

三峡工程建成后长江中游的防洪形势和解决方案(II)

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 针对第 I 部分提出的三峡建成后长江中游防洪形势和问题,用相同模型研究了多种代表性措施的防洪效果,提出了应对长江中游防洪问题的综合解决方案。研究显示,牌洲裁弯、提高城陵矶设计洪水位和南北分洪等工程和调度措施单独使用,在三峡水库提供和《长江流域防洪规划》确定的条件下都难以保证长江中游再现 1954 年洪水的安全。按防御 1954 年洪水和保障荆江安全目标,本文通过大量方案计算比较,提出基于牌洲裁弯与南北分洪组合,以适当提高城陵矶设计洪水位为调度余地的综合方案。该方案在调度和运用条件等方面有较大的安全余地,可以更好适应三峡水库等影响下长江中游的河流变化。

关键词 洪水;安全;长江中游;三峡工程;防洪方案

中图分类号 TV8

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)23-0046-10

The Mid-Yangtze Flood After the Commencement of the Three Gorges Project and the Countermeasures (II)

ZHOU Jianjun

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

Abstract To relieve the serious threat of flood in mid-Yangtze after the commencement of the Three Gorges Project (TGP) as predicted in the first part of this paper, some representative measures of mitigation so far proposed are simulated and analyzed with the same model for mid-Yangtze river-net. Such measures as to cutoff the Paizhou bend (CPB), to raise the stage of flood diversion at Chenglingji (RSD) and to divert flood in south and north sides of Jingjiang reach (DNS) are all shown to be effective but not enough for the safety of the mid-Yangtze if being applied separately with conditions provided by TGP and the designed Flood Diversion Areas (FDA) approved by the central government. Based on a great number of computations for many scheme combinations, a comprehensive scheme that combines CPB and DNS with RSD as auxiliary operation measures is proposed, which is shown to be capable of protecting the mid-Yangtze against the flood of 1954 and having enough rooms to cope with certain uncertainties of river deformation that might be brought about by the trapping of sediments and flow regulations of the TGP and others.

Keywords flood; safety; mid-Yangtze; Three Gorges Project; mitigation measures

0 引言

在本研究第 I 部分^[1]中,根据实际资料和数学模型在长江中游当前条件下再现了 1998 和 1954 年洪水,仿真计算了长江中游洪水与防洪形势及存在问题。1954 年长江中游大规模溃堤、淹没,分洪量达 1023 亿 m³(图 1)。当前,由于中游河道

泄洪和湖泊调蓄能力显著减小,即使全面应用三峡水库拦洪,1954 年洪水在荆江与洞庭湖交汇的陵矶附近仍需要分洪 385 亿~395 亿 m³,远大于三峡论证期间提出无三峡情况下城陵矶需要分洪 320 亿 m³的规模^[2]。在洪量与洪峰远小于 1954 年的 1998 年洪水期间,螺山、城陵矶和监利水位仍超过前者

收稿日期:2010-08-03;修回日期:2010-11-25

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,电子信箱:zhoujj@mail.tsinghua.edu.cn

1.74, 1.84 和 1.78m^[3], 而 1998 年以来城陵矶同流量水位没有得到降低。城陵矶高洪水位已成为当前中游防洪的核心问题, 它不但抬高洞庭湖区, 而且抬高了下荆江洪水位, 加上荆江三口分洪流量减少, 下荆江防洪负担加重。三峡工程控制下的下荆江防洪形势依然严峻。《长江流域防洪规划》^[4](简称

《长防规》)确定建设的城陵矶附近重点分蓄洪区和规划建设分蓄洪区规模偏小, 不能保证长江中游防御 1954 年洪水。本文系统研究了改善长江中游防洪形势的各种途径, 结合三峡、丹江口水库调节、分蓄洪区运用和其他防洪措施提出了综合调节方案。

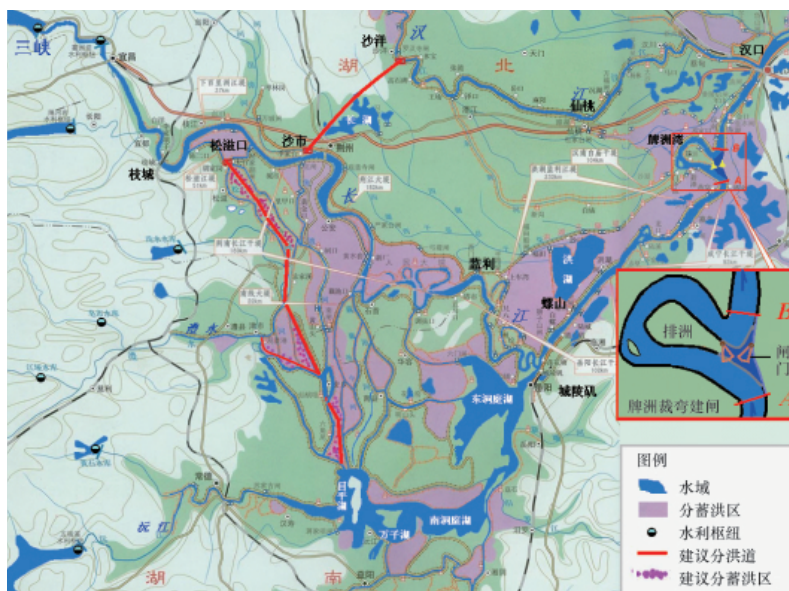


图 1 长江中河网及分洪、裁弯等工程措施示意(底图来自文献[2])

Fig. 1 The Mid-Yangtze river-net, flood diversion areas, Paizhou bend and its cutoff (background from Ref.[2])

