

# 水库汛限水位动态控制极限风险率研究及探讨

洪文浩<sup>1</sup>, 喻蔚然<sup>1,2</sup>, 周清勇<sup>1</sup>, 胡国平<sup>1,2</sup>

(1. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029; 2. 江西省水工安全工程技术研究中心, 江西 南昌 330029)

**摘要:** 水库面临的汛限水位所能承受的极限风险为不可预知, 本文通过常用的坝址洪水排频(经验频率计算和 P-III 型频率曲线适线定线)分析法结合调洪演算, 从中得到汛限水位动态控制的极限风险率。一方面, 可及时了解水库某一洪水位对应的极限风险率, 从而反推水库所能承受的最大洪水标准; 另一方面, 通过查询曲线关系图, 在已知库水位极限风险率的前提下, 可推求水库在该极限控制指标的下所能承受的汛限水位。

**关键词:** 汛限水位; 极限风险率; 研究; 探讨

**中图分类号:** P333

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1004-4701(2017)05-0318-04

## 0 引言

水库水位的抬高, 一方面可增加经济效益, 另一方面也带来一定的风险, 随着人们对水资源规划管理的不断深入研究和认识, 众多学者将风险引入到水库防洪调度的决策中, 极大地丰富了水文水资源的研究内容<sup>[1,2]</sup>。如冯平等<sup>[1]</sup>从风险和效益角度出发, 考虑水库汛限水位等影响因素, 建立了相关评价指标体系, 计算分析了洪灾淹没损失及风险情况, 并通过实例进行了分析验证。张泽中等<sup>[3]</sup>在引入风险的概念下, 考虑水库汛期影响条件, 建立了汛期综合利用的水库洪水资源化分析模型, 在保证水库多蓄水的前提下, 兼顾了水库的防洪安全, 达到了洪水资源利用率的最大化。王才君、郭生练等<sup>[4]</sup>从水库汛限水位出发, 通过汛期实测洪水资料, 建立了预报预泄水库调度模型, 构建了风险指标体系, 实现了考虑预报信息的动态汛限水位洪水调度模拟, 从中得到相对合理的汛限水位调度方案。

基于此, 本文对提高汛限水位水库所能承受的风险进行研究和探讨, 通过对坝址处洪水进行排频(经验频率计算和 P-III 型频率曲线适线定线)分析, 计算汛限水位动态控制的极限风险率, 给水库管理者和决策层提供参考依据。

## 1 汛限水位动态控制极限风险分析

### 1.1 极限风险率分析原理

#### 1.1.1 极限风险率

为减小水库下游灾害损失, 通过控制某一泄量 24 小时时所遭遇的一场洪水, 经调洪计算, 最高库水位小于低于坝体破坏的临界水位, 则将遭遇该场洪水的频率称为极限风险率<sup>[5]</sup>。

基于极限风险率的定义, 大坝安全极限风险率确定原则如下:

$$P_{\text{limit}} = P_{fi} \{ Z_m(P_{\text{ensure}}, S_k) \leq Z_{\text{badin}} \} \geq P_{\text{max}} \quad (1)$$

式中:  $P_{\text{limit}}$ —大坝所能承受的极限风险;  $Z_{\text{badin}}$ —大坝顶部高程或围堰顶部高程;  $Z_m(P_{\text{ensure}}, S_k)$ —以  $S_k$  作为按下游控泄要求, 保证大坝安全或遭遇设计洪水标准下进行调洪所得到的最高水位;  $P_{\text{max}}$ —设计保坝或设计洪水频率。在选取动态控制的汛限水位 ( $Z_i$ ) 下, 可能遭遇到不同频率的洪水, 其中, 某一频率洪水的调洪最高水位 ( $Z_m$ ) 等于极限风险指标 (设计洪水位  $Z_{om}$ ), 此频率称为该指标 ( $Z_{om}$ ) 在汛限水位 ( $Z_{om}$ ) 下的极限风险率, 可按下列公式计算<sup>[1]</sup>:

$$P_f = P(Z_m = Z_{om}) \quad (2)$$

#### 1.1.2 极限风险率的分析步骤

水库某一汛限水位的极限风险率可采用典型洪水

过程频率分析法结合洪水调洪计算进行推求,其步骤如下:

