

文章编号 0559-9350(2013)01-0059-08

长江流域上游控制性水库群联合防洪调度研究

李安强^{1,2}, 张建云², 仲志余¹, 丁毅¹

(1. 长江水利委员会 长江勘测规划设计研究院, 湖北 武汉 430010;

2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 长江流域水系复杂, 防洪对象分布范围广, 控制性水库的防洪调度目标具有多元化、分布多区域特征, 如何科学运用水库防洪库容, 有序兼顾各区域防洪是流域控制性水库群联合防洪调度的关键。选取溪洛渡、向家坝与三峡水库组成的水库群为对象, 基于大系统分解协调原理, 先通过逐次分解各防洪区域对溪洛渡、向家坝两库预留防洪库容的要求, 在结合区域间洪水遭遇关联性分析的基础上, 提出两库防洪库容在协调川江与长江中下游两区域防洪中的分配方案; 同时对三峡水库的防洪调度方式深入优化, 提出适当扩大对城陵矶防洪补偿库容分配方案。研究成果表明, 联合调度方案可进一步减少长江中下游分洪量, 对于提高整个流域防洪减灾水平, 完善长江流域库群防洪调度体系具有重要意义。

关键词: 防洪调度; 流域控制性水库; 金沙江梯级水库; 三峡水库

中图分类号: TV697

文献标识码: A

1 研究背景

随着防洪工程建设规模的不断扩大和完善, 防洪调度技术经历了由简单到复杂的演化过程。在早中期主要是针对模型与算法, 侧重于调度理论的研究^[1-3]。随着人们对洪水特性认识的不断深入、相关领域新理论与方法的不断出现以及计算机技术和信息技术的发展, 前期研究所关注的模型计算速度、耗用内存大小等问题已变成次要矛盾^[4-5]。现阶段水库防洪调度技术的研究正在由方法导向问题转移, 对成果的可操作性与实用性的要求越来越高^[6-7]。

长江中下游地区是长江流域洪水灾害最为频繁严重的地区。三峡工程建成后, 长江中下游防洪能力有了较大的提高, 特别是荆江河段防洪形势有了根本性的改善。但长江中下游河道安全泄流能力与长江洪水峰高量大的矛盾仍然突出, 需上游干支流具有防洪功能的各大型控制性水库除承担所在河流(河段)的防洪任务外, 还承担配合三峡水库为长江中下游防洪的任务^[8-10], 以达到减少长江中下游分洪量, 提高中下游防洪能力的目的。

由于长江流域洪水遭遇规律与地区组成复杂, 若选取所有控制性水库群为对象, 则涉及范围过广, 开展研究工作难度较大。本文选取金沙江下游梯级溪洛渡、向家坝水库和已建成的三峡水库为研究对象, 开展流域控制性水库群联合防洪调度技术研究, 希望研究成果能对长江流域未来形成的大规模水库群联合防洪调度起到一定的示范作用。

2 工程概况

溪洛渡、向家坝水库位于金沙江下游河段, 入库洪水过程比较稳定, 且控制着三峡入库近30%

收稿日期: 2011-10-21

基金项目: 十一五国家科技支撑计划项目(2008BAB29B09); 水利部公益性项目专项经费项目(200801035)

作者简介: 李安强(1980-), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事水电能源开发与利用、水库调度管理研究。

E-mail: muzi7632@sina.com

的洪量，肩负着川江(自宜宾至宜昌)沿岸宜宾、泸州、重庆等重要城市和配合三峡水库对长江中下游防洪调度的多重防洪任务，是长江流域防洪体系的重要组成部分；三峡水库是长江流域防洪体系的关键性控制工程，主要防洪任务为确保荆江地区在遭遇百年一遇洪水时不分洪，并在有条件的情况下对城陵矶地区进行补偿调度。水库工程特性见表1、表2，地理位置见图1。

表1 溪洛渡、向家坝梯级水库工程特性参数

枢纽名称	正常蓄水位/m	死水位/m	汛限水位/m	防洪库容/亿 m ³	调节库容/亿 m ³	装机容量/MW	备注
溪洛渡	600	540	560	46.50	64.60	13 860	
向家坝	380	370	370	9.03	9.03	6 400	扩机后
小计				55.53	73.63	20 260	

