

低弗劳德数下挑坎体型对掺气的影响试验

沈春颖¹, 徐一民¹, 张 涛², 储威威¹

(1. 昆明理工大学电力工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 云南经济管理职业学院, 云南 昆明 650106)

摘要 通过变换坎高及挑坎坡度, 制作不同体型的挑坎模型, 将其置于可变坡有机玻璃水槽中, 研究在不同流量下坎后掺气空腔长度及回水深度的规律。试验结果表明: 在其他条件不变的情况下, 来流量与空腔长度成正比, 挑坎高度对空腔长度的影响比挑坎坡度要大得多; 流量越大, 空腔回水深度越低, 而空腔回水深度却随着挑坎高度的增加而增加, 挑坎高度的增加与回水深度的减轻并不成正比; 在试验条件下, 射流水舌冲击角 5.5° 时已出现空腔回水, 空腔回水的出现与射流水舌冲击角密切相关, 但归根结底还是与来流条件、水槽底坡、掺气坎体型的确定有关。

关键词 挑坎; 变坡水槽; 掺气; 空腔长度; 回水深度

中图分类号: TV131.65

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2012)02-0015-03

Experiment of ramp-type aerator shape on the impact of aeration under low Froude number // SHEN Chun-ying¹, XU Yi-min¹, ZHANG Tao², CHU Wei-wei¹ (1. Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2. Yunnan College of Business Management, Kunming 650106, China)

Abstract: By varying height and slope, different shape of ramp-type aerator models in variable slope flume are set to discover laws of cavity length and backwater depth over the aerator under different discharge. After analyzing the results of this experiment, the following conclusions are obtained: In the case of other conditions remain unchanged, flow discharge is proportional to the cavity length, and aerator height affects cavity length larger than aerator slope; greater the flow discharge is, lower backwater depth is. And the backwater depth increases with aerator height, indicating that aerator height is not proportional to the reduction of backwater depth; in this experimental condition, when the jet impact angle is 5.5° , the cavity backwater has emerged. Clearly, the emergence of cavity backwater is closely related with the jet impact angle, but in the final analysis it is relevant to flow conditions, the slope of flume, and the shape of aerator.

Key words: ramp-type aerator; variable slope flume; aeration; cavity length; backwater depth

掺气减蚀的试验研究一直是高速水力学重点关注的课题, 但大部分研究都是结合具体的工程和水工模型试验, 得出的经验公式往往也只针对某些具体的工程。过流边界条件改变, 坎后的水流掺气特性及回水规律都有较大的变动, 特别当水槽坡度较小时, 坎后回水问题较为严重, 此时挑坎的体型成为坎后掺气空腔长度及回水深度的关键性因素。本试验旨在研究在小底坡低弗劳德数水流条件下, 坎后空腔长度及空腔回水问题。

1 试验条件及试验设计

1.1 试验条件

试验在昆明理工大学水利水电工程系水力学实

验室的双变坡有机玻璃水槽中进行, 该玻璃水槽可自动调节出 $0^\circ \sim 5.5^\circ$ 的坡度, 本次试验中, 上下游底坡坡度相同。全槽长 7.6 m, 宽 10 cm, 边壁高为 30 cm。水槽流量用进水阀门调节, 来流量的范围为 $0 \sim 5\,500\text{ cm}^3/\text{s}$, 出口处连接一直角三角形薄壁堰, 用测针测量并用进水阀门控制出流量的大小。目前常用的掺气设施有掺气挑坎、掺气槽、掺气跌坎及复合式掺气设施, 由于设备的限制, 试验采用掺气挑坎作为掺气设施为宜。同时设计出 9 种不同体型的挑坎模型, 置于有机玻璃水槽的下游段, 为保证最大空腔长度的完整性及考虑回水等的影响, 挑坎与水流出出口处距离为 2.8 m。一般认为 $Fr < 7$ 为低弗劳德数, 试验 Fr 的范围是在 $2.4 \sim 4$ 。图 1 为试验所采用的

