

白龟山水库防洪调度风险研究

徐章耀 刘永强

(河南省白龟山水库管理局,河南 平顶山 467031)

【摘要】 为了挖掘白龟山水库调蓄能力,协调兴利与防洪之间矛盾,探讨提高汛限水位的可能性,在分析白龟山水库调整汛限水位所涉及影响因素的基础上,系统分析水库防洪调度的主要风险因素,利用蒙特卡罗(Monte-Carlo)模拟技术,研究建立白龟山水库防洪调度风险模型,结果表明适当抬高白龟山水库汛限水位增加的系统风险是可以接受的。

【关键词】 白龟山水库;防洪调度;调度风险

中图分类号: TV877

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2018)03-073-04

Study on flood control schedule risk in Baiguishan Reservoir

XU Zhangyao, LIU Yongqiang

(Henan Baiguishan Reservoir Authority, Pingdingshan 467031, China)

Abstract: Main risk factors of reservoir flood control scheduling are systematically analyzed on the basis of analyzing the influence factors about Baiguishan Reservoir in adjustment of flood limit water level in order to excavate regulation and storage ability of Baiguishan Reservoir, coordinate the contradiction between conservancy benefit and flood control, and explore the possibility of improving flood limit water level. Monte Carlo simulation technique is utilized for studying and establishing flood control scheduling risk model in Baiguishan Reservoir. The results show that it is acceptable to suitably raise the system risk of flood limit water level increase in Baiguishan Reservoir.

Key words: Baiguishan Reservoir; flood control schedule; schedule risk

水库是控制地表径流最主要的工程措施,抬高水库汛限水位,增加水库汛期蓄水,是一种能有效挖掘洪水资源利用潜力的措施和方法,依靠科学技术的进步,合理调整水库汛限水位,挖掘调蓄潜力,将部分洪水转化为可利用的水资源,协调兴利与防洪之间的矛盾,在保证防洪安全的前提下充分发挥蓄水效益,是有效解决水资源紧缺问题的重要途径之一,对缓解流域水资源危机具有重要的现实意义。

1 水库防洪调度风险模拟及分析

1.1 水库汛期风险调度模型

当来水量一定时,影响水库蓄水量的主要因素为

汛限水位 H_i ,正常高水位 H_z ,最高蓄水位 H_m ,起蓄时间 T_0 及起蓄水位 H_0 ,即

$$W = f(H_i, H_z, H_m, H_0, T_0)$$

水库提高汛限水位后,从风险损失与兴利效益角度看,应是以较小的风险带来较大的效益增值。数学模型可表示为

$$\begin{cases} \max\{f(x); p(x) < \varepsilon, s(x) < f(x)\} \\ G(x) \leq 0 \\ x \geq 0 \end{cases}$$

式中 $f(x)$ ——效益增值函数;

$s(x)$ ——风险损失;

$p(x)$ ——风险概率大小;

ε ——可以接受的最大风险概率；
 $G(x)$ ——约束条件集，表示时段的水量平衡、泄洪能力约束、下游安全及其他社会约束和子系统状态方程等^[1]。

1.2 防洪调度风险因子识别

水库汛限水位风险因子辨识是防洪调度风险分析的第一步，其主要任务是对水库汛限水位所涉及的风险事件、风险因子有一个明确的辨识。水库汛限水位变动所发生的风险是由多种因素引起，包括水文因子、水力因子、防洪工程和人为因素。

由于水库汛限水位变动所导致的水库防洪调度风险由水库库区风险和下游防洪安全风险组成。水文气象不确定性、水力不确定性、结构和技术不确定性、调度时间不确定性、预测模型不确定性和统计参数不确定性等因素共同导致该类事件发生。

