

柳城（蓝口）水电站工程水闸断面模型水工试验研究

王丽雯 张广传 赖冠文

（广东省水利水电科学研究院，广州，510610）

摘要：通过对柳城（蓝口）水电站工程水闸断面模型的水工试验研究，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，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 衔接流态 消能

1 工程概况

柳城（蓝口）水电站工程位于东江干流上的枫树坝水库下游，坝址位于东源县柳城镇下游约 2.4km 的东江干流上，距上游龙川县老隆镇约为 20km，距下游河源市区（新丰江与东江交汇口）约 58.3km。电站装机容量 2.55 万 KW，是一座以发电为主的低水头径流式水电站。枢纽主要建筑物包括拦河闸坝、船闸、水电站厂房及连接土坝等。

本工程属 等大（1）型工程，拦河水闸建筑物为 2 级，按 30 年一遇洪水设计，100 年一遇洪水校核。本试验在参考了东江其他水闸的设计后，设计单位与科研单位共同提出了水闸消能工的设计方案进行试验。

2 试验研究的内容

测定水闸全开及不同的开度时的泄洪能力，以及上、下游水流衔接流态；
验证下游消力池深度和长度；
提出闸门管理运行条件。

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定律设计成正态模型。按相似条件得如下比尺：

$$\text{几何比尺 } \lambda_l = \frac{B_p}{B_m} = 45$$

$$\lambda_h = \lambda_l = 45$$

$$\text{流速比尺 } \lambda_v = \lambda_h^{1/2} = 6.708$$

$$\text{流量比尺 } \lambda_Q = \lambda_l^{3/2} = 13584.11$$

$$\text{时间比尺 } \lambda_t = 6.708$$

3.2 模型制作

模型上游截取 360m，取河床平均高程为 53.00m，下游截取 500m 河道，取高程为 52.50m，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精制、石蜡抛光，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

断面模型进行了设计方案的过流能力试验。其布置见图 1。试验表明，在设计流量条件下，测试的闸上游水位为 62.78m；在校核流量条件下，测试的闸上游水位为 64.03m，断面模型的试验结果说明，设计方案可以满足设计计算的 62.89m 和 64.19m 的过流能力要求。由于只考虑闸墩的侧收缩和下游水流淹没流态的影响，未考虑到河势及河道形态的影响，水闸的过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仅作参考。断面模型水闸过流能力的试验成果见表 1。

水闸为自由出流时，单孔闸门局部开启不同开度的上游水位与流量关系见图 2；闸下游产生稳定的淹没底流的临界安全下游水位与开度的关系见图 3；在正常蓄水位时，单孔闸门不同开度与泄流量关系见图 4。

4.2 水流衔接的流态

设计方案在闸门全开工况泄洪的试验表明：由于上、下游水头落差较小，过闸水流的衔接为比较稳定的波流流态。在设计流量泄流时，闸后最大底流速为 2.46m/s，出现在 0+081.50m 断面，防冲槽（0+103.50m）断面最大底流速只有 1.66m/s。在校核流量泄流时，各断面流速增大，0+081.50 断面底流最大为 2.93m/s，防冲槽（0+103.50m）断面最大底流速为 2.11m/s。随着泄流量的减小，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，对下游河床不会产生较严重的冲刷现象。

设计方案在闸门局部开启工况泄洪，下游为最低水位（53.54m）时，水流衔接较好，并无水跃出池现象，坎后最大底流速为 1.75m/s，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，不考虑下游水位的大小，随意开启闸门的大小，必然会导致闸下游的严重冲刷。在一定的下游水位通过开启相应的闸门开度及孔数，设计方案可以产生稳定的淹没水跃，使得水流畅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

由于本电站为径流式水电站，泄洪闸的调度运用方式取决于上游来水流量的大小。因此，闸

表 1 断面模型水闸过流能力

频率(%)	流量 (m ³ /s)	Z _上 (m)	Z _下 (m)	Z(m)
0.5	9519	64.54	64.41	0.13
1(校核)	8572	64.03	63.93	0.10
2	7142	63.25	63.17	0.08
3.33(设计)	6380	62.78	62.72	0.06
5	4631	61.57	61.52	0.05
10	3087	60.09	60.05	0.04
20	2058	58.76	58.74	0.02
停机流量	1600	57.72	57.71	0.01