掺气挑坎示意图,其中 α 为水槽底坡, β 为掺气挑坎的挑角, L 为空腔长度, d 为空腔回水深度, Δ 为挑坎高度, v 为坎上流速, h 为坎上水深, Φ_1 为射流水舌冲击角。

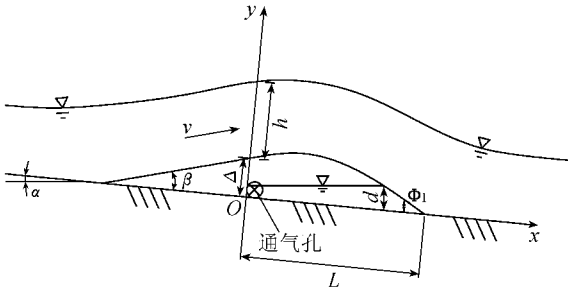


图1 掺气挑坎示意图

1.2 试验设计

掺气坎的选择原则最关键的是在各种试验工况下保持坎后空腔稳定,否则特征水力参数将无法测量,达不到挑坎的掺气效果;其次掺气坎模型的体型要合适,符合工程运用规范,有一定的实用价值,同时在试验前要考虑许多因素:

a. 挑坎体型的确定。工程实际中采用的挑坎坡度变化范围很小,在1:5~1:15之间,经综合考虑,试验采用1:5,1:7,1:10共3种挑坎坡度;根据有机玻璃水槽的边壁高度,设计了3种挑坎高度(1 cm,2 cm,3 cm),组合后共有9种不同的挑坎模型。

b. 水槽底坡的确定。根据现有的试验条件,调节双变坡有机玻璃水槽,确定了3种不同水槽底坡 $i=0.070$ ($\alpha=4^\circ$)、 0.087 ($\alpha=5^\circ$)、 0.096 ($\alpha=5.5^\circ$)。

c. 根据挑坎和玻璃水槽坡度的关系调试出了6种比较合适的流量(5243 cm³/s,4361 cm³/s,3440 cm³/s,2662 cm³/s,2171 cm³/s,1707 cm³/s),并采用直角三角形薄壁堰、测针及进水阀门控制流量的大小。

d. 通气孔大小的确定。为达到最好的掺气效果(充分通气),在坎后左右两侧对称设置通气孔,是开口尺寸为直径8 mm的圆孔。

2 试验成果分析

在对掺气坎的研究中,掺气坎后的空腔形态及水力特性,特别是空腔长度,是检验掺气效果最重要的指标,在工程上,影响着掺气量及掺气设施的有效保护范围。

2.1 不同挑坎坡度下空腔长度随流量的变化规律

图2为相同水槽底坡与挑坎高度、不同挑坎坡度下,空腔长度随流量变化的关系图,可见,随着流量的增加,空腔长度也增加。当流量、水槽底坡、挑坎高度相同的情况下,挑坎坡度越大,空腔长度也越大。例如:在 $Q=4361\text{ cm}^3/\text{s}$, $i=0.070$, $\Delta=1\text{ cm}$ 时,挑坎坡度为1:5,1:7,1:10对应的空腔长度分别为10.50 cm,9.20 cm,8.30 cm。由图2可见,若流量、水槽底坡、挑坎坡度相同,则挑坎高度越高,空腔长度越长。从空腔长度变化快慢可以看出,挑坎高度对空腔长度的影响比挑坎坡度要大得多,并且挑坎高度从1 cm变化到2 cm,对空腔长度的影响比从2 cm变化到3 cm大,说明通过改变挑坎高度来改善空腔的形态并不是越高越好,而是有一定的范围限制。因为挑坎高度的增加与回水深度的减小并不成正比。

在低弗劳德数情况下,相同流量、相同水槽底坡下,空腔长度随坎上水深增加而增加,而随着流速和弗劳德数的增加而减小。说明在低弗劳德数下,空腔长度增加的趋势与坎上水深的增加趋势一致,水流重力的影响对空腔长度的变化起了决定性的作用。

