

蓼窝水库汛限水位动态控制域研究与应用

王国利*, 袁晶瑄, 梁国华, 李 敏

(大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 水库汛限水位动态控制域十分关键, 预泄能力约束法是目前确定汛限水位动态控制域的主要方法, 但在实时防洪调度中可操作性差且未考虑梯级水库群的库容补偿影响. 基于此, 首先提出有更好操作性的确定汛限水位动态控制域的分级预泄方法; 然后研究了库容补偿对汛限水位的影响. 在此基础上, 以辽宁省蓼窝水库为工程背景, 采用分级预泄方法并考虑库容补偿影响确定了蓼窝水库的汛限水位动态控制域, 并制定了相应的动态控制规则. 该成果经松辽流域水利管理委员会批准, 并在 2005、2006 两年的太子河流域防洪调度中得到应用, 取得了很好的应用效果.

关键词: 水库汛限水位; 动态控制域; 预泄能力约束法; 分级预泄法; 库容补偿

中图分类号: TV697.1 **文献标志码:** A

0 引言

汛限水位对水库防洪与兴利蓄水均十分关键. 我国的汛限水位控制大多以水库坝前的实际水位作为判断入库洪水量级的指标决定水库的调度方式, 其特点是不考虑水文、气象预报信息, “静态控制”汛限水位^[1], 其结果是在注重防洪安全的同时, 牺牲了水库的部分兴利蓄水效益.

现代水文气象预报科学理论的发展、水雨情测报系统的广泛建设, 对汛限水位控制运用中考虑这些因素的要求更迫切, 也更可行^[2~6]. 2002 年水利部设立重大科技项目, 将水库汛限水位动态控制方法列为重大理论专题进行研究, 并选择 12 座有代表性的大型水库作为试点进行研究, 其核心问题之一是汛限水位动态控制域的确定^[6~8], 它是汛限水位实时动态控制的基础.

防洪预报调度方法、以实际流量为判据的调度方法和预泄能力约束法是确定汛限水位动态控制域的主要方法^[9,10]. 区别于传统的以水库坝前水位作为判别入库洪水量级的指标, 防洪预报调度方法以预报净雨为判别指标; 以流量为判据的调度方法是以入库或下游控制站的实际流量来判别区域洪水量级; 预泄能力法以 24 h 分级降雨预

报信息为依据. 这 3 种方法尽管在判别指标上有很大不同, 但都是通过提前分析、判断洪水情势, 提前均匀泄流, 达到提高汛限水位的目的. 3 种方法中, 前二者对洪水预报方案精度和水情自动测报系统的稳定性要求高, 如相关控制站的实时流量或流量组合不易获得, 可操作性受到影响; 泄流能力约束法则由于信息获取容易且可信度高、易操作, 受到格外重视且研究与应用也较多^[11,12]. 但目前, 这些研究成果存在两个问题: 一是在有效预见期内, 要求按下游控制站防洪标准允许的水库最大流量可下泄至汛限水位动态控制域下限; 二是成果仅着眼于单个水库, 没考虑水库群之间防洪库容补偿作用的影响. 然而, 在水库的实时防洪调度中, 遭遇中小洪水的机会较多, 水库的下泄流量远达不到下游河道允许的安全流量, 如仍按预泄能力下泄就可能人为地增加下游的受灾风险; 实践还表明, 即使在主汛期梯级水库群之间的库容补偿关系也是经常存在的, 研究中必须作相应的考虑. 在汛限水位动态控制研究中不解决这两个问题, 就会直接影响研究成果的实用性. 对这两个问题的研究是本文的核心内容.

在水利部重大科研项目选择的 12 座试点水

收稿日期: 2007-01-10; 修回日期: 2008-10-09.

基金项目: 国家“十一五”科技支撑资助项目(2006BAB14B06).

作者简介: 王国利*(1964-), 男, 博士, 副教授, E-mail: wanggl@dlut.edu.cn.

