

船舶螺旋桨断叶强度分析

祁玉荣 金咸定

上海交通大学结构力学研究所

船舶螺旋桨断叶强度分析

Strength Analysis of Ship Propeller

祁玉荣 金咸定

(上海交通大学结构力学研究所)

摘要 螺旋桨的断叶强度直接影响着船舶的生命力,本文采用有限元方法,结合 MSC.Patran、MSC.Nastran 计算软件,建立有限元模型,对船舶的艉部螺旋桨的断叶强度进行计算,校核其强度要求,并阐述船舶艉部的力学特性。

关键词: 螺旋桨, MSC.Patran, MSC.Nastran, 有限元, 强度

Abstract: strength of ship propeller has an important effect on the life of whole ship, adopting the finite element method in this paper, combining calculated MSC.Patran、MSC.Nastran software, establishing FEM modal, the strength of ship propeller has been calculated, and the need for strength has been checked. The mechanical character of ship tail is exposed.

Key words: propeller, MSC.Patran, MSC.Nastran, FEM, strength

1. 前言

船舶艉部装载着系统的推力装置,是船体系统的一个重要组成部分,它包括有三层甲板,船底外板,柱子结构,动力设备,主机输出设备,各个肋位的横、纵舱臂,以及沿肋位分布龙骨、肋骨和横梁,推力轴承到螺旋桨之间的传动轴以及支撑轴的单、双臂支架。我国标准对水面船舶艉轴架有着严格的参数规范,但随着技术的不断的进步和国外船舶的引进,每条船的设计有着很大的差异,尽管历年来相应的规范都有了不断的更新,但旧的规范对于新型船舶没有跟上步伐,考虑通过对某船做详细的结构力学特性分析,并以此对现行规范提出部分改进意见。

本文重点研究某船的艉轴架部分的振动冲击力学特性,结合船舶力学知识和现有有限元仿真计算(CAE)软件,根据我国现行规范,通过对某船艉轴架进行结构刚度、断叶强度和振动冲击响应的计算,求得艉轴架系统的固有频率和固有振型,分析研究冲击质量和位移响应加速度的对应关系,为结构设计和特性指标校核提供技术支持,并为进一步分析和修正标准对于船舶艉轴架的相关规定提供依据。

本计算的依据为某船艏部结构图，尾部结构设计的有关图纸见附图。有关的艏部机械设备的布置范围、设备的重量和其它附件的重量数据，也都取自相应的计算和说明。艏部结构的相应区间起止为从 169[#] 肋位——225[#] 肋位，沿船长方向为 28 米。其中包括有相应位置的设备。

2. 艏部结构的初期有限元模型

为进行如上所说的计算分析，首先需要建立一个包括艏轴架在内的尾部结构有限元计算的模型。模型的覆盖范围为：长度方向从 169[#] 肋位——225[#] 肋位，宽度方向为船中纵剖面处一直到两舷。该模型覆盖了技术设计阶段初期的全部设计资料，基本上模拟了该船艏部的结构详情。

在建立有限元模型的过程中，依据设计的要求，不断的在结构设计和模型分析之间进行信息和数据的比较，反复地修正有限元的数学模型，进行了一系列的计算分析。一下各图为某船艏部的有限元分析的结构模型，该模型也是在技术设计的初期所建立的比较完整的模型。

艏部结构有限元结构的模拟或模型的描述采用了四种单元形式，即，用板壳单元模拟结构中的板结构；用梁单元模拟结构中的构架；用体单元模拟尾轴架和轴架中的实体；设备质量、附连水和压载水质量用点单元模拟。相关视图如下：

