

复合材料舰船全船有限元分析的建模方法研究

何凯¹ 唐文勇¹ 罗凯² 贺远松²

1 上海交通大学 海洋工程国家重点实验室, 上海 200030

2 中国船舶及海洋工程设计研究院, 上海 200011

摘要: 基于层合板等效刚度模型, 将复合材料舰船结构中的层合板简化为正交各向异性单层板, 采用三维退化单层板元建立全船有限元模型, 并以调整局部刚度以及网格细化的方式准确反映局部搭接处结构的力学特征。通过对全船模态、刚度和局部应力的有限元分析计算, 以及与实验结果的对比, 表明所提出的复合材料舰船全船有限元分析建模方法不仅建模工作量小, 而且计算精度能满足工程要求。

关键词: 复合材料舰船; 三维退化板元; 等效刚度; 板筋搭接区; 有限元模型

中图分类号: U668.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-3185(2011)05-83-06

Finite Element Modeling Method for Composite Ship Hull

He Kai¹ Tang Wen-yong¹ Luo Kai² He Yuan-song²

1 State Key Laboratory of Ocean Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China

2 Marine Design and Research Institute of China, Shanghai 200011, China

Abstract: Based on the laminate equivalent stiffness model, the laminates of composite ship hull were simplified as orthotropic lamina, and using degenerated 3D single lamina a whole ship finite element (FE) model was established. With this model, stiffness of equivalent lamina and grid refinement was adjusted to precisely reflect mechanical properties of laps with local reinforcement. The results from the FE calculations on the modals, stiffness and local stress of whole ship under different load conditions were compared with the experimental results. It shows that using this method not only consume less working load but also can meet the requirement of engineering application.

Key words: composite ship; degenerated 3D finite element; equivalent stiffness; overlap region; FE model

1 引言

复合材料因普遍具有比强度高、比刚度大、抗疲劳性好、耐腐蚀、可设计性好和加工成型方便等优点, 因而被广泛应用于舰船结构中^[1]。近年来, 随着复合材料及其成型工艺, 以及质量控制技术的发展和结构应用形式的改进, 采用复合材料的军/民用船舶开始出现大型化的发展趋势, 其结构安全性能的评估越来越引人关注。复合材料舰船的基本结构单元——层合板及加筋层合板具有几何结构复杂、边界条件多样等特点, 因此, 相对解析方法, 采用有限元数值分析法更为适用, 且目前

的应用也最为广泛。

复合材料层合板一般具有非均质性、各向异性和厚度方向的分层等特点, 这些特点使均质各向同性板壳的有限单元无法准确模拟层合板的力学特性。为解决该问题, 近年来, 国内外学者提出了各种层合单元, 这些单元的设计主要基于三维层合板理论及等效单层板理论。

理论上, 基于三维层合板理论的三维元^[2]可以准确反映层合板的力学特性。在采用该单元划分网格时, 为保证计算精度, 沿层合板的厚度方向需要划分一定数量的单元, 且三维单元厚度方向的尺度与其他两个方向的尺度之比不能太小, 否

收稿日期: 2011-06-16

作者简介: 何凯(1986-), 男, 硕士研究生。研究方向: 复合材料船体结构强度分析。E-mail: kaihe_2004@163.com

唐文勇(1970-), 男, 教授, 博士生导师。研究方向: 船舶结构力学、船舶设计新方法 & 风险评估等。

E-mail: wytang@sjtu.edu.cn

则将导致刚度矩阵出现病态^[3],给求解带来困难。当结构较为复杂时,建模的工作量会非常大,同时单元和节点的数量也将大幅增加,因此,在全船有限元分析中,不宜全部采用三维元建模。

相对三维元,基于等效单层板理论的板壳元更具实用价值,如基于经典层合板理论的板壳元^[4]、基于一阶剪切理论的非线性三维退化元^[5]等。但基于经典层合板理论的板壳元没有考虑结构的剪切变形,不宜用于层合板的分析。从计算效率和计算精度来看,复合材料三维退化元是各类单元中最为可取的单元。

