

求解圆柱壳弯曲振动声辐射问题的一种近似解析法

夏齐强¹ 陈志坚¹ 艾海峰¹ 张朋涛²

¹ 海军工程大学 船舶与动力学院, 湖北 武汉 430033

² 海军兵种指挥学院, 广东 广州 510410

摘要: 圆柱壳梁式弯曲振动是一种常见模态,其基于摆动柱声辐射理论。通过引入修正因子,将无限长柱的声压计算转换到有限长柱的声压计算中,提出一种求解圆柱壳弯曲振动声辐射问题的近似解析法。结合算例,计算了其弯曲振动的远场声学特性,并与广泛应用的边界元进行了比较。结果表明,两者具有较好的一致性,近似解析法简单快速,可作为工程评定方法。

关键词: 圆柱壳; 弯曲振动; 声辐射; 解析法

中图分类号: U661.44

文献标志码: A

文章编号: 1673-3185(2011)05-28-04

An Approximate Analytical Method for Bending Vibration and Acoustic Radiation of Long Cylindrical Shell

Xia Qi-qiang¹ Chen Zhi-jian¹ Ai Hai-feng¹ Zhang Peng-tao²

¹ College of Naval Architecture and Power, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China

² Naval Arms of the Services Command College, Guangzhou 510410, China

Abstract: Bending vibration is an ordinary modal of the cylindrical shell. Based on the theory of sound radiation of oscillating cylinder, the acoustic radiation of finite cylindrical shell was transformed from infinite cylinder by introducing a modifying factor, an approximate analytical method for solving bending vibration and acoustic radiation of cylindrical shell was proposed. Taking a special long power cabin as an example, the characteristic of far field acoustic pressure was calculated by the proposed method and boundary element method. The results show the two methods agree well. The proposed method has the advantages of convenient and fast, and it is suitable for engineering evaluation.

Key words: cylindrical shell; bending vibration; sound radiation; analytical method

1 引言

圆柱壳是潜艇、鱼雷等水下航行器舱段的主要结构形式,弯曲振动则是圆柱壳的常见振动模式。例如,潜艇在较低频段就主要表现为整个艇体的梁式弯曲振动^[1],其会诱发低频噪声,不易衰减,且传播距离极远,对航行器的声隐身造成较大威胁。因此,快速有效地估算辐射声场特性具有重要的实际意义。最早对圆柱壳的振动声辐射进行研究都是从无限长圆柱壳开始,但有关无限长圆

柱壳体的振动和声辐射特性研究^[2]对于实际工程应用而言远远不够,相比之下,有限长壳体更接近于工程实际。目前,用于研究有限长圆柱壳结构振动与声辐射问题的方法主要有模态分析法^[3-6]和FEM/BEM法^[7-9]。不过,对于工程实际中的某些情况而言,可以推荐一些能够快速有效地估算振动辐射声场特性的计算方法。本文基于无限长摆动柱声辐射理论,通过引入修正因子,将无限长柱的声压计算转换到有限长柱的声压计算中,提出了一种求解圆柱壳弯曲振动声辐射问题的近似解析

收稿日期: 2011-05-20

基金项目: “十一五”国防科技预研项目(4011101020101)

作者简介: 夏齐强(1984-),男,博士研究生。研究方向:舰船结构振动与噪声控制。E-mail:qqwhhg@163.com

陈志坚(1957-),男,教授,博士生导师。研究方向:舰船结构振动与噪声控制。

E-mail:chenliu1957@yahoo.com.cn

法,同时结合算例,计算了其远场声学特性。

2 圆柱壳弯曲振动的类梁响应分析

设有限长圆柱壳长为 l , 半径为 a , 壳体厚度为 h , 且 $h/a \ll 1$ 。忽略圆柱壳中圆周方向的横向剪应力, 只考虑膜应力而无弯曲力作用。壳的中面位移 u, v, w 沿轴向 z 、圆周方向 φ 和半径方向 r 的位移如图 1 所示。圆柱壳受径向激励, 采用复阻尼模型。根据微元壳的应力应变分析, 导出振动方程^[10]:

