

达克曲克水电站溢洪道空化空蚀问题研究

颜 婷, 刘韩生

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 国内首个成功运用通气减蚀措施避免泄水建筑物空蚀的工程是冯家山水库。与冯家山大坝一样, 达克曲克水电站属中坝工程, 最大坝高 62.6m, 有必要讨论表孔溢洪道泄槽空化空蚀问题。采用时启燧等提出的掺气挑坎临界坎高的经典算法以及空化空蚀相关规范, 通过理论计算与实际分析表明: ①在溢洪道泄槽段无需设置掺气挑坎; ②在没有掺气减蚀措施的情况下, 计算施工不平整度按要求控制可以有效避免空化空蚀。

关键词: 空化空蚀; 溢洪道; 掺气挑坎; 施工不平整度

中图分类号: TV131.61

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)05-0077-04

Research on cavitation problem for spillway in ducky cheuck hydropower station

YAN Ting, LIU Hansheng

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Fengjiashan Reservoir is the first engineering by successfully using measures of cavitation control by aeration to avoid the cavitation damage of water release structure in China. The same as Fengjiashan dam, Ducky Cheuck hydropower station is the medium-sized engineering whose maximum dam height is 62.6 meters, so it is necessary to discuss the problem of cavitation and cavitation damage of the spillway chute. Used the classic algorithm put forward by Shi Qisui to calculate the critical ridge height of aerated bucket and the specification of cavitation damage, through theoretical calculation and the practical analysis, it shows that ① it is unnecessary to set up aerated bucket on the chute of spillway; ② by controlling the construction irregularity according to the specification can effectively avoid cavitation and cavitation damage although in the case of no measures of cavitation control by aeration.

Key words: cavitation erosion; spillway; aerated bucket; construction irregularity

0 引 言

随着高水头建筑物的兴建, 泄水建筑物空化空蚀问题研究越来越引起人们的注意, 成为重要课题之一, 其中掺气减蚀和控制施工不平整度是常用的减免空蚀手段, 20 世纪 80 年代, 冯家山水库左岸溢洪洞采用掺气减蚀设施^[1-3], 成为国内首个成功运用掺气措施减免泄水建筑物空蚀的工程实例, 该成果影响颇大, 为我国掺气减蚀技术发展奠定了基础, 时至今日, 仍经常被引用。

达克曲克水电站位于玉龙喀什河下游河段的峡谷山区内, 为玉龙喀什河“两库五级”开发方案中的第四个梯级工程, 坝型为土石坝, 最大坝高 62.6m, 与冯家山大坝一样, 属中坝, 有必要讨论表孔溢洪道泄槽掺气减蚀问题。

本文以达克曲克水电站为例, 运用时启燧等提出的经典算法计算掺气挑坎相关参数, 并结合《溢洪道设计规范 SL253-2000》等相关要求, 研究其表孔溢洪道泄槽空化空蚀问题。

1 溢洪道概况

达克曲克水电站为土石坝, 最大坝高 62.6 m, 设计水位、校核水位、正常蓄水位分别为 1 776、1 777.74、1 776 m。溢洪道布置于玉龙喀什河右岸, 由引渠段、控制段、泄槽段及消能段组成, 其中泄槽段长 92 m, 桩号 0+040.000 m~0+132.000 m, 纵坡 5/100, 底板高程 1 748.912~1 744.312 m, 断面为 12 m×10.5 m 的矩形, 衬厚 1.5 m, 边墙采用 C25 钢筋混凝土衬砌, 底板采用 C40 高性能钢筋混凝土。溢洪道设计流量 1273.86 m³/s, 校核流量

收稿日期: 2012-05-18; 修回日期: 2012-06-25

作者简介: 颜 婷 (1990-), 女, 四川内江人, 水利水电工程专业本科生。

通讯作者: 刘韩生 (1962-), 男, 陕西韩城人, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事水力学与河流动力学的研究工作。