1.3 风险临界值

风险损失的大小可通过与效益的对比分析来判断是否可以接受，当只考虑设计洪水过程时可靠性大于80%，考虑多种因素时可靠性大于60%。

2 白龟山水库防洪调度风险研究

白龟山水库是淮河流域沙颍河水系沙河干流上的

一座大(2)型年调节半平原水库。设计防洪标准为100年一遇洪水，校核防洪标准为2000年一遇洪水。总库容9.22亿 m^3 。

白龟山水库现行汛限水位为101.00m，汛期多年平均弃水量3.61亿 m^3 ，浪费了大量宝贵的水资源。因此，在确保水库和下游防洪安全的前提下，合理抬高水库的汛限水位是充分利用洪水资源、缓解当地水资源供需矛盾的一条捷径。基于对关键影响因子的不确定性分析，从风险的角度综合分析汛限水位调整对水库防洪的影响，为合理调整汛限水位提供依据。

2.1 白龟山水库汛限水位调整方案的拟定

目前，白龟山水库起调水位为101.00m，汛后正常蓄水位103.00m。综合考虑以上内容，同时为尽量满足水库综合利用的要求，尽可能提高水库综合利用效率，以现状运行水位为基础拟定不同汛限水位，拟定101.00m、101.40m、101.80m、102.00m、102.20m和102.60m六个汛限水位调整方案，并假定上述各汛限水位为水库的初始水位进行调洪演算，在此基础上进行相应的风险率计算。

2.2 白龟山水库设计洪水成果

根据白龟山水库的设计洪水复核成果(表1)，设计洪水过程线如图1所示。

表1 白龟山以上各分区设计洪水复核成果

项 目	昭 平 台 以 上				昭 白 区 间				白 龟 山 以 上		
	Q/(m^3/s)	W24/ $310^6 m^3$	W3/ $10^6 m^3$	W7/ $10^6 m^3$	Q/(m^3/s)	W24/ $310^6 m^3$	W3/ $10^6 m^3$	W7/ $10^6 m^3$	W24/ $310^6 m^3$	W3/ $10^6 m^3$	W7/ $10^6 m^3$
均值	3546	99.6	150.3	198.7	2210	65.8	92.9	122.2	154.6	227.8	305.5
Cv	0.90	0.85	0.8	0.8	0.95	0.95	0.95	0.90	0.80	0.80	0.75
Cs/Cv	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
P=20%	5320	149.4	223.9	296.1	3340	99.4	140.3	183.3	230.4	339.4	449.1
P=10%	7620	209.2	306.6	405.3	4860	144.9	204.4	262.7	315.4	464.7	604.9
P=5%	9930	268.9	390.8	516.6	6410	191	269.4	342.2	402	592.3	760.7
P=2%	13050	348.6	500.5	661.7	8530	254.2	358.6	449.7	514.8	758.6	962.3
P=1%	15460	410.4	584.7	772.9	10170	302.9	427.3	532.8	601.4	886.1	1118.1
P=0.2%	21010	552.8	778.6	1029.3	13990	416.5	588.1	724.6	800.8	1180	1472.5
P=0.1%	23440	614.5	861.2	1138.6	15670	466.9	658.7	807.7	885.9	1305	1622.2
P=0.05%	25850	675.3	943.9	1247.8	17290	514.9	726.9	890.8	970.9	1431	1773.4
P=0.02%	29077	756.46	1053.6	1392.9	19492	580.36	819.38	1002	1084	1597	1972
P=0.01%	31490	818.7	1137.8	1504.2	21190	631.5	890.9	1085	1170	1724	2126.3

