

文章编号:1001-5485(2009)12-0050-04

大岗山水电站截流模型试验研究

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, 南京 210098)

摘要:为了保证大岗山水电站截流工程成功实施,进行了截流模型试验研究。通过对大岗山水电站工程截流方案的试验研究,获得了截流过程龙口的水流特性,确定了不同龙口宽度时抛投材料的粒径和合理的抛投强度,推荐采用单戗双向截流的较优方案,为工程截流的实施提供了科学依据。

关键词:截流; 龙口; 戗堤; 模型试验

中图分类号:TV671 **文献标识码:**A

1 工程概述

大岗山水电站位于大渡河中游上段的四川省雅安市石棉县挖角乡境内,上游与规划的硬梁包水电站衔接,下游与龙头石水电站衔接,为大渡河干流规划调整推荐22级方案的第14梯级电站。坝址距下游石棉县城约40 km,距上游泸定县城约75 km。水电站装机2 600 MW(4×650 MW),工程枢纽建筑物由混凝土双曲拱坝、水垫塘、二道坝、右岸洞、左岸引水发电建筑物等组成。根据工程进度总体安排,大岗山水电站定于2008年2月中旬实施截流。

大岗山电站坝址区河谷呈“Ω”形嵌入河曲形态,河道两岸山体雄厚,谷坡陡峻,基岩裸露,海流沟口以上大渡河河谷呈“V”形峡谷,向下游河谷相对宽缓。枯水期水面宽40~70 m,水深3~11 m。

大岗山电站施工期采用两条导流洞导流,左、右岸各布置一条。左岸导流洞轴线长924.679 m,进口底板高程953.00 m,出口底板高程949.00 m;右岸导流洞轴线长810.78 m,进口底板高程953.00 m,出口底板高程949.00 m。导流洞断面均采用城门洞型,断面尺寸均为12.5 m×15 m。

2 试验模型

本试验采用正态整体局部动床截流模型,按重力相似准则设计,模型长度比尺 $\lambda_L=50$ 。

根据大岗山电站河段河道特点,模型长度范围为上游至坝轴线以上约750 m,下游至坝轴线以下约850 m,总长约1 600 m。为保证导流洞进、出口

水流的相似,导流洞上、下游进出口以外预留河道长度分别达300 m、350 m,满足达到5~8倍河宽的要求,整个模型模拟原型河段1 600 m(沿主流线),即模型试验河段总长约35 m。

模型水下及岸边地形采用等高线法用水泥砂浆塑造。模型左、右岸导流洞采用透明有机玻璃制作,以利观测导流洞进口、渐变段、弯道、出口等部位的流态、漩涡等水力学现象。

模型共设置了7个水位测站,布置如下:导流洞进口、上戗堤上游侧、上戗堤下游侧、下戗堤下游侧(双戗截流时)、坝轴线、导流洞出口、模型尾水位控制站(导流洞出口下游60 m)。模型布置见图1。

3 截流方案

3.1 截流方式、时段及流量

根据导流洞施工进度,本试验采用河床一次断流,右导流洞单洞导流,立堵截流的施工方式,截流时间拟定为2008年2月中旬,设计截流标准为2月中旬10年一遇旬平均流量 $317 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.2 戗堤布置及进占程序^[1,2]

试验采用单戗单向、单戗双向、双戗双向截流进占方式进行对比研究。

3.2.1 截流戗堤轴线和龙口位置

上游截流戗堤布置在上游围堰范围,呈直线布置,模型截流戗堤轴线全长63.50 m(高程962.0 m),该轴线位于上游土石围堰轴线上游侧并与之平行,两轴线相距66 m。河床截流后,该戗堤结构将成为上游土石围堰堰体的一部分。上游戗堤

收稿日期:2009-06-09

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教学与科研工作,(电话)13997720341(电子邮箱)wjbtina@ctgu.edu.cn。

