

# 陡槽溢洪道多孔消能板消能特性影响因素的试验研究

杨丽萍<sup>1</sup>, 王钊<sup>1\*</sup>, 高广和<sup>1</sup>, 郎锡东<sup>2</sup>

(1. 沈阳农业大学水利学院, 辽宁沈阳 110866; 2. 沈阳农业大学外语部, 辽宁沈阳 110866)

**摘要** 传统消能工对于低水头、大流量的陡槽溢洪道消能效果并不显著。在陡槽溢洪道上设置多孔消能板后, 大大提高了陡槽溢洪道的消能率。该文采用物理模型进行试验的方法, 对设置多孔消能板的陡槽溢洪道的水流流速及消能特性行了详细的研究, 得到了各个因素对设置多孔消能板的陡槽溢洪道消能率的影响情况, 给出了其消能率最高达到 80% 以上的多孔消能板处理方案, 消能效果显著。

**关键词** 陡槽溢洪道; 多孔消能板; 消能特性; 影响因素; 消能率

中图分类号 S277; TU651.1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)07-02158-03

## Experimental Research on Influencing Factors of Energy Dissipation Characteristics of Orifice Plates in Chute Spillway

YANG Li-ping, WANG Zhao et al (College of Water Resources, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

**Abstract** The effect of traditional energy dissipation structure is not significant for low water head and large flow in chute spillway. Through setting orifice plates in chute spillway, it greatly improved the energy dissipation characteristics of chute spillway. This paper analyzed flow pattern, the distribution of flow velocity and energy dissipation ratio of orifice plates in chute spillway through physical model experiment. The results showed that the situation of energy dissipation ratio varied by the influencing factors and the maximum energy dissipation ratio exceeded 80%, indicating that the effect of energy dissipation is significant.

**Key words** Chute spillway; Orifice plates; Energy dissipation characteristics; Influencing factors; Energy dissipation ratio

溢洪道是一种普遍存在于各种水利枢纽工程中的泄水建筑物, 用于宣泄规划库容所不能容纳的洪水而保证水利枢纽工程的安全运行。陡槽溢洪道中的水流多为高速水流, 高速水流会带来掺气、空蚀等一系列的特殊问题, 如果不对其进行充分的消能会给下游建筑物带来极大的危害<sup>[1-2]</sup>。目前人们对溢洪道消能工的研究主要集中在常见的几种消能工上: 底流、挑流、面流<sup>[3]</sup>。但是对于一些低水头、大流量的溢洪道运用上述消能方式效果不是很有效并且工程造价极高<sup>[4-7]</sup>。而在陡槽溢洪道中设置多孔消能板可显著消除水流能量、减小水流流速。

运用物理模型试验, 采集了多孔消能板陡槽溢洪道中水流的流速数据及多孔消能板对水流能量的削弱量数据。根据试验数据总结出各个因素对消能率大小的影响情况, 从而得出了多孔消能板能够很好地应用于实际工程中, 同时为该设计提供参考数据。

## 1 试验方案及模型设计

**1.1 试验方案** 如图 1 所示, 多孔消能板设置在陡槽溢洪道上。试验模型由溢流段、陡槽溢洪道段、下游消力池段、尾水渠段 4 部分组成。溢流段选择折线形实用堰。陡槽段 (0+30.0~0+168.0 全长 138 m, 宽 27.96 m。



图 1 溢洪道平面布置

多孔消能板的消能率与流量、溢洪道坡度、消能板间距、消

能板高度和消能板孔面积比等因素有关。其中, 单宽流量选择 144.8、329.8、426.4、513.3 和 693.1 m<sup>3</sup>/s, 相应的试验流量见表 1。溢洪道坡度选择 5%、9.1%; 消能板间距采用 31.5m (共 5 级消能板, 分别设在 0+36.0、0+67.5、0+99.0、0+130.5、0+162 断面处) 和 42 m (共 4 级消能板, 分别设在 0+36.0、0+78.0、0+120.0、0+162.0 断面处); 消能板高度厚度为 0.42 m、高度采用 2.4 m 和 3.0 m; 消能板孔面积比采用 10%、15%、17.5%, 孔的布置垂向为 3 排孔, 横向布置见表 2。

