

文章编号:0559-9350(2019)03-0356-08

梯级水库群超标洪水的协同应急调度研究

岳华¹, 马光文¹, 杨庚鑫²

(1. 四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室 水利水电学院 四川 成都 610065;

2. 国电大渡河水电开发有限公司, 四川 成都 610000)

摘要: 受全球气候变暖影响, 极端天气事件发生频次增加, 超标准洪水灾害的突发性、危害性和不可预见性更加突出, 使得梯级水库面临的应急处置问题日益凸显, 其中大坝溃决或连溃是梯级水库面临的重大威胁。针对超标洪水, 实施水库群协同应急调度, 是发挥水库综合利用效益的有效手段之一。本文选取最高水位最低化准则作为超标洪水协同应急调度模型的目标函数, 采用逐步优化算法求解梯级水库群超标洪水协同应急调度模型, 对梯级水库群超标洪水应急调度方案进行了有益的探索, 并以大渡河流域瀑布沟水库、深溪沟水库和枕头坝一级水库为例, 对其超标洪水过程进行调度计算, 验证了上述模型的合理性和可靠性。结果表明: 通过梯级水库群的协同应急调度, 各水库在洪水前期预泄水库水量, 尽可能腾出更多的水库库容, 便于迎接后期可能发生的洪水, 尽可能地降低各水库的水位, 有效确保梯级水库群的防洪安全。研究成果对各大流域梯级水库群超标洪水的应急调度机制的建立具有重要的理论意义和工程实践价值。

关键词: 梯级水库群; 超标洪水; 最高水位最低化准则; 协同应急调度

中图分类号: TV321

文献标识码: A

doi: 10.13243/j.cnki.slxb.20180838

1 研究背景

随着水电开发的不断推进, 我国已经逐渐形成多个大型梯级水库群, 成为世界上梯级水库建设数量最多的国家^[1]。受全球气候变暖影响, 极端天气引发的突发性灾害事件风险增加, 梯级水库面临的应急处置问题也日益凸显, 其中大坝溃决或连溃更是梯级水库面临的重大威胁, 事件造成的失事后果也是所有破坏模式中最为严重的。

1954—2010年期间, 我国共有3513座水库发生溃坝^[2], 其中1963年8月海河流域特大暴雨洪水导致5座中型水库失事, 330座小型水库垮坝; 1975年8月, 超强台风尼娜导致的特大暴雨引发淮河上游大洪水, 板桥、石漫滩两座大型水库, 以及两座中型水库和58座小型水库在短短数小时内相继垮坝溃决, 给下游地区的民众造成了极其惨重的损失, 直接经济损失近百亿元^[3]。可见, 一般的突发事件, 单一水库大坝的应急预案或人工决策, 或许可以消除对流域上下游梯级的影响, 但在梯级水库群突发重大事件的情况下, 仅考虑单一水库大坝的应急处置工作, 极有可能触发水库群的连锁灾害反应。因此, 梯级水库群遭遇突发事件的安全保障, 特别是超标洪水导致洪灾突发情况下的安全问题, 已是国家经济社会发展中受到普遍关注的热点和难点问题。

一直以来水利工作者大多更加关注对溃坝洪水的研究, 尽管在大坝溃决过程与洪水演进方面均取得许多成果, 但是大部分的研究都只针对单一水库。目前, 将梯级水库作为一个整体较为全面的研究、分析和评价其安全稳定性的研究还很少见^[4], 现有的安全评价标准和方式的设定也均是基于“单库”模式, 缺乏对单个水库与梯级水库群整体安全的关联性考虑^[5]。特别是针对重大突发事件(如超标洪水)的应急处置还几乎是空白状态。因此, 迫切需要开展梯级水库群超标洪水的协同应急处置

收稿日期: 2018-09-13

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0402205-6)

