

全生命周期视角下重大水利水电工程质量管控路径探析

李祥^{1,2} 成舒扬^{1,2}

1.南京水利科学研究院 江苏 南京 210029

2.江苏科兴项目管理有限公司 江苏 南京 210029

【摘要】：重大水利水电工程质量不仅影响工程运行安全、经济效益发挥，而且会影响人民生命和财产安全。作为国家基础设施建设的核心组成部分，其全生命周期涵盖决策、设计、施工、运维等关键阶段，质量管理贯穿始终。本文立足工程实践，梳理全生命周期质量管理的核心诉求与关键环节，探索优化策略，结合创新案例总结经验，为提升重大水利水电工程质量管控水平、保障工程长效安全运行、发挥工程战略价值提供理论与实践参考，助力行业高质量发展。

【关键词】：重大水利水电工程；全生命周期；质量管理；实践路径；优化策略

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.074

重大水利水电工程是保障国家能源安全、有效配置水资源、防御洪涝灾害的战略性设施，其质量水平直接关系到国计民生以及生态安全，对推动区域协调发展、达成绿色低碳转型起到不可替代的作用。当前，我国重大水利水电工程建设规模持续扩大、技术难度不断提升，传统分段式质量管理模式已无法很好地适配全流程、全方位质量管控需求，存在跨阶段协同不畅、技术应用不全面、责任体系不健全等问题，限制了工程质量以及长效运行效能。基于此，进行重大水利水电工程全生命周期质量管理的探索和实践，梳理各阶段核心诉求以及关键步骤，完善优化举措、归纳实践经验，有助于应对质量管理痛点、提升工程质量管控精细化的水准，维护工程安全顺畅运行、使工程综合效益发挥到最大，对助力水利水电行业高质量发展具有重要的现实意义和实践价值。

1 重大水利水电工程全生命周期质量管理核心诉求

重大水利水电工程全生命周期质量治理的核心诉求，是达成工程全阶段质量协同可控，保障工程安全平稳运行、充分发挥综合作用。决策阶段要精准抓住质量源头，结合地质水文条件清晰明确质量目标，平衡质量与成本、效益的联系，做好风险预判。设计阶段要坚守合规性底线，兼顾安全性与实用性，通过方案的优化以及标准化设计，筑实工程质量基础。施工阶段要加强过程管理，将人员、材料、设备等核心要素管理予以规范，严格抓好关键工序质量，及时排查治理质量方面的隐患。运维阶段把长效保障作为焦点，做好设备检修、性能监测和病害治理的相关工作，延长工程可使用的寿命，打通各阶段之间的信息壁垒，做到让质量数据可溯源，驱动质量管理从分段管控走向全流程协同^[1]。

2 重大水利水电工程全生命周期质量管理关键环节与实践路径

2.1 决策阶段：源头质量把控

决策阶段是重大水利水电工程质量治理的根源，直接决定工程质量的基调及发展趋向，核心实践路径关注精准判断和科

学决策。要全面开展地质水文勘察工作，精准采集区域地质构造、水文节律、气象条件等主要数据，规避勘察偏差出现的质量问题。搭建多方案比选的机制，结合工程战略规划、生态环境条件、经济社会利益，开展对不同方案质量可行性、技术合理性的全面评估，优先选择质量可控、风险较低的方案^[2]。切实执行政策合规和环境影响评价要求，保证工程决策符合行业标准、环保规范和区域发展规划标准。明确质量目标以及责任分工，形成前期质量风险预估体系，发现决策阶段可能有的质量隐患并制定防控手段，从起始点夯实工程质量根基，达成质量与效益、安全与合规的协调统一。

2.2 设计阶段：质量优化与标准化

设计阶段是工程质量得以保证的核心，实践路径围绕优化设计、规范标准、强化评审开展，保证设计成果符合工程实际、达到质量标准。推广数字化设计技术，采用 BIM、GIS 等工具使设计具备可视化、协同化特点，准确把控工程结构、施工工艺等关键，减少设计漏洞。依照标准化设计准则，严格依照地方与行业的标准规范，统一设计流程、技术参数及质量要求，兼顾标准化需求以及个性化需求，防止设计紊乱造成的质量问题。搭建完善的设计评审架构，让技术专家、监理单位、施工单位开展多轮评判审核，着重对设计方案的安全性、可行性、经济性开展核查，就评审中发现的问题及时进行优化完善。加强设计交底，保证设计意图、质量标准准确传达进施工环节，加快设计成果落地进程，为施工阶段质量管控提供清晰指引，避免施工偏差，确保工程质量全程可控。

