

三峡工程建成后长江中游的防洪形势和解决方案(I)

周建军

清华大学水利系;水沙科学与水利水电工程国家重点实验室,北京 100084

摘要 三峡工程建设的目标是保证荆江防洪安全。几十年来长江中游河道泄洪和湖泊调蓄能力发生较大变化,关键控制点城陵矶洪水位抬高,使得洞庭湖和城陵矶附近防洪形势更加严峻,对三峡水库控制下的下荆江也构成较大威胁。本文依据三峡梯级和长江上游水库群数学模型、长江中游河网水动力学模型仿真模拟了当前条件下的 1998、1954 年全流域洪水。结果表明,1954 年全流域洪水长江中游需要分洪量显著增加,当前建设和规划建设的分蓄洪区规模偏小,城陵矶高洪水位壅高下荆江水位、监利等地洪水位超出堤防设计水位,三峡水库全面拦洪条件下的长江中游防洪形势仍十分严峻。下荆江在 1954 年洪水条件下存在较大危险,应引起高度重视。

关键词 防洪;安全;长江中游;三峡工程;数学模型

中图分类号 TV8

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)22-0060-09

Situation of the Mid-Yangtze Flood after the Commencement of the Three Gorges Project and the Countermeasures (I)

ZHOU Jianjun

State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract One of the aims of the Three Gorges Project (TGP) is to protect the inherent dangerous reach of Jingjiang in the mid-Yangtze. With TGP, the Flood Control Planning for Yangtze River recently approved by the central government in 2008 is to ensure the safety of the mid-Yangtze under the flood like 1954. To meet this goal, a scale of $100 \times 10^8 \text{m}^3$ Flood Diversion Area (FDA) was initiated and further up to $218 \times 10^8 \text{m}^3$ FDA was planned after the commencement of TGP. However, as the mid-Yangtze capacity in discharging and regulating floods has been seriously lowered in the past decades owing to sedimentation and other reasons, the flood stage at Chenglingji at the confluence of the Yangtze and Dongting Lake was evidently run up, which will not only seriously impact the floods in Dongting Lake but also endanger the safety of the Lower Jingjiang. In the present paper, hydrodynamic models for the cascade reservoirs including TGP and for the complicated river-net of the mid-Yangtze were applied to simulate the floods like 1998 and 1954 under the present mid-Yangtze river conditions with the control of TGP. Computational result indicates that the planned FDA is too small and flood stages along most parts of the mid-Yangtze and Dongting Lake are far above the designed levels. Moreover, backwater of the high stage at Chenglingji will also run up the stage of the Lower Jingjiang far above its designed levels. This is an unexpected situation after TGP and close attentions for it are called for.

Keywords flood control; safety; mid-Yangtze; Three Gorges Project; numerical modeling

0 引言

长期的河流治理已使长江中下游防洪能力有了较大提高。三峡工程建设是长江流域综合治理和防洪建设取得的伟

大成就。

三峡工程的首要任务是防洪。根据初步设计,三峡建成后长江中游防洪能力将有很大提高。三峡水库具有 221.5亿m^3

收稿日期:2010-08-03;修回日期:2010-11-04

基金项目:水沙科学与水利水电工程国家重点实验室自主研究课题项目(2008-ZY-4)

作者简介:周建军,教授,研究方向为水力学及河流动力学,电子邮箱:zhoujj@mail.tsinghua.edu.cn

防洪库容,保障荆江安全、减小中下游防洪压力是三峡工程的主要建设目标。三峡工程将从根本上改变荆江的防洪形势,使百年一遇及以下洪水下沙市水位不超过 44.5m,荆江不分洪;千年一遇或类似 1870 年洪水,枝城下泄流量不超过 80000m³/s,配合荆江蓄滞洪区使沙市水位不超过 45.0m,保证荆江安全。同时,对全流域洪水进行补偿调节,减少中游平原湖区分蓄洪量,降低城陵矶附近防洪压力,一般年份可基本不分洪,遇 1931、1935、1998 和 1954 年大洪水可减少分洪和土地淹没。由于荆江安全和城陵矶控制能力提高,武汉地区防洪安全也可得到提高。国务院 2008 年批复的《长江流域防洪规划》(简称《长防规》)^[1]再次明确要求力争 2015 年荆江防洪标准达到遭遇百年一遇,类似 1870 年特大洪水时,两岸主要防洪大堤不溃决,城陵矶以下能防御 1954 年洪水。然而,近年长江中游的河流状态并没有向更有利的方向发展。由于洞庭湖萎缩、城陵矶附近河道淤积、水位抬高和泄流能力降低,长江中游防洪压力仍在增加。根据《长防规》,按 1980—1999 年各年螺山流量与水位单一包络线计算,无三峡情况下 1954 年洪水城陵矶附近分洪量将从 320 亿 m³^[2]增加至 480 亿 m³。三峡规划设计以来,中游河道发生了较大变化,1998 年洪水期间螺山和城陵矶同流量洪水水位较 1954 年大幅度抬高。而且,规划采用平均的单一螺山水位流量关系^[3],难以完全反映城陵矶附近真实情况。考虑到三峡主要是保证荆江安全,水库拦蓄不同类型洪水能力差异很大^[4],过多照顾城陵矶附近防洪的调度方式对库区防洪和移民影响较大,对水库淤积控制不利。城陵矶附近在建重点分蓄洪规模比三峡设计调度方式要求小很多。虽然三峡蓄水以来长江中下游整体上发生了较大规模的冲刷,但决定中游防洪形势最关键的城陵矶河段仍然淤积,城陵矶洪水水位并未降低,且严重抬高下荆江洪水水位,影响荆江安全。三峡建成后,包括下荆江在内长江中游防洪形势仍十分严峻。

本文基于三峡梯级水库与长江中游不恒定水动力学模型,对三峡建成前后长江中游发生 1998、1954 年洪水进行仿真模拟和分析研究,对客观评价长江中游防洪形势、合理使