作者简介: 岳华(1977-), 博士, 主要从事水文学及水资源研究。E-mail: 519070072@qq.com

调度方案研究。

本文针对梯级水库群与单一水库特性的不同，在分析超标洪水应急调度准则的基础上，以大渡河流域瀑布沟水库、深溪沟水库和枕头坝一级水库为例，提出了梯级水库群超标洪水的应急调度方案，并选取最高水位最低化准则作为超标洪水协同应急调度模型的目标函数，采用逐步优化算法求解梯级水库群超标洪水协同应急调度模型，有效减轻梯级水库群的防洪压力，从而提升大渡河下游流域整体的防洪能力，确保发生超标洪水时大渡河下游梯级水库群安全稳定运行以及流域周围人民生命财产的安全。研究成果对我国各大流域梯级水库群超标洪水的应急调度机制的建立具有参考价值。

2 超标洪水应急调度准则

鉴于自然的洪水是一个随机事件，水库防洪体系按一定规则设定的防洪标准必然存在被稀遇更大洪水高过的可能性，因此超标准洪水是水库不可避免的风险源。按照目前水库防洪的研究现状，不同的超标洪水定义与其产生的背景和研究目的有关系，本文所研究的超标准洪水指的是超过设计洪水标准的洪水。水库洪水调度的目标是拦蓄洪水、削减洪峰、错开洪峰，最大程度避免或降低洪灾损失^[6]。洪水调度主要分两种情况^[7-10]：一是通过合理的防洪调度避免造成洪灾损失；二是洪灾十分严重、不可避免地要产生洪灾损失时，在保证水库安全的前提下，通过防洪调度使下游防洪对象的受灾时间尽可能短，即最短受灾历时准则。此外还有一种情况，虽然受灾历时短，但造成的灾情很严重，结果并不比历时长灾害影响轻。上述3种情况分别对应以下3个准则，即最高水位最低化准则、最短受灾历时准则和洪灾最小损失准则。

2.1 最高水位最低化准则 最高水位最低化准则以大坝(库区)在调度过程中最安全为水库防洪优化调度求解目标，即在满足下游防洪控制断面安全泄量约束的前提下，最大限度地下泄洪水，使水库水位尽可能低，预留出尽可能多的防洪库容，以迎接后续可能发生的大洪水过程。

最高水位最低化准则的表达式如下：

$$\min \left\{ \max_{t \in [t_0, t_d]} [Z(t)] \right\} \quad (1)$$

式中： t 为时间， t_d 、 t_0 分别为洪水的结束和开始时刻； Z 为水库水位。

根据水位和库容一一对应关系，最高水位最低化等价于最大库容最小化，同时根据水量平衡原理进一步推导可知，式(1)等价于：

$$\min \left\{ \max_{t \in [t_0, t_d]} [Z(t)] \right\} \Leftrightarrow \min \int_{t_0}^{t_d} [\Delta Z(t)]^2 dt \quad (2)$$

在梯级水库群防洪优化调度中， n 个水库， n 个防洪控制点的防洪系统最高水位最低化准则调度的目标函数为：

$$\min \int_{t_0}^{t_d} \{ \Delta Z_1^2(t) + \Delta Z_2^2(t) + \dots + \Delta Z_n^2(t) \} dt \quad (3)$$

该目标函数在实际应用中常取如下离散形式：

$$\min \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^n \Delta Z_{j,i}^2 \Delta t \quad (4)$$

式中： j 为时段数， $j=1, 2, \dots, M$ ，其中 $M=(t_d-t_0)/\Delta t$ ， t_d 、 t_0 分别为洪水的结束和开始时刻； Δt 为计算时间间隔； $\Delta Z_{j,i}$ 为第 i 个水库第 j 个时段的水位变幅； i 为梯级水库序号， $i=1, 2, \dots, n$ 。

2.2 最短受灾历时准则 最短受灾历时准则以水库下游防洪保护区的连续洪灾时间最短为水库防洪优化调度求解目标，其实质是在保证大坝(库区)防洪安全前提下，但下游防洪安全不能得到保证时，利用水库的防洪库容调节洪水使水库下泄流量超过水库下游防洪对象安全泄量的历时越短越

