

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (\nabla \Phi \cdot \nabla \Phi) + g\eta - \frac{\sigma}{\rho_w} \left(\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (3)$$

其中 σ 为表面张力系数。

由式 (1) 和 (2) 可得速度势的形式为：

$$\phi = \phi_0 + \phi_1$$

其中： ϕ_0 为由壳的二阶模态引起的速度势， ϕ_1 为一阶重力波的速度势。

η_2 为表面波函数，其具体形式如下：

$$\phi_0(x, y, z, t) = \dot{A}_0(t) \frac{\cosh k_0(z+d) \cos \frac{\pi x}{l} \cos \frac{\pi y}{b}}{\cosh(k_1 d)} \quad (4)$$

$$\phi_1(x, y, z, t) = \dot{A}_1(t) \frac{\cosh k_1(z+d) \cos \frac{2\pi x}{l} \cos \frac{2\pi y}{b}}{\cosh(k_1 d)} \quad (5)$$

$$\eta_2(x, y, t) = c_1 A_1(t) \cos \frac{2\pi x}{l} \cos \frac{2\pi y}{b} \quad (6)$$

此处 $\dot{A}_0(t)$ 、 $\dot{A}_1(t)$ 表示振动的广义坐标， $k_0^2 = \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{b}\right)^2$ ， $k_1^2 = \left(\frac{2\pi}{l}\right)^2 + \left(\frac{2\pi}{b}\right)^2$ ， $c_2 = k_2 \tanh k_2 d$ 。将式 (4) — (6) 代入式 (3) 中，利用模态的正交性，代入各实验数据，得到重力波的运动方程为：

$$\ddot{A}_1(t) + 631.12 A_1(t) = -0.18013 \ddot{A}_0(t) - 493.1 \dot{A}_0(t) \dot{A}_1(t) + 0.22215 \dot{A}_0^2(t) \quad (7)$$

利用湿模态的正交性，经坐标变换，并考虑阻尼的作用，并考虑液固耦合振动系统中系统的固有频率与水的深度的关系，建立壳的二阶模态的振动方程为：

$$\ddot{A}_0(t) + 7559.870371 A_0(t) = -33.04400369 \dot{A}_0(t) + F_0 \sin(\Omega t) - 4151.640384 A_0(t) A_1(t) - 569.9872 A_0(t) A_1^2(t) \quad (8)$$

式中： F_0 为激振力的幅值， Ω 为圆频率。

2 液固耦合系统运动方程组的数值解

联立式 (7)、(8)，进行数值求解， ω_0 和 ω_1 为壳体及系统的圆频率，绘制曲线如图 2—5 所示。

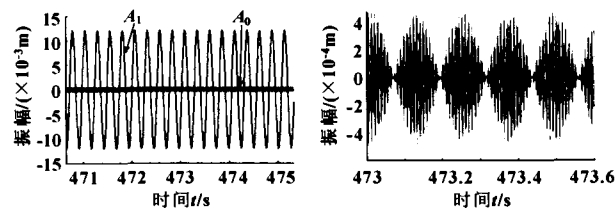


图 2 系统的时间历程曲线 ($F=2.5\text{N}$, $\Omega=\omega_0+\omega_1$)

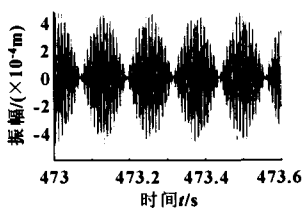


图 3 壳的时间历程曲线 ($F=2.5\text{N}$, $\Omega=\omega_0+\omega_1$)

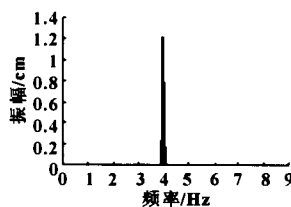


图 4 重力波的幅频曲线 ($F=2.5\text{N}$, $\Omega=\omega_0+\omega_1$)

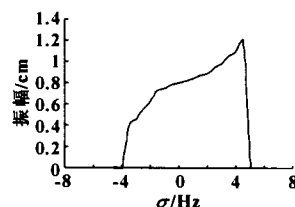


图 5 重力波幅值随激励力频率变化的曲线 ($F=2.5\text{N}$, $\Omega=\omega_0+\omega_1+\sigma$)

3 结论

当液固耦合系统受到的激振力足够大，且激振频率满足 $\Omega=\omega_0+\omega_1$ ，或 $\Omega=\omega_0+\omega_1$ 附近的单频简谐激励力作用时，液面以高频为主的共振运动会转化为以低频为主的大幅重力波运动，能量也由高频向低频转移，从而使高频振动得到抑止。这是一种组合共振现象。本文用流体力学及非线性理论建立了液固耦合系统的运动方程，并用数值方法进行求解，得到的结论与实验现象非常吻合，对于解决此类问题具有一定的实用意义。

参考文献

- [1] D. Y. Hseih. Theory of water waves in an elastic vessel [J]. Acta Mechanica Sinica (English Series), 2000, 16 (2): 97-112.
- [2] D. Y. Hseih, P. Deniddenko. Water waves in a circular elastic vessel; the experiment [C]. Presented at American Physical Society/Division of Fluid Dynamics 51st Annual Meeting, November 22-24, 1998, Philadelphia, PA.
- [3] 刘习军, 王大钧, 陈予恕. 冲液旋转壳的流固耦合自激振动 [J]. 非线性动力学学报, 1995, 2 (4).
- [4] 刘习军, 刘振宇, 等. 圆柱形弹性壳液耦合系统低频大幅重力波机理的研究 [J]. 应用力学学报, 2006, 6(2).
- [5] 张素霞, 刘习军, 贾启芬, 王霞. 矩形弹性壳液耦合系统的模态实验分析 [J]. 机械强度, 2004, 26 (6).

专利信息

专利名称：液压阀门检测装置

专利申请号：CN200420115709.8 公开号：CN2741035

申请日：2004.11.17

公开日：2005.11.16

申请人：上海增欣机电设备制造有限公司

本实用新型公开了一种液压阀门检测装置，包括机床、控制柜、液压原理系统、电气原理系统、管路原理系统、左右工作盘、泵、夹紧装置及连杆机构，所述控制柜安装在机床的右侧，液压原理系统、电气原理系统、管路原理系统在控制柜内，左右工作盘上活动夹爪的径向移动采用连杆机构，所述右侧工作盘设有翻转 90° 的机构。本实用新型具有测试结果准确、结构紧凑、功能完善、性能稳定、操作方便等优点。

(王元荪供稿)