

**编者按:**科学精神的核心是批判、质疑和实事求是,学术需要交流和争鸣。本刊从2016年第4期开始,开辟“特约专家论坛”。本期刊登的3篇特约稿件中,清华大学周建军教授为通信作者的《长江中游防洪问题与对策》,对三峡工程的防洪作用和长江中游防洪形势提出了独到的见解;本研究凝聚了三代研究人员的心血,其中一些学术观点和研究结论,由于种种原因18年后的今天才在本文揭示。希望本文的发表能促进客观用好三峡,保证长江防洪更安全。河海大学陈建生教授的《外源地下水补给二连浩特盆地》,秉承其独特的“地下水深循环”理论,通过研究二连浩特地区大气水、地表水、土壤水与地下水之间的转化关系,确定二连浩特干旱区存在深循环地下水,并成功在古火山区打出了4口自流井。这是陈建生教授帮助阿拉善右旗打出8口富锶型矿泉水后的又一次实践。郑州大学左其亭教授的《我国海绵城市建设中的水科学难题》,以一种宏大的视角从水科学学科体系的10个方面,阐述水科学在海绵城市建设中的应用和海绵城市建设中可能遇到的6方面水科学难题,并初步提出这些难题的解决途径。三位教授的文章观点新颖,视角独特,但难免有人持不同观点或者反对意见。本刊欢迎学术争鸣,期盼更多的专家学者能关注本刊、参与讨论。

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.04.001

## 长江中游防洪问题与对策

张曼<sup>1,2</sup>,周建军<sup>1,2</sup>,黄国鲜<sup>1,2</sup>

(1. 清华大学水利水电工程系,北京 100084; 2. 清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室,北京 100084)

**摘要:**三峡工程的首要任务是防洪,防洪的重点是保荆江安全。在此背景下分析长江中游当前防洪形势和三峡工程存在的问题,认为相对于长江中游洪水形势和防洪要求,三峡水库防洪库容远小于长江中游超额洪水,动态防洪库容小于设计静态防洪库容,有效防洪库容更小;长期河道演变使城陵矶等地同流量水位显著升高;中游蓄滞洪区建设规模严重偏小,而建设进度严重滞后,已有蓄滞洪区使用困难;当前大规模清水冲刷没有降低洪水位,反而荆江向洞庭湖分洪减小、河道泄洪能力进一步萎缩;三峡水库2008年按正常水位运行以来,连年拦中小洪水和超汛限水位运行,大量占据防洪库容和压低下泄洪水流量,使下游河道长期得不到洪水塑造,行洪能力和堤防得不到检验和考验。考虑到气候变化等不确定性影响,现在长江中游防洪形势仍然严峻。建议:切实维护三峡工程规划确定目标和防洪调度方式,严格控制汛限水位,积极采取优化调度增加水库防洪能力;尽快完成三峡工程规划要求的城陵矶附近蓄滞洪区建设,采取政策措施保证分洪与发展兼顾;改变和优化金沙江下游4大梯级水库汛期运行方式;加强三峡库区岸坡治理、提高水库防洪调度灵活性;采取积极措施维护长江中游江湖关系稳定。

**关键词:**防洪调度;防洪库容;汛限水位;防洪形势;三峡水库;长江中游

中图分类号:TV87 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2016)04-0001-10

## Flood control problems in middle reaches of Yangtze River and countermeasures

ZHANG Man<sup>1,2</sup>, ZHOU Jianjun<sup>1,2</sup>, HUANG Guoxian<sup>1,2</sup>

(1. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The Three Gorges Project (TGP)'s primary task is flood control, with emphasis being placed on the

基金项目:国家自然科学基金(51509137,51179088);水沙科学与水利水电工程清华大学国家重点实验室项目(2013-ky-01, 2015-ky-02)

作者简介:张曼(1986—),女,博士,主要从事河流动力学研究。E-mail:zhangman98@tsinghua.edu.cn

通信作者:周建军(1960—),男,教授,博士,主要从事河流动力学和三峡工程等研究。E-mail:zhoujj@tsinghua.edu.cn

safety of the Jingjiang River. With this background, we analyze the status of flood control in the middle reaches of the Yangtze River and the problems in the TGP. In terms of the status and requirements of flood control in the middle reaches of the Yangtze River, the flood control capacity of the Three Gorges Reservoir is far lower than the excess flood amount in the middle reaches of the Yangtze River. The dynamic flood control capacity is lower than the designed static flood control capacity, and the valid flood control capacity is even lower. Long-term evolution of river channels has caused the water levels of Chenglingji and other areas to increase for a constant flow rate. The construction scale of the flood storage and detention area has been too small and has fallen behind schedule, resulting in difficulties in operation. In addition, water scouring has not decreased the flood water level, but has reduced the amount of flood diverted from the Jingjiang River into Dongting Lake and caused the flood discharge capability of the river channels to further degrade. Since the beginning of operation of the Three Gorges Reservoir in 2008, it has been operated for years at water levels of medium-and small-scale floods and above flood control levels, reaching the flood control capacity and reducing the flood flow downwards. As a result, the downstream river channels have not experienced floods for long periods, and their flood discharge capabilities and dikes have not been tested. Due to uncertain factors such as climate change, the middle reaches of the Yangtze River are still facing serious flood control problems. We propose suggestions as follows: pursuing the planning goals of the TGP and adopting flood regulation modes; strictly controlling the flood control level; optimizing the regulation and increasing the reservoir's flood control capability; completing the construction of the flood storage and detention area near Chenglingji as quickly as possible, as required in the TGP; taking measures with consideration of both flood diversion and local development; optimizing the operation modes of four cascade reservoirs in the lower reaches of the Jinsha River in flood seasons; strengthening the governance of banks and slopes in the reservoir area; improving the reservoir's flexibility in flood control and regulation; and maintaining a stable relationship between rivers and lakes in the middle reaches of the Yangtze River.

**Key words:** flood regulation; flood control capacity; flood control level; flood control status; Three Gorges Reservoir; middle reaches of Yangtze River

厄尔尼诺南方振荡是热带海洋与气象相互作用的强信号,厄尔尼诺和拉尼娜是其中冷暖两极异常事件,对全球气候有异常重要影响。1951/2016年共发生15次厄尔尼诺和拉尼娜事件,每3到7年一个循环<sup>[1]</sup>,其中3次极强厄尔尼诺事件分别发生在1982—1983年、1997—1998年和2015—2016年。2015—2016年厄尔尼诺发展情况监测显示,本次厄尔尼诺事件与1997—1998年超强厄尔尼诺事件较为相似,强度接近前两次。目前呈减弱趋势,预计2016年春末夏初结束,拉尼娜事件出现几率增加<sup>[2]</sup>。2015年12月以来,北美、南美和英国等地暴雨和洪灾等极端天气集中出现,而澳大利亚、印尼和菲律宾等地则出现大旱<sup>[3-5]</sup>。2015年入秋以来,我国南方降水偏多,部分地区发生汛情;2016年6月华南地区持续暴雨和入汛时间提前都与此相关。大量研究表明,随着全球气候变暖,东亚地区季风作用在减弱而热带气旋作用在增强,气候两极化趋势将更明显,特大洪水和严重干旱出现的机会都会增加<sup>[6]</sup>。长江流域是我国洪水比较严重地区,短期和长期气候形势都表明长江流域防洪面临的挑战在加大。