好,即尽量减轻下游洪水灾害损失。

最短受灾历时准则的表达式如下^[11]。

(1)无区间洪水时:

$$\min\{T_{\text{灾}}\} = \left\{ t \in [t_0, t_d] \left[q(t) > q_{\text{安}} \right] \right\} \quad (5)$$

(2)有区间洪水时:

$$\min\{T_{\text{灾}}\} = \left\{ t \in [t_0, t_d] \left[(q(t) + Q_{\text{区}}(t)) > q_{\text{安}} \right] \right\} \quad (6)$$

式中: $T_{\text{灾}}$ 为受灾时间; t_0 、 t_d 分别为受灾期的始、末时刻; $q(t)$ 为 t 时刻经水库调蓄后的下泄流量; $q_{\text{安}}$ 为下游容许的安全泄量; $Q_{\text{区}}(t)$ 为 t 时刻区间流量。

按上述2种情况,同时根据梯级水库群为并联水库还是串联水库,分4种组合方式分别列出防洪控制点的防洪系统最短受灾历时准则调度的目标函数,然后再进行求解。

2.3 洪灾最小损失准则 洪灾最小损失准则主要考虑一场洪灾虽然历时短,但造成灾情很严重的情况,其总的目标就是在历时短、灾情严重的情况下,如何通过水库调蓄尽量保证总的洪灾损失最小。

洪灾最小损失准则的表达式如下:

$$\min K = \int_0^{t_d} c \cdot q(t) dt \quad (7)$$

式中: K 为总的洪灾损失,可以货币或实物表示; c 为洪灾损失系数,应由分析洪灾调查统计资料得出。

当洪灾损失为成灾流量的线性函数时 c 为常数,上述模型为一线性模型,否则为非线性模型。

3 超标洪水协同应急调度模型

超标洪水应急调度是研究防洪压力极大时的洪水调度控制问题,主要研究如何通过防洪调度尽可能快地下泄水库水量、降低水库水位,尽可能多地腾出水库库容以迎接后续洪水水量,减轻水库防洪压力。因此,本文选取最高水位最低化准则作为超标洪水协同应急调度模型的目标函数^[12-15],目标函数具体如式(4)所示。

在实际工程中求解该目标函数时,还需要引入相应的约束条件,具体的约束条件如下:

(1)防洪库容约束:

$$\sum_{j=1}^M (Q_{j,i} - q_{j,i}) \Delta t = \Delta V_{j,i} \quad (8)$$

式中: $Q_{j,i}$ 为第 i 个水库第 j 时段的平均入库流量; $q_{j,i}$ 为第 i 个水库第 j 时段的平均出库流量; $\Delta V_{j,i}$ 为第 i 个水库第 j 时段的库容变化。

(2)水库水量平衡约束:

$$\frac{Q_{j,i} + Q_{j+1,i}}{2} - \frac{q_{j,i} + q_{j+1,i}}{2} = \frac{\Delta V_{j,i}}{\Delta t} \quad (9)$$

式中 $\Delta V_{j,i}$ 为第 i 个水库第 j 时段的库容变化。

(3)水库水位约束:

$$Z_{j,i}^{\min} \leq Z_{j,i} \leq Z_{j,i}^{\max} \quad (10)$$

式中: $Z_{j,i}$ 为第 i 个水库第 j 时段平均水位; $Z_{j,i}^{\min}$ 为第 i 个水库第 j 时段允许的最低水位; $Z_{j,i}^{\max}$ 为第 i 个水库第 j 时段允许的最高水位。

(4)出库流量约束:

$$q_{j,i}^{\min} \leq q_{j,i} \leq q_{j,i}^{\max} \quad (11)$$

式中： $q_{j,i}^{\min}$ 为第 i 个水库第 j 时段允许的最小出库流量； $q_{j,i}^{\max}$ 为第 i 个水库第 j 时段允许的最大出库流量。

