

Effect of Cascade Reservoirs Operation for Flood Control on the Chuan River^{*}

Chunhua Yang, Jijun Xu, Zhengjie Yin

Water Resource Department of Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan
Email: ychh1985@126.com

Received: Aug. 9th, 2012; revised: Aug. 28th, 2012; accepted: Sep. 7th, 2012

Abstract: In order to analyze the effect of cascade reservoir storages on flood control of the Chuan River, three flood control storage schemes, which are design flood control storage half of design flood control storage and none storage, are assumed. For the design flood with different frequencies, a flood control cascade operation model has been adopted to simulate the regulation of flood control operation. The results show that if inflow from the Min River and other tributaries are larger, the flood control effect of the lower Jinsha River cascade reservoirs on the Chuan River wouldn't be significant. If inflow from the Jinsha River is larger, the effect of flood control on the Chuan River with each scheme will be different. The scheme of design flood control storage has the best flood control effect; while the scheme with none storage can't guarantee flood control safety of the Chuan River.

Keywords: Cascade Reservoirs; Flood Control; Joint Operation; Design Flood

金沙江下游梯级水库防洪库容调整对川江防洪的影响分析^{*}

杨春花, 许继军, 尹正杰

长江科学院水资源综合利用研究所, 武汉
Email: ychh1985@126.com

收稿日期: 2012年8月9日; 修回日期: 2012年8月28日; 录用日期: 2012年9月7日

摘要: 为弄清金沙江下游梯级水库防洪库容预留大小对川江河段防洪的作用, 设定原设计防洪库容、防洪库容削减一半、不预留防洪库容三种防洪库容预留方案。根据金沙江下游四座梯级水库的汛期运行方式, 对各防洪库容预留方案不同典型不同频率下的设计洪水进行调洪演算, 防洪调度结果显示, 当岷江和其它区间支流汇入洪量较大时, 梯级水库对川江防洪的补偿作用不明显; 当金沙江处洪量较大时, 各防洪库容预留方案对川江河段防洪效果差异较大, 相对其他两种方案, 原设计防洪库容的方案对川江河段防洪效果较好; 削减一半防洪库容的方案在遇较大洪水时对川江防洪有一定的影响; 而不预留防洪库容的方案基本不能保证川江河段防洪安全。

关键词: 梯级水库; 防洪控制; 联合调度; 设计洪水

^{*}基金项目: 中央级公益性科研基金资助项目(CKSF2011001)。

作者简介: 杨春花(1985-), 女, 江西九江人, 硕士, 工程师, 主要从事水文学及水资源规划管理方面研究。

1. 长江上游防洪

金沙江是长江上游的重要组成部分, 全长约3500 km, 流域面积约50万km², 总落差5100 m。金沙江水能资源极其丰富, 干支流水能资源理论蕴藏量为1.21亿kW, 占长江流域水能资源理论蕴藏量的42.25%, 经济技术可开发量为1.19亿kW, 年发电量5927亿kW·h, 占长江流域的49.9%, 是我国重要的水电基地。根据金沙江梯级的规划要求^[1], 金沙江下游梯级水库主要防洪任务一是积极配合川江防洪, 二是分担长江中下游防洪压力。金沙江下游梯级水库特征水位见表1。

目前诸多学者对金沙江梯级水库防洪方面的问题做过研究, 如赵家成等^[2]依据长江洪水特征和长江中下游防洪要求, 提出了长江上游梯级水库群防洪调度原则; 杨春花等^[3]对2种补偿调度方式下长江中下游防洪的情况进行研究, 分析了金沙江下游梯级水库配合三峡水库的联合防洪调度效果; 宁磊等^[4]分析了溪洛渡、向家坝与三峡水库的联合防洪调度方式并得出其对长江中下游的防洪作用; 江志远^[5]通过溪洛渡水库的调度任务、调度原则及调度方式, 分析了溪洛渡水库对川江河段及长江中下游的防洪作用; 丁毅等^[6]根据上游各支流特点, 提出了上游干支流预留防洪库容规模的建议, 并计算分析上游金沙江预留防库容的作用, 并提出梯级水库协调防洪与发电关系调度方式。

