

构皮滩水垫塘边墙衬砌块的受力分析

(8)
38-40

李玉柱 洪益平 李春华

(清华大学水利水电工程系 北京 100084)

TV6531/
TV1352

摘要 以瞬变流模型和随机信号理论为基础,在乌江构皮滩模型的水垫塘边墙上布置了五个测点,运用上举力量测仪量测板块所受的上举力.实验前对仪器进行了动态标定.量测了校核、设计、正常高水位下表孔单泄、表中孔联合泄洪共 6 种工况下衬砌块上的脉动上举力,得出相应的两个回归经验公式,为边墙衬砌块的设计提供了科学依据.

关键词 水垫塘;随机信号;边墙;动态标定;脉动力;水力学试验

高坝下游挑跌水流对水垫塘底板的冲击问题,国内外已作了不少的研究^[1,2],但对边墙的冲击问题尚未见系统的分析.水垫塘底板与边墙的受力分析是目前我国西南峡谷地区兴建的高拱坝迫切要求解决的问题之一.前人研究认为,衬砌块的破坏主要不是强度的原因,而是因板块与基岩接触处形成了贯穿裂缝,板块受到较大的脉动上举力,产生了整体的浮升失稳.本文在瞬变流模型的基础上,结合构皮滩实际运行工况,运用上举力量测仪量测了板块所受的最大脉动上举力及其沿程分布特性.

1 实验技术与方案

1.1 测点的布置

实验为整体模型,按重力相似准则设计,几何比尺为 1:110.水垫塘左岸边坡坡度为 1:0.3,设置了三个测点,桩号分别为 +120, +160, +190.右岸扩散段设置了两个测点,坡度为 1:0.5,桩号分别为 +220, +250,测点高程均为 440 m,如图 1 所示.模型板块尺寸为 7.3 cm × 7.3 cm × 2.7 cm(长 × 宽 ×

高),相当于原型尺寸 8 m × 8 m × 3 m.

1.2 传感器的安装与标定

实验采用清华大学工程力学系研制的测力传感器量测,传感器的底座与地板上的混凝土支墩用螺钉锚固.传感器静态标定有如下关系式: $F = 6.65U - 2.82 \times 10^{-2}$,其中 F 表示受力, N; U 表示量测的电压, V.

动态标定时给仪器加单位脉冲或阶跃信号,若要求脉冲宽度很窄或阶跃前沿很陡,达微秒级,需用激波管模拟信号.由于条件的限制和水力学传感器的自振频率常不高于 1 000 Hz,可用铁锤快击之^[3].图 2 为本实验传感器受铁锤敲击后的响应曲线.

图 2 中采样步长为 0.000 4 s,计算得阻尼振荡周期 $T_d = 0.006$ s,阻尼振荡频率 $f_d = 1/T_d = 166.7$ Hz.大于 2 倍的水流信号最大频率 f_{max} (50 Hz).代入图 2 中数据,则

阻尼系数

$$\xi = \frac{1}{2n\pi} \ln \frac{y(t)}{y(t + nT_d)} = 0.065 \quad (1)$$

自振频率

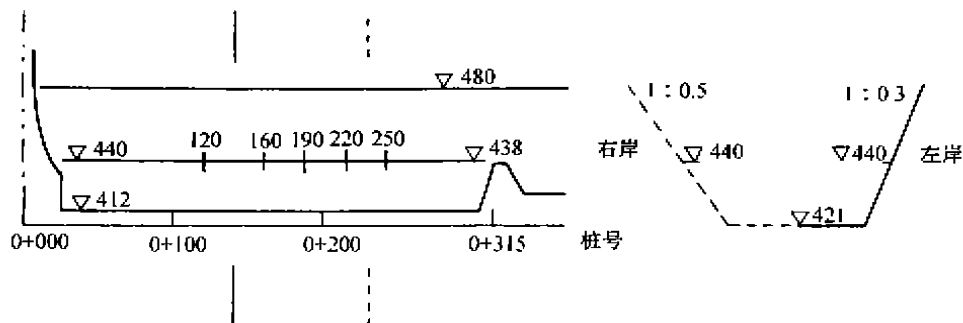


图 1 测点位置示意图(单位:m)