表 1 试验流量与原型流量对应值

原型流量 // m <sup>3</sup> /s	试验流量 // L/s
144.8	5.1
329.8	11.8
426.4	15.3
513.3	18.4
693.1	24.9

表 2 多孔消能板孔口的横向布置

消能板高度 m	孔面积比 %	一、三排横向	
		孔数 个	孔数 个
2.4	10.0	12	13
	15.0	19	18
	17.5	22	21
3.0	10.0	10	10

**1.2 模型设计** 试验模型根据重力相似准则设计, 选用有机玻璃模型材料, 长度比尺  $\lambda_L = 60$  则速度比尺  $\lambda_V = \lambda_L^{0.5}$ , 流量比尺  $\lambda_Q = \lambda_L^{2.5}$ , 时间比尺  $\lambda_t = \lambda_L^{0.5}$ , 粗糙比尺  $\lambda_n = \lambda_L^{1/6}$ 。

试验各断面流速测点的布置: 每个断面横向 3 个测点; 垂向根据水深变化选择测点, 最多 3 个测点。流速采用 LS-501D 型直读式流速仪量测。

## 2 结果与分析

**2.1 消能率的计算** 多孔消能板消能工主要利用多孔消能板的阻水作用在多孔消能板前形成水跃, 利用水跃的表面旋

作者简介 杨丽萍(1969-), 女, 辽宁沈阳人, 副教授, 从事水工水力学研究。\* 通讯作者, 硕士研究生, 研究方向: 水工水力学。

收稿日期 2014-02-11

滚和内部剪切摩擦与碰撞的强烈紊动来消刹大量的能量。多孔消能板的消能率与流量、溢洪道坡度、多孔消能板间距、多孔消能板高度等因素相关。根据文献[3],断面总能量为:

$$E = Z + P/\gamma + \alpha v^2/(2g) \quad (1)$$

式中: $Z = H + h - H_0$ ,  $Z$  为单位质量液体所具有的位置势能; $P/\gamma$  为单位质量液体所具有的压强势能,由于计算点位于明渠水流表面,所以压强势能为0; $\alpha v^2/(2g)$  为单位质量液体所具有的动能,取  $\alpha = 1$ ;  $H$  为该断面水底高程,  $h$  为该断面水深,  $H_0$  为位置势能基准面的底高程。多孔消能板的消能率  $K_b$  为:

$$K_b = (E_1 - E_2)/E_1 \quad (2)$$

式中: $E_1$ 、 $E_2$  分别为陡槽溢洪道进口、出口断面单位质量液体所携带的总能量。取 0 + 168.0 断面为位置势能基准断面,此断面的底高程选取为 0 m。

**2.2 流量对多孔消能板消能率的影响** 对 5% 坡度和 9.1% 坡度的多孔消能板陡槽溢洪道进行模型试验。流量 = 144.8, 329.8, 426.4, 513.3 和 693.1  $\text{m}^3/\text{s}$ ; 消能板间距 = 31.5 m (共 5 级); 消能板高度 = 2.4 m; 消能板孔面积比 = 10%。试验结果表明,随着陡槽溢洪道对同一坡度的流量增大,其消能率呈现逐渐减小的趋势。这是由于随着流量的增大,多孔消能板陡槽溢洪道的第一级消能板所在断面的断面流速增大,水流动能增大,断面总能量增大。从消能率的计算公式可知,多孔消能板陡槽溢洪道的消能率与第一级消能板所在断面的水流总能量成反比,因此第一级消能板所在断面的断面流速增大,其消能率减小。5% 坡度的多孔消能板陡槽溢洪道最小流量和最大流量的消能率减小幅度为 6.82%; 9.1% 坡度的多孔消能板陡槽溢洪道最小流量和最大流量的消能率减小幅度为 7.4%。因此可得到在其他影响因素一定的情况下,流量与消能率成反比关系的结论(图 2)。