基于一阶剪切层合板理论有限元方法, Lin等^[6]研究了复合材料层合板的自振频率与阻尼特性, Han等^[7]研究了复合材料层合板在静水压力下的屈曲,唐文勇等^[8]对复合材料加筋层合板的极限强度进行了分析,均取得了一定精度的结果,验证了一阶剪切层合板理论的适用性。但他们的分析对象都较为简单,所用到的有限元模型均是采用精确铺层的层合板单元,并且只关注了结构的整体效应,而没有分析结构的局部应力水平。实际上,由于复合材料骨材与板的搭接特点,有限元模型难以精确反映该处的铺层,并且仅采用层合板单元也不能准确获得板与骨材相交处的局部应力。

本文将复合材料层合板简化为具有等效弹性模量的正交异性单层板,采用基于一阶剪切理论的三维退化元建立复合材料舰船的全船有限元模型,并以局部模型细化和刚度调整的方式来准确反映搭接区域的力学特征。通过对全船振动、变形以及静力数值的分析,并与1:1实船实验结果进行对比,表明本文提出的建模思路不仅可以提高复合材料舰船结构的分析效率,还能很好地满足工程精度要求。

2 复合材料舰船的全船结构有限元建模

迄今为止,我国复合材料船体的各主要部件(船壳、甲板、舱壁等)大多采用带有加强筋的层合板结构(即单板加筋结构)。由于复合材料的弹性模量比钢材低得多,故多采用可以提高加筋骨材扭转与弯曲刚度的帽形截面的骨材。骨材与板之间普遍采用边缘削斜的单搭接胶接方式连接。

本文以一艘玄武岩纤维复合材料交通艇的主船体作为分析对象。该艇总长18.80 m,型宽4.48 m,型深2.05 m,梁拱0.06 m。根据不同的受力特征,船体各主要部件的板与骨材采用具有不同铺层方式的玄武岩纤维增强加筋层合板。

2.1 层合板的等效及其材料属性

为了应对舰船结构承受的复杂载荷,并消除层合板的拉弯耦合作用,往往采用 $0^\circ, \pm 45^\circ, 90^\circ$ 对称铺层的层合板。针对较厚的层合板, Sun等^[9]提出了三维等效弹性常数模型。该模型假设层合板一般有 N 层正交各向异性板,系统坐标系的 x 和 y 轴在层合板面内, z 轴垂直于层合板。由于每个子层的厚度都很小,因而应力和应变在面内方向的数值相等。每个子层的宏观应力、应变分别为 $\sigma_{ij}^{(k)}$ 和 $\varepsilon_{ij}^{(k)}$,由于已经假定每个子层的应力、应变为常值,则

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{ij} &= \sum_{k=1}^N \nu_k \sigma_{ij}^{(k)} \\ \bar{\varepsilon}_{ij} &= \sum_{k=1}^N \nu_k \varepsilon_{ij}^{(k)} \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $\nu_k = \frac{t_k}{h}$, 为每个子层的厚度因子,其中 t_k 表示每个子层的厚度, h 表示总厚度。根据应力和位移层间连续性,假设:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx}^{(k)} &= \bar{\varepsilon}_{xx}, \quad \varepsilon_{yy}^{(k)} = \bar{\varepsilon}_{yy}, \quad \gamma_{xy}^{(k)} = \bar{\gamma}_{xy} \\ \sigma_{zz}^{(k)} &= \bar{\sigma}_{zz}, \quad \sigma_{yz}^{(k)} = \bar{\sigma}_{yz}, \quad \sigma_{xz}^{(k)} = \bar{\sigma}_{xz} \end{aligned}$$