1 改善长江中游防洪形势的有关措施

长期以来, 针对 1954 年型全流域洪水和城陵矶高洪水位提出过包括提高城陵矶设计水位、牌洲裁弯和荆江扩大分洪等多种具有代表性的解决措施。

有研究认为必须提高长江中游堤防设计水位、加高干流和洞庭湖区堤防以增加中游泄洪能力。安申义^[5]认为当前城陵矶设计水位 34.4m 早已不符合实际情况, 必须提高。何格高等^[6]建议城陵矶以 1998 年实际的最高洪水位 35.8m 设防。但是, 长江委^[2]认为提高城陵矶设计水位涉及中游整体格局, 非常复杂, 需要根据三峡建成后清水冲刷和城陵矶调度等具体情况研究确定, 因此《长防规》^[4]只将抬高城陵矶设计水位放在实时调度中视荆江和武汉安全情况适当加以考虑, 并不考虑进一步加高堤防。

牌洲裁弯对降低城陵矶水位具有重要作用。牌洲湾位于城汉河段, 上距城陵矶 130km, 下距武汉关 46km, 弯道长逾 50km, 颈部跨距 5km, 是长江中游最大弯段(图 1)。裁弯可缩短河长 40km 以上, 大幅降低水位。对牌洲河曲整治有过大量研究和争论^[7-9], 很多呼吁实施裁弯工程。但是, 《长防规》^[4]认为当前情况下牌洲裁弯不可行。

本文研究的扩大荆江分洪包括南北分洪, 即在沙市附近扩大松滋口分洪^[9]和扩大利用为南水北调中线工程配套的双沙运河向汉江下游分洪^[10](图 1)。扩大松滋口分洪的措施为: ① 在松滋河枝杈河网之间夺圩筑辟新河替代原河网, 降低河

道高程、并枝强干扩大分流泄洪能力; ② 在松滋河口胡家岗附近建闸调控进入洞庭湖水流; ③ 新松滋河按复式断面、藕节状布置, 纳部分圩垸区为河内滩地, 一般年份发展农业生产、大洪水行洪、分洪; ④ 利用位置较高的原松滋河及堤防等移民建镇、保障居民安全。扩大“双沙运河”分洪包括: ① 将沙市至沙洋的补水运河按复式断面扩大, 主断面仅满足向汉江补水 500m³/s 流量要求、全断面达到 7000~8000m³/s 流量泄洪能力; ② 用加高后的丹江口控制和保证分洪后汉江下游安全, 将丹江口统一纳入长江中游防洪系统。

2 各种措施的防洪效果研究

为全面认识和评价, 本文对上述设想措施分别进行了模拟计算, 进一步结合三峡水库优化调度、丹江口适时控制等条件研究可改善长江中游防洪局面的综合措施。

2.1 提高城陵矶设计水位

考虑到加高堤防与分洪数量具有互补关系, 研究设计了城陵矶附近分蓄洪量与设计分洪水位的 5 个计算方案(表 1), 其中三峡按城陵矶调度方式(城 II)控制。

计算结果显示: ① 分洪规模较大的方案 VII~IX 基本上可将城陵矶水位和分洪量都控制在方案预期的指标范围内; 汉口附近的分洪量分别是 68 亿, 28 亿和 18 亿 m³, 其中方案 VII 汉口水位 29.88m, 略高于设计水位 29.73m, 可通过略降低城陵矶分洪水位来满足; 但是, 方案 VII~IX 使监利洪水位抬

表 1 各种分洪规模和分洪水位条件下 1954 年的洪水结果 (三峡按城陵矶 (城 II) 调度)

Table 1 Predicted result of 1954 flood under various FDA scales and flood diversion stages at Chenglingji

城陵矶设计分洪量/ 10^8m^3		100	100	218	280	320
方案编号		V	VI	VII	VIII	IX
城陵矶 (莲花塘) 控制水位/m		35.8	35.5	35.1	34.8	34.7
分洪量/ 10^8m^3	荆江	0	0	0	0	0
	城陵矶	83.2	100	199	278	303
	汉口	68	68	68	28	18
最高水位 (设计值)/m	沙市 (45.00)	44.58	44.55	44.52	44.50	44.50
	监利 (37.28)	38.33	38.33	37.97	37.86	37.82
	莲花塘 (34.4)	35.88	36.15	35.08	34.80	34.78
	螺山	35.31	35.57	34.46	34.22	34.16
	汉口 (29.73)	30.93	31.12	29.88	29.73	29.73
最大流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	枝城	62900	62900	62900	62900	62900
	监利	46300	46100	46500	46600	46600
	螺山	70900	69800	65400	64100	63400
	汉口	82800	84800	72700	72500	72500

高,分别高出设计水位 0.69,0.58 和 0.54m。② 分洪规模按当前重点建设 100 亿 m^3 规模控制,方案 VI 城陵矶水位按 35.5m 控制分洪,堤防高度仍然不够,最终莲花塘水位达 36.15m,城陵矶附近还存在很大超额洪水;方案 V 按城陵矶水位 35.8m 控制分洪,基本保证城陵矶附近不出现超额分洪。方案 V 和 VI 中,汉口水位分别超设计水位 1.2 和 1.39m,监利水位都超 1.05m,进一步加大了荆江防洪风险。

在城陵矶附近只有 100 亿 m^3 分蓄洪区条件下,提高城陵矶设计水位会加重汉口防洪压力,同时增加下荆江防洪风险。落实城陵矶附近 320 亿~218 亿 m^3 分蓄洪区规模后,适当提高城陵矶设计水位 0.3~0.7m,在三峡水库完全按城陵矶调

度条件下,城陵矶和汉口可基本控制在方案规定指标范围内,但提高城陵矶设计水位会增加下荆江风险。上述结果是针对已知洪水、在理想调度和分蓄洪区运用条件下得到的。提高城陵矶水位和分洪量需要工程和管理条件支撑,增加控制和调度难度,抬高洞庭湖区水位,且改变三峡工程设计防洪调度方式不但对荆江具有较大风险,对水库泥沙淤积和库区防洪等方面也有一定的影响。