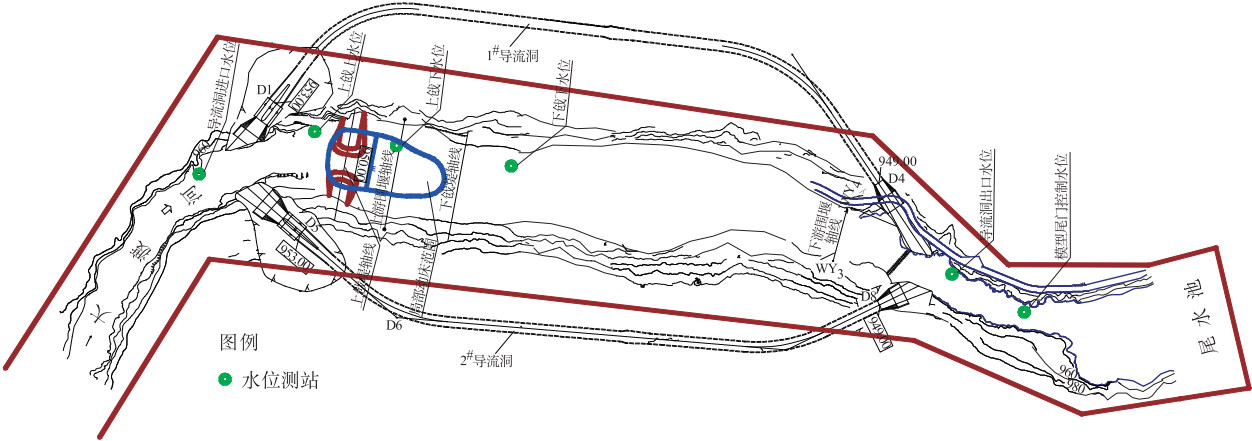


图 1 大岗山截流模型布置图

Fig.1 Closure model layout of Dagang Mountain Project

龙口位置根据截流进占方式不同而不同。

当采用双戗截流方案时,下游截流戗堤轴线位于上游土石围堰轴线下游侧并与之平行,两轴线相距 84 m。呈直线布置,戗堤堤顶高程 960 m 时,轴线全长约 69.50 m。河床截流后,该戗堤结构也将成为上游土石围堰堰体的一部分。下游戗堤龙口位置根据截流进占方式不同而不同,由模型试验确定。

3.2.2 戗堤顶高程及宽度

前期试验表明,截流流量 $Q = 410 \sim 317 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,上游截流戗堤闭气后,上游水位相应为 960.81 ~ 959.60 m 高程,考虑波浪及堤顶安全超高,上游戗堤顶高程暂定为 962.0 m,戗堤最大高度约 12.0 m。下游截流戗堤堤顶高程暂定 960.0 m,戗堤最大高度约 13 m。

为满足截流施工强度的要求,上、下游戗堤顶宽均采用 25 m。

3.3 非龙口段进占长度选择

定床模型右导流洞单独导流条件下,当上游来流量 $Q = 410 \sim 317 \text{ m}^3/\text{s}$,戗堤还未开始进占时,模型试验观测到,戗堤轴线附近河段水流呈急流状态,河道中心及左、右岸边垂线平均流速见表 1。

表 1 戗堤未进占时戗堤轴线断面主要流速

Table 1 Velocities at closure-dike axis section without closure

流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	河床状态	河道中心流 速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	左岸边流速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	右岸边流速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
410	定床	4.95	4.50	4.24
	动床	4.68	4.24	3.98
317	定床	4.57	4.09	3.82
	动床	4.22	3.83	3.61

从上表可见,戗堤还未进占 $Q = 410 \sim 317 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,河道中心及左、右岸边垂线平均流速已达 4.95 ~ 3.61 m/s,戗堤一开始进占即须用大石,常规截流设计中以抛投的小石(石渣料)不明显启动流失为控

制条件选择非龙口段进占长度的方法,在本工程中不再适用。

鉴于戗堤未进占时河道流速已较大,加之本工程截流戗堤总长度不长(高程 962.0 m 时约为 63.5 m),戗堤总抛投量也不大(戗堤宽 25 m 时约为 2 万余 m^3),所以戗堤非龙口段进占长度可以满足截流道路布置、截流场地的需要来确定,剩余未进占戗堤作为龙口一次进占合龙。

截流模型试验中,当采用单戗单向进占合龙时,开始进占端非龙口段长度取 13.5 m,龙口段长度取 50 m。当采用双向进占合龙时,左岸非龙口段进占 13.5 m,右岸非龙口段进占 10 m,龙口段长度取 40 m。

4 试验成果分析

4.1 左、右岸导流洞泄流能力验证

从导流洞的实际施工进度来看,右岸导流洞 2008 年 1 月过流,2 月中旬截流。左岸导流洞 4 月过流,汛期参与度汛。

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复核。

模型对导截流期间左、右岸导流洞联合泄流时的泄流能力进行了试验,具体条件为:主河床封堵,大渡河来流全部从左、右岸导流洞联合下泄。试验流量 300,410,800,1 400,2 000,2 600,3 920,4 500 m^3/s 共 8 级。

复核成果表明,在 300 ~ 4 500 m^3/s 流量范围,模型左、右岸导流洞联合泄流能力与设计计算泄流曲线成果基本一致。

复核成果同样表明,在 300 ~ 2 200 m^3/s 流量范围,模型右岸导流洞泄流能力与设计计算泄流曲线

成果基本一致。

试验成果还表明:右岸导流洞单独泄流条件下,截流流量分别为 410,317 m³/s 时,截流闭气后的终落差分别为 8.17,7.20 m,相应上游水位分别为 960.81,959.60 m。

