

金沙江下游梯级水库设计洪水复核计算

谢雨祚¹, 熊丰², 李帅³, 郭生练^{1*}, 王俊^{1,2}

¹武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉

²长江水利委员会水文局, 湖北 武汉

³中国长江三峡集团有限公司流域枢纽运行管理中心, 湖北 宜昌

收稿日期: 2021年10月18日; 录用日期: 2021年11月10日; 发布日期: 2021年12月30日

摘要

金沙江下游建有乌东德~白鹤滩~溪洛渡~向家坝梯级水库, 各水库初设坝址设计洪水成果采用的水文系列资料分别止于2008年、2009年、1998年和1998年。为考虑初设之后水文资料对设计成果的影响, 采用华电站、屏山站实测日径流资料及上游水库群实际运行资料, 根据马斯京根法将两站序列还原并延长至2020年, 进行梯级水库设计洪水复核计算。复核结果表明: 1) 华电站和屏山站设计洪水峰量的均值稍有增减(均变化0.6%左右)、 C_v 和 C_s 稍有减小, 两者之比即 C_s/C_v 不变; 2) 与原设计成果相比, 乌东德、白鹤滩、溪洛渡和向家坝不同频率设计洪水的变幅基本控制在5%、3%、3%和3%以内; 3) 设计洪水复核结果与初设误差基本控制在5%以内, 且频率曲线也基本与原审定结果相符, 可继续沿用初设成果。

关键词

梯级水库, 设计洪水, 径流还原, 复核计算, 金沙江

Recheck of Design Floods for Cascade Reservoirs in Downstream Jinsha River

Yuzuo Xie¹, Feng Xiong², Shuai Li³, Shenglian Guo^{1*}, Jun Wang^{1,2}

¹State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan Hubei

²Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei

³Operation and Administration Center for River Basin Hydro Complex, China Three Gorges Corporation, Yichang Hubei

Received: Oct. 18th, 2021; accepted: Nov. 10th, 2021; published: Dec. 30th, 2021

作者简介: 谢雨祚, 男, 硕士研究生, Email: yuzuo@whu.edu.cn

*通讯作者 Email: slguo@whu.edu.cn

文章引用: 谢雨祚, 熊丰, 李帅, 郭生练, 王俊. 金沙江下游梯级水库设计洪水复核计算[J]. 水资源研究, 2021, 10(6): 561-571.
DOI: 10.12677/jwrr.2021.106061

Abstract

There are Wudongde~Baihetan~Xiluodu~Xiangjiaba cascade reservoirs in the downstream Jinsha River, and the hydrological series data used for the design flood results of each reservoir site in the preliminary design stage end at 2008, 2009, 1998, and 1998, respectively. To consider the influence of floods on the hydrological results in the years after the preliminary design, the actual measured daily runoff data of Huatan and Pingshan hydrological station and the actual operation information of the upstream reservoir group were used, and the series of the two stations were naturalized and extended to 2020 according to the Maskingen method for the design flood recheck calculation of the cascade reservoirs. The results show that: 1) the mean values of the design flood peaks at the Huatan and Pingshan stations change slightly (both by 0.6%). C_v and C_s decrease slightly, while C_s/C_v remain unchanged; 2) the variations of the design floods of Wudongde, Baihetan, Xiluodu and Xiangjiaba with different frequencies are mainly within 5%, 3%, 3% and 3%; 3) the design floods of the cascade reservoirs in the downstream Jinsha River are within 5% of the original design error, and the flood frequency curves are basically consistent with the original audited results, which is recommended to follow.

Keywords

Cascade Reservoirs, Design Flood, Runoff Naturalization, Recheck Calculation, Jinsha River

Copyright © 2021 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

金沙江是中国长江的上游河段,流经西部的青海、西藏、四川和云南等省(区),全长 2308 km。金沙江下段始于四川省攀枝花雅砻江口,至宜宾市区岷江口,河长 768 km。金沙江下游干流水能资源富集,从上至下依次规划建设乌东德~白鹤滩~溪洛渡~向家坝梯级水库[1],目前均已建成投运,四库总装机分别为 1020、1600、1386 和 640 万 kW,总库容分别为 74.08、206.27、129.1 和 51.63 亿 m^3 ,梯级水库其它特征值详见《金沙江梯级与三峡水库群联合蓄水优化调度》[2]。

乌东德~白鹤滩~溪洛渡~向家坝梯级水库初步设计阶段坝址设计洪水成果采用的水文系列资料范围从 1939 年始,分别止于 2008、2009、1998 和 1998 年。受超强厄尔尼诺事件影响,2016 年 6 至 7 月副热带高压异常偏强偏西、同时西风带阻塞形势稳定,导致长江流域汛期降雨异常集中、暴雨过程频发[3]。2020 年 8 月,在副热带高压西进、冷高压中心向西南方向移动和西南涡的共同作用下,长江发生流域性大洪水,上游发生极端性强降水,出现了 1998 年以来最严重汛情[4]。初设之后金沙江下游水库群历经了数次大洪水的检验。

