

大岗山水电站施工期渡汛方案试验研究

王继保^{1,2}, 郭红民¹

(1. 三峡大学 土木水电工程学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 河海大学 水利水电工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 为确保大岗山水电站2008年施工期安全渡汛, 保护已建工程免受洪水毁损, 进行了施工渡汛水力学模型试验研究. 通过水工模型试验, 对设计渡汛方案进行了对比试验并提出了推荐方案, 观察了渡汛时全河床过流时的水流流态, 测试了上、下游围堰堰面过流时的水面线、流态、脉动压力、流速分布等水力特性并观测了围堰堰面过流时的冲刷及破坏情况; 通过动床试验, 研究了汛期基坑不同堆渣高程河床过流时的水流流态, 下游石渣的冲刷流失情况; 为大岗山水电站的安全渡汛设计及施工提供了可靠的科学依据.

关键词: 施工渡汛; 围堰; 冲刷; 模型试验

中图分类号: TV132.22:TV131.61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-640X(2010)02-0021-07

大岗山水电站为大渡河干流规划调整推荐22级方案的第14级电站, 位于雅安市石棉县安顺场上游约27 km处. 工程枢纽建筑物由混凝土双曲拱坝、水垫塘、二道坝、右岸泄洪洞、左岸引水发电建筑物等组成. 电站正常蓄水位1130 m, 总库容7.42亿 m^3 , 电站装机容量4×650 MW. 导流建筑物级别为Ⅲ级. 初期导流采用上下游土石围堰、左右岸各布置1条导流洞、全年施工的方式. 导流洞为城门洞型, 断面尺寸为12.5 m×15.0 m(宽×高), 初期导流流量为 $Q_{P=3.33\%} = 6\,190\,m^3/s$.

根据右岸高速公路、左右岸导流洞的实际施工进度分析, 其通车、具备过流条件的时间都不确定, 汛前围堰是否能堆筑到设计高程的不定因素太多. 而2008年坝肩开挖要翻渣下河床, 根据环保要求, 河床须形成基坑拦渣. 故在2008年汛前围堰不能堆筑到设计高程的情况下, 为满足坝肩开挖翻渣下河床及环保要求, 汛期上、下游围堰及基坑要过流, 由此提出了施工渡汛水力学问题. 为确保安全渡汛, 保护已建工程免受洪水毁损, 进行了施工渡汛水力学模型试验.

1 试验模型

本试验模型为正态整体模型, 按重力相似准则设计, 模型几何比尺定为1:50(即 $\lambda_l = 50$). 根据大岗山水电站渡汛试验技术要求及本研究河段河道特点, 模型长度范围为上游至坝轴线约750 m, 下游迄于坝轴线以下约850 m, (沿主流线)总长约1600 m, 试验河段模型总长约35 m. 模型上下游及岸边地形采用等高线法用水泥砂浆塑制. 模型左、右岸导流洞采用透明有机玻璃制作, 模型布置见图1.

试验采用矩形量水堰控制模型上游总来流量, 直读式旋浆流速仪测量各测点流速, 自动超声水位计、固定测针及活动测针测量水位, 并以录像及照相的方法记录水流流态.

收稿日期: 2009-06-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50579084)

作者简介: 王继保(1976-), 男, 湖北宜昌人, 讲师, 博士研究生, 主要从事水力学及河流动力学研究及教学工作.

