

文章编号: 1006 - 1088(2004)06 - 0008 - 05

滚装船的弯扭强度全船有限元分析

罗广恩, 张延昌, 王自力

(江苏科技大学 船舶与海洋工程学院, 江苏 镇江 212003)

摘 要: 由于滚装船有着不同于常规船舶的结构特点, 有必要对其进行全船弯扭强度精确计算。本文以一艘 1 万吨级的滚装船为研究对象, 应用 DNV 的 SESAM 软件建立全船有限元模型, 并进行波浪随机载荷的长期预报, 然后在此基础上导出设计波参数组, 最后在全船有限元模型上计算了船体结构在各设计波上的应力分布和变形结果。通过全船模型的有限元计算, 获得了该船结构强度的详细信息。对滚装船的设计和强度分析有一定的参考价值。

关键词: 滚装船; 结构强度; 波浪诱导载荷; 有限元

中图分类号: U661.43

文献标识码: A

Global Structure Analysis of Ro-Ro Vessel under Bending and Torsion

LUO Guang-en, ZHANG Yan-chang, WANG Zi-li

(School of Naval Architecture and Ocean Eng., Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang Jiangsu 212003, China)

Abstract: Since there are many special structural characteristics of ro-ro vessel different from general ships, it is necessary to calculate the bending and torsion strength of the ro-ro vessel accurately. This paper takes a 12 300 DWT ro-ro vessel for example. A finite element model of the whole ship is set up using SESAM software of the DNV classification society. Then the long term prediction of wave induced motion and random loading is carried out, based on which the certain wave load is calculated with design wave method. Finally the stress distribution and the deformation result of the ship structure under the certain wave load are obtained. With finite element analysis, the detailed information of the structure strength is achieved. There is certain reference value to the design and structure analysis of the ro-ro vessel.

Key words: ro-ro vessel; structure strength; induced wave load; finite element

0 引 言

滚装船凭借其装卸效率高, 对码头要求低, 装卸费用低等优点, 近年来发展迅速。由于滚装船有着不同于常规船舶的结构特点, 即滚装船内部极少设置横舱壁, 甲板间的高度较大, 并在甲板上开有车辆出入的开口, 因此有必要对其进行全船弯扭强度分析。目前, 国内针对全船结构强度有限元分析方面的文章较

收稿日期: 2004 - 06 - 08

基金项目: 部级民品技术攻关项目(校编 2004CH008H)

作者简介: 罗广恩(1980 -), 男, 江西丰城人, 江苏科技大学硕士研究生。Email: luoming 0131 @163.com

少,针对滚装船的更少。文献[1]着重介绍了波浪诱导载荷的预报;文献[2,3]对集装箱船进行了整船有限元结构分析,并比较详细地介绍了考虑波浪诱导载荷的分析方法。在文献[4]中,虽然对滚装船进行总纵强度分析,但其只考虑了船舶在静水中的强度,而没有考虑波浪载荷的影响。为此,本文针对滚装船在考虑波浪诱导载荷情况下进行了弯扭强度全船有限元分析。

1 滚装船的全船有限元分析

本文以一艘 1 万吨级的滚装船为研究对象,建立全船有限元模型,并采用三维流体动力计算程序进行波浪随机载荷的长期预报,然后在此基础上导出设计波参数组,最后在全船有限元模型上计算了船体结构在各设计波上的应力分布和变形结果。通过全船模型的有限元计算,获得了该船结构强度的详细信息。对滚装船的设计和强度分析有一定的参考价值。

在强度分析中,强度评估标准按照 DNV 船级社规范,使用的软件为 DNV 船级社的 SESAM。

该滚装船的主尺度如下:

| | | | |
|-------|----------|-------|---------|
| 总 长: | 194.30 m | 设计吃水: | 6.60 m |
| 两柱间长: | 178.20 m | 方型系数: | 0.66 |
| 型 宽: | 25.60 m | 主甲板高: | 8.7 m |
| 型 深: | 22.62 m | 服务航速: | 22.0 kn |