考虑到初设年份之后的洪水对原设计水文成果的影响,郭生练等[5]将丹江口水库坝址洪水系列从 1989 年延长至 2014 年,重新考证了丹江口水库的最大历史洪水。钱名开等[6]对淮河流域的主要控制站点进行了逐月径流还原计算,将系列从 2000 年延长至 2010 年并对主要站点进行设计洪水复核,结果表明该流域不同时段设计暴雨和设计洪量与防洪规划成果基本一致。林荷娟等[7]将太湖流域降雨系列从 2000 年延长至 2010 年,在该年流域土地利用条件下,对太湖流域的设计暴雨、设计洪量等防洪规划成果进行了复核分析,结果表明沂沭泗河水系的设计洪水偏小,但淮河流域干流设计洪水与规划成果基本一致。

本文基于华电站、屏山站径流资料和上游大型水库群的实际运行资料,利用还原方法将水文序列延长至 2020

年, 并进行梯级水库设计洪水复核计算, 为金沙江下游水库群防洪安全评价和水资源高效利用提供重要支撑。

2. 水文资料分析

华弹站和屏山站是金沙江下游乌东德~白鹤滩~溪洛渡~向家坝梯级水库设计洪水分析计算的依据站。需要说明的是, 华弹站原设在云南省巧家城外龙王庙, 名为巧家站, 该站于 1977 年 1 月正式将左迁至四川省宁南县华弹, 更名为华弹水文站并沿用至今; 而屏山站测验断面初设于屏山县城南门外的燕耳岩, 几经沿革后因库区淹没, 原址于 2012 年 6 月改为水位站, 而在向家坝水电站下游 2 km 新设向家坝水文站, 观测至今。两站资料来源可靠、系列较长(均从 1939 年始)且加入了历史大洪水, 资料代表性较好。

2.1. 径流还原计算

《水利水电工程设计洪水计算规范》(SL44-2006)明确规定, 设计洪水计算所依据的水文资料及其系列应具有-致性[8]。金沙江流域水库群建成后, 需开展各控制站点的洪水还原计算。洪水还原计算以水量平衡法为理论基础, 根据水库的坝上水位和库容曲线开展洪水还原计算。

金沙江流域已建的大型水库有梨园、阿海、金安桥、龙开口、鲁地拉、观音岩、溪洛渡、向家坝, 以及雅砻江上的锦屏一级、二滩梯级水库(表 1)。建库时间最早的是二滩水库, 因此本次考虑华弹站和屏山站两个控制节点洪水还原的起始年份是 1998 年, 1998~2011 年的还原计算仅考虑二滩水库的调蓄影响, 2012 年开始增加考虑新建成的水库影响进行还原。

如表 1 所示, 溪洛渡以上前 8 个水库。根据上游水库(梨园 2014~2020 年、阿海 2012~2020 年、金安桥 2012~2020 年、龙开口 2013~2020 年、鲁地拉 2013~2020 年、观音岩 2014~2020 年、雅砻江上的锦屏一级 2013~2020 年、二滩 1998~2020 年)的实际运行资料, 采用水量平衡法逐级还原得到各水库的 6 h 天然入库洪水, 考虑洪水传播时间, 并采用马斯京根法[9]将之逐级演算到下游控制点与区间洪水叠加, 最终推求得到华弹站 1998~2020 年的入库天然(还原后) 6 h 洪水过程。

金沙江屏山水文站上游已建的对其洪水过程有影响的大型水库还有溪洛渡和向家坝水库(表 1)。根据上游水库(上述 8 个水库资料及溪洛渡 2013~2020、向家坝 2012~2020 年)的实际运行资料, 采用前述方法推求得到屏山站 1998~2020 年的天然(还原后) 6 h 洪水过程。为展示还原效果, 选择还原前后洪峰、洪量有明显变化的 2014 年并绘制其洪水过程如图 1 所示。

Table 1. Considered reservoirs for runoff naturalization at Huatan and Pingshan stations

表 1. 华弹和屏山站径流还原计算考虑水库情况

序号	水系名称	水库名称	开工年份	建成年份
1	雅砻江	锦屏一级	2005	2014
2		二滩	1991	1999
3	金沙江	梨园	2007	2015
4		阿海	2011	2014
5		金安桥	2005	2011
6		龙开口	2008	2014
7		鲁地拉	2012	2014
8		观音岩	2009	2015
9		溪洛渡	2005	2014
10		向家坝	2006	2014

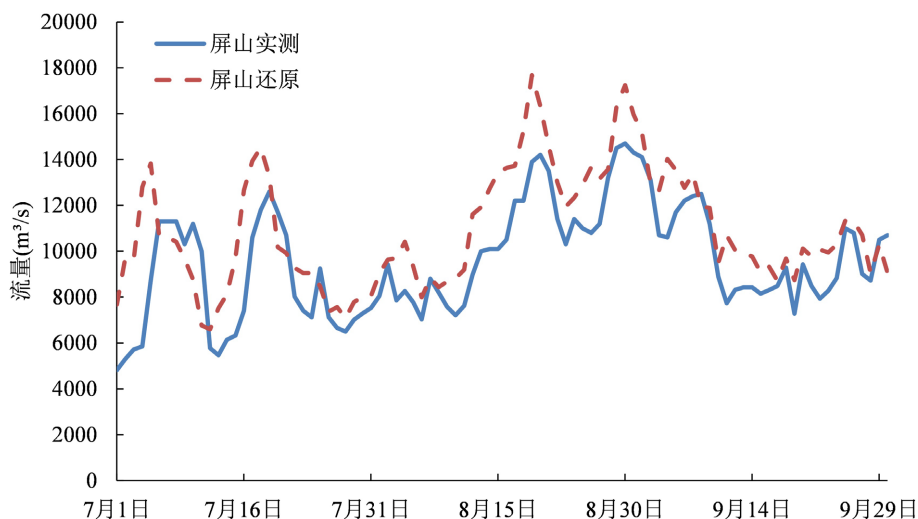


Figure 1. Observed and naturalized flood hydrograph at Pingshan station in 2014
图 1. 屏山站 2014 年实测和还原洪水过程