E-mail: wjbina@ctgu.edu.cn

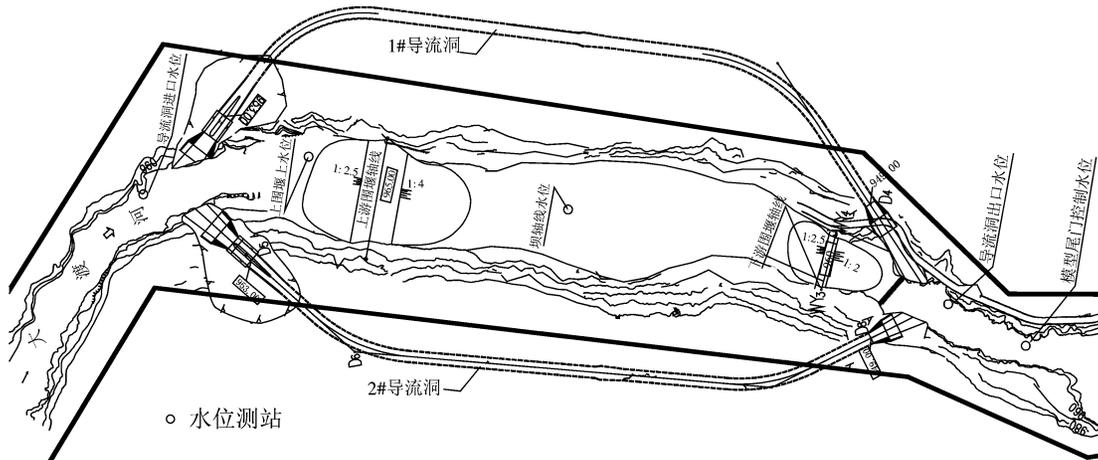


图1 大岗山水电站渡汛平面布置

Fig. 1 Plane of Dagangshan Hydropower Station

2 渡汛方案试验研究

2.1 导流洞泄流能力试验

试验对左、右岸导流洞联合泄流,右岸导流洞单独泄流两种工况进行了泄流能力分析。右岸导流洞单独泄流能力及左、右岸导流洞联合泄流能力见图2。

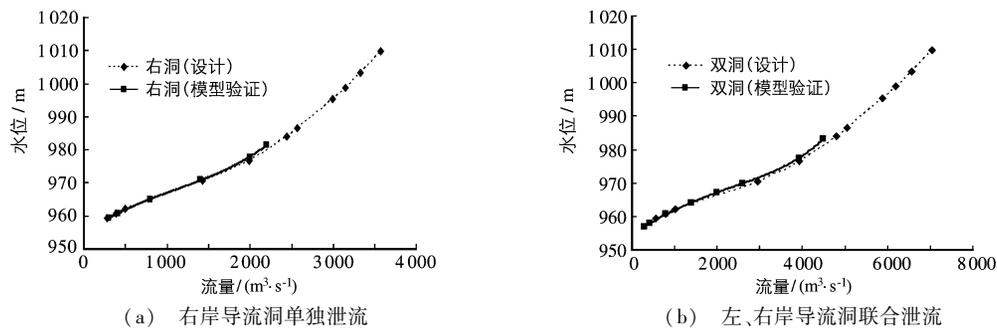


图2 导流洞泄流能力曲线

Fig. 2 Discharge capacity of the diversion tunnel

试验结果表明,在 $300 \sim 2\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量范围,右岸导流洞实际泄流能力与设计计算泄流能力基本一致。在 $300 \sim 4\,500 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量范围,左、右岸导流洞联合泄流能力与设计计算泄流能力基本一致。

2.2 渡汛方案设计

根据大岗山河道特点、导流洞分流条件及2008年渡汛要求,施工期渡汛设计洪水标准为20年一遇($P=5\%$),相应洪峰流量 $Q=3\,920 \text{ m}^3/\text{s}$,校核洪水标准为10年一遇($P=10\%$),相应洪峰流量 $Q=5\,360 \text{ m}^3/\text{s}$,上游控制水位高程 974.00 m 。参考同类型工程经验对多种临时渡汛方案进行了分析,最终确定2种渡汛方案进行试验研究。

方案1:围堰缺口过流渡汛 本方案设计为在2008年截流后,首先完成基坑过流平台的施工,然后在平台右侧堆筑围堰至 978.00 m 高程,左侧预留缺口(底高程 965.00 m),缺口用碎石土草袋堆筑挡汛期常年洪水($Q_{P=5\%}=3\,920 \text{ m}^3/\text{s}$),根据水情预报,流量超过常年洪水,打开缺口,基坑缺口过流。

上游围堰顶高程 978.00 m ,左岸预留缺口,缺口高程 965.00 m ,缺口底宽 40 m ,围堰迎水侧坡比为 $1:2$,背水侧坡比为 $1:4$,缺口侧坡比 $1:2$ 。同时为改善上游缺口进流水流条件,对缺口右岸侧围堰高程 $965 \sim 978 \text{ m}$ 的部分堰体进行了切角处理。下游围堰全断面过流,迎水侧坡比为 $1:1.5$,背水侧坡比为 $1:4$,围堰

高程为 960.00 m.