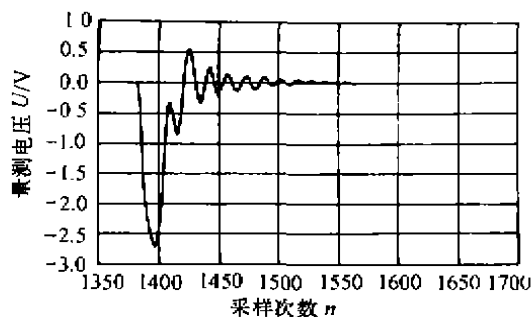


图2 传感器受铁锤敲击后的响应曲线

$$f_n = \frac{f_d}{\sqrt{1 - \xi^2}} = 167.9 \text{ Hz} \quad (2)$$

动力系数

$$\beta_i = \left[\left(1 - \frac{f_s^2}{f_n^2}\right)^2 + 4\xi^2 \frac{f_s^2}{f_n^2} \right]^{-0.5} \quad (3)$$

式(3)中 f_s 为待测信号的主频值,当 $f_s = 25 \text{ Hz}$ 时, $\beta_i = 1.023$,即对于频率小于 25 Hz 的信号,误差小于 2.3% 。

1.3 量测系统

整个操作流程如下:测力传感器输出的信号,经动态应变仪(Y6DL-1型,自带稳压电源与桥路盒)放大后直接通过A/D转换器由计算机采集,用示波器监测。

1.4 实验方案

选择了5种下游水位,使位于 440 m 高程的测点水深 H_i 分别取为 14.0 m , 19.0 m , 24.0 m , 29.0 m , 34.2 m ,能保证测点水深都落在小淹没冲击射流要求的范围之内。考虑到表孔单泄时入射水流较为集中,是决定塘底板的时均、脉动压强及脉动上举力的控制工况,而表中孔联合泄洪时由于上下水舌空中碰撞,与表孔单泄时入射水流在水垫塘中的流动特征有所不同,因此,本项水垫塘边墙板块受力实验以表孔单泄为主,同时量测了表中孔联合泄洪的工况。现将泄流工况的组合与实验组次列于表1。

表1 实验方案

泄流组合	工况	洪水频率 /%	总泄量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	上游水位 Z_u/m	下游水位 Z_d/m	下游水深 h_i/m
6个表孔	1	0.02	16650	636.88	474.20	62.20
6个表孔	4	0.20	12760	632.17	467.68	55.68
加电站	7	1.00	10650	630.00	463.67	51.67
6个表孔 加7个中孔	3	0.02	26950	636.88	488.83	76.83
6个表孔	6	0.20	22760	632.17	483.23	71.23
加7个中孔 加电站	9	1.00	20510	630.00	480.05	68.05

注: $h_t = Z_u - 412.00$, 底板高程为 412.00 m 。

2 实验结果分析

本文仅将表1中工况1的上举力统计参数^[4]归纳于表2。表2中 Z_u 为上游水位; X_p 为测点桩号; h_i 为下游水深(相对于底板高程 412 m); $A_{\max}/\gamma$ 为上

举力脉动分量最大值; σ_f/γ 为上举力脉动均方根值; C_e , C_s 分别为量测信号的峰度和偏态系数; F_a/F_{ab} 为上举力时均值与浮力在垂直于边墙方向分力的比值(换成压强水头)。

表2 工况1上举力统计参数($Z_u = 636.88 \text{ m}$, $h_t = 62.20 \text{ m}$)

X_p/m	$A_{\max}/\gamma^{-1}/\text{m}$	$\sigma_f/\gamma^{-1}/\text{m}$	C_e	C_s	F_a/F_{ab}
120	4.738	1.315	3.201	0.025	2.029
160	2.936	0.829	4.311	0.107	1.057
190	2.378	0.595	3.151	0.152	1.170
220	1.569	0.440	2.980	0.049	1.506
250	1.590	0.470	3.295	0.214	1.696