2.2. 重现期考证与洪水特大值

历史文献中的巧家河段历史上洪涝灾害的记载较少，而下游屏山河段洪水在《马湖府志》(马湖府即今屏山县)《屏山县志》《屏山县续志》等历史文献有较为详细记载。在巧家、屏山河段，洪水具有较好的一致性，因此，华弹站历史洪水重现期参照屏山站的考证。19 世纪初至有水文观测的 1939 年共 130 年间，文献记录的历史洪水达 14 次之多，洪水发生的间隔年份，与 1939~2000 年 62 年实测资料中大洪水发生情况基本相似，可以认为 19 世纪大洪水的记载是较全面的，无大洪水漏记情况。本次复核重新查阅了屏山县史书记录，根据《屏山县续志》对 1813 年洪水的描述以及对史书记载的反复调查考证，认为 1813 年以来不可能遗漏大于或相当于 1966 年量级的洪水，故考证期始于 1813 年，按洪水大小依次排列为 1924 年、1860 年、1892 年、1905 年、1928 年、1966 年(实测)，其中 1966 年在实测系列中为首大洪水，由于量级突出，故作特大值处理。

3. 华弹和屏山站设计洪水复核

3.1. 基本方法与计算成果

本次复核所用资料为：1939~1998 年华弹站和屏山站实测系列以及 1998~2020 年两站还原流量系列，分别按年最大值独立取样，历史洪水仍沿用初设阶段成果。频率计算时段根据规范要求和梯级水库特点，选择洪峰、 W_{1d} 、 W_{3d} 、 W_{7d} 、 W_{15d} 和 W_{30d} 。

前述 6 年大洪水排位及复核重现期见表 2。华弹站 1924 年、1860 年、1892 年、1905 年、1928 年、1966 年(实测)等 6 年大洪水次序与屏山站一致，重现期亦参照屏山站。

华弹站、屏山站样本由 1924 年、1860 年、1892 年、1905 年、1928 年、1966 年等历史特大洪水和各自的实测洪水组成不连续系列。华弹站、屏山站历史洪水的 W_{1d} 、 W_{3d} 和 W_{7d} ，根据各站峰量相关关系插补，相关系数为 0.96~1.00，洪峰与 W_{15d} 、 W_{30d} 相关点据分布呈带状，相关线具有一定的不确定性，偏安全考虑进行插补。以华弹站为例，洪峰与 W_{1d} 、 W_{3d} 、 W_{7d} 和 W_{15d} 的相关关系如图 2 所示。历史洪水各时段洪量重现期考证方法与洪峰一致。

特大洪水系列经验频率采用公式(1)计算：

$$P_M = \frac{M}{N+1} \quad M = 1, 2, \dots, a \quad (1)$$

实测系列经验频率采用公式(2)计算:

$$P_m = \frac{a}{N+1} + \left(1 - \frac{a}{N+1}\right) \frac{m-l}{n-l+1} \quad m = l+1, l+2, \dots, n \quad (2)$$

式中: M 为特大洪水由大到小排列的序号; P_M 为特大洪水第 M 序号的经验频率; N 为自最远的调查考证年份至今的年数; a 为特大洪水个数(含实测中的特大洪水); m 为实测系列由大到小排列的序号; P_m 为实测系列第 m 项的经验频率; n 为实测系列的年数; l 为实测系列中作特大值处理的个数。

理论频率曲线采用 P-III 型曲线, 不同分期各时段的年最大值参数, 均以矩法的计算结果为初始值, 通过目估适线法确定参数, 结果见表 3 和表 4。以年最大洪峰、 W_{1d} 、 W_{3d} 和 W_{7d} 为例, 华弹和屏山站的原设计与复核频率曲线分别见图 3 和图 4。对比华弹站和屏山站的原设计成果和本次复核成果, 可以看出各个设计变量的均值和 C_v 变化均较小, 本次复核成果和原设计成果基本一致。

Table 2. Historical flood peaks and recheck of return periods at Huatan and Pingshan stations

表 2. 华弹和屏山站历史大洪水洪峰流量和复核重现期

历史洪水		1924 年	1860 年	1892 年	1905 年	1928 年	1966 年
华弹站	洪峰(m^3/s)	32,700	32,000	27,800	26,800	26,500	25,800
	排位	1	2	3	4	5	6
	复核重现期(年)	208	103	69	51	41	34
屏山站	洪峰(m^3/s)	36,900	35,000	33,200	30,700	29,400	29,000
	排位	1	2	3	4	5	6
	复核重现期(年)	208	103	69	51	41	34

