

红枫水库前期防洪限制水位论证研究

李继清¹, 纪昌明¹, 卢启友², 李安强³

(1. 华北电力大学 水利水电工程系 北京 102206; 2. 国电集团公司 红枫水力发电厂, 贵州 清镇 551417;
3. 武汉大学 水资源与水利水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 根据红枫水库的具体情况, 依据 1994 年国家颁布的《防洪标准》(GB50201—94) 和 2000 年中华人民共和国水利部颁布的《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252—2000), 基于现有的工程条件和技术资料, 从设计洪水推求、水库自身防洪调度和安全运行、蓄满率变化、电站发电效益分析等方面, 科学合理地分析论证红枫水库汛期前期(5~7 月)限制水位抬高的可行性和必要性。研究结果表明: 按照水库的现行调洪原则, 库水位从 1 236.8m 起调, 其相应调洪成果满足要求, 且有一定的安全余度。从发电效益来看, 最大年均增发电量为 0.044 亿 kW·h, 提高幅度为 6.8% 左右, 其经济效益显著。

关键词: 水库; 防洪限制水位; 蓄满率; 效益

中图分类号: TM622 文献标识码: A 文章编号: 1007-2691(2007)04-0027-05

Flood control limited level of Hongfeng reservoir during the former flood season

LI Ji-qing¹, JI Chang-ming¹, LU Qi-you², LI An-qiang³

(1. Department of Hydraulic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;
2. Hongfeng Hydropower Station of China Guodian Co., Qingzhen 730050, China;
3. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: According to “Standards of Flood Control”, issued by People’s Republic of China in 1994, and “Ranking and Flood Standard of Water Resources and Hydropower Engineering”, issued by Ministry of Water Resources in 2000, the flood control limited level of Hongfeng reservoir during the former flood season were studied based on the present current engineering conditions and technical data. This paper probed into the feasibility and necessity of driving up flood control limited level of Hongfeng reservoir from May to July in such aspects as inquiring into design flood, dispatching of flood control and safety operation of reservoir, changing of fill storage ratio of reservoir and power generation benefits analysis. The results showed that in accordance with current principle if the limiting water level was drove up from 1236.8m it can satisfy the requirement and also has a certain safety margin. And the benefits were remarkable with an increase of 4.4kW·h and rate of 6.8%.

Key words: reservoir; flood control limited level; fill storage ratio; benefit

0 引言

汛限水位是水库在汛期允许兴利蓄水的上限水位。水库为了防御可能发生的极值洪水, 通常在汛期到来时将水位下降至固定的(或分期的)汛限水位。红枫水库建于 1960 年, 是一座以发

收稿日期: 2007-03-30.
基金项目: 水资源与水电工程科学国家重点实验室开放研究基金(w hu2005B018); 国家自然科学基金资助项目(50579019).

电为主, 兼顾防洪、灌溉、供水、旅游等综合利用的不完全多年调节水库, 具有多年调节能力, 是确保猫跳河梯级防洪安全的关键性工程, 红枫水库控制的流域面积占猫跳河流域的 50%, 且库容较大 (正常蓄水位以下总库容为 5.896 亿 m^3), 又处于龙头, 对整个梯级发电效益影响很大, 因此, 根据国家颁布的有关防洪标准, 在满足水库防洪安全的前提下, 合理提高红枫水库防洪限制水位, 有效增加水库蓄水, 减少汛期弃水, 增加水电站发电效益, 是十分必要的^[1~3]。

本文依据 1994 年国家颁布的《防洪标准》(GB50201—94) 和 2000 年中华人民共和国水利部颁布的《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252—2000), 论证了红枫水库汛期前期 (5—7 月) 限制水位抬高的可行性和必要性。

1 水库概况

红枫水库位于贵州省清镇市红枫湖镇, 是乌江支流猫跳河梯级电站的龙头水库, 水库控制流域面积 $1\,596 \text{ km}^2$, 流域平均高程 $1\,327 \text{ m}$, 河床坡降 1.21% 。水库担负着防洪、发电、灌溉、工农业用水和旅游等任务。红枫水库于 1960 年建成, 大坝为木斜墙堆石坝, 原设计防洪限制水位为 $1\,236.00 \text{ m}$, 百年一遇设计洪水位为 $1\,240.00 \text{ m}$, 坝顶高程 $1\,241.30 \text{ m}$ 。1983—1993 年水库完成溢洪道扩建、堆石坝防渗灌浆、大坝加高等防洪加固工程后, 水库溢洪闸门由原 2 孔高 \times 宽= $6.3\times 12 \text{ m}$ 的弧形门增到 4 孔, 最大泄量达 $2\,500 \text{ m}^3/\text{s}$, 大坝坝顶高程加高到 $1\,243.08 \text{ m}$, 防洪校核洪水位为 $1\,242.58 \text{ m}$ 。