$$\begin{aligned} L_{11}u + L_{12}v + L_{13}w &= 0 \\ L_{21}u + L_{22}v + L_{23}w &= 0 \\ L_{31}u + L_{32}v + L_{33}w &= \frac{1-\nu^2}{Eh}f_r \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $L_{11} = \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{\bar{c}_p^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} + \frac{1-\nu^2}{2a^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}$; $L_{12} = L_{21} = \frac{1+\nu}{2a} \frac{\partial^2}{\partial z \partial \varphi}$; $L_{13} = L_{31} = \frac{\nu}{a} \frac{\partial}{\partial z}$; $L_{22} = \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} - \frac{1}{\bar{c}_p^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}$; $L_{23} = L_{32} = \frac{1}{a^2} \frac{\partial}{\partial \varphi}$; $L_{33} = \frac{1}{a^2} + \frac{1}{\bar{c}_p^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}$ 。其中, $\bar{c}_p = \sqrt{\frac{\bar{E}}{\rho(1-\nu^2)}}$, 为平板中平面振动波复相速度; ρ 为薄壳密度; $\bar{E} = E(1+j\eta)$, 为复弹性模量 (E, η 分别为材料储存模量和损耗因子); ν 为泊松比; f_r 为径向激励力。

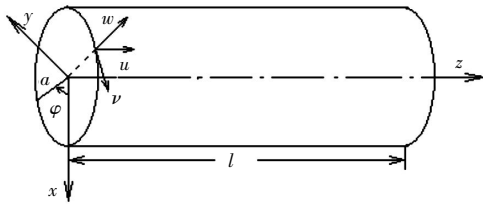


图1 两端简支的圆柱壳

Fig.1 Cylindrical shell with simple supported boundary condition

对于两端简支情况, 其驻波形式解可写为(略去时间简谐项 $e^{j\omega t}$):

$$\begin{cases} u(\varphi, z) = \sum_m \sum_n U_{mn} \cos(n\varphi) \cos(\frac{m\pi}{l}z) \\ v(\varphi, z) = \sum_m \sum_n V_{mn} \sin(n\varphi) \sin(\frac{m\pi}{l}z) \\ w(\varphi, z) = \sum_m \sum_n W_{mn} \cos(n\varphi) \sin(\frac{m\pi}{l}z) \end{cases} \quad (n=0, 1, 2, \dots; m=1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

式中, m 为轴向半波数; n 为环向波数; U_{mn}, V_{mn} 和 W_{mn} 分别为 3 个方向的位移展开系数。

考虑圆柱壳受径向单频激励时, 圆柱壳作梁

式弯曲运动。基于 Euler-Bernoulli 梁假设, 认为任意微段环形单元绕平衡位置可作平面振动, 并引入圆截面内运动假设: 圆柱壳的中面圆截面在壳体变形前后仍然位于原平面内, 即忽略轴向中面位移的影响, 而切向位移 v 和径向位移 w 仍与 φ 和 z 相关。截面形状保持不变, 此时薄壳中沿轴方向的位移等于零。则有:

$$u(\varphi, z) = 0$$

$$v(\varphi, z) = V \sin \varphi \sin(\frac{\pi}{l}z)$$

$$w(\varphi, z) = W \cos \varphi \sin(\frac{\pi}{l}z) \quad (3)$$

设在圆柱壳的径向单频作用力 $f_r(\varphi, z)$ 与 $\varphi = 0$ 的母线对称, 将作用在圆柱壳上的径向外力采用双三角级数表示为:

$$f_r(\varphi, z) = f_r \cos \varphi \sin(\frac{\pi}{l}z) \quad (4)$$

将式(3)和式(4)代入式(1)中, 再利用三角函数的正交性, 可得:

$$\begin{bmatrix} s_{22} & s_{23} \\ s_{32} & s_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ W \end{bmatrix} = -\frac{a^2(1-\nu^2)}{Eh} \begin{bmatrix} 0 \\ f_r \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, $s_{22} = \Omega^2 - (1-\nu)k_m^2 a^2/2 - 1$; $s_{23} = s_{32} = -1$; $s_{33} = -1 - \beta^2(k_m^2 a^2 + 1)^2 + \Omega^2$; 无因次频率 $\Omega = \omega/\omega_r$; 圆柱壳环频率 $\omega_r = c_p/a$, $c_p = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}}$ 。