假定层合板的等效刚度矩阵为 $[\bar{c}]$,则层合板的本构关系为:

$$\begin{bmatrix} \bar{\sigma}_{xx} \\ \bar{\sigma}_{yy} \\ \bar{\sigma}_{zz} \\ \bar{\sigma}_{yz} \\ \bar{\sigma}_{xz} \\ \bar{\sigma}_{xy} \end{bmatrix} = [\bar{c}] \begin{bmatrix} \bar{\varepsilon}_{xx} \\ \bar{\varepsilon}_{yy} \\ \bar{\varepsilon}_{zz} \\ \bar{\varepsilon}_{yz} \\ \bar{\varepsilon}_{xz} \\ \bar{\varepsilon}_{xy} \end{bmatrix} \quad (2)$$

柔度矩阵为 $[\bar{s}] = [\bar{c}]^{-1}$,则等效模量为:

$$\begin{aligned} \bar{E}_x &= \frac{1}{\bar{S}_{11}}, \quad \bar{E}_y = \frac{1}{\bar{S}_{22}}, \quad \bar{E}_z = \frac{1}{\bar{S}_{33}} \\ \bar{\nu}_{yz} &= -\frac{\bar{S}_{23}}{\bar{S}_{22}}, \quad \bar{\nu}_{xz} = -\frac{\bar{S}_{31}}{\bar{S}_{11}}, \quad \bar{\nu}_{xy} = -\frac{\bar{S}_{21}}{\bar{S}_{11}} \\ \bar{G}_{yz} &= \frac{1}{\bar{S}_{44}}, \quad \bar{G}_{xz} = \frac{1}{\bar{S}_{55}}, \quad \bar{G}_{xy} = \frac{1}{\bar{S}_{66}} \end{aligned} \quad (3)$$

根据船体结构不同部位层合板的铺层方式,先按照公式(1)和公式(2)建立层合板的等效刚度矩阵,然后依据公式(3)求得层合板的等效弹性模量。

本文所研究交通艇不同的部件采用不同层数的铺层,且为铺层角度为 $0^\circ, \pm 45^\circ, 90^\circ$ 对称组合的层合板,其中每个子层为玄武岩纤维双向布/乙烯基酯树脂复合材料薄板,其材料性能见表1。根

据三维等效弹性常数模型进行材料属性的等效,可求得船体各部分层合板的等效材料常数。

表 1 子层的性能参数

Tab.1 Material properties of each single-layer

参数	值
E_1/GPa	18.1
E_2/GPa	18.1
E_3/GPa	1.81
ν_{12}	0.30
ν_{13}	0.30
ν_{23}	0.30
G_{12}/GPa	5.57
G_{13}/GPa	2.55
G_{23}/GPa	2.55

注:下标 1、2 表示面内纤维方向;下标 3 表示垂直于面内的方向。

2.2 全船有限元模型构建

采用 MSC.PATRAN 提供的基于一阶剪切理论的三维退化板元(Quard4 和少量的 Tria3)建立整船模型,材料属性采用刚度等效结果。骨材、舱壁与板之间的连接往往采用重复铺层的搭接方式。由于这些只是结构的局部特征,对结构的整体性能没有太大影响,故在进行舰船结构整体动态性能和静态刚度分析时,不考虑粘接时的搭接几何特征等局部细节,而只抓住主要特征以简化建模。为保证分析精度,要求单元的尺寸取最小帽型加筋横剖面的几何尺寸 a ,并且舰船结构的帽型加筋也采用板壳单元进行模拟。同时,将 3 号和 29 号肋位处的外底板简支,以模拟实验时的支撑方式。全船有限元模型单元数为 70 461,节点数为 57 490,如图 1 所示。

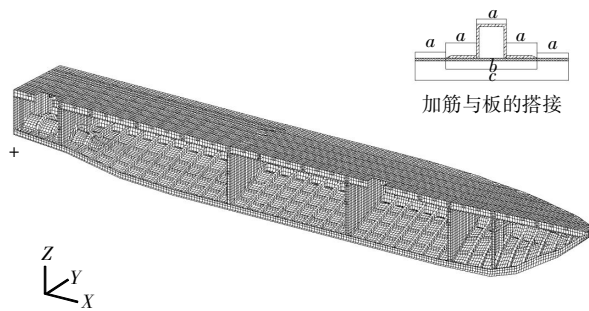


图 1 有限元模型(只取左舷显示)

