

某船尾鳍刚度及螺旋桨断叶强度有限元分析

娜日萨 张悦 刘晓明

中国船舶设计研究所

某船尾鳍刚度及螺旋桨断叶强度有限元分析

娜日萨 张悦 刘晓明
(中国船舶设计研究所)

摘 要: 尾鳍的结构设计不仅要保证自身的刚度、强度的要求,而且要兼顾尾鳍的形状给船体总体性能所带来的影响。本文应用 MSC.Nastran 分析计算了某船双尾鳍结构的刚度及螺旋桨断叶强度问题。通过应用有限元方法进行尾鳍结构的直接计算,配合尾鳍的规范设计,优化了尾鳍结构的设计形式,并得到一些有益的结论。

关键词: 尾鳍设计 刚度 强度 有限元

FEA for the Rigidity and strength calculation for a ship's caudal fin

Na-Risa Zhang-Yue Liu-Xiaoming

(Marine Design & Research Institute of China, 1688 xizangnan Road, Shanghai 200011, China.)

Abstract : In the procedure of a ship's caudal fin structure design, not only the rigidity and the strength of the caudal fin structure itself should meet the requirements, but also the influence resulted from the fin's form on the ship's performance should be considered. In this paper, the caudal fin's rigidity and its strength when the propeller blades were broken were calculated by the FEM program MSC. Nastran. By the directed calculation using FEM, associated with the rules design, the caudal fin structure was optimized, and from which some conclusions were derived.

Key words: caudal fin structure design, rigidity, strength, FEM

1. 前言

船尾形状影响船舶的快速性,一方面因为船尾的形状会改变船体周围的流场,从而使改变了流体对船体的阻力;另一方面,由于船尾的形状影响伴流及推力减额,从而影响了螺旋桨的推进效率。所以船体尾部形状的设计直接影响船舶的总体性能。

本文船体采用双桨推进,船体尾部若采用普通尾部形状,则桨盘处的伴流分数较低,船身效率及推进效率也低。通常将常规船艉改为类似于两个单桨船尾的双尾鳍形状,从而改善螺旋桨处的伴流情况,提高推进效率。

双尾鳍结构在结构设计上可作为轴包架来处理,它的建造施工较为困难,如果设计不当会引起结构振动,结构破坏,影响船体正常工作及航行性能。因此,在进行尾鳍结构设计时一般要对其进行强度刚度及振动的计算。本文是该尾鳍的强度、刚度的有限元分析计算。

尾鳍的刚度是指其在外力的作用下结构抵抗变形的能力。在结构设计时要保证其垂向和横向两个方向的刚度满足规范的要求。在对尾鳍进行强度校核时,根据相应规范的要求考虑在螺旋桨断相邻两叶的情况下,受螺旋桨水平推力和螺旋桨转动的不平衡力矩的影响下,尾鳍的应力分布。

该船尾鳍的设计在初步设计后应用有限元方法对该船尾鳍的刚度和强度进行了多次计算,尾鳍的尺寸参考有限元的计算结果进行了多次修改,最后确定了最终的设计方案。本文中给出的计算结果为最终方案的强度、刚度的计算结果。

2. 尾鳍结构形式

尾鳍的型线及结构形式见图 2.1 至图 2.4。从图中可以看出,为了改善尾流,本船尾鳍的侧面型线内凹,横断面型线厚度较薄。设计中为了提高刚度和强度,在尾端及轴毂处采用铸钢尾轴架,其上部进入船体并与船底肋板、纵桁相连,而尾鳍其它部分则采用轴包板结构,轴包板与尾轴铸钢段焊连接为一体,保证外形光顺。