用三峡工程有一定参考作用;针对存在的问题,系统研究了提高长江中游防洪能力的措施,为三峡防洪提供参考。

1 数学模型

研究采用笔者和三峡梯调中心、中国科学院成都山地所等合作研制的长江上游水库群与三峡梯级水库调度模拟系统^[5]和以三峡为中心的长江中游河网不恒定水动力学模型^[6],模型覆盖范围如图 1 所示。前者基于三峡梯级实时水情和泥沙数据库,含三峡区间短中期水文预报、三峡和葛洲坝梯级水库不恒定水动力学和泥沙模型、上游干支流大型水库群调度模拟等,可给出三峡单独影响和上游水库共同影响,反映三峡等水库的长中短期洪水调度模拟结果,2005 年以来逐步在三峡梯调中心使用和完善。后者是长江中游径流与洪水模拟系统,其模拟空间范围与河网结构如图 2 所示,从宜昌至湖口,含荆江松滋等三口分流、洞庭四水及湖区河网、汉江下游及长江沿岸分蓄洪区,包括干支流、湖区 1107 个断面以及河网、湖泊、分蓄洪区及闸口耦合连接;模型主要进口是宜昌、洞庭湖四水、汉江和鄱阳湖来流等,同时还包括清江、陆水等众多小支流来流。长江中游模型干流河道采用 1998—1999 年汛后实测断面,荆江三口河道等是 1998—2005 年实测断面,南洞庭湖区用 1995 年实测高程资料及湖区 2002 年实测断面,洞庭四水及鄱阳湖区地形采用 Google Earth 数据近似,汉江下游是概化断面资料。两模型在宜昌衔接,可模拟天然和三峡等水库控制下的长江中游的洪水过程。

梯级水库模型运用三峡初步蓄水以来实际资料进行了检验^[5-8]。中游模型计算与检验资料包括所有入长系列流量(1991—2007 年)及多站同步水位、流量过程;1954 年水文资料还包括朱沱、北碚和武隆以下三峡区间流量^[9]和当年 5 月 1 日起连续 184d 中游所有大小河流逐日流量资料。用 1991—1994 年同步水位、流量资料对河道糙率系数等进行率定,用 1998 年以后全过程实测水位流量资料检验。图 3、图 4 为中游计算与实测资料对比。多方面检验表明模型系统计算三峡调度和中游防洪情景具有基本的可信度。

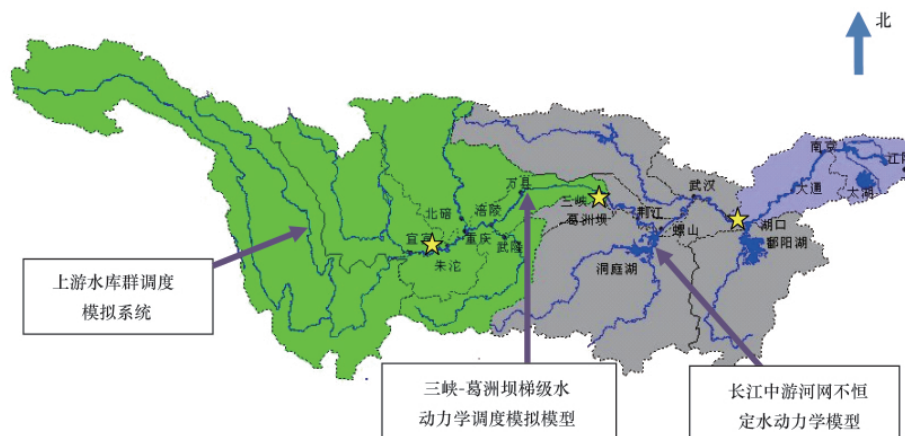


图 1 研究依据的数学模型系统及其覆盖空间范围

Fig. 1 Scopes of areas covered by the models used in this paper



图 2 长江中游不恒定水动力学模型范围及边界示意

Fig. 2 Sketch of the hydrodynamic model for river-net in the mid-Yangtze

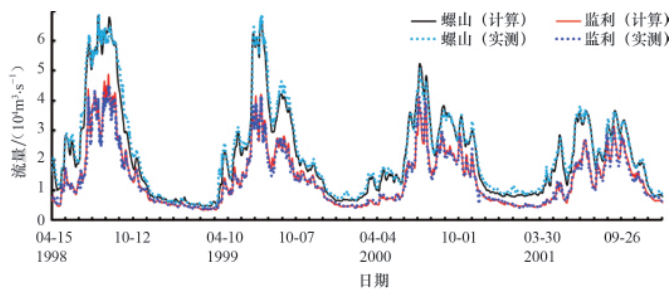


图 3 数学模型计算的监利、螺山断面流量过程及其与实测资料比较

Fig. 3 Comparison of predicted discharge against measured data during 1998—2001

注:1998年8月计算与实测流量偏差、1999年螺山洪峰偏小是因为未计荆江溃口分洪和洞庭湖区间降雨。

Note: The large errors of flood peaks in 1998 and 1999 were due to the ignorance of dike breach in 1998 and rainfall in Dongting Lake in 1999.

2 城陵矶附近防洪形势分析

长江中游的防洪目标是1954年洪水。三峡初步设计^[2]确定水库以补偿调节荆江洪水为设计防洪调度方式(枝城调度方案)。按此方案调节1954年洪水,三峡水库拦洪94.7亿 m^3 、最高坝前水位160.6m便可以控制枝城下泄流量不大于 $56700m^3/s$ 、使荆江沙市、石首、监利和城陵矶(莲花塘)不超过堤防设计水位45.0,40.38,37.28和34.4m。考虑到枝城调度对1954年型洪水中游发挥作用较小,长江委员会还研究了三峡同时对荆江和城陵矶洪水补偿的调节方式(城陵矶调度方案)^[2]:三峡先用100亿 m^3 防洪库容控制荆江和城陵矶洪水,然后分别用85.5亿和36亿 m^3 库容补偿调节荆江洪水和特大洪水。考虑到会加大荆江防洪风险、增加水库淤积和库区淹没等,城陵矶调度没有作为设计方案。1954年洪水(表1)枝城调度城陵矶附近需分洪280亿 m^3 ,即使城陵矶调度也需要分洪218亿 m^3 。三峡建成后还需要大量分蓄洪区配合才能保证长江中游1954年防洪安全。

