

7800 吨化学品船锚机基座及下加强结构强度分析

文 | 顾俊¹ 王连成² 张思航¹ 张玉奎¹ 1. 中国船舶及海洋工程设计研究院 2. 北京中远海运船舶贸易有限公司

一、引言

锚机是船舶锚泊系统的重要组成部分,锚机在船舶抛锚和起锚的时候承受着巨大拉力,在首部的锚机还承受着甲板上浪载荷的作用,如果锚机基座设计不当,会造成船舶锚泊系统损伤,可能引发重大的海损事故,因此,目前锚机基座的有限元校核在规范中已经明确要求了。锚机主要由基座、支架、锚链轮、刹车、链轮、变速箱和电控等组成,其中锚机基座是连接船体结构和锚机本体的纽带,锚机基座及其下加强的强度直接影响着锚机的安全工作。

二、锚机基座主要结构形式

根据锚机设备资料进行锚机基座及下加强的图纸设计,锚机基座下加强结构图如图 1 所示,本船锚机基座部分设计图如图 2 所示。

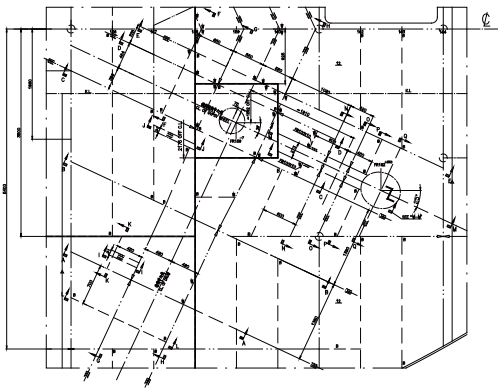


图 1 上甲板平面结构示意图

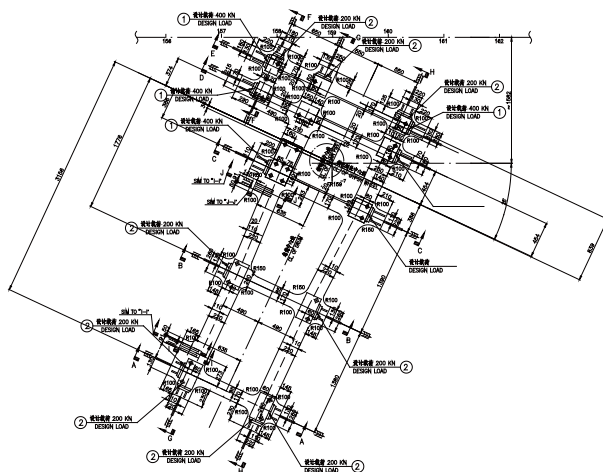


图 2 锚机基座平面示意图

三、有限元模型

本文分析采用的软件为通用有限元计算分析软件 MSC.Patran, 求解器为 MSC.Nastran。有限元模型中单元的大小、雅克比、细长比、网格尺寸、骨材是否需要偏心、大的骨材是否需要板单元模拟、载荷施加方法、工况、应力衡准选择以及计算结果提取等内容均参照 CCS 规范。本文模型根据结构图纸,选取锚机基座下加强结构作为研究对象。由于锚机布置及下加强结构关于中纵剖面对称,所以选取右舷锚机进行加载分析。模型纵向范围为 FR152~FR170, 横向范围为整个船宽, 垂向范围为上甲板至首楼甲板。有限元模型包括了基座下的所有结构构件, 锚机基座、上甲板、舱壁板以及和横梁、纵骨和纵桁以及强横梁的腹板采用壳体单元模拟。

根据 CCS 规范,校核锚机基座及其下加强结构和攀链器下加强结构时采用建造尺寸模拟,有限元模型如图 3 所示。

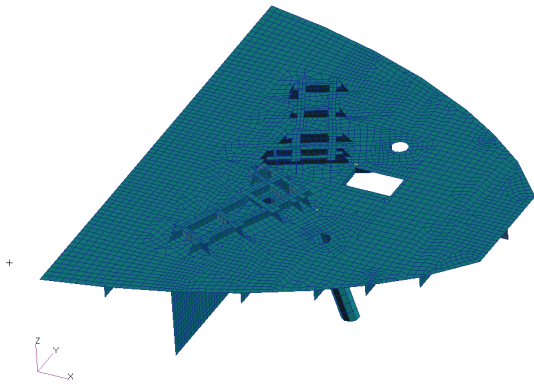


图 3 锚机基座及加强结构有限元模型

1、网格划分

本模型主要采用 1D-Beam 单元、2D-Shell 单元。网格单元大小为 200mm × 200mm 左右,高应力区域的网格适当细化。甲板板、主要支撑构件(纵桁和强横梁)的腹板以及基座板用 Shell 单元模拟;主要支撑构件面板和局部加强筋用梁单元(Beam)模拟。

