

# 基于 ANSYS 的船舶槽形舱壁有限元建模方法及其程序实现

郑玄亮<sup>1</sup>, 林焰<sup>1</sup>, 陈明<sup>1</sup>, 任怀远<sup>2</sup>

(1. 大连理工大学 船舶 CAD 工程中心, 大连 116024; 2. 大连造船重工有限责任公司, 大连 116005)

**摘要:** 有限元法已经广泛应用于船舶与海洋工程结构设计和分析计算过程中. 基于 ANSYS 有限元工程分析软件, 提出一种建立比较复杂的槽形舱壁结构模型的方法. 通过对 20,000DWT 化学品/成品油船的结构设计, 证明该方法的可行性和可靠性. 应用 Visual Basic6.0 程序设计软件编制了相应的计算机程序, 实现了 ANSYS 命令流文件的自动生成, 提高了模型建立的自动化.

**关键词:** 船舶; 船舶结构; 槽形舱壁; 有限元; ANSYS; 计算机辅助设计; 软件  
**中图分类号:** U661.43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6982 (2007) 05-0023-04

## FE modeling method and its program realization of ship corrugated bulkhead based on ANSYS

ZHENG Xuan-liang, LIN Yan, CHEN Ming, REN Huai-yuan

(1. Ship CAD Engineering Center, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2.)

**Abstract:** Finite element method has been popularly used in the structural design and analytical calculation of ship engineering and naval architecture. On the basis of ANSYS finite element analysis software and the structure features of 20,000DWT chemical/product oil carrier, the method of modeling more complex corrugated bulkhead was put forward, compiling the correlative program to realize the automatic modeling and ANSYS command-string by applying Visual Basic 6.0.

**Key words:** ship; ship structure; corrugated bulkhead; finite element; ANSYS; CAD; software

### 0 引言

计算机辅助工程 (Computer-aided Engineering; CAE) 是用工程上分析的过程及计算方法来辅助工程师作设计后的分析或进行同步工程. 在工程计算中通常应用有限元法及数值方法进行结构简化, 对实际结构及其载荷受力情况进行仿真模拟<sup>[1]</sup>. ANSYS 是一种被广泛应用的通用商业套装有限元工程分析软件, 经过实际工程应用证明, 运用 ANSYS 进行的计算结果能够达到一定的可信度, 满足工程要求<sup>[2]</sup>.

船舶外形和结构比较复杂. 船舶结构一般为板梁结构组合, 外形形状为复杂的三维自由曲面, 船体内部各部位板材的厚度不同, 各横纵骨材的尺寸规格不同. 自身结构的复杂性给船体有限元建模带来了一定

的难度. 同时, 寻找并利用船舶结构中的规律性可以简化模型建立过程、提高工作效率<sup>[3]</sup>.

根据分析实际工程问题所积累的经验<sup>[4]</sup>, 针对槽形舱壁这种特殊的复杂船体结构, 提出一种基于 ANSYS 软件的方便快捷的有限元模型建立方法, 开发计算机程序实现命令流文件的自动生成, 提高模型建立的效率.

### 1 ANSYS 使用模式

作为工程通用型有限元分析软件, ANSYS 软件提供 2 种工作模式: 交互模式 (Interactive Mode) 和非交互模式 (Batch Mode). 采用交互模式时, 进入 ANSYS 软件后在图形用户界面下逐一完成分析工作,

收稿日期: 2006-11-02; 修回日期: 2006-12-27

基金项目: 辽宁省重大基础研究计划资助项目 (2004C060).

作者简介: 郑玄亮 (1978-), 男, 博士研究生, 研究方向: 船舶与海洋结构物设计制造.

