

基于特大暴雨分级的水库上限起调水位分析方法

刘可新¹, 于茜¹, 李匡¹, 刘兵超², 徐海卿¹, 马岚¹

(1. 中国水利水电科学研究院 北京中水科水电科技开发有限公司, 北京 100038;

2. 水利部海河水利委员会引滦工程管理局, 河北 唐山 064309)

摘要: 为提高水库抵御洪水能力, 增加洪水调度预警时间, 保证水库安全运行, 提出了基于特大暴雨分级的水库上限起调水位分析方法, 首先分析特定历时暴雨总量范围, 在此基础上对可能发生的特大暴雨按雨量进行分级处理, 对各级暴雨进行时空分配, 应用水文模型模拟洪水过程, 并按原有调度方法对研究水库进行调洪演算, 进而确定安全运行理想暴雨量, 在此基础上进一步研究超过安全运行理想暴雨量的各级特大暴雨, 计算对应的上限起调水位, 为水库预泄调度提供数据参考, 增加防洪预警时间, 以确保调洪时坝前最高水位不超过允许上限水位。该方法应用于洪渡河石垭子水库, 计算确定了原有调度方法下水库安全运行理想暴雨量, 并分析了超过该暴雨量的各级特大暴雨对应的安全运行上限起调水位, 为石垭子水库防洪调度提供数据支撑。研究发现, 部分中小水库防洪调度存在显著特点, 按原有调度方式抵御特大洪水能力有限, 新方法能够有效提高水库抵御特大洪水的能力。

关键词: 特大暴雨分级; 理想暴雨; 水库调度; 上限起调水位

中图分类号: TV697.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)05-0159-05

Analysis method of reservoir upper limit initial water level based on torrential rain classification

LIU Kexin¹, YU Qian¹, LI Kuang¹, LIU Bingchao², XU Haiqing¹, MA Lan¹

(1. Beijing IWHR Technology Co., Ltd, China Institute of Water Resources and Hydropower

Research, Beijing 100038, China; 2. The Administration of the Luanhe Diversion Project, Haihe River

Conservancy Commission, Ministry of Water Resources, Tangshan 064309, China)

Abstract: In order to improve the ability of a reservoir to resist flood, increase the time of flood dispatching and warning, and ensure the safe operation of reservoir, a new method called reservoir upper limit initial water level analysis based on torrential rain classification is proposed. Firstly, the total amount range of rainstorm of certain duration is analyzed, and the possible rainstorm is classified according to rainfall. Then the spatial and temporal distribution of rainstorm at different levels is simulated. The hydrological model is used to simulate the flood process and the flood control calculation is carried out according to the original scheduling method. And then the safe-operating ideal storm volume is determined. On this basis, the extreme heavy rain exceeding the safe-operating ideal storm volume is further studied and the corresponding upper limit initial water level is calculated. It can provide data reference for reservoir pre discharge operation and increase flood control warning time, so as to ensure that the highest water level in flood routing does not exceeds the allowable upper limit water level of the reservoir. The method is applied to the Shiyazi reservoir. The safe-operating ideal storm volume of the reservoir under the original dispatching method is analyzed and calculated. The safe-operating upper limit water level corresponding to the heavy rainfall exceeding the rainstorm amount is analyzed, so as to provide data support for flood control of Shiyazi reservoir. It is found that the flood control operation of some small and medium-

收稿日期: 2018-01-19; 修回日期: 2018-04-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(51309254); 国家重点研发计划项目(2017YFC0405801、2017YFC0405804); 中国水利水电科学研究院基本科研业务费专项项目(AU0145B402017)

作者简介: 刘可新(1990-), 男, 河北保定人, 硕士, 助理工程师, 主要从事水文预报、水库调度方面研究。

sized reservoirs has obvious characteristics, the capacity of resisting extreme flood is limited according to the original operation mode and the new method can effectively improve the ability of the reservoir to resist the catastrophic flood.

