

苏州河河口水闸抗波浪振动控制方法

罗银森¹ 冯颖慧² 齐尔鸣³

(1. 浙江大学应用力学研究所 浙江 杭州 310027; 2. 杭州市城市建设科学研究所 浙江 杭州 310013;
3. 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院 浙江 杭州 310014)

摘要 苏州河河口设置大型翻板闸门,单跨跨度为 100 m 达到世界之最。在台风风浪作用下诱发的振动有可能影响其结构的安全性。基于连续系统模态的理论分析,获得翻板闸门液固耦合下的振动模态,对比结构模型试验验证了该解的合理性,根据结构的具体特征建立了该结构扭转振动控制机理,根据文圣常提出的风浪谱,仿真求解结构控制前后的振动响应,结果表明,文中提出的控制方法能大幅度地降低振动幅度,从而提高结构的安全性能。

关键词 翻板闸门 液固耦合 振动控制 苏州河河口水闸

中图分类号:TV34 .0328 文献标识码:A 文章编号:1006-764X(2007)S1-0097-04

闸门使用过程中,因为载荷的复杂性,不可避免出现振动现象。闸门振动的前期研究主要集中在振动机理的阐述、振动大小的评估,而闸门振动控制研究尚未有报道。闸门振动主动控制主要有两个方面的困难:一是闸门结构振动属于典型的液固耦合振动,不易获得振动参数的解析表达;二是振动主动控制的反馈力装置难以与闸门启闭机构一起参与工作。本文针对苏州河河口水闸超大型翻板闸门的振动控制进行了尝试,以期对闸门振动控制的合理性进行探索。

苏州河河口水闸采用超大跨度 100 m 的水闸翻板门,具有双向挡水的功能,遇天文大潮时挡外江千年一遇设计高潮位,低潮时抬高内河水位。同时水闸可以实现调水任务,涨潮时开闸将外江水引入内河,改善内河水质;退潮时关门,灵活控制调节内河水位,当内河有多余来水时,河水将从门顶溢流。水闸的挡水结构为一扇由底轴驱动单宽 100 m,高 9.76 m 的翻板闸门,由设在左右机房内的液压启闭机操作,液压启闭机液压缸通过固定于底轴端部的拐臂驱动翻板闸门。水闸闸孔净宽 100 m。挡潮水运行时闸门门叶成铅直锁定状态;挡河水运行时闸门门叶成倾斜锁定状态。

由于是国内首次采用超大跨度的水闸翻板门,对该类柔性结构在水力作用下的振动研究不多,特别是在潮水涌浪激励下的振动安全性没有相应的基

础研究,因此深入研究超大跨度水闸翻板门的振动及其控制是十分必要的。

本文研究的超大型翻板闸门一般处于关闭状态,用于挡水(内河与外河),此时经受的动态荷载为波浪激励。由于结构的特殊性,闸门的低阶模态频率无法避开波浪激励的能量卓越频率,因此其振动控制显得极为必要。闸门振动控制问题需要三个方面的工作:①液固耦合振动时的模态研究;②闸门工作时的流体外激励载荷研究;③振动控制仿真。以下按照这三方面分别加以阐述。

1 翻板闸门液固耦合振动的理论研究

闸门在液固耦合状态下的模态研究开始于挡水梁板结构的弯曲模态分析,其中文献[1]研究了悬臂梁在一侧受有液体作用时及其浸没水中^[2]时的弯曲模态问题,文献[3-6]研究了水工结构液固耦合时弯曲振动动力特性问题,以上研究使得水工结构简单形状下的液固耦合弯曲振动问题的模态分析有解析解,或者近似解析解,对于比较复杂闸门结构的液固耦合振动问题,文献[7]采用数值计算与实验研究相结合的方法获得其模态特性。

超大宽度翻板闸门由于其结构的特殊性,其门叶的弯曲相对底轴的扭转刚度而言较大,可以仅考虑其挡水作用和惯性作用。底轴扭转振动一般方程为

$$\left[\rho I + \int_R^h m_a(x,z) z^2 dz \right] \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} =$$