表2 三峡水库工程特性参数

正常蓄水位/m	枯水期最低消落水位/m	汛限水位/m	防洪库容/亿 m ³	调节库容/亿 m ³	装机容量/MW	备注
175	155	145	221.5	165	22 400	含地下电站

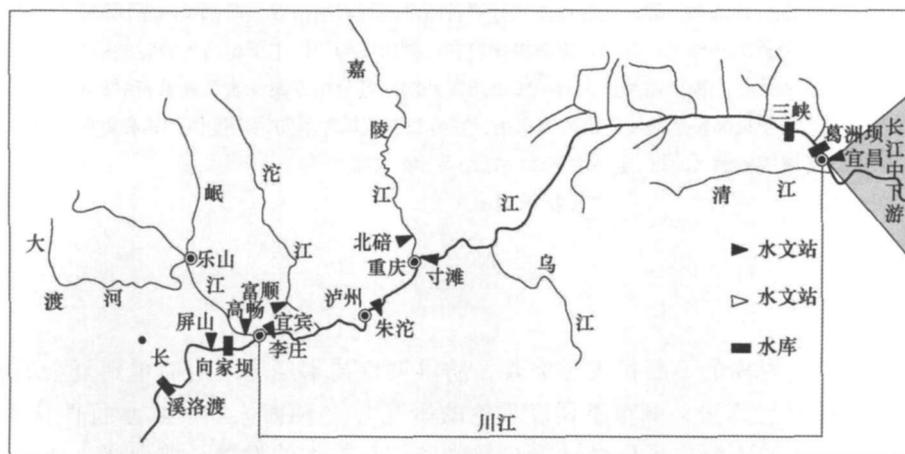


图1 溪洛渡、向家坝与三峡水库群地理位置

在溪洛渡、向家坝水库防洪专题研究中，曾对两水库防洪调度方式进行了初步分析，提出了溪洛渡、向家坝与三峡水库同步拦蓄，且以各水库入库洪峰值为分级依据的等蓄量拦洪调度方式，该种方式简单明确，对溪洛渡、向家坝水库防洪库容的预留与运用方式具有一定的指导意义^[11]。三峡工程在初步设计阶段，设计防洪调度方式为对荆江防洪调度，但随着研究的逐步深入，考虑到长江中游城陵矶地区分洪压力较大，在保证遇特大洪水时荆江河段防洪安全前提下，为了尽可能提高三峡工程对一般洪水的防洪作用，减少城陵矶地区的分洪量，在初步设计研究的基础上，《三峡水库优化调度方案》结合近期江湖关系变化，提出了三峡水库兼顾城陵矶防洪补偿调度方式，对城陵矶补偿库容分配、补偿流量、控制水位等做了深入研究，提出将三峡工程的防洪库容 221.5 亿 m³ 自下而上划分为三部分：第一部分预留库容 56.5 亿 m³ 用作既对城陵矶防洪补偿也对荆江防洪补偿调节；第二部分预留库容 125.8 亿 m³ 仅用作对荆江防洪补偿调节；第三部分预留库容 39.2 亿 m³ 作为对荆江特大洪水进行调节，其中将相应于第一部分防洪库容蓄满的库水位 155m 称为 对城陵矶防洪补偿控制水位^[12]，如图2。

但从现有成果来看，限于研究阶段与深度，仅从水量上探讨了上游溪洛渡、向家坝水库拦蓄对三峡入库洪水过程的影响，重点仍是针对单一水库的调度研究，尚未实现上下游水库联调，故存在进一步优化空间。

