

# 利用 ANSYS 软件进行船舶局部结构分析

向 溢  
(广船国际产品开发部)

关键词 ANSYS 结构 船舶

## 一 前 言

有限元计算是随着计算机技术的发展而蓬勃发展起来的,目前在船舶有限元计算中,主要有一些通用软件,如 Patran/Nastran、Ansys 等,进行全船有限元的计算,包括静力、振动甚至噪音等。一些船级社也开发有相应的有限元计算软件,如 DNV 的 Nauticus、L. R. 的 ShipRight 等。这些软件一般都还局限于油船、散货船或集装箱船等,且仅局限于 1/2+1+1/2 的中部货舱范围的静力计算和曲屈计算,与通用有限元软件相比较,他们一般可以根据规范要求自动添加边界条件和载荷。一些船级社和 MSC 公司进行了合作,使得其前后处理都比较方便。

ANSYS 在国内应用非常广泛,功能很强大。本文以一条实船的舳部结构有限元分析为例,展示了 ANSYS 在前后处理方面的强大功能,指出了 ANSYS 计算中一些需要注意的地方,愿能对用 ANSYS 进行船舶有限元计算的同志有一定的启发。

## 二 有限元建模及求解

ANSYS 支持自底向上和自上向下两种建模方式,本文采用由点到线,由线到面的自底向上的建模方法。对于关键点(KeyPoint)的输入,可以利用 Excel 辅助进行。用 Excel 生成如表 1 的表格,好处在于易于编辑,并且可利用 Excel 的绘图功能初步察看所定义关键点是否正确。然后 Copy 到 Ansys 的 command prompt 中,生成关键点,并在 ANSYS 中生成线,再由线生成面,最终得到有限元图网格图如图 1。

表 1 用 EXCEL 辅助生成关键点表格示例

K ,	NPT ,	X ,	Y ,	Z
k ,	1 ,	0 ,	0 ,	0
k ,	2 ,	0 ,	- 700 ,	0
k ,	3 ,	0 ,	- 1400 ,	0
k ,	4 ,	0 ,	- 1600 ,	0
.....				

对于舳部外板, 选择 Shell63 单元, 对于纵骨选择 Beam189 单元。注意到因为 189 需要定义梁的方向, 所以在生成关键点时, 也要生成梁的方向点。

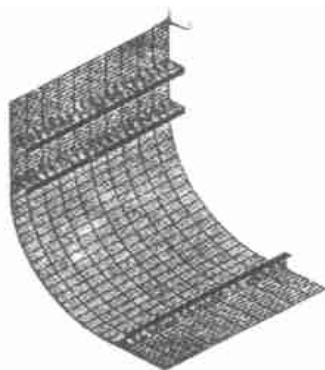


图1 有限元图网格图

关于板的腐蚀余量, 型材的腐蚀余量:

根据 DNV 规范的要求, 板腐蚀余量  $tk = 1.0\text{mm}$ , 对球扁钢  $wk = 1 + 0.06tk_w$ , 其中  $tk_w = 1.5$ , 从而  $wk = 1.09$ , 所以在选择扶材的时候, 需要将其模数减小到  $1/1.09$ , 钢度也需要适当减小。

边界条件: 全部钢固

外力: 取 10m 海水压力,  $0.1\text{N/mm}^2$ 。

经过以上过程, 建立了有限元模型, 进行有限元划分 (Mesh), 添加边界条件, 进行模型加载, 然后可以进行求解。

此处需要说明以下几点:

(1) 由于 Ansys 计算是不考虑单位换算的, 所以要由设计者来定单位, 本文采用长度 mm、压强  $\text{N/mm}^2$  作为基本单位, 如果担心出错, 则可以输入全部采用国际单位制, 这样输出结果自然也就是国际单位;

(2) 在 PlotCtrls 下, 打开面的方向显示开关, 调整到面方向一致, 以使以后的面载荷方向正确;

(3) 为了保证梁 (Beam) 和板 (Shell) 的有限单元协调, 需要保证用来作为梁的 Line 是作为板平面的边界线。且在划分有限元模型前, 最好利用 Merge Item 功能, 将一定容差范围内的元素 (如 keypoint、line 等) 融合, 保证结构的连续性。

### 三 结果后处理

在输出结果中, 单元节点位移为基本输出, 节点的应力等为衍生结果, 它是由基本输出结果得出的。一般在显示节点应力云图时, 会在节点处进行平均处理, 但是如果材料不一致等原因, 有时会导致不正确的结果, 这一点在看输出结果的时候一定要注意。

