

淮河临淮岗洪水控制工程洪水调度数学模型应用

吴时强^{1,2}, 吴修锋^{1,2}, 周辉^{1,2}, 周杰^{1,2}, 范子武^{1,2}

(1. 南京水利科学研究所, 江苏 南京 210029; 2. 水文水资源与水利工程国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 利用所建立的临淮岗工程洪水调度运行模型, 针对临淮岗工程三湖圈圩方案, 就百年一遇洪水情况下临淮岗工程洪水调度运行方案进行了研究. 按照工程上下游控制条件, 分析研究临淮岗工程以及行蓄洪区运用方式, 得出通过适当的工程调度可以达到百年一遇洪水控制设计标准, 为临淮岗工程运行调度方案的确定提供可靠科学依据.

关键词: 淮河; 临淮岗工程; 洪水调度; 数学模型; 剖开算法

中图分类号: TV122:O242.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-640X(2009)03-0001-07

临淮岗洪水控制工程位于正阳关以上 25 km, 集水面积 42 160 km², 与上游的山区水库、中游的行蓄洪区、淮北大堤以及茨淮新河、淮洪新河共同构成淮河中游多层次综合防洪体系, 使淮河中游防洪标准提高到 100 年一遇. 临淮岗工程正常运用洪水标准为 100 年一遇, 坝前设计洪水水位 28.41 m, 相应库容 85.6 亿 m³. 当淮河上、中游发生大洪水, 正阳关上、下淮河行蓄洪区均已充分运用, 但当正阳关水位超过设计水位 26.4 m(85 年国家高程, 下同)、鲁台子流量超过 10 000 m³/s 时, 启用临淮岗工程控泄洪水, 维持正阳关以下河道流量不超过设计标准^[1-5].

临淮岗工程由主坝(土坝)、南北副坝(沿岗堤)、49 孔浅孔闸、12 孔深孔闸、姜唐湖进洪闸、船闸及上、下游引河组成. 大坝穿过姜家湖, 并在此段建闸, 姜家湖以上有邱家湖行洪区, 下有唐垛湖行洪区(见图 1). 对于邱家湖、姜家湖和唐垛湖, 有两湖圈圩和三湖圈圩两个运行方案; 临淮岗工程运行方式复杂, 涉及因素较多, 需要通过洪水演进计算确定合理的运行方式. 文献[6]就此建立了临淮岗洪水控制工程洪水调度模型, 并利用 1982 年和 1991 年的洪水实测资料对模型进行了验证计算, 结果表明所建立的数学模型能够较好地预报临淮岗工程附近洪水演进过程, 可作为临淮岗工程运行调度方案的确定工具.

本文主要目的就是利用所建立的临淮岗工程洪水调度模型^[6], 针对三湖圈圩方案, 就百年一遇洪水情况下临淮岗工程洪水调度方案进行研究, 提出工程调度和行蓄洪区运用方式, 确保大坝和下游河道两岸安全.

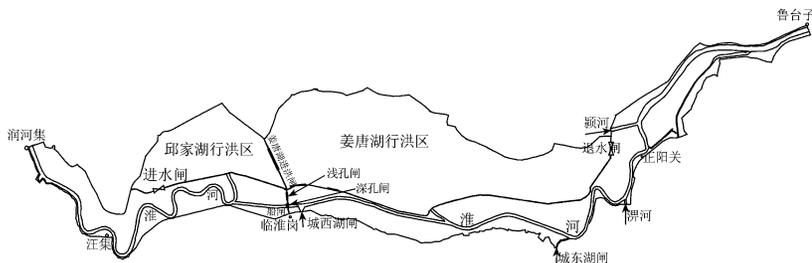


图 1 临淮岗工程示意图(三湖方案)

Fig. 1 The sketch of Linhuaigang Project

1 规划方案及其运用条件

按照规划, 邱家湖、姜家湖和唐垛

收稿日期: 2008-09-10

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目“防洪工程体系洪水调控模拟关键技术”(2006BAC05B03)

作者简介: 吴时强(1964-), 男, 浙江诸暨人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事计算水力学、水工水力学、环境水力学研究. E-mail: sqwu@nhri.cn

