

自卸船 C-Loop 桅屋及吊臂基座强度分析及优化设计

杨 伟 蒋明华

(中船澄西船舶修造有限公司, 江苏 无锡 214400)

摘要 为了确保自卸臂在工作过程中 C-Loop 桅屋结构变形和基座强度满足规范和设备要求, 现利用 MSC.Patran & Nastran 软件对其进行有限元强度分析, 通过结构加强和优化设计, 使 C-Loop 桅屋变形控制在许可范围内, 保证桅屋内自卸设备正常工作, 保证基座屈服强度满足规范设计要求。

关键字 C-Loop 桅屋; 自卸臂; 强度; 结构; 有限元分析

C-Loop Casing and Discharge Boom Pedestal Strength Analysis and Optimization Design of self-unloading Bulk Carrier

YANG Wei JIANG Minghua

(CSSC Chengxi Shipyard, Jiangyin 214400, Jiangsu, China)

Abstract In order to ensure the deflection of C-Loop casing and strength of boom pedestal are according with the rule and equipment requirement in the working of self-unloading boom, and achieved by performing a finite element analysis using MSC.Patran&Nastran software. The analysis and optimization design results show that the deflection of C-loop casing and strength of boom pedestal is acceptable. The equipment requirements are also to be working and the yield strength of boom pedestal are according with rule requirements.

Key words C-loop casing; self-unloading boom; strength; structure; finite element analysis

0 引言

普通散货船的卸货基本是靠船上自带的克令吊或岸吊进行的, 而自卸船是靠船上的自卸设备进行卸货的。自卸船的货物通过传输带夹送到桅屋的漏斗处, 经漏斗落在自卸臂上, 由卸货臂上的传输带再把货物运送到岸上或其他货船上。所以桅屋和自卸臂是自卸船特有的结构。

由于桅屋结构特殊, 为了避免卸货过程中桅屋出现过大变形和强度问题, 所以在前期设计中必须把桅屋结构变形和强度控制在有效范围之内, 才会保证桅屋内部设备的正常工作和结构安全。

有限元法是目前最方便、有效、快捷、准确的方法之一。利用有限元软件对结构进行建模分析, 不仅有效地反映每个位置的具体应力结果还可以方便地对结构进行修改加强重新计算。C-Loop 桅屋结构简单但受力复杂, 传统方法很难准确地评估此处结构变形和强度问题。目前, 最好用有限元法对桅屋和基座结构进行建模分析, 才可以有效地控制变形和结构强度问题。

1 有限元模型

1.1 坐标系

采用笛卡尔坐标系。Patran 软件中采用 N, mm 为单位, 应力以 N/mm^2 为单位。

1.2 模型范围及网格

横向从左舷顶边舱垂直板(距中 8800mm)到右舷顶边舱垂直板(距中 8800mm)之间, 纵向从 1 舱

的前舱口(161400mm)到艏楼 FR214 肋位强框架(180100mm)之间,垂向从 7500mm 以上的所有结构均通过有限元网格模拟出来。模型范围内的纵横舱壁、各层甲板、以及尺寸较大的 T 型材腹板均用壳单元模拟,扶强材和 T 型材面板用梁单元进行模拟,模型中没有用杆单元。由于自卸臂斜拉杆与桅屋顶部用轴承连接,所以在轴承中心点与桅屋上下接触面做多点连接方法(软件中 MPC),在自卸臂基座处,也采用多点连接方法。

