

尾坎高度对跌扩式消力池水力特性的影响分析

张文静¹, 孙玉琦², 胡晓平³

(1. 山东省海河淮河小清河流域水利管理服务中心, 山东 济南 250000; 2. 山东省水利科学研究院, 山东 济南 250014;
3. 滨州市水利资源开发建设中心, 山东 滨州 256600)

【摘要】基于模型试验,研究了入池流量分别为 0.027 m³/s、0.033 m³/s 下,尾坎高度分别为 0.14 m、0.16 m、0.18 m 对跌扩式消力池内临底流速、脉动压强、消能效率的影响。结果表明:尾坎高度的改变对跌扩式消力池内临底流速及脉动压强分布规律影响不大,但尾坎高度增加可以减小消力池内最大临底流速、脉动压强,且会降低消力池的消能效率。

【关键词】跌扩式消力池;尾坎高度;临底流速;脉动压强

【中图分类号】TV135

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-07-0040-04

Influence Analysis of Tail Sill Height on Hydraulic Characteristics of Drop-Expansion Stilling Basin

ZHANG Wenjing¹, SUN Yuqi², HU Xiaoping³

(1. Haihe River, Huaihe River and Xiaoqinghe River Basin Water Conservancy Management and Service Center of Shandong Province, Jinan, Shandong 250000, China; 2. Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan, Shandong 250014, China; 3. Water Resources Development and Construction Center of Binzhou Municipality, Binzhou, Shandong 256600, China)

Abstract: Based on model tests, under the inlet discharge of 0.027 m³/s and 0.033 m³/s, the effects of tail sill heights of 0.14 m, 0.16 m and 0.18 m on the near-bottom flow velocity, fluctuating pressure and energy dissipation efficiency in the drop-expansion stilling basin were studied. The results show that the change of tail sill height has little influence on the distribution laws of near-bottom flow velocity and fluctuating pressure in the drop-expansion stilling basin. Increasing the tail sill height can reduce the maximum near-bottom flow velocity and fluctuating pressure in the stilling basin, while lowering the energy dissipation efficiency of the stilling basin.

Key words: Drop-expansion stilling basin; Tail sill height; Near-bottom flow velocity; Fluctuating pressure

消力池在闸门启闭的过程中,平稳地消耗水流动能,降低水流对水利工程设施的冲击力,从而减少水利工程损耗,提高水利工程的安全性。近年来随着生态环境保护的要求提高,对环境影响小且临底水力学指标相对较小的跌扩式消力池在高水头、大单宽流量工程中得到了很好的应用^[1]。对于跌坎高度、入池角度、突扩比等影响跌扩式消力池内临底力学指标的因素,专家学者进行了大量研究^[2-5]。但关于尾坎高度这一体型参数对跌扩式消力池内水力特性的影响研究鲜见,基于此,文章通过模型试验,研究了其他模型条件一定,不同尾坎高度对跌扩式消力池内水力特性的影响,研究结果可用于指导工程实践。

1 试验模型与测点布置

1.1 试验模型

试验完成于在山东农业大学水利工程实验室。水工模型设计如图 1 所示,其中尾坎高度分别为 0.14 m、0.16 m、0.18 m,消力池宽度 B 为 0.65 m (即突扩比为 1.3)、池长 L 为 1.2 m。

1.2 测点布置

试验流速测量选取断面:A、B、B'、C、C',测量工具采用毕托管;脉动压强测量选取断面:A,测量工具采用 DJ800 脉动压强测试与分析系统;