湖三湖圈圩方案为邱家湖与姜家湖坝上部分何家圩联圩建成邱家湖蓄(行)洪区,坝下部分与唐垛湖联圩建成姜唐湖蓄(行)洪区,建邱家湖进洪闸、姜唐湖进洪闸和姜唐湖退水闸三闸控制其蓄、行洪(见图1)。临淮岗洪水控制工程运用条件见表1,百年一遇洪水规划方案水位过程如图2所示。按照工程设计要求,邱家湖闸运行有两种方案,泄流量分别为1 900和2 400 m^3/s ,其他泄水建筑物水力参数见表2。计算中,假定邱家湖第一次开启、关闭时间为24和6 h,姜唐湖进洪闸第一次开启和关闭时间分别为12和6 h。以后启用中,邱家湖、姜唐湖进洪闸只要满足启用条件即开启或关闭,不考虑启动时间。对于姜唐湖退水闸,计算时假定其泄流能力与进洪闸相同,不考虑其开启、关闭时间。

表1 临淮岗工程堰闸控制运用条件

Tab. 1 Control operation conditions of Linhuai Project

运用条件	
临淮岗枢纽 控制运用方法	中小洪水,临淮岗工程不控制。大洪水,在城东湖、姜唐湖充分运用后,鲁台子泄量仍将超过10 000 m^3/s 时,临淮岗枢纽开始关闸控制,使鲁台子下泄量不超过10 000 m^3/s ;坝上水位将超过设计水位28.41 m时,加大泄量维持坝上水位28.41 m。当入库流量超过临淮岗工程泄流能力时,坝前水位自然抬高,来水减退;坝前水位降至设计洪水水位时,再按维持鲁台子流量10 000 m^3/s ,控制临淮岗下泄流量,坝前水位逐渐回落,直到闸门全开,恢复河道正常行洪。
城东湖闸开闸条件	正阳关水位将超过26.40 m。 (1)王截流水位将超过28.00 m;
邱家湖进洪闸开闸条件	(2)正阳关水位将超过26.40 m,先于城东湖进洪; (3)临淮岗下泄流量 $Q > 7\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。
姜唐湖进洪闸开闸条件	邱家湖蓄水位将超过26.90 m。
姜唐湖退水闸开闸条件	正阳关水位将低于26.40 m。

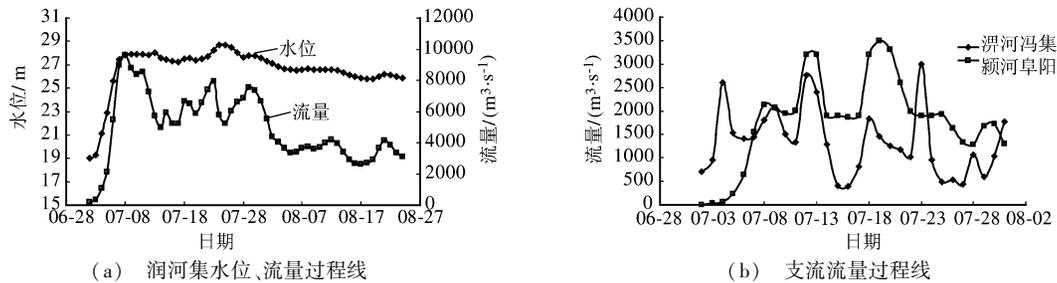


图2 百年一遇洪水规划方案控制站水文条件

Fig. 2 Hydrological processes at control stations under 1% frequency flood

表2 泄水建筑物水力参数

Tab. 2 Hydraulic parameters of the sluicing structures

	闸上水位 / m	闸下水位 / m	深孔闸泄量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	浅孔闸泄量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	姜唐湖进洪闸泄量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		
					全开	开度一	开度二
平槽	21.23	20.66	1 325.00				
漫滩	25.63	25.51	476.00				
行洪	26.90	26.70	602.00	7 027.00	2 400.00		
1%洪水	28.41	26.75	1 735.00	17 827.00		1 881.00 2 395.00	

注: 1%设计洪水:开度一为闸门开启高度2.55 m,开度二为闸门开启高度3.10 m。

2 水流数学模型

考虑到所研究对象及研究内容,采用二维水流模型与一维水流模型相结合的方法^[7,8],淮河主干流及各行洪区采用平面二维水流数学模型计算水流流动,溧河和颍河采用一维水流数学模型计算洪水波的传播,在

