

# 广东大埔茶阳电站水闸断面模型试验研究

丘宜平 邱 静 黄本胜 林美兰 杜涓  
(广东省水利水电科学研究院, 广州, 510630)

## 1 工程概况

茶阳电站是以发电为主的低水头径流式电站, 坝址位于广东省大埔县茶阳镇上游 1km 处的汀江河上, 是汀江~韩江干流开发的第 6 级梯级电站。电站枢纽主要由拦河闸、电站和船闸等几部分组成。

本工程属 等中型工程, 拦河水闸建筑物为 3 级, 按 30 年一遇洪水设计, 100 年一遇洪水校核。水闸采用平顶宽顶堰, 堰顶高程为 41.0m (与河床齐平)。水闸设 9 孔, 采用两孔一联的结构型式, 缝墩厚 3.0m, 中墩厚 2.5m, 边墩厚 2.0m, 闸顶高程为 61.0m。闸门为平面钢闸门, 其上游设有检修闸门。闸底板(堰顶)顺水流方向长 15m, 闸墩顶长 18m。宽顶堰下游设 1/4 的陡坡段, 后接消力池和海漫。消力池深 2m, 底板高程 39.0m, 池长 24m。海漫长 45m, 海漫为 1/10 的斜坡面, 海漫后接防冲槽, 防冲槽面高程为 37.0m, 槽后以 1/10 的坡度与下游河床相接, 水闸、消力池和海漫的工程布置如附图 1 所示。

设计洪水流量为 7100m<sup>3</sup>/s, 相应坝址下游水位为 55.79m; 校核洪水流量为 10090m<sup>3</sup>/s, 相应坝址下游水位为 58.40m; 水库正常蓄水位为 50.20m。

## 2 试验研究内容

受大埔佐田电力有限公司的委托, 根据试验任务书和工作合同要求, 茶阳电站水闸断面模型试验研究的内容包括:

- 验证设计水闸的过流能力及水闸流量系数;
- 评价分析各种泄流条件下对下游海漫的影响;
- 研究水闸管理运用条件。

## 3 试验水文组次

按照试验要求, 试验分别进行闸门全开泄洪和闸门局部开启泄洪两种情况的研究, 主要试验水文组次如表 1 所示。

表 1 试验水文组次表

运行工况	Q (m <sup>3</sup> /s)	Z <sub>下</sub> (m)	试验研究内容
闸门全开泄洪	10090 (P=1%校核)	58.40	试验水闸泄洪能力、观测闸下水流衔接流态及下游海漫流速情况等
	7100 (P=3.33%设计)	55.79	
	6940 (P=5%)	55.62	
	5190 (P=20%)	53.70	
	3930 (多年平均)	52.14	
	1380 (一般洪水)	47.92	
闸门局部开启泄洪	828	46.61	电站甩负运行闸下流态试验
	e =0.20	临界水位	研究闸门局部开启泄流闸下安全运行的水力限制条件
	e =0.50		
	e =0.75		
	e =1.00		
	e =1.25		
	e =1.50		

#### 4 断面模型设计与制作

根据试验研究的内容，断面模型主要是研究消能工的泄水消能及闸下水流衔接流态的问题。为更好地反映实际水流流态，选择较大的模型比例制作模型，模型按重力相似条件设计成正态模型。模型截取上游 350m，河床高程 41.0m；下游截取 500m，河床高程 41.0m。水闸断面截取  $1\frac{1}{4}$  孔

及二个闸墩（一个中墩，一个缝墩）（见附图 2）。

按试验条件及重力相似条件得各模型试验比尺为：

几何比尺  $L=46$ （玻璃水槽宽 0.50m）

流速比尺  $v=L^{1/2}=6.782$

流量比尺  $Q=L^{5/2}=14351.41$

模型上下游河道采用水泥光面制作，水闸及消力池部分采用杉木和石蜡抛光精作，满足糙率相似条件。

#### 5 试验研究及成果分析

##### 5.1 过流能力试验

在各频率洪水的情况下，水闸闸门全开敞泄洪水，由试验测得设计洪水的上游水位为 56.12m，水闸上游壅高 0.33m；校核洪水的上游水位为 58.82m，水闸上游壅高 0.42m。各频率洪水的上游水位及水位壅高值见表 2 所示。

