



龙溪口航电枢纽保护区运行安全 智能管控系统研究

代礼红¹, 程馨玉¹, 李艳玲²

(1. 四川岷江港航电开发有限责任公司, 四川 乐山 614000; 2. 四川大学, 四川 成都 610065)

摘要: 针对传统保护区运行安全管理以人工为主、信息利用低、动态评估预警缺失等问题, 结合龙溪口航电枢纽保护区运行安全管理的主要问题和需求, 以创新运行管理模式、强化信息互联共享、提升智能管控水平为目标, 构建集数据在线辨识、涝情监控预测、安全实时诊断、风险动态评估、预警响应决策于一体的多层次系统结构, 提出涝情实时监控、涝情风险评估、防洪堤安全分析与风险评估等核心功能模块的实现路径和技术要求。研究成果可为全面提升龙溪口航电枢纽保护区防灾减灾能力和安全保障水平提供技术支撑。

关键词: 航电枢纽; 防护区; 智能管控; 系统结构; 功能规划

中图分类号: U69

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)10-0170-06

Operation safety intelligent control system for protection zone in Longxikou Navigation-power Junction

DAI Lihong¹, CHENG Xiyu¹, LI Yanling²

(1. Sichuan Minjiang Port & Shipping & Electricity Power Development Co., Ltd., Leshan 614000, China;
2. Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Regarding the problems of traditional protection zone operation and safety management, such as manual-based management, low information utilization and lack of dynamic assessment and early warning, this paper combines the main issues and requirements of the operation safety control of the protection zone in Longxikou Navigation-power Junction, and aims to innovate the operation and management mode, strengthen information interconnection and sharing, and improve the level of intelligent control. Then, a multi-level system structure integrating online data identification, flood monitoring and prediction, real-time safety diagnosis, dynamic risk assessment, and early warning response decision is constructed, and the implementation path and technical requirements of core functional modules such as real-time flood monitoring, flood risk assessment, safety analysis and risk assessment of flood embankment are proposed. The research results provide technical support for comprehensively improving the disaster prevention and mitigation capability and security level of the protection zone in Longxikou Navigation-power Junction.

Keywords: navigation-power junction; protection area; intelligent control; overall architecture; functional planning

随着互联网、人工智能、计算机技术的不断发展, 利用多元化智能监测技术和优化算法实现防洪排涝智能感知、预测和决策是国家、行业最

新发展趋势^[1-2]。国内外学者在防洪排涝区智能管控领域开展了初步探索, 但主要集中在智能监测技术和城市内涝模型研究等方面^[3-6], 防洪排涝区

收稿日期: 2023-06-07

作者简介: 代礼红 (1981—), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事港口航道和水利水电工程建设管理。

运行安全管理系统多以信息管理为主^[7-8]。因此, 本文针对龙溪口航电枢纽防洪排涝系统及其赋存运行环境复杂、运行管理与决策信息庞杂等问题, 深入研究大数据驱动的防洪堤与排涝区安全运行智能管控系统方案, 实现雨洪状态实时呈现、涝情感知预测、防洪排涝工程安全等信息远程集成与实时管控。

1 工程概况

岷江纵贯川南经济区, 两岸城镇密布、人口众多, 是四川省“一横五纵”航道体系的重要组成部分, 岷江港航电综合开发对提升航道通行能力、带动沿江经济发展具有重要的促进作用。龙溪口航电枢纽工程位于岷江乐山—宜宾中下游河段, 为规划岷江乐山—宜宾 162 km 长河段航电梯级开发的第 4 级航电枢纽, 是一座以航运为主, 航电结合, 兼顾防洪、供水、旅游和环保等综合利用的大(2)型水利枢纽工程。工程库区有 10 个防护区, 采用防洪堤+排涝泵站+治涝库的防护方案, 防护堤总长约 45.8 km, 排涝泵站 12 座, 具有防护范围大、防洪堤距离长、堤型多且新、旧堤共存等特点。受全球气候变化影响, 流域内暴雨等极端天气频发, 整个防护区面临岷江洪水和防护区内涝的双向威胁, 防洪排涝管理任务重、安全风险大, 易对龙溪口航电枢纽乃至岷江地区经济、社会和环境效益的正常发挥造成不利影响, 因此如何提高安全智能管控水平和防灾减灾能力是龙溪口航电枢纽运行安全管理面临的主要挑战。

