

流域防洪调度中水库拦洪削峰对下游水位的影响研究

龙太国

清镇市应急管理局 贵州 贵阳 清镇 551400

【摘要】：水库拦洪削峰会改变洪水进入下游河道的流量过程，并进一步影响控制断面最高水位、峰现时间、高水位持续状态和沿程防守压力。本文分析防洪库容、入库洪峰、控泄过程、区间来水和河道槽蓄之间的传递关系，识别拦洪削峰影响下游水位的主要路径、评价指标与适用边界。下游水位响应不能只按削峰幅度判断，还要结合支流汇入、河道底水位、预报误差和调度时机综合评价。

【关键词】：流域防洪调度；水库拦洪削峰；下游水位；洪峰削减；水位响应

DOI:10.12417/2811-0722.26.09.069

引言

流域防洪调度中，水库拦洪削峰并不只改变坝前水位，还会沿出库流量、河道传播和下游控制断面水位形成连续影响。洪峰被暂存后，下游水位峰值、峰现时间和高水位持续过程都会发生变化，但这种变化受库容、区间来水、河道槽蓄和湖泊顶托共同约束。分析水库削峰对下游水位的影响，有助于把工程调度效益转化为可防守的水位安全裕度，并为多工程联合调度提供更清楚的断面响应判断。

1 水库拦洪削峰概况与下游水位分析方法

1.1 流域水库防洪调度对象概况

流域水库防洪调度的对象不是单一坝前水位，而是入库洪水、防洪库容、泄流建筑、下游河道和保护对象组成的连续系统^[1]。入库洪水决定需承接的洪量和峰值强度，防洪库容提供暂存空间，泄流建筑把调度指令转化为出库过程，下游控制断面再把流量变化表现为水位安全裕度。坝下近区水位对出库调整响应较快，远距离控制站还受河道槽蓄、支流汇入和湖泊回水影响；当区间暴雨与出库过程叠加，或下游河道已有高底水位，水库削峰形成的水位差会被削弱。控制断面的选择还要对应实际保护对象，城市段、圩垸段和汇入口对同一出库流量的敏感性并不相同，调度分析应把坝前水位安全与下游水位安全放在同一边界内。对干支流联系紧密的流域，还要区分控制性水库、支流水库和行蓄洪区的职责，避免把某一工程的局部削峰能力扩大为全流域水位控制能力。

1.2 防洪库容设置与洪水过程调查方法

汛限水位、设计洪水标准、坝前水位和可用泄流能力共同决定防洪库容能否承接洪峰^[2]。洪水过程调查应先确定起涨、峰值、退水和复涨节点，将入库流量、库水位、出库流量和下游控制站水位要逐时段对应检查。前期库水位偏高时，可用于削峰的空间收窄；后续仍有连续降雨时，还要为二次洪峰保留库容。对多水库流域，调查重点还包括各库调度指令是否错开，避免同一时段集中下泄。调查结果还应标明洪量主要集中在涨水段、峰顶段还是退水段，峰顶段洪量越集中，短时控泄对下

游水位越敏感；退水段洪量较大时，腾库安排会影响高水位持续时间。库容分析还应列明预泄窗口和允许最高水位，只有调度空间、来水预报和下游承泄能力同时匹配，削峰才具有稳定可执行条件。

1.3 入库洪峰流量采集与过程分析

入库洪峰流量采集应区分水文站实测、区间反演和水量平衡推算，防止不同口径混用^[3]。流量过程线的峰值、涨率和洪量分别对应瞬时压力、闸门响应时间和库容消耗速度；尖瘦洪峰更适合短时拦蓄压峰，峰宽量大的洪水则更强调降低涨速和争取下游错峰时间。预报偏小，水库下泄水量随之偏少，水库水位上升，增加水库自身防洪风险，调洪压力大，预报偏大又可能提前增加下游受水压力。加密布设水雨情监测系统，滚动修正水雨情、上游来水和库水位数据，是保持出库过程平缓的关键。采集频次也会影响峰值识别，采样频率过高会凸显观测噪声，增加洪峰误判风险，应结合水位涨率和降雨雷达回波判断洪峰是否仍在发展。对复式洪峰，还要分别识别主峰、次峰和峰间低谷，防止把平均流量平滑后的单峰曲线误作真实调度压力。

