

水利水电工程高处坠落安全风险模拟分析

魏巍

中国水电建设集团十五工程局有限公司 陕西 西安 710000

摘要：水利水电工程高处作业频繁，高处坠落事故危害严重。本研究首先剖析其高处作业特点与主要环节类型，深入探究事故致因，包括施工人员安全意识淡薄、设备设施缺陷及管理制度不完善等因素。随后介绍风险建模理论基础，构建特定模型并验证校准，以模拟分析高处坠落安全风险。基于此，提出防控措施建议，涵盖安全教育培训强化、设备设施质量保障、作业环境改善以及安全监督管理加强等方面，旨在为降低水利水电工程高处坠落风险提供科学依据与有效策略，提升工程施工安全水平。

关键词：水利水电工程；高处坠落；安全风险；模拟分析

引言：水利水电工程在国家基础设施建设中占据关键地位，其施工常涉及大量高处作业。然而，高处坠落事故频发，给作业人员生命安全带来巨大威胁，也给工程建设造成经济损失与工期延误。目前，该领域安全管理仍面临诸多挑战，传统风险评估方法难以精准量化风险。因此，开展水利水电工程高处坠落安全风险模拟分析意义重大。本研究将全面梳理高处作业情况，深入挖掘事故致因，运用科学模拟方法分析风险，并提出切实可行的防控措施，为保障水利水电工程高处作业安全提供有力支撑。

1 水利水电工程高处作业概述

1.1 水利水电工程高处作业的特点

水利水电工程多处于复杂的自然地理环境中，其高处作业具有显著特点。首先，作业高度跨度大，从大坝坝顶到深基坑底部的垂直距离可能达数十米甚至上百米，这对人员心理和设备性能是极大考验。其次，作业环境恶劣，常面临强风、暴雨、高温、严寒等极端天气，以及山区多雾、湿度大等不利条件，增加了作业难度与风险。再者，施工场地狭窄且地形复杂，在山谷、河流等区域进行高处作业，空间受限，大型设备安置和人员操作不便，容易引发碰撞、坠落等事故。此外，水利水电工程施工周期长，高处作业长期暴露在自然环境中，设备设施老化、磨损快，需要频繁检查维护，否则安全隐患易累积，严重威胁作业人员安全。

1.2 高处作业的主要环节与类型

水利水电工程高处作业环节众多。在大坝建设阶段，坝体混凝土浇筑、模板安装与拆除等作业均处于高处，工人需在坝面攀爬、站立操作。在水电站厂房施工时，屋顶架构搭建、电气设备安装于高处，涉及大量临边与悬空作业。输水管道安装，无论是架空铺设还是

沿山坡铺设，都需要工人在高处进行管道吊运、连接固定。其高处作业类型丰富，临边作业极为常见，如大坝边缘、建筑物屋顶边缘的施工；洞口作业在各类竖井、通风口处存在，工人在其周边作业风险高；悬空作业如大型钢结构吊装时，工人在空中进行部件连接；攀登作业则在脚手架搭建、设备攀爬过程中频繁出现。这些环节与类型相互交织，任何一处安全把控不到位，都可能引发高处坠落事故，因此需针对不同情况制定严格的安全措施^[1]。

2 水利水电工程高处坠落事故致因分析

2.1 施工人员安全意识淡薄

施工人员安全意识淡薄是水利水电工程高处坠落事故的重要致因。许多作业人员未充分认识到高处作业的危险性，对相关安全规范和操作规程缺乏敬畏之心。在实际工作中，常出现不按要求佩戴安全带、安全帽等防护装备的现象，认为这些装备繁琐且束缚行动，心存侥幸，认为短时间不佩戴不会发生事故。部分人员在高处作业时注意力不集中，或因疲劳作业、情绪波动而分散精力，如在长时间高强度工作后，容易忽视脚下状况或操作细节。一些新入职员工未经系统的安全培训就上岗，对高处作业风险及应对方法一无所知，在面对突发情况时无法做出正确反应。此外，施工人员之间相互提醒、监督的意识薄弱，对他人的不安全行为视而不见，未能形成良好的安全作业氛围，从而使得安全隐患不断累积，增加了高处坠落事故发生的可能性。

2.2 高处作业设备设施缺陷

高处作业设备设施存在诸多缺陷，是导致水利水电工程高处坠落事故的关键因素。脚手架搭建方面，部分脚手架材质不符合强度要求，在承载施工人员及物料重量时可能发生变形甚至坍塌。其结构设计不合理，如立

