

西大洋水库防洪预报预泄调度风险问题研究

田 雨^{1,2}, 周 洋¹, 雷晓辉², 蒋云钟²

(1. 天津大学建工学院, 天津 300072; 2. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100038)

摘要 根据西大洋水库流域的水文特征, 建立水库防洪调度模型, 通过分析水库预泄调度可能产生的影响, 建立了预泄调度风险评估模型。实际应用表明: 对于 10 年一遇和 20 年一遇的设计洪水, 若采用 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 或 $400\text{ m}^3/\text{s}$ 的预泄流量, 预泄时间可以选定为 12 h、24 h、36 h、48 h、60 h、72 h; 对于 50 年一遇以上的洪水, 可以采用较大的预泄流量, 由于来水量充足, 水库能够及时恢复至汛限水位; 对于较大重现期的洪水, 水库进行预报预泄调度是非常必要的, 所发挥的防洪效益也比较明显, 为水库的调度管理提供了依据。

关键词 水库防洪; 预泄调度; 风险分析; 防洪预报; 西大洋水库

中图分类号: TV697 文献标识码: A 文章编号: 1006-7647(2010)S1-0013-03

水库汛期的防洪调度是一项非常重要的工作。实际调度是指面临洪水时, 利用水库工程, 根据既定的调度规程实施蓄泄方案, 是其以前各阶段研究的实践, 是取得防洪、兴利效益好坏的关键过程^[1]。对于重现期大洪水, 水库适合采取预报预泄调度, 预留防洪库容的调度措施可及时为下游削峰、错峰, 增大水库调洪能力, 在确保水库安全的前提下最大限度地发挥水库的防洪效益, 有效地减轻下游洪灾损失。水库预泄实质上是提前释放风险, 同时腾出库容, 进一步提高水库拦洪能力和对水库下游的削峰能力^[2]。

传统的水库调度把初设阶段采用的防洪调度方案视为建库后水库实际调度应遵循的准则, 忽略了这 2 个阶段中水库调度工作的任务和依据已发生巨大变化, 没有充分利用气象云图分析系统、雨水情遥测系统、洪水预报调度系统, 未考虑洪水预报或降雨预报信息^[3]。其调度方式单一, 缺乏灵活性, 未能充分发挥水库的调节作用, 从而导致许多北方水库形成调洪受汛限水位的约束而发生弃水、洪水过后又无水可蓄的局面, 造成洪水资源的浪费^[4]。如果在调度中运用合理的预报预泄调度, 从某种意义上讲, 不但可以延长水库拦洪时间、加大拦洪量, 还可以提高水资源转化量和削峰幅度, 进一步挖掘水库防洪和兴利的能力。本文以西大洋水库为例, 进行该水库防洪预报预泄调度风险问题的研究。

1 西大洋水库概况

西大洋水库位于大清河系唐河出山口唐县境内的西大洋村下游 1 km 处, 水库控制流域面积为 $4\,420\text{ km}^2$, 总库容为 11.37 亿 m^3 , 是以防洪为主, 兼顾城市供水、灌溉、发电等综合利用的大型水库。西大洋水库始建于 1958 年 1 月, 目前, 水库除险加固工程正在实施, 加固后水库防洪标准将达到 500 年一遇洪水设计、10 000 年一遇洪水校核。

为保护水库下游河滩地, 水库遇 10 年一遇洪水控泄 $300\text{ m}^3/\text{s}$, 满足下游河道主槽的安全过水能力; 遇 20 年一遇洪水控泄 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 满足下游河道的行洪安全, 保护水库下游的村镇和耕地; 下游京广铁路桥设计防洪标准采用 100 年一遇, 京广铁路桥的设计流量为 $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 为保障京广铁路桥的防洪安全, 水库 100 年一遇洪水控制泄量为 $5\,460\text{ m}^3/\text{s}$ 。