Key words: torrential rain classification; ideal rainstorm; reservoir operation; upper limit initial water level

1 研究背景

水库防洪调度一直备受国内外学者关注。国外关于水库防洪调度的研究起步较早^[1-2],经若干年研究已进入决策系统研发阶段^[3-4],为防洪决策提供基础数据,这方面的研究大都关注大水库的宏观调度,对中小水库的研究尚不充分。我国水库防洪调度的研究起步较晚,但发展较快。20 世纪 80 年代中期以后优化调度理论得到了充分的重视^[5-6],90 年代以来取得了蓬勃发展^[7-9],如今这一领域研究仍在不断进行中^[10-14]。21 世纪以来,我国建设完成了众多中小水库,对流域水文循环过程具有较大影响,因此诸多学者开始研究考虑中小水库影响下的洪水预报^[15-16],并根据其运行特点,针对性的制定调度方法^[17-19],取得了较好的应用效果。

上述研究一方面多针对大中型水库的特点,理论和应用适合大中型水库,对中小水库的流域特点、运行特性以及与之对应的洪水调度方法研究有待进一步充分;另一方面多从洪水角度研究调度方法,而从暴雨分级角度入手,将暴雨与洪水调度方法直接联系的则不多见。本文在分析了中小水库特点的基础上,提出了基于特大暴雨分级的水库上限起调水位分析方法,分析计算水库安全运行理想暴雨量,并分析研究超过该量级的各级特大暴雨对应的上限起调水位,增加了防洪预警与水库预泄时间,提高了水库抵御特大洪水的能力。

2 中小水库运行特点及方法介绍

中小水库坝址控制面积较小,洪水预见期较短,在洪水预报及水库运行方面具有显著的特点,在分析其特点的基础上,提出了基于特大暴雨分级的水库上限起调水位分析方法。

2.1 中小水库运行特点

中小水库以坝址控制面积小、水库调节能力低等为显著特点,具体表现为以下几个方面:

(1) 坝址控制面积较小,洪水预见期较小,有些小水库流域预见期仅为 2~3 h,一旦发生特大暴雨,留有的防洪预警与水库预泄时间十分有限,防洪压力很大;

(2) 水库调洪能力有限,往往汛限水位与正常高水位齐平,调洪库容有限,大洪水到来之前进行预泄是中小水库有效的调度方式;

(3) 设计标准较低,并且平时水库水位保持在汛限水位,洪水来临时才采取相应措施,如遇特大洪水,往往无法及时降低库水位;

(4) 许多水库兼顾发电任务,但平均水头往往不高,汛限水位常与正常高水位齐平并常在正常高水位水平上运行,如遇特大暴雨,容易发生险情;

(5) 防洪调度大都采用水位-下泄流量的二维调洪规程调度,无法应用降雨量信息动态控制起调水位,遭遇特大暴雨时,难以保证大坝安全。

综上所述,中小水库的调洪能力有限,预泄调度是应对特大洪水有效的调度方式,但洪水来临时再进行下泄措施使防洪预警及水库预泄时间缩短,需要一种较可靠的方法计算特大暴雨发生时水库允许的上限起调水位,以便按降雨总量及时实施预泄过程并控制预泄总量,实现防洪与发电兼顾的双重效益。

2.2 方法介绍

针对中小水库的特点本文提出了基于特大暴雨分级的水库上限起调水位分析方法,以计算特大暴雨发生时水库保持安全运行的上限起调水位,为防洪预警及水库预泄提供数据支撑。该方法首先分析确定所在流域特定历时特大暴雨总量的取值范围,在此范围内按暴雨总量对特大暴雨分级处理,设定水文模型初始状态变量,并分级模拟洪水过程,作为洪水调度的输入,以汛限水位作为起调水位,应用常规调度方法,以不超过坝前允许最高水位为限制条件,计算水库安全运行理想暴雨量,并分析超过该量级的各级特大暴雨对应的水库保持安全运行的上限起调水位,为水库预泄调度提供数据支撑。

2.2.1 特大暴雨分级处理 特大暴雨分级处理是为了得到用于洪水模拟的暴雨过程,包括空间分布和时程分配。具体有以下几个步骤:

(1) 特大暴雨历时即范围确定。根据流域暴雨特点,首先确定特大暴雨历时,而后确定特定历时的特大暴雨总量范围,上限一般选择可能最大降雨量,下限可根据经验选取。

(2) 特大暴雨分级。根据暴雨量上、下限将特

大暴雨划分为几个级别,可按最大量级百分比确定,或是在特大暴雨范围内平均划分级别,本文采取平均划分的方式。

(3) 特大暴雨时空分配。对各级特大暴雨进行时空分配,本文采用典型暴雨分配方法。最终得到特定历时的暴雨量过程,作为洪水模拟的输入。

2.2.2 水文模型选择与洪水模拟 选择适合研究流域的水文模型进行洪水模拟,本文研究流域位于南方湿润地区,流域年平均降雨 1 000 mm 以上,选择三水源新安江模型,该模型在我国已广泛应用,模拟及预报效果较好,为洪水调度提供可靠的入库流量数据。模型初始状态变量设置时考虑最不利的情况,假设流域蓄满。蒸散发量采用流域时段平均蒸散发。

2.2.3 安全运行理想暴雨量 安全运行理想暴雨量是在特定时空分布,特定下垫面条件,特定起调水位情况下水库通过特定的防洪调度方法,能够承受的上限暴雨量,其形成的洪水过程称为安全运行理想洪水,该洪水通过特定的防洪调度方法在坝前正好达到水库安全运行的允许最高水位。特定时空分布,特定下垫面条件,特定起调水位均选择对防洪不利的情况,即时空分布选取暴雨中心偏于流域出口,雨峰陡急且靠后的典型暴雨过程,下垫面条件假定流域蓄满,特定起调水位选取汛期达到的最高水位即汛限水位;特定的防洪调度方法是指当洪水来临时,研究水库通常采用的调度方法;坝前允许最高水位一般选择校核洪水位。安全运行理想暴雨的计算采用试算法,按给定暴雨量,洪水模拟,调洪演算的过程最终确定安全运行理想暴雨量,计算过程如图 1 所示。

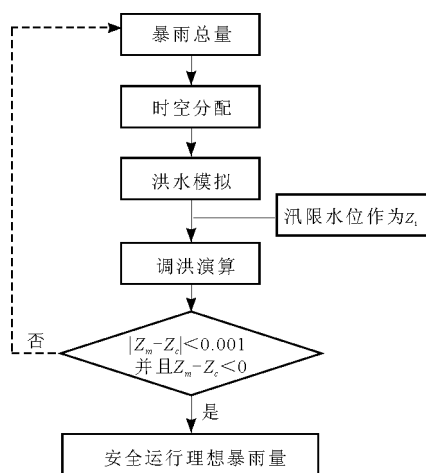


图1 安全运行理想暴雨量计算流程图

图1中 Z_m 为调洪演算坝前达到的最高水位; Z_c 为坝前允许最高水位,本文中指校核洪水位; Z_1 为起调水位。

2.2.4 特大暴雨安全运行上限起调水位 将超过安全运行理想暴雨量的特大暴雨分级,相同条件下,所得各级暴雨形成的洪水均影响水库安全运行,本文探讨在不改变水库原有调度方法条件下,能够满足运行安全上限起调水位,通过试算法最终确定超过安全运行理想暴雨的各级特大暴雨对应的水库上限起调水位,计算过程如图2。