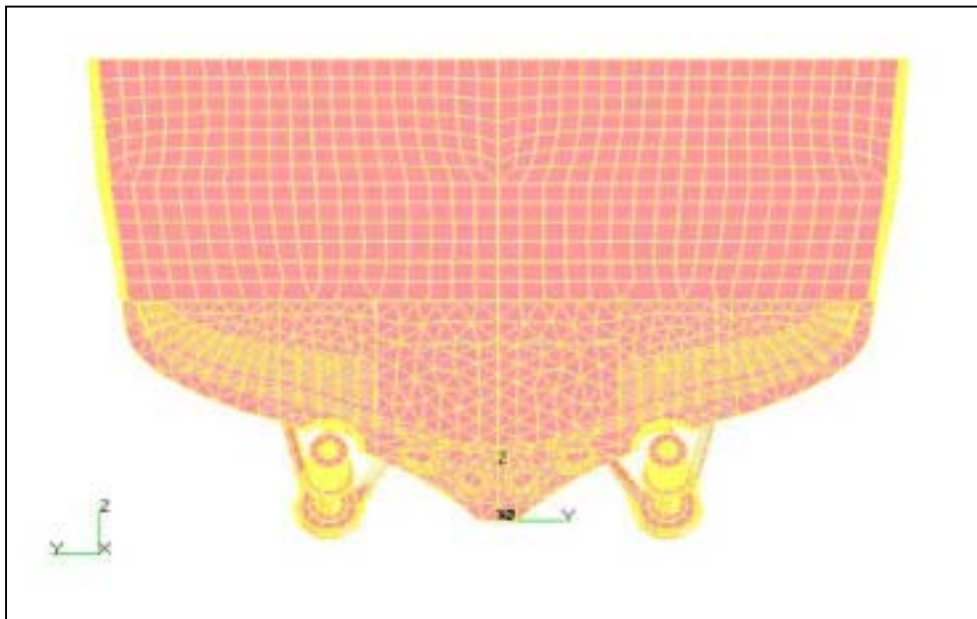


图 2-1 船艏横截面视图

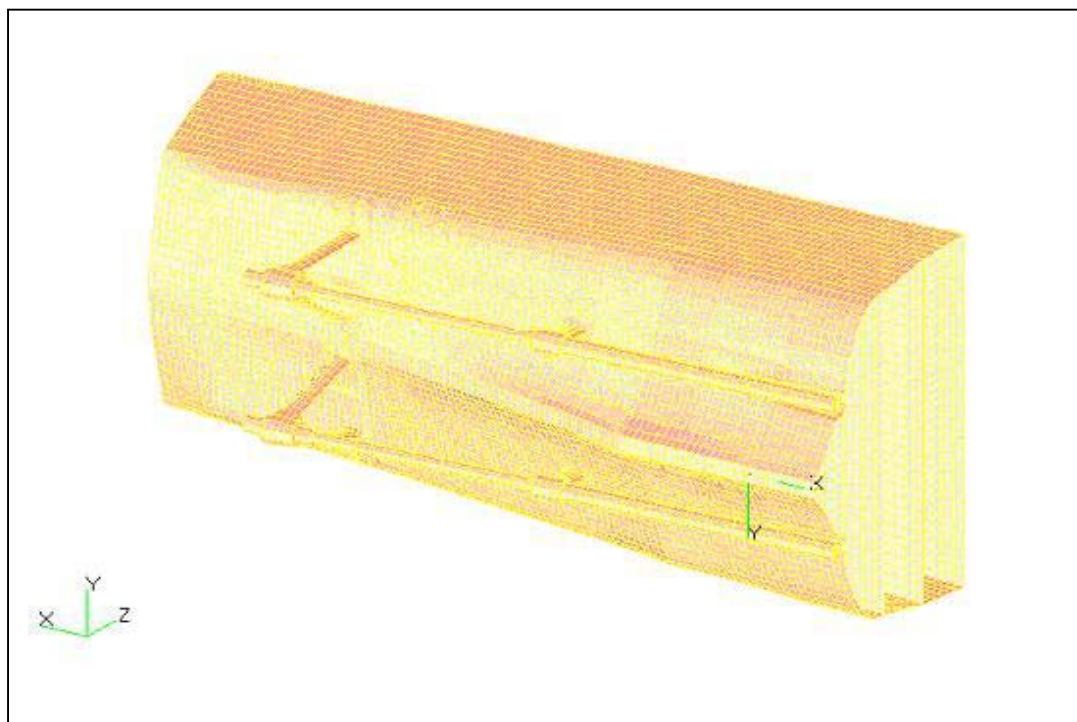


图 2-2 船艉底部侧视图

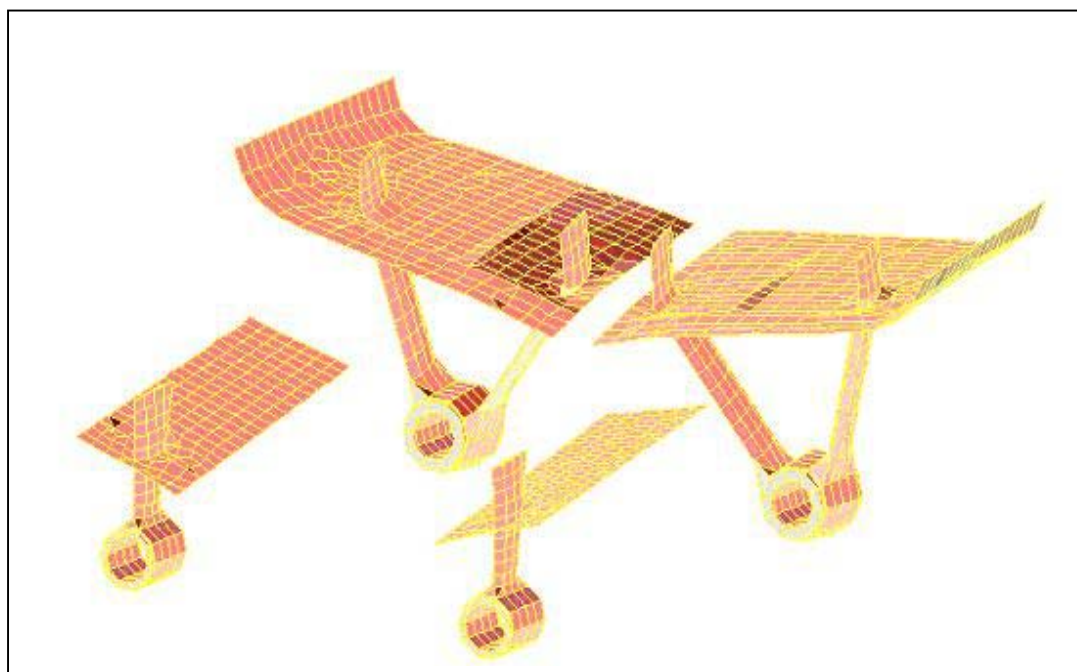


