

探讨水利水电安全管理及技术创新发展

张 兆

中国水利水电第七工程局有限公司 四川 成都 610000

摘要：水利水电工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，其安全管理与技术创新发展至关重要。本文深入探讨了水利水电安全管理的重要性、体系构建及实施策略，强调了安全第一、预防为主、综合治理的原则。同时，文章分析了技术创新在提升工程效率与质量、突破传统技术瓶颈方面的关键作用，特别关注了智能化、生态友好型技术的最新进展。最后，提出了加强安全管理体制、推广先进技术、加大创新投入与人才培养、强化政策引导等策略，以推动水利水电事业的高质量发展。

关键词：水利水电；安全管理；技术创新发展

引言：水利水电工程作为国家重要基础设施，对于促进经济社会发展、保障民生福祉具有重要意义。然而，伴随其大规模建设与运营，安全管理问题日益凸显，技术创新成为提升工程安全性、效率与可持续性的关键。本文旨在全面探讨水利水电安全管理的重要性、现状及挑战，同时深入分析技术创新在推动安全管理升级、提高工程效能方面的作用与前景。通过综合研究，为水利水电工程的安全管理与技术创新发展提供理论支撑与实践指导。

1 水利水电安全管理概述

1.1 安全管理的重要性

(1) 水利水电工程具有高风险特性，其安全风险贯穿于勘察设计、施工建设到运营维护的全周期。地质条件复杂可能引发滑坡、坍塌等地质灾害，水文环境多变易导致洪水、溃坝等险情，而大型机械设备操作、高空作业及高压电气系统运行等环节，也存在机械伤害、触电等安全隐患。(2) 安全事故的发生会造成严重后果：人员方面，可能导致伤亡，给家庭带来不可挽回的损失；财产方面，工程设施损毁、设备报废将造成巨大经济损失，同时影响工程进度，增加额外成本；环境方面，可能引发水体污染、植被破坏等生态问题，破坏周边生态平衡。(3) 强化安全管理是保障工程顺利进行的核心环节。通过科学的管理手段，能够有效识别和控制风险，减少事故发生概率，确保施工人员生命安全和工程财产安全，同时维护工程周边环境稳定，为工程按计划推进提供坚实保障。

1.2 安全管理体系构建

(1) 安全管理遵循“安全第一、预防为主、综合治理”的基本原则，以实现“零事故、少隐患、强保障”为目标，将安全理念贯穿于工程全过程，注重风险前置

防控，协调各方力量形成管理合力。(2) 安全管理制度与政策制定需结合行业规范和工程实际，包括安全生产责任制、岗位安全履职清单、教育培训、风险管理、隐患排查治理、安全会议、应急管理、职业健康、能源节约与生态环境保护等，同时依据国家相关法律法规，制定符合工程特点的安全政策，确保管理有章可循、有法可依。(3) 安全监管机构设置应层级清晰，通常包括决策层、执行层和监督层。决策层负责制定安全战略，执行层落实具体安全措施，监督层检查安全工作成效，各层级职责明确、协同配合^[1]。

1.3 安全管理实施策略

(1) 强化安全工作技能培训、提高职工现场管控能力。一是规范进场人员管理工作，重点抓好入场三级教育与考核、安全风险告知、健康体检、规范劳保发放等工作。二是加强一线工人“应知应会”内容的教育，重视对作业人员的安全操作技能培训。作业人员在施工现场，直接面对安全风险，是我们安全工作的核心对象，要结合实际，通过进场教育、专题教育等方式，重点组织学习规程规范、安全操作规程等内容，全面提升全员安全素质。三是开展经常性安全事故警示教育，要结合实际情况，健全事故复盘机制，灵活运用事故树、事件树等分析方法，深刻剖析事故原因，吸取事故教训，以关键岗位人员为重点，切实举一反三吸取教训，避免同类事故的发生；五是要认真落实班组安全能力建设，努力完善作业人员和班组长、小型工器具和大型机械设备的安全认证，从“人机料法环五要素”方面认真辨识安全风险，达到安全生产条件后，方可进行生产组织。