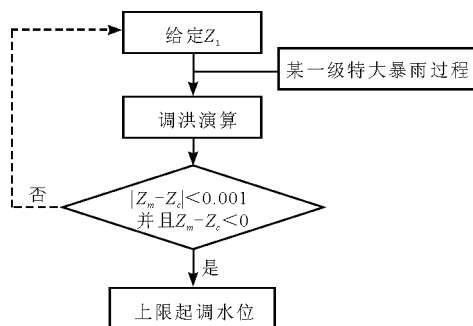


图2 上限起调水位计算流程图

图2中 Z_m 为调洪演算坝前达到的最高水位; Z_c 为坝前允许最高水位,本文中指校核洪水位; Z_1 为起调水位。

3 实际流域应用

将该方法应用于洪渡河流域石垭子水库,洪渡河流域位于贵州省东北部,是乌江水系左岸的一级支流,发源于贵州省正安县谢坝乡上关村大面山(发源地海拔高程 1 538 m)。洪渡河全流域集水面积 3 739 km²,干流主河道全长 205 km。位于降水迎风坡面,受中亚热带湿润季风气候影响,水汽来源丰富,降水量较大,多年平均降雨量 1 201 mm。石垭子水电站位于洪渡河干流,坝址以上流域面积 2 589 km²,占全流域的 69.24%,多年平均年径流量 18.8×10^8 m³。汛限水位 544 m,死水位 520 m,按 100 年一遇设计,设计洪水位 544.21 m,1000 年一遇校核,校核洪水位 547.35 m。电站装机 2 台,电站装机容量 140 MW,多年平均年发电量 4.782×10^8 kW·h。

石垭子水库虽为大型水库,但洪水设计标准与校核标准较低,防洪模式与上文提到的中小水库相似。将该方法应用于石垭子水库,首先分析特大暴雨量级,计算安全运行理想暴雨量,在此基础上将超过安全运行理想暴雨量的特大暴雨分级,计算各级

对应上限起调水位,具体过程如下。

分析石垭子水库的暴雨特点,本次研究采用 24 h 作为暴雨历时,据“24 h 全国可能最大降雨分布图”,通过点面转换关系,确定该流域的可能最大面降水量约为 270 mm,在 200 ~ 270 mm 之间,每 5 mm 作为一级;应用典型暴雨法对各级特大暴雨进行时程分配,选取 1968 年 7 月 19 日暴雨作为典型暴雨,降雨历时 15 h,流域面平均降雨量 186.9 mm,该降雨的时程分配特征能够反映流域特点,典型面暴雨时程分配如图 3;石垭子水库年平均降雨量 1 000 mm 以上,属湿润地区,因此选择新安江模型模拟洪水,模型初始状态变量考虑最不利情况,假设流域蓄满;石垭子水库调洪规程为平时水库水位保持在汛限水位 544 m,洪水情况下超过汛限水位按入库流量泄洪,如果大于下泄能力则按下泄能力泄洪。

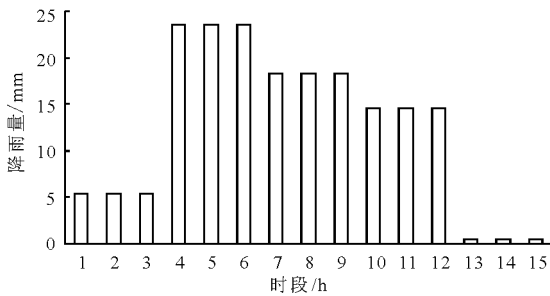


图3 石垭子水库特大暴雨时程分配图

以汛限水位 544 m 为起调水位,校核洪水位 547.35 m 为坝前允许最高水位,计算得到石垭子水库的安全运行理想暴雨量为 223.3 mm,暴雨过程如图 4,所形成洪水历时约为 50 h,洪峰流量为 9 740 m³/s,洪水总量约为 5.38 × 10⁸ m³;调洪过程中最大下泄流量 9 020 m³/s,最高坝前水位 547.35 m,安全运行理想洪水及调洪过程如图 5,图 5 显示该洪水为单峰,并呈现陡涨缓落趋势,符合南方湿润地区洪水的特点;调洪过程以汛限水位 544 m 为起调水位,坝前达到的最高水位恰好为校核洪水位 547.35 m,因此 223.3 mm 即为安全运行理想暴雨量;从图 5 还可以看出存在一个水位变化转折点,在此之后水位陡增,这主要是因为下泄流量已达到了下泄能力,反映出当来水流量较大时,若仍采用原有调度方式将对水库运行安全造成较大影响。

