

# 坎深和入池角度对跌坎型底流消能工水力特性影响的试验研究\*

王海军, 赵伟, 杨红宣, 张强

(昆明理工大学 电力工程学院, 云南 昆明 650051)

**摘要:** 采用水力学试验方法, 对跌坎型底流消能工的水流流态、时均动水压力分布以及临底流速进行了分析, 并对影响消力池水力特性的跌坎深度和水流入池角度进行了研究。研究表明跌坎型底流消能工能有效改善消力池内的水力学指标, 但跌坎深度和水流入池角度对其影响较大。因此, 如何确定消力池的跌坎高度和水流入池角度是进行消力池设计的关键。

**关键词:** 消力池; 水力特性; 底流消能

中图分类号: TV 135. 21 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2007)05-0087-04

## Test Study on the Influence of Step Depth and Intake Angle to Hydraulic Characteristic of the Lip Energy Dissipater of Hydraulic Jump

WANG Haijun ZHAO Wei YANG Hong-xuan ZHANG Qiang

(Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

**Abstract** The flow pattern, the distribution of average dynamic water pressure and the flow velocity near the floor of lip energy dissipater by hydraulic jump are analyzed through the method of hydraulic test. It shows that the hydraulic index in the baffle basin can be reduced effectively, but they are greatly affected by the depth of lip and the flow intake angle. Therefore, how to ascertain the depth of lip and the intake angle is the key in the design of baffle basin.

**Key words** stilling basin; hydraulic characteristic; energy dissipation by hydraulic jump

### 0 引言

水利工程中常采用的泄洪消能方式主要为挑流消能、底流消能和面流消能 3 种形式。在对高水头、大单宽流量泄洪消能时, 采用挑流消能方式, 则雾化影响大, 对下游河床破坏严重; 采用面流消能方式, 则表面波浪影响较远, 不利于下游河床的防冲保护; 采用传统的底流消能方式, 则存在临底流速大, 底板抗冲保护难度比较大的问题。因此, 高水头、大单宽流量泄洪消能一直是水利工程界极为关注的研究课题, 解决雾化影响、消力池内临底流速大、消力池底板稳定性等问题就成为工程设计关键技术难题。<sup>[1~3]</sup>

跌坎型底流消能工是建立在常规底流消能工基础上的一种消能方式。其体型为在消力池进口处将消力池底板向下开挖形成跌坎, 构成跌坎型消力池。传统的底流消能工消能时, 水流进入消力池, 主流临底, 消力池的脉动压强和临底流速很高, 底板的抗冲保护难度很大。跌坎型底流消能工由于跌坎的存在, 水流进入消力池水体后, 在主流上下形成漩涡和强剪切紊动进行消能, 水流沿程得到一定扩散, 降低了水力学指标。与传统底流消能工相比跌坎型底流消能工具有临底流速低, 脉动压强小的优点, 能够有效扩大底流消能工的应用范围。

当前, 国内开始以实际工程为对象进行基于底流消能的跌坎型消能工的研究工作, 缺乏系统性的研究

收稿日期: 2007-07-11. 基金项目: 云南省自然科学基金 (项目编号: 2006E0018M)

第一作者简介: 王海军 (1961-), 男, 硕士, 副教授。主要研究方向: 工程水力学。

E-mail: whjkmus@163.com

和成果,对其水力特性有待研究.本文在试验的基础上,初步分析了坎深和入池角度对跌坎型底流消能工水力特性的影响.

## 1 试验装置和数据分析方法

试验装置采用有机玻璃制作而成.消力池尺寸为  $0.65\text{ m} \times 0.2\text{ m}$  (长  $\times$  宽),共布置测压点 65 个,其中消力池底板 25 个,跌坎面和边墙 40 个.试验中跌坎深度分别取 2 cm、4 cm、6 cm、10 cm,入池角度分别取  $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ .试验中通过对水流流态的观测,分析了流态的形成原因和消能区内水流运动情况;通过对消力池底板上时均动水压力的实测,分析了底板上时均动水压力的分布情况以及压力与坎深和入池角度变化情况;通过对消力池内沿程流速的实测,着重分析了沿程临底流速的衰减变化情况与坎深和入池角度之间的关系.