4.2 定床试验

戗堤进占合龙试验均为定床条件,采用右岸导流洞单独分流,上游戗堤顶高程为962.0 m,截流进占总抛投强度约 800~1 000 m³/h。各方案水力参数、抛投材料使用情况见下表 2 至表 4。试验成果表明:

(1)截流流量 $Q=410\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $317\text{ m}^3/\text{s}$ 时,截流未闭气终落差分别为 6.69~7.00 m 和 6.31~6.48 m;单戗截流龙口最大流速分别为 7.45~7.65 m/s 和 7.14~7.25 m/s。

(2)单戗单向截流,由于龙口流态不佳,抛投材料用量相对较大,抛投材料的流失量也相对较大,且需用一定量的特大块石(直径 1~1.6 m)。

(3)40 m 宽戗截流,虽可以一定量降低抛投材料的流失量及流失百分比,但抛投总量约需增加 30%。

(4)双戗双向进占截流,虽可一定程度降低单个龙口截流水力学指标,适当降低抛投材料的流失量及流失百分比,但上、下戗堤口门配合非常困难,进占施工强度分布非常不合理,且两戗堤总抛投量较单戗增加约 50%。

(5)单戗双向截流,截流水力学指标与其它方案相当,虽流失量稍大(12.27%~13.10%),但抛投总量不大,施工控制简单,且无需用特大块石,综合比较本方案为较优方案。

4.3 动床试验

由于截流河段河床有一定厚度的覆盖层,龙口处河床覆盖层受到高速水流冲刷可能会发生变形,对截流戗堤的稳定性和抛投材料的流失量产生影响。模型对龙口区域采用局部动床进行模拟,动床模拟范围为戗堤轴线上 15 m 至戗堤轴线下 120 m,为了便于试验研究观测,模型根据截流戗堤附近河床地形特点,对动床范围内河床进行了概化,河床戗堤范围附近动床以950.5 m高程铺设,其余动床范围与原地形平顺连接。单戗双向截流定床、动床试验成果比较见表 5。试验表明:

(1)由于动床试验渗流量增大,戗堤上游水位及未闭气截流终落差要小于定床试验成果;

(2)戗堤抛投总用量相当,但由于动床河床糙率增加,抛投材料流失量和大石用量都略有减少。

4.4 导流洞进口围堰残埂对截流的影响

导流洞进口有、无残埂截流水力学特性见表 6,试验表明:

(1)导流洞进口残留 2 m 施工围堰残埂,截流流量 $Q=410\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $317\text{ m}^3/\text{s}$ 时,截流闭气后戗堤上游水位(即截流闭气后的终落差)增加 0.25~0.17 m。

表 2 定床截流各试验方案综合比较
Table 2 Results obtained by the fixed closure model test

流量/(m ³ ·s ⁻¹)	截流方式	戗上水位/m	未闭气落差/m	堤头 $V_{\max}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	抛投料总用量/m ³	流失量/m ³	流失百分比/%
410	左、单戗、单向	960.15	6.67	7.48	25 564	4 796	18.76
410	右、单戗、单向	960.01	6.82	7.45	26 004	4 532	17.43
317	右、单戗、单向	959.02	6.31	7.14	23 012	3 626	15.76
410	单戗、双向	959.96	7.00	7.65	21 164	2 772	13.10
317	单戗、双向	959.32	6.48	7.25	21 164	2 596	12.27
410	单、宽戗、双向	959.99	6.95	7.62	29 797	2 613	8.27
410	双戗、双向	960.07	6.69	6.72	21 120	1 980	9.38
				6.78	21 824	792	3.63

表 3 截流流量为 317 m³/s 时截流水力学主要参数
Table 3 Main closure hydraulic parameters while closure flow is 317m³/s

流量/(m ³ ·s ⁻¹)	口门宽/m	水面宽/m	戗堤上游水位/m	戗堤落差/m	导流洞分流量/(m ³ ·s ⁻¹)	龙口流量/(m ³ ·s ⁻¹)	戗堤渗流量/(m ³ ·s ⁻¹)	左堤头最大流速/(m·s ⁻¹)	右堤头最大流速/(m·s ⁻¹)
317	40	22	955.56	2.61	105	205	7	6.21	6.04
	30	15	956.60	3.24	152	153	12	6.72	6.72
	20	10	958.19	5.04	232	64	21	7.25	7.25
	0	0	959.32	6.48	283	0	34		

表 4 截流流量为 410 m³/s 时截流水力学主要参数
Table 4 Main closure hydraulic parameters while closure flow is 410 m³/s