1.1 全船有限元模型的建立

1.1.1 结构有限元模型

建立结构有限元模型要应用结构力学的知识对次要构件进行简化处理,而主要构件要予以正确表达。在总纵弯曲条件下,所有纵向连通构件,包括具有一定长度的甲板、纵舱壁、外板和桁材、纵骨均参与承受纵向外力;所有横框架均承受着纵向构件传递的载荷和局部横向载荷,并支持船体在受扭转状态中保持一定的截面形状;船体艏、艉结构是波浪载荷作用与传递的重要部分并且是中段结构弯曲扭转变形的约束端,因此,它们都必须在模型中予以正确表达。上层建筑对艏部结构刚度和质量分布都有影响,也必须包括在全船模型中。

全船板材均用八节点或六节点的板壳元模拟。对于船艏部和艉部的外壳板,由于有比较复杂的型线,而采用六节点板壳单元,以避免八节点单元的翘曲。强横梁的面板以三节点梁单元模拟。

对于有骨材的加筋板,应正确反映其在增强方向上的拉压特性。本文采用 SESAM 软件专为船体结构研制的一种单元类型——复合单元来模拟加筋板。

全船构件板厚均按图纸尺寸扣除 DNV 规范中规定的腐蚀余量,获得的净尺寸为计算厚度。因此可以认为应力分析结果相当于服役寿命后期的结构状态。

全船有限元模型采用子结构技术,沿船长方向共 9 个子结构,由基本子结构模型,通过平移、镜像等手段组装而成。组装后的模型约有 40 850 个节点,约 21 720 个单元,见图 1。

1.1.2 水动力计算模型

本文采用基于三维流体绕射-辐射理论的流体动力程序计算波浪动压力载荷,为此需建立水动力计算面元模型。本计算利用上述结构模型的外壳网格作为船体水动力计算的面元模型,将船壳外表面定义为湿表面。程序自动确认为面元模型,并将水线以下每一个面元承受的波动压力自动映射到有限元网格上。

1.1.3 质量模型

通过定义全船结构有限元模型中构件单元的尺寸和密度,可以由程序自动计算结构钢材自重,由于在

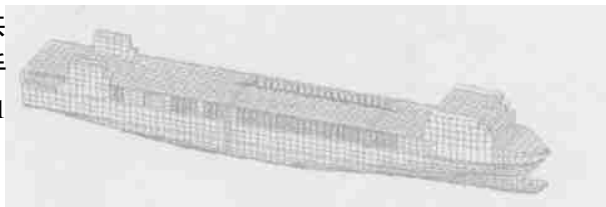


图 1 全船有限元模型

Fig. 1 Finite element model of the whole ship

算面元模型。本计算利用上述结构模型的外壳网格作为船体水动力计算的面元模型,将船壳外表面定义为湿表面。程序自动确认为面元模型,并将水线以下每一个面元承受的波动压力自动映射到有限元网格上。

模型中略去了次要的构件,亦不含有固定设备、舾装件等其它非船体结构的重量,因此直接计算得到的结构重量总是小于实际的空船重量,重心位置也与空船重心不相符。为此需要参照实际空船重量及其分布情况的资料,调整结构模型各部分的材料密度值,可以使结构模型直接计算得到的结构自重与空船重量符合,并且计算得到的重心位置与空船重心位置相同。

对于不同工况,根据各工况下的装载重量资料,将货物重量(车辆重量、集装箱重量等)以质量点的形式分配到相关的节点上去,使该工况下的重量、重心与实船相符,这就是该工况下的全船质量模型。