2.2 牌洲湾裁弯整治

为考查牌洲湾的防洪作用,首先计算了无三峡调节、不分洪条件下裁弯前后 1954 年洪水情景。表 2 和图 2 是干流典型断面水位、流量比较。裁弯使河曲上游水位明显降低,下

表 2 牌洲裁弯对 1954 年洪水形势的影响 (无三峡、中游不分洪)

Table 2 Impact of Paizhou bend on the stage of 1954 flood (no TGP, no diversions)

	最高水位/m					最大流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$			
	沙市	监利	莲花塘	螺山	汉口	枝城	监利	螺山	汉口
现状	45.52	39.80	38.33	37.65	32.36	71700	50200	89200	96200
裁弯后	45.45	39.38	37.76	37.00	32.47	71700	50500	90200	96900
差别	-0.07	-0.42	-0.57	-0.65	0.11	0	300	1000	700

游略有提高,干流泄洪能力增加。虽然监利、莲花塘、螺山和汉口最高水位分别降低 0.42,0.57,0.65 和 -0.11m,但是监利、螺山和汉口最大流量仍分别增加 300,1000 和 700 m^3/s 。

按满足沙市 45.0m、城陵矶 34.4m、汉口 29.73m 和湖口 22.5m 设计水位,无三峡、三峡按枝城或城陵矶调度 (城 II) 条件计算各地分洪和水位情况,结果列于表 3。与不裁弯情况^[1]比较,裁弯明显降低城陵矶附近分洪量,但增加汉口附近分洪量。无三峡、三峡按枝城或城陵矶调度,城陵矶附近分洪量分别减少 157 亿,176 亿和 181 亿 m^3 ,汉口附近分洪量增加到 60 亿,63 亿和 62 亿 m^3 ,如图 3 所示,其中三峡论证数据来自文献^[2]。牌洲裁弯可降低城陵矶水位、减少分洪的原因是提

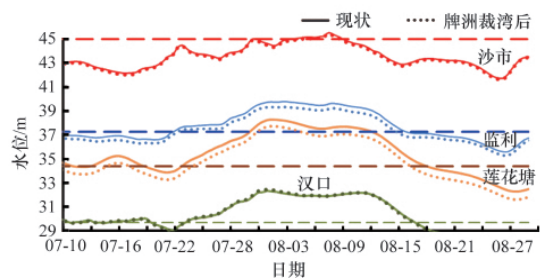


图 2 牌洲裁弯前后沙市、监利、莲花塘和汉口等水位比较 (1954 年,无三峡,不分洪)

Fig. 2 Flood stages before and after the cutoff of Paizhou bend for 1954 flood without TGP and FDA diversion

高了城汉河段泄洪能力,螺山最大流量由 $61000\text{m}^3/\text{s}$ 增加到 $65700\text{m}^3/\text{s}$ 。

表 3 在牌洲裁弯条件下,各种方案调度
1954 年全流域洪水结果

Table 3 Predicted result of 1954 flood with the
Paizhou bend being cutoff

研究方案		无三峡 水库	三峡枝 城调度	三峡城陵 矶调度(II)
方案编号		X	XI	XII
分洪量 $/10^8\text{m}^3$	荆江	2.3	0	0
	城陵矶	374.5	288.7	213.9
	汉口	59.10	63.40	61.80
最高水位 (设计值)/m	沙市(45.00)	44.97	43.97	44.48
	监利(37.28)	37.99	37.54	37.71
	莲花塘(34.4)	34.40	34.40	34.40
	螺山	33.67	33.67	33.67
	汉口(29.73)	29.73	29.73	29.90
最大流量 $/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	枝城	68500	56700	62900
	监利	49700	43300	46700
	螺山	65700	65700	65700
	汉口	72600	72600	72600

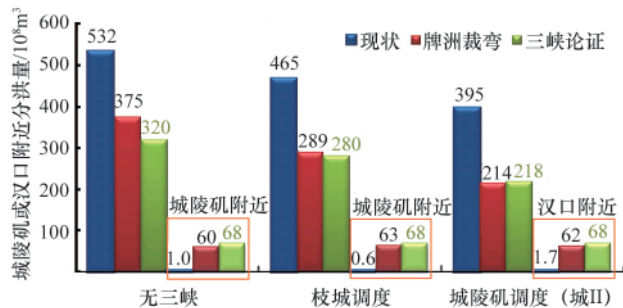


图 3 牌洲裁弯后城陵矶和汉口分洪量与现状、
三峡论证结果比较

Fig. 3 Comparison of diversions from Chenglingji and
Hankou areas, data (Ref. [2]) and result with CPB

城陵矶水位抬高使中游超额洪水集中在城陵矶附近,汉口附近不需要分洪。牌洲裁弯降低城陵矶水位、增加汉口分洪量仍在有关规定的分洪规模内,中游分洪格局与三峡论证

结果^[2]接近。可见,城陵矶水位抬高可用牌洲裁弯进行补偿,使城陵矶和汉口防洪布局趋于均衡、合理,但裁弯不能消除下荆江高洪水位。三峡按枝城和城陵矶调度,城陵矶按设计水位 34.4m 完全分洪后,监利最高水位仍比设计水位高 0.26 和 0.43m,相应城陵矶附近分洪量 289 亿和 214 亿 m^3 。在三峡水库下泄清水长期冲刷使荆江三口分洪减少,下荆江洪峰流量还会进一步增大,而城陵矶附近泥沙冲淤和同流量水位变化方向在短期内难以定论,控制城陵矶水位 34.4m 需要的分洪量还有可能增加,下荆江洪水位也可能进一步抬高。因此,牌洲裁弯措施需要更多余地。考虑到三峡对荆江的重要性,城陵矶附近应布置规模大于 280 亿 m^3 的分蓄洪区。