收稿日期:2026-04-08

作者简介:张文静(1991—),女,工程师

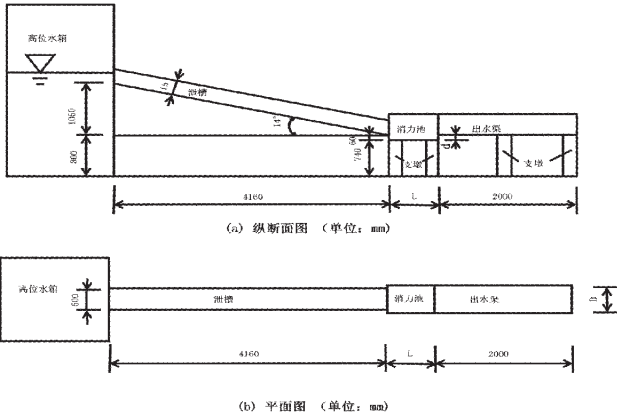


图 1 水工模型设计图

水深测量断面:消力池上游斜坡开始断面、末端出口渠道断面,测量工具采用 SX40-1 型“数显水位测针”。测点位置图如图 2 所示。

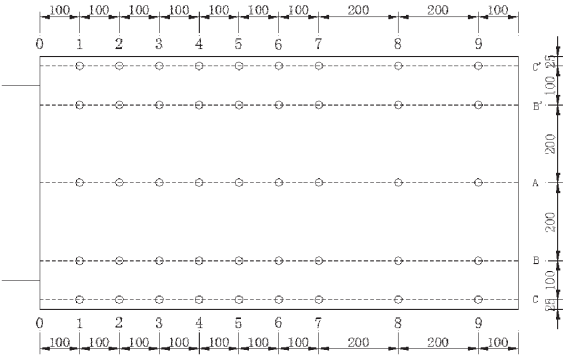


图 2 测试断面布置图 mm

1.3 试验方案

试验共设置了 6 种试验方案,见表 1。

表 1 试验方案一览表

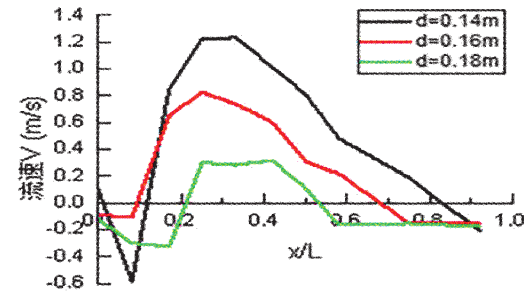
方案	尾坎高度/m	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
1	0.14	0.027
2	0.16	0.027
3	0.18	0.027
4	0.14	0.033
5	0.16	0.033
6	0.18	0.033

2 结果分析

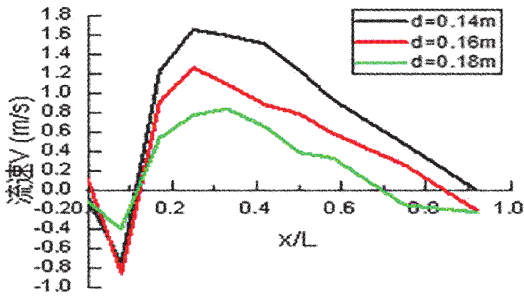
2.1 临底流速分析

消力池内水力特性指标具有对称性,为减小测量误差,数据分析采用对称断面测量数据的平均值。图 3 分别给出了消力池尾坎高度 d 为 0.14 m、0.16 m、0.18m,入池流量 Q 为 0.027 m^3/s 、0.033 m^3/s 时,消力池各测量断面的临底流速分布情况。其中,X 轴表示测点到消力池入口跌坎的距离

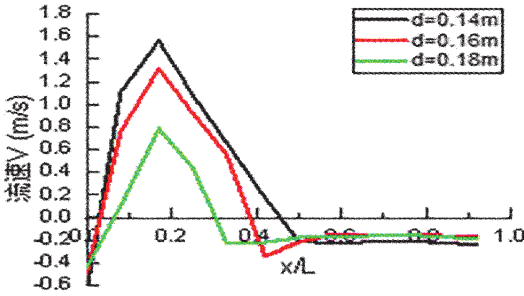
(x)与消力池池长(L)的比,Y 轴表示测点流速(V)。
由图 3 可知:2 种入池流量下,随尾坎高度的



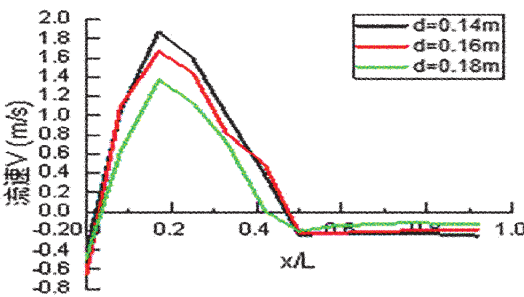
(a₁) 中线 (断面 A), $Q=0.027 \text{ m}^3/\text{s}$