利用 Cramer 法则, 求解式(5)可以得到壳体径向振动的模态位移幅值 W :

$$W = -\frac{a^2(1-\nu^2)}{Eh} \frac{f_r}{\Omega^2 - \beta^2(k_1^2 a^2 + 1)^2 - 2} \quad (6)$$

从而得到径向模态速度幅值:

$$\dot{W} = -\frac{j\omega a^2(1-\nu^2)}{Eh} \frac{f_r}{\Omega^2 - \beta^2(k_1^2 a^2 + 1)^2 - 2} \quad (7)$$

3 弯曲振动声辐射计算

圆柱壳发生一阶弯曲振动时, 可以看成是无限多个节圆柱在平衡位置做摆动运动。以声场叠加原理为基础, 将复杂壳体离散成 n 个节圆柱, 每个节圆柱围绕平衡位置做摆动运动。这样, 壳体在垂直与轴的方向上振动产生的声场, 便可以看成是 n 个节圆柱各自做摆动运动时所产生声场的叠加。节圆柱在 y 方向振动产生的声场, 如同无限长圆柱壳在 y 方向做摆动运动产生的声场, 其声压可以取以下形式解(略去时间因子 $e^{j\omega t}$),

$$dp(r, \varphi) = A \cos \varphi \cdot H_1^{(2)}(kr) \quad (8)$$

根据法线方向上柱壳面振速和声场中介质

点振速的连续性边界条件:

$$v \cos \varphi = - \frac{1}{j\omega\rho} \left. \frac{\partial p(r, \varphi)}{\partial r} \right|_{r=a} \quad (9)$$

将式(3)中的第3式和式(8)代入式(9), 可得到 A 和 W 的关系:

$$A = \frac{\rho\omega^2}{k} \frac{1}{\left. \frac{dH_1^{(2)}(kr)}{d(kr)} \right|_{r=a}} \cdot W \quad (10)$$

代入式(8)便可得到节圆柱振动产生的辐射场声压:

$$\begin{aligned} dp(r, \varphi) &= \frac{\rho\omega^2}{k} W \cos \varphi \frac{1}{\frac{dH_1^{(2)}(ka)}{d(ka)}} \cdot H_1^{(2)}(kr) \\ &= -j\rho c \dot{w}(\varphi, z) \frac{1}{\frac{dH_1^{(2)}(ka)}{d(ka)}} \cdot H_1^{(2)}(kr) \quad (11) \end{aligned}$$

在远场区, 即 $kr \ll 1$ 时, 由上式可得到:

$$\begin{aligned} dp(r, \varphi) &= -j\rho c \dot{w}(\varphi, z) \frac{1}{\frac{dH_1^{(2)}(ka)}{d(ka)}} \cdot \\ &\quad \sqrt{\frac{2}{\pi kr}} e^{-j(kr - \frac{\pi}{4})} \quad (12) \end{aligned}$$

在 ka 值(小波数尺寸)较小时, 汉克尔函数的导数可以写成:

$$\frac{dH_1^{(2)}(ka)}{d(ka)} = \frac{H_0^{(2)}(ka) - H_2^{(2)}(ka)}{2} \approx -\frac{2j}{\pi(ka)^2} \quad (13)$$

于是,

$$dp(r, \varphi) = \frac{\rho c \pi (ka)^2 v \cos \varphi}{2} \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi kr}} e^{-j(kr - \frac{\pi}{4})} \quad (14)$$

根据声场叠加原理, 整个圆柱壳的弯曲振动声辐射可以看成是许多个节圆柱做摆动运动时产生的辐射声场的叠加。

$$\begin{aligned} p(r, \varphi) &= \sum_{i=1}^n p_i = \int dp(r, \varphi) = \int_0^v \frac{\rho c \pi (ka)^2 \cos \varphi}{2} \cdot \\ &\quad \sqrt{\frac{2}{\pi kr}} e^{-j(kr - \frac{\pi}{4})} dv = \frac{\rho c \pi (ka)^2 v \cos \varphi}{2} \cdot \\ &\quad \sqrt{\frac{2}{\pi kr}} e^{-j(kr - \frac{\pi}{4})} \quad (15) \end{aligned}$$