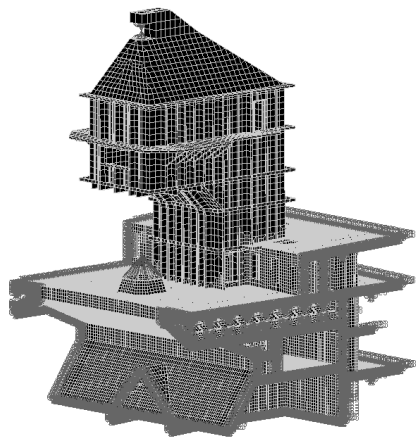


图 1 有限元网格模型及边界约束效果图

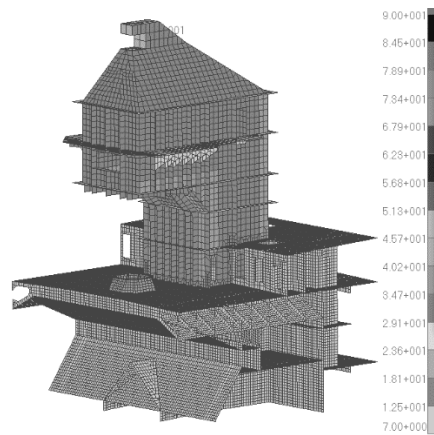


图 2 有限元模型板厚效果图

按照规范要求,桅屋结构的网格大小为肋位间距大小,考虑到建模方便,模型中桅屋处网格大小为 1/2 肋位间距,即 400x400mm 网格大小,基座处网格大小为 1/4 肋位间距,即 200x200mm 网格大小。具体网格效果详见图 1。

1.2 材料属性

材料为 A 级普通钢、AH32 高强度钢和 AH36 高强度钢;杨氏模量为 $2.06 \times 10^5 \text{N/mm}^2$;泊松比为 0.3;密度为 7.85T/m^3 。

模型中的所有构件取建造厚度。有限元模型中的壳单元附有与图纸对应的板厚信息,梁单元也赋予相应的截面属性并考虑了偏心的影响,T 型材面板也附有相应的截面属性。具体板厚效果详见图 2。

1.3 边界条件

在模型的底部界面、左右舷界面、首部界面均做了简支约束。详见图 1。

1.4 工况及载荷

自卸臂的操作范围是沿着 X 负方向向左右舷分别扩展 100 度,共分为自卸臂平行工作状态和自卸臂沿着水平方向最高抬升 18 度这两种工作状态。具体载荷由设备厂商提供,然后根据规范和设备的要求,对各具体载荷进行组合。

根据吊臂工作的范围分为 9 种角度工况分析,然后结合水平放置状态下强度校核工况、水平放置状态下极端操作工况、水平放置状态下正常操作工况、自卸臂抬升 18 度状态下强度校核工况、自卸臂抬升 18 度状态下极端操作工况、自卸臂抬升 18 度状态下正常操作工况,这 6 种工况与 9 种角度工况进行组合,共计 54 种组合分析工况。其中水平放置状态下强度校核工况(规范强度要求),仅要求满足规范强度校核要求即可,为工况 1;水平放置状态下极端操作工况(设备变形要求),许用变形要求为 40mm,为工况 2;水平放置状态下正常操作工况(设备变形要求),许用变形要求为 35mm,

为工况 3；自卸臂抬升 18 度状态下强度校核工况(规范强度要求)，仅要求满足规范强度校核要求即可，为工况 4；自卸臂抬升 18 度状态下极端操作工况(设备变形要求)，许用变形要求为 40mm，为工况 5；自卸臂抬升 18 度状态下正常操作工况(设备变形要求)，许用变形要求为 35mm，为工况 6。

根据设备厂商和规范要求，对各分析组合工况中的设计载荷乘以相应的载荷系数。

2 结果评估

2.1 初算结果

依据规范要求仅需对工况 1 和工况 4 进行强度分析和校核，这两种工况为规范强制的强度校核工况，其他工况的载荷均小于此两种工况，强度也做一起分析和评估。

对于网格尺寸为 s*s 的有限元模型，应力评估标准如下：

$$\sigma_{vm} \leq 0.8 R_{eh}$$

式中：

σ_{vm} 为 Von Mises 应力(米塞斯应力)，N/mm²

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \tau_{xy}^2}$$

R_{eh} 为材料最小屈服应力

工况 1 和 4 不做变形评估，仅做强度评估；工况 2、3、5 和 6 为评估 C-Loop 桅屋变形工况。C-Loop 桅屋四周围壁为板架结构，中间并无任何连接和支撑，围壁内部为自卸设备和其他设备，根据设备要求，必须控制桅屋的变形。

