

水电站运行管理与水利堤防安全维护

王伟

黄河万家寨水利枢纽有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i6.4844

[摘要] 水电站作为国家能源体系和水资源综合利用的关键基础设施,其安全稳定运行不仅关乎电力供应,更与下游广大区域的防洪安全、生态平衡及经济社会发展休戚相关。水利堤防则是抵御洪水灾害的第一道防线,直接关系到人民生命财产安全。本文旨在系统探讨水电站运行管理与水利堤防安全维护之间的内在联系、协同机制与面临的共同挑战。文章首先剖析了水电站运行管理的核心要素,包括调度优化、设备健康监测与维护、水库泥沙管理及应急管理;其次,深入论述了水利堤防安全维护的关键技术与策略,涵盖隐患排查、除险加固、信息化监控及生态化建设。在此基础上,重点分析了二者在防洪调度、水沙调控、信息共享及应急联动等方面的协同作用,以期为保障国家水安全与能源安全提供理论支撑与实践路径。

[关键词] 水电站; 运行管理; 水利堤防; 安全维护; 协同机制; 智慧水利

中图分类号: TV7 **文献标识码:** A

Operation Management of Hydropower Stations and Safety Maintenance of Water Conservancy Embankments

Wei Wang

Yellow River Wanjiashai Water Control Project Co., Ltd.

[Abstract] As critical infrastructure in the national energy system and comprehensive utilization of water resources, the safe and stable operation of hydropower stations is not only related to power supply but also closely linked to flood control safety, ecological balance, and socio-economic development in downstream regions. Water conservancy embankments serve as the first line of defense against flood disasters and are directly tied to the safety of people's lives and property. This paper aims to systematically explore the intrinsic connections, collaborative mechanisms, and common challenges between hydropower station operation management and water conservancy embankment safety maintenance. First, the core elements of hydropower station operation management are analyzed, including dispatching optimization, equipment health monitoring and maintenance, reservoir sediment management, and emergency management. Second, key technologies and strategies for water conservancy embankment safety maintenance are discussed in depth, covering hazard identification, risk elimination and reinforcement, informatized monitoring, and ecological construction. On this basis, the synergistic effects of the two in flood control dispatching, water and sediment regulation, information sharing, and emergency coordination are emphasized, aiming to provide theoretical support and practical pathways for ensuring national water security and energy security.

[Key words] Hydropower stations; Operation management; Water conservancy embankments; Safety maintenance; Collaborative mechanisms; Smart water conservancy

引言

水是生命、生产、生态之基,在全球气候变化背景下,水资源利用与灾害防御成重大课题。水电站和水利堤防是水利工程两大支柱,水电站“兴利”,将水能转化为电能,其水库在防洪、灌溉等方面作用不可替代;水利堤防“除害”,保护沿岸免受洪

水侵袭。不过,二者并非孤立,是高度耦合、相互影响的有机整体。水电站调度运行影响下游河道,进而影响堤防稳定性;堤防安全状况决定水电站汛期调蓄削峰功能。运行失当或堤防出险,易引发连锁反应,造成灾难。因此,要打破将二者割裂的思维定式,从系统工程角度,研究其内在关联、协同机制与集成管理模

式,这对提升流域水安全保障能力、实现水资源可持续利用意义重大,本文将围绕此展开论述。

1 水电站运行管理的核心内涵

水电站的运行管理是一项复杂的系统工程,其目标是在确保工程自身安全的前提下,实现发电效益最大化与综合效益最优化。其核心内涵主要包括以下几个方面:

1.1 科学调度与优化运行

调度是水电站运行管理的“大脑”,其科学性决定工程综合效益。现代水电站调度面临多维约束,需寻求最优解。汛期,防洪调度是首要任务,通过预泄腾库、拦洪错峰等精细化操作,降低下游水位,保障堤防安全。这依赖精准气象水文预报、实时入库流量监测及对下游堤防承载能力的动态评估。非汛期或汛期风险低时,调度核心转向发电效益最大化,需依据电网负荷、电价信号和未来来水预测,优化机组组合与出力计划。同时,生态文明建设使生态调度愈发重要,在鱼类繁殖等生态敏感期,下泄特定流量,模拟自然水文节律,维系下游生态功能。当代水电站调度精髓在于多目标协同平衡,在确保防洪安全前提下,借助先进模型和算法,兼顾发电、供水、生态等需求,实现水资源高效可持续利用。

1.2 设备健康监测与预防性维护

水电站机电设备与水工建筑物是安全运行的基础,其健康状况至关重要。传统“坏了再修”模式已不适用,现代采用以状态感知为核心的预防性、预测性维护体系。该体系依托全面智能感知网络,在关键设备和水工结构布设多种传感器,实现7×24小时不间断监控。海量监测数据经大数据分析、人工智能等技术深度挖掘,建立数字模型,能及时发现异常、预测故障趋势,将维护从“事后补救”转为“事前预警”和“精准干预”^[1]。在此基础上,建立设备全生命周期管理档案,制定合理检修、更新和改造计划,确保电站系统处于最佳技术状态,杜绝安全事故。

