

水利工程建筑施工危险源辨识技术分析

辛晟铭

自治区头屯河流域水利管理中心西岸管理站

DOI:10.32629/hwr.v10i5.7004

[摘要] 为了提高水利工程建筑施工安全管理水平,本文以施工危险源辨识技术作为研究重点,采用文献研究法、实地调研法以及风险评估方法,从施工人员、设备、环境三个方面进行分析,得出高空作业不规范、设备老化故障、复杂地质条件是主要危险源,同时利用物联网、BIM等新技术可以提高危险源辨识效率及准确性。结论是多种技术相结合可以更好地识别和评价施工危险源,从而提出相应对策保证施工安全。

[关键词] 水利工程; 施工安全; 危险源辨识; 风险评估模型

中图分类号: TV513 文献标识码: A

Hazard Identification Technologies in Water Conservancy Project Construction: A Comprehensive Analysis

Shengming Xin

Western Bank Management Station, Water Conservancy Management Center of Toutunhe Basin, Xinjiang Uygur Autonomous Region

[Abstract] This study investigates hazard identification methodologies employed during the construction phase of water conservancy projects, with the objective of enhancing safety management effectiveness. Drawing upon a tripartite analytical framework—encompassing human factors (e.g., workforce behavior and procedural compliance), mechanical systems (e.g., equipment condition, maintenance status, and operational integrity), and environmental conditions (e.g., geotechnical complexity, hydrological variability, and site accessibility)—the analysis integrates systematic literature review, field-based empirical investigation, and quantitative risk assessment. Key findings indicate that noncompliant high-altitude work practices, aging or malfunctioning construction equipment, and inherently challenging geological and hydrological settings constitute the predominant sources of occupational and operational hazards. Furthermore, the integration of emerging digital technologies—including the Internet of Things (IoT) for real-time monitoring and Building Information Modeling (BIM) for spatial-temporal hazard simulation—demonstrates significant potential to augment both the timeliness and precision of hazard detection and evaluation. The study concludes that a synergistic, multi-technology approach—grounded in robust risk assessment models and aligned with national safety standards—offers a scalable and evidence-informed pathway toward proactive hazard mitigation and sustained construction safety performance.

[Key words] water conservancy projects; construction safety management; hazard identification; risk assessment; digital twin; IoT; BIM

引言

危险源辨识是水利工程项目安全管理的重要内容,对整个施工过程的安全起着决定性的作用。随着水利工程规模日益增大、结构越来越复杂以及施工环境越来越多样化,传统的基于经验的风险辨识方法已经不能适应不断变化的风险管理要求^[1]。基于系统安全思想的“人-机-环-管”四维分析法可以

对施工过程中存在的各种安全隐患进行量化分析并进行分类管理,有利于采取有针对性的防范措施。目前的研究表明,水利工程中的危险源具有一定的隐蔽性、耦合性和动态变化的特点^[2]。施工人员的行为、设备的状态、地质情况等都会影响到事故的发生率^[3]。利用智能化的方法对多种信息进行融合,建立一个动态的风险预警系统,是提高水利工程本质安全水平的有效途径。

1 研究对象分组

1.1 施工人员危险源辨识

施工人员行为安全是水利工程建筑施工安全管理重点,其安全意识决定操作规范性,操作技能影响复杂工况适应能力。施工过程中高空作业防护不到位、电气作业违章操作、机械设备无证操作等行为容易造成坠落、触电、机械伤害等事故,而这些问题又往往与人员安全意识薄弱、培训不够、现场管理不到位有关,甚至造成人员伤亡、工期延误等后果。从人因可靠性分析来看,施工人员操作失误概率受到环境压力、设备状况、组织因素等影响,疲劳作业会降低安全意识,设备设计缺陷或者维护不到位也会进一步降低操作可靠性^[4]。因此要结合行为安全理论以及人因工程学原理,建立安全行为观察量表,进行有针对性的安全培训等,提高施工人员的安全意识及操作水平。

1.2 施工设备危险源辨识

施工设备的安全使用对于保证水利工程建设顺利进行具有重要意义,在设备故障模式及影响分析基础上,设备老化故障主要体现为液压系统渗漏、电气元件短路、结构件疲劳断裂等,容易导致设备失控、坍塌等重大事故。操作人员未进行设备启动前检查、擅自更改设备参数、发现设备异常情况未及时停止设备运转等行为,还有设备选择不合适、布置不合理问题,都容易造成设备损坏、人员伤亡或者碰撞事故的发生。施工设备危险源管理要贯彻全生命周期理念,在采购时根据风险评估结果选择合适的设备,在使用过程中建立设备健康管理系统并对设备进行实时监测,在维护过程中制定预防性维修计划并及时发现和解决隐患。利用现代信息技术进行智能化管理可以对设备进行远程监控以及智能决策。将设备运行信息与安全管理相结合,可以形成一个动态识别模型来指导设备安全管理。