3 溪洛渡、向家坝与三峡水库联合防洪调度方案

3.1 研究思路 溪洛渡、向家坝水库肩负着川江河段防洪和配合三峡水库对长江中下游防洪的双重

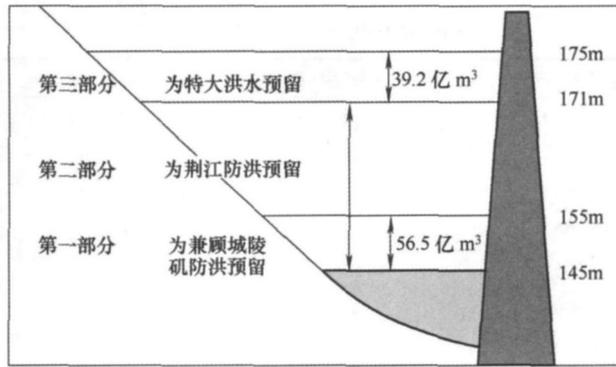


图2 三峡水库防洪库容分配方案

任务；三峡水库则肩负着对长江中下游地区的防洪任务，但目前的研究成果主要是针对荆江和城陵矶两地区的防护。考虑到各区域洪水组合、遭遇类型、洪水过程特征不同以及对上游水库拦蓄方式要求上存在差异，水库防洪库容难以同时兼顾各个区域防洪。为合理利用水库防洪库容，协调各区域防洪，本文拟采用大系统分解-协调原理，建立上、下两层模型：上层主要分析各区域间洪水遭遇关联性，并在此基础上确定关联性较好的区域间的水库防洪库容共用空间，提出流域控制性水库联合防洪调度方式，计算防洪效益；下层主要是针对各区域防洪要求，逐次分解各防洪区域对水库预留防洪库容的要求，如图3。

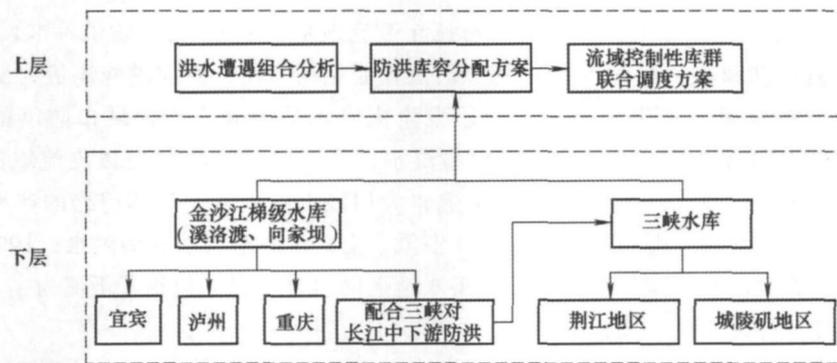


图3 系统分解协调

3.2 防洪库容分配具体原则 在川江河段中，由于宜宾市距离上游溪洛渡、向家坝水库最近，从实施补偿调度的条件上来讲，应首先确保宜宾市达到国家规定的城市防洪标准。而泸州、重庆两市距离上游水库较远，区间有较大支流汇入，洪水组成比较复杂，且溪洛渡、向家坝梯级水库所控制的流域面积仅占重庆控制流域面积的51%~52%，未控区间面积大，两水库对泸州、重庆有一定的防洪作用，但难于从根本上解决其防洪问题。考虑到重庆防洪控制站寸滩站集水面积为86万km²，占宜昌站集水面积86.1%，且次洪系列中7d、15d、30d多年平均水量占宜昌比重达80%以上，见表3，由此可见寸滩站控制着宜昌大部分来水。表4分别统计了寸滩站与宜昌站前10位年最大日平均流量系列，从表中可以看出，在宜昌前10位大洪水中，有6个年份是寸滩和宜昌两站出现洪峰日期都是相应的，是同属于年最大的一次洪水所造成，而且寸滩流量均大于宜昌流量，说明宜昌较大洪峰多来

表3 宜昌站7d、15d和30d洪量组成洪量

河名	站名	7d洪量		15d洪量		30d洪量	
		多年平均水量/亿m ³	占宜昌/%	多年平均水量/亿m ³	占宜昌/%	多年平均水量/亿m ³	占宜昌/%
长江	寸滩	219.3	82.5	409.8	81.4	736.2	81.8
乌江	武隆	24.5	9.2	51.7	10.3	97.4	10.8
寸滩-宜昌	区间	21.9	8.2	42.1	8.4	66.7	7.4
长江	宜昌	265.7	100	503.6	100	900.3	100

表4 寸滩站、宜昌站年最大日平均流量系列前10位统计

序号	寸滩站流量/(m ³ /s)	出现日期(年·月·日)	宜昌站流量/(m ³ /s)	出现日期(年·月·日)
1	84 300	1981·7·16	71 100	1896·9·4
2	83 100	1905·5·11	69 500	1981·7·19
3	76 400	1898·8·6	67 500	1945·9·6
4	76 400	1921·7·14	66 100	1954·8·6
5	73 300	1892·7·13	64 800	1931·7·17
6	71 700	1945·9·3	64 600	1892·7·15
7	71 500	1920·7·22	64 600	1931·8·10
8	71 000	1937·7·18	64 400	1905·8·14
9	69 800	1903·8·2	63 000	1922·8·12
10	68 600	1936·8·4	62 300	1936·8·7