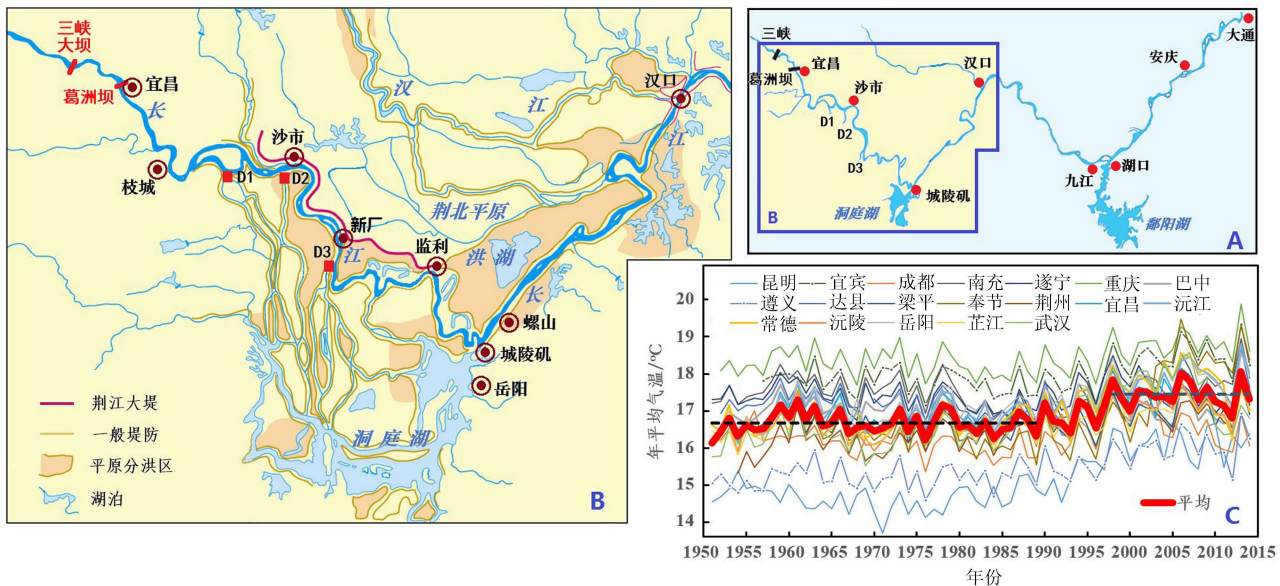
近年来,三峡工程、金沙江下游和嘉陵江一些具有防洪能力的工程建成并投入使用,长江防洪能力已有很大提高。但是,长江上游暴雨洪水主要集中在川江,相对于长江中游的特大洪水,三峡水库的防洪能力很小,不能完全保证长江中游的防洪安全。这是三峡工程论证的明确结论<sup>[7]</sup>。而且,三峡水库的实际防洪库容比规划指标低<sup>[8]</sup>,而三峡工程规划所依据

的中游河道情景发生了很大变化;近十余年,长江中上游气候条件也发生了很大变化(图1-C)。三峡工程建成以来实际运行中存在很多问题。尽管近年来长江没有发生大洪水,但是,在现行条件或未来极端气候下,长江再次出现1954年规模洪水或更大洪水的可能性仍然存在。因此,在三峡工程已经投入运行十余年后再次讨论长江中游防洪问题与对策仍然具有非常重要的现实意义。

笔者基于过去的研究成果和三峡蓄水前后实际资料,讨论三峡水库的防洪能力,三峡蓄水后长江中游的防洪形势和现实运行中长江中游防洪存在的问题,并提出相关对策供防洪和长江中游治理参考。

## 1 长江中游防洪问题背景

长江是1亿多年以来喜马拉雅隆起、四川盆地夷平、巫山下切和云梦泽沉陷等强烈地质过程的共同产物。由于横断山脉挤压,长江一统横断山脉以东水系,以近万亿方河川径流出东海,按水量计算是世界第三大河。宜昌至鄱阳湖口称中游,中游上段的荆江是长江最危险的防洪河段(图1)。荆江是在古云梦泽上淤积形成的。由于上游大量泥沙和海平面大幅度升高,7000多年来,云梦泽以枝城为起点,北齐汉江,南极西洞庭,形成了一个巨大的淤积三角洲。云梦泽南北地质凹陷、中部崛起和后来人工围垦等作用造就了荆北平原低洼、洞庭湖萎缩和荆江河曲高起,荆江就在这一大背景下形成<sup>[9]</sup>。现代荆江河床下面存在各种复杂的淤积覆盖层,黏土和卵石



注:A 图为长江中下游宜昌—大通;B 图为长江中上游宜昌—汉口,其中 D<sub>1</sub> 为松滋口,D<sub>2</sub> 为太平口,D<sub>3</sub> 为藕池口;C 图为 1950—2014 年中上游气温,其中 1998—2014 年中上游平均温度比 1951—1989 年升高 0.8℃,昆明、重庆和武汉气温分别升高 1.5℃、1.28℃ 和 0.55℃。

图 1 长江中游位置、防洪形势与中上游气温变化

淤积层异常发育,厚度可超过 20 m<sup>[9]</sup>。荆江悬河高出两岸,大片土地在洪水水位之下,堤防是在长期围垦基础上逐步发展起来的。长江堤防深层缺陷很多<sup>[10]</sup>。明清以来,荆江大堤决口 46 次,1853—1949 年洞庭湖圩垸平均 5 年溃决 1 次。1860 年、1870 年两次特大洪水,对长江产生了深远影响。1870 年枝城洪峰流量 110 000 m<sup>3</sup>/s,宜昌 30 d 洪量 1 650 亿 m<sup>3</sup>。20 世纪的 1931 年、1935 年、1949 年、1954 年等大洪水都引起流域巨大洪水灾害。1954 年是 20 世纪最大全流域洪水,洪峰流量不大,但宜昌、汉口 30 d 洪量分别为 1 350 亿 m<sup>3</sup> 和 2 182 亿 m<sup>3</sup>,沿岸大片地区被淹没,中游超额洪水很大,实际分洪量为 1 023 亿 m<sup>3</sup>。1954 年洪水是长江中游防洪目标。几十年来,长江中下游防洪建设主要包括堤防、蓄滞洪区、河道整治和水库几方面。

长江中下游 30 000 余 km、干流 3 900 余 km 的堤防是防洪主要屏障。按 1980 年长江中下游防洪座谈会要求,现有堤防以 1954 年最高洪水水位为依据,设计洪水水位分别是沙市 45 m、城陵矶 34.4 m、汉口 29.73 m、湖口 17.1 m。堤防建设已基本达到这一目标。目前一般堤防高 6~12 m、荆江大堤高 12~16 m。荆江大堤堤顶高出荆北平原约 18 m,堤防安全是防洪的大事。

河道整治的目的是提高泄洪能力和维护堤防安全。长江中游整治工程包括护岸、除障、河势控制和裁弯取直等。其中荆江 1966 年和 1969 年两处裁弯和 1972 年 1 处自然裁弯缩短荆江 78 km、增加沙市泄洪流量 4 500 m<sup>3</sup>/s。目前,中游荆江沙市、城陵矶、

武汉以下河段的行洪能力分别是 53 000、60 000 和 73 000 m<sup>3</sup>/s。但是,荆江裁弯等工程也加剧了三口萎缩、江湖关系变化并增加了城陵矶以下河道泥沙淤积,下荆江实际洪水流量较大幅度增加。1998 年洪水小于 1954 年,而下荆江流量明显增大。