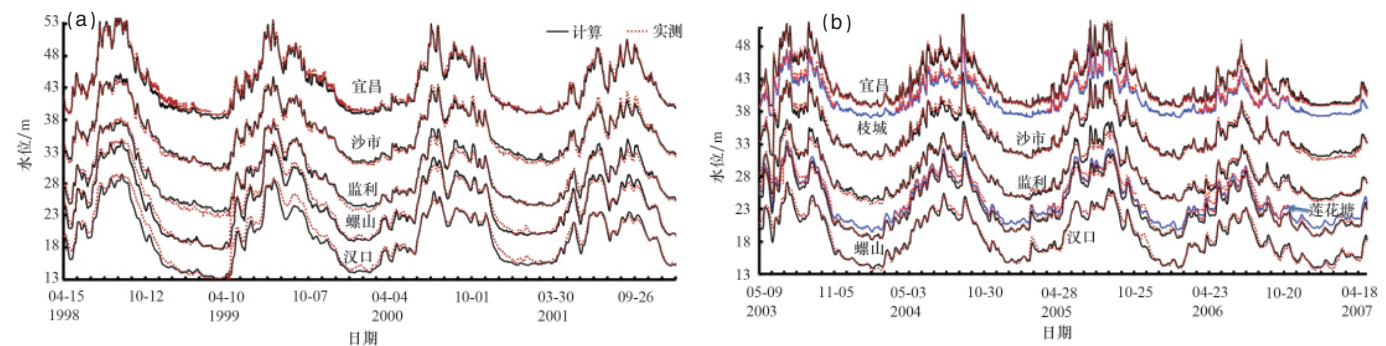


图 4 数学模型计算的干流主要水位站水位与实测资料比较

Fig. 4 Comparison of predicted stages at all mid-Yangtze stations against what obtained during 1998—2007

注:因17年长江中游冲淤变化等不同步反映,故一些断面计算与实测水位相对偏差前后不一。

Note: The inconsistency of stage error between computed and observed from earlier to later is because the river erosion and deposition are ignored.

表 1 三峡工程初步设计各方案调节 1954 年洪水结果
Table 1 Regulating result of 1954 flood provided by TGP design

方案	三峡拦洪量/10 ⁸ m ³	三峡最高水位/m	长江中游分洪量/10 ⁸ m ³			
			沙市	城陵矶	汉口	湖口
无三峡	—	—	54	320	68	50
枝城调度	94.7	160.6	0	280	68	50
城陵矶调度	183.3	171.1	0	218	68	50

《长防规》曾认为城陵矶附近安排分蓄洪区 320 亿 m³ 方案,然而 2008 年正式批准的《长防规》城陵矶附近只安排了 100 亿 m³ 重点分蓄洪区建设,规划城陵矶附近分蓄洪区规模只有 218 亿 m³,比三峡设计防洪调度要求的规模小很多。如果再发生 1954 年洪水,三峡按城陵矶调度全面拦洪,中游防洪形势仍然紧张。更严重的是近年城陵矶等处同流量水位比 1954 年已有很大抬高。1998 年螺山水位流量资料得到的平均单一水位流量关系已比规划依据水位高(图 5)。流量 55000~65000m³/s 范围的螺山水位抬高了 0.64~0.85m。根据螺山单一的 1980—1999 年水位流量关系上包络线,长江委^[1]将城陵矶 34.4m 水位的泄洪能力由 65000m³/s 调整为 61500m³/s,使表 1 中无三峡情况下城陵矶附近分洪量 320 亿 m³ 增加到 480 亿 m³。考虑到绳套水位流量关系受洪水涨落影响,1998、1999 年实际的 55000~65000m³/s 流量水位还要高出 0.8~1.2m。在洪水过程中,绳套水位流量关系不是随机原因造成的,它是河道和上下游洪水相互作用所决定的固有特性。用通常的消除随机因素影响方法、采用平均单一情况^[3]所确定的河道泄洪能力必然偏大。图 5 给出了模型计算的天然条件下螺山水位流量关系,其绳套关系特征得到较好的模拟。由于采用了 1998 和 1999 年汛后实测断面,计算的 1998 年绳套曲线较 1998 年实测偏低,更接近 1999 年情况,这是合理的结果。由于计算水位偏低,实际防洪形势将比模型预报情况更严重。

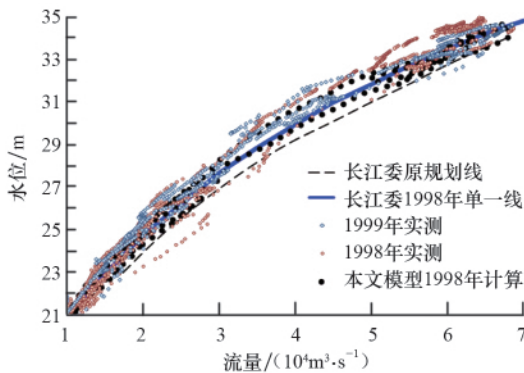


图 5 长江螺山断面 1998 和 1999 年等水位流量关系曲线与规划设计资料比较

Fig. 5 Stage-discharge loops measured at Luoshan Station in 1998, 1999 and that adopted by TGP design

实测资料(图 6)表明,1998 年下荆江洪水水位也明显超高,同流量水位抬高严重。在设计泄洪能力(42000m³/s)范围内,

监利最高水位比堤防设计水位高 0.88m,比 1954 年实测最高水位高 1.73m。一方面是因为荆江三(四)口分流锐减、下荆江洪峰流量大幅度增加。1998 年洪水荆江入口断面枝城最大流量(68800m³/s)比 1954 年小 3100m³/s,而下荆江监利断面流量(46300m³/s)比 1954 年大 9800m³/s。另一方面是受抬高的城陵矶洪水顶托。1998 年螺山流量比 1954 年(78800m³/s)小 11000m³/s,而城陵矶(莲花塘)最高水位比 1954 年高 1.84m。三峡将长期下泄清水冲刷,使三口分流减少,下荆江洪峰流量还会增大。

