

水利工程检测与风险预警机制

朱朝明 潘义波

德州黄河河务局齐河黄河河务局 山东 德州 251100

摘要: 水利工程是水资源调控与水灾害防范的基础性设施,其安全稳定运行关乎人民生命财产安全。本文基于水利工程检测与风险预警相关理论,梳理当前无人机、传感器等核心检测技术,识别工程结构、水文气象、环境人为三类主要风险并构建分级评估体系,进而搭建闭环式风险预警机制,阐述智能化检测、预警模型及数据整合分析等关键技术应用。研究表明,多元化检测技术与科学预警机制协同应用,可精准捕捉安全隐患、提升风险防控效率,为水利工程安全运行提供可靠支撑,对推动水利工程精细化、智能化管理具有重要意义。

关键词: 水利工程;检测技术;风险预警;机制构建;技术应用

引言:随着我国水利工程建设规模不断扩大,各类工程长期暴露于自然环境中,易受水文、地质及人为因素影响,出现结构老化、隐患滋生等问题,严重威胁工程安全与运行效益。当前,传统检测方式效率偏低、预警机制不完善,难以满足工程安全防控的实际需求。基于此,本文立足水利工程核心类型与结构特征,系统分析检测技术应用现状,识别各类安全风险并建立分级评估标准,构建科学可行的风险预警机制,探索关键技术落地路径,为解决水利工程检测滞后、预警不及时等问题提供思路,助力水利工程高质量安全运行。

1 水利工程检测与风险预警相关理论基础

1.1 水利工程核心类型与结构特征

水利工程是调控水资源、防范水灾害的基础性设施,核心类型主要包括防洪、灌溉供水、水力发电三类。防洪工程以堤坝、水闸为核心结构,多采用土石坝、混凝土坝,重点保障抗冲刷、抗倾覆能力;灌溉供水工程以渠道、泵站为主,结构设计侧重防渗性与输水效率;发电工程结合大坝与发电机组,突出结构稳定性。各类工程长期暴露于自然环境,易受水文、地质因素影响出现结构老化,为检测与预警工作提供了现实导向。

1.2 水利工程检测的内涵与原则

水利工程检测是通过科学技术手段,对工程结构、运行状态及周边环境进行监测、排查与分析的系统性工作,核心是及时捕捉安全隐患、掌握工程运行态势,为风险防控提供精准数据支撑。检测需严格遵循全面性、科学性、前瞻性三大原则,全面覆盖工程主体与附属设施,采用标准化检测方法保障数据真实可靠,提前排查潜在隐患,为后续风险预警和工程维护提供坚实依据。

1.3 风险预警机制的逻辑与构成要素

风险预警机制的核心逻辑是“数据采集—风险评估—

预警发布—应急响应”的闭环管理,依托检测数据精准预判风险发展态势。其核心构成要素包括预警指标体系、预警阈值、预警模型和应急响应机制,明确工程关键监测指标、安全范围与预警等级,通过科学建模提升预警准确性,确保预警信息落地,最大限度降低水利工程风险损失^[1]。

2 当前水利工程检测的主要技术

当前水利工程检测技术以传统实用技术为基础,结合智能化手段,形成多元化检测体系,贴合工程实际应用,具体如下:(1)无人机检测技术:搭载高清摄像头、红外热成像设备,采用“蛙跳巡航”模式开展自主巡查,可快速覆盖偏远、高危区域,单点覆盖半径可达5-8公里,重点检测堤坝裂缝、边坡坍塌等隐患,无需人员现场作业,提升检测效率与覆盖面,广泛应用于大型河道、库区工程。(2)传感器监测技术:包括光纤、压力、液位等多种类型,布设于工程关键部位,实现24小时不间断监测,同步传输结构应力、渗流量、水位等数据,搭配视频水尺监测点可实现水位数据5分钟自动更新,及时捕捉隐性隐患。(3)传统人工与仪器检测技术:人工巡查配合专业仪器,排查堤坝渗漏、渠道淤积等隐患,操作便捷、成本较低,适用于中小型水利工程日常检测。(4)高位监控与AI识别技术:依托铁塔资源布设高位监控,单点覆盖半径1.5-2公里,搭载AI系统可自动识别围堰、违规施工等隐患,识别率可达98.5%,实现隐患快速发现与核实。各类技术协同应用,构建“天地一体”检测体系,满足不同规模工程检测需求^[2]。

3 水利工程主要风险识别与分级评估

3.1 工程结构类风险识别(堤坝、渠道、泵站等)

