

消力坎对跌坎消力池坎控水跃影响的试验研究

郭川靖, 蒋雷, 刁明军

(四川大学山区河流保护与治理全国重点实验室, 四川成都 610065)

摘要: 跌坎消力池的设计一直是水利工程领域的热点问题, 设计合理的消力池可以保证在短距离内有相当大的消能。笔者通过模型试验研究了跌坎消力池中不同高度和不同位置的消力坎对坎控水跃的影响, 并与不加消力坎时消力池内相同水跃流态进行对比。结果表明: 增设消力坎可有效缩短水跃长度, 减小共轭水深比, 增大水跃消能率。随着消力坎距跃首距离的减小或者消力坎高度的增加, 消力坎在减小水跃长度、共轭水深比, 增大消能率方面的作用越来越大。同时经过无量纲分析得出了消力坎设置在不同位置和高度条件下, 相对水跃长度、共轭水深比和消能率的经验公式。该研究结果可为类似水工建筑物的设计提供参考。

关键词: 水跃; 消力坎; 跌坎消力池; 模型试验

中图分类号: TV653; TV149.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-2184(2024)02-0120-08

Experimental Study on the Influence of Stilling Sill on the Sill-control Hydraulic Jump of Stilling Basin with Drop Sill

GUO Chuanjing, JIANG Lei, DIAO Mingjun

(State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering of Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065)

Abstract: The design of stilling basin with a drop sill has always been a hot issue in the field of water conservancy projects. A reasonable design of stilling basin can ensure considerable energy dissipation in a short distance. In this paper, the influence of different heights and different positions of sills on the hydraulic jump in the stilling basin is studied by model tests, and compared with the same hydraulic jump in the stilling basin without the sill. The results show that the addition of the sill can effectively shorten the length, reduce the conjugate water depth ratio and increase the energy dissipation rate of hydraulic jump. With the decrease of the distance between the sill and the jump head or the increase of the height of the sill, the sill plays an increasingly important role in reducing the hydraulic jump length, the conjugate water depth ratio and increasing the energy dissipation rate. At the same time, the empirical formulas of relative hydraulic jump length, conjugate water depth ratio and energy dissipation rate are obtained by dimensionless analysis under different positions and height conditions. The research results can provide reference for the design of similar hydraulic structures.

Keywords: Hydraulic jump; Stilling sill; Stilling basin; Model test

1 前言

水跃是水利工程中最有趣的水力现象之一, 至今已有两百多年的历史, 是水力学的一个热门问题^[1]。水跃消能又称为底流消能, 因其消能效果好, 而且稳定可靠, 在国内外诸多水电站中得到了广泛应用^[2]。作底流消能设计时, 必须避免出现远驱水跃, 这时常修建消力坎, 将水跃控制在较短的范围内, 在消力坎前形成的水跃就是坎控水跃^[3]。

Shukry^[4]首次研究了水平消力池中的坎控水跃。他指出, 消力坎控制下的水跃形态取决于入流弗劳德数、消力坎与跃首的距离、消力坎的相对高度和尾水深度。随后国内外学者对坎控水跃展开研究。Hager^[5]和 Debabeche^[6]等人研究表明, 消力坎的厚度不会对坎控水跃特性造成影响, 因此只需考虑消力坎的位置和高度对其的影响。Ohtsu^[7]、Hager 等人研究了水平矩形渠道中连续式消力坎的位置和高度对水跃特性的影响; Pa-

收稿日期: 2024-01-12

liara^[8]等人从试验和理论两个方面对斜坡渠道坎控水跃进行了研究。Omid^[9]、Achour^[10]等人对三角形槽和U形槽坎控水跃特性进行了实验研究,以获得上游弗劳德数与渠道形状特征值、水跃长度、共轭水深比等的函数关系。

上述研究表明,坎控水跃可以有效缩短跃长、提高消能率、减小跃后水深,从而使消力池的设计更加紧凑,对工程建设有重要意义。然而目前很少有学者对跌坎与不同位置和高度消力坎控制下的水跃进行系统性研究,导致跌坎消力池设计缺乏一个科学合理的设计规范和设计方法,存在消力池设计不合理等问题,造成跌坎消力池容易出现类似于如淮安闸(消力池长15 m)和解台子(消力池长17 m)因水跃长度超出消力池,造成海曼冲毁的问题^[11]。故研究跌坎消力池中的坎控水

跃是十分有必要的。

实验发现跌坎消力池中坎控水跃主要呈现四种流态,跌坎处水跃流态见图1,这与Ohtsu^[12]、Hager^[13-14]等人研究突跌段水跃流态结果一致,随着尾水位的降低,流态变化依次为A-jump、Wave-jump、B-jump、B min-jump^[15],根据实际工程的需要,希望将跃首控制在跌坎处,并在消力池中形成底流消能效果,因此该文将坎控水跃B-jump流态作为重点研究对象,在跌坎消力池中展开模型试验研究,通过设置三个不同位置和三个不同高度的消力坎来总结消力坎的位置和高度变化对坎控水跃的影响,并重点讨论消力坎对跌坎消力池坎控水跃的水跃长、共轭水深、消能率的影响等内容,为类似工程的设计提供参考。

