

淮河干流正阳关至吴家渡段水动力数学模型及应用

贲 鹏,虞邦义,倪 晋,夏冬梅

(安徽省·水利部淮河水利委员会水利科学研究院水利水资源安徽省重点实验室,安徽 蚌埠 233000)

摘要:为了研究淮河干流正阳关至吴家渡段河道泄流能力、河道整治工程方案及洪水调度方式等,针对河段的特点,建立了该段河道水动力数学模型,模拟了 2005 年和 2007 年洪水过程。验证计算结果表明,模型计算精度较高,可为正阳关至吴家渡段河道综合治理和行洪区优化调度等研究提供计算平台。利用该模型分析了荆山湖行洪区在 2007 年洪水过程中的运用效果,计算结果表明,荆山湖行洪区运用可以降低田家庵站的水位,加快了所在河段洪水汇流速度。

关键词:淮河干流;荆山湖行洪区;洪水演进;水动力数学模型

中图分类号:TV131 文献标志码:A 文章编号:1006-7647(2013)05-0042-05

Development and application of hydrodynamic model in the main reach of Huaihe River from Zhengyangguan to Wujiadu//BEN Peng, YU Bangyi, NI Jin, XIA Dongmei (*Key Laboratory of Water Conservancy and Water Resources of Anhui Province, Anhui & Huaihe River Institute of Hydraulic Research, Bengbu 233000, China*)

Abstract: In order to investigate the flood discharge capacity, river regulation project and flood operation mode in the main reach of Huaihe River from Zhengyangguan to Wujiadu, a hydrodynamic numerical model was developed to simulate the flood routing based on the characteristics of this reach. This model is verified by the measured flood data in the year of 2005 and 2007. The verification results show that the model is accurate and provides a computing platform for the comprehensive treatment and optimal dispatching in flood detention areas of the main reach from Zhengyangguan to Wujiadu. The effect of the Jingshanhu flood detention area during the flood process in 2007 was analyzed by using this model. The computed results show that the use of the Jingshanhu flood detention area can reduce the water level at Tianjia'an station and increase the concentration velocity of the flood.

Key words: main stream of Huaihe River; Jingshanhu flood detention area; flood routing; hydrodynamic numerical model

1 河道概况

淮河干流正阳关至吴家渡段河道长约 141 km,区间集水面积约 7.2 万 km²,主要入汇支流有沙颍河、东淝河、西淝河、窑河、茨淮新河、涡河等。在淮北大堤与南岸岗地之间有寿西湖、董峰湖、上六坊堤、下六坊堤、石姚段、汤渔湖、洛河洼、荆山湖等 8 处行洪区和瓦埠湖蓄洪区。此外,两岸河滩地上还分布有靠山圩、魏郢子圩、天河圩等 14 个生产圩区,洪水时漫溢与行洪区一起辅助行洪,是淮河干流行洪通道的一部分。正阳关至吴家渡段河势见图 1。本段河道泄流能力不足,入汇支流多,行洪区及生产圩区数量多,规划整治工程方案涉及面广,是淮河中游河道整治的重点和难点河段,也是洪水调度方案较

为复杂的河段^[1-2]。本文根据研究河段的特点及工程需要,建立淮河干流正阳关至吴家渡段水动力数学模型,为工程规划设计和洪水调度等提供计算平台。

2 模型简介

根据河段不同区域的水流特征,建立淮河干流正阳关至吴家渡段水动力数学模型^[3]。河道采用一维数学模型,模型控制方程为 Saint-Venant 方程组,采用 Abbott 六点隐格式进行离散求解;行洪区及生产圩区采用平面二维模型,模型控制方程为 Navier-Stokes 方程沿水深进行积分得到的平面二维浅水水流方程,采用有限体积法进行离散求解;一维模型、二维模型连接计算通过补充连接断面处水位相等和流量相等关系实现^[4-6]。