从式(15)中可以看出, 远场处波面是按柱面扩张, 声压的振幅均按 $r^{-\frac{1}{2}}$ 衰减。该式可用于计算无限长摆动柱的辐射声压, 实际的辐射柱总是有限的。在远离有限长柱处, 远场中的声压不是按柱面扩张规律, 而是按球面规律进行衰减。因此, 引

入修正因子 γ , 借助其通过无限长柱的声压计算, 可转换到有限柱的声压计算中。

$$\gamma = l \sqrt{\frac{\lambda}{r}} e^{j\frac{\pi}{4}} \quad (16)$$

式中, 修正因子 γ 表示从无限长柱转换到有限长柱时声压计算的变换系数; λ 表示波长, $\lambda = \frac{2\pi}{k}$; 因子 \sqrt{r} 涉及到辐射特性的改变, 即由柱面波变成球面波。从而有:

$$p(r, \varphi) = \frac{\rho c^{1/2} \pi k a^2 l v \cos \varphi}{r} \cdot e^{-j(kr - \frac{\pi}{2})} \quad (17)$$

于是, 辐射声功率为:

$$W = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \iint_S p v_n^* dS = 2\pi^3 \rho k^2 a^4 l^2 v^2 \quad (18)$$

4 算例及讨论

现以某动力舱段为例, 计算其弯曲振动时的辐射声场。该舱段长 $l = 32$ m, 半径 $a = 2$ m, 厚度 $t = 25$ mm; 材料为钢, 密度 $\rho = 7.8 \times 10^3$ kg/m³, 弹性模量 $E = 2.1 \times 10^{11}$ Pa, 损耗因子 $\eta = 0.01$, 泊松比 $\nu = 0.3$ 。声压基准值 $p_0 = 2.0 \times 10^{-5}$ Pa, 声功率基准值 $W_0 = 1.0 \times 10^{-12}$ W。圆柱壳两端有封板结构, 两封板筒支, 受径向点力等幅激励, 幅值为 1 N, 作用于圆柱壳 $(l/2, 0)$ 处。

图 2 和图 3 所示分别为圆柱壳的梁式弯曲振型以及弯曲振动时中点表面位移幅值及速度幅值频响曲线。利用频率响应函数, 按照本文推导的简化公式法, 可计算出辐射声压和辐射声功率。图 4 给出了该动力舱作梁式弯曲振动时, 直接运用摆动柱理论和本文的修正法计算得到的辐射声压级谱。同时, 为了验证本方法的可靠度, 还给出了用边界元法计算所得的结果, 以作为对比。

