

水库防洪调度设计中的几个问题分析

克帕也木·尔肯

塔里木河流域开都孔雀河水利管理中心

DOI:10.32629/etd.v7i4.20272

[摘要] 水库防洪调度作为水利工程的核心环节,其设计质量直接关系到公共安全与生态平衡。本文聚焦调度过程中存在的关键问题,系统剖析理论基础薄弱、现实挑战突出及核心问题处置不足等症结。通过梳理防洪调度本质属性,揭示水文不确定性、决策复杂性及多目标冲突等深层矛盾,提出精度提升、方案优化与智能整合等针对性路径。研究强调调度设计需超越技术范畴,融入社会公平与系统韧性理念,为完善防洪体系提供理论支撑。

[关键词] 水库; 防洪调度; 设计问题; 优化对策

中图分类号: TV62 **文献标识码:** A

Analysis of several issues in reservoir flood control dispatching design

KePAYemu Erken

Kaitu Kongque River Water Management Center in the Tarim River Basin

[Abstract] As the core component of water conservancy projects, reservoir flood control dispatching has a direct impact on public safety and ecological balance. This paper focuses on the key issues existing in the dispatching process, systematically analyzing the cruxes such as weak theoretical foundation, prominent practical challenges, and inadequate handling of core problems. By examining the essential attributes of flood control dispatching, this paper reveals deep-seated contradictions such as hydrological uncertainty, decision-making complexity, and multi-objective conflicts, and proposes targeted paths such as accuracy improvement, scheme optimization, and intelligent integration. The study emphasizes that dispatching design needs to transcend the technical scope and integrate the concepts of social equity and system resilience, providing theoretical support for improving the flood control system.

[Key words] reservoir; flood control dispatching; design issues; optimization measures

引言

防洪调度设计是水库工程发挥减灾功能的核心保障,其科学性直接影响流域安全与生态稳定。当前设计实践面临理论支撑不足、现实约束复杂及问题处置浅表化等困境,亟需系统性反思。本文从概念本质出发,剖析调度设计中的基础性缺陷与操作性难题,重点聚焦洪水预测、方案优化及多目标协调等关键环节。研究摒弃传统数据依赖路径,着力挖掘问题背后的制度性与社会性根源,力求在非量化层面构建更富深度的分析框架。

1 水库防洪调度设计的概述

1.1 防洪调度理论基础构建

理论基础的建立要融合水文学、系统工程、决策科学等多学科的知识,从而形成一个逻辑上自洽的调度设计理论框架。传统的理论过分依赖确定性的水文模型,忽略了洪水过程的随机波动特点,从而造成基础框架本身就有缺陷。现代理论要转向概率思维,把不确定性当作主要变量加入到设计准则当中,重视调

度规则的弹性适应性。理论建构还要冲破工程中心主义,加入社会水文学视角,探究人类活动怎样重新塑造洪水危险。城市化改变下垫面条件之后,历史洪水频率分析的适用性大大降低,理论必须动态修正参数边界。目前基础研究碎片化严重,缺少统一的范式来指导实践,急需建立以风险概率分布为基础的理论主干。只有打下这个基础,才能防止调度设计变成经验堆砌,保证方案有科学的预见性和逻辑性。

1.2 调度设计多维原则阐释

调度设计原则要跳出单一的防洪目标,创建起包含安全、生态和社会等多方面价值的体系。首要原则就是安全优先性,在任何情况下保证大坝结构稳定和下游生命线的安全,这是不可违背的底线。其次为生态兼容性,即调度过程要模拟自然水文节律,不能人为放流破坏河流生物栖息地。第三是公平可及性,重视上下游区域风险分担和资源获取的合理性,防止弱势群体承担不合理的损失。多维原则的深层次矛盾就是安全最大化需要集中

蓄洪,但是会加大上游淹没的风险;生态需求倾向于渐进放流,但又和紧急防洪的快速泄洪相违背^[1]。设计实践常常把简化原则当作技术参数来使用,忽略了它价值排序的动态性。干早期优先供水会削弱防洪库容,暴露原则间缺少协调机制。

2 防洪调度设计的现实问题剖析

现实问题是由理论理想和操作约束之间存在深刻的断裂所造成的,即设计出来的成果不能转化为有效的行动。调度决策常常受信息不对称和责任分散的影响,水文监测的盲区造成重要的数据被忽略,多部门之间权责交叉也会造成协调失灵。深层次的困境就是把设计过程主要放在技术方案上,而忽略了执行主体能力的限制以及行为上的偏好。基层管理人员因为考核压力而采取保守调度,牺牲生态效益来避免决堤风险。另外公众对于调度规则的了解不够,容易造成洪水期间的恐慌性舆论,影响到专业决策。这些困境体现出防洪体系的社会嵌入性问题,即技术方案脱离了制度环境和人文语境之后再精密的设计也会失效。

