水利水电工程施工安全风险识别与防控措施研究

何扶兵
国能大渡河流域水电开发有限公司枕沙水电建设管理分公司　四川乐山　614700

摘　要：水利水电工程，作为国家能源和水资源配置的重点工程，其建设安全性备受重视。目前，基于复杂多变环境，高技术含量的水利水电工程，其施工过程中的安全隐患频繁发生，给项目顺利进行和民众生命财产安全造成很大的威胁。基于此，本文借助相关文献查询，结合以往施工成功经验，对当前水利水电工程施工中常见风险进行归总，并对识别技术进行简要分析，进而针对性提出防控策略。结果发现，通过智能预警系统的构建、施工组织设计优化等策略，明显减少施工事故发生，确保施工的安全性，促进水利水电工程施工的可持续发展。

关键词：水利水电；工程施工；安全风险；识别技术；防控措施

水利水电工程施工，既为区域提供电力和水等资源，也可推动地区经济的良性发展，同时在防洪、灌溉等方面起到关键作用。但因施工涉及高空、深基坑和水下等高危区域，容易受到地质、天气等外界因素的影响，存在诸多的安全风险。近年来，安全施工已经成为建筑行业的主要原则，但是水利水电工程仍有安全事故发生。因此，进行工程施工中安全风险识别和防控策略研究，是保证工程顺利实施、确保人民生命财产安全的重要前提。

一、风险类型概述

自然环境因素：包括暴雨、台风和大风等极端天气，容易诱发滑坡、泥石流等地质灾害，危及施工人员的生命财产和建筑物的稳定性。比如西南地区的某水电站，由于连续暴雨，发生泥石流，导致部分施工设施淹没，导致工程停工三十多天，直接经济损失5百万左右。

技术安全隐患：其原因在于项目施工过程中技术的复杂性，如在坝体混凝土浇筑施工中，如果温度控制不好，容易出现温差开裂，从而降低坝体的强度和耐久性；如果是地下洞室开挖施工，往往会遇到围岩失稳、涌水、突泥等问题。以某大型水电站为例，进行地下洞室施工中，由于对地质情况的预测不够精确，致使8人被困，造成巨大的人力和资源损失。

设备风险：比如起重机和挖掘机等重大工程机械，若平时维修保养不当，很容易发生机械失效，从而导致生产安全事故。同时如果用电设备存在泄漏或短路的情况，还可能引起触电和火灾等事故。人为风险也很关键，有些人员安全意识不强，违规操作，若没有正确佩戴安全保护器具，容易造成安全事故的发生。

二、风险识别技术分析

传统识别方式多依赖于专业人员的经验和现场勘察，并利用其自身的工程实践来确定隐患。尽管这种评估方式比较直接，但是存在着很大的主观性，并且很难找出潜在的危险。

随着数字化技术发展，以大数据和人工智能为基础的风险识别技术，逐步在各行业得到广泛应用。通过采集施工区域的多源数据，如地质情况、设备运行参数等，构建基于机器学习的危险预警模型，实现对隐患的及时预警。某水利水电工程，采用无线传感技术对边坡变形、水位等进行实时监测，并与BP神经网络相融合，对滑坡的风险进行精确预报，预报精度达到92%以上。

针对施工进行风险识别，采用风险矩阵技术也很关键。该技术是基于模糊综合评判模型，针对风险发生概率和危害性进行量化评估，进而以不同等级将风险区分，再根据等级进行优先控制。以某水电站为例，应用风险矩阵方法，对高空和爆破作业的风险性进行评估，确定风险作业的关键步骤，为下一步的防控工作提供依据。

三、水利水电工程施工安全风险防控措施

（一）构建智能化风险预警系统

智能化风险预警系统，关键是建立传感、传递、分析、应对的闭环体系。传感层，需要配置多种类型传感器，温湿两种传感器对施工现场进行实时监控，在温度高于35℃，湿度小于30%情况下，容易发生火灾事故；位移传感器可以对边坡实时监测，以某水电站边坡工程为例，通过观测发现其日变形量大于5mm时，便可以启动一级预警[1]。通过安装在起重机、挖掘机等设备上的压力和扭矩传感器，实现设备工作状态的实时监测，能够对设备载荷和转速等参数进行实时的获取，在起重机悬臂角度大于75度，负载大于80%情况下，设备便会自动报警。