杆间距过大、横杆设置不足,稳定性大打折扣。安装过程中,连接件紧固不牢或缺失,致使脚手架整体结构松散。安全防护栏高度不够、间距过大或安装不牢固,难以有效阻挡人员意外滑落。吊篮、升降平台等设备的制动装置失灵或可靠性差,在运行中无法及时停止,易造成人员被甩出。此外,一些高处作业的照明设备不足或损坏后未及时更换,致使作业区域光线昏暗,施工人员视线受阻,难以看清脚下及周围环境,大大增加了误踩空、碰撞而坠落的风险。

2.3 安全管理制度不完善

安全管理制度不完善在水利水电工程高处坠落事故致因中不容忽视。许多施工企业的安全管理制度缺乏系统性与全面性,对高处作业的风险评估机制不健全,未能精准识别各类潜在危险,导致无法提前制定针对性防范策略。责任划分模糊不清,在出现安全问题时,各部门与人员相互推诿,无法快速有效地落实整改措施。安全操作规程陈旧且缺乏细化,未能依据不同高处作业类型与环境及时更新优化,施工人员在操作时无明确、精准的规范可依。监督检查制度执行不力,检查频次不足、检查深度不够,对于违规行为未能及时发现与纠正,使得安全隐患长期存在,缺乏完善的事故应急预案,在高处坠落事故突发时,无法迅速、有序地开展救援与处置工作,导致事故危害进一步扩大,延误救援时机,造成更严重的人员伤亡与财产损失^[2]。

3 高处坠落安全风险模拟分析方法

3.1 风险建模理论基础

风险建模理论为水利水电工程高处坠落安全风险模拟分析提供了科学的框架与方法。故障树分析(FTA)是常用理论之一,它以高处坠落事故为顶事件,通过逻辑门连接人员、设备、环境、管理等各类基本事件,直观呈现事故发生的逻辑因果关系,能系统地找出导致事故的潜在因素组合,但对于事件发生概率的动态变化及不确定性因素处理存在局限。事件树分析(ETA)则侧重于从初始事件出发,依据不同的安全措施或系统响应情况,逐步推演出可能的事故后果序列,清晰展示事故发展路径,然而它对复杂系统中因素间的相互关联描述不够深入。贝叶斯网络(BN)基于概率推理,以有向无环图表示变量间的依赖关系,并结合先验概率与条件概率更新信息,可有效处理不确定性信息,在数据有限时也能较好地进行风险评估与预测,不过其模型构建与参数确定相对复杂,需要大量的专业知识与数据支持。

3.2 基于[选定模型]的高处坠落风险模型构建

首先,确定网络节点,将人员因素(如作业人员安

全意识、身体与心理状况、培训水平等)、设备设施因素(脚手架稳定性、防护设备可靠性、垂直运输设备安全性等)、环境因素(气象条件、施工现场布局与照明等)以及管理因素(安全管理制度完善性、监督检查有效性等)作为父节点,而高处坠落事故是否发生设为子节点。然后,依据历史事故数据、专家经验及工程实际情况确定节点间的因果关系,比如恶劣天气(环境因素)可能影响设备设施稳定性,进而关联到坠落事故发生概率,以有向箭头连接表示。接着,通过大量数据统计分析、专家打分等方式确定各节点的先验概率及条件概率分布表,量化各因素对高处坠落风险的影响程度。例如,确定在防护设备失效且作业人员安全意识低的条件下,高处坠落事故发生概率的数值。

3.3 模型验证与校准

在模型验证方面,采用历史事故案例数据进行对比验证是常用方法。收集水利水电工程过往发生的高处坠落事故详细资料,将事故发生时的实际人员、设备、环境和管理等因素数据输入到构建的模型中,运行模型得到预测的事故发生概率及后果情况。通过与实际事故情况进行比对,如实际事故是否发生、事故严重程度等,计算模型的准确率、召回率、F值等评价指标。若模型预测结果与实际情况偏差较大,则需对模型进行校准。校准过程中,重新审视模型的节点变量设置是否合理,检查因果关系是否准确反映实际情况,对不准确的部分进行修正,进一步优化各节点的先验概率和条件概率分布参数,可基于更多的实际数据样本采用统计分析方法或者结合专家经验进行调整。例如,若发现模型对某类设备故障导致坠落事故的概率预测偏低,就深入分析该设备相关数据,重新确定其在不同工况下的故障概率参数。经过多次验证与校准循环,不断缩小模型预测结果与实际情况的差距,直至模型达到可接受的精度与可靠性标准,从而为水利水电工程高处坠落风险的准确评估与有效防控提供有力支撑。