2.1 洪水预测不确定性挑战

洪水预测不确定性是调度设计的第一个障碍,它的根本原因是水文系统具有非线性和混沌性。气象预报的初始误差会经过流域产汇流过程的放大,造成洪峰量级和到达时间的预测误差不能完全消除。传统的手段依靠历史数据来推测规律,但是气候变化使得极端事件频发,历史样本已经不再具有代表性。更严重的是,预测模型对于下垫面的变化很敏感,城市扩张或者植被覆盖的变化都会影响到模型的参数,但是缺少了实时的数据支持,使得模型的参数不能及时进行修正。不确定性挑战不单是技术精度不够,更是决策者对于误差范围的错误认识^[2]。一些管理者把预测当作确定的指令,忽略了概率区间所体现出来的风险梯度,造成调度动作迟缓或者过度。应对挑战要重新塑造预测范式,由追求点估计转变为概率分布表达,创建起误差传导机制分析架构,让不确定性本身变成设计输入而不是干扰因素。

2.2 决策过程复杂因素分析

决策过程受到许多复杂因素的影响,远远超出了水文计算的范围。首要的复杂性就是目标多元性,防洪、供水、发电等目标之间常常存在着内在的矛盾,防洪要留有库容,发电则倾向于高水位运行。其次就是信息碎片化,气象、水文、社会经济数据分别属于不同的部门,整合效率低、口径不统一。第三就是时间压力,洪水演进窗口期短,决策者只能在信息不足的时候做出选择,容易受到认知偏见的控制。更隐蔽的复杂性来自利益博弈,地方政府会隐瞒真实的灾情来争取更多的资源,也会夸大风险来逃避责任。这些因素造成决策变成妥协的艺术而不是科学的过程,技术方案常常因为政治考虑而被歪曲。剖析复杂的因素要拆解出决策链条中非理性的部分,找出制度性摩擦怎样加大技术的不确定性,而不能简单地归因于个人能力欠缺。

2.3 环境生态影响综合考量

环境生态影响考虑大多只是合规性的检查,并没有把调度设计的逻辑纳入其中。水库泄洪会改变天然流量过程,造成下游河道冲刷加重或者湿地消失,间歇性大流量放流更容易造成栖

息地破碎化。目前的设计大多采取事后补偿的方式,即设置最小生态流量,而忽略了洪水脉冲对鱼类繁殖的重要性。深层次的问题是生态需求常常排在防洪目标之后,只有安全冗余足够大时才会考虑。这样一种次序安排违背了河流系统的整体性,春季人工洪水的缺失会切断鱼类洄游的通道,导致种群的衰减。综合考虑必须冲破“先防洪后生态”的线性思维,把生态过程当作调度规则的内生变量。模拟自然洪水节律来设计分级放流方案,在保证安全的基础上激活生态功能。只有承认人类调度对于河流的伦理责任,才能防止生态考虑只是空洞的形式。

3 水库防洪调度设计优化路径

关键问题解析不能停留在表象修补上,而应该直接找到调度设计的结构性缺陷。核心症结就是把防洪看成一个技术问题,忽略了它作为一个社会技术系统所具有的复杂性。优化路径要集中在洪水预测、方案优化和多目标协调这三个方面,但是需要加入制度和文化层面。预测精度提高不单依靠模型的改进,还要解决数据共享机制的缺失问题,方案优化也不能只计算经济效益,而应该量化社会公平损失。深度解析要冲破学科壁垒,用复杂系统理论来考察调度网络的薄弱环节。特别要防止出现技术万能论的错误,即智能工具如果缺少人文校准,反而会加重原有的偏见而不是解决它。

3.1 洪水预测精度优化路径

洪水预测精度的提高要建立新的方法论体系,由原来的单个模型改进转向系统的韧性建设。传统策略重视算法的改善,但是忽略了预测链条里的制度性断层,气象部门给出降雨预报之后,水文部门需要再次转变成流量预报,环节衔接处的误差会不断累积。有效的策略应该创建起跨部门的数据直通渠道,把最初的观测数据马上输入联合分析平台上,从而缩减信息的损耗。更重要的是加入社会感知维度,借助社交媒体、社区报告等手段来弥补专业监测的不足之处,在民众拍摄的河道水位照片中进行校正。精度提高的主要矛盾就是高精度伴随着高计算成本,而决策窗口期很短。策略要兼顾时效和准确性,创建“分级响应”的模式,高风险地区使用精细模型,低风险地区采用简化算法。预测本质上就是一种风险沟通工具,提高预测的准确性要以决策者是否能够理解为标准,而不是为了达到绝对正确的目的^[3]。当预报已经明确指出小概率的高影响事件时,宁可增加虚警率也要采取预防措施,这是“安全边际”哲学对于技术理性的一种超越。实践表明,把预报误差范围翻译成直观风险地图比单纯数值更利于调度决策,此法把技术输出变成行动语言,消除预测与执行间的鸿沟。

