

泄洪洞中墩水翅现象的试验研究

纪伟, 吴建华, 阮仕平

(河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 为了研究泄洪洞中墩的水翅问题, 设计了 2 种中墩方案并进行了 1:40 的水工模型试验. 试验结果表明 (a) 单洞结构尺寸较大的泄洪洞在进口段加设中墩后, 由于水头高、流速大, 会发生水翅冲击顶部和边墙的现象, 并会对泄洪洞的安全运行构成威胁 (b) 水翅现象与中墩的几何参数和水面下凹深度和长度有关, 水翅长度随中墩长度的减小和水面下凹长度的增加而增加, 水翅高度随中墩长度的减小和水面下凹深度的增加而增加 (c) 水面下凹深度与中墩几何参数也有密切关系.

关键词: 泄洪洞; 中墩; 水翅; 水面下凹

中图分类号: TV135.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-198X(2007)01-0018-04

水翅是水流斜向上射出达到最高点后又回落到正常水面的水流现象. 易产生水翅的情形大致有 3 种: (a) 在泄洪洞中, 两侧边墙为减免空蚀所设置的挑坎或突扩掺气体型极易产生水翅 (b) 陡坡台阶式溢洪道在流量较小时易产生水翅 (c) 泄洪洞进口段加设中墩后易产生水翅.

胡去劣^[1]在进行鲁布革水电站左岸泄洪洞水力学试验研究时发现, 明流段局部突扩较大时会出现左右侧两股冲击洞顶的水翅. 潘水波等在研究通气减蚀挑坎水力学问题时给出了突扩通气时水翅轮廓的相似图及其关系式^[2]. 陈青生等^[3]在进行二滩中孔伸缩式止水闸门水力学试验研究时发现, 闸门全开时, 水流出泄水孔后失去边墙约束, 产生横向扩散, 撞击边墙并产生水翅, 水翅的高度随着出口水流流速的增大而增大. 王治祥^[4]在进行突扩突跌体型与偏心铰弧门运行方式问题研究时发现, 压力泄水孔水流流经突扩突跌设施时, 受平面突扩和立面突跌设施的影响, 孔口喷射水流冲击侧边壁和底板, 在射流冲击的两边墙处均形成明显的水翅, 水面形成明显的对称冲击波, 水翅较高时会对门铰构成威胁. 水翅强度可用水翅长度 $L_{\text{水翅}}$ 和高度 ΔH 来表征, 二者均是突扩比 $\Delta b/b$ 和孔口流速 V_0 的函数. 聂孟喜等^[5]在研究突扩突跌掺气水流规律时发现: 由于侧向突扩, 水流从有压段出口流出后向四周扩散, 向上扩散的水流形成水翅. 水翅最高点位置随着库水位的升高向下推移, 水翅最大高度和水翅长度随着库水位的升高而明显加大, 虽与折流器的高度有一定关系, 但与折流器坡度没有明显关系.

陡坡台阶式溢洪道在流量较小时也会出现水翅现象. 冯瑞林等^[6-7]所进行的模型试验表明: 当斜坡角度为 $40^\circ \sim 60^\circ$ 时, 几乎在整个跌落水流范围内都存在水翅, 随着溢洪道底坡的增大, 在较大的流量变化范围内会发生水翅. 随着台阶尺寸的减小, 水翅高度会不断降低. 台阶式溢流坝中产生水翅的水流流态可以划分为水翅段、过渡段(调整段)和掺气均匀流段.

石岩^[8]以老渡口水电站工程溢洪道闸室中墩后产生的水翅现象为主要研究对象, 研究了不同流量条件下溢洪道闸室中墩尾部水翅的形态, 得到了水翅产生与发展的规律, 并且综合考虑各种影响工程设计与施工的因素, 改变中墩尾部的形状, 运用统计方法分析不同形状下模型试验的观测数据, 得到了较为适用的水翅改进措施. 此外, 一些工程, 泄洪洞单洞结构尺寸较大, 由于闸门的限制, 在泄洪洞的进口段加设中墩, 把进口段一分为二, 从而减小了闸门尺寸. 在泄洪洞进口段加设中墩, 可以较好地实施闸门的设计、制造和运行, 但中墩本身引起的水翅会冲击洞顶和边墙. 目前, 关于这类水翅的研究成果很少. Wu 等^[9]比较了 6 种中墩体型在常压状态下的水翅现象并提出了一种可以有效避免水翅危害的新型中墩方案.