工程结构类风险是水利工程核心安全隐患,主要识别内容如下:(1)堤坝风险:重点识别渗漏、裂缝、滑

坡等,包括土石坝坝体及坝基渗透破坏,混凝土坝表面裂缝与内部空洞,以及迎水坡冲刷、背水坡管涌等,多由长期水压力、地质沉降引发。(2)渠道风险:识别防渗层破损、边坡坍塌、断面淤积,土质渠道易滑坡,混凝土渠道易裂缝漏水,影响输水安全。(3)泵站风险:聚焦机组老化、零部件损坏、供电故障,以及水泵运行异常、管道渗漏、基础沉降等问题。

3.2 水文气象类风险识别(暴雨、洪水、干旱等)

水文气象类风险具有突发性、影响广的特点,具体识别要点:(1)暴雨风险:识别暴雨强度、时长及频次,关注极端暴雨引发的工程过载,易导致堤坝、渠道溃坝、边坡坍塌。(2)洪水风险:识别流量、水位涨幅及持续时间,预判汛期洪水峰值、淹没范围对堤坝、水闸的冲击及洪水倒灌危害。(3)干旱风险:识别渠道断流、泵站空转、堤坝渠道干裂,以及干旱引发的周边地质变化带来的间接结构风险。

3.3 环境与人为类风险识别(污染、违规作业等)

环境与人为因素易引发隐性风险,识别重点:(1)环境类风险:识别水体污染(工业、生活污水腐蚀工程)及周边山体滑坡、泥石流等地质灾害对工程的破坏。(2)人为类风险:识别违规开挖、超载运行等违规作业,以及维护不及时、监测疏漏、隐患整改滞后等管理问题。

3.4 风险分级指标体系构建与评估方法

结合风险识别内容,构建分级指标体系并明确评估方法:(1)风险分级指标:分为一级(重大)、二级(较大)、三级(一般)、四级(低)风险,核心指标涵盖结构破损、水文气象强度、污染及人为影响程度。(2)评估方法:采用定性与定量结合,定性分析隐患严重程度,定量依托检测数据建模计算风险概率,明确各等级判定标准,为预警机制提供依据^[1]。

4 水利工程风险预警机制构建

4.1 预警机制的总体框架设计

预警机制总体框架贴合水利工程实际运行需求,采用闭环式设计,具体内容如下:(1)框架结构:分为数据采集层、风险评估层、预警发布层、应急响应层四个核心层级,各层级衔接顺畅、职责明确,避免流程脱节。(2)框架运行流程:先通过检测技术完成各类数据采集,传输至风险评估层进行分析研判,再根据评估结果发布对应预警信号,最后由应急响应层落实应对措施,形成完整运行闭环。(3)框架设计重点:贴合中小型水利工程实际,避免复杂设计,突出实用性和可操作性,无需额外新增设备,可依托现有检测资源运行。

4.2 预警指标体系的筛选与确定

预警指标体系筛选结合前期风险识别结果,聚焦核心、具体筛选与确定方式:(1)筛选原则:优先选择易检测、关联性强、数据易获取的指标,避免选用复杂难测、与工程实际关联度低的指标,降低应用难度。(2)核心指标确定:分为四大类,分别是工程结构类(堤坝裂缝、渗流量等)、水文气象类(暴雨强度、洪水流量等)、环境类(水体污染程度等)、人为类(违规作业频次等)。(3)指标优化:剔除冗余指标,每个类别保留3-4个核心指标,确保指标体系简洁、精准,适配后续预警阈值设定和模型构建。

4.3 预警阈值的设定与校准方法

预警阈值设定以工程实际标准和运行经验为核心,校准方法简单可操作,具体如下:(1)阈值设定依据:参考水利工程设计标准、行业规范,结合工程运行年限、周边环境、历史隐患数据,明确各指标的安全范围。(2)阈值分级设定:对应风险分级,分为四级阈值,分别匹配重大、较大、一般、低风险,明确各阈值的具体数值范围,如堤坝渗流量阈值按工程规模设定不同标准。(3)校准方法:采用现场实测数据与历史数据对比,每半年进行一次阈值校准,结合工程维护情况、环境变化,调整阈值数值,确保与工程实际运行状态匹配,避免阈值过高或过低导致预警失真。

4.4 预警信号的分级与发布流程

预警信号分级清晰,发布流程贴合实际工作规范,具体内容:(1)预警信号分级:与风险分级对应,分为一级(红色)、二级(橙色)、三级(黄色)、四级(蓝色),明确各级信号的适用场景。(2)发布流程:先由监测人员审核检测数据和风险评估结果,确认预警等级后,通过工作群、短信、现场警示灯等多种方式发布,确保相关责任人员及时接收。(3)发布要求:发布时明确预警指标、超标数值、预警等级和注意事项,无需复杂表述,确保简洁明了、传递高效^[4]。