支流入淮河口处采用水位与流量的关系衔接,建立一、二维水流嵌套式数学模型。

3 邱家湖进洪闸 1 900 m³/s 泄量时洪水调度运行

3.1 控制闸启用方式

按照规划方案的要求,临淮岗工程在鲁台子泄量大于 10 000 m³/s 时,浅孔闸和深孔闸适当控制下泄流量,维持正阳关水位不超过 26.40 m。为此,研究邱家湖和姜唐湖各控制闸的启用方式。经试算,邱家湖和姜唐湖进洪闸及退洪闸的运行方式确定为:当邱家湖进洪闸泄量维持 1 900 m³/s、库水位达到 26.85 m 且上游来流量超过 7 000 m³/s 时,第一次启用进洪闸。当正阳关水位低于 26.20 m、上游来流量小于 5 700 m³/s,或姜唐湖水位高于 26.40 m,正阳关水位高于 26.20 m 时,开始关闭进洪闸。当上游水位高于 28.30 m 时,再次开启进洪闸。当邱家湖水位高于 26.40 m 时,开启姜唐湖进洪闸。当姜唐湖水位高于 26.30 m、正阳关水位低于 26.25 m 时,启用姜唐湖退水闸。百年一遇设计洪水、邱家湖进洪闸泄量 1 900 m³/s 时,邱家湖、姜唐湖各控制闸的泄流过程如图 3 所示。可见,邱家湖进洪闸第一次开启后一直持续了 439.0 h,进洪量达 29.00 亿 m³,之后进洪闸的启用时间相对较短,邱家湖进洪闸一共启用 4 次,总启用时间为 549.0 h,进洪量为 36.53 亿 m³。姜唐湖进洪闸第一次开启后一直持续了 403.0 h,进洪量达 26.95 亿 m³,姜唐湖进洪闸共启用了 3 次,总启用时间为 522.0 h,进洪量为 35.09 亿 m³;姜唐湖退水闸只开启 2 次,其泄流状况比较简单,总启用时间为 450.0 h,退水量为 30.78 亿 m³。邱家湖蓄洪量为 1.44 亿 m³,姜唐湖蓄洪量为 4.31 亿 m³。

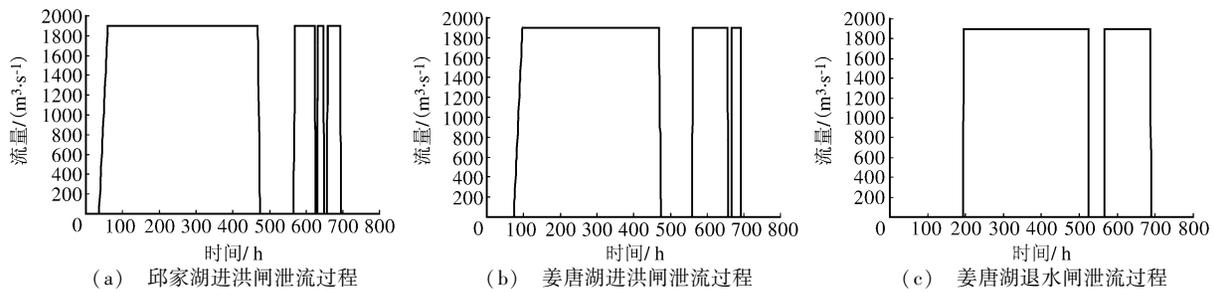


图 3 邱家湖、姜唐湖各控制闸泄流过程

Fig. 3 Discharge process at some control gates for Qiuji Lake and Jiangtang Lake

3.2 水位过程

图 4 为浅孔闸、深孔闸闸前水位、坝下水位和正阳关水位变化过程。分析可见,在上述运行方式下,浅孔闸和深孔闸闸前水位均未超过坝前设计水位 28.40 m,其最高水位均为 28.22 m。下游正阳关水位基本上控制在 26.40 m 以下,只是在第二次洪峰时的个别时段水位偏高,其瞬时最高水位为 26.62 m,这是由于正阳关控制的水位是日均值,而计算值为瞬时值,如按日均计算,则第二个洪峰水位也没有超过控制值。