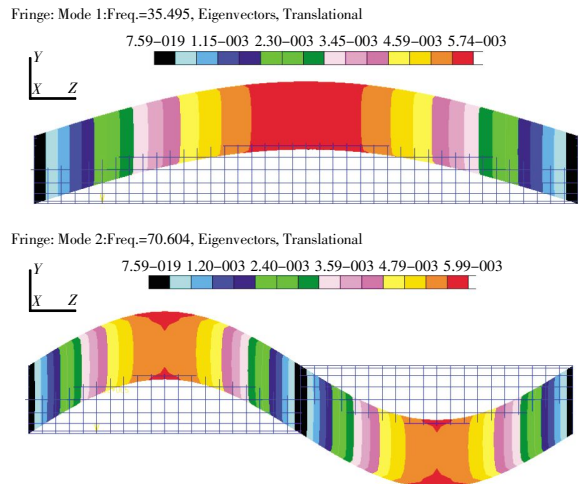


图 2 圆柱壳的梁式弯曲振型
Fig.2 Bending vibration shapes of the cylindrical shell

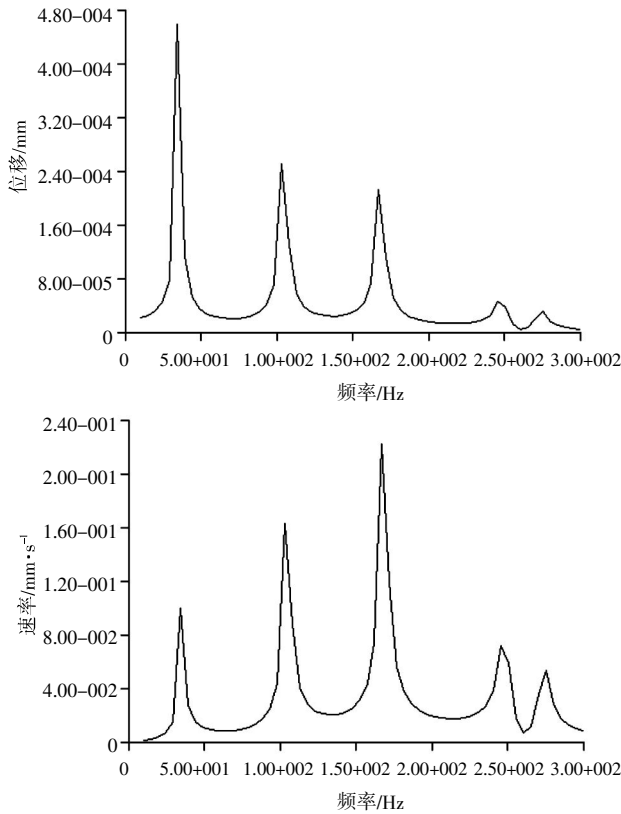


图3 位移和速度频率响应

Fig.3 Displacements and velocities varied with frequency

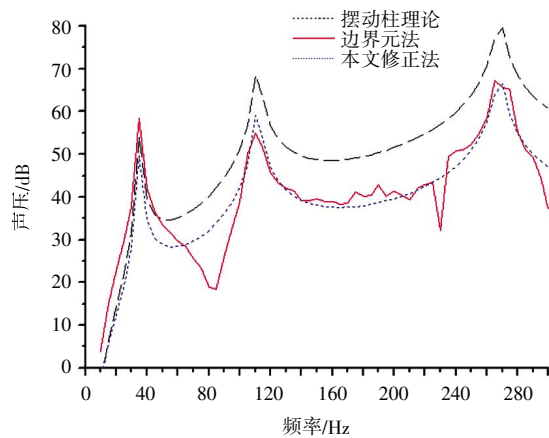


图4 3种方法计算所得声压级谱比较

Fig.4 Comparison of sound pressure spectrum

从图中可看出,用这3种方法计算所得的辐射声压随频率变化的趋势基本一致,直接运用摆动柱理论计算的辐射声压在低频时与边界元法吻合较好,但随着频率的增大,两者差异也较大,这是由于在推导汉克尔函数的导数时,是以低频、远场条件作的近似处理。本文提出的修正法与边界元法具有较好的一致性,这说明考虑到远场声压辐射特性的改变,通过引入修正因子,将无限柱声压计算转换至有限柱是合理有效的。图5所示为动力舱辐射声功率级谱,表1所示为本文方法与边界元法计算的辐射声功率级在几个典型频率下

的对比。从表中可看出,按照本文方法计算所得的辐射声功率与用边界元法计算所得结果相比,误差均在10%以内,产生误差的原因主要在于在推导过程中有一定的简化。在讨论圆柱壳(小波数尺寸)梁式弯曲振动引起的辐射声压时,可以近似用本文提出的改进型摆动圆柱体声场计算公式进行估算,不仅方便快捷,而且还能反映出辐射声压的特性。

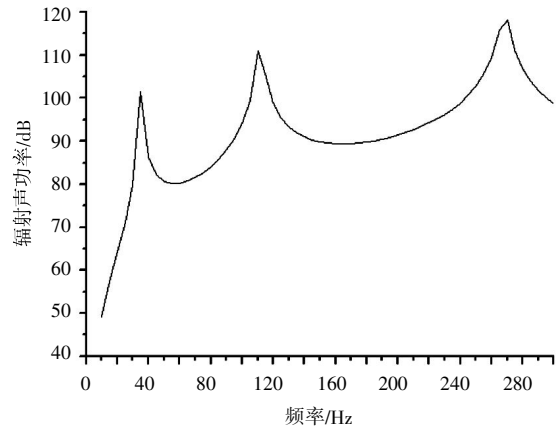


图5 辐射声功率级谱

Fig.5 The sound power spectrum

表1 远场辐射声功率的估算结果及相对误差

Tab.1 Estimated results and relative errors of the far-field acoustic power level

| 频率/Hz | 辐射声功率/dB | | |
|-------|----------|------|-------|
| | 本文方法 | 边界元法 | 相对误差 |
| 35 | 102 | 108 | 5.56% |
| 110 | 112 | 115 | 2.60% |
| 270 | 123 | 130 | 5.38% |