从防洪角度看,牌洲裁弯是缓解中游防洪形势有效的途径,完全符合“蓄泄兼筹、以泄为主”的方针。但从长江中游全局考虑,牌洲裁弯问题也十分明显。裁弯会降低洞庭湖和荆江枯水位,减少三口(特别是藕池口)入湖水量,减小湖区水面,对湖区生态环境、水资源、干支流通航影响较大;若诱发荆江大幅度冲刷,降低水位影响范围进一步扩大,对中游堤防安全、洞庭湖与荆江的相对关系、荆江河型稳定等方面造成更大影响。下荆江是在古云梦泽淤积和人工围堤约束形成的,河床中细沙层厚度超过 30m^[11],大量冲刷的后果可能极其严重。在当前三峡下泄清水冲刷河道、荆江正处于剧烈变化时期,洞庭湖区水资源与生态环境等问题已十分突出,牌洲裁弯必须慎重。权宜之计,可将牌洲裁弯定位为防洪应急措施。在裁弯新河上游口门附近建类似荷兰鹿特丹挡潮闸的大型闸门(图 1),平常挡水维持牌洲湾天然河流形态、大洪水必要时开闸行洪。牌洲湾闸门既可发挥很大的防洪作用,也维持甚至可改善常态时期洞庭湖和荆江等的整体格局。

2.3 沙市附近南北分洪

在沙市以上南北分洪可补偿控制下荆江不超过设计水位。本文提出两个计算方案:① 南北对等分洪,新松滋河和双沙运河各增加分洪流量 $7000\text{m}^3/\text{s}$,其中在新松滋河周边设一定规模分蓄洪区,流量超过 $14000\text{m}^3/\text{s}$ 后就地分洪;② 单独扩大松滋口分洪,增加松滋口分洪流量 $10000\text{m}^3/\text{s}$,新松滋河流量超过 $14000\text{m}^3/\text{s}$ 后就地分洪。

为考查南北分洪作用,首先计算无三峡、中游其余地方不分洪的情景(表 4、图 4)。南北对等分洪通过松滋口和双沙运河增加分洪量 $233.3\text{亿}\text{m}^3$,其中松滋河就地分洪量 54 亿

表 4 现状、南北对等分洪和单独扩大松滋口分洪对 1954 年天然洪水的影响
Table 4 Comparison of flood stage between cases with and without DNS

比较方案与站点	最高水位/m					最大流量/ $(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$			
	沙市	监利	莲花塘	螺山	汉口	枝城	监利	螺山	汉口
现状	45.52	39.8	38.33	37.65	32.36	71700	50200	89200	96200
南北对等分洪	43.87	38.84	37.51	36.89	32.26	71700	40800	80400	94500
单独扩大松滋口分洪	44.18	39.14	37.71	37.06	31.95	71700	42100	84000	91300
南北对等分洪与现状的差别	-1.65	-0.96	-0.82	-0.76	-0.1	0	-9400	-8800	-1700
单独扩大松滋口分洪与现状的差别	-1.34	-0.66	-0.62	-0.59	-0.41	0	-8100	-5200	-4900

m³,沿江水位、流量全面降低:沙市、监利、莲花塘和汉口水位降低 1.65,0.96,0.82 和 0.1m, 监利、螺山最大流量降低 9400,8800m³/s。单独扩大松滋口分洪使松滋口增加分洪量 181.7 亿 m³,其中 103.5 亿 m³ 在松滋河就地分滞,沙市、监利、莲花塘和汉口水位降低 1.34,0.66,0.62 和 0.41m,监利、螺山和汉口最大流量降低 8100,5200 和 4900m³/s。南北分洪对汉江和洞庭湖洪水的影响见图 5。双沙运河分洪明显加大了汉江口流量,其实实施须得到丹江口水库的补偿调节;扩大松滋口分洪对洞庭湖口流量有一定影响,但总体上影响不大,湖区调节作用得到很好发挥。

分别计算了基于优化后的枝城调度和城陵矶调度方式^[1],沙市、监利、城陵矶、汉口和湖口都完全按设计水位分洪情景。

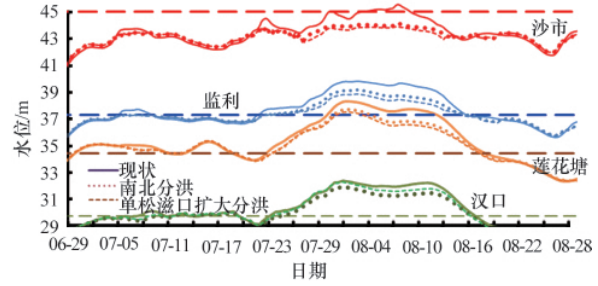
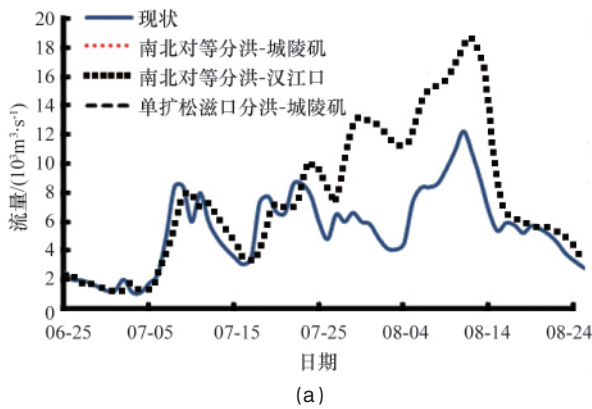


图 4 南北对等和单独扩大松滋口分洪与现状水位比较 (1954 年洪水、无三峡、沿江其余各处不分洪)

Fig. 4 Flood stages for case with and without DNS (1954 flood, no TGP and no other diversions)

