

水库设计中洪水技术的处理方法研究

吴欣玥

杭州水利水电勘测设计院有限公司，浙江杭州，311500；

摘要：水库防洪设计是应对极端天气挑战、稳固水库运行的重要环节，科学应用洪水技术处理方法能够借助科学手段平衡防洪安全和工程效益。本文以洪水技术处理为切入点并展开论述，首先分析洪水技术处理方法，通过探讨设计洪水的风险内涵，明确水文参数不确定性对工程安全的影响（潜在）。其次分析水库运行调度规则、设计洪水之间的动态适配关系，明确二者协同优化在延长工程使用寿命方面的重要性。最后依据极端气候现实背景，论证洪水技术方案更新的必要性，并提出一系列风险管理措施，如基于稀遇设计洪水事件的抗风险措施、针对发生频率相对较高的洪水事件的风险管理措施等。通过本次研究，期望为水库工程的风险防控提供有利的技术路径，确保水利设施在复杂水文条件下也能安全、持续的运行。

关键词：水库设计；洪水技术；处理方法

DOI：10.69979/3060-8767.25.06.056

引言

如今，全球气候变化加剧，极端洪涝灾害频发，对水库工程的稳定、安全构成极大的威胁。而以往采用的洪水设计方法在应对复杂水文条件时存在局限，如风险认知不足使得水库工程的安全性及效益难以协调。就目前而言，水库设计中存在的诸多问题，如洪水参数的不确定性、设计标准及运行调度不匹配等均暴露出单一工程视角的技术局限。加之，当下大部分研究主要关注于单一环节优化，缺少从风险识别到防控的系统框架，尤其在生态保护、防洪效能协同方面存在空白。本文通过分析工程设计及风险管理理论，深入探讨洪水技术处理的核心路径，并构建多级风险防控体系，以期为水库工程安全、稳定的运行及可持续发展提供有力的参考。

1 洪水技术处理方法概述

水库防洪设计中采用的洪水技术处理方法，是依据系统性思维整合水文分析、工程设计及风险管控的技术体系。洪水技术处理方法往往以动态水文环境为基础，通过分析洪水频率、采用暴雨—径流模拟手段来确定设计洪水参数，并形成洪水过程线、洪峰流量等数据框架。水库防洪设计中，设计洪水推演与多方因素密切相关，尤其要综合考虑气候波动、人类活动引发的非一致性水文演变。

在工程设计环节，主要关注泄洪消能设施的效能优化及生态友好性平衡，设计过程中采用柔性溢洪道结构设计、梯级消能工布局等技术全面提高泄洪效率，并基于生态流量调控机制尽可能满足下游水生生物的栖息需求。

至于设计洪水经常出现的参数不确定性问题以及

面临的极端气候风险，则需构建多级风险管理模型。如，在稀遇洪水工况下，制定超标洪水防御预案应对突发灾害；针对常遇洪水，采用弹性调度策略，即结合实时水文数据动态调整蓄泄方案。

从整体角度看，洪水技术处理方法的核心价值在于构建“分析—设计—验证”闭环流程，将风险量化指标纳入工程设计全周期，如利用概率风险模型评估洪水的溃坝影响，优化工程结构参数。科学运用管理策略，还能推进水库调度规则、设计标准的协同适配。

2 水库设计中洪水技术处理方法的一般风险意义

2.1 设计洪水及风险

设计洪水是水库工程安全防控的主要依据，设计洪水的合理性及风险可控性直接影响着工程安全。基于技术层面，设计洪水是以特定重现期洪水过程线为表征的水文事件，主要涉及洪水总量、过程形态、洪峰流量等参数，并且这些参数主要依据概率统计、水文学推演进一步确定。而参数的确定往往需要风险权衡，如标准过高极易导致建设成本增加，致使大量资金被浪费；标准过低也会诱发溃坝、漫顶等安全隐患。

针对设计洪水风险，其本质在于设计参数和实际洪水事件发生偏离，如水文序列非一致性、极端暴雨的时空分布复杂、人类活动导致流域下垫面变异等。通常情况下，设计洪水的风险传导路径主要涉及两个方面：其一，工程结构性缺陷；其二，运行调控失当。在实际洪水超过设计标准时，泄洪设施呈现超负荷运行状态，致使消能不足导致坝体冲刷破坏。

随着水库的长期运行，泥沙淤积导致库容衰减，严

重影响原设计防洪库容的风险缓冲能力。特别要警惕低频高损风险,即发生频率低但后果严重的超标洪水事件,此类事件的威胁程度会随水库下游人口密度及资产集聚度的加剧而不断放大。为有效缓解此类风险,水库设计中需要嵌入安全冗余度,如提高坝顶安全超高值、增设非常溢洪道等,还可借助水工模型试验进一步验证泄洪系统在极端工况下的稳定性、可靠性。