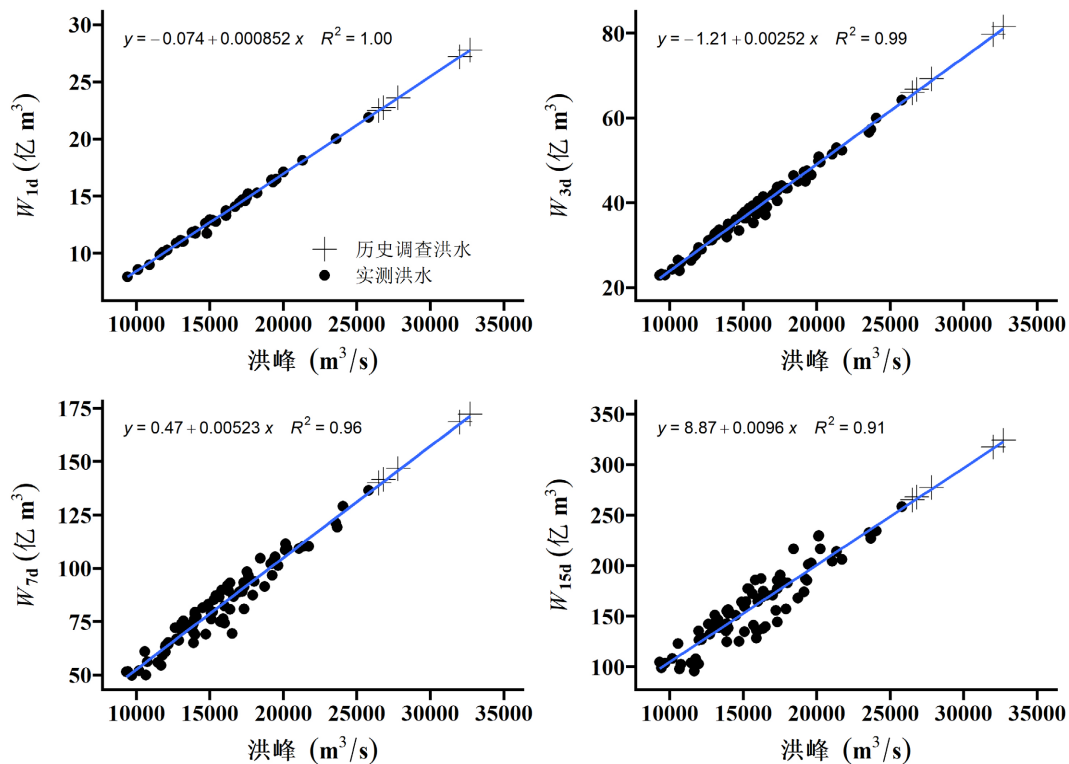


Figure 2. Plots of annual maximum flood peaks related with W_{1d} , W_{3d} , W_{7d} and W_{15d} at Huatan station

图 2. 华弹站年最大洪峰与 W_{1d} 、 W_{3d} 、 W_{7d} 和 W_{15d} 相关图

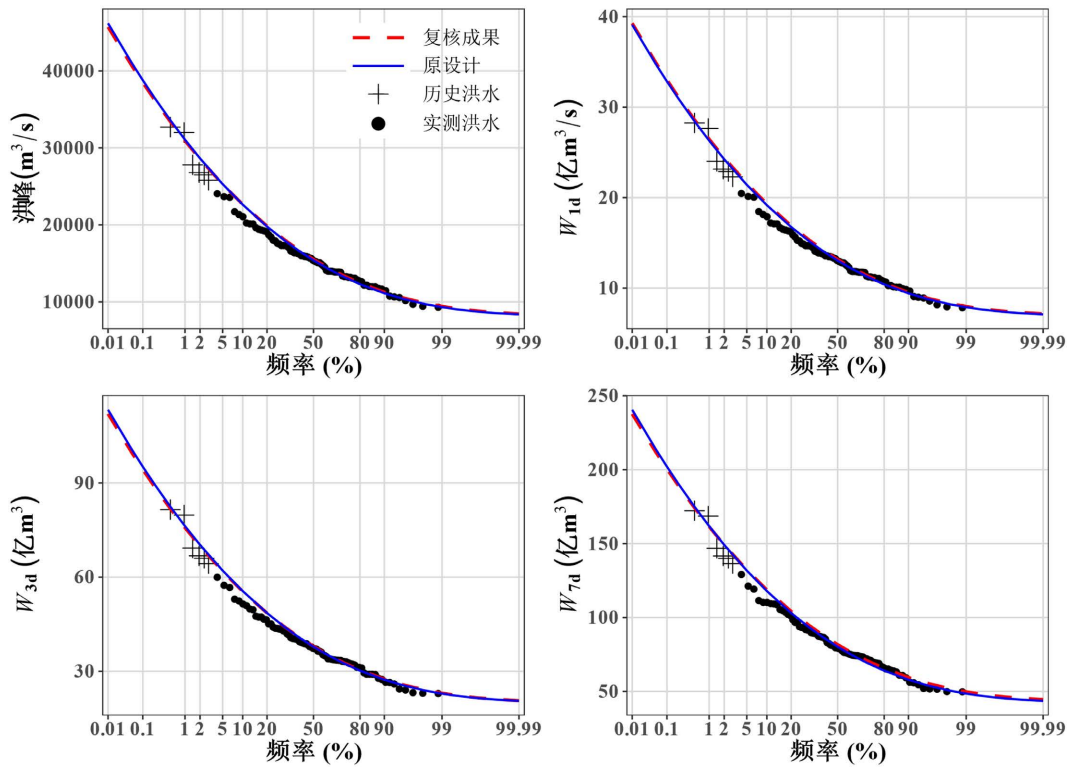


Figure 3. Frequency curve of annual maximum flood peak, W_{1d} , W_{3d} , and W_{7d} at Huatan station
 图 3. 华弹站年最大洪峰、 W_{1d} 、 W_{3d} 和 W_{7d} 频率曲线