## 2 底流流态特征

通过试验观测和流场分析,产生底流流态时,水流进入消力池后与消能水体产生强烈的剪切、摩擦和掺混作用,主流流速梯度很大,在主流下方形成了底部旋涡.同时下泄水流紊动扩散作用强烈,主流迅速潜底,再附后在消力池中形成淹没水跃,产生强烈的上部旋涡.从流态特点来看,底流流态为淹没射流和淹没水跃的混合流态,沿主流方向可分为淹没射流区、冲击区、附壁射流区,如图 1 所示.跌坎型底流消能工在产生底流流态时,其消能率在各种试验工况下消能率均超过 60%.

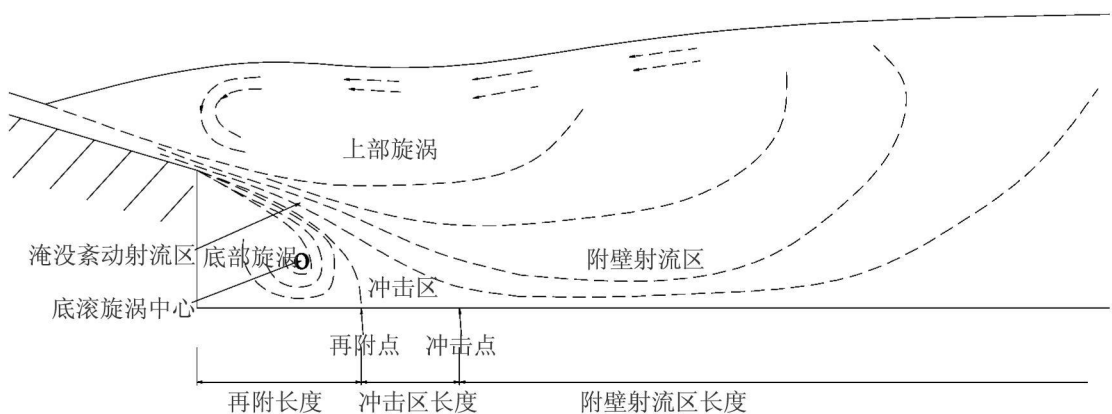


图1 底流流态下消力池内流态示意图

Fig.1 Flow pattern of baffle basin in hydraulic jump

在同一入池能量下,水流进入消力池的角度和跌坎深度对消力池内流态有着很大的影响.随着入池角度的增大,消力池前端水体剪切、掺混、摩擦作用更强,底部漩涡作用更强.跌坎深度的不同,消力池内的水流流态也不同:①当跌坎深度较小时,水流进入消力池水体后,经过一段距离后主流潜底,从而在消力池内形成大尺度水跃.在该流态下,消力池内水流平稳,底部漩涡强烈.②当跌坎深度较大时,消力池内表现出淹没混合流流态,主流不潜底,位于在消力池水体的中上部,在主流的上下方形成上部漩涡和底部漩涡,消能率较低,水面波动大.

## 3 压力分析

对于消力池底板上的时均动水压力,射流入水后扩散,主流沿程流速减小,在冲击区内主流受到底板的约束,流速方向发生改变,对消力池底板产生较大的动水冲击压力,时均动水压力最大值位于冲击区主流前部附近.在附壁射流区内,时均动水压力值逐渐趋于平缓,接近消力池水深.由于底部漩涡作用,在底部漩涡外缘处时均动水压力最小.

试验结果表明, 当水流入池角度不变时, 随着跌坎深度的增加消力池底板时均动水压力趋于平缓, 如图 2 所示, 跌坎深度为 4 cm 时, 主流直接冲击底板, 在冲击区主流前部附近压力梯度增大, 跌坎深度为 6 cm 时, 由于消力池内消能水体变深, 主流冲击底板较弱, 压力相对平稳. 当跌坎深度不变时, 随着水流入池角度的增大, 在冲击区前端附近压力梯度增大, 如图 3 所示, 水流入池角为 0° 时, 消力池底板压力平稳, 而水流入池角度增大到 15° 时, 再附长度减小, 冲击区前移, 主流直接冲击底板, 造成压力梯度增大.