蓄滞洪区是避免洪水泛滥的重要安排。1952 年建成的荆江分洪区,在 1954 年洪水保障荆江大堤安全中发挥了决定性作用。按 1954 年洪水标准和 1980 年长江中下游防洪座谈会要求的堤防标准,三峡工程建成前,长江中下游需要 492 亿 m<sup>3</sup> 蓄滞洪区,其中城陵矶附近 320 亿 m<sup>3</sup>(表 1)。但是,目前这部分工程建设缓慢,欠账很大。国家要求尽快建设的城陵矶附近蓄滞洪区只有 100 亿 m<sup>3</sup><sup>[11]</sup>。已有的蓄滞洪区由于其内部经济社会发展和条件变化限制着有效使用,荆江分洪区在 1998 年洪水期间就没能发挥作用。蓄滞洪区不足会严重增加堤防的安全压力。

表 1 各方案调度 1954 年全流域洪水的结果 亿 m<sup>3</sup>

方案	长江水利委员会规划 <sup>[12]</sup>					文献 <sup>[13]</sup>			
	三峡 拦洪	荆江 分洪	城陵矶 分洪	汉口 分洪	湖口 分洪	三峡 拦洪	荆江 分洪	城陵矶 防洪	汉口 分洪
无三峡		54	320	68	50	2.4	532	1.0	
枝城调度	94.7		280	68	50	95.8	465	0.6	
城陵矶调度	183.3		218	68	50	185.1	385	1.7	

目前长江流域干支流水库总库容超过 2 400 亿 m<sup>3</sup>,是流域防洪的重要设施。长江水利委员会认为要保证荆江安全、降低中游防洪压力的根本是要建三峡工程<sup>[7]</sup>。根据全国人民代表大会批准的三峡工程建设方案,三峡工程的第一目标是防洪,水库按 175-145-155 m 方案运行,具有 221.5 亿 m<sup>3</sup> 防洪库

容,防洪重点是荆江安全。通过三峡工程补偿调节,可使荆江地区防洪标准达到百年一遇,百年以下洪水不再分洪,具体控制标准是百年洪水按沙市设计水位 44.5~45 m 控制,三峡调控使枝城断面洪水流量不超过 60 600 m<sup>3</sup>/s;遇千年一遇或类似 1870 年洪水时,控制枝城流量不超过 80 000 m<sup>3</sup>/s,在 1980 年规划的蓄滞洪区配合运用下,避免两岸堤防出现毁灭性灾害;同时,三峡调度兼顾城陵矶附近分流量有较大幅度的减少。此外,长江中上游有很多拦洪水库,金沙江、嘉陵江和乌江等干支流已建和在建水库都可发挥作用。规划<sup>[11]</sup>要求上游水库主汛期预留 340 亿~360 亿 m<sup>3</sup> 防洪库容。但是,上游水库距离远、不能有效控制上游主要暴雨区;三峡工程建成以来,大型水库调节和蓄水使中游河道夏秋季节流量大幅度减少,水位显著降低,长江上游更多预留防洪库容还会加剧这一问题。考虑到一般年份长江中游干旱和生态环境等压力,依靠长江上游水库蓄泄和调度,长江中游洪水还有很大不确定性。

长江治理已经使长江中游防洪能力提高。长江水利委员会认为<sup>[12]</sup>,三峡工程建成后再遇 1954 年洪水,按照枝城调度或城陵矶补偿调度方案,长江中游分洪量可降低到 398 亿 m<sup>3</sup> 或 336 亿 m<sup>3</sup>,其中城陵矶附近 280 亿 m<sup>3</sup> 或 218 亿 m<sup>3</sup>(表 1)。因此,相对于长江中游大洪水,三峡水库的防洪能力仍然很小,水库必须在堤防和蓄滞洪区配合下才能有效发挥作用。但是,现实情况是,城陵矶附近目前只安排了 100 亿 m<sup>3</sup> 蓄滞洪区建设<sup>[11]</sup>,三峡水库有效防洪库容小于规划指标<sup>[8]</sup>,中游防洪规划依据 1954 年情况确定,而几十年来长江中游河道改变很大<sup>[13]</sup>,三峡工程建成以来实际运行也存在很多问题。

## 2 三峡水库防洪问题

### 2.1 三峡水库有效防洪库容偏小

水库防洪库容是水库防洪能力的重要指标。对一般水库而言,它是指介于汛限水位和最高洪水位之间的河谷空间体积。三峡工程 175-145-155 m 方案,在 145 m 汛限水位和 175 m 最高水位之间的静态防洪库容是 221.5 亿 m<sup>3</sup>。三峡工程论证研究还显示,水库淤积后防洪库容减少,运行 80 年后水库淤积达到基本冲淤平衡,平衡后有 85.7% (相当于 190 亿 m<sup>3</sup>) 的防洪库容可长期保留<sup>[14-15]</sup>。

但是,三峡水库是典型的河道型水库。在 670 km 的回水范围内,水库水面平均宽度只有 1.3 km。汛期库区水流速度和纵向水面坡降较大,在需要三峡水库开始拦蓄洪水前(下泄流量 56 700 m<sup>3</sup>/s),相当部分位于汛限水位以上的防洪空间已经被占据。因

此,河道型水库不同于一般水面开阔的湖泊型水库,其防洪库容具有显著动态特征。水库泥沙淤积后,过水断面缩小、流速增大,回水纵向坡降更大,动库容特征更显著。对于三峡工程这样的水库,防洪调度采用动态防洪库容更符合实际。采用水动力学和泥沙数学模型,水库泥沙淤积采用 1961—1970 年水沙条件,调度从 145 m 汛限水位开始拦洪的起调流量是 56 700 m<sup>3</sup>/s,水库蓄水到 175 m 水位时的不同下泄流量计算的动库容比例(相对于静防洪库容 221.5 亿 m<sup>3</sup>) 计算结果<sup>[8]</sup>(图 2) 表明:

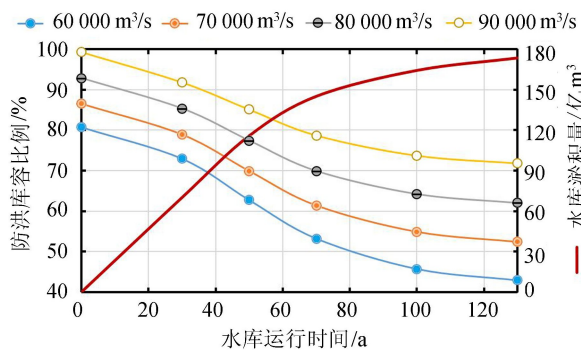


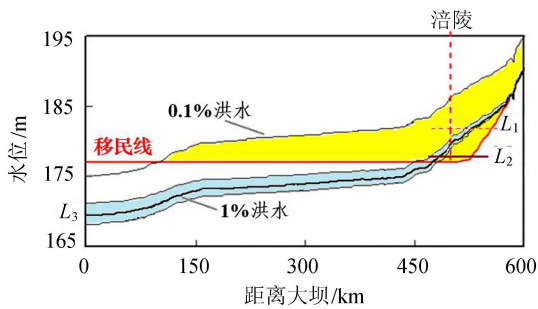
图 2 三峡水库不同时期和不同蓄满下泄流量的动态防洪库容比例及相应水库泥沙淤积量

a. 初期按百年一遇或千年一遇枝城下泄流量标准(即坝前水位 175 m 时三峡下泄流量 60 000 m<sup>3</sup>/s 或 80 000 m<sup>3</sup>/s),三峡水库的实际防洪库容分别只有 179 亿 m<sup>3</sup> 和 205 亿 m<sup>3</sup>;

