

浅谈水利工程运行安全管理

李尧 孟思 李志强

河北省桃林口水库事务中心

DOI:10.12238/etd.v6i8.17090

[摘要] 水利工程运行安全管理关乎民生与生态安全。本文阐述其理论基础,涵盖核心概念及风险矩阵等理论支撑。分析现状,我国法规体系渐趋完善、责任划分明确,但面临自然、人为、技术及制度等多重挑战。进而提出关键策略,包括构建风险识别评估体系、实施全生命周期管理、应用智能化信息化技术,以及强化应急管理 with 公众教育。旨在为提升水利工程运行安全管理水平,保障其稳定高效运行提供参考。

[关键词] 水利工程; 运行安全管理; 关键策略

中图分类号: TV698 文献标识码: A

Discussion on Operation Safety Management of Hydraulic Engineering

Yao Li Si Meng Zhiqiang Li

Hebei Taolinkou Reservoir Affairs Center

[Abstract] The operation safety management of hydraulic engineering is crucial for people's livelihoods and ecological security. This paper elaborates on its theoretical foundation, covering core concepts and theoretical supports such as risk matrices. The current situation is analyzed: China's regulatory system is gradually improving with clear responsibility division, but it faces multiple challenges including natural, human, technical, and institutional aspects. Key strategies are proposed, including establishing a risk identification and assessment system, implementing full lifecycle management, applying intelligent and information technologies, and strengthening emergency management and public education. The aim is to provide references for enhancing the operation safety management level of hydraulic engineering and ensuring its stable and efficient operation.

[Key words] Hydraulic Engineering; Operation Safety Management; Key Strategies

引言

水利工程作为国家基础设施的关键构成,在防洪、灌溉、供水、发电等诸多领域发挥着不可替代的作用,其运行安全直接关系到人民群众生命财产安全与经济社会稳定发展。然而,水利工程运行周期长,面临着复杂多变的自然环境、日益增长的使用需求以及不断更新的技术挑战。一旦运行管理出现疏漏,极有可能引发严重后果。因此,深入探讨水利工程运行安全管理,探寻科学有效的管理策略,具有重要的现实意义。

1 水利工程运行安全管理的理论基础

1.1 安全管理的核心概念

(1) 定义与内涵: 水利工程运行安全管理是指在工程投入使用后,通过系统性措施保障工程稳定运行的管理活动,涵盖三大核心维度。工程结构安全聚焦堤坝、渠道、泵站等主体结构的完整性,防范裂缝、渗漏、沉降等隐患;设备运行安全针对启闭机、发电机组、监测仪器等设备,确保其性能稳定、无故障运行;人员操作安全强调规范管理人员与作业人员的操作流程,避免

人为失误引发安全事故,三者共同构成运行安全管理的核心内涵。(2) 与水利工程建设期安全管理的区别与联系: 区别在于,建设期安全管理侧重施工过程中的人员防护、临时设施安全及施工质量管控,周期较短且目标集中;运行期管理则聚焦长期使用中的风险防控,周期贯穿工程使用寿命,更注重动态监测与应急响应。联系体现在二者均以“安全”为核心目标,建设期质量是运行期安全的基础,运行期管理可反向反馈建设期存在的问题,形成安全管理闭环。

1.2 相关理论支撑

(1) 风险矩阵理论: 通过“可能性-后果严重程度”二维矩阵,对水利工程运行中的风险(如洪水、设备老化、地质灾害)进行量化评估,划分风险等级(低、中、高、极高)。例如,将“闸门故障”的可能性与“下游农田淹没”的后果结合,确定风险等级,为优先采取管控措施提供依据,提升风险管控的针对性。(2) 全生命周期管理理论: 将水利工程运行阶段纳入全生命周期(规划-建设-运行-退役),强调运行期与其他阶段的协同。在运行中

持续监测工程状态,结合建设期数据制定维护计划,同时为退役阶段的安全拆除提供基础数据,实现工程全阶段安全可控。(3)韧性工程理论:核心是提升工程在面对突发风险(如极端暴雨、地震)时的“抵御-恢复-适应”能力。通过优化应急预案、增强设备冗余度、建立快速响应机制,使工程在风险发生后能快速恢复运行,减少损失,例如水库在遭遇超标洪水时,通过预泄调度与应急加固保障大坝安全^[1]。