Fig.1 FE model (port)

3 有限元计算与实验结果比较分析

3.1 整体力学性能对比分析

整体力学性能对比主要是进行振动模态、整体变形的对比,以验证有限元模型的准确性。本文针对所研究的交通艇,进行了 1:1 的实船实验。在进行全船模态实验时,先用起重机将船垂直起吊,

然后对船体的横舱壁或者刚性较大的位置进行锤击激振。频率的实验测量结果与采取简化有限元模型的数值计算结果对比如表 2 所示,模态对比如图 2 所示。

表 2 固有频率比较

Tab.2 Comparisons of natural frequency

模态阶数	频率/Hz		相对误差
	实验	数值计算	
一阶	13.391	13.438	0.30%
二阶	29.324	28.546	2.65%

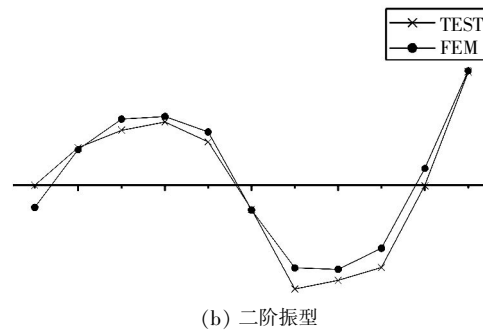
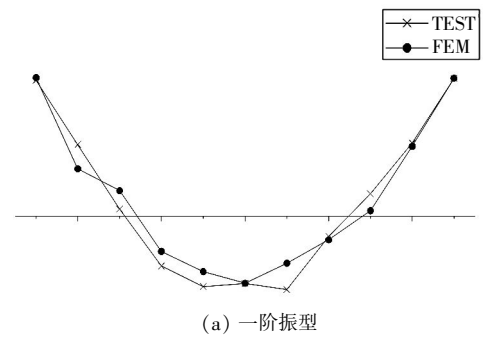


图 2 模态对比

Fig.2 Comparisons of modal

从表 2 和图 2 中可看出,数值计算模态与实验模态从阶次上一一对应,对应阶次频率值相对误差的绝对值在 5% 以下,且振型具有较好的相关性,表明基于一阶剪切理论板元所建立的有限元模型能很好地反映实际结构的振动特性。

静态刚度和强度实验采取在舱内注水的方式,分 5 个不同的水位依次进行(表 3),以相应作为 5 个工况测量船体结构在中垂弯曲载荷作用下的位移和应变。同时,仍采用基于一阶剪切理论板元的全船有限元模型进行相同工况的数值分析。

表 3 加载工况

Tab.3 Loading conditions

工况(注水次序)	注水高度/m	本次注水量/m ³	累积注水量/m ³
5	1.88	25.75	95.89
4	1.52	24.39	70.14
3	1.14	22.86	45.75
2	0.76	17.61	22.88
1	0.38	5.27	5.27