图 2-3 艉轴架与船体底部相接

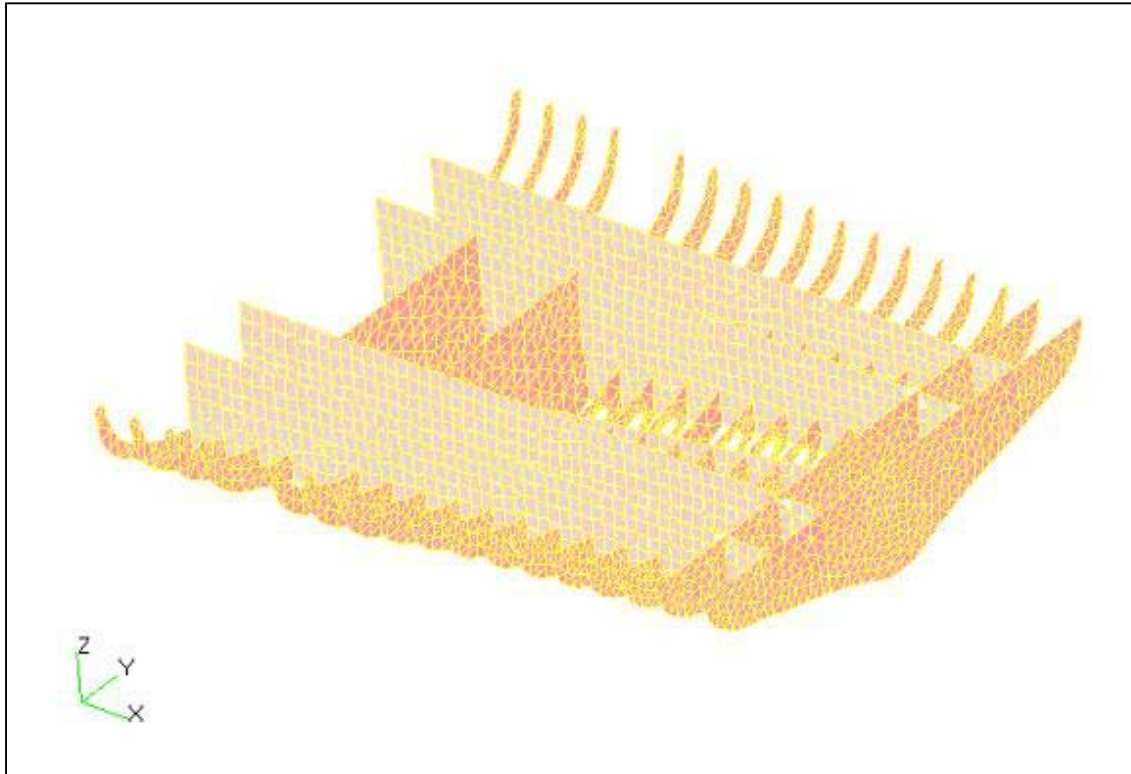


图 2-4 船底前端舱壁和骨架

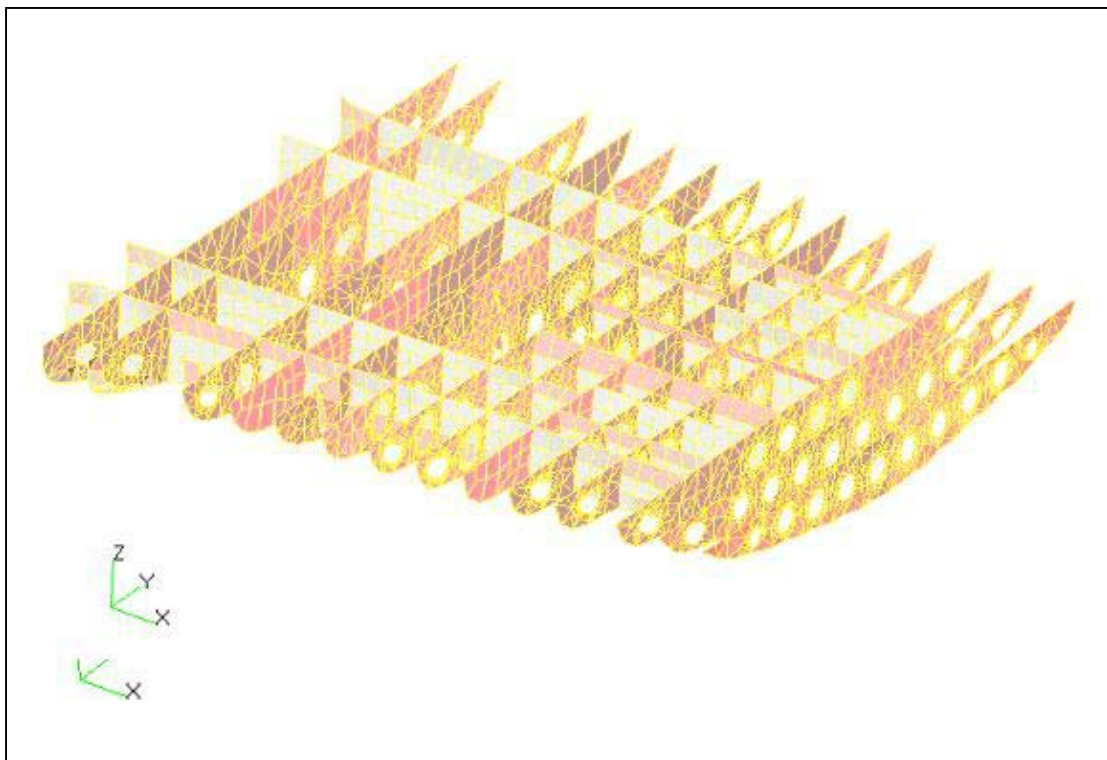


图 2-5 船底后端舱壁和骨架

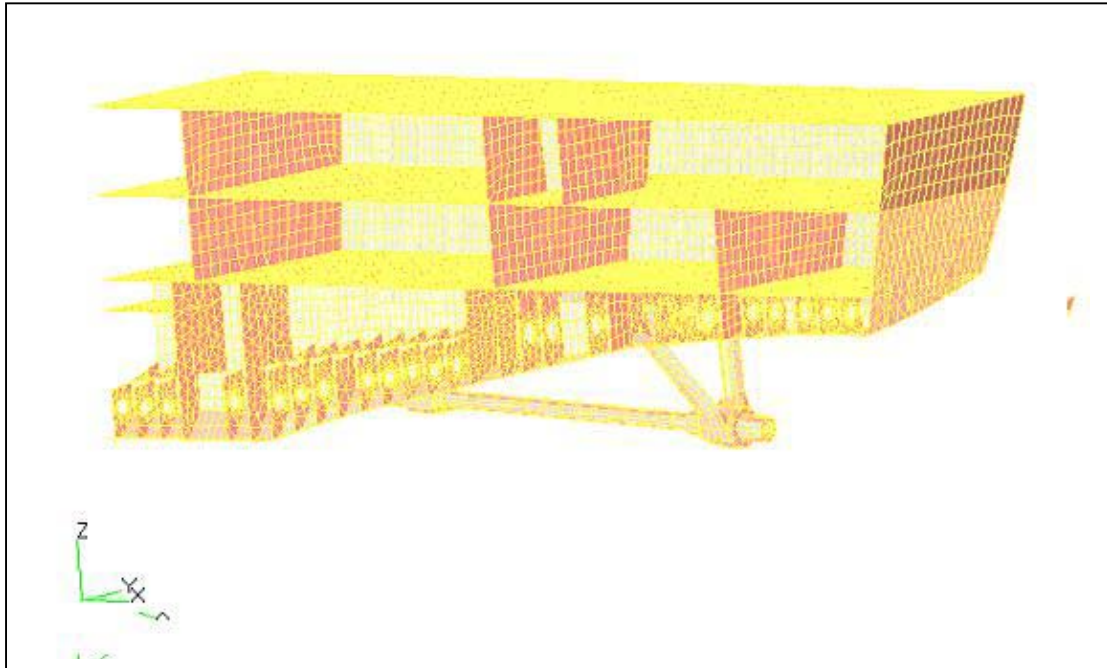


图 2-6 中纵剖面视图

3. 计算的初始数据包

3.1 基本数据

船总长 112.5 米，排水量 2800 吨，弹性模量 $2.1 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ ，剪切模量 $0.79 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ ，海水密度 1.025 吨/m^3 ，吃水高度 3.8 米。

3.2 机器、结构的质量

对于该包括艉轴架的尾部结构的动态特性计算，其质量包括结构模型的船体结构自身重量，以及设备质量。

设备集中质量：(单位：米)

21.05 吨 (109.39 0 3.53)

