

114.3 m 甲板货船载货区域结构强度分析

赵重一

(泰州市地方海事局 水上检验科, 江苏 泰州 225300)

摘要:以 114.3 m 甲板货船载货区域为研究对象,利用 MSC.Patran 软件建立 114.3 m 甲板货船载货区域有限元模型,分析其结构强度、边界条件和设计载荷工况,得出该船载货区域的结构强度不满足规范,主要是由于甲板纵桁的相当应力和剪应力超出许用值。通过改变甲板纵桁、甲板板、斜撑和甲板纵骨等构件尺寸,提高该船载货区域的结构强度,得出最终的改进方案为:甲板纵桁由原来的 $\perp \frac{8 \times 400}{10 \times 100}$ 变成 $\perp \frac{10 \times 400}{12 \times 120}$;甲板纵骨由原来的 $\perp \frac{8 \times 120}{8 \times 80}$ 变成 $\perp \frac{8 \times 120}{10 \times 120}$;斜撑由原来的 L100 × 63 × 8 变成 L125 × 80 × 10。

关键词:甲板货船;有限元;载货区域

中图分类号:U661.43

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2018)04-0040-05

0 引言

甲板货船载重吨位较大,主要用于运输填海工程石料及大件甲板货物等,船体有很大的承载甲板,适宜装载重大件货物,即一些特殊的超长、超宽、超重的货物(如海洋平面模块、大型设备、集装箱岸桥吊等)。此类船舶有些带自航能力,有些不能自航,但它们共同的特点是方形系数比较大,长宽比较小,对航速要求比较低,但对货物要求比较高。这类船舶多为肥大型,通常型线比较简单,结构形式相对固定。^[1]本研究主要对 114.3 m 甲板货船载货区域的结构强度进行有限元分析,进而对该船总纵强度进行研究,得出 114.3 m 甲板货船强度满足的规范要求。利用 MSC.Patran 软件进行 114.3 m 甲板货船载货区域结构强度有限元分析并确立有限元模型、边界条件和设计载荷工况,最终得出船体各个结构构件的应力,对超出许用应力的结构区域提出进行加强的建议。

1 船舶介绍

114.3 m 甲板货船为 5 000 吨级自航货船,由该船顶推一艘约 5 000 吨级驳船组成上海—黄石专线铁矿石运输顶推船队,承担上海至黄石之间铁矿石、其他矿石、焦炭和钢铁成品等的运输。该船为大圆弧雪橇型艏、双艉、艉机型,居住舱室、驾驶室均置于船艉部,船中部设两个长大开口货舱;货舱区双底双舷结构,机舱采用单底单舷,考虑到该船要顶推驳船,艏部除设双舷结构外,还增设两道纵舱壁,设平板型护舷材。114.3 m 甲板货船主要尺度包括:总长 114.30 m,垂线间长 110.00 m,型宽 20.00 m,型深 5.60 m,设计吃水 4.10 m,结构吃水 4.50 m,肋距 0.60 m。

2 载货区域结构强度分析

按照中国船级社《钢质内河船舶建造规范》(2016) 1.9.7 的相关要求,利用 MSC.Patran 和 MSC.Nastran 对该船载货区域局部强度采用有限元方法进行直接计算,以验证实际所取构件局部强度是否满足规范要求,同时提取甲板纵桁和船底纵桁的板架弯曲应力,为后续计算总纵强度提供数据支撑。^[2]

2.1 有限元模型

本船有限元模型范围从 #77~#103 的区域,横向为船宽,垂向为型深。模型的选取符合规范的要求。其中 #77~#103 之间的有限元模型,如图 1 所示。

收稿日期:2018-06-13

作者简介:赵重一(1990—),男,江苏泰州人,泰州市地方海事局水上检验科验船师。

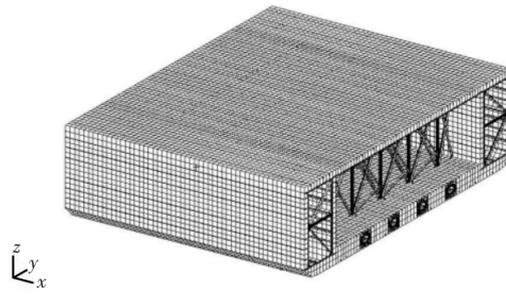


图1 舱段有限元模型

有限元的单元选取可分为:

(1)壳单元:114.3 m 甲板货船的主甲板、舷侧外板(包括舷顶列板)、船底板(包括平板龙骨)、纵舱壁和横舱壁(在 #77~#103 涉及舱壁板)以及强构件的腹板(比如船底纵桁、船底肋板、舷侧纵桁、强肋骨、甲板纵桁和甲板强横梁等)。

(2)梁单元:甲板纵骨、船底纵骨、舷侧肋骨以及舱壁扶强材、支柱等。

(3)杆单元:强构件的面板(比如船底纵桁、船底肋板、舷侧纵桁、强肋骨、甲板纵桁和甲板强横梁等)。

按照《钢质内河船舶建造规范》(2016)中的规定 1.9.2:取直角坐标系,坐标原点位于船体中心线处,X 轴沿船长指向船首为正,Y 轴沿船宽指向左舷为正,Z 轴沿型深向上为正。有限元模型单位:长度为米(m),力为牛顿(N)。^[3]模型材料:弹性模量 $E = 2.1 \times 10^{11}$ Pa,泊松比 0.3,密度 $7\ 850\ \text{kg/m}^3$ 。按照横剖面图以及基本结构图,建立该船的有限元模型,如图 1 所示。

2.2 边界条件

在模型一端面所有节点上施加 $u_x = u_y = u_z = 0$ 约束,在另一端面所有节点上施加 $u_y = u_z = 0$ 约束;在一舷所有实肋板的端部节点上施加 $u_y = u_z = 0$ 约束,在另一舷所有实肋板的端部节点上施加 $u_z = 0$ 约束;若模型中包含横舱壁时,在横舱壁与船底板交线两端的节点上施加 $u_z = 0$ 约束。^[4]

2.3 载荷施加

在对 114.3 m 甲板货船载货区域进行局部强度分析时,有限元模型需要施加的载荷包括:舷外水载荷、货物重量等。舷外水压应考虑受到的静水压力和波浪压力,舷外水压施加在外板上,如图 2 所示。甲板上装载 5 600 t 货物,货物分布区域 $84\ \text{m} \times 17.6\ \text{m}$ 。因此,甲板上货物载荷为 $37\ 121\ \text{N/m}^2$,如图 3 所示。

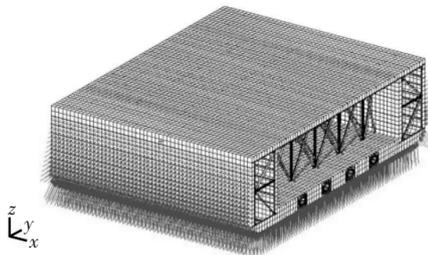


图2 舷外水压力分布

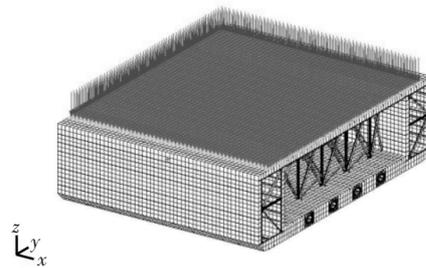


图3 货物载荷施加

2.4 计算结果

各种工况下计算结果见表 1。

表1 应力汇总 $N \cdot (mm^2)^{-1}$

构件名称	许用应力	中垂状态应力	中拱状态应力	是否满足要求
甲板、船底板、纵舱壁	$[\sigma_e] = 165$	83.1	75.4	满足
船底纵桁、甲板纵桁腹板	$[\sigma_e] = 165$	179.0	163.0	不满足
船底纵桁、甲板纵桁面板	$[\sigma_e] = 155$	140.0	134.0	满足
横舱壁	$[\sigma_e] = 188$	67.1	56.5	满足
船底肋板、强肋骨、强横梁腹板	$[\sigma_e] = 188$	119.0	99.0	满足
船底肋板、强肋骨、强横梁面板	$[\sigma_e] = 175$	99.1	88.8	不满足
板剪应力	$[\tau] = 91$	98.9	89.0	不满足