金沙江梯级开发具有设置防洪库容的条件, 可分担长江中下游地区和川江河段的防洪任务。金沙江汛期洪水总量是川江洪水的主要来源之一, 为弄清金沙江下游梯级水库防洪库容预留大小对川江河段防洪的作用, 本文对金沙江下游四个水库的汛期运行方式进行探讨, 通过预留不同防洪库容对不同典型不同频率下的设计洪水进行调洪演算, 分析防洪调度结果。

2. 典型洪水年选取

防洪调度所用到的设计洪水涉及到各干支流, 依

据水利水电设计洪水计算规范^[7]选取川江代表站李庄站1959年、1966年和1991年作为典型洪水年推求各干支流设计洪水过程。采取典型年洪水按控制站洪量进行控制的同倍比放大法, 以李庄站30天0.2%、0.5%、1%、2%及5%六种不同频率设计洪量与各典型年同时段洪量的倍比值, 同倍比放大上游金沙江与岷江洪水过程。金沙江上各水库入流通过水库控制流域面积比例反推乌东德水库入库流量及下游三水库的区间入流。

3. 联合防洪调度

以金沙江下游梯级水库汛期运行方式为基础, 对原设计预留防洪库容、不预留防洪库容、预留一半防洪库容这三种防洪库容调整方案的梯级水库群联合调度问题进行研究。

3.1. 金沙江下游梯级水库库容调整方案

对串联水库群, 在汛期处于上游的水库需在保证本水库安全的前提下, 先发挥削峰错峰的作用, 尽可能减小下游水库的防洪压力; 当梯级水库群肩负多项调度任务时, 防洪调度处于首位, 发电、生态等其他调度若与防洪调度相冲突, 需遵从防洪调度; 当梯级水库群的防洪保护对象有多个时, 需依据防洪保护对象的重要程度及整个流域的防洪体系给出各防洪保护对象的保护程度。

3.1.1. 原设计预留防洪库容方案(以Z表示)

根据“金沙江干流综合规划”(2006), 金沙江下游四个梯级水库采取以下方式运行:

1) 乌东德和白鹤滩水库在6月至8月上旬分别保持在初期汛限水位930 m、780 m运行; 在8月中旬至9月上旬, 将抬高汛限水位, 维持在后期汛限水位935 m、810 m运行。在整个汛期过程中, 当遇洪水时, 需要其削峰, 拦截洪量, 从而抬高了库水位, 但不能

Table 1. Characteristic water level of cascade reservoirs in the downstream Jinsha River
表1. 金沙江下游梯级水库特征水位

水库	乌东德	白鹤滩	溪洛渡	向家坝
正常水位	950	820	600	380
汛限水位	930/935	780/810	560	370
死水位	920	760	540	370

超过其防洪高水位 950 m、820 m, 待洪水过后, 需要迅速回落至汛限水位。

2) 溪洛渡和向家坝水库在汛期 6 月至 9 月上旬分别维持在汛限水位 560 m、370 m 运行, 遇洪水时水库拦蓄洪水, 库水位升高; 洪水后, 水库腾空以迎接下一次洪峰。

3.1.2. 不预留防洪库容方案(以 A 表示)

金沙江下游梯级水库均不预留防洪库容, 四座水库的汛限水位对应于其正常蓄水位。

3.1.3. 预留一半防洪库容方案(以 B 表示)

在原设计预留防洪库容方案的基础上, 金沙江下游梯级水库预留一半的防洪库容, 四座水库的防洪库容均为原设计的一半, 相应的汛限水位有所提高。

1) 乌东德和白鹤滩水库在 6 月至 8 月上旬分别保持在初期汛限水位 940.5 m、800.3 m 运行; 在 8 月中旬至 9 月上旬, 将抬高汛限水位, 维持在后期汛限水位 942.5 m、815 m 运行。在整个汛期过程中, 当遇洪水时, 需要其削峰, 拦截洪量, 从而抬高了库水位, 但不能超过其防洪高水位 950 m、820 m, 待洪水过后, 需要迅速回落至汛限水位。