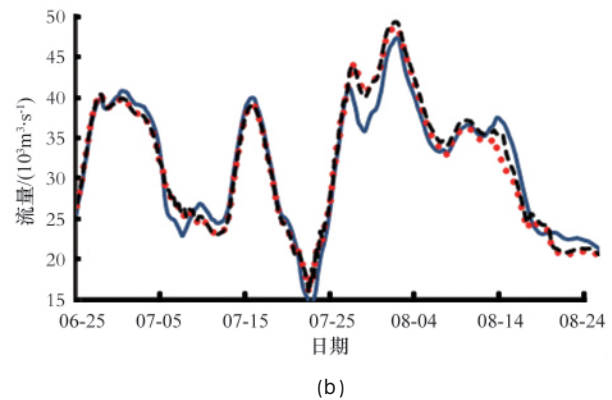


图 5 南北分洪对汉江下游(a)和洞庭湖(城陵矶)(b)洪水过程的影响

Fig. 5 Impact of additional flood caused by DNS to the Lower Han River (a) and Dongting Lake (b)

南北对等分洪还考虑了丹江口对汉江下游补偿调节(仙桃流量不超过 10000m³/s)。表 5 中各方案计算结果显示南北对等

分洪和扩大松滋口分洪效果接近。有三峡优化调度,通过南北分洪约 50 亿 m³,基本上保证监利水位不超过 37.28m。南北

表 5 南北分洪各种方案 1954 年全流域洪水计算结果

Table 5 Predicted result of 1954 flood under the action of DNS

研究方案	南北对等分洪		扩大松滋口分洪	
	枝城调度 (推迟泄洪)	城陵矶调度(II) (推迟泄洪)	枝城调度 (推迟泄洪)	城陵矶调度(II) (推迟泄洪)
方案编号	XIII	XIV	XV	XVI
南北分洪量/10 ⁸ m ³	46.9	43.6	51.4	47.4
丹江口拦蓄/10 ⁸ m ³	10	15.5	—	—
中游分洪量 /10 ⁸ m ³	松滋河	4.1	6.3	24.6
	城陵矶	380.5	321.0	380.6
中游最高水位 /m	汉口	5.5	2.7	1.8
	沙市	43.71	43.93	43.70
	监利	37.28	37.28	37.28
	莲花塘	34.40	34.40	34.40
	螺山	33.83	33.83	33.85
	汉口	29.73	29.73	29.73
	汉口	29.73	29.73	29.73
中游最大流量 /(m ³ ·s ⁻¹)	枝城	56700	63500	56700
	监利	40000	40800	39900
	螺山	60600	60600	60600
	汉口	71400	71300	72700



对等分洪需丹江口水库帮助拦洪 10 亿~15.5 亿 m^3 ; 扩大松滋口分洪在松滋口需分洪约 25 亿 m^3 。在城陵矶附近,分洪量已比文献[1]中表 4 相应分洪量明显减少,但仍远大于《长防规》可接受的程度。可见,对 1954 年全流域洪水南北分洪无法单独构成方案。

荆江、城陵矶和汉口以及南北之间泄与蓄涉及重大利害关系,长江中游各环节防洪措施相互影响、上下分蓄洪要求此消彼长。三峡工程解决荆江防洪安全本已使问题得到简化,然而因城陵矶水位抬高、三口分洪减小加上过去计算忽视了城陵矶复杂的绳套关系对中游防洪形势的影响,使得下荆江问题并未彻底解除,中游防洪问题仍然十分复杂。在当前条件下,荆江防洪安全问题仍是主要矛盾,同时汉口附近须保持一定的安全余地。提高城陵矶设计水位和牌洲裁弯措施的单独效果均明显大于南北分洪,但由于后者能更有效控制下荆江水位,可纳丹江口参与长江中游防洪,为汉口附近提供较大安全余地,因此南北分洪是解决中游防洪矛盾的重要环节。此外,扩大松滋口分洪(洪)对增加洞庭湖水资源量、

保护湖区生态环境、稳定江湖关系等还具有积极作用,是整治洞庭湖的全局和前提性措施^[9]。

3 长江中游防洪综合方案研究

本文按三峡优化调度方案^[1]结合前述各种措施进行组合,寻求既可有效消除下荆江防洪风险,使城陵矶和汉口附近分洪量控制在安全范围内,同时具有较大安全余地,在一定程度偏离理想调度、河道发生变化后仍可成立的综合方案。综合方案研究考虑了牌洲裁湾、南北分洪和适当抬高城陵矶水位的组合。

3.1 牌洲裁湾与南北分洪组合

牌洲裁湾与南北分洪组合方案的计算结果(表 6)与不裁湾(表 5)比较,城陵矶附近分洪量明显降低,汉口分洪量增加。三峡优化调度(推迟泄洪)后,城陵矶分洪量降低到 249 亿,186 亿 m^3 ,汉口增加到 53 亿,59 亿 m^3 。长江沿岸水位均满足《长防规》^[4]要求。相比而言,南北对等分洪城陵矶分洪量约少 10 亿 m^3 ,但需丹江口帮助拦洪。

表 6 南北分洪与牌洲裁湾组合调度 1954 年全流域洪水结果

Table 6 Predicted result of 1954 flood under the combined actions of DNS and CPB

研究方案	南北对等分洪		扩大松滋口分洪	
	枝城调度 (推迟泄洪)	城陵矶调度(II) (推迟泄洪)	枝城调度 (推迟泄洪)	城陵矶调度(II) (推迟泄洪)
方案编号	XVII	XVIII	XIX	XX
南北分洪量/ 10^8m^3	45.3	44.6	51.9	48.7
丹江口拦蓄/ 10^8m^3	9.2	15.3	—	—
分洪量 / 10^8m^3	松滋河	3.8	6.2	23.5
	城陵矶	238.6	174.7	249.4
	汉口	59.1	53.7	57.4
最高水位/m	沙市	43.71	43.93	43.70
	监利	37.28	37.28	37.28
	莲花塘	34.4	34.4	34.4
	螺山	33.69	33.68	33.68
	汉口	29.73	29.73	29.73
	枝城	56700	63500	56700
最大流量 / $(m^3 \cdot s^{-1})$	监利	40100	40600	39900
	螺山	65800	65800	65800
	汉口	72800	72800	72500
				72600