1.3 水库泥沙管理

泥沙淤积威胁水库有效库容和水电站长期运行,有效泥沙管理是与自然规律的博弈。首先要通过多种手段动态、精准掌握库区泥沙淤积形态、速率和空间分布,这是制定管理策略的前提。在此基础上,采取“蓄清排浑”“异重流排沙”“人工扰沙”等主动调度方式,在合适时机开启专门设施,排出入库泥沙,延缓有效库容衰减。同时,泥沙管理不能仅关注水库,水库拦截泥沙后“清水”下泄会对下游河道产生冲刷,危及堤防安全,如三峡工程建成后长江中下游部分河段显著冲刷。因此,水库泥沙调度方案要与下游河道演变规律和堤防安全状况统筹考量,形成上下游联动综合治理格局。

1.4 应急管理体系建设

面对地震、地质灾害、超标准洪水等“黑天鹅”事件,健全高效的应急管理体系是水电站安全最后防线。其基石是详尽可操作的应急预案,要针对各类风险场景,明确应急组织架构、响应流程、处置措施和资源调配方案。预案需定期组织实战演练,

检验有效性,磨合部门协同,提升一线人员处置能力和心理素质。此外,充足应急物资储备和专业抢险队伍是预案成功执行的物质保障,确保关键时刻降低突发事件损失。

2 水利堤防安全维护的关键策略

水利堤防的安全维护是一项长期、动态且技术密集的工作,其核心在于“以防为主、防治结合”。

2.1 常态化隐患排查与风险评估

堤防隐患往往深藏于土石之下,具有极强的隐蔽性和突发性,唯有坚持常态化的精细排查,方能将其扼杀于萌芽。这既包括在非汛期和汛期组织专业人员及群众进行的定期与不定期徒步巡查,依靠人眼和经验捕捉堤身裂缝、渗漏、管涌、滑坡乃至白蚁巢穴等细微的险情征兆;更离不开地质雷达(GPR)、高密度电法、分布式光纤传感(DTS/DAS)、无人机航拍以及InSAR(合成孔径雷达干涉测量)等现代无损探测技术的广泛应用。这些技术如同为堤防做“CT扫描”,能够穿透表层,精准定位内部空洞、松散体等潜在病灶^[2]。在此基础上,还需建立科学的风险评估模型,综合考虑堤防的历史险情记录、当前工程结构状况、所保护对象的重要性等多重因素,对堤防进行风险等级划分,从而实施差异化、精准化的管理策略,将有限的资源优先投向风险最高的薄弱环节。

2.2 系统性除险加固与生态化建设

对于排查出的病险堤段,必须采取系统性的工程措施予以根治。传统的加固技术,如加高培厚堤身、构筑混凝土或高喷灌浆防渗墙、采用格宾网或生态混凝土进行护坡护岸、运用振冲碎石桩或深层搅拌桩处理软弱堤基等,依然是提升堤防抗冲、抗渗和整体稳定性的有效手段。然而,随着生态文明理念的深入人心,单纯的“硬化、渠化”堤防模式已显落后。现代堤防建设正积极倡导“近自然”的治河理念,通过采用植被缓冲带、根系固土等生态护岸形式,设置生态鱼道,并有意识地保留或恢复河滩湿地,力求在确保防洪安全这一核心功能的同时,修复河流的生态廊道,提升生物多样性,实现人水和谐。更进一步,借鉴“韧性城市”的思想,建设具备一定冗余度和自适应能力的“韧性堤防”成为新趋势。例如,科学规划分洪区、滞洪区作为应对超标洪水的“安全阀”,允许堤防在极端情况下发生可控的、局部的漫溢,从而以局部的、可接受的损失,换取对核心城镇和重要基础设施的整体保护。

2.3 信息化与智能化监控

现代信息技术正深刻重塑堤防安全管理的范式。通过在堤防沿线广泛布设水位计、雨量计、渗压计、位移计和视频监控等物联网感知设备,可以构建起一张覆盖全域、实时响应的智能感知网络。以此为基础,利用BIM(建筑信息模型)、GIS(地理信息系统)和三维建模技术,构建堤防的“数字孪生体”,实现物理堤防与其虚拟模型之间的实时映射与交互。最终,将这些感知数据与气象预报、水文模型进行深度融合,开发出智能预警平台。该平台能够自动分析海量信息,一旦监测数据超过预设阈值或模型预测风险显著升高,便能立即发出分级预警,为管理者提供