(2) 强化管控，深化“安全风险分级管控与隐患排查治理”双重预防机制建设。一是要坚持问题导向，不断加强双重预防机制建设，全面推进风险管控责任与生

产责任融合、风险管控过程与生产过程融合。抓实抓细安全风险辨识评价及过程管控，动态建立风险分级管控清单，严格落实管控措施，做好实施过程评价与考核工作，多举措防范化解各类安全风险。二是危险性较大的分部分项工程施工前，组织开展三级安全技术交底，要求作业人员严格按照评审方案施工，落实安全防护措施；施工过程中，安排专职安全员落实现场监督工作，把关原材料进场验收、完善施工监测、设置警示标识、落实验收程序、开展隐患排查治理等，并做好重大危险源实施过程的监控记录，确保风险可控在控。三是在做好安全风险分级管控工作的同时，结合各类重大事故隐患判定标准，严抓重点区域、重点环节，加强对爆破、高边坡、施工排架、特种设备、森林防火等的管理，强化过程监控量测，确保风险可控在控，确保隐患及时消除。

(3) 不断完善应急管理机制，切实提升事故预防和应急处置能力。一是科学制定应急预案，明确应急组织机构、响应流程、救援措施等，针对洪水、地震、设备故障等不同险情制定专项预案；二是做好应急资源的统筹管理，储备充足的应急物资，加强检查与维护做好应急物资的过程检查与维护，保证随时可用，对于变质、失效、不足的及时更新补充，筹备应急救援队伍，加强队伍的训练和管理，做到关键时刻“拉得出、抢得上、打得赢”；三是开展针对性培训和演练，按照应急演练计划有序开展防洪度汛应急演练、消防应急演练，以综合演练与现场处置方案相结合、实战演练与桌面推演相结合的方式，普及应急处置知识和实操技能，特别是强化一线人员的安全警觉意识、危机反应能力；应急抢险岗位要进行心理素质、风险辨识和救援知识、处置方法的培训，各级管理人员特别是关键岗位人员要强化协调沟通、人员组织、物资保障等应急指挥方面的培训，强化责任担当，提高正确应对应急事件的能力；四是做好与当地气象部门的联系沟通，加强寒潮、大风、冰雪等天气监测预警，准确识别特殊气象可能引发的事故类型和风险点，提前做好极端天气应急准备工作；五是严格执行关键时段“领导24小时带班”、“安全包保制”和“安全生产信息报送制度”，通过QQ、微信工作群等渠道，常态化发布临期气象风险预警，相关部门及单位畅通信息收集、传达渠道，对风险预警立即做出相应的应急响应。

2 水利水电技术创新发展

2.1 技术创新的意义与挑战

(1) 技术创新是水利水电工程提质增效的核心引擎。在施工阶段，新型钻孔设备可将坚硬岩体的钻进效

率提升50%，新型混凝土温控技术能将大坝裂缝发生率降低至0.3%以下；在运营阶段，智能监测系统可实时预警设备故障，使机组等效可用系数提高至95%以上。技术创新还能突破传统工程瓶颈，如深埋长隧洞TBM施工技术，将30公里以上隧洞工期缩短至5年以内，较传统钻爆法效率提升3倍。(2) 当前技术创新面临多维挑战：核心材料领域，高性能防渗薄膜的耐候性与抗撕裂强度仍需突破；智能算法方面，复杂水文条件下的洪水预测模型准确率待提升至95%以上。但同时也迎来重大机遇：“新基建”政策推动智慧水利投资年增20%，碳中和目标加速抽水蓄能技术研发，国际合作平台为引进超高压水电机组设计技术提供渠道，跨界融合催生“水利+新能源”的技术融合新方向。