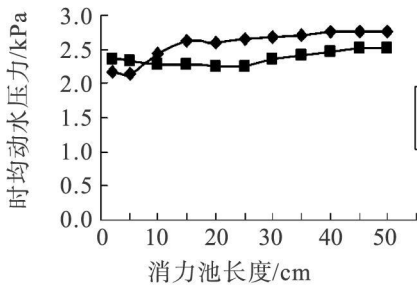


图2  $Q=0.005 \text{ m}^3, \theta=0^\circ$  时消力池底板压力分布图

Fig.2 Pressure distribution of baffle basin soleplate on  $Q=0.005 \text{ m}^3, \theta=0^\circ$

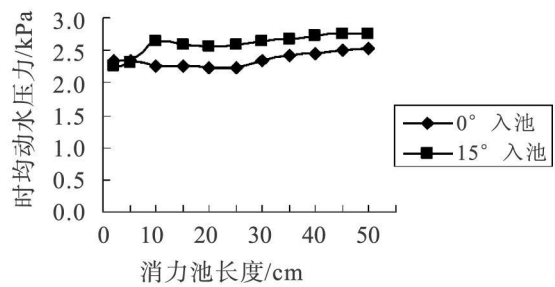


图3  $Q=0.005 \text{ m}^3, d=6 \text{ cm}$  时消力池底板压力分布图

Fig.3 Pressure distribution of baffle basin soleplate on  $Q=0.005 \text{ m}^3, d=6 \text{ cm}$

#### 4 临底流速分析

采用常规的底流消能工, 消力池内临底流速很大, 造成对消力池底板的冲刷和破坏, 影响消力池的正常使用寿命. 在金安桥水电站中, 采用常规底流消能工进行消能, 入池流速为 35.03 m/s 时, 其最大临底流速为 26.43 m/s 对消力池底板的稳定和抗冲刷破坏极为不利. 采用跌坎型底流消能工, 将消力池的底板降低 6 m, 在相同工况下, 临底流速得到了较大的降低, 实测最大值为 12.39 m/s

跌坎型底流消能工消力池中水流的临底流速将得到大幅度的降低, 其原因是在跌坎型底流消能工的消力池中, 由于跌坎的作用, 增加了射流的射程, 形成了淹没射流, 主流纵向扩散, 使流速的分布得到改善, 在射流上下方形成强烈的剪切和紊动漩涡, 降低了消力池中的临底流速, 消力池水面平稳, 消能效果好.

试验结果表明, 最大临底流速产生在冲击区主流后部附近, 由于底部漩涡的存在, 临底流速在再附长度区域内为反向, 即指向跌坎面. 当水流入池能量相同、入池角度不变时, 增加跌坎深度, 消力池底板最大临底流速降低, 临底流速梯度减小. 如图 4 所示, 跌坎深度为 4 cm 时, 主流直接冲击底板, 流速梯度大, 跌坎深度为 6 cm 时, 由于消力池内消力水体变深, 主流冲击底板强度较弱, 最大临底流速相对坎深 4 cm 时降低. 当跌坎深度不变时, 随着水流入池角度的增大, 消力池临底流速增大. 如图 5 所示, 水流入池角为 0° 时, 消力池底板正向反向临底流速均较小, 当水流入池角度增大到 15° 时, 底部漩涡作用增强, 反向临底流速增大, 同时主流直接冲击底板, 正向临底流速也相应增大.