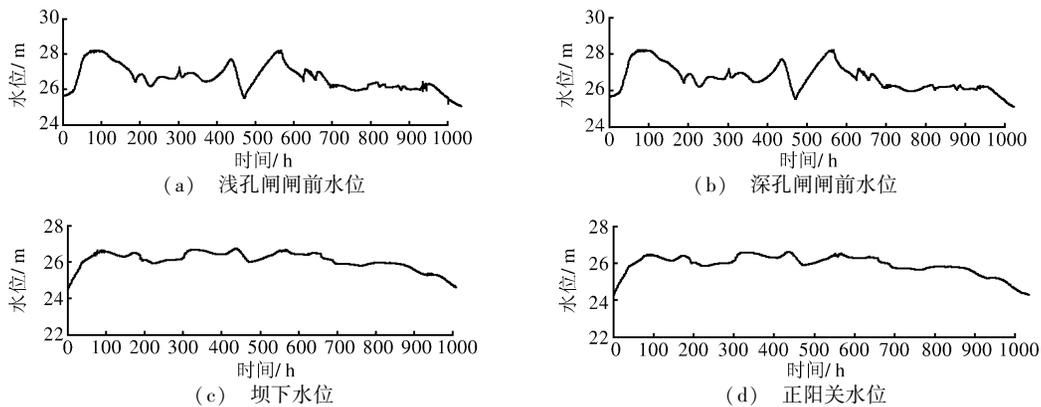


图 4 水位变化过程

Fig. 4 Water-level hydrographs at control stations

3.3 泄流能力

图5为各闸泄流量变化过程. 可见,百年一遇设计洪水情况下,浅孔闸为主要泄流设施,其中深孔闸最大泄流量为 $2\,378\text{ m}^3/\text{s}$,坝前水位为 28.20 m ,浅孔闸最大泄流量为 $7\,010\text{ m}^3/\text{s}$,坝前水位为 27.92 m . 在泄洪过程中,深孔闸和浅孔闸的分流比维持在 $1:3$ 左右.

3.4 流场流态分析

图6为典型瞬时流场分布. 可见,30 h瞬时,水漫河道滩地,深孔闸和浅孔闸同时过流,下游流态平稳,深孔闸出流流速较大,在其出口右侧存在一小的回流区. 此时邱家湖已过流,水流从邱家湖上游侧流入湖区,又在下游侧回到主河道中,流态较为平顺,但各控制闸均未开启. 70 h瞬时,邱家湖进洪闸开启进流,湖内水流流态平稳,进洪闸出口处水流扩散作用明显,此时姜唐湖控制闸未开启. 在其余瞬时,河道流态与70 h瞬时基本相同,只是各控制闸的启用方式有所区别.

