

水利水电工程安全管理与技术管理协同优化研究

江活芳

日成（广东）水务建设股份有限公司，广东 广州 510470

DOI:10.61369/WCEST.2025020005

摘 要： 阐述水利工程安全管理与技术管理问题，包括安全风险评估不科学等及技术管理进步与局限。强调系统工程方法论下两者的耦合关系，介绍基于区块链的数据共享等创新，还提及协同优化模型应用及效果分析，指出其理论与实践价值及研究方向。

关 键 词： 水利工程；安全管理；技术管理

Research on Collaborative Optimization of Safety Management and Technical Management in Water Conservancy and Hydropower Engineering

Jiang Huofang

Nicheng (Guangdong) Water Construction Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510470

Abstract： This article elaborates on the safety and technical management issues of water conservancy engineering, including unscientific safety risk assessment and the progress and limitations of technical management. Emphasize the coupling relationship between the two under the methodology of systems engineering, introduce innovations such as data sharing based on blockchain, and also mention the application and effect analysis of collaborative optimization models, pointing out their theoretical and practical value and research directions.

Keywords： water conservancy engineering; safety management; technical management

引言

水利工程在国民经济中具有重要地位，其安全管理与技术管理至关重要。随着2021年《水利工程建设标准强制性条文》等政策的颁布实施，对水利工程质量和安全管理提出了更高要求。然而，当前水利工程在安全管理方面存在风险评估不科学、事故预防体系不完善等问题，技术管理也面临应用局限、标准更新滞后等困境。系统工程方法论强调安全管理与技术管理相互耦合，且从全生命周期视角看，水利工程有质量、安全与技术协同需求。在此背景下，探讨水利工程安全管理与技术管理的协同优化具有重要意义。

一、水利水电工程安全管理与技术管理现状分析

（一）水利工程安全管理现状及问题

水利工程安全管理具有系统性、复杂性等特征。在安全风险评估方面，存在评估方法不够科学准确的问题，不能全面涵盖各类潜在风险因素^[1]。事故预防体系也不完善，缺乏对一些新型风险的有效预防措施，应急预案的实用性和可操作性有待提高。人员培训机制存在不足，培训内容可能与实际工作需求脱节，缺乏针对性和实效性，不能有效提升人员的安全意识和技能水平。这些问题严重影响了水利工程的安全运行，需要进一步研究和解决。

（二）水利工程技术管理发展现状

随着科技的不断发展，水利工程技术管理也在逐步进步。BIM技术在水利工程中的应用已取得一定进展，它能够实现水利工程的三维可视化建模，为工程设计、施工和管理提供更直观的

依据^[2]。然而，其应用仍存在一些局限，如在复杂地质条件下模型的准确性有待提高。物联网监测系统也逐渐应用于水利工程，可实时监测工程的各项参数，如水位、流量等，但在数据传输的稳定性 and 安全性方面还需进一步完善。同时，技术标准更新滞后问题较为突出，无法满足当前水利工程快速发展的需求，制约了技术管理水平的提升。数字化转型过程中，也面临着数据整合困难、专业人才短缺等痛点。

二、协同优化的理论基础与需求分析

（一）系统理论与协同管理原理

系统工程方法论强调从整体出发，综合考虑各子系统及其相互关系。在水利项目管理中，将安全管理与技术管理视为两个重要子系统。安全管理涉及人员、设备、环境等多方面的安全保障措施，技术管理则侧重于工程技术的应用与创新。这两个子系统

相互耦合，相互影响。一方面，安全管理为技术管理提供稳定的实施环境，确保技术操作符合安全规范；另一方面，技术管理为安全管理提供技术支持，通过先进的技术手段提高安全管理的效率和准确性。例如，采用先进的监测技术可以及时发现安全隐患，为安全管理决策提供依据。这种耦合关系体现了系统理论中整体大于部分之和的思想，只有协同优化安全管理与技术管理，才能实现水利水电工程的高效、安全运行^[3]。

（二）水利工程协同管理需求特征

水利工程具有自身独特的需求特征，从全生命周期视角出发，质量、安全与技术协同需求显著。其环境复杂性包括自然环境和社会环境等多方面因素。在自然环境方面，地形、地质、水文等条件复杂多变，对工程质量和安全带来诸多挑战，需要技术手段不断优化来适应和克服这些困难^[4]。社会环境涉及移民安置、生态保护等问题，这些都要求在工程管理中综合考虑质量、安全和技术因素，确保工程不仅满足功能需求，还能符合可持续发展的要求，因此协同管理至关重要。

