

# 8530 TEU 集装箱船舱口盖导向装置碰撞分析

赵永生<sup>1</sup>, 顾敏童<sup>1</sup>, 陈洪平<sup>2</sup>, 卞高翔<sup>2</sup>

(1. 上海交通大学 船舶与海洋工程学院, 上海 200030; 2. 德瑞斯华海船舶设备有限公司, 上海 200093)

**摘要:** 对 8530TEU 集装箱船舱口围、舱口盖及其导向装置进行合理简化后, 综合应用 CAE 软件仿真模拟了吊离式舱口盖与导向装置间的接触-碰撞过程. 通过动力学仿真分析, 得到了所关心的“最大碰撞力-碰撞速度”曲线、导向装置最大位移以及结构最大等效应力等参数. 碰撞分析结果可为设计、分析此类结构的提供参考, 所建的计算模型可以根据需要进行更加深入的研究.

**关键词:** 船舶; 吊离式舱口盖; 碰撞分析; LS\_DYNA; UG 建模

**中图分类号:** U674.38 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6982 (2007) 04-0005-04

## Impact analysis of the hatch cover's guiding device of the 8530 TEU containership

ZHAO Yong-sheng<sup>1</sup>, GU Min-tong<sup>1</sup>, CHEN Hong-ping<sup>2</sup>, BIAN Gao-xiang<sup>2</sup>

(1. School of Naval Architecture, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China; 2. TTS-Huahai Ships Equipment Co Ltd., Shanghai 200093, China)

**Abstract:** *The hatch coaming, hatch cover and its guiding device of the 8530 TEU container ship are simplified. Synthetically applying CAE software, the contact-impact process between the lift-away hatch cover and its guiding device is emulated. Through simulation analysis of dynamics, the parameters such as the “maximum impact force vs. impact velocity, maximum displacement of the guiding device as well as the maximum effective stress are obtained. The results of impact analysis could supply reference to the design and analysis of such structure, and the computational model could be used to do deeper analysis according to different needs*

**Key words:** *ship; lift-away hatch cover; impact analysis; LS\_DYNA; UG modeling*

### 0 引言

由沪东中华造船(集团)有限公司承建的 8530TEU 集装箱船是目前我国自主开发建造的最大集装箱船. 德瑞斯—华海船舶设备有限公司承接了该型集装箱船吊离式货舱舱口盖的设计开发任务. 吊离式舱口盖的各块盖板之间既无连接装置也无传动装置, 盖板上装有起吊眼板和集装箱起吊底座, 由船上或岸上起货设备直接将盖板吊离. 盖板可以堆放于相邻的舱口盖顶板上, 也可以堆放在码头上. 吊离式舱口盖简单可靠、开启方便, 无需配置驱动装置, 广泛应用于全集装箱船上<sup>[1]</sup>.

导向装置是一个类似于“桩”的结构, 如图 1

所示, 该装置为吊放舱盖提供导向和定位的作用. 在吊放舱口盖时, 起吊人员通过适当“撞击”该结构来实现对舱口盖的定位, 若撞击速度过大, 则导向装置会发生较大的永久变形甚至结构破坏. 以往设计中都是根据经验取一个相对保守的最大碰撞力进行计算, 缺乏一个足量的指导性参考资料, 故有必要利用仿真模拟技术来研究该碰撞力的大小和对结构的影响.

本文选取该型船的第二货舱左端舱口盖及其导向装置为主要研究对象, 综合应用 CAE 软件仿真模拟了吊离式舱口盖与导向装置间的接触-碰撞过程.

收稿日期: 2006-12-15; 修回日期: 2007-04-27

项目性质: 国防科工委项目(关于大型集装箱船舱口盖的研究)的一部分. 项目编号: 科工 3 司(2005) 354 号

作者简介: 赵永生(1983-), 男, 硕士, 主要从事船舶与海洋结构物设计制造.

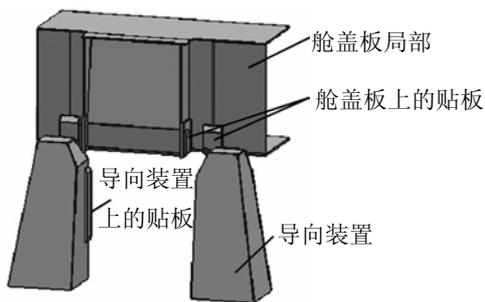


图1 导向装置

## 1 建立导向装置碰撞仿真模型

### 1.1 结构的几何建模

本文的研究对象在 UG 软件中完成三维实体模型建模,其外形和尺寸完全符合物理模型.首先,在 AutoCAD 中把二维结构图进行了适当的简化,删除建模和仿真时用不到的一些次要构件,并以\*.dxf 格式输出,从而导入 UG 中作为草图以方便建模;然后,在 UG 中进行拉伸、布尔运算、装配等操作,完成导向装置碰撞模型的几何建模,模型结果如图 2 所示.UG 建模过程中需要特别注意单位和密度的设定,“毫米、公斤、牛顿、秒”单位制是一种比较理想的选择.