2、建立模型坐标系

模型的坐标系按照规范规定的直角坐标系结构,采用右手笛卡尔直角坐标系结构。坐标原点定在 0 号肋位(0 号肋位是尾垂线与基线的交点),X 轴的正向为沿船长方向并且指向首部。Y 轴的正向为沿船宽方向并且指向左舷。Z 轴的正向为垂直向上。

四、载荷工况

按照 CCS 规范中对锚机基座及其下的船体结构强度校核建议要求,计算载荷包括两种情况,设计载荷分为甲板上浪载荷和 45% 的锚机锚链的破断载荷以及作用于攀链器的 80% 的锚链破断载荷。

1、甲板上浪载荷

如图 4 所示,上浪载荷认为直接作用在垂直于锚设备中心线,压力的作用面积为锚机在垂直于锚设备中心线上的侧投影面积。

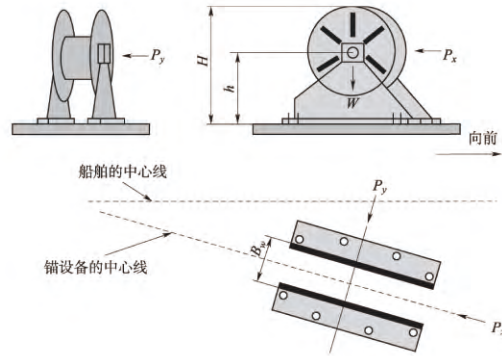


图 4 作用载荷方向示意图

(1) 垂直于锚机轴线由船首向后方向,力 P_x 为 200kN/m² 乘以该方向的投影面积。

根据设备厂提供的图纸,本锚机座的投影面积为 $A_{projx}=5.5\text{m}^2$

$$P_x=200A_{projx}=200 \times 5.5=1100\text{kN}$$

(2) 平行于锚机轴线分别作用于舷内和舷外侧,力 P_y 为 150 kN/m² 乘以 f 倍该方向的投影面积。

根据设备厂提供的图纸,本锚机座的投影面积为 $A_{projy}=4.31\text{m}^2$

$$f=1+B/H=1+0.84/1.85=1.454$$

$$P_y=150 f A_{projy}=150 \times 1.454 \times 4.31=940.05 \text{ kN}$$

(3) 固定锚机于基座上的螺栓力计算。

如图 2 所示,共有 13 栓组。对于第 i 个螺栓组的轴向力可按下式计算:

$$R_{xi}=\frac{P_x h x_i A_i}{I_x} \quad (1)$$

$$R_{yi}=\frac{P_y h y_i A_i}{I_y} \quad (2)$$

$$R_i=R_{xi}+R_{yi}-R_{si} \quad (3)$$

式中, P_x 、 P_y 如上所示; h 是锚机轴线离安装平面的高度,为 900mm; x_i 、 y_i 是第 i 个螺栓组到所有 N 个螺栓组的中心的 x 和 y 方向的坐标,单位为 cm,正方向与 P_x 、 P_y 的方向相反,如图 5 所示; A_i 是螺栓组所有螺栓横剖面面积之和,单位为 cm²; I_x 是 $\sum A_i x_i^2$; I_y 是 $\sum A_i y_i^2$; R_{si} 是由锚机重量作用在第 i 个螺栓组上静反力,锚机重量约为 10t。

