

水利工程全生命周期管理的关键技术与实施路径研究

郭亚雄

河北水利发展集团有限公司 河北 石家庄 050000

摘要：本文聚焦水利工程全生命周期管理，阐述其理论框架，划分全生命周期为规划、设计、建设、运维、退役五大阶段，明确目标、组织等八大核心管理要素。深入剖析数字化建模、智能监测与预警、全生命周期数据管理、风险评估与决策支持等关键技术。详细规划各阶段实施路径，规划期以战略引领科学论证，设计期聚焦方案优化，建设期注重质量管控，运维期强调长效运维，退役期重视安全处置与生态修复。旨在为水利工程全生命周期管理提供全面指导，推动其科学、高效、可持续发展。

关键词：水利工程；生命周期管理；关键技术

引言：水利工程作为国家基础设施的关键部分，对保障水资源合理利用、防洪减灾等意义重大。然而，传统水利工程管理模式存在阶段割裂、信息不畅等问题，难以适应现代水利发展需求。全生命周期管理理念强调从规划到退役的全流程统筹，能整合资源、提升管理效能。在此背景下，研究水利工程全生命周期管理的关键技术与实施路径，有助于解决传统管理弊端，实现工程全周期的高效管控，保障工程安全稳定运行，促进水利事业可持续发展，具有重要的理论和实践价值。

1 水利工程全生命周期管理理论框架

1.1 全生命周期阶段划分

水利工程全生命周期阶段划分是构建管理体系的基础，需遵循系统性、连续性和针对性原则，将工程从规划到退役的完整流程拆解为五大核心阶段。规划期聚焦战略定位与可行性论证，结合区域水资源禀赋、防洪需求及生态保护目标，明确工程建设的必要性与总体方向；设计期衔接规划要求，完成技术方案设计、图纸绘制及概预算编制，兼顾工程功能、施工难度与长期运维便利性；建设期是方案落地的关键环节，涵盖施工组织、质量管控、进度管理及安全监督等核心工作，确保工程按标准建成投用；运维期贯穿工程服役全过程，通过常态化监测、养护维修与效能优化，保障工程长期稳定运行；退役期聚焦工程退出后的生态修复、资源回收及安全处置，避免对周边环境与公共安全造成影响^[1]。各阶段既相互独立又紧密衔接，形成闭环管理链条，为工程全流程管控提供清晰框架。

1.2 核心管理要素

水利工程全生命周期管理核心要素涵盖目标、组织、资源、质量、安全、成本、进度、生态八大维度，各要素相互关联、协同作用，共同支撑工程管理效能提

升。目标要素锚定工程全周期核心诉求，兼顾防洪、灌溉、供水、发电等功能实现与生态保护目标；组织要素明确各参与方职责分工，构建权责统一、高效协同的管理体系，协调政府部门、建设单位、施工单位、运维机构等多方主体；资源要素统筹人力、物力、财力、技术等资源配置，实现全周期资源优化利用；质量要素贯穿各阶段，建立全流程质量管控标准，从材料采购、施工工艺到运维养护严格把关；安全要素聚焦工程建设与运行安全，防范各类安全风险隐患；成本要素实现全周期造价管控，平衡投资效益与工程质量；进度要素保障各阶段按期推进，避免工期延误影响工程效益；生态要素融入全流程，践行绿色发展理念，减少工程对生态环境的扰动。

2 水利工程全生命周期管理关键技术

2.1 数字化建模技术

数字化建模技术是水利工程全生命周期管理的核心支撑技术，依托BIM（建筑信息模型）、GIS（地理信息系统）等技术手段，构建工程全要素数字化模型。该技术打破传统信息割裂局面，实现从规划设计到运维退役的全流程信息集成与可视化管理。在设计阶段，通过三维建模精准呈现工程结构、管线布局等细节，优化设计方案并减少设计冲突；建设期将模型与施工进度、质量数据联动，实现施工过程动态管控，实时跟踪施工进度与质量偏差；运维期依托模型整合设备运行数据、监测数据等信息，为设备养护、故障排查提供精准支撑；退役期通过模型模拟拆除流程与生态修复效果，降低退役处置风险。同时，数字化模型可实现多参与方协同作业，促进信息高效传递，大幅提升管理效率与决策科学性，推动水利工程管理向数字化、精细化转型^[2]。

