

水电站工程施工阶段建筑安全风险识别与动态管理研究

赵海

中国水利水电第四工程局有限公司, 青海 西宁 810000

DOI:10.61369/WCEST.2025030002

摘 要 : 水电站工程施工阶段存在多种复杂环境和高风险因素, 建筑安全管理任务艰巨。通过对施工阶段不同作业环节的安全风险进行系统识别, 归纳其主要类型与成因, 结合风险动态演化特征, 构建多维度风险评估模型, 实现施工安全风险的全过程动态管理。综合运用信息化手段、智能监测与预警机制, 强化对关键环节的风险控制能力, 提升工程安全管理的科学性与时效性, 为水电站施工安全提供有效保障。

关 键 词 : 水电站施工; 安全风险识别; 动态管理; 风险评估; 智能监测

Research on Construction Safety Risk Identification and Dynamic Management in the Construction Phase of Hydropower Stations

Zhao Hai

China Water Resources and Hydropower Fourth Engineering Bureau Co., Ltd., Xining, Qinghai 810000

Abstract : The construction phase of hydropower stations involves complex environments and high-risk factors, making the task of construction safety management arduous. By systematically identifying safety risks in different operational links during the construction phase, summarizing their main types and causes, and combining the dynamic evolution characteristics of risks, a multi-dimensional risk assessment model is constructed to achieve dynamic management of construction safety risks throughout the entire process. Through the integrated use of information technology, intelligent monitoring, and early warning mechanisms, the risk control capability of key links is strengthened, improving the scientific and timely nature of engineering safety management and providing effective guarantees for the safety of hydropower station construction.

Keywords : hydropower station construction; safety risk identification; dynamic management; risk assessment; intelligent monitoring

引言

随着我国能源结构的优化发展, 水电站工程建设规模不断扩大, 施工环境愈加复杂, 安全问题日益突出。施工阶段作为工程建设的关键环节, 面临高空作业、机械操作、爆破等多重风险, 极易引发安全事故。传统静态管理模式难以适应风险动态变化的实际需求, 亟需科学、系统的动态安全管理手段。通过精准识别和动态控制施工风险, 可有效提升工程安全水平, 为水电建设的高质量推进提供坚实支撑。

一、水电站施工阶段建筑安全风险特征分析

水电站工程作为大型基础设施项目, 其施工阶段具有周期长、技术复杂、作业强度高特点, 施工环境通常位于山区或河谷地带, 自然地质条件多变, 易受天气、地形、水文等因素影响。这一阶段涉及大量土石方开挖、高边坡支护、水利结构混凝土浇筑、大型设备安装等多种高风险作业形式, 导致建筑安全风险高度集中。高空作业、临时结构支护、爆破施工、交叉作业频繁等都为施工现场带来了巨大的不确定性, 增加了事故发生的概率。此外, 工程建设常与汛期交错, 突发洪水或滑坡等地质灾害

也会对施工安全构成直接威胁。因此, 识别施工阶段的风险特征对于构建有效的安全管理体系具有重要意义。^[1]

在安全风险表现方面, 水电站施工阶段呈现出隐蔽性强、时变性显著和系统性高的特点。隐蔽性体现在部分风险因素如地质结构不稳定、地下水变化、材料质量缺陷等, 往往难以在初期察觉, 但一旦失控, 极易引发重大安全事故; 时变性指风险因素随着施工进度、作业方式、季节变化等动态演化, 其影响力和危害程度处于不断变化之中; 系统性则意味着施工各个环节之间相互影响, 某一环节管理不到位可能会引发连锁反应, 造成整体性安全问题。例如, 在围堰施工阶段若排水系统设计不足, 可能导致

整体施工区域的浸水或塌方，进而影响后续主体结构施工。安全风险的复杂性和多维性，要求在施工管理中突破传统静态的安全控制方式，转向更加主动、实时、动态的风险识别与应对模式。^[2]