作者简介:罗银森(1965—),男,浙江宁波人,副教授,博士,从事振动及其控制研究。E-mail:luoyimiao@zju.edu.cn

$$c \frac{\partial^3 \theta}{\partial x^2 \partial t} + G I_p \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + T(x, t) \quad (1)$$

式中: $G I_p$ 为底轴的抗扭刚度; I 为底轴与门叶整体极惯性矩; m_a 为水体的等效附加质量; $T(x, t)$ 为闸门所受到的扭矩; $\theta(x, t)$ 为门叶各点相对驱动端的相对扭转角; $\theta(x, t) = \phi(x, t) - \phi(0, t)$, 其中 $\phi(x, t)$ 为扭转角, $x=0$ 端为驱动端, 控制闸门启闭, 同时兼为振动反馈控制。

考虑水动力载荷作用下的闸门结构振动, 必须考虑水体和闸门的耦合作用。动水压力 p 满足的方程为

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (2)$$

边界条件为

$$\text{水面} \quad p = 0 \quad (3)$$

$$\text{闸门与水体交界面} \quad \frac{\partial p}{\partial n} = -\rho \bar{u}_n \quad (4)$$

$$\text{水库远端} \quad \frac{\partial p}{\partial n} = -\frac{1}{c} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (5)$$

式中: $\bar{u}_n$ 为水体界面法向位移。为了考虑水体质量对结构动力反应的影响, 利用水体不可压缩条件下动水压力的解答, 根据水动力学理论, 当刚性矩形水域作简谐水平平移振动($\ddot{u} = \ddot{u}_0 \cos \omega t$)时, 侧墙动力压力幅的经典解析解为^[8]

$$p^*(0, z) = -p^*(a, z) = \frac{8}{\pi^2} \rho h \ddot{u}_0 \cdot \left(\sum_{n=1, 3, \dots}^{\infty} \frac{1}{n^2} (-1)^{\frac{n-1}{2}} \cos \frac{n\pi z}{2h} \right) \quad (6)$$

式中: $\ddot{u}_0$ 为水平加速度振幅; ω 为简谐振动圆频率; $p^*(x, z)$ 为水域动水压力幅; h 为侧墙挡水深度; ρ 为水体密度。动水压力附加质量的表达式为

$$m_x(z) = \frac{8}{\pi^2} \rho h \left(\sum_{n=1, 3, \dots}^{\infty} \frac{1}{n^2} (-1)^{\frac{n-1}{2}} \cos \frac{n\pi z}{2h} \right) \quad (7)$$

类比到本问题分析的扭转振动问题, 以轴作简谐扭转振动的假设:

$$\theta = \theta_0 \cos \omega t \quad (8)$$

来代替原来刚性水域作简谐水平平移振动的假设, 同时考虑到沿闸体轴向方向的水平平移振动各不相同, 式(8)改写为

$$\ddot{u} = X(x) \ddot{\theta}_0 \cos \omega t \quad (9)$$

式中: $X(x)$ 是一个形状函数, 可以用扭转振动振型函数 $X(x) = \sin \frac{i\pi x}{2L}$ 来模拟, 修改后的侧墙动力压力幅的假设解为

$$p^*(0, z) = -p^*(a, z) = \frac{8}{\pi^2} \rho h \sin \frac{i\pi x}{2L} \ddot{\theta}_0 \cdot \left(\sum_{n=1, 3, \dots}^{\infty} \frac{1}{n^2} (-1)^{\frac{n-1}{2}} \cos \frac{n\pi z}{2h} \right) \quad (10)$$

可以得到修改之后的振动大跨度扭转振动水闸的动水压力附加质量的表达式

$$m_a(x, z) = \frac{8}{\pi^2} \rho h \sin \frac{i\pi x}{2L} \left(\sum_{n=1, 3, \dots}^{\infty} \frac{1}{n^2} (-1)^{\frac{n-1}{2}} \cos \frac{n\pi z}{2h} \right) \quad (11)$$