1963 年洪水为建库以来调蓄的最大洪水, 由于当时库水位远低于汛限水位, 洪水初期为填蓄阶段, 8 月 4 日 8:00 开始涨水, 起涨水位为 116.02 m, 到 8 月 7 日库水位开始快速上涨, 至 8 月 8 日 20:30 最高库水位达 140.9 m, 前后共升高 24.88 m, 最大 1 h 水位上涨 0.83 m, 最大 1 d 上涨 13 m, 最大入库洪峰为 $7\,940\text{ m}^3/\text{s}$, 最大 1 d 洪量为 4.32 亿 m^3 , 3 d 洪量 7.5 亿 m^3 。水库由溢洪道和泄洪洞泄洪, 最大泄量为

基金项目: 国家自然科学基金创新研究群体科学基金(50721006); 十一五“国家科技支撑计划”(2006BAB04A07, 2008BAB29B08); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2006CB403404)

作者简介: 田雨(1985—), 女, 天津人, 博士研究生, 从事水文水资源研究。sweetrain511@163.com

水利水电科技进展 2010, 30(S1) Tel: 025-83786335 E-mail: jz@hhu.edu.cn http://kkb.hhu.edu.cn

· 13 ·

1 670 m³/s ,削减洪峰 79.0% ,拦蓄洪量 5.57 亿 m³。

2 水库防洪调度模拟模型的建立

2.1 入库洪水过程线推求

西大洋水库典型 63·8 洪水的过程历时较长 ,洪峰流量为 7 940 m³/s ,笔者采取同频率放大法推求 ,计算出的各频率洪水过程线放大系数。分别对西大洋水库 10 年一遇、20 年一遇以及 50 年一遇的洪水进行过程线模拟 ,绘制出西大洋水库设计洪水过程线如图 1 所示。

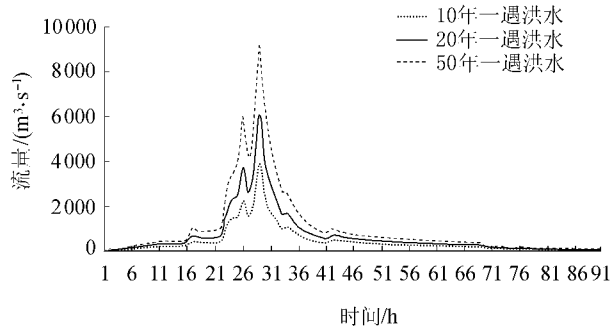


图 1 西大洋水库设计洪水过程线

2.2 防洪调度模拟模型构建

水库防洪调度需要进行调洪计算 ,利用水量平衡方程式对给定的入库洪水过程推求下泄流量过程 ,以及相应的蓄洪容积、最高调洪水位和最大下泄流量。已知各时段洪水流量 Q 、初始时段的库容 V_1 、各时段的时间间隔 t 以及方案规定的下泄流量 q ,利用水量平衡方程式(式 1)) ,求出各时段末的库容 V_2 。

$$\frac{Q_1 + Q_2}{2} - \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{V_2 - V_1}{t} \tag{1}$$

式中 Q_1, Q_2 分别为计算时段初及时段末的入库流量 ; q_1, q_2 分别为计算时段初及时段末的下泄流量 ; V_1, V_2 分别为计算时段初及时段末的水库蓄水量 ; t 为计算时段 ,取 3 h 间隔。

3 水库预泄调度风险评估模型的建立

3.1 西大洋水库预泄调度的可能性分析

水库预泄调度的实施主要依靠入库洪水的预报能力 ,大清河流域已建有洪水预报系统 ,预见期为 3 d ,河北省水利厅大清河流域管理处通过对西大洋水库历史洪水模拟预报 ,可以给出洪峰、洪量预报精度的统计情况 ,如表 1 所示。

从表 1 中数据可以看出 ,洪峰、洪量的预报误差基本控制在 20% 以内。因此 ,西大洋水库现有预报系统的预报精度已基本达到甲等水平 ,基本可以提供 3 d 以内的入库洪水预报信息 ,可为西大洋水库

的预泄调度提供保证。

表 1 西大洋水库洪水预报误差统计

年份	实测洪峰/ (m ³ ·s ⁻¹)	预报洪峰/ (m ³ ·s ⁻¹)	洪峰预报 误差/%	实测洪量/ 亿 m ³	预报洪量/ 亿 m ³	洪量预报 误差/%
1963	8 231	6 787	- 17.5	8.60	10.30	19.9
1964	1 673	2 005	19.8	3.10	3.50	12.8
1974	403	267	- 33.7	1.23	1.31	6.3
1978	982	809	- 17.5	3.60	2.90	19.3
1988	860	671	- 21.9	3.90	3.30	15.9
1994	1 181	1 116	- 5.5	2.20	2.10	- 2.1
1996	1 090	1 101	1.0	1.60	1.50	- 7.4