测量点 F_i (i 为测点编号, 取值为 1~7) 的布置如图 3 所示。实验中, 采用在测量点处布置位移传感器的方式测量测点的垂向位移。采用全船有限

元模型进行分析, 并将计算结果与实验结果进行对比分析(图 4), 其中, TEST 为实验测量的挠度值, FEM 为有限元数值计算结果。

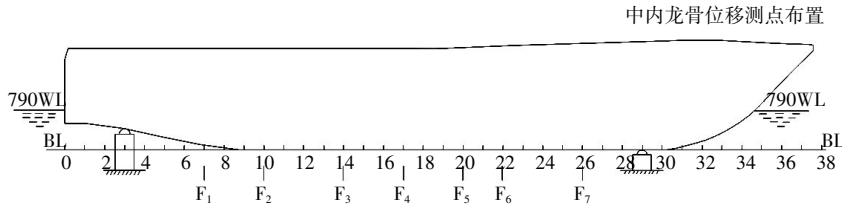


图 3 垂向位移对比点位置示意图

Fig.3 Comparison points of vertical displacement

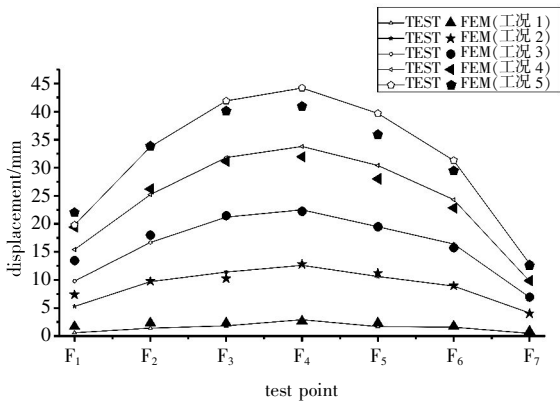


图 4 各工况下的挠曲线

Fig.4 Deflection curve under different conditions

从图 4 中可看出, 除靠近支座的测量点受边界效应的影响外, 其他测量点有限元分析得到的挠度和实验测量值同注水量有着几乎一致的关系, 并且有着相近的挠度分布。比较结果表明, 基于一阶剪切理论板元有限元模型计算的挠度与实

验测得的挠度吻合较好。

3.2 局部应力计算结果对比分析

应力计算对比点 S_i (i 为对比点编号, 取值为 1~4) 的分布位置如图 5 所示。实验中, 采用在测量点处贴应变花的方式测量局部应变值 ϵ_0 (沿船长方向) 和 ϵ_{90} (沿船宽方向), 并利用式(4)求得 ϵ_{45} 。根据广义胡克定律, 得到式(5)和式(6), 求得分应力 σ_0, σ_{90} 和 τ , 再基于材料力学中的第 4 强度理论, 由公式(7)求得等效应力 σ_e 。

$$\gamma = \epsilon_0 + \epsilon_{90} - 2\epsilon_{45} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \sigma_0 = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_0 + \nu\epsilon_{90}) \\ \sigma_{90} = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_{90} + \nu\epsilon_0) \end{cases} \quad (5)$$

$$\tau = G\gamma \quad (6)$$

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_{90}^2 - \sigma_0\sigma_{90} + 3\tau^2} \quad (7)$$

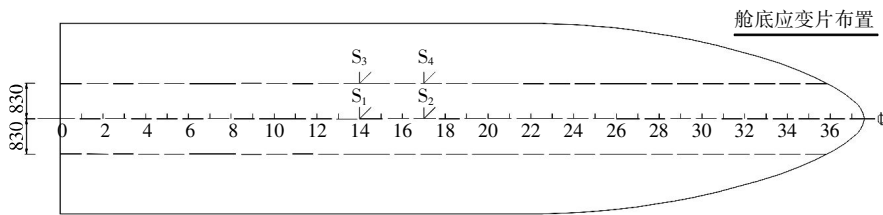


图 5 应力对比点分布

Fig.5 Comparison points of stress

由于应变片的粘贴在实际操作中存在误差, 并且应变片测量值是一片区域的应变值, 故在有限元模型中选择测量点附近一定区域与测量点的位置进行对应更为合理。输出有限元数值结果时, 选择以测量点为中心的方形区域(边长为 b) 内的单元节点应力值, 提取最大值与最小值作曲线并与实验值进行对比(图 6)。其中, 曲线 TEST 为实验测得的等效应力与工况的关系曲线, 曲线 MAX 和 MIN 为简化有限元模型计算结果。从图中可看出, 由于有限元模型对局部结构的简化使得数值