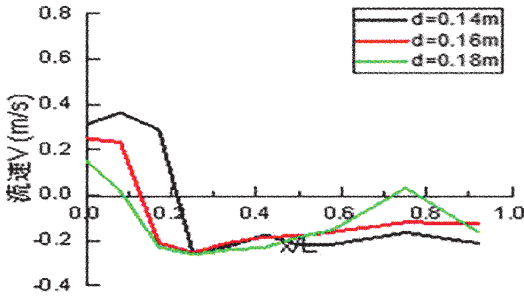
(a₂) 中线 (断面 A), $Q=0.033 \text{ m}^3/\text{s}$



(b₁) 中线两侧 (断面 B), $Q=0.027 \text{ m}^3/\text{s}$



(b₂) 中线两侧 (断面 B), $Q=0.033 \text{ m}^3/\text{s}$



(c₁) 临边墙 (断面 C), $Q=0.027 \text{ m}^3/\text{s}$

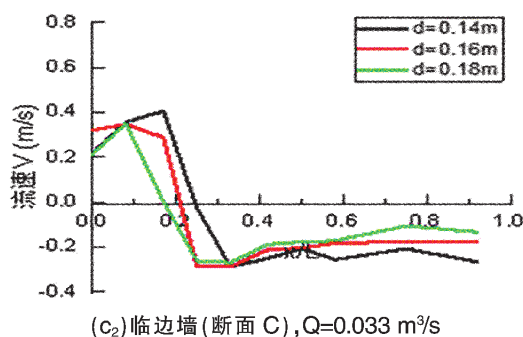


图3 临底流速分布图

改变,消力池内各测量断面临底流速分布规律均保持不变。由图3(a₁)(a₂)可以看出,中线(断面A)上的临底流速均呈先急速升高再降低的谷峰型流速。跌坎高度越高,临底流速越低,且消力池末端回流长度越长。入池流量增大,消力池末端回流长度减小。由图3(b₁)(b₂)可以看出,中线两侧(断面B)临底流速在消力池前端均呈先急速升高再急速下降的尖峰型流速,消力池后端均为回流。跌坎高度越高,消力池前端临底流速越低,消力池末端回流长度越长。入池流量越大,消力池末端回流长度随尾坎高度改变变化越小。由图3(c₁)(c₂)可以看出,临边墙(断面C)临底流速均以回流为主,为在消力池前端有小距离的正向水流而后变为回流。随尾坎高度的改变,临底流速分布及大小均变化不大。

为更直观了解尾坎高度对各断面最大临底流速的影响,整理数据得出最大临底流速与尾坎高度关系图,如图4所示,给出了入池流量 Q 分别为 $0.027 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $0.033 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,中线(断面A)、中线两侧(断面B)、近边墙(断面C)上最大临底流速与尾坎高度之间的关系。

由图4(a₁)可得:两种入池流量下,尾坎高度的增加均可以有效降低中线(断面A)上的最大临底流速,当 Q 为 $0.027 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,尾坎高度从 0.14 m 增大到 0.16 m 、 0.18 m 时,最大临底流速分别降低 33.3% 、 63.4% 。当 Q 为 $0.033 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,尾坎高度从 0.14 m 增大到 0.16 m 、 0.18 m 时,最大临底流速分别降低 23.7% 、 33.6% 。由图4(a₂)可得:两种入池流量下,随尾坎高度的增加中线两侧(断面B)上的最大临底流速随之降低,当 Q 为 $0.027 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,尾坎高度从 0.14 m 增大到 0.16 m 、 0.18 m 时,最大临底流速分别降低 14.6% 、 40.5% 。当 Q 为 $0.033 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,尾坎高度从 0.14 m 增大到 0.16 m 、