实验中采样时间间隔 0.01 s , 采样容量 $n = 1024$, 采样总时间 $T = 10.24 \text{ s}$ 。实验观测表明,对于表孔单泄工况1,4,7,入射水流在边墙(高程 440 m)冲击点 X_i 桩号分别为 $0+120 \text{ m}$, $0+116 \text{ m}$, $0+112 \text{ m}$ 。对于表中孔联合泄流工况3,6,9的 X_i 值略偏下游,为了分析其沿程分布规律,近似认为 X_i 等于 $0+120 \text{ m}$ 。设 Δx 为测点与冲击点的距离, H 为上下游水头差。分析得到脉动上举力在不同孔口开启时的沿程变化规律,如图3和图4所示。

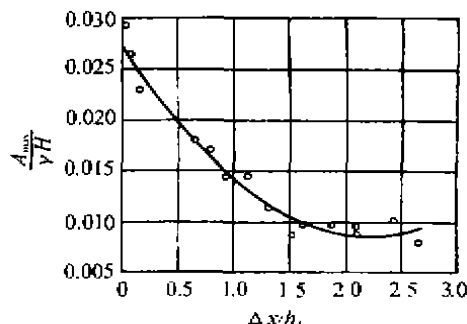


图3 表孔单泄最大脉动上举力沿程分布

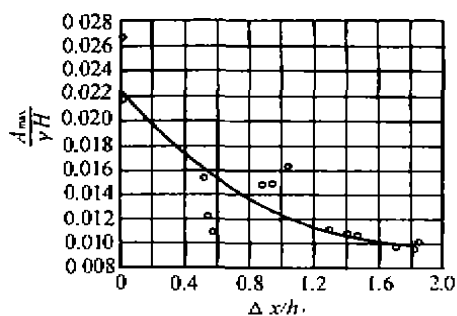


图4 表中孔联合泄洪最大脉动上举力沿程分布

根据图3和图4中曲线得回归关系式如下(其中 $x = \Delta x/h_t$):

表孔单泄工况1,4,7:

$$A_{\max}/(\gamma H) = 0.00385x^2 - 0.01691x + 0.0273 \quad (4)$$

表孔、中孔联合泄洪工况3,6,9:

$$A_{\max}/(\gamma H) = 0.00391x^2 - 0.01395x + 0.0224 \quad (5)$$

可见 $A_{\max}/\gamma$ 随着远离冲击点而下降,由板块上的受力可得公式:

$$F(t) \leq \gamma_s h_b \cos \theta$$

即

$$A_{\max} + F_a \leq \gamma_s h_b \cos \theta$$

$$F_a = k \gamma h_b \cos \theta$$

得

$$A_{\max} \leq (\gamma_s - k \gamma) h_b \cos \theta \quad (6)$$

式中: γ_s, γ 分别为衬砌块和水的比重; θ 为边坡倾角; h_b 为板块厚度; k 为系数,由表 2 中的数据, $F_a/F_{ab} = 1 \sim 2$,取 $k = 1.5$,可简单用式(6)进行失稳区判断。

实验中脉动上举力的模型主频带宽度约为 0 ~ 20 Hz,积分时间尺度约为 0.04 s,能谱密度分布曲线与自相关函数见图 5 和图 6。图 7 和图 8 则为相应的上举力过程线和概率密度分布曲线。