1.4 下游控制断面水位采集与分析

下游控制断面通常布置在城市防洪段、重要圩垸、干支流汇合口或湖泊顶托明显河段，水位采集要与出库流量、区间降雨和支流流量保持同一时间基准^[4]。最高水位只能反映峰值风险，涨水速率、超警起止时间、退水速率和不同断面峰现顺序才能揭示过程压力。河道糙率、断面收缩、滩槽交换和下游顶托会改变水位流量关系，水位分析应分开表达水库调度效应和河道边界条件。对沿程多个断面进行比较时，还应记录上游断面峰现向下游传递的先后顺序，若下游断面提前抬升，说明区间来水或顶托因素已超过单库出库影响。水位资料还需核对警戒、保证和堤顶控制高程，水位降低量只有放在这些防洪阈值旁边，才能判断其实际防守意义。

1.5 水库洪峰削减率计算方法

洪峰削减率描述入库峰值被转换为出库峰值时的相对压

低程度,适合在同一洪水过程、同一调度目标和同一时间尺度下比较。该指标可以说明水库是否削弱进入下游河道的峰值流量,却不能单独表示峰现延迟、洪量转移或高水位持续时间。相同削减率在低底水位河段可能只带来小幅水位变化,在接近警戒水位的河段则可能改变漫滩或超警时间;只有削峰发生在控制断面最敏感时段,且区间来水未同步抬升水位,削峰程度才更容易转化为明显水位降低。削减率还应与拦蓄洪量、库水位上涨幅度和腾库历时配套解释,避免把一次短时压峰误读成完整防洪效益,也避免忽视后续退水阶段的水位压力。多库联合调度中,削减率还需区分各水库的调蓄作用以及河道演进带来的流量损耗,防止上游合计压峰量与下游实测水位响应之间出现口径错位。

1.6 下游水位响应评价指标方法

下游水位响应评价应覆盖最大水位、峰现时间、水位涨落速率和高水位持续时间。最大水位关系到堤防安全裕度,峰现时间关系到避险窗口,涨落速率影响堤岸稳定和巡查节奏,高水位持续时间影响排涝、通航和圩垸防守。水库拦洪削峰若只降低峰值而延长高水位平台,防洪压力会从短时高峰转为长时间防守;若水位涨幅不大但涨速很快,预警和处置时间仍会被压缩。对防洪调度而言,水位变化全过程特征较单点水位更能充分反映防洪风险;缓慢上涨但长时间接近警戒水位,会增加巡查和排涝负担,快速上涨则会压缩抢险响应。评价还应纳入峰现提前或滞后的方向,若削峰后峰现避开潮位、湖泊回水或支流洪峰,水位安全收益会更清楚。

1.7 防洪调度数据综合关联分析

防洪调度数据综合分析要把入库流量、库水位、出库流量、控制断面水位和区间降雨放在同一时间轴,识别洪峰到达坝前、开始控泄、出库峰现和控制断面峰现四个时刻。出库峰现晚于入库峰现,且控制断面峰值避开支流洪峰时,拦洪削峰与错峰调度共同发挥作用;控制断面水位仍在同一时段快速上涨时,应追踪区间来水或下游顶托。水库可控因素、河道传播因素和区域降雨因素分层后,削峰作用边界才清楚。数据关联还应检查调度命令发布时间与水情变化之间的间隔,若指令滞后于洪峰发展,出库过程即使最终压低,也难以完全削弱下游峰前涨水压力。关联分析不宜只看调度前后两个时刻,而应按连续过程比较水位斜率和峰值错位关系,才能识别真正由削峰造成的水位变化。