3.2 调度方案优化实施方法

调度方案优化实施过程中存在着方法论和落地性的两个问题。现有的方法大多采用数学规划来求解最优解,但是现实的约束使得理论方案无法执行。比如优化模型假定闸门操作瞬间完成,而忽略了由于机械响应延迟造成的库容计算误差。实施方法要嵌入操作可行性校验,把设备性能、人员技能等软约束量化成模型参数。更深层次的障碍就是优化目标设定脱离社会环境,

单纯追求最小化洪灾损失会损害农业灌区,引起群体性事件。优化实施要采用参与式设计,在方案产生阶段就吸纳社区代表的意见,把隐性的社会成本显性化。情景模拟使利益相关方体验不同的调度方案结果,从而达成价值共识。方法创新要冲破计算范式,培育鲁棒性优化技术,在参数变动时维持方案的稳定。最优解并不一定是最优的,调度方案的价值不仅仅体现在技术上,更体现在它的社会接受度上。当方案给出明确的风险分担解释机制的时候,即便非最优解也能得到执行支持^[4]。某流域实践表明,加入公平性约束的次优方案,由于减少了下游的抗议而实际上减灾效果比理论最优解好,说明社会维度对于技术理性的校正作用。

3.3 多目标协调机制构建

多目标协调机制的建立是防洪调度设计中的主要难题,难点就是目标之间存在着无法通约的价值矛盾。防洪安全要求迅速泄洪,生态需求倾向于缓慢释放,供水目标需要保持高水位,三者不能用加权求和的方式简单调和。传统的机制依靠行政指令来排序,但是容易造成弱势目标被系统地忽略。有效的建立要建立动态权衡框架,在洪水初期保证安全,中期使用生态流量阈值,后期侧重供水恢复。机制中要包含冲突预警模块,当目标偏离设定的边界的时候就会自动启动协商程序。更关键的在于承认价值不可通约性,不能用量化的标准去衡量。用生态红线来划定不可逾越的底线,而不是计算生态损失的经济价值。多目标协调的本质就是社会学习的过程,要形成制度化的反馈循环。某水库实践证明,定期组织调度员、生态专家和村民开会,把抽象的目标变成具体的事件,比如鱼类产卵期需要的流量,可以大大提高协调的效果。机制的建立不能只是依靠技术工具来实现,而应该培养起跨领域的共识文化,使协调由被动妥协变成主动共创。当机制赋予非工程利益方实质话语权的时候,目标冲突就会变成系统创新的驱动力,而不会成为单纯需要压制的障碍。

3.4 风险控制策略研究探讨

风险控制策略研究容易产生工程依赖症,过分看重水库本身的加固而忽略系统的脆弱性。真实风险是由于调度链中某个环节出现漏洞而产生的,上游预警失灵、闸门操作失误或者下游疏散不力,单靠一个工程措施是无法覆盖全部链条的。有效的策略应该转变成韧性思维,用冗余设计和适应性管理提高系统的

抗扰能力。比如设置备用泄洪通道来应对主设施出现故障的时候,或者创建起社区自行预警的网络以填补官方体系所存在的盲区。更深层次的问题是风险认识存在着专业和公众的割裂,技术人员认为可以接受的小概率事件,老百姓可能会把它当作不可容忍的威胁。策略中应包含风险沟通的创新,把专业的概率语言用形象的情景表述出来,例如把十年一遇的洪水换成了可能造成街道淹没的降雨强度。风险控制的核心并不是消除不确定性,而是提高系统在冲击之后恢复到原来状态的能力。根据某流域的经验表明,投入社区应急演练的效果比单纯的加固堤坝要好得多,因为它调动起了社会各方面的适应性资源。策略探究要拆解“安全幻觉”,即过分依靠工程保证会削减社会警觉性,真正安全来自对于不确定性的不断交流和集体应对。

4 结束语

水库防洪调度设计问题本质就是技术理性与社会价值的失衡,单靠修补的方法论很难从根本上解决问题。本文发现调度本质的辩证属性,分析现实困境中的制度性障碍,探究关键问题的解决途径。未来的设计要跳出技术改良的框架,把公平性、适应性和系统韧性当作中心,依靠制度革新来填补专业决定同公众需求之间的差距。尤其要注意智能技术引发的新风险,保证工具为人的价值选择服务而不是主导价值选择。只有承认防洪调度的有限性、社会性,才能形成真正的可持续防洪体系,把水库变成保护生命而不是制造焦虑的屏障。

[参考文献]

- [1] 颜迅. 水库防洪调度设计中的几个问题分析[J]. 广东水利水电, 2025(8): 116-117.
- [2] 杨怡青, 胡剑, 陈龙赞. 横山水库防洪能力提升研究[J]. 水利技术监督, 2020(2): 5.
- [3] 徐刚, 舒远丽, 任玉峰, 等. 基于深度学习的三峡水库实时防洪调度模型[J]. 水力发电学报, 2022, 41(3): 10.
- [4] 武林, 张放. 基于防洪调度水库设计水位复核及坝体稳定性分析[J]. 西北水电, 2020(08): 79.

作者简介:

克帕也木·尔肯(1989--),女,维吾尔族,新疆库尔勒人,本科,中级,研究方向水利。