牌洲裁湾使城汉河段泄洪能力明显增加。莲花塘水位 34.4m 的螺山流量由 60600 m^3/s 提高到 65800 m^3/s , 汉口同水位流量增加 1400 m^3/s 。城陵矶调度 II 下,南北对等分洪需要丹江口和松滋河拦分洪 15.3 亿,6.2 亿 m^3 ; 扩大松滋口分洪需松滋河分洪 24.5 亿 m^3 。丹江口拦洪直接减少汉口分洪量,对保证汉口不超过规划 68 亿 m^3 分洪条件非常重要。

3.2 适当抬高城陵矶水位与南北分洪组合

计算方案考虑三峡优化枝城和城陵矶调度 II^[1]、城陵矶设计水位 34.4~35.4m, 南北分洪分别考虑南北对等分洪和扩大

松滋口分洪,丹江口水库适当补偿调节,控制汉江下游(仙桃)流量不超过 10000 m^3/s (南北对等分洪)或 6000 m^3/s (扩大松滋口分洪)。

湖口、汉口、城陵矶和监利均满足设计水位后的沿途分洪结果见表 7。城陵矶分洪量随城陵矶设计水位抬高而迅速减少,而汉口分洪量相应增加,丹江口可有效补偿调节汉口分洪量。三峡优化的枝城与城陵矶调度在城陵矶的分洪量相差 60 亿~65 亿 m^3 。根据三峡论证^[2]确定汉口分洪 68 亿 m^3 、城陵矶 280 亿 m^3 (枝城调度)或 218 亿 m^3 (城陵矶调度)条件,城陵矶可行的设



计水位见表 7 中的红色数据。南北对等分洪、扩大松滋口分洪
可选城陵矶设计水位 34.9,35.2m,但考虑到过大提高城陵矶设

计水位对荆江淤积等影响较大,城陵矶附近堤防实际附加超高
只有 0.5m,将城陵矶设计水位取为 35m 以内更为合适。

表 7 适当抬高城陵矶水位与南北分洪组合方案调节 1954 年全流域洪水结果
Table 7 Predicted result of 1954 flood under the combined actions of DNS and RSD

方案组合	城陵矶水位/m	城陵矶分洪/10 ⁸ m ³	汉口分洪/10 ⁸ m ³	松滋河分洪/10 ⁸ m ³	丹江口水库拦洪/10 ⁸ m ³	增加南北分洪量/10 ⁸ m ³	
南北对等分洪	34.4	321	3	6	16	42	
	34.5	291	5	8	18	52	
	34.6	264	8	10	21	59	
	34.7	231	15	12	26	76	
	34.8	204	17	13	29	87	
	34.9	168	42	14	34	103	
	35.0	130	68	16	36	114	
	35.1	115	74	16	37	125	
	35.2	98	90	16	38	128	
	35.3	73	103	16	40	139	
	35.4	56	115	17	44	154	
	扩大松滋口增加分洪	34.4	380	5	4	10	49
		34.5	350	9	7	13	60
		34.6	321	13	10	17	71
34.7		289	22	12	20	86	
34.8		263	26	12	23	98	
34.9		222	56	12	31	131	
35.0		189	81	11	33	140	
35.1		166	97	10	35	155	
35.2		147	114	11	35	154	
35.3		124	130	11	41	161	
35.4		110	141	12	43	176	
城陵矶调度 II		34.4	312	2	23		44
		34.5	283	4	28		55
		34.6	257	7	33		70
	34.7	231	10	37		82	
	34.8	204	15	43		96	
	34.9	180	20	45	43	103	
	35.0	157	26	47		106	
	35.1	130	36	50		113	
	35.2	103	47	52		117	
	35.3	91	63	55		122	
	35.4	74	77	57		126	
	城陵矶调度 I	34.4	374	1	25		53
		34.5	342	4	31		85
		34.6	316	6	36		99
34.7		298	9	31		65	
34.8		267	13	42		111	
34.9		241	18	48	43	127	
35.0		217	24	51		132	
35.1		192	33	56		143	
35.2		168	44	57		146	
35.3		143	69	58		150	
35.4		137	77	58		149	

按此城陵矶设计水位和三峡优化枝城调度或城陵矶调度(城 II),南北对等分洪,城陵矶分洪 222 亿或 168 亿 m^3 ,汉口分洪 56 亿或 42 亿 m^3 ,丹江口拦洪 31 亿或 36 亿 m^3 ,松滋河分洪 15 亿 m^3 以内;扩松滋口分洪,城陵矶分洪 217 亿或 157 亿 m^3 ,汉口分洪 24 亿或 26 亿 m^3 ,丹江口拦洪 43 亿 m^3 ,松滋河分洪 47 亿或 51 亿 m^3 。螺山、汉口最大泄量明显提高,而下荆江最大流量只有 38000~40000 m^3/s 。两种情况下,丹江口补偿调节对控制汉口附近分洪量增加均发挥了重要作用。

4 综合防洪方案的余地和灵敏性

前文提出的两类综合方案,在三峡建成后城陵矶附近提供 280 亿或 218 亿 m^3 分蓄洪区条件下,均可将 1954 年洪水控制在安全范围内。但在实际调度中,水文预报、堤防可靠性和分蓄洪区使用条件等存在较大的不确定性;同时,中游河道正处于剧烈的冲淤变化过程中。长江中游防洪是一个极其复杂的问题,实际调度远比模型模拟情景困难,方案必须在控制方面留有余地,使得河流条件发生一定变化后仍可成立。限于篇幅,本文研究牌洲裁湾与南北分洪组合,以适当抬高城陵矶分洪水位为调度余地的综合方案,以表 6 的方案 XVIII 为例,其余方案结果类似。