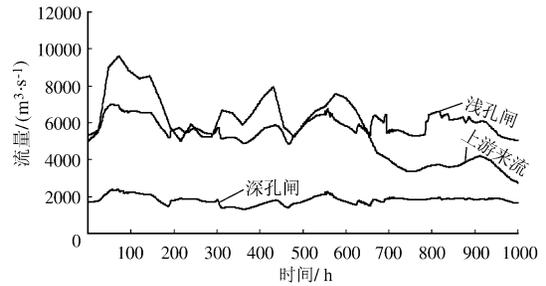


图5 各闸泄流量过程

Fig. 5 Discharge hydrographs at each gate

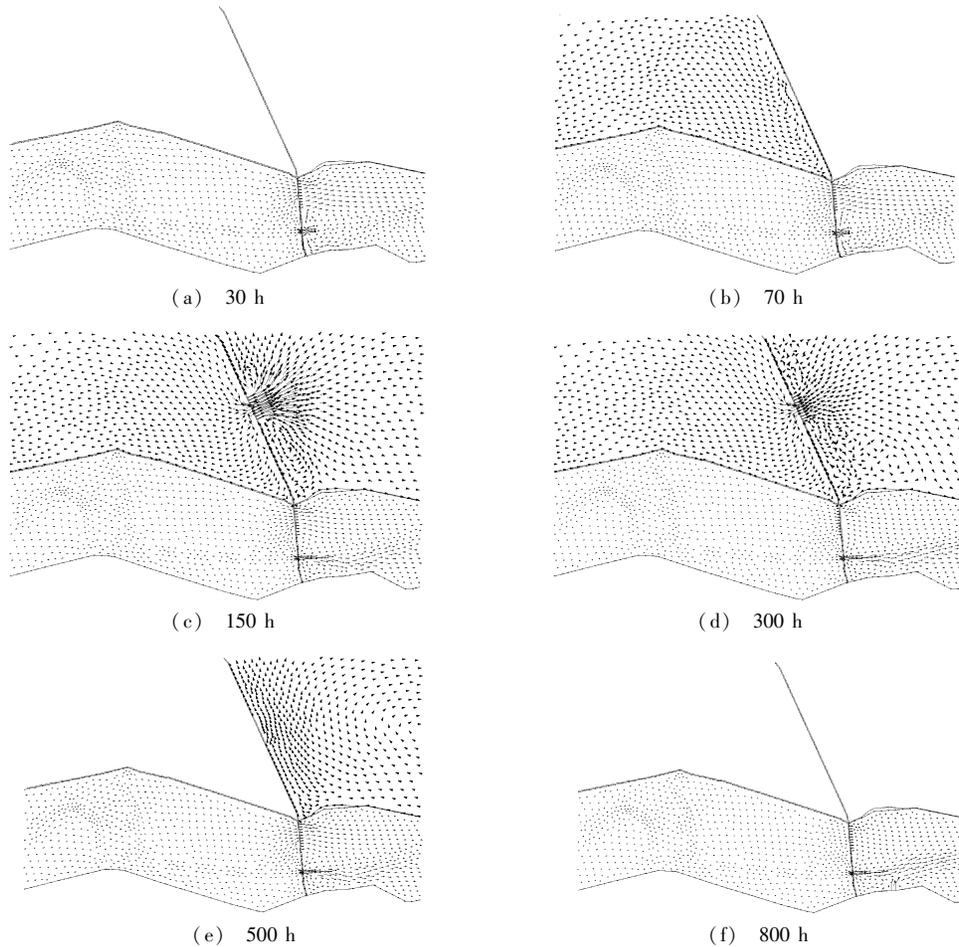


图6 临淮岗枢纽附近区域流场

Fig. 6 Velocity field near Lianhuaigang Project

可见,在润河集流量为百年一遇设计洪水、邱家湖进流量为 $1\,900\text{ m}^3/\text{s}$ 时,通过进洪闸的合理调度运行,可实现临淮岗坝前水位不超过 28.41 m 的目标,正阳关水位只在个别时段超过 26.40 m 的控制水位. 从典型瞬时流场分布看,除深孔闸出口右侧存在一回流区外,坝前、坝后的水流流态总体平稳. 在整个洪水过程中,大部分洪水由浅孔闸过流,深孔闸和浅孔闸的分流比维持在 $1:3$ 左右.

4 邱家湖进洪闸 2 400 m³/s 泄量时洪水调度运行

4.1 控制闸启用方式

当邱家湖进洪闸泄量维持 2 400 m³/s、库水位 26.85 m 且上游来流量超过 7 000 m³/s 时,第一次启用进洪闸.当正阳关水位低于 26.20 m、上游来流量小于 5 700 m³/s,或姜唐湖水位高于 26.40 m,正阳关水位高于 26.20 m 时,开始关闭进洪闸.当上游水位高于 28.30 m 时,再次开启进洪闸.当邱家湖水位高于 26.40 m 时,开启姜唐湖进洪闸.当姜唐湖水位高于 26.30 m、正阳关水位低于 26.25 m 时,启用姜唐湖退水闸.在百年一遇设计洪水、邱家湖进洪闸泄量 2 400 m³/s 时,邱家湖和姜唐湖各控制闸的泄流量过程如图 7 所示.