(1)根据水库洪水资料推求不同频率  $P_l$  ( $l=1, 2, \dots, k$ ) 下的典型洪水过程线。

(2)分别以不同汛限水位  $H_k$  ( $k=1, 2, \dots, n$ ) 作为起调水位,按照水库制定调洪调度规则并结合不同频率下  $P_l$  ( $l=1, 2, \dots, k$ ) 的典型洪水过程进行调洪演算,从而得到相应的最高库水位  $Z_m$  ( $m=1, 2, \dots, i$ );最后绘制( $Z_m \sim P_l$ )得到经验频率曲线图。

(3)不同的动态汛限水位按照相同的步骤可点绘出不同的频率曲线,即相应  $m=1, 2, \dots, i$  个库水位可绘出  $i$  条经验频率曲线图( $Z_m \sim H_k \sim P_l$ )。

(4)根据上述相关曲线可由风险控制指标  $Z_{om}$  值,查算得到某一库水位  $Z_q$  ( $q \in k$ ) 的  $P_{fq}$  ( $Z = Z_{om}$ ) 的极限风险率。

## 1.2 极限风险率控制指标

针对水库而言,通常将某一库水位( $Z_j$ )作为风险控制指标来研究极限风险率<sup>[6]</sup>。大坝作为保证水库安全的载体,通常将水库的特征(如设计洪水或保坝)水位作为极限风险控制指标<sup>[7]</sup>。

设计洪水位是当遭遇到大坝设计标准洪水时,水库经调洪后(坝前)达到的最高水位,也是水库在正常运用情况下允许达到的最高水位。

由于水库的设计洪水位作为水库设计的重要特征水位之一,可采用相应大坝设计标准的各种典型洪水,按拟定的调洪方式,进行调洪计算所得到的最高水位,该水位也是挡水建筑物稳定计算的主要依据之一。通常认为,在大坝设计标准范围内,当库水位超过设计洪水位时,则认为危及大坝安全,以此作为大坝防洪安全的重要参考指标。因此,本文选取设计洪水位做为水库极限风险控制指标具有广泛的代表性<sup>[7]</sup>。

## 2 实例分析

### 2.1 工程简介

#### 2.1.1 水库基本情况

某大型水库,坝址以上控制流域面积  $464 \text{ km}^2$ ,水库按 100 年一遇洪水 ( $P=1\%$ ) 设计,设计洪水位为  $180.73 \text{ m}$ ,1000 年一遇洪水 ( $P=0.1\%$ ) 校核,校核洪水位为  $182.25 \text{ m}$ ,水库正常蓄水位为  $180.00 \text{ m}$ ,相应库容  $8900 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;死水位  $162.20 \text{ m}$ ,相应库容  $1280 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;水库总库容  $10769 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。枢纽工程主要建筑物有主、副坝、输水隧洞和电站厂房等<sup>[8]</sup>。

#### 2.1.2 水库调度方式

水库采用溢流坝段溢流堰宣泄水库洪水,使用弧形闸门控泄,水库正常蓄水位  $180.00 \text{ m}$ ,汛限制水位作为起调水位,拟定的工程度汛洪水调度原则为:

(1)不考虑洪水预报和预腾库容,当库水位低于汛限水位时,溢流坝段闸门关闭不泄洪,此时库水位上涨;

(2)当库水位上升至高于汛限水位时,溢流坝段闸门开启开始泄洪,此时若泄洪能力大于等于上游来水时,控制闸门开启度,使泄量等于上游来水量,库水位维持汛限水位不变;若泄洪能力小于上游来水时,则溢流坝段闸门全开,按泄洪能力泄洪,库水位上涨,当入库流量与溢流坝段泄流能力相等时,此时库水位达最高;

(3)当入库流量小于溢流坝段泄流能力时,溢流坝段仍按泄流能力泄洪,此时库水位开始下降;当库水位降至汛限水位时,控制闸门开启度,使泄量等于上游来水量,库水位维持汛限水位。

### 2.2 水库极限风险分析

根据极限风险率的分析步骤,采用常规频率分析法(坝址处实测洪水)得到不同频率下的设计洪水过程线,然后针对不同设计频率以及不同起调水位进行调洪计算,得到相应的最高库水位。以调洪最高水位  $Z_m$  ( $Z_i$ ) 与相应的频率  $P\%$  ( $Z_i$ ) 点绘关系线,  $i=1, 2, \dots, 9$ , 根据设计洪水推求及水库运行工况,本次选取常见的 7 种洪水频率针对不同汛限水位进行了洪水调节计算。结果如表 1 所示。