人的不安全行为、管理制度缺陷和施工技术失误也是影响安全风险的重要内因。由于水电工程常由多家施工单位共同参与，人员构成复杂、技术水平不一、安全意识参差不齐，极易在高强度、快节奏的施工中忽视安全规范；同时，若安全监管不到位、信息传递滞后、应急响应机制不健全，也会加剧风险的发生。施工现场资源调配不合理、计划变更频繁也可能造成工序混乱和安全控制盲区。因此，深入分析施工阶段安全风险的本质特征，准确识别其关键节点和易发环节，为后续实施动态管理与风险控制策略奠定坚实基础，是保障水电站工程顺利、安全推进的核心所在。

二、建筑安全风险的系统识别方法与分类

在水电站工程施工阶段，建筑安全风险识别是实现科学管理和有效防控的首要环节。由于施工过程涉及的系统庞大、作业复杂，因此需从系统化角度出发，构建多维度的风险识别方法。首先，应以施工工序为主线，结合工程结构特点、环境条件及人员组织模式，全面梳理可能存在的风险源。通过建立施工任务清单和作业流程图，可以将每一个施工环节与潜在风险相对应，初步形成风险识别框架。同时，应结合专家评估法、经验数据分析法、现场调研等手段，对各类风险进行定性和定量分析，提高识别的准确性和全面性。近年来，引入人工智能与大数据分析技术，可通过历史事故数据、传感器监测数据等实现对风险的自动识别与模式预测，为动态安全管理提供基础支撑。^[3]

从分类角度看，建筑安全风险可按来源、性质和作用对象进行系统划分。按来源分为五类：自然环境风险如暴雨、滑坡、地震等，具有突发性；工程技术风险如支护失效、爆破误差等，常因设计或施工问题引发；设备机械风险包括机械故障、电气短路等；人为行为风险多为违规操作；管理制度风险则源于组织不善与措施不到位。按性质分为显性风险（如火灾、塌方）和隐性风险（如渗漏、早期开裂）。按作用对象则分为人员生命、结构安全与施工进度等层级。^[4]

系统识别方法的核心在于建立动态更新机制，确保风险识别与施工实际同步推进。为此，应在工程开工前组织系统性风险评审，明确各类风险清单及责任分工；在施工过程中，应建立信息反馈机制，借助 BIM（建筑信息模型）、物联网监测系统等手段实时收集施工状态和环境参数，实现风险的动态跟踪与更新。对于关键施工节点如深基坑开挖、大坝混凝土浇筑、水轮机安装等环节，应设置专项风险识别与分析流程，形成多层次、分阶段的识别体系。此外，还需加强施工现场人员的风险识别培训与应急意识培养，使其具备初步识别和预警能力。通过制度化、数据化和智能化手段的协同应用，可构建全面、精准、动态的风险识别系统，为水电站施工安全管理提供坚实技术支撑与管理保障。

三、施工阶段风险动态演化机制与影响因素

水电站施工阶段的安全风险具有动态演化的特征，其表现不仅体现在风险种类和强度随时间推移不断变化，还体现在不同施工环节之间的风险关联性和叠加性。风险并非孤立存在，而是在复杂的施工环境与多变的外部条件下不断演进，从潜在隐患逐步演化为安全事故的全过程。尤其是在工序转换频繁、作业交叉密集的阶段，原本可控的风险可能因某一环节失控迅速升级，形成突发性、高危性事件。例如，在混凝土浇筑过程中，如果前期模板支撑未稳固，受连续作业的扰动和材料堆积影响，可能在短时间内从轻微变形演变为整体坍塌。风险动态演化过程呈现出阶段性累积、链式反应、突变转化等复杂机制，必须通过动态监测与反馈机制实现全周期的跟踪与调控。^[5]