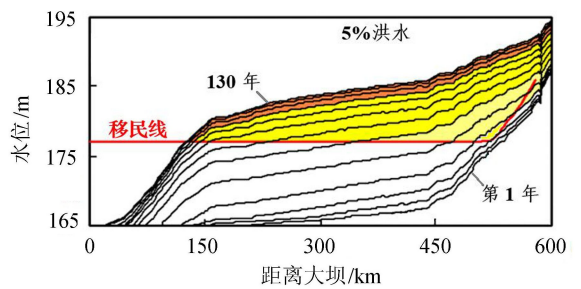
b. 泥沙淤积后期,水库可保留的防洪库容比例远小于论证期间的预测结果,按百年一遇和千年一遇的枝城下泄标准,130 年后预计水库淤积 173.4 亿 m<sup>3</sup>(与文献[14-15]100 年淤积量相当),三峡水库防洪库容保留的比例分别只有 43% 和 62%;

c. 而且,库区移民还会进一步限制上述防洪库容的正常发挥作用(完全无偿、自由使用的库容更小)。计算显示,初期坝前水位超过 168~170 m 后,三峡库区回水高度就开始超过移民线(图 3(a))。水库淤积后期,即使是二十年一遇的洪水,水库内部超过 400 km 移民范围也将受相当程度淹没的影响(图 3(b))。三峡工程的设计防洪能力超千年一遇,然而按照动库容调度预测,即使在没有太多泥沙淤积之前,防御这样的洪水,库区涪陵等重要城市都会受到严重淹没(图 3(a))。回水超过移民范围后,进一步拦洪必然受到移民安全的限制,调度效率降低、防洪的代价增加。

更进一步,三峡水库有效防洪库容受泥沙淤积的影响严重。图 2~3 显示,泥沙淤积对三峡水库防洪库容和回水影响远比预期严重。当前,三峡水库淤积已接近 20 亿 m<sup>3</sup>、水库防洪能力在减小。当然,



(a) 初期不同频率回水



(b) 二十年一遇洪水不同泥沙淤积年代回水

注:①本图根据不恒定流模型按三峡设计调度方式进行调洪计算得到;②5%、1%和0.1%洪水根据1954年典型放大(其中1%洪水采用了3种不同倍比放大方式,中心线是宜一枝区间洪水,与宜昌按同频率放大);③百年以内洪水(即5%和1%)情况下,三峡水库最大泄洪流量 $56700\text{ m}^3/\text{s}$ ,千年洪水(0.1%)情况下,三峡水库最大泄洪流量为 $80000\text{ m}^3/\text{s}$ ;④百年一遇洪水、千年一遇洪水,三峡水库分别拦蓄143亿 $\text{m}^3$ 和208亿 $\text{m}^3$ ;⑤水库泥沙淤积采用1961—1970年水沙条件循环计算,图3(b)初期(1年)至淤积130年间回水线时间间隔10年; $L_1$ ;⑥和 $L_2$ 分别是涪陵防护大堤抵顶高程和最大挡水高程(之间4m靠薄壁子埝挡水);⑦ $L_3$ 是百年一遇洪水的坝前水位(168~170m)。

图3 三峡库区最高回水线位及其与移民迁移线的相对关系

现在由于上游水库拦沙,三峡泥沙淤积会更缓慢,原来预计的80~100年情景或许在200~300年后出现。因此,防洪能力变化应该与泥沙淤积而非与年代对应。但是,一旦原预计淤积情景出现,50%以上的防洪库容将难以保留。若没有切实有效的减淤措施,三峡工程防洪功能最终将不能长期利用。

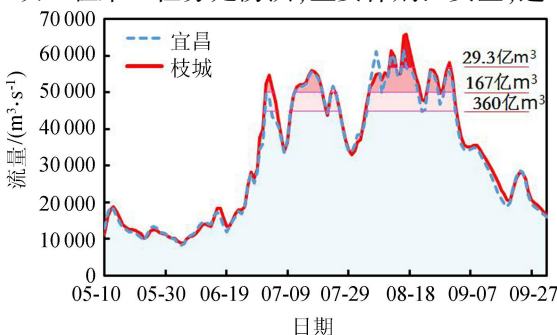
从图2可以看出,防洪库容与防洪起调流量关系很大,当补偿调节的控制枝城下泄流量降低后,三峡防洪库容更接近静库容。但是,如果将枝城最大流量降低,面临相同洪水,三峡水库需要提供的防洪库容会急剧增加(图4)。枝城控制下泄流量从 $56700\text{ m}^3/\text{s}$ 降低到 $50000\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $45000\text{ m}^3/\text{s}$ ,需要的拦洪量将从29.3亿 $\text{m}^3$ 增加到167亿 $\text{m}^3$ 和360亿 $\text{m}^3$ 。1998年全流域洪水,沿线水位长期大幅度超设计洪水位,但是,1998年上游洪水并不大,枝城最大日均流量 $65800\text{ m}^3/\text{s}$ (二十年一遇流量 $75200\text{ m}^3/\text{s}$ )。将枝城控制流量降低到 $50000\text{ m}^3/\text{s}$ (下游城陵矶等地超设计水位情景不会明显改变),三峡水库需要拦洪167亿 $\text{m}^3$ ,水库基本蓄满。可见,三峡水库只能主要用于削减洪峰、保护荆江,而对于洪量很大的长江全流域洪水而言,其防洪作用非常有限。

## 2.2 当前三峡水库防洪调度存在的问题

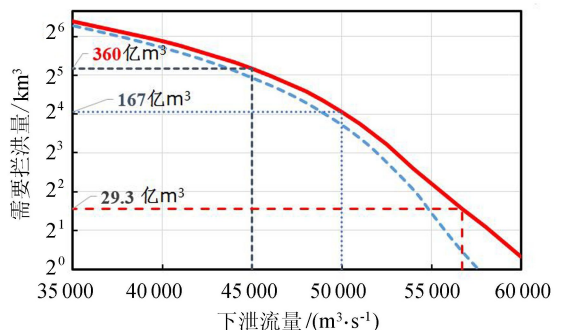
三峡工程第一任务是防洪,主要保荆江安全,这

是三峡工程的主要目标。前述分析已经表明,相对于长江中游洪水和规划要求,三峡水库的有效防洪能力已经严重偏小,因此,更应该严格执行规划确定的保荆江为主的枝城补偿调度方案。根据防洪规划,汛期(6—9月)坝前水位应控制在145m汛限水位,对百年一遇以内洪水,三峡水库通过补偿调节,控制枝城流量不超过 $56700\sim 60600\text{ m}^3/\text{s}$ ,沙市水位不超过44.5~45m。

三峡水库建成后,需要更多防洪库容的城陵矶补偿方案成了实际调度首选方案。调度要求三峡坝前水位低于155m时,水库拦洪保证城陵矶水位不超过34.4m;同时,还让三峡水库拦中小洪水<sup>[16]</sup>。2009年以来,不但没有严格执行三峡防洪规划确定的运行方案,而且连续多年在没有防洪需求情况下,每年汛期都大幅度超汛限水位运行(图5(a)),2009—2014年分别超过汛限水位7.7、15.9、8.6、17.9、10.8和17.4m。这些时候,枝城下泄流量都在 $40000\text{ m}^3/\text{s}$ 左右,沙市最高水位42m左右,远低于规划要求的泄洪能力和沙市设计洪水位44.5~45.0m(图5(b))。而且,这些年城陵矶最高水位都远低于34.4m。可见,即使按照城陵矶调度方案,三峡坝前水位频繁超过155m,实际调度也违背了相应的防洪原则。三峡调度方案<sup>[16]</sup>和实际调度都背离了工程论证所确定的调