2.2 智能化技术的应用

(1) CAD技术实现水利工程断面设计参数化，可在1小时内生成10种方案对比图；BIM技术构建的三维模型在白鹤滩水电站应用中，实现机电安装精度控制在2毫米内，管线碰撞问题减少80%。两者协同形成“设计-算量-施工模拟”闭环，使设计变更率降低40%。(2) 物联网在小浪底工程布设5000余个传感器，实现坝体位移0.1毫米级监测；大数据平台整合30年流域水文数据，使洪水预报延长至72小时；AI驱动的闸门控制系统可自动调节流量，响应速度提升至0.5秒。(3) 智能化施工设备已成主流：无人摊铺机能实现坝体混凝土平整度 ± 3 毫米控制；液压破碎机器人可在50米高空作业，替代人工减少事故率60%；3D打印技术成功制作10米级导流管，生产周期缩短70%。

2.3 生态友好型技术创新

(1) 生态设计理念推动工程形态革新：向家坝水电站采用分层取水口设计，使下游水温恢复速度加快30%；鱼道设计引入仿生水流技术，鱼类通过率提升至85%。工程规划阶段即开展生态影响预评估，将生态指标纳入设计考核体系。(2) 新型材料技术持续突破：透水生态混凝土护坡的孔隙率达25%，植被覆盖率提升至90%；石墨烯改性防渗膜的耐老化寿命延长至50年，且可完全降解；微生物水泥技术实现堤坝裂缝自主修复，修复效率提升40%。(3) 后期生态修复形成成套技术：水库消落带采用“植被毯+生态袋”组合技术，植被成活率达80%；河道清淤同步实施底泥无害化处理，重金属去除率达92%；鱼类增殖放流引入DNA标记技术，种群恢复监测精度提升至95%^[2]。

2.4 模块化与标准化技术

(1) 模块化施工在向家坝电站应用中，将厂房分解

为32个标准模块，工厂预制率达70%，现场吊装效率提升50%；渡槽工程采用“槽身预制+现场拼接”模式，单节安装时间缩短至8小时，较传统现浇节省60%工期。（2）标准化技术构建全链条质量体系：制定的《水利工程金属结构制造标准》使闸门制造误差控制在1毫米/米；混凝土配合比标准化使强度标准差降低至3.5MPa以下；施工工艺标准化使单元工程优良率提升至92%。（3）未来技术呈现三大趋势：模块化向智能集成演进，模块将嵌入传感器实现状态自诊断；标准化体系向数字化升级，建立三维参数化标准库实现设计施工无缝衔接；跨界融合加速，借鉴汽车制造的模块化平台理念，形成可快速适配不同工程规模的通用模块体系，预计到2030年模块化施工占比将突破60%^[3]。

3 水利水电安全管理及技术创新的未来发展趋势

3.1 安全管理的发展趋势

（1）安全管理体系将向“全周期、全要素、全员化”方向完善升级。未来体系将覆盖工程规划、建设、运营、退役的全生命周期，把环境风险、社会影响等要素纳入管理范畴，形成“风险识别—评估—防控—应急”的闭环机制。同时，通过数字化平台实现责任追溯，将安全管理责任细化到每个岗位，构建“人人有责、人人尽责”的全员参与体系，结合区块链。（2）安全管理技术呈现“智能化、精准化、预警化”创新融合态势。智能监测技术将实现从“点监测”向“全域感知”升级，无人机巡检与卫星遥感结合，可对库区边坡、坝体进行毫米级变形监测；大数据分析模型能通过历史数据预测设备故障概率，提前30天发出预警；虚拟现实（VR）技术将用于安全培训，模拟溃坝、触电等险情，提升人员应急处置能力。（3）安全管理国际化合作与交流将不断深化。随着“一带一路”水利项目增多，各国将共享安全标准与管理经验，如借鉴欧盟大坝安全监测规范、引进德国水利工程风险评估方法。国际组织将推动建立统一的水利安全认证体系，开展跨国应急演练，共同应对跨境河流洪水、水污染等安全挑战，形成“技术共享、风险共防、责任共担”的国际协作网络。

3.2 技术创新的发展方向

（1）智能化技术将向深度应用与场景拓展迈进。BIM技术将与数字孪生结合，构建水利工程虚拟镜像，实现施工进度、水流状态的实时模拟与优化；人工智能算法将更精准预测水库来水量、泥沙淤积量，辅助制定最优调度方案；机器人技术将覆盖更多施工场景，如水下焊接机器人、隧洞衬砌机器人，替代高危环境人工操作，预计到2030年智能化施工占比将超50%。（2）绿色、低