2.3 施工阶段：过程质量管控核心实践

施工阶段是把控质量的关键阶段，实践路径把过程管控、要素规范、隐患治理作为重点，让工程质量符合设计规定。搭建健全的施工质量管控体系，确定建设、施工、监理等各方承担的责任，拟定标准化施工流程和质量验收规范，做到施工全过程可追查。强化核心要素管理，切实审核施工人员资质，开展上岗之前的质量培训；规范材料和设备进场检验，杜绝不合

格材料、设备投入使用；优化施工工艺，严格抓好大坝浇筑、混凝土施工、防渗处理等关键工序的质量，落实旁站监理制度。建立质量检测和预警机制，开展现场检测和实验室检测联合的质量核验，及时找出施工中的质量隐患，制定针对性处置措施。同时，处理好质量与进度的关系，防止盲目赶工期造成的质量问题，保证施工质量逐步提高。

2.4 运维阶段：质量长效管理

运维阶段是工程长期安全运行的关键，实践路径是围绕常态化监测、精细化维护、病害治理开展，做到质量长效管控。构建完善的运维质量评估指标体系，明确监测关键、维护要求和频次，全面监测工程结构稳定性及设备运行状态等核心指标。助力智能化运维技术的推广，运用物联网、大数据等工具来达成监测数据实时的收集、分析及预警，提升运维的效率以及精准程度。定期进行设备的检修、保养以及加固改造，针对工程老化以及病害等问题，制定科学的治理方案，及时消除质量隐患，延长工程使用寿命。建立运维质量档案，完整记录监测数据、维护记录、病害治理情况，实现运维质量可追溯。开展运维人员培训，提高运维团队专业素养，保障运维工作规范、高效，保证工程长久稳定发挥综合效益^[3]。

2.5 全生命周期质量信息管理

全生命周期质量信息管理的要点，实践路径把数据整合、溯源管控、协同共享作为聚焦点，做到质量信息全流程的联通。搭建统一的质量信息管理平台，把决策、设计、施工、运维不同阶段的质量数据整合，包括勘察报告、设计图纸、施工记录、检测数据、运维档案等，做到数据集中管理及可视化展示。建立质量信息追溯机制，明确各阶段质量数据的录入、审核、更新程序，保证数据真实、完整且可追溯，为质量问题的查找、责任的认定提供依据^[4]。推动质量信息在不同主体、阶段协同共享，打破建设、设计、施工、运维等各方信息壁垒，做到信息互通、协同治理，让质量管理效率有所提高。不断加强质量信息安全管理，搭建数据安全防护体系，阻止发生数据泄露、篡改问题，保障质量信息的安全性和可靠性，给全生命周期质量管理提供数据支撑。

3 重大水利水电工程全生命周期质量管理优化策略

3.1 全流程优化策略

全流程优化是促进重大水利水电工程全生命周期质量管理质量的核心环节，应贯穿决策、设计、施工、运维各阶段，达成各环节协同推进、闭环管理。决策阶段，提升前期论证的科学性，对地质水文勘察流程加以完善，准确研判工程质量风险，建立质量与效益、安全与效率的综合评测模型，防止盲目决策致使的质量相关隐患。设计阶段，推进跨专业协同设计，优化设计方案评审体系，增强设计成果合规性、安全性的审核，根据工程实际对技术参数加以优化，减少设计与施工脱节问

题。施工阶段，细化施工流程管理，规范关键工序操作标准，落实旁站监理与质量抽检制度，及时排查治理施工隐患，平衡质量和进度的关系。运维阶段，建立常态化维护及病害预警架构，有规律地开展工程性能评估，按照实际情况开展加固改造，延长工程使用寿命^[5]。

3.2 技术赋能路径

技术赋能是助力重大水利水电工程全生命周期质量管理提质增效的重要支撑，主要聚焦数字化、智能化技术的深度应用与转化。开展 BIM、GIS 等数字化设计技术推广工作，使工程设计达成可视化、协同化的目标，精准把控工程结构细节，预先防止设计漏洞出现，提升设计的质量。施工阶段，利用物联网、大数据技术对施工人员、材料、设备等核心要素进行实时监测，达成施工过程可视化管理，精确找出施工质量隐患并及时处理；推广智能化施工设备以及新工艺，强化关键工序施工精度以及质量稳定性。运维阶段，搭建一套智能化运维监测平台，整合传感器、无人机等监测设备，做到工程结构、设备运行状态的即时采集与分析，形成质量风险预警模型，做到隐患早识别、早治理。