方案 2: 围堰全断面过流渡汛 本方案设计为在 2008 年汛前完成基坑过流平台堰面防护工程, 汛期基坑过流. 上游围堰迎水侧坡比为 1 : 2, 背水侧坡比为 1 : 4. 下游围堰迎水侧坡比为 1 : 1.5, 背水侧坡比为 1 : 4. 上游围堰高程 965.00 m, 下游围堰高程分为 960.00, 962.50 和 965.00 m 3 个子方案.

2.3 渡汛方案试验及结果

2.3.1 方案 1 渡汛试验 大渡河上游来流量为 5 360, 4 800 和 3 920 m³/s 时, 在大岗山电站河段, 一部分流量由左、右岸导流洞导向下游, 另一部分流量由围堰预留缺口泄往下游. 导流洞及缺口过流流量见表 1.

表 1 方案 1 导流洞及缺口过流流量和沿程测站水位

Tab. 1 Discharge of the diversion tunnel and water level along the way of test 1

总来流量/ (m ³ · s ⁻¹)	导流洞进口 水位/ m	导流洞泄流流量/ (m ³ · s ⁻¹)	缺口过流流量/ (m ³ · s ⁻¹)	各测站水位/ m			
				导流洞进口	上游围堰迎水侧坡脚	坝轴线	导流洞出口
5 360	974.70	3 498	1 862	974.70	975.41	968.64	967.82
4 800	973.43	3 273	1 527	973.43	973.99	967.29	966.48
3 920	971.40	2 887	1 033	971.40	971.86	965.62	965.09

由于堆筑的围堰缩小了原河道过流断面, 受围堰侧向收缩的影响, 在围堰缺口上挑角处仍存在较强烈的立轴漩涡, 水位也仍有较大跌落, 试验测得上述 3 级流量下水位跌落分别为 5.20, 4.57 和 3.50 m. 挑流线上最大垂线平均流速分别为 9.23, 8.91 和 7.85 m/s. 沿程测站水位值见表 1, 上、下游围堰中心线水位线变化见图 3.

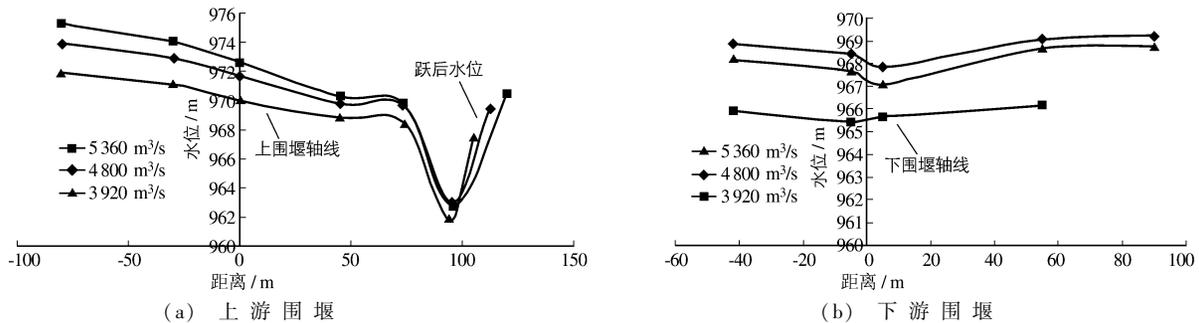


图 3 方案 1 上、下游围堰中心线水面线

Fig. 3 Water lines of the upstream and downstream cofferdams centerline of test 1

出围堰缺口的急流, 在上游围堰下游坡面中部形成水跃, 跃前和跃后水位差分别约 5.20, 4.57 和 3.50 m. 下游围堰顶面水流相对平稳, 水面仅有小幅度波动和跌落, 没形成明显水跃.

上游围堰缺口底面上最大垂线平均流速达 12.03 m/s, 下游坡面最大垂线平均流速达 12.73 m/s, 水跃一般发生在下游坡面中部, 该处水流紊乱, 水位、流速变化较大. 因此, 缺口下沿及下游坡面为抗冲防护的重要部位.

下游围堰顶面水流相对平稳, 水面仅有小幅度波动和跌落, 没形成明显水跃. 下游围堰顶面最大垂线平均流速为 7.32 m/s, 坡面最大垂线平均流速为 4.77 m/s. 受主河道、左、右导流洞 3 股水流会合的影响, 水流方向紊乱, 但流速值相对不大.

2.3.2 方案 2 渡汛试验 当大渡河上游来流时(流量为 $Q=5\ 360\ m^3/s$ 和 $Q=3\ 920\ m^3/s$), 一部分由左、右岸导流洞导向下游, 另一部分经围堰泄往下游. 导流洞及围堰过水流量及沿程测站水位值见表 2.

