

柴桥港水闸重建工程水工整体模型试验研究

麦栋玲，罗岸，黄智敏，陆汉柱，付波，杨骅

(广东省水利水电科学研究院，广州，510610)

摘要：本文进行了惠来县柴桥港水闸重建工程水工整体模型试验研究，对水闸的泄流能力、流态、流速分布以及水闸下游消能设施的水力特性进行了测试分析，提出了水闸开启运行操作方法，试验成果可供工程设计和水闸运行管理部门参考。

关键词：水闸；水工模型；胸墙；消力池；防冲槽

1 工程概况

柴桥港水闸位于广东揭阳市惠来县东部关门水流域下游，靖海、周田、仙庵三镇的京陇、青州、葛山三个村交界处，距下游西石湖水闸 3km，距离出海口 6km。水闸闸址上游汇流区集雨面积 62.77km^2 ，主河道长为 11.99km。水闸的主要工程任务是蓄水灌溉、防洪、排涝兼交通，保障区域内仙庵、周田、靖海三镇 1.3 万亩农田的灌溉，五千多亩渔池的养殖，镇内二万余人的生命安全。

在初期建设时，由于缺乏综合、科学论证，且限于初建期的施工材料和设计条件，水闸工程存在严重质量缺陷，至今已经过三十多年的运行，建筑物年久失修成为危闸，机械及电气设备陈旧、老化、破损。经安全鉴定评定该水闸为四类闸，拟全闸拆除重建。

柴桥港水闸重建工程为中型水闸，等 3 级，主要建筑物为 3 级，次要建筑物为 4 级，临时建筑物为 5 级；设计洪水标准为 20 年一遇，相应设计流量为 $462.1\text{m}^3/\text{s}$ ，设计洪水位为 3.26m；校核洪水标准为 50 年一遇，相应校核流量为 $561.28\text{m}^3/\text{s}$ ，校核洪水位为 3.71m；10 年一遇的排涝流量为 $336.04\text{m}^3/\text{s}$ 。

2 试验研究的目的是和内容

柴桥港水闸重建工程水工整体模型试验研究的目的是：测试和研究柴桥港水闸工程运行的水力特性、工程段河道水流变化规律，论证水闸工程布置的合理性。

试验研究的主要内容为：

- (1) 根据水闸断面模型试验成果，进行水工整体模型试验，测试和研究水闸的泄流能力、流量系数、流态及流速分布，提出改善措施；
- (2) 测试水闸下游消能设施的水力特性，妥善解决水闸的消能防冲问题；
- (3) 对水闸的运行管理方式进行试验研究，为水闸运行管理提供科学依据。

3 模型设计与制作

水工整体模型按佛劳德重力相似定律设计为正态模型，选取模型几何比尺为 $L_r=40$ 。模型截取范围：上游河道截取 250m；闸下游桩号 0+100 处有一个弯道，为了使模型能更好地演示弯道的水流特性，闸下游截取的下流河段长约 400m。水闸枢纽平面布置图及纵剖面图见图 1、图 2。