2 水利工程运行安全管理的现状与挑战

2.1 我国水利工程运行安全管理的现状

(1)法规政策体系:我国已构建以专项条例为核心、行业规程为支撑的水利工程运行安全法规框架。《水库大坝安全管理条例》明确大坝安全鉴定、巡查监测、应急处置等核心要求,为水库类工程运行划定底线;《水利工程安全管理规程》则从技术层面规范工程日常维护、设备检修、人员操作等流程,覆盖堤坝、泵站、灌区等多类型工程。此外,近年陆续出台的《水利安全生产监督管理办法》《水旱灾害防御条例》等文件,进一步完善风险防控与应急响应条款,形成“条例+规程+办法”的多层级法规体系。(2)管理主体与责任划分:当前实行“政府监管、企业运维、第三方协同”的责任体系。政府层面(水利、应急管理部门)负责制定政策、监督检查与应急统筹,如省级水利部门定期开展工程安全督查;企业层面(工程管理单位)承担直接运维责任,负责日常巡查、设备维护与人员管理,是运行安全的第一责任人;第三方机构(安全评估、监测技术公司)提供专业支撑,如开展大坝安全鉴定、安装智能监测设备,辅助企业识别风险,三者分工明确且相互衔接。

2.2 现存问题与挑战

(1)自然因素:极端天气与地质灾害频发加剧运行风险。近年超强台风、特大暴雨导致部分中小型水库超汛限水位,堤坝出现管涌;西南地区地震、滑坡等地质灾害威胁库区边坡稳定;同时,气候变化引发的水文节律紊乱,如枯水期延长、汛期流量波动增大,打破工程原设计运行条件,增加调度难度。(2)人为因素:多类人为问题削弱安全保障能力。部分老旧工程存在设备老化问题,如20世纪修建的泵站电机、启闭机超期服役,故障频发;少数人员操作不规范,如违规简化闸门启闭流程,曾引发渠道漫溢;部分管理单位压缩维护经费,导致日常检修流于形式;此外,基层管理队伍人员老龄化、专业能力不足,也影响风险识别与处置效率。(3)技术因素:技术应用存在“监测碎片化、智能化不足”的短板。中小型工程仍依赖人工巡查,监测精度低、覆盖范围有限;部分工程虽安装监测设备,但数据分散在不同系统(如渗压监测系统、位移监测系统),无法实现整合分析;智能预警技术应用滞后,多数工程未建立“数据采集-风险研判-自动预警”的闭环,难以快速响应突发风险。(4)制度因素:制度执行与协同存在漏洞。部分地区因工程产权复杂,出现“多头管理、责任推诿”现象,如跨界河流堤坝的维护责任界定模糊;应急机制不完善,部分县级工程应急预案缺乏实战演练,物资储备不足;公众参与渠道狭窄,周边群众对工程安全风险的知情权、监

督权未充分保障,难以形成社会监督合力^[2]。

3 水利工程运行安全管理的关键策略

3.1 风险识别与评估体系构建

(1)动态风险评估模型:整合多技术手段构建实时动态评估模型,通过GIS(地理信息系统)叠加工程区域地质、水文、气象数据,划定风险敏感区域(如库区滑坡易发段、堤坝渗漏风险区);利用高分辨率遥感技术定期监测工程周边环境变化,识别植被退化、岸线侵蚀等潜在风险源;部署物联网(IoT)传感器网络,实时采集坝体位移、渗压、水位等关键数据,传输至云端平台与预设阈值对比分析。模型可根据数据变化自动更新风险等级,例如暴雨天气时,结合降雨量数据动态提升堤坝管涌风险评估等级,为提前干预提供依据,打破传统“静态评估”的局限性。(2)隐患排查与分级管理机制:建立“日常排查-专项排查-年度排查”三级隐患排查体系,日常排查由运维人员每日开展,重点检查设备运行状态、堤坝表面有无裂缝;专项排查针对极端天气后(如台风、地震)或高风险时段(如汛期),组织专业团队排查结构安全与隐蔽隐患;年度排查联合第三方机构进行全面检测,形成隐患清单。同时,按“风险程度+整改难度”将隐患分为“重大、较大、一般”三级,重大隐患(如坝体深层渗漏)由政府部门挂牌督办,明确整改时限与责任主体;较大隐患(如设备故障)由管理单位制定专项方案限期整改;一般隐患(如巡查通道破损)纳入日常维护计划,实现隐患闭环管理^[3]。

3.2 全生命周期安全管理

(1)设计阶段:在工程设计初期融入安全冗余理念,如大坝坝体增设防渗墙厚度、泵站配备备用发电机组,提升极端条件下的抗风险能力;开展多场景抗灾能力评估,利用水文模型模拟百年一遇洪水、50年一遇地震等极端事件对工程的影响,优化结构设计参数,例如针对北方地区水库,设计时考虑冬季冻融对坝体的破坏,采用抗冻混凝土材料,从源头降低运行期安全风险。(2)运行阶段:制定标准化巡检流程,明确巡检路线、频次与记录要求,例如大型水库实行“每日2次人工巡检+24小时智能监测”,确保隐患早发现;建立设备全生命周期台账,根据设备使用年限与性能衰减规律,制定更新计划,如启闭机使用15年后强制进行性能检测,超标设备及时更换;定期开展人员培训,内容涵盖操作规范、应急处置、新技术应用(如智能监测设备使用),每季度组织实操考核,不合格人员暂停上岗,提升管理团队专业能力^[4]。(3)退役阶段:工程退役前制定专项方案,优先开展生态修复,如水库退役后拆除堤坝时,对库底淤泥进行无害化处理,恢复河道自然水文形态;推动资源循环利用,老旧泵站的电机、钢材等可回收部件经检测合格后用于小型水利工程,减少浪费;同时,开展退役工程安全评估,防范拆除过程中坍塌、污染等风险,确保退役环节安全可控且符合生态环保要求。