2 拦洪削峰结果与下游水位影响分析

2.1 拦洪削峰对洪峰涨幅、峰现时间及防洪水位的影响

水库拦洪削峰首先改变下游河道接收洪水的峰值输入^[5]。洪峰进入水库后,部分洪量转化为库水位上涨,出库流量被限制在下游可承受范围内,控制断面水位涨幅随之降低。2024年长江洪水调度中,三峡水库累计拦蓄洪水为39,单位为亿立

方米;城陵矶最高水位降低量、汉口最高水位降低量、湖口最高水位降低量和大通站最高水位降低量分别为0.7、0.4、0.2和0.15,单位为米;沿程降低量递减,表明削峰效果仍受河道传播、区间来水和湖泊顶托共同约束。峰现时间后移同样重要,平滑出库过程可为堤防巡查、人员转移和闸站排涝争取窗口;但后移后的出库洪峰若与支流水叠加,控制断面仍可能形成新高值。防洪水位最终还受水位流量关系约束,接近滩地漫溢或堤防控制高程时,较小流量差也可能带来更敏感的水位变化。削峰效果的评价还应同时读取峰前水位基线,若控制断面已长时间处在高位,削峰更偏向减轻超警持续压力,而不是完全消除险情。水库拦洪削峰影响下游水位的过程关系见图1。

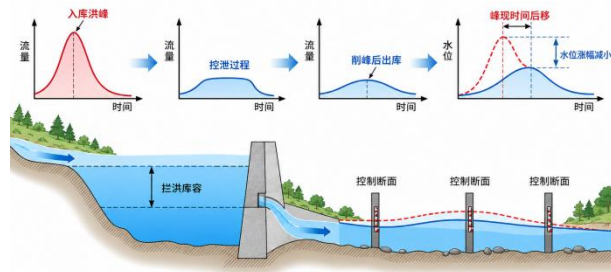


图1 水库拦洪削峰影响下游水位过程示意图

图1表明,入库洪峰进入水库后先占用拦洪库容,控泄过程把尖峰洪水转化为较平缓的出库过程;削峰后出库沿河道传递到控制断面时,蓝色过程线相对于红色过程线表现为水位涨幅减小、峰现时间后移。

2.2 拦洪削峰对下游水位稳定性影响评价

水位稳定性强调涨落过程可预判、可防守、不过快越过关键阈值。拦洪削峰压低出库峰值、分散洪量并推迟峰现,使下游水位过程从尖峰型转为缓升缓退型。城市防洪段和重要圩区可据此安排巡堤查险、涵闸调度和排涝泵站运行;通航河段还要防止过快涨落影响船舶靠泊和航道安全。评价时应同时查看平均水位、最大水位和变幅速度,连续洪水或复式洪峰下还要保留后续库容,避免单次洪水后过快腾库引发新的水位波动。水位稳定性提升还体现为防洪防守节奏趋于平稳:巡查人员可结合高水位平台期统筹开展重点堤段复核排查,泵闸设施也可规避短时间内频繁启闭,降低工程运行损耗。即便削峰后形成较长的高水位平台,尽管防洪冲击强度弱于尖峰洪水,但排涝作业、堤身浸润风险防控与险工段巡查工作仍不可松懈。

3 拦洪削峰影响下游水位适用条件

3.1 削峰作用与河道槽蓄调节互补

水库削峰和河道槽蓄都能平滑洪水过程,作用位置却不同^[6]。水库在坝前暂存洪量,河道槽蓄在洪水沿程传播中吸收和释放水量。削峰后的出库过程进入宽浅、滩地连通较好的河段时,槽蓄作用会继续平缓水位;进入狭窄、受控或顶托明显河段时,流量差更快转化为水位压力。上游水库提前削峰,可把