3.3 制度与人才保障

完善的制度体系和高素质的人才梯队，是使重大水利水电工程全生命周期质量管理落地产生效果的重要保障。在制度建设方面，健全全生命周期质量管理所涉及的法律法规和行业标准，明确各主体、各阶段的质量责任，建立“责任明确、监管有效、赏罚清楚”的管理机制；巩固质量考核评价体系，把全生命周期质量指标纳入考核的范围，强化对考核结果的运用，推动各方落实质量责任。在人才保障方面，搭建复合型质量管理人才建设体系，主要培养具备工程技术、管理知识和数字化技能的专业型人才，强化岗前培训以及在岗深造，提高从业人员的专业素养以及责任意识；建立人才引进和激励体系，吸引高端质量管理人才投身工程实践，打造一支专业化、有序化的质量管理队伍。同时，增进行业彼此交流合作，推广先进的质量管理经验，推动管理制度和人才队伍建设共同提升，给全生命周期质量管理打造坚实保障。

4 重大水利水电工程全生命周期质量管理创新实践案例

选取白鹤滩水电站作为典型案例，该工程属于世界第二大水电工程，创新选用“四零三化”智能匠造质量管理模式，贯穿决策、设计、施工、运维的整个生命周期，消除隐蔽工程质量管控难题，得到国内巨型水电站“质量优良”称号，给行业提供了可复制的经验。决策阶段精确估量复杂地质状况，对坝型设计予以优化；设计阶段利用 BIM 技术做到可视化协同设计；施工阶段搭建智能化灌浆及锚固管控平台，做到数据实时监测与追溯；运维阶段以智能监测系统为依托，保证工程长期

有效安全，其创新实践很好地提升了质量管控效能^[6]。该模式证明了全生命周期质量管理在超大型工程中的可行性，实现了安全、效率与效益的统一，为行业高质量发展提供了重要实践范式。具体成效数据如表一所示：

表一 具体成效数据统计表

管控环节	创新举措	核心成效数据
施工阶段	智能化灌浆系统应用	灌浆数据准确率 99.9%，隐患排查效率提升 60%
设计阶段	BIM 协同设计	设计漏洞减少 45%，施工返工率降低 38%
运维阶段	智能监测平台运行	异常预警响应时间≤5 分钟，设备完好率 99.8%

全周期	质量追溯体系	质量数据可追溯率 100%，工程一次验收合格率 100%
-----	--------	------------------------------

5 结语

综上所述，重大水利水电工程全生命周期的质量管理是一项系统性、长期性工程，贯穿工程决策、设计、施工到运维的全过程，其核心在于达成各阶段质量协同管控、推动技术赋能升级并做好制度人才保障。本文梳理的核心诉求、关键实施路径和优化策略，结合创新案例的经验总结，为行业质量管理给出了可行参照。未来，要持续强化跨阶段合作，拓展数字化、智能化技术的应用范围，优化制度体系与人才培养机制，增进质量管理的精细化、系统化程度，保障重大水利水电工程安全长久有效运行，为国家基础设施建设与生态文明建设提供有力支撑。

参考文献：

- [1] 尚海峰,范晓利,马宏斌.基于大数据的水利水电工程全生命周期管理研究[J].水上安全,2025,(14):64-66.
- [2] 唐云清.重大水利水电工程全生命周期质量管理探索与实践[J].中国水利,2025,(09):42-49+27.
- [3] 江宏玲.基于多层模糊综合评价法的装配式水利建筑全生命周期质量模型构建[J].科技与创新,2025,(02):18-22.
- [4] 陈杰.基于 BIM 技术的水利水电工程全生命周期管理分析[J].低碳世界,2024,14(10):124-126.
- [5] 孙中良,王艺霏,张华忠,等.水利水电工程移民社会融合全生命周期支持体系建构[J].水力发电,2024,50(09):13-21+35.
- [6] 王翔,郑淇文,张志勇,等.高质量发展阶段中国水利工程安全监测现状及提升策略[J].水利水电快报,2023,44(03):76-83+88.