2 红枫水库汛限水位抬高的可行性分析

红枫水库防洪标准原设计采用百年一遇洪水设计, 千年一遇洪水校核, 但从原电力工业部水力发电建设总局以 (80) 电水设字第 155 号文件对 1977—1978 年原水电九局设计院开展的猫跳河梯级设计洪水复核批复开始, 红枫水库洪水校核的标准为万年一遇, 同时要求红枫水库增建两孔溢洪道并加高大坝 (目前, 两孔溢洪道和坝高早已增建, 坝高由 $1\,241.3 \text{ m}$ 加高到 $1\,243.08 \text{ m}$), 此后, 由能源部水利部贵阳勘测设计院 (后

名称改为国家电力公司贵阳勘测设计研究院) 于 1987 年完成的《猫跳河梯级水电站运行设计报告》、1990 年完成的《猫跳河修文水电站洪水复核专题报告》和 2001 年完成的《猫跳河梯级水电站设计洪水复核报告》中, 尽管由于资料和梯级开发要求等情况的变化, 复核的结果有不同程度的变更, 但红枫水库洪水校核的标准均为万年一遇。按照 1994 年国家颁布的《防洪标准》(GB50201—94) 和 2000 年中华人民共和国水利部颁布的《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252—2000), 红枫水库属于二等二级建筑物, 其防洪标准应采用百年一遇洪水设计, 五千年一遇洪水校核, 此标准下的水库调洪结果与原万年一遇洪水校核结果相比, 水库汛限水位可以提高。

2.1 设计洪水推求

红枫水库设计洪水是根据流量资料推求的, 集水面积采用 1978 年国家电力公司贵阳勘测设计研究院复核过的流域面积, 即 $1\,596 \text{ km}^2$; 库容曲线采用 1991 年红枫发电总厂编制的《水库调度手册》成果; 洪水还原计算和洪水峰量系列以国家电力公司贵阳勘测设计研究院提出的猫跳河修文水库设计洪水复核报告为基础, 并采用水量平衡反算方法将红枫系列延长至 2004 年; 洪水频率计算时, 历史洪水采用 1830 年和 1892 年洪水, 其重现期分别为 400 年一遇和 72 年一遇, 历史洪水峰量采用 1978 年国家电力公司贵阳勘测设计研究院分析成果, 实测期内的第一大洪水——1991 年洪水提出作特大值处理, 作为 1830 年至今以来 175 年的第二大洪水, 重现期为 122 年。其他实测洪水, 在实测考证期内排队, 估算其经验频率, 频率计算采用目估适线方法。为兼顾安全渡汛及汛后水库蓄水发电要求, 国家电力公司贵阳勘测设计研究院分别于 1987 年和 1990 年根据流域发生的几次大洪水, 对梯级各站设计洪水及洪水调度方案进行研究复核, 复核设计报告的设计洪水及洪水调度方案得到有关部门的审查肯定, 提出“应根据‘91.7’洪水检验”的要求。本次红枫水库汛限水位论证研究将流域 1991 年 7 月和 1996 年 7 月发生较稀遇的大洪水列入典型样本系列, 选用“91.7”和“96.7”典型洪水按同频率放大方法求得设计洪水。

2.2 调洪演算与汛期分期汛限水位确定

2.2.1 调洪演算

根据上述审查纪要要求, 本次水库洪水调节计算采用了“91.7”和“96.7”典型推求出的设计洪水过程, 并分别对敞泄、1987 年运行设计和 1990 年复核设计时确定的 3 种不同洪水调度方案进行检验。表 1 和图 1 为相对不利的红枫水库“96.7”典型设计洪水的调洪成果。

