

文章编号: 1672-3031(2007)01-0071-04

溢洪道阶梯陡槽段水面掺气位置试验与计算探讨

黄智敏, 朱红华, 何小惠

(广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510610)

摘要: 外凸型阶梯式消能工是应用于溢洪道陡槽段上的一种新型的辅助消能工。目前溢洪道陡槽段外凸型阶梯式消能工已在水利工程中得到了应用, 但对此类型阶梯式消能工水力特性的研究成果仍较少。本文在 5 种坡度比和不同阶梯体型(包括阶梯高度、阶梯间距等参数)的阶梯陡槽溢洪道水力模型试验研究的基础上, 对溢洪道阶梯陡槽段水力特性进行研究探讨, 分析了陡槽段坡度比、阶梯跌坎体型参数等对溢洪道陡槽段泄流流态的影响, 并将阶梯陡槽段泄流分为光滑水流区和掺气水流区两部分, 提出了外凸型阶梯陡槽段水面掺气断面位置和水深的计算公式。本文研究成果可为溢洪道阶梯陡槽段沿程水面线和消能计算提供参考。

关键词: 陡槽溢洪道; 阶梯消能工; 掺气位置; 水深; 模型试验

中图分类号: TV135.2

文献标识码: A

陡槽溢洪道的陡槽面设置阶梯跌坎后, 相应增大了槽面的糙率, 加速了陡槽段水流的紊动, 陡槽段的沿程流速降低, 水深加大, 大大增加了陡槽段泄流的消能率。陡槽溢洪道外凸型阶梯消能工已在广东省多项水利工程中成功地得到了应用, 文献[1]对溢洪道陡槽段外凸型阶梯消能工的体型和消能特性进行了初步探讨, 但目前对溢洪道外凸型阶梯陡槽段水力计算方法的研究仍较缺乏。

由于陡槽溢洪道的陡槽段坡度 i 一般为 1:2~1:6, 故其陡槽面设置的阶梯多为外凸型阶梯。本文在大量的水力模型试验资料分析的基础上, 对外凸型阶梯陡槽段水面掺气位置及其断面水深的计算方法进行探讨, 可为溢洪道阶梯陡槽段沿程水面线和消能计算提供参考。

1 陡槽段阶梯体型和水流特性

1.1 陡槽段阶梯体型和尺寸 陡槽溢洪道陡槽段外凸型阶梯的体型见图 1, 其体型参数主要为: (1) 陡槽段坡度 i (或陡槽段与水平线的夹角 θ); (2) 阶梯高度 a ; (3) 阶梯间距 s ; (4) 阶梯宽度 b , 阶梯顶面一般为水平面, 则 $b = a/i$ 。