4.1 余地

1998 年洪水后,城陵矶附近较一般 I 级堤防超高 0.5m,因此适当抬高城陵矶水位作调度时不应超过 0.5m。

城陵矶设计水位和丹江口水库拦洪对控制城陵矶和汉口附近分洪有较大余地。如图 6 所示,若将方案 XVIII 中的城陵矶设计水位提高 0.1m,城陵矶附近分洪量便可进一步降低

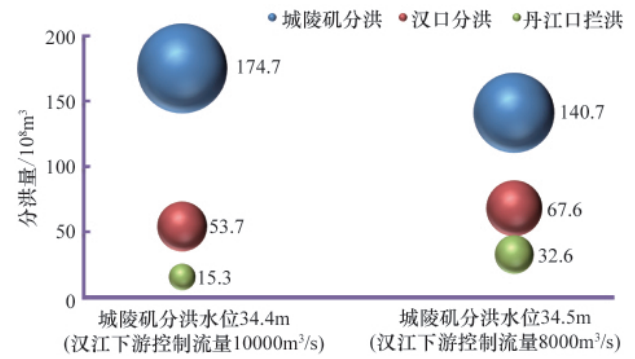


图 6 城陵矶分洪水位微调对降低综合方案分洪、拦洪量的作用(方案 XVIII)

Fig. 6 Sensitivity of RSD for the comprehensive scheme with CPB+DNS

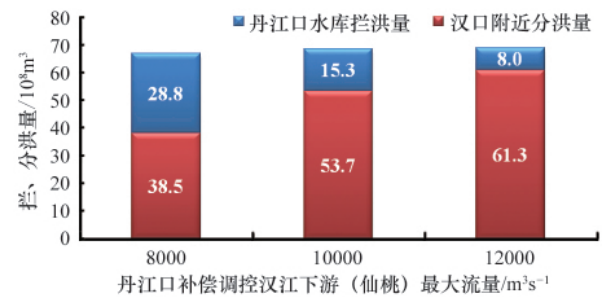


图 7 丹江口拦洪量与汉口附近分洪量的关系(方案 XVIII)

Fig. 7 Impact of compensating flood discharge of Danjiangkou on the diversion around Hankou, the comprehensive scheme with CPB+DNS

表 8 城汉河段糙率系数变化对综合方案结果的影响及应对措施的效果(1954 年洪水)

Table 8 Impact of roughness coefficient of Chenglingji-Hankou on the comprehensive scheme and countermeasures

方案情况	不增加糙率	方案 XVIII, 糙率 5%	方案 XXI, 城陵矶水位 34.6m	方案 XVIII, 糙率 8%	方案 XXIII, 城陵矶水位 34.7m	
方案编号	XVIII	XXI	XXIII	XXIII	XXIV	
分洪道分洪/ 10^8m^3	44.6	45.5	53.5	42.6	65.4	
丹江口调节/ 10^8m^3	15.3	15.7	46.5	15.3	51.8	
中游分洪量 / 10^8m^3	松滋河	6.2	5.9	24.1	6.0	27.0
	城陵矶	174.7	251.8	180.4	295.5	189.8
	汉口	53.7	18.0	25.1	7.8	16.24
中游最高水位 /m	沙市	43.93	43.86	43.61	43.92	43.58
	监利	37.28	37.28	37.28	37.46	37.28
	莲花塘	34.4	34.40	34.6	34.39	34.70
	螺山	33.68	33.69	33.87	33.69	33.98
	汉口	29.73	29.73	29.73	29.73	29.73
中游最大流量 / $(m^3 \cdot s^{-1})$	枝城	63500	63400	63200	63400	63200
	监利	40600	39500	38400	40500	37200
	螺山	65800	63100	64700	61400	64300
	汉口	72800	72400	72300	72100	72000

到 141 亿 m^3 。图 7 比较了丹江口补偿调节控制汉江下游(仙桃)流量与汉口分洪量的关系。仙桃流量由 $12000m^3/s$ 降低到 $8000m^3/s$ (丹江口水库拦洪量从 8 亿 m^3 增加到 29 亿 m^3)可使汉口分洪量从 61.3 亿 m^3 降低到 38.5 亿 m^3 。对三峡按优化枝城调度(方案 XIX)再将丹江口控制的仙桃流量降低到 8000,6000 和 $5000m^3/s$ (丹江口拦洪 13 亿,43 亿和 71 亿 m^3),城陵矶设计水位提高 0.1m 可将城陵矶、汉口分洪量降到 204 亿,29 亿 m^3 (图 8)。

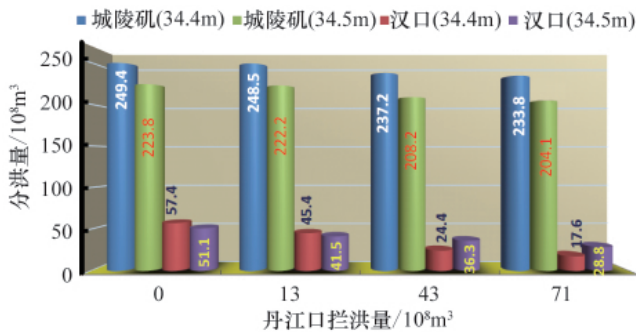


图 8 丹江口拦洪对降低长江中游分洪量的作用

Fig. 8 Impact of flood detention of Danjiangkou reservoir on the diversions in the mid-Yangtze, the comprehensive scheme with CPB+DNS

4.2 灵敏性

影响中游防洪最关键和敏感的因素是城陵矶水位。在三峡下泄清水冲刷等条件下,城汉河段冲淤直接影响城陵矶水位,因此需要研究城陵矶水位抬高的情况。将城陵矶—汉口河段糙率系数增加 5%和 8%作为灵敏性因子,以 20 世纪 90 年代水位、流量资料率定和验证后的模型糙率为基本条件进行研究。城汉河段糙率增加主要对干流监利和城陵矶水位有较大影响。糙率增加 5%,8%使得城陵矶最高洪水水位抬高 0.35 和 0.55m。前者抬高沙市、监利和汉口最高水位 0.06,0.26 和 -0.02m,后者 0.09,0.41 和 -0.04m。糙率增大使洞庭湖调节作用、汉口洪峰流量和水位均降低。