风险的动态演化受多种内部因素影响，主要包括施工技术、人员素质、组织管理及计划控制等方面。技术方面，如支护设计不合理、设备安装误差大，容易成为风险源并推动其升级。人员方面，工人安全意识薄弱、经验不足或疲劳作业，均可能引发操作失误。在管理上，若调度不当、安全检查不力、应急预案缺失，隐患难以及时发现与处置。此外，工期压缩、资源分配不均等计划问题，也会在工序交叉中放大风险。这些因素往往相互叠加，诱发连锁反应，导致系统性风险失控。^[6]

外部环境因素对施工风险的演化具有显著影响，包括地质、水文、气候等自然条件的不确定性以及政策和市场等宏观背景的变化。水电站多建设于地质复杂、地形险峻的山区，易遭遇滑坡、崩塌、洪水等自然灾害。强降雨、高温或严寒天气会影响施工流程和材料性能，增加作业难度，推动风险升级。同时，交通不畅、物资运输困难也因外部变化而加剧。政策调整或监管强化若响应不及时，将带来管理滞后，引发安全隐患。因此，必须识别关键因素并构建动态响应机制，才能实现有效风险控制。

四、动态安全风险管理模型的构建与实施路径

在水电站施工过程中，建立科学、高效的动态安全风险管理模型，是实现安全目标的重要保障。该模型应以全过程管理为主线，涵盖风险识别、评估、预警、响应和反馈各个环节，构建“事前预防、事中控制、事后处置”的闭环管理机制。首先在模型设计中，应引入多源数据集成理念，结合施工进度计划、环境监测信息、设备运行状态和人员行为数据等，构建全面的风险数据库。通过数据驱动的风险识别与建模技术，可实现对不同时期、不同作业面的风险实时感知和精准分类。同时，利用 BIM 技术、物联网传感器及移动终端实现现场施工状态的动态感知，为后续的风险评估与管理提供可视化、实时性基础。^[7]

风险评估是模型的核心，应构建分级分区的多维度评估体系。根据风险类型、发生频率、后果严重性等指标设置评估权重，形成量化评估模型，并结合模糊综合评价法、层次分析法等方法，实现对不同施工阶段和关键节点风险等级的动态判定。同时，应设计联动式预警系统，当风险指标达到设定阈值时，通

过智能分析平台即时发布预警信息，推动管理人员进行快速响应。模型实施过程中，重点强化高风险作业区域和关键结构环节的监控与应急响应能力。例如，在隧洞开挖或高边坡作业中，可通过实时变形监测和图像识别技术识别异常变化，系统自动触发处置预案，最大限度降低风险扩散和事故损失。^[8]

为了保障模型的落地实施，还需建立配套的组织制度和人员培训机制。明确安全管理责任分工，强化信息沟通与协同联动机制，确保模型在各级施工管理单位间高效运行。同时，借助数字化平台统一风险信息管理，实现施工各方对风险状况的同步掌握和协同处置。在此基础上，建立风险管理绩效考核体系，将风险控制效果纳入项目考核指标，提升施工单位安全管理积极性。此外，还应加强对一线作业人员的培训，提升其对风险预警信息的理解与响应能力。通过技术、管理、制度三者融合，构建一套可运行、可追溯、可持续优化的动态安全风险管理体系，有效适应水电站施工复杂多变的现场环境和风险特性，全面提升工程的安全管控水平。

五、智能化技术在风险监测与预警中的应用价值

在水电站施工阶段，智能化技术的应用为建筑安全风险的监测与预警提供了更加精准和高效的解决方案。传统的人工巡查和静态记录手段已难以满足现代大型工程对实时性和系统性的安全管理需求。借助物联网技术、传感器网络和移动终端设备，可以实现对施工现场关键参数的全天候动态监测，包括结构应力、边坡位移、地下水位、环境温湿度等，为识别风险变化趋势提供数据支撑。例如，通过在边坡或基坑布设激光位移计和应变计，可实现对位移微变的实时采集和预警，及时发现潜在滑坡或坍塌风险，从而提前采取防范措施，避免事故发生。^[9]