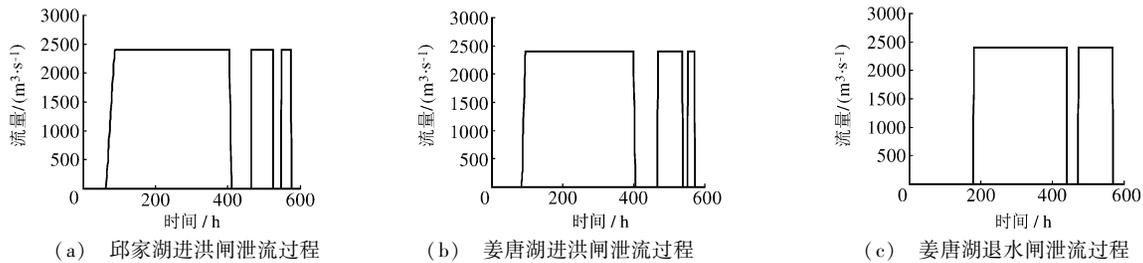


图 7 邱家湖、姜唐湖各控制闸泄流过程

Fig. 7 Discharge process at each control gate for Qiuja Lake and Jiangtang Lake

可见,邱家湖进洪闸第一次开启后一直持续了 347.0 h,进洪量达 28.69 亿 m³,进洪闸一共启用 3 次,总启用时间为 443.0 h,进洪量为 36.20 亿 m³.姜唐湖进洪闸第一次开启后一直持续 321.0 h,进洪量达 26.96 亿 m³,进洪闸共启用了 3 次,总启用时间为 410.0 h,进洪量为 34.65 亿 m³.姜唐湖退水闸共开启 2 次,总启用时间为 355.0 h,退水量为 30.67 亿 m³.邱家湖蓄洪量为 1.55 亿 m³,姜唐湖蓄洪量为 3.98 亿 m³.

4.2 水位过程

图 8 为浅孔闸、深孔闸前水位、坝下水位和正阳关水位变化过程.分析可见,在上述运行方式下,浅孔闸和深孔闸前水位基本没有超过坝前设计水位 28.40 m,其中浅孔闸前最高水位为 28.39 m,深孔闸前最高水位为 28.42 m.下游正阳关水位也基本上控制在 26.40 m 以下,只是在两次洪峰前后的短时间内水位偏高,其瞬时最高水位为 26.71 m.

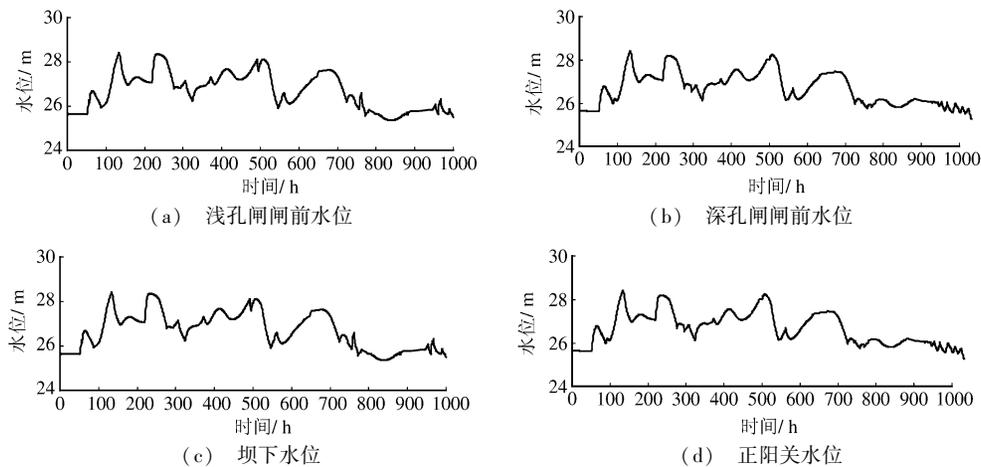


图 8 水位变化过程

Fig. 8 Water-level hydrographs at control stations

4.3 泄流能力及流场流态

图9为各闸泄流量变化过程.可见,百年一遇设计洪水情况下,浅孔闸为主要的泄流设施.其中深孔闸最大泄流量 $3\,278.56\text{ m}^3/\text{s}$,相应坝前水位为 27.11 m ,浅孔闸最大泄流量为 $7\,461.60\text{ m}^3/\text{s}$,相应坝前水位为 28.34 m .在整个洪水过程中,深孔闸和浅孔闸的分流比基本维持在 $1:3$ 左右.

典型瞬时的流场分布基本上与邱家湖进洪闸泄流量 $1\,900\text{ m}^3/\text{s}$ 时相似,只是不同瞬时时间有所不同,流态总体较为平顺,没有不利流态,这里不再赘述.