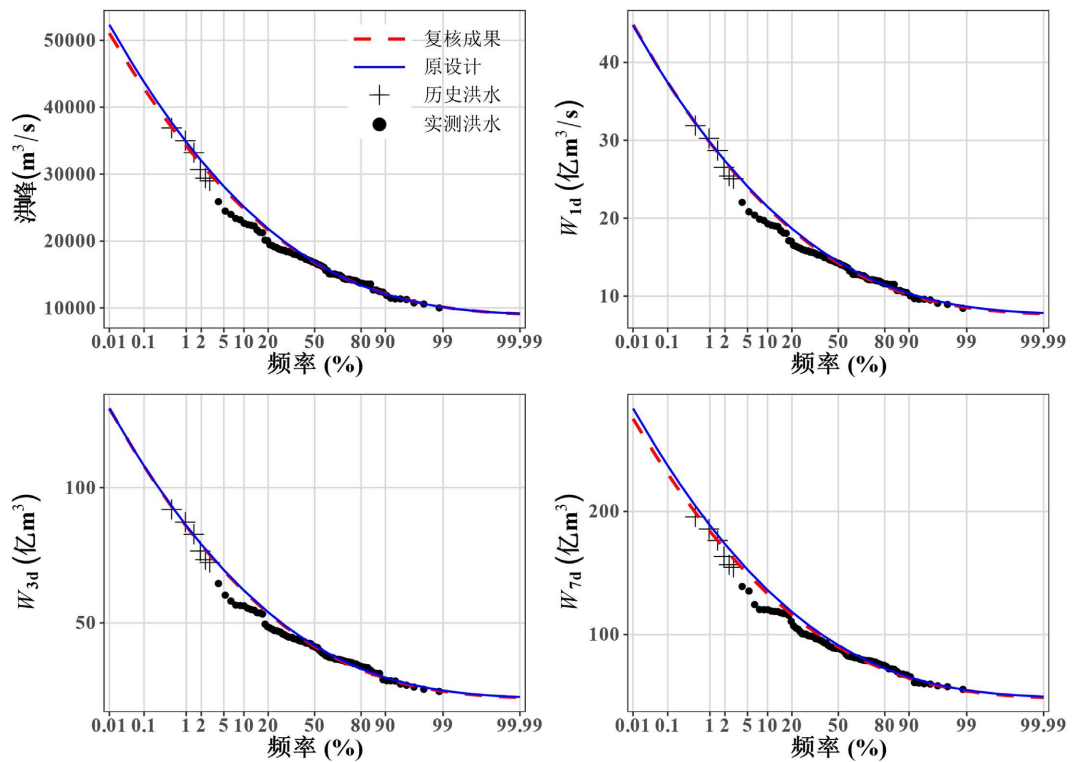


Figure 4. Frequency curve of annual maximum flood peak, W_{1d} , W_{3d} , and W_{7d} at Pingshan station
 图 4. 屏山站年最大洪峰、 W_{1d} 、 W_{3d} 和 W_{7d} 频率曲线

Table 3. The rechecking results of design floods at Huatan station
表 3. 华弹站设计洪水成果表(Q_m : m^3/s , 洪量: 亿 m^3)

站名	计算时段	峰量	统计参数					设计值				
			均值	C_v	C_s/C_v	0.01%	0.02%	0.1%	1%	2%	5%	10%
华弹	初设成果	Q_m	16,300	0.29	4.0	46,200	44,000	38,800	31,100	28,600	25,300	22,600
		W_{1d}	13.8	0.29	4.0	39.1	37.2	32.8	26.3	24.2	21.4	19.2
		W_{3d}	40.0	0.29	4.0	113	108	95.2	76.2	70.3	62.1	55.6
		W_{7d}	84.9	0.29	4.0	241	229	202	162	149	132	118
		W_{15d}	166	0.29	4.0	470	448	395	316	292	258	231
		W_{30d}	294	0.28	4.0	806	769	682	549	507	450	404
	此次复核	Q_m	16,400	0.28	4.0	45,700	43,600	38,500	30,900	28,500	25,300	22,700
		W_{1d}	13.9	0.29	4.0	39.3	37.4	33	26.5	24.4	21.6	19.3
		W_{3d}	40.0	0.29	4.0	112	106.7	94.3	75.7	69.9	61.8	55.4
		W_{7d}	86.2	0.28	4.0	238	227	200	161	149	132	119
		W_{15d}	166	0.28	4.0	452	431	382	308	285	253	228
		W_{30d}	297	0.27	4.0	794	758	673	545	505	449	405

Table 4. The rechecking results of design floods at Pingshan station
表 4. 屏山站设计洪水成果表(Q_m : m^3/s , 洪量: 亿 m^3)