(5) 流量平衡约束：

$$Q_{j,i+1} = Q_{j-\tau_i,i} + Q_{\text{区},j,i} \quad (12)$$

式中： τ_i 为第 i 个水库至第 $i+1$ 个水库之间洪水传播时间； $Q_{\text{区},j,i}$ 为第 i 个水库至第 $i+1$ 个水库之间第 j 时段的区间流量。

(6) 非负条件约束：上述所有变量均为非负变量(所有变量 ≥ 0)。

4 协同应急调度模型的求解算法

水库调度模型的求解算法数量众多，其中经典的数学方法有线性规划、非线性规划和动态规划等，这些算法各具优缺点，有些算法虽能找到全局最优解，但需要耗时很长，有些算法虽耗时较少，但找到的解为局部最优解。水库优化调度问题求解的最理想情况是快速地找到全局最优解，但对于复杂的优化调度问题，很难找到收敛速度快且能满足全局最优的方法^[16]。国内外学者的大量研究表明，动态规划算法是求解单一水库优化调度的一种有效方法，但其求解梯级水库群联合调度模型时将不可避免的面临“维数灾”的问题；梯级水库群联合调度模型求解目前最常用的确定性优化算法是逐步优化算法(POA—Progress Optimality Algorithm 算法)。当多阶段决策问题的阶段指标函数呈严格凸性，同时具有连续一阶偏导数时，逐步优化算法能够收敛至全局最优解。此外，逐步优化算法本身隐性并行搜索的特性，因而效率很高，消耗的时间比较短；逐步优化算法不需要离散状态变量，因此不仅能够获得比较精确的解，而且还克服了动态规划算法求解梯级水库群优化调度问题时的“维数灾”困难。因此，本文采用逐步优化算法求解梯级水库群超标洪水协同应急调度模型^[17]。逐步优化算法求解水电站优化调度问题的主要流程如图 1 所示。

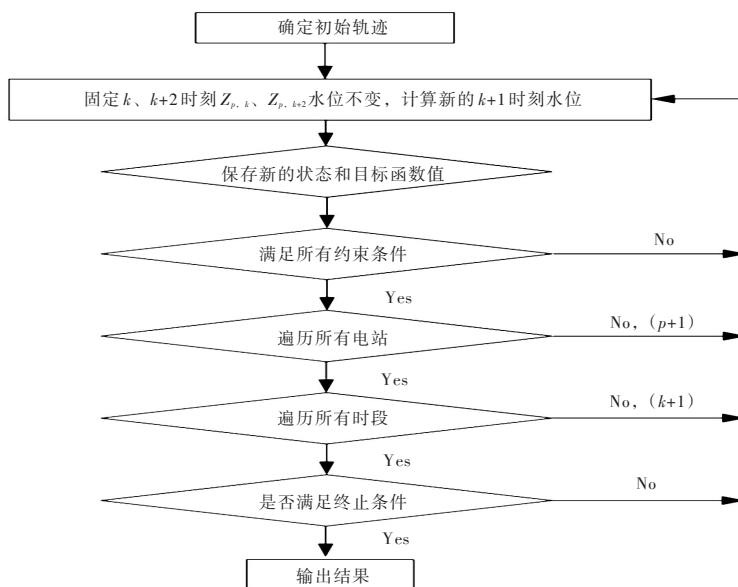


图 1 逐步优化算法求解水电站优化调度问题的流程

求解时，将调度期离散为 T 个时段，梯级电站总数为 N ，电站序号为 $i (0 < p < N)$ ， Z 为水位。逐步优化算法求解的步骤主要如下：

(1) 初始化逐步优化算法的参数，包括搜索步长、优化终止精度。

(2) 确定初始轨迹。采用逐步优化算法来求解多阶段、多约束优化问题时，初始轨迹的选取至关重要，好的初始轨迹可以加快迭代收敛速度，不好的初始轨迹容易导致迭代过早收敛于局部最优解。

