

水利水电工程质量与安全管理探析

吴红光

长江水利水电开发集团（湖北）有限公司 湖北 武汉 430010

摘要：水利水电工程质量与安全管理直接关系到工程效益发挥和人民生命财产安全。本文在界定质量与安全核心概念的基础上，引入全生命周期管理理论、风险管理与系统安全理论，系统分析水利水电工程规模大、周期长、水文地质复杂、社会影响广泛等特点，结合孟底沟水电站实践案例补充佐证。深入剖析当前管理中存在的质量管控不严、安全隐患突出、管理机制不健全等问题，从全生命周期管理框架构建、关键技术应用、制度机制创新、人员能力培育四个维度提出优化策略，旨在为提升水利水电工程质量管理水平提供理论参考与实践指导。

关键词：水利水电工程；质量管理；安全管理

引言：作为国家基础设施体系的关键构成，水利水电工程不仅承担着防洪减灾的核心职能，更在水资源时空调配与清洁能源供给等领域发挥着不可替代的战略支撑作用。孟底沟水电站作为雅砻江中游在建规模最大的水电工程，总装机容量240万千瓦、最大坝高201米，其建设过程中面临的复杂地质与施工难题，集中体现了大型水利水电工程质量安全管理重点与难点。质量与安全是工程建设永恒的主题，二者相互关联、互为保障。本文立足理论基础，结合工程实践，分析工程特点，剖析现存问题，提出优化策略，以期工程实践提供借鉴。

1 水利水电工程质量与安全管理的理论基础

1.1 核心概念界定

水利水电工程质量是指工程固有特性满足要求的程度，具体体现为工程实体符合设计文件、技术规范及合同约定的程度，涵盖结构安全、使用功能、耐久性能等多个维度。质量管理则是围绕质量目标开展的计划、组织、协调、控制等一系列活动，包括质量策划、质量控制、质量保证和质量改进等环节。水利水电工程安全是指工程建设过程中人员、设备、环境及工程本身处于免受伤害、损失的状态，既包括施工期作业安全，也包括运行期工程安全。安全管理则是通过危险源辨识、风险评估、隐患排查、应急管理等手段，预防和控制安全事故的发生。质量与安全具有内在统一性：质量是安全的物质基础，不合格工程必然存在安全隐患；安全是质量的基本前提，安全事故往往源于质量缺陷。二者统一于工程建设的全过程，需要系统谋划、协同推进。

1.2 全生命周期管理理论

全生命周期管理理论强调从工程规划、设计、施工、运行直至退役的全过程进行系统管控。水利水电工程全生命周期可划分为决策设计阶段、施工建设阶段、

运营维护阶段和报废拆除阶段，各阶段质量安全管理重点各异。决策设计阶段需确定合理的安全裕度和质量标准，开展地质勘察和方案比选，避免因前期工作不充分埋下隐患。施工建设阶段是质量形成和安全风险高发期，需强化过程控制和动态监测，确保实体质量符合设计要求，孟底沟水电站在施工阶段构建“1+1+3+1”智能建设体系，贯穿勘测设计、工程建造至运行移交全过程，正是全生命周期管理理论的生动实践^[1]。运营维护阶段需建立定期检测和维修养护制度，及时发现并处理老化、病变等问题。报废拆除阶段需制定专项方案，确保拆除过程安全可控。全生命周期管理的核心在于信息传递和责任延续，要求各阶段管理无缝衔接，避免因阶段割裂导致质量安全责任悬空。这一理论为构建全过程管控体系提供了基本框架。

1.3 风险管理与系统安全理论

风险管理理论指出，质量安全事故的爆发并非偶然，而是风险因子持续累积的必然结果。其核心流程涵盖风险辨识、风险研判、风险处置及动态监测四大环节。就水利水电工程而言，风险诱因涉及气象水文波动性、地质构造复杂性、建材质量离散性及施工操作偏差性等多重维度。以孟底沟水电站为例，其坝址区两岸坡度超60度，断层与蚀变岩带交错分布，地下洞室掘进过程中遭遇突涌水、岩爆等高风险，该工程实践充分验证了风险分级管控与隐患闭环治理的必要性。系统安全理论则强调安全问题的系统性本质，认为事故是多重因素耦合作用的产物，需突破单一归因思维。因此，质量安全管控应构建“源头防控-过程管控-末端治理”的全链条机制，通过建立风险分级管控与隐患排查治理双防体系，推动管理重心由事后补救向事前预防前移。