表 1 “96.7”典型设计洪水调洪成果表

Tab. 1 Results of flood regulation according to design flood by the origins of “96.7” typical flood process							
频率 P / (%)	起调 水位 /m	方案 1		方案 2		方案 3	
		最高水位 /m	最大下泄流量 / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	最高水位 /m	最大下泄流量 / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	最高水位 /m	最大下泄流量 / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
1	1236.0	1239.55	1271.98	1239.70	1327.05	1239.74	1338.94
	1236.5	1239.66	1310.81	1239.78	1353.95	1239.78	1353.96
	1236.8	1239.73	1336.54	1239.83	1372.64	1239.83	1372.67
	1237.0	1239.78	1353.66	1239.85	1380.13	1239.85	1377.70
	1237.5	1239.92	1403.00	1239.97	1421.02	1239.93	1408.42
0.02	1236.0	1242.39	2371.66	1242.47	2405.01	1242.49	2412.00
	1236.5	1242.46	2401.40	1242.52	2427.19	1242.52	2427.27
	1236.8	1242.50	2419.15	1242.56	2443.80	1242.56	2443.86
	1237.0	1242.54	2433.41	1242.58	2451.82	1242.58	2451.88
	1237.5	1242.64	2474.59	1242.65	2481.68	1242.65	2481.30

红枫水库“96.7”典型设计洪水调洪成果图 ($P=0.02\%$) 红枫水库“96.7”典型设计洪水调洪成果图 ($P=1.0\%$)

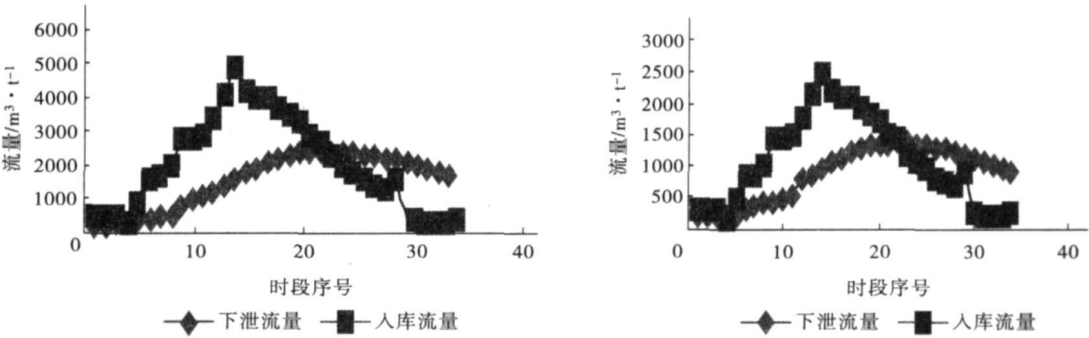


图 1 红枫水库“96.7” $P=1\%$ 和 $P=0.02\%$ 调洪成果 (方案 3)

Fig. 1 Results of flood regulation according to “96.7” typical flood process for Hongfeng Reservoir when $P=1\%$ and $P=0.02\%$

从表 1 的“96.7”典型设计洪水调洪成果表中可以看出: 无论按哪种调洪方案, 从 1 236.8 m 及以下水位起调, 得到的百年一遇设计洪水和五千年一遇校核洪水相应的最高库水位均低于 1 239.97 m 和 1 242.58 m, 最大下泄流量均低于 1 420 m^3/s 和 2 450 m^3/s , 而从 1 237.5 m 水位起调, 得到的百年一遇设计洪水相应的最大下泄流量 (1 421.02 m^3/s)、五千年一遇校核洪水相应的最高库水位 (1 242.65 m) 及其最大下泄流量 (2 481.68 m^3/s) 均超过核定的设计洪水

位、校核洪水位和设计洪水最大下泄流量和校核洪水最大下泄流量。由此可见, 1 237.5 m 作为前期汛限水位不满足水库防洪安全的要求, 而 1 237 m 作为前期汛限水位可满足水库安全渡汛的要求, 但考虑到本次汛限水位工作由于资料所限, 没能进行“由暴雨资料推求设计洪水”的工作, 从安全角度出发, 在此推荐汛限水位提高 0.8 m, 即从 1 236 m 提高到 1 236.8 m。表 2 是本文与以前两次复核调洪推荐成果及运行设计报告核定成果比较表。

表 2 本文与两次复核调洪推荐成果及运行设计报告核定成果比较表

Tab 2 Results comparison among this one and two check results in 1990 and 2001, and the ratify of operation design report