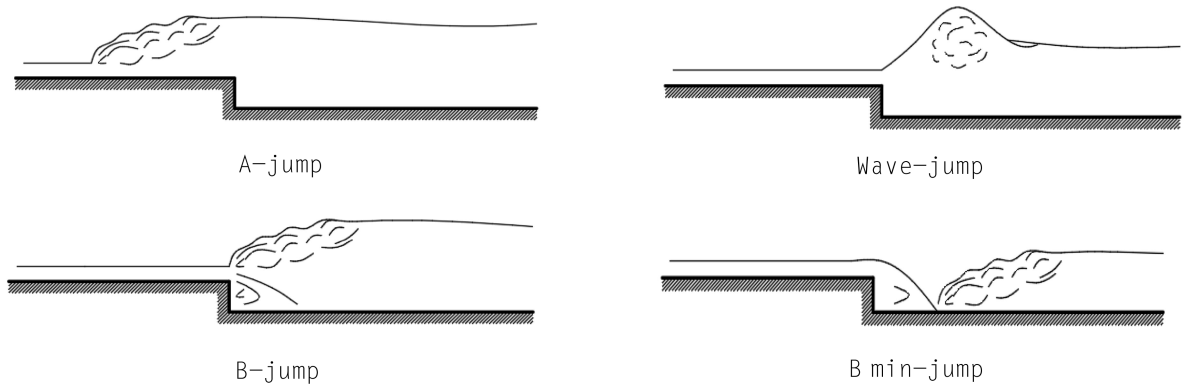


图1 跌坎处水跃流态

2 理论或方法

实验布置图见图2,取单位宽度过水断面时,并由1-1至2-2沿流向写动量方程得

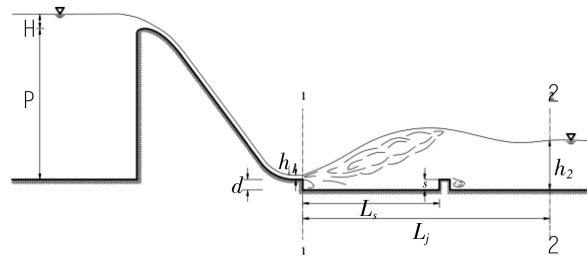


图2 实验布置图

$$\frac{\gamma}{g}q(\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) = \sum F \quad (1)$$

式中: $\sum F$ 为1-2断面间各外力沿流向之和, $\sum F = P_1 + P_d - P_2 - P_s + \sum f$,取动量改正系数 $\beta_1 = \beta_2 = 1$,同时以 $v_1 = \frac{q}{h_1}$, $v_2 = \frac{q}{h_2}$ 代入动量方程得

$$\frac{\gamma}{g} \frac{q^2}{h_1} + \frac{\gamma}{2} h_1^2 + P_d - P_s = \frac{\gamma}{g} \frac{q^2}{h_2} + \frac{\gamma}{2} h_2^2 \quad (2)$$

式中: $\sum f$ 为边界对水流的摩阻力,可忽略不计; P_1 为1-1断面上的静水压力; P_2 为2-2断面上的静水压力; P_d 为跌坎面对水流的作用力; P_s 为消力坎迎水面及背水面所受水流动水压力的反力之和; P 为溢流坝的坝高; d 为跌坎高度; h_1 为跃前断面水深; h_2 为跃后断面水深; s 为消力坎的高度; L_s 为消力坎的迎水断面与跌坎面的距离; L_j 为水跃长度。

3 实验设计

为了研究消力坎的位置对跌坎式消力池B-jump水跃特性所产生的的影响,试验设置了3个消力坎的位置以及3个消力坎的高度,表1为该次试验体型的详细信息,每个体型分别在

20 L/s、30 L/s、40 L/s、50 L/s、60 L/s、70 L/s、80 L/s 七个特征流量条件下进行,该次试验研究共计 10 个体型,70 个试验工况。消力池内 B-jump 水跃跃后水深测量采用 SDA1000 数字波高仪采集系统,试验的采样频率为 100 Hz,采样时长为 6 min。波高仪的布置于距离跌坎处 6.50 m 的位置。试验工况表见表 1。

表 1 试验工况表

体型	消力坎位置 L_s /cm	消力坎高度 s /cm
TX1	0	0
TX2	70	5.0
TX3	70	7.5
TX4	70	10.0
TX5	100	5.0
TX6	100	7.5
TX7	100	10.0
TX8	130	5.0
TX9	130	7.5
TX10	130	10.0

实验是在四川大学水力学国重室工程训练中心的一个宽 0.50 m、长 7.20 m 的跌坎消力池中进行的,该实验装置由量水堰、水库、溢洪道、消力池和循环水源组成。为了便于观察水流的流动状态,跌坎消力池采用透明的有机玻璃制作。该次试验的跌坎消力池体型参数根据某水利工程设计,按照 1:80 进行水工模型试验,实验布置图见图 2。消力坎位于距跌坎不同距离(70 cm、100 cm、130 cm)的消力池中。测试了高度为 5.0 cm、7.5 cm、10.0 cm 的消力坎。不同来流量和尾门高度用于调整和产生特定消力坎高度和位置的所需跳跃。在实验中,允许弗劳德数范围为 6.72—12.77。实验约束条件为:具有有利的 B-jump 以实现最大能量耗散。因此,仅记录并列出了满足这些限制条件的情况下的结果。用流量和尾门来适应消力坎的位置和高度,使得在消力池中形成 B-jump。