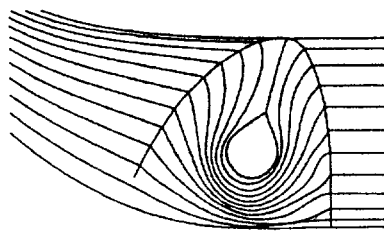


图 2.1 尾鳍型线

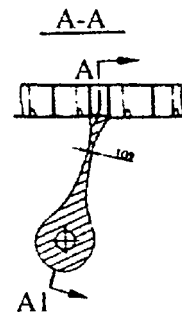


图 2.2 横剖面形状

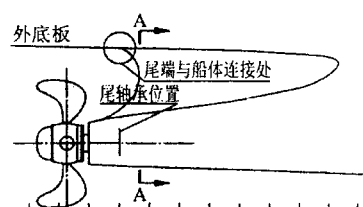


图 2.3 尾鳍型线

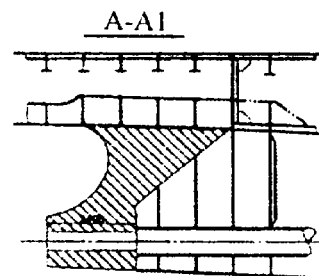


图 2.4 尾鳍中心剖面

3. 有限元模型

船体构件的有限元网格沿船体纵向按肋距划分,沿船体横向按纵骨间距划分,沿船体垂向按纵骨间距划分,在尾鳍端部为较精确反映实际形状,按二分之一肋距划分。船体外板、甲板、横舱壁等各类板用既能承受弯曲又能承受平面拉伸的二维壳单元模拟;纵骨、纵桁及扶强材用空间梁元模拟;有限元模型中尾鳍铸钢部分采用平行六面体单元划分。三角形单元用在结构的过渡部分。

由于体单元每个节点有三个自由度,而壳单元每个节点有六个自由度,在体单元与壳单元连接处需要做自由度的协调工作,这里我们采用软件中提供的多点约束单元 RSSCON 来完成的。另外的一个刚性单元用来施加力(矩)载荷,作用在尾轴端面上。

整个模型单元总数 4726 个,节点总数 2433 个,计算自由度大约为 11000。

整个有限元网格如图 3.1 所示。图 3.2 为尾轴实体单元部分。图 3.3 显示了尾轴部分结构的网格。图 3.4 为坞舱甲板以下船体结构网格图。

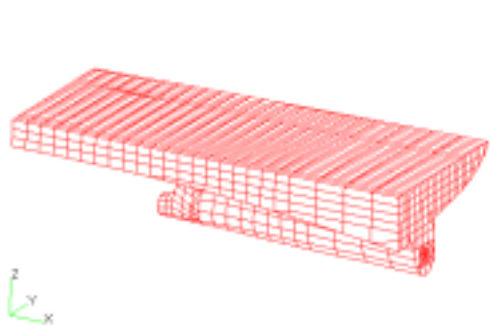


图 3.1 三维有限元模型



图 3.2 尾轴实体部分网格图

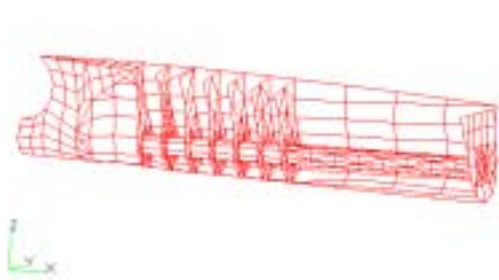


图 3.3 尾轴结构网格图

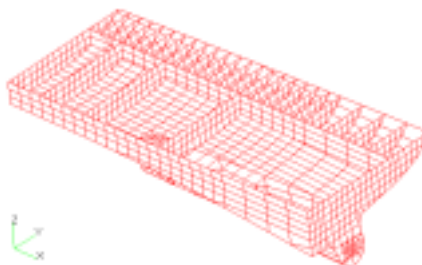


图 3.4 坞舱甲板以下部分船体结构的网格图

4. 边界条件及工况

考虑结构设计的需要，在定义模型的边界条件时选择模型右端的横舱壁简支边界条件，对称面应用对称边界条件。

(1) 计算要考察船体尾鳍结构的横向和垂向刚度，所以模型所荷载荷确定为在尾鳍的端部分别施加横向 (F_y) 及垂向 (F_z) 的单位力，由此得出的刚度为结构变形取倒数。所以刚度计算有两种计算工况，即：

