

混凝土面板防结冰智能控制系统研究与应用

——以纳子峡水电站大坝为例

韩品德 刘顺虎 师宏磊 刘晓刚 贺亚文

青海黄河中型水电开发有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v8i11.5853

[摘要] 纳子峡水电站大坝混凝土面板防结冰智能控制系统的研究背景是基于该地区严酷的气候条件和运行中的实际问题而提出的。该系统的研究与应用对于保障大坝的安全运行、提升运行效率具有重要意义。基于此,本文主要研讨纳子峡水电站大坝混凝土面板防结冰智能控制系统功能、应用,所得结论仅供参考。

[关键词] 纳子峡水电站; 大坝混凝土; 面板防结冰; 智能控制系统

中图分类号: TV42+1.1 文献标识码: A

Research and Application of Intelligent Control System for Anti icing of Concrete Panels

——Taking the dam of Nazixia Hydropower Station as an example

Pinde Han Shunhu Liu Honglei Shi Xiaogang Liu Yawen He

Qinghai Yellow River Medium sized Hydropower Development Co., Ltd.

[Abstract] The research background of the intelligent control system for anti icing of concrete panels in the dam of Nazixia Hydropower Station is proposed based on the harsh climate conditions in the region and practical problems in the operation of the dam. The research and application of this system are of great significance for ensuring the safe operation of dams and improving operational efficiency. Based on this, this article mainly discusses the functions and applications of the intelligent control system for anti icing of concrete panels in the dam of Nazixia Hydropower Station. The conclusions drawn are for reference only.

[Key words] Nazixia Hydropower Station; Dam concrete; Panel anti icing; intelligent control system

通过智能控制系统,实现对大坝面板结冰情况的实时监测和预警,以及根据水位变化智能控制扰流泵的升降及水泵扰流量,从而有效防止大坝面板结冰^[1]。通过形成一条不结冰的水域或水缝,减缓冰冻对混凝土面板、止水结构的破坏及静冰压力对闸门安全运行的影响,确保大坝及水工建筑物的安全运行。在实际应用中,实现智能化控制后,可以减少现场人员的运行维护量,提高大坝的运行效率和管理水平。

1 纳子峡水电站大坝混凝土面板结冰的原因

1.1 环境因素

在寒冷的气候条件下,特别是当环境温度低于冰点时,混凝土中的水分会结冰。纳子峡水电站如果位于高寒地区或冬季气温极低,就容易导致混凝土面板结冰。混凝土面板如果长时间暴露在潮湿环境中,当环境温度下降时,面板内的水分容易结冰。此外,如果面板表面存在积水或渗水现象,也会增加结冰的风险。

1.2 混凝土材料特性

混凝土在浇筑和养护过程中会含有一定量的水分。如果水分含量过高,或者混凝土内部存在微裂缝等缺陷,就容易导致水分在低温下结冰^[2]。混凝土中的某些材料(如水泥、砂、石等)具有一定的吸水性。在潮湿环境中,这些材料会吸收更多的水分,从而增加结冰的可能性。

1.3 施工与养护问题

如果混凝土在施工过程中没有严格控制水灰比、振捣密实度等关键参数,就可能導致混凝土内部存在缺陷和水分分布不均,进而增加结冰的风险。混凝土面板在浇筑后需要进行适当的养护,以确保其强度和耐久性。如果养护措施不当(如养护时间不足、养护温度过低等),就可能導致混凝土面板在低温下结冰。

1.4 其他因素

如果大坝混凝土面板的设计存在缺陷(如排水系统不畅、面板厚度不足等),就可能導致面板在低温下结冰。极端天气条件

(如暴风雪、寒潮等)可能导致环境温度急剧下降,从而增加混凝土面板结冰的风险。

2 工程概况

纳子峡水电站位于青海省东北部的门源回族自治县苏吉滩乡燕麦图呼村和祁连县默勒镇的交界处,水库是大通河上游重要的控制性大型枢纽工程,总库容7.33亿 m^3 ,水库正常蓄水位3201.50m,死水位3191.50m,调节库容1.733亿 m^3 ,每年10月至次年4月水库供水期水位变幅10m,为完全年调节水库。工程属II等大(2)型工程,工程主要由混凝土面板砂砾石坝、溢洪道、泄洪放空洞、引水隧洞、高压管道、厂房等建筑物组成。其中大坝为覆盖层上的混凝土面板砂砾石坝,最大坝高117.6m,坝面长度416m。