库中,辽宁省蓼窝水库是惟一考虑库容补偿条件下汛限水位动态控制研究与应用的水库,本文就是将该水库作为背景进行研究的。

1 水库的工程背景

蓼窝、观音阁和汤河水库是太子河流域上的 3 座大型水库。其中蓼窝水库位于辽宁省辽阳市以东约 40 km 处,是以防洪、灌溉、城市供水为主,并结合发电的大(Ⅱ)型水利枢纽工程,水库控制流域面积 6 175 km²,总库容 7.91×10⁸ m³,原设计汛限水位 86.20 m,正常蓄水位 96.60 m。水库按百年一遇洪水设计,千年一遇洪水校核。

蓼窝水库上游 108 km 处的观音阁水库是多年调节水库,坝址位于辽宁省本溪市上游 40 km 处的太子河干流上。水库控制流域面积 2 795 km²,占蓼窝水库控制流域面积的 45.3%,占辽阳站控制流域面积的 34.6%,水库总库容 21.68×10⁸ m³。汛限水位与正常蓄水位均为 255.2 m。

汤河水库位于蓼窝水库下游的太子河支流汤河上,水库控制流域面积 1 228 km²,总库容 7.23×10⁸ m³,百年一遇洪水设计,PMP 校核,汛限水位 107.7 m,正常蓄水位 109.2 m。

三水库组成的水库群共同承担下游辽阳地区的防洪任务,其中,观音阁、蓼窝二水库为梯级水库,二者与汤河水库组成并联水库群。下游控制站辽阳站频率为 2% 洪水的设计组合流量约束为 5 050 m³/s,其中蓼窝水库控泄流量为 2 200 m³/s,这是蓼窝水库汛限水位动态控制域研究中考虑的一个必要条件。

2 考虑库容补偿的蓼窝水库汛限水位

蓼窝水库是年调节水库,其上游的梯级水库观音阁水库为多年调节水库。在规划设计阶段确定蓼窝水库汛限水位时,是假定上游的观音阁水库达到汛限水位的情况,按照全区洪水不同频率的设计洪水组合,考虑太子河流域三大水库的大坝、下游防洪目标的防洪要求以及淹没动迁标准等约束条件,三大水库联合调洪计算,确定出蓼窝水库的汛限水位及其泄流方式。这在水库设计阶段,是安全的,也是合理的。

但从水库的实际运行情况看,由于蓼窝水库是年调节水库,其经常在主汛前便已经达到汛限水位,而上游的观音阁水库水位距离汛限水位 255.2 m 相差较远。经 1951~2000 年 50 a 系列太子河流域水利计算,统计观音阁水库 50 a 内主汛前库水位可知,45% 的年份,水位低于 246.0 m;63% 的年份,水位低于 250.0 m,仅有 3 个年份达到汛限水位 255.2 m。因此,观音阁和蓼窝二水库有实行库容补偿防洪调度的可能性。

根据水文分析结果及太子河全区防洪要求,按规划的防洪标准和调洪约束条件,考虑辽阳站以上流域的 3 种地区洪水组成进行调洪计算,分别拟定当观音阁水库处于不同起调水位时,蓼窝水库的汛限水位,结果如表 1 的第 1、2 列所示。由于该成果是依据常规的调洪规则调节计算得出,是安全的,因此将其作为蓼窝水库汛限水位动态控制域的下限。

表 1 考虑库容补偿和分级预泄时蓼窝水库汛限水位动态控制域计算成果

Tab.1 Results of upper dynamic control range boundary with considering both reservoirs capacity compensation and stepped pre-discharge method m

观音阁 起调水位	蓼窝水库主汛期汛限水位动态控制域			汛限水位动态控制规则
	下限值	较原设计汛限水位的增幅	上限值	
255.2	86.2	0	88.6	
254.5	86.8	0.6	89.1	
254.0	87.4	1.2	89.7	如预报 24 h 有中雨或中雨以下
253.0	87.7	1.5	89.9	降雨,控制汛限水位不高于上
250.0	88.3	2.1	90.4	限;如预报 24 h 有中雨以上量
249.0	88.7	2.5	90.8	级降雨,则在 12 h 内分级下泄:
248.0	89.1	2.9	91.1	先以 1 200 m ³ /s 预泄 6 h,再以
247.0	89.3	3.1	91.3	1 700 m ³ /s 预泄 6 h
246.0	89.7	3.5	91.7	
245.0	89.7	3.5	91.7	

注:下限值指不考虑分级预泄时,按常规调度方式确定的蓼窝水库汛限水位,此为汛限水位动态控制域下限值;上限值指考虑分级预泄后,预泄前蓼窝水库可保持的最高水位,为汛限水位动态控制域上限值

分析表1的调洪结果可以得到两个基本结论:一是考虑观音阁水库的库容补偿,可提高茭窝水库的汛限水位;二是即使考虑库容补偿,茭窝水库汛限水位的提高也是有限的,且最多可提高3.5 m.