三、安全管理与技术管理协同优化模型构建

（一）协同机制设计

1. 信息共享机制构建

建立基于区块链的安全数据共享平台，可确保水利水电工程安全管理与技术管理中的数据准确性和实时性。区块链的分布式账本技术能有效防止数据篡改，保障信息的真实性和可靠性^[5]。通过该平台，安全隐患排查信息可及时上传并共享。技术部门能依据这些信息迅速对技术方案进行评估和调整，实现隐患排查与技术方案的联动更新。例如，当发现某水工建筑物存在安全隐患时，安全管理人员将相关数据上传至平台，技术人员立即获取并分析，结合最新的技术手段对原有的维护或修复技术方案进行优化，从而提高工程的安全性和可靠性。

2. 流程协同机制创新

安全审查与技术验证的并行处理流程是协同机制的关键创新点。在水利水电工程中，安全审查关乎工程的稳定性和人员安全，技术验证则确保施工技术的可行性和有效性。两者并行处理，可避免因顺序处理导致的时间浪费和信息不对称。同时，制定施工方案动态优化规则也至关重要。施工过程中，随着环境和条件的变化，原施工方案可能不再适用。通过动态优化规则，能够及时调整方案，确保安全管理与技术管理的协同性。这种流程协同机制创新能够提高工程效率，保障工程质量和安全^[6]。

（二）协同优化模型开发

1. 多目标决策模型构建

融合安全风险指数与技术可行性指标，建立考虑资源约束的优化函数。安全风险指数反映工程可能面临的安全隐患程度，技术可行性指标则体现技术方案实施的难易与合理程度。在实际水利水电工程中，需综合考虑资源的有限性，如资金、人力、时间等。通过构建优化函数，使安全管理与技术管理在满足资源约束条件下达到协同优化。该函数应以降低安全风险、提高技术可行

性为目标，同时合理分配资源，确保工程的顺利进行与可持续发展^[7]。

2. 数字孪生系统集成

基于 BIM - GIS 的协同管理平台开发是实现水利水电工程安全管理与技术管理协同优化的关键。该平台集成数字孪生系统，可对工程实体进行精准映射^[8]。通过 BIM 的三维建模能力，构建工程的详细虚拟模型，包含结构、设备等信息。GIS 则提供地理空间数据支持，实现工程与周边环境的一体化呈现。在此基础上，利用数据挖掘与分析技术，对工程运行数据进行实时监测与分析。当出现异常情况时，能够及时发出安全预警，并为技术调度提供可视化决策依据。例如，根据实时水位数据和工程结构状态，合理安排泄洪操作等技术措施，确保工程安全稳定运行。

四、协同优化模型的应用验证

（一）案例工程概况

1. 工程基本参数

以大渡河大岗山水电站为例，该水库枢纽工程地质条件极为复杂，存在多条断层破碎带及大面积岩溶发育区，施工过程中需克服诸多地质难题。大坝为混凝土双曲拱坝，最大坝高 210 米，水库总库容 7.42 亿立方米，装机容量 260 万千瓦。施工难点主要集中在大坝基础处理、地下洞室开挖支护以及混凝土浇筑等方面。基础处理工程量大，需处理的断层破碎带长度超过 500 米；地下洞室群规模宏大，开挖支护难度高，洞室总长度超过 20 公里；大坝混凝土浇筑需在低温环境下进行，对混凝土的性能和施工工艺要求极高^[9]。既有管理模式较为传统，在安全管理与技术管理的协同方面存在明显不足，安全管理多侧重于事故后的处理，技术管理则侧重于施工技术的应用，两者缺乏有效的沟通与协调机制，导致工程建设过程中出现一些安全隐患和技术问题，影响了工程的进度和质量。

2. 协同管理痛点

该水利水电工程在防汛调度与结构安全监测的协同管理方面存在诸多痛点。在信息传递上，防汛调度部门与结构安全监测部门之间缺乏实时、有效的信息共享机制，导致数据更新不及时，影响决策的准确性^[10]。在职责划分上，存在部分工作内容交叉重叠，同时又有一些关键环节职责不清的情况，容易出现推诿扯皮现象。在技术应用上，两个部门所采用的技术手段和标准存在差异，难以实现有效的协同工作，例如防汛调度可能更侧重于水文数据的分析，而结构安全监测则注重工程结构的物理参数监测，两者数据融合困难。这些痛点严重影响了工程的安全管理与技术管理的协同效果，亟待解决。