23.06 吨 (84.54 0 7.76)

3.61 吨 (88.34 0 9.51)

11.69 吨 (101.5 0 3.24)

7.5 吨 (85.33 0 3.32)

3.3 船体分站质量 (单位：吨/米)

15-16 : 19.57

16-17 : 20.71

17-18 : 17.14

18-19 : 17.27

19-20 : 14.54

注：艤部分站质量=船体结构质量+设备集中质量+设备均布质量

在有限元分析中，除船体质量和大设备质量外的质量都以质量块的形式平均加在结构中。

3.4 整船总振动数据

站号	垂向惯性矩	水平惯性矩	站间重量
	立方米	立方米	吨
0	0.2426	0.3809	
1	0.9226	0.9198	77.794
2	1.6025	1.4586	62.100
3	2.2825	3.1450	74.419
4	2.9625	4.8315	127.575
5	3.6571	6.5180	108.506
6	4.3878	7.8879	111.656
7	5.1185	9.2579	118.406
8	5.8492	10.6278	161.606
9	5.9152	11.3644	203.231
10	5.9166	11.8796	199.406
11	5.8213	12.3947	207.169
12	5.7260	12.9099	284.625
13	5.6306	11.5737	194.175
14	5.0516	10.6785	219.600
15	4.2308	10.2240	142.144
16	3.7703	9.3244	110.081
17	3.3499	8.4249	116.494
18	2.9295	7.5253	96.413
19	1.8386	6.4018	97.144
20	0.7477	5.2783	81.788

表 3-1 船体整体惯性矩和质量分布

3.5 螺旋桨数据

每叶重心至轴线距离	1.08m
每叶推力中心至轴线距离	1.37m
每叶推力	146 KN
桨轴最高转速	266.1 r/min
艤轴内径	0.32m
艤轴外径	0.44m
螺旋桨重量（单）	8.7T

表 3-2 螺旋桨振动所需数据

4. 断叶强度计算和校核

4. 1 螺旋桨断叶强度计算的外载荷

根据国家标准的规定,对于船舶的艉轴架及其与船体的连接结构的强度校核,均应按螺旋桨断叶的情况进行校核,以确定轴架和船体连接处的结构是否在应力横准的按标准规定允许范围内。三叶桨的计算工况为断一叶,四叶和五叶的螺旋桨按相邻两叶同时断叶的工况为强度校核工况,各计算状态时螺旋桨的转速取定为最高转速。

本船螺旋桨为五叶桨标准规定,按五叶桨断相邻两叶时的作用力:

$$C = 1.62(2n)2R_1q_1$$

$$P = 3p_1$$

式中, C —— 离心力, N;

P —— 偏心推力, N;

n —— 艉轴转速, rad/ s;

R_1 —— 每叶质心至轴线距离, m;

q_1 —— 每叶质量, kg;

p_1 —— 每叶推力, N;

考虑断叶作用力时,螺旋桨对于尾轴架所产生的作用力为螺旋桨断叶所产生的离心力以及偏心推力,这种方法是断叶所产生的动力作为静力处理,然后对尾鳍和艉轴架结构进行静强度校核。本船的计算中,按规定取上述五叶桨的断叶载荷计算,所考虑的是断相邻二叶的工况。船螺旋桨轴的最大转速为 266.1 转/分,取此情况下的离心力和偏心推力作为外载荷来校核强度。

在载荷处理中,因为模型建立不需要画出螺旋桨的结构,因此,螺旋桨结构作为一个集中质量加在距离 213#的螺旋桨轴处。另外,偏心推力还产生偏心力矩将其等校后加在轴上。