纳子峡水库地处青藏高原东北边缘,属内陆高寒气候区,本地区多年平均气温 $0.5^{\circ}C$,极端最低气温 $-34.1^{\circ}C$,冬季水库水面结冰日期为11月中旬,冰冻期为11月中旬到次年的5月中旬,冰层的厚度约为50-65cm,在此期间,冰层与大坝面板及止水产生粘连,当库区水位变化时,冰层在重力的作用下发生位移,致使被冰冻粘连的坝体表面及止水受到撕扯破坏,影响大坝的安全运行。2017年对纳子峡电站水库面板水位变幅区3192.24米至3200.76米高程止水结构进行加固处理。大坝面板及闸门是水工建筑物的重要组成部分,冬季水库水面冰层产生巨大推力,对闸门安全构成威胁。《水利水电工程钢闸门设计规范》(DL/T5013-2005)规定,闸门不应承受静冰压力。《水工建筑物抗冰冻设计规范》(SL211-2006)规定,冰冻期挡水而不开启的表孔闸门,为防止静冰压力作用,闸门前冰盖上应保持有一条不结冰的水域或水缝;防止冰压力对钢闸门造成危害,引起闸门变形,结合流域电站及国内其他水库实际运行经验及效果,设备选用潜水泵及电动提升机构配合,在防浪墙内侧设置安装支架,支架上放置多功能提升机构,控制潜水泵入水深度,以此防止大坝面板结冰。

3 纳子峡水电站大坝混凝土面板防结冰智能控制系统

结合流域电站及国内其他水库实际运行经验及效果,设备选用潜水泵及电动提升机构配合,在防浪墙内侧设置安装支架,支架上放置11台多功能提升机构,单独控制11台潜水泵入水深度,以此防止大坝面板结冰。

智能化防结冰系统控制柜安装于枢纽配电室,其电源取自枢纽配电室备用开关。智能控制系统主要包含PLC等智能控制系统软硬件、断路器、交流接触器、电动提升机构、指示灯、控制按钮、电缆、传感器、变送器等设备元器件。电动提升机构、潜水泵电源均从枢纽配电室引出,电缆途经枢纽配电室、枢纽值班室、大坝观测数据采集室内电缆沟引出,沿右侧墙体安装电缆槽盒支架,沿坝面及防浪墙一侧安装至溢洪道提升机及潜水泵处。智能控制系统与电站监控系统实现通讯,通过开发的软件,与现场监控系统配置通讯规约,将相关信号量等上送监控系统。部署应用该系统后,调节潜水泵潜水深度及喷口的朝向,在水面形成水流波动;系统依据红外视频摄像功能,根据坝面结冰带宽

度自动调整潜水泵扰流量。系统实时监测、跟踪水库水位、温度、库面结冰状况,智能化控制电动提升机起落,潜水泵启停、流量控制等;并建立扰流泵实时跟踪水位随动控制模型,根据现有大坝冬季运行、冰层厚度、冰冻时间、冰冻时长、冰冻范围、机组负荷变化等参数、数据进行数据分析、整理、挖掘,建立大坝面板冬季防结冰智能控制系统数学模型,实现智能控制和预警。

硬件设备包括:(1)潜水泵及电动提升机构:这些设备用于在冰冻期在防浪墙内侧形成不结冰的水域或水缝,从而防止冰压力对大坝面板及钢闸门造成破坏。潜水泵负责提供水流,而电动提升机构则用于控制潜水泵的入水深度,确保在冰冻期能够持续形成不结冰的水域^[3]。(2)智能监控设备:包括摄像头、传感器等,用于实时监测大坝面板及周围环境的温度、湿度、冰层厚度等参数,为智能控制系统的决策提供数据支持。(3)自动化元件:如步进电机、电动卷线器、拉力传感器、水位传感器等,这些设备能够根据智能控制系统的指令自动执行相应的操作,如调整潜水泵的位置、监测并报告异常情况。

软件系统包括:(1)智能控制软件:该软件是系统的核心,负责接收来自硬件设备的实时数据,并根据预设的算法和规则进行分析处理,从而作出相应的控制决策。它能够根据水位、冰层厚度等参数智能控制潜水泵的升降及水泵扰流量,确保在冰冻期形成稳定的不结冰水域。(2)数据分析与处理模块:该模块负责对采集到的数据进行深入分析,提取出有用的信息,如冰层生长速度、大坝面板温度分布等,为智能控制软件的决策提供科学依据。(3)预警与报警系统:当监测到异常情况或达到预设的阈值时,系统能够及时发出预警或报警信号,提醒工作人员采取相应的应对措施,确保大坝的安全运行。

辅助设施包括:(1)安装支架:用于在防浪墙内侧安装潜水泵及电动提升机构等设备,确保它们能够稳定地工作。(2)通讯设施:包括有线和无线通讯设备,用于实现系统各部分之间的数据传输和通讯,确保整个系统的协调运行。(3)备用电源:为了防止突发停电等意外情况对系统造成影响,通常会配备备用电源以确保系统在停电时仍能够正常工作。

该系统以智慧水电厂新型管理模式搭建,具有以下显著特征:(1)具备统一存储、管理、整合、分析系统产生数据的能力,包括视频等非结构化数据。(2)充分应用大数据、人工智能等新技术手段,结合传统传感器与视频分析,形成具有数据分析和推理能力的智能软件,支持运行、维护与管理的决策,安装示意图1如下。