(3)依照电站从上至下的顺序,固定 p 电站的第0时刻和第2时刻的水位 $Z_{p,0}$ 和 $Z_{p,2}$ 不变,调整第1时刻的水位 $Z_{p,1}$ (分别取原水位减1步长、原水位和原水位加1步长3个方案),那么梯级水电站水位变化方案有 3^N 种, N 为梯级水电站级数。计算各方案的第0和1两时段的梯级水电站的发电量,选择发电量最大的方案作为梯级各水电站在第1时段的新水位,进入步骤(4)。

(4)同理,依次对梯级水库下一时刻进行寻优计算。固定第1时刻和第3时刻的水位 $Z_{p,1}$ 和 $Z_{p,3}$ 不变,调整第2时刻的水位 $Z_{p,2}$,使第1和2两时段的梯级水电站发电量最大,优化计算得各水电站第2时刻的水位 $Z_{p,2}$ 。

(5)重复步骤(4),直到遍历所有时刻为止,完成一次循环,得到梯级各水电站在各计算时段末的新水位。

(6)判断是否满足终止条件,如不满足,则将本次求得的梯级水电站水位过程线作为下一次计算的初始轨迹,重新回到第(3)步;否则退出循环,最后一次循环得到新水位即为梯级水电站的最优蓄放水策略。

实际应用中,可根据具体情况设置终止条件,常见的终止条件设定形式有3种:给定最大迭代次数、给定误差精度和设定极值变化幅度。其中,设定极值变化幅度在应用中最为常见,通过这种方式可以判断给定迭代次数内极值的变化范围,若变化很小或者没有变化,则算法终止。本文计算采用该方法。

5 实例计算及结果分析

5.1 流域基本概况 大渡河是岷江最大的支流,发源于青海省果洛山东南麓,有东、西两源,东源脚木足河和西源绰斯甲河汇合后为大渡河主流大金川,与小金川回合后称为大渡河。干流河道全长1062 km,流域面积8.27万 km^2 ,年径流量488亿 m^3 。大渡河流域形状大致呈“L”型,形状狭长,地势西南部高、东南部低。

根据规划,大渡河干流水电开发共布置28个梯级,总装机容量2700万kW,年发电量1127亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

5.2 梯级水库群基本参数 结合大渡河流域梯级水库群开发建设情况,本文在进行梯级水库群超标洪水协同应急调度模型求解主要选取瀑布沟水库、深溪沟水库和枕头坝一级水库进行分析。这3个大渡河下游梯级水库的特征水位、特征库容以及主要动能参数如表1所示。

表1 大渡河下游梯级各水库主要特征参数

名称	瀑布沟	深溪沟	枕头坝一级
死水位/m	790	655	618
正常蓄水位/m	850	660	624
设计洪水位/m	848.31	652.04	618
校核洪水位/m	853.78	658.38	624.45
大坝设计洪水标准	0.20%	1.00%	1.00%
大坝校核洪水标准	PMF(Probable Maximum Flood)	0.1%	0.1%
汛限水位/m	841(6月),836.2(7—8月),841(9月)	660	624
死库容/亿 m^3	11.8	0.244	0.29
调节库容/亿 m^3	38.94	0.0814	0.123
正常蓄水位以下库容/亿 m^3	50.11	0.3568	0.414
总装机容量/MW	3600	660	720
综合出力系数	8.29	8.38	8.34
发电引用流量/(m^3/s)	2722	2619	2697