上述附加质量项中出现了含有 x 的项, 所以经典的振动方程的惯性项为非线性形式, 在考虑附加质量对振动影响时, 仅考虑其一次近似, 即把附加质量在整根轴体上沿 x 方向取积分, 然后取平均值, 保留其平均附加质量效应。因此上述振动微分方程进一步近似为

$$(\rho I + M_t) \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = c \frac{\partial^3 \theta}{\partial x^2 \partial t} + G I_p \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + T(x, t) \quad (12)$$

其中记:

$$M_t = \frac{\int_0^L \left[\int_R^h m_a(x, z) z^2 dz \right] dx}{L} \quad (13)$$

如当闸门处于倾斜状态时, 记水闸此刻的运行倾角为 α 。其附加质量的一般表达式为

$$M_t = \frac{\int_0^L \left[\int_R^h m_a(x, z) \left(\frac{z}{\sin \alpha} \right)^2 dz \right] dx}{L} \quad (14)$$

其绝对坐标下的表达式为

$$(\rho I + M_t) \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} - c \frac{\partial^3 \phi}{\partial x^2 \partial t} - G I_p \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = T(x, t) + (\rho I + M_t) \ddot{u}(t) \quad (15)$$

令

$$u(t) = \phi(0, t)$$

通过模态分解, 在模态坐标下可以获得:

$$\ddot{q}_r(t) + 2\xi_r \omega_r \dot{q}_r(t) + \omega_r^2 q_r(t) = Q_r(t) \quad (16)$$

$$Q_r(t) = \frac{1}{[\rho I + M_{tr}]} \int_0^L T(x, t) \Theta_r(x) dx +$$

$$\ddot{u}(t) \int_0^L \Theta_r(x) dx \quad (r = 1, 2, 3, \dots) \quad (17)$$

其中

$$\Theta_r(x) = \sin \left(\frac{2r-1}{2} \frac{\pi}{l} x \right)$$

$$\omega_r^2 = \left[\left(\frac{2r-1}{l} \pi c' \right)^2 \right]$$

$$c' = \sqrt{\frac{G I_p}{\rho I + M_{tr}}}$$

方程(17)右端第一项表示外载荷, 第二项表示反馈驱动力。对于流固耦合下的模态振型 $\Theta_r(x)$ 与固有频率, 可以采用上面的半解析解或者模态试验获得。由于闸门跨中为软连接即基本无约束, 认为跨中自由扭转, 以原始数据 $L = 51 \text{ m}$, $I_p = 0.54 \text{ m}^4$, $I = 52.66 \text{ m}^4$, $\rho = 7600 \text{ kg/m}^3$, $G = 79 \text{ GPa}$, 计算获得固有频率值见表 1。

表 1 翻板闸门典型开度时的模态频率

阶次	固有频率/Hz		阻尼模型 试验值/%
	模型试验值	计算值	
1	0.927	0.7385	8.190
2	2.257	2.2155	5.130
3	3.514	3.6926	1.253

2 翻板闸门液固耦合振动的模态试验

为验证以上半解析解的准确性 ,同时掌握液固耦合状态下结构的振动响应机制 ,专门设计了 1:10 的结构模型。选择了典型开度下闸门系统的模态试验。在传递函数测试的基础上 ,采用所有测点集总平均的方法识别模态频率 ,同时通过整体振型比较与振型正交性来检验识别结果的可靠性。典型测试工况下 8 号测点的传递函数曲线如图 1 所示。通过振型识别技术可以确定模态频率与模态振型。