2.2 智能监测与预警技术

智能监测与预警技术堪称保障水利工程安全稳定运行的“关键卫士”。它巧妙整合传感器、物联网、大数据等前沿技术，精心构建起一个全方位、实时化、智能化的监测预警体系。对于大坝、堤防、水闸等水利工程的核心建筑物，会精准部署位移、沉降、渗流、应力等多维度传感器。这些传感器如同敏锐的“神经末梢”，能够实时采集工程运行过程中的各类数据。借助物联网技术，数据可实现无线传输并汇聚至云端，彻底突破了传统人工监测在时空上的限制，让监测无死角、无时差。利用大数据分析技术，对海量的监测数据进行深度挖掘，精准识别数据中的异常特征，进而构建科学合理的风险预警模型。一旦工程出现结构变形、渗流量超标等风险隐患，系统会立即自动发出分级预警信号，为运维人员的应急处置提供精准依据。这一技术不仅大幅提升了工程监测的时效性与准确性，还能实现风险隐患的早发现、早预警、早处置，有效降低工程安全事故的发生率，延长工程的使用寿命，为水利工程的稳定运行保驾护航。

2.3 全生命周期数据管理技术

全生命周期数据管理技术聚焦于水利工程全流程数据的全面管理，致力于构建标准化、规范化的数据管理体系。在数据采集环节，它全面覆盖水利工程各阶段的核心信息，从规划报告、设计图纸，到施工记录、监测数据，再到运维日志、退役评估报告等，一应俱全。并且采用标准化格式进行采集，确保数据的一致性和准确性。存储环节则依托先进的云端数据库与数据中台，实现海量数据的安全存储与高效调用，既保障了数据的保密性，又兼顾了数据的共享性。整合环节通过数据清洗、转换、关联等技术手段，消除数据孤岛现象，形成完整的工程数据链条，让数据能够流畅地在各个环节之间流通。分析环节借助数据挖掘、人工智能等先进技术，从海量数据中提取有价值的信息，为工程决策提供坚实的数据支撑。应用环节则实现数据与管理业务的深度融合，贯穿规划设计、施工运维等各个阶段，优化管理流程与决策模式。该技术为水利工程全生命周期管理提供了强大的数据驱动支撑，推动管理模式从经验驱动向数据驱动成功转型。

2.4 风险评估与决策支持技术

风险评估与决策支持技术是针对水利工程全生命周期各阶段风险而精心构建的科学体系，它包含科学的风险评估模型与智能决策支持系统。在风险评估环节，该技术会综合考虑工程类型、所处环境、运行状态等多方面因素，全面识别各阶段潜在的风险。比如规划阶段可

能面临的政策风险、设计阶段可能出现的技术风险、建设期的施工风险、运维期的安全风险以及退役期的生态风险等。采用定性与定量相结合的方法，对风险等级和影响范围进行准确评估，为后续的风险管控提供清晰的方向。决策支持系统则整合风险评估结果、工程数据、行业标准等多方面信息，借助先进的人工智能算法，模拟不同决策方案的实施效果，为管理人员提供最优的决策建议。该技术能够有效提升风险管控的前瞻性和决策的科学性，在风险防范、应急处置、方案优化等关键场景中发挥重要作用。它帮助管理人员精准把控风险，降低决策失误率，确保水利工程全生命周期管理目标能够顺利实现，为水利工程的可持续发展提供有力保障。

3 水利工程全生命周期管理实施路径

3.1 规划期实施路径

水利工程规划期全生命周期管理实施路径以战略引领、科学论证为核心，分三步有序推进。第一步，开展全面且深入的前期调研。详细梳理区域水资源现状，包括水量、水质等情况；明确防洪抗旱需求，分析不同区域的灾害风险；确定生态保护红线范围，以及了解经济社会发展规划对水利工程的要求。同时，广泛收集地形地貌、气象水文等基础数据，为规划编制提供坚实的数据支撑^[1]。第二步，进行严谨的可行性论证。组织水利、环保、经济等多方专家，从技术可行性、经济合理性、生态安全性、社会公益性等多个维度开展综合评估。通过反复论证和优化，规避规划偏差风险，确保规划方案科学合理。第三步，明确全周期管理目标。将质量、安全、成本、生态等管理要求深度融入规划方案，制定各阶段管理初步计划，建立规划与后续设计、施工等阶段的紧密衔接机制。另外，规划期还需加强部门协同，统筹协调水利、环保、等相关部门，使规划方案符合整体发展布局，为工程全生命周期管理筑牢根基。