除了以上资料，计算中还需获得基本的水文资料，如水位库容关系曲线、下游水位流量关系曲线等。另外，还需要了解梯级水库群超标洪水资料，大渡河流域梯级各水库中瀑布沟水库大坝设计洪水标准为500年一遇，设计洪水流量为9460 m³/s，深溪沟和枕头坝一级大坝设计洪水标准均为100年一遇，设计洪水流量均为9400 m³/s。由于目前尚未出现超标洪水，缺乏相应的实测超标洪水资料，因此，本文按照瀑布沟水库和瀑布沟-枕头坝区间设计洪水成果表中0.1%频率洪水对应的特征值，选取瀑布沟水库“20150706”号洪水进行0.1%频率瀑布沟水库入库洪水过程和瀑布沟-枕头坝0.1%频率区间洪水过程的推求，并采用推求成果进行梯级水库群超标洪水调度计算，其中瀑布沟-深溪沟区间和深溪沟-枕头坝区间洪水资料按照区间流域面积比进行划分。

5.3 边界条件设置 根据《长江流域防洪规划》的要求，瀑布沟水库有预留防洪库容配合承担长江中下游防洪调度的任务，瀑布沟水库预留的防洪库容为11亿 m³，瀑布沟水库7月份的防洪汛限水位为836.2 m。在防洪调度过程中，梯级各水电站的出力负荷由电网的要求确定，本文从充分利用汛期洪水资源出发，按机组满负荷出力考虑，发电流量取发电机组的最大发电引用流量。优化计算的起始水位、结束水位等边界条件如表2所示。

表2 大渡河下游梯级各水库的边界条件设置 (水位: m; 流量: m³/s)

水库	起始水位	结束水位	正常蓄水位	死水位	发电流量
瀑布沟	836.2	836.2	850	790	2722
深溪沟	658	658	660	655	2619
枕头坝一级	620	620	624	618	2697