2 系统建设目标与架构

2.1 建设目标

传统保护区运行安全管理以人工为主, 常面临管理成本高、信息利用低、动态评估预警缺失等问题, 无法满足“互联网、大数据、人工智能”时代下的智能航运发展要求。为全面提升保护区运行安全管理水平, 推动岷江港航电运行安全从传统管理向智能管控跨越, 确定龙溪口航电枢纽保护区运行安全智能管控系统建设目标如下。

1) 创新保护区运行管理模式, 提升管理协同和科学决策水平。龙溪口航电枢纽保护区运行安全智能管控系统建设可推动保护区安全管理模式由人工向智能管理转变, 大幅降低保护区运行安全管理成本, 实现防洪堤及排涝区安全状态的及时分析、科学预测和合理评估, 避免因信息更新不及时、安全分析不到位、预警响应不及时等问题造成工程运行的安全问题, 真正实现龙溪口保护区运行安全管理从“事后被动应对”到“事前主动防控”的转变, 全面提升运行安全保障水平和防灾减灾能力。

2) 搭建远程集控的大数据平台, 提升信息管理的规范化和高效性。运行安全智能管控系统涉及建筑物空间数据、水文气象监测、防洪堤变形渗流监测、排涝区涝情及泵站运行监测等多源数据, 应构建龙溪口航电枢纽防洪堤和排涝区运行安全大数据平台, 提升多源信息管理的集中化、标准化和规范化, 彻底打破信息孤岛, 实现多源信息智能采集、识别、交互、融合与分析, 为保护区运行安全在线监控与评估预警提供可靠的数据支撑。

3) 强化算据、算法、算力建设, 提升安全监控和决策响应的智能化水平。系统建设应融合现代信息技术、计算机技术、人工智能、安全工程、管理科学与理论, 突破信息智能感知、大数据挖掘、安全在线监控、涝情模拟与动态评估等关键技术难题, 构建具有新陈代谢和自修正能力的模型库、算法库和方法库, 提供不同类型防洪堤和排涝区运行安全状态的专业分析功能, 提升在线监控和动态评估的智能化水平, 强化数形结合和可视化, 为主管部门科学决策提供理论和技术支撑。

2.2 总体架构

目前工程安全管控系统常用的研发模式主要有客户机/服务器(C/S)和浏览器/WEB 服务器(B/S)两种。龙溪口航电枢纽工程区域网络稳定性相对较好, 为更好地实现远程集控共享、多人协同工作等, 达到网络资源最大限度的合理分配, 提升异地办公便捷性, 系统研发选择采用 B/S 模式。

针对龙溪口保护区自身特点, 坚持高起点、高标准、实用化的原则, 系统研发采用结构化、

模块化的理念,构建以子系统、模块和子模块为单位的多层次次结构,其数据流程为工程安全、水位、暴雨等新源监测数据自动触发或根据用户指令。首先,启动数据异常辨识与处理,并将可靠的数据存入龙溪口防护区运行安全大数据平台,供查询和其他功能模块调用;其次,启动防洪堤和排涝区运行安全实时监控,基于监测信息与结

构故障耦联机制,实时评价防洪堤运行安全状态,采用排涝区内涝仿真模型模拟和预测涝情分布特性,当防洪堤结构安全和内涝灾害实时监控出现预警时,系统自动驱动结构安全和涝情风险动态评估;最后,根据风险等级分类分层预警,并触发启动加密监测、工程维护、泵站调度、抢险救灾等响应决策,总体架构见图1。

