

沥口水利枢纽工程水闸断面模型水工试验研究

张广传 王丽雯 赖冠文 练伟航

(广东省水利水电科学研究院, 广州, 510610)

摘要:通过对沥口水利枢纽工程水闸断面模型的试验研究,充分比选各方案的优劣,确定能满足泄洪能力、过闸水流上、下游衔接流态要求的闸孔形式,以及确定闸下纵向冲刷坑的尺寸,闸坝下齿墙的入岩深度,优化消能工的尺寸,提出推荐的水闸消能方式,为设计提供科学参考依据。

关键词:断面模型 泄洪能力 冲刷坑 衔接流态 消能 水跃

1 概述

沥口水电站是以水力发电为主要任务,兼航运、灌溉,及改善东江中下游供水工程水量和水质的水利枢纽工程。坝址位于广东省河源市境内的东江干流上,是木京梯级及新丰江水库下游河段的第二个梯级电站,距河源市约43km。电站装机规模为32MW,为低水头径流式水电站。枢纽主要建筑物由拦河闸坝、船闸、厂房、电站等组成。

本工程属三等中型工程,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。

2 试验研究的内容及要求

验证水闸的过流能力;

研究过闸水流上、下游衔接流态;

确定水闸的消能方式,包括面流及底流消能的型式;

确定闸下纵向冲刷坑的尺寸,提出闸坝下齿墙的入岩深度;

优化消能工的尺寸,提出推荐的水闸消能方式。

3 断面模型设计与制作

3.1 模型范围

根据试验研究的内容,断面模型主要是解决水闸消能工的布置及上下游水流的衔接,因此,模型必须按重力相似条件设计成正态模型。考虑以往闸下冲刷坑的试验,模型沙的选择必须满足河床泥沙的起动相似条件。按相似条件得如下比尺:

$$\lambda_l = B_p / B_m = 44$$

$$\lambda_h = \lambda_l = 44$$

$$\lambda_v = \lambda_h^{1/2} = 6.633$$

$$\lambda_Q = \lambda_h^{5/2} = 12841.97$$

$$\lambda_t = 6.633$$

$$\lambda_{u_0} = \lambda_v = 6.633$$

式中: λ_l —几何比尺; λ_h —垂直比尺; λ_l —平面比尺; λ_v —流速比尺; λ_Q —流量比尺; λ_{u_0} —起动流速比尺; λ_t —时间比尺。

3.2 模型沙的选择

根据设计单位提供的河床地质资料,水闸下游河床为砾石夹层,在设计流量时, $H_T = 10\text{m}$,砾石的不冲流速为 $1.35 \sim 1.87\text{m/s}$,可见模型沙要求的起动流速为: $0.20 \sim 0.28\text{m/s}$,由南科院公式计算 $d_{50} = 0.2 \sim 0.4\text{mm}$ 的精煤满足起动流速的要求,可选择作为冲刷试验模型沙。

3.3 模型的制作

模型上游截取 350m，取河床平均高程为 20.0m，下游截取 650m 河道，河床平均高程为 19.0m，分别采用水泥光面制作，水闸底板、闸墩以及消力池采用杉木、石蜡抛光精制，可满足糙率相似的要求。

4 试验研究成果分析

4.1 过流能力的试验

断面模型分别进行了无消力池（方案 1）和有消力池（方案 2）两种方案的试验。其布置分别见图 1、2。试验表明，由于方案 1 和方案 2 闸底板高程一致，闸上下游河床高程一致，试验的结果基本一致，水流的过闸能力较接近在设计流量条件下，闸上游水位均为 29.84m，在校核流量条件下，闸上游水位均为 30.90m，断面模型的试验结果完全满足过流能力要求，并有一定的富余。由于只考虑闸墩的侧收缩和下游水流态改变的影响，没考虑到河势及河道形态的影响，水闸的泄流能力最终以整体模型的试验结果为准。断面模型水闸过流能力的试验成果见表 1

表 1 断面模型水闸过流能力（方案 1、2）

频率 (%)	流量 (m ³ /s)	Z _上 (m)	Z _下 (m)	Z(m)
校核(1%)	1100	30.90	30.73	0.17
设计(3.33%)	8938	29.84	29.72	0.12
5	8322	29.52	29.41	0.11
10	6403	28.46	28.39	0.07
20	5443	27.87	27.80	0.07
中水	3000	26.00	25.97	0.03
一般	1940	24.75	24.74	0.01

4.2 过闸水流的衔接流态

方案 1 及方案 2 在闸门全开工况泄洪的试验表明：由于上、下游水位差值较小，过闸水流的衔接为比较稳定的淹没面流流态，在设计流量时，方案 1 的闸后最大底流速为 2.27m/s，出现在 0+107.25m 断面，方案 2 的闸后最大底流速为 2.39m/s，出现在 0+205.65m 断面，在防冲槽(0+95.65m)断面最大底流速只有 63m/s，海漫段面最大底流速为 1.53m/s。在校核流量时，方案 1 及方案 2 的各断面流速有所增大，最大为 2.78~2.88m/s。随着流量的减小，闸后各断面的流速相应减小，闸后各断面的垂线流速分布呈面大底小的分布规律，不会产生严重的冲刷现象。

