

(17)94-96

第18卷第4期
2000年11月海 洋 工 程
OCEAN ENGINEERINGVol. 18 No. 4
Nov. 2000

文章编号:1005-9865(2000)04-0094-04

三自由度晃荡模拟装置及其模态分析

王德禹, 李龙渊, 施 其

(上海交通大学 船舶及海洋工程学院, 上海 200030)

摘 要:晃荡现象是海洋工程和船舶设计中值得关注的问题。它涉及到自由液面大幅度运动的一系列非线性问题, 很难获得一个完全的理论解。相应的试验是主要方法。本文介绍三个自由度的模拟装置, 并运用 MSC/NASTRAN 软件对该装置进行了结构有限元分析, 重点在于模态分析。

关键词:液舱晃荡; 试验装置; 模态计算

中图分类号:U661

文献标识码:A

三自由度, 船舶设计

3 Freedom sloshing simulator device and its modal analysis

WANG De-yu, LI Long-yuan, SHI Qi

(School of Naval Architecture & Ocean Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The sloshing phenomena are of practical importance in ocean engineering and ship design. On account of the high non-linearity related to the large amplitude motion of free liquid surface, it is very difficult to obtain a complete theoretical solution. Therefore the corresponding experiments are of great importance. A sloshing simulator device with three freedoms is designed and manufactured by School of Naval Architecture and Ocean Engineering of Shanghai Jiaotong University. It will play a prominent role in further studies. The present report gives a brief description of the structural FEM analysis with MSC/NASTRAN code for the simulator device, with the focus laid on the modal analysis.

Key words: sloshing; simulator device; modal analysis

随着大型油船(VLCC)、液化石油气船(LPG)、液化天然气船(LNG)和液态化学品船(LCG)的发展^[1], 液体在液舱中的晃动问题逐步引起人们的重视。液舱晃荡的外界激励包括六个基本运动:纵摇、横摇、首摇、纵荡、横荡和升沉。文献[2]介绍了液舱流体晃荡的模型试验研究。

国外的晃荡装置主要有:

(1)美国 Webb 造船研究所的晃荡试验装置具有纵摇和横摇两个基本运动, 主要测试流体对液舱内部结构的作用和对液舱边界的压力。

(2)Texas A&M 大学的晃荡试验装置具有横摇(或纵摇)和升沉两个运动的平台, 主要观察晃荡的物理现象, 为晃荡分析提供验证数据, 检验各种晃荡阻尼器的有效性, 对阻尼器提出建议。

(3)挪威 DNV 船舶运动模拟装置, 具有六个基本运动, 主要研究运动激励的技术和数据处理, 液舱横舱壁的晃荡载荷, 甲板横梁长边界的晃荡载荷。

(4)日本船舶研究所的晃荡装置, 可模拟纵摇、横摇、横荡和升沉四种基本运动, 主要研究中等尺度 LNG

收稿日期:2000-01-12

基金项目:上海市科技启明星计划资助项目(98QF14037);高等学校骨干教师资助项目

作者简介:王德禹(1963-),男,教授,博士,主要从事结构力学和试验技术研究。

船的晃荡特性,晃荡运动较大。

(5)法国BV和比利时Liege大学的晃荡装置可模拟纵摇、横摇和升沉三种基本运动。

国内研制了类似的运动模拟装置,主要用于船舶运动的仿真。

(1)青岛海军潜艇学院的六自由度液舱运动仿真器,能逼真地反映潜艇水下运动规律和操纵特点,主要用于潜艇设计和操纵性研究、潜艇操纵系统和自控系统的方案选择、装艇设备调试、指挥人员培训等^[3]。

(2)哈尔滨工程大学的六自由度船舶运动模拟系统,用于模拟船舶在波浪上的运动状态,为船舶及船用设备进行动态可靠性的研究提供试验模拟^[4]。

(3)中国船舶科学研究中心的三轴运动仿真器,主要用于对运动系统和自动控制系统的仿真研究,对船用控制系统进行调试和最佳参数的选定。

1 三自由度液舱晃荡装置

上海交通大学三自由度晃荡装置(长2.9m、宽1.7m、高1.8m)。该装置是为液舱或试件提供规定运动的载体,由计算机控制的框架式三自由度(纵摇、横摇和升沉)电液伺服运动装置,将注液的液舱或其他试件置于该装置上做若干种运动,研究被试验物在运动下的响应。

