

极差分析在水库防洪调度风险评估中的应用

梁 川

(四川联合大学,成都,610065)

提 要 本文提出了以水库防洪库容的“极值差”代表一个将能在给定时段内提供可靠蓄洪量的新概念。在拟定的防洪调度方式下,通过随机模拟生成的入库设计洪水过程的调洪演算,确定了“极值差”的统计参数及其概率分布。利用该方法进行防洪调度风险评估,综合体现了工程运用时主观和客观的不确定性。与过去的风险分析方法相比较,能更真实地反映出在当前水情和工情条件下超过现行设计防洪库容的风险率。文中的实例计算与分析表明这种方法是有效可行的。

关键词: 极值差 防洪调度 风险

1 问题的提出

任何水资源系统运行问题的具体解决,都要通过水利工程的运用来完成。很多工程设计需要对洪水频率成果的不确定性和工程防洪安全的可靠性,加以评估。由于洪水流量的时间变化过程及观测资料的相对有限性,对水工建筑物潜在的洪水破坏风险率,是否达到标准给出一个合理的评判,已成为十分重要而不可避免的实际问题。现行的洪水风险分析,大多偏重于对水文的不确定性、水力结构与水工建筑物方面的不确定性和社会经济方面的不确定性等因素的研究。然而,一方面就具体的水利工程系统而言,上述诸方面的研究均属前期风险分析,忽略了对工程建成后的运行与管理期间的实际风险进行研究。另一方面,由于水库通过防洪调度所形成的防洪库容的大小,却是工程特性、入库洪水特性、水库防洪调度方式和闸门操作规则等各种非确定性因素综合影响的结果,它不仅包含了工程运用中主观的和客观的不确定性,也是工程建成前、后种种不确定性带来的风

险之总和。因此,如果对防洪库容达标风险进行评估,则能直接反映出工程系统实时运行的可靠程度,而具有现实意义。基于这一思路,本文以极差分析为基本原理,用“极值差”代表一个将能在给定时段内,提供可靠蓄洪量的水库防洪库容,从而综合考虑了水利工程实际运用中的各种风险因素,并以长江三峡工程水库防洪调度为例,在拟定的控泄调度方式下,假定入库洪水过程总体为已知,进行大量的随机模拟洪水过程的调洪演算,推求出水库防洪库容的统计参数,和现行设计洪水风险率,达到了工程防洪安全可靠性评估之目的。

2 基本原理及其模拟分析

极差分析即流量残差累积曲线分析,是对实测水文过程进行时间序列分析的方法之一。Rippl·W·(1883)^[1]曾把它用于供水水库蓄水能力的分析。一百年之后,Bayit·M·(1983)^[2]又以“亏损”的形式建立了理想水库库容与其风险率的函数关系。80年代末期,我国的李纪人也在确定性和不确定性过

程的水库调度分析中运用过极差分析方法^[3]随着计算机技术的飞速发展,在水资源规划设计与运行管理中,极差分析方法成为对水文时间序列进行分析与研究的强有力工具。

“极值差”的定义是:如果水库起调水位为防洪限制水位,相应的防洪库容为 $V_0=0$,在这种情况下,无论什么时候泄流都可用水量平衡方程式计算其蓄洪量的大小,即:

$$V_t = V_{t-1} + I_t - O_t \quad (1)$$

式中 V_{t-1} 和 V_t 分别为 t 时段始、末的水库蓄洪量; I_t 和 O_t 分别为相应时段的入流量和出流量。

当调洪开始后,库内的蓄洪量将按(1)式变化,其过程如图1所示。由图1可见,对给定的若干场设计洪水所要求的水库防洪库容为 V_p ,即前述的“极值差”。 V_p 可按下列式计算:

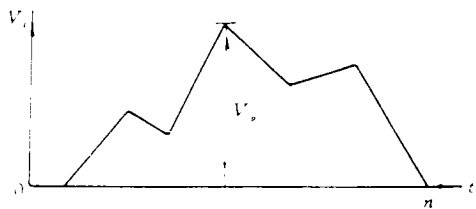


图1 V_t 和 V_p 示意图

$$V_p = \max(0, V_1, V_2, \dots, V_t), \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$V_t = \begin{cases} V_{t-1} + I_t - O_t & V_{t-1} + I_t - O_t \geq 0 \\ 0 & \text{other} \end{cases}$$

于是,防洪库容 V_p 就是 I_t 和 O_t 的函数 ($V_p = F(I, O)$)。 V_p 的概率分布、均值和方差可以用(2)式对拟定的防洪调度方案和模拟生成的设计洪水过程运算求解获得。本文采用数据生成法确定 V_p 的分布和矩,再由(2)式模拟一个理想的水库上机计算求出有关统计参数。模拟参数值假设如下:

1. 入流滞后一个时段的自相关系数 ρ 在 $0 \sim 0.5$ 之间变化和 design 时段 n 在 $50 \sim 10000$ 年之间;