方案 1 及方案 2 在闸门局部开启工况泄洪时，下游水位的变化，过闸后的水流与下游的衔接流态与闸门开度的大小有密切关系，试验表明，不考虑下游水位的高低，随意开启闸门的大小，必然会导致闸下游的严重冲刷。在一定的下游水位下通过开启相应的闸门开度及孔数，方案 1 及方案 2 都可以产生稳定的淹没面流和稳定的淹没水跃，使得水流过闸后与下游平顺地缓流衔接，各断面流速分布均呈面大底小的分布规律。

4.3 消能效果分析

方案 1 采用的是无消力池的面流消能方式，试验表明，在闸门全开泄洪工况时，虽然水流的衔接为稳定的淹没面流，但由于泄洪流量较大，断面平均流速较大，在闸后容易产生冲刷坑，不

Hhjk, mm, m, m, , m

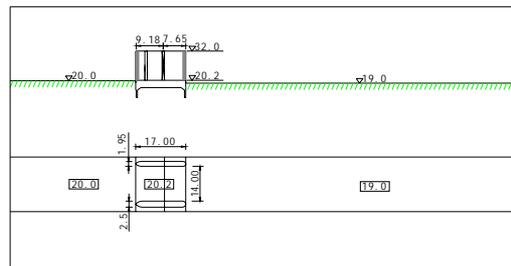


图 1 方案 1 平、剖面布置图

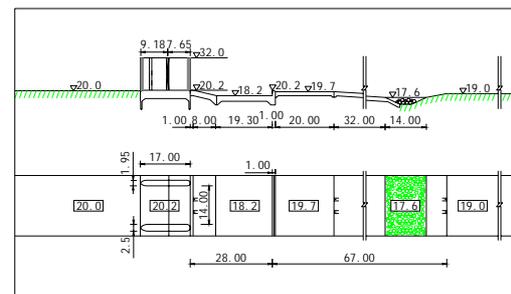


图 2 方案 2 平、剖面布置图

利于水闸的稳定。

方案 采用的是设消力池的底流消能方式，试验表明，在闸门全开泄洪工况时，同样，水流的衔接为稳定的淹没面流，但由于消力池、海漫及防冲槽的作用，在防冲槽断面以上的断面流速变化，不易对消力池、海漫及防冲槽产生破坏，从而有利于水闸的稳定、安全。

方案 消能工的优化试验表明，当 4 台机满发电，突然甩负荷，水闸需要宣泄 $930 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量，相应下游最低水位为 22.24m，此时如果闸门开启 0.5m 开度，需要开启 19 孔水闸运行，水流在消力池内能产生稳定的水跃，消能较充分，海漫断面(0+46.65m)最大底流速为 0.87m/s。如果闸门开启 1.0m，需开启 10~11 孔水闸运行，但消力池的消能不够充分，水流出池后，产生跌水，海漫断面(0+46.65m)的最大底流速达到 3.41m/s；在消力池内增设一排消力墩，距坡脚 5.0m，消能效果有所改善，海漫断面(0+46.65m)的最大底流速为 1.99m/s；若把消力池降低 0.5m，即高程为 17.70m，消力坎降低 0.5m，高程为 19.20m，海漫断面最大底流速为 1.73m/s，消能效果较好。

综上所述，优化后的消力池的底高程为 17.70m，另在消力池内增设一排消力墩，墩顶高程为 19.70m，海漫高程为 19.20m，更能适应低水位时甩负荷运行不利工况，消力池产生的消能效果更好，建议作为推荐的消力池底流消能方案。

4.4 闸后冲刷坑的试验

闸后冲刷坑的试验，只对方案 分别进行了设计和校核流量下闸门全开运行工况，以及闸门局部开启 0.5m、1.0m、2.0m 和 4.0m 开度等工况的冲刷试验。试验表明，在设计流量工况下，最大冲刷高程为 15.92m，校核流量工况下，最大冲刷高程为 15.04m，距闸后均为 28.6m。在局部开启工况下，闸门开度为 0.5m~4.0m 时，最大冲刷高程为 13.94~15.48m，开度越大，冲刷深度越大，离闸距离为 33.0~14.52m，开度越小，冲刷坑离闸越近。以上冲刷成果只是在合理的运行条件下的结果，如果偏离运行条件下运行，其冲坑深度会更大。同此，防冲齿墙的入岩高程应在 13.94m 以下，或者直接入岩 0.5m。