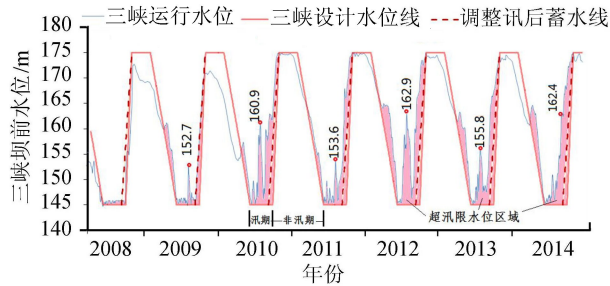
(a) 宜昌、枝城流量



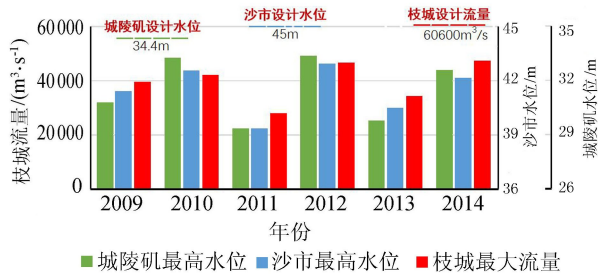
(b) 枝城控制下泄流量与三峡水库需要拦洪量关系

图4 1998年洪水宜昌、枝城流量和枝城控制下泄流量与三峡水库需要拦洪量关系

度原则,具有法定意义的防洪汛限水位完全成了摆设。防洪调度方式改变,更使得相当部分防洪库容过早消耗。过去几年,汛期连续高水位运行减少防洪库容1/3~1/2,这不但显著增加了荆江灾害风险,而且还会对下游河道行洪能力造成严重影响,将使三峡库区淹没范围和程度都加重。



(a) 三峡坝前水位与规划汛限水位比较



(b) 枝城最大流量、沙市最高水位和城陵矶最高水位与设计泄洪能力和控制水位比较

注:城陵矶设计水位为34.4m;沙市设计水位45m;枝城设计流量为60600m<sup>3</sup>/s;设计泄洪能力为60000m<sup>3</sup>/s;2009—2014年,城陵矶最高水位分别为30.82、33.28、29.38、33.38、29.8m。

图5 三峡水库2009—2014年防洪调度和运行情况

三峡水库超汛限水位运行和拦中小洪水,最直接的效益是增加发电量。2014年年入库水量基本接近设计水平,而三峡工程发电988亿kW·h,超过设计17%。考虑到三峡水库防洪能力本来已经很小,这种以增加防洪风险为代价的调度方式必须摒弃。

### 3 长江中游防洪形势变化与问题分析

长江中游防洪目标是1954年洪水。1954年分洪1023亿m<sup>3</sup>,是20世纪超额洪水最大的一次。按长江流域防洪规划<sup>[8]</sup>,1980年防洪工程实施后,中游仍有超额洪水492亿m<sup>3</sup>。在无三峡水库情况下,荆江分洪区分洪54亿m<sup>3</sup>后,城陵矶附近仍需要安排分洪320亿m<sup>3</sup>。有三峡水库后,按工程规划<sup>[7]</sup>确定的枝城调度方案,城陵矶附近仍需280亿m<sup>3</sup>蓄滞洪区,如果采用城陵矶调度方案可适当减少分洪量,但需要三峡水库增加很多拦洪量(表1),因而增加了荆江防洪风险。

可见,长江中游防洪安全必须结合蓄滞洪区使用。然而,新批准的长江流域综合规划<sup>[11]</sup>在城陵矶附近只安排了100亿m<sup>3</sup>蓄滞洪区建设。当前长江

中游蓄滞洪区规模与规划还有很大差距,而且,1998年洪水期间荆江分洪区不能使用,导致长江防洪“严防死守”,承担了巨大风险。现在,荆江和武汉等蓄滞洪区内经济发展规模和人口增加了很多,特大洪水来临时,现有蓄滞洪区的使用难度依然很大。

更重要的是,长江防洪规划主要以1954年情况为依据,而现在长江中游河道已发生很大改变。1998年洪水后,城陵矶附近螺山站同流量(60000m<sup>3</sup>/s左右)水位较1954年大幅度抬高(图6)。1998年螺山站最大流量比1954年小11000m<sup>3</sup>/s,但城陵矶水位比1954年高1.84m。长江水利委员会根据螺山站单一的1980—1999年水位流量关系包络线,将城陵矶设计水位34.4m下城陵矶—汉口河段泄洪能力由65000m<sup>3</sup>/s调整为61500m<sup>3</sup>/s后,无三峡工程方案城陵矶附近分洪量已由表1中的320亿m<sup>3</sup>上升到480亿m<sup>3</sup>(汉口附近降低为16亿m<sup>3</sup>)<sup>[12]</sup>。文献<sup>[13]</sup>采用1954年洪水和1998年中游河道情况进行数学模型模拟,按《长江流域防洪规划》确定的沙市至湖口设计水位不变,计算结果显示,由于河道泄洪能力降低,按枝城和城陵矶防洪方案调度后,城陵矶附近分洪量分别达到465亿m<sup>3</sup>和385亿m<sup>3</sup>。即使用分洪量最小的调度方案,城陵矶附近需要的分洪量也远超过原来规划确定的无三峡工程需要的分洪量。现在,城陵矶以下河道已经变化,使河道泄洪能力显著降低,城陵矶附近分洪量急剧增加。

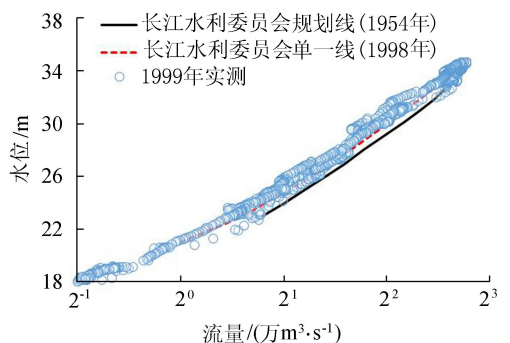


图6 1999年洞庭湖出口螺山站水位流量关系与规划线(1954年)和单一线(1998年)比较

另一方面,荆江松滋等三口分洪也发生了很大变化。1998年和1954年洪水比较,进入荆江枝城断面的最大流量分别68800m<sup>3</sup>/s和71900m<sup>3</sup>/s,而下荆江监利断面最大流量分别是46300m<sup>3</sup>/s和35600m<sup>3</sup>/s。1998年荆江洪水小于1954年,而下荆江洪水流量反而超过后者10700m<sup>3</sup>/s。同时,1998年下荆江同流量洪水位也抬高。监利设计泄洪能力42000m<sup>3</sup>/s左右的最高水位已经比1954年实测最高水位高1.73m,比当地堤防设计水位高出0.88m。因此,即使现在再遇1954年洪水,但荆江洪水流量

更大、城陵矶高洪水顶托更加严重,荆江防洪形势也更趋紧张。文献[13]按目前河道情况,给出了几种分洪规模条件下各站最高洪水位(表2)。即使是按需要三峡水库拦洪最多的城陵矶方案调度(三峡水库拦洪181.6亿 $m^3$ 、最高坝前水位172m),监利、城陵矶和汉口超过设计洪水位的幅度都很大。若城陵矶附近只有目前100亿 $m^3$ 蓄滞洪区,监利、城陵矶和汉口将分别超过设计洪水位1.37m、2.19m和1.72m。即使按320亿 $m^3$ 蓄滞洪区规模,监利和城陵矶超高水位幅度仍然很大。在城陵矶高洪水顶托和下荆江洪水流量增加的双重压力下,三峡水库能发挥的控制作用十分有限。城陵矶洪水位比1954年抬高,对荆江和洞庭湖防洪都有严重的影响。再遇1954年洪水,荆江也存在很大风险,这是