对超过 223.3 mm 的各级特大暴雨,以校核洪水位 547.35 m 为坝前允许最高水位,计算各级暴雨对应的能使水库保持运行安全上限起调水位,结果见表 1 和图 6。

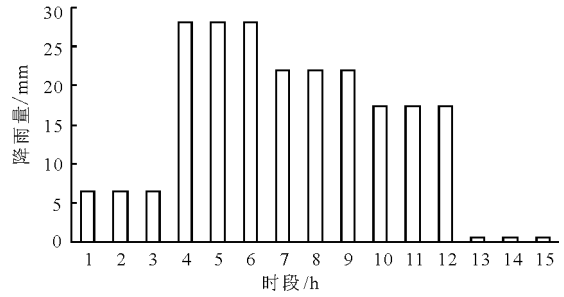


图4 安全运行理想暴雨过程图

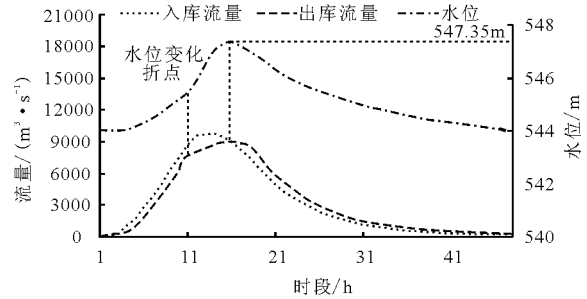


图5 安全运行理想洪水及调洪过程图

表 1 各级特大暴雨与上限起调水位

雨量/mm	上限起调水位/m
223.3	544.00
225.0	543.53
230.0	542.13
235.0	539.69
240.0	535.75
245.0	529.75
250.0	523.75
252.4	520.00

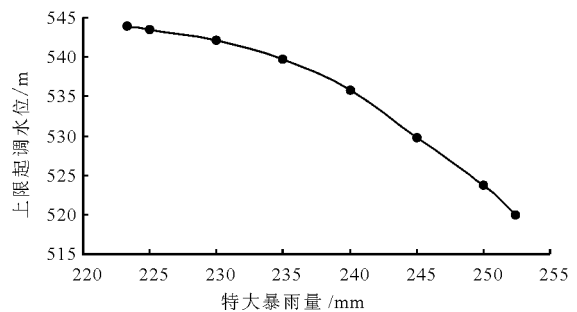


图6 各级特大暴雨与上限起调水位关系图

表 1 中结果显示石垭子水库安全运行理想暴雨量为 223.3 mm,此时上限起调水位恰好为汛限水位 544 m;随着暴雨量增大,上限起调水位逐渐降低;当特大暴雨量增大至 252.4 mm 时,上限起调水位降低至死水位 520 m,已是水库运行的最低水位,因此在该种调度方式下,按理想暴雨量的概念,石垭子水库可抵御的最大暴雨量为 252.4 mm,超过该值,采

用该种调度方法,通过降低起调水位已不能保证运行安全;图6显示结果与表1一致,上限起调水位随暴雨量增加而降低,并且降低幅度逐渐增大,这主要是由于低水位与高水位相比,相同水位差对应的库容较小,下泄能力较低而引起的。

4 结 论

本文提出了基于特大暴雨分级的水库上限起调水位分析方法,在讨论了中小水库防洪运行特点的基础上,提出了安全运行理想暴雨量的概念,并详述了计算该暴雨量的方法,在此基础上计算超过安全运行理想暴雨量的各级特大暴雨对应的上限起调水位。该方法应用于石垭子水库,得到以下几点结论:

(1)按中小水库运行方式进行防洪调度,抵御特大洪水的能力较低。石垭子水库防洪调度方式与前文中分析的中小水库运行方式相似,平时保持在汛限水位,洪水来临时才采取措施,按安全运行理想暴雨量的概念只能抵御24 h降水不超过223.3 mm的特大暴雨,而可能最大降雨约为270 mm,超出安全运行理想暴雨量较大。

(2)提出了安全运行理想暴雨量的概念,并详述了计算该暴雨量的方法,对水库防洪调度有一定的指导意义。石垭子安全运行理想暴雨量为223.3 mm,如遭遇降水超过这一量级,则汛限水位作为起调水位,采用原有调度方式不能保证水库安全运行。