站名	计算时段	峰量	统计参数					设计值				
			均值	C_v	C_s/C_v	0.01%	0.02%	0.1%	1%	2%	5%	10%
屏山	初设成果	Q_m	17,900	0.30	4.0	52,300	49,800	43,800	34,800	32,000	28,200	25,100
		W_{1d}	15.3	0.30	4.0	44.7	42.6	37.4	29.8	27.4	24.1	21.5
		W_{3d}	44.2	0.30	4.0	129	123	108	86.0	79.0	69.5	62.0
		W_{7d}	97.0	0.30	4.0	284	270	237	189	173	152	136
		W_{15d}	186	0.29	4.0	527	502	443	355	327	289	258
		W_{30d}	327	0.28	4.0	897	855	757	610	564	500	449
	此次复核	Q_m	17,800	0.29	4.0	51,100	48,600	42,800	34,200	31,500	27,800	24,800
		W_{1d}	15.3	0.30	4.0	44.8	42.6	37.4	29.7	27.3	23.9	21.3
		W_{3d}	43.8	0.30	4.0	129	123	108	85.7	78.7	69.2	61.6
		W_{7d}	95.0	0.30	4.0	275	262	230	184	169	149	133
		W_{15d}	184	0.29	4.0	516	491	434	348	321	284	255
		W_{30d}	330	0.28	4.0	893	852	755	611	565	502	452

3.2. 成果合理性分析

由表 3 可见, 此次华弹站设计洪水复核, 资料系列延长到 2020 年, 延长系列后华弹站设计洪水(天然情况)与初设的审定成果差别如下: 华弹站设计洪峰流量和 1 d、7 d、30 d 洪量均值分别增加 0.6%、0.7%、1.5% 和 1.0%; 设计洪峰流量和 7 d、15 d 洪量 C_v 值从 0.29 减小到 0.28, 设计 30 d 洪量 C_v 值由 0.28 减小到 0.27。设计洪峰流量与 1 d、3 d、7 d、15 d、30 d 洪量不同频率设计误差百分比分别在 -1.1%~0.4%、0.5%~0.9%、-0.4%~-1.2%、

-1.2%~0.8%、-1.3%~-3.8%、-1.5%~0.3%之间,虽然略有变化,但与原设计差别不大,不超过 3.8%,且频率曲线也基本与原审定结果相符,因此可认为华弹站的设计洪水计算结果是合理的。

此次屏山站设计洪水复核(表 4),延长系列后屏山站设计洪峰流量和 3 d、7 d、15 d 洪量均值分别减小 0.6%、0.9%、2.1%和 1.1%,设计 30 d 洪量均值增加 1.0%;设计洪峰流量 C_v 值从 0.30 减小到 0.29,设计洪量的 C_v 值不变。设计洪峰流量与 1 d、3 d、7 d、15 d、30 d 洪量不同频率设计误差百分比分别在 1.2%~2.4%、-0.9%~0.2%、-0.6%~0.2%、2.0%~3.2%、1.2%~2.2%、-0.5%~0.7%之间,与变化百分比(小于 3.2%)和频率曲线均与原设计差别不大,因此认为屏山站的设计洪水成果合理。

4. 水库设计洪水复核结果

4.1. 乌东德水库

长江设计集团有限公司负责乌东德水利枢纽工程设计,2013 年完成设计报告,其设计洪水依据站为华弹水文站和屏山水文站,资料序列范围为 1939~2008 年¹。乌东德水电站坝址以上集水面积 40.61 万 km²,下距华弹站 143.4 km、屏山站 517 km。华弹站和屏山站的控制面积分别为 42.59 km²和 45.86 km²。

乌东德水电站设计洪水设计值采用式(3)计算:

$$W_{\text{乌}} = W_{\text{华}} - \frac{W_{\text{屏}} - W_{\text{华}}}{F_{\text{屏}} - F_{\text{华}}} \cdot (F_{\text{华}} - F_{\text{乌}}) \quad (3)$$

式中: $W_{\text{乌}}$ 、 $W_{\text{华}}$ 、 $W_{\text{屏}}$ 为乌东德水电站、华弹站、屏山站设计洪量或洪峰; $F_{\text{乌}}$ 、 $F_{\text{华}}$ 、 $F_{\text{屏}}$ 分别为乌东德水电站、华弹站、屏山站集水面积。

由表 5 知,此次乌东德设计洪水复核,资料系列延长到 2020 年,延长系列后乌东德坝址设计洪水(天然情况)与初设阶段的审定成果相比,不同频率乌东德坝址设计洪峰流量、 W_{1d} 、 W_{3d} 、 W_{7d} 、 W_{15d} 、 W_{30d} 的误差百分比分别在-0.2%~1.6%、0.7%~2.2%、-2.0%~0.2%、0.3%~3.2%、-5.1%~-1.4%、-2.3%~0.1%之间。

Table 5. Rechecking results of design floods at the Wudongde reservoir dam site

表 5. 乌东德坝址设计洪水成果表(Q_m : m³/s, 洪量: 亿 m³)

计算时段	洪水峰量	设计值						
		0.01%	0.02%	0.10%	1%	2%	5%	10%
原设计	Q_m	42,500	40,500	35,800	28,800	26,600	23,600	21,100
	W_{1d}	35.7	34.0	30.1	24.2	22.4	19.8	17.8
	W_{3d}	103	98.8	87.4	70.3	65	57.6	51.7
	W_{7d}	215	204	181	146	134	119	107
	W_{15d}	435	415	366	293	270	239	214
	W_{30d}	751	717	636	512	472	420	377
此次复核	Q_m	42,400	40,500	36,000	28,900	26,700	23,800	21,400
	W_{1d}	36.0	34.2	30.3	24.6	22.6	20.2	18.1
	W_{3d}	102	96.9	86.0	69.6	64.5	57.3	51.6
	W_{7d}	216	206	182	147	137	122	110
	W_{15d}	413	395	350	284	263	234	212
	W_{30d}	734	701	623	505	469	417	376