2.2 空腔回水深度随流量的变化规律

研究发现,在小底坡的情况下设置掺气坎,掺气空腔内回水程度较为严重^[7]。试验确定的3种水槽底坡0.070,0.087,0.096都小于0.1,一般认为底坡在0.1以内为小底坡。对于一坡到底的过流边界,坡度越小,越容易产生空腔回水,研究空腔回水深度具有十分重要的现实意义^[7]。影响空腔回水的因素具体包括:掺气坎体型、来流流量、来流弗劳德数、水槽底坡以及射流水舌冲击角等。图3为水槽底坡

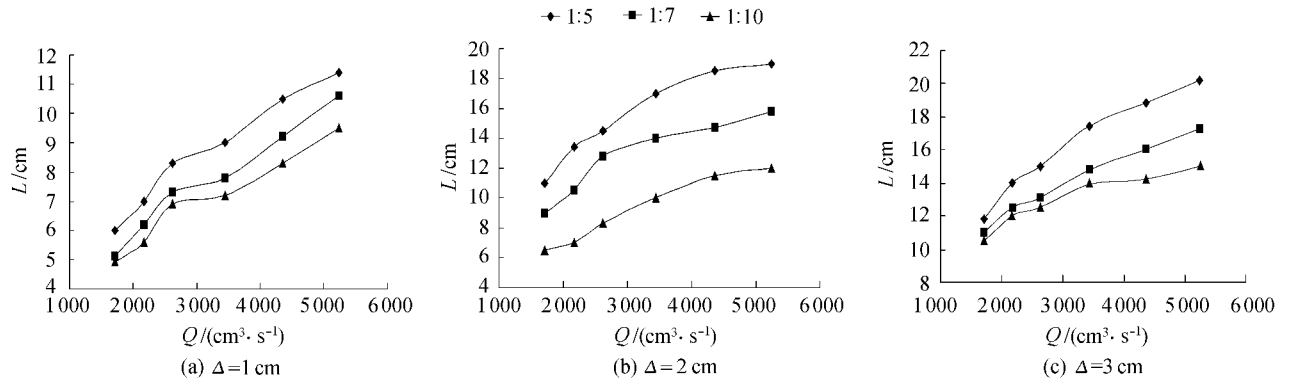


图2 不同挑坎坡度下空腔长度与流量的关系($i=0.070$)

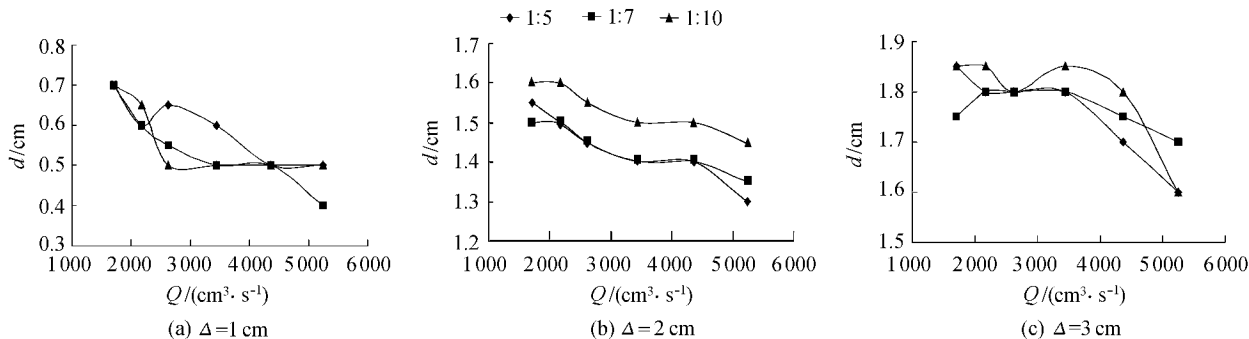


图3 不同挑坎坡度下空腔回水深度与流量的关系($i = 0.070$)