本文以三板溪水电站泄洪洞为研究对象, 对泄洪洞中墩水翅现象及产生机理进行了研究.

1 模型试验布置

三板溪水电站泄洪洞进口段底板高程为 400 m,泄洪洞有压段出口高度为 9 m. 按重力相似准则设计模型,模型几何比尺 $\lambda_1 = 40$,泄洪洞试验模型如图 1 所示. 为了分析泄洪洞中墩水翅现象及其成因,设计了 2 种中墩方案,各方案控制段中墩设计见表 1,中墩体型如图 2 所示.

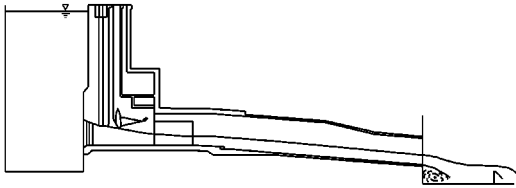


图 1 泄洪洞试验模型
Fig.1 Experimental set-up of discharge tunnel

表 1 控制段直立型中墩设计
Table 1 Plans of vertical middle-piers in control section

方案	曲线方程
1	$\frac{x^2}{9^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$
2	$\frac{x^2}{20^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$

在试验研究过程中,发现水翅现象与水面下凹深度和长度密切相关. 为了更好地研究水翅现象,定义:水翅长度 L_{ww} 为水翅起点到水翅落点的距离;水翅高度 H_{ww} 为水翅最高点到泄洪洞底板的距离;下凹长度 L_{cs} 为水面下凹起点到水面下凹终点的距离;下凹深度 H_{cs} 为水面下凹最深点到正常水面的距离. 如图 3 所示.

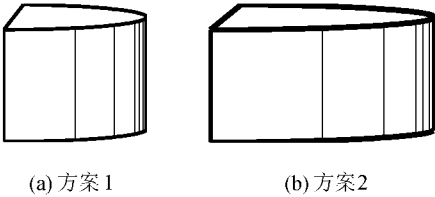


图 2 中墩体型
Fig.2 Model of middle-piers

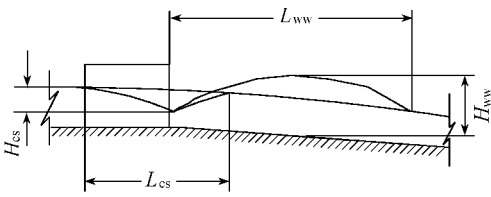


图 3 水翅和水面下凹特征参数的意义
Fig.3 Characteristic parameters of concave-surface and water-wing

通过试验得到了 2 种中墩方案在 4 种不同上游水位 H (425 m 450 m 470 m 480 m) 下的水翅和水面下凹的相关特征参数. 为了使研究结果具有普遍性,分别取各参数与泄洪洞有压段出口高度 h ($h = 9$ m) 的比值作为特征参数.

2 试验结果及分析

各试验水位下的水面下凹特征参数和水翅特征参数试验结果如表 2 所示.

表 2 2 种方案的水面下凹特征参数和水翅特征参数

Table 2 Characteristic parameters of concave-surface and water-wing for two schemes									m
H	方案 1				方案 2				
	L_{cs}	H_{cs}	L_{ww}	H_{ww}	L_{cs}	H_{cs}	L_{ww}	H_{ww}	
425	16.80	3.00	34.00	13.20	24.80	2.60	29.00	8.40	
450	20.00	3.72	56.00	17.60	28.00	3.20	51.80	13.20	
470	22.40	4.20	68.00	19.60	30.80	3.84	63.00	15.20	
480	26.00	4.52	76.00	20.40	32.80	4.20	73.00	16.80	

2.1 中墩水面下凹长度和深度随上游库水位的变化规律

水面下凹长度和深度是影响水翅特征参数的主要因素,不同方案的水面下凹长度和深度不同,引起的水翅长度和高度也不同. 水面下凹长度 L_{cs}/h 随上游库水位 H/h 变化的关系曲线、水面下凹深度 H_{cs}/h 随上游库水位 H/h 变化的关系曲线如图 4 和图 5 所示.