(3)提出将超过安全运行理想暴雨量的各级特大暴雨与上限起调水位直接联系,为水库按暴雨量进行预泄提供了参考,同时增加了预警预泄时间,有利于保证防洪安全。计算得到了石垭子水库各级暴雨对应的上限起调水位,并绘制了相关图表,对防洪调度具有一定指导作用。

(4)基于特大暴雨分级的水库上限起调水位分析方法,能够有效提高水库防洪能力。石垭子水库原有方式运行,按安全运行理想暴雨量的概念,最大能够抵御223.3 mm的特大暴雨;应用特大暴雨上限起调水位分析方法可以提高至252.4 mm的特大暴雨。

(5)基于特大暴雨分级的水库上限起调水位分析方法具有一定的局限性。应用该方法石垭子水库最大能够抵御252.4 mm的暴雨量,与可能最大降水270 mm尚有一定差距。

参考文献:

[1] WASIMI S A, KIMANDIS P K. Real-time forecasting and daily operation of a multireservoir system during flood by linear quadratic stochastic control[J]. Water Resource Re-

search, 1983,19(6):34-46.

- [2] UNVER O I, MAY S L W. Model for real-time optimal flood control operation of a reservoir system[J]. Water Resources Management, 1990,4(1):21-46.
- [3] MALEKMOHAMMADI B, ZAHRAIE B, KERACHIAN R. Ranking solutions of multi-objective reservoir operation optimization models using multi-criteria decision analysis[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(6):7851-7863.
- [4] YANG Xu, XU Shuqin, MENG Fanxiang. Reservoir optimal operation and development trend research[J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering, 2010.
- [5] 王厥谋. 丹江口水库防洪优化调度模型简介[J]. 水利水电技术, 1985(8):54-58.
- [6] 胡振鹏, 冯尚友. 汉江中下游防洪系统实时调度的动态规划模型及前向滚动决策法[J]. 水利水电技术, 1988(1):2-10.
- [7] 王才君, 郭生练, 刘攀, 等. 三峡水库动态汛限水位洪水调度风险指标及综合评价模型研究[J]. 水科学进展, 2004,15(3):376-381.
- [8] 罗军刚, 解建仓, 陈田庆, 等. 基于事例推理技术的水库洪水调度研究与应用[J]. 水科学进展, 2009,20(1):32-39.
- [9] 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.
- [10] 刘云, 谈广鸣, 李义天, 等. 洪水调度GIS平台的研制[J]. 武汉大学学报(工学版), 2010,43(4):423-428.
- [11] 余豪. 基于气象水文耦合模型的洪水预报与洪水优化调度方法及应用研究[D]. 大连:大连理工大学, 2013.
- [12] 徐冬梅. 水库群防洪调度与洪水资源化相关问题研究[D]. 大连:大连理工大学, 2014.
- [13] 卢有麟, 陈金松, 祁进, 等. 基于改进熵权和集对分析的水库多目标防洪调度决策方法研究[J]. 水电能源科学, 2015,33(1):43-46.
- [14] 阴悦. 多约束条件下的防洪调度启示[J/OL]. 中国防汛抗旱, 2017(5):325-328[2018-08-29]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5587.TV.20170510.1738.016.html>.
- [15] 冯娜. 考虑上游中小型水库影响的上犹江水库洪水预报研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2012.
- [16] 葛于晋. 考虑中小水库影响的门楼水库洪水预报调度研究[D]. 大连:大连理工大学, 2015.
- [17] 车岳. 山西省中、小型水库汛限水位调整若干问题研究[D]. 太原:太原理工大学, 2011.
- [18] 胡尊乐, 汪 珊, 闫浩, 等. 最不利情况下中小水库联合供水的调度研究[J]. 江苏水利, 2016(12):18-21.
- [19] 李俊. 全国中小水库管理信息系统的设计与实现[D]. 北京:北京邮电大学, 2009.