$i = 0.070$ 时试验所测得的空腔内回水深度与下泄流量的关系,其他工况的情形与之类似。

由图3可以看出,挑坎高度不变时,总体上空腔回水深度随流量增大而减小,但其变化趋势是非线性的,其中流量较小时随流量的增加,空腔回水深度还会局部增大。掺气挑坎坡度越大,空腔回水深度越小,坎高为2 cm和3 cm时较为明显,坎高为1 cm时,由于回水深度总体太小,测量误差增大,试验值规律不好。挑坎高度对空腔回水深度的影响较为显著,相同流量时,坎高越大,空腔回水深度也越大,如为1 cm时,最大回水深度仅为0.7 cm,而同样流量下坎高为3 cm时,最大空腔回水深度却达到1.85 cm,但结合最高点的净空腔高度值可以看出随着挑坎高度的增大,净空腔高度是增加的,即空腔回水深度占整个空腔高度的比例是下降的。

2.3 射流水舌冲击角与空腔回水深度的关系

掺气挑坎后水舌落点下缘与水槽底板间的夹角称为射流水舌冲击角。水舌冲击角决定了掺气坎后挑流水舌作用于水槽底板的方向,因而控制着挑流水舌冲击水槽底板对水流动量的方向。由于射流水舌冲击角通过影响水流动量来影响空腔回水,因此射流水舌冲击角是影响空腔回水程度的一个重要因素。一般认为射流水舌冲击角越大,越容易产生严重的空腔回水,射流水舌冲击角减小,则空腔回水减弱。图4是在相同水槽底坡($i = 0.070$)下,选取不

同挑坎高度(1 cm 2 cm 3 cm)时空腔回水深度与射流水舌冲击角的关系。从图4上不难看出,射流水舌冲击角越大,空腔回水深度越大,有效空腔长度越短。对于不同的挑坎坡度,相同的来流量下,挑坎坡度越大,空腔回水深度越小。相同条件下,挑坎高度越高,空腔回水深度也越大,但占整个空腔的高度的比例却是下降的。在本试验条件下,射流水舌冲击角 5.5° 时已出现空腔回水,所以说,临界射流水舌冲击角对所有体型的掺气坎都不是一个不变的定数。显然,空腔回水的出现与射流水舌冲击角密切相关,但归根结底还是与来流条件、水槽底坡、掺气坎体型的确定有关。

3 结 论

a. 在其他条件不变的情况下,来流量与空腔长度成正比,挑坎高度对空腔长度的影响比挑坎坡度要大得多。

b. 流量越大,空腔回水深度越小。挑坎坡度越大,空腔回水深度也相应减小,但空腔回水深度却是随着挑坎高度的增加而增加,说明挑坎高度的增加与回水深度的减小并不成正比。

c. 在试验条件下,射流冲击角为 5.5° 时已出现空腔回水。空腔回水的出现与射流水舌冲击角密切相关,但归根结底还是与来流条件、水槽底坡、掺气坎体型的确定有关。

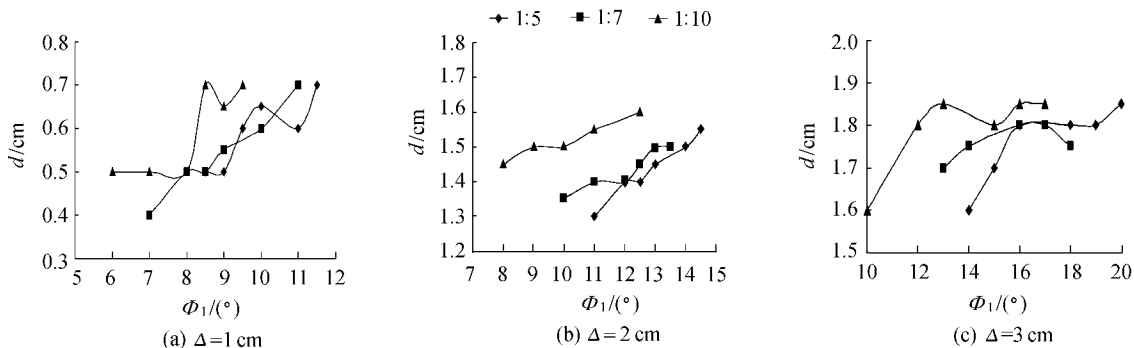


图4 不同挑坎坡度下空腔回水深度与射流水舌冲击角的关系($i = 0.070$)

(下转第22页)