4 试验结果

试验结果表明,消力坎式消力池的水跃类型和特性对来流特性(F_{r1})、消力坎高度(s)和池内

位置(L_s)非常敏感。例如,对于接近水流的速度(v_1)和深度(y_1)的微小变化,必须显著改变所需的底坎高度,以获得有利的跳跃。该研究的目的是针对具有有利的 B-jump,给出流入参数(弗劳德数 F_{r1})与消力坎参数(包括底坎高度(s)、底坎位置(L_s)和水跃长度(L_j))之间的关系。

笔者对水跃长度、共轭水深、能量损失三个方面进行细致的分析。

4.1 水跃流态

水跃流态实拍图见图 3,当流量为 60 L/s 时,消力池中不设消力坎,和将高度为 10 cm 消力坎分别设置在距离跌坎处 70 cm、100 cm、130 cm 三个位置处 B-jump 水跃流态,该流态的主要特征是水跃跃首发生在跌坎处,跌坎处会产生一次顺时针漩滚,主流潜底,并且上部漩滚回流至跌坎处,水跃掺气强烈,水跃区水体呈乳白色。从图中可以看出将消力坎设置于水跃区,潜底主流会直接冲击到消力坎上,增加了水体紊动,同时会在消力坎后产生二次漩滚,消力坎位置越靠前,主流冲击消力坎后涌起的高度越高,紊动越强烈。若消力坎的位置设置过于靠前,会导致水流从跌坎处射出,直接冲过消力坎,而没有形成水跃,这种流态不作为该次研究对象,若消力坎的位置设置过于靠后,位于水越末端时,对 B-jump 的影响很小。因此,消力坎不宜设置得过于靠前或靠后。

4.2 水跃长

水跃的长度是水跃的重要特征。由于表面波的存在,很难确定水跃的长度,水跃长度目前大致有两种定义,一种是以水跃漩滚长度作为水跃的长度,另一种是以漩滚结束后水面基本与渠底平行时的最近点作为水跃末端,相应的水跃长度记作 L_j 。水跃的跃长对工程有很重要的实际意义,但迄今为止只能由经验公式和模型试验确定。根据试验观测,位置 70 cm 处不同高度消力坎相对水跃长见图 4,不同消力坎高度($s=5.0$ cm、7.5 cm、10.0 cm)下相对水跃长度(L_j/L)与入流佛汝德数(F_{r1})之间的关系,并将结果与不设消力坎($s=0$ cm)进行了比较。从图中可以看出,增设消力坎可以明显缩短跃长,并且当消力坎的位置一定时,消力坎的高度越高,水跃的长度越小。例如,对于入流佛汝德数 $F_{r1}=6.72$ 时,消力坎高度