分析得出的局部应力水平相对实验值较小, 为提高数值分析的准确性, 需要根据实际结构特征调整有限元模型。

4 局部模型调整方法

骨材与板之间多采用胶接的方式, 且具体形式较多^[10], 其中单搭接形式较为简单, 在复合材料舰船结构中应用较广。搭接工艺的特点以及骨材与外板之间刚度的差异导致骨材与板连接部位产生了应力集中^[11], 因此, 为了得到更准确的结果,

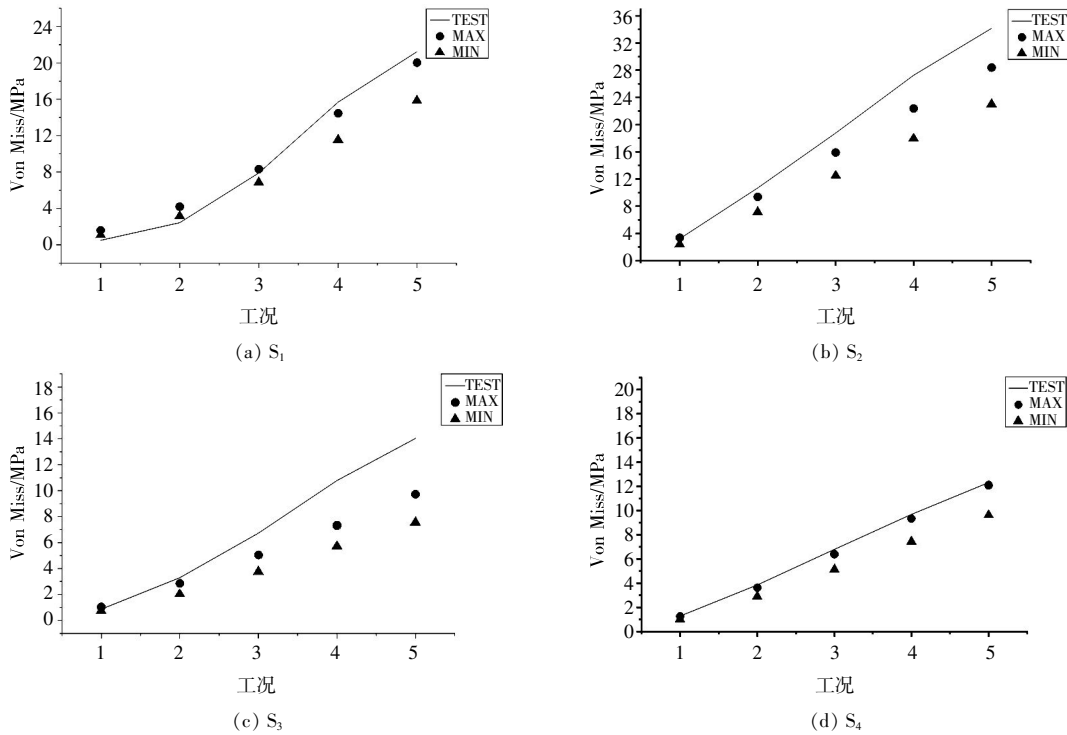


图 6 Von Miss 应力比较

Fig.6 Comparisons of Von Miss stress

需在以测量点为中心的方形区域(边长为 c)作网格细化。此外,搭接时的局部重复铺层会导致铺层厚度增加,胶接时采用的热固性胶水会导致局部区域的刚度提高^[12],而在建立简化有限元模型前所进行的层合板材料属性等效却忽略了搭接导致的局部几何尺寸和力学属性的变化,所以需要据此调整模型搭接区域(从测量点为中心的方形区

域,边长为 b)的局部刚度,在该计算中,主要是考虑搭接时重复铺层的影响。测量点处局部重复铺层的层数为原来铺层数的 2 倍,故将搭接区域板的弹性模量调整为初值的 2 倍,并将有限元模型进行局部网格细化,然后将数值计算结果与实验值进行对比。图 7 分别描述了各测点的等效应力(Von Miss),其中曲线 TEST 为实验测得等效应力