上游围堰堰顶过水时为平顺急流, 在下游坡面上形成水跃; 下游围堰堰顶过水时情况相同. 两处水跃水力特性变化见表 3, 上、下游围堰中心线水位线变化见图 4.

表2 方案2导流洞及围堰过流流量和沿程测站水位

Tab.2 Discharge and water level along the way of test 2

总来流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	下游围堰 高程/m	导流洞进口 水位/m	导流洞泄流流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	围堰过流流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	水位/m		
					上游围堰迎水侧坡脚	坝轴线	导流洞出口
5 360	960.00	972.45	3 090	2 270	973.28	969.07	967.33
	962.50	972.56	3 111	2 249	973.42	972.49	967.46
	965.00	974.00	3 377	1 983	974.71	974.35	966.79
3 920	960.00	969.58	2 519	1 401	970.11	966.20	962.27
	962.50	969.58	2 519	1 401	970.10	968.75	964.53
	965.00	970.53	2 714	1 206	971.03	970.81	964.39

表3 方案2试验水力特性

Tab.3 Flow characteristics of test 2

总来流量 Q / ($m^3 \cdot s^{-1}$)	上游围堰 高程/m	下游围堰 高程/m	上游围堰水跃		下游围堰水跃	
			跃前最大垂线平均 流速/($m \cdot s^{-1}$)	跃前和跃后 水位差/m	跃前最大垂线平均 流速/($m \cdot s^{-1}$)	跃前和跃后 水位差/m
5 360		960.00	10.68	3.41	8.12	2.12
	965.00	962.50	5.84	/	11.03	2.85
		965.00	4.10	/	11.23	3.19
3 920		960.00	10.50	2.86	7.59	/
	965.00	962.50	5.84	1.62	8.77	3.17
		965.00	4.10	/	12.16	3.16

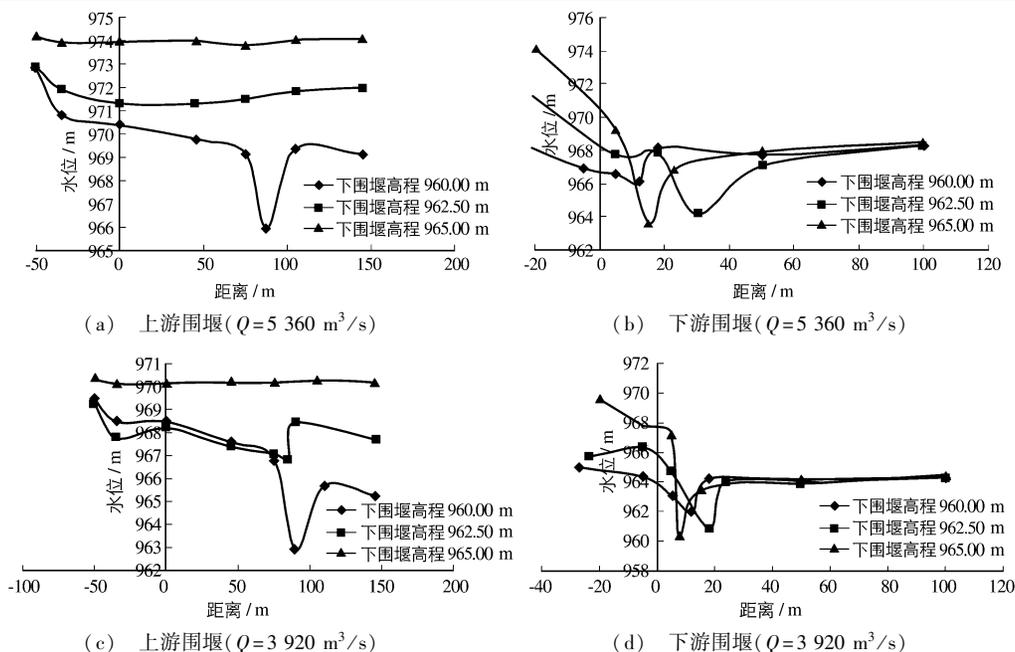


图4 方案2上、下游围堰中心线水面线

Fig.4 Water lines of the upstream and downstream cofferdams centerline of test 2

试验观测表明,上游围堰下坡面水跃强度随下游围堰顶高程的增加(抬高了基坑水位)而减弱,即随流量的增大而增强,而下游围堰下坡面水跃强度随着堰顶高程的增加(抬高了水位落差)而增强.当上游围堰高程为965.00 m,下游围堰高程为960.00 m时,上游围堰下坡面水跃强度较大,跃前最大垂线平均流速超过10 m/s,跃前和跃后水位差达3 m左右,此时对基坑冲刷破坏较强.当上游围堰高程为965.00 m,下游围