1 538.85 m³/s,其体型图见图 1。

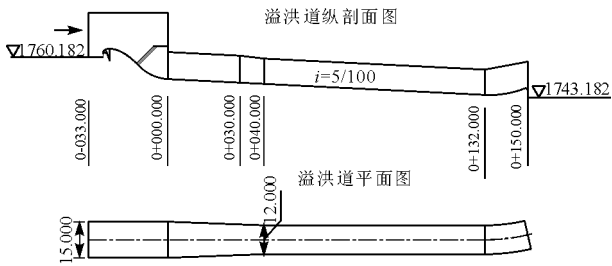


图 1 溢洪道体型图

2 掺气减蚀挑坎水力计算

工程实践表明,临近固体边壁水流掺气,有利于减免空蚀。掺气减蚀即通过设在高速水层底面的通气坎,通气槽等,向水层中大量掺气,以改变水层与边壁间的压力状况,使得在空泡溃灭时作用在边壁上的冲击力大大减弱。掺气减蚀设施有多种体型^[4]:侧边挑坎(突扩),边墙通气孔,掺气墩或分离掺气墩,或利用挑坎或跌坎掺气,基本形式有挑坎、跌坎、通气槽^[5]。本文选用较常见的挑坎形式,如图 2。

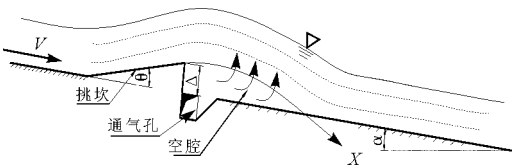


图 2 掺气挑坎示意图

2.1 掺气挑坎减蚀基本原理^[4]

泄水建筑物底板上增设挑坎,水流经挑坎后产生分离,在下游形成空腔掺气。当挑射水股重新回到底板上时,水流携带大量空气使近壁水层自然掺气,当底部的近壁掺气浓度达到并保持某一规定数值时,在一定距离内建筑物过流水面则可不受空蚀破坏,此外,掺气水流空穴内含有一定空气成为含气型空穴,溃灭时破坏力也大大减弱。

2.2 挑坎位置及尺寸确定

(1)挑坎位置。挑坎位置一般设在水流空化数较小,易发生空蚀部位的偏上游位置,且坎高的设置与 Fr 数有关,Fr 数越大,所需坎高越小,Fr 越小,所需坎高越大,根据以上分析,为求得最小坎高,本文将挑坎设在 Fr 数较大且易发生空化的 9 号断面,其桩号为 0+116.020 m。

(2)坎高确定。坎高选取的原则是:在各种运用工况下,坎后必须保持稳定的空腔和满意的流态,否则挑坎将成为人工突体,在高速水流通过时发生分离型空穴,反而导致破坏,另一方面,流经挑坎的

射流与下游底板的交角应尽量小,以减少射流底板的额外冲击。

时启燧等^[6]通过对影响坎高的诸因素进行量纲分析,引入组合参数 X

X = \frac{v}{\sqrt{gR_1}} \frac{1}{\cos\alpha\cos\theta} \tag{1}

式中: R₁ 为挑坎处水力半径,m; v 为挑坎断面水流流速,m/s; α、θ 如图 2 所示。同时给出了坎高与 X 的关系式:

\frac{\Delta}{R_1} = F(X) \tag{2}

根据时启燧分析,当参数 X 小到一定值时,挑坎下游的空腔则出现不稳定。此时腔内只有部分空气,腔体摆动,忽生忽灭,这种阵发现象标志着通气坎处于临界工况,如果参数 X 再进一步减小,空腔则不复存在,在一定水流条件下,出现临界工况的坎高,称临界坎高,其经验关系为:

(\frac{\Delta}{R_1})_{cr} \geq 23.5X^{-3} \tag{3}

公式(3)给出了坎高选取的下限,合理坎高值应大于临界坎高。

(3)计算结果分析。用公式(3)计算各工况临界坎高,结果如表 1。

表 1 溢 0+116.020 断面各工况挑坎临界高度

m ³ /s, m/s, m					
运用工况	流速	水深	Fr	X	临界 Δ
校核工况	21.502	5.964	2.811	3.994	1.103
设计工况	21.046	5.044	2.992	4.084	0.945
Q = 800	21.313	3.128	3.847	4.775	0.444
Q = 500	21.054	1.979	4.778	5.545	0.205
Q = 200	18.854	0.884	6.402	6.900	0.055
Q = 100	15.489	0.538	6.742	7.082	0.033

挑坎高度是影响空腔长度、下游流态的主要因素,对于单纯挑坎掺气设施,目前国内工程采用坎高在 0.5 ~ 0.85 m^[7]。从表 1 给出临界坎高分析,在正常蓄水位,小流量工况下,坎高下限较小,合理坎高值可与工程经验相符,但对于设计工况,特别是校核工况,临界坎高偏大,高达 1.1 m,合理坎高值将高于此值,与工程经验和规范差别较大,因此,利用掺气挑坎措施减免泄槽空蚀对达克曲克工程来说不可行,为解决泄槽空化空蚀问题,分析在不设掺气设施情况下,对施工不平整度按要求控制,以期解决减免空化空蚀问题。

3 泄槽空化数计算及不平整度控制

3.1 水流空化数计算

判断水流空化可能性大小的指标是水流空化数 σ ,它是反映空化的基本参数,其计算公式^[7]如下:

$$\sigma = \frac{h_0 + h_a - h_v}{v_0^2/2g}$$
 (4)

式中: σ 为水流空化数; h_0 为来流参考断面时均压力水柱,m; h_v 为水的气化压力水柱,与温度有关,本例取 0.24 m; h_a 为建筑物所在地区的大气压力水柱,m, $h_a = 10.33 - \frac{\nabla}{900}$ (∇ 为当地海拔高度); v_0 为来流参考断面平均流速,m/s。

计算各工况空化数结果如图 3 所示。

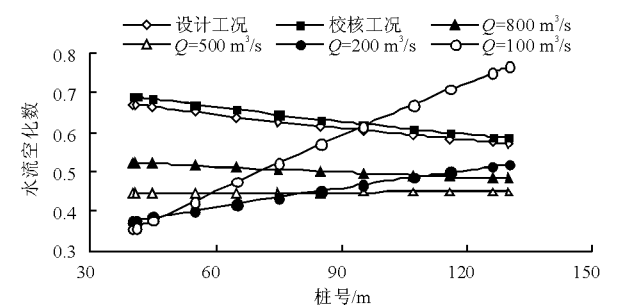


图 3 各工况水流空化数沿程分布图

由图 3 计算结果可见对于校核及设计工况,水流空化数沿程分布值均较大(0.572 ~ 0.693),在 $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ 工况下,水流空化数沿程变化较大(分别为 0.354 ~ 0.769、0.375 ~ 0.519),在泄槽始端较小,末端断面较大,按《溢洪道设计规范 SL253 - 2000》^[7],当水流流速大于 30 m/s,水流空化数大于 0.3,建议需设置掺气设施,对于本例所有工况,泄槽水流空化数均大于 0.3,且流速远小于 30 m/s(见表 1),在前文分析基础上进一步说明泄槽无需设置掺气挑坎。

3.2 泄槽不平整度控制

过流面的不平整,往往是引起空化空蚀破坏的主要原因,水流是否发生空化,需用水流初生空化数加以判断,所谓水流初生空化数指各种过流体型开始出现空化时的空化数。边壁的不平整度越大,产生初生空化的流速越小,不平整形状对空化初生的流速亦有影响,因此,对水流边壁的不平整度控制也是减免空蚀破坏的必要措施,本文参考 SL 253 - 2000《溢洪道设计规范》附录 A 中提供的“若干体型的初生空化数”(表 2)值取用判断,并按要求对泄槽不平整度进行控制。