较平缓的出库过程送入河道槽蓄系统；调度过晚时，下游已形成高底水位，减小出库流量的边际效果下降。河道槽蓄并不总是放大水库削峰效益，窄深河槽、硬质护岸和下游顶托会削弱沿程衰减；宽滩河段、分汊河段和湖泊连通区则更容易形成流量展宽。两类调节作用应在同一传播历时内分析，只有出库过程与河道蓄泄节奏相协调，水位削减才会在下游关键断面保持可见幅度。

3.2 调度约束下水位响应差异成因

同样削峰动作在不同洪水过程中的水位响应差异，来自初始库水位、入库峰型、下游底水位、支流汇入过程和调度权限^[7]。初始库水位越低，承接洪量余地越大；洪峰越尖瘦，短时削峰越有效；下游底水位越高，单位出库变化对防洪水位越敏感。工程安全和综合利用也会限制控泄，坝前水位、泄洪建筑能力、发电、航运和供水需求都影响出库安排。水位响应差异分析的重点，是识别某一流域、某一洪水过程和某一控制断面下的有效削峰窗口。当预报误差较大或通信链条不顺畅时，调度指令可能偏离最优削峰时段；当下游防洪对象分布分散时，单一控制站水位也不足以代表全部风险。调度约束还包括跨行政区协同和防洪目标排序，若上游控泄与下游排涝、分洪或闸站运行未能衔接，水位响应会出现明显滞后。

3.3 库容差异与水位响应变化关系

库容差异决定水库削峰能力上限。大库容控制性水库可以

在较长时间内改变出库过程，小型水库更多承担局部滞洪和短时错峰任务。多水库流域中，上游梯级水库同步留库可降低干流入流峰值，各库若在相近时段腾库，下游控制断面可能出现叠加水位。调度分工应匹配库容尺度：控制性水库承担主洪峰压制和关键断面水位控制，中小型水库承担支流错峰，湖泊、行蓄洪区和闸站承担后续水位调节。库容分工还要考虑上下游距离，距离较近的水库主要控制坝下近区涨水速度，距离较远的控制性水库更适合承担干流洪峰错峰和关键断面水位调节。库容较小并不意味着没有防洪作用，但其贡献多表现为局部削峰和峰现错开，不能承担长历时洪量持续拦蓄。这种分工越清晰，调度方案越能把有限库容用在关键时段、敏感断面和下游预警提前量最需要的位置。

4 结语

水库拦洪削峰对下游水位的影响，集中表现为峰值压低、峰现后移、涨落过程平缓和高水位持续状态改变。防洪库容和控泄能力决定削峰基础，河道槽蓄、支流汇入和控制断面水位流量关系决定削峰作用能否转化为水位安全。调度评价应把洪峰削减、峰现时差、水位涨落速率和持续时间放在同一过程内判断，尤其在连续洪水和干支流叠加条件下，单库削峰效果必须服从流域错峰和下游防洪对象需求。水库群分工越清晰，预报滚动修正越及时，下游水位响应越容易保持在可防守的过程范围内。

参考文献：

- [1] 王开丽,边晓东,郭家园,等.2021年嫩江尼尔基水库防洪调度及经验启示[J].中国水利,2022,(8):22-25+35.
- [2] 李英海,姜庆琛,王永强,等.三峡水库应急抗旱补水调度对下游水位的影响及效益评估[J].水力发电学报,2024,43(12):64-76.
- [3] 万占伟,李保国,李荣容.新形势下黄河小浪底水库防洪保滩能力研究[J].人民黄河,2025,47(8):102-108.
- [4] 全力抗击“23·7”流域性特大洪水灾害水利工程充分发挥拦洪削峰和蓄滞作用[J].北京水务,2023,(4):81.
- [5] 袁景耀,肖潇,罗刚,等.乌东德电站下游水位波动驱动机制与传播特性[J].长江科学院院报,2026,43(7):72-78.
- [6] 黄山月,谢利森.下游水位变化对升船机运行安全性的影响分析[J].中国航海,2024,47(S1):213-219.
- [7] 余凯,刘登超,孙桂玲.水库发电运行调度对灌溉供水保障的作用机制研究[J].水上安全,2026,(9):86-88.