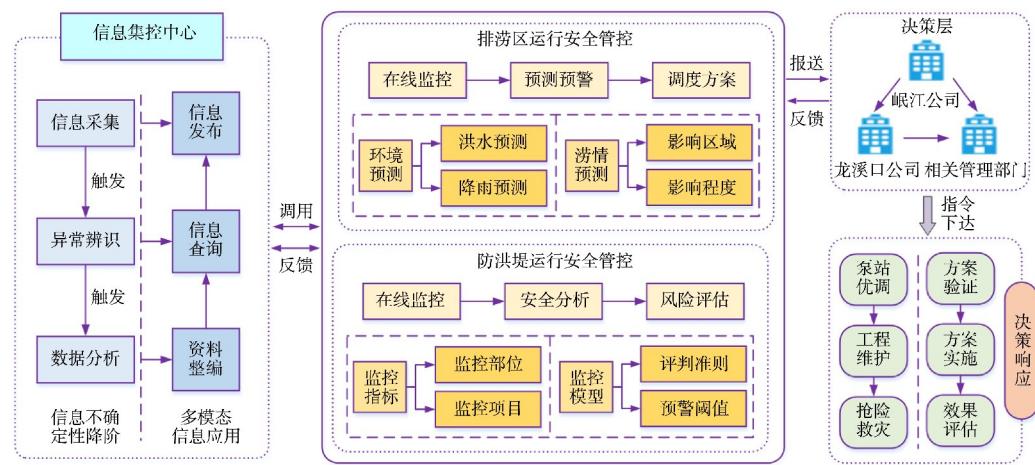


图1 系统总体架构

3 系统功能规划

航电枢纽防护堤及排涝区运行安全智能管控平台的功能设计应侧重考虑实用性、先进性和科学性等问题,并考虑系统变化和系统扩充需要,针对排涝区范围广、双向威胁大、防洪堤赋存环

境复杂且结构形式多样等特点,系统功能除包括多源信息采集和管理、系统设置与管理等基本功能外,还应包括防护区堤防与排涝区安全在线监控、风险评估、涝情预警、排涝设施智能调度等功能,见图2。