¹ 长江勘测规划设计院.金沙江乌东德水电站可行性研究报告[R], 2013 年。

复核结果显示:系列延长至 2020 年,乌东德设计洪峰略有增加、时段洪量略有减小,但与设计值差别不大,且频率曲线也基本与原审定结果相符,因此可认为乌东德水库的设计洪水计算结果是合理的。

4.2. 白鹤滩水库

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司负责白鹤滩水利枢纽工程设计,2011 年完成设计报告,其设计依据站为华弹水文站,资料序列范围为 1939~2009 年²。白鹤滩水电站坝址位于金沙江干流下游,坝址集水面积 430,308 km²,上距华弹站 42 km(河道距离)。

白鹤滩坝址设计洪水成果复核成果直接采用华弹站的设计洪水复核成果,如表 3 所示。由 3.2 节可知,白鹤滩水库坝址设计洪水计算结果是合理的。

4.3. 溪洛渡水库

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司负责溪洛渡水利枢纽工程设计,2001 年完成设计报告,其设计洪水依据站为屏山水文站,资料序列范围为 1939~1998 年³。溪洛渡水电站位于金沙江下游,下距 124 km 设有屏山水文站,溪洛渡电站控制面积 45.86 万 km²,溪洛渡坝址与屏山区间面积仅占屏山站控制面积的 0.9%。屏山站的洪峰及洪量频率曲线如图 4 所示;溪洛渡坝址设计洪水成果复核成果采用屏山站的设计洪水复核成果,如表 4 所示。由 4.2 节可知,溪洛渡水库坝址设计洪水计算结果是合理的。

4.4. 向家坝水库

中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司负责向家坝水利枢纽工程设计,2003 年完成设计报告,其设计依据站为屏山水文站,资料序列范围为 1939~1998 年⁴。向家坝水电站位于金沙江下游河段,是金沙江梯级中最末一级电站。坝址控制流域面积 45.88 万 km²,上距屏山水文站 28 km,两处集水面积相差不足 200 km²,仅占坝址集水面积的 0.04%。屏山站的洪峰及洪量频率曲线如图 4 所示,向家坝坝址设计洪水复核成果采用屏山站的设计洪水复核成果,见表 4。由 4.2 节可知,向家坝水库坝址设计洪水计算结果是合理的。

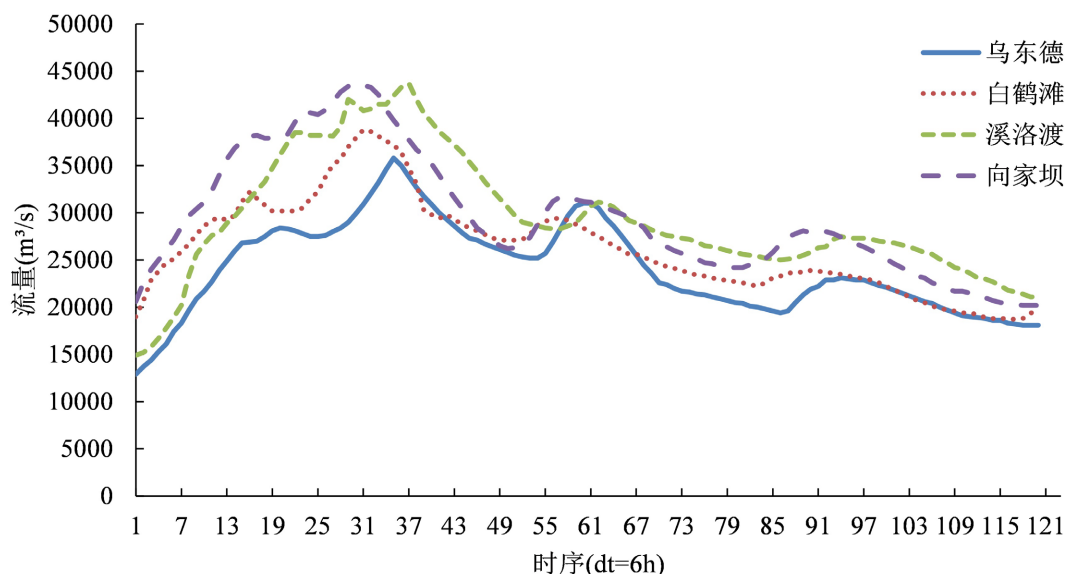


Figure 5. 1000-year design flood hydrographs for the cascade reservoirs based on 1966 typical year