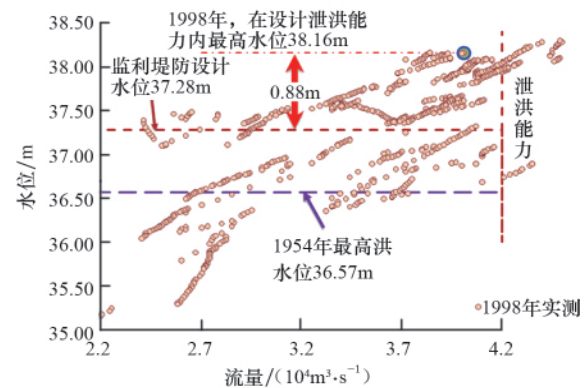


图 6 长江监利断面 1998 年水位流量关系及与设计条件的比较

Fig. 6 Comparison of stage-discharge relation at Jianli Station in 1998 and the design levels

三峡蓄水以来,下泄泥沙大量减少,使得中下游河道发生了大规模冲刷。然而,决定长江中游防洪形势最关键的城陵矶附近河段没有冲刷。2002 年 10 月至 2008 年 10 月长江中游共冲刷 6.41 亿 m³,其中荆江河段(宜昌—城陵矶)冲刷 4.67 亿 m³。2003 年 10 月至 2008 年 10 月城陵矶—汉口段虽总体微冲 990 万 m³,但城陵矶—嘉鱼 110km 河段反而淤积 0.66 亿 m³,河床平均淤积抬高 0.5m;荆江与洞庭湖交汇段深泓淤积更严重,荆 183 断面淤高 6.1m。由 2006 年与 2003 年莲花塘水位与螺山流量的关系比较(图 7)可知,三峡蓄水以来城陵矶水位又有所抬高,或至少城陵矶水位没有随清水冲刷而降低。

除上述不利情况外,三峡水库按动库容方法调度有效防洪已经偏小^[4],水库针对不同洪水或调度方式的防洪能力差别较大,在实际调度中很难准确判断,前述城陵矶调度方式

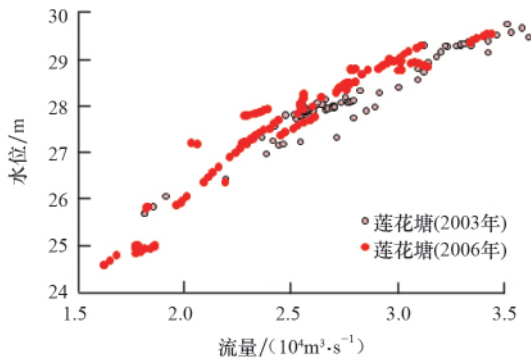


图7 2006年与2003年城陵矶(莲花塘)水位与螺山流量关系(涨水)比较

Fig. 7 A Comparison between 2003 and 2006 Chenglingji stages

注:为避免涨、落数据混淆,图中仅选取涨水时段数据。

Note: To avoid confusion, only the data of rising flood was selected.

在实际上难以操作。三峡水库承担更多的城陵矶附近防洪任务,不但可能加大荆江防洪风险,增加库区防洪和淹没损失,还会提前让三峡失去对下游的保护能力。更进一步,在目前城陵矶水位偏高、分洪量很大、分蓄洪区严重偏小条件下,即使在三峡上游再增加个别水库帮中游拦洪^[10]也不能改变城陵矶和下荆江的局面。

经三口向洞庭湖分洪和控制城陵矶水位是保证下荆江安全的前提。若无措施加以有效控制,即使三峡调度控制枝城不超过设计流量,仍不能保证下荆江安全。城陵矶高洪水位对洞庭湖区、城陵矶—汉口段的安全极为重要,须制约下荆江防洪格局。为确保三峡建成后荆江安全、有效应对中游洪水,须根据当前实际情况重新认识长江中游的防洪形势。

3 长江中游防洪形势模拟计算

依据数学模型,针对1998和1954年两次典型大洪水计算了无三峡,三峡按枝城、城陵矶调度以及各种分蓄洪区运用条件下的洪水结果。

3.1 无三峡和不分洪条件下的洪水情景

假设没有三峡水库、长江中游堤防无限高,模拟计算再次发生1998、1954年洪水的情景,前者主要是对模型的再次检验。

1998年洪水干流控制站流量和水位过程如图8所示。各站计算最大流量比实测值^[11]略大(表2),但差异在2000m³/s以内;水位除汉口外都低于实测最高水位,相差幅度最大在城陵矶(莲花塘),低0.5m。计算松滋等三口总分洪和洞庭湖出口最大流量分别为19000和34000m³/s,与实测结果基本一致。监利和城陵矶水位均高于相应堤防设计洪水,按相应河段设计泄流标准^[1]概算,枝城、螺山和汉口有13.8亿、79.4亿和5.4亿m³超额洪水。