2.5 结果分析

围绕 114.3 m 甲板货船载货区域进行结构强度分析,一方面可以校核甲板货船局部区域强度;另一方面甲板纵桁和船底龙骨的弯曲应力值也为总纵强度的计算提供数据支撑。通过主要对 114.3 m 甲板货船#77~#103 的区域进行有限元建模,进而按照《钢质内河船舶建造规范》(2016)1.9.7 的要求对模型两端以及船底肋板等部位进行边界处理,同时对甲板、舷侧以及船底进行货物和舷外水压载荷施加。^[5] 通过以上计算,得出以下结论:

(1) 由于甲板板架下方纵向支撑构件强度较弱,两种工况下的局部强度不满足规范《钢质内河船舶建造规范》(2016)1.9.7 的相关要求。通过以上应力汇总表不难看出在中垂状态下甲板纵桁的相当应力和剪应力超过许用应力。这主要跟甲板上方的承重以及船体内部结构有关系。

(2) 为满足局部强度要求,可以对甲板、甲板纵桁、斜撑以及肘板等构件进行结构加强,主要采取加强板厚、构件的面板或腹板加大以及调整连接方式等方法,进而通过有限元校核满足其甲板局部强度的要求。以外,甲板纵桁和船底龙骨应力尽量要小,以便后面总纵强度校核时能够满足要求。因此,改进措施主要从以下几个角度进行:(a)改变甲板纵桁尺寸;(b)改变甲板板厚尺寸;(c)改变斜撑尺寸;(d)改变甲板纵骨尺寸。

3 改变甲板纵桁尺寸后的载货区域结构强度分析

通过计算,发现甲板纵桁的相当应力以及剪切应力超出许用应力,因此要对甲板纵桁的尺寸进行改进。

改进的办法是:由原来的 $\perp \frac{8 \times 400}{10 \times 100}$ 变成 $\perp \frac{10 \times 400}{12 \times 120}$,有限元模型如图 4 所示。

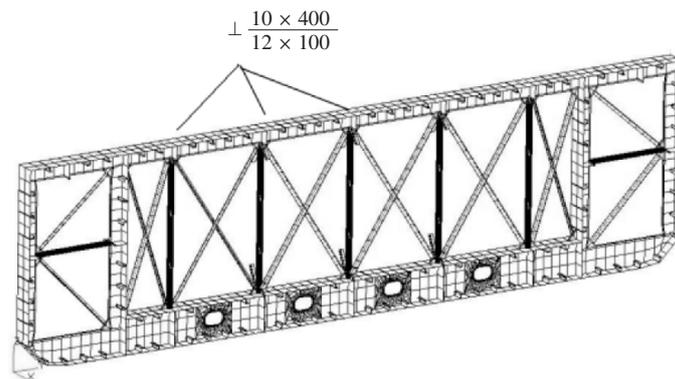


图4 改进后的有限元模型

计算得出:该方案下甲板纵桁的相当应力、剪应力和轴向应力均小于对应的许用值,该船载货区域的结构强度满足规范要求。甲板纵桁的相当应力由原来的 179 MPa 变为 148 MPa,剪切应力由原来的 98.9 MPa 变为 81.7 MPa,应力改进 17%左右。在有限元模型范围 #77~#103 的区域内,甲板纵桁的重量增加 0.76 t。