原来没有预料到的。

表2 按城陵矶方案调度1954年洪水各站最高水位、城陵矶和汉口分洪规模

城陵矶分洪量/亿 $m^3$	汉口分洪量/亿 $m^3$	监利		莲花		汉口	
		最高水位/m	设计水位/m	最高水位/m	设计水位/m	最高水位/m	设计水位/m
100	68	38.65		36.59		31.45	
218	68	38.36	37.28	36.07	34.4	30.73	29.73
280	55	38.16		35.79		29.73	
320	24	37.92		35.36		29.73	

2003年三峡水库蓄水以来,长江中游整体上发生了较大规模冲刷,2002年10月至2014年10月,宜昌-湖口之间干流河道共计冲刷15.4亿 $m^3$ ,荆江河道平均降低2.11m。根据实测水位、流量资料 and 比水位流量关系法<sup>[17]</sup>,图7给出了最近10余年冲

— 水位-流量曲线(2003年) - - 水位-流量曲线(2012年) - - - 水位-流量曲线(2014年)  
 ○ 2003年实测值 ◇ 2012年实测值 + 2014年实测值

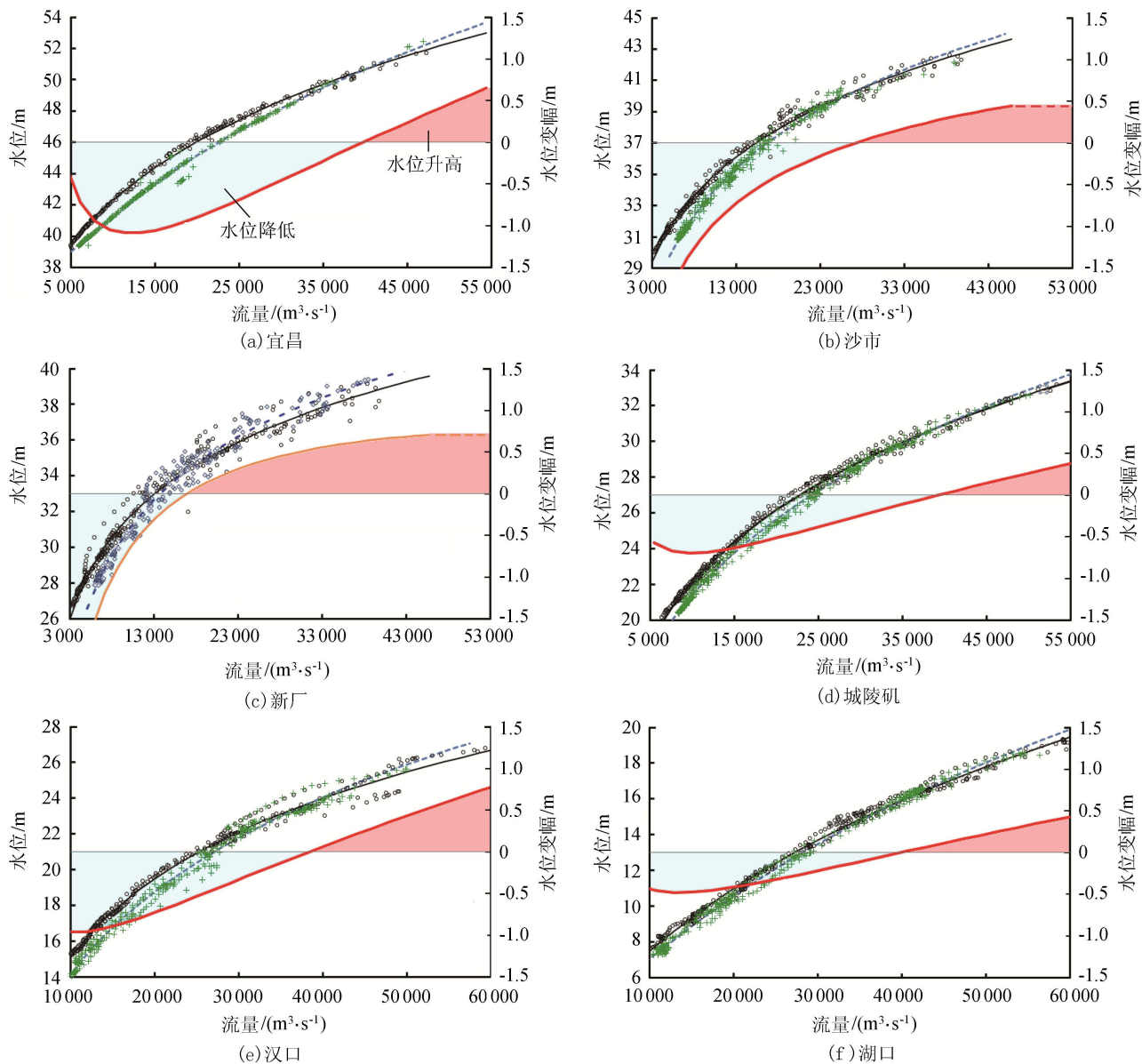


图7 三峡水库蓄水后长江中游各站的水位、流量关系比较及水位变幅分析

刷后中游各站单一水位流量关系的变化情况。总体趋势是,中小流量期间水位降低幅度较大,但是,河道清水冲刷下切并没有降低大流量期间的水位(甚至有一定程度抬高)。清水冲刷和水位降低对洞庭湖、鄱阳湖及河道生态环境影响较大,同时洪水位抬高对防洪不利。造成当前洪水位反常现象的主要原因是,三峡工程正常运行以来,长期偏离了规划确定的防荆江大洪水为主的原则,拦蓄中小洪水使荆江泄洪流量长期低于设计泄洪能力,河道运行的最高水位偏低(图3)。对河道行洪能力极为重要的河滩以上泄洪断面长期得不到洪水塑造,阻力增加,泄洪能力萎缩。虽然清水冲刷对高洪水位影响还在变化过程中,但可以肯定的是,1998年洪水后清水冲刷与河道变化没有改变长江中游防洪格局,三峡工程运行以来长江中游河道的行洪能力没有得到改善。

当前三峡水库拦中小洪水给长江中游防洪带来更多新问题。通过三峡水库调节把原本通过滩地下泄的洪水都约束到主槽中,河流造床流量持续的机会和时间增加会加剧河槽冲刷;由于河槽冲刷不均匀,局部冲刷剧烈(如荆江门等地2014年实测最大冲深已超过20m),会加剧崩岸,近年堤前滩地崩岸增多对堤防安全是很大的威胁;由于实际洪水流量长期大幅度小于河道设计行洪能力,较高堤身部位长期得不到洪水检验,隐患难以即时排查,真正过设计流量洪水时,堤身出现管涌等风险机会增加;汛期较高水位行洪时段显著加长,堤身长期浸泡也会降低高洪水期间堤防强度。更值得重视的是,如果长期没有较大洪水,防洪设施占用情况增加,沿岸群众防洪意识和防洪能力也会降低,而对三峡等工程防洪的期待程度将越来越高。长江中游防洪能力严重不足,一旦大洪水来临,局面将非常被动。