5.4 计算结果及分析 通过超标洪水协同应急调度模型的求解，对其超标洪水过程进行调度计算，得到大渡河下游梯级各水库的水位过程和出库流量过程分别如图2—图7所示。

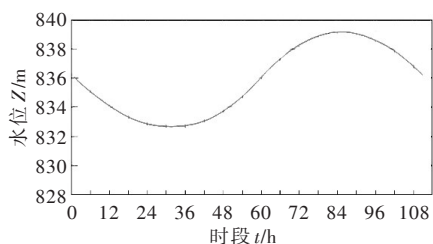


图2 瀑布沟水库水位过程

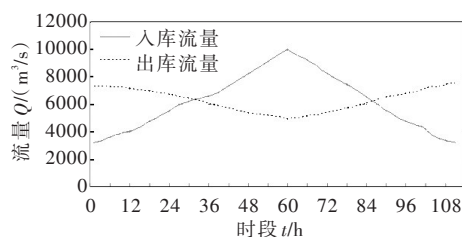


图3 瀑布沟水库流量过程

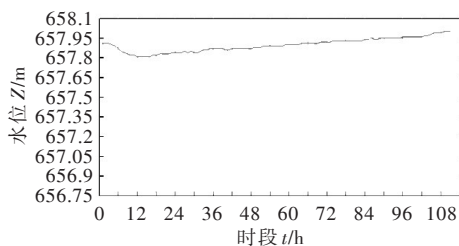


图4 深溪沟水库水位过程

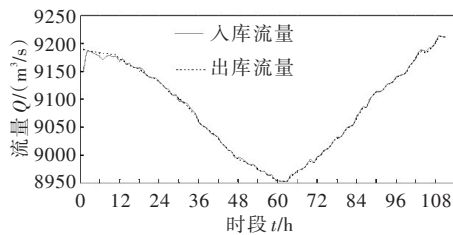


图5 深溪沟水库流量过程

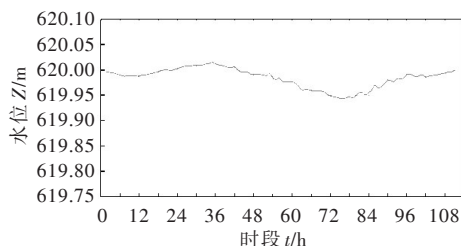


图6 枕头坝一级水库水位过程

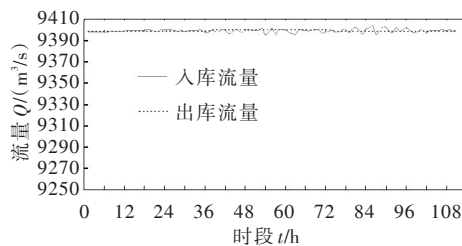


图7 枕头坝一级水库流量过程

由图2和图3可知，瀑布沟水库为了预留更多的库容以迎接后续洪峰，降低流域梯级防洪压力，水库水位在调度开始阶段进行预泄，所以水库水位先降低；在后续阶段，随着洪水流量逐渐增加，

为了削减下游洪峰流量,降低下游防洪压力,水库出库流量逐渐减少,当出库流量小于入库流量时,水库水位逐渐升高,因此,瀑布沟水库水位呈现先降后升的变化规律。由于下游水库调节库容较小,为实现梯级各水库库容的协同利用,充分挖掘梯级水库的防洪能力,瀑布沟水库在下游区间流量来水最大的洪峰时段,尽可能减小出库流量,避免梯级洪峰流量的叠加,降低下游水库的入库洪峰流量,因此在水库入库洪峰时,出库流量反而最小。

由图4—图7可知,深溪沟水库调节库容比枕头坝一级水库小,所以水库对入库流量过程有所调整,但调整幅度小于枕头坝一级水库。且这两个水库的库容较瀑布沟水库小,其调整幅度均远小于瀑布沟水库。

可见,通过梯级水库群的协同应急调度,各水库在洪水前期下泄更多的洪水,腾出更多的水库库容,便于迎接后期可能发生的洪水,尽可能地降低各水库的水位,有效确保梯级水库群的防洪安全。特别是对于防洪库容较大的龙头型水库,如瀑布沟水库,在计算过程的前几个时段的入库流量约为 $3220\text{ m}^3/\text{s}$,而出库约为 $7300\text{ m}^3/\text{s}$,降低水库水位约 3.38 m ,这一效果更为明显。

综上所述,通过梯级水库协同应急调度模型的优化,充分利用上游调节能力好的水库库容,最大程度削减下游水库入库洪峰流量,可有效减轻下游调节能力较弱水库的防洪压力,从而提升大渡河下游流域整体的防洪能力,能够确保发生本文中计算所采用 0.1% 频率超标洪水时大渡河下游梯级水库群安全度汛,并较好地完成其所承担的防洪任务,确保梯级各水库安全稳定运行以及流域周围人民生命财产的安全。

6 结论

(1)本文选取最高水位最低化准则作为超标洪水协同应急调度模型的目标函数,采用逐步优化算法求解梯级水库群超标洪水协同应急调度模型,对梯级水库群超标洪水应急调度方案进行了有益的探索,显著提升了梯级水库群超标洪水应急处置水平。

(2)本文以大渡河流域瀑布沟水库、深溪沟水库和枕头坝一级水库为例,对其超标洪水过程进行调度计算,验证了梯级水库群超标洪水协同应急调度模型的合理性和可靠性。研究成果对各大流域梯级水库群超标洪水的应急调度机制的建立具有参考价值。

(3)本文采用逐步优化算法(POA算法)进行梯级水库群超标洪水应急调度模型的求解,当计算模型计算量增大时,存在求解速度较慢等问题。在今后的研究中,可引入人工智能算法进行梯级水库群超标洪水应急调度模型的求解,以提高调度方案的求解效率和精度,更好地指导梯级水库群应对突发超标洪水灾害,减少洪灾损失。

参 考 文 献:

- [1] 何向阳,周和清,宋应玉,等.水库大坝突发事件预警与应急处置系统研究与开发[C]//中国水利学会年会论文集,2016.
- [2] 彭雪辉,等.中国水库大坝风险标准研究[M].北京:中国水利水电出版社,2015.
- [3] 李致远.梯级水库的联合防洪调度及防洪风险分析[J].吉林水利,2015(7): 39-41.
- [4] 何鲜峰,全逸峰.大坝运行风险评价理论及应用[M].郑州:黄河水利出版社,2014.
- [5] 张锐.梯级水库群漫坝失事风险分析及其应急处置研究[D].大连:大连理工大学,2016.
- [6] 钟平安.水库防洪优化调度目标函数分析[J].水利经济,1995(1): 38-44.
- [7] 郭生练,陈炯宏,刘攀,等.水库群联合优化调度研究进展与展望[J].水科学进展,2010,21(4): 496-503.
- [8] 肖琳.水库群防洪优化调度模型及算法研究[D].郑州:华北水利水电学院,2008.
- [9] 周超,王红卫,江兴稳.流域水系突发事件演化分析及水库应急调度响应[J].水电能源科学,2014,32(10): 43-47,25.

- [10] 贾本有, 钟平安, 陈娟, 等. 复杂防洪系统联合优化调度模型[J]. 水科学进展, 2015, 26(4): 560-571.
- [11] 钟平安. 流域实时防洪调度关键技术研究与应用[D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [12] CHEN S J, YAN S, HUANG W B, et al. A method for optimal floodgate operation in cascade reservoirs[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management, 2017, 170(2): 81-92.
- [13] 钱镜林, 张松达, 夏梦河. 逐次优化算法在梯级水库防洪优化调度中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2014(8): 22-25.
- [14] 陆承璇, 方诗圣. 基于遗传算法的水库防洪优化调度研究[J]. 中国水运, 2016, 16(8): 110-111.
- [15] 邹强, 王学敏, 李安强, 等. 基于并行混沌量子粒子群算法的梯级水库群防洪优化调度研究[J]. 水利学报, 2016, 47(8): 967-976.
- [16] WANG J L, HUANG W B, MA G W, et al. An improved partheno genetic algorithm for multi-objective economic dispatch in cascaded hydropower systems[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2015, 67: 591-597.
- [17] 马光文, 刘金焕, 李菊根. 流域梯级水电站群联合优化运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

Research on collaborative emergency dispatch of the excessive flood of cascade reservoirs

YUE Hua¹, MA Guangwen¹, YANG Gengxin²

(1. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering,
College of Water Resource & Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
2. Guodian Dadu River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

Abstract: Due to the impact of global climate changing, the frequency of extreme weather events has increased significantly. The suddenness, harmfulness and unpredictability of the excessive floods are more prominent, posing a great challenge to the collaborative emergency dispatch and the safety of cascade reservoirs. And the dam break or even continuous collapse is the biggest threat to the cascade reservoir. In response to the excessive flooding, it is one of the effective means to realize the comprehensive utilization efficiency of reservoirs to carry out emergency dispatch of cascade reservoirs. In this paper, the maximum water level minimization criteria is selected as the objective function of the collaborative emergency dispatching model for excessive flood, and the Progress Optimality Algorithm method is used to solve the model. Taking the Pubugou Reservoir, the Shenxigou Reservoir and the Zhentouba-I Reservoir in the Dadu River Basin as an example, an emergency dispatching plan for the excessive flood of the cascaded reservoirs in this basin is proposed, the process of its exceeding flood control is calculated. The rationality and reliability of the above model are verified. The results indicate that through the collaborative emergency dispatching of cascade reservoirs, each reservoir will pre-discharge the water in the pre-flood stage, freeing up more reservoir storage capacity, facilitate to meet the possible flood in the later stage, reduce the water level of each reservoir as much as possible, and effectively ensure the flood control safety of cascade reservoirs. The research results have important theoretical significance and engineering practical value for the establishment of emergency dispatch mechanism for the excessive flood of cascade reservoirs in major river basins.

Keywords: cascade reservoirs; excessive flood; maximum water level minimization criteria; collaborative emergency dispatching

(责任编辑: 王成丽)