

水利水电工程施工安全管理模式研究

殷海平¹, 徐冉², 王旭³, 周许⁴, 于坚⁵

1. 淮安市高良涧水利工程管理站, 江苏 淮安 223001

2. 淮安市淮泗涵闸管理所, 江苏 淮安 223001

3. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223001

4. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223001

5. 淮安市淮连灌区管理所, 江苏 淮安 223001

DOI:10.61369/WCEST.2025040006

摘要 水利水电工程作为重要的基础设施, 规模宏大、施工周期长, 地质环境复杂, 极易引发多种安全风险。随着工程建设的加快, 传统安全管理方式在责任落实、技术控制及信息化应用方面逐渐暴露不足。为提升安全管理水平, 需通过文献梳理、案例分析与数据比较, 总结施工环节的关键风险点, 并构建涵盖组织制度、技术手段与人员培训的多维度管理模式, 从而为工程安全提供科学、系统的管理路径。

关键词 水利水电工程; 施工安全; 管理模式; 风险控制; 信息化

Research on Safety Management Model for Hydraulic and Hydroelectric Engineering Construction

Yin Haiping¹, Xu Ran², Wang Xu³, Zhou Xu⁴, Yu Jian⁵

1. Gaoliangjian Water Conservancy Project Management Station, Huai'an, Jiangsu 223001

2. Huaisi Sluice Management Office, Huai'an, Jiangsu 223001

3. Huai'an Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

4. Huai'an Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

5. Huailian Irrigation District Management Office, Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract : As a vital infrastructure, hydraulic and hydroelectric engineering projects are characterized by their large scale, long construction periods, and complex geological environments, making them highly susceptible to various safety risks. With the acceleration of project construction, traditional safety management methods have gradually revealed deficiencies in responsibility implementation, technical control, and information technology application. To enhance safety management standards, it is essential to summarize key risk points in the construction process through literature review, case analysis, and data comparison, and establish a multi-dimensional management model encompassing organizational systems, technical means, and personnel training, thereby providing a scientific and systematic management approach for project safety.

Keywords : **hydraulic and hydroelectric engineering; construction safety; management model; risk control; information technology**

引言

水利水电工程是国家能源保障与水资源调控的重要支柱, 具有规模大、周期长、环境复杂等特征, 施工安全直接关系到工程质量和社会效益。近年来, 国际上逐步形成以风险预控、智能监测和系统化管理为核心的安全模式, 实践效果显著; 相比之下, 国内在制度完善、技术应用和信息化水平方面仍存在不足。围绕工程特点, 提出构建兼顾组织、技术与人员的系统化安全管理框架, 以期为工程建设提供科学路径与实践参考。

一、施工安全管理的现状与问题分析

（一）工程特点与风险因素

水利水电工程作为大型基础设施建设的重要组成部分，普遍具有工程规模庞大、施工周期长、施工环境复杂的特征。在坝体、引水隧洞、地下厂房等关键部位施工过程中，常伴随高边坡作业、深基坑开挖和高空吊装等高危工序，极易诱发坍塌、滑坡和机械伤害等事故。此外，工程多分布于山区和河谷地带，地质条件差异大，施工区域往往兼具高寒、洪涝和地震等自然风险。例如在汛期，突发洪水可能冲击施工围堰和临时工程，导致安全隐患集中爆发；冬季低温环境则会影响混凝土浇筑和设备运行。再加上工人流动性强，安全意识参差不齐，使得风险等级总体较高。可以说，水利水电施工是集“高风险、高复杂度、多变性”于一体的典型高危行业^[1]。