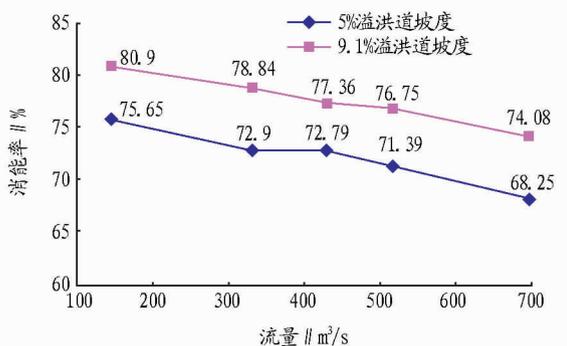


图2 流量与消能率的关系

**2.3 溢洪道坡度对消能率的影响** 对 5% 坡度与 9.1% 坡度的多孔消能板陡槽溢洪道进行模型试验。流量 = 144.8, 329.8 和 513.3  $\text{m}^3/\text{s}$ ; 消能板间距 = 31.5 m (共 5 级); 消能板高度 = 2.4 m; 消能板孔面积比 = 10%。由图 3 的试验结果可以看出,随着多孔消能板陡槽溢洪道坡度的增大,消能率也随之增大。随着陡槽溢洪道坡度的增加,陡槽溢洪道入口断面水流所携带的能量增大,多孔消能板对于水流能量的消减作用增大,多孔消能板陡槽溢洪道全程水流能量的消耗总

量增加,虽然沿程各收缩断面处能量的消耗量相差不大,但是和坡度 5% 的多孔消能板陡槽溢洪道沿程水流能量的消耗量相比增大了很多。此外,水流在流动的过程中边墙壁和底槽壁以及水流自身内部所具有的粘滞力都会产生摩擦阻力,多孔消能板陡槽溢洪道水流流经路程的增大,水流能量消耗掉的就会越来越多,在下游消力池长度不变的前提下坡度的增加也相当于陡槽溢洪道水流路径的增大。3 个不同的试验流量条件下的多孔消能板陡槽溢洪道的消能率均呈明显增大趋势。坡度由 5% 增大至 9.1% 后消能率分别上涨了 5.25%、5.9%、5.46%。

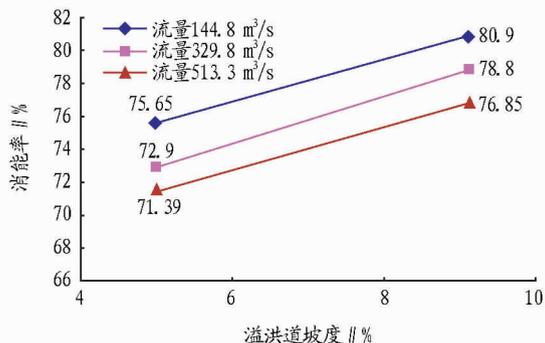


图3 溢洪道坡度与消能率的关系

**2.4 多孔消能板间距对消能率的影响** 对多孔消能板间距为 31.5 和 42 m 的多孔消能板陡槽溢洪道进行模型试验。流量 = 144.8, 329.8 和 513.3  $\text{m}^3/\text{s}$ ; 溢洪道坡度 = 5%; 消能板高度 = 2.4 m; 孔面积比 = 10%。如图 4 的试验结果表明,随着多孔消能板间距的改变,与 31.5 m (共 5 级) 多孔消能板间距相比,42 m (共 4 级) 多孔消能板间距的陡槽溢洪道消能率要有所降低,这种降低的幅度随着流量增大变得更加明显。由于多了一级消能板作用,31.5 m 消能板间距的多孔消能板陡槽溢洪道的阻水能力增强,在其他影响因素一定的情况下,溢洪道出口断面流速变小。另外,水流在第 2 级消能板板前形成水跃的内部紊动与表面旋滚更加激烈,削刹的水流能量也要比消能板间距为 42 m 的多一些。图 4 中的 3 条直线表明,在 144.8  $\text{m}^3/\text{s}$  流量条件下,多一级消能板对消能率提高了大约 2%; 在 329.8  $\text{m}^3/\text{s}$  流量条件下,多一级消能板对消能率提高了大约 0.7%; 在 513.3  $\text{m}^3/\text{s}$  流量条件下,多一级消能板对消能率提高了大约 3%。总起来看 5 级消能板的多孔消能板陡槽溢洪道的消能效果要好于 4 级多孔消能板陡槽溢洪道的消能效果。