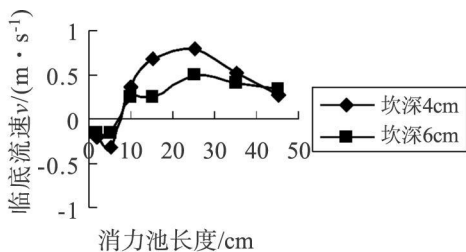


图4  $Q=0.005 \text{ m}^3, \theta=0^\circ$  时临底流速分布图

Fig.4 Velocity distribution on  $Q=0.005 \text{ m}^3, \theta=0^\circ$

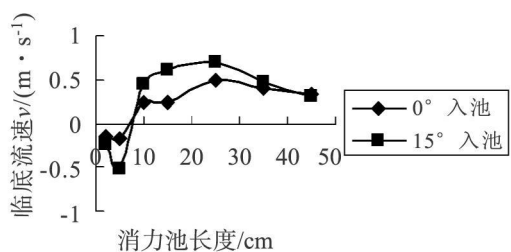


图5  $Q=0.005 \text{ m}^3, d=6 \text{ cm}$  时临底流速分布图

Fig.5 Velocity distribution on  $Q=0.005 \text{ m}^3, d=6 \text{ cm}$

## 5 结 语

1) 底流流态为淹没射流和淹没水跃的混合流态, 沿主流方向可分为淹没射流区、冲击区、附壁射流区, 并在主流的上下方分别出现了面部漩涡和底部漩涡。

2) 在入池能量不变的情况下, 随着水流入池角度的增大, 跌坎型底流消能工消力池内的临底流速和底板时均动水压力也相应增大; 随着坎深的增大, 消力池底板最大临底流速降低, 临底流速梯度减小, 底板时均动水压力减小。

3) 跌坎型底流消能工能有效改善消力池内的水力学指标, 保证底流消能流态和较高的消能率, 坎深和入池角度存在最优组合, 对于坎深和入池角度之间最优关系的确定, 还有待进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 张功育, 汤健, 王海军, 等. 跌坎式底流消能工的消能机理分析与研究 [J]. 南水北调与水利科技, 2005, 6: 43-45.
- [2] 孙双科, 柳海涛, 夏庆福, 王晓松. 跌坎型底流消力池水力特性与优化研究 [J]. 水利学报, 2005, 36(10): 1118-1193.
- [3] 曾雄辉, 程浩, 李延农. 向家坝水电站泄洪消能方案构思与初步研究 [J]. 水力发电, 2004(4): 21-23.
- [4] 张建民, 王玉蓉, 杨永全, 等. 水平多股淹没射流水力特性及消能分析 [J]. 水科学进展, 2005, 1: 18-22.
- [5] 余常昭. 紊动射流 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.
- [6] 吴持恭. 水力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1982.

(上接第 86 页)

## 4 结 论

本文对 HVDC 输电系统利用动态相量法建模进行了研究, 并对比了仿真结果, 可得出如下结论:

- 1) HVDC 的动态相量模型可以很好地反映模型的主要动态特性;
- 2) 推导时需要根据研究需要调整傅立叶系数的截取, 以便在系统模型的复杂程度和仿真精度之间取舍;
- 3) 动态相量法建模是一种比时域模型简单易用, 计算速度快的准确模型;
- 4) 动态相量建模还需要解决和其他电磁暂态模型和机电暂态模型的接口问题, 这样才能为电力系统稳定和暂态分析提供优良的工具。

## 参考文献:

- [1] 戚庆茹, 焦连伟. 高压直流输电动态相量建模与仿真 [J]. 中国机电工程学报, 2003(12): 28-32.
- [2] Vijay K. Sood(加). 高压直流输电与柔性交流输电控制装置 - 静止换流器在电力系统中的应用 [M]. 徐政译. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [3] 李维波. MATLAB 在电气工程中的应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [4] 王锡凡. 现代电力系统分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [5] 何瑞文, 蔡泽祥. 基于傅立叶系数的动态相量建模 [J]. 机电工程学报, 2004(33): 76-81.
- [6] 田芳. 含晶闸管元件的电力系统小干扰稳定分析: [学位论文] [D]. 北京: 中国电力科学研究院, 2001.
- [7] 何瑞文. 基于动态相量理论的 TCSC 建模及其在电力系统动态分析中的应用: [学位论文] [D]. 广州: 华南理工大学, 2005.
- [8] 戚庆茹. 动态相量理论在现代电力系统仿真中的应用: [学位论文] [D]. 北京: 清华大学, 2004.