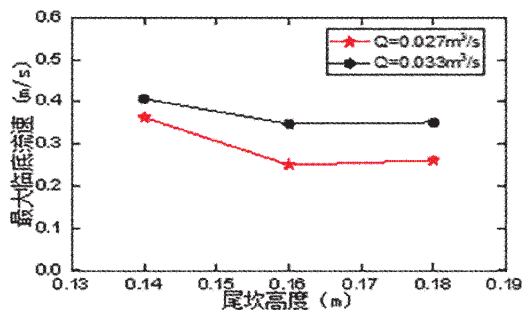
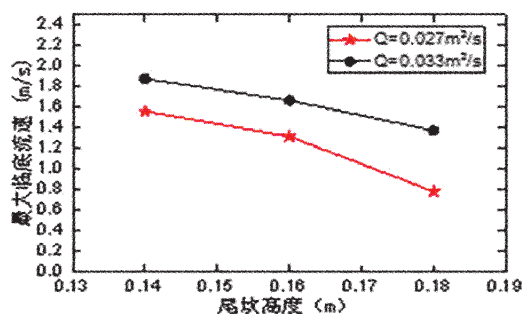
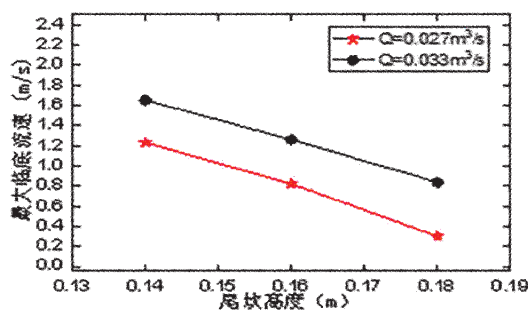


图4 最大临底流速与尾坎高度关系图

0.18 m 时,最大临底流速分别降低 11.2% 、 17.6% 。由图4(a₃)可得:两种入池流量下,尾坎高度的增加可有效降低临边墙最大临底流速,但尾坎达到一定高度后对其最大临底流速的影响不再显著。当 Q 为 $0.027 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,尾坎高度从 0.14 m 分别增大到 0.16 m 、 0.18 m 时,最大临底流速分别降低 31.1% 、 28.0% 。当 Q 为 $0.033 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,尾坎高度从 0.14 m 分别增大到 0.16 m 、 0.18 m 时,最大临底流速分别降低 14.6% 、 13.7% 。综合分析可得:尾坎高度对消力池中中线上临底流速的影响最大,且入池流量越小,尾坎高度对各断面临底流速的影响越大。

2.2 脉动压强分析

图5分别给出了入池流量 Q 为 $0.027 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $0.033 \text{ m}^3/\text{s}$ 时的脉动压强沿程分布图,其中 X 轴表示测点到消力池入口跌坎的距离(x)与消力池

池长(L)的比;Y轴表示脉动压强。

由图5可得:不同入池流量及尾坎高度下,消力池底板中线上脉动压强沿程分布规律相同,峰值均出现在消力池的首端,沿程呈衰减趋势,在消力池前端有较程度的衰减后,消力池后半段衰减缓慢最终趋于稳定。相同入池流量下,脉动压强随尾坎高度的增加而减小,当入池流量 Q 为 $0.027\text{ m}^3/\text{s}$,尾坎高度 d 为 0.14 m 、 0.16 m 、 0.18 m 的情况下,最大脉动压强值分别为 0.23 Pa 、 0.18 Pa 、 0.13 Pa ;当入池流量 Q 为 $0.033\text{ m}^3/\text{s}$,尾坎高度 d 为 0.14 m 、 0.16 m 、 0.18 m 的情况下,最大脉动压强值分别为 0.35 Pa 、 0.26 Pa 、 0.2 Pa 。