2 水利水电工程的特点

2.1 工程规模大、施工周期长

水利水电工程涉及大坝等大型建筑, 体量巨大、投资高昂。大型水电站大坝填筑量可达数百万立方米, 地下洞室群总长超数十公里, 像孟底沟水电站总工期 108 个月, 主体工程施工期 74 个月。庞大规模使施工组织复杂, 需多工种、多作业面交叉施工, 任何环节疏漏都可能引发连锁反应。其建设周期通常 5 - 10 年甚至更久, 带来人员流动、设备老化、设计变更、监测仪器存活率下降等挑战。规模与周期叠加, 让质量安全管理的时间和空间维度更复杂, 需建立长效管理机制。

2.2 水文地质条件复杂、不可预见因素多

水利水电工程多建于高山峡谷, 地形地质复杂, 坝址区不良地质现象多, 基础处理难, 常因地质条件不符合导致方案变更, 影响施工。水文上, 受河流水文影响大, 汛期防洪压力大, 围堰有溃决风险, 导截流施工时机把握难。地下洞室开挖还面临突水等地质灾害。如孟底沟水电站, 2025 年大江截流时利用数字孪生技术应对风险。气候变化加剧水文气象不确定性, 极端情况频发。这些不可预见因素要求质量安全管理具备弹性, 建立快速响应机制。

2.3 社会影响广泛、质量安全标准高

水利水电工程有防洪等综合效益, 安全运行关乎下游人民生命财产和区域发展, 溃坝等事故后果严重。设计、施工、运行各阶段都有严格标准, 如孟底沟水电站对区域能源和生态意义重大, 质量安全受高度关注。社会公众和媒体聚焦, 质量安全事故影响大^[2]。此外, 移民安置、环保等社会问题与工程质量安全交织, 增加管理难度。广泛的社会影响和严格标准, 要求质量安全管理坚持底线思维, 以最高标准、最严要求推进工作。

3 水利水电工程质量与安全管理现存问题

3.1 质量管理问题

当前水利水电工程质量管理存在诸多问题: 原材料与中间产品控制不严, 部分项目为降成本使用不合格材料, 砂石骨料含泥量超标、水泥安定性不合格等问题频发, 留下先天缺陷; 施工工序管控薄弱, 隐蔽工程验收流于形式, 基础处理、钢筋绑扎等关键工序未按规定完成三方联合验收即进入下一工序, 掩盖质量隐患; 质量检测存在弄虚作假, 部分检测单位出具虚假报告, 试块强度、桩基检测等数据缺乏真实性; 质量责任制落实不到位, 参建各方责任边界模糊, 问题出现后相互推诿, 质量终身责任制流于纸面, 缺乏可追溯、可倒查手段。这些问题导致工程实体质量波动大, 竣工验收整改任务重, 影响工程长期安全运行。

3.2 安全管理问题

部分项目为压缩成本, 擅自削减安全防护设施投入, 高边坡无防护网、洞内通风照明不足、用电设备接地不规范等问题屡禁不止, 危及作业人员安全; 现场作业人员安全意识薄弱, 习惯性违章操作频发, 不戴安全帽、高处作业不系安全带等行为屡查屡犯; 隐患排查治理不彻底, 检查流于形式, 隐患整改不闭环, 同类问题反复出现; 应急管理体系不完善, 应急预案针对性差、物资储备不足、演练走过场, 难以应对突发事件; 高风险作业缺少专项方案和旁站监督, 劳务队伍临时用工安全教育缺失, 成为安全事故高发群体, 根源是重进度轻安全、重效益轻投入的观念未根本扭转。

3.3 管理机制问题

质量安全管理机制存在明显短板: 参建各方责任边界不清, 缺乏有效协同机制, 各自为政、相互掣肘; 项目法人力量薄弱, 多为临时组建、人员兼职, 专业管理能力不足, 难以履行首要责任; 监理单位独立性不足, 受制于业主和施工单位, 监督作用难以发挥; 政府监管力量有限, 以定期检查、抽查为主, 无法实现全过程动态监控, 且监管信息不共享, 存在重复检查、多头执法现象; 诚信体系滞后, 失信惩戒力度不足, 违法违规成本低, 缺乏有效市场退出机制; 招投标低价中标突出, 中标单位偷工减料保障利润, 赶工期现象普遍, 压缩合理工期, 加剧质量安全隐患, 此类机制问题需通过深化改革解决^[3]。

4 水利水电工程质量与安全管理优化策略

4.1 全生命周期管理框架构建

构建覆盖工程全生命周期的质量安全管理框架是系统性解决问题的根本出路。决策设计阶段, 应加强前期勘察深度, 充分论证工程方案的技术可行性和安全可靠, 将质量安全要求落实到设计文件中, 避免因设计缺陷导致先天不足。施工建设阶段, 完善项目法人负责、施工单位保证、监理单位控制、政府监督的质量管理体系, 严格执行强制性条文和验收标准。推行质量安全终身责任制, 建立数字化质量档案, 实现责任可追溯。孟底沟水电站建立覆盖“六全”的决策指挥平台, 实现勘察、设计、施工、运行各阶段数据无缝流转, 为全生命周期质量安全管理提供了高效支撑。运营维护阶段, 建立定期安全鉴定和隐患排查制度, 对老旧工程及时除险加固, 对监测数据异常及时分析处置。报废拆除阶段, 制定专项方案和安全措施, 确保拆除过程安全环保。全生命周期管理的核心在于信息贯通和责任衔接, 应建立工程信息平台, 实现勘察、设计、施工、运行各阶段数