2. 水库调节库容和蓄洪量换算成无量纲库容量: $V' = V/\sigma$ 和 $m = (1 - \beta) \cdot \mu/\sigma$, 其

中 V 和 V' 分别为调节库容和无量纲库容; β 为调节系数 ($0 \leq \beta \leq 1$); μ 为均值; σ 为标准差。 m 为无量纲蓄洪量 ($0 \leq m \leq 1$)。由于 V' 是 n, m 和 ρ 的函数,故确定 V' 也就是确定随机变量 V_p , 即 $F(V_p) = V_p(n, m, \rho)$;

3. 为了清楚的表示不同 n 值入流洪水过程的 V_p 之概率分布,用随机变量标准化加以统一为: $V'_p = [V_p - E(V_p)]/\sigma(V_p)$; 式中 $E(V_p)$ 表示期望值。

对于不同 n 值序列计算 V_p 的均值和方差,就可以得到它的概率分布函数 $F(V_p)$ 。当 $n = 50, m = 0.0$ 时的计算结果如图2和图3所示。

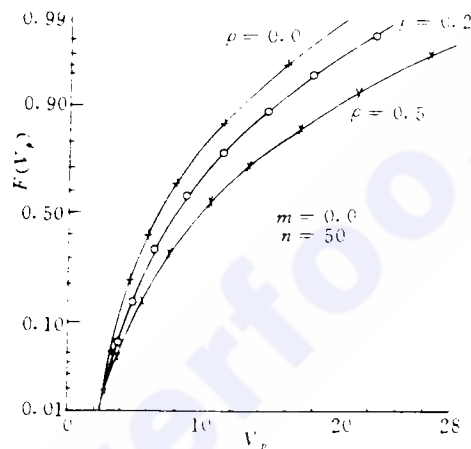


图2 不同 ρ 值与 V_p 的概率分布

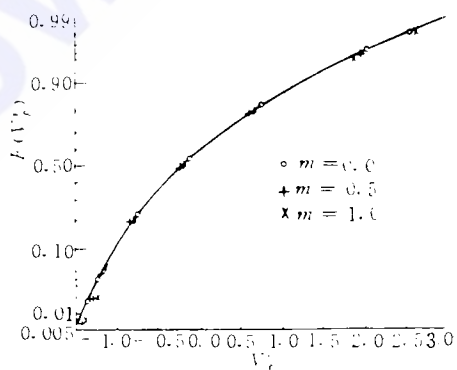


图3 不同 m 值时 V_p 的概率分布

从图2可知,当 n 和 m 值固定时,因为入流相关性越好则“极值差”变化越小,所以

相同 V_p 值的 $F(V_p)$ 将随 ρ 增大而减小。从图 3 可知,不同的 m 值,标准极值差 V_p^* 有一独特的分布。说明 $F(V_p^*)$ 分布形式不受水库初始蓄洪量多少的影响,且具有一定的稳健性。 $m=0$ 相当于完全调节情况($\beta=1$), m 值较大意味着水库的调节库容很少。

若已求出 V_p 的概率分布函数为 $F(V_p)$, 那么水库的防洪库容超过设计标准值 V_p^* 之风险率为:

$$R = P\{V_p \geq V_p^*\} \quad (3)$$

3 算 例

根据长江中上游的洪水特性,在能满足实用精度的前提下,选择了季节性一阶自回归模型来表征洪水过程总体⁽⁴⁾;又以参考文献[5]中的三峡水库防洪调度方式为例,按照论证阶段初选的汛限水位为 145m 和正常高水位为 175m 时具有 220 亿 m^3 防洪库容计算。这时三峡水库的防洪库容可以承担下述防洪任务:

1. 与城陵矶的洪水进行补偿调节,减少沙市至螺山区间(包括洪湖)的分洪量和淹没损失;

2. 提高荆江分洪区的启用标准;

3. 荆江河段遭遇类似 1870 年的特大洪水时,要防止南北两岸发生毁灭性的灾害。

据此将其分成三部份来承担这三项任务。汛限水位以上的防洪库容,用于与城陵矶进行补偿调节的水库控制泄量为 Q_1 和相应库容为 V_1 ;用于提高荆江河段蓄洪区的启用标准的控泄流量为 Q_2 和相应库容为 V_2 ;直至正常蓄水位用于防御特大洪水的控泄流量为 Q_3 和相应库容为 V_3 。同时对拟定的三组库容分配比例,每组库容采用三种不同的控泄方式进行防洪调度。具体的库容分配比例为:

A 组 $V_1=140$ 亿 m^3 ; $V_2=50$ 亿 m^3 ; $V_3=30$ 亿 m^3

B 组 $V_1=120$ 亿 m^3 ; $V_2=60$ 亿 m^3 ; $V_3=40$ 亿 m^3

C 组 $V_1=120$ 亿 m^3 ; $V_2=50$ 亿 m^3 ; $V_3=50$ 亿 m^3

各级的控泄流量为:

1 组 $Q_1=30\ 000$ m^3/s ; $Q_2=56\ 700$ m^3/s ; $Q_3=72\ 000$ m^3/s

2 组 $Q_1=40\ 000$ m^3/s ; $Q_2=56\ 700$ m^3/s ; $Q_3=72\ 000$ m^3/s

3 组 $Q_1=56\ 700$ m^3/s ; $Q_2=56\ 700$ m^3/s ; $Q_3=72\ 000$ m^3/s

水库腾空库容的泄量都为 $56\ 700m^3/s$ 。计算结果见表 1。

表 1 三峡水库防洪库容估计总体统计

统计特征值	V	C _v	C _s	V		
				p=0.1%	p=0.01%	
调 度 方 案	A-1	187.0	0.204	0.816	219.7	220.0
	A-2	188.4	0.210	0.840	218.9	220.0
	A-3	187.2	0.207	0.828	219.2	220.0
	B-1	185.6	0.208	0.832	219.9	220.1
	B-2	186.0	0.211	0.844	219.8	220.0
	B-3	184.9	0.209	0.836	219.6	220.1
	C-1	186.0	0.207	0.828	219.5	219.9
	C-2	185.0	0.209	0.836	219.7	220.0
	C-3	185.5	0.210	0.840	219.7	20.0

表 2 三峡水库典型年设计洪水防洪调度风险率表

典型年	1954 年		1981 年		1982 年		
	p=0.1	p=0.01	p=0.1	p=0.01	p=0.1	p=0.01	
调 度 方 案	A-1	0.100	0.010	0.093	0.009	0.095	0.009
	A-2	0.098	0.010	0.092	0.009	0.094	0.009
	A-3	0.097	0.010	0.098	0.009	0.093	0.009
	B-1	0.100	0.010	0.094	0.009	0.097	0.010
	B-2	0.100	0.010	0.091	0.010	0.099	0.010
	B-3	0.100	0.010	0.093	0.010	0.100	0.010
	C-1	0.099	0.009	0.096	0.009	0.095	0.009
	C-2	0.099	0.010	0.095	0.009	0.094	0.009
	C-3	0.098	0.008	0.095	0.009	0.096	0.009

另外,选用三峡水库入库洪水资料条件较好,在水情方面又各具不同特性的 1987 年、1982 年和 1954 年三种年份实测典型推求设计洪水过程,经水库防洪调度后所得到的防洪库容风险率见表 2。

4 结束语

由上述计算和分析可知:

1. 模拟试验得出的结论表明水库防洪库容的“极值差”确实是一随机变量,为给定时段设计洪水调洪演算后的最大防洪库容,但是,对不同的初始水库蓄洪量并经过调洪后,它具有一定的近似相同分布。

2. 水库防洪库容的“极值差”综合体现了水文、水工及水库调度与管理的不确定性,跟过去的洪水风险分析方法相比,从理论上讲是更加符合实际情况的评估方法。

3. 由三峡工程防洪调度实例计算的表 1

和表 2 结果,证明该方法是合理可行的,其优点是有理论依据,概念准确,方法简单可靠、计算速度快和成本低。

本文因篇幅所限,仅介绍了笔者对极差分析的部份研究内容及其应用。可以相信,随着越来越多的学者对极差分析方法的重视,它必将在其他方面可望得到更广泛的应用。

参 考 文 献

- 1 Rippl · W · The Capacity of Storage Reservoirs for Water Supply, Min Proc. Inst. Civ. Eng., 1983; No. 71: 270~278
- 2 Bayazit, M. et al Ideal Reservoir Capacity as A Function of Yield and Risk, Journal of Hydrology, 1982; NO. 58: 1~9
- 3 李纪人. 綑线法程序化后的应用. 《水文》, 1989; NO: 2
- 4 丁晶、季学武. 长江宜昌站年径流量的随机模拟, 《人民长江》, 1986; NO: 8
- 5 滕伟芬. 三峡工程防洪效益的分析. 《水利规划》, 1989; NO. 1

(收稿日期:19930217)

Application of Analysis for Differences between Extremum Values in Risk Assasment for Reservoir Flood Control Dispatching

Liang Chuan

(Sichuan United University)

Abstract The author presents a new concept in which “differences between extremum values” of reservoir flood storage represents reliable flood storage in givin period. Under the Planned flood dispatching pattern , statistical parameters and probability distribution of differences between extremum values are determined by flood regulating routing of reservoir inflow design flood process which were formed through ,stochastic simulation, Application of the method in risk assasment for flood control dispatching can comprehensively reflect subject and object uncertainty during reservoir operation. Comparing with previous risk assasment method , the present method can realistically show risk rate which surpasses the present design flood storage under current water regime and behaviour. The computations and analysis in this paper proves the method effective and feasible.

Key Words differences between extremum values ,flood control dispatching, risk.