LC1: 描述为端部简支受垂向载荷。

LC2: 描述为端部简支受横向载荷。

(2) 有了刚度计算后确定的尾鳍结构几何尺寸，施加螺旋桨断叶时对尾鳍结构产生的力 (矩) 来进行该结构的强度校核。

根据艉轴架节规定，尾轴架结构应按五叶螺旋桨断相邻两叶和尾轴在最大转速工况下作为计算状态，并以此情况下的离心力和偏心推力作为外载荷来校核强度。计算中分别考虑了系柱状态、航速 18kn、航速 23kn 三种航行状态。螺旋桨参数及载荷参见表 4-1。

表 4-1 载荷的初始数据

参数符号	脉动压力	表面力	离心力	偏心推力
	Pmax	F	c	P
单位	KPa	N	N	N
系柱状态	7.108	15.57	1029564	660720
航速 18 节	5.686	12.45	1501447	212862
航速 23 节	5.686	12.45	1501447	475863

偏心推力沿 x 轴方向，但与轴心线有一定的偏移量。作力系等价转化，我们把这一偏心推力化成一个通过轴心的推力和一个附加的弯矩；由于螺旋桨的旋转，附加的弯矩和螺旋桨的旋转离心力的作用方向在 360 度内变化。对于离心力，我们考虑了断面内每 30 度为离心力的作用方向，如图 4.1 所示 (图中的坐标与模型坐标相同)；同样，附加的弯矩在 360 度内与离心力有不同的组合。这里我们考虑离心力对尾轴产生的弯矩与附加弯矩同向时的情形，因为此时是两者叠加对结构最危险的情况。这样组合出 36 种载荷组合。位移边界条件为简支。本文对这 36 种工况进行了计算。

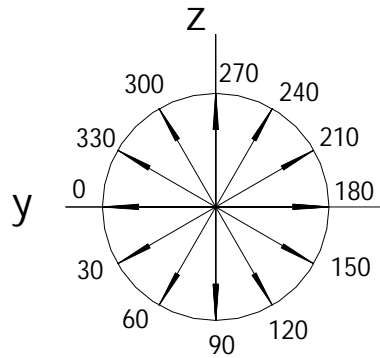


图 4.1 螺旋桨断叶强度离心力的作用方向

5. 计算结果及分析

(1) 刚度计算结果如表 5-1 示。

表 5-1 尾鳍刚度计算结果

工况	刚度 (单位 : N/m)
垂向载荷 LC1	1.93×10^8
横向载荷 LC2	1.33×10^8

从上表可以看出尾轴的横向刚度小于垂向刚度，在初步设计时该尾鳍的垂向刚度已经满足了规范要求，但横向刚度由于尾鳍的横剖面很薄其刚度较弱，在采取了加厚横剖面方向厚度以后取得了较好的效果。

(2) 表 5-2 至表 5-4 列出了舰船在系柱状态、航速 18kn、航速 23kn 三种状态在偏心推力和离心力作用下的结构应力表。计算工况的表示：0, 30, 60.... 330 代表离心力的作用方向及附加弯矩的方向。图 5.1 为航速为 23 节时尾鳍实体及轴包架部分的应力云图。

表 5-2 系柱状态下的最大应力值 (单位 : Mpa)

离心力方向	最大应力 (Von Mises)	最大剪应力 (Von Mises)
0	86.5	49.9

30	69	39.6
60	40.6	22.9
90	38.4	20.3
120	63.2	36.4
150	83.7	48.3
180	85.1	49.1
210	66.5	38.2
240	36.3	20.5
270	32.2	18.3
300	62.5	36
330	84.2	48.6