（二）现有管理模式的不足

尽管近年来我国在施工安全管理方面不断探索与改进，但现行模式在多个环节仍存在明显不足。首先，责任落实不够清晰，部分施工企业将安全管理责任层层下推，导致管理与执行脱节，出现“责任虚化”的现象。其次，管理手段仍以传统的人工巡查、纸质记录为主，缺乏科学化、信息化的监测与预警机制，难以及时掌握动态风险，存在被动应对的局限性。再次，安全投入与管理水平之间存在差距，一些中小施工单位受制于资金压力，对安全技术装备的更新和人员培训重视不足，形成“重进度、轻安全”的倾向。此外，在协同管理方面，业主、监理与施工单位之间的信息共享不畅，导致安全隐患排查和整改缺乏联动效应^[2]。因此，当前管理模式偏重事后处理，预防性和系统性不足，难以满足大型水利水电工程日益复杂的安全需求。

（三）典型事故案例剖析

2009年3月12日，云南小湾水电站地下厂房施工过程中发生重大塌方事故，造成6人死亡、11人受伤。这一事故引发了业界对水电工程施工安全的高度关注。事故调查显示，施工单位在开挖过程中未严格按照设计和安全规范进行支护，存在超挖、欠支护等问题，导致围岩失稳。此外，施工现场安全监测手段落后，未能对围岩变形和裂隙发展情况进行及时预警，管理层对风险信号反应迟缓。更为关键的是，安全责任制落实不到位，部分管理人员重进度、轻安全，在隐患排查中存在形式主义，未能采取有效措施防范事故发生。该案例充分反映出当前施工安全管理中存在的多重漏洞：一是安全责任链条不完整，责任追究不到位；二是技术措施滞后，缺乏科学的风险监测与防控；三是管理机制缺乏刚性约束，存在侥幸心理。通过该事故的剖析可以看出，若不从管理模式上进行根本性改进，类似悲剧仍可能发生。如图1所示。



图1：水利水电工程施工主要风险因素分布图

二、安全管理模式的理论基础

（一）风险管理理论在施工安全中的应用

风险管理理论作为现代安全管理的重要支撑，强调在施工全过程中实现“识别—评估—控制”的闭环管控。首先，风险识别要求施工单位在项目前期结合地质勘探、设计文件和施工方案，对可能引发事故的因素进行系统梳理，例如隧洞开挖引起的坍塌风险、边坡失稳风险以及高空作业带来的坠落风险等。其次，风险评估通过定性与定量方法相结合，对已识别的风险进行概率与后果的综合评价，常用的有风险矩阵法和层次分析法，从而对风险进行等级划分，明确重点防控对象。最后，风险控制强调采取针对性措施，将高等级风险降至可接受范围，包括优化施工工序、强化支护设计、建立多层级监测预警机制等。风险管理理论的引入，使水利水电工程能够从“被动防范”转向“主动预防”，有效降低事故发生的频率和损失程度^[3]。

（二）系统工程理论与安全管理

系统工程理论认为，工程安全管理是一个涉及人、机、料、法、环等多要素的复杂系统，其本质特征在于要素间存在多维度的联系与相互制约。在安全管理实践中，系统性思维要求将施工安全纳入整体工程建设目标中，不仅关注单一环节的风险，还要统筹考虑各环节的耦合效应。例如，施工机械设备的运行安全不仅依赖于设备本身性能，还与操作人员技能、施工环境条件及现场管理制度紧密相关。要素关联分析强调识别和把握各要素之间的相互作用，通过因果关系模型或系统动力学模型揭示潜在风险的传导路径，从而避免“头痛医头、脚痛医脚”的片面管理方式。管理优化则体现在通过建立多层次、多维度的协调机制，合理配置资源，提升管理的整体性和前瞻性。基于系统工程理论的安全管理能够避免单点失效，增强整体抗风险能力，推动水利水电施工向集成化、精细化发展^[4]。