自寸滩站，其它4年宜昌、寸滩两站的年份不相同，虽然寸滩以上来水不大，但由于寸-宜区间发生大洪水的影响，从而进入前十。从以上分析可知，寸滩站与宜昌洪水的正向关联性较好，由于荆江地区集水面积与宜昌集水面积相近(相差3%)，依次类推，故重庆地区洪水与荆江地区洪水关联性较好，上游溪洛渡、向家坝水库在为荆江防洪的同时也分担重庆市防洪压力。基于这一点考虑，上游水库为重庆预留防洪库容与为荆江地区预留防洪库容在本质上具有一致性，可在上游水库配合三峡水库为长江中下游防洪调度过程中统一考虑。

3.3 宜宾市防洪 宜宾市位于岷江、金沙江与长江汇流地带，参照国标《防洪标准》，城区防洪标准为50年一遇，但现有防洪能力仅为20年一遇，防洪控制站为李庄，对应洪峰流量为51 000m³/s。

根据金沙江与岷江洪水遭遇特点、本河段发生大洪水情况和宜宾市城市防洪的需要，选取了1961、1966、1981、1991和1998年5个实测典型洪水过程。其中1961年是以支流岷江来水为主的典型洪水；1966、1991年是岷江与金沙江发生遭遇，为川江上段干支流过程遭遇的典型洪水；1981年是长江干流与嘉陵江洪水发生恶劣遭遇，为川江中段干支流洪峰遭遇的典型洪水；1998年为长江全流域性大洪水。上述典型洪水基本概括了干支流洪水遭遇的组合情况，包括了干流为主、支流为主、干支流洪峰时程错开的各种典型，代表性较好。

由于宜宾市距上游水库较近，最上一级溪洛渡水库下泄流量至宜宾演进时滞仅6h，故可采用考虑预报的方式对宜宾进行补偿调度。但考虑到宜宾以下川江河段防洪要求，在拟定补偿调度的基础上，建议拦蓄部分基流，以达到适当削减下游河段洪峰的目的。采用马斯京根演算方法，相应演算系数C₀=0.33，C₁=0.53，C₂=0.14，进行调洪计算，拟定防洪调度方式如下：在预报6h后李庄流量大于40 000m³/s但小于51 000m³/s时，上游溪洛渡、向家坝组成的梯级水库以2 000m³/s速率拦蓄；当预报李庄6h后流量大于51 000m³/s时，对宜宾实施进行补偿调度，控制李庄流量不超过51 000m³/s，若拦蓄量小于2 000m³/s，则以2 000m³/s拦蓄；反之，则按照计算值拦蓄。

采用上述调度方式，对宜宾市50年一遇设计洪水进行调洪，成果列于表5。

由表5可知，除1961年典型外，在满足宜宾市遭遇50年一遇洪水时，洪峰流量不超过51 000m³/s，上游梯级水库需投入的防洪库容最大不超过9.08亿m³。其中1961年典型洪水主要来自岷江流域，金沙江梯级水库无水可拦，需要岷江支流水库配合运用，才可取得更好的削峰效果。

3.4 金沙江梯级防洪库容防洪任务的划分 相对于单一三峡水库来讲，金沙江梯级水库配合拦蓄，必将会进一步提高荆江地区的防洪能力和减轻长江中游主要是城陵矶地区的分洪压力，虽然在实测

表5 溪洛渡、向家坝梯级水库对宜宾50年一遇设计洪水削峰成果(6h)

典型年	洪峰值/(m ³ /s)	李庄洪峰/(m ³ /s)	投入使用防洪库容/亿m ³	削减洪峰/(m ³ /s)
1961	58 300	53 494	4.72	4 806
1966	51 900	51 000	2.60	900
1981	57 500	51 000	5.50	6 500
1991	59 600	51 000	7.13	8 600
1998	57 300	51 000	9.08	6 300
平均	56 920			5 321