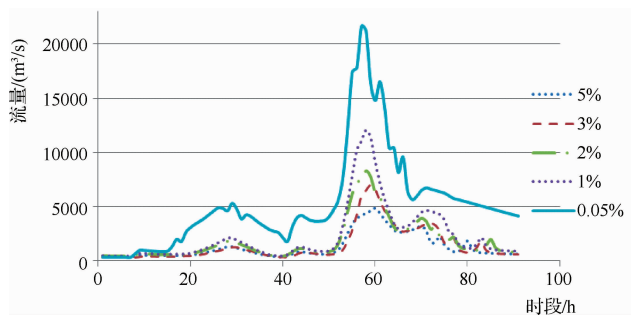


图1 不同频率的设计洪水线

2.3 防洪调度风险分析评价

2.3.1 水库防洪调度风险因子识别及组合

结合白龟山水库实际状况,防洪调度风险因子主要为设计洪水、预报误差、调度滞时、水位库容、泄流能力等5种风险因子。

风险估计中需要考虑风险因子是如何组合影响汛限水位风险的。其主要风险因子为设计洪水、预报误差、调度滞时、泄流能力和水位库容因子。这五种因子之间并没有相关关系或者仅具有很弱相关关系,因此,可以视为独立变量,风险因子在随机模拟时可以独立进行,然后进行组合。水库调洪的对象是洪水过程,因此,将设计洪水视为基础因子。水库在防洪调度中,设计洪水可以和预报误差、调度滞时、水位库容和泄流能力之中的任意一种或几种因子同时存在,因此,在进行风险计算时,风险因子组合包括单因子(设计洪水)、双因子组合、三因子组合、四因子组合和五因子组合(表2)。

表2 风险因子组合

风险因子	单因子	双因子	三因子	四因子	五因子
因子组合	设计洪水	设计洪水 + 预报误差	设计洪水 + 预报误差 + 泄流能力	设计洪水 + 预报误差 + 泄流能力 + 库容曲线	设计洪水 + 预报误差 + 泄流能力 + 库容曲线 + 调度滞时

2.3.2 防洪调度方案风险分析

分别根据单因子(设计洪水)、双因子组合、三因子组合、四因子组合和五因子组合,对不同频率下设计

洪水进行5000次随机模拟,得到汛期不同汛限水位方案下对应的随机洪水过程风险估计结果。以单因子风险估计为例,计算结果见表3。

表3 单因子风险估计结果

50年一遇洪水风险估计结果						
汛限水位/m	101.00	101.40	101.80	102.00	102.20	102.60
最大入库流量/ (m ³ /s)	8305	8305	8305	8305	8305	8305
最大出库流量/ (m ³ /s)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
最高限制水位/m	105.9	105.9	105.9	105.9	105.9	105.9
洪水场次数/次	5000	5000	5000	5000	5000	5000
模拟超限制水位 场次数/次	229.00	290.00	359.00	422.00	535.00	752.00
水位超限制水位 频率/%	3.06	3.86	4.79	5.62	7.13	10.03
风险率/%	0.092	0.116	0.144	0.169	0.214	0.301
单因子风险临界 值/%	0.4					
100年一遇洪水风险估计结果						
汛限水位/m	101.00	101.40	101.80	102.00	102.20	102.60
最大入库流量/ (m ³ /s)	12032.17	12032.17	12032.17	12032.17	12032.17	12032.17
最大出库流量/ (m ³ /s)	6345	6345	6345	6345	6345	6345
最高限制水位/m	106.19	106.19	106.19	106.19	106.19	106.19
洪水场次数/次	5000	5000	5000	5000	5000	5000
模拟超限制水位 场次数/次	132	154	193	232	285	361
水位超限制水位 频率/%	2.65	3.09	3.85	4.63	5.69	7.22
风险率/%	0.026	0.031	0.039	0.046	0.057	0.072
单因子风险临界 值/%	0.2					
2000年一遇洪水风险估计结果						
汛限水位/m	101.00	101.40	101.80	102.00	102.20	102.60
最大入库流量/ (m ³ /s)	21608.31	21608.31	21608.31	21608.31	21608.31	21608.31
最大出库流量/ (m ³ /s)	7431	7431	7431	7431	7431	7431
最高限制水位/m	109.56	109.56	109.56	109.56	109.56	109.56
洪水场次数/次	5000	5000	5000	5000	5000	5000
模拟超限制水位 场次数/次	408	381	396	360	404	334

续表

2000年一遇洪水风险估计结果						
水位超限制水位频率/%	8.16	7.62	7.93	7.20	8.08	6.68
风险率/%	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003
单因子风险临界值/%	0.01					

根据各因子组合风险估计结果,针对 101.00m、101.40m、101.80m、102.00m、102.20m 和 102.60m 六个汛限水位调整方案,在只考虑洪水过程这一基础风险因子时,不同频率下所有方案的风险率均在风险临界值以内;但进行多因子风险估计计算时,发现从 50 年一遇之后,101.80m 方案的风险率接近或者达到风险临界值,而 102.00m 方案对应的风险已超出风险临界值。以 100 年一遇为例,从图 2 ~ 图 5 可以看出当水位超过 101.80m 时,风险增速变快,随着汛限水位增加风险会明显突然增大。