可见,在润河集流量为百年一遇设计洪水、邱家湖进流量为 $2\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 时,通过进洪闸的合理调度运行,可以基本实现临淮岗坝前水位不超过 28.41 m 、正阳关水位只在洪峰时刻前后个别时段超过 26.40 m 的控制水位.从各典型瞬时的流场分布看,除深孔闸出口右侧存在一回流区外,临淮岗坝前、坝后的水流流态总体平稳.整个洪水过程中,大部分洪水由浅孔闸过流,深孔闸和浅孔闸的分流比维持在 $1:3$ 左右.由于深孔闸和浅孔闸的泄量和流速的不同,因此在两闸前存在一个很小的纵向水位差.

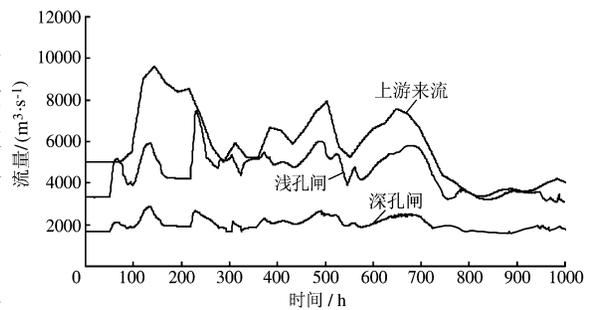


图9 各闸泄流量过程

Fig.9 Discharge hydrographs at each gate

5 结 语

(1)在润河集流量为百年一遇设计洪水,邱家湖进流量为 $1\,900\text{ m}^3/\text{s}$ 时,通过各控制闸的合理调度运行,基本上可以实现临淮岗坝前水位不超过 28.41 m 、正阳关水位不超过 26.40 m 的目标,其中临淮岗坝前最高水位为 28.22 m 、正阳关最高水位为 26.62 m .从各典型瞬时的流场分布情况看,除深孔闸出口右侧存在一回流区外,临淮岗坝前、坝后的水流流态总体平稳.在该运行工况下,浅孔闸为主要的泄流设施,且浅孔闸和深孔闸的分流比为 $3:1$ 左右.在整个洪水过程中,邱家湖进洪闸运行了 549 h ,姜唐湖进洪闸运行了 522 h ,姜唐湖退水闸运行了 450 h ,进出水量相抵,邱家湖一共蓄水 1.44 亿 m^3 ,姜唐湖一共蓄水 4.31 亿 m^3 ;

(2)在润河集流量为百年一遇设计洪水,邱家湖进流量为 $2\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 时,通过各控制闸的合理调度运行,基本上可以实现临淮岗坝前水位不超过 28.41 m 、正阳关水位不超过 26.40 m 的目标,其中临淮岗坝前最高水位为 28.42 m 、正阳关最高水位为 26.71 m .从各典型瞬时的流场分布情况看,除深孔闸出口右侧存在一回流区外,临淮岗坝前、坝后的水流流态总体平稳.在该运行工况下,浅孔闸为主要的泄流设施,且浅孔闸和深孔闸的分流比为 $3:1$ 左右.在整个洪水过程中,邱家湖进洪闸运行了 443 h ,姜唐湖进洪闸运行了 410 h ,姜唐湖退水闸运行了 355 h ,进出水量相抵,邱家湖一共蓄水 1.55 亿 m^3 ,姜唐湖一共蓄水 3.98 亿 m^3 .

淮河流域中游地区河道复杂,圩、垸众多,边滩宽阔,这些对于淮河洪水水流有一定的影响^[9-11],加之资料有限,增加了洪水演进数值模拟的难度,也是今后值得改进的地方.