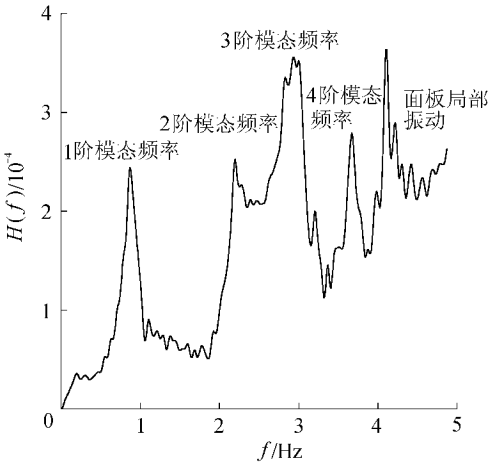


图 1 门顶高程 3.0 m 时 8 号测点加速度
对于扭矩输入的传递函数 $H(f)$

测试结果表明 ,门叶、底轴、启闭系统的模态以扭转振动为主 ,并且模态频率较低。表 1 列出了前 3 阶的模态频率测试结果。试验结果与半解析解的结果有良好的一致性 ,其中第一阶固有频率误差较大 ,主要受模型试验传动机构的摩擦约束影响 ;总体上说明上面提出的半解析解模型是可行的。

从前 3 阶振型可以知道 ,最低固有频率仅在 0.9 Hz 附近 ,因此整个系统将对波浪载荷有一定的敏感性。在不同开度下 ,结构模型试验模态测试结果及上面理论计算结果汇总见表 1。

模型试验结果表明 ,闸门开度越大(门顶高程越小) ,其各阶的模态频率越小。而各阶模态振型没有多大变化 ,低频范围内全部是底轴扭转振动 ,门叶本身的弯曲振动模态频率远高于底轴的扭转振动。综合模态的半解析解与试验模态结果 ,本文采用试验获得的模态频率数据与半解析模态振型数据进行振动控制分析。

3 波浪载荷

在日常运行时 ,翻板门经受的是风与波浪载荷。在恶劣天气条件下 ,主要经受黄浦江口传递的波浪载荷。在现阶段缺乏黄浦江波浪谱的实测资料 ,文献 [9] 结合钱塘江口涌浪实测资料 ,认为涌浪压力近似于谐波函数形式。就理论模型而言 ,在有限水深条件下 ,Wen sheng-Chang(文圣常) [10] 等提出符合中国风浪谱的表达形式 :

$$\tilde{S}(\tilde{\omega}) = \frac{Q}{R_m^2 - 1} P_m \tilde{\omega}^{-p_m} \exp\left[-\frac{P_m}{q_m}(\tilde{\omega}^{-q_m} - 1)\right] + \frac{3.6X(1 - 0.615\eta)}{Q^{0.35}} \left(1 - \frac{Q}{R_m^2 - 1}\right) \exp\left[-\frac{41.1(1 - 0.615\eta)^2}{Q^{0.699}}(\tilde{\omega} - 1)^2\right] \quad (18)$$

即
$$\tilde{S}(\tilde{\omega}) = \frac{\omega_0 S(\omega)}{m_0} \quad (19)$$

其中 $\eta = \left(\frac{2\pi m_0}{d}\right)^{\frac{1}{2}}$ 为深度因子 ; d 为水深 , m_0 为 $S(\omega)$ 的零阶矩($\tilde{S}(\tilde{\omega})$ 是 $S(\omega)$ 的无量纲表达式) ; $Q = R^2 - 1$ ($Q = 4.14(1 + 15\eta^{1.85})P^{-4.8}\eta^{1.5}e^{-0.809P^{0.766}}$) ; $P_m = 1.444 + 0.888\eta$; $R_m = 1.44 + 0.113e^{6.38\eta}$; $p_m = 4.25 - 2.5\eta$; $q_m = 5.5 - 1.78\eta + 1.1\eta^2$; $P = 95.3D^{1.35}$; $D = \frac{H_s}{T_s^2}$, H_s 与 T_s 为卓越波高和周期。

本文风浪荷载模型采用式(18)形式 ,卓越周期取自于台风时长江口风浪谱实测资料 [11] 的风浪谱卓越圆频率换算值 , $T_s = 5.4$ s。风浪载荷对翻板闸门的作用可以按照对底轴的扭矩作用 ,载荷谱通过传递函数到扭矩谱。为论证本文设想的控制过程 ,仅把载荷问题简化为 $T(x, t)$ 与 x 无关的情况 ,而 $T(x, t)$ 与式(18)同形态 ,即认为 $T(\omega) = \kappa S(\omega)$,根据风浪谱直接构造扭矩谱 ,通过滤波器设计构造对应的时域输入信号。