2) 溪洛渡和向家坝水库在汛期 6 月至 9 月上旬分别维持在汛限水位 580 m、375 m 运行, 遇洪水时水库拦蓄洪水, 库水位升高; 洪水后, 水库腾空以迎接下一次洪峰。

3.2. 金沙江下游梯级防洪联合调度规则

金沙江梯级水库防洪保护对象以川江河段为主, 在保证川江河段防洪安全的前提下若仍有多余的防洪库容, 并且此时三峡水库需拦洪蓄水时, 则启动金沙江梯级配合三峡水库对长江中下游的防洪调度。此处川江处的防洪保护对象以李庄为代表, 依据《宜宾市防洪预警总体预案》, 李庄处防洪安全水位为 272.00 m, 对应的行洪安全流量为 44,700 m³/s。

李庄站洪水主要来自金沙江、岷江, 以及横江等区间小支流, 因此为保证川江河段的防洪安全, 金沙江下游梯级水库需对岷江做防洪补偿调度, 即 $Q_{XJB} + Q_{MR} \leq Q_{Lsafy}$, 式中 Q_{XJB} 为金沙江下游梯级水库最后一级水库向家坝的泄流, Q_{MR} 为相应时段的屏山至李庄处区间流量, Q_{Lsafy} 为李庄站行洪安全流量。向家坝水库泄流不得大于李庄行洪安全流量与区间

流量之差。因梯级水库拦洪是由上游水库先发挥拦洪作用, 故需依据 $Q_{XJB} \leq Q_{Lsafy} - Q_{MR}$ 中 Q_{XJB} 值反推上游各水库泄流量。对于第 j 个水库的下泄流量计算过程如下:

1) 当向家坝处第 i 时段总入流

$$QR_{\text{total}}^i = Qin_j^i + \sum_{k=j}^{N-1} Q_{\text{int}}^i \text{ 满足下式:}$$

$$\begin{cases} QR_{\text{total}}^i + Q_{MR}^i \leq Q_{Lsafy}^i \\ V_j^i \leq VX_j^i, \quad j=1, \dots, 4 \end{cases} \quad (1)$$

则各水库按来多少水泄多少水, 即 $Q_{\text{out}}^i = Qin_j^i$ 。

2) 当向家坝处总入流 QR_{total}^i 满足下式:

$$\begin{cases} QR_{\text{total}}^i + Q_{MR}^i \leq Q_{Lsafy}^i \\ V_j^i > VX_j^i \end{cases} \quad (2)$$

则各水库按照下式进行泄流:

$$Q_{\text{out}}^i = \min \left(Q_{Lsafy}^i - Q_{MR}^i - \sum_{k=j}^{N-1} Q_{\text{int}}^i, Q_{eco}^i \right) \quad (3)$$

式中: Q_{eco}^i 为下游川江处生态流量上限值, 即在保证防洪安全的前提下尽量满足川江的生态安全。

3) 当向家坝处总入流 QR_{total}^i 满足下式:

$$QR_{\text{total}}^i + Q_{MR}^i > Q_{Lsafy}^i \quad (4)$$

则各水库按照下式进行泄流:

$$Q_{\text{out}}^i = Q_{Lsafy}^i - Q_{MR}^i - \sum_{k=j}^{N-1} Q_{\text{int}}^i \quad (5)$$

在计算过程中还需满足如下几个约束条件:

1) 水量平衡约束:

$$V_j^{i+1} = V_j^i + (Qin_j^i - Q_{\text{out}}^i) * dt$$

2) 库容约束:

$$V_{\max_j} \geq V_j^{i+1} \geq V_{\min_j}$$

3) 上下游水库间水力联系:

$$Qin_{j+1}^i = Q_{\text{out}}^i + Q_{\text{int}}^i, \quad j=2, \dots, N$$

4) 泄流能力约束:

$$Q_{\text{out}}^i \leq Q_{\max_j}^i$$

上式中 VX_j^i 为汛限水位对应的库容; dt 为单位流量所对应的水量; V_{\max_j} 与 V_{\min_j} 分别对应水库正常蓄水位与死水位; Q_{int}^i 为区间入流, $Q_{\max_j}^i$ 为对应库容