按照上述规范和设备要求对其进行计算，所得各工况下的变形和应力结果汇总如下表 1 和表 2：

表 1 初算各工况变形汇总表

工况	许用变形 (mm)	计算变形 (mm)
工况2	40	47.4
工况3	35	44.5
工况5	40	46.4
工况6	35	43.1

表 2 初算各工况应力结果汇总表

工况	材料	许用应力 (N/mm ²)	计算应力 (N/mm ²)	利用率
工况1	普通钢	157.5	456	2.89
	AH32高强度钢	211.1	272	1.29
	AH36高强度钢	237.9	217	0.91
工况2	普通钢	157.5	459	2.91
	AH32高强度钢	211.1	270	1.28
	AH36高强度钢	237.9	216	0.91
工况3	普通钢	157.5	431	2.74
	AH32高强度钢	211.1	255	1.21
	AH36高强度钢	237.9	203	0.85
工况4	普通钢	157.5	434	2.76
	AH32高强度钢	211.1	247	1.17
	AH36高强度钢	237.9	206	0.87
工况5	普通钢	157.5	428	2.72
	AH32高强度钢	211.1	244	1.16
	AH36高强度钢	237.9	203	0.85
工况6	普通钢	157.5	402	2.55
	AH32高强度钢	211.1	230	1.09
	AH36高强度钢	237.9	191	0.80

通过分析的结果和变形可以看出，不仅计算应力结果超过了规范要求，桅屋变形也不满足设备许用变形的要求。通过汇总工况 2 内不同角度的分析结果（见表 3），可以看出，每个工况的最大应力主要是吊臂向左右舷旋转 45 度或 55 度方向的工作状态下，上述是以工况 2 举例说明，其他工况下的角度工况分析结果也与工况 2 基本一致。在 45 度或 55 度时整个桅屋结构应力最大。

表 3 初算工况 2 内不同角度工况的应力结果汇总表

角度	普通钢 (N/mm ²)	AH32高强度钢 (N/mm ²)	AH36高强度钢 (N/mm ²)
0度	345	199	158
+45度(左舷)	442	268	216
-45度(右舷)	459	270	185
+55度(左舷)	434	265	215
-55度(右舷)	450	268	186
+90度(左舷)	336	206	172
-90度(右舷)	327	211	172
+100度(左舷)	315	176	159
-100度(右舷)	303	183	160

2.2 结构加强及优化设计

针对上述分析结果和体现出的问题，再对结构加强就有一定的针对性。为了控制空船重量，又能体现加强的效果，对多种加强和优化方案进行分析，最终使桅屋变形满足设备许用变形要求，基座强度满足规范要求。具体加强和优化体现在如下内容：

- 桅屋四周围壁相交处的板进行加厚；降低其他位置的板厚；
- 桅屋左右两侧 C 型结构处增加 T 型材；
- 桅屋与首楼相交处的结构进行加厚；
- 桅屋顶部内侧 T 型材进行加厚；
- 桅屋前后壁两侧增加大的 T 型材；
- 桅屋四周围壁的板厚在往下方延伸时注意延续，使板厚逐渐降低，不要出现板厚变化梯度太大；

- g. 改变桅屋左右两侧门孔位置，避开高应力区；
- h. 基座下方的板厚进行优化，板厚逐渐降低，不同板厚之间逐渐过渡；
- i. 根据基座形状，优化底座支撑结构，避免应力集中；
- j. 其他优化，如增加肘板，改变材料等。