洪水系列中，川江河段与城陵矶地区洞庭湖水系同时发生大水相互遭遇的情况尚未遇到，但考虑到川江与荆江地区洪水遭遇具有一定的关联性，且宜宾地区洪水与荆江地区洪水组成具有明显差异，各区域对水库防洪库容投入使用方式要求不同，防洪库容共用存在一定困难，故为了安全起见，建议将溪洛渡、向家坝组成的梯级中划分9.08亿 m^3 防洪库容作为宜宾专用防洪库容预留，以确保宜宾市达到50年一遇防洪标准，不参与配合三峡水库对长江中下游防洪调度。同时考虑到向家坝水库距离宜宾市仅38km，坝址至宜宾市洪水传播时间仅为3h，且向家坝防洪库容为9.03亿 m^3 ，与确保宜宾市达到50年一遇防洪标准所需预留9.08亿 m^3 防洪库容相差无几，故从调度的灵活性和整体性考虑，初步确定向家坝水库9.03亿 m^3 作为宜宾专用防洪库容，由溪洛渡46.5亿 m^3 防洪库容配合三峡水库对长江中下游防洪调度。

溪洛渡水库配合三峡水库对长江中下游进行防洪调度，从补偿调度时间和补偿调度空间两方面考虑，防洪库容投入使用方式可分两种：(1)在长江中下游遭遇洪灾需三峡水库拦蓄时，溪洛渡水库同步拦蓄，通过减少三峡水库入库洪水来延长三峡水库对下游城陵矶的补偿时间，进而达到减少长江中下游分洪量的目的；(2)利用上游溪洛渡水库对三峡水库入库洪水进行适当的滞洪削峰，降低三峡水库的回水水面线高程、同时荆江地区防洪标准也会得到进一步提高，为适当扩大三峡水库对城陵矶防洪补偿库容空间提供有利条件。

考虑到洪水经上游溪洛渡水库调蓄，下泄至宜昌大约2d左右的时间，当上游水库与三峡水库同步拦蓄时，受长江中下游成灾时段不连续的影响，防洪库容利用效率不高。随着近年来水文预报技术的发展，目前长江上游1~3d预见期预报精度可满足三峡水库实时防洪调度的要求^[13]，结合预报技术，利用上游水库削峰，创造扩大三峡水库对城陵矶防洪补偿库容的条件无疑更能有效地增加长江中下游防洪效益。故本文重点讨论第二种方式。

3.5 金沙江梯级水库拦蓄方式的拟定 依据长江历年来的大洪水资料，选取不同类型洪水的多种代表典型进行研究，在三峡水库初设计阶段选择的洪水典型年为1954、1981和1982年，在三峡枢纽二期工程安全鉴定阶段增加了1998年典型，共计4年。其中1954、1998年洪水为全流域性洪水，洪水过程表现为多峰型，洪峰不高，但长时段洪量特大；1981、1982年洪水为区域性洪水，1981年洪水主要来自寸滩以上，属上游偏大型，1982年洪水寸滩以上洪水总量占宜昌洪水比重相对较小，三峡区间洪水突出，属上游区间偏大型。上述洪水都是20世纪以来发生的实际大洪水，具有较好的代表性。

但由于三峡坝址以上干支流众多，洪水遭遇与地区组成复杂，暴雨洪水主要来源于岷江、嘉陵江、屏山至寸滩区间、寸滩至宜昌区间等地区，因此对于某一出现频率洪水的时空分布也存在多种可能性，无法利用常规方法获取上游各干支流相应防洪控制站设计洪水过程，但考虑到金沙江以上地区来水比较稳定，是宜昌洪水的基础部分，故可结合各典型年洪水中金沙江洪水占宜昌的比重以及实测洪水过程流量量级分布规律，综合考虑长江中下游洪水成灾量级，及入库洪水对库区可能造成淹没损失的洪峰量级，经多组控蓄方案比较，初步拟定如下调度规则：(1)当预报2日后枝城流量超过56700 m^3/s ，溪洛渡水库拦蓄速率为2000 m^3/s ；(2)当预报2日后枝城流量超过56700 m^3/s ，三峡入库流量超过55000 m^3/s ，溪洛渡水库拦蓄速率为4000 m^3/s ；(3)当预报2日后三峡入库流量超过60000 m^3/s 时，溪洛渡水库拦蓄速率为6000 m^3/s ；(4)同时考虑对大流量级别的拦蓄，对于三峡入库达到70000 m^3/s 以上时，拟定溪洛渡水库拦蓄速率为10000 m^3/s 。

3.6 三峡水库对城陵矶防洪补偿库容进一步扩大论证 三峡水库对城陵矶防洪补偿库容的确定，主要考虑了两方面因素：一是上游库区移民影响；二是保证荆江地区具有百年一遇防洪标准。