质量模型的建立是分析中的重要环节。它直接关系到波浪诱导载荷的长期预报结果,也就决定最后结构分析的正确性。

1.2 波浪诱导载荷长期预报和设计波

对于本船全船总纵强度来说,船舫总纵弯矩是判断船体强度的主要载荷形式,因此选波浪诱导的舫剖面(截面 1)的总纵弯矩为长期预报对象之一。同时,考虑到本船各层甲板均有长开口,位置在船舫后部。这一部位的总扭矩有可能产生开口周边较大的应力,因此将 1/4 船长处截面(截面 2)的扭矩作为长期预报另一个变量。然后以这两个变量的最大值来确定设计波的参数,船体强度校核在最大总纵弯矩设计波与最大扭矩设计波上进行。

为了观察不同浪向对船体运动和诱导载荷的影响规律,以及谱分析中所需要的传递函数,需计算各种有意义的波长(频率)的规则波对船体的作用。为此,本文选取了波浪频率从 0.05 至 1.50,间隔 0.05,共 30 个频率。同时为了观察不同浪向角的波浪对船体运动和诱导载荷的影响规律,本课题共选取了 19 个浪向角,分别为:0°~180°,间隔为 10°。其中,定义 0°为顺浪状态,180°迎浪状态。在长期预报中,认为各个浪向角以等概率发生作用在船体上。

在长期预报计算中,通常采用波浪散布图作为船舶航行海域的航行条件。波浪散布图由不同海况和每个海况的出现频率组成。本文采用文献[5]中的波浪散布图。

从长期预报结果中得到 10^{-8} 超越概率下的截面 1 的垂直弯矩和截面 2 的扭矩的长期预报值。相当于船体在随机波浪上航行 20~25 年期间所受波浪载荷的最大值。满载状态下截面 1 垂直弯矩长期预报见图 2。横坐标为 $-\lg P$, P 为出现概率,纵坐标为弯矩 M 。

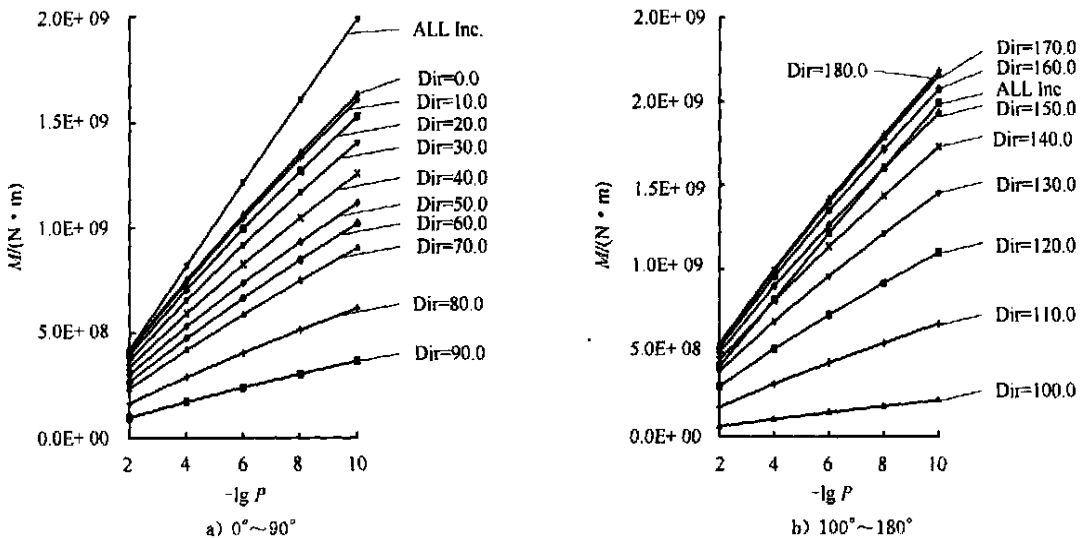


图 2 满载状态下截面 1 垂直弯矩长期预报

Fig. 2 Long term prediction of longitudinal moment on section 1 in fully loaded condition