5 结语

圆柱壳的梁式弯曲振动是重要的振动模式,由于壳体表面具有弯曲度,实际声辐射过程比较复杂。对于工程实际中的某些情况而言,可以推荐使用一些能够快速有效地估算出其振动辐射声场特性的计算方法。本文提出了一种求解圆柱壳弯曲振动声辐射问题的近似解析法。在讨论圆柱壳长度大于声波波长,由梁式弯曲振动引起的声辐射问题时,该方法是一种简单快速且适用的工程评定法。

参考文献:

[1] 陈志坚. 舰艇振动学[M].北京:国防工业出版社,2010.
 [2] 沈杰罗夫. 水声学波动问题[M].何祚镛,赵晋英,译.北京:国防工业出版社,1983.

(下转第45页)

分析了 Wigly 数学船模在斜航时周围流场的分布规律,给出了具有重要意义的结论:即使不计升力效应,只计厚度效应,斜流下的转舵力矩也不能忽略;在后续采用库塔条件求解有升力的操纵性水动力问题时,厚度效应应计入联立方程组求解,或叠加计入厚度效应产生的水动力。这些计算结果和结论符合实际船舶操纵运动规律,对研究船舶在操纵运动中的水动力变化规律有指导意义,同时,也为下一步研究增加尾涡,计入库塔条件确定船舶斜航时有升力条件下的横向力奠定了基础。

参考文献:

- [1] 范尚雍. 船舶操纵性[M]. 武汉:海军工程大学,2004.
- [2] 田喜民. 船舶操纵性运动粘性水动力数值与试验研究[D].上海:上海交通大学,2008.
- [3] 卢晓平,姚迪,王波. 三体船操纵性计算与特性分析[J]. 海军工程大学学报,2009,21(1):47-53.
- [4] 姚迪,卢晓平. 三体船横摇模型试验及其特性分析[J]. 中国舰船研究,2010,5(4):6-11.
- [5] 柏铁朝. 潜艇操纵性水动力数值计算中湍流模式的比较与分析[J]. 中国舰船研究,2010,5(2):22-28.
- [6] 张显库. 船舶操纵性指数预报研究 [J]. 中国航海,2009,32(1):97-101
- [7] 邱磊. 船舶操纵相关粘性流及水动力计算[D].武汉:武汉理工大学,2003.
- [8] 吴秀恒. 船舶操纵性[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [9] 戴遗山. 舰船在波浪中运动的频域与时域势流理论[M].北京:国防工业出版社,1998.



(上接第 31 页)

- [3] PETER R S. Modal coupling in the vibration of fluid-loaded cylindrical shells [J]. Acoust. Soc. Am,1982,71(4):813-823.
- [4] 严谨,李天匀,刘土光.流场中周期环肋圆柱壳辐射声压的理论和实验研究[J].中国舰船研究,2007,2(1):49-51.
- [5] 汤渭霖,何兵蓉. 水中有限长加肋圆柱壳体振动和声辐射近似解析解[J].声学学报,2001,26(1):1-5.
TANG W L,HE B R. Approximate analytic solution of vibration and sound radiation from stiffened finite cylindrical shells in water[J]. ACTA Acoustica,2001,26(1):1-5.
- [6] 陈美霞,骆东平.有限长双层壳体声辐射理论及数值分析[J].中国造船,2003,44(4):59-67.
- [7] ZHANG X M,LIU G R,LAM K Y. Simulation of vibration and acoustic radiation of finite underwater cylindrical shells[C]//DE-Vol.108/DSC-Vol.68,Dynamics, Acoustics and Simulations.ASME,2000;121-126.
- [8] 石焕文,盛美萍,孙进才等.加纵肋平底圆柱壳振动和声辐射的 FEM/BEM 研究 [J]. 振动与冲击,2006,25(2):88-92.
- [9] AI H F,CHEN Z J,XIA Q Q. The influence of load type and endcap shape on the sound radiation of closed and ribbed cylindrical shell structure [C]//2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering.Chengdu;Institute of Electrical and Electronics Engineers,Inc,2010;666-669.
- [10] 何祚镛. 结构振动与声辐射[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2001.