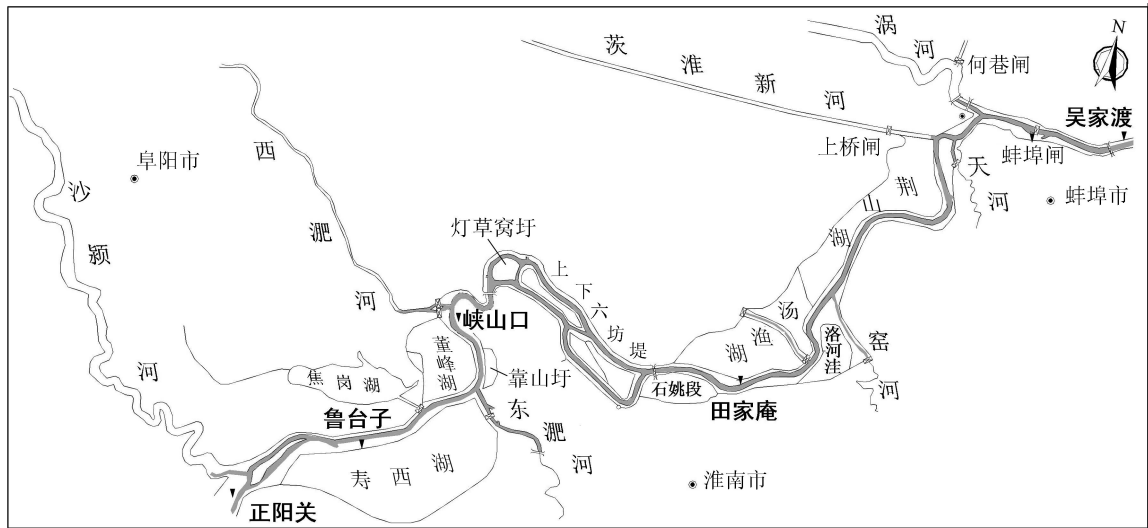


图1 淮河干流正阳关至吴家渡段河势

3 模型计算范围及计算参数

3.1 计算范围

模型的计算范围包括正阳关至吴家渡段淮河干流、南北区间主要支流、董峰湖等8个行洪区及部分生产圩区。模型结构概化如图2所示,淮河干流、沙颍河和涡河等河道采用一维模型计算;董峰湖、寿西湖、上六坊堤、下六坊堤、石姚段、洛河洼、汤渔湖和荆山湖行洪区及部分生产圩区采用平面二维模型计算。模型入流边界包括:淮河干流正阳关、沙颍河阜阳闸、涡河蒙城闸分别给定实测流量过程,其他支流给定其入淮河口流量过程;出流边界包括:怀洪新河何巷闸给定实测出流过程,淮河干流吴家渡给定实测水位过程。

3.2 计算参数及特殊问题的处理

a. 模型主要参数。为了满足计算时间和精度

的要求,一维模型空间步长取100~500m,二维模型空间步长取200~400m;时间步长为3s。河道主槽糙率为0.024~0.026,河道滩地糙率为0.032~0.040,行洪区及生产圩区糙率为0.04~0.05。涡黏系数根据Smagorinsky公式^[7]确定,常数 C_s 取0.28。

b. 行洪区溃口计算。2007年洪水过程中,除荆山湖行洪区通过进、退洪闸进行控制外,其他行洪区均为破口行洪。由于破口后口门上下水头差较大,所形成的水流强度也较大,在水流的冲刷作用下,口门不断地冲刷和坍塌直至达到最终的宽度和底坎高程,由于没有溃口过程变化资料和相关地质资料,本文将溃口的宽度、底坎高程设为时间的函数,按照堰流的公式进行计算,采用MikeFlood标准连接实现行洪区二维模型和淮河干流一维模型之间的连接计算。