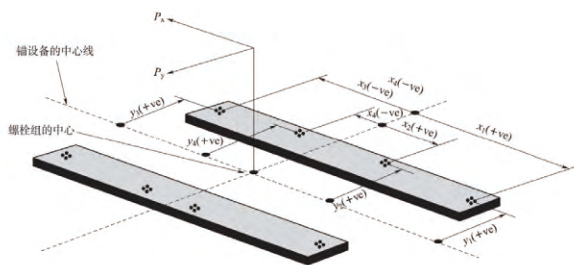


图5 螺栓布置和符号定义

作用于第 i 个螺栓组的剪切力 F_{xi} , F_{yi} 和合成 F_i 力可按
下式计算:

$$F_{xi} = \frac{P_x - \alpha g W}{N} \quad (4)$$

$$F_{yi} = \frac{P_y - \alpha g W}{N} \quad (5)$$

$$F_i = \sqrt{F_{xi}^2 + F_{yi}^2} \quad (6)$$

对于锚机基座下加强结构的计算分析, 不要考虑摩擦力, 所以作用于第 i 个螺栓组的实际剪切力 F_{xi} , F_{yi} 为:

$$F_{xi} = \frac{P_x}{N} \quad (7)$$

$$F_{yi} = \frac{P_y}{N} \quad (8)$$

根据螺栓布置图, 假设单个螺栓有效横剖面面积为 A_i , 得到螺栓强度计算的所需参数, 如表 1 所示。表中, X_i, Y_i 为第 i 组螺栓组中心在全局坐标系中的坐标, X_i, Y_i 为第 i 组螺栓组中心在局部坐标系中的坐标, n_i 为第 i 组螺栓组的螺栓个数。

螺栓组中心在全局坐标系中的坐标为:

$$X_0 = A_i \sum n_i X_i' / A_i \sum n_i = -4170/24 = -173.75 \text{ mm} \quad (9)$$

$$Y_0 = A_i \sum n_i Y_i' / A_i \sum n_i = -17729/24 = -738.71 \text{ mm} \quad (10)$$

局部坐标系中, 螺栓组 i 相对于螺栓组中心的坐标 (X_i, Y_i) 如表 1 所示。

$$I_x = A_i \sum n_i X_i'^2 = A_i * 235719 = 9118912.5 A_i' \quad (11)$$

$$I_y = A_i \sum n_i Y_i'^2 = A_i * 988264 = 43069199 A_i' \quad (12)$$

当 P_y 为舷外方向时 (P_y 方向由左舷舷指向右舷), 各

表 1 螺栓布置参数计算

螺栓组 编号	n_i	全局坐标系				局部坐标系			
		X_i' (mm)	Y_i' (mm)	$n_i * X_i'$ (mm)	$n_i * Y_i'$ (mm)	X_i (mm)	Y_i (mm)	$n_i * X_i'^2$ (mm ²)	$n_i * Y_i'^2$ (mm ²)
1	2	-550	-3156	-1100	-6312	-376.25	-2417.29	283128.125	11686598
2	2	550	-3156	1100	-6312	723.75	-2417.29	1047628.13	11686598
3	2	-550	-1776	-1100	-3552	-376.25	-1037.29	283128.125	2151948
4	2	550	-1776	1100	-3552	723.75	-1037.29	1047628.13	2151948
5	4	-550	-386	-2200	-1544	-376.25	352.7083	566256.25	497612.67
6	2	630	-386	1260	-772	803.75	352.7083	1292028.13	248806.34
7	2	-550	-36	-1100	-72	-376.25	702.7083	283128.125	987598
8	1	-1145	374	-1145	374	-971.25	1112.708	943326.563	1238119.8
9	2	-550	374	-1100	748	-376.25	1112.708	283128.125	2476239.7
10	2	630	374	1260	748	803.75	1112.708	1292028.13	2476239.7
11	1	-1145	839	-1145	839	-971.25	1577.708	943326.563	2489163.6
12	1	-630	839	-630	839	-456.25	1577.708	208164.063	2489163.6
13	1	630	839	630	839	803.75	1577.708	646014.063	2489163.6
Σ	24			-4170	-17729			9118912.5	43069199



螺栓组所受的轴向力及水平剪切力如表 2 所示。当 P_y 为舷内方向时 (P_y 方向由右舷指向左舷)，各螺栓组所受的轴向力及水平剪切力如表 3 所示。各螺栓组载荷施加于相应螺栓组的中心。

表 2 螺栓轴向力和水平剪切力 (P_y 指向舷外)