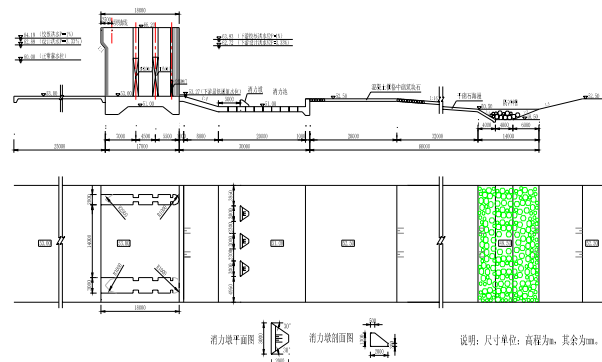


图 1 设计方案平、剖面布置图

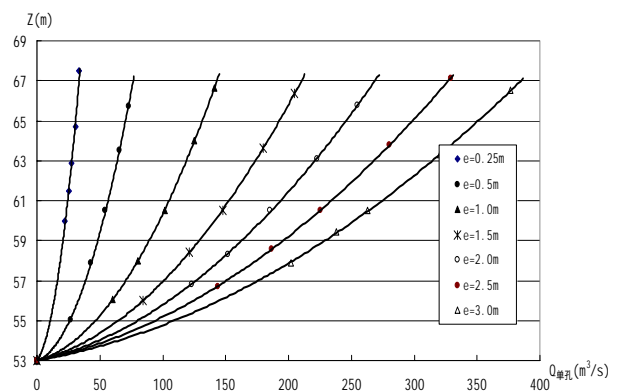


图 2 单孔闸门开度、上游水位和流量的关系

门较常运用在局部开启状态。当闸门全开泄洪时，上、下游落差较小，过闸水流流速不大，闸后水流与下游缓流衔接，不会产生较明显的冲刷破坏。当下游水位较低、闸门局部开启时，出闸水流流速较大，闸后水流在下游容易形成远驱水跃，造成海漫及下游河床的冲刷。最危险的工况是：水闸初始开闸泄洪，下游为单机满发时所对应的下游水位（本工程单机满发时下游水位为 53.54m），这时的下游水位最低，上、下游落差较大，下游水垫较薄，流速较大，容易冲刷下游河床。如不设消力墩，在最危险工况下，闸门开启 0.25m 开度时，消力坎后出现跌水，水流直接冲击海漫。

试验表明，设计方案在最危险的工况下，出闸水流顺斜坡下潜池底撞击消力墩，消散部分能量，并在消力池内产生稳定的淹没水跃。坎后海漫的降低，使得护坦上的水流沿垂线方向得到了进一步的扩散、调整。如闸门开启 0.25m 开度，下游出现最低 53.54m 水位时，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+054.50m）最大底流速为 2.01m/s。

闸门开启 0.5m ~ 3.0m 在水流大于下游临界水位时，水跃均发生在消力池内，并且在消力池内增设消力墩后，池内水跃较为稳定，闸后各断面的垂线流速呈面大底小的分布。

综上所述，设计方案的消力池内加设一排消力墩，墩顶高程为 52.30m，海漫高程为 52.50m。此方案在最危险工况即下游为最低水位时，消力池产生的消能效果能满足设计要求。随着下游水位的升高，各开度局部开启运行，其设计方案消能效果较好，完全满足设计要求。

4.4 水闸的管理运行条件

4.4.1 水闸开度的控制条件

试验表明，为了保证设计方案的水闸及消力池在各种开度工况时安全运行，闸门开度的大小应满足表 2 条件：

4.4.2 水闸孔数的控制条件

试验表明，当来流量大于 161.50m³/s 小于 318.36m³/s，应控制 0.25m 闸门开度，闸门开孔数为 7~14 孔；当来流量大于 318.36m³/s 小于 668.81m³/s 时，应控制 0.5m 闸门开度，闸门开孔数为 8~13 孔；当来流量大于 668.81m³/s 时，根据上游来流量的大小部分开启开度为 1.0m 相应闸孔数，直到开完 14 孔后，再根据上游的来流量增大，相应把闸门开启到 1.5m 开度，待上游来流量达 1600m³/s 时，闸门全开泄洪。但在开启闸门运行过程中，应防止开度过小，下游水位较高，水流拍打闸门现象，如出现拍打闸门现象，则需加大开度，减小开孔数，降低水流的淹没度。