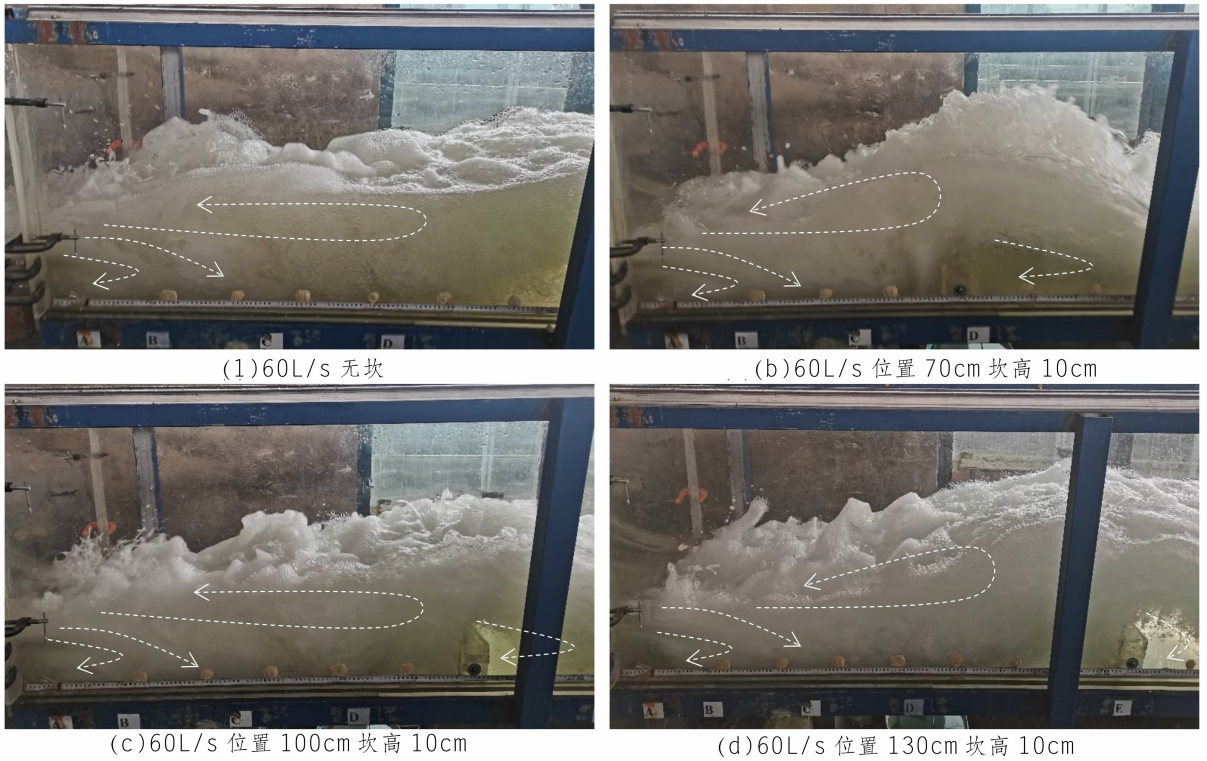


图3 水跃流态实拍图

从低到高($s=5.0\text{ cm}$ 、 7.5 cm 、 10.0 cm)相对于不设消力坎时($s=0\text{ cm}$),相对水跃长度(L_j/L)分别减少约6.04%、9.06%和13.42%。

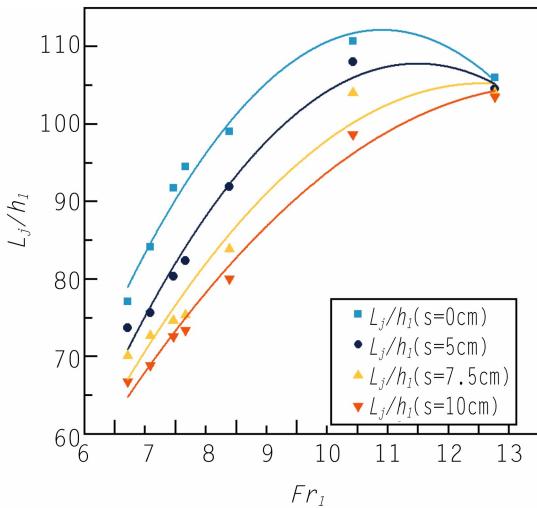


图4 位置70 cm处不同高度消力坎相对水跃长

10 cm高消力坎高位于不同位置相对水跃长见图5,显示了将10 cm高的消力坎分别布置于距离跌坎70 cm、100 cm、130 cm处情况下相对水跃长度(L_j/L)与入流佛汝德数(Fr_1)之间的关系,同样将结果与不设消力坎($s=0\text{ cm}$)进行了比较。实验发现,相同高度的消力坎设置的位置距

离消力池始端越长,缩短水跃长度的效果就越差。消力坎设置得越靠前,水跃长度减小得越明显。例如,10 cm高的消力坎位于70 cm处时,相比于位于130 cm处,相对水跃长度多减小了8.75%。当流量为 20 L/s ,入流佛汝德数 $Fr_{r1}=12.77$ 时,流量较小,此时消力坎位于水跃末端,对水跃的影响很小,因此相对水跃长度变化幅度很小。随着流量的增大,入流佛汝德数逐渐减小,消力坎减小相对水跃长度的幅度逐渐增大。

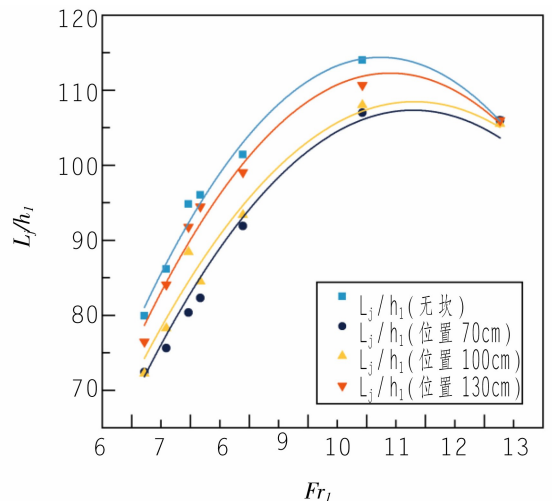


图5 10 cm高消力坎高位于不同位置相对水跃长

4.3 共轭水深比

消力坎对水流的反作用力可以改变自然水跃的共轭水深比。利用试验数据研究了消力坎对 B-jump 水跃共轭水深比的影响。70 cm 处不同高度消力坎共轭水深比见图 6, 将消力坎布置于距离跌坎 70 cm 处, 不同消力坎高度 ($s=5$ cm、7.5 cm、10 cm) 下共轭水深比 (h_2/h_1) 与入流佛汝德数 (F_{r1}) 之间的关系, 并将结果与不设消力坎 ($s=0$ cm) 进行了比较。设置消力坎后, 共轭水深显著减小, 当入流佛汝德数 (F_{r1}) 一定时, 相同位置处消力坎越高, 共轭水深比越小, 分析原因, 通过动量方程进行分析, 流量一定, 消力坎位置一定, 消力坎的高度越高, 消力坎上所受的动水压力越大, 虽然流量越大, 跌坎面上的力也越大, 但是由于主流直接冲击在消力坎上, 消力坎所受的动水压力远远大于跌坎面上的力, 因此, 当来流量一定, 消力坎的位置不变的情况下, 消力坎的高度越高, 跃后水深越小。结果还表明, 消力坎对共轭水深比的影响随着消力坎高度的增加而增加, 因此相对于不设消力坎, 入流佛汝德数 $F_{r1}=6.72$ 一定时, 坎高为 $s=5.0$ cm、7.5 cm、10.0 cm 对应共轭水深比分别减少 18.89%、25.61% 和 40.28%。