项 目	本次推荐成果		1990、2001 年推荐成果		运行设计报告核定成果	
汛限水位（前期）/m	1 236. 8		1 236. 0		1 236. 0	
洪水标准	设计洪水	校核洪水	设计洪水	校核洪水	设计洪水	校核洪水
频率 P/（%）	1	0. 02	1	0. 01	1	0. 01
最大入库流量/ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	2 470	4 880	2 710	5 030	2 710	5 030
最大下泄流量/ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	1 372. 46	2 443. 80	1 420	2 450		
最高库水位/m	1 239. 83	1 242. 56	1 239. 97	1 242. 58	1 240. 00	1 242. 60
坝顶高度/m	1 243. 08		1 243. 08		1 243. 08	

注：2001 年、1990 年推荐成果摘自由国家电力公司贵阳勘测设计研究院（原能源部水利部贵阳勘测设计院）于 1990 年完成的《猫跳河修文水电站洪水复核专题报告》和 2001 年完成的《猫跳河梯级水电站设计洪水复核报告》；运行设计报告核定成果摘自由原能源部水利部贵阳勘测设计院于 1987 年完成的《猫跳河梯级水电站运行设计报告》。

2. 2. 2 分期划分与分期防洪限制水位

经分析猫跳河流域有一定的分期特征^[1]，即：径流年际之间变化较为稳定，但年内变化较大，降雨多集中在汛期 5~9 月，而以 6~7 月更为集中，一般年最大洪水都出现在 8 月份以前。年最大洪水多数发生在 6、7 月，洪水峰高量大。红枫水库分期设计洪水主要通过对其物理成因进行统计分析，并考虑河流的气象水文特点。由于红枫以上为多暴雨区之一，加之红枫水库在梯级防洪渡汛中的重要作用，因此，以红枫站作为水文规律统计的主要站点，按月、旬统计 1961~2004 年共 44 年的最大、次大、第三大洪水的出现几率。结果表明：年最大洪水在 8 月中旬已基本结束，出现几率达 92. 859%，次大洪水及第三大洪水要分别在 9 月中旬和 10 月上旬才告结束。从红枫站多年旬平均和多年旬最大流量过程来看，7 月末、8 月初处在一个低谷，8 月末 9 月初也处在一个低谷。因此在确保大坝安全的前提下，为满足水库蓄水要求，根据气候成因和对红枫入库洪水季节性变化规律分析，在规范规程允许的前提下，仍把红枫入库洪水的分期划分为三段，即：7 月底以前为前汛期，洪水按年最大洪水考虑；8 月为中汛期，相应洪水为 8 月洪水；9 月 1 日以后为后汛期，相应洪水为 9 月洪水。考虑水文时序的随机性、不确定性，加之红枫水库对梯级安全渡汛影响重大，1987 年运行设计中曾对梯级洪水进行分期进行过多方面研究分析，认为不宜将洪水分期时段进一步划细，仍分为三期，并确定了红枫水库的洪水运行调度原则。因此，除前期汛限水位提高到 1 236. 8m 外，中后期汛限水位不变，详见表 3。

表 3 确定的红枫水库分期防洪限制水位表

Tab 3 New flood control limited level of Hongfeng Reservoir by stages

分期	主汛期	中汛期	后汛期
所在月份	5~7	8	9
防洪限制水位	1 236. 8	1 239. 1	1 239. 4

3 红枫水库汛限水位抬高的必要性分析

3. 1 蓄满率分析

水库蓄满率是一个统计学的概念，指水库在多年运行期间，水位在汛期过后达到水库正常蓄水位的年数占总年数的比值。从红枫水库 45 年（1960~2004 年）来的实际运行库水位情况（见表 4）看：前期 7 月末库水位达到 1 236 m 的比率为 66. 67%，中期 8 月库水位达到 1 239. 1 m 的比率为 31. 11%，后期 9 月库水位达到 1 239. 4 m 的比率为 33. 33%，非汛期最高库水位达到正常蓄水位 1 240 m 的比率为 0，即水库蓄满率为零。由此可见，各分期及非汛期库水位达到相应汛限水位（正常蓄水位）的比率（蓄满率）相差比较大，前期 5~7 月可达 66. 67%，说明该阶段（5~7 月）弃水的可能性比较大；中期 8 月、后期 9 月分别可达 31. 11%和 33. 33%，说明该两阶段（8 月、9 月）弃水的可能性比较小，也就是说中后期来水少。在这种情况下，如果提高前期 5~7 月份的汛限水位，可减少该阶段弃水，同时可提高中后期库水位达到相应汛限水位的比率以及非汛期库水位达到正常蓄水位的蓄满率。按前面推荐的前期汛限水位 1 236. 8 m（提高 0. 8m）估算，水库的蓄满率可提高 26. 7%，这说明抬高汛