内容包括建立模型、查看模型、修改模型、保存文件、打印图形及分析结果的获得等。交互模式下模型形象直观,菜单命令操作相对简单,分析问题需要的时间比较长,不利于大规模几何模型的规划和建立。如果分析问题所需时间较长,可将模型建立和分析问题的所有命令利用文本编辑软件制作成文本文件,通过非交互模式进行分析工作。命令流文件(具有一定格式的文本文件)生成后可以直接被ANSYS软件读取,人为干预活动减少,提高了模型建立和分析计算的效率,有效缩短分析问题的时间。应用非交互模式进行分析工作必须要对ANSYS命令有一定的了解<sup>[1]</sup>。

标准ANSYS程序是一个功能强大、通用性好的有限元分析程序,同时它还具有良好的开放性。ANSYS参数化设计语言(APDL)就是ANSYS软件开发功能的一个重要组成部分。APDL语言实质上由类似于FORTRAN77的程序设计语言部分和1000多条ANSYS命令组成。用户可以利用程序设计语言将ANSYS命令组织起来,编写出参数化的用户程序,从而实现有限元分析的全过程<sup>[5]</sup>。

在实际工程应用中,由于有限元模型规模较大,几何结构与载荷情况复杂,一般采用非交互模式应用参数化设计语言进行模型的建立、网格划分与控制、材料定义、载荷和边界条件定义、分析控制和求解以及后处理等工作以避免重复、繁琐的输入操作,减少错误发生。模型建立完成后,当有必要进行局部结构修改和优化时,采用比较直观的交互模式进行局部定位完成细小的改动。

## 2 槽形舱壁结构特点

舱壁是船体结构的重要组成部分之一,不仅参与船体纵向、横向、扭转强度的计算,而且其设计的优劣对船舶总体性能如:浮性、稳性(包括完整稳性和破舱稳性)、抗沉性等会产生直接影响。

结合不同类型船舶的特点,舱壁的结构形式也是多种多样的。槽形舱壁最早应用于运输液货的化学品船,原油船,成品油船等。由于这种类型的船舶以运输液态货物为主并且在营运过程中需要频繁变换运输货物的种类,为了保证货物质量减少污染,液货船在改变运输货物种类的时候都要进行清舱和洗舱处理。传统的舱壁结构形式是平板型舱壁结合附属垂向和纵向加强构件以保证刚度和强度。这种结构给舱室的清洗工作带来了不便。于是,针对液货船的槽形舱壁结构形式应运而生,一系列垂向平板按照一定的空间关系沿纵向拼接而成,既保证了舱壁的强度和刚度又消除了舱壁表面的不规则突起。

为了减小自由液面对船舶稳性的影响,一般液货船都设有纵向舱壁。横纵舱壁都受到其相邻舱室液货的压力。为了避免舱壁两侧受力不平衡时横纵舱壁相交处的应力集中,将槽形舱壁相交处设计成“□”形结构。随着船舶载重量的增加,货舱舱深也会增大导致舱壁与船舶内底板相交处受到的液货压力增大。为保证强度,舱深较大的液货船舶槽形舱壁底部都设有壁凳以增加舱壁抗弯能力。

以某20,000DWT化学品/成品油船为例阐述模型建立方法。该船舶采用双底双壳单纵向槽形舱壁结构形式,船长( $L_{pp}$ )148.0m,船宽( $B$ )23.5m,型深( $D$ )14.70m,设计吃水( $T_d$ )9.60m,载重量(DWT)19,900t,其舱深为14.7m。采用无壁凳结构可以满足整体和局部强度要求<sup>[6]</sup>,如图1所示。

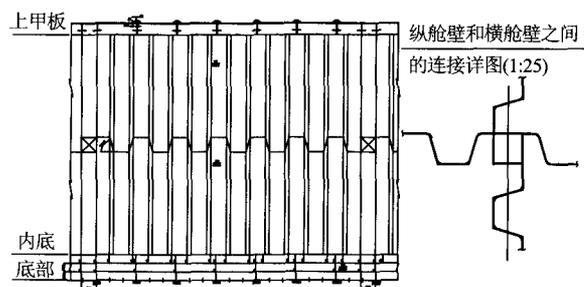


图1 槽形舱壁结构

## 3 结构有限元模型建立

结构有限元分析的前提与基础在于有限元模型的建立。能否建立一个进行了适当优化的几何模型来有效模拟真实结构物的结构和载荷,是有限元分析计算成败的关键。建立大规模的结构有限元模型可以运用不同的思路和方法。