从表 1 中可知,极限风险控制指标  $180.73 \text{ m}$  对于起调水位第 ① 行介于调洪最高水位  $181.41 \text{ m}$  与  $180.25 \text{ m}$  之间,对应的频率在  $0.20\%$  与  $1\%$  之间,运用内插法得到  $180.73 \text{ m}$  对应的频率为  $P=0.669\%$  相当于重现期为  $150 \text{ a}$ , 则  $178.50 \text{ m}$  调洪最高水位大于极限风险指标  $180.73 \text{ m}$  的风险率为  $0.669\%$ 。由表 2 中第 ② 行内插  $Z_m(179.00 \text{ m}) \geq 180.73 \text{ m}$  对应的频率在  $0.20\%$  与  $1\%$  之间,即  $P_p=0.747\%$  (相当于重现期为  $130 \text{ a}$ )。第 ③ 行内插  $Z_m(179.50 \text{ m}) \geq 180.73 \text{ m}$  对应的频率在  $0.20\%$  与  $1\%$  之间,即  $P_p=0.862\%$  (相当于重现期为  $120 \text{ a}$ )。

同理可求出,其他汛限水位对应的极限风险率,由表 2 中第 ⑨ 行内插  $Z_m(182.5 \text{ m}) \geq 180.73 \text{ m}$  对应的频率  $10\%$  (相当于重现期为  $10 \text{ a}$ ) 以上,即  $P_p \geq 10\%$ 。由计算可知,第 ⑩、⑪ 行对应的频率均大于  $10\%$ ,即  $P_{f10}$ 、 $P_{f11} \geq 10\%$ 。

以水库设计洪水位( $180.73 \text{ m}$ )作为风控指标,不同汛限水位对应的极限风险率(重现期  $T_i$ )如表 2 所示。

表1  $Z_m(Z_i) \sim P\%(Z_i)$  关系表

$Z_i/\%$	$P\%$							m
	0.05%	0.10%	0.20%	1%	2%	5%	10%	
①178.5	182.31	181.91	181.41	180.25	179.74	178.92	178.55	
②179.0	182.39	182.00	181.51	180.37	179.87	179.14	179.00	
③179.5	182.51	182.12	181.64	180.54	180.08	179.51	179.50	
④180.0	182.63	182.25	181.78	180.73	180.30	180.00	180.00	
⑤180.5	182.77	182.4	181.95	180.96	180.59	180.5	180.50	
⑥181.0	182.91	182.55	182.12	181.21	181.00	181.00	181.00	
⑦181.5	183.08	182.74	182.31	181.53	181.50	181.50	181.50	
⑧182.0	183.26	182.93	182.53	182.00	182.00	182.00	182.00	
⑨182.5	183.47	183.16	182.79	182.50	182.50	182.50	182.50	
⑩183.0	183.69	183.40	183.09	183.00	183.00	183.00	183.00	
⑪183.5	183.95	183.68	183.50	183.50	183.50	183.50	183.50	

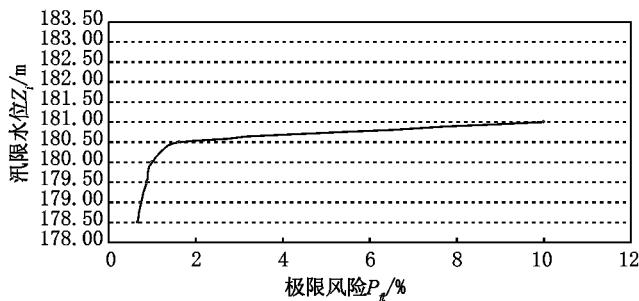
注: 鉴于方案比较的相对性, 以起调水位  $Z_i = 178.50$  m 方案为基准计算不同方案的风险率。

表2 汛限水位  $Z_i \sim$  极限风险率  $P_{fi}(\%)$  计算表

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$Z_i/\text{m}$	178.50	179.00	179.50	180.00	180.50	181.00	181.50	182.00	182.50	183.00	183.50
$P_{fi}/\%$	0.058	0.068	0.083	0.100	0.133	0.170	0.262	0.623	$\geq 10$	$\geq 10$	$\geq 10$

### 2.3 汛限水位动态控制

通过上述拟定的不同汛限水位下所计算出的极限风险率(根据表2), 绘制以设计洪水位(180.73 m)为极限风险控制指标, 不同汛限水位  $Z_i$  (m) 与相应的极限风险率  $P_{fi}(\%)$  的关系曲线, 反映出曲线的走势见图1所示。