在当前水位下的泄流能力。

4. 计算结果及分析

对各典型年不同频率的最大 30 天设计洪水过程进行联合防洪调度计算。当典型年实测洪水过程的起始时间处于前汛期, 则认为其是属于前汛期的设计洪水; 否则认为其是属于后汛期的设计洪水, 起调水位均为汛限水位。表 2 为 1959 年、1966 年和 1991 年典型下不同频率的设计洪水联合防洪调度结果。

由表 2 可知, 主要可得出如下结论:

1) 由 1959 年型设计洪水来看, 金沙江与岷江的来流量并不大, 且洪峰未发生遭遇, 但向家坝至李庄区间的横江等支流产生的洪水量较大, 占到 50% 以上。对 50 年一遇及以上设计洪水, 由于向家坝至李庄站的区间入流(包括岷江、横江等支流)所产生的最大洪水流量, 就已经超过了李庄防洪安全行洪流量 $44,700 \text{ m}^3/\text{s}$, 因此金沙江下游梯级水库防洪调度作用

有限。表 2 计算结果显示, 在金沙江梯级水库调节下, Z 与 B 方案, 水库虽拦蓄了大量洪水, 但仍不能保证李庄处的防洪安全。而对 20 年一遇及以下洪水, Z 与 B 方案, 基本能保证李庄的行洪安全。对于完全不预留防洪库容的 A 方案, 李庄流量将会不同程度的超过其安全行洪能力, 不可行。

2) 1966 年型设计洪水金沙江与岷江洪峰发生遭遇, 均发生在 9 月 1 日, 并且区间还有其他支流的洪水汇入。对 50 年一遇及以上设计洪水, 方案 Z 与 B 均能保证李庄流量不超过其防洪安全流量; 对 100 年一遇及以上设计洪水, 方案 Z 均能保证李庄行洪安全, 而方案 B 因金沙江梯级水库防洪库容削减一半, 导致拦蓄洪量不足, 难以保证李庄行洪安全。这说明保留规划防洪库容一半的 B 方案, 遇 1966 年型 100 年一遇及以上设计洪水, 则难以保证李庄处行洪安全。对于完全不预留防洪库容的 A 方案, 遇不同频率设计洪水时, 下游李庄最大流量均超过其防洪安全值, 不可行。

Table 2. Results of flood control operation for cascade reservoirs for different typical year
表 2. 各典型年年不同频率下的各方案防洪调度结果

频率	方案	最大流量					
		1959 年		1966 年		1991 年	
		李庄	向家坝 - 李庄	李庄	向家坝~李庄	李庄	向家坝 - 李庄
	Z	60,500		44,700		55,000	
	0.20%	A	84,000	60,400	75,100	41,300	86,200
	B	60,500		64,600		55,000	
	Z	56,000		44,700		50,900	
	0.50%	A	77,800	55,900	69,500	38,200	79,800
	B	56,000		56,600		50,900	
	Z	52,600		44,700		47,800	
	1.00%	A	73,000	52,600	65,200	35,800	74,900
	B	52,600		48,900		47,800	
	Z	48,900		44,700		44,700	
	2.00%	A	67,900	48,900	60,700	33,400	69,700
	B	48,900		44,700		44,700	
	Z	44,700		44,700		44,700	
	5.00%	A	60,900	43,900	54,500	29,900	62,500
	B	44,700		44,700		44,700	
	Z	44,700		44,700		44,700	
	实际洪水	A	48,000	34,600	60,900	34,900	48,700
	B	44,700		44,700		44,700	