堰高程也为 965.00 m 时,上游围堰顶面水流相对平稳,水面仅有小幅波动和跌落,最大垂线平均流速在围堰下缘仅为 4.1 m/s,有利于基坑安全渡汛,但下游围堰产生较强水流紊动,跃前水位和跃后水位差超过 3 m,最大跃前流速达 12.16 m/s,对下游冲刷破坏较强。

经分析,上游围堰高程 965.00 m,下游围堰高程 962.50 m 是较为适中的方案。在此方案下,上游导流洞水位较低,运行安全,并且基坑内流速较小,冲刷较弱,有利基坑渡汛,但下游水流流态较差。

2.3.3 试验方案比较 方案 1 与方案 2 水力特性比较见表 4。试验表明,在同级来流流量情况下,方案 1 通过导流洞的分流量比方案 2 大,通过河床的流量比方案 2 小。

表 4 方案 1 和方案 2 水力特性比较

Tab. 4 Comparison of flow characteristics between test 1 and test 2

总来流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	方 案	导流洞进口 水位/m	导流洞泄流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	河床过流流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	基坑内最大垂线 平均流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	基坑内最大 水位差/m	下游围堰最大垂线 平均流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	下游最大 水位差/m
5 360	方案 1	974.70	3 498	1 862	12.03	5.20	7.32	/
	方案 2	972.56	3 111	2 249	5.84	/	11.03	2.85
3 920	方案 1	971.40	2 887	1 033	9.56	3.50	5.29	/
	方案 2	969.58	2 519	1 401	5.84	1.62	8.77	3.17

方案 1 上游水位壅高即导流洞进口水位比方案 2 高,对上游的安全影响更大。方案 1 河床通过的流量较小,但其基坑过水时单宽流量却相对较大,流量集中,因此基坑内最大水位差和最大平均流速都比方案 2 大,说明方案 1 对基坑内的冲刷破坏更强,而方案 2 河床过流量虽有所增加,但单宽流量相对较小,流量分散,特别是第 2 子方案基坑内水流平稳,最大流速仅有 5.84 m/s,对基坑内的冲刷破坏较小。同时综合施工等多方面因素考虑,方案 2 第 2 子方案即上游围堰堰顶高程 965.00 m,下游围堰堰顶 962.50 m,围堰全断面过流渡汛为较优方案。

3 基坑堆渣高程对安全渡汛的影响分析

由于基坑内还存有大量石渣,对汛期安全也有重要影响。试验研究了不同堆渣高程对渡汛的影响。

当基坑内弃渣高程为 958.00 m,在渡汛方案 2 工况下,试验观测到上游围堰下坡面护面的大石有少量冲刷变形,并随流量增大而增大,尤其左侧受水下地形影响,流量较大时冲刷变形明显。下游围堰下坡面大石护面也有少量冲刷变形,同样随流量增大冲刷变形逐渐增大。基坑内有部分弃渣经冲刷堆积到下游围堰前,但基本没有弃渣翻越下游围堰流失。下游围堰采用下坡面台阶式和大石护坡冲刷变形较小,动床冲刷深度为 7.44 m。上、下游围堰下游混凝土护面及大石护坡处脉动压强最大变幅为 23.52 kPa。

当基坑内弃渣高程为 960.00 m,在渡汛方案 2 工况下,观测到上游围堰下坡面大石护面左侧受水下地形影响发生冲刷,部分流失大石冲入弃渣中,下坡面其他部位大石护面少量冲刷变形。基坑弃渣在上游围堰坡脚下侧略有冲刷堆积,原弃渣上游迎水面坡比为 1:4,冲刷后迎水面左侧坡比为 1:2.5。两围堰间弃渣坝轴线以上冲刷变形较小,坝轴线以下至下游围堰之间两侧岸边弃渣略有冲刷,左侧冲刷长度约 140 m,宽度约 23 m,最低点高程 951.60 m,右侧冲刷长度约 85 m,宽度约 25 m,最低点高程 955.20 m。部分基坑内弃渣翻越下游围堰冲到下游,较多堆积在下游围堰下坡面,其中右侧台阶处堆积最高点高程 956.65 m,左侧台阶处堆积最高点高程 955.40 m,下游围堰下坡面堆积高程 948.10 m。下游围堰下游河床覆盖层原高程为 937.00 m,冲刷后最低点高程为 929.35 m,距下游围堰轴线 149 m。

