

水利工程施工安全风险识别与智能技术预警机制研究

张莉

(安徽水安建设集团股份有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 随着水利工程建设规模越来越大, 施工环境越来越复杂多变, 传统的安全管理模式已经不能满足现代工程安全风险防控的要求。施工期间隐藏的安全隐患存在突发性、连锁性的特点, 需创建科学的、有效的风险识别和预警体系。本文以智能技术的发展背景为依托, 探究水利工程施工安全风险的动态识别方法, 创建智能化预警模型, 为改善工程安全管理水平提供新思路, 进而通过数字化转型来冲破传统监管的困境, 实现由被动应付到主动防范的转变。

关键词 水利工程; 施工安全; 风险识别; 智能预警机制

中图分类号: TV513

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.23.008

0 引言

信息技术与工程建设深度融合后, 水利工程施工安全正处于一场数字化变革之中。风险因素的多元化、隐蔽化对安全预警能力提出了更高要求, 而智能技术的应用, 则为风险精准识别、实时动态预警创造了有利条件。本文对水利工程施工风险开展系统性分析, 依托人工智能、大数据技术搭建智能预警机制, 最终实现安全风险的事前预防与精细化管理, 突破传统人工排查的时空限制, 为提高水利工程建设安全性提供参考。

1 水利工程施工安全风险智能预警的理论架构与技术基石

1.1 施工安全风险识别的理论框架与传统方法

施工安全风险识别以系统安全理论为依托, 从人、机、料、法、环等各个方面全面地识别出可能存在的危险。常用的方法有检查表法、预先危险性分析、故障树分析、事件树分析、危害与可操作性研究等, 可以采用定性与定量相结合的方式。定性方法可以快速发现危险源, 定量方法用概率和后果来确定风险等级。现代识别方法用上层模糊综合评价、灰色聚类分析来克服不确定性信息。

1.2 智能预警系统的架构设计与运行机制

智能预警系统是由数据采集层、传输层、分析层、执行层四大部分组成的。数据采集层依靠传感器、监

控设备以及人工上报来获取环境、设备、人员以及施工参数, 传输层依靠物联网以及通信网络把数据实时地汇聚到云平台。分析层用数据挖掘、模式识别、智能算法等方法对各种各样的信息加以融合, 找到异常状况并计算出相应的风险概率。执行层按照事先确定好的阈值发出预警信号, 层层上报, 及时发出应急通知给各个终端设备, 为现场安全管理提供决策支撑。

1.3 水利工程安全管理的制度规范与信息化支撑

水利工程安全管理是全方位的、全过程的、全员的, 包含规划、设计、施工、运行等各个阶段, 要遵守法律法规和行业标准, 落实责任制和风险管控制度。信息化支撑体系是以地理信息系统、建筑信息模型、大数据、云计算为技术支撑, 创建统一的数据资源平台, 对进度、质量、安全进行综合监控。通过移动端同指挥中心的互联, 管理人员可以对现场状况实行即时掌控, 并能开展远程调度工作。该体系促使信息透明化和共享, 冲破部门壁垒, 改善协同效能, 为智能预警和决策剖析奠定稳固的数据根基, 促使水利施工安全管控朝着数字化、智能化迈进^[1]。

2 水利工程施工安全风险类型与成因分析

2.1 自然环境风险

自然环境风险源于水文、地质与气象等不可控因素, 是水利工程特有的高风险来源。施工过程中可能遭遇暴雨、洪水、滑坡、地震及地下水位突变等, 直

作者简介: 张莉(1994-), 女, 专科, 工程师, 研究方向: 水利工程。

接威胁基坑、围堰、边坡及导流结构的稳定。复杂地质条件易引发塌方、渗漏或地基失稳,增加施工难度与安全隐患。极端天气会干扰作业进度、损坏临时设施,并造成人员受困或设备损毁。此类风险具有突发性与连锁性,往往与其他风险叠加放大危害。

2.2 施工技术与管理风险

施工技术与管理风险体现在方案缺陷、工艺不成熟及管理不到位等方面。若施工工艺选择不当或工序衔接不紧密,易出现结构强度不足、渗漏超标等问题;复杂节点施工缺乏专项方案会增加操作失误概率。管理体系不健全表现为责任分工不明、制度执行不严、安全培训不足,致使人员违规作业或设备带病运行。进度压缩与成本控制压力可能诱发偷工减料或超强度作业,进一步放大风险^[2]。