(上接第 40 页)

- [2] SCAVUZZO R J, PUSEY H C. Naval shock analysis and design [M].HI-TEST Laboratories,Inc., 2007.
- [3] BALANDIN D V,BOLOTNIK N N,PILKEY W D.Optimal protection from impact, shock and vibration [M]. CRC Press, 2001.
- [4] 汪玉,王官祥.舰船系统的设备的抗冲击性能动力学仿真[J].计算机仿真,1999,16(1):27-29.
- [5] 柳贡民,刘志刚,张文平,等.以逐步积分法计算舰船柴油机和隔振装置冲击响应[J].哈尔滨工程大学学报,1997,18(4):19-24.
- [6] 赵应龙,何琳,黄映云,等.船舶浮筏隔振系统冲击响应的时域计算[J].噪声与振动控制,2005,25(2):14-17.
- [7] 刘建湖.舰船非接触水下爆炸动力学的理论和应用[D].无锡:中国船舶科学研究中心,2002.
- [8] BV0430-85 德国国防军舰建造规范—冲击安全性[S].科布伦茨:联邦德国国防装备技术和采购局,1989.

目 次

| | |
|--------------------------------------|----------------------|
| 美国航空母舰防护结构设计探析 | 吴国民 周心桃 段 宏 朱英富(1) |
| 单/双壳体潜艇结构耐撞剩余强度特性研究 | 梅志远 李 卓 吕岩松(7) |
| 纵筋环肋圆柱壳结构理论与试验研究 | 刘朝骏 张达宽 杨宇华(11) |
| 均匀受压含裂纹损伤加筋板的极限承载能力分析 | 张 琴 肖桃云 刘敬喜(16) |
| 舰船刚性阻振质量基座振动特性优化设计 | 姚熊亮 王强勇 朱 枫 庞福振(23) |
| 求解圆柱壳弯曲振动声辐射问题的一种近似解析法 | 夏齐强 陈志坚 艾海峰 张朋涛(28) |
| 考虑声辐射特性的船舶板架结构动力优化设计 | 何 力 程远胜(32) |
| 大型涡轮机组抗冲击性能数值研究 | 方 超 岳永威 王 超 曹冬梅(37) |
| 基于势流理论的船舶操纵水动力分析 | 詹金林 卢晓平 崔 焰 王家林(41) |
| 基于改进的混沌优化的翼滑艇推进系统仿真 | 陈鹭鹭 董 亮 程海边(46) |
| 基于摇板式造波机的无反射造波仿真 | 蒋 颀 丁 勇(50) |
| 螺旋桨旋涡发放数值模拟 | 张营川 马 骏(55) |
| CFD 敞水螺旋桨性能计算分析 | 缪宇跃 孙江龙(63) |
| 三体船横摇惯性半径的估算方法研究 | 周立师 段文洋(69) |
| 矩形液舱横荡流体载荷的 Fluent 数值模拟 | 张书谊 段文洋(73) |
| 船用曳引式升降机动力学建模及仿真分析 | 周雅杰 胡婉婷 唐 滢 刘成岗(78) |
| 复合材料舰船全船有限元分析的建模方法研究 | 何 凯 唐文勇 罗 凯 贺远松(83) |
| 基于电抗加载的单通道五元多波束扫描天线阵设计方法研究 | 李戈阳 李 瑞 李维林(89) |
| 舰载捷联惯导姿态更新算法研究 | 冷 悦 张 琛(94) |
| 船舶能量管理系统子站通信接口研究 | 杨 鹏 卜乐平 王黎明(98) |
| 基于遗传算法的编队条件下舰船修理周期结构优化 | 朱晓军 张 涛 彭 飞 李 钢(103) |
| 基于 RRTConCon 算法的船舶装配拆卸高斯采样路径规划 | 闫富玉 朱晓军 彭 飞(108) |
| 舰船维修招标项目评标方法研究 | 官宝宁 魏汝祥 刁 鹏(113) |