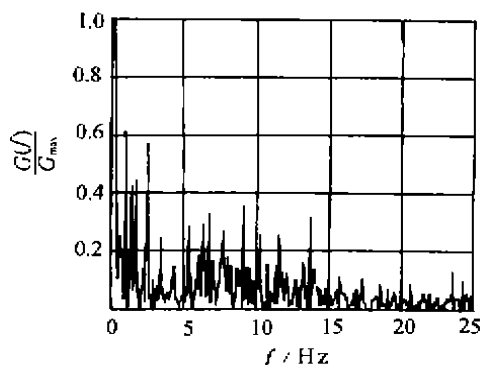


图 5 上举力能谱密度分布曲线

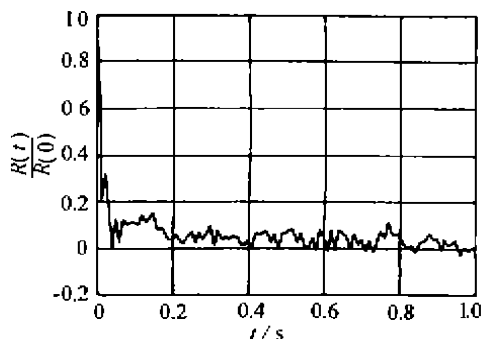


图 6 上举力的自相关函数曲线

3 结 论

a. 实验数据表明脉动上举力主要受低频大尺度涡旋控制,其能量集中在低频区(模型值)(0 ~ 20 Hz),积分时间尺度约为 0.04 s(模型值)。脉动上举力的信号基本符合正态分布。

b. 在乌江构皮滩工程实验中,对校核、设计、正常高水位下表孔单泄,表中孔联合泄洪,中孔单泄等 6 种工况,每种工况下沿程 5 个测点的模块上举力作了量测,可确定边墙衬砌板块失稳区发生在桩号 0+120 m 至 0+220 m 之间约 100 m 长的范围内。其中表孔单泄工况实验中,上举力实测最大脉动值可

达 4.738 m 水柱,结合底板脉动压力与脉动上举力的量测结果,可确定表孔单泄工况为边墙和底板稳定设计的控制工况。

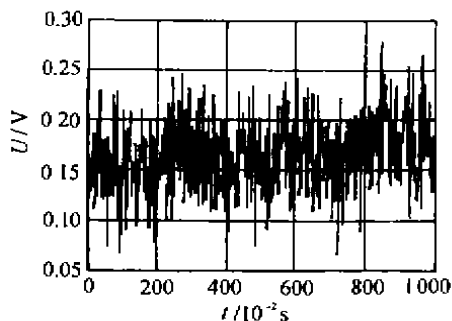


图 7 上举力过程线

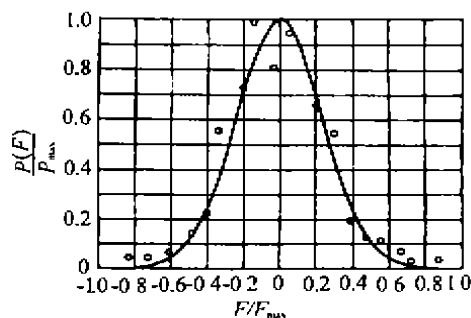


图 8 上举力概率密度分布曲线

本项研究工作得到冬俊瑞教授、李永祥教授、吕敬华师傅、刘沛清高工的帮助和指导,特此致谢。

参考文献

- 1 许多鸣,余常昭.平面射流对槽底的冲击压强及其脉动特性.水利学报,1983(5):52~58
- 2 Virgilio Fiorotto, Andrea Rinaldo. Fluctuating uplift and lining design in spillway stilling basins. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1992, 118(Hy4):578~596
- 3 张训时.水力电测技术.北京:清华大学出版社,1986.1~20
- 4 洪益平.射流冲击下水垫塘边墙衬砌块受力的实验与分析:[学位论文].北京:清华大学,1996

(收稿日期:1997-12-20 编辑:张志琴)

·简讯·

每两年一度的水电站提高出力和整修国际会议将于 1999 年 5 月 17 ~ 20 日在柏林召开。这次会议内容将更加丰富,除了传统的会议议题外,还增加关于在当今新的水电市场条件下公司企业运营重要性的经济专题论述。会议议题如下:①提高出力和整修——机械和土工建筑物的养护;新技术和效益;增加装机容量降低成本的方法;新、老水电站提高出力的机遇,使整修成为一种新的机遇;东欧的经验规划。②运行效益——新技术的成本与效益;新的维护保养策略;成功地实践和经验共享;新方法吸取采用。③新的和正在运行的水电站经济问题——规划、土建和运行的经济策略;资金来源;如何满足政府和非政府组织的要求,竞争计划;充分利用水资源;环境问题预测。

(熊莉芸摘自“TWP&DC”,Sept. 1998)