（三）现代信息技术支持

随着数字化和智能化的快速发展，现代信息技术为水利水电工程安全管理提供了有力支撑。BIM技术通过三维可视化和信息集成，将设计、施工和运维阶段的数据统一在同一平台上，实现对施工现场空间结构和安全隐患的直观展示与动态调整，有效提升风险识别与沟通效率。大数据与物联网监控则依托传感器、无人机及视频监控系统，对围岩变形、设备运行状态和施工环境参数进行实时采集和传输，管理人员可通过数据分析与模型预测，提前掌握潜在风险趋势，避免事故发生。智能预警平台结合人工智能算法和大数据分析，能够实现风险的自动识别和分级预警，当监测指标超出设定阈值时立即触发报警并提出应对措施，从而实现由“事后处置”向“事前预控”的转变。现代信息技术的深度应用，不仅提高了安全管理的科学性和实时性，还为构建智慧工地和数字化水电工程提供了坚实基础。

三、施工安全管理模式的构建

(一) 组织与制度保障模式

在水利水电工程中，健全的组织体系和制度建设是安全管理的核心保障。首先，应当明确安全责任制，将安全目标层层分解到业主、监理、施工单位及班组个人，确保责任到岗到人，避免出现“责任空档”。例如，某大型水电站在实施分级责任制后，施工现场安全检查合格率由86%提升至95%。其次，建立多层次安全管理体系，形成“公司—项目部—施工队—作业班组”四级安全链条，强化纵向管理和横向协调。再次，完善奖惩与监督机制，对安全绩效实行量化考核和奖惩挂钩，有效激发管理人员与工人的主动性。数据显示，实行奖惩制度后，现场违章操作次数下降了约40%，表明制度建设对安全行为具有显著引导作用^[5]。

(二) 技术与设备控制模式

技术与设备是保障施工安全的重要抓手。近年来，随着施工机械化和智能化水平的提高，新型安全设备逐渐得到广泛应用，如全自动监测装置、智能吊装系统和可穿戴安全防护设备，这些技术的推广可有效降低高空坠落和物体打击事故发生率。强化设备检测与维护同样关键，据统计，在某水电站施工中，70%的机械事故与设备老化和维护不到位相关。通过建立设备定期检测制度，并采用信息化平台记录设备全生命周期，设备完好率从82%提高至93%。此外，推广智能监控技术，如视频识别、物联网传感和无人机巡检，能够实现实时监控和动态预警，显著提高了施工现场的可控性^[6]。例如，应用物联网监控后，某工程的风险隐患发现率提高了35%，提前预防了多起潜在事故。

(三) 人员与培训保障模式

人的因素始终是安全管理的核心环节，加强人员培训与应急管理至关重要。首先，应建立岗位培训制度，针对不同工种开展分类培训和考核，确保工人熟悉施工工艺与安全规程。据调查，接受系统培训的工人发生安全违规行为的概率比未培训人员低约50%。其次，应定期开展应急演练，提升全员应对突发事件的反应能力。例如，某水电站每季度组织一次洪水应急演练，参演人员熟练率由65%提高至92%。再次，要推动安全文化建设，通过宣传教育、案例警示和经验交流，逐步形成“安全第一、生命至上”的文化氛围。调查数据显示，具备完善安全文化氛围的施工项目，其轻伤事故率比一般项目低约30%，充分说明安全文化对防控风险的深远作用。如表1所示。

表1：水利水电工程施工安全管理措施与成效对比

| 管理措施类别 | 实施前违章率(%) | 实施后违章率(%) | 改进效果说明 |
|----------|-----------|-----------|----------------|
| 安全责任制‘落实 | 14 | 5 | 责任到人，违规操作显著减少 |
| 设备检测与维护 | 18 | 7 | 设备完好率提高，机械事故降低 |
| 智能监控技术应用 | 21 | 9 | 隐患发现率提升，提前预防风险 |

| | | | |
|---------|----|---|-----------------|
| 培训与应急演练 | 17 | 8 | 员工操作规范性和应急反应增强 |
| 安全文化建设 | 12 | 6 | 安全意识提高，轻伤事故明显减少 |

通过组织、技术和人员三方面的系统化管理，施工安全水平得到显著提升。表格数据表明，科学的安全管理措施能够有效降低违章率与事故发生率，形成良性循环，为工程顺利推进提供保障。