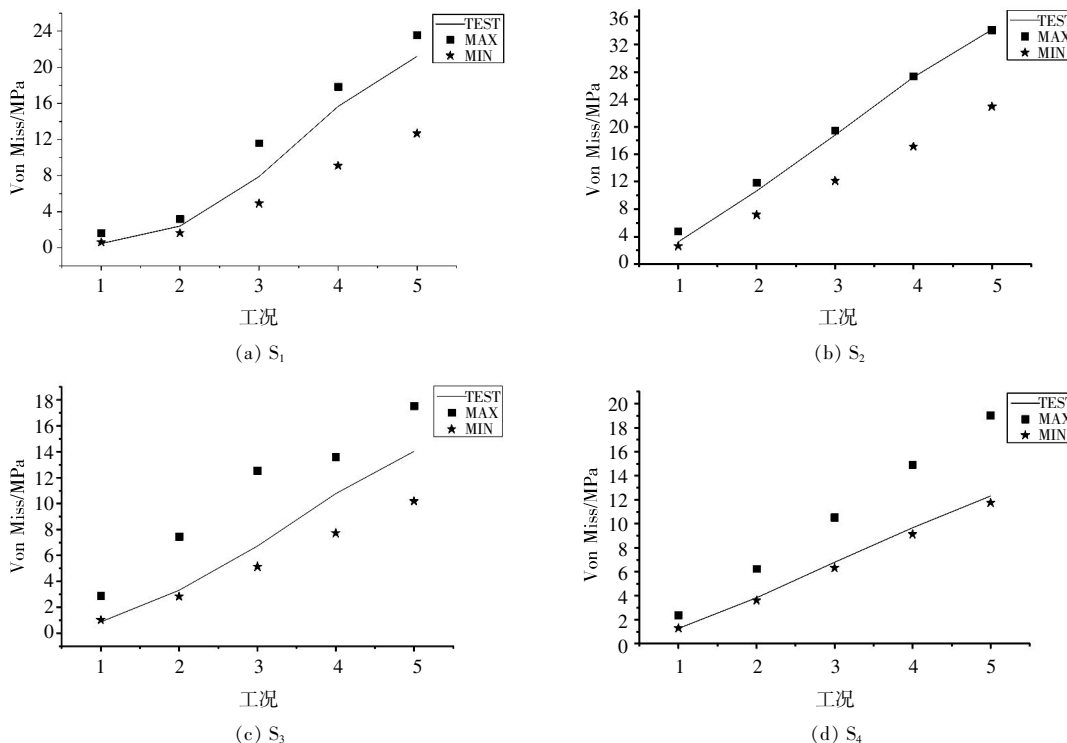


图 7 模型调整后的 Von Miss 应力比较

Fig.7 Comparisons of Von Miss stress after adjustment of FE model

与工况的关系曲线, 曲线 MAX 和 MIN 为局部有限元模型进行网格细化和刚度调整后的有限元计算结果。

从图 7 的应力分布曲线可以看出, 实验所得的等效应力几乎均在有限元模型调整后计算所得的 Von Miss 应力值范围之间, 这表明进行局部网格细化和刚度调整后的有限元模型反映了骨材与板搭接工艺导致的局部应力集中和刚度变化现象, 可以很好地评估舰船结构局部应力水平。