3) 对于 1991 年型设计洪水, 金沙江与岷江洪峰未发生遭遇, 但向家坝至李庄站的区间入流(包括岷江、横江等支流)洪量较大。对 50 年一遇及以下设计洪水, 方案 Z 与 B 均能保证李庄流量不超过其防洪安全流量。对 100 年一遇及以上洪水, 因向家坝至李庄区间入流较大, 且已经超过李庄安全行洪流量, 金沙江下游梯级水库能起到的防洪作用有限。而对于完全不预留防洪库容的 A 方案, 李庄最大流量均超过安全值。

5. 结论

金沙江下游梯级水库对川江的防洪作用, 与金沙江、岷江以及其它区间支流洪水组成相关。当岷江和其它区间支流汇入洪量较大时, 梯级水库对川江防洪的补偿作用不明显。典型洪水年的防洪演算结果表明, 规划确定的防洪库容方案(即 Z 方案), 基本能保证 50~100 年一遇洪水条件下李庄站最大洪量小于安全行洪量。而对于 100 年一遇洪水及以上设计洪水, 尽管金沙江下游梯级水库拦蓄洪水, 但由于其下游屏山至李庄的区间入流洪量较大(包括岷江和横江等支流的入流), 因此难以避免李庄处最大洪量超过其安全行洪量。对于完全不预留防洪库容的 A 方案, 对川江防洪安全有较大影响, 即使是面对 20 年一遇洪水, 李庄站最大洪量也将超过其安全行洪量。而对于预留一半防洪库容的 B 方案, 若遇 50~100 年以上洪水时, 对李庄行洪安全有影响, 但是对于 50~100 年一遇以下洪水时, 水库防洪效果与规划方案 Z 相差不大。

参考文献 (References)

- [1] 水利部长江水利委员会. 金沙江干流综合规划报告[R], 2006. Changjiang Water Resource Commission. Comprehensive utilization planning of the main Jinsha River, 2006. (in Chinese)
- [2] 赵家成, 王从峰, 姜利汉. 长江上游干支流水库防洪调度探讨[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2004, 26(5): 399-401. ZHAO Jiacheng, WANG Congfeng and JIANG Lihan. A study on reservoir flood control operation in upper reaches of Yangtze River. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2004, 26(5): 399-401. (in Chinese)
- [3] 杨春花, 许继军, 董玲燕. 金沙江下游梯级水库配合三峡水库联合防洪调度效果分析[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(10): 5-9. YANG Chunhua, XU Jijun and DONG Lingyan. Effect of joint operation for flood control of Jinshajiang downstream cascade reservoirs with Three Gorges Reservoir. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(10): 5-9. (in Chinese)
- [4] 宁磊, 胡昌盛, 游中琼. 溪洛渡、向家坝水电站对长江中下游防洪作用分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, 42(4): 443-446. NING Lei, HU Changsheng and YOU Zhongqiong. Analysis of role of Xiluodu and Xiangjiaba hydropower stations in flood control of middle and lower Yangtze River. Engineering Journal of Wuhan University, 2009, 42(4): 443-446. (in Chinese)
- [5] 江志远. 浅谈金沙江溪洛渡水电站的防洪作用[J]. 中国三峡建设, 2004, 4: 40-42. JIANG Zhiyuan. Flood control role of Xiluodu hydropower station in Jinsha River. China Three Gorges Construction, 2004, 4: 40-42. (in Chinese)
- [6] 丁毅, 纪国强. 长江上游干支流水库防洪库容设置研究[J]. 人民长江, 2006, 37(9): 50-52. DING Yi, JI Guoqiang. Flood control capacity settings of reservoirs in the upper main Yangtze River. Yangtze River, 2006, 37(9): 50-52. (in Chinese)
- [7] 水利部, 能源部. 水利水电工程设计洪水计算规范 SL44-93[S]. 北京: 水利电力出版社, 1993. Ministry of Water Resources. Guidelines of design flood estimation for hydraulic engineering, SL44-93. Beijing: Shui-dian Press, 2009. (in Chinese)