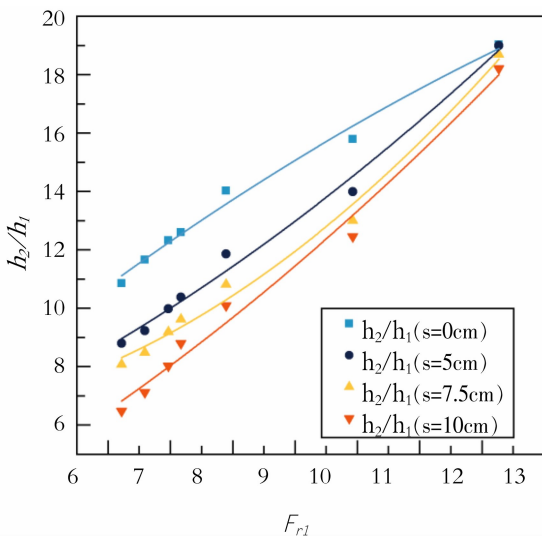


图 6 70 cm 处不同高度消力坎共轭水深比

10 cm 高消力坎位于不同位置共轭水深比见图 7, 将 10 cm 高的消力坎分别布置于距离跌坎 70 cm、100 cm、130 cm 处情况下共轭水深比 (h_2/h_1) 与入流佛汝德数 (F_{r1}) 之间的关系, 同样将结果与不设消力坎 ($s=0$ cm) 进行了比较。相同高度的消力坎设置的位置越靠后, 消力坎上的动水

压力的合力越小, 同样利用动量方程来分析, 位置越靠近跌坎, 消力坎所受合力越大, 跃后水深越小, 当消力坎设置位置越靠后, 消力坎所受动水压力变小, 跃后水深变大, 来流量不变, 跃前水深 h_1 不变, 因此, 相同高度的消力坎, 其位置越靠后, 共轭水深比越大。但相对于无坎而言, 设置消力坎后的共轭水深比要小很多。结果还表明, 随着消力坎距跃首距离的减小或者消力坎高度的增加, 消力坎在减小共轭水深比方面的作用越来越大。在笔者进行的所有实验中共轭水深比最高减小了 40.28%, 这对类似消力池边墙高度的设计有一定的指导意义。

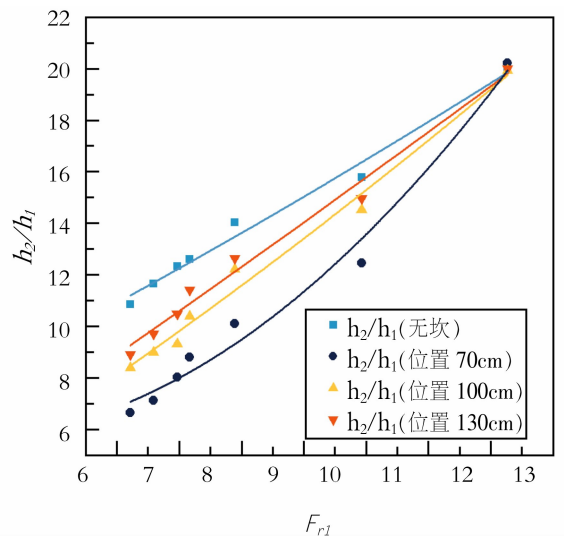


图 7 10 cm 高消力坎位于不同位置共轭水深比

4.4 消能率

为减少工程造价提高消能效率, 应尽可能地缩短消力池的长度, 并在池内设置消力坎, 进一步加剧水流的紊动混掺作用, 消力坎对水跃的消能率有明显影响, 消力坎可使水跃在短距离内产生。在某种程度上, 消力坎越高, 在较短距离内可以交换和耗散的能量就越多。跃首断面水流发展充分, 紊动增强, 从而加剧了水跃段内水流的紊动混掺, 提高了水跃的消能效率, 并提高了内能的耗散和空气的卷吸。70 cm 处不同消力坎高度的消能率见图 8, 将消力坎布置于距离跌坎 70 cm 处, 不同消力坎高度 ($s=5.0$ cm、7.5 cm、10.0 cm) 下消能率 ΔE 与入流佛汝德数 (F_{r1}) 之间的关系, 并将结果与不设消力坎 ($s=0$ cm) 进行了比较。与无消力坎的水跃相比, 消能效率平均可提高 9.03%、13.98%、17.10%。