4 水利水电工程高处坠落安全风险防控措施建议

4.1 加强安全教育培训

应制定全面且系统的培训计划,涵盖高处作业安全法规、操作规程、风险防范知识等核心内容。新员工入职时,开展专门的高处作业安全启蒙培训,通过理论讲解、案例分析等方式,使其深刻认识到高处坠落的严重危害,树立牢固的安全意识。对于在职员工,定期组织复训与强化培训,及时更新安全知识与技能,如新型防护设备的使用方法、复杂环境下高处作业的要点等。培训形式应多样化,除传统课堂教学外,利用虚拟现实

(VR)、模拟演练等技术手段,为员工提供逼真的高处作业场景体验,让他们在虚拟环境中练习应对各种危险情况,增强实际操作中的应急反应能力,建立培训考核机制,将考核结果与员工绩效挂钩,激励员工积极主动参与培训并认真学习。

4.2 确保设备设施质量与安全性

在设备采购环节,应严格筛选供应商,优先选择具有良好信誉、资质齐全且产品符合国家标准与行业规范的厂家,对采购的设备设施进行全面质量检测,如脚手架材料的强度测试、安全防护网的耐冲击性能检测等,杜绝质量不合格产品进入施工现场。在设备安装阶段,依据设计方案与安装说明书,由专业技术人员进行操作,确保安装精度与牢固性,例如脚手架搭建时,严格把控立杆间距、横杆步距以及连接件的紧固程度,保证整体结构稳定可靠。对于大型高处作业设备,如塔式起重机、施工电梯等,安装后需经特种设备检验机构检验合格方可投入使用。日常维护方面,建立完善的设备设施巡检制度,定期安排专人对高处作业设备设施进行检查、保养与维修,及时更换磨损、老化的零部件,如及时修复安全防护栏的松动部位、更新吊篮的制动装置等,为设备设施建立详细档案,记录其采购、安装、维护、维修及使用情况等信息,以便追溯和分析设备运行状态,提前发现潜在安全隐患并采取有效措施加以排除,为高处作业人员提供安全可靠的设备设施保障。

4.3 改善施工现场作业环境

首先,应依据工程特点与施工流程,对施工现场进行合理布局规划。明确划分材料堆放区、作业区、通道等区域,确保各区域之间保持安全距离,避免相互干扰,使人员和物料运输在施工现场有序进行,减少因混乱导致的碰撞、坠落风险。针对自然环境因素,在作业区域设置有效的防护设施,如在强风频发地段安装防风屏障,减少风力对作业人员的影响;在易积水或湿滑的作业面,增设排水系统并铺设防滑垫,防止人员滑倒坠落,优化施工现场的照明系统,根据不同作业区域和时段的需求,合理布置照明灯具,确保照明亮度均匀充足,无照明死角,使作业人员在夜间或光线较暗的环

境中也能清晰辨别作业位置和周边环境,避免因视线不佳而发生踏空、误操作等情况^[3]。

4.4 强化安全监督管理

首先,要建立健全专门的安全监督管理机构,配备充足且专业的安全监督人员,明确其职责与权限,确保监督工作全面覆盖工程建设的各个环节与区域。安全监督人员应依据相关法律法规、标准规范,制定详细且严格的高处作业安全监督检查计划,增加检查频次与深度,采用定期检查、不定期抽查以及专项检查相结合的方式,对高处作业人员资质、设备设施状况、安全防护措施落实情况进行细致排查。对于发现的安全隐患,建立台账并跟踪整改情况,明确整改责任人与期限,实行闭环管理,确保隐患及时彻底消除,构建完善的安全监督考核机制,将施工单位、作业班组及个人的安全绩效与经济利益、资质评定等挂钩,对违反安全规定的行为予以严肃处理,对安全工作表现突出的给予奖励,形成有效的激励约束机制。

结束语

本研究通过对水利水电工程高处坠落安全风险的深入剖析与模拟分析,系统地揭示了风险因素的复杂性及其内在联系。从人员意识、设备设施、管理制度等多方面挖掘致因,构建并验证风险模型,为精准量化风险提供了可能。所提出的防控措施建议,期望能在实践中有效降低高处坠落事故发生率,提升水利水电工程施工安全管理的科学性与有效性。然而,风险分析与防控是一个持续动态的过程,未来仍需不断优化模型、完善措施,以适应工程建设环境的变化与发展,切实保障作业人员的安全生命与工程顺利推进。

参考文献

- [1]李作成.水利工程施工现场危险源识别及防控措施分析[J].湖南水利水电,2021(5):83-84.
- [2]冯璐.水利工程施工危险源识别与管理对策[J].水利科学与寒区工程,2022,5(1):143-145.
- [3]赵金娜,郭进平,侯东升,王雪妮.基于AHP的高处坠落事故脆性分析[J].中国安全生产科学技术,2009,5(5):204-208.