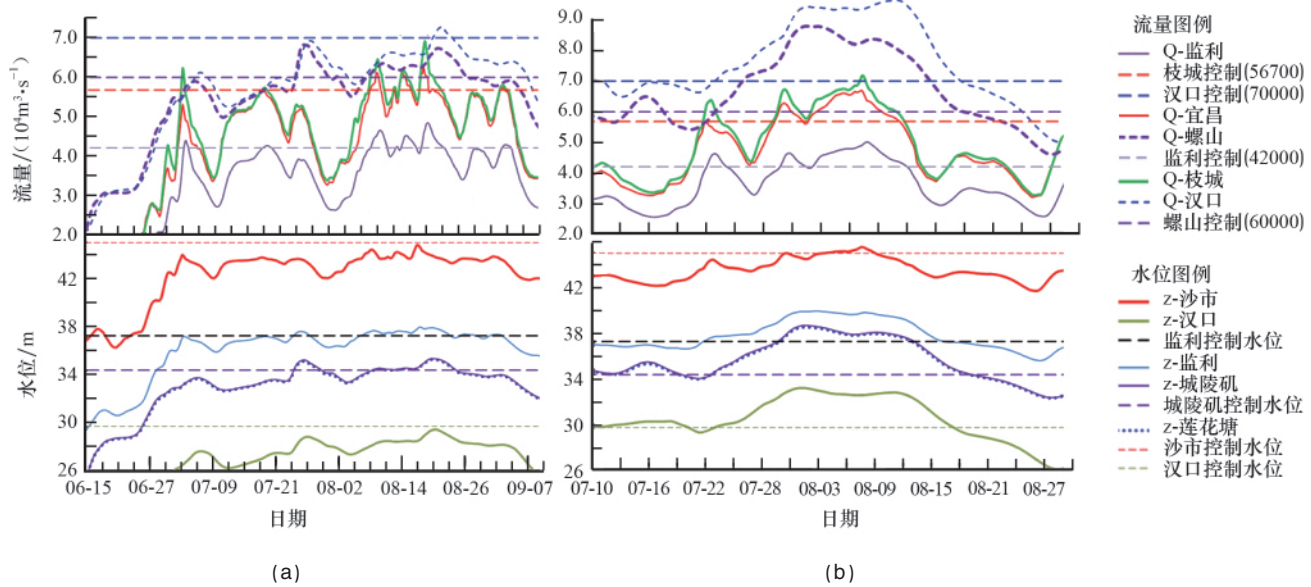


图8 现在发生1998(a)和1954(b)年洪水,完全不分洪条件下长江干流流量和水位过程

Fig. 8 Simulated processes of 1998(a) and 1954(b) floods without TGP and downstream diversions

1954年洪水如果在当前条件下再现,荆江、城陵矶和汉口等处流量和水位都将长期、严重超过设计水位和河道泄洪能力(图8)。枝城、监利、螺山和汉口最大流量为71700、50000、87900和96400m³/s,分别超过设计泄量11700、8000、27900和26400m³/s;沙市、监利、城陵矶(莲花塘)和汉口最高

水位为45.57、39.96、38.57和33.20m,超过堤防设计水位0.58、2.7、4.17和3.47m。1954年长江中游因溃堤等原因造成自然分洪1023亿m³,因此计算水位不能与实测比较。注意到1998年洪水计算值比实际水位偏低,因此1954年洪水水位还可能更高。1954年洪水期间,荆江三口最大分洪流量为

表 2 典型洪水、无三峡、不分洪条件下中游重要断面最大流量 (m³/s) 和最高水位 (m)

Table 2 Predicted maximum discharge and stages of 1998 and 1954 flood (no TGP, no diversion)

流量断面		枝城	监利	螺山	汉口	三口	城陵矶
1998 年	计算	69100	48300	68200	72700	19000	34000
	实测	68800	46300	67800	71100	19000	35900
1954 年		71700	50000	87900	96400	21600	46200
水位位置		沙市	监利	莲花塘	螺山	汉口	城陵矶
1998 年	计算	44.82	37.94	35.30	34.62	29.47	
	实测	45.22	38.31	35.80	34.95	29.43	
1954 年		45.57	39.98	38.57	37.94	33.20	

21600m³/s,洞庭湖出口最大流量为 46200m³/s,洞庭湖出流对螺山主洪峰起到了决定性作用。三峡水库对这种情况的控制作用很小,即使按发电流量控制下泄、全面拦洪(实际上三峡库容不能胜任),螺山流量仍要超过 70000m³/s,城陵矶水位明显高于 35m。按河道泄流能力概算,枝城、城陵矶和汉口超额洪水 54 亿,414 亿和 371 亿 m³。

3.2 规划条件下长江中游的防洪形势

三峡论证^[9]确定三峡建成后,要荆江遇百年一遇洪水不分洪,遇类似 1870 年特大洪水荆江分洪使其不会出现毁灭性灾害,城陵矶附近及中游其他区域能防御 1954 年洪水。满足这些条件的沙市、城陵矶、汉口和湖口堤防设计水位分别为 45.0,34.4,29.73 和 22.5m;枝城、螺山和汉口断面泄洪能力为 60000,60000 和 70000m³/s。相应地,监利的水位和流量为 37.28m 和 42000m³/s。本文根据上述条件,针对 1954 年洪水分别计算了无三峡、三峡按枝城和城陵矶调度条件下进入长江中游(宜昌)洪水。城陵矶调度研究了三峡预留和不预留防御特大洪水防洪库容的两种情况(简称城 I、城 II,后者将三峡坝前水位 172m 以上用于防特大洪水,即坝前水位到 172m 后控制水位不变,待枝城流量增加到 80000m³/s 后再控制流量不变继续拦洪;前者无此条件限制)。同时,还研究了三峡水库为减少下游分洪量的“推迟泄洪”优化调度方式:三峡拦洪与原方案相同,但将降低坝前水位泄洪时枝城的控制流量从 56700m³/s 降低到 45000m³/s。图 9 是各调度方案三峡拦洪及宜昌等断面流量情况。与原方案相比,优化方案最高坝前一直维持到城陵矶高洪水解除后,避免了洪峰后三峡泄洪人为延长下游防洪时间、减少城陵矶分洪量。

依据这些三峡调度方案,分别计算在沙市、城陵矶和汉口按堤防设计水位完全分洪和只按给定分蓄洪区规模分洪情景。

按堤防设计水位完全分洪各种三峡调度方案的结果见表 3。无三峡情况下,荆江、城陵矶和汉口附近分洪量分别为 2.4 亿、532 亿和 1 亿 m³。城陵矶分洪量显著增大,而沙市和汉口分洪量减少,沙市分洪减少与 1998、1999 年荆江冲刷导致水位降低有关,汉口分洪量减少主要是城陵矶大量分洪的结果。值得重视的是,在分洪使沙市和城陵矶水位满足设计要求条件下,下荆江监利水位和流量仍分别高于设计值 0.72m

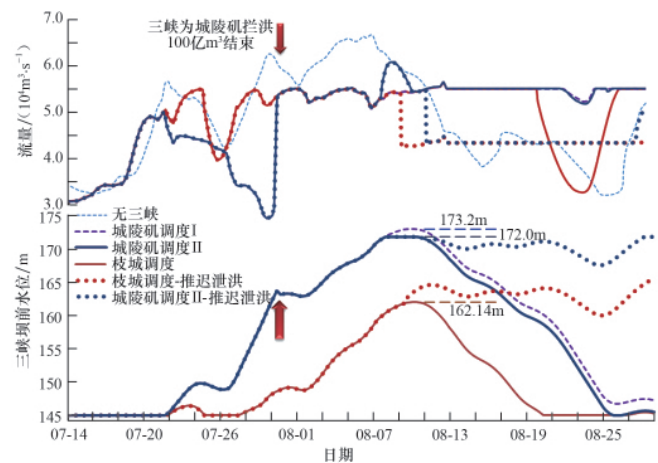


图 9 三峡按各种方式调度 1954 年洪水水库蓄水和宜昌断面流量

Fig. 9 Discharge of 1954 flood to the mid-Yangtze after TGP regulation with different schemes