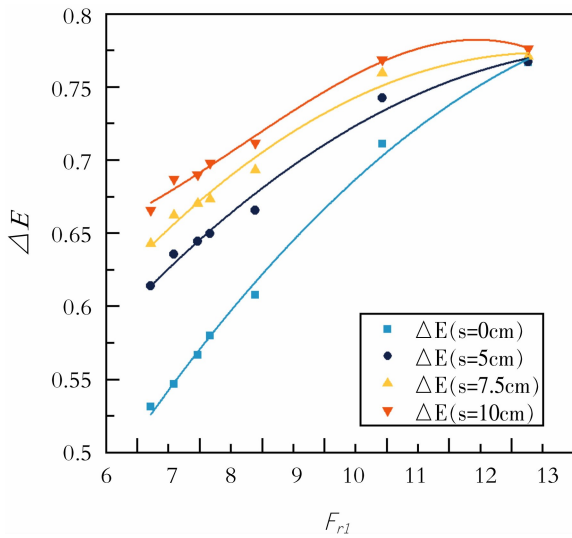


图8 70 cm处不同消力坎高度的消能率

10 cm高消力坎位于不同位置时的消能率见图9,将10 cm高的消力坎分别布置于距离跌坎70 cm、100 cm、130 cm处情况下消能率 ΔE 与入流佛汝德数(Fr_1)之间的关系,同样将结果与不设消力坎($s=0$ cm)进行了比较。消能率随着随着入流佛劳德数 Fr_1 的增大而增大。这是因为当入流佛劳德数比较大时,来流量小,发生B-jump时较高的尾水和消力坎迫使水跃在较短的距离内发生,从而使得消力坎位置和高度变化时引起消能率的变化很小,当入流佛劳德数 Fr_1 逐渐减小,即来流量逐渐加大时,消力坎的位置和高度对水跃的作用就凸显出来,在同一来流量,消力坎设置于同一位置时,消力坎越高,水跃的消能率越大。在来流量一定,消力坎的高度也一定时,消力坎的位置越靠前,水流进入消力池内,碰到消力坎的阻击作用越大,引起高速水流和边界水体自身进行强烈碰撞、掺混越强烈而耗费大量动能,从而提高了消能率。位于70 cm相比于位于130 cm处时,消能率平均增加了11.63%。

4.5 经验公式推导

此处对于厚度为6.5 cm的消力坎在距离跌坎处70 cm、100 cm、130 cm分别设置5.0 cm、7.5 cm、10.0 cm三个高度,并与不设置消力坎时进行对比,共计70组试验数据,利用全部实验数据,基于量纲分析,推导出了消力坎控制的B-jump水跃的相对长度、共轭水深比以及消能率的下列关系式。相关系数分别为0.94、0.92、0.95。

如图所示,使用以下公式7和8可以相当精确地估算出跌坎消力池中消力坎控制水跃的相对长度、跃后水深及对应的消能率。

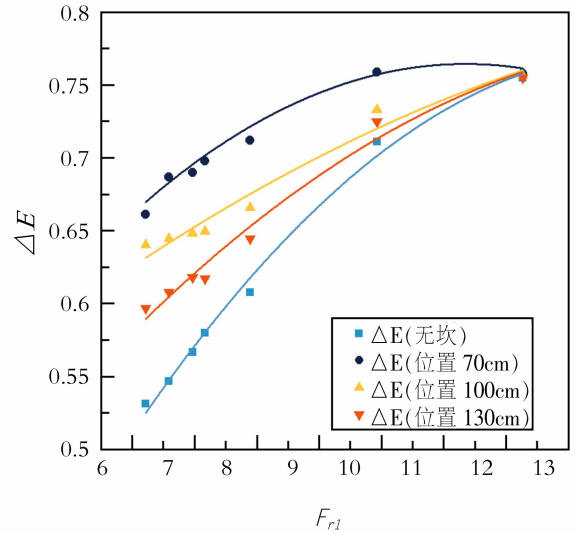


图9 10 cm高消力坎位于不同位置时的消能率

试验研究了消力池中不同位置高度消力坎引起的强迫水跃B-jump,目的是估算有效的消力坎高度和位置,以减少水跃和消力池长度。研究了 $Fr_1 = 6.72 \sim 12.77$ 的来流佛劳德数给出了有效无量纲参数之间的关系。以下重要参数之间的函数关系用于描述跌坎消力池中存在消力坎时的B-jump:

$$f(s, h_1, h_2, v_1, v_2, d, P, L_s, L_j, L, q, g, \rho) = 0 \quad (3)$$

式中: g 为重力加速度; ρ 和 μ 分别为水密度和动态粘度。对于水平消力池和完全湍流(水流与雷诺数无关),无量纲参数总结如下

$$f\left(\frac{s}{p}, \frac{h_2}{h_1}, \frac{L_s}{L}, \frac{L_j}{h_1}, Fr_1\right) = 0 \quad (4)$$

根据 π 定理和回归分析发现:

$$Y_1 = -0.0018 \frac{L_j}{L} + 0.2327 \quad (5)$$

$$Y_1 = \frac{0.44(s/p)^{-0.05} + \log(0.45 * (L_s/L)^{-1.95}) - 0.45}{0.39Fr_1^{2.3}} \quad (6)$$

化简公式(5)和(6)得出相对水跃长度经验计算公式:

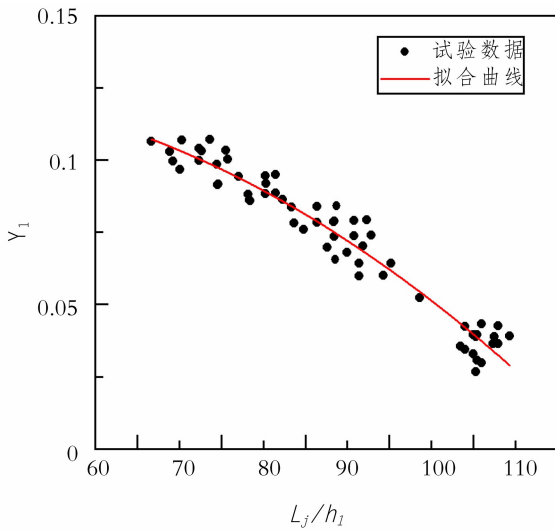
$$\frac{L_j}{L} = \frac{0.44(s/p)^{-0.05} + \log(0.45 * (L_s/L)^{-1.95}) - 0.45}{-7.02 \times 10^{-4} Fr_1^{2.3}} + 129.28 \quad (7)$$