**2.5 多孔消能板高度对消能率的影响** 对多孔消能板高度 2.4 和 3.0 m 的多孔消能板陡槽溢洪道的进行模型试验。流量 = 144.8, 329.8, 513.3  $\text{m}^3/\text{s}$ ; 溢洪道坡度 = 5%; 消能板间距 = 31.5 m (共 5 级); 消能板孔面积比 = 10%。从图 5 的试验结果可以看出,随着消能板高度由 2.4 m 增加到 3.0 m,多孔消能板对于水流能量的消减作用变得更加明显。与 2.4 m 消能板高度相比,3.0 m 消能板高度的多孔消能板陡槽溢洪道出口断面流速更小,消能率更高。这是因为增加了消能板的高度,其阻水作用加强,多孔消能板陡槽溢洪道中的水流被雍得更高,沿

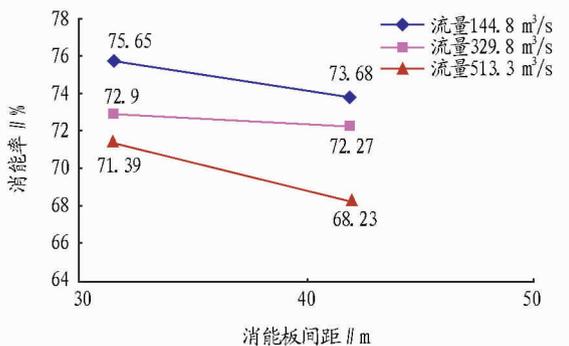


图4 消能板间距与消能率的关系

程各个水跃断面能量的消耗量随着多孔消能板高度的增加而变大。在2.4 m的消能板高度改变到3.0 m之后,3个不同的试验流量条件下的消能率分别增加3.52%、4.68%、3.84%,可得到多孔消能板高度与消能率成正比关系。

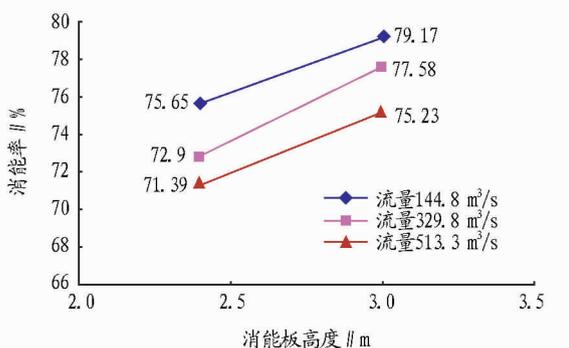


图5 消能板高度与消能率的关系

**2.6 多孔消能板孔面积比对消能率的影响** 对多孔消能板孔面积比10%、15%、17.5%的多孔消能板陡槽溢洪道进行模型试验。流量=144.8,329.8,513.3 m³/s;溢洪道坡度=5%;消能板间距=31.5 m(共5级);消能板高度=2.4 m。从图6给出的试验结果可以看出,随着多孔消能板孔面积比的增大,其消能率成降低趋势。在多孔消能板孔面积比增大后,水流从孔穿出的量变多,与孔面积比较小的相比而言,孔面积比较大的板前没有形成充分的旋滚,而这种旋滚是削弱水流能量的重要因素之一。此外,孔面积比为17.5%的多孔消能板陡槽溢洪道出口断面流速要比孔面积比为10%的大得多,从消能率的计算公式可知,溢洪道出口断面流速越大,溢洪道沿程水流能量的变化量越小,消能率越低。如图6的数据表明,随着多孔消能板孔面积比从10%、15%增大致