构成有限元系统的最基本对象是节点(Node)。元素(Element)是节点与节点连接而成,元素的组合由各节点相互连接,并构成数学模式的刚度矩阵。节点具有某种程度的自由度(Degree of Freedom),以表示该工程系统受到外力后的反应结果,任何元素在数学模式转换时依其自由度而定。以三维空间结构力学而言,节点自由度含3个方向线位移及3个方向角位移。

有限元系统的建立是利用节点与节点组成的元素相接而成,其几何外形与工程系统相同,故相连两元素的节点必为共同的节点,分别属于各元素具有相同自由度的反应,元素与元素相连的边,必为共同的边。在建立有限元系统的全过程中必须注意遵守这一基本原则,否则建立的模型将在后续计算中产生错误的结果,严重时会导致分析计算无法正常进行。

建立较大规模的有限元结构模型,可采用不同的规划方法逐步完成。为保证几何模型属性的一致性

(线、面的方向),可先建立整体概念模型再逐步细化,这一过程中需要兼顾局部结构连续性的同时还要避免结构的重复建立;也可以从比较复杂的局部结构着手开始模型建立.在保证局部结构完整连续的同时要注意各局部之间的配合与统一,因为模型建立完成后,要从整体系统的角度出发进行单元划分与施加载荷.

运用有限元方法对 20,000DWT 化学品/成品油船进行货舱段结构强度分析计算.根据行业规范相关要求,采用三维有限元模型进行油船主要构件的强度直接计算.为了减少边界条件的影响,分析范围取船中货油舱区的三舱段模型,分不同载况进行强度分析校核,以保证中间一个货油舱的计算结果是可靠的<sup>[6]</sup>.

模型建立过程中,由于槽形舱壁的特殊结构会使甲板和内底产生较多不规则结构单元,同时由于甲板和内底上纵横构件的影响,也对槽形舱壁上的关键点生成带来很多不便.

槽形舱壁与甲板和内底直接相连,如图 2 所示.为便于后续结构模型的载荷施加,在建立槽形舱壁板、甲板、内底板和舷侧板的元素时,应该始终保持其法线方向(由生成板元素的节点顺序遵循右手定则规定)的统一.槽形舱壁与甲板及内底相交处交线将内底和甲板分成不规则的四边形或三角形元素,如图 3 所示.

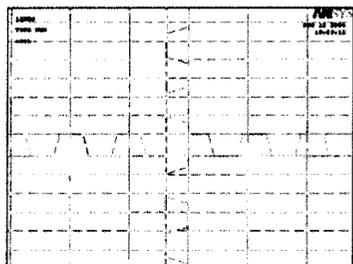


图 2 舱壁与甲板结构的不规则交线



图 3 甲板被舱壁剖切生成的不规则形状

这些不规则元素与其相邻的元素必须生成公用的边.在内底和甲板上的附属构件处必须生成独立的线元素,同时这些线元素与相邻面元素的公用边应被定义为唯一相同的线元素.所有需要定义梁单元的线元素应该具有统一的方向(由生成线元素的起始节点顺序规定).

因此,首先建立槽形舱壁的截面线.确定舱壁折角点位置,然后根据横向构件的间距(甲板处与内底处的值相同)对纵舱壁进行插值计算以生成槽形舱壁与横向构件相交处的关键点.同样,根据甲板纵向构件的间距与内底纵向构件的间距分别对横舱壁进行插值计算生成槽形舱壁与纵向构件相交处的关键点.最后针对横纵舱壁相交处的“口”形加强结构生成加强部分的截面线关键点.