5 水利工程检测与风险预警的关键技术应用

5.1 智能化检测技术(无人机、传感器、大数据等)

智能化检测技术是水利工程检测的核心支撑,贴合实际工程应用场景,具体应用如下:(1)无人机检测技术:主要用于堤坝、渠道等大型工程的全域巡查,搭载高清摄像头、红外热成像设备,可快速覆盖偏远、高危区域,重点检测堤坝裂缝、边坡坍塌、渠道淤积等隐患,无需人员现场作业,提升检测效率,尤其适用于山区、库区等交通不便区域,单次巡查可覆盖数十公里工程范围,精准捕捉细微结构破损。(2)传感器检测技术:分为光纤传感器、压力传感器、液位传感器等,广泛安装于堤坝、

泵站、渠道等关键部位,实时采集结构应力、渗流量、水位等数据,数据传输至终端平台,实现24小时不间断监测,可及时发现坝体渗漏、管道破损等隐性隐患,为后续预警提供实时数据支撑,常见于中小型灌溉、防洪工程。(3)大数据技术:整合各类检测数据,包括传感器实时数据、无人机巡查数据、历史维护数据等,通过数据清洗、分类整理,剔除无效数据,实现检测数据的集中管理,为后续风险评估和预警模型构建提供数据基础,解决传统检测数据分散、难以整合的问题。

5.2 风险预警模型的构建与应用

风险预警模型结合检测技术与工程实际,构建贴合现场需求的实用模型,具体应用如下:(1)基于大数据的预警模型:依托前期采集的检测数据,整合工程结构、水文气象、环境人为等各类数据,通过机器学习算法,建立风险预判模型,可自动分析数据异常变化,预判风险发生概率,适用于大型防洪、发电工程,提升预警的精准度。(2)层次分析法预警模型:结合定性与定量分析,明确各风险指标的权重,如堤坝渗漏、暴雨强度等指标的影响程度,划分风险等级,操作简单、实用性强,适用于中小型水利工程,无需复杂设备,可快速完成风险预判。(3)阈值预警模型:根据工程设计标准和实际运行经验,设定各检测指标的安全阈值,如渗流量、水位、结构应力等临界值,当检测数据超出阈值时,自动触发预警信号,无需复杂建模,广泛应用于各类水利工程,实现快速预警响应。

5.3 检测与预警数据的整合与分析技术

检测与预警数据的整合分析是衔接检测与预警的关键,核心技术应用如下:(1)数据整合技术:采用数据接口对接方式,将无人机检测数据、传感器实时数据、历

史数据等进行统一整合,建立标准化数据库,实现数据共享,解决传统检测数据分散、格式不统一的问题,方便工作人员快速调用、查询数据。(2)数据清洗与分析技术:通过专业软件剔除无效、异常数据,对有效数据进行分类分析,明确数据变化规律,如坝体渗漏量的变化趋势、暴雨过后工程结构的受力变化等,为风险评估提供精准依据。(3)数据可视化技术:将整合分析后的数据以图表、曲线等形式呈现,直观展示工程运行状态和风险变化趋势,方便工作人员快速捕捉数据异常,提升预警和决策效率,适用于各类水利工程的日常管理^[5]。

结束语:本文围绕水利工程检测与风险预警机制展开系统研究,明确了相关理论基础,梳理了现有检测技术,完成了风险识别与分级评估,构建了闭环式预警机制并阐述了关键技术应用。未来可结合工程实际优化检测技术与预警模型,强化数据整合共享能力,推动检测与预警工作向精细化、智能化升级,持续提升水利工程风险防控水平,为水资源安全与水灾害防范提供更坚实的保障。

参考文献:

- [1]廖丽霞.人工智能驱动的水利工程质量检测监督体系构建研究[J].治淮,2025(7):96-98.
- [2]张浩杰.水利工程防洪安全风险分析及应对策略[J].水上安全,2025(7):139-141.
- [3]杨哲.水利工程施工过程中的信息化风险预警机制研究[J].信息系统工程,2025(8):85-87.
- [4]黄后青,汪英启.水利工程岩土体渗透特性的精细化检测与渗漏预警技术研究[J].水上安全,2025(21):71-73.
- [5]雷天朝,朱煜.基于物联网技术的水利工程智能监测系统研究[J].中国宽带,2025,21(10):157-159.