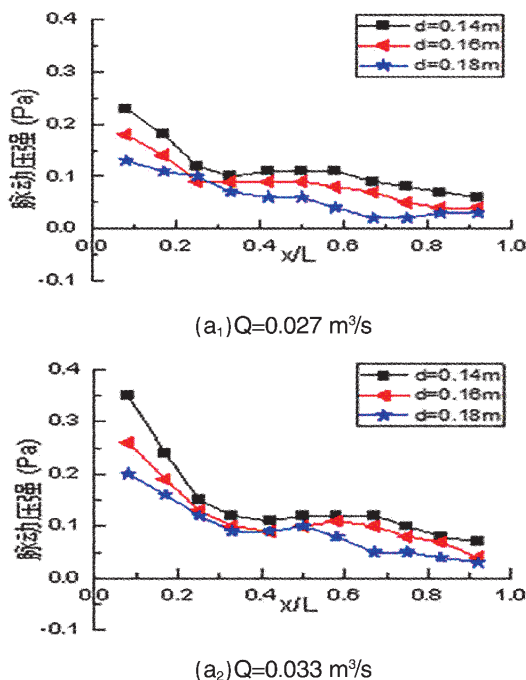


图5 脉动压强沿程分布图

2.3 消能效率分析

介于消力池内水流为恒定流,结合实测情况,按能量损失计算消能效率,消能效率与尾坎高度的关系如图6所示。

由图6可得:两种入池流量下,消能效率均随尾坎高度的增加而减小。当入池流量 Q 为 $0.027\text{ m}^3/\text{s}$,尾坎高度 d 为 0.14 m 、 0.16 m 、 0.18 m 的情况下,消能效率分别为 73.1% 、 70.9% 、 68.83% ,尾坎每增加 2 cm ,消能效率分别降低 2.2% 、 2.07% ;当入池流量 Q 为 $0.033\text{ m}^3/\text{s}$,尾坎高度 d 为 0.14 m 、 0.16 m 、 0.18 m 的情况下,消能效率分别为 72.46% 、 69.91% 、 68.21% ,尾坎每增加 2 cm ,消能效率分别降低 2.55% 、 1.7% 。

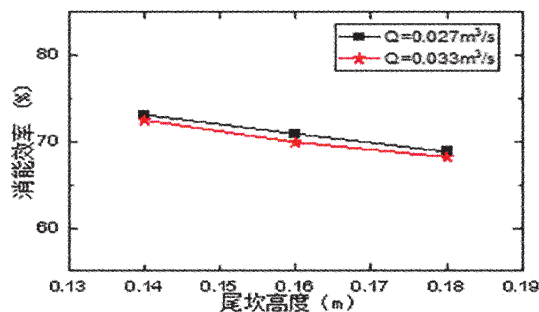


图6 消能效率与尾坎高度关系图

3 结论

1)随尾坎高度的改变,跌扩式消力池内各测量断面临底流速分布规律均保持不变。中线上的临底流速均呈先急速升高再降低的谷峰型流速;中线两侧临底流速在消力池前端均呈先急速升高再急速下降的尖峰型流速,消力池后端均为回流。临边墙临底流速均以回流为主,为在消力池前端有小距离的正向水流而后变为回流。

2)尾坎高度的增加可有效降低消力池中线、中线两侧以及临边墙最大临底流速。尾坎高度的改变对跌扩式消力池中线上最大临底流速影响最大;尾坎达到一定高度后其改变对临边墙最大临底流速的影响不再显著;入池流量越小,尾坎高度对各断面临底流速的影响越大。

3)各尾坎高度下,消力池底板中线上脉动压强峰值均出现在消力池的首端,沿程呈衰减趋势。随尾坎高度的增加,消力池底板中线脉动压强值减小。

4)尾坎高度的增加会使跌扩式消力池消能效率有所降低,尾坎每增加 2 cm ,消能效率降低 2% 左右。

参考文献

- [1] 孙永娟,孙双科.高水头大单宽流量底流消能技术研究成果综述[J].水力发电,2005(8):70-72.
- [2] 李鑫,邱勇,阮合春,等.跌坎深度对扩散式泄槽底流消能水力特性影响试验研究[J].人民珠江,2019,40(8):50-56.
- [3] 张红梅,刘经强,于新雨,等.突扩式跌坎消力池掺气特性试验[J].水利水电科技进展,2021,41(6):82-87.
- [4] 李杰.跌坎型底流消力池的水力特性与结构优化研究[J].水利规划与设计,2017(6):96-98.
- [5] 孙明旭.突扩式跌坎消力池体型优化数值模拟研究[D].泰安:山东农业大学,2023.

(责任编辑 崔春梅)