表1　响应层预警与机制参考

预警级别	触发条件	响应方式	响应时间	责任人/系统	备注
一级预警	温度>35℃且湿度<30% 边坡日位移量>5mm 起重机吊臂仰角>5°　且载荷≥80%额定值	手机APP推送消息	立即	安全管理人员	提醒关注现场环境，采取预防措施
二级预警	一级预警未得到及时处理且条件持续	现场广播启动 警示灯闪烁 警示灯系统	≤5分钟	现场广播系统	提醒现场所有人员注意，准备疏散或采取紧急措施
三级预警	二级预警未得到有效应对且风险升级	设备控制系统联动（自动执行）	≤1分钟	设备控制系统	强制设备停机，防止事故发生

基于5G网络和专用光缆的数据传送，保证数据的实时稳定传递。分析层，利用LSTM等机器学习算法，实现对历史和实际数据的融合与分析。应对层，可以建立三级预警机制（具体参考表1），显著降低施工安全事故。

（二）创新施工组织设计

将BIM技术用于建筑项目施工，需要经过建模、仿真和优化三个步骤。在建模过程中，通过Revit等多种分析手段，构建包含地形、建筑物、设备等在内的高精度3D模型，以LOD400（施工细部级别）为目标，实现对地下工程中跨区钢筋布局、管线走向等详细信息的准确显示。仿真过程中，利用Navisworks进行4D仿真，并在该过程引入模型，从而实现对施工过程的实时显示。以某座水电站导游洞施工为例，通过模拟，发现A、B洞室施工中出现混凝土运输车辆碰撞问题，爆破振动对已经浇筑的地下浇筑洞室的安全性造成威胁[2]。

根据仿真结果，对施工组织进行改进。采取错开施工方法，将A区爆破工作改为夜间，以避免B区的混凝土浇筑期；为降低交通流量，增加建设的临时通道，降低来往的车辆。通过在隧道穿越段布置缓冲洞，减小爆炸振动对隧道的冲击作用。通过该项目的实施，可以使引水隧洞的建设速度提高20%以上，有效地防止了由于施工扰动造成的塌方，节省工程造价约320万元，进而缩短工期，充分体现BIM在防控和提高工程效益的重要作用。

（三）强化设备全生命周期管理

基于设备台账，建立购置评价、安装试运行、运行维修、退役处置的全过程管理系统。在采购环节，运用AHP方法对装备供应商进行全面评价，从设备绩效（40%权重）、售后服务（30%权重）和价格（30%权重）三个方面评分，选出高质量的供应商。在安装调试阶段，制定好设备的验收规范，比如混凝土搅拌站的主机在无负荷试车中必须持续工作2个小时，振动量不大于8mm/s，才能进行验收。

维护阶段，通过EAM进行设备的数字化管理。系统会自动产生维修方案，比如挖掘机需要在500小时内进行机油的更换和过滤器的清洁工作。某水利工程采用EAM技术，实现从事后维修到事前维护，使事故发生率明显减少。在装备报废过程中，将其使用年限和维护费用等因素综合起来，建立设备剩余寿命评价方法。采用全过程管理系统，将设备原来5年的生产周期提高到6年左右，每年为项目节约约280万元的采购费用。

（四）实施精准化人员培训

施工人员进行职业风险培训，提出需求分析、计划制定、结果评价的闭环模型。需求分析方面，采用作业安全性分析（JSA）的方式，对不同的工作场所进行风险辨识，如高空作业人员可能面临坠落、物体撞击等危险因素，而电工职业存在触电、电弧烧伤等风险[3]。根据不同风险程度，制定针对性的培训计划。高空作业工人培训内容包括：使用安全绳和脚手架搭建等实际操作，电工要学会绝缘工具的测试和触电急救等。