参 考 文 献:

- [1] 张建云,刘金平,程绪干,等.水利工程运用对淮河洪水的影响[J].中国水利,2003(19):21-23.(ZHANG Jian-yun, LIU Jin-ping, CHENG Xu-gan, et al. Impact of waterworks on the Huai River flood[J]. China Water Resources, 2003(19): 21-23. (in Chinese))
- [2] 徐迎春,陈平,陈锡炎.淮河流域蓄洪区的运用与减灾[J].中国水利水电科学研究院学报,2004,2(1):61-65.(XU Ying-chun, CHEN Ping, CHEN Xi-yan. Operation and flood damage mitigation for flood way and flood retention regions of middle Huai River[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2004, 2(1): 61-65. (in Chinese))

- [3] 纪冰. 2003年淮河洪水调度及灾后思考[J]. 灾害学, 2004, 19(1): 54-57. (JI Bing. Flood drainage control of Huai River in 2003 and the pondering after the flood[J]. Journal of Catastrophology, 2004, 19(1): 54-57. (in Chinese))
- [4] 王九大, 虞邦义, 王久晟, 等. 淮河临淮岗洪水控制工程枢纽布置研究[J]. 水利水电技术, 2008, 39(9): 47-50. (WANG Jiu-da, YU Bang-yi, WANG Jiu-sheng, et al. Study on layout of Linhuaigang flood control project on Huai River[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2008, 39(9): 47-50. (in Chinese))
- [5] 蔡敬荀. 关于“淮河干流防御中等洪水对策研究”的探讨[J]. 治淮, 2004(3): 22-23. (CAI Jing-xun. Discussion on the countermeasures of medium flood defense for the mainstream of the Huai River[J]. Harnessing the Huaihe River, 2004(3): 22-23. (in Chinese))
- [6] 吴时强, 吴修锋, 周辉, 等. 淮河临淮岗洪水控制工程洪水调度数学模型研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(2): 196-202. (WU Shi-qiang, WU Xiu-feng, ZHOU Hui, et al. Study on a flood control operation numerical model for Linhuaigang Project on Huai River[J]. Advances in Water Science, 2005, 16(2): 196-202. (in Chinese))
- [7] 吴时强, 丁道扬. 剖开算子法解具有自由表面的平面紊流速度场[J]. 水利水运科学研究, 1992(1): 39-47. (WU Shi-qiang, DING Dao-yang. Numerical solution to the horizontal turbulent velocity field with free surface by OSFEM[J]. Journal of Nanjing Hydraulic Research Institute, 1992(1): 39-47. (in Chinese))
- [8] 吴时强, 吴修锋, 周辉. 淮河入海水道淮安地涵枢纽河道水流数值计算[J]. 河海大学学报, 2001, 29(3): 27-32. (WU Shi-qiang, WU Xiu-feng, ZHOU Hui. Numerical simulation of transient channel flow for Huai'an culvert project[J]. Journal of Hohai University, 2001, 29(3): 27-32. (in Chinese))
- [9] 河海大学. 淮河中游段淮滨-蚌埠防洪规划洪水演进数学模型[R]. 南京: 河海大学, 1994. (Hohai University. Flood mathematical model for flood control planning at midstream sections of the Huaihe River from Huaibin to Bengbu[R]. Nanjing: Hohai University, 1994. (in Chinese))
- [10] 南京水利科学研究院. 淮河干流淮滨至正阳关(鲁台子)河段大型防洪河工模型试验研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1994. (Nanjing Hydraulic Research Institute. River flood model test study for mainstream of the Huaihe River from Huaibin to Zhengyangguan[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 1994. (in Chinese))
- [11] 水利部淮委水利科学研究院. 淮河干流淮滨至正阳关段防洪模型试验研究总报告[R]. 蚌埠: 水利部淮委水利科学研究院, 1998. (Anhui Huai River Water Resource Research Institute. General report on the flood control model of Huaihe River mainstream form Huaibin to Zhengyangguan[R]. Bengbu: Anhui Huai River Water Resource Research Institute, 1998. (in Chinese))

Application of a flood control operation numerical model for Linhuaigang Project on Huai River

WU Shi-qiang^{1,2}, WU Xiu-feng^{1,2}, ZHOU Hui^{1,2}, ZHOU Jie^{1,2}, FAN Zi-wu^{1,2}

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China)

Abstract: By use of the flood control operation model for Linhuaigang flood control project on Huai River, the flood control operation program for three-lake-link plan under 1% frequency flood is studied. According to the control conditions of up- and down-stream boundaries, the operation schemes for Linhuaigang Project and flood retention are analyzed, and can meet the requirement of flood control criterion. It is demonstrated that the model is useful to forecast the flood process and determine optimal operation modes for Linhuaigang Project and flood retention.

Key words: Huai River; Linhuaigang Project; flood control operation; numerical model; operator-splitting FEM