c. 生产圩区漫堤计算。沿淮的重点圩区与干流河道之间主要通过漫堤的方式进行水量交换,为

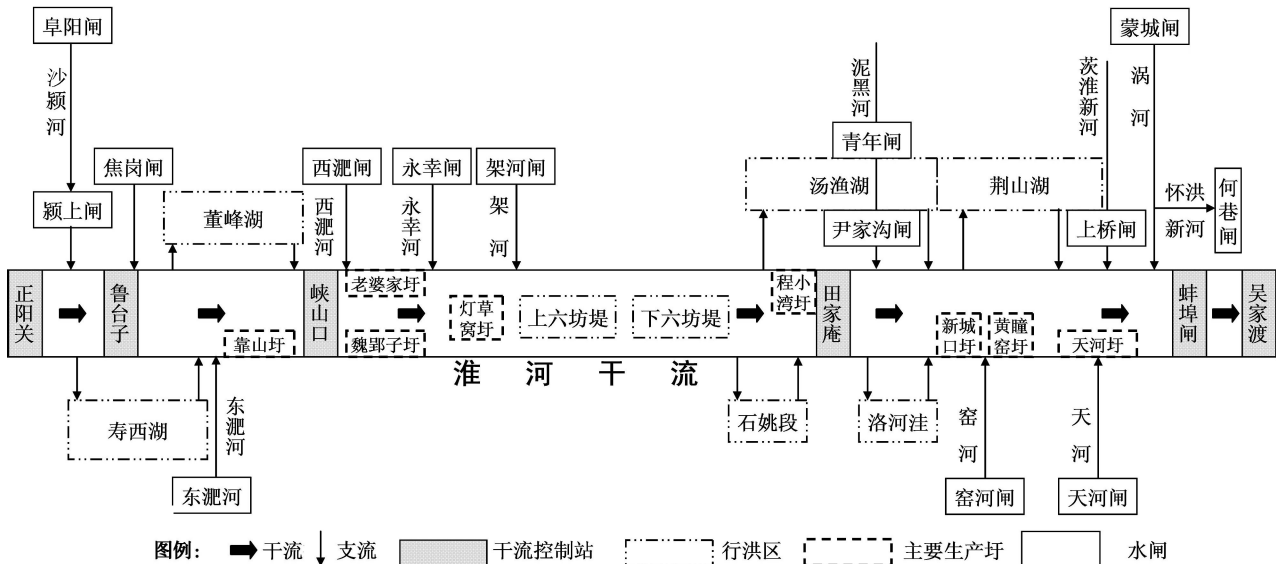


图2 模型结构概化

了反映这种过流特性,本次研究将圩区堤防作为溢流构筑物,将其概化为宽顶堰,采用 MikeFlood 侧向连接实现重点圩区二维模型和淮河干流一维模型之间的连接计算。

d. 蚌埠闸概化处理。蚌埠闸位于淮河干流涡河口以下蚌埠市西郊,是一座多种功能的大型水利枢纽工程,过流建筑物包括老节制闸、新节制闸和分洪道,过流状态可分为自由堰流、淹没堰流、自由孔流、淹没孔流 4 种,不同流态采用不同的计算公式,模型概化见图 3。

4 模型验证

模型使用的地形资料:河道采用 2005 年和 2008 年实测资料组合地形,行洪区和生产圩区采用 1999 年地形。验证洪水年份为 2005 年和 2007 年,与地形资料基本同步。

4.1 蚌埠闸过流计算

采用蚌埠闸枢纽新闸、老闸联合运用时的水工模型试验成果^[8]和 2005 年、2007 年实测洪水过程,对蚌埠闸数学模型的概化方式及各堰闸流量系数的取值进行验证,具体的边界条件和两种模拟方法成果比较见表 1。