4. 2 螺旋桨断叶强度计算的船舶状态

螺旋桨断叶强度的计算,考虑三种船舶状态,即系柱状态,18 节航速状态和 24 节航速状态。在每种状态下,考虑离心力和重力方向垂直和重合两种情况计算。

其它计算载荷相关数据见表 4-1。

参数	离心力 C (N)	偏心推力 P (N)	桨转速 n (r/min)	桨 叶 重 心 距 轴 心 R_1 (mm)	偏 心 推 力 力 臂 (mm)	螺旋桨 质量 g (T)	偏心推力 力矩 N.mm
系柱 状态	4.51775E +04	4.38E+5	266.1	1080	1370	8.7	6.0006E+8

表 4-1 断叶强度计算载荷及相关参数对应表

4.3 断叶强度计算的有限元模型应力图

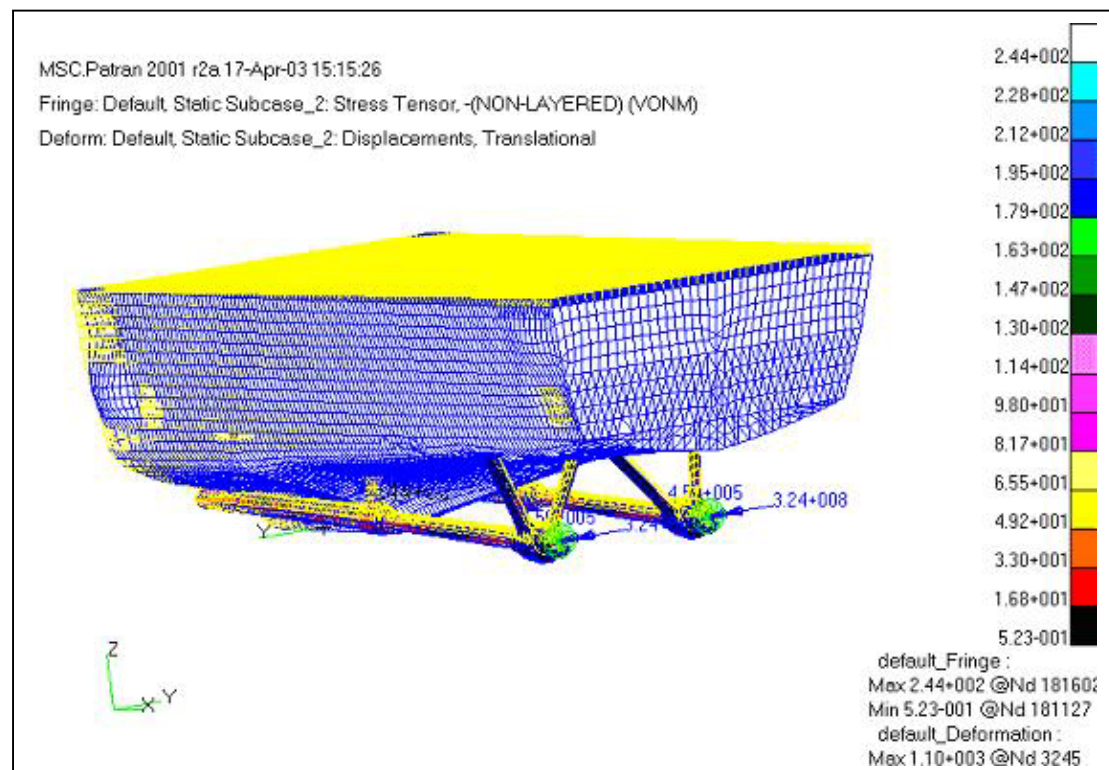


图 4-1 离心力和重力垂向断叶强度应力云纹图

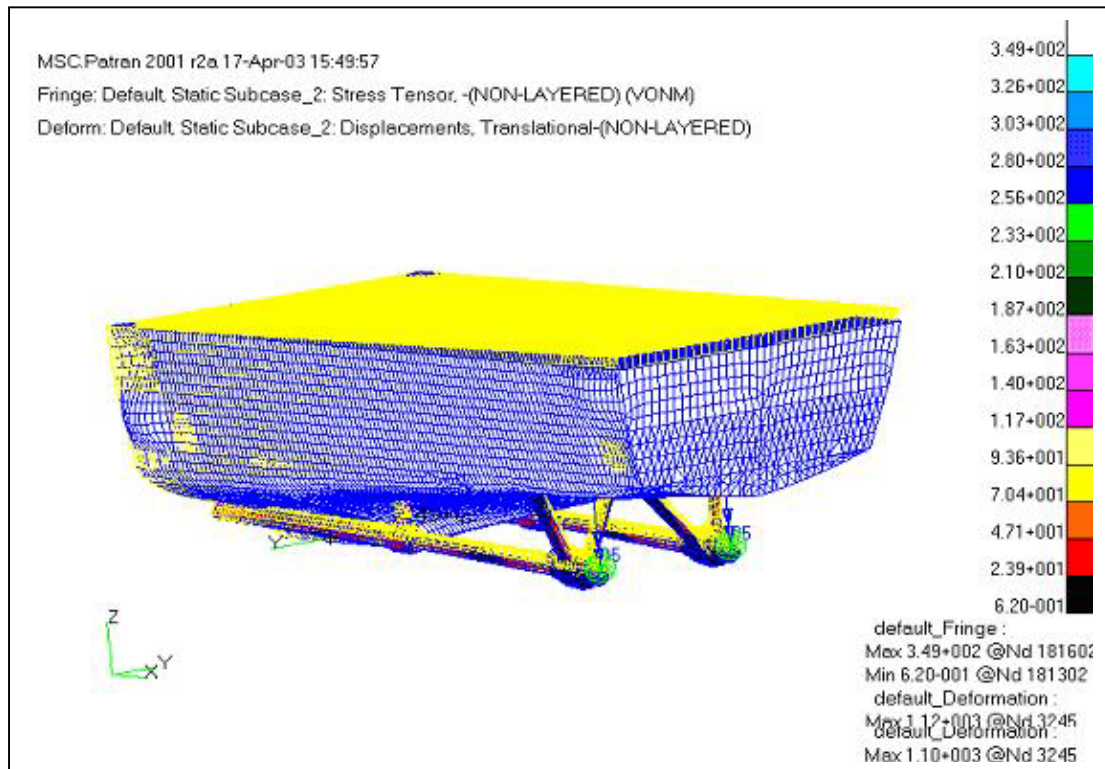


图 4-2 离心力和重力垂向断叶强度应力云纹图

4.4 螺旋桨断叶强度计算结果