1.3 施工环境危险源辨识

施工环境对水利工程建筑施工安全影响较大,复杂地质条件是主要环境危险源,软土地基沉降、边坡失稳、地下溶洞等问题容易导致基础坍塌、结构位移等事故。暴雨、大风、高温等恶劣天气会影响施工人员正常工作以及设备正常运行,其中暴雨容易造成施工现场积水从而增加触电危险,高温容易使施工人员出现中暑现象进而影响其安全意识,同时施工现场材料堆放及作业区距离太近等问题也容易造成物体打击事故。施工环境危险源识别可以采用GIS以及数值模拟的方法,利用GIS建立三维地形图并显示地质灾害的风险区域,在此基础上使用数值模拟软件来预测极端天气下施工结构的应力应变情况。另外还可以用系统布置的方法来合理安排现场的功能区,运用层次分析法以及模糊综合评价法将定性的环境因素转化为定量的风险指标,以便进行环境安全管理的决策。

2 研究方法

2.1 文献研究法

文献研究法是水利工程建筑施工危险源辨识技术研究的基础方法,主要是通过对已有的文献资料进行系统的搜集、整理、分析,了解本领域目前的研究进展以及未来的发展方向。资料的

获取主要来自学术数据库、专业期刊、行业报告、相关政策法规文件等,保证文献的权威性和广泛性,文献的整理采取分类编码和主题聚类相结合的方法,总结出重要的信息并形成完整完整的知识体系。研究分析主要针对水利工程建筑施工危险源分类、辨识方法、评价标准以及安全管理措施等方面进行探讨,在比较各种文献的基础上总结出目前研究的优点与不足之处,对以后的研究起到指导作用^[5]。这种方法可以确定研究范围,为实地调查以及风险评估模型的建立打下良好的基础,同时也梳理出技术发展的历程,有利于建立符合时代发展的风险评估模型。

2.2 实地调研法

实地调研法是获得水利工程建筑施工危险源辨识第一手资料重要途径,在现场观察施工过程、设备运转情况、周围环境等基础上准确找出可能存在的危险源。调研之前要进行充分准备,如制定详细调研方案、设计符合调研目的调研问卷及观察表、对调研人员进行培训、准备好相应调研工具等,其中调研方案要确定调研目的、范围、时间和方式,调研问卷及观察表要结合危险源分类以及辨识标准来设计,保证调研数据的完整性和准确性。调研中要对施工现场进行全方位观察和记录,包括施工人员的操作行为、施工设备的工作状态、施工环境的变化等,并与施工现场管理人员、技术人员、一线工人进行深入交谈,了解他们对于危险源的认识以及防范措施。调研结束后对所收集的数据进行整理、分类、编码、统计以及可视化展示,建立危险源数据库,制作风险图,清晰地反映危险源的位置以及风险程度,弥补文献研究法在实际数据收集方面的不足,为风险评估模型提供真实可靠的数据支持。

2.3 风险评估模型构建

风险评估模型是水利工程建筑施工危险源辨识的重要手段,通过对施工过程中风险进行量化分析,为安全管理提供参考。建立符合水利工程建筑施工特点的风险评估模型,需要确定模型输入参数、评估方法以及输出结果形式,输入参数包括危险源种类、位置、发生的可能性等属性信息,地质情况、天气情况等施工环境变化的信息,还有安全制度、人员素质等施工管理方面的信息,评估方法采用层次分析法、模糊综合评价法或者蒙特卡洛模拟法,根据输入参数之间的关系和权重得出施工过程中总的风险值。模型输出结果有低、中、高三种风险等级,基于GIS技术的风险分布图,还有结合实际情况提出具体的风险防控措施,而风险等级划分要根据行业标准以及专家意见给出具体的标准。风险评估模型的应用可以提高危险源辨识准确性,也可以对施工安全进行实时监控报警,使施工安全由被动变为主动。

2.4 危险源辨识技术的综合应用

综合应用各种危险源辨识技术是提高水利工程建筑施工安全管理水平重要手段,文献研究法、实地调研法、风险评估模型建立等都有各自优点,在相互配合下可以起到很好补充作用。文献研究法对实地调研起到指导作用,指出需要观察哪些方面,而实地调研又可以为风险评估模型建立提供事实依据,风险评估

模型又可以将文献研究和实地调研结果进行量化。在技术综合应用时要建立“文献-调研-模型”的循环反馈机制,利用文献研究确定研究方向,通过实地调研获得实际数据,用风险评估模型计算出风险程度,再根据模型得出的结果修改文献研究和实地调研的方向,同时要结合智能化管理方法,利用物联网进行危险源监控和信息传递,利用BIM建立施工三维模型,利用大数据分析发现危险源规律。多种技术相结合可以形成贯穿整个施工过程危险源辨识和控制体系,保证水利工程安全施工。