3.3 智能化与信息化技术应用

(1)大数据与AI在监测预警中的应用:构建工程结构健康监测系统,整合多源数据(位移、应力、水文、气象),通过大数据分析挖掘数据关联规律,例如利用AI算法识别坝体位移数据中

的异常波动,区分“正常变形”与“风险变形”;建立智能预警模型,当数据超出安全阈值时,自动向管理人员发送预警信息(如短信、APP推送),并同步给出处置建议(如开启溢洪道、加固坝体),例如某水库通过该系统提前4小时预警坝体渗漏风险,避免事故扩大。(2)数字孪生技术(DigitalTwin)模拟工程运行状态:搭建与实体工程1:1的数字孪生模型,实时映射工程运行数据,可模拟不同场景下的工程响应,如模拟暴雨天气下水库水位变化、闸门启闭对下游的影响,辅助制定调度方案;同时,利用数字孪生模型开展虚拟运维,在模型中模拟设备检修、隐患整改过程,优化实操流程,减少实体工程停机时间,例如南水北调工程通过数字孪生技术模拟渠道渗漏修复,缩短实际施工工期30%。(3)无人机与机器人巡检技术:针对工程复杂区域(如高坝坝顶、狭长渠道),采用无人机巡检,搭载高清相机、红外热像仪,快速识别坝体裂缝、渗漏点,相比人工巡检效率提升5倍以上;在水下区域(如水库库底、泵站进水口)部署水下机器人,检测结构腐蚀、淤积情况,避免人员水下作业风险;部分工程实现“无人机+机器人”协同巡检,数据实时回传至指挥中心,形成“空中-地面-水下”立体巡检网络^[5]。

3.4 应急管理与公众教育

(1)应急预案制定与演练:制定“国家-省-市-县”四级应急预案体系,明确不同级别风险的响应流程,如一般险情(如设备小故障)由管理单位自主处置,重大险情(如坝体溃决风险)启动省级应急响应,协调消防、医疗、军队等力量支援;预案内容需细化责任分工、物资储备、疏散路线,例如水库应急预案中明确“预警发布-人员转移-抢险施工”各环节责任人与时间节点。同时,每半年至少开展1次实战演练,模拟不同险情场景(如洪水漫坝、闸门故障),检验预案可行性,提升团队协同处置能力,2024年某省通过水库应急演练,成功缩短险情处置时间至40

分钟。(2)公众安全意识提升与社区参与模式:通过多渠道开展公众教育,在工程周边村庄、学校张贴安全警示标语,利用短视频平台(抖音、快手)发布水利安全知识(如“水库周边禁止游泳”“险情如何自救”);定期组织“水利工程开放日”活动,邀请公众参观监测中心、了解运行流程,增强安全认知。建立社区参与机制,在工程周边社区招募“安全观察员”,培训后协助开展日常隐患排查(如发现堤坝裂缝及时上报);设立24小时举报热线,鼓励公众反馈安全问题,形成“管理单位+社区+公众”的协同管理格局,提升工程运行安全的社会监督力度。

4 结束语

水利工程运行安全管理是一项长期且艰巨的系统工程,涉及技术、管理、人员等多方面要素。本文虽围绕其理论基础、现状挑战及关键策略展开探讨,但随着时代发展与技术革新,水利工程运行环境更趋复杂。未来,需持续完善管理制度,强化技术创新应用,提升人员专业素养,构建政府、企业、社会协同共管格局。唯有如此,才能切实保障水利工程安全稳定运行,为经济社会的可持续发展筑牢坚实根基。

[参考文献]

- [1]崔建华,李晶.水利工程安全运行与管理现代化探讨[J].中国高新区,2020,(09):101-102.
- [2]李春红.水利工程建设与运行管理有机结合的措施浅析[J].南方农业,2020,14(35):187-188.
- [3]李韧,曲策.沧州市水利工程运行管理存在问题及创新途径[J].河北水利,2020,(12):34-35.
- [4]王俊杰,李政,陈金木.现行水利工程运行管理法规评估情况与建议[J].中国水利,2020,(16):49-51.
- [5]曾鹏,毛旗,张兴健.水利工程运行管理及维护探讨[J].湖南水利水电,2020,(06):88-89.