表 1 蚌埠闸数学模型与水工模型模拟值对比

边界条件		模拟方法	成果比较			
总流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	闸下 水位/m		过闸 落差/m	老闸流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	新闸流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	分洪道流量/ (m ³ ·s ⁻¹)
6000	20.56	水工模型	0.042	4050	1620	330
		数学模型	0.039	4003	1691	306
8000	21.62	水工模型	0.056	5322	2064	614
		数学模型	0.053	5281	2138	581
10000	22.37	水工模型	0.080	6591	2604	805
		数学模型	0.071	6596	2604	800
13080	22.99	水工模型	0.120	8610	3410	1060
		数学模型	0.110	8591	3362	1127

从表 1 中 4 个流量的模拟成果可以看出,水工模型与数学模型过闸落差的差值均不超过 0.01 m,各泄水建筑物泄流流量差值在 100 m³/s 以内。2005 年和 2007 年蚌埠闸实测洪水验证结果见下文。

4.2 2005 年洪水演算

2005 是中小洪水年,沿程行蓄洪区均未启用,可以进行平槽和漫滩级洪水验证。部分测站计算洪水过程与实测洪水过程比较见图 4 和图 5,洪峰计算值与实测值比较见表 2。由图 4、图 5 和表 2 可见,各测站计算水位过程、流量过程与实测资料一致性良好,沿程各站峰值水位计算值与实测值之间的误差不超过 10 cm,吴家渡峰值流量误差在 4% 以