表 2 各频率洪水上游水位及水位壅高试验情况表

洪水频率 P (%)	Q (m³/s)	Z <sub>下</sub> (m)	Z <sub>上</sub> (m)	水位壅高值 (m)	
				试验值 (m)	设计值 (m)
1	10090	58.40	58.82	0.42	0.84
3.33	7100	55.79	56.12	0.33	0.54
5	6940	55.62	55.80	0.18	0.53
20	5190	53.70	53.83	0.13	0.38
多年平均	3930	52.14	52.25	0.11	\
一般洪水	1380	47.92	47.99	0.07	0.09

由表 2 可见，水闸的洪水过流能力满足设计要求，并有一定的余度。由于断面模型是二维的水流问题，不能反映河道形态和建筑物边界等对泄洪闸泄流流态的影响，因此，试验成果以整体模型试验为准，断面模型试验成果可作为参考和进一步的验证。各洪水频率闸前水位～流量关系如附图 4 所示。

由宽顶堰淹没泄流流量计算公式：

$$Q = \sigma_s \sigma_c mnb \sqrt{2g} H_0^{3/2}$$

设综合流量系数  $M = \sigma_s \sigma_c m$ ，得水闸各泄量的流量系数如表 3 所示。

闸孔开度运行的上游水位和流量关系如附图 5 所示；正常水位条件下的闸孔开度与单孔流量关系如附图 6 所示。

##### 5.2 水流衔接流态

拦河水闸为平顶宽顶堰型式，堰顶与河床齐平，闸门敞开泄洪时，水闸上、下游水位差较小（最大落差小于 0.50m），过闸水流较平顺稳定，过闸水流为淹没堰流，闸下水流为缓流衔接。

表 3 综合流量系数 (M) 表

洪水频率 P (%)	Q (m³/s)	M
1 (校核)	10090	0.229
3.33 (设计)	7100	0.209
5	6940	0.211
20	5190	0.196
多年平均	3930	0.181
一般洪水	1380	0.132

闸门局部开启泄流时，水闸上、下游水头差较大，闸下入池水流流速较大。闸门按均匀开启方式泄流，闸下水流在消力池内发生淹没水跃，出池水流以缓流与下游水流衔接。

电站运行甩负荷时，水闸 9 孔均匀开启泄流  $828\text{m}^3/\text{s}$ ，试验表明，闸门均匀开启  $1.10\text{m}$ ，闸下入池水流在池内产生淹没水跃，消能效果好，出池水流平顺，无急流冲刷流态产生，流速、流态情况见附图 14 所示。

### 5.3 消能防冲及管理运用要求

消能防冲和闸门管理运用要求是断面模型试验研究的重点。

流态观测表明，水闸敞泄洪水时，河道水深大，(流量  $1380\text{m}^3/\text{s}$ ，水深约  $7\text{m}$ ；流量  $10090\text{m}^3/\text{s}$ ，水深约  $18\text{m}$ )，水闸上、下游的水位落差小 (流量  $1380\text{m}^3/\text{s}$ ，落差约  $0.07\text{m}$ ；流量  $10090\text{m}^3/\text{s}$ ，落差约  $0.42\text{m}$ )，上、下游水流为缓流相接。各洪水频率流速和流态情况如附图 8~13 所示。

当水闸局部开启泄流时，闸前水位为正常蓄水位  $50.20\text{m}$ ，闸下水位较低，水闸上、下游的水头差较大，闸下出流为急流，若闸下水流在消力池内消能不充分，闸后水流容易产生不完全水跃或远驱式水跃，造成出池水流不均匀，流速过大，对海漫及下游河床产生冲刷，危害工程安全。为满足设计消力池良好的消能效果，以及避免不恰当的闸门开启方式而产生的下游急流冲刷，试验在上游正常蓄水位 ( $50.20\text{m}$ ) 的情况下，进行了闸门局部开启时消力池安全运行的水力限制条件的研究。经试验研究，满足消力池消能安全运行的闸门开度与下游水位限制条件如下：