和 7700m³/s,这是由于三口分流减少造成的。枝城调度三峡拦洪水 95.8 亿 m³,最高坝前水位 162.14m,与无三峡比较,荆江不分洪,城陵矶附近分洪量减少、汉口附近基本不分洪。但城陵矶附近仍需分洪 465 亿 m³,监利水位和流量仍超过设计值 0.26m 和 1300m³/s。城陵矶调度(城 I)三峡拦洪 185.1 亿 m³,最高坝前水位 173.2m,库区涪陵和长寿最高水位 177.0 和 178.7m;城陵矶分洪量降低到 385 亿 m³,汉口附近基本不分

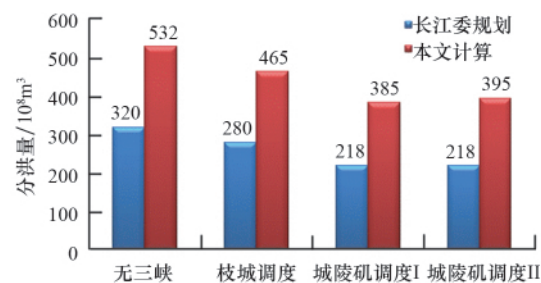


图 10 按堤防设计水位分洪,各方案在城陵矶附近分洪量比较
Fig. 10 Present predicted diversions near Chenglingji according to design stages and that of TGP design

表 3 各种方案调度 1954 年全流域洪水的结果

Table 3 Predicted results of different operation schemes for 1954 flood

研究方案		无三峡水库 (基 1)	枝城调度 (基 2)	城陵矶调度	
				城 I (基 3)	城 II (基 4)
方案编号		(基 1)	(基 2)	(基 3)	(基 4)
三峡水库	拦洪量/ 10^8m^3	—	95.80	185.10	181.60
	最高水位/m	—	162.14	173.20	172.00
分洪量/ 10^8m^3	荆江	2.4	0	0	0
	城陵矶	532	465	385	395
	汉口	1.0	0.6	1.7	1.7
最高水位 (设计值)/m	沙市 (45.00)	45.00	43.97	43.97	44.48
	监利 (37.28)	38.00	37.54	37.54	37.71
	莲花塘 (34.4)	34.40	34.40	34.40	34.40
	螺山	33.84	33.84	33.84	33.84
	汉口 (29.73)	29.73	29.73	29.73	29.73
最大流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	枝城	68500	56700	55670	62900
	监利	49700	43300	43300	46700
	螺山	61000	61000	61000	61000
	汉口	72500	72600	72600	72500

洪。考虑到一般情况下三峡须为荆江特大洪水预留 36 亿 m^3 防洪库容,限制使用三峡 172m 以上库容的城陵矶调度(城 II)三峡拦洪 181.6 亿 m^3 ,枝城最大下泄流量提高到 62900 m^3/s ,监利流量 46700 m^3/s ,超设计流量 4700 m^3/s ,监利水位抬高到 37.71m,超过设计 0.43m,城陵矶分洪 395 亿 m^3 。

按堤防设计水位分洪,各方案在城陵矶附近分洪量如图 10 所示。可知:①当前河道条件下城陵矶附近分洪量明显增大,远超过《长防规》等确定和安排的分蓄洪区规模;②满足沙市和城陵矶防洪要求条件下,监利水位仍高于设计水位,下荆江仍然不安全(图 11);③三峡水库拦洪减少城陵矶附近分洪量、降低下荆江洪水位,但也会加大荆江和城汉河段防洪时间(图 12),三峡为特大洪水预留库容的城 II 调度方案可能使荆江 1954 年洪水出现超百年一遇流量。

三峡按城陵矶调度(城 II)方案调度,控制城陵矶水位在 34.4m,三峡论证和《长防规》中几种典型的城陵矶附近分蓄洪区规模——100 亿、218 亿、280 亿和 320 亿 m^3 的调度计算结果见表 4。各种情况下,中游最高水位都超过设计水位(图 13),这是因为分蓄洪区蓄满后,为保证分蓄洪区以外安全,停止分洪,使得干流流量和水位增加(图 14)。分洪 100 亿、218 亿 m^3 ,城陵矶和汉口最高水位为 36.59、36.07m 和 31.45、30.73m;分洪超过 280 亿 m^3 后,汉口分洪量可控制在规划的 68 亿 m^3 范围内,水位也满足设计要求,但城陵矶水位仍明显高于设计水位。4 种分洪条件下,监利最高水位分别为 38.65、38.36、38.16 和 37.92m,分别超过设计水位 1.37、1.08、0.88 和 0.64m。在《长防规》确定的当前重点建设或规划建设的中游分蓄洪区(甚至再有限增加)条件下,即使让三峡水库按城陵矶调度,城陵矶附近的防洪形势仍然十分严峻;而且,城陵矶高洪水位会威胁下荆江安全,在有限范围内扩

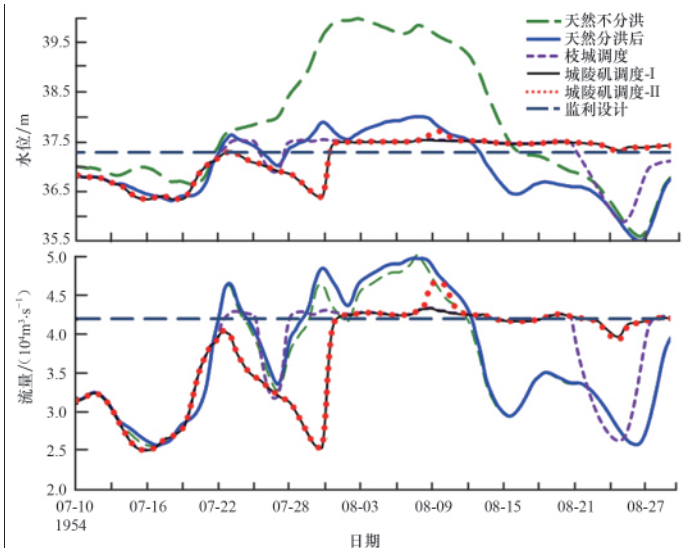


图 11 三峡调节,枝城、城陵矶和汉口按设计水位尽量分洪条件下的监利洪水情况

Fig. 11 Predicted Jianli flood under TGP regulation and full diversion according to design level

注:三峡调度加长了洪水时间,城陵矶调度使监利超设计水位持续到 9 月,城 II 方案监利最大流量 46700 m^3/s (设计流量 42000 m^3/s)。

Note: Flood duration was extended to September by TGP operation and peak discharge at Jianli reached 46700 m^3/s (design 42000 m^3/s).