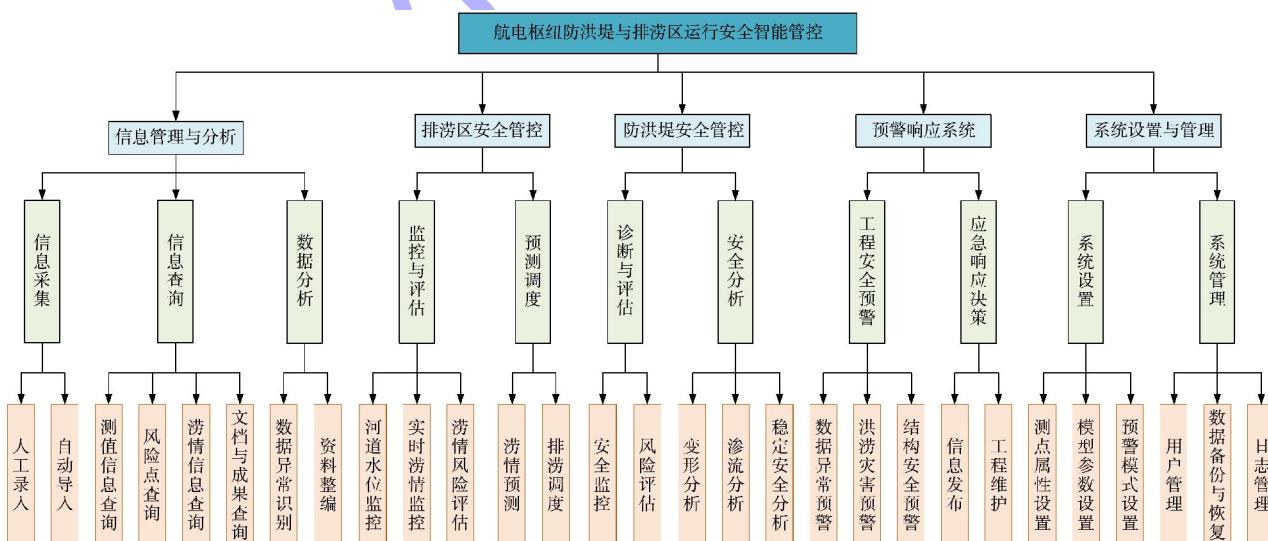


图2 系统功能规划

3.1 信息管理与分析功能

信息管理与分析功能包括信息采集、查询和数据分析 3 个功能模块。

信息采集功能主要针对数据、图像、视频等多类型信息, 提供自动采集和人工录入两种模式。自动采集通过访问权限开放与智能监测设备的存储数据库自动联接, 实现新源数据的自动获取; 人工录入提供键盘输入和 Excel 模板导入两种方式。

信息查询通过设置不同查询条件实现数据的快速过滤, 查询结果可导出为 EXCEL、TXT 等多格式文件并保存至本地客户端。可供查询的内容主要包括各测点测值信息、各保护区涝情信息及主要风险点、工程全过程电子文档等。

数据分析则包括数据异常识别和资料整编。数据异常识别结合防洪排涝区安全监测数据序列特性, 分类构建数据异常识别模型簇, 自动辨识受监测仪器短时异常、监测仪器更换、测量误差、外部环境扰动等因素影响造成的数据异常问题, 为保护区运行安全管控提供可靠的数据支持。资料整编则结合公司管理要求, 自动生成各类图形和报表, 实现图表测点测值和数据库数据的联动更新, 允许用户进行个性化数据组合, 生成多样化图形报表以辅助决策。

3.2 排涝区安全管控功能

排涝区安全管控功能主要包括河道水位监控、实时涝情监控、涝情风险评估、涝情预测和排涝调度模块。

河道水位监控模块针对下渡乡、黄旗坝、虎吼坝、机场坝及河口地区、丁家坝、康家坝、孝姑镇、铁炉乡、五一坝、龙孔镇等 10 个保护区所涉及的岷江河道范围, 实时获取不同位置河道水位测值, 并将其与对应位置防洪堤顶高程、警戒水位进行对比分析, 绘制分布图以展示延程河道水位、堤顶高程、警戒水位的相对关系, 实现河道水位与漫堤风险实时监控。

实时涝情监控模块主要针对各保护区降雨过程、积水深度、蓄涝区水位变化、排涝设备运检

情况、排涝量进行实时监控分析, 实现降雨-内涝水位关联变化、截洪沟流量、汇水渠水位、泵站排涝量变化过程联动的“一张图”呈现。

涝情风险评估模块基于危险性-易损性风险评估框架, 默认设置包括淹没水深、淹没历时、地面高程、人口密度等指标的内涝灾害风险评估体系, 以及地理信息系统(GIS)平台空间分析、隶属函数、AHP-EWM 组合赋权等方法库, 根据涝情实测或预测模拟成果实时评估各保护区整体及各评估单元的风险度, 并结合遥感数据地图, 将数据由单一的数字转化为动态可视化图标, 直观地展示不同区域内涝灾害风险等级。

涝情预测模块配置防护区内涝仿真模型, 即收集各保护区遥感影像、土地利用、数字高程、排水管网布设、建筑物和道路建设等大量数据, 分别构建包括管网和节点概化、下垫面概化、子汇水区划分等一维管网和包括 TIN 模型、数字高程数据修正、三角形网格划分等二维地表的耦合模型, 实现不同降雨过程中各保护区涝情特性的动态模拟与预测。

排涝调度模块默认设置不同时段、不同降雨重现期防洪排涝调度方案, 结合涝情监测与动态预测大数据进行推演, 分析校验不同泵站调度方案的淹没水深、淹没历时及蓄涝区水位变化情况, 为合理制定泵站调度策略提供技术支持。

