

水电站弧形闸门实时智能安全预警系统的研发与创新

荣新瑞 冷进忠 陈 胜 韦天鹏 余 晨
安顺水力发电总厂 贵州 安顺 561000

摘 要：水电站弧形闸门作为水电站的重要组成部分，其安全可靠运行对水电站的整体效能和安全性具有重要影响。然而，由于弧形闸门结构的复杂性和运行环境的特殊性，其存在着诸多潜在的安全风险。为了实现弧形闸门运行状态的实时监测和智能预警，本文研发了一套水电站弧形闸门实时智能安全预警系统。该系统通过集成高精度传感器（如VRS8000-HMT型号传感器）、先进的数据处理技术和智能预警算法，实现了对弧形闸门运行状态的实时监测、数据分析和异常预警。本文首先分析了水电站弧形闸门的安全需求和现有技术的局限性，然后详细介绍了系统的研发过程、技术创新点。实际应用表明，该系统能够准确识别弧形闸门的异常状态，及时发出预警信号，为水电站的安全运行提供了有力保障。

关键词：水电站；弧形闸门；实时智能安全预警系统；创新研发

引言

水电站弧形闸门是水电站水工建筑物的重要组成部分，具有调节水流、控制水位、保护水电站设备等多重功能。然而，由于弧形闸门长期处于水下或潮湿环境中，受到水流冲击、腐蚀和磨损等多种因素的影响，其结构性能和安全性能往往会逐渐下降。一旦弧形闸门出现故障或失效，将可能对水电站造成严重的经济损失和安全隐患。

目前，水电站弧形闸门的安全监测主要依赖于人工巡检和定期检修。这种方法虽然能够在一定程度上发现和及时处理安全隐患，但存在着监测周期长、实时性差、准确性不足等问题。因此，研发一种能够实时监测弧形闸门运行状态、准确识别安全隐患并进行智能预警的系统，对于提高水电站的安全性和运行效率具有重要意义。

1 水电站弧形闸门概述

水电站弧形闸门是一种由弧面板、支臂、支铰等构件组成的挡水结构，通过启闭机驱动闸门绕支铰旋转，实现水流的调节和控制。弧形闸门具有结构简单、启闭力小、密封性能好等优点，在水电站中得到广泛应用。然而，由于其特殊的工作环境和复杂的结构形式，弧形闸门也存在着一些常见的安全隐患和故障。例如，支铰磨损、弧面板腐蚀、启闭机故障等都可能导致闸门无法正常启闭或漏水，严重影响水电站的安全运行^[1]。

2 实时智能安全预警系统需求分析

2.1 安全监测的实时性与准确性要求

在水电站弧形闸门的安全监测中，实时性与准确性是至关重要的两个要素。实时性要求系统能够迅速响应弧形闸门的状态变化，及时捕捉任何可能的异常或故障

迹象。这是因为弧形闸门的任何突发故障都可能对水电站的整体运行造成重大影响，甚至可能引发连锁反应，导致更严重的安全事故。因此，预警系统必须设计成能够在最短的时间内提供闸门状态的实时信息，确保操作人员能够迅速作出反应。准确性则是指系统采集和处理的数据必须真实可靠，能够准确反映弧形闸门的实际运行状态。这要求传感器具有高精度和高灵敏度，能够捕捉到微小的状态变化，并且数据处理算法要足够精确，能够从噪声中提取出有用的信号。同时，系统还需要具备自我校准和故障检测功能，以确保在长期运行中数据的准确性不会因设备老化或环境变化而降低^[2]。

2.2 预警系统的智能化与自动化需求

随着信息技术和人工智能的发展，现代预警系统不仅要能够提供实时准确的数据，还需要具备智能化和自动化的能力。智能化是指系统能够利用先进的算法和模型，对采集到的数据进行深度分析和挖掘，从而识别出潜在的故障模式或安全风险。这要求系统具备强大的计算能力和智能算法，如机器学习、深度学习等，以实现复杂数据的智能处理。自动化则是指系统能够自动完成数据采集、处理、分析和预警的全过程，无需人工干预。这不仅可以大大提高工作效率，减少人为错误，还能够确保在紧急情况下系统能够迅速作出反应，及时发出预警信号。自动化预警系统的实现需要依赖先进的传感器技术、通信技术和控制技术，以确保系统的稳定运行和可靠性能。