螺栓组	轴向力				剪切力	
编号	$R_{xi}(\text{kN})$	$R_{yi}(\text{kN})$	$R_{zi}(\text{kN})$	$R_i(\text{kN})$	$F_{xi}(\text{kN})$	$F_{yi}(\text{kN})$
1	-40.85	-47.48	7.55	-95.88	80.84	68.54
2	78.57	-47.48	7.55	23.54	80.84	68.54
3	-40.85	-20.38	7.55	-68.77	80.84	68.54
4	78.57	-20.38	7.55	50.65	80.84	68.54
5	-40.85	6.93	7.55	-41.47	80.84	68.54
6	87.26	6.93	7.55	86.64	80.84	68.54
7	-40.85	13.80	7.55	-34.59	80.84	68.54
8	-105.44	21.86	7.55	-91.13	80.84	68.54
9	-40.85	21.86	7.55	-26.54	80.84	68.54
10	87.26	21.86	7.55	101.57	80.84	68.54
11	-105.44	30.99	7.55	-82.00	80.84	68.54
12	-49.53	30.99	7.55	-26.09	80.84	68.54
13	87.26	30.99	7.55	110.71	80.84	68.54

表 3 螺栓轴向力和水平剪切力 (P_y 指向舷内)

螺栓组	轴向力				剪切力	
编号	$wR_{xi}(\text{kN})$	$R_{yi}(\text{kN})$	$R_{zi}(\text{kN})$	$R_i(\text{kN})$	$F_{xi}(\text{kN})$	$F_{yi}(\text{kN})$
1	-40.85	47.48	7.55	-0.91	80.84	68.54
2	78.57	47.48	7.55	118.51	80.84	68.54
3	-40.85	20.38	7.55	-28.02	80.84	68.54
4	78.57	20.38	7.55	91.40	80.84	68.54

螺栓组	轴向力				剪切力	
5	-40.85	-6.93	7.55	-55.32	80.84	68.54
6	87.26	-6.93	7.55	72.78	80.84	68.54
7	-40.85	-13.80	7.55	-62.20	80.84	68.54
8	-105.44	-21.86	7.55	-134.85	80.84	68.54
9	-40.85	-21.86	7.55	-70.25	80.84	68.54
10	87.26	-21.86	7.55	57.86	80.84	68.54
11	-105.44	-30.99	7.55	-143.98	80.84	68.54
12	-49.53	-30.99	7.55	-88.07	80.84	68.54
13	87.26	-30.99	7.55	48.72	80.84	68.54

2、45% 锚链破断载荷

根据设备数据，锚链的破断强度为 181t，校核螺栓力时，取 45% 的锚链破断力，即 1775.61kN，交角为 19° ，将其分解成水平力 755.49kN，垂向力 260.14kN，按照类似计算方法，可得到各螺栓组的轴向力和剪切力，如表 4 所示。各螺栓组载荷施加于相应螺栓组的中心。

表 4 螺栓轴向力和水平剪切力 (45% 锚链破断力)

螺栓组	轴向力				剪切力	
编号	$R_{xi}(\text{kN})$	$R_{yi}(\text{kN})$	$R_{zi}(\text{kN})$	$R_i(\text{kN})$	$F_{xi}(\text{kN})$	$F_{yi}(\text{kN})$
5	31.05	0.00	39.80	-8.75	78.49	0.00
6	-95.57	0.00	39.80	-135.37	78.49	0.00
7	31.05	0.00	39.80	-8.75	78.49	0.00
8	94.90	0.00	39.80	55.09	78.49	0.00
9	31.05	0.00	39.80	-8.75	78.49	0.00
10	-95.57	0.00	39.80	-135.37	78.49	0.00
11	94.90	0.00	39.80	55.09	78.49	0.00
12	39.64	0.00	w39.80	-0.17	78.49	0.00

螺栓组	轴向力				剪切力	
13	-95.57	0.00	39.80	-135.37	78.49	0.00

3、掣链器 80% 锚链破断载荷

据设备数据，锚链的破断强度为 181t，校核止链器时，取 80% 的锚链破断力，即 1420.49kN，垂向交角为 28°，水平交角为 25°，将其分解成 x 向水平力 604.40kN， y 向水平力 281.84kN， z 向垂向力 1254.22kN，通过 MPC 方式加载，如图 6 所示。