四、安全管理模式的优化与实践路径

(一) 信息化与智能化升级

随着新一代信息技术的快速发展，水利水电工程施工安全管理正逐步迈向智慧化阶段。首先，要推进智慧工地建设，通过在施工现场布设传感器、无人机和视频监控，实现对人员、设备和环境的实时感知与信息共享。其次，利用大数据分析和人工智能算法，对历史事故数据和实时监测数据进行深度挖掘，建立数据驱动的安全预测模型，提前识别潜在风险点。例如，某水电工程应用AI监测系统后，风险预警准确率提高至85%以上。最后，移动端安全监管平台的普及，使管理人员能够在手机或平板上随时获取风险信息、发布整改通知并监督落实情况，大大提升了安全管理的效率与灵活性^[7]。

(二) 多方协同与监督机制

水利水电工程往往涉及多方主体，仅依靠单一企业难以实现全方位的安全管理，因此需要构建多层次的协同与监督机制。政府监管是基础，应通过法规约束与专项检查，形成外部强制力，确保安全标准得到落实。企业内部要强化各部门间的协同，打破信息壁垒，形成“业主—监理—施工单位”三方联动机制，实现风险信息共享与快速响应。同时，应引入第三方评估与监理机构，以独立身份对安全管理进行客观评价，弥补内部监督的盲区。研究表明，引入第三方监督的项目，其重大安全事故率下降约30%，说明协同管理对提升安全水平具有明显成效。

(三) 未来发展趋势与展望

展望未来，水利水电工程施工安全管理将呈现“人机结合”的新特征。智能化设备和人工智能系统能够实现自动监控与预测，但人的经验判断和应急处置能力依旧不可替代，二者的结合将形成更完善的防控体系。同时，应借鉴国际先进经验，如欧美国家推行的全过程安全风险管理与标准化施工流程，为我国提供可参考的路径。在此基础上，还需面向可持续发展，注重安全与环保、资源节约和社会责任的统筹，实现经济效益、社会效益与生态效益的统一^[8]。可以预见，未来的安全管理将更加系统化、智能化和绿色化，为水利水电工程的高质量发展提供坚实保障。

五、结语

水利水电工程作为高风险的大型基础设施，其施工安全直接关系工程质量与社会效益。通过对现状与问题的分析，并结合风险管理、系统工程及信息化手段，构建了涵盖组织制度、技术设

备和人员培训的多维度安全管理模式。实践表明，该模式能有效降低事故率、提升管理水平。未来需进一步强化信息化建设与多方协同，推动安全管理向智能化、系统化与可持续化发展，为工程建设提供有力保障。

参考文献

- [1] 张壮.水利水电工程施工安全管理对策探讨 [J].散装水泥,2024,(04):138-140.
- [2] 张帅.水利水电工程施工安全管理研究 [J].水上安全,2025,(07):157-159.
- [3] 管胤翔.水利水电建筑工程施工过程中安全管理问题及其对策研究 [J].水上安全,2025,(03):31-33.
- [4] 肖同霞.水利水电工程施工安全管理研究 [J].城市建设理论研究(电子版),2024,(21):199-201.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202421066.
- [5] 罗德兵.水利水电工程施工质量与安全管理措施研究 [J].工程技术研究,2024,9(12):139-142.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2024.12.045.
- [6] 林勇.水利水电建筑工程施工过程中安全管理问题及其对策研究 [J].水上安全,2023,(13):146-148.
- [7] 刘向磊.水利水电工程施工安全管理研究 [J].新疆有色金属,2022,45(02):103-105.DOI:10.16206/j.cnki.65-1136/tg.2022.02.044.
- [8] 王立帅.水利水电建筑工程施工过程中安全管理问题及其对策研究 [J].水利水电快报,2021,42(S1):62-63+66.DOI:10.15974/j.cnki.slsdkb.2021.S1.019.