3.3 防洪堤安全管控功能

防洪堤安全管控主要包括安全监控、风险评估、安全分析等功能模块, 实现各保护区防护堤运行安全的动态监控预警和风险评估。

安全监控模块主要针对变形、渗流等安全监测数据和无人机、监控视频等巡检图像信息。系统根据不同类型防护堤设置不同的关键监控项目和监控指标, 同时提供多因子监控模型库和统计回归、深度学习、机器算法等各类算法库, 并默认设置相对较优的模型参数, 实现监测数据序列时空特性变化规律监控, 以及防洪堤表面裂缝、垮塌等不同故障的自动识别, 并根据不同级别、不同参数的预警阈值, 自动发出防洪堤运行安全

预警信息。

系统针对不同类型防洪堤设置默认的安全风险预警指标体系和预警标准，并允许用户对其进行修改和完善。系统可自动计算防洪堤风险等级，显示所有防护区防洪堤的风险等级及统计结果，如变形、渗流、稳定、堤外水位等各防护区单项风险评估项目和整体风险等级。风险等级划分为 I 级(重大风险)、II 级(较大风险)、III 级(一般风险)。

安全分析包括变形安全、渗流安全和结构稳定性分析。变形安全分析重点针对防护堤水平位移、垂直位移、相邻测点水平错位、相邻测点沉降差、变形速率、结构裂缝等监测项目，根据变形量值是否超限、变形是否协调、变形速率是否超限、时效分量是否收敛、巡视检查是否发现异常变形迹象等进行安全评判。渗流安全分析提供、胶凝砂砾石堤、混凝土防洪墙底部渗压折减系数、断面扬压力、堤基渗透坡降等实时计算方法，根据渗压折减系数及扬压力是否超限、渗透坡降是否超限、渗压时效分量是否收敛、巡视检查是否发现异常渗流现象等，对防洪堤的防渗效果和渗流安全进行分析评判。结构稳定性分析根据实测扬压力或浸润线，采用刚体极限平衡法计算不同结构形式防护堤的抗滑稳定安全系数，并与设计允许值对比，结合巡视检查情况评判结构稳定状态。

3.4 预警响应功能

预警响应功能主要包括工程安全预警和应急响应决策。

工程安全预警包括数据异常预警、洪涝灾害预警和结构安全预警模块，可自动对所有防护区变形、渗流、雨水情况监测设备运行状态与异常数据分级预警、分类分区统计分析，并对防护区内涝风险及各区段防护堤风险等级、安全状态在地理信息模型中分区显示与列表呈现。系统允许设置推送规则，将不同级别的预警信息推送到不同层级的管理人员，实现分级管理。

应急响应决策主要包括信息发布和工程维护模块。通过短信、APP、邮件、微信等多种方式

实现预警信息发布，设置用户分层级审核、编辑、发布预警信息，提供预警信息对应的故障修复、泵站调度、抢险救灾等处理措施建议。

3.5 系统设置与管理功能

防护区运行过程中可能存在监测设备更换、测点新增或删减等问题，同时模型参数及监控指标、预警阈值都可能随服役期增长而发生较大变化，为提高系统运行高效性和适用性，系统提供测点属性设置、模型参数设置和预警模式设置功能，允许授权用户根据工程实际情况调整多类型监控模型的率定参数、预警指标及预警分级阈值等。

系统管理包括用户管理、数据库备份与还原以及日志管理功能。系统用户设置采用“用户-角色-权限”的逻辑关系，保证用户与权限配置更加灵活，提供数据备份和数据恢复功能，防止数据损坏或丢失带来的损失，并自动记录用户进行的数据录入、删除、修改等重要操作，供用户对系统进行排错和监控。

4 结语

1) 龙溪口航电枢纽保护区面积大、防洪堤距离长，面临岷江洪水和防护区内涝的双向威胁，安全风险大。建设其安全运行智能管控系统是全面提升运行安全保障水平和防灾减灾能力，实现传统管理向智能管控跨越的有效途径。

