

Effect of Reservoir Group Joint Operation on Flood Control in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River

Baofei Feng*, Minglong Dai, Tao Zhang

Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei
Email: *fengbf@cjh.com.cn

Received: May 16th, 2017; accepted: Jun. 3rd, 2017; published: Jun. 6th, 2017

Abstract

The hydrological and hydraulic methods were used to reduce “2016.07” flood and analyze the effect of joint reservoir group operation on flood control in the middle and lower reaches of Yangtze River. By comparing natural and observed flood processes, it is found that reservoir water impounding before the flood season rises up water level of middle and lower reaches of the Yangtze River during the period from April to May, and has no much effect on water level in the main flood season. Reservoir group joint operation can decrease flood peak and shorten high-water level duration effectively. The results will provide technical support for assessing the effect of reservoir group joint flood control operation and determining flood return period.

Keywords

Yangtze River Flood, Flood Reduction, Reservoir Group, Joint Operation, Flood Control

水库群联合调度对长江中下游的防洪作用分析

冯宝飞*, 戴明龙, 张 涛

长江水利委员会水文局, 湖北 武汉
Email: *fengbf@cjh.com.cn

收稿日期: 2017年5月16日; 录用日期: 2017年6月3日; 发布日期: 2017年6月6日

摘 要

采用水文学与水力学方法相结合的方法, 对长江“2016.07”洪水进行还原计算, 分析水库群联合调度在长江

作者简介: 冯宝飞, 1982年10月, 江苏南通人, 高级工程师, 主要从事水文水资源预报、库群联合调度等方面的研究。

*通讯作者。

中下游干流所起防洪作用。通过对比还原计算过程与实况过程发现：长江上游水库群汛前提前腾库，抬升了汛前4~5月期间中下游干流的水位，但不影响大洪水期间中下游干流水位；水库群联合防洪调度对降低中下游干流洪峰水位、缩短高水持续时间发挥了显著作用。本文分析成果可为水库群调度效果评估、洪水重现期定性提供技术支撑。

关键词

长江洪水，还原计算，水库群，联合调度，防洪作用

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

长江是世界第三、中国第一大江河，是中华文明的重要发祥地，是我国经济社会可持续发展的重要命脉。同时，长江流域也是我国洪灾的多发区，特别是中下游平原区，洪灾频繁而严重，历来是中华民族的心腹之患。经过几十年的防洪建设，长江中下游已基本形成了工程措施与非工程措施相配套的综合防洪减灾体系，防洪能力显著提高[1]。

2016年长江流域汛期降雨集中、强度大，暴雨洪水遭遇恶劣，长江中下游地区发生区域性大洪水，部分支流发生特大洪水，(简称“16.7”暴雨洪水)[2]，给人民的生命财产和社会经济发展造成了严重威胁，也给长江流域防洪减灾体系带来了严峻考验。在2016年洪水过程中，各种防洪减灾措施得到了良好运用，其中，水库群联合调度在中下游防洪减灾过程中发挥了重要作用。长江三峡和上游已建的控制性水库群联合发挥拦洪、滞洪、错峰、错峰的作用，同时，中下游水库适时拦蓄洪水，有效减轻了长江中下游防汛压力，极大减少了洪灾损失[3]。

结合水库防洪调度实践，分析还原洪水过程，评价水库群联合调度的防洪效用，能够为水库群调度经验积累、调度效果评估以及洪水重现期定性提供技术支撑，具有一定的现实意义。因此，本文采用水文学、水力学方法对“16.7”暴雨洪水过程进行还原，分析期间长江流域主要水库群联合调度的防洪效用，以期对相关研究和生产工作提供参考。

2. “2016.07”洪水概况

2016年7月，长江干流共发生3次大洪水过程。第一次发生在长江上游，主要受长江上游干流、乌江来水上涨及三峡区间暴雨洪水共同作用影响，7月1日14时三峡水库入库流量达到50,000 m³/s，形成了长江2016年第1号洪水；第二次发生在长江中下游，主要受中下游干流区间强降雨影响，中下游干流监利以下江段全线超警，形成了长江2016年第2号洪水，莲花塘站7日23时出现洪峰水位34.29 m，接近保证水位34.4 m，汉口站7日4时洪峰水位28.37 m，位列1870年以来最高水位第五位；第三次同样发生在长江中下游，以监利~九江江段水位回涨，监利至汉口江段再次超警为主要特征。