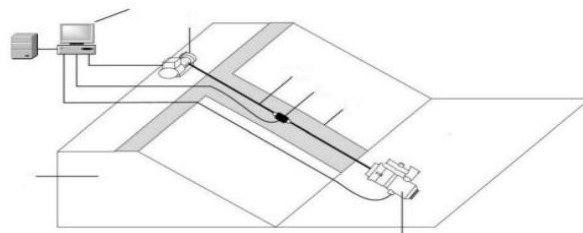


图1 智能防结冰系统示意图

4 纳子峡水电站大坝混凝土面板防结冰智能控制系统功能

4.1 智能预警与控制

预警功能: 系统能够实时监测水库水面及周边环境的温度、湿度、冰层厚度等关键参数, 当这些参数达到预设的结冰风险阈值时, 系统会自动发出预警, 提醒工作人员采取相应措施。

控制功能: 通过智能算法, 系统能够自动调节潜水泵、步进电机、电动卷线器等设备的运行状态, 控制潜水泵的入水深度和扰流量, 从而在坝前形成一条不结冰的水域, 有效防止大坝面板及闸门涉水表面结冰。

4.2 数据采集与处理

数据采集: 系统能够实时采集现场的开关量、模拟量、视频画面等多种类型的数据, 确保数据的全面性和准确性。

数据处理: 采集到的数据会被实时传输到上位机监控系统进行进一步的处理和分析, 系统能够对数据进行独立分区管理, 避免与生产大区直连, 确保数据的安全性和稳定性。

4.3 实时监控与反馈

实时监控: 系统具备强大的实时监控功能, 能够实时监测现场环境及冰冻情况, 为智能控制提供实时数据支持。

反馈调节: 根据实时监控结果, 系统会自动调节控制参数, 优化控制策略, 确保大坝面板及闸门的安全运行。

4.4 自动化与智能化

自动化控制: 系统实现了从数据采集、处理到控制执行的全自动化流程, 大大减少了现场人员运行维护的工作量。

智能化决策: 基于智能算法和大数据分析技术, 系统能够做出更加精准、快速的决策, 提高了系统的响应速度和控制精度。

5 纳子峡水电站大坝混凝土面板防结冰智能控制系统的应用措施

5.1 系统设计与研发

智能控制系统设计: 根据纳子峡水电站的具体环境和气候条件, 设计一套完整的防结冰智能控制系统。该系统应能够智能预警和控制, 确保在冬季冰冻期有效防止大坝混凝土面板结冰^[4]。

设备选型与生产制造: 选择适合的潜水泵、电动提升机构、控制计算机、PLC、传感器等设备和自动化元件, 进行生产制造。这些设备应具有较高的耐寒性和稳定性, 以适应高寒气候区的工作环境。

5.2 设备安装与调试

安装支架与设备: 在防浪墙内侧设置安装支架, 支架上放置多功能提升机构, 用于控制潜水泵等设备的入水深度。

系统调试: 对智能控制系统进行安装调试, 确保各设备之间的连接顺畅, 系统运行稳定。同时, 进行必要的试运行, 以检验系统的实际效果^[5]。

5.3 智能控制策略

智能预警: 通过安装在大坝周围的传感器, 实时监测环境温度、湿度、冰层厚度等参数。当这些参数达到预设的阈值时, 系统自动发出预警信号, 提醒运维人员注意。

智能控制: 根据实时监测的数据, 智能控制系统自动调节潜水泵的流量和深度, 以形成一片不结冰的水域, 从而防止大坝混凝土面板结冰。同时, 系统还可以根据水位变化自动调整水泵的升降, 确保防结冰效果的最大化^[6]。

6 结束语

综上所述, 在纳子峡水库冰冻期, 混凝土面板及溢洪道闸门前形成一条宽约3-5米的无结冰带, 同时保证期间水库水位在10米削落范围内扰流泵实时跟踪随动, 系统通过监测水库水位变化、水库无结冰带水温变化自动实时调整水泵潜水深度、水泵扰流量, 确保冰冻期全过程坝面止水无冰层粘连, 混凝土面板及溢洪道闸门不受冰压破坏。确保枢纽设备设施安全稳定运行, 延长面板止水, 聚脲层等材料使用寿命, 保障大坝安全。

参考文献

- [1] 李大成, 傅兆庆, 胡聪. 抽水蓄能电站大坝施工期防洪安全问题研究[J]. 水力发电, 2024, 50(8): 52-56.
- [2] 肖阳, 赵洪光, 陈惠龙, 等. 寒区坝面板止水结构防冻措施探析[J]. 东北水利水电, 2024, 42(9): 56-60.
- [3] 王璠, 毛海涛, 王晓菊, 等. 基于改进流变元件模型的层状深厚覆盖层流变对面板坝结构性能影响的数值分析[J]. 工程科学与技术, 2024, 56(4): 216-228.
- [4] 李松培. 梨园水电站大坝面板及消力池水下检查分析[J]. 云南水力发电, 2023, 39(3): 287-289.
- [5] 丁玉堂, 周王俊, 陈章仑, 等. 面板堆石坝长效服役状态下微幅变形监测及其分析[J]. 水利水运工程学报, 2022(3): 74-81.
- [6] 谭瀛, 马刚, 徐建华, 等. 基于多变量时间序列和LSTM网络的面板缝变形预测[J]. 人民长江, 2022, 53(10): 198-204.

作者简介:

韩品德(1976--), 男, 汉族, 甘肃武威人, 本科, 高级, 研究方向: 水力发电。