(上接第2110页)

### 3 结论与讨论

运用主成分分析法计算所得的结果表示,茶叶的成分可以分为3类,分别为:钾钙成分、磷成分及蛋白质成分。所以在茶叶分类的检测时,可以仅抽取主成分中的一个变量指标来进行检测就可以代表其所在的整个主成分的含量了,这样得出的结论与进行完全检测所有变量指标所得出来的结论相近程度高达88.66%,因此可以很大程度上减小检测的成本及工作量。所以说,运用主成分分析法是提高茶叶检测、

17.5%,3个试验流量条件下的消能率分别降低了1.78%、1.68%、0.85%。总体来看可以得出在其他影响因素一定的条件下,孔面积比越大,多孔消能板陡槽溢洪道的消能率越低的结论。

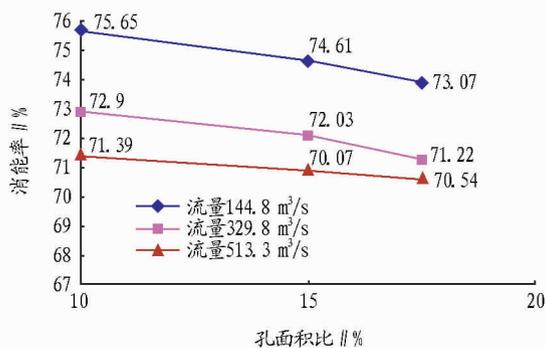


图6 孔面积比与消能率的关系

### 3 结论及存在的问题

(1) 论文运用了理论分析和物理模型的方法对多孔消能板陡槽溢洪道的消能率及影响消能率的因素进行了试验。试验中多孔消能板陡槽溢洪道的消能率最高达到80.9%,最低也达到了68.23%,多孔消能板能够非常好的满足工程的实际需求。

(2) 增加溢洪道坡度、多孔消能板级数、多孔消能板高度,减小溢洪道流量、多孔消能板孔面积比,可使多孔消能板陡槽溢洪道消能率增大。

(3) 试验当中多孔消能板陡槽溢洪道水流较大时,由于一级消能板受到的水流冲击力较大,需要对一级消能板进行加固。

(4) 由于试验条件等因素的限制,试验中某些结论不尽完美,尚需进一步验证。

### 参考文献

- [1] 张秀锦. 小型水库溢洪道设计问题探究[J]. 中国水运, 2010, 10(3): 110-111.
- [2] 李强非, 杨再宏. 马龙水电站溢洪道设计优化[J]. 云南水力发电, 2009, 26(1): 20-23, 47.
- [3] 郭维东, 裴国霞, 韩会玲. 水力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [4] 曾明勇. 关于水库溢洪道设计中问题的探讨[J]. 海峡科学, 2008(8): 47, 58.
- [5] 黄国强. 低水头大流量枢纽溢洪道消能设计研究[J]. 人民黄河, 1996(5): 23-27.
- [6] 张锦. 溢洪道设计初步分析[J]. 中国水运, 2007, 5(6): 23-24.
- [7] 李上游, 韦明翰. 浅谈我国新型消能工的研究和应用现状[J]. 广西水利水电, 1996(2): 22-25.

分类处理效率的一种很好的计算工具。

### 参考文献

- [1] 谢晓凤, 詹罗九. 炒青绿茶等级与化学成分关系的初步研究[J]. 茶叶通报, 1983(1): 37-42.
- [2] 汪应洛. 系统工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 54-60.
- [3] 方开泰. 实用多元统计分析[M]. 上海: 华东师大出版社, 1989: 291-302.
- [4] 王学仁, 王松桂. 实用多元统计分析[M]. 上海: 上海科技出版社, 1990: 270-272.
- [5] 方开泰. 实用多元统计分析[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1989: 291-302.