3. 主要水库的调度情况

2016年入汛后，考虑到长期预报长江中下游降雨偏多、可能发生较为严重洪水的情况，长江上游水库群提前启动消落，3月21日至6月1日合计消落库容198.7亿m³，消落速度逐月加快，三月下旬消落17.9亿m³，4月份消落74.5亿m³，5月份消落106.3亿m³。其中三峡水库从2016年4月份开始加快消落进程，5月14日库

水位降至 155 m, 较规程规定时间提前了 11 天; 6 月 5 日 14 时库水位消落至 145.79 m, 提前五天完成消落计划; 合计腾空库容 129 亿 m³, 水库提前腾库为应对 7 月份的大洪水做好了充分的准备。

在 2016 年 6 月 30 日至 8 月 10 日(三峡水库库水位降低至汛限水位附近)期间, 7 月 23 日之前长江城陵矶(莲花塘)以上水库群体现为拦蓄作用(23 日长江中下游干流及两湖控制站水位均已过峰转退), 之后总体消落, 其中 6 月 30 日 8 时至 7 月 23 日 8 时共拦蓄水量 192.53 亿 m³。其中, 金沙江水库群合计拦蓄约 60 亿 m³, 嘉陵江、岷江、乌江水库群合计拦蓄约 35 亿 m³, 三峡水库拦蓄约 72 亿 m³, 清江梯级水库拦蓄 8 亿 m³, 洞庭湖水系水库群合计拦蓄约 17 亿 m³。

4. 洪水还原计算的范围及对象

综合考虑长江流域的水库类型、防洪库容、调节库容大小等因素及 2016 年实际调度情况, 确定纳入还原分析的水库主要包括: 长江上游 21 座水库、清江 3 座水库、洞庭湖水系 4 座水库、汉江 5 座水库、鄱阳湖水系 3 座水库等共 36 个水库, 水库主要参数详见表 1。

本次还原对象为长江中下游干流主要代表站: 沙市、莲花塘、汉口、九江、大通站。根据纳入还原分析的水库情况, 受水库调度影响的主要支流控制站, 如金沙江向家坝、岷江高场、嘉陵江北碛、乌江武隆、清江高坝洲、汉江皇庄、洞庭水系资水桃江、沅江桃源、澧水石门、鄱阳湖水系赣江外洲、抚河李家渡、修水虬津站等主要水文站作为还原过程控制点。

5. 还原方法简介

根据长江流域的产汇流特性以及实时预报经验, 本次洪水过程还原按地区进行分类, 长江上游来水还原采用水量平衡方法, 长江中下游的洪水还原采用大湖演算方法和一维水力学模型相结合。

5.1. 水量平衡法

以宜昌流量为计算目标, 基于水量平衡的原理, 计算各水库各时段拦蓄水量及影响流量, 错传播时间叠加至宜昌断面, 获得上游水库群不拦蓄后的宜昌流量过程。

5.2. 大湖演算方法

长江中下游两湖出口地区的江湖关系十分复杂, 实时预报中常采用湖泊水文预报的方法, 将宜昌至螺山河段和整个洞庭湖视为一个大湖泊, 推算螺山站的水位过程; 将汉口至湖口、汉口至大通和整个鄱阳湖视为一个大湖泊, 推算湖口、大通的水位过程。预报方案的基本原理为水量平衡原理: 当入流大于出流时, 蓄水量增加, 水位上升, 当入流小于出流时, 蓄水量减少, 水位下降。因此, 将入流、出流及蓄水量的变化, 组成湖泊水量平衡关系, 作为调洪演算的基础[4]。

设时段开始时刻为 t_1 , 终止时刻为 t_2 , 假定蓄水量与出流为线性关系, 即蓄水量和出流都是水位(Z)的单一函数, 则时段内的水量平衡方程式可改写为:

$$\bar{I} + \left(\frac{V_1 - Q_1}{\Delta t} \right) = \left(\frac{V_2 + Q_2}{2} \right)$$

式中: \bar{I} 为时段始末平均入流量(m³/s); Q_1 、 Q_2 分别为时段始末出流量(m³/s); V_1 、 V_2 分别时段始末江湖蓄水量(m³), Δt 为时段长(s), $\Delta t = t_2 - t_1$ 。