随后,我们由长期预报结果计算出各工况下的设计波。所谓设计波,就是给出一确定的波浪(包括波高和周期),让它按一定的方向与相位作用于船体上,从而计算出船体构件的应力。这样的计算比较简单,其结果也比较直观,易于分析和认识。但关键的问题是这样的一种确定性的设计波参数的确定,使得按它计算出来的船体应力能代表实际船体航行过程中的最严重的状态。正确的方法是通过船体在

波浪上受力的长期统计预报,得到 10^{-8} 超越概率下的船体弯矩、扭矩等代表性的控制参数极值,然后选用典型的规则波,使之产生与长期预报相等的外力载荷,作为设计计算的波浪参数。计算出各工况下的设计波见表 1。

表 1 各工况设计波参数
Tab. 1 Design wave parameter of each loadcase

| 工况 | 主要载荷参数 | 波幅/ m | 波频/ (rad/ s) | 波长/ m | 浪向/ (°) | 相位/ (°) | 状态 |
|-----|---------------|-------|--------------|-------|---------|----------|------|
| 101 | 满载状态截面 1 垂直弯矩 | 9.20 | 0.60 | 171.0 | 180 | - 173.94 | 迎浪中拱 |
| 103 | 满载状态截面 2 扭矩 | 5.53 | 1.10 | 50.9 | 110 | 120.84 | 斜浪扭转 |
| 105 | 压载状态截面 1 垂直弯矩 | 8.53 | 0.6 | 171.0 | 180 | - 163.75 | 迎浪中拱 |
| 107 | 压载状态截面 2 扭矩 | 6.21 | 1.0 | 61.5 | 70 | 86.3 | 斜浪扭转 |

1.3 全船有限元强度分析

在进行有限元强度分析前,要对模型进行边界条件的约束处理。船舶是一个漂浮体,处于平衡力系之下,没有刚体运动约束。而有限元计算位移法要求刚体运动被支座所限制,以便计算结构的相对变形,为此必须给浮动船体加上适当的约束,令船体不做刚体运动,同时不能限制船体变形,也不能影响全船结构的受力。这样求出的相对变形与应力才是真实的。在本文的研究中,将船艉尾封板和中纵剖面的相交点定义为简支,约束 X 、 Y 、 Z 3 个方向上的位移运动;在船艏首柱与中纵剖面的相交点上,约束 Y 、 Z 两个方向的位移运动;同时,在船中部附近,约束一个点的 Z 向位移。如此船体的刚体运动被消除,而相对变形不受影响,在全船力系精确平衡的前提下,在约束点附近的船体构件不产生额外的误差应力。

本文分别在满载出港和压载到港 2 种装载状态、共 4 种设计波下,应用 SESAM 软件的 SESTRA 模块进行了全船结构计算,得到了在各种工况下船体的变形和应力分布。其应力和变形结果可由 POST-FEM 模块以不同的颜色显示出来。图 3 为工况 101 的全船应力分布云图。图 4 为工况 101 的全船变形图。

在各种工况下,满载迎浪中拱(101 工况)与满载斜浪扭转(103 工况)应力水平最大。101 工况下,露天甲板开口两端的应力达到 324 MPa,在露天甲板开口处附近的甲板纵桁和横梁的应力达到 355 Mpa。其它各层甲板由于位置更接近中和轴,应力水平相对不高,但是由于斜坡道开口的存在,开口角上还是有局部的应力集中现象。103 工况下,只有露天甲板开口处附近的甲板横梁的应力超过 101 工况,达到 390 MPa,超过了 DNV 规范中所规范的许用应力 355 MPa。为此,露天甲板开口处附近的甲板横梁和纵桁要适当地加强。

此外,由于该大型滚装船在货舱区域没有设置横舱壁,船体强肋框承受着较大的货物载荷,而且无纵舱壁,甲板横梁的跨距较大,因此强肋框结构在露天甲板、上甲板与舷侧相交处的应力水平比较高。双层底结构构件较强,承受总纵弯曲的主要构件的内底板、外底板的应力水平不高。