三峡水库拦蓄中小洪水后,一旦遭遇特大洪水,有效防洪能力必然进一步降低。除前面指出的不利因素外,库区地质灾害也构成严重制约。考虑到库区地质灾害和库岸稳定的限制,水库调度规程<sup>[18]</sup>要求防洪期间库区最大的水位日降不超过2m(这一幅度显著低于论证期间调洪计算采用的幅度)。当前汛期三峡库区航运也非常繁忙,防洪期间三峡大坝与葛洲坝两坝间大量船舶也会严重限制三峡水库的防洪调度。同时,在实际调度中,三峡泄洪和腾空库容时必须考虑荆江以外堤防的安全(这在规划中没有考虑)。长江多呈多峰洪水,在上述复杂和严格的条件限制下,三峡水库防洪库容重复利用难度很大,汛期防洪库容一旦被占据就很难即时腾出。

必须指出,三峡工程为长江黄金水道建设提供了重要前提条件,但是,原来三峡工程规划确定的通

航保证率很低(规划万吨船队直达重庆保证率只有50%,汛期保证率很低),由于船舶动力条件改善,现在限制没有那么严格了。三峡水库蓄水以来,长江航运增加速率超过三峡水道规划,汛期大量船只和防洪之间的矛盾在黄金水道规划中必须高度重视,否则,今后三峡水库防洪调度的限制条件还会更加苛刻。

## 4 对策建议

长江是世界大河中最繁荣的流域,同时荆江也是罕见的地上悬河。中游冲积平原一直洪水灾害严重,三峡建成使荆江防洪能力提高、防洪形势得到一定程度改善。但是,由于三峡水库的防洪能力极其有限;长期河道淤积抬高了河道同流量水位、下荆江洪水流量增加;中游蓄滞洪区规模偏小,已有分蓄洪区使用困难;三峡水库运行以来,长期超汛限水位运行使水库防洪库容进一步减小,下游河道行洪能力萎缩,清水冲刷还进一步增加了下荆江防洪压力;三峡库区地质灾害和汛期通航大幅度增加等因素也进一步限制了水库防洪调度、降低了防洪能力。在全球气候变化等更大不确定性因素影响下,三峡工程建成后长江中游防洪安全仍然需要切实的对策并加以改进,建议:

a. 切实维护三峡工程规划确定目标和防洪调度方式,严格控制汛限水位,积极优化调度以增加防洪能力。三峡水库防洪库容相对较小,只能用来消减荆江洪峰、保荆江安全和相应减少城陵矶附近洪水分洪量。三峡工程发挥好作用的关键是严格控制汛限水位。《中华人民共和国防洪法》规定“水库应该按照防洪规划的要求留足防洪库容”、“在汛期水库不得擅自在汛限水位以上蓄水”,全国人民代表大会批准的三峡建设方案具有法律效应。当前,三峡水库超汛限水位运行和拦蓄中小洪水等做法违背了三峡工程建设目标,必须彻底摒弃。同时,考虑到三峡水库有效防洪能力小于设计能力,应积极采取优化调度措施,提高防洪能力。一个直接和有效的方式是充分利用入库洪水有效预见期和三峡水库的灵敏性预泄洪水(工程设计保证最低可降到135m),增加防洪库容,利用下游河道提前泄洪(即“双汛限”和“多汛限”等动态汛限水位调度方案<sup>[19-20]</sup>)。预泄还可人造安全洪水,有序塑造下游河道,防止防洪能力萎缩,同时还可减少水库泥沙淤积,改善库区和下游河湖生态环境,增加三峡工程发电效益<sup>[21]</sup>。

b. 尽快完成三峡工程规划要求的城陵矶附近蓄滞洪区建设,采取措施保证蓄滞洪区分洪并兼顾发展。近年的变化使城陵矶附近分洪量增加幅度很大,是长江中游防洪的重点。建议尽快安排不低于



三峡工程论证要求的城陵矶附近 280 亿  $m^3$  蓄滞洪区规模建设,适当提高城陵矶设计洪水位、降低荆江分洪区启用标准,以最大限度利用荆江和武汉附近分蓄洪区。同时,国家必须采取措施保障蓄滞洪区建设和正常使用。分蓄洪区的建设和运用受人口压力的制约严重,要达到上述目标,发展、人口与防洪安全之间的矛盾必须首先得到解决。建议改革蓄滞洪区农业发展方式,走现代农业和灾害风险分担之路<sup>[22]</sup>,这也是实现这些区域全面小康的要求。

c. 改变和优化金沙江下游 4 大梯级水库汛期的运行方式<sup>[23-24]</sup>。金沙江乌东德、白鹤滩、溪洛渡和向家坝 4 大梯级水库已经或将陆续建成,目前设计防洪库容 145 亿  $m^3$ ,是长江防洪体系组成部分。但是,这些水库与中游防洪区和上游暴雨中心相距较远,设计汛限水位高于死水位(白鹤滩和乌东德都高 20 m),防汛期与汛期后长江水库蓄水矛盾很大,泥沙淤积比较严重。为了更好发挥这 4 大水库对长江中游的防洪作用,建议将其 6 月至 7 月下旬(长江主汛期)汛限水位降低到死水位(增加防洪库容 58.6 亿  $m^3$ ),增加的防洪库容主要用于帮助三峡水库防洪期间降低洪水基流;根据长江汛情,到 7 月下旬或 8 月初提前蓄水(只留宜宾防洪库容)、在蓄水过程中发挥防洪作用。这样不但可以更大降低长江中游防洪压力,也可缓解长江水库群汛后蓄水矛盾和长江中下游水量减少问题,同时也利于这些水库泥沙淤积减少和长期利用。

d. 加强三峡库区岸坡治理,提高水库防洪调度的灵活性。水库蓄水后,库岸边坡稳定条件改变,存在调整和适应过程,发生一些滑坡难以避免。三峡水库蓄水以来,库区确实发生了较多滑坡,必须引起高度重视。当前《三峡—葛洲坝梯级水利枢纽调度规程》<sup>[18]</sup>要求限制水库防洪期间的水位降幅 2 m/d 十分必要。然而,长江很容易出现连续多峰的大洪水过程,不能因为边坡稳定的限制条件而严重降低防洪库容的重复利用,以致影响三峡工程发挥既定的防洪作用。建议加强三峡库区岸坡治理,特别是要通过增加排水条件尽快加固一些重要滑坡体,以提高库岸岩体对水位变化的适应能力。必须争取达到 3 m/d 或更大的水位变率,以满足三峡水库防洪调度必要的灵活性要求。

e. 采取积极措施维护长江中游江湖关系稳定。从更长远看,由于上游大量水库拦截泥沙,当前中游河道的清水冲刷过程可能持续 200 ~ 300 年以上。大幅度河道冲刷对当前中游的江湖关系、洪水蓄泄能力和堤防安全都会造成很大影响,严重时甚至改变江湖格局,这是现代社会难以适应的变化。如,若

荆江和城陵矶河段持续冲刷下去(由于河床下软弱覆盖层很厚,大幅度冲刷的可能性存在),江湖关系改变将加速洞庭湖萎缩,使其防洪作用减小。因此,必须采取措施维护江湖格局相对稳定,关键是保证荆江河道不能发生剧烈冲刷。为此,建议通过在水库挖粗沙等方式来修复长江泥沙通量<sup>[25]</sup>和“引清水入洞庭”<sup>[26]</sup>,从根本上降低荆江冲刷能量。同时,在三峡水库控制之下更多让中游河道过安全洪水,也是减少河槽冲刷的途径。