试验表明,为有效保护上、下游围堰下坡面的稳定,该部位宜适当加强大石防护措施;为防止基坑内弃渣冲刷流失,基坑弃渣高程以低于 958.00 m 为宜。

4 结 语

在大岗山水电站导流洞及围堰施工进度滞后的情况下,为了保证其安全渡汛,通过水工模型试验分析,

在保证大岗山安全渡汛的前提下,根据大岗山2008年汛期可能出现的情况制定了2种渡汛方案,试验分析比较表明,方案2(即围堰全断面过流,上游围堰堰顶高程965.00 m,下游围堰堰顶962.50 m)是合理可行的,作为推荐方案,为建设者提供决策依据.同时,为有效保护上、下游围堰的稳定和安全,建议适当加强上、下游围堰下坡面部位的大石防护措施,基坑弃渣高程宜低于958.00 m,以防止基坑内弃渣冲刷流失.

参 考 文 献:

- [1] 刘依松,詹春芳.古洞口工程坝体填筑料一次成型上坝技术研究[J].三峡大学学报:自然科学版,2004,26(1):4-7. (LIU Yi-Song, ZHAN Chun-fang. Research on technique of digging rock as filling-stuff for embankment with one-step forming embankment at Gudongkou hydroelectric project[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2004, 26(1): 4-7. (in Chinese))
- [2] 陈俊,高仪生,陈忠儒.丹江口大坝加高堰顶溢流段施工渡汛试验研究[J].长江科学院院报,2002(增刊1):18-20. (CHEN Jun, GAO Yi-Sheng, CHEN Zhong-ru. Hydraulics research on flood-releasing during construction period of heightened scheme of Dangjiangkou Dam [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2002 (Suppl1): 18-20. (in Chinese))
- [3] 李志强,王从兵,康子军.丹江口大坝加高工程施工期的渡汛方式探讨[J].南水北调与水利科技,2008,6(1):112-114. (LI Zhi-qiang, WANG Cong-bing, KANG Zi-jun. The modes of passing the flood season in the construction period of dam heightening project in Danjiangkou[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, 6(1): 112-114. (in Chinese))
- [4] 匡焕祥.天生桥一级水电站面板堆石坝施工导流与渡汛[J].水力发电,1999(3):41-45. (KUANG Huan-xiang. Construction diversion of the concrete facing rockfill dam of Tianshengqiao First Cascade Hydropower Station and its tiding over flood season[J]. Water Power, 1999(3): 41-45. (in Chinese))
- [5] 郑功伟.大山水电站防洪渡汛工作概述[J].大坝与安全,2008(2):31-32. (ZHENG Gong-wei. Flood prevention at Dashankou hydropower station[J]. Dam & Safety, 2008(2): 31-32. (in Chinese))
- [6] 光辉.滩坑水电站面板堆石坝筑坝新工艺[J].水力发电,2007,33(9):31-33. (GUANG Hui. Construction diversion and flood season for Tankeng Hydropower Station[J]. Water Power, 2007, 33(9): 31-33. (in Chinese))
- [7] 夏仲平.施工导流与施工渡汛技术进展[J].人民长江,2005,36(10):11-12,28. (XIA Zhong-ping. Technical progress of river diversion and flood prevention during construction[J]. Yangtze River, 2005, 36(10): 11-12, 28. (in Chinese))
- [8] 王义民,田峰巍,黄强,等.公伯峡水电站施工渡汛方案[J].西安理工大学学报,2003,19(2):135-138. (WANG Yi-min, TIAN Feng-wei, HUANG Qiang, et al. The scheme of flood handling during construction period of Gongboxia Hydro-Power Station[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2003, 19(2): 135-138. (in Chinese))
- [9] 刘依松,赵克全.古洞口面板堆石坝临时渡汛方案研究[J].三峡大学学报:自然科学版,2006,28(5):389-392. (LIU Yi-song, ZHAO Ke-quan. Research of scheme of temporary flood control at Gudongkou concrete face rockfill dam[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2006, 28(5): 389-392. (in Chinese))
- [10] 罗丹.清江水布垭水电站过水围堰及渡汛方案研究[D].武汉:武汉大学,2005. (LUO Dan. Overflow cofferdam and diversion scheme study for Qingjiang Shuibuya Hydropower Project[D]. Wuhan: Wuhan University, 2005. (in Chinese))
- [11] 吴春鸣.西溪水库2005年大坝渡汛方案研究[J].大坝与安全,2005(6):7-9. (WU Chun-ming. Study on the scheme of dam protection during flood in Xixi Reservoir[J]. Dam and Safety, 2005(6): 7-9. (in Chinese))
- [12] 蔡昌光,江新强,吴文洪.三板溪工程施工进度与施工渡汛方案研究[J].水力发电,2004,30(6):30-33. (CAI Chang-guang, JIANG Xin-qiang, WU Wen-hong. Study on the construction schedule and flood-passing scheme for Sanbanxi Hydroelectric Project[J]. Water Power, 2004, 30(6): 30-33. (in Chinese))