5 水闸的管理运用条件

试验表明，方案 及方案 （推荐优化后的消力池方案）的水闸管理运行条件，都必须严格按照如下的条件操作：

方案	：	$Z_{\text{下}} < 22.23\text{m}$	开度	$e = 0.3\text{m}$
		22.23m	$Z_{\text{下}} < 23.07\text{m}$	$e = 0.5\text{m}$
		23.07m	$Z_{\text{下}} < 23.68\text{m}$	$e = 1.0\text{m}$
		23.68m	$Z_{\text{下}} < 24.13\text{m}$	$e = 1.5\text{m}$
		24.13m	$Z_{\text{下}} < 24.53\text{m}$	$e = 2.0\text{m}$
		24.53m	$Z_{\text{下}} < 24.82\text{m}$	$e = 2.5\text{m}$
		24.82m	$Z_{\text{下}} < 25.11\text{m}$	$e = 3.0\text{m}$
		25.11m	$Z_{\text{下}} < 25.33\text{m}$	$e = 3.5\text{m}$
		25.33m	$Z_{\text{下}}$	$e = 4.0\text{m}$

方案 ：(推荐优化后的消力池方案)

		$Z_{\text{下}} < 22.44\text{m}$	开度	$e = 0.3\text{m}$
		22.44m	$Z_{\text{下}} < 23.31\text{m}$	$e = 0.5\text{m}$
		23.31m	$Z_{\text{下}} < 23.87\text{m}$	$e = 1.0\text{m}$
		23.87m	$Z_{\text{下}} < 24.36\text{m}$	$e = 1.5\text{m}$
		24.36m	$Z_{\text{下}} < 24.77\text{m}$	$e = 2.0\text{m}$
		24.77m	$Z_{\text{下}} < 25.08\text{m}$	$e = 2.5\text{m}$
		25.08m	$Z_{\text{下}} < 25.37\text{m}$	$e = 3.0\text{m}$

25.37m $Z_{\text{下}} < 25.65\text{m}$ $e=3.5\text{m}$

25.65m $Z_{\text{下}}$ $e=4.0\text{m}$

事实上，在闸门的管理运行时，闸门的开度是根据下游水位控制开度，根据上游来流量控制开闸孔数。下游水位较低时，闸门开度不宜开启过大，应该控制 0.2-0.3m 开度，不断增加闸孔数量，使得下游水位达到了相应开度的临界下游水位值时，闸门才能逐渐开启至更大的开度。当闸门开度达 2.0m，开闸孔数达 11 孔时，闸门可过渡到全开运行。

6 结论与建议

6.1 断面模型试验表明，不管方案 或方案 ，由于未考虑到上、下游河势及河道形态的影响，只考虑了闸墩的位置及下游淹没度的影响，方案 、 满足过流能力的要求，略有富余，但最后应以整体模型试验成果为最终结果。

6.2 方案 及方案 在闸门全开泄洪工况时，上、下游水流的衔接平顺，形成稳定的淹没面流流态，但在设计流量和校核流量工况时，流速较大，对河床有一定的冲刷能力，设计必要的消能防冲措施有利于闸下河床的防冲。

6.3 方案 在闸门局部开启工况运行时，闸下游流速在临界下游水位下运行，河床的流速比较大，对河床有较强的冲刷能力，易在闸后形成冲刷坑，最大冲坑高程达 13.94m，不利于水闸的稳定，应对闸下齿墙相应加固。

6.4 方案 在闸门局部开启工况运行时，闸下游设了消力池、海漫、防冲槽，水历经消力池产生稳定淹没底流消能，出池流速较方案 为小，再经海漫及防冲槽的保护，水流不宜对河床产生冲刷，对水闸的稳定有利。

6.5 试验表明，方案 在闸后流速较大，易产生明显的冲刷坑，而且离水闸较近，在电站厂房及船闸的导墙以内，虽然水闸及电站厂房及船闸导墙基础按入岩设计，不利于建筑物的稳定安全，更不利于防洪抢险。方案 由于消力池的作用，水流消能后，对河床的冲刷作用减小，其形成的冲刷坑在防冲槽以后，远离水闸，对水闸的稳定、安全有利，更有利于防洪抢险。采用建消力池的底流消能方案较稳妥，砼海漫后的防冲齿墙的插入深度最好在 13.94m 以下为宜。

6.6 优化试验表明，消力池底高程为 17.70m，池尾坎及海漫高程为 19.20m，消力池内设置一排消力墩，消能效果更好，更能适应下游河床的下切引起的水位降低及突然甩负荷的水闸运行工况，建议采用优化后的底流消能方式为推荐方案。

参考文献

- [1] 练伟航,张广传,赖冠文.三水二桥桥墩建设对河道及北江大堤影响河工模型试验研究[J],广东水利水电,2003,(3):17-18.
- [2] 羽海英,赖冠文,张广传,练伟航.北江大堤加固达标工程西南水闸水工模型试验研究[J]广东水利水电,2003,(4)