4 翻板闸门液固耦合振动时的模态控制模型

振动体对随机载荷 $T(x, t)$ 的振动响应的控制转变为对方程(16)的模态控制。

波浪力载荷作用 :考虑波浪力作用波长远大于结构的振动位移幅值 ,以及波浪空间效应的简单情况 , $T(x, t)$ 与 x 无关。因此方程可以简化为

$$\ddot{q}_r(t) + 2\xi_r\omega_r\dot{q}_r(t) + \omega_r^2 q_r(t) = \frac{1}{\rho I + M_r} k_r T(t) - k_r \ddot{u}(t) \quad (20)$$

其中
$$k_r = \int_0^l \Theta_r(x) dx = \frac{2l}{(2r - 1)\pi}$$

由于仅有某一单点位置的振动控制 ,因此各阶模态下反馈控制力不互相独立。同时考虑到振动响应主要集中在第一阶模态 ,因此这里讨论控制第一阶模态反应的情况。结构状态方程为

$$\begin{cases} \dot{q}_1 \\ \dot{\ddot{q}}_1 \end{cases} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_1^2 & -2\xi_1\omega_1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} q_1 \\ \dot{q}_1 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{k_1}{\rho I + M_l} \end{pmatrix} T + \begin{pmatrix} 0 \\ -k_1 \end{pmatrix} \ddot{u}(t) = A_1 Z_1 + B_1 U_1 + D_1 T_1 \quad (21)$$

定义控制系统的二次型性能泛函为

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{\infty} [Z_1^T(t) Q_1 Z_1(t) + U_1^T R U_1] dt \quad (22)$$

其控制最优问题转化为式(22)的泛函极值问题。对上述第一阶模态广义坐标状态方程采用 LQR 算法设计控制力反馈增益矩阵 ,其中选取

$$Q_1 = \begin{pmatrix} 10\omega_1^2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R_1 = 50 \quad (23)$$

在模态参数确定的情况下 ,可以采用 Matlab 函数获得控制力反馈增益矩阵 :