期刊基本参数:CN42-1755/TJ*2006*b*A4*116*zh*P*¥20.00*2 000*23*2011-10

Contents

| | |
|---|--|
| Analysis on Design of U.S. Aircraft Carrier Protection Structures | Wu Guo-min Zhou Xin-tao Duan Hong et al. (1) |
| Comparison of Residual Strength Characteristics for Double and Single Hull Submarine Subjected to Impact Loading | Mei Zhi-yuan Li Zhuo Lü Yan-song(7) |
| Experimental and Theoretical Analysis of Ring-Stiffened Cylindrical Shells with Longitudinal Stiffeners | Liu Chao-jun Zhang Da-kuan Yang Yu-hua(11) |
| Ultimate Strength Analysis of Cracked Stiffened Plates Under Uniaxial Compression Loads | Zhang Qin Xiao Tao-yun Liu Jing-xi(16) |
| Optimal Design of Vibration Characteristics of Ship Pedestal with Rigid Vibration Isolation Mass | Yao Xiong-liang Wang Qiang-yong Zhu Feng et al. (23) |
| An Approximate Analytical Method for Bending Vibration and Acoustic Radiation of Long Cylindrical Shell | Xia Qi-qiang Chen Zhi-jian Ai Hai-feng et al. (28) |
| Structural Dynamic Optimization of Grillage Structures Considering Sound Radiation Characteristic | He Li Cheng Yuan-sheng(32) |
| Numerical Research on Shock Resistance of Large-Sized Turbines | Fang Chao Yue Yong-wei Wang Chao et al. (37) |
| Hydrodynamic Analysis of Ship Maneuverability by the Potential Flow Theory | Zhan Jin-lin Lu Xiao-ping Cui Yan et al. (41) |
| Simulation of Gliding-Hydrofoil Craft Propulsion System Using Improved Chaos Optimum Algorithm | Chen Si-lu Dong Liang Cheng Hai-bian(46) |
| Simulation of Non-Reflective Wave Making by Flap-Type Wave-Maker | Jiang Jie Ding Yong(50) |
| Numerical Simulation on Vortex Shedding of Propeller | Zhang Ying-chuan Ma Jun(55) |
| CFD Analysis of Hydrodynamic Performance of Propeller in Open Water | Miao Yu-yue Sun Jiang-long(63) |
| Assessment Method for the Rolling Inertia Radius of Trimaran | Zhou Li-shi Duan Wen-yang(69) |
| Numerical Simulation of Sloshing Loads on Rectangular Tank Based on Fluent | Zhang Shu-yi Duan Wen-yang(73) |
| Dynamic Modeling and Simulation Analysis of Ship Traction Elevator | Zhou Ya-jie Hu Wan-ting Tang Ying et al. (78) |
| Finite Element Modeling Method for Composite Ship Hull | He Kai Tang Wen-yong Luo Kai et al. (83) |
| Design Method of Reactance Loading Based Single Channel Five-Element Multi-beam Scanning Antenna Array | Li Ge-yang Li Rui Li Wei-lin(89) |
| Algorithm of Updating Attitudes for Shipborne Strap-Down Inertial Navigation System | Leng Yue Zhang Chen(94) |
| Sub-Station Communication Interface of Ship Energy Management System | Yang Peng Pu Le-ping Wang Li-ming(98) |
| Periodical Structure Optimization of Fleet-Wide Ship Repair by Genetic Algorithm | Zhu Xiao-jun Zhang Tao Peng Fei et al. (103) |
| Gaussian Sampling Path Planning of Ship Assembly/Disassembly Based on RRTConCon Algorithm | Yan Fu-yu Zhu Xiao-jun Peng Fei(108) |
| Method and Application in the Assessment of Tendering Project of Ship Maintenance | Guan Bao-ning Wei Ru-xiang Xi Peng(113) |

Serial parameters: CN42 - 1755 / TJ * 2006 * b * A4 * 116 * zh * P * ¥ 20.00 * 2 000 * 23 * 2011 - 10