表 2 泄槽体型初生空化数表

部位	体型及初生空化数						
三角形		Δ/δ	0.015	0.03	0.06	0.1	0.2
		σ_i	0.35	0.45	0.58	0.7	0.95
弓形		Δ/δ	0.035	0.06	0.1	0.2	0.6
		σ_i	0.32	0.4	0.46	0.58	0.74

表 2 中 Δ 为突体高度, δ 为论及断面边界层厚度, σ_i 为水流初生空化数, δ 的计算公式如下:

$$\frac{\delta}{x} = 0.0331 \frac{\Delta}{x} e^{(\lg 66.1 + \frac{x}{\Delta})^{\frac{5}{4}}}$$
 (5)

式(5)为紊流粗糙板边界层厚度沿平板的变化规律^[8],其中 x 为平板前缘算起的距离, Δ 为平板的当量粗糙度,取 0.6mm。由表 2,式(5)及水流空化数计算公式(4)可求得泄槽底板水流空化数及水流空化数等于初生空化数的临界突体高度(水流发生空化的突体高度下限值),结果如图 4、图 5。

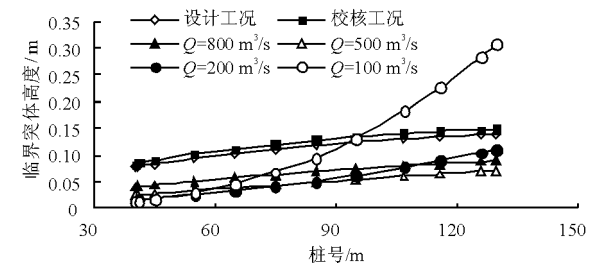


图 4 各工况临界三角形突体高度

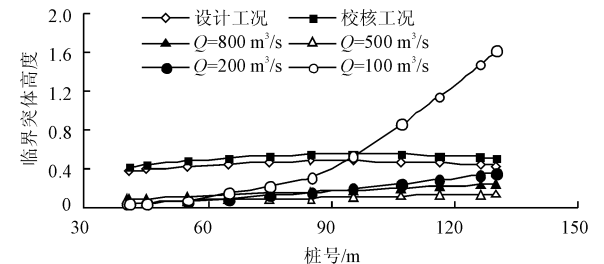


图 5 各工况临界弓形突体高度

由图 4、图 5 看出,设计工况及校核工况下,临界突体高度沿程分布均较大,如设计工况三角形临界突体为 77 ~ 140 mm,弓形突体高达 170 ~ 480 mm,结合 SL 253 - 2000《溢洪道设计规范》参考[7]中表 A.6.4 不平整度控制标准分析,溢洪道泄流落差在 30 ~ 40 m 范围,对不平整度控制要求突体高度在 60 mm 以下,故按照施工对平整度要求,设计及校核工况下,突体高度很难达到临界值,泄槽底板水流空化数远大于初生空化数,进而能避免空化空蚀;对于中小流量,如相对不利情况 Q 为 100、200 m^3/s 下 1 ~ 3 号断面最小突体临界高度为 13、16mm,按照规范要求,实际突体高度可控制在 8 mm

以下,此时无空蚀坡度可为任意值,当不平整高度在 10~20 mm 范围时,可对上游坡、下游坡、横向坡分别按任意、1:2、1:1 的无空蚀坡度值控制,由此可见对于本文分析的大部分工况,泄槽水流不会发生空化,仅在 Q 为 100、200 m^3/s 时,泄槽 1~3 号断面对不平整高度进行严格控制可避免水流空化从而解决泄槽底板空蚀问题,上述分析也进一步说明对于达克曲克工程,其溢洪道泄槽段无需设置掺气挑坎等减蚀措施。