待所有关键点生成后,将关键点分别按照横纵坐标值排序,将关键点逐个首尾相连生成槽形舱壁的截面线.由于 ANSYS 软件的性质决定线元素被其他元素或者工作平面剖切后很有可能会生成与原始线元素方向不一致的线元素,所以在生成截面线的时候先利用坐标关系插值确定横纵构件交点,而不是先将槽形舱壁折角点连接成截面线后,应用 ANSYS 环境再对线元素进行剖切.图 4 表示生成截面线并且显示线元素方向的单舱段槽形舱壁模型.

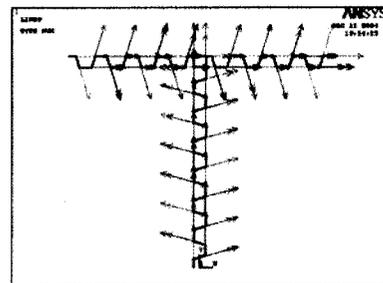


图 4 具有一致方向的舱壁截面线

应用上述方法建立的关键点,是生成所有与槽形舱壁发生空间关系的其它元素所必需的.对一些没有严格方向要求的线元素可以在 ANSYS 环境中对模型实施布尔(Boolean)操作,在后续过程中生成.槽形舱壁截面线上的关键点和线元素绝大部分都是建立甲板、内底、舷侧结构时所必需的公共点或者公共线.这样一来,就为后续的建立模型、网格划分及外部载荷施加等工作打下坚实的基础,避免在较为复杂的槽形舱壁与其他结构连接处产生结构模型的重复和离散等错误.

最后,将槽形舱壁截面线沿垂向拉伸生成面元素,由于线元素方向的一致性保证了拉伸生成的面元素也具有统一的法线方向,便于舱壁表面载荷的施加.基于船舶舱室结构(平行中体部分)的一致性,将单舱舱壁模型进行复制生成多舱段舱壁模型.

#### 4 程序实现和命令流生成

运用任何一种高级计算机语言都可以编制自动计算程序生成具有固定格式 ANSYS 命令流本,以 Visual

Basic 6.0 为例编制程序, 其界面如图 5 所示。

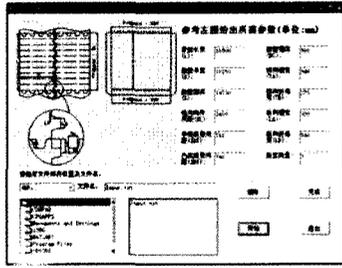


图 5 槽型舱壁模型命令流自动生成程序界面

程序需要输入的基本参数包括: 舱长  $L$  (mm), 舱壁半宽  $B$  (mm), 舱壁型深  $D$  (mm) (即舱壁净高, 如果有壁凳结构不包括壁凳的高度), 横向构件间距  $SL$  (mm), 甲板纵骨间距  $SDT$  (mm), 内底纵骨间距  $SBT$  (mm), 舱壁槽深  $DC$  (mm), 横向槽宽  $TA$  (mm), 横向折角宽  $TB$  (mm), 纵向槽宽  $LA$  (mm), 纵向折角宽  $LB$  (mm) 和舱室数量。在给定待生成命令流文件的名称和路径之后点击“完成”即可在指定的目录中生成命令流文件。在 ANSYS 中读入该文件即可生成舱壁模型。单击“开始”会自动应用 20,000DWT 化学品/成品油船的槽形舱壁参数值, 在 C:\ 下生成名为 Input.txt 的文本文件。导入 ANSYS 中自动生成 20,000DWT 化学品/成品油船三舱段槽形舱壁模型。单击“清除”可以清空文本框, 重新输入参数、路径和文件名称。单击“退出”结束程序运行。程序运行流程如图 6 所示。