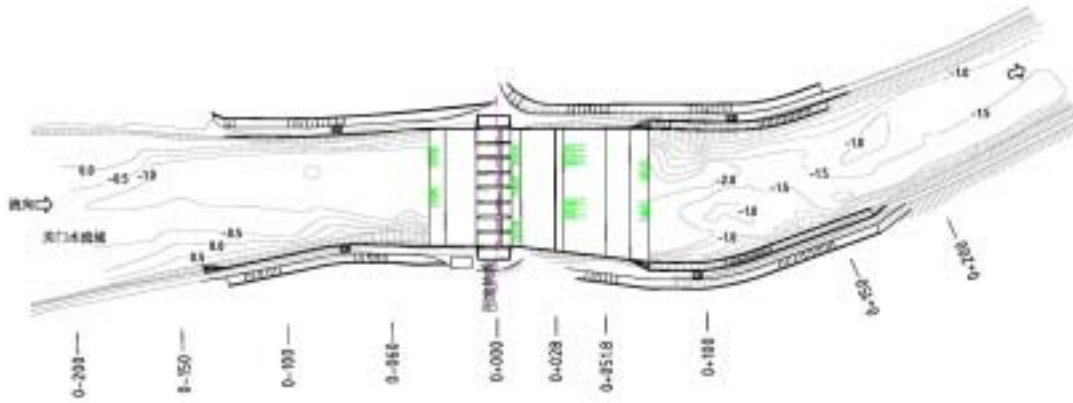


图 1 柴桥港水闸枢纽平面布置图

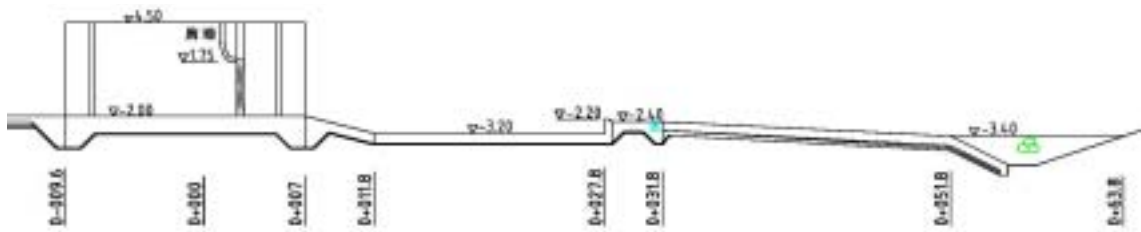


图 2 柴桥港水闸纵剖面图

4 试验成果及分析

4.1 泄流能力

4.1.1 现状河床泄流能力试验

在泄放校核洪水频率流量和设计洪水频率流量时，进行水闸泄流能力试验，测得的闸上游水位见表 1。本工程闸室底高程为-2.0m，由于现状的闸下游河床较高（高程约-2.0m~-1.0m），造成水闸区域段泄流不畅顺。由表 1 可知，水闸泄流能力不能满足工程设计的要求。

表 1 柴桥港水闸泄流能力表（现状河床）

洪水频率 P (%)	泄流量 Q (m ³ /s)	上游水位 (m)			下游水位 Z (m)
		试验值 Z ₂	设计值 Z ₂ '	Z ₂ -Z ₂ '	
2	561.28	3.97	3.71	0.26	3.46
5	462.1	3.38	3.26	0.12	3.07

4.1.2 闸下游河床开挖后的泄流能力试验

模型对下游防冲槽后 200m 长的河床主河槽进行开挖，河床开挖至高程约-3.5m~-3.0m，测试的水闸泄流能力见表 2。

表 2 柴桥港水闸泄流能力表（下游河床开挖后）

洪水频率 P (%)	泄流量 Q (m ³ /s)	上游水位 (m)			下游水位 Z(m)	泄流综合流量系数 M
		试验值 Z ₂	设计值 Z ₂ '	Z ₂ -Z ₂ '		
2	561.28	3.76	3.71	0.05	3.46	0.191
5	462.1	3.21	3.26	-0.05	3.07	0.183

柴桥港水闸为平底水闸，闸室内设置胸墙，胸墙底高程为 1.75m，闸底高程-2.0m，表中各试验组次的 $e/H > 0.65$ ，泄流流量按公式 (1) 计算：

$$Q = \sigma \varepsilon m B \sqrt{2g} H_0^{1.5} \quad (1)$$

式中： σ ——淹没系数； ε ——侧收缩系数；
 m ——流量系数； B ——闸室净宽， $B=48\text{m}$ ；
 H_0 ——闸上全水头， $H_0 = H + v^2/2g$ ， H 为闸上水头， v 为闸室上游行进流速。