2.2 设计洪水的不确定性

设计洪水的不确定性与水文规律认知受限、环境变量的动态演化等因素有关,极大程度上影响着工程防御能力的稳定性、可靠性。

具体而言,设计洪水参数主要依据历史序列及水文模型推算获得,但其基础假设往往受流域开发干扰、气候模式演变等因素影响而出现偏差。比如,基于平稳期假设的传统频率分析方法,在遇到降雨天气时,时空变异加剧极易影响极端洪水重现概率。又或者采用暴雨强度联合历史关系模型,进一步简化处理,这一过程容易忽略局地极端降雨的非线性增长规律。受此不确定性因素的影响,水库工程存在双重风险:

如果设计值保守性不足,实际洪水量超出预期,严重威胁着坝体结构安全,甚至出现漫顶、管涌等破坏事件;

设计过于保守极易造成泄洪设施规模冗余,这不仅会浪费大量的资源,还会干扰生态。

就目前而言,设计洪水的不确定性主要集中在两大情景,即小流域短历时暴雨洪水因资料短缺致使模型外推误差增加、跨区域洪水遭遇组合事件的可预测性较低。为进一步确定此类风险,需要利用概率风险评估工具量化处理,如借助置信区间表征设计洪水的可能波动范围^[1]。技术处理过程中,通过运用多模型对比验证、参数鲁棒性优化等手段,还能提高设计方案的合理性、适应性,并在工程措施中制定分级响应机制,依照不同概率水平配置主/备用溢洪道。再动态校核实时洪水预报、设计值,构建设计、监测、反馈于一体的闭环修正模式,既能缓解水文不确定性对工程使用寿命产生的影响,又能确保风险可控性、工程经济性相平衡。

3 水库运行管理与设计洪水的关系

在设计洪水理论趋向于工程实践的过程中,水库运行管理发挥着至关重要的作用。换言之,水库运行管理、设计洪水的协同程度直接影响着防洪系统的作用效能。

从整体角度分析,设计洪水参数为水库运行管理提供了基本框架,其中涉及泄洪调度规程、汛限水位设定等技术标准,而在运行过程中动态对比水文监测数据及设计值,还能验证设计假设的可行性、合理性^[2]。对于水库运行管理而言,其核心任务是修正设计洪水及真实

水文情境发生的偏离。如,在实际洪水超出设计标准时,采用错峰调度、预泄腾库等手段能够有效缓解工程压力;在正常工况下,依据气候模式变化、库区淤积等动态因素,可以校核设计洪水的适用性。

综上所述,水库运行管理及设计洪水的关系主要体现在如下方面:

设计洪水的安全阈值对运行调度的决策空间有一定的约束力;

运行积累的洪水数据能够为设计参数优化提供依据与反馈;

运行过程中的生态目标和安全目标相冲突,进一步推动设计理论的完善升级。

从技术角度入手,科学构建从设计参数到调度规则的映射机制,如将风险分析模型引入水库调度系统,能够确保设计标准、实时水情智能耦合。同时,还需注重设计洪水理论局限对水库运行管理的影响,如若设计阶段缺少对洪水不确定性的关注,必然影响运行中冒险调度策略的实施,甚至增加溃坝风险。

在此背景下,水库运行管理不仅是设计洪水的主要载体,还是检验、优化设计理论的核心途径,通过二者的交互作用,形成“预设—执行—修正”的闭环互动,能够更好地构建适应环境变化的弹性防洪系统。

4 水库设计中洪水技术处理方法的应用原因

4.1 适应技术发展需求

水库设计中,应用洪水技术处理方法能够破解多现实约束及各类风险。基于技术发展层面,以往采用的注重单一重现期的设计模式很难适配气候剧变下的水文不确定性,还需通过分级风险识别、动态适应设计来解决设计标准滞后于实际风险的矛盾^[3]。

具体应用中,洪水处理技术有机集成结构优化、智能调度,进一步降低极端洪水的破坏效应。比如,借助梯级消能工布局提高超高水头下的消能效率,有效避免泄洪振动对坝体产生持续影响,而这也为工程长期、有效的运行提供技术保障。

4.2 实现生态保护

以往采用的泄洪方式,往往受水流骤变的影响而破坏下游生境,应用现代处理技术,借助生态流量调控、过鱼设施仿生设计等方法能够确保防洪效能、河流生态健康相兼容,进一步响应了社会对可持续发展的诉求。从经济角度分析,科学开展风险分级管理工作有助于优化投资配置,如针对低频高损洪水事件可以采用工程加固相关的刚性措施;针对高频中损洪水事件可以采用调度优化方面的柔性手段,从而平衡建设成本、防灾效益^[4]。另外,运行管理反馈机制在洪水技术处理方法的应用中发挥着关键作用,尤其水库淤积、气候模式变化等