谨以此文深切怀念林秉南先生。

## 参考文献:

- [ 1 ] SUN Dezheng, BRYAN F. A brief introduction to El Niño and La Niña [ C ] // Climate dynamics: why does climate vary? San Francisco: American Geophysical Union, 2013: 53-64.
- [ 2 ] Climate Prediction Center/NCEP/NWS, the International Research Institute for Climate and Society. El Niño/southern oscillation ( ENSO ) diagnostic discussion [ R ]. Silver Spring: Climate Prediction Center/NCEP/NWS, the International Research Institute for Climate and Society, 2016.
- [ 3 ] BLAKE M. El Niño storm pummels California coast, floods streets [ EB/OL ]. [ 2016-01-07 ]. <http://www.cbsnews.com/news/el-nino-storm-pummels-california-coast-floods-streets/>.
- [ 4 ] Latin America, Caribbean. Flooding ' worst in 50 years ', as 150,000 flee in Paraguay, Argentina, Brazil and Uruguay [ EB/OL ]. [ 2015-12-27 ] <http://www.bbc.com/news/world-latin-america-35184793>.
- [ 5 ] UN Office, the Coordination of Humanitarian Affairs. Asia-Pacific Region: El Niño snapshot ( as of January 2016 ) [ EB/OL ]. [ 2016-01-08 ]. <http://js.static.reliefweb.int/report/world/asia-pacific-region-el-ni-o-snapshot-january-2016>.
- [ 6 ] Intergovernmental Panel on Climate Change ( IPCC ). The physical science basis ( IPCC WGI AR4 ) [ R ]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [ 7 ] 水利部长江水利委员会. 综合利用规划 [ C ] // 长江三峡水利枢纽初步设计报告: 枢纽工程. 武汉: 水利部长江水利委员会, 1992.
- [ 8 ] 周建军, 林秉南, 张仁. 论三峡水库的防洪库容 [ R ]. 北京: 清华大学, 1998.
- [ 9 ] 周凤琴. 云梦泽与荆江三角洲的历史变迁 [ J ]. 湖泊科学, 1994, 6 ( 1 ): 22-32. ( ZHOU Fenqing. Historical evolution of the Yumeng Lake and Jingjiang delta [ J ]. Journal of Lake Sciences, 1994, 6 ( 1 ): 22-32. ( in Chinese ) )
- [ 10 ] 唐日长. 长江中游荆江变迁研究 [ M ]. 北京: 中国水利

水电出版社,1999.

[11] 水利部长江水利委员会. 长江流域综合规划[R]. 武汉:水利部长江水利委员会,2010.

[12] 水利部长江水利委员会. 长江流域防洪规划简要报告[R]. 武汉:水利部长江水利委员会,2003.

[13] 周建军. 三峡工程建成后长江中游的防洪形势和解决方案(1)[J]. 科技导报,2010,28(22): 60-68. (ZHOU Jianjun. Situation of the mid-Yangtze flood after the commencement of the Three Gorges Project and the countermeasures (I) [J]. Science and Technology Review,2010,28(22): 60-68. (in Chinese))

[14] 黄煜龄. 三峡工程水库泥沙淤积计算综合分析报告[R]. 北京:水利电力部科学技术司,1988.

[15] 韩其为. 三峡工程水库不同方案悬移质淤积计算分析[R]. 北京:水利电力部科学技术司,1988.

[16] 国家防汛抗旱总指挥部. 长江洪水调度方案[EB/OL]. [2012-03-30]. <http://zgxcw.org.cn/html/xiangcunguanli/shuilidianli/20120330/1281308.html>.

[17] PINTER N, PLOEG RRVD, SCHWEIGERT P, et al. Flood magnification on the River Rhine [J]. Hydrological Processes,2006,20(20):147-164.

[18] 中国长江三峡集团公司委托长江勘测规划设计研究院. 三峡(正常运行期):葛洲坝水利枢纽梯级调度规程[EB/OL]. [2015-09-30] <http://max.book118.com/html/2016/0228/36246567.shtm>.

[19] 周建军,林秉南,张仁. 三峡水库减淤增容调度方式研究:双汛限水位调度方案[J]. 水利学报,2000,31(10): 1-12. (ZHOU Jianjun, LIN Binnan, ZHANG Ren. An optimized operation scheme for reducing deposition and enhancing flood control capacity of the Three Gorges Project Reservoir [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000,31(10):1-12. (in Chinese))

[20] 周建军,林秉南,张仁. 三峡水库减淤增容调度方式研究:多汛限水位调度方案[J]. 水利学报,2002,33(3): 12-19. (ZHOU Jianjun, LIN Binnan, ZHANG Ren. Optimized operation scheme for deposition reduction and enhancement flood control capacity of the Three Gorges Project Reservoir [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002,33(3):12-19. (in Chinese))

[21] 周建军. 三峡工程含生态环境目标的综合优化调度研究[R]. 北京:清华大学,2009.

[22] 周建军. 关注滩区等特殊“三农”问题[J]. 北京观察,2004(7): 30-31. (ZHOU Jianjun Attention on three special areas of 3-rural-issues [J]. Beijing Observation, 2004(7): 30-31. (in Chinese))

[23] 周建军,曹广晶. 对长江上游水资源工程建设的研究与建议(1)[J]. 科技导报,2009,27(9):48-56. (ZHOU Jianjun, CAO Guangjin. Strategies of water project development in the upstream of the Yangtze Valley (I) [J]. Science and Technology Review,2009,27(9):48-56. (in Chinese))

[24] 周建军,曹广晶. 对长江上游水资源工程建设的研究与建议(II)[J]. 科技导报,2009,27(10): 43-51. (ZHOU Jianjun, CAO Guangjin. Strategies of water project development in the upstream of the Yangtze Valley (II) [J]. Science and Technology Review,2009,27(10):43-51. (in Chinese))

[25] 周建军,张曼. 大坝下游冲积河流修复与保护对策研究[J]. 长江科学院院报,2014,31(6):113-122. (ZHOU Jianjun, ZHANG Man. On the restoration strategies of alluvial rivers downstream of dams [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2014,31(6):113-122. (in Chinese))

[26] 林秉南,周建军. 利用三峡枢纽下泄“清水”改善洞庭湖和荆江的防洪局面[J]. 中国三峡建设,2003,10(12):4-6. (LIN Binnan, ZHOU Jianjun. Improving the flood situation of Dongting Lake and Jingjiang reach by taking more clean water from the Yangtze [J]. China Three Gorges Construction, 2003,10(12):4-6. (in Chinese))

(收稿日期:2016-06-03 编辑:彭桃英)

## 编委风采

陈建生博士, 河海大学二级教授, 长期从事地下水科学研究, 成绩显著, 发表论文 300 余篇, 主持基金项目 60 多项, 获得国家科技进步奖 3 项, 其中 2 项为主持; 1990 年获得江苏省“有突出贡献的中青年专家”、第二届“中国青年科技奖”, 1993 年和 1999 年 2 次获得国务院“政府特殊津贴”, 1996 年获国家级“有突出贡献的中青年专家”称号, 1998 年成为江苏省“333 人才工程”第一层次培养对象, 1999 年成为国家“百千万工程”第一、二层次培养对象。2004 年 11 月, 陈建生教授在英国《自然》(NATURE) 杂志上发表论文《地下水维系沙丘景观》, 指出地下水存在跨流域的深循环形式。根据地下水深循环理论, 陈建生教授 2014 年帮助阿拉善右旗在沙漠边缘找到了优质的饮用水, 镉含量超过矿泉水标准。陈建生教授担任《水资源保护》编委以来, 认真履行编委职责, 帮助评审相关领域的稿件, 并积极投稿, 他关于地下水深循环理论与实践方面的中文论文主要发表在《水资源保护》上。