4 改变甲板板厚后的载货区域结构强度分析

载货区域的强度跟甲板上承载有很大关系,因此可以对甲板厚度进行局部改进。改进的办法是:由原来的 8 mm 变成 10 mm,有限元模型如图 5 所示。

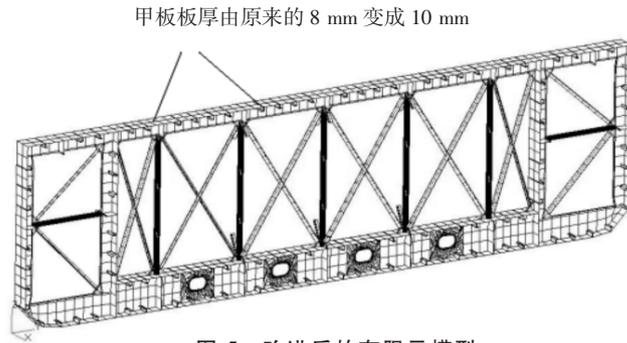


图5 改进后的有限元模型

经计算得出:该方案下甲板纵桁的相当应力、剪应力和轴向应力均小于对应的许用值,该船载货区域的结构强度满足规范要求。甲板纵桁的相当应力由 179 MPa 变为 157 MPa, 剪切应力由 98.9 MPa 变为 86.6 MPa, 应力改进了 12% 左右。在有限元模型范围 #77~#103 的区域内,甲板的重量增加了 4.31 t,可见甲板板厚的改进效果不如改进甲板纵桁尺寸的效果明显。

5 改变纵向斜撑后的载货区域结构强度分析

通过应力云图发现,斜撑与甲板纵桁连接处的应力比较大,因此可以通过斜撑尺寸的改进改善载货区域的结构强度。改进的办法是:斜撑由原来的 L100 × 63 × 8 变成 L125 × 80 × 10,有限元模型如图 6 所示。

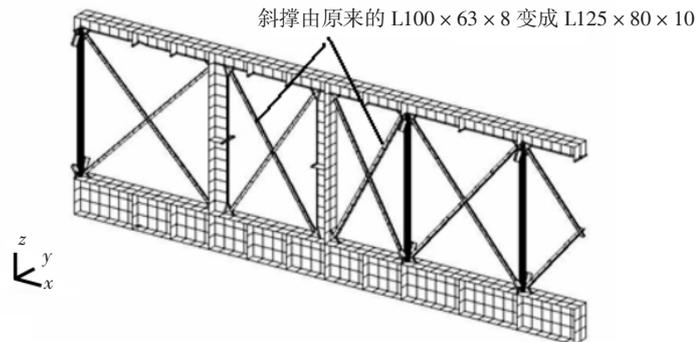


图6 改进后的有限元模型

经计算得出:该方案下甲板纵桁的相当应力、剪应力和轴向应力均小于对应的许用值,该船载货区域的结构强度满足规范要求。甲板纵桁的相当应力由 179 MPa 变为 151 MPa, 剪切应力由 98.9 MPa 变为 82.7 MPa, 应力改进了 15% 左右。然而在有限元模型范围 #77~#103 的区域内,斜撑的重量增加了 5.20 t。

6 改变甲板纵骨尺寸后的载货区域结构强度分析

载货区域甲板纵骨改进的办法是:由原来的 $\perp \frac{8 \times 120}{8 \times 80}$ 变成 $\perp \frac{8 \times 120}{10 \times 120}$,有限元模型。通过计算可以发现:该方案下甲板纵桁的相当应力、剪应力和轴向应力均小于对应的许用值,该船载货区域的结构强度满足规范要求。甲板纵桁的相当应力由 179 MPa 变为 141 MPa, 剪切应力由 98.9 MPa 变为 77.9 MPa, 应力改进了 21% 左右。然而在有限元模型范围 #77~#103 的区域内,甲板纵桁的重量增加了 2.35 t。

7 最终改进措施

载货区域结构的改进措施主要有:(a)改变甲板纵桁尺寸;(b)改变甲板板厚尺寸;(c)改变斜撑尺寸;(d)改变甲板纵骨尺寸。以甲板纵桁相当应力为例,最终结果见表 2。

表2 改进后应力与重量比较

改进措施	应力值/MPa	增加重量/t
(a)	148	0.76
(b)	157	4.31
(c)	151	5.20
(d)	141	2.35

通过计算比较可得:

(1) 四种不同改进措施,对载货区域的结构强度均有明显改善,同时也满足规范上的要求。

(2) 改进措施(d)甲板纵桁的应力值最小,改进措施(a)该区域内增加重量最小,因此优先考虑这两种措施。甲板板厚增加对整体载货区域的结构强度影响没有其他措施明显,同时增加重量也大,所以该措施可以忽略。综合以上各个因素,得出最终的改进方案为:甲板纵桁由原来的 $\perp \frac{8 \times 400}{10 \times 100}$ 变成 $\perp \frac{10 \times 400}{12 \times 120}$;

甲板纵骨由原来的 $\perp \frac{8 \times 120}{8 \times 80}$ 变成 $\perp \frac{8 \times 120}{10 \times 120}$ 以及斜撑由原来的 L100 × 63 × 8 变成 L125 × 80 × 10。

(3) 经过有限元直接计算,114.3 m 甲板货船载货区域局部强度满足中国船级社《钢质内河船舶建造规范》(2016)1.9.7 和 11.7.3.10 的要求。同时,甲板纵桁在中拱时应力为 91.7 N/mm²,中垂时应力为 93 N/mm²;船底龙骨在中拱时应力为 24.8 N/mm²,中垂时应力为 34.7 N/mm²。该数值也为后续计算总纵强度提供数据支撑。

8 结束语

本文介绍了 114.3 m 甲板货船进行船型,分析了载货区域的结构强度,得知其设计不满足规范要求,主要是由于甲板纵桁的相当应力和剪应力超出许用值。对此提出四种改进措施:(a)改变甲板纵桁尺寸;(b)改变甲板板厚尺寸;(c)改变斜撑尺寸;(d)改变甲板纵骨尺寸。这四种措施均满足规范要求。考虑区域重量因素,措施(d)的甲板纵桁应力值最小,改进措施(a)在该区域内增加重量最小,因此应优先考虑(d)和(a)两种改进措施。综合以上各个因素,得出最终的改进方案为:甲板纵桁由原来的 $\perp \frac{8 \times 400}{10 \times 100}$ 变成 $\perp \frac{10 \times 400}{12 \times 120}$;

甲板纵骨由原来的 $\perp \frac{8 \times 120}{8 \times 80}$ 变成 $\perp \frac{8 \times 120}{10 \times 120}$ 以及斜撑由原来的 L100 × 63 × 8 变成 L125 × 80 × 10。

参考文献:

- [1] 贾雪瑾. 甲板货船概率破舱稳性及破损总纵强度校核系统研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2014.
- [2] 尹群, 谢仁杰. 甲板货船总纵强度计算方法对比分析[J]. 中国水运, 2016, (11): 19-21.
- [3] 顾斌斌, 王峰. 32 000DWT 自卸甲板货船结构设计[J]. 船海工程, 2015, (11): 26-30.
- [4] 杨义益. 基于 NAPA 考虑挠度的甲板货船总纵强度校核系统研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2011.
- [5] 黄敏. 3 000DWT 甲板货船总纵强度计算分析[J]. 中国水运, 2013, (11): 28-29.

(责任编辑: 顾力豪)

Structural Strength Analysis of 114.3m Deck Cargo Stowage Area on a Ship

ZHAO Chong-yi

(Dept. of Waterway Inspection, Taizhou Local Maritime Safety Administration, Taizhou 225300, China)

Abstract: Taking a 114.3m deck cargo stowage area on a ship as the research object, the finite element model of the 114.3m deck cargo stowage is established by MSC.Patran software, and its structural strength, boundary conditions and designed load conditions are analyzed. It is concluded that the structural strength of the area does not meet the requirement of the specifications, mainly due to the considerable stress and shear stress of deck girders exceeding the allowable value. By changing the dimensions of deck girders, deck slabs, braces and deck longitudinals, the structural strength of the area is improved. The final improvement plan is: the deck girders are changed from original $\perp \frac{8 \times 400}{10 \times 100}$ to $\perp \frac{10 \times 400}{12 \times 120}$. The deck longitudinals are changed from original $\perp \frac{8 \times 120}{8 \times 80}$ to $\perp \frac{8 \times 120}{10 \times 120}$, and the braces from original L100 × 63 × 8 to L125 × 80 × 10.

Key words: ship with deck cargo; finite element; deck cargo stowage area