2.3 数据采集、处理与传输的技术挑战

在水电站弧形闸门实时智能安全预警系统的研发中，数据采集、处理与传输是面临的主要技术挑战。

首先,由于弧形闸门处于复杂的水下或潮湿环境中,传统的传感器可能无法正常工作或存在较大的误差。VRS8000-HMT型号传感器以其卓越的适应性和稳定性,能够在这种特殊环境中稳定工作,确保数据采集的可靠性。同时,系统还需要设计高效的数据处理算法和稳定的通信方案,以实现数据的实时传输和处理。其次,数据处理也是一个重要的技术难题。由于采集到的数据量通常非常庞大,而且包含大量的噪声和冗余信息,因此需要设计高效的数据处理算法来提取有用的特征信息。同时,为了实现实时预警,系统还需要具备快速处理数据的能力,以确保在短的时间内给出准确的预警结果。最后,数据传输也是一个不容忽视的问题。由于水电站通常位于偏远地区,网络环境可能较差,因此需要设计稳定可靠的通信方案来确保数据的实时传输。此外,还需要考虑数据的安全性和隐私保护问题,以防止敏感信息被泄露或滥用^[3]。

3 系统研发与创新

3.1 系统架构设计

3.1.1 整体框架与模块划分

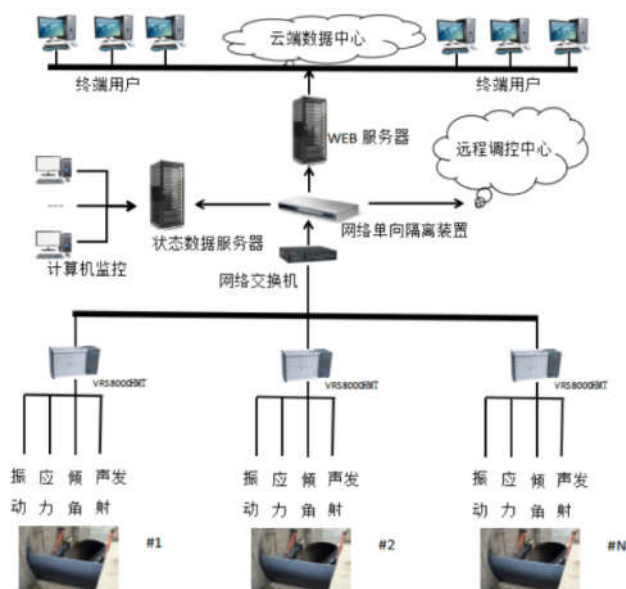
水电站弧形闸门实时智能安全预警系统的整体框架设计遵循模块化、可扩展性和易维护性的原则。系统主要由感知层、传输层、数据层、应用层四个层次构成。感知层负责采集弧形闸门的各种物理参数;传输层负责数据的稳定传输;数据层负责数据的存储、处理与分析;应用层则提供用户交互界面和预警功能。

具体模块划分包括:(1)感知模块:集成各类高精度传感器,如位移传感器、压力传感器、振动传感器等,负责实时监测弧形闸门的各项关键参数。(2)通信模块:采用有线和无线相结合的通信方式,确保数据在复杂环境下的稳定传输。(3)数据处理模块:部署在云端或本地服务器,负责数据的接收、清洗、滤波、分析以及长期存储。(4)预警决策模块:基于机器学习和深度学习算法,对处理后的数据进行智能分析,识别异常状态,并作出预警决策。(5)用户交互模块:提供直观的图形化界面,方便用户查看实时数据、历史记录、预警信息,并进行系统配置和管理^[4]。系统拓扑图如下图所示

3.1.2 硬件设备的选型与配置

硬件设备的选型需考虑精度、稳定性、耐用性和成本效益。关键硬件设备包括:(1)高精度传感器(如VRS8000-HMT):选择具有高精度和高稳定性的传感器,如激光测距传感器用于测量闸门开度,压力传感器用于监测启闭机的工作压力。(2)数据采集器:具备高速数据处理能力,支持多种传感器接口,能够实时采集

并初步处理数据。(3)通信设备:根据现场环境选择最合适的通信方式,如光纤通信用于长距离、高速率的数据传输,LoRa或Zigbee等低功耗无线通信技术用于难以布线区域。(4)服务器:高性能服务器用于数据存储、处理和分析,支持云计算平台以实现资源的动态分配和优化利用。



3.1.3 软件平台的开发与集成

软件平台基于模块化设计,采用微服务架构,确保系统的可扩展性和可维护性。主要开发内容包括:(1)嵌入式软件:为传感器和数据采集器开发嵌入式程序,实现数据的精准采集和初步处理。(2)数据处理与分析平台:开发数据接收、清洗、滤波、分析算法,以及数据存储策略,确保数据的准确性和时效性。(3)智能预警系统:基于机器学习框架,开发预警模型,实现异常状态的自动识别与预警。(4)用户交互界面:采用响应式设计,开发Web端和移动端应用,提供实时数据监控、预警通知、历史数据查询等功能。