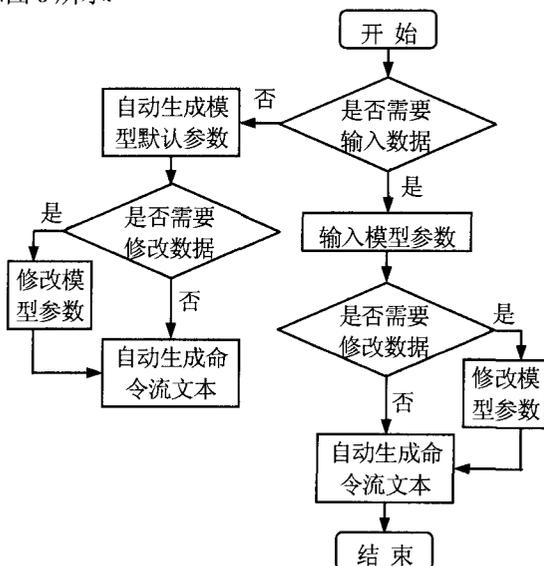


图 6 槽型舱壁模型命令流自动生成程序框图

## 5 结论

对于具有槽形舱壁结构的船舶而言, 从槽形舱壁这种比较复杂的局部结构开始, 完整连续的建立模型

的其他空间结构的方法是可行的。由于槽形舱壁自身结构的特殊性, 导致其模型建立过程也比较繁琐。通过数学插值算法, 综合考虑槽形舱壁和与其相联结的空间结构的关系, 生成所有必需的关键点, 由点连接形成具有相同方向属性的线, 由线沿同一方向路径拉伸形成具有相同方向属性的面。这样, 为后续模型网格剖分和施加载荷奠定了基础。应用计算机程序自动生成 ANSYS 命令流文件, 完全可以实现几何模型的自动建立。本文用 Visual Basic 6.0 编制了应用程序, 程序生成的命令流文件在 ANSYS 5.7 以及更高的版本中运行通过, 最终生成的舱壁模型如图 7 所示。

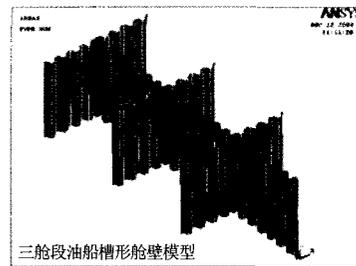


图 7 应用自动生成的命令流文件建立的槽型舱壁模型

应用计算机程序完成有限元结构模型建立过程中的计算和输入工作, 可以节省建模时间和工作量, 充分发挥硬件资源的优势。甚至在模型建立完成后还可以通过编制程序自动干预结构分析计算、计算结果的图形输出等后置处理部分的工作。在程序中增加针对某种结构模型的逻辑判断模块可以自动判断输入数据的优劣 (即对实体结构的优化选择) 进而给出数据优化结果, 进行计算机辅助智能结构设计。

## 参考文献:

- [1] 陈精一, 蔡国忠. 电脑辅助工程分析 ANSYS 使用指南 [M]. 中国铁道出版社, 2001.
- [2] ZHANG Xue-biao, LIN Yan, JI Zhuo-shang, et al. Finite Element Analysis for Pontoon Structural Strength during Ship Launching[J]. Journal of Ship Mechanics, 2004, 18(6): 113-122.
- [3] 陆丛红, 林焰, 纪卓尚等. 基于 ANSYS 软件的船体外板有限元建模方法研究[J]. 船舶力学, 2003, 7(5): 52-58.
- [4] 郑玄亮等. 2 万吨级成品油船应用有限元计算进行的结构强度评估报告[R]. 大连理工大学, 2004.
- [5] ANSYS Release 8.0 Documentation [EB/OL]. ANSYS Inc. 2003.
- [6] Rules for Building and Classing Steel Vessels[EB/OL]. American Bureau of Shipping. 2003.