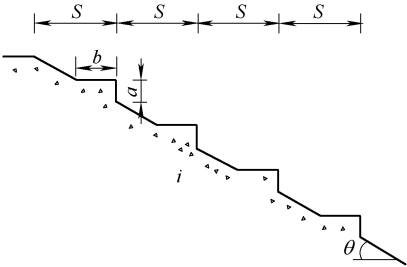


图 1 陡槽段阶梯体型

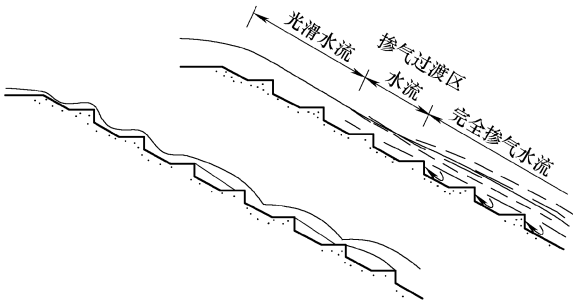


图 2 阶梯陡槽段流态

收稿日期: 2006-10-16

作者简介: 黄智敏(1957-), 广东惠州人, 教授级高级工程师, 硕士, 主要从事水工水力学及河流动力学研究。

1.2 阶梯陡槽段水流特性 试验表明, 阶梯陡槽段流态主要可以分为两种(见图 2、图 3):(1)当陡槽段泄流的单宽流量较小时, 阶梯的高度相对于泄流的水深较大, 陡槽段阶梯上水流出现弯曲贴流或跌流状;(2)滑行水流: 此流态可分为光滑水流、掺气过渡区水流、完全掺气水流 3 种, 泄流水面掺气后(即完全掺气水流区), 每一级阶梯跌坎下游面出现较明显的小漩涡, 陡槽段水流为水气混合体, 主流仍在槽底, 表面为水滴跃移区, 工程实际运行中多为滑行水流流态。

滑行水流的阶梯陡槽段泄流流态可以分为光滑水流区和掺气水流区两个区段, 陡槽段起始断面至水面掺气断面之间流段为光滑水流区段, 水面掺气断面下游为掺气水流区段。本文主要介绍阶梯陡槽段水面掺气断面位置和水深计算方法的研究成果。

2 模型试验设备和方法简介

为探讨阶梯陡槽段水流特性, 进行了陡槽段坡度 $i = 1:2, 1:3, 1:4, 1:5$ 和 $1:6$, 阶梯高度 $a = 0.25\text{m}, 0.30\text{m}, 0.40\text{m}, 0.50\text{m}$ 和 0.60m 等不同组合的试验研究; 模型试验单宽流量为 $q = (5 \sim 25) \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。

模型按重力相似准则设计, 模型几何比尺 $L_r = 30$ 。试验的阶梯陡槽段掺气断面下游段模型流速 v 一般大于 2m/s , 阶梯陡槽段模型泄流水流的韦伯数 $We > 1\,200$ 。目前, 解决水流掺气模型缩尺效应的方法主要有: 一是采用大尺度模型, 二是增大掺气水流模型糙率, 提高模型水流的紊动强度, 增加掺气量。参考文献[2]等按重力相似准则设计的模型, 当模型水流的韦伯数 $We > 600$ 时, 模型水流表面张力的影响可以忽略, 因此, 本文模型试验的阶梯陡槽段水流掺气状况与原型有良好的相似性。

模型试验中, 通过精心测试陡槽段沿程水深值和观测陡槽段的流态(观测水面掺气和掺气断面下游阶梯跌坎下游面底部出现小漩涡现象等), 得出阶梯陡槽段水面掺气点 L_a 的位置(L_a 为陡槽段起始断面到水面掺气断面的距离, 见图 3)。

3 阶梯陡槽段水流掺气断面位置试验和计算

3.1 水流掺气断面位置 L_a 及其特性分析 由模型试验资料分析, 各种体型阶梯陡槽段的水面掺气断面位置 L_a 值的特性为: (1)在同一坡度陡槽段和相同的阶梯体型参数条件下, 掺气断面 L_a 值随陡槽段泄流单宽流量 q 的增大而增加; (2)在相同的泄流单宽流量 q 条件下, L_a 值随陡槽段的阶梯粗糙高度 $a \cos^2 \theta / S$ (即 $a \cos \theta / (S / \cos \theta)$) 增大而缩短, 也即槽面的糙率越大, L_a 值越小。

3.2 水流掺气断面位置 L_a 值的计算探讨 由上述分析, 可建立阶梯陡槽段水流掺气断面位置 L_a 与陡槽段水流参数——临界水深 h_k ($h_k = \sqrt[3]{q^2/g}$)、阶梯粗糙高度 ($a \cos^2 \theta / S$) 的函数关系式为:

$$L_a = f(h_k, a \cos^2 \theta / S) \quad (1)$$

式中, 令 $a \cos^2 \theta / S = K$, 将模型试验数据点绘于对数坐标系上(见图 4), 可见 $L_a / K \sim h_k / K$ 满足下式的关系:

$$\frac{L_a}{K} = m \left(\frac{h_k}{K} \right)^n \quad (2)$$

式中: m, n 为待定参数, 由试验数据确定。

将试验数据采用最小二乘法回归计算得各种坡度 i 阶梯陡槽段式(2)中的参数 m, n 值见表 1。

由表 1 可见: (1)各种坡度 i 的阶梯陡槽段的 n 值均较接近, 可取其平均值为 1.2041; (2) m 值随陡槽段的坡度 i 减小而增大, 陡槽段坡度越缓, 相同距离的陡槽段断面上的落差相应减小、水深增大, 槽面上阶梯对泄流的影响相应减小, m 值与陡槽段坡度 i 的关系见图 5。

则式(2)可以写为

$$L_a = m h_k^{1.2041} \left(\frac{a \cos^2 \theta}{S} \right)^{-0.2041} \quad (3)$$

根据试验条件, 式(3) 的适用范围为: $1.366\text{m} \leq h_k \leq 3.995\text{m}$; $0.046 \leq a \cos^2 \theta / S \leq 0.14$ 。

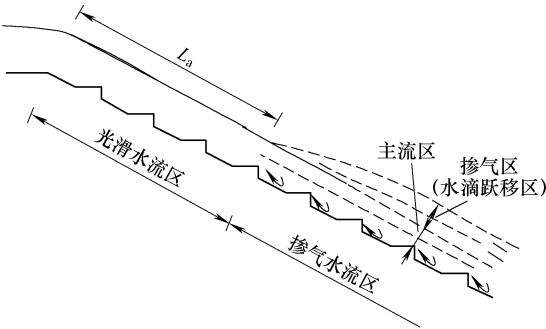


图3 阶梯陡槽段水流掺气点位置及流态

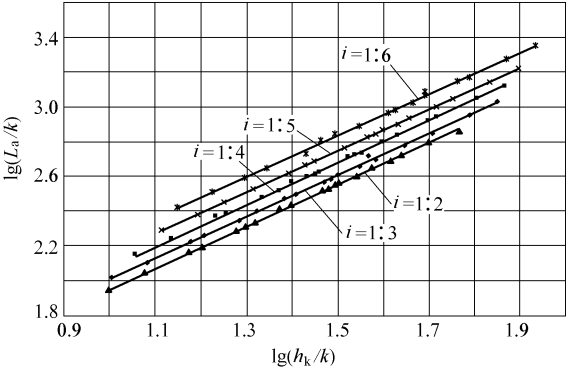


图4 $\lg(L_a/k) \sim \lg(h_k/k)$ 关系

表1 各坡度陡槽段的 m 、 n 值		
坡度 i	m	n
1:2	5.555	1.2080
1:3	6.384	1.1994
1:4	7.400	1.2075
1:5	8.896	1.1980
1:6	10.563	1.2075

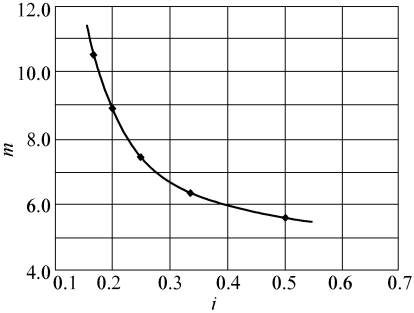


图5 m 与 i 的关系

表2 为坡度 $i=1:4$ 阶梯陡槽段水面掺气点位置 L_a 试验值与计算值比较, 式(3) 的计算结果与各坡度阶梯陡槽段模型试验值较吻合, 误差一般在 $\pm 3\%$ 之内。因此, 式(3) 可作为各种体型 ($i=1:2 \sim 1:6$) 的阶梯陡槽段水面掺气点位置 L_a 的估算式。