采用相同的分析方法得出共轭水深经验公式(8)和消能率经验公式(9):

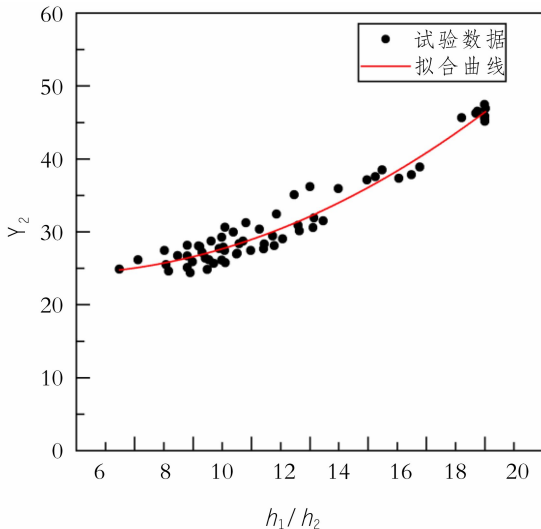
$$\frac{h_2}{h_1} = 1.81Fr_1 - \frac{\log(9.35 \times L_s/L)}{18.50s/p} - 5.20 \quad (8)$$

$$\Delta E = 0.17Fr_1^{0.55} + \frac{7.31 \times 10^{-4} \times \log(2.35 \times (L_s/L)^{-2.1})}{(s/p)^{3.8}} - 0.12 \quad (9)$$

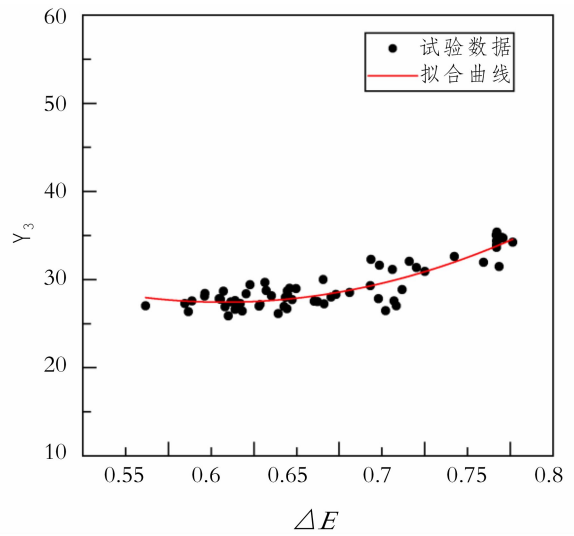
以上公式的适用条件为: $55.39 \leq \frac{L}{L_s} \leq 102.86$ 、 $6.72 \leq Fr_1 \leq 12.77$ 、 $0.033 \leq \frac{s}{P} \leq 0.065$, 试验数据与拟合曲线见图 10。



(a) 相对水跃长度经验公式($R^2=0.94$)



(b) 共轭水深经验公式($R^2=0.92$)



(c) 消能率经验公式($R^2=0.95$)

图 10 试验数据与拟合曲线

5 结论

笔者通过水工模型试验研究了在跌坎消力池不同消力坎的位置和高度对同一种水跃流态 B-jump 的影响。得出以下结论:

(1) 试验结果表明,消力坎的高度和位置对减小水跃长度和缩短池长有较大影响,安装消力坎可显著减小跃长(最大可达 13.42%左右),并且当消力坎的位置一定时,消力坎的高度越高,水跃的长度越小,从而有效减小工程投资。

(2) 随着消力坎距跃首距离的减小或者消力坎高度的增加,消力坎在减小共轭水深比方面的作用越来越大。

(3) 在消力池中部增设消力坎可加剧水流的紊动混掺作用,对水跃的消能率有明显影响,与无消力坎的水跃相比,消能效率平均可提高 14%左右。消力坎的位置越靠前,消耗的能量越大。

(4) 笔者的创新点在于跌坎与不同位置和高度消力坎共同控制下的水跃进行系统性研究,并根据 π 定理和回归分析,得到了在跌坎消力池中增设消力坎后相对水跃长度、共轭水深比和消能率的半理论半经验公式,对类似工程设计具有一定指导意义。

参考文献:

[1] 郭子中. 消能防冲原理与水力设计[M]. 成都:科学出版社,1982.
 [2] 吴持恭. 水力学(上册)[M]. 北京:高等教育出版社,2008.
 [3] 倪汉根,刘亚坤. 击波水跃跌水消能[M]. 大连:大连理工大学出版社,2008.