3 考虑24 h降雨预报的分级预泄法

从规划设计的角度,泄流能力约束法不考虑降雨预报信息的实时滚动修正,亦不考虑常遇洪水的实时调度中对河滩农田的保护,这造成了该成果在实际应用上的困难.分级预蓄预泄法既遵循水库的泄流能力和河道的过流能力约束,确定的最大泄流量在泄流能力法的基础上留有一定的安全余量,又在预泄过程中间接考虑降雨预报与洪水预报信息的滚动修正、下游区间洪水形势分析和下游控制站的组合流量分析等实际条件.在有效预泄时间一定的条件下,因分级预泄流量较预泄能力约束法中的泄流量小,所以前者确定的汛限水位动态控制域也相应减小,可能牺牲了部分兴利蓄水效益,但它有两个突出优点,一是同时注重了防洪安全,二是具有更好的可操作性.

分级预泄法的基本思想是:根据降雨、洪水预报信息、水库的泄流能力和下游控制站的组合流量约束等条件,通过分级预泄措施确定有效预见期内(目前的研究成果均取12 h)汛限水位动态控制域上限值.

当入库洪水处于退水阶段,若收到24 h大雨及大雨以上量级降雨预报信息时,要求在有效预见期内分级预泄(因有效预见期仅为12 h,可只分两级),可以由汛限水位控制域上限值降低到下限值,此过程称为预泄过程.可用公式描述为

$$z_{\max} = z_{\min} + \Delta z_{\max} \quad (1)$$

$$\Delta z_{\max} = f[(q_1 - Q_1) \times \Delta t_1] + f[(q_2 - Q_2) \times \Delta t_2]$$

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2, \Delta t_1 = t_1 - t_{jc}, \Delta t_2 = t_{\text{end}} - t_1,$$

$$q_{\max} \geq q_2 \geq q_1 \geq Q_1 \geq Q_2 \quad (2)$$

式中: $z_{\min}$ 为汛限水位动态控制域下限值; $z_{\max}$ 为汛限水位动态控制域上限值; $\Delta z_{\max}$ 为汛限水位动态控制域下限以上的允许浮动值; Δt 为有效预见期; t_{jc} 为决策执行时对应的时刻; t_{end} 为有效预见期末对应的时刻; t_1 为预泄流量分级时刻; Δt_1 、 Δt_2 分别为一级、二级预泄流量泄流的时段长; $q_{\max}$ 为下游防护点安全组合流量下允许的水库最大下泄流量值; q_1 、 q_2 分别为 Δt_1 、 Δt_2 内的平均出库流量; Q_1 、 Q_2 分别为 Δt_1 、 Δt_2 内的平均入库流

量; $f[\cdot]$ 为库容水位关系增量函数.

考虑24 h降雨预报的分级预泄法确定汛限水位上限值通过以下4个步骤计算:

(1) 计算有效预见期 Δt , 并确定一级、二级预泄流量泄流的时段长 Δt_1 和 Δt_2 ;

(2) 确定 Δt_1 和 Δt_2 期间的平均出流 q_1 、 q_2 ;

(3) 预报 Δt_1 、 Δt_2 内的平均入库流量 Q_1 、 Q_2 ;

(4) 计算汛限水位动态控制域上限: $\Delta z_{\max} = f[(q_1 - Q_1) \times \Delta t_1] + f[(q_2 - Q_2) \times \Delta t_2]$.

4 考虑库容补偿和分级预泄的汛限水位动态控制域上限的确定

茭窝水库的预泄能力受以下几方面条件的约束:一受下游安全泄量的约束,频率为2%洪水的下游(辽阳站)组合流量 $< 5\,050 \text{ m}^3/\text{s}$, 其中茭窝水库控泄流量为 $2\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ (小于50年一遇洪水的控泄条件);二受预泄时的退水流量约束,考虑茭窝水库的特点,采用库水位持平或下降时期的平均入流量 $100 \text{ m}^3/\text{s}$;三受城市供水与灌溉日平均出流约束,取 $80 \text{ m}^3/\text{s}$;四受预泄时间约束,根据目前对24 h降雨预报信息的可利用性研究成果,有效预见期均取12 h,期间扣除了预报信息传递时间和预泄决策调令传达及实施时间.