因此, 可根据容蓄曲线和水位流量关系曲线绘制 $Z \sim \frac{V}{\Delta t} - \frac{Q}{2}$ 和 $Z \sim \frac{V}{\Delta t} + \frac{Q}{2}$ 关系曲线, 据此进行调洪演算。根据 Z_1

查得 $\frac{V_1 - Q_1}{\Delta t}$, 加平均入流 \bar{I} 得 $\frac{V_2 + Q_2}{2}$, 查得 Z_2 , 再以 Z_2 为 Z_1 , 重复上述步骤, 求得下时段水位, 依次类推,

Table 1. List of reservoir information used in flood reduction
表 1. 还原计算考虑的水库基本信息表

水系名称	水库名称	特征水位(m)			特征库容(亿 m ³)		
		死水位	汛限水位	正常蓄水位	防洪库容	调节库容	总库容
金沙江	梨园	1605	1605	1618	1.73	1.73	8.05
	阿海	1492	1493.3	1504	2.15	2.38	8.85
	金安桥	1398	14103	1418	1.58	3.46	9.13
	龙开口	1290	1289	1298	1.26	1.13	5.58
	鲁地拉	1216	1212	1223	5.64	3.85	17.18
	观音岩	1122	1122.3/1128.8	1134	5.42/2.53	3.83	22.5
	溪洛渡	540	560	600	46.51	64.62	126.7
雅砻江	向家坝	370	370	380	9.03	9.03	51.63
	锦屏一级	1800	1859	1880	16.05	49.11	79.9
	二滩	1155	1190	1200	9.43	33.7	58
岷江	紫坪铺	817	850	877	1.67	7.74	11.12
	瀑布沟	790	836.2/841	850	11/7.27	38.94	53.32
嘉陵江	碧口	685	697/695	704	0.5/0.7	1.46	1.53
	宝珠寺	558	583	588	2.8	13.4	25.5
	亭子口	438	477	458	14.4	17.32	40.67
	草街	202	200	203	1.99	0.65	22.18
乌江	构皮滩	590	626.24/628.12	630	4.0/2.0	29.02	64.54
	思林	431	435	440	1.84	3.17	15.93
	沙沱	353.5	357	365	2.09	2.87	9.21
	彭水	278	287	293	2.32	5.18	14.65
长江	三峡	145	145	175	221.5	165	450.7
	水布垭	350	397/391.8	400	5/1.8	23.83	45.89
清江	隔河岩	160	193.6	200	5	19.41	33.4
	高坝洲	78	-	80	-	0.54	4.89
洞庭湖水系	江垭	188	224/215	236	3.8/6.3	11.6	17.41
	皂市	112	125/140	143.5	7.83/1.8	9.3	14.39
	五强溪	90	102/98	108	8.9/13.5	20.2	42
	柘溪	144	165/167.5	170	7/3.7	21.8	35.65
	石泉	395	405	410	0.98	1.66	4.7
汉江	安康	305	325	330	3.6	16.77	32.04
	潘口	330	347.6	355	4	11.2	23.53
	黄龙滩	226	247	247	-	4.43	12.28
鄱阳湖水系	丹江口	150	160/163.5	170	110.21/80.53	163.6	339.1
	万安水库	85	88/96	100	11.48/5	10.19	22.16
	廖坊	61	61/62	65	0.86/0.91	1.14	3.1
	柘林	50	63.5	65	21.9	34.5	79.2

即可得出口断面的水位过程。

5.3. 中下游干流水力学方法

将长江宜昌至大通 1095 km 河段的主要干支流水系概化为一维河网。利用 2012 年的干支流河道地形资料，一共设置了 744 个断面，断面平均间距约为 2 km。

根据河网概化结果，共设置模型边界 16 个，其中宜昌水文站为上边界，大通站为下边界，区间有清江、湘江、资江、沅水、澧水、汉江、修水、赣江、抚河、信江、饶河、昌江、皖河、长河 14 个控制站作为区间点源入流，并使用 NAM 模型模拟宜昌 - 大通流域范围 31 个子流域内的降雨径流过程，产生的径流作为旁侧入流进入到模型的河网中。

根据各河段的河道形态及水位流量实测资料，针对不同水位将糙率分低水、中水、高水三段设置，如宜昌水文站，水位低于 40 m 时曼宁系数 n 设置为 0.028，在 40 m 与 49 m 之间时曼宁系数 n 设置为 0.025，高于 49 m 时曼宁系数设置为 0.020，其他河段类似。