虚拟现实技术（如图1）在培训中扮演重要角色，利用Unity三维模型，建立真实的施工现场，如脚手架倒塌等，使参与者能够在身临其境情况下，学会紧急情况下的逃生。以某大型水库除险加固项目为例，80人参与虚拟现实技术培训，培训前和培训后实际测试中，其操作准确率由65%提高到95%，违章操作减少53%。还可以将培训成效评价指标系统进行评分，分别从知识熟练度、技术熟练度和安全意识提高三个方面进行评分，以保证培训的质量。

（五）完善风险动态监测与评估机制

风险动态监测，必须构建动态监控、专业监控、智能化分析的监控系统。每天安全人员对现场进行巡视，按照《水利水电工程施工安全检查标准》对脚手架的稳定性、临时用电的规范程度等几十个项目进行评估。尤

图1　虚拟现实技术使用示意图

其是针对大坝、边坡等高风险区域，利用基于北斗的变形观测技术，以mm量级的精度获得边坡变形信息[4]。

针对智能化分析部分，利用深度学习的方法对巡视图像进行处理。借助YOLOv5模式对某水电站水坝进行监测，发现裂纹宽度大于0.2mm，其精度达到91%。采用LEC（作业条件危险性评价法）计算，针对监测到的风险进行定量化的评价，如果发现某边坡变形速度不断增加（D=160）（中等风险），及时启动应急方案，通过减坡减载、增设排水设施等方法，定量评价滑坡变形过程中出现的潜在风险。经过对十几项隐患动态监控和评价，已对多种隐患进行有效处理，防止由风险演化引发的安全事故，确保项目的安全运营。LEC法是将三个因素相乘得到风险数值D，从而对风险水平进行评定，具体公式参考以下内容：

$D=L\times E\times C$

L（风险发生可能性）：描述风险事件发生概率，其取值在0.1（绝对不可能）至10（必然发生）之间。

E（接触风险环境频度）：测量人员接触风险的次数，取值在0.5（每年几次接触），10（持续接触）。

C（意外事件引起的后果）：对风险发生后所引起的影响的严重性进行说明，其数值为1（轻伤）至100（重大灾害，造成多人丧生）。

可以根据下列准则对所计算的危险价值D进行分类：

D>320，属于极度危害，无法进行施工，必须马上停工，进行彻底的整改。

160<D<320，认为是高度风险，必须立刻进行管理，就像文中所述的边坡位移情况相同，风险值达到D=160，属于这个等级。

70<D<160，属于严重危害，须指定人员在规定的时间内进行整改。

20<D<70，属于普通危害，应引起重视，并可通过强化每天的现场监管，从而减少风险发生概率。

D<20，属于轻度危害，可被允许，并可进行操作，只要做好相应的防范工作。

结束语

综上，针对水利水电项目施工中安全风险进行较为全面的分类，探讨当前基于信息化的风险识别技术，从而提出创新性及有效的防控措施。智能化风险预警系统，能够对风险进行实时监控和精确报警，减少事故发生率。利用BIM对建筑工程进行优化，降低施工风险。加强设备生命管理，使其可靠性得到提升。实施精细化人才培养，提高施工人员安全知识和技术水平。建立风险监控，保证风险控制的效果。未来随着科学技术的持续发展，施工安全防控将向智能化和精细化方向发展，不断完善安全风险管理系统，以期为水利水电安全施工提供保障。

参考文献

[1]傅良.水利工程施工中安全风险评估与控制策略分析[J].水上安全，2024，(24)：151-153.

[2]吕炳辰，单耀.浅谈水利工程施工过程中的安全管理[J].治淮，2024，(11)：98-99.

[3]黄银香.水利工程施工安全管理及其应对策略研究[J].城市建设理论研究（电子版），2024，(28)：25-27.

[4]林法贺.水利工程施工现场安全管理与风险评估[J].水上安全，2024，(11)：157-159.