3.2 关键技术研发

3.2.1 传感器技术

传感器的精度和灵敏度直接影响数据采集的质量。本系统通过对比测试多种传感器,选用了VRS8000-HMT型号传感器等高精度传感器,并对传感器布局进行优化,确保在复杂环境下也能准确捕捉到弧形闸门的微小变化。

3.2.2 数据处理技术

实时数据采集要求系统能够高效处理大量数据,同时滤除噪声干扰。本系统采用先进的数据处理技术,如卡尔曼滤波、小波变换等,对数据进行实时滤波和分

析,提取关键特征,同时设计高效的数据存储策略,确保数据的长期保存和快速访问。

3.2.3 智能预警算法

智能预警算法是系统的核心。本系统利用机器学习算法(如支持向量机、随机森林)和深度学习算法(如卷积神经网络、循环神经网络)构建预警模型。通过历史数据和现场数据训练模型,使其能够自动识别弧形闸门的正常状态和异常状态,实现精准预警。

3.3 创新点阐述

3.3.1 预警算法的创新

本系统通过引入深度学习算法,结合传统机器学习算法,构建了多层级的预警模型。该模型能够自动学习弧形闸门的运行规律,识别复杂模式,从而显著提高预警的准确率,并有效降低误报率。

3.3.2 系统集成的创新

本系统通过集成多种类型的传感器,实现了多源数据的融合。系统能够综合分析不同来源的数据,提取关键信息,为预警决策提供全面、准确的依据。这种多源数据融合的方法提高了系统的整体性能,使其能够应对更复杂的监测任务。

3.3.3 用户交互的创新

本系统注重用户交互体验的设计。用户界面采用简洁、直观的图形化设计,使得用户能够轻松查看实时数据、历史记录、预警信息等内容。同时,系统提供了丰富的配置选项,方便用户根据实际需求进行系统设置和管理。这种用户友好的设计降低了操作难度,提高了系统的易用性。

4 系统实施与测试

4.1 实施流程

本系统的实施流程涵盖了系统安装与调试、数据采集与预处理以及预警模型训练与优化三个关键环节。

在系统安装与调试阶段,应根据水电站的实际情况和弧形闸门的具体结构,选择传感器的类型和安装位置。对现场进行详细的勘查和测试,确保传感器能够稳定、准确地采集到弧形闸门的运行状态数据。同时,对系统进行调试和校准,确保各个模块之间的通信畅通无阻,数据采集和处理流程顺畅^[5]。

在数据采集与预处理环节,为了确保数据的质量和可用性,需要对采集到的原始数据进行了严格的清洗、

滤波和归一化处理。清洗过程去除了数据中的噪声和异常值,滤波过程则保留了数据的有效成分,而归一化处理则使得数据更易于后续的分析和处理。通过这些预处理步骤,获得高质量的数据集,为后续的预警模型训练和优化奠定了坚实基础。

4.2 测试方法

为了全面验证系统的性能和可靠性,可以采用实验室模拟测试和现场应用测试相结合的测试方法。在实验室模拟测试中,可以模拟弧形闸门的各种运行状态和故障情况,同时对系统的数据采集、处理、预警等功能进行了全面测试。在现场应用测试中,可以将系统安装到实际的水电站弧形闸门上,进行了长时间的运行监测和数据采集。通过对比系统预警与实际情况,评估系统的实际应用效果。

结语

本文所述的水电站弧形闸门智能预警系统,在经历了完整的设计与实施后,可以成功实现对弧形闸门运行状态的实时监测与异常预警。通过系统的安装与调试、数据采集与预处理以及预警模型的训练与优化,构建了一个高效、准确的智能预警体系。综上所述,本文所研究的水电站弧形闸门智能预警系统具有显著的实际应用价值,为水电站的安全运行提供了有力保障。未来,我们将继续优化系统性能,拓展系统应用范围,为水电站的安全管理贡献更多力量。

参考文献

- [1]张建,千贵宏,钱从悦,等.三里坪水电站大坝安全监测系统国产化集成的研制[J].水电与新能源,2024,38(08):38-41.
- [2]梅雄.水利工程智能监测预警系统研究——评《集成BIM与无人机的输水工程安全监测分析与险情智能识别》[J].人民黄河,2024,46(08):162.
- [3]陈智梁,李小虎,张欢.某流域水电站安全监测智慧化的建设实践与展望[J].水利水电技术(中英文),2022,53(S1):181-185.
- [4]王斌斌.水电站安全监测系统多平台整合设计[J].工程质量,2020,38(12):52-55.
- [5]李小勇."一种水电站弧形闸门实时在线监测系统",CN113074775A.2021.