增加城汉河段糙率对方案 XVIII 的影响见表 8,城陵矶分洪量对城汉河段糙率或城陵矶水位的依赖性很大。糙率增加 5%后,可将城陵矶设计水位提高 0.2m,丹江口拦洪量增加 33 亿 m^3 (共拦 46.5 亿 m^3)、松滋河分洪增加 17.9 亿 m^3 ,则城陵矶分洪量可控制在 180 亿 m^3 ;糙率增加 8%,将城陵矶设计水位抬高 0.3m 即可得到控制。

5 结论

本文对第 I 部分^[1]提出三峡建成后长江中游的严峻的防洪形势和问题,用相同数学模型研究了多种代表性措施的防洪效果,在此基础上构建了防御 1954 年洪水的解决方案。首先对提高城陵矶水位、牌洲裁弯和南北分洪等措施分别进行计算研究。这些措施都具有较大作用,但在《长防规》确定的

条件下又都难单独从根本上保证长江中游 1954 年洪水安全。在此基础上,通过大量方案优选提出将牌洲裁弯与南北分洪组合,以适当提高城陵矶水位为调度余地的综合方案。

综合方案除需要牌洲裁弯等工程支撑条件外,还要充分利用三峡水库优化调度、松滋河分蓄洪、双沙运河分洪和加高后的丹江口水库襄助汉江下游补偿调节措施,利于城陵矶等堤防附加超高相机适当提高分洪水位(0.5m 以内)等,在《长防规》规划确定城陵矶、汉口附近建设 218 亿,68 亿 m^3 分蓄洪区条件下使长江中游可以防御 1954 年洪水。研究表明,本文提出的综合方案具有较大的适应性。

为了保护长江中游河道、维持洞庭湖与荆江比较稳定的“江湖关系”、保护洞庭湖区水资源、生态环境及通航条件、保证南北分洪后汉江下游安全,需要做到以下几点:① 将扩大松滋口引“清水”入洞庭湖与其口门建闸、河道改造与“并支强干”、澧水尾间防洪和湖区分蓄洪区建设、以及水资源与生态环境保障等统筹考虑;② 将牌洲裁弯定位为防洪应急措施,在分洪道口门建大型闸门,通过调控同时实现控制洪水和枯水期城陵矶和洞庭湖水位、抑制荆江剧烈冲刷的目的;③ 加强汉江下游堤防建设、提高防洪标准,将加高丹江口大坝增加的防洪库统一容纳入长江中游和汉江下游防洪体系。

限于水平和条件、本研究存在以下不足或可能在一定程度上影响成果精度:① 三峡调度与下游防洪模型没有严格耦合;② 模型根据实测资料率定和 1998、1999 年汛后地形,计算 1998 年洪水水位略低于实测;③ 模型下边界湖口附近计算结果相对不准确;④ 松滋河、双沙运河系按概化地形计算,丹江口调节未考虑汉江中游演进过程。

参考文献 (References)

- [1] 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. *Science & Technology Review*, 2010, 28(22): 60-68.
- [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: Structure. Vol IV. Wuhan: Changjiang Water Resources Commission, 1992.
- [3] 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 Water Power Press, 2002.
- [4] 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.
- [5] 安申义. 长江螺山站高水位流量关系和城陵矶(莲花塘)控制水位的研究[J]. 水利水电技术, 2001, 32(11): 1-6.
An Shenyi. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2001, 32(11): 1-6.



- [6] 何格高, 安申义. 对长江中游城陵矶设计洪水位的意见 [J]. 科技导报, 2001(5): 40-41.
He Gegao, An Shenyi. *Science & Technology Review*, 2001(5): 40-41.
- [7] 谭培伦. 洞庭湖区防洪治理与三峡工程关系简析 [J]. 人民长江, 2000, 31(5): 24-26.
Tan Peilun. *Yangtze River*, 2000, 31(5): 24-26.
- [8] 李正最, 汤喜春. 论三峡工程建成后长江城汉河段的综合整治 [J]. 水电站设计, 2002, 18(4): 10-16.
Li Zhengzui, Tang Xichun. *Design of Hydroelectric Power Station*, 2002, 18(4): 10-16.
- [9] 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 Bingnan, Zhou Jianjun. *China Three Gorges Construction*, 2003, 10(12): 4-6.
- [10] 周建军, 林秉南, 张仁. 关于兴建江汉排洪通道缓解长江和汉江洪水的设想[J]. 水利学报, 2000(11): 84-88.
Zhou Jianjun, Lin Bingnan, Zhang Ren. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2000(11): 84-88.
- [11] 杨怀仁, 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.
Yang Huairan, Tang Richang. An study on the evolution of Jingjiang river reach of the middle Yangtze River[M]. Beijing: China Water Power Press, 1999.

(责任编辑 代丽)



欢迎订阅 《中国学术期刊文摘》

《中国学术期刊文摘》致力于全面、快速地向广大科技工作者交流和传播中国科学技术各领域的原创性学术成果。《中国学术期刊文摘(中文版)》遴选中国近600种高水平科技期刊为文摘收录源期刊, 每期收录学术论文文摘和中国科协系统学术会议论文题录共4000余条; 是科研单位、高等院校、图书馆以及广大科技工作者了解中国科技研究成果、学术研究动向的重要参考工具书。《中国学术期刊文摘(中文版)》为半月刊, 2011年定价为45元/册, 邮发代号: 82-707。

《中国学术期刊文摘(英文版)》遴选近400种中国高水平科技期刊作为收录源期刊, 是海外科技工作者了解中国科技发展动态、最新科研成果的重要窗口。《中国学术期刊文摘(英文版)》为月刊, 2011年定价为30元/册, 邮发代号: 80-487。

中国科协所属全国学会个人会员订刊享受8折优惠。