大城陵矶分蓄洪规模难以解决问题。

在三峡工程和中游规划分蓄洪区作用下,城陵矶和洞庭湖防洪形势仍然严峻,下荆江仅在 1954 年洪水情况下就存在严重超高洪水风险,这是需要重视的问题。

表 4 各种分洪方案调度 1954 年全流域洪水的结果

Table 4 Predicted result of 1954 flood under various FDA scalous at Chenglingji

分洪方案		分洪 100 亿 m ³	分洪 218 亿 m ³	分洪 280 亿 m ³	分洪 320 亿 m ³
方案编号		I	II	III	IV
城陵矶(莲花塘)控制水位/m		34.4			
分洪量/10 ⁸ m ³	荆江	0	0	0	0
	城陵矶	100	218	280	320
	汉口	68	68	55	24
最高水位(设计值)/m	沙市(45.00)	44.62	44.57	44.53	44.48
	监利(37.28)	38.65	38.36	38.16	37.92
	莲花塘(34.4)	36.59	36.07	35.79	35.36
	螺山	35.99	35.41	35.14	34.74
	汉口(29.73)	31.45	30.73	29.73	29.73
最大流量/(m ³ ·s ⁻¹)	枝城	62900	62900	62900	62900
	监利	45900	46100	46200	46700
	螺山	79400	73500	70400	66100
	汉口	88300	82700	73000	73700

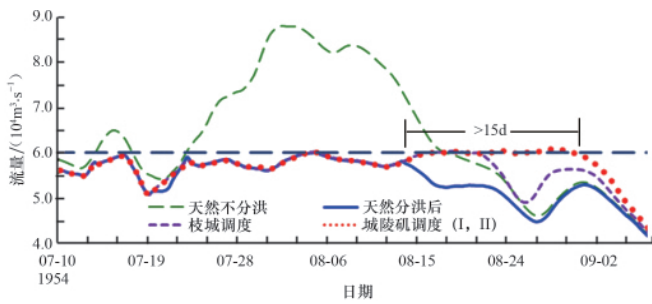


图 12 三峡调节,枝城、城陵矶和汉口按设计水位尽量分洪条件下的螺山流量过程

Fig. 12 Computed flood discharge at Luoshan indicating TGP regulation extends 1954 flood by 7~15 days

注: 枝城调度和城陵矶调度分别使城陵矶以下大洪水过程增加了 7d 和 15d。

Note: The flood duration is extended for 5 and 15 days by the Zhicheng and Chenglingji operation scheme.

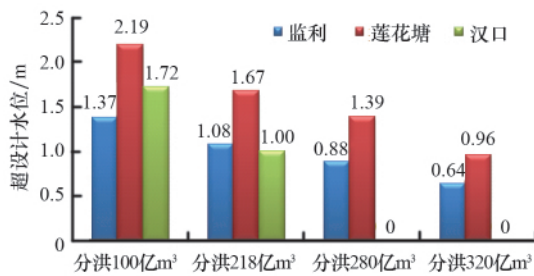


图 13 三峡按城陵矶调度(城调 II),各分洪方案在中游的超设计水位比较

Fig. 13 Comparison of stages exceeding design levels for different scales of diversion at Chenglingji

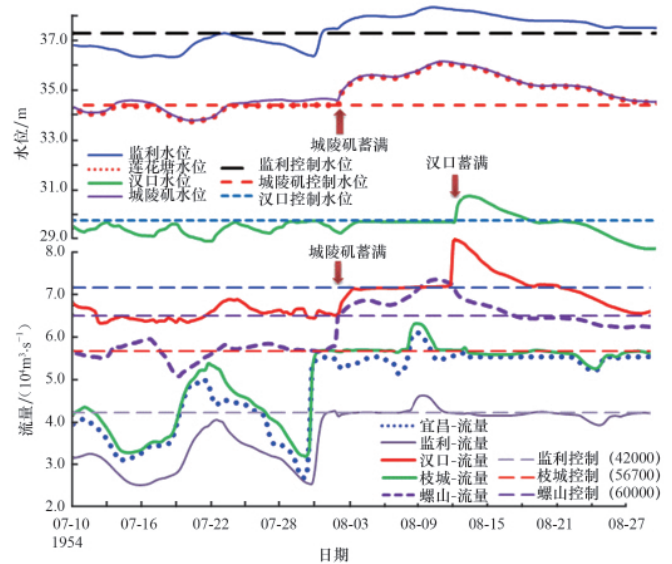


图 14 三峡按城陵矶调度(城 II)城陵矶分洪 218 亿 m³ 中游水位流量情况

Fig. 14 Predicted situation of 1954 flood with 218x10⁸m³ water diverted at Chenglingji and TGP regulation with Scheme CHII

4 结论

三峡工程的建设目标是保障荆江防洪安全,为使长江中游防洪建设达到防御 1954 年大洪水的目标,《长江流域综合利用规划纲要》^[10]和《长江流域防洪规划》^[1]结合三峡调度对中游分蓄洪区进行了规划。但是,近几十年来长江中游河道和防洪形势发生较大变化。洞庭湖萎缩使洪水调节能力明显降低,城陵矶以下河道淤积使城陵矶洪水水位显著抬高,松滋等

三口分洪道萎缩和荆江冲刷导致下荆江洪水流量明显增加,长江中游城陵矶和洞庭湖等地防洪形势比之前预料更加严峻。同时,由于城陵矶、螺山水位与流量的关系十分复杂,同流量水位变化很大,而有关规划未全面反映水位流量的绳套特性,一定程度上低估了城陵矶等地水位和分洪量。