碳、可持续技术创新成为核心方向。新型坝体材料将实现低碳化，如采用工业固废制备的低碳混凝土，降低水泥用量30%以上；水利工程将与新能源融合，库区水面光伏、坝体氢能发电等技术加速应用，打造“防洪、发电、生态、新能源”多能互补系统；生态流量调控技术将更精细化，通过智能闸门实现鱼类产卵期、幼苗期的精准流量控制，减少对水生生物的影响^[4]。

4 提升水利水电安全管理及技术创新的策略

4.1 加强安全管理体系建设

完善水利水电安全管理体制需构建“权责清晰、多元协同、动态调整”的机制。首先，应明确政府监管、企业主体、社会监督的权责边界，建立“一把手”负责制，将安全管理纳入工程考核核心指标。其次，推动跨部门协同，整合水利、应急、环保等部门资源，建立联合执法与信息共享平台，避免监管盲区。此外，需根据工程规模、风险等级实行分级管理，对大型水利枢纽实施“一库一策”专项监管，对中小型工程推行标准化管理模板，同时建立体制运行评估机制，每3年开展一次效能审计，及时优化管理流程。

4.2 推广先进的安全管理技术与方法

在安全管理中可重点推广三类技术方法：一是风险矩阵评估法，通过量化可能性与影响程度，对坝体渗漏、边坡失稳等风险进行分级，优先处置高风险点；二是BIM+GIS可视化管理技术，将工程模型与地理信息结合，实现施工区域人员定位、设备状态的实时监控，预警违规操作；三是应急推演技术，利用数字孪生系统模拟溃坝、洪水等场景，优化应急物资储备布局与疏散路线。同时，推广“安全行为观察”方法，通过现场观察员工操作习惯，识别不安全行为并针对性培训，降低人为失误率。

4.3 加大技术创新投入与人才培养力度

技术创新投入需构建“政府引导+企业主导+社会参与”的多元体系，政府可设立水利技术创新专项基金，对智能监测、低碳材料等领域给予研发补贴；鼓励企业建立技术创新中心，对研发投入超过营收5%的企业给予税收优惠。人才培养方面，应推行“产学研用”协同模式，高校增设智慧水利、生态水利等专业，企业与科研院所共建实训基地；实施“青年技术骨干计划”，通过出国研修、项目历练等方式培养复合型人才，同时建立技术人才激励机制，对有重大创新成果的团队给予股权奖励。

4.4 强化政策引导与支持

政策层面需从三方面发力：一是完善标准体系，制

定智能化施工、生态修复等领域的国家标准，推动技术创新有章可循；二是优化激励政策，对采用绿色技术、智能装备的企业给予项目优先审批、信贷利率优惠，将技术创新指标纳入水利工程招投标评分体系；三是搭建创新平台，建设国家级水利技术创新联盟，促进企业、高校、科研机构资源共享，定期举办技术创新大赛与成果交易会，加速科技成果转化。此外，应建立政策动态调整机制，根据技术发展与工程需求，每2年修订一次支持政策，确保针对性与时效性。

结束语

水利水电工程的安全管理与技术创新发展是实现工程长期稳定运行、保障人民生命财产安全的关键。通过强化安全管理体制、推广先进安全技术与方法，我们能有效提升工程的整体安全性。同时，技术创新为水利水

电工程带来了前所未有的发展机遇，推动了工程效率与质量的大幅提升。展望未来，我们应持续加大技术创新力度，不断优化安全管理策略，为水利水电事业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 邓永泰,黄伟.浅析水利水电工程施工安全技术及管理[J].长江技术经济,2024,8(06):126-130.
- [2] 王健.水利水电自动化施工技术的应用与安全管理[J].水上安全,2024,(21):61-63.
- [3] 杨曼.BIM技术在水利水电工程施工安全管理中的实践应用研究[J].水上安全,2024,(16):71-73.
- [4] 汤雪晖.新时代下水利工程管理与生态环境的创新融合路径分析[J].产业技术创新,2023,5(03):53-55.