Shell 单元输出结果默认是对总体坐标而言 (也可以选择输出到局部坐标中), 但是对于 Beam, 输出结果是对单元坐标而言的。

由于此舳部模型是船舶结构的一个部分, 必然受到总纵弯曲应力和剪切应力, 本文暂不

考虑总体应力与局部应力的合成的问题, 仅考虑局部应力。

图 2 为板的 Top Layer 的对于总体坐标的 X 方向的节点应力  $S_x$ , 从图中可以看出:

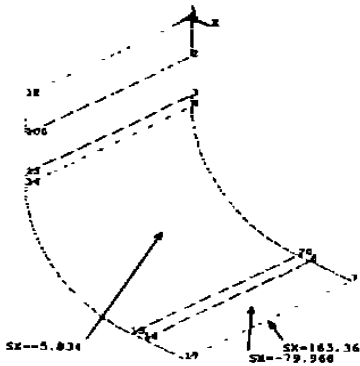


图 2 板的 Top Layer 的节点应力  $S_x$

舳部弯曲对抵抗外力效果明显, 应力很小, 而在平板部位显著增大。

在 1- 17 线中点的 VonM iss 应力(等效力), 达到  $171\text{N/mm}^2$ ,  $S_x = 163.36\text{N/mm}^2$ , 考虑到这里的应力很大程度上是由于边界条件引起的, 所以不作为校核的部位。在 6- 7- 16 - 17 构成的面的中点的应力为:  $\text{Seqv} = 62\text{N/mm}^2$ ,  $S_x = 79.968\text{N/mm}^2$ , 这是局部弯曲应力, 根据 DNV 规范, 作为纵骨架式船舶, 许用应力为  $120f_1 = 153.6$ , 满足规范要求。

根据 DNV 规范, 采用如下公式, 计算等效力为:

$$K_a = 1 \quad S = 0.7 \quad P = 100 \quad t = 13$$

$$t = \frac{15.8 K_a \cdot S \cdot \sqrt{P}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$$

$$\sigma = \left[ \frac{15.8 K_a \cdot S \cdot \sqrt{P}}{t - t_k} \right]^2 \quad \sigma = 72.381$$

DNV 规范计算公式是基于板的简型弯曲有关理论的, 从计算结果对比可见, 规范计算准确度也是很高的。

选择 6- 16 梁(如图 3), 可见梁发生了变形, 最大应力在梁的中部和端部, 且由于两端刚性固定, 在两端的弯曲应力大于中间的弯曲应力。也可以看到, 由于带板的原因, 梁弯曲中和轴接近带板, 所以中和轴附近应力很小。

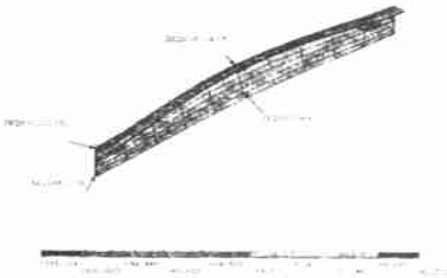


图 3 梁的变形和应力

对于 Beam 上, 每一个剖面上的各个节点上的应力, 可能通过下拉菜单中的 Section

Solution 得到。

图 2 中, 在 6- 16 和 7- 17 中点边线定义路径, 然后将  $S_x$ 、 $S_y$ 、 $S_z$  和  $Seqv$  映射到路径上 (如图 4)。由图 2 可见:  $S_x$  在板条梁中点和端部较大, 由于两端固定, 在端部的弯曲应力更大, 约为中间的 2 倍;  $S_y$  和  $S_z$  相对较小, 剪切应力也比较小, 从而  $Seqv$  和  $S_x$  很接近; 作为板的上表面, 在端部受压缩, 在中间部分受拉, 所以呈现出如图所示的形状。注意到由于梁有变形, 而边界处由于钢固没有变形, 所以变形和应力并不对称。