限水位能够提高水库的蓄满率, 从而能够增加其发电效益, 是非常必要的。

表 4 红枫水库分期运行情况统计表

Tah 4 Statistics of operation by stages for Hongfeng Reservoir

项 目	5~7月		8月		9月		非汛期	
	达到汛限	汛限水位	达到汛限	汛限水位	达到汛限	汛限水位	达到汛限	汛限水位
	水位次数	/m	水位次数	/m	水位次数	/m	水位次数	/m
	30	1236	14	1239.1	15	1239.4	0	1240.0
达到汛限 水位比率	66.67%		31.11%		33.33%		0	

3.2 效益分析

红枫水库为猫跳河梯级龙头水库, 除了显著的防洪效益外, 其调蓄直接影响梯级电站运行效益。本部分着重分析红枫水库前期汛限水位提高后对猫跳河梯级电站带来的经济影响, 确定梯级水库的补偿效益, 以提高梯级电站水量利用率, 挖掘梯级电站的最大潜能。发电出力与发电流量(水量)和水头两方面因素有关, 故本部分效益估算就考虑水量和水头两方面所增加的电量效益。具体来说, 红枫水库前期汛限水位提高后所带来的发电效益主要体现在两方面: 一是前期汛限水位提高增加的水量所增发的电量效益, 这部

分效益在非汛期更能体现出它的重要性, 因此该部分效益计算只发生在非汛期, 即每年的 1~4 月和 10~12 月。指标用年电量, 依据发电耗水率计算得到; 二是由于前期汛限水位提高增加的水头所增发的电量效益, 这部分效益在每年任一时刻均可能体现, 故该部分效益计算发生每年 12 个月中。指标也用年电量, 根据水头与发电量之间的对应比例关系计算得到。以上两方面的效益计算均考虑了两种方式: 一种是直接多年累加后求年平均电量, 另一种是先求年值并累加, 再求年平均电量, 计算结果详见表 5。

表 5 红枫水库前期汛限水位提高后所增加的发电效益计算表

Tah 5 Increasing power benefits calculation by the increase of flood control limited level of Hongfeng reservoir

类别	项 目			
	由增加的水量所增发的电量 / 亿 kW·h	由水头增加所增发的电量 / 亿 kW·h	增加的总电量/ 亿 kW·h	提高幅度/(%)
第 1 种方式	0.028	0.0165	0.0445	6.82
第 2 种方式	0.0275	0.0165	0.0440	6.73

备注: 提高幅度的计算为增发电量与多年平均电量值的比值。

计算表明: 红枫水库前期汛限水位提高到 1 236.8 m 后, 无论用哪种方式估算, 得到的年均增发电量均在 400 多万 kW·h, 提高幅度为 6.8% 左右, 效益非常可观。

4 结 论

以上研究分析表明^[4], 红枫水库的前期汛限水位由 1 236.0 m 提高到 1 236.8 m, 从防洪安全和汛期前期是否有水可蓄角度考虑是可行的, 从蓄满率和经济效益提高的幅度来看, 是非常必要的。在此建议: 红枫水库的前期汛限水位由 1 236.0 m 提高到 1 236.8 m。另外, 红枫水库自 1995 年起就开始了水情自动化测报研究, 并先后请桂林工学院、南京自动化研究院等科研院校研发了水情自动化测报系统, 为红枫及整个梯级水

库在洪水调度中采取预泄、错峰等方式提供了相对准确、可靠的水文预报, 也为提高汛限水位后的水库安全渡汛提供了保障。

参考文献

[1] 卢启友. 红枫水库分期洪水调度运用的体会 [J]. 贵州水力发电, 2000, (1): 27—28.
[2] 胡四一, 高波, 王忠静. 海河流域洪水资源安全利用——水库汛限水位的确定与运用 [J]. 中国水利, 2002, (10): 105—108.
[3] 高波, 王银堂, 胡四一. 水库汛限水位调整与运用 [J]. 水科学进展, 2005, 16 (3): 326—333.
[4] 华北电力大学水资源与水利水电工程研究所. 红枫水库防洪限制水位论证研究 [R]. 2006.

作者简介: 李继清 (1972—), 女, 博士, 讲师, 从事水文学及水资源方面的教学和科研工作。