$$G = \text{lqr}(A_1, B_1, Q_1, R_1) \quad (24)$$

最优控制力为 $U_1 = -GZ_1$,代入方程(21) ,得到受控结构状态方程

$$\dot{Z}_1 = (A_1 - B_1 G) Z_1 + D_1 T, Z_1(0) = 0 \quad (25)$$

而其他各阶模态的振动响应为反馈力在其余模态的激励结果 ,状态方程为

$$\dot{Z}_r = A_r Z_r + D_r T \quad (26)$$

最终的受控系统的振动响应通过模态叠加为

$$\theta(x,t) = \sum_{r=1}^n q_r(t) \theta_r(x) \quad (27)$$

通过式(21)~(27)数值仿真实现闸门的振动控制。借助 Matlab 进行数值仿真 ,系统控制前后第一阶模态响应见图 2 和图 3 ,最大位移见表 2。

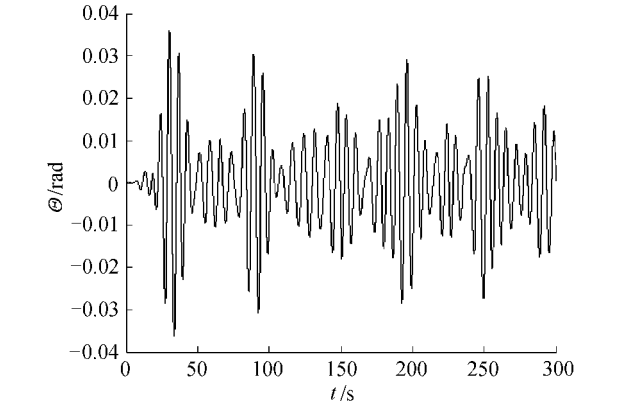


图 2 结构未控制时第一阶模态振动响应
仿真结果表明 ,第一阶模态响应受控前后下降到 44% ,同时由于风浪谱作用的卓越频率在第一阶

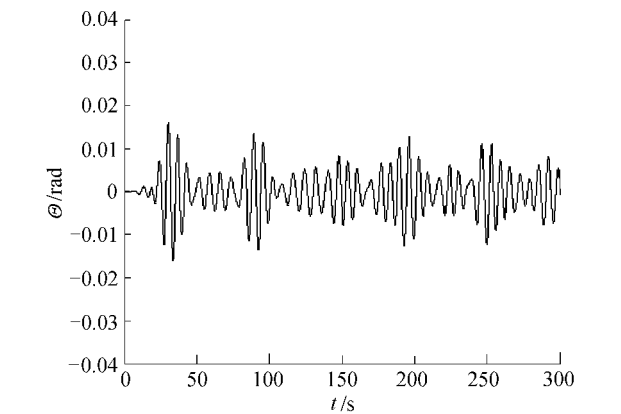


图 3 结构受控后第一阶模态振动响应
表 2 结构受控前后最大位移 rad

状 态	第一阶模态响应	第二阶模态响应	第三阶模态响应
受控前	0.036 24	0.000 66	0.000 10
受控后	0.016 03	0.000 78	0.000 19

模态频率以下 ,因此第二第三阶模态响应均很小 ,在设计与核算时仅考虑第一阶模态足够实用。

由于结构布置的局限性 ,本问题的单点反馈控制机构只能设置在已有的启闭装置上 ,因此控制前后第二、第三阶模态响应反而更大 ;尽管第二第三阶模态响应极小 ,但是在考虑类似问题的振动控制时 ,应仔细研究载荷谱的频带范围 ,以保证较好的控制效果。

5 结 论

通过对苏州河河口翻板闸门的系统分析 ,建立液固耦合振动数学模型 ,通过理论研究获得了该类结构的液固耦合振动的模态 ,计算结果与结构模型试验测试结果比较符合 ;基于驱动端实施的反馈力控制的振动控制模型数值仿真结果表明 ,该控制方法能有效降低风浪载荷作用下的振动响应 ,是可行的。

参考文献 :

[1] 郑哲敏 ,马宗魁 . 悬臂梁在一侧受有液体作用时的自由振动[J]. 力学学报 ,1959 ,3(2) :111-120.
[2] DAIDOLA J C. Vertical and lateral vibrations of Euler beams in a fluid[D]. Castle Point ,Hoboken ,New Jersey :Stevens Institute of Technology ,1983.
[3] 居荣韧 ,曹心传 . 弹性结构与液体的耦联振动理论[M]. 北京 :地震出版社 ,1983.
[4] 马吉明 ,谢省宗 . 孤立闸墩流固耦合振动问题的研究[J]. 水利学报 ,1993(9) :62-69.
[5] 吴一红 ,谢省宗 . 水工结构流固耦合动力特性分析[J]. 水利学报 ,1995(1) :27-34.
[6] 练继建 ,彭新民 . 水工闸门振动稳定性研究[J]. 天津大学学报 ,1999 ,32(2) :171-176.

(下转第 105 页)

[3] 吴杰芳, 张林让, 陈敏中, 等. 三峡大坝导流底孔闸门流激振动水弹性模型试验研究[J]. 长江科学院院报, 2001, 18(5): 76-79.

[4] ZHANG M M, CHENG L, ZHOU Y. Closed-loop control of fluid-structure interactions on a flexibly supported cylinder[J]. European Journal of Mechanics B/Fluids, 2004, 23: 189-197.

[5] 吴一红, 谢省宗. 水工结构流固耦合动力特性分析[J]. 水利学报, 1995(1): 27-34.

[6] 练继建, 彭新民, 崔广涛. 水工闸门振动稳定性研究[J]. 天津大学学报, 1999, 32(2): 171-176.

[7] SARPKEYA T. A critical review of the intrinsic nature of vortex-induced vibrations[J]. J. of Flows and Structures, 2004, 19: 384-447.

[8] DANIELL W E, TAYLOR C A. Full-scale dynamic testing and analysis of a reservoir intake tower[J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 1994, 22(11): 1219-1237.