3.6.1 对城陵矶防洪补偿调度涉及的库区移民问题 三峡水库的移民标准为20年一遇洪水，相应的库区回水推算条件是按对荆江补偿调度方式进行水库调洪计算拟定，库区回水线为汛期水库按145m起调的不同蓄洪状态及汛后水库蓄满状态的回水外包线，其中汛期洪峰时的蓄洪状态决定水库回水末端位置。三峡水库移民线末端所在的控制断面为弹子田，位于重庆市城区下游约24km。

上游水库投入后配合三峡水库拦蓄洪水，可减少三峡水库的入库洪量，从而使三峡水库调洪时

超过回水水面线的几率下降、荆江地区防洪标准进一步提高，对城陵矶防洪补偿库容的约束条件放松，三峡水库对城陵矶防洪补偿控制水位可适当抬高。按比较极端的洪水发生组合情况考虑，即当对城陵矶防洪补偿调度所分配的防洪库容用完后，再遇到三峡坝址20年一遇洪水时，分析上延回水水面线是否超过库区移民线。

初步拟定三峡水库对城陵矶防洪补偿控制水位为159、160、161和162m共4种方案，采用三峡坝址20年一遇设计洪水，分别以不同三峡水库对城陵矶防洪补偿控制水位为起调水位，在上游溪洛渡水库的配合拦蓄下，按对荆江补偿调度方式对三峡水库动库容调洪，分析各方案的回水水位结果如表6。

表6 各种对城陵矶补偿调度控制水位方案
对应三峡库区回水成果

起调水位/m	控制断面回水水位 (弹子田)/m	弹子田 天然水位/m	移民迁移 调查线/m
159	185.63		
160	185.75		
161	185.89	185.7	186
162	186.06		

表7 不同洪峰预报值放大后对应溪洛
渡水库防洪库容投入量

洪峰值 放大尺度 $I/(m^3/s)$	8 000	7 500	7 000	6 000	4 000	2 000	0
投入防 洪库容 $I/亿 m^3$	49.68	47.08	42.77	38.02	36.72	35.42	33.7

由表6可知，159、160和161m 3种方案，遇坝址20年一遇洪水，回水末端于弹子田处尖灭，且低于三峡库区移民迁移调查线186m。而从162m起调时，遇坝址20年一遇洪水，回水末端将在控制断面弹子田以上尖灭，同时也高于库区移民调查线，会增加库区淹没，故在上游溪洛渡水库拦蓄作用下三峡水库对城陵矶防洪补偿控制水位最高可抬升至161m，此时溪洛渡水库需投入使用的防洪库容为33.70亿 m^3 。

由于溪洛渡水库拦蓄速率的判断依据为2日后三峡水库入库洪水量级，洪水预报误差将不仅会给回水计算成果带来不稳定因素，同时也会影响溪洛渡水库防洪库容投入量，故应对回水计算成果进行敏感性检验。

在拦蓄20年一遇洪水时，溪洛渡水库防洪库容只投入了33.7亿 m^3 ，尚未完全投入，故在实际调度过程中，若预报人员认为洪峰预报值偏小，可适当正向放大洪峰预报值，表7统计了不同尺度正向放大洪峰预报值对应溪洛渡水库防洪库容投入量。

考虑到溪洛渡水库防洪库容大小为46.5亿 m^3 ，故从表7中可知，在考虑2日预见期的情况下，三峡水库入库洪峰预报值正向放大幅度可达7000 m^3/s 多，占三峡坝址20年一遇设计洪水洪峰值的10%左右，在现有预报水平下，调度空间具有一定余度。

3.6.2 保证荆江地区具有百年一遇防洪标准 三峡工程建成后，长江中下游防洪能力有了较大提高，特别是荆江河段防洪形势有了根本性的改善，防洪标准由原来的十年一遇左右提高到百年一遇。虽然上游建库后，流域对遭遇大洪水调蓄能力会进一步提高，但如果过度扩大对城陵矶防洪库容会在一定程度上压缩三峡水库对荆江河段的补偿调度空间，结合金沙江梯级水库的拦蓄方式，分别按照以159、160和161m为起调水位，对三峡坝址百年一遇洪水进行调洪，表8给出了在考虑上游溪洛渡水库调蓄后，三峡水库在遭遇坝址百年一遇洪水时的最高调洪水位值。