将上表所列载荷数据施加于此结构模型上，通过计算,得到三种船舶状态下两种不同载荷组合方式下的应力结果，应力结果见表 6，应力结果采用是三个方向的合成应力。计算模型和图七一致。应力云纹图见图十二到十七。从应力云纹图上可以看出，应力最大的地方是出现在尾轴架和船体相连接处。

离心力和重力同方向	最大应力节点号	181602
	应力值 (Mpa)	244
离心力和重力垂直	最大应力节点号	181602
	应力值 (Mpa)	349

表 4-3 断叶强度计算结果表格

5. 结论

本文采用有限元与数值仿真法 (MSC.Patran、MSC.Nastran) 相结合的方法, 建立了船舶艏部刚度和断叶强度的有限元模型。根据以上对该船舶的强度的计算, 在这种断两叶情况下的载荷, 对于本船来说, 能满足该种材料的许用应力, 强度校核是合格的。

6. 参考文献

- [1] GJB/Z 71-95《舰船结构振动预报和预防措施》
- [2] 国家军用规范 GJB 4000-2000《舰船通用规范》
- [3] 《水面舰艇结构设计计算方法》, 中华人民共和国国家军用标准 FL 1905 GJB/Z 119—99, 中国人民解放军总装备部, 1999-09-01 实施。
- [4] 金咸定, 赵德有. 船体振动学. 上海: 上海交通大学出版社, 2000