直观、科学的决策依据,从而将堤防安全管理从被动响应推向主动预防的新阶段。

3 水电站与堤防安全的协同机制

水电站与堤防的安全并非简单的线性关系,而是通过复杂的水文-水力学过程紧密耦合,形成一个动态的协同系统。

3.1 防洪调度的协同联动

防洪调度是水电站与堤防协同最为直接和关键的纽带。其有效运行的前提是信息的无缝互通,水电站调度中心必须实时掌握下游关键堤段的水位、流量、工程状况及预警信息,而堤防管理部门同样需要清晰了解上游水库的蓄泄计划。在此基础上,应在流域层面建立起由水行政主管部门牵头,水电站业主、电网公司、堤防管理单位等多方共同参与的联合调度协调机制。在汛情紧张之际,该机制能够迅速启动会商程序,统一指挥调度,科学决策水库的下泄流量,确保既不会因泄洪过猛而对下游堤防造成毁灭性冲击,也不会因过度蓄水而危及大坝自身的结构安全^[3]。尤为重要的是,这种调度并非僵化的教条,而应具备高度的灵活性,能够根据实时雨水情变化和堤防险情的发展态势,对下泄流量进行动态微调,实现精细化、柔性的协同控制。

3.2 水沙调控的协同效应

水电站的泥沙调度通过改变下游河道的水沙条件,对堤防安全产生深远的间接影响。水库拦截了大部分泥沙后,下泄的水流含沙量极低,形成所谓的“清水”。这种清水具有强大的冲刷能力,长期作用下会导致下游河床普遍下切、岸坡稳定性下降,从而威胁近岸堤防的基础安全。这一现象在大型水库建成后的下游河段屡见不鲜。因此,水电站管理者在制定排沙调度方案时,必须具备全局视野,充分评估其对下游河道冲刷的潜在负面效应。可通过审慎控制下泄流量的过程线,或在特定生态与防洪窗口期进行人工造峰等方式,有意识地调节水流的冲刷强度。与此同时,堤防管理部门也应加强河势演变的动态监测,对那些被识别为易受冲刷影响的堤段,提前部署抛石、沉排等防护工程,形成上下游联动、攻守兼备的水沙调控协同体系。

3.3 信息共享与数据融合

打破部门间的数据壁垒,实现信息的深度融合,是提升协同管理效能的技术基石。当前,由于管理体制分割、数据产权归属不清以及技术标准不统一等原因,水电站的运行数据与堤防的监测数据往往被禁锢在各自的“信息孤岛”中,难以形成合力。为此,亟需建立涵盖水文、气象、工程、地理等多源数据的统一标准和接口规范,并在此基础上,推动建设流域级或区域级的“智慧水利”综合管理平台。该平台能够将水电站的实时运行状态、水库调度指令与堤防的结构健康监测数据、风险图谱、应

急预案等进行有机整合^[4]。最终,通过可视化技术,为决策者呈现一幅全景式的动态作战图,使其能够直观地洞察“上游水库正在如何调度”、“下泄洪水波何时抵达哪个堤段”、“该堤段的风险等级如何”等关键信息,从而做出更为科学、高效的协同决策。

3.4 应急抢险的协同联动

在遭遇超标准洪水或突发工程险情的危急关头,快速、高效的跨部门应急联动能力是挽救危局的关键。这首先要要求水电站的防洪抢险应急预案与下游堤防的防汛应急预案进行深度衔接,明确在何种极端情形下,水电站需要采取紧急关闸、限泄等非常措施,以及堤防的抢险力量如何在必要时对电站进行支援。其次,应建立应急物资、装备和专家队伍的共享与互助机制,例如,水电站拥有的大型工程机械可在堤防告急时迅速投入抢险,而堤防的专业抢险队伍也可在电站面临险情时提供技术支援。为了确保这种联动在实践中真正奏效,必须定期组织跨部门、跨行业的综合性应急演练,通过模拟真实的复合型险情场景,不断磨合协同机制,检验联动预案的实际效能,锻造一支召之即来、来之能战、战之能胜的联合应急力量。

4 结语

水电站运行管理与水利堤防安全维护,犹如一枚硬币的两面,共同构成了国家水安全与能源安全的基石。二者之间存在着深刻的物理联系、功能互补和风险传导关系。任何一方的短板都可能成为整个系统安全的致命弱点。面向未来,我们必须彻底摒弃“铁路警察,各管一段”的陈旧观念,牢固树立系统思维和底线思维。通过构建权责清晰、运转高效的协同管理体制,打通数据壁垒、建设智慧融合的数字平台,完善法规标准、强化技术支撑,并不断提升应对极端风险的综合应急与韧性防御能力,方能真正实现水电站“兴利”与堤防“除害”功能的有机统一,为保障江河安澜、守护万家灯火、促进人水和谐共生提供坚实可靠的工程保障。这不仅是水利现代化的内在要求,更是新时代赋予我们的历史使命。

[参考文献]

- [1]廖小伟,冉飞甜.水电站运行管理中存在的问题及其措施解决研究[J].现代工业经济和信息化,2021,11(11):203-204.
- [2]李学璐.加强水电站运行管理的有效措施[J].内蒙古水利,2021,(11):74-75.
- [3]董宏强.基于水利工程安全下的堤防管理优化措施分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(24):193-195.
- [4]刘帅.水利堤防的可持续维护与管理策略探索[J].水上安全,2024,(10):148-150.