主要技术指标:

运动框架的最大承载能力为1.5t,在最大载荷下框架能分别实现三个基本运动,横摇(绕水平轴Y旋转)最大幅值 $\pm 30^\circ$;纵摇(绕另一水平轴X旋转)最大幅值 $\pm 20^\circ$;升沉(沿垂直轴Z移动)最大幅值 $\pm 200\text{mm}$;各自由度运动频率范围为0~1.5Hz;组合运动时上述最大值相应有所减小。

结构形式:

承液舱坐在内框架上,通过一对摆动马达使内框做横摇运动(绕Y轴摆动);内框架又支承在外框架上,通过另一对摆动马达让外框做纵摇运动(绕X轴摆动);外框架被一对液压作用缸推动做垂向升沉运动(沿Z轴升降)。内外框架设计成变断面的箱形框架结构,垂向导柱安置在墙架上,四个墙架的底部固定在一个刚性较大的底板上,见图1。

主要研究方向:

相似准则的深入研究;多自由度联合激励的试验;晃荡冲击力引起的结构变形以及晃荡引起的结构破坏的评估;晃荡载荷下液舱结构的疲劳分析;矩形和非矩形液舱的晃荡分析;制荡结构形式和效果评价;晃荡噪音的研究;晃荡的利用等等。

2 有限元分析

MSC/NASTRAN是世界CAE工业标准及最流行的大型通用结构有限元分析软件。其分析功能覆盖了绝大多数的工程应用领域,并为用户提供了方便的模块化功能选项,可以解决各类结构的强度、刚度、热力学、非线性、声学、气动弹性以及结构优化问题,1997年MSC/NASTRAN程序成为中国船级社指定的船舶分析验证软件。MSC/NASTRAN是世界上公认的最好的几何访问、有限元建模、分析和数据可视化于一体的新一代框架式软件系统。在本文的计算中,有限元分析采用MSC/NASTRAN70.5。有限元前、后处理采用MSC/PATRAN75。

该装置的设计除保证强度外,主要关心总体模态特性,根据前述液舱晃荡模拟装置的结构形式在进行有限元建模时,主要考虑内外框架、导柱和墙架。如图1所示。并将其简化为梁单元,在定义梁的刚度特性时,