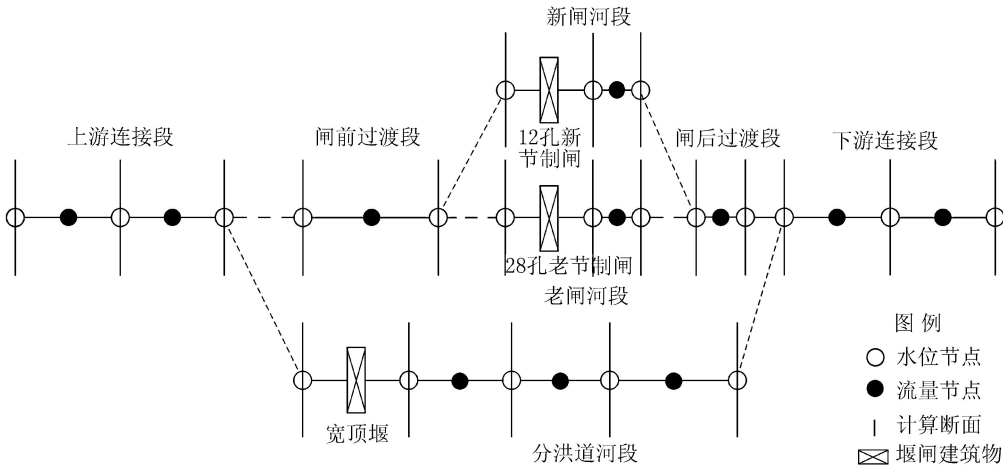


图 3 蚌埠闸枢纽模型概化

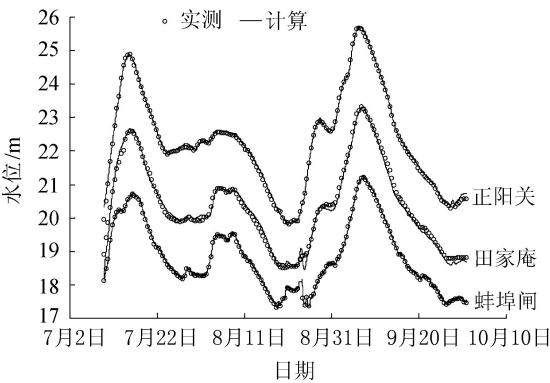


图 4 2005 年部分测站水位过程对比

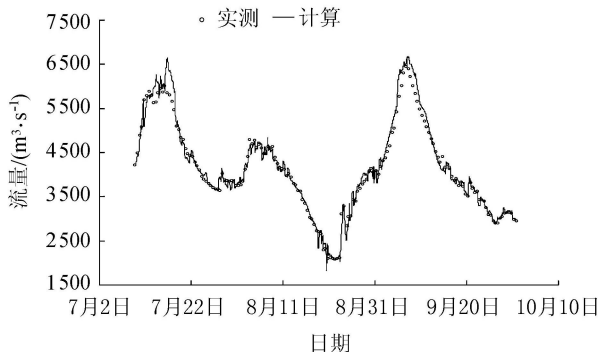


图 5 2005 年吴家渡流量过程对比

表 2 2005 年淮河干流主要测站洪峰计算值与实测值						
测 站	水位/m			流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		
	计算值	实测值	误差	计算值	实测值	误差
正阳关	25.68	25.72	-0.04			
峡山口	24.56	24.66	-0.10			
田家庵	23.30	23.32	-0.02			
蚌埠闸闸上	21.25	21.22	0.03			
鲁台子				6735	6680	55
吴家渡				6725	6481	244

内,较好地模拟了 2005 年洪水过程。

4.3 2007 年洪水演算

2007 年是大洪水年,本河段上六坊堤、下六坊堤、石姚段、洛河洼和荆山湖行洪区均启用,可以进行大流量级洪水验证。部分测站计算洪水过程与实测洪水过程比较见图 6 和图 7,洪峰计算值与实测值比较见表 3,可见各测站计算水位过程、流量过程与实测资料一致性良好,沿程各站峰值水位计算值与实测值之间的误差不超过 10 cm,吴家渡峰值流量误差在 4% 以内,较好地模拟了 2007 年洪水过程。

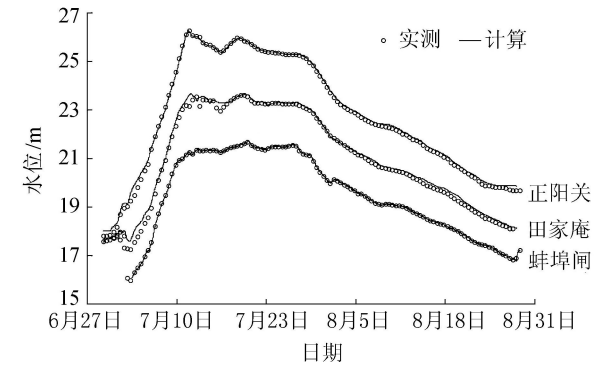


图 6 2007 年部分测站水位过程对比

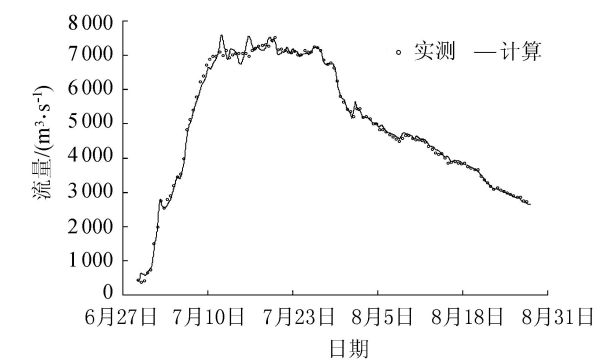


图 7 2007 年吴家渡流量过程对比

表 3 2007 年淮河干流主要测站洪峰计算值与实测值						
测 站	水位/m			流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		
	计算值	实测值	误差	计算值	实测值	误差
正阳关	26.26	26.29	-0.03			
峡山口	25.09	25.01	0.08			
田家庵	23.67	23.62	0.05			
蚌埠闸闸上	21.72	21.69	0.03			
鲁台子				8058	7970	88
吴家渡				7780	7506	274

在 2007 年洪水过程中,各行洪区口门形态稳定以后,模型计算行洪流量与文献[9]分析行洪流量基本一致,见表 4。行洪区的运用使所在河段行洪能力有所增加,由于行洪口门宽度及深度与规定运行指标相差较大,行洪区内流速较小,实际行洪流量达不到规划要求。