在数据处理与风险识别环节，人工智能算法和大数据分析技

术的引入大大提高了风险判断的准确性和时效性。通过对海量监测数据的深度学习与模式识别，可实现对异常情况的自动诊断与趋势预测，突破了以往依赖人工经验的局限。例如，神经网络算法可对混凝土早期温度裂缝进行预测，机器学习模型则可通过历史事故数据分析，识别高发作业环节和高危施工行为。同时，构建风险预警模型，结合风险等级评估体系与时序分析结果，实现对不同类型风险的分级预警和自动推送，帮助管理者及时做出科学决策，提升整体安全管理效率。^[10]

智能化技术还推动了风险预警系统的可视化、平台化发展。基于 BIM（建筑信息模型）与 GIS（地理信息系统）集成的可视化平台，可以将监测数据与三维施工模型融合，直观展示施工现场实时安全状态，实现“可看、可测、可控”的智能管理。一旦监测数据超出预警阈值，系统可自动发出声光或移动端警报，并联动触发现场应急响应机制，大幅缩短响应时间。通过构建统一的数据平台和智慧工地系统，各方管理人员可实现远程实时监控，形成高效协同的安全管理网络。综上，智能化技术在水电站施工安全风险监测与预警中的应用，不仅提升了风险识别与响应能力，也为实现安全管理现代化提供了有力支撑。

六、结语

水电站施工阶段安全风险复杂多变，亟需系统化、动态化的管理手段。通过全面识别风险特征、分类构建识别模型，深入分析风险演化机制与影响因素，可有效提升风险管控的科学性与针对性。基于信息化与智能化技术的动态管理模型，实现了对风险的全过程监测、评估与预警，增强了施工现场的应变能力与决策效率。构建精细、高效的管理体系，是保障工程建设顺利推进的关键途径。

参考文献

[1] 龚振文. 论水电站工程测量技术及测绘新技术应用 [J]. 山西建筑, 2015, 41(05): 179–181. DOI: 10.13719/j.cnki.cn14-1279/tu.2015.05.100.

[11] 胡二飞. 小水电站建设项目施工阶段进度管理研究 [D]. 广西大学, 2015.

[2] 曾讯. 分析水工建筑工程施工排水方法 [J]. 低碳世界, 2017(29): 190–191. DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.20171013.001.

[3] 颜益彪. 小水电站建设项目施工阶段进度管理 [J]. 低碳世界, 2018(04): 93–94. DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2018.04.061.

[4] 左彤. 小水电站建设项目施工阶段进度管理的思考 [J]. 智能城市, 2019, 5(16): 119–120. DOI: 10.19301/j.cnki.znzs.2019.16.066.

[5] 冉巧庆, 刘伟, 李树艳. 某水电站施工阶段工程造价控制 [J]. 建设监理, 2019(02): 47–50. DOI: 10.15968/j.cnki.jsjl.2019.02.013.

[6] 张帅, 乔介平, 邱银宝. 两河口水电站工程施工阶段质量管理创新实践 [J]. 云南水力发电, 2020, 36(01): 160–164.

[7] 张甲栋. 关于小型水电站建设项目施工阶段进度管理的分析 [J]. 水电站机电技术, 2020, 43(11): 213–214. DOI: 10.13599/j.cnki.11-5130.2020.11.095.

[8] 都兴伟. 数字孪生技术在水电站建设中的探索 [J]. 水电站机电技术, 2024, 47(02): 52–55. DOI: 10.13599/j.cnki.11-5130.2024.02.015.

[9] 王倩茜, 周雅敏. 赢得值法在水电站工程施工阶段进度及成本控制中的应用 [J]. 建筑经济, 2024, 45(S1): 807–811. DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.2024S1807.

[10] 夏奎. 水电站建设施工阶段成本控制要点 [J]. 中国商人, 2025(04): 46–47.