图 5. 梯级水库 1966 典型年千年一遇设计洪水过程线

² 华东勘测设计研究院.金沙江白鹤滩水电站可行性研究报告[R], 2011 年。

³ 成都勘测设计研究院.金沙江溪洛渡水电站可行性研究报告[R], 2001 年。

⁴ 中南勘测设计研究院.金沙江向家坝水电站可行性研究报告[R], 2003 年。

4.5. 设计洪水过程线

在金沙江下游各个水库的初设阶段,乌东德水库选择1966年8月、1974年8月和1993年8月的大洪水过程线作为典型;白鹤滩水库选择1962年8月、1966年8月、1974年9月和1993年8月四场洪水过程为典型;溪洛渡水库选择1962年7月、1965年8月、1966年8月和1974年8月四个典型过程;向家坝水库则选择1962年7月和1966年8月的典型过程。

由于1966年8月洪水为金沙江下游四座水库的共同典型年设计洪水过程线,因此对其采用设计洪峰和1d、3d、7d、15d、30d设计洪量,按同频率放大法计算[10],其千年一遇设计洪水过程见图5。

5. 结论

本文延长洪水资料系列至2020年,对金沙江下游梯级水库乌东德~白鹤滩~溪洛渡~向家坝设计洪水进行复核计算,主要结论如下:

- 1) 延长系列后,金沙江下游梯级水库的依据水文站华弹站和屏山站设计洪水峰量的统计参数中,均值稍有增减(均变化0.6%左右)、 C_v 和 C_s 稍有减小,两者之比即 C_s/C_v 不变。
- 2) 延长系列后,金沙江下游梯级水库的坝址设计洪峰和洪量均有所增减;与原设计成果相比,乌东德、白鹤滩、溪洛渡和向家坝不同频率设计洪水的变幅基本控制在5%、3%、3%和3%以内。
- 3) 金沙江下游梯级水库设计洪水复核结果与初设误差基本控制在5%以内,且频率曲线也基本与原审定结果相符,因此认为初设成果是合理的,建议沿用。

基金项目

中国长江三峡集团有限公司(0799254)和国家自然科学基金(51879192)项目资助。

参考文献

- [1] 熊丰,郭生练,陈柯兵,等.金沙江下游梯级水库运行期设计洪水及汛控水位[J].水科学进展,2019,30(3):401-410.
XIONG Feng, GUO Shenglian, CHEN Kebin, et al. Design flood and control water levels for cascade reservoirs during operation period in the downstream Jinsha River. *Advances in Water Science*, 2019, 30(3): 401-410. (in Chinese)
- [2] 何绍坤,郭生练,刘攀,等.金沙江梯级与三峡水库群联合蓄水优化调度[J].水力发电学报,2019,38(8):27-36.
HE Shaokun, GUO Shenglian, LIU Pan, et al. Joint and optimal impoundment operation of Jinsha River's cascade reservoirs and Three Gorges Reservoir. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2019, 38(8): 27-36. (in Chinese)
- [3] 王俊.2016年长江洪水特点与启示[J].人民长江,2017,48(4):54-57+65.
WANG Jun. Characteristics and enlightenment of 2016 Changjiang River flood. *Yangtze River*, 2017, 48(4): 54-57+65. (in Chinese)
- [4] 陈桂亚,冯宝飞.“20·8”洪水金沙江流域水库群调度对川渝河段的防洪作用[J].长江科学院院报,2021,38(9):1-6+13.
CHEN Guiya, FENG Baofei. Benefits of dispatching reservoir group on Jinsha River to flood control in Sichuan-Chongqing reach during the floods in August 2020. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2021, 38(9): 1-6+13. (in Chinese)
- [5] 郭生练,尹家波,李丹,等.丹江口水库设计洪水复核及偏大原因分析[J].水力发电学报,2017,36(2):1-8.
GUO Shenglian, YIN Jiabo, LI Dan, et al. Rational check of design floods for Danjiangkou Reservoir. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2017, 36(2): 1-8. (in Chinese)
- [6] 钱名开,孙勇,费永法,等.淮河流域水文设计成果修订研究[J].水文,2018,38(5):85-90.
QIAN Mingkai, SUN Yong, FEI Yongfa, et al. Study on the revision of hydrological design results in the Huaihe basin. *Journal of China Hydrology*, 2018, 38(5): 85-90. (in Chinese)
- [7] 林荷娟,刘敏.太湖流域水文设计成果修订研究[J].水文,2019,39(4):84-89.
LIN Hejuan, LIU Min. Analytical review of hydrological design for Taihu basin. *Journal of China Hydrology*, 2019, 39(4): 84-89. (in Chinese)
- [8] 中华人民共和国水利部.SL 44-2006 水利水电工程设计洪水计算规范[S].北京:中国水利水电出版社,2006.
Ministry of Water Resources. SL 44-2006 Design flood calculation regulations for water resources and hydropower engineer-

ing. Beijing: Hydropower and Electrical Press, 2006. (in Chinese)

- [9] 熊丰, 郭生练, 杨浩, 等. 气候变化及水利工程综合影响下的三峡水库超标准设计洪水[J]. 水资源研究, 2021, 10(5): 449-458.
XIONG Feng, GUO Shenglian, YANG Hao, et al. Hyper standard design flood of Three Gorges Reservoir under the influence of climate change and hydraulic engineering. Journal of Water Resources Research, 2021, 10(5): 449-458. (in Chinese)
- [10] 郭生练, 刘章君, 熊立华. 设计洪水计算方法研究进展与评价[J]. 水利学报, 2016, 47(3): 302-314.
GUO Shenglian, LIU Zhangjun, and XIONG Lihua. Advances and assessment on design flood estimation methods. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(3): 302-314. (in Chinese)