2.3 设备与物资风险及人员行为与组织风险

设备和物资风险有施工机械故障、防护装置失效、材料质量不合格、供应中断等,会引发作业停滞或者突发事故。老化或者维护不善的设备在高负荷运转的时候容易出现失控的情况,劣质材料会减小结构的安全裕度。人员行为风险是由违章指挥、违规操作、疲劳作业和安全意识差造成的,容易造成机械伤害、高空坠落等事故。组织风险指的是协作不畅、应急预案缺少以及信息沟通迟缓,造成风险处置延误或者失效。

3 基于智能技术的安全风险识别方法

3.1 数据采集与多源信息融合

根据智能技术的风险识别,首先要进行全方位、准确的数据采集,施工现场的环境参数、设备运行状况、人员位置和行为、施工进度等各方面的情况都包括在内。利用温湿度、位移、振动、噪声、气体浓度等传感器配合视频监控、无人机巡检和人工录入的方式,达到全天候、全方位的感知效果。多源信息融合技术把各种不同的格式、不同的频率、可信度不同的数据时间同步、空间配准、权重整合起来,消除冗余和冲突,得到统一的现场状态视图。该过程为后面分析提供高质量的输入,可以提高风险识别的覆盖面和时效性,及时发现潜在危险^[3]。

3.2 危险源辨识与等级划分模型

在融合数据基础上,利用智能算法对危险源进行自动辨识与归类,可快速定位高风险区域与工序。常用方法包括基于规则的专家系统与机器学习模型相结合,通过训练历史事故样本识别特征模式。等级划分模型综合风险发生概率与后果严重程度,采用模糊综合评价、层次分析法或神经网络输出风险指数,并映

射为红、橙、黄、蓝等预警级别。智能化辨识克服了传统人工筛查的主观性与滞后性,能动态反映施工状态变化,为分级管控与资源优先配置提供量化依据。

3.3 机器学习与深度学习在风险识别中的应用

机器学习与深度学习通过从海量数据中自主学习风险特征,显著提升识别的准确性与泛化能力。监督学习可利用标注的事故与隐患数据训练分类模型,实现高危工况的自动判别;无监督学习能发现隐性异常模式,提前预警未知风险。卷积神经网络适用于视频与图像分析,可识别未佩戴安全帽、违规攀爬等行为;递归神经网络与长短期记忆网络善于处理时序数据,可预测边坡位移、沉降趋势。迁移学习可在不同工程间复用知识,缩短模型部署周期。

3.4 风险识别流程与关键指标体系构建

智能风险识别要创建标准化的流程,包含数据预处理、特征提取、模型推理、结果校验以及反馈改进等部分,从而达成闭环式的迭代。关键指标体系按照施工特点和事故统计来建立,包括环境安全指数、设备健康度、人员合规率、工序偏差度等,每个指标下面设置可以量化的阈值和计算方法。流程中利用实时计算的指标值同历史基线比较,及时找出异常并发出提醒。指标体系兼顾全面性和可操作性,可以反映整体的安全状况,也可以细化到作业面和班组的层次上,给精准识别和差异化管控提供科学的依据,保证管理决策有据可依^[4]。

4 智能预警机制设计

4.1 预警分级与阈值设定方法

智能预警机制的首要环节是建立科学的预警分级体系,依据风险识别输出的风险指数或单项指标偏离程度,将预警由低到高划分为蓝、黄、橙、红等不同等级,对应轻微、一般、较重和严重风险状态。阈值设定需结合历史事故数据、专家经验与工程实际,采用统计学方法确定初始值,并通过机器学习动态校准,使之适应不同施工阶段与环境变化。合理阈值既防止频繁误报造成麻痹,又确保真正危险能被及时捕获,为后续处置赢得时间与主动性^[5]。

4.2 实时监控与动态更新机制

依托物联网与高速通信网络,系统可对施工现场的人员、设备、环境与工序参数进行不间断采集与传输,实现监控的实时性与连续性。监控平台对各路数据流进行并行处理与可视化展示,一旦发现指标触及或超过阈值即触发相应级别预警。动态更新机制依靠滚动时间窗和滑动统计手段,不断地接纳新的数据来修正

风险模型以及阈值,从而适应施工状况以及外界环境的变动。该机制保证预警信息和现场态势同步,克服了传统静态监控滞后的问题,使安全管理更加灵敏、精准,有效地降低了由于信息延迟而造成的事故风险。