表8 不同起调水位方案三峡水库遇1%频率设计洪水调洪成果

典型年	最高调洪水位/m			典型年	最高调洪水位/m		
	起调水位 159m	起调水位 160m	起调水位 161m		起调水位 159m	起调水位 160m	起调水位 161m
1954	169.5	169.83	170.63	1982	171.15	171.84	172.63
1981	166.79	167.56	168.43	1998	167.64	168.41	169.29

从表8中可以看出，除1982年外，其它各典型年，在遭遇百年一遇洪水时，对城陵矶防洪补偿控制水位方案相应的最高调洪水位均低于171.0m。表9统计了《三峡水库优化调度方案》中，三峡对

城陵矶防洪补偿控制水位为 155m 时，在遭遇百年一遇洪水时的最高调洪水位。

通过表 8 与表 9 对比分析可知，考虑溪洛渡水库拦蓄时，当三峡水库对城陵矶控制水位分别为 159、160 和 161m，在遭遇 1982 年典型坝址百年一遇洪水时最高调洪水位均低于三峡水库优化调度成果，故 3 种方案均可行。

此外，近年来因下游河道下切、1998 年后城陵矶附近堤防加高等因素，下游河道泄量尚有余地，再加上各支流建库，流域对洪水的调蓄能力在现有基础上会更强。但从偏安全考虑，建议将溪洛渡水库的防洪库容全部留在三峡水库对城陵矶防洪补偿调度后投入使用，以保荆江防洪安全。

4 联合调度防洪效益分析

经以上分析，溪洛渡、向家坝与三峡水库组成的水库群防洪调度体系具体防洪调度如下：

(1) 向家坝水库防洪库容作为宜宾专用防洪库容预留，不参与长江中下游防洪调度，具体调度方式见 3.3 节。

(2) 溪洛渡水库用于配合三峡水库对长江中下游防洪调度，防洪库容预留在三峡水库对城陵矶防洪补偿调度后投入使用，以保荆江防洪安全，具体调度方式见 3.5 节。

(3) 在溪洛渡水库的配合下，三峡水库对城陵矶防洪补偿控制水位最高可抬至 161m，以此为代表方案，参照《三峡水库优化调度方案》，则三峡水库对城陵矶防洪补偿调度具体方式如下：①当三峡水库水位低于对城陵矶防洪补偿控制水位 161m 时，水库当日下泄量 q 为当日荆江补偿的允许泄量 q_1 及第三日城陵矶补偿的允许泄量 q_2 二者中的小值。其中 q_1 为 $56\ 700\text{m}^3/\text{s}$ 减去当日宜-枝区间流量； q_2 为 $60\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 减去第三日宜-城区间流量；实际下泄量为 $q = \min(q_1, q_2)$ ，但如果 $q < 25\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 则取为 $25\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 。②当三峡水库水位高于对城陵矶防洪补偿控制水位 161m 而低于对荆江防洪补偿控制水位 171m 时，三峡工程当日下泄量等于当日荆江补偿的允许泄量，即 q 为 $56\ 700\text{m}^3/\text{s}$ 减去当日宜-枝区间流量。③当三峡水库水位高于对荆江防洪补偿控制水位 171m 时，水库当日下泄量 q 取 $80\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 减去当日宜-枝区间流量，但不大于当日实际入库流量（此时荆江地区采取分蓄洪措施，控制沙市水位不高于 45.0m）。④当三峡水库水位超过 175m，则以保证大坝安全为主，对洪水适当调节下泄。

综合考虑到洪水量级、受灾严重程度、发生时间及洪水组成等多方因素，在长江中下游防洪效益计算中，选取 1931、1935、1954、1968、1969、1980、1983、1988、1996 和 1998 年等 10 个典型年 $P=3\%$ 、 $P=2\%$ 、 $P=1\%$ 等 3 种频率洪水，按照拟定的水库防洪调度方式，分别进行调洪演算。结果表明，溪洛渡、向家坝与三峡水库群联合调度，相对于三峡水库优化调度方案，可进一步减少城陵矶附近的分洪量，分别减少为 $(23.6\sim 48.1)$ 亿 m^3 、 $(13.1\sim 47)$ 亿 m^3 和 $(12.1\sim 46.9)$ 亿 m^3 。

