流程包含更多紧密相连环节。监控系统通过传感器与传输渠道获取设备运行数据，综合考量数据变化是否正常，基于分析结果制定决策、确定应对措施，最后执行决策<sup>[6]</sup>。各环节相互影响，数据接收的质量影响分析判断，分析判断的准确性决定决策合理性，决策执行效果关乎异常应对成效。任一环节出问题，都可能削弱响应效果，威胁电站安全。唯有各环节高效准确运行，监控系统才能妥善应对各种情况，保障水电站安全平稳运行。

### （二）响应机制分类

在水电站监控系统的动态响应体系里，阈值触发响应和智能诊断响应共同保障电站稳定运行。阈值触发响应基础且应用广泛，技术人员预先为关键数据设阈值，一旦采集数据超阈值，系统迅速触发报警，同时启动调整设备参数、启用备用设备等预设动作，能快速处理明显异常数据。智能诊断响应代表先进技术方向，它借助神经网络、专家系统等人工智能算法，深度分析采集数据。算法通过学习大量历史数据，模拟人类专家思维，精准判断设备运行状态，自动识别复杂故障并给出针对性策略。智能诊断响应不仅能解决阈值触发响应难以应对的复杂故障，还会随数据积累持续优化诊断能力，为电站稳定运行筑牢根基<sup>[7]</sup>。

### （三）响应策略制定

制定科学合理的响应策略是水电站监控系统动态响应机制的核心，需综合多因素考量。故障类型多样，影响程度和处理方式各异，像轻微部件磨损与严重电气短路的应对截然不同。设备重要性也左右响应策略，核心发电设备与辅助设备故障的响应在及

时性、谨慎度上有别。系统运行状态同样关键，满负荷和低负荷时故障响应不同。基于这些，一般故障常报警通知维护人员排查修复，防止故障扩大；严重故障则立即紧急停机保障安全。此外，响应策略要有灵活性。在负荷高峰期，针对非关键设备故障，可优先保障发电，待负荷降低后再维修，从而在确保安全前提下，最大化经济效益与运行效率。

## 四、实时数据采集与动态响应机制应用实例

### （一）某水电站监控系统简介

乌东德水电站是中国第四、全球第七大装机水电站，计算机监控系统是保障电站稳定高效运行的关键设备。计算机监控系统软件采用南京南瑞水利水电科技有限公司的新一代 IMC 一体化管控平台，以达梦数据库（DM8）为核心，融合读写分离集群技术，能高效处理高并发数据，保障数据安全和系统稳定。系统集成传感器网络、物联网和大数据趋势分析平台，数据采集覆盖机组及附属设备、GIS 设备、闸门设备、水情监测设备、电能量采集设备等各个环节，可实时掌握电站整体运行状态。系统架构包含三个层面：硬件层有各类传感器、PLC 控制器、工业交换机设备，协同实现 7×24 小时不间断数据采集，提供大量基础数据。软件层基于达梦数据库构建数据管理平台，结合 LabVIEW 开发的人机交互界面，实现数据可视化和远程控制，提升操作便捷性与效率。与梯调中心、上级调度系统通信采用光纤网通信，通过加密协议保障数据传输安全可靠，有效防止数据泄露和恶意攻击，确保监控系统稳定运行。

### （二）实时数据采集与动态响应实施过程

乌东德水电站计算机监控系统在实时数据采集与动态响应方面展现出显著的技术优势，其实施过程通过数据分类采集与传输优化、动态响应机制设计两大核心策略实现高效运作。在数据分类采集与传输优化环节，针对机组 LCU 采集的转速、温度、振动频率等关键控制数据，系统借助控制网进行直传，确保数据以最高优先级传输，为电站设备的稳定运行提供坚实保障；对于设备状态日志、环境监测等非控制类数据，则通过与控制网物理隔离的专用信息网通道传输，有效降低控制网负载率，从初始的 85% 大幅降至 35%，提升了整个系统的数据传输效率与稳定性。