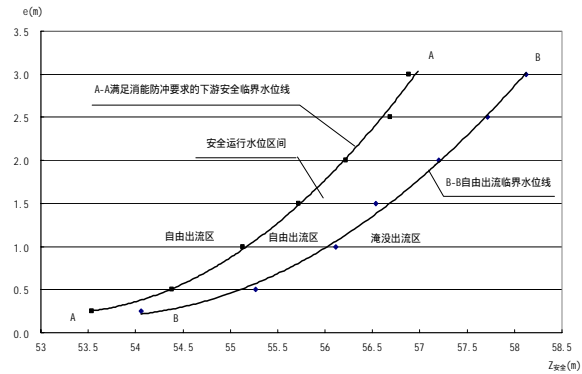


图 3 闸门开度的下游安全运行水位关系

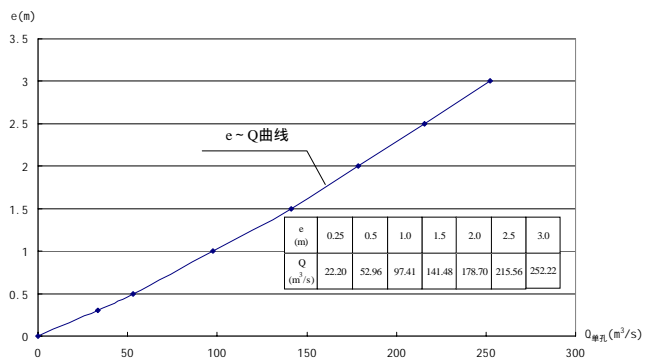


图 4 正常蓄水位对应单孔闸门开度与泄流量关系

表 2

开度 e(m)	下游水位变化范围(m)
0.25	53.54 Z _下 < 54.06
0.5	54.36 Z _下 < 55.10
1.0	55.18 Z _下 < 56.03
1.5	55.74 Z _下 < 56.68
2.0	56.20 Z _下 < 57.22
2.5	56.60 Z _下 < 57.68
3.0	56.96 Z _下 < 58.11

拦河闸运行应遵守同步、均匀、间隔、对称开启的原则，不应采取集中数孔同时开启的方式，以减轻对下游河床的冲刷。

事实上，在实际运行中，可根据断面模型报告中管理运行的相关限制要求，在实际运行中总结经验，探索出一套行之有效的闸门均匀开启的操作运行方式。

5 结论

(1) 断面模型试验表明，14孔单孔净宽14m、闸底板高程为53.00m的水闸布置形式，断面模型试验成果能满足过流能力的设计要求，但未考虑河势和枢纽水工建筑物的影响，最终水闸的过流能力应以枢纽整体模型试验成果为最终结果，断面模型试验结果可供参考与比较。

(2) 设计方案在闸门全开泄洪工况时，上、下游水流的衔接较为平顺，虽然在设计流量和校核流量工况时，闸下游流速较大，对河床有一定的冲刷能力，但在消力墩及消力池、海漫、防冲槽的作用下，不会使得水闸及消能工产生破坏。

(3) 试验研究表明，闸后平段1m，海漫高程52.50m，消力池陡坡后加一排消力墩，可适应下游低水位时闸门局部开启的水流消能要求，其他开度的水流消能效果也有所改善。因此，设消力墩辅助消能工的设计方案是可行和必要的。

(4) 水闸的管理运行，必需严格按表2的条件进行操作，在运行过程中，不断总结经验，制定修改闸门的运行规则。

参考文献

- [1] 《水力学》，成都科技大学水力学教研室，人民教育出版社1979年。
- [2] 紫金县沥口水利枢纽工程水闸断面模型水工试验研究，广东省水利水电科学研究院，2004年9月。
- [3] 河源市风光（横圳）水利枢纽工程水闸断面模型水工试验研究，广东省水利水电科学研究院，2004年12月。