5 结语

本文侧重考虑了溪洛渡与向家坝如何配合三峡水库对长江中下游防洪调度，对川江河段重点研究了宜宾市防洪，从防洪的角度建议将向家坝水库防洪库容作为川江专用防洪库容，确保宜宾达到 50 年一遇防洪标准。但由于水库防洪库容的预留，不仅涉及防洪，还需综合考虑水库兴利要求，故下阶段将对这部分库容如何在金沙江梯级水库内部分配做更深入研究。同时考虑到未来乌东德、白鹤滩等上游各干支流大型控制性水库建成，将进一步提高流域御洪能力，如何结合本阶段研究成果，深入优化水库群防洪调度方式，对于提高整个长江流域防洪减灾水平，完善流域库群防洪调度体系具有重要现实意义。

表 9 起调水位为 155m 时三峡水库遇 1% 频率设计洪水调洪成果

三峡对城陵矶防洪补偿控制水位为 155m				
典型年	1954	1981	1982	1998
最高调洪水位/m	170.27	168.51	173.11	169.25

参 考 文 献 :

- [1] Windsor J S . A programming model for the design of multi-reservoir flood control system[J] . Water Resour Res , 1995 , 11(1) :30-36 .
- [2] 付湘,纪昌明 . 防洪系统最优化调度模型及应用[J] . 水利学报,1998(5) :49-53 .
- [3] 梅亚东 . 梯级水库防洪优化调度的动态规划模型及解法[J] . 武汉水利电力大学学报,1999 , 3(5) :10-12 .
- [4] 覃晖,周建中,王光谦,等 . 基于多目标差分进化算法的水库多目标防洪调度研究[J] . 水利学报,2009 , 40(5) :513-519 .
- [5] 谢维,纪昌明,吴月秋,等 . 基于文化粒子群算法的水库防洪优化调度[J] . 水利学报,2010 , 41(4) : 452-457 ,463 .
- [6] Chih-chiang Wei , Nien-Sheng Hsu . Multireservoir real-time operations for flood control using balanced water level index method[J] . Journal of Environmental Management , 2008(88) :1624-1639 .
- [7] 刘招,黄文政,黄强,等 . 基于水库防洪预报调度图的洪水资源化方法[J] . 水科学进展,2009 , 20(4) : 578-582 .
- [8] 仲志余,宁磊 . 三峡工程建成后长江中下游防洪形式及对策[J] . 人民长江,2006 , 37(9) :8-9 .
- [9] 长江水利委员会 . 长江流域防洪规划(2008 国务院批复)[R] . 2008 .
- [10] 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 .
- [11] 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 .
- [12] 长江水利委员会 . 三峡水库优化调度方案(国务院批复)[R] . 2009 .
- [13] 段唯鑫,闵要武,陈力,等 . 长江上游梯级水库建成后的三峡水情预报[J] . 人民长江,2011 , 42(4) :1-4 .

Study on joint flood control operation for leading reservoirs in the upper Changjiang River

LI An-qiang¹, ZHANG Jian-yun², ZHONG Zhi-yu¹, DING Yi¹

(1. Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research, Changjiang Water
Resources Commission, Wuhan 430010, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract : The Changjiang River possesses a complex river system and widely distributed flood protection objects. As the multi-purpose of flood control operation for its leading reservoirs involving a wide range of regions, the key for joint flood control operation of leading reservoirs in the river basin lies on utilizing flood control storage reasonably and orderly giving consideration to overall plans flood control for related regions. Taking a group of reservoirs, Xiluodu, Xiangjiaba and the Three Gorges as the object, this paper proposes flood control storage allocation plan for coordinative flood control of the Chuanjiang and the Changjiang rivers by using the principle of large-scale system decomposition-coordination, through successively decomposing the different demands for the flood control storage of Xiluodu and Xiangjiaba reservoirs by the flood protection objects in every region, and analyzing flood strike patterns for the Chuanjiang River and the midstream of the Changjiang River. Further, a flood control operation mode of the Three Gorges reservoir was optimized and an allocation plan was raised by increasing flood control compensation storage for Chenglingji, concerning impoundment effect from upstream Xiluodu and Xiangjiaba reservoirs. The results show that the joint operation mode can further reduce flood diversion capacity of the lower-middle reaches of the Changjiang River, which is highly significant for increasing flood control capacity and improving comprehensive group-reservoir flood control system of the whole Changjiang River Basin.

Key words : flood control ; leading reservoir ; jinsha river cascade reservoirs ; three gorges reservoir

(责任编辑:王成丽)