$e=0.2$	$H_{\text{下}}$	$42.40(\text{m})$
$e=0.5$	$H_{\text{下}}$	$43.15(\text{m})$
$e=0.75$	$H_{\text{下}}$	$43.50(\text{m})$
$e=1.00$	$H_{\text{下}}$	$43.95(\text{m})$
$e=1.25$	$H_{\text{下}}$	$44.20(\text{m})$
$e=1.50$	$H_{\text{下}}$	$44.40(\text{m})$

闸门开度与下游临界水位关系如附图 7 所示，相应下游流速情况见附图 15~20 所示。试验结果表明，由坝址的水位、流量关系 (见附图 3) 可知，对应限制水位条件下的来水量，水闸开二孔即可在安全运用的限制水位条件下渲泄相应来水流量。对于 9 孔水闸来说，在运行中有较多的闸门可调控泄流，水闸的管理调配运行是较灵活的。

根据消力池安全运行水位限制条件及 9 孔闸下游流态，考虑到将来可能出现的河床下切，水闸安全运行的原则是以均匀小开度方式逐渐开启闸门，严禁水闸集中、大开度泄流，以避免下游产生复杂的流态，保证入池水流均匀，提高消能效果，使出池水流均匀，有利于工程安全。

### 5.4 海漫流速情况

海漫流速测验情况如附图 8~20 所示。

由海漫底部流速情况可见，在水闸敞泄洪水时，海漫段底部流速最大不超过  $3.7\text{m}/\text{s}$ ，防冲槽后流速最大不超过  $3.4\text{m}/\text{s}$ 。在其它洪水情况下，由于海漫段水深相对较大，底流速小，对海漫不产生危害性冲刷。

在闸门局部开启泄流时，在满足消能水力条件下，出池水流较均匀，海漫段的垂线流速恢复为上大下小的分布，底流速较小，出池水流的主流沿河床面进入下游河道，海漫不发生明显的冲刷现象，保证了建筑物的安全。

下游海漫底部流速情况见表 4 所示。

表 4 海漫底流速情况表

运行工况		Q (m <sup>3</sup> /s)	Z (m)	V <sub>max</sub> (m/s) (0+063 ~ 0+093 区间)
闸门全开敞泄洪水		10090	58.40	3.01 ~ 3.68
		7100	55.79	2.07 ~ 3.10
		6940	55.62	1.23 ~ 1.97
		5190	53.70	0.98 ~ 1.66
		3930	52.14	1.05 ~ 1.50
		1380	47.92	0.63 ~ 0.97
闸门	e=0.2	29.7	42.40	0.23 ~ 0.75
局部	e=0.5	61.90	43.15	0.36 ~ 1.17
开启	e=0.75	92.30	43.50	0.62 ~ 1.19
泄流	e=1.0	120.60	43.95	0.58 ~ 1.66
(单	e=1.25	147.05	44.20	0.79 ~ 1.46
孔)	e=1.5	172.15	44.40	0.55 ~ 1.60
电站甩负		828	46.61	0.47 ~ 1.09

## 5.5 成果分析

通过断面模型试验，对水流的衔接问题、消能问题，以及闸门管理运用问题等进行了研究，对研究成果作如下说明：

5.5.1 水闸断面模型较整体模型的比例大，能更清楚地观测到消力池内产生的水跃漩滚流态、下游水流衔接流态以及海漫底部流态等，更有利于研究闸门的管理运用方式、水流衔接以及消能等问题。

5.5.2 断面模型反映的是平面二维水流问题，未能反映河势及建筑物等对水流的影响。因此，断面模型试验成果仅作为试验比较和验证。

## 6 结论

6.1 过流能力试验表明，水闸上游壅水小于设计计算值，水闸设计完全满足设计洪水的过流能力要求，并有一定的富余量。由于断面模型不能反映河势及河道形态、水工建筑物等对水流的影响，因此，水闸的泄流能力最终以整体模型的试验结果为准。

6.2 电站突然甩负荷，水闸局部均匀开启泄流 828m<sup>3</sup>/s，闸下水流在消力池内发生淹没水跃，消能效果好。

6.3 消力池安全运行的下游水位限制条件试验成果，为电站提供了闸门管理运行的方式，为安全运行提供了重要的保证。

6.4 根据试验要求，水闸局部开启时，应按均匀逐步开启的原则，以保证下游流速分布均匀，水流平顺，不产生水流集中局部冲刷下游河床的现象。

(文中各图略)