令综合流量系数 $M = \sigma \varepsilon m$ ，同时忽略水闸上游行进流速水头的影响，则（1）式可简化为：

$$Q = MB \sqrt{2g} H^{1.5} \quad (2)$$

由（2）式可计算得水闸泄流综合流量系数 M （见表 2）。

由表 2 结果可知，水闸下游河床开挖后，一定程度上增加了过流断面面积，使水闸区域段过流更为畅顺，在设计洪水频率流量（ $P=5\%$ ）运行时，测试的闸上游水位值为 3.21m，比设计值低 0.05m；在校核洪水频率流量（ $P=2\%$ ）运行时，测试的闸上游水位值为 3.76m，比设计值高 0.05m。因此，柴桥港水闸泄流能力基本可满足工程设计的要求。

4.1.3 闸门开度与泄流能力关系的试验

上游维持正常蓄水位 0.5m、下游为较不利水位-0.4m、局部开启 8 孔闸门的情况下，测试水闸的泄流能力。试验成果列于表 3。

表 3 各级闸门开度的泄流量

闸门开度 e (m)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
泄流量 Q (m^3/s)	35.8	64	116.3	152.5	186.8
下游水位 Z (m)	-0.4				

按工程设计要求，当上游来流量 $Q \geq 190 \text{m}^3/\text{s}$ 时，闸门全开泄洪。由表 3 可知，开启 8 孔闸、闸门开度 $e=1.0\text{m}$ 时，水闸的泄流量已达 $186.8 \text{m}^3/\text{s}$ ，已接近闸门全开的水闸泄流量。因此，当上游来流 $Q \geq 190 \text{m}^3/\text{s}$ ，闸门开度 $e > 1.0\text{m}$ 时，闸门需全开泄洪。

4.2 水闸运行流态和流速分布

4.2.1 水闸上游流态和流速分布

1) 闸门全开运行的流态和流速分布

试验表明：闸门全开运行，在桩号 0-070 附近河道略弯，水流流经此处时，受弯道作用，河道主流略偏左岸，闸前水流均较为平顺，各测流断面流速分布较均匀。

2) 闸门局部开启运行的流态和流速分布

闸门局部开启的各组次试验表明，闸的上游水面比较平稳，各断面流速分布较均匀。

4.2.2 水闸下游流态和流速分布

1) 现状河床的试验成果

闸下游为现状河床时，水流较平顺，各测流断面流速分布较均匀，下游河段受弯道（桩号 0+100）的影响，出现偏流，主流偏向河道左侧。水流流经桩号 0+220 以后，河道恢复了天然河流流态。

水闸消力池及海漫段水力参数见表 4。由表可知：在校核洪水频率流量运行时，消力坎（桩号 0+028）底流速较大值约为 2.8m/s ，下游防冲槽（桩号 0+057.8）底流速较大值约为 1.4m/s ，下游河道桩号 0+220 断面底流速较大值约为 2.0m/s ；在设计洪水频率流量运行时，消力坎底流速较大值约为 2.1m/s ，防冲槽底流速约为 1.2m/s ，下游河道桩号 0+220 断面底流速较大值约为 2.0m/s 。

表 4 消力池及海漫段水力参数表

洪水频率 P (%)	泄流量 Q (m ³ /s)	消力坎底流速 (0+028) (m/s)	下游防冲槽底流速 (m/s)
2	561.28	2.7~2.8	1.3~1.4
5	462.1	2.0~2.1	1.1~1.2

2) 闸下游河床开挖后试验成果

表 5 给出水闸闸门全开消力池及海漫段水力参数成果。由表可知，河床开挖加大了断面的水深，断面流速相应降低。下游水流较为平顺，各测流断面流速分布较均匀。

表 5 消力池及海漫段水力参数表

试验组次	闸门开启情况		泄流量 Q (m ³ /s)	消力坎底流速 (0+028) (m/s)	下游防冲槽底流速 (m/s)
	孔数	开度 e (m)			
1	8	全开	561.28	2.4~2.7	1.2~1.3
2			462.1	1.6~1.9	1.0~1.1
3			336.04	1.2~1.5	0.8~1.1
4			250	1.0~1.3	0.8~1.0