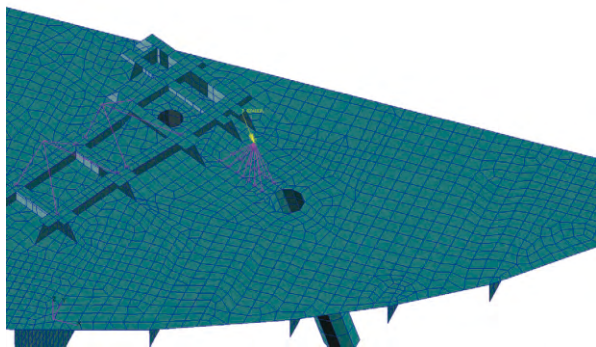


图 6 止链器载荷施加

五、边界条件及应力衡准

该模型的边界条件为四周刚固，约束 X 、 Y 、 Z 方向的位移和转动。

根据 CCS 船级社规范（2018）的要求，各种工况下，支撑结构和基座板元的许用相当应力不大于材料的屈服极限。在该锚机基座及止链器加强结构中，除应力集中处，全部使用普通钢，屈服极限为 235 N/mm²。应力集中处部分采用 AH32 钢，屈服极限为 315N/mm²。

六、计算结果

计算所得各工况下基座加强结构的合成应力分布如图 7~ 图 13 所示，图中应力单位为 N/mm²。图中显示的均为单元的中间应力。计算所得各工况下最大合成应力与许用合成应力的比较如表 5 所示，除应力集中采用 AH32 钢外，锚机基座及止链器加强计算所得最大合成应力为 166.0N/mm²，

小于规范许用值，所以该锚机基座及掣链器加强结构的强度满足规范的要求。

表 5 应力比较

	计算工况	最大合成应力 (N/mm ²)	许用合成应力 (N/mm ²)
锚机 基座 加强 结构	甲板上浪(舷外)	52.6	235
	甲板上浪(舷内)	54.9	235
	45% 锚链破断 强度	56.8	235
	80% 锚链破断 强度	246 (应力集中， 采用 AH32 钢 可满足) 166.0	235

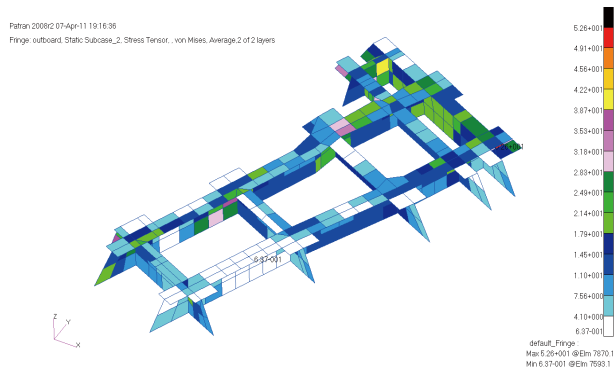


图 7 甲板上浪工况下锚机基座合成应力分布（舷外）

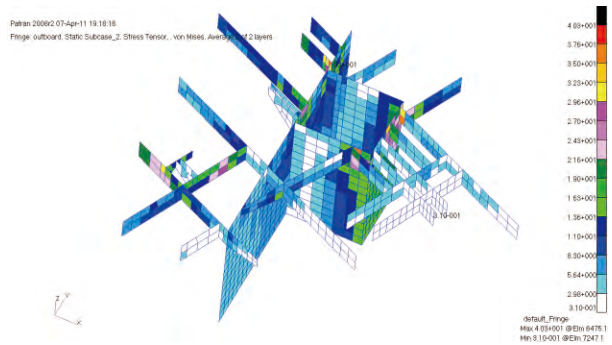


图 8 甲板上浪工况下锚机基座下加强结构合成应力分布（舷外）

Patran 2008r2 07-Apr-11 19:25:07
Fringe: Inboard Static Subcase_2, Stress Tensor, von Mises, Average 2 of 2 layers

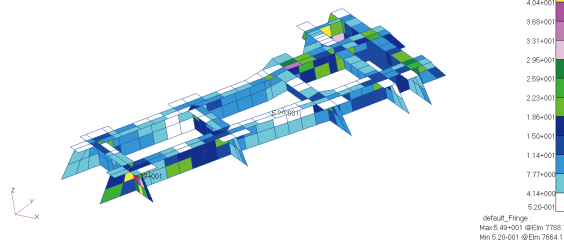


图9 甲板上浪工况下锚机基座合成应力分布（舱内）

Patran 2008r2 07-Apr-11 19:23:52
Fringe: Inboard Static Subcase_2, Stress Tensor, von Mises, Average 2 of 2 layers