表 4 行洪区行洪流量 m^3/s			
行洪区	规划行洪流量	文献[9]分析行洪流量	模型计算行洪流量
上六坊堤	2800	177	240
下六坊堤	2800	260	300
石姚段	3000	660	540
洛河洼	600	236	280

5 荆山湖行洪区运用效果分析

在 2007 年洪水中,荆山湖行洪区作为蓄洪区使用,共蓄滞淮河洪水 3.99 亿 m^3 ,对减轻淮南以下河段的防洪压力发挥了重要的作用。本文采用上述模型模拟了荆山湖行洪区的实际分洪效果。模拟计算中,吴家渡给定水位流量关系作为下边界,各流量边界均给定 2007 年实测流量过程,其他行洪区过流能力按照实际口门计算。以荆山湖行洪区上游田家庵测站为例,模拟分洪对其洪水过程的影响,计算水位过程见图 8,流量过程见图 9。

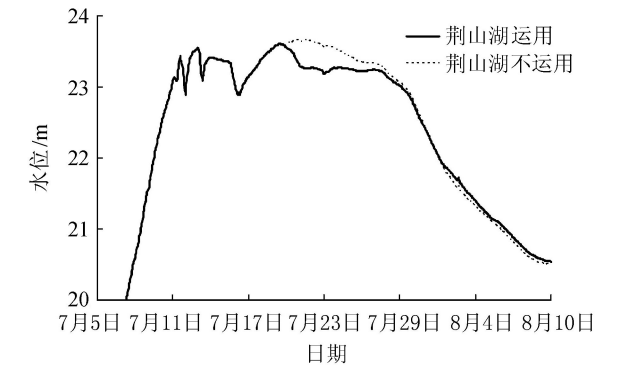


图 8 田家庵站水位过程模拟结果

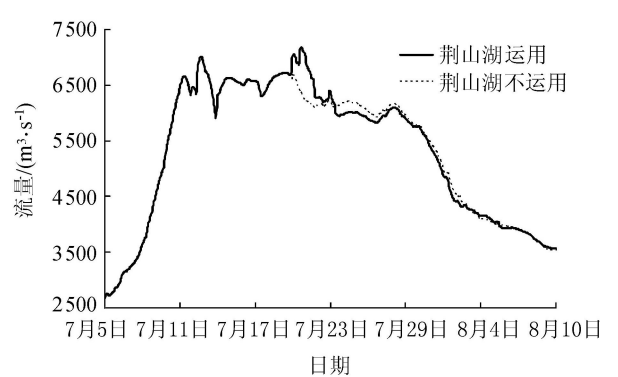


图 9 田家庵站流量过程模拟结果

在 2007 年洪水过程中,荆山湖行洪区按照实际调度方案计算,田家庵站计算洪峰水位 23.61 m,若

不运用荆山湖行洪区,田家庵站计算洪峰水位 23.67 m,水位增加 0.06 m,此值较小的原因是荆山湖实际运用时,田家庵已临近洪峰水位,开闸过程中洪峰峰值已过,因此对田家庵的峰值水位影响较小。此外,行洪区的运用加快了所在河段的洪水汇流速度,使田家庵站流量在短时间内有所增加。

6 结 语

根据研究河段的特点,建立了正阳关至吴家渡段水力数学模型,并通过 2005 年、2007 年的实测洪水资料和水工模型试验资料对模型进行了验证。验证计算结果表明,模型具有较高的计算精度,较好地模拟了河道及行洪区水流运动情况,可以用于本段河道治理与行洪区优化调度研究。以荆山湖行洪区为例,分析了其在 2007 年洪水过程中的运用效果,行洪区的运用降低了田家庵站的水位,加快了所在河段的汇流速度。

参考文献:

[1] 杨兴菊,虞邦义. 淮河中游河道近期演变分析[J]. 水利水电技术,2011(8):49-53. (YANG Xingju, YU Bangyi. Analysis on recent channel evolution of middle reach of Huaihe River [J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2001(8):49-53. (in Chinese))