表 5-3 航速为 18kn 下的最大应力值（单位：Mpa）

离心力方向	最大应力 (Von Mises)	最大剪应力 (Von Mises)
0	104	57
30	82.3	47.3
60	47	26.5
90	41.5	23.6
120	76.2	43.9
150	102	58.7
180	104	59.8
210	81.5	46.8
240	45.6	25.7
270	40.3	22.9
300	75.9	43.8
330	102	58.8

表 5-4 航速为 23kn 下的最大应力值（单位：Mpa）

离心力方向	最大应力 (Von Mises)	最大剪应力 (Von Mises)
0	111	64.2

30	88.2	50.7
60	51	28.8
90	45	25.5
120	81.3	46.9
150	108	62.5
180	110	63.6
210	86.5	49.7
240	47.9	27
270	42.4	24.1
300	80.8	46.6
330	109	62.7

从表 5-2 至表 5-4 计算结果可以看出,在系柱状态、航速 18kn、航速 23kn 三种状态中,系柱状态时的结构应力较小;航速 18kn、航速 23kn 两种情况应力较系柱状态时大,且两者应力水平相当。

从一种状态看,由于离心力和附加弯矩的不同方向而组合出的不同工况中,当离心力方向在 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$, $330^{\circ} \sim 360^{\circ}$, $150^{\circ} \sim 210^{\circ}$ 范围内时,结构应力比较大。

在 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 一周内,三种状态的应力变化规律相同。最大 Von Mises 应力在 115Mpa 左右,最大剪应力不超过 70Mpa。应力最大点产生在尾鳍前端线型弯曲的地方,应力成分中一部分由于这部分厚度很薄,一方面由于应力集中产生的。

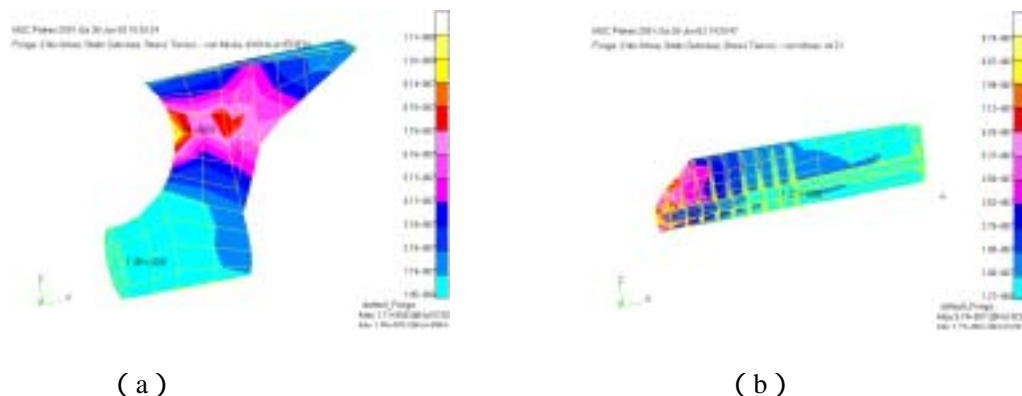


图 5.1 航速为 23 节离心力方向在 0 度时尾鳍及轴包架应力云图

6. 结束语

在尾鳍的结构设计过程中,一般要综合考虑尾鳍的强度、刚度、振动及尾鳍的形状对尾

部伴流的影响等各方面因素,在设计时可以通过结构的强度、刚度及振动计算和水池试验找到一个尾鳍的最佳设计形状。同过对该船的尾鳍的设计得到了该种船型尾鳍设计的一些有益启示,为今后对类似尾鳍的设计积累了经验。

在设计过程中,有限元工具的应用使尾鳍的规范的经验的设计与结构的直接计算之间形成一种互动式设计形式,提高了效率,使该船的设计任务在时间紧难度大的情况下得以很好的完成。