表2 $i=1:4$ 阶梯陡槽段水面掺气位置 L_a 试验值和计算值比较

a/m	s/m	$q=5$		$q=10$		$q=15$		$q=20$		$q=25$	
		L_{a1}	L_{a2}	L_{a1}	L_{a2}	L_{a1}	L_{a2}	L_{a1}	L_{a2}	L_{a1}	L_{a2}
0.25	4.3	20.17	19.49	34.23	34.02	48.25	47.10	61.32	59.34	72.87	70.97
0.40	4.7	18.88	18.03	31.86	31.47	43.60	43.57	55.17	54.89	66.78	65.66
0.50	4.7	17.45	17.23	30.08	30.07	41.26	41.63	52.26	52.45	63.02	62.73
0.60	4.7	16.73	16.60	28.86	28.97	39.55	40.11	50.29	50.53	62.47	60.44

注: (1) q 的单位为 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$; (2) L_{a1} 为模型试验值, L_{a2} 为式(3) 计算值, 单位为 m 。

4 水面掺气位置的断面水深计算

通过对模型试验资料的分析, 为了方便掺气断面水深的计算, 本文将掺气断面水深分为两部分: (1) 按掺气断面位置计算的势流水深 h_p ; (2) 槽面阶梯引起的附加波动水深 Δh 。

4.1 用试算法计算陡槽段掺气断面的势流水深 h_p

$$h_p = \frac{q}{\sqrt{2g(H - h_p \cos \theta)}}$$

(4)

式中: q 为单宽流量; H 为陡槽段计算断面的总水头。

4.2 掺气断面波动水深 Δh 计算 由模型试验资料分析表明, 陡槽面设置阶梯跌坎后的附加波动水深值 Δh 主要与陡槽段泄流单宽流量 q 和阶梯高度 a 有关, 令 $\Delta h = \beta a$, β 值与泄流单宽流量 q 的关系见表

3。

4.3 掺气断面的水深 h_a 计算

$$h_a = h_p + \beta a \tag{5}$$

式中: a 为陡槽面阶梯跌坎的高度; β 为系数, 见表 3。

对模型试验资料的分析表明, 各种阶梯体型陡槽段的掺气断面水深 h_a 的试验值与式(5) 的计算值均较吻合。

表 3 β 与 q 关系

$q/(m^3/(s\cdot m))$	5	10	15	20	25
β	1. 6	1. 7	1. 8	1. 9	2. 0

5 算例

一陡槽溢洪道的堰顶高程为 100. 0m, 陡槽段坡度 $i=1: 3(\theta=18. 435^\circ)$, 陡槽段阶梯高度 $a=0. 4m$, 间距 $S=4m$; 陡槽段泄流单宽流量 $q=(5\sim 25)m^3/(s\cdot m)$, 相应堰顶水头 $H_1=(2. 27\sim 6. 39)m$; 计算各级流量条件下的阶梯陡槽段水面掺气断面位置 L_a 值和掺气断面水深 h_a 值。计算过程如下: (1) 由单宽流量 q 值计算出相应的临界水深 h_k 值见表 4; 由陡槽段 θ 值、阶梯高度 a 和间距 S 值等, 计算出陡槽面阶梯粗糙高度 $(a\cos^2\theta/S)=0. 09$ 。(2) 由图 5 查得, 陡槽段坡度 $i=1: 3$ 时, $m=6. 384$; 由式(3) 可计算出陡槽段掺气断面位置 L_a 值见表 4。(3) 由计算出的 L_a 值, 采用式(4) 计算掺气断面的势流水深 h_p 值; 由表 3 的参数和式(5), 可计算出掺气断面水深 h_a 值见表 4。