[2] 虞邦义,郁玉锁. 淮河干流鲁台子至吴家渡河段输沙平衡分析[J]. 南昌大学学报:工科版,2009,31(2):162-

166. (YU Bangyi, YU Yusuo. Analysis on sediment transport balance of Huaihe River main stream from Lutaizi to Wujiadu [J]. Journal of Nanchang University: Engineering & Technology, 2009, 31(2): 162-166. (in Chinese))

[3] 虞邦义,倪晋,杨兴菊,等. 淮河干流浮山至洪泽湖出口段水力数学模型研究[J]. 水利水电技术,2011(8):38-42. (YU Bangyi, NI Jin, YANG Xingju, et al. Research on hydrodynamic numerical model for main stream of Huaihe River from Fushan to outlet of Hongze Lake[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2011(8):38-42. (in Chinese))

[4] MIKE11: a modelling system for river and channels reference manual[R]. Copenhagen:DHI,2009.

[5] MIKE21: flow model FM hydrodynamic module user-guide manual[R]. Copenhagen:DHI,2009.

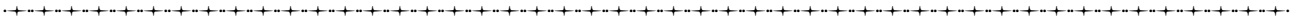
[6] MIKEFLOOD 1D-2D modelling user manual [R]. Copenhagen:DHI,2009.

[7] SMAGORINSKY J. General circulation experiment with primitive equations [J]. Monthly Weather Review, 1963, 91:99-164.

[8] 虞邦义,葛国兴,左敦厚,等. 蚌埠闸扩建工程水工模型试验报告[R]. 蚌埠:安徽省·水利部淮河水利委员会水利科学研究院,1999.

[9] 水利部水文局,水利部淮河水利委员会. 2007 年淮河暴雨洪水[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.

(收稿日期:2012-12-12 编辑:熊水斌)



(上接第 30 页)

[8] 沈珠江,左元明. 堆石料的流变特性试验研究[C]//中国土木工程学会. 第六届土力学及基础工程学术会议论文集. 上海:同济大学出版社,1991:443-446.

[9] 李国英,米占宽,傅华,等. 混凝土面板堆石坝堆石料流变特性试验研究[J]. 岩土力学,2004,25(11):1712-1716. (LI Guoying, MI Zhankuan, FU Hua, et al. Experimental studies on rheological behaviors for rockfills in concrete faced rockfill dam [J]. Rock and Soil Mechanics,2004,25(11):1712-1716. (in Chinese))

[10] 沈珠江. 面板堆石坝应力应变分析的若干问题[C]//中国水力发电工程学会. 中国混凝土面板堆石坝十年学术研讨会论文集(1985—1995). 北京:中国水利水电出版社,1995:43-50.

[11] 沈珠江. 土石料的流变模型及其应用[J]. 水利水运科学研究,1994(4):335-342. (SHEN Zhujiang. A creep model of rock-fill material and determination of its parameters by back analysis [J]. Journal of Nanjing

Hydraulic Reserch Institute, 1994(4):335-342. (in Chinese))

[12] 沈珠江,赵奎芝. 堆石坝流变变形的反馈分析[J]. 水利学报,1998,29(6):1-6. (SHEN Zhujiang, ZHAO Kuizhi. Back analysis of creep deformation of rockfill dams[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1998, 29(6): 1-6. (in Chinese))

[13] 沈凤生,陈慧远,潘家铮. 混凝土面板堆石坝的蓄水变形分析[J]. 岩土工程学报,1990,12(1):74-81. (SHEN Fengsheng, CHEN Huiyuan, PAN Jiazheng. Deformation analysis of concrete faced rockfill dam due to reservoir impounding [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1990, 12(1): 74-81. (in Chinese))

[14] 王玉洁,朱锦杰,刘斯宏,等. 公伯峡水电站面板裂缝成因和危害性分析报告[R]. 杭州:国家电力监管委员会大坝安全监察中心,2012.

(收稿日期:2012-11-06 编辑:熊水斌)