以茭窝水库的原设计汛限水位86.20 m为例,分别介绍两种方法确定汛限水位动态控制域上限的计算过程.采用预泄能力约束法,茭窝水库在有效预见期12 h内控泄流量为 $2\,200 \text{ m}^3/\text{s}$, 预泄水量为 $94.18 \times 10^6 \text{ m}^3$, 在茭窝水库原设计汛限水位86.2 m以上推算,相应的汛限水位最高可控制为89.70 m,即汛限水位动态控制域上限;若采用分级预泄法,则先以 $1\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ 预泄6 h,再以 $1\,700 \text{ m}^3/\text{s}$ 预泄6 h,在12 h内可预泄水量 $62.64 \times 10^6 \text{ m}^3$, 相应的汛限水位动态控制上限值为88.60 m,较预泄能力约束法计算结果低1.10 m,相应蓄水减少 $31.54 \times 10^6 \text{ m}^3$. 两种方法的计算过程和成果如图1和表2所示.

以考虑库容补偿时的茭窝水库汛限水位动态控制域下限计算成果为基础,采用分级预泄法分别计算当上游观音阁水库处于不同起调水位时茭窝水库的汛限水位动态控制域上限,并根据24 h降雨预报信息制定出相应的汛限水位动态控制规则.计算成果和动态控制规则如表1所示.

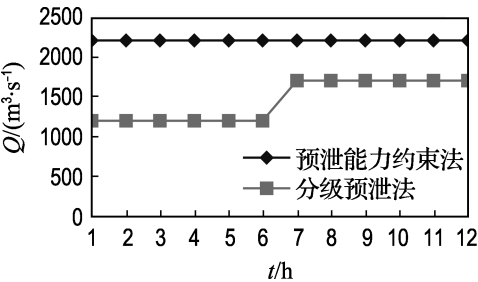


图 1 预泄能力约束法和分级预泄的预泄过程

Fig.1 Discharge process of capacity-constrained pre-discharge and stepped pre-discharge method

表 2 两种方法计算的汛限水位动态控制域上限值结果对比

Tab.2 The comparison of upper dynamic control range boundary between the two methods

方法	日平均出流/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		日最小平均入流 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	有效预见期/h	预泄水量/ 10^6 m^3	控制上限 相应水位/m
	安全泄量	城市供水				
预泄能力约束法	2 200	80	100	12	94.18	89.70
分级预泄法	1 200,1 700	80	100	12	62.64	88.60

雨预报便以 $2\,200\text{ m}^3/\text{s}$ 流量下泄,泄流量增幅过快,可操作性差;相反,采用逐级泄流的方式,且分级预泄流量选择时考虑了保护水库下游河滩地的实际需求,可操作性好。

(2)确定茆窝水库的汛限水位动态控制域时,基本条件之一是上游观音阁水库现行现有的防洪调度规则,如上游观音阁水库低于汛限水位时发生洪水,按该水库现行的防洪调度规则进行调度,洪水过后观音阁水库的水位必然上升,更接近或达到汛限水位,库容补偿的能力相应减小.为防御下一场洪水,下游茆窝水库的汛限水位动态控制域上限也必然随之降低,这种情况下,更有必要在确定茆窝水库汛限水位动态控制域上限值时留有一定余地。

(3)太子河流域的堤防建设尚未达到规划的防洪标准,且对梯级水库群的汛限水位动态控制研究刚刚开始,因此在注重水库兴利蓄水效益的同时,也要尽可能兼顾水库的防洪效益.现阶段确定较安全的汛限水位动态控制域,待试用一定时间后,并且随着流域防洪工程建设的进行和完工,再进一步研究安全且洪水资源利用率更高的汛限水位动态控制域和相应的动态控制规则。

5 结 语

水库汛限水位动态控制域的确定是汛限水位

较之预泄能力约束法,分级预泄法确定的茆窝水库汛限水位动态控制域上限值小,兴利蓄水效益会受到相应的影响,但对于有下游防洪任务的茆窝水库,尤其是该水库作为梯级水库群的下游水库,采用分级预泄法具有其合理性,主要有:

(1)按泄流能力约束法上浮汛限水位时,下泄流量按 50 年一遇洪水时茆窝水库的最大允许泄量($2\,200\text{ m}^3/\text{s}$)考虑.当入库常遇洪水处于退水阶段,水库下泄流量必然大幅减少,实际运行中通常是 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 左右,此时如有 24 h 大雨以上降