动态因素对设计参数提出更高的要求,如持续校核并更新运行数据,以免受设计僵化影响而削弱防洪能力。

5 水库设计中的风险管理措施

5.1 基于稀遇设计洪水事件的抗风险措施

针对稀遇设计洪水事件,需要构建极端工况下的灾害防御体系来实施抗风险措施。考虑到工程结构在常规泄洪体系的基础上加设非常溢洪道相关备用设施,基于分级启闭机制,能够保证超高洪水位的可控下泄。如,借助自溃坝、爆破引冲槽等手段应对流量挑战,并提高坝顶安全超高值来预留洪水波动缓冲空间。

结构设计环节,持续增强坝体抗冲刷能力,优化消能工几何形态并应用新型材料,可以抵御超标准洪水对泄洪建筑物的冲击破坏。同时,基于工程情况构建以预泄腾库为核心的主动防控机制,能够基于水文气象预报提前降低库水位,为稀遇洪水的调蓄提供容量冗余。再采用闸门群联调技术,还能削平洪峰错峰。

在技术验证过程中,借助水工模型试验、数字孪生技术等模拟极端洪水冲击下的坝体渗流、振动等响应特征,能够针对性优化结构的薄弱处^[5]。在制定应急管理预案的过程中,合理预设溃坝洪水演进过程,依据下游风险区划制定分级预警及疏散方案,能够搭配应急抢险物资储备体系更好的规避风险隐患。另外,利用工程/非工程方法的有机耦合,构建集预防、缓冲、应急于一体的三级防御机制,能够弥补设计标准、极端现实洪水的安全缺口,从而控制低频高损风险事件的发生。

5.2 针对发生频率相对较高的洪水事件的风险管理措施

通过构建持续性弹性防御体系,能够实现对高频洪水事件的风险控制。如,采用经济适用性强的泄洪设施优化方案,通过改良常规溢洪道出口挑流鼻坎的几何形态,增大挑射角度、扩散宽度来提高消能效率,这在很大程度上可以降低高速水流对下游河床的冲击伤害(持续性)。

坝体结构设计中,使用抗磨蚀材料、可更换式消能组件能够延长高频使用部件的维修周期。通常情况下,运行管理工作中需要依据一定的动态调度规则,如结合水文预报数据实时调整汛限水位,确保预泄、拦蓄相结合,进而满足防洪、兴利等需求。再基于水库淤积监测结果定期开展库容恢复工程,有助于提高设计防洪库容的有效性。

针对高频洪水引发的累积性风险,通过设置分级预警机制,即在库水位接近汛限水位时启动分级泄洪程序,利用对生态干扰相对较小的孔底泄流,精准管控闸门开度,能够确保流量稳定、安全的过渡,以免水位骤变而导致下游河道塌岸。在生态协调性设计环节,适当保留生态基流通道,尽可能满足枯水期下游生态用水需求,再借助鱼道结构,能够降低泄洪期水生生物洄游阻滞效应^[6]。采用上述风险管理措施,基于工程韧性、管理弹性的双重提升,能够将高频洪水的破坏力分散消解在日常运维工作中,其不仅能有效控制反复冲击导致的风险累积,还能优化工程安全、提高资源的利用率。

6 结论

总而言之,水库设计中洪水技术处理方法的研究有效揭示了传统工程思维向系统风险管理的跃迁。有机整合水文分析、结构优化、动态调度等技术手段,构建集设计、运行、应急于一体的全周期技术链,能够在安全基准、生态红线间找到平衡点。

基于理论层面,克服静态设计洪水的认知局限,提出水文序列修正模型及多目标协同优化方法,为水库设计洪水技术处理方法的应用提供了理论基础。在实践方面,借助刚性工程措施抵御稀遇洪水冲击、利用弹性调度策略消除高频洪水威胁,更有利于提高水库的防洪效能,提高其社会效益、经济效益及生态效益。

参考文献

- [1] 付海玉,彭翔龙. 水库设计中洪水技术的处理方法研究[J]. 建筑工程技术与设计,2021(10):1371.
- [2] 赵忠峰,王雪妮,晋华,等. 基于 CNN-BiLSTM 模型的平原型水库洪水预报研究[J]. 水电能源科学,2025,43(2):10-14.
- [3] 钟碧中. 小型水库大坝除险加固技术和防渗处理措施研究[J]. 水上安全,2024(22):163-165.
- [4] 李恩辉,燕美英. 水库大坝防渗设计思路及其处理技术[J]. 高铁速递,2021(5):148.
- [5] 禚衡行. 小型水库除险加固工程的设计要点探析[J]. 水上安全,2024(13):182-184.
- [6] 李立权. 涉及复杂地质的水库除险加固工程防浪墙施工技术[J]. 水利技术监督,2023(1):247-251.

作者简介:吴欣玥,女,(1998-),河南省商丘市人,汉族,本科,助理工程师,从事水利工程技术研究。