根据上述加强和优化后，各工况的变形满足设备变形要求。各工况的变形结果汇总见表 4，工况 2 的最大变形和工况 3 的最大变形详见下图 3 和图 4。

表 4 优化后各工况变形汇总表

工况	许用变形 (mm)	计算变形 (mm)
工况2	40	36.7
工况3	35	34.7
工况5	40	34.8
工况6	35	33.9

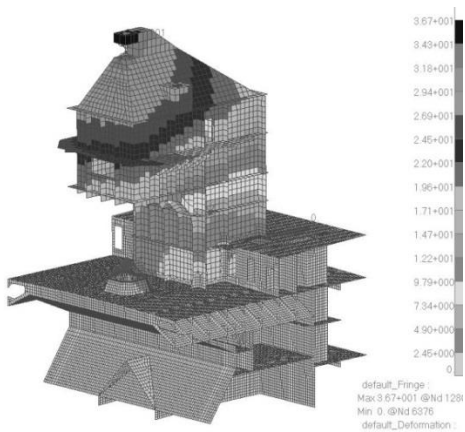


图 3 工况 2 的最大变形效果图

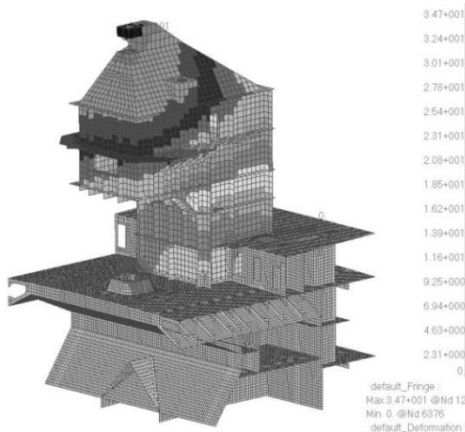


图 4 工况 3 的最大变形效果图



图 5 工况 1 的最大应力效果图

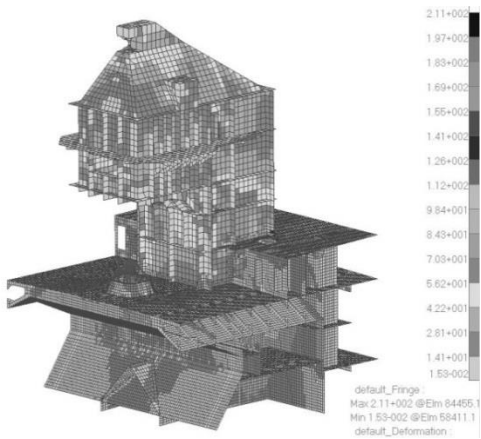


图 6 工况 4 的最大应力效果图

各工况下的最大计算结果汇总详见下表5。工况1和工况4的最大计算应力结果详见图5和图6。

表5 优化后各工况应力汇总表

工况	材料	许用应力 (N/mm ²)	计算应力 (N/mm ²)	利用率
工况1	普通钢	188	151	0.80
	AH32高强度钢	252	168	0.80
	AH36高强度钢	284	221	0.93
工况2	普通钢	188	148	0.94
	AH32高强度钢	252	165	0.78
	AH36高强度钢	284	219	0.92
工况3	普通钢	188	145	0.92
	AH32高强度钢	252	163	0.77
	AH36高强度钢	284	212	0.89
工况4	普通钢	188	144	0.91
	AH32高强度钢	252	159	0.75
	AH36高强度钢	284	211	0.89
工况5	普通钢	188	142	0.90
	AH32高强度钢	252	157	0.74
	AH36高强度钢	284	209	0.88
工况6	普通钢	188	134	0.85
	AH32高强度钢	252	150	0.71
	AH36高强度钢	284	195	0.82

3 结论

通过利用 MSC.Patran&Nastran 软件对 40000DWT 自卸船的 C-Loop 桅屋及吊臂基座模型的建模和分析,得出如下结论:

(1) 通过加强和优化设计后,各个工况下不同材料的计算应力值均小于许用应力值,最大利用率 0.94。C-Loop 桅屋和自卸臂基座的强度满足规范要求。

(2) 通过加强和优化设计后,工况 2(极端工况)的变形最大为 36.7mm,小于设备要求的 40mm 的变形;工况 3(正常操作工况)的变形最大为 34.7mm,小于设备要求的 35mm 的要求。整个 C-Loop 桅屋结构的变形满足设备要求。

(3) C-Loop 桅屋结构的变形是经过多次加强计算和优化设计才达到设备要求,通过在计算中发现,像这种四周围壁结构在吊臂呈 45 度或 55 度工况下,整个 C-Loop 桅屋结构受力最大,桅屋抗扭抗弯强度最弱,仅靠增加板厚是远远不够的,板厚增加到一定值时,是解决不了问题的,必须在围壁外侧增加其他结构以增加抗弯抗扭强度才是最好的解决方法。

(4) 本船自卸臂相关调试已完成,暂未出现桅屋变形过大影响自卸设备正常工作的问题。桅屋变形和基座强度均在设备要求和规范许可范围之内。通过上述分析和实船调试情况,可以证明本次分析和加强优化是可靠的。

[参考文献]

[1]. DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch11-Hull equipment, supporting. January 2017. Page 5

杨伟 男 工程师 中船澄西船舶修造有限公司,从事船舶与海洋工程 051081668186

蒋明华 男 高级工程师 中船澄西船舶修造有限公司 从事船舶与海洋工程 051081668185



江苏船舶微信公众号,欢迎关注,欢迎投稿!