Model test of flood handling during construction of Dagangshan Hydropower Station

WANG Ji-bao^{1,2}, GUO Hong-min¹

(1. College of Civil & Hydroelectric Engineering of Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To ensure the safety of the engineering project already constructed of the Dagangshan Hydropower Station in the high water season, the hydraulic model study on the scheme of flood handling during the construction period of Dagangshan Hydropower Station is carried out. The flow condition of the flood water in the entire river bed, and the water line, flow regime, fluctuating pressure, flow velocity distribution, scouring and damaging situation of the cofferdam weir face in the condition of the water overflowing the upstream cofferdam and the downstream cofferdam are observed and recorded during spending flood in the test. Through the moving bed model test, the condition of the flood water flow at different elevations of slag is studied, and the scouring and losing of rock dregs in downstream is observed at the same time. Through the comparison test of the design flood, the recommended scheme is put forward. The test provides the reliable scientific basis for the project security over the flood season.

Key words: flood handling during construction period; cofferdam; water scouring; model test

征 稿 启 事

《水利水运工程学报》是以涉水工程等论述主题的学术期刊,主要反映国内外在水利水电、水运、海洋工程、土木工程、水文水资源和水环境等领域中科学技术的最新成果、最新科技前沿动态、重大研究项目技术进展、当代水平和发展趋势;报道水利水电、水运、海洋工程、土木工程、水文水资源和水环境等重大工程的规划、可行性研究、设计、科研、施工、监理以及管理工作中的新理论、新技术、新方法和新材料等,其内容涉及的主要学科和研究方向有:水利科学、海洋科学、岩土力学、材料科学、水文科学、环境科学和水工水力学、枢纽及环境水力学、高坝通航水力学、渗流水力学、核技术在水科学领域的应用、泥沙运动基本理论、河流动力学、河口海岸动力学、港口和近海工程、岩土力学基本理论、高土石坝筑坝技术、土与结构物相互作用、地基处理与加固、地质和地震灾害成因分析及防止、水工结构耐久性、水工建筑物病害评估和修复、高性能水工新材料、生态型环境友好材料与废渣综合利用、水文学理论与方法、防洪抗旱与减灾、水资源可持续利用、水资源配置与管理、水环境与水生态、大坝安全与管理政策、法规及标准化、大坝病险机理安全诊断与风险评估等。

本刊热诚欢迎广大水利科学工作者踊跃投稿,尤其欢迎以下几方面的稿件:

- 1、能为国家解决与涉水工程有关的重大问题的决策提供科学依据的稿件;
- 2、反映水利水电水运工程、海洋工程、土木工程、水文水资源和水环境等领域中重要的基本理论研究成果,特别是最新科技前沿课题研究成果的稿件;
- 3、探讨涉水工程重大研究项目技术进展和发展趋势等宏观科学问题的稿件;
- 4、报道重大涉水工程的规划、可行性研究、设计、科研、施工、监理中的新理论、新技术、新方法和新材料方面的稿件;
- 5、运用多学科理论与方法探讨水利水电、水运交通与海洋、土木工程交叉学科或跨学科实际问题的稿件;
- 6、思路新颖而且具有推广价值的技术方法和经验总结的稿件。

《水利水运工程学报》编辑部

2010年6月20日