- 工大学出版社,2008.
- [4] FATHI-MOGHADAM M, KIANI S, ASIABAN P et al. Modeling of Perforated Sill-Controlled Hydraulic Jump[J]. International Journal of Civil Engineering, 2017, 15(4): 689-695.
- [5] HAGER W. H, LI D. Sill-controlled energy dissipator[J]. Journal of Hydraulic Research, 1992, 30(2): 165-181.
- [6] DEBABECHE M, ACHOUR B. Effect of sill in the hydraulic jump in a triangular channel/ Effet du seuil sur le ressaut hydraulique dans un canal triangulaire[J]. Journal of Hydraulic Research, 2007, 45(1): 135-139.
- [7] OHTSU I, YASUDA Y, YAMANAKA Y. Drag on vertical sill of forced jump[J]. Journal of Hydraulic Research, 1991, 29(1): 29-47.
- [8] PAGLIARA S, PERUGINELLI A. Limiting and Sill-Controlled Adverse-Slope Hydraulic Jump[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 126(11): 847-851.
- [9] OMID M. H, GORD-NOSHAHRI A, KOUCHAKZADEH S. Sill-controlled hydraulic jump in a gradually expanding channel[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management, 2010, 163(10): 515-522.
- [10] ACHOUR B, DE CONFÉRENCE M, DEBABECHE M. Ressaut contrôlé par seuil dans un canal profilé en U Control of hydraulic jump by sill in a U-shaped channel[J]. Journal of Hydraulic Research, 2003, 41(1):97-103.

- [11] 肖兴斌. 底流水跃消能在工程中的应用与发展述评[J]. 人民珠江, 1991(3): 22-27.
- [12] OHTSU I, YASUDA Y. Transition from supercritical to subcritical flow at an abrupt drop[J]. Journal of Hydraulic Research, 1991, 29(3): 309-328.
- [13] HAGER W H, BRETZ N V. Hydraulic jumps at positive and negative steps[J]. Journal of Hydraulic Research, 1986, 24(4): 237-253.
- [14] HAGER W. H. B - Jumps at Abrupt Channel Drops[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1985, 111(5): 861-866.
- [15] MOSSA M, PETRILLO A, CHANSON H. Tailwater level effects on flow conditions at an abrupt drop Effet de la hauteur d'eau aval sur le ressaut hydraulique au dessus d'une marche[J]. Journal of Hydraulic Research, 2002, 40(4): 13.

作者简介:

- 郭川靖(1999-),女,山西忻州人,硕士研究生,研究方向为水力学及河流动力学;
- 蒋雷(1991-),男,四川成都人,博士研究生,研究方向为水力学及河流动力学;
- 刁明军(1968-),男,四川简阳人,博士,研究方向为水力学及河流动力学.

(编辑:廖益斌)

(上接第 115 页)

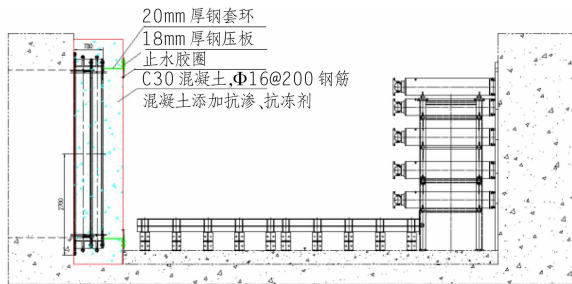


图7 二次洞门施工立面图

(1)顶管进出洞洞门施工时,应采取洞门加固措施,确保顶管顺利推进;必要时可提前在洞门钢套环处预埋注浆管路,便于施工期渗漏处理。

(2)顶管施工和盾构施工的区别在于顶管管节跟随顶管机动态移动^[7],管节移动过程中容易与止水胶圈摩擦发生破损撕裂现象,故在顶管进出洞洞门止水材料选择时,优先配置双道含纤维钢丝橡胶止水片或其他抗拉性能较好的止水材料。

(3)在判断泥浆向顶管出洞口方向流失后,可以优化顶管洞口段润滑泥浆配比,使用高浓度、低滤失量的泥浆,并利用管壁润滑泥浆的注入对环空

间隙进行封堵,必要时可注入泥浆、油脂等混合液,可以有效的减少地下水对润滑浆液造成的损失。

参考文献:

- [1] 王雪,王成虎,马孝春,等. 国内外顶管施工技术的对比分析[J]. 施工技术,2017,46(增刊2):1018-1023.
- [2] 王志刚. 大直径钢顶管洞门渗漏水原因分析及处理措施[J]. 工程建设,2019,57(7):48-51.
- [3] 卢光鑫. 超深覆土顶管井穿墙套管渗漏水处理[J]. 城市建设理论研究,2013,3(24):326-329.
- [4] 王翔宇. 适用于高水压的顶管进出洞止水装置研究[J]. 非开挖技术,2015,18(2):82-85.
- [5] 杨明勇,孙前金. 顶管工程施工中的止水于防渗漏技术[J]. 安徽建筑,2018,45(3):172-175.
- [6] 葛春辉,王承德,余彬泉,等. 给水排水工程顶管技术规程[M]. 北京:中国计划出版社,2008.
- [7] 强健. 暗挖综合管廊的发展和研究方向[J]. 隧道建设(中英文),2021,41(5):764-771.

作者简介:

- 熊亮(1989-),男,四川成都人,项目总工程师,工学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(编辑:廖益斌)