在动态响应机制设计上，系统构建了阈值触发与智能告警体系，预先设定设备运行参数阈值，如轴承温度超过 70℃ 时，系统

将立即自动触发告警，并在 2 秒内将信息推送至运维人员移动终端，确保异常情况能够得到及时处理。此外，

系统通过调度实时计划值曲线功能，依托机组状态大数据分析平台，实现对即将开机或停机的机组进行综合指导，并在开、停机前 15 分钟通过计算机监控系统进行简报、语音提醒运行人员，实现对机组开停机的预测，充分彰显了该监控系统在复杂工况下的智能调控能力与卓越性能。

### （三）应用效果分析

乌东德水电站计算机监控系统凭借技术创新与功能集成，在多维度展现出显著的应用成效。在数据采集层面，其传感器网络具备毫秒级采样能力，振动监测频率高达 1kHz，较传统系统提升 10 倍，能够精准捕捉设备细微异常；通过读写分离集群技术，数据库读写效率提升 40%，全年数据丢失率控制在 0.001% 以下，确保数据采集的高效性与完整性。系统稳定性方面，冗余设计与分布式存储赋予其强大的故障自愈能力，单节点故障切换时间不超过 1 秒，2023 年系统可用率达 99.999%；控制网与信息网分离策略使网络拥堵率下降 70% 以上，有效保障高并发场景下的稳定运行。

动态响应功能的优化进一步彰显其技术优势，基于时间戳与设备关联分析的快速故障定位机制，将故障定位时间从平均 30 分钟大幅缩短至 5 分钟内；大数据平台生成的设备健康评分体系，如发电机健康指数  $\geq 90$  为优，为运维团队提供智能决策支持，助力预防性维护计划的制定。安全性与合规性方面，系统采用端到端光纤通信加密协议，成功抵御中间人攻击，2023 年实现数据零泄露；操作日志与数据修改记录全程上链存储，满足《电力监控系统安全防护规定》的追溯要求。

## 五、结束语

本文对水电站监控系统实时数据采集与动态响应机制进行了深入研究，阐述了系统的组成、功能、发展趋势，详细分析了数据采集技术和动态响应机制，并通过实例验证了其应用效果。尽管目前存在一些问题，但随着技术的不断进步，水电站监控系统将朝着更加智能化、高效化的方向发展。通过持续的研究和改进，实时数据采集与动态响应机制将在水电站安全稳定运行、提高发电效率等方面发挥更大的作用。

## 参考文献

- [1] 荆芳, 葛剑杰. 水电站监控系统安全防护体系研究 [J]. 水利信息化, 2023, (06): 75-79. DOI: 10.19364/j.1674-9405.2023.06.013.
- [2] 刘晓彤, 迟海龙, 杨廷勇. 水电站大数据分布式采集系统研究 [J]. 水电站机电技术, 2021, 44(10): 30-32. DOI: 10.13599/j.cnki.11-5130.2021.10.010.
- [3] 曾亚凯. 小水电站群远程监测系统的设计与实现 [D]. 电子科技大学, 2021. DOI: 10.27005/d.cnki.gdzku.2021.003666.
- [4] 朱畅. 水电站生态调度操作门机动力学分析与动态安全性评价 [D]. 三峡大学, 2023. DOI: 10.27270/d.cnki.gsxau.2023.000203.
- [5] 冯泽喜, 李斌, 余俊阳, 等. 水工金属结构设备实时在线监测系统在 HD 水电站中的应用 [J]. 技术与市场, 2021, 28(12): 35-37+43.
- [6] 徐新宇. 基于非线性水力-机械耦合的水电站系统分岔与混沌特性控制研究 [D]. 华中科技大学, 2021. DOI: 10.27157/d.cnki.gzhzku.2021.004946.
- [7] 孙智. 智能水电站计算机监控系统及设备的设计与实现 [J]. 中国新通信, 2023, 25(18): 13-15+34.