由表 4 的 L_a 和 h_a 计算值与试验值比较可知, 两者均较吻合。

表 4 L_a 和 h_a 计算值与试验值比较

$q/(m^3/(s\cdot m))$	H/m	h_k/m	$a\cos^2\theta/S$	L_a/m		掺气断面 总水头 H/m	h_p/m	$\beta q/m$	h_a/m	
				计算值	试验值				计算值	试验值
5	2. 27	1. 366	0. 09	15. 19	14. 97	7. 09	0. 44	0. 64	1. 08	1. 07
10	3. 54	2. 169		26. 51	26. 96	11. 95	0. 67	0. 68	1. 35	1. 37
15	4. 60	2. 842		36. 71	36. 25	16. 25	0. 86	0. 72	1. 58	1. 62
20	5. 55	3. 443		46. 24	45. 17	20. 23	1. 03	0. 76	1. 79	1. 81
25	6. 39	3. 995		55. 31	53. 93	23. 94	1. 18	0. 80	1. 98	2. 03

6 结语

(1) 试验分析表明, 陡槽溢洪道外凸型阶梯陡槽段的水面掺气断面位置 L_a 随泄流单宽流量 q 的增大而增加, 并随槽面阶梯的粗糙高度 $(a\cos^2\theta/S)$ 值的增大而缩短; 本文对溢洪道阶梯陡槽段的水面掺气断面位置及掺气断面水深的计算方法进行了有益的探讨。(2) 本文通过对阶梯陡槽段的水力模型试验及分析研究, 在本文的试验条件和范围内, 得出了外凸型阶梯陡槽段水面掺气断面位置 L_a 和掺气断面水深 h_a 的计算公式, 可供工程设计参考, 并可为陡槽溢洪道阶梯陡槽段沿程水面线和消能计算提供参考。

参 考 文 献:

[1] 黄智敏, 朱红华, 等. 缓坡度陡槽溢洪道阶梯消能研究与应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2005, (3): 179- 182.
[2] 肖兴斌. 高坝泄洪水流雾化问题研究综述[A]. 泄水工程与高速水流论文集[C]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994. 134- 139.

(下转第 79 页)

- [4] 霍庭秀. 多泥沙河流开展水质自动监测的探讨[J]. 水资源保护, 2002, (4): 52- 54.
[5] HJ/T96- 04-2003, 水质自动分析仪技术要求[S].

Research on integration of water quality automatic monitoring system with GPRS technology

LIU Xiao-ru, LIU Ling-hua, GAO Ji-jun, LU Jin
(Department of Water Environment, IWHR, Beijing 100038, China)

Abstract The water quality automatic monitoring integration system is presented in the paper. The parameters to be monitored include: pH、Temperature、EC、NH₃-N、DO、BOD、COD_{cr}、TOC、T-N、T-P chlorophyll and mineral oil. The software of HY-WQMS is developed for water quality management. The data are received from internet online by the HY-WQMS software. The system will send an alarm message on GSM when the water pollution goes over a limit or some instrument is out of order. The instruments for water quality analysis are integrated through RS-485 and RTU. The data of water quality by automatic monitoring are transferred by means of GPRS technology. The study results show that the accuracy and precision of the integration system are sufficiently high. The relative error is 0.2% ~ 8%, and the relative standard deviation is 0.78% ~ 4.97%. The high accuracy and precision can meet the technical requirement of the water quality automatic monitoring.

Key words: water quality automatic monitoring; integrated system; GPRS

(责任编辑: 吕斌秀)

(上接第 74 页)

Discussion on inception point of aeration on stepped chute spillway based on experimental research

HUANG Zhi-min ZHU Hong-hua HE Xiao-hui
(Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510610, China)

Abstract: The outer bulging step energy dissipater is one type energy dissipater in chute spillway, and has been applied in water projects. Research work on its hydraulic characteristics has not been well reported so far. Based on hydraulic model tests of spillways with 5 types of chute slope and step configuration parameters including step height and step spacing, the hydraulic characteristics of stepped chute spillway are discussed. The flow over the stepped chute could be divided into two parts: clear flow part and aerated flow part. Some formulas for calculating the aerated inception point and water depth in the stepped chute spillway are introduced in this paper. The results would lay a foundation for calculating flow profile and energy dissipation in the stepped chute spillway.

Key words: chute spillway; stepped energy dissipater; aerated inception point; flow profile; model tests

(责任编辑: 李福田)