对于闸门局部开启情况，各种闸门开度运行的消力池流态描述见表 6，消力池及海漫段水力参数值见表 7。由表可知：当闸门开度 $e < 0.6\text{m}$ 时，闸下为淹没出流，消力池池内流速较小，水面较平稳。随着闸门开度的增大，水闸的泄流能力相应增大，当闸门开度 $e \geq 0.6\text{m}$ 时，闸门出流表现为自由出流，池内发生水跃，水跃跃长在消力池范围之内。闸门局部开启的各组次试验中，消力坎底流速 $V < 3\text{m/s}$ ，下游防冲槽的底流速 $V < 1.5\text{m/s}$ ，满足消能防冲要求。

表 6 各试验组次闸下游流态

试验组次	闸门开启情况		下游水位 Z (m)	闸后水流情况
	孔数	开度 e (m)		
5	8	0.2	-0.4	淹没出流，闸后形成弱水跃。
6		0.4		淹没出流，闸后形成弱水跃。
7		0.6		自由出流，水跃发生于闸门出口及消力池斜坡段
8		0.8		自由出流，水跃发生于闸门出口及消力池斜坡段。
9		1.0		自由出流，水跃发生于闸室末端及消力池斜坡段。

表 7 消力池及海漫段水力参数表

试验组次	闸门开启情况		泄流量 Q (m ³ /s)	消力坎底流速 (0+028) (m/s)	下游防冲槽底流速 (m/s)
	孔数	开度 e (m)			
5	8	0.2	35.8	0.3~0.4	0.2~0.3
6		0.4	64	0.6~0.7	0.3~0.5
7		0.6	116.3	1.0~1.2	0.6~0.7
8		0.8	152.5	1.5~1.6	0.7~0.9
9		1.0	186.8	2.0~2.5	0.9~1.1

5 水闸运行原则

根据工程设计资料，综合柴桥港水闸水工断面模型和整体模型试验成果，建议水闸开启运行的操作方法为：

(1) 水闸上游来流量 $Q < 190\text{m}^3/\text{s}$ 时, 水闸闸门局部开启运行。闸门开度以 $e=0.2\text{m}$ 分档, 闸门起始开度 $e=0.2\text{m}$, 随上游来流量增大而逐级开启。

(2) 闸门开启遵循对称、均匀、间隔, 防止集中数孔同时大开度开启。每一挡开度开启后, 必须待下游水位稳定才允许开启下一挡闸门开度。

(3) 当上游来流量 $Q \geq 190\text{m}^3/\text{s}$ 时, 闸门全开泄洪, 以确保工程的安全运行。

6 结语

(1) 本项目对柴桥港水闸进行水工模型试验研究, 优化了工程设计方案, 试验研究成果可供工程设计和运行参考。

(2) 由于闸下海漫段后的下游河床高出闸室底高程 (-2.0m), 造成水闸区域段泄流不畅顺, 水闸不能满足泄流能力的要求。对水闸下游防冲槽以下 200m 长河床主河槽进行人工开挖, 水闸的泄流能力可以满足工程设计的要 求。

(3) 综合水工断面模型及整体模型试验成果, 设计方案的水闸下游消能工可以满足水闸下游消能防冲的要求, 工程设计方案是合理的。

(4) 本项目试验研究提出的水闸下游河床开挖方案, 可供工程设计和运行参考。提出的水闸开启运行操作方法可供水闸运行管理部门参考。

参考文献:

- [1] 广东省水利水电科学研究院, 《惠来县柴桥港水闸重建工程断面模型试验研究报告》, 2009.10;
- [2] 汕头市水利水电勘测设计院, 《揭阳市惠来县柴桥港水闸重建工程可行性研究报告》, 2007.12;
- [3] 华东水利学院主编, 《水工设计手册》(第6卷, 泄水与过坝建筑物), 北京: 水利水电出版社, 1985年.