4 结 语

(1) 根据冯家山左岸溢洪洞掺气减蚀经验,运用经典算法对达克曲克泄槽不同工况设置掺气挑坎进行分析。结果表明:挑坎临界坎高过大,不符合实际工程经验及规范,本工程不适合设置掺气减蚀设施。

(2) 各个工况下,溢洪道泄槽水流空化数大于 0.3,流速低于 20 m/s ,可以不设掺气减蚀设施。

(3) 空化空蚀问题可通过控制施工不平整度解决,计算表明大流量情况下,空化空蚀问题并不突出,容易满足施工不平整度要求,流量越小对施工不平整度要求越高,如当 $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,计算结果最严格断面要求施工不平整度为 13mm,按目前的施工技术水平能够达到。

(上接第 76 页)

定的规律。采用非散粒体摩擦角测定仪进行试验时,摩擦角基本不变,结果规律性较好;只有摩擦角,边坡稳定计算公式简单,结果准确。

(2) 采用土工合成材料综合测定仪进行试验时,苯板产生竖直及水平方向的变形,试验结果存在较大的误差;采用非散粒体摩擦角测定仪进行试验时,苯板不产生变形,试验结果较准确。

(3) 非散粒体材料摩擦角测定仪构思新颖,构造简单,便于操作,便于携带,使用性强,可进行现场试验,可直接测定出苯板与不同含水率粗砂摩擦角和临界坡度。因此,非散粒体材料摩擦角测定仪是一种新型的测试仪器。

(4) 总的来看,本工程空化空蚀问题不大,只要稍注意施工不平整度问题,就可满足工程需要。

参考文献:

- [1] 陕西省水利电力勘测设计研究院,水利部水利水电科学研究院水力学所,西北水利科学研究所等. 冯家山水库溢洪洞通气减蚀原型观测试验报告[J]. 陕西水利水电技术,1996(1):50-51.
- [2] 陕西省水利电力勘测设计研究院,水利部水利水电科学研究院水力学所. 冯家山水库左岸明流溢洪洞工程通气减蚀设计[J]. 陕西水利水电技术,1996(1):49.
- [3] 夏毓常. 乌江渡、冯家山泄水建筑物通气坎槽通气量原型观测成果分析[J]. 水利学报,1990,21(2):37-41.
- [4] 肖兴斌. 掺气减蚀设施的研究与应用综述[J]. 长江水利教育,1996,13(1):55-59.
- [5] 林继镛. 水工建筑物[M](第5版). 北京:中国水利水电出版社,2009,365-367.
- [6] 时启燧,潘海波,邵嫫嫫,等. 通气减蚀挑坎水力学问题的试验研究[J]. 水利学报,1983,14(3):1-13.
- [7] 水利部天津水利水电勘测设计研究院. SL253-2000. 溢洪道设计规范[S]. 2008
- [8] 刘焕芳,吕宏兴. 高等流体力学[M]. 北京:中国教育文化出版社,2005:229-230.

参考文献:

- [1] 《土工合成材料工程应用手册》编写委员会. 土工合成材料工程应用手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [2] 张文智. 聚苯乙烯泡沫塑料板在渠道防冻胀中的应用[J]. 水利与建筑工程学报,2003,2(2):56-57.
- [3] 陈立国,周玲,王堂. 宁夏渠道衬砌防冻胀试验研究[J]. 中国农村水利水电,2008(9):102-107.
- [4] 张彦武. 聚苯乙烯泡沫板在渠道防冻胀中的运用[J]. 甘肃水利水电技术,2009(1):7-9.
- [5] 张汉军. 聚苯乙烯保温板在渠道衬砌中防冻胀应用技术[J]. 甘肃水利水电技术,2003(4):294-295.
- [6] 新疆农业大学水利与土木工程学院. 非散粒体材料摩擦角测定仪[P]. 中国专利:VL20051007935.17,2007-07-25.