3.2 设计期实施路径

设计期实施路径聚焦方案优化与全周期适配，旨在实现设计与后续各阶段管理的有效衔接。首先，基于规划目标明确设计原则。综合考虑工程功能实现、施工便利性、运维经济性与生态兼容性等多方面因素，采用先进的数字化建模技术构建三维设计模型。通过开展方案仿真模拟与优化，提前发现并解决潜在问题，减少设计漏洞。其次，建立完善的设计质量管控体系。严格执行设计标准与规范，加强设计图纸审核与交底工作，确保设计文件准确完整。同时，预留运维、改造及退役环节的设计空间，为工程全生命周期管理提供便利。最后，衔接全周期管理要求。将施工工艺、质量标准、安全防

控、运维需求等要素融入设计方案,编制全生命周期设计说明书,明确各阶段设计衔接要点与管理责任。此外,设计期需加强与建设、施工、运维单位的沟通协作,充分吸纳各方意见,提升设计方案的实操性与适配性。

3.3 建设期实施路径

建设期实施路径以质量管控为核心,以进度管理为抓手,统筹安全、成本、生态等各项要求,确保工程按标准高效推进。一方面,建立健全施工管理体系。明确各参与方职责,制定详细的施工组织设计、质量管控方案、安全管理制度与进度计划。采用数字化技术实现施工过程动态监测与管控,及时发现并解决施工中的问题。另一方面,强化施工过程管控。严格执行材料进场检验、施工工艺标准与隐蔽工程验收制度,加强施工安全隐患排查与治理,防范安全事故发生。同时,统筹协调进度与成本关系,优化资源配置,避免工期延误与造价超支。注重施工生态保护,落实生态防护措施,减少施工对周边水体、植被的影响。建设期还需加强各阶段验收工作,及时发现并整改问题,做好施工资料归档,为后续运维管理提供完整依据,保障工程建设的顺利进行。

3.4 运维期实施路径

运维期实施路径聚焦长效运维与效能优化,构建智能化、常态化的运维管理体系。首先,建立完善的运维管理制度与标准。明确运维职责、养护流程与考核指标,配备专业运维团队与先进设备,开展常态化养护维修工作,及时处理设备故障与工程隐患,确保工程正常运行。其次,依托智能监测与预警技术、全生命周期数据管理技术,实现工程运行状态实时监测、数据精准分析与风险提前预警。通过智能化手段提升运维决策科学性与时效性,提前发现潜在问题并采取措施。同时,定期开展工程效能评估,结合水资源调度需求与工程运行状态,优化运维方案与调度策略,提升工程综合效益。另外,加强运维人员培训,提升专业技能与应急处置能力,建立应急响应机制。针对暴雨、洪水等突发情况制定应急预案并开展演练,确保工程在复杂工况下稳定运行,延长工程服役寿命,实现工程的高效运维。

3.5 退役期实施路径

退役期实施路径以安全处置、生态修复为核心,实现工程有序退出与环境友好。开展全面细致的退役评估工作。组织专家对工程结构安全、生态影响、资源回收价值等进行全面评估,综合考虑各方面因素制定科学的退役处置方案。明确拆除范围、工艺、时序及生态修复要求,确保退役工作有序进行。严格执行退役处置流程^[4]。采用环保型拆除工艺,加强施工安全管控与环境监测,避免拆除过程中产生二次污染。对可回收材料进行资源化利用,降低资源浪费,实现资源的循环利用。落实生态修复措施。针对工程退役后留下的场地、设施,开展植被恢复、水体治理、土壤修复等工作,恢复区域生态功能,确保符合生态保护要求。退役期还需做好安全管控与舆情引导,防范拆除过程中安全事故发生。及时公开退役处置与生态修复情况,接受社会监督,实现工程退役与生态保护、公共安全的协同推进,为区域生态环境改善做出贡献。

结束语

水利工程全生命周期管理是一项复杂且系统的工程,涉及多阶段、多要素与多技术。通过明确理论框架、掌握关键技术并落实各阶段实施路径,可实现工程全周期的科学管理。这不仅有助于提升工程的安全性、可靠性与经济性,还能降低对生态环境的影响,实现水利工程的可持续发展。未来,随着技术的不断进步与管理理念的持续创新,水利工程全生命周期管理将更加完善,为我国水利事业的高质量发展提供坚实保障,更好地服务于国家经济社会发展与人民生活需求。

参考文献

- [1]马越.水利工程全生命周期管理信息化技术应用挑战[J].模型世界,2025(3):207-209.
- [2]刘星,张谭月,孙玥.上海地区水利工程全生命周期管理情况分析[J].珠江水运,2023(5):53-55.
- [3]蒋茜.水利工程全生命周期造价管理及其优化策略[J].水上安全,2025(4):100-102.
- [4]张黎希.基于BIM+GIS的水利工程数字孪生全生命周期管理技术探析[J].电子元器件与信息技术,2025,9(5):218-220.