更需要注意的是下荆江超高水位问题。1998年洪水已经证明城陵矶高水位明显抬高下荆江洪水水位;在三峡下泄清水大幅度冲刷荆江的条件下,可从松滋等三口向洞庭湖的分洪流量还会进一步减少,监利等地高洪水位情况严重。在城陵矶顶托和下荆江流量增加的双重压力下,三峡水库消减洪峰可发挥的控制作用也十分有限,三峡控制下的下荆江仍然存在防洪风险。

本文根据不恒定水动力学模型仿真模拟了长江中游洪水过程,较好地反映了当前城陵矶附近的洪水状况,绳套型水位流量关系特征等也得到很好描述。在1998年汛后地形条件下再现1998年和1954年洪水,证明城陵矶等地水位偏高严重、分洪需求显著增加。在三峡设计调度方案或更大照顾城陵矶的调度方案等条件下,即使按无三峡情况,在城陵矶附近安排320亿 m^3 分蓄洪区(实际规划远小于此规模),城陵矶附近防洪形势依然严峻,下荆江情况不容乐观。在三峡控制下,下荆江仅在1954年洪水情况下就存在风险。

注意到下荆江高洪水位主要是由城陵矶高洪水位顶托造成的,解决这一问题仅靠上游水库拦洪或上游分蓄洪区分洪等,效果较差,三峡工程甚至包括上游再建个别水库都不可能彻底降低城陵矶高洪水位。因此,近期长江中游防洪和河道治理的当务之急是要落实并加大洞庭湖和城汉河段周边地区分蓄洪区建设和规模,适当提高长江中游堤防的分洪水位,同时研究新对策,采取进一步的措施切实降低城陵矶水位;远期则要加快上游水资源工程建设,采取有力措施扩大金沙江下游水库在主汛期防洪库容和水资源的统一、有效管理,结合更上游其他大型水库汛期蓄水与水资源利用,从根本上降低长江中游洪水压力^[12-13]。本文第II部分将针对近期情况研究,提出一些应对方案,供研究参考。

致谢 中国科学院生态研究所黄国鲜博士在清华大学博士后研究期间与作者合作,在长江中游河网不恒定水动力学模型建立等方面做出了重要贡献,特此致谢。

参考文献 (References)

- [1] 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: 长江水利委员会, 2003.
Changjiang Water Resources Commission. Outlines of the planning report for flood control of the Yangtze Valley [R]. Wuhan: Changjiang Water Resources Commission, 2003.
- [2] 水利部长江水利委员会. 综合利用规划[R]//长江三峡水利枢纽初步设计报告: 枢纽工程. 第4篇. 武汉: 长江水利委员会, 1992.
Changjiang Water Resources Commission. Integrated planning [R]// Preliminary Design Report of the Three Gorges Project. Vol IV. Wuhan: Changjiang Water Resources Commission, 1992.
- [3] 刘宁. 对长江流域防洪规划的认识[J]. 人民长江, 2006, 37(9): 1-4.
Liu Ning. *Yangtze River*, 2006, 37(9): 1-4.
- [4] 周建军. 对三峡工程一些问题的初步认识[R]. 北京: 清华大学, 2008.
Zhou Jianjun. Some preliminary understanding of the problems of TGP [R]. Beijing: Tsinghua University, 2008.
- [5] 清华大学, 长江电力股份有限公司, 中国科学院成都山地所, 等. 三峡水库含生态环境目标的综合优化调度研究[R]. 北京: 清华大学, 2009.
Tsinghua University, China Yangtze Power Co. Ltd, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, et al. Report on the comprehensive optimal operations of the Three Gorges project [R]. Beijing: Tsinghua University, 2009.
- [6] 黄国鲜. 长江中游复杂河网水动力模型的建立与应用 [R]. 北京: 清华大学, 2008.
Huang Guoxian. Setup of a hydrodynamic model for the complicated river net of mid-Yangtze and its applications[R]. Beijing: Tsinghua University, 2008.
- [7] 清华大学, 中国长江三峡工程开发总公司, 江西师范大学, 三峡与葛洲坝梯级水库水文预报、水流模拟及虚拟仿真系统开发技术报告[R]. 北京: 清华大学, 2005.
Tsinghua University, China Three Gorges Project Corporation, Jiangxi Normal University. Report on the model development of a hydrology and hydrodynamic model for the cascade reservoirs of TGP and Gezhouba[R]. Beijing: Tsinghua University, 2005.
- [8] 中国科学院成都山地所, 清华大学, 三峡梯调中心. 长江上游水库群蓄水调度模拟决策支持系统-模型系统技术报告 [R]. 成都: 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 2007.
Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Tsinghua University, China Yangtze Power Co Ltd. A technical report of the decision and support system for the operation of cascade reservoirs in the upper Yangtze Valley[R]. Chengdu: Institute of Mountain Hazardous and Environment, CAS, 2007.
- [9] 水利部长江水利委员会. 水文 [R]//长江三峡水利枢纽初步设计报告: 枢纽工程. 第2篇. 武汉: 长江水利委员会, 1992.
Changjiang Water Resources Commission. Hydrology [R]//Preliminary Design Report of the Three Gorges Project. Vol II. Wuhan: Changjiang Water Resources Commission, 1992.
- [10] 水利部长江水利委员会. 长江流域综合利用规划简要报告 [R]. 修订版. 武汉: 长江水利委员会, 1990.
Changjiang Water Resources Commission. Brief report of the integrated planning of the Yangtze valley[R]. Revised version. Wuhan: Changjiang Water Resources Commission, 1990.
- [11] 长江委水文局. 1998年长江暴雨洪水 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
Hydrology Institute of Changjiang Water Resources Commission. The large flood of 1998[M]. Beijing: China Hydropower Press, 2002.
- [12] 周建军, 曹广晶. 对长江上游水资源工程建设的研究与建议 I [J]. 科技导报, 2009, 27(9): 48-56.
Zhou Jianjun, Cao Guangjing. *Science & Technology Review*, 2009, 27(9): 48-56.
- [13] 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 Guangjing. *Science & Technology Review*, 2009, 27(10): 43-51.

(责任编辑 代丽)