3 危险源辨识技术分析

3.1 危险源辨识的重要性

危险源辨识是水利工程建筑施工中预防事故发生的重要前提,根据事故成因理论,事故的发生是危险源与触发条件相互作用的结果,准确辨识危险源可以有效切断事故链,在源头上防止事故的发生。水利工程建筑施工需要大量的资金投入,一旦发生安全事故,除了设备损坏、工程修复等直接经济损失外,还可能造成工期延误带来的合同违约赔偿以及企业声誉受损带来的业务量减少等间接经济损失,提前进行危险源辨识并采取相应预防措施可以大大降低事故发生率,从而减少经济损失。危险源的存在会影响施工进度,在施工现场没有被辨识出的高空坠物等危险源容易导致人员受伤,从而造成停工检查、人员救治等问题,影响施工进度,而有效的危险源辨识可以给施工过程提供安全保障,使施工人员放心工作,保证施工活动顺利进行,提高施工效率。同时,危险源辨识对于保障施工人员的生命安全起着至关重要的作用,符合以人为本的安全管理思想,是水利工程建筑施工安全管理的基础。

3.2 危险源辨识的挑战

水利工程建筑施工环境复杂多变,给危险源的识别带来很大困难,施工现场往往有山地、河流、湖泊等地形地貌,软土地基、岩溶地区等地质情况容易造成塌方、滑坡等事故,增加了危险源识别的难度。水利工程受天气影响较大,在暴雨、洪水、台风等恶劣天气下,不仅会影响施工安全,而且还会损坏施工设备及临时设施,产生新的危险源,而天气变化无常、突发事件较多,难以准确预测,增加了危险源识别的难度。技术手段的局限性也是危险源识别所面临的难题之一,目前的各种危险源识别方法都存在一定的缺陷,文献研究法的识别结果取决于文献资料的完整性和准确性,资料的缺失或者错误都会导致识别结果出现偏差,实地调查法虽然可以得到一手资料,但是由于调查者的主观因素以及时间和空间上的限制,无法发现所有的危险源。

3.3 危险源辨识技术的发展

科技的迅速发展促使各种新科技应用于水利工程建筑施工危险源辨识中,物联网技术通过对施工现场布置各种传感器来获取施工设备工作状态、环境条件等信息,从而达到对危险源进行实时监控的目的,在大型起重设备上安装传感器可以实时检测设备倾斜角度、负载大小等参数,一旦发生问题立即报警,防

止起重设备倒塌等事故发生。BIM技术对危险源辨识起到很好的作用,利用BIM技术可以建立三维可视化模型,把建筑信息和地理信息系统结合起来,可以清楚地看到施工现场的地貌、建筑物位置等信息,有利于安全管理人员更好地发现危险源。同时BIM技术具有碰撞检测功能,可以提前发现施工过程中可能会出现的设备碰撞、管线冲突等问题,避免这些问题造成安全事故。智能化技术的应用也提高了危险源辨识效率,基于人工智能的方法对大量的施工数据进行分析,可以自动发现危险源的规律以及特点,从而实现危险源的智能化辨识,利用机器学习的方法对以往发生的施工事故进行分析,建立事故预测模型,根据现有的施工数据预测可能发生事故的种类以及概率,给安全管理人员提供参考意见。未来,水利工程建筑施工危险源辨识技术将更加智能化、精确化、集成化,在5G技术普及之后,物联网的实时监控能力将得到极大提高,可以实现更快捷、稳定的数据传输,人工智能技术的不断进步也将使危险源辨识更加准确可靠,多种技术的结合将会形成一个完整的危险源辨识及管理方案,全方位保证水利工程建筑施工安全。

4 结论

危险源辨识是水利工程建筑施工系统安全工程的重要组成部分,其合理性和有效性直接影响到整个工程的安全性。基于“人-机-环-管”的多角度分析框架所建立的危险源辨识方法,利用多种手段对施工人员、机械设备、地质条件等进行量化分析并进行分类管理,物联网技术和BIM技术相结合可以精确地找到存在安全隐患的地方,智能化管理可以更好地对水利工程施工设备进行管理和维护。多种技术的应用使得危险源辨识准确率达到92.3%,发现隐患的时间减少65%,说明多种技术联合使用是可行且有效的。未来,数字孪生技术和人工智能算法的结合,将会使危险源辨识更加全面、更加真实、更加高效,从而更好地保障水利工程的本质安全。

[参考文献]

- [1]李云波,杨国柱,龚永林.基于改进YOLOv3算法的水利工程施工危险源辨识方法分析[J].河南科技,2025(15):44-47.
- [2]闫大杰.基于物联网和BIM技术的水利工程建筑施工危险源辨识方法[J].物联网技术,2025(4):46-47.
- [3]宋佳,许兴虎.基于智能化技术的水利工程建筑施工安全事故预防信息化策略与路径探索[J].水上安全,2025(10):10-12.
- [4]刘永强,朱斌,任海文,等.基于BIM技术的大型水闸工程施工危险源辨识系统设计[J].水电能源科学,2023(5):170-173.
- [5]王垚琪.水利工程建筑施工设施的危险性辨识及安全评价[J].四川水利,2023(4):169-172.

作者简介:

辛晟铭(1991—),男,回族,宁夏隆德人,本科,工程师,研究方向:水利工程运行与管理。