5 结 语

为解决复合材料舰船的复杂层合结构和构件搭接时铺层工艺给有限元建模带来的困难, 以及有限元分析中的精度问题, 本文对复合材料舰船全船有限元分析模型的建立提出了建议。首先将层合板等效为正交各向异性单层板, 求得等效材料常数, 然后采用基于一阶剪切理论的三维退化板元建立全船有限元模型。在分析舰船的整体力学性能时, 所采用的基于一阶剪切理论板元的全船有限元模型忽略了骨材与层合板之间的搭接等局部细节, 而在分析局部的应力水平时, 则需要采用网格细化和刚度调整的方式来考虑骨材与层合板搭接工艺造成的应力集中和刚度增加。文中通过对一艘交通艇进行全船有限元振动分析和静力计算, 并与 1:1 实船实验结果进行对比, 表明所建立的全船有限元模型能很好地反映实际结构的整体力学性能和结构局部应力水平, 且大大降低了建模难度和建模工作量, 对复合材料舰船结构的全船有限元评估具有一定的指导意义。

参考文献:

[1] 曹明法, 杨磊. 复合材料在舰船设计建造中的应用[J].

上海造船, 2006(2): 38-43.

[2] BARKER R M, LIN F T, DANA J R. Three-dimensional finite element analysis of laminated composite[J]. Computers and Structures, 1972, 2(5-6): 1013-1029.

[3] 陈建桥. 复合材料力学概论[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[4] REDDY J N, MIRAVETE A. Practical analysis of composite laminates[M]. Florida, USA: CRC Press, 1992.

[5] CHAO W C, REDDY J N. Analysis of laminated composite shells using a degenerated 3-D element[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 1984, 20(11): 1991-2007.

[6] LIN D X, NI R G, ADAMS R D. Prediction and measurement of vibrational damping parameters of carbon and glass fiber-reinforced plastics plates[J]. Journal of Composite Materials, 1984, 18(2): 132-152.

[7] HAN J Y, JUNG H Y, CHO J R, et al. Buckling analysis and test of composite shells under hydrostatic pressure[J]. Journal for Materials Processing Technology, 2008, 201(1-3): 742-745.

[8] 唐文勇, 陈念众, 张圣坤. 复合材料加筋层合板的极限强度分析[J]. 工程力学, 2007, 24(8): 43-48.

[9] SUN C T, LI S. Three-dimensional effective elastic constants for thick laminates[J]. Journal of Composite Materials, 1988(22): 629-639.

[10] 吴晓青, 李嘉禄, 焦亚男. 复合材料胶接方式的设计[J]. 纺织学报, 2003, 24(4): 92-94.

[11] JUNHOU P, SHENOI R A. Detailed research review of the performance characteristics of out-of-plane joints in FRP marine structures[R]. Southampton, UK: University of Southampton (Ship Science Reports, 83), 2007.

[12] SHENOI R A, HAWKINS G L. An investigation into the performance characteristics of top-hat stiffer to shell plating joints[J]. Composite Structures, 1995, 30(1): 109-121.



(上接第 72 页)

[5] PESMAN E, BAYRAKTAR D, TAYLAN M. Influence of damping on the roll motion of ships [M]. Italy: Napoli (Ischia), 2007.

[6] JOURNEE J M, MASSIE W W. Offshore Hydrodynamics. First Edition. [M/OL]. 2001. Delft University of Technology: [2011-11-20] <http://www.shipmotions.nl>.

[7] 郭雷. 斜侧体三体船阻力计算及构型研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2006.

[8] ZHANG J W. Roll damping characteristics of a trimaran displacement ship[J]. International Shipbuilding Progress, 1999, 46(448): 445-472.

[9] 王波, 卢晓平, 姚迪. 三体船操纵性计算与特性分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2009, 21(1): 47-53.

[10] 王玮, 王中, 卢晓平. 片体干扰对三体船附加质量和附加惯性矩的影响研究[J]. 海军工程大学学报, 2009, 21(2): 83-87.

[11] 李培勇, 裘泳铭, 顾敏童. 高速三体船型概念设计研究[J]. 上海交通大学学报, 2004, 38(11): 1885-1888.

[12] 周耀华. 三体船横摇阻尼及非线性运动预报方法[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2010.

[13] ZHANG J W. Design and hydrodynamic performance of trimaran displacement ships[D]. London: University College London, 1997.

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*2000*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