据的完整传递,避免因信息断档导致管理真空。

4.2 关键技术与管理工具应用

物联网技术可实现施工现场实时感知,在塔吊、高边坡、深基坑等危险区域布设传感器,对位移、应力、沉降等参数自动监测、超限报警。无人机航测技术可用于土石方计量、进度核查和高陡边坡安全检查,降低人工巡查风险。孟底沟水电站广泛应用数字孪生、物联网等技术,在大坝边坡布设数千套智能传感设备,实现位移、形变等参数实时监测,地下厂房开挖采用三维激光扫描实现厘米级精准控制,显著提升了质量安全管控效能。智能穿戴设备可监测作业人员位置、生命体征和违章行为,提升人员安全管理水平。质量安全管理系统应实现隐患排查治理闭环管理,隐患发现、上报、整改、验收全过程线上流转,超期未整改自动预警。人脸识别技术可用于关键岗位人员到岗履职核查,防止冒名顶替。大数据分析可挖掘质量安全事故规律,识别薄弱环节和管理漏洞,为精准施策提供依据。

4.3 制度与机制创新

完善法律法规体系,明确参建各方质量安全责任边界,加大违法违规成本,建立工程质量安全终身责任追究制度,让责任主体不敢失职、不能失职。创新监管方式,提高监管效能;建立跨部门联合执法机制,避免重复检查;运用信息化手段实施非现场监管,提高监管覆盖率。深化招投标制度改革,合理控制评标权重,推行合理低价中标,遏制恶性竞争,将质量安全业绩作为重要评标因素。建立工程质量安全信用评价体系,对参建单位和从业人员实行信用分级分类管理,信用评价结果与市场准入、招标投标挂钩,形成守信激励、失信惩戒的市场环境^[4]。完善工程保险制度,推行工程质量潜在缺陷保险,发挥保险机构第三方监督作用。健全安全生产责任险制度,通过费率浮动机制倒逼企业加强安全管理。

4.4 人员能力提升与文化培育

构建专业化人才梯队需多管齐下:高校应重构课程体系,深化产教融合,培育兼具技术专长与管理素养的复合型人才;行业主管部门应完善执业资格认证体系,

通过提高注册工程师准入标准、强化继续教育考核刚性约束,推动执业人员能力迭代升级。企业须落实主体责任,建立“岗前强训-班前必讲-定期轮训”三级培训机制,确保一线作业人员掌握标准化操作流程与应急处置技能;关键岗位实行“持证上岗制”,特种作业人员须经专项考核合格后方可独立作业。安全文化建设需创新载体:通过开展“安全生产月”主题活动、组织安全知识擂台赛、剖析典型事故案例等方式,构建“全员参与、全程管控”的安全生态。建立质量安全正向激励机制,将安全绩效与薪酬晋升、评优评先直接挂钩,激发全员主动管理意识。健全民主监督网络,拓展工会监督渠道,对隐患举报查实者实施物质奖励,形成“人人都是安全员”的共治格局。安全文化培育具有长期性,需持续发力、久久为功,最终实现从被动约束到主动担当的范式转变。

结束语

水利水电工程质量与安全管理是一项复杂的系统工程,涉及技术、管理、制度、文化等多个层面。本文基于全生命周期管理理论、风险管理与系统安全理论,系统分析了水利水电工程的特点和当前存在的质量问题、安全隐患及管理机制缺陷,结合孟底沟水电站的智能化建设与管理实践,进一步印证了优化策略的可行性。未来应进一步深化数字孪生、人工智能等前沿技术在质量安全领域的应用研究,推广孟底沟水电站的先进管理经验,推动水利水电工程建设向更高质量、更高安全水平迈进。

参考文献

- [1]张猛,周旭东,邱晓侨.水利水电工程施工质量与安全
管理探讨[J].中国设备工程,2022(6):241-242.
- [2]许文晓,任冬冬.水利水电工程的质量控制与安全
管理探讨[J].工程管理,2025,6(4):162-164.
- [3]张壮.水利水电工程施工安全管理对策探讨[J].散装
水泥,2024(4):138-140.
- [4]席斌.水利水电工程施工现场安全管理标准化实施
效果研究[J].工程建设与发展,2025,4(9):191-193.