图 4 表明,2 种方案的水面下凹长度都随着库水位的增加而单调递增,而方案 2 的水面下凹长度比方案 1 长 1.0h. 这说明中墩长度对水面下凹长度有很大影响,中墩越长,水面下凹长度越长. 2 种方案的

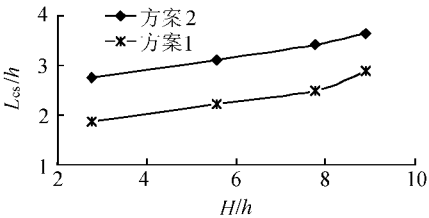


图 4 L_{cs}/h 随 H/h 的变化曲线
Fig.4 Variation of L_{cs}/h with H/h

曲线近乎平行,当水位从 $5.56h$ 增加到 $7.78h$ 时,方案 1 和方案 2 的 L_{cs} 都增加了 $0.3h$.

图 5 表明 2 种方案的水面下凹深度都随着库水位的增加而增大,而方案 2 的水面下凹深度比方案 1 小 $0.1h$ 左右.这说明增加中墩长度可以在一定程度上减小水面下凹深度 H_{cs} . 2 种方案的曲线近乎平行,当水位从 $5.56h$ 增加到 $8.89h$ 时,方案 2 的 H_{cs} 增加了 $0.1h$,方案 1 的 H_{cs} 增加了 $0.09h$.

2.2 中墩水翅长度和高度随上游库水位的变化规律

水翅长度 L_{ww}/h 随上游库水位 H/h 变化的关系曲线、水翅高度 H_{ww}/h 随上游库水位 H/h 变化的关系曲线如图 6 和图 7 所示.

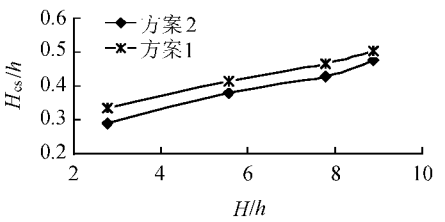


图 5 H_{cs}/h 随 H/h 的变化曲线

Fig.5 Variation of H_{cs}/h with H/h

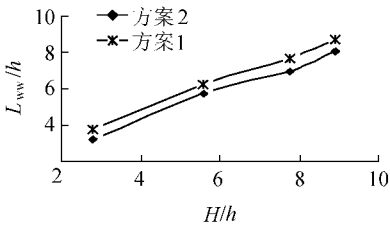


图 6 L_{ww}/h 随 H/h 的变化曲线

Fig.6 Variation of L_{ww}/h with H/h

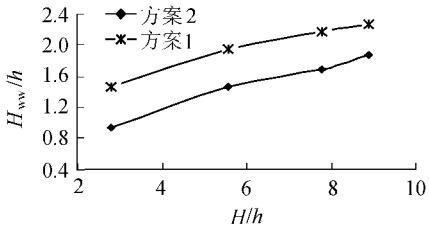


图 7 H_{ww}/h 随 H/h 的变化曲线

Fig.7 Variation of H_{ww}/h with H/h

图 6 表明 2 种方案的水翅长度都随着库水位的增加而增大 4 种水位下方案 2 的水翅长度比方案 1 小,二者相差 $0.5h$ 左右 2 种方案的曲线近乎平行,当水位从 $2.78h$ 增加到 $7.78h$ 时, L_{ww} 增加了 $3.8h$.

图 7 表明 2 种方案的水翅高度都随着库水位的增加而增大 4 种水位下方案 1 的水翅高度比方案 2 大; 2 种方案的曲线近乎平行,方案 1 的水翅高度平均比方案 2 大 $0.5h$ 左右.

2.3 水面下凹长度和深度与水翅长度和高度的关系

水面下凹长度 L_{cs}/h 与水翅长度 L_{ww}/h 的关系、水面下凹深度 H_{cs}/h 与水翅高度 H_{ww}/h 的关系如图 8 和图 9 所示.