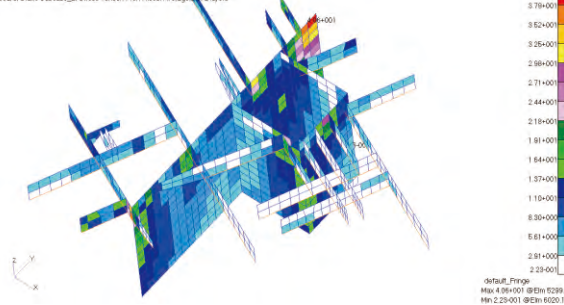


图10 甲板上浪工况下锚机基座下加强结构合成应力分布（舱内）

Patran 2008r2 07-Apr-11 19:25:03
Fringe: Inboard Static Subcase_2, Stress Tensor, von Mises, Average 2 of 2 layers

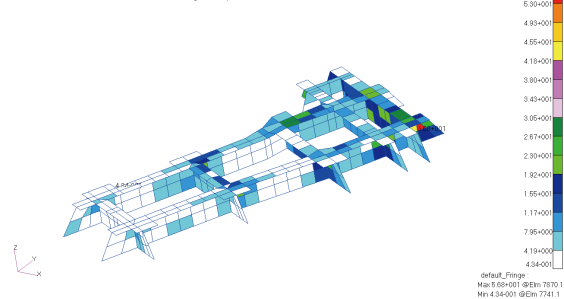


图11 45% 锚链破断强度工况下锚机基座合成应力分布

Patran 2008r2 07-Apr-11 19:23:13
Fringe: Inboard Static Subcase_2, Stress Tensor, von Mises, Average 2 of 2 layers

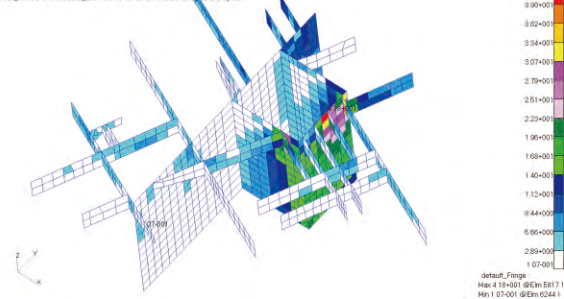


图12 45% 锚链破断强度工况下锚机基座下加强结构合成应力分布

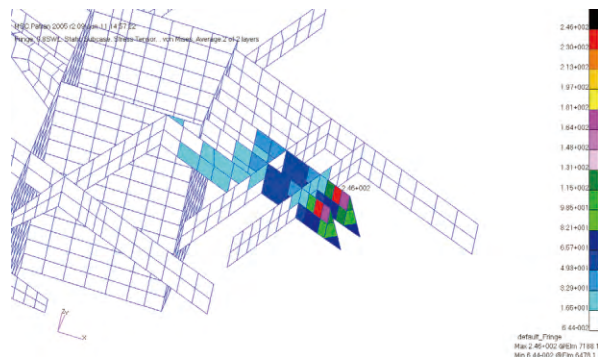


图13 80% 锚链破断强度工况下止链器基座下加强结构合成应力分布

七、结论

对锚机基座进行了有限元分析强度审查，依据 CCS 关于锚机基座强度计算部分的条文进行了有限元强度分析，得到了 3 种工况下的最大合成应力，并于许用值进行比较。有限元强度分析计算结果表明，锚机的基座、攀链器及支撑结构满足 CCS 的要求。对比不同的工况，攀链器受 80% 锚链破断强度的这个工况对攀链器下加强结构的应力最大，部分单元超过了普通钢的屈服限，需要采用 AH32 钢才能满足要求，设计时要特别当心。另外 2 种工况甲板上浪和 45% 锚链破断强度下的结构应力小于普通钢的屈服衡准。文中有限元模型建立、校核工况和应力衡准等分析方法和计算过程为相同大小或类似大小的锚机基座有限元强度校核提供了分析帮助，给设计者提供一些参考依据。