3.2 水库预泄调度方案的拟定

防洪预报调度可简单定义为 :为充分发挥水库效益 ,使防洪与兴利尽可能地结合起来 ,利用预报的洪水过程 ,实施防洪调度的方法^[5]。

水库预报预泄调度可使库水位消落至汛限水位以下 ,在主洪水出现前腾出更多的防洪库容 ,从而有效地提高水库的防洪效果。水库预报预泄调度对预报洪水过程的精度要求较高 ,所以预泄时间选择为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ,60 h ,72 h。分别选择 10 年一遇、20 年一遇和 50 年一遇的设计洪水对西大洋水库进行预泄调度。预泄流量选择为 200 m³/s ,400 m³/s ,600 m³/s ,800 m³/s。所拟定的预泄调度方案即各预泄时间分别对应 1 组(4 种)预泄流量。

预泄结束后 ,水库的调度转入正常调度 ,以洪峰流量和该时刻来水量为控制条件的控泄调度 ,先根据洪峰流量判断来水的重现期 ,再根据即时来水量决定水库的控泄流量。具体调度方式为 :10 年一遇洪水 ,若来水量超过 1 000 m³/s 则水库控泄 1 000 m³/s ,否则水库限泄 300 m³/s ;遇 10~20 年一遇洪水 ,水库控泄 1 000 m³/s ;遇 20~100 年一遇洪水 ,若来水量超过 5 460 m³/s 则水库控泄 5 460 m³/s ,否则水库限控泄 1 000 m³/s ;水库超 100 年一遇洪水时 ,根据库水位高度 ,按最大下泄能力泄流。

3.3 水库预泄调度风险评估方法

在水库预泄调度情况下 ,提前预泄可以增加水库调洪库容 ,但水库预泄的消落深度也可能在一场洪水中不能及时恢复至汛限水位 ,影响水库的供水兴利^[6]。因此 ,采用汛限水位恢复水平来衡量预报预泄调度给水库带来的影响。水库预报预泄调度的风险值 R 可表示为

$$R = \begin{cases} 1 & Z_{\max} \geq Z_x \\ \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{Z_x - Z_{\min}} & Z_{\max} < Z_x \end{cases} \tag{2}$$

式中 : $Z_{\max}$ 和 $Z_{\min}$ 分别为水库预报预泄调度情况下的最高库水位和降到的最低库水位 ; Z_x 为水库的汛限水位。

汛限水位恢复水平 R 越接近于 1 ,库水位及时恢复至汛限水位的可能性就越大。

3.4 西大洋水库预泄调度的风险评估

根据所拟定的防洪预泄调度方案 ,分别对 10 年一遇、20 年一遇和 50 年一遇的设计洪水进行了防洪预泄调度模拟调度 ,并根据式(2)计算了各预泄调度方案的风险值 ,如表 2~4 所示。

表 2 10 年一遇洪水预泄调度风险值

下泄流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$t = 12\text{ h}$	$t = 24\text{ h}$	$t = 36\text{ h}$	$t = 48\text{ h}$	$t = 60\text{ h}$	$t = 72\text{ h}$
200	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
400	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
600	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.84
800	1.00	1.00	1.00	0.93	0.76	0.65

注 : t 表示下泄时间 ,下同。

表 3 20 年一遇洪水预泄调度风险值

下泄流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$t = 12\text{ h}$	$t = 24\text{ h}$	$t = 36\text{ h}$	$t = 48\text{ h}$	$t = 60\text{ h}$	$t = 72\text{ h}$
200	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
400	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
600	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.83
800	1.00	1.00	1.00	0.92	0.75	0.64

表 4 50 年一遇洪水预泄调度风险值

下泄流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$t = 12\text{ h}$	$t = 24\text{ h}$	$t = 36\text{ h}$	$t = 48\text{ h}$	$t = 60\text{ h}$	$t = 72\text{ h}$
200	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
400	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
600	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
800	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97