动态控制研究的基础与核心.本文在两个方面做了比较深入的研究.一是针对汛限水位动态控制域确定的主要方法:预泄能力约束法中预泄流量在预见期内取均一值(按允许的最大泄流能力下泄),而使汛限水位动态控制域上限值偏于理想且可操作性差的不足,考虑水库实时洪水调度的特点,使水库的预泄流量在预见期内由小到大逐级加大,把规划成果与实时调度较好地结合起来,既增加了防洪安全,更具可操作性;二是针对目前汛限水位动态控制研究中均以单库为研究对象的现状,考虑了库容补偿对汛限水位动态控制域的影响,并计算了当上游水库处于不同起调水位时,下游水库的汛限水位动态控制域,同时给出相应的动态控制规则。

本研究成果已获得水利部松辽流域水利管理委员会的批准用于实际运行,并在 2005、2006 两年的太子河流域防洪调度中得到实际应用.如在 2005 年 8 月的在太子河流域防洪调度中,根据本溪县市气象台站的 24 h 降雨预报信息,在研究确定的汛限水位动态控制域内,采用预蓄预泄的方法动态控制汛限水位,在防洪减灾、洪水资源利用等方面均取得较好的应用效果。

参考文献:

[1] 邱瑞田,王本德,周惠成. 水库汛期限制水位动态控制理论与观念的更新探讨[J]. 水科学进展, 2004,

- 15(1):68-72
- [2] 王本德,朱永英,张改红,等. 应用中央气象台24 h降雨预报的可行性分析[J]. 水文, 2005, 25(3):30-34
- [3] 林明智,毕宝贵,乔林. 中央气象台短期降雨预报水平初步分析[J]. 应用气象学报, 1995, 6(4):392-399
- [4] 程春田,王本德. 短期气象降雨预报在水库防洪调度中的可行性分析[J]. 大自然探索, 1994, 13(50):86-91
- [5] 王本德,周惠成,程春田,等. 可利用丰满气象台短期降雨预报时效分析[J]. 水利管理技术, 1994(4):41-46
- [6] 周惠成,李丽琴,胡军,等. 短期降雨预报在汛限水位动态控制中的应用[J]. 水力发电, 2005, 31(8):22-26
- [7] 高波,吴永祥,沈福新,等. 水库汛限水位动态控制的实现途径[J]. 水科学进展, 2005, 16(3):406-411
- [8] 周惠成,董四辉,王本德,等. 水库群联合防洪预报调度方式及汛限水位研究[J]. 大连理工大学学报, 2006, 46(3):401-406
- (ZHOU Hui-cheng, DONG Si-hui, WANG Ben-de, et al. Study of combined flood control forecast operation manner and limited water level in reservoir group [J]. Journal of Dalian University of Technology, 2006, 46(3):401-406)
- [9] 大连理工大学. 水利部重大科技项目《水库设计运用专题研究》专题4研究报告[R]. 大连:大连理工大学土木水利学院, 2004
- [10] 周惠成,王本德,王国利,等. 水库汛限水位动态控制方法研究[M]. 大连:大连理工大学出版社, 2006
- [11] 王本德,周惠成,王国利,等. 水库汛限水位动态控制理论与方法及其应用[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2006
- [12] 徐玉英,王本德,付洪涛,等. 柴河水库“05.8”暴雨洪水及调度[J]. 东北水利水电, 2006, 24(263):49-51

Determining dynamic control range of Senwo Reservoir's limited elevation and its application

WANG Guo-li*, YUAN Jing-xuan, LIANG Guo-hua, LI Min

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Limited elevation dynamic control range is important for both flood operating and water conservancy. Capacity-constrained pre-discharge method is difficult to be applied in real-time flood operation because of its constrained discharge and without considering reservoir's capacity compensation. So the stepped pre-discharge method which is more practical than capacity-constrained pre-discharge method is developed. It considers the reservoirs capacity compensation while determining limited elevation dynamic control range. Senwo Reservoir's limited elevation dynamic control range is determined by pre-discharge method with considering reservoir's capacity compensation. On the basis of these data, the limited elevation dynamic control range and relevant operating plans are suggested. These research progresses were permitted by Songliao Watershed Hydraulic Administrative Bureau. Furthermore, these research achievements had been well taken in use in Taizi Watershed flood operating in 2005 and 2006.

Key words: reservoir limited elevation; dynamic control range; spill capacity-constrained pre-discharge; stepped pre-discharge; reservoir's capacity compensation