图1  $Z_i \sim P_{fi}$  关系曲线走势图

从图1可知, 设计洪水位(180.73 m)为极限风险控制指标时, 随着起调汛限水位的提高, 对应的极限风险率也随之递增。当汛限水位为181.00 m时对应其极限风

险率  $P_{fi} \geq 10\%$ , 说明如果遭遇到频率为10%的洪水, 水库就达到所能承受极限。由此可知, 当以设计洪水位(180.73 m)为极限风险指标时, 通过查询曲线关系, 预测可容忍坝址处来水最大频率为10%的洪水, 此时, 水库的拟定的汛限水位应当低于181.00 m。从图中可看出, 当汛限水位超过181.00 m时, 其极限风险率发生突变, 极限风险率将超过大坝本身所能承受的风险。

### 3 结语

本文通过引入了极限风险理论, 以设计洪水位作为极限控制指标, 根据不同频率洪水过程, 采用不同汛限水位调洪计算得到相应的最高库水位, 从中得到相关关系曲线, 一方面, 可及时了解水库某一洪水位所对应的极限风险率的大小, 从而反推水库所能承受的最大洪水标准, 另一方面, 通过查询曲线关系图, 在已知水库水位极限风险率的情况下, 可推求水库在该极限控制指标的前提下所能承受的最高汛限水位。借助洪水频率法分析法, 推求设计洪水对应汛限水位极限风险率的计算分析具有以下特点:

(1) 针对某一个风险率控制指标,可计算出不同汛限水位调洪得到最高库水位所对应的极限风险率。

(2) 可及时了解水库某一洪水位所对应的极限风险率的大小,从而反推水库所能容忍的最大来水标准(频率),可为水库管理及调度提供参考。

(3) 该方法简单明瞭,计算方法及原理通俗易懂,与传统的设计洪水排频理论具有一致性、符合当前的相关规范导则。但仅仅考虑大坝本身安全,针对单一目标(风险控制指标)极限风险率进行了探讨分析,未能涉及兼顾水库上、下游防洪及溃坝损失等因素影响的风险,在今后的研究中有待进一步深入完善。

#### 参考文献:

[1] 冯平,韩松,李健. 水库汛期调度的最大洪灾风险率分析[J]. 水利学

报,2006,37(4):451~456.

[2] 吴泽宁,胡彩虹,王宝玉,刘红珍. 黄河中下游水库汛限水位与防洪体系风险分析[J]. 水利学报,2006,37(6):641~647.

[3] 张泽中,黄强,齐青青. 允许风险约束下水库洪水资源化研究[J]. 水利水电技术,2010,41(11):74~76.

[4] 王才君,郭生练,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):377~380.

[5] 王本德,等. 考虑降雨预报的洪水实时调度极限风险率分析[C]. 全国水库防洪学组年会,2001,广西北海.

[6] 傅湘,纪昌明. 水库汛期调度的最大洪灾风险率分析[J]. 水电能源科学[J]. 1998,16,2~6.

[7] 范子武,姜树海. 水库汛限水位动态控制的风险评估[J]. 水利水运工程学报,2009,(4):21~26.

[8] 江西省水利科学研究院. 江西省吉安市白云山水库除险加固工程蓄水安全鉴定报告[R]. 2016年5月.

编辑:张绍付

## The research and discussion of extreme risk dynamic control for limited water level of reservoir

HONG Wenhao<sup>1</sup>, YU Weiran<sup>1,2</sup>, ZHOU Qingyong<sup>1</sup>, HU Guoping<sup>1,2</sup>

(1. Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China;

2. Jiangxi Provincial Engineering Technology Research Center on Hydraulic Structures, Nanchang 330029, China)

**Abstract:** Extreme risk can withstand faced flood control level of the reservoir is unpredictable, in this paper, the analysis method of the commonly used dam site flood discharge frequency (empirical frequency calculation and P - III frequency curve suitable wire alignment) combined with the flood regulating calculation, the limit risk ratio of the flood water level dynamic control is obtained. On the one hand, the limit risk ratio of a certain flood water level in the reservoir can be understood in time, Thus the maximum flood standards with the reservoir can withstand. On the other hand, through the query curve diagram, the threshold risk ratio of the known reservoir, the water level of the reservoir under the limit control index can be deduced.

**Key words:** The flood control level; Extreme risk rate; Research; Discussion

翻译:郭庆冰