采用 Nash-Sutcliffe 系数和相对误差 RE 两个指标评价过程模拟精度，干流各站模拟过程与实测过程拟合程度相对较好。

6. 主要还原成果及对比分析

根据水库的坝上水位、出库流量和水位库容曲线开展洪水还原计算，还原计算的时段视各处的洪水过程特性和基础资料条件，选择 3 h、6 h 或 1 d。还原时间自主要水库开始消落起，为 2016 年 4 月 1 日~8 月 10 日。主要站还原过程与实况过程对比见图 1。

6.1. 水库群汛前消落对中下游水位的抬高影响

4~5 月，水库群消落平均抬高中下游干流水位 1.2 m~0.5 m，其中沙市站约 1.2 m，城陵矶站约 0.8 m 左右，汉口站约 0.7 m 左右，湖口站约 0.6 m 左右，大通站约 0.5 m 左右。从各旬来看，5 月中旬影响最大，平均抬高沙市水位近 1.8 m，汉口、大通分别抬高 1.1 m 左右、0.8 m 左右(详见表 2)。进入 6 月中下旬，长江中下游干流还原水位逐步逼近或超过实况水位过程，证明水库群消落带来的抬高影响逐步消失，7 月份大洪水期间水库群消落对中下游干流水位无影响。

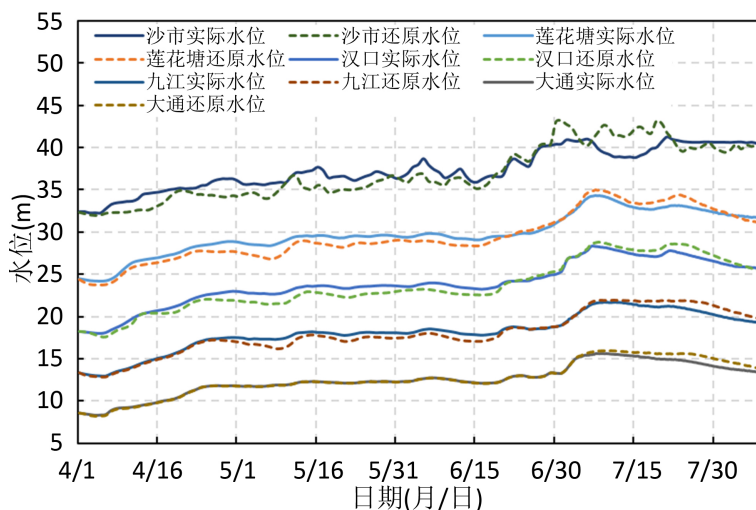


Figure 1. Observed and reduced water levels in the main reaches of Yangtze River
图 1. 长江干流主要站水位过程还原与实况对比图

6.2. 水库拦蓄对“2016.07”洪水的防洪作用

通过还原计算初步分析，若长江上游水库不拦蓄，三峡水库按实际出库控泄，最高调洪库水位将达 169 m 左右。

通过水库群拦蓄洪水，平均降低荆江河段水位 1.7 m~0.8 m，降低洪峰水位 2.1 m~1.4 m；平均降低洞庭湖湖区及莲花塘河段水位约 0.7 m；平均降低汉口河段水位约 0.4 m；平均降低九江以下河段水位约 0.2 m。

若水库群不拦蓄，长江中下游干流枝城以下江段水位全线超警，城陵矶河段水位超过保证水位，并形成两次洪水过程。第一次洪水过程中，沙市站将在 7 月 1 日短时超警；莲花塘站将于 7 月 3 日突破警戒水位，7 月 5 日突破保证水位 34.4 m，7 日洪峰水位将接近 35 m，超保时间将达 7 d 左右；汉口站将于 7 月 4 日突破警戒水位，7 月 8 日出现洪峰水位 28.59 m，并一直维持在警戒水位以上。第二次洪水过程中，沙市站将在 7 月 19 日短时超警；莲花塘站将于 7 月 16 日再次起涨，7 月 23 日水位将达到 34.4 m 并维持 2 d 后转退，7 月 31 日退至警戒水位以下，超警 29 d (实况 26 d)；汉口站将于 7 月 17 日再次起涨，7 月 21 日最高涨至 28.59 m，29 日退至警戒水位以下，超警 26 d (实况 18 d)。