流量/(m ³ ·s ⁻¹)	口门宽/m	水面宽/m	戗堤上游水位/m	戗堤落差/m	导流洞分流量/(m ³ ·s ⁻¹)	龙口流量/(m ³ ·s ⁻¹)	戗堤渗流量/(m ³ ·s ⁻¹)	左堤头最大流速/(m·s ⁻¹)	右堤头最大流速/(m·s ⁻¹)
410	40	23	956.05	2.79	127	277	7	6.42	6.29
	30	15	957.33	3.95	186	211	13	6.89	6.91
	20	10	958.96	5.69	279	110	22	7.62	7.62
	0	0	959.99	6.95	377	0	33		

表 5 单戗双向截流定床、动床试验方案综合比较表

Table 5 Test Results of single closure dike with bi-directional closure in fixed bed and mobile bed models									
流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	河床 状态	戗上水位/ m	未闭气 落差/m	堤头 $V_{\text{max}}/$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	抛投料总 用料/ m^3	中小石总 用量/%	大石总 用量/%	流失量/ m^3	流失百分比/ %
410	定床	959.96	7.00	7.65	21 164	44.49	55.51	2 772	13.10
	动床	959.60	6.41	7.58	23 408	50.38	49.62	2 156	9.21
317	定床	959.32	6.48	7.25	21 164	49.27	50.73	2 596	12.27
	动床	958.98	5.92	7.43	21 032	52.09	47.91	1 188	5.65

表 6 导流洞进口有、无残埂截流水力学比较表

Table 6 Test results of the diversion tunnel inlet with and without remainder											
流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	口门宽/ m	水面宽/m		戗堤上游水位/m			左堤头最大流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		右堤头最大流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		
		无残埂	有残埂	无残埂	有残埂	差 值	无残埂	有残埂	无残埂	有残埂	
410	40	23	24	955.91	957.12	+1.21	6.20	6.42	6.06	6.55	
	30	15	17	956.74	957.64	+0.90	6.86	7.53	6.81	7.32	
	20	10	10	958.60	959.11	+0.51	7.58	8.06	7.58	8.06	
	0	0	0	959.60	960.01	+0.41					

(2) 导流洞进口残留 2 m 施工围堰残埂, $Q=410 \text{ m}^3/\text{s}$ 截流进占过程中, 龙口水力学指标大幅提高。在相同进占口门条件下, 龙口落差增加 1.21 ~ 0.41 m, 戗堤头部最大垂线平均流速增加 0.67 ~ 0.22 m/s, 截流指标的增加尤其在截流进占初期为甚。

(3) 导流洞进口残留 2 m 施工围堰残埂, 上戗堤由起始口门宽 63.5 m 至龙口合龙, 抛投材料总用量增加 1 144 m^3 , 大石总用量增加 9.16 个百分点, 流失量增加 6.2 个百分点。

(4) 抛投材料流失范围、堆积高程均有所增加。可见, 导流洞进口残留 2 m 施工围堰残埂, 对戗堤截流难度的增加还是比较明显的。

5 结 论

(1) 大岗山水电站截流模型试验研究表明, 单戗双向截流方案为较优方案, 此方案龙口水流流态较好, 截流水力学指标与其它方案相当, 虽抛投材料流失略大, 但抛投绝对总量不大, 且采用单戗双向截流施工组织简单, 并无需使用特大块石。

(2) 导流洞进口残留 2 m 施工围堰残埂增加了对戗堤截流难度。

(3) 本工程截流戗堤高度不高, 坍塌程度较轻, 但在实际施工中仍要提高警惕, 采取必要防范措施, 保证施工设备和施工人员的安全。

(4) 试验成果中抛投材料的用量、流失量等仅供截流施工组织设计参考。由于本工程截流难度较大, 为保证截流工程顺利实施, 各级配抛投材料一定要准备充分, 备料系数以 1.5 ~ 2.0 为宜, 同时, 还可制备一定数量的钢筋石笼。

参考文献:

[1] 郭红民, 宁 晶, 蒋文秀, 等. 大型水利工程截流龙口护(垫)底的试验研究及工程实践[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2007, 29(6): 481-485.
[2] 刘力中, 郭红民, 柏 林. 三峡工程大江截流戗堤坍塌问题试验研究[J]. 长江科学院院报, 1997, 14(4): 22-26.

(编辑: 周晓雁)

Study on Experiment of River Closure of Dagang Mountain Hydropower Station Project

WABG 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: By eight river closure scheme tests about Dagang Mountain Hydropower Station Project, the flow characteristics of closure-gap during the closure was analyzed, the equivalent diameter of dumped ripraps and reasonable intensity of dumping in the different closure-gap widths were decided. The closure result shows that the single-dike bidirection end dumping closure is feasible, successful, which provides a scientific basis for implementation of closure work.

Key words: river closure; closure-gap; closure dike; model experiment