4.3 预警信息发布与推送模式

预警信息要按照级别和类别定向推送给相关的责任人和执行终端,保证信息可以到达、可以使用。系统可以将短信、语音播报、移动App弹窗、指挥中心大屏等多渠道进行整合,从而达到分级分类发布的目的。发布的内容要包含风险的位置、种类、等级、可能造成的后果以及建议采取的措施,使接收人可以迅速地了解和执行。根据不同的岗位来制定推送策略,现场作业人员接收简单的警示信息,管理层得到趋势分析以及决策建议,提高协同响应效率和执行力。

4.4 预警响应与闭环处置流程

预警响应流程依据预警级别启动相应预案,明确责任人、处置步骤与时限要求。预警响应程序按照预警级别启动相应的应急预案,明确责任人、处置措施和时间。低级预警可以由班组现场整改后上报,中高级预警需要停工排查、调配资源、成立应急小组,高级预警要联动外部救援和上级部门。处置过程用移动终端或者平台实时记录,形成可以追溯的执行轨迹。完成处置之后要实施复核和风险评定,保证隐患被彻底消除之后再解除预警,将案例存入数据库以供模型改良之用。闭环机制保证每一个预警都有始有终,使管理由发现向根治转变,不断改善施工安全韧性及防控水平。

5 系统实现与应用验证

5.1 平台架构与功能模块设计

系统使用分层分布式结构,即感知层、网络层、平台层和应用层,以保证系统的可扩展性和稳定性。感知层是由各种传感器和监控设备组成,用于采集现场环境和作业数据,网络层依靠无线和有线通信完成数据高速传输,平台层集成数据存储、计算引擎、模型库等来支持风险识别和预警算法的运行,应用层包含可视化界面、预警发布和响应管理等功能模块。功能模块包含实时监控、危险源识别、风险等级划分、预警发布、处置跟踪、统计分析等模块,形成从数据采集到决策支持的一条龙安全管理系统,可以满足各种安全管理人员的需求,并且可以给以后的系统优化提供操作入口。

5.2 关键技术集成与实现路径

实现过程重点集成物联网感知、多源数据融合、机器学习模型与智能预警算法。首先通过标准化接口实

现异构设备互联互通,确保数据格式与时间基准统一;随后在数据预处理环节采用清洗、插值与时序对齐方法提升质量。核心算法模块嵌入风险识别模型和动态阈值计算,利用容器化部署实现弹性运算。预警推送与响应流程结合工作流引擎,可自定义预案与任务派发。实现路径遵循迭代开发原则,先在实验环境中完成模块联调与性能测试,再在工程现场小规模试点验证,最终推广至全线应用,确保技术可行性与现场适配性。

5.3 工程案例或仿真验证分析

通过典型水利工程标段的现场试点或者高保真的仿真来检验系统在真实工况下的表现。选取包含基坑开挖、围堰施工和高空作业等场景,对多源数据进行连续采集,并执行风险识别与预警流程。验证指标为风险检出率、误报率、预警响应时间和闭环处置完成率。结果表明系统可以对边坡位移加快、设备出现故障前兆、人员违章聚集等危险进行及时发现,在规定的时间内完成分级推送和跟踪处理。相比于传统的手工巡查方式,识别的覆盖面大大提高,响应速度也大大加快,有效降低了潜在事故发生率,证明了平台架构、算法以及流程具有工程上的适用性和实用性^[6]。

6 结束语

水利工程施工安全风险智能预警机制形成以后,水利工程的安全管理就步入了数字化的新时期。通过由不断改进风险识别算法、完备预警响应流程并加强技术应用落实,可以明显改善施工安全控制水平。未来要加大对多源数据融合、智能算法创新等技术的革新力度,使预警系统越来越精确、高效地工作,更好地保护水利工程建设安全。另外,还要推进BIM同数字孪生技术在施工安全方面深入融合,创建虚实映射的智能监管生态,从而给本质安全和智慧水利战略目标的达成提供有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 温达鑫.基于AHP-熵权-云模型的水利工程施工安全评价研究[J].水利科技与经济,2023,29(07):93-97.
- [2] 金凯,王琛.基于BIM技术的水利水电工程施工安全评估构建研究[J].四川水泥,2022(07):58-60.
- [3] 朱以明,陈允生,陆红.基于模糊决策的水利施工安全风险识别方法[J].珠江水运,2022(03):111-113.
- [4] 郭璐璐.水利工程泵站施工工艺探讨[J].智能城市,2021,07(24):163-164.
- [5] 魏玉涛.水利工程施工现场危险源辨识与风险评价[J].海河水利,2021(S1):50-53.
- [6] 李健斌.石鼓水源工程引水渠水下开挖安全管理控制要点[J].云南水力发电,2021,37(08):182-186.