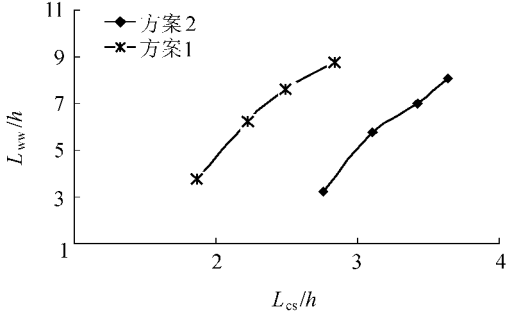


图 8 L_{cs}/h 与 L_{ww}/h 的关系曲线

Fig.8 Relationship between L_{cs}/h and L_{ww}/h

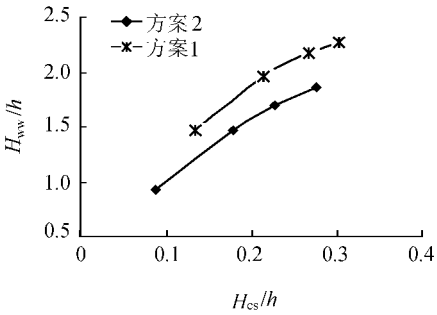


图 9 H_{cs}/h 与 H_{ww}/h 的关系曲线

Fig.9 Relationship between H_{cs}/h and H_{ww}/h

图 8 表明 2 种方案的水翅长度都随着水面下凹长度的增加而增大 2 条曲线比较平顺且近乎平行.水面下凹长度 L_{cs} 在 $2.8h \sim 3.4h$ 范围内,方案 2 的水翅长度 L_{ww} 从 $3.2h$ 增加到 $7.0h$;水面下凹长度 L_{cs} 在 $1.9h \sim 2.5h$ 范围内,方案 1 的水翅长度 L_{ww} 从 $3.8h$ 增加到 $7.6h$.

图 9 表明 2 种方案的水翅高度都随着水面下凹深度的增加而增大.水面下凹深度 H_{cs} 在 $0.41h \sim 0.50h$ 范围内,方案 1 的水翅高度 H_{ww} 从 $2.0h$ 增加到 $2.3h$;水面下凹深度 H_{cs} 在 $0.38h \sim 0.48h$ 范围内,方案 2 的水翅高度 H_{ww} 从 $1.5h$ 增加到 $1.9h$.

3 结 论

a. 单洞结构尺寸较大的泄洪洞在进口段加设中墩后,由于水头高、流速大,会发生水翅冲击顶部和边墙

的现象,并可能对泄洪洞的安全运行构成威胁.

b. 水翅现象与中墩的几何参数和水面下凹长度和深度有关,水翅长度 L_{ww} 随着中墩长度的减小和水面下凹长度 L_{cs} 的增加而增加,水翅高度 H_{ww} 随着中墩长度的减小和水面下凹深度 H_{cs} 的增加而增加.水面下凹深度与中墩几何参数也有密切关系.

参考文献:

- [1] 胡去劣.鲁布革水电站左岸泄洪洞水力学试验[J].水利水运科学研究,1987(4):15-25.
- [2] 陈椿庭.高坝大流量泄洪建筑物[M].北京:水利电力出版社,1988:146-147.
- [3] 陈青生,任旭华,袁银忠.二滩中孔伸缩式止水闸门水力学实验研究[J].河海大学学报,1995,23(4):56-61.
- [4] 王治祥.突扩突跌体型与偏心铰弧门运行方式问题[J].红水河,1996,15(1):35-39.
- [5] 聂孟喜,吴广镐.折流器体型对突扩突跌掺气空腔特性的影响[J].清华大学学报:自然科学版,2002,42(4):546-550.
- [6] 冯瑞林,李布雳,韩琦,等.陡坡台阶式溢洪道中的水翅现象[J].西安理工大学学报,2005,21(2):208-211.
- [7] 冯瑞林.台阶式溢流坝消能特性的试验研究[D].西安:西安理工大学,2005.
- [8] 石岩.泄水建筑物闸墩尾部水翅现象研究[D].宜昌:三峡大学,2005.
- [9] WU Jian-hua, CAI Chang-guang, JI Wei, et al. Experimental study on cavitation and water-wing for middle-piers of discharge tunnels[J]. Journal of Hydrodynamics Ser. B, 2005, 17(4): 429-437.

Experimental study on water-wing phenomena for middle-piers of discharge tunnels

JI Wei, WU Jian-hua, RUAN Shi-ping

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Two schemes for middle-piers were designed, and hydraulic model tests with the scale of 1/40 were performed to investigate the water-wing phenomena. Some conclusions are drawn as follows: the placement of middle-piers at the inlets of single-passage, large size discharge tunnels may lead to the occurrence of water-wings, which strike the top and side wall of the tunnels due to high water head and high flow velocity and threaten the operation of the discharge tunnels; the water-wing phenomenon is closely related to the geometric parameters of the middle-piers and the extent of concave-surfaces around the end of the middle-piers, and with the decrease of the length of the middle-piers and the increase of length of the concave-surfaces, the length of water-wings increases, while the height of water-wings increases as the length of the middle-piers decreases and the depth of the concave-surfaces increases; the extent of the concave-surfaces around the end of the middle-piers is also closely related to the geometric parameters of the middle-piers, and the longer the middle-piers, the greater the depth of the concave-surfaces.

Key words: discharge tunnel; middle-pier; water-wing; concave-surface