[9] 邵卫云, 毛根海, 刘国华. 钱塘江涌浪压力动态测试与分析研究[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2002, 36(3): 247-251.

(收稿日期: 2007-01-15 编辑: 高建群)

(上接第 76 页)

- b. 铝系可以通过添加稀土元素提高涂层和基体的结合力, 涂层与基体结合力从优到劣排序为 $RmAl > AcAl > Al$.
- c. 铝系可通过添加其他合金元素改善涂层的电化性能, 提高涂层对基体的电化保护作用, 铝系涂层电化保护作用排序为 $RmAl > AcAl > Al$.

4 结 语

苏州河河口水闸金属结构水下部分要求 30 a 免维护, 目前国内没有现成的防护方案可以借鉴。通过广泛技术征询、专家论证, 特别是专项试验, 对最终确定河口水闸金属结构水下防护方案起到了决定性的作用。河口水闸金属结构水下部分已于 2004 年 10 月下水, 2005 年进行单机、联合调试, 并于 2005 年底完成工程初步验收。经过近两年半的水下运行, 金属结构水下防护体系目前情况良好。河口水闸金属结构水下部分采用的热喷涂 $RmAl$ 合金复合涂层技术加电化学阴极保护技术的“双重防护”体系有望完成 30 a 的水下防护使命, 可以为将来的类似工程提供借鉴。

参考文献:

[1] 罗启全. 铝合金的熔炼与铸造[M]. 广州: 广东科技出版社, 2002: 33-35.

[2] 于兴文, 曹楚南, 林海潮, 等. 铝合金表面稀土转化膜的研究进展[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2000, 20(5): 299-307.

[3] MANSFELD F, BRESLIN C B, PARDO A, etc. Surface modification of stainless steel: green technology for corrosion protection[J]. Surface and Coatings Technology, 1997, 90(3): 224-228.

[4] 胡正前, 张文华. 稀土对复合表面处理 H13 钢耐磨性和高温抗氧化性的影响[J]. 中国稀土学报, 1999, 17(3): 280-283.

[5] HINTON B R W, AMOTT D R, RYAN N E. The inhibition of aluminum corrosion by cerium cations[J]. Metal Forum, 1984, 7(4): 211-217.

(收稿日期: 2007-01-15 编辑: 骆超)

(上接第 100 页)

[7] 严根华, 阎诗武. 水工弧形闸门的水弹性耦合自振特性研究[J]. 水利学报, 1990(7): 49-55.

[8] WESTEGAARD H M. Water pressure on dams during earthquakes[J]. Trans Amer Soc Civ Engng, 1933, 98: 418-472.

[9] 邵卫云, 毛根海, 刘国华. 钱塘江涌潮压力的动态测试与分析研究[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2002, 36(3): 247-251.

[10] WEN Sheng-chang. Effect of water depth on wind-wave frequency spectrum I: spectral form[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 1996, 14(2): 97-105.

[11] 孔亚珍, 丁平兴. 长江口附近海域台风浪特征分析[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2001, 9(3): 85-90.

(收稿日期: 2007-01-15 编辑: 熊水斌)

全国中文核心期刊 中国科技核心期刊 《水利水电科技进展》征订启事

(邮发代号: 28-244, CN32-1439/TV, ISSN1006-7647, 双月刊)

《水利水电科技进展》主要刊登与水科学、水工程、水资源、水环境等学科有关的科技论文, 设有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态、科技简讯等栏目, 适合与水科学、水工程、水资源、水环境等有关的科学研究人员、工程技术人员、科技管理人员以及大专院校师生阅读。

《水利水电科技进展》由邮局发行, 邮发代号: 28-244, 2007 年每期定价 8 元, 全年 6 期共计 48 元。读者亦可直接向编辑部订阅。欢迎个人和单位直接汇款订阅或函索订单。编辑部地址: 210098 南京市西康路 1 号河海大学《水利水电科技进展》编辑部。联系电话: 025-83786335, E-mail: jz@hhu.edu.cn, http://kbb.hhu.edu.cn. 汇款时务请注明“订水利水电科技进展”。