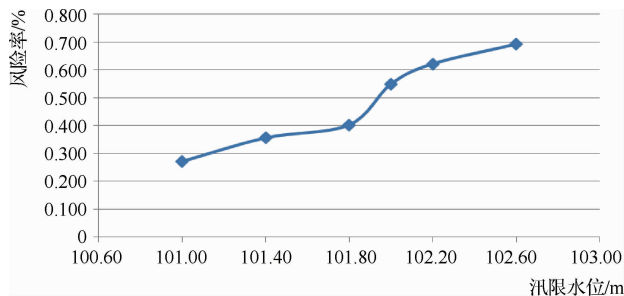


图 2 双因子情况下不同汛限水位的风险率

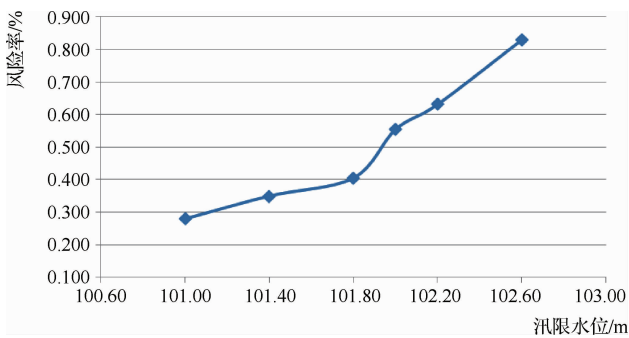


图 3 三因子情况下不同汛限水位的风险率

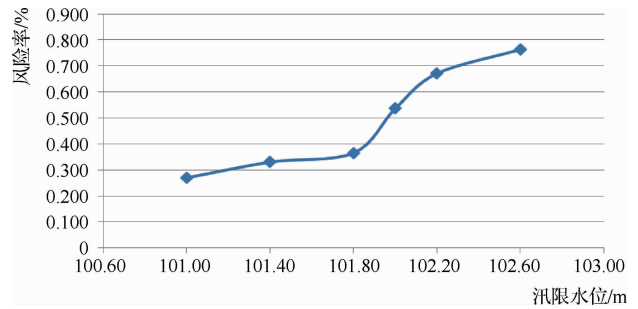


图 4 四因子情况下不同汛限水位的风险率

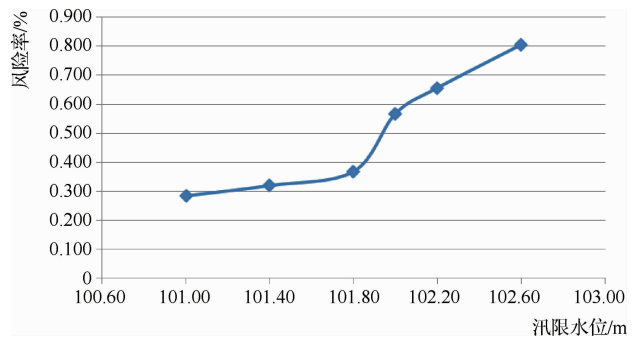


图 5 五因子情况下不同汛限水位的风险率

3 结论

本文根据白龟山水库的调度运行资料,通过建立水库汛期风险调度模型,对水库抬高汛限水位蓄水的防洪风险进行综合分析,得到比较合理的评估结果,根据计算结果,进行防洪调度方案风险综合分析,结果表明:白龟山水库的汛限水位可由目前的 101.00m 适当抬高不超过 101.80m。在水库实际运行中,通过实时预报校正,降低预报误差,根据来水实际情况,对水库下泄流量进行实时调整,可进一步降低风险。◆

参考文献

- [1] 赵恒. 汛限水位动态控制风险评价方法与应用研究[D]. 郑州:郑州大学,2013.
- [2] 焦瑞峰. 水库防洪调度多目标风险分析模型及应用研究[D]. 郑州:郑州大学,2004.