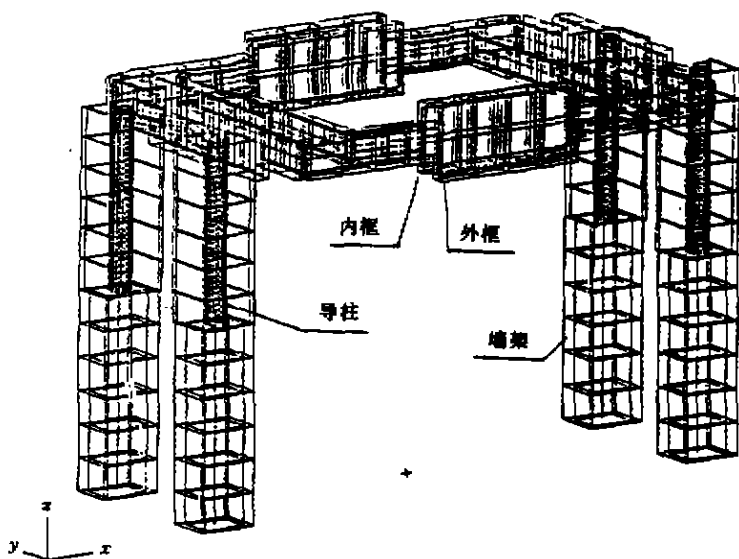


图1 有限元单元划分

Fig.1 Model of FEM

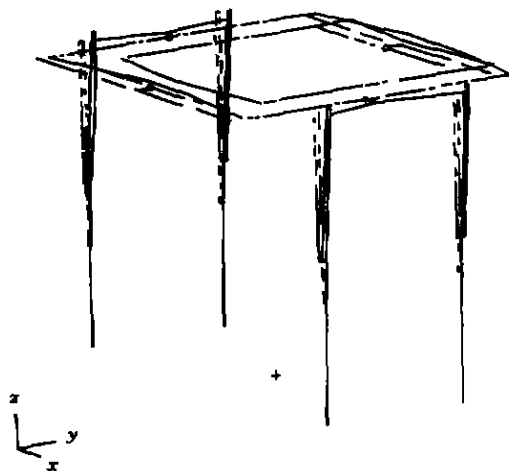


图 2 第一阶模态

Fig. 2 The 1st mode

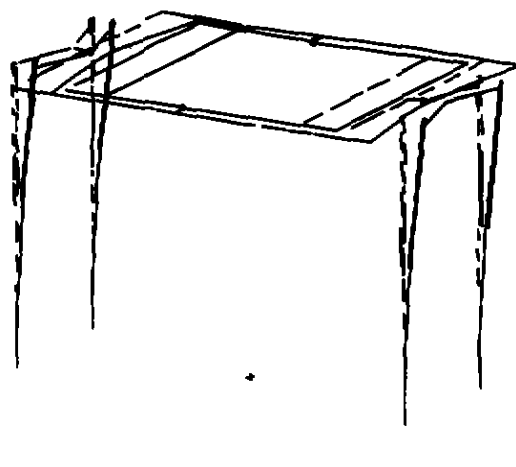


图 3 第二阶模态

Fig. 3 The 2ed mode

采用了 MSC/PATRAN 中的箱形截面库, 仅输入该箱形截面的高、宽及壁厚, 有关截面特性的计算可以自动完成。

载液容器的质量按 1.5t 计算, 将其平均地分配到内框的四个角点上, 并将其处理为集中质量单元, 而不考虑容器本身的刚度对模拟装置总体动力特性的影响。

四个墙架的底部安装在一个大的刚性平台之上, 计算时近似为刚性固定。考虑到液舱位于最大上升位置时为最不利的情形, 故在建模时, 将内外框置于 $\varphi_x = 0, \varphi_y = 0, Z = Z_{max}$ 的位置, 但不限制内框绕 Y 轴的转动和外框绕 X 轴的转动。全部有限元模型包括 4 个质量单元, 以及约 200 个梁单元。

装置整体的前三阶固有频率分别为 15.2、17.8 和 18.5Hz, 它们的振型示于图 2、图 3 和图 4。第一阶振型是框架平面沿 Y 轴的平动; 第二阶是框架平面沿 X 轴的平动; 第三阶是框架平面的扭振。本装置的设计能保证在规定指标下安全运行。

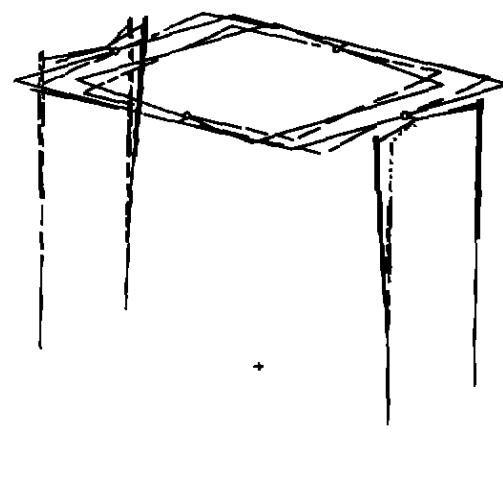


图 4 第三阶模态

Fig. 4 The 3rd mode

3 结论

本文简要介绍了三自由度液舱晃荡模拟装置的结构形式及其模态计算, 认为:

- 1) 该装置的主要目标, 定位在液舱晃荡模型试验上, 目的明确, 技术参数较为合理, 在我国现有的技术条件下, 容易实现。
- 2) 所建立的模态分析力学模型, 抓住了该结构的主要动态特征。
- 3) 根据其前三级频率, 表明该装置可以在规定指标下安全运行。

参考文献:

- [1] 陆治平, 江辅舆. 积极发展我国的高附加值船舶[J]. 上海造船, 1998, (2): 11-15.
- [2] 王德禹, 金威定, 李龙渊. 液舱流体晃荡的模型试验[J]. 上海交通大学学报, 1998, (11): 114-117.
- [3] 李世保, 等. 潜艇六自由度运动仿真器[J]. 计算机仿真, 1996, (1): 21-30.
- [4] 石德新, 等. 六自由度船舶运动模拟系统[J]. 船舶工程, 1997, (2): 4-6.