通过对表 2~4 的结果分析 ,得到如下结论 :

a. 对于 10 年一遇的设计洪水 ,当预泄流量为 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 时 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ,60 h ,72 h ;当预泄流量为 $400\text{ m}^3/\text{s}$ 时 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ,60 h ,72 h ;当预泄流量为 $600\text{ m}^3/\text{s}$ 时 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ;当预泄流量为 $800\text{ m}^3/\text{s}$ 时 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h 。但是若考虑对下游河滩地的影响 ,预泄流量不宜超过水库限泄流量($300\text{ m}^3/\text{s}$)。

b. 对于 20 年一遇的设计洪水 ,当预泄流量为 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 时 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ,60 h ,72 h ;当预泄流量为 $400\text{ m}^3/\text{s}$ 时 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ,60 h ,72 h ;当预泄流量为 $600\text{ m}^3/\text{s}$ 时 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ;当预泄流量为 $800\text{ m}^3/\text{s}$ 时 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h 。

c. 对于 50 年一遇的设计洪水 ,当预泄流量为 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 时 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ,60 h ,72 h ;当预泄流量为 $400\text{ m}^3/\text{s}$ 时 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ,60 h ,72 h ;当预泄流

量为 $600\text{ m}^3/\text{s}$ 时 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ,60 h ,72 h ;当预泄流量为 $800\text{ m}^3/\text{s}$ 时 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ,60 h 。

4 结 语

根据西大洋水库设计及建成后的调度运行资料及预报信息 ,对于西大洋水库 10 年一遇、20 年一遇和 50 年一遇的设计洪水 ,采用预报预泄方式进行调洪 ,通过分析可以得到以下结论 :

a. 水库预报预泄调度是水库防洪调度的重要方式之一 ,它可以增加水库的防洪库容 ,降低水库的最高洪水位 ,确保水库安全 ,同时可以减小水库最大下泄流量 ,有效地减轻下游防护区的洪灾损失 ,在确保水库安全的前提下最大限度地发挥水库的防洪效益。水库预泄调度的风险来自于水库预泄的消落深度可能在一场洪水中不能及时恢复至汛限水位 ,影响水库的供水兴利。因此 ,通过汛限水位恢复水平可以衡量水库预报预泄调度的风险 ,反映其对水库供水能力的影响。

b. 西大洋水库的实际应用表明 ,对于 10 年一遇的设计洪水 ,为保护下游河滩地 ,采用 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 的预泄流量 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ,60 h ,72 h 。对于 20 年一遇的设计洪水 ,若采用 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 或 $400\text{ m}^3/\text{s}$ 的预泄流量 ,预泄时间可以选定为 12 h ,24 h ,36 h ,48 h ,60 h ,72 h 。而对于 50 年一遇洪水以上的洪水 ,可以采用较大的预泄流量 ,由于来水量充足 ,水库能够及时恢复至汛限水位。因此 ,对于较大重现期的洪水 ,水库进行预报预泄调度是非常必要的 ,所发挥的防洪效益也比较明显 ,这为水库的调度管理提供了依据。

参考文献 :

[1] 朱元牲 ,沈福新 .长江防洪决策支持系统 防洪决策风险分析 [J]. 水科学进展 ,1996 ,15(1) :71-77.
[2] 曹永强 ,殷峻暹 .水库防洪预报调度关键问题研究及其应用 [J]. 水利学报 ,2005 ,36(1) :51-55.
[3] 万俊 ,高革命 .考虑预报预泄时白盆珠水库汛期蓄水运用方式研究 [J]. 武汉水利电力大学学报 ,2000 ,33(1) :10-13.
[4] 冯平 ,李润苗 .水库保护区内防洪堤的水文风险估算 [J]. 河海大学学报 :自然科学版 ,1994(2) :30-35.
[5] 王才君 ,郭生练 .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.
[6] 周惠成 ,张改红 ,王本德 .基于防洪预报调度调整水库汛限水位的研究 [J]. 水力发电 ,2006 ,33(4) :23-28.

(收稿日期 2010-03-10 编辑 高建群)