（二）模型应用过程

1. 实施路径设计

制定分阶段实施方案是水利水电工程安全管理与技术管理协同优化模型应用的关键路径。设备部署方面，需依据工程实际需求与协同优化目标，合理配置安全监测设备与技术管理相关设备，确保设备间的兼容性与数据传输的稳定性。数据对接环节，

要建立统一的数据标准与接口，实现安全管理数据和技术管理数据的高效整合与实时共享，为协同分析提供准确的数据支持。人员培训计划应围绕模型应用所需的知识与技能展开，包括安全管理规范、技术管理流程以及协同优化理念等内容，提高人员对模型应用的操作能力和理解程度，保障协同优化工作的顺利实施。

2. 动态调整机制

水利水电工程在汛期安全监测数据驱动下，技术参数实时优化过程遵循动态调整机制。通过对监测数据的实时采集与分析，获取工程关键部位的实际运行状态信息。依据这些信息，结合协同优化模型，对技术参数进行动态调整。例如，当监测到水位变化超出正常范围时，模型会根据相关算法对大坝的泄洪参数进行调整，确保大坝安全。同时，对于其他相关技术参数，如混凝土的抗压强度要求、设备的运行参数等，也会根据实际情况和模型的优化结果进行相应调整，以实现水利水电工程安全管理与技术管理的协同优化。

（三）应用效果评价

1. 定量效果分析

通过对比实施协同优化模型前后水利水电工程的安全事故率和工程返工率等核心指标来进行定量效果分析。实施前，安全事故率可能受多种因素影响处于较高水平，如人员操作不规范、技术管理漏洞等。工程返工率也因安全管理与技术管理未能有效协同，导致施工过程中出现较多质量问题而居高不下。实施协同优化模型后，由于安全管理与技术管理的协同作用，安全事故率显著下降。各项安全措施能更好地落实，人员的安全意识和操作规范程度提高。同时，工程返工率也大幅降低，技术管理的优化使

得施工过程更加科学合理，质量问题减少，从而验证了协同优化模型在水利水电工程中的良好应用效果。

2. 定性效益评估

从管理效率提升角度看，协同优化模型应用后，水利水电工程各部门间信息传递更加及时准确，减少了因沟通不畅导致的工作延误。例如，工程进度信息能实时共享，施工部门可据此合理安排人力物力，提高了资源利用效率。在应急响应能力增强方面，模型使得应急预案的启动和执行更加高效。一旦出现安全隐患或突发事件，相关部门能迅速联动，按照预定方案快速响应。同时，通过协同优化，安全管理和技术管理的融合度提高，管理人员能更好地运用技术手段解决安全问题，技术人员也能更深入地了解安全需求，从而提升了整个工程的安全保障水平。

五、总结

水利水电工程安全管理与技术管理协同优化具有重要的理论与实践价值。从理论层面看，它丰富了工程管理的理论体系，为深入理解管理要素间的相互关系提供了新视角。在实践方面，有助于提高工程的安全性和效率，保障工程顺利运行。所构建的模型在复杂水利工程中具有普适性应用前景，能够为不同类型和规模的水利水电工程提供有效的管理指导。然而，研究还有待进一步深化。例如，在极端气候适应方面，需探索如何更好地应对气候变化带来的挑战，确保工程安全。同时，智能算法融合方向也值得关注，通过融合先进算法，可进一步提升管理的科学性和精准性，为水利水电工程的可持续发展提供更有力的支持。

参考文献

- [1] 高忻. 水利水电工程中的风险评估与安全管理 [J]. 电脑爱好者 (电子刊), 2021(12): 4361-4362.
- [2] 郑丽娟. 水利水电工程施工安全评价与管理系统研究 [D]. 河北农业大学, 2015.
- [3] 张唤娣. 基于 NKC 模型的技术管理与技术能力协同关系研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2013.
- [4] 寇灵芝. 技术管理与技术能力协同对新产品开发绩效的影响研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2019.
- [5] 白相逵. 云信息技术环境下水利水电工程的施工安全管理与提升策略 [J]. 科技资讯, 2019, 17(11): 86, 88.
- [6] 李洪. 浅谈水利工程施工安全技术管理 [J]. 魅力中国, 2017(21): 211.
- [7] 王子良. 水利工程施工安全技术管理 [J]. 水利科技与经济, 2016, 22(4): 103-104.
- [8] 李艳梅. 浅谈水利工程施工安全技术管理 [J]. 中国科技投资, 2017(2): 114.
- [9] 程雄辉. 浅谈水利工程施工安全技术管理 [J]. 房地产导刊, 2017(33): 129.
- [10] 朱彦臣. 水利工程施工安全技术管理 [J]. 建筑工程技术与设计, 2016(24): 2047.