2) 系统建设应融合计算机技术、人工智能、安全工程和管理科学与理论，强化算据、算法、算力建设，实现防洪堤及排涝区安全状态的实时分析、科学预测和合理评估，推动龙溪口保护区运行安全管理从“事后被动应对”向“事前主动防控”的转变。

3) 系统功能除包括信息采集和管理、系统设置与管理等基本功能外，还应包括安全在线监控、风险评估、涝情预警、排涝设施智能调度等专业分析功能，实现防护区雨洪状态实时呈现、安全风险动态评估、涝情感知预测以及排水防涝工程安全智能管控。

参考文献:

- [1] 水利部印发关于完善流域防洪工程体系的指导意见和实施方案[J]. 水利建设与管理, 2022, 42(1): 2-5.
- [2] 交通运输部, 中央网信办, 国家发展改革委, 等. 智能航运发展指导意见[R]. 北京: 交通运输部, 2019.
- [3] HERATH H M M, WIJESKERA N T S. A State-of-the-Art Review of Flood Risk Assessment in Urban Area[C]// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Shanghai: IOP Publishing, 2019, 281(1): 012029.
- [4] LI X J, YAO X H, WANG C Y, et al. An improved electromagnetic flowmeter [J]. Journal of physics (conference series), 2020, 1584(1): 012068.

(上接第 157 页)

参考文献:

- [1] 四川省交通勘察设计研究院有限公司. 岷江龙溪口航电枢纽工程施工图原型观测设计说明[R]. 成都: 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 2020.
- [2] 中交上海三航科学研究院有限公司. 水运工程水工建筑物原型观测技术规范: JTS 235—2016[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.

(上接第 169 页)

参考文献:

- [1] 钟登华, 王飞, 吴斌平, 等. 从数字大坝到智慧大坝[J]. 水力发电学报, 2015, 34(10): 1-13.
- [2] 钟登华, 时梦楠, 崔博, 等. 大坝智能建设研究进展[J]. 水利学报, 2019, 50(1): 38-52, 61.
- [3] 阳建云, 黄纯. 长江口智慧航道的初步构想[J]. 水运工程, 2017(11): 7-11.
- [4] 邬德宇, 曲贝贝, 赵建豪, 等. 智能化管控在钻孔灌注桩施工全过程中的应用[J]. 水运工程, 2021(9): 206-211, 221.
- [5] 赵建豪, 秦斌, 邬德宇. BIM 技术与智慧工地在内河航

- [5] 周延, 余敦先, 夏军, 等. 基于水文水动力模型的 LID 措施对城市内涝风险的影响研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2022, 55(11): 1090-1101.
- [6] SUN Y, LIU C, DU X, et al. Urban storm flood simulation using improved SWMM based on K-means clustering of parameter samples[J]. Journal of flood risk management, 2022, 15(4): e12826.
- [7] 姜仁贵, 杨思雨, 解建仓, 等. 城市内涝三维可视化应急管理信息系统[J]. 计算机工程, 2019, 45(10): 46-51.
- [8] 王小杰. 基于多源信息融合的城市内涝模拟仿真及预警系统研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.

(本文编辑 赵娟)

- [3] 二滩水电开发有限责任公司. 岩土工程安全监测手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [4] 国家能源局大坝安全监察中心. 混凝土坝安全监测技术规范: DL/T 5178—2016[S]. 北京: 中国电力出版社, 2016.

(本文编辑 王传瑜)

道整治工程中的综合应用[J]. 水运工程, 2022(3): 139-145.

- [6] 赵丽宁. 基于多 AGENT 的智能航运信息系统关键技术研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2010.
- [7] 何新华. 内河航运系统体系框架设计的关键问题研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [8] 郭涛, 刘怀汉, 万大斌, 等. 长江“智能航道”系统架构与关键技术[J]. 水运工程, 2012(6): 140-145.
- [9] 刘怀汉, 李学祥, 杨品福, 等. 长江智能航道关键技术体系研究[J]. 水运工程, 2014(12): 6-9.

(本文编辑 赵娟)