Table 2. Effect of reservoir group operation on water level in the middle and lower reaches of Yangtze River (water level: m)
表 2. 长江上游水库群对中下游干流水位影响分析(水位：米)

时间	四月				五月			
	上旬	中旬	下旬	月	上旬	中旬	下旬	月
莲花塘	0.54	0.62	1.19	0.78	0.78	1.24	0.61	0.87
汉口	0.47	0.54	1.05	0.69	0.71	1.14	0.55	0.80
九江	0.38	0.45	0.91	0.58	0.60	1.00	0.51	0.70
大通	0.32	0.37	0.7	0.46	0.47	0.76	0.38	0.54

Table 3. Comparison of observed and reduced water level in the middle and lower reaches of Yangtze River
表 3. 长江中下游干流主要站洪峰水位还原前后对比

类别	项目	沙市	莲花塘	汉口	九江	大通
特征值	警戒水位(m)	43	32.5	27.3	20	14.4
	保证水位(m)	45	34.4	29.73	23.25	17.1
	最高水位(m)	41.37	34.29	28.37	21.68	15.66
实测	最高超警戒水位(m)	-1.63	1.79	1.07	1.68	1.26
	超警戒时间(d)	0	26	18	29	26
	从高到低排位	65	5	5	7	6
	最高水位(m)	43.1	34.99	28.78	21.91	15.9
还原后	最高超警戒水位(m)	0.1	2.49	1.48	1.91	1.5
	超警戒时间(d)	2	29	26	29	27
	超保证时间(d)	0	7	0	0	0
	从高到低排位	37	4	4	6	3
还原-实测	洪峰水位降低(m)	1.73	0.7	0.41	0.23	0.24
	超警时间缩短(d)	2	3	8	0	1
	资料序列长(年)	73	27	150	111	79

6.3. 还原前后洪峰水位对比及排位

如表 3 所示, 中下游干流莲花塘站、汉口站、大通站洪峰水位分别为 34.29 m、28.37 m、15.66 m, 列有水文记录以来的第 5~第 6 位。若水库群不拦蓄, 洪峰水位分别为 34.99 m、28.78 m、15.9 m, 列有水文记录以来的第 3~第 4 位。莲花塘附近江段洪峰水位接近 1996 年, 汉口及其以下江段较 1996 年偏高 0.1~0.35 m。

7. 结论

通过还原对比分析长江上中游水库群运用前后中下游干流主要站水位过程, 可以得出以下两条结论:

1) 长江上游水库群汛前提前腾库, 对汛前 4~5 月期间中下游干流的水位有抬高作用, 但对大洪水期间中下游干流水位无影响, 反而为大洪水期间的水库群调度实践赢得主动。

2) “2016.07”洪水期间, 长江流域水库群联合防洪调度实践, 对降低中下游干流洪峰水位、缩短高水持续时间发挥了显著作用, 有效缓解了长江中下游干流的防洪压力, 对取得长江防洪的决定性胜利发挥了关键作用。

基金项目

国家重点研发计划“水资源高效开发利用”项目(2016YFC0402708)。

参考文献 (References)

- [1] 魏山忠. 新时期长江防洪减灾方略[J]. 人民长江, 2017, 48(4): 1-7.
WEI Shanzhong. Flood control and disaster mitigation strategy for Changjiang River in new era. Yangtze River, 2017, 48(4): 1-7. (in Chinese)
- [2] 王俊. 2016 年长江大洪水特点与启示[J]. 人民长江, 2017, 48(4): 54-57.
WANG Jun. Characteristic and enlightenment of 2016 Changjiang River Flood. Yangtze River, 2017, 48(4): 54-57. (in Chinese)
- [3] 金兴平. 长江上游水库群 2016 年洪水联合防洪调度研究[J]. 人民长江, 2017, 48(4): 22-27.
JIN Xingping. Study on co-regulation of reservoirs in upper reaches of Changjiang River in 2016 for flood control. Yangtze River, 2017, 48(4): 22-27. (in Chinese)
- [4] 水利部长江水利委员会水文局. 长江流域洪水预报方案汇编(第二册)——长江中下游宜昌至江阴[Z]. 2005.
Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. Flood forecasting scheme of Yangtze River (No. 2). 2005. (in Chinese)