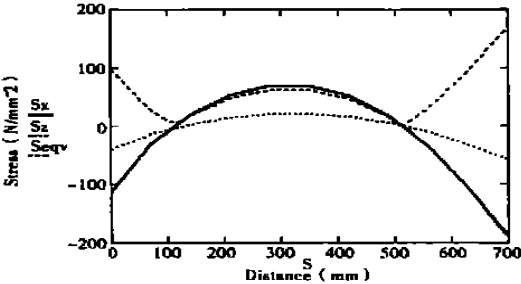


图 4 沿路径应力分布

在板的边长比大于 2.5 时, 如果外载荷沿板的长边不变化, 理论分析和试验都表明: 除了与板短边相邻的一小部分外, 中间大部分的变形为筒形, 筒形弯曲的板条梁与普通相比较, 对于板条梁, 有  $\epsilon_y = 0$ , 而对于普通梁,  $\epsilon_y \neq 0$ , 根据应力- 应变物理关系, 容易得到

$$\sigma_y = \mu \cdot \delta_x$$

根据图 4, 基本可以看出,  $x$  和  $y$  方向应力( $S_x$ ,  $S_y$ ) 基本满足以上关系。

对于梁的弯矩和剪力的分析, 在 Ansys 中需要通过 Etable 进行, 即通过单元属性建立表格, 然后显示。图 5 是 6- 16 梁的剪切应力。取此梁承担水压宽度为 600mm, 长度为 2840mm, 压强为  $0.1 \text{ N/mm}^2$ , 从而总共承担的水压力(单位为 N):

$$Q = 0.1 \cdot 600 \cdot 2840 \qquad Q = 1.704 \cdot 10^5$$

剪力大小为:

$$F = \frac{Q}{2} \qquad F = 8.52 \cdot 10^4$$

这与图 5 输出结果很接近。

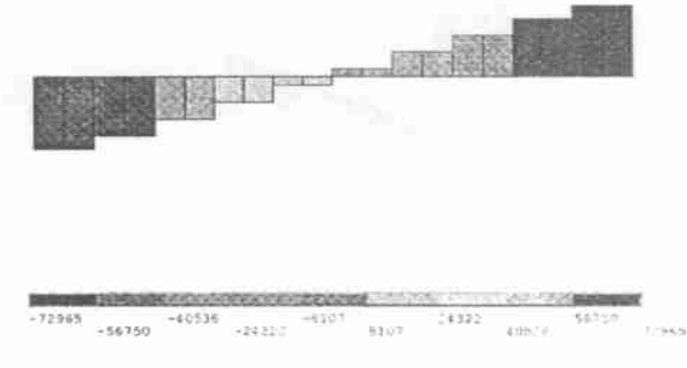


图 5 6- 16 梁的剪切应力

沿舳部长度中点定义一条路径,原点定在路径上端。沿路径各点总变形量如图 6 所示,由图 6 可明显看出,在舳部由于舳部弯曲,外部水压力导致的变形量很小。

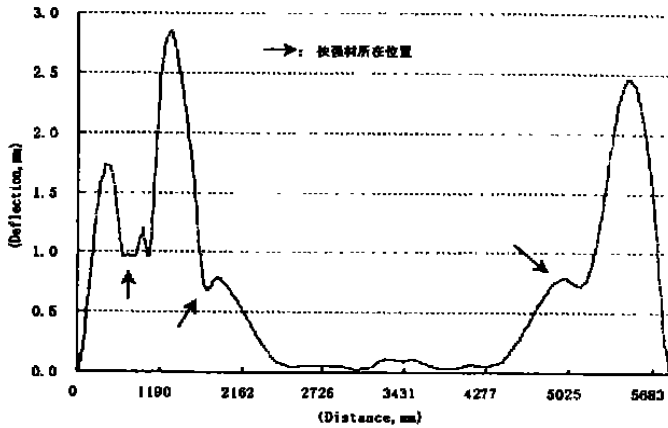


图 6 沿路径各点总变形量

## 四 结束语

本文用 Ansys 对一艘船舶舳部进行了静力分析,描述了有限元模型的建立、单元划分,以及后处理中表格、路径等功能的应用。随着船舶结构直接计算所占比重的增加,ANSYS 在船舶工程中的应用将会越来越广泛。

(上接第 47 页)

## 四 结 论

1 该模型所得到的结果是基于对压力波在测压通道传递时所作的几个假定的,因此会与测压通道中压力波的传递的实际状况有所偏离,从而产生结果上的偏离。

2 测压通道是测试系统中的一个环节,压力信号在通过测压通道时产生了幅值和相位的失真,这是因为压力波的传递是有一定的速度的,压力波在通道内会产生反射和叠加。

3 结果反映出导致压力信号失真与测压通道的结构尺寸有关,在条件允许的情况下,测压通道的截面积越小,通道的长度越短,则输出信号的一致性就越好。

4 通过该模型,利用小扰动波理论,可以由传感器端测得的压力信号简单快捷地计算出缸内压力信号,消除压力测量时的通道效应。