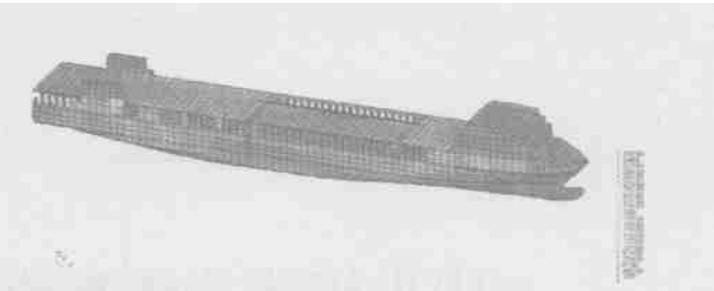


图 3 工况 101 的全船应力分布云图
Fig. 3 Stress distribution of the whole ship in loadcase 101

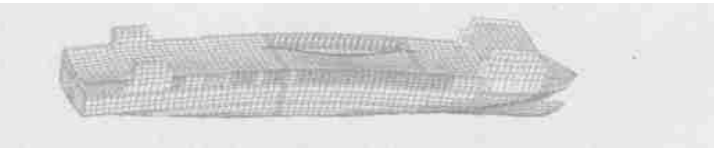


图 4 工况 101 全船变形图
Fig. 4 Deformation distribution of the whole ship in loadcase 101

2 结 论

1) 结构有限元模型中采用复合单元来模拟加筋板,控制了模型的规模,并且减轻了建模工作量。采用子结构技术,加快了建模速度。

2) 在建立质量模型的时候,各种工况下的重心和浮心调得准确与否,它直接关系到波浪诱导载荷的长期预报结果,也就决定最后结构分析的正确性。

3) 甲板板及甲板下的纵桁与横梁的应力较大,采用 AH36 高强度钢是合理的,并且甲板开口附近区域的纵桁和横梁应力都高于其它区域,在设计中要适当加强。

4) 由于该大型滚装船在货舱区域没有设置横舱壁,因此强肋骨结构在露天甲板、上甲板与舷侧相交处的应力水平比较高,这些部位要采取较好的过渡方式或加厚相交处区域的板厚。

5) 该滚装船在甲板开口周边区域采用箱型桁材、矩形横梁结构。这种结构形式,有利于抗扭和保持坡道开口的刚度,有效地控制了开口处的变形。因此是一种较好的结构加强措施。

参考文献:

- [1] 顾永宁,滕晓青,戴立广.大开口型船舶波浪诱导载荷研究[J].船舶工程,1998,(4):5-8.
- [2] 顾永宁,滕晓青,戴立广,等.大开口船波浪载荷长期预报和弯扭强度整船有限元分析[J].中国造船,1998,(2):63-70.
- [3] 白建伟,李润培,顾永宁,等.集装箱船整船有限元结构分析[J].船舶工程,2000,(5):8-11.
- [4] 李小平,唐国荣,邵有信.大型汽车滚装船结构设计及强度分析[J].上海造船,2000,(1):33-36.
- [5] 方钟圣,金承仪,缪泉明.西北太平洋波浪统计集[M].北京:国防工业出版社,1996.

(责任编辑:汪时美)

中央媒体关注我校中法合作办学

作为 2004“中法文化年”系列活动之一,2004 年 10 月 21 日,在中国法国工商会组织下,新华社、人民日报、经济日报、21 世纪经济报等 4 家中央级媒体的记者专程来到我校,就中法合作办学进行了专题采访。

法国巴黎高等计算机学院院长 Alick Mouriesse 先生、我校董师润副校长接受了专访并与记者们进行了友好的会谈。合作双方回顾了两校间合作办学项目前一阶段的工作,对下一步的业务交流交换了意见,并就记者关心的问题作了详细的解答。随后,记者们参观了中法班教室及实验设施,并与中法班师生代表进行了交流。

(阿 蒙)