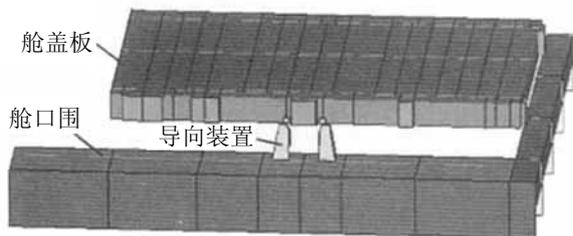


图2 几何模型

### 1.2 建立有限元模型

本文选用 MSC.Patran 作为非线性动力学分析软件 LS\_DYNA3D 的前处理软件.

首先,将建立好的结构实体模型以 ParaSolid 格式导入到 MSC.Patran 中,然后进行网格划分、定义材料属性、施加边界条件等步骤;最后进行求解并输出 LS\_DYNA 计算所需的 K 文件,完成前处理过程.

#### 1.2.1 坐标系定义

取 OXYZ 右手直角坐标系, X 轴沿着船长方向, Y 轴沿船宽方向, Z 轴向上垂直于舱口盖面板.

#### 1.2.2 网格划分

根据模型的对称性,舱口围结构建立了 1/4 模

型,左侧舱盖板结构建立了 1/2 模型,网格划分以四边形单元为主,三角形单元、梁单元和实体单元为辅.舱口盖上的贴板结构是碰撞发生的主要部位(如图 1 所示),为了真实地模拟该结构及其端部削斜的切角,该处模型采用了实体单元建模.

由于碰撞问题的模拟仿真具有很强的非线性特征,所以有限元网格的大小对计算结果有很大影响.一般而言,网格越密,计算结果越接近实际情况;网格越粗,相对来说结构刚度越大,计算结果会高于实际情况<sup>[2]</sup>.因此,在划分网格时采用了局部加密的方法,即在可能发生接触—碰撞的区域以较密的网格进行划分,其它区域采用了较粗的网格.这样既节省了计算时间,同时又较好的模拟了结构的实际刚度.整个碰撞有限元模型共包括 8622 个节点, 9296 个单元,如图 3 所示.

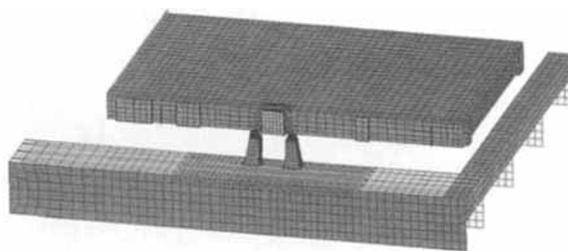


图3 有限元模型

#### 1.2.3 模型材料定义<sup>[3]</sup>

材料模型采用 LS-DYNA 提供的塑性动态模型 (Plastic kinematic Model),其材料的本构关系可以用公式 (1) 表示:

$$\sigma_y = \left[ 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right] \cdot (\sigma_0 + \beta E_p \epsilon_{eff}^p) \quad (1)$$

式中:  $\epsilon$  为塑性应变率;  $\sigma_0$  为初始屈服应力;  $\beta$  为硬化参数,在 0 到 1 之间变化;  $E_p$  为硬化模量;  $\epsilon_{eff}^p$  为等效塑性应变; C、P 为 Cowper-Symonds 常数;  $\sigma_y$  为屈服强度.

方括号里面表示应变速率对屈服应力增大的影响,圆括号里面表示塑性模型的选取,如  $\beta=1$ ,则为等向强化模型;  $\beta=0$  为随动强化模型.本次分析中材料为 H 36 高强度钢,其各项性能参数的选取参见表 1.

#### 1.2.4 接触的定义

接触—碰撞的有限元数值计算方法将两撞击物体分开建立有限元模型,通过位移协调条件与动量方程求解撞击载荷.本文定义的接触主要是双向接触和固连接触,其中,双向接触定义在将会发生接

触的两个表面上（命令为\*CONTACT AUTOMATIC SURFACE TO SURFACE）；固连约束用来模拟盖板焊接在导向装置和舱盖上的作用，（命令为\*CONTACT TIED NODES TO SURFACE）。

表 1 模型材料选取<sup>[4]</sup>

参数	意义	数值
$E_0$	弹性模量	210 GPa
$\nu$	泊松比	0.3
$\rho$	密度	7800 kg·m <sup>-3</sup>
$\sigma_0$	初始屈服应力	355 MPa
$E_p$	硬化模量	1.18 GPa
$\beta$	强化模型系数	0
$\epsilon_{eff}^p$	等效塑性应变	0.419
C	应变速率	40.4
P	影响系数	5

### 1.2.5 边界条件和计算工况

对舱口围结构底部施加固定约束，即限制其六个方向的自由度。舱盖板结构的质量总和约为  $2.56 \times 10^4$  kg。仿真时通过施加如表 2 所示的五组不同的初始速度来模拟舱盖的吊放过程。

表 2 计算工况

碰撞速度/mm·s <sup>-1</sup>	1	2	3	4	5
X 分量	0	0	0	0	0
Y 分量	-100	-200	-300	-300	-300
Z 分量	-100	-200	-300	-400	-500
合成速度/mm·s <sup>-1</sup>	-141.2	-282.4	-423.6	-500	-583

## 2 数值仿真结果及分析

本文应用 LS\_DYNA 软件对以上建立的碰撞有限元模型进行求解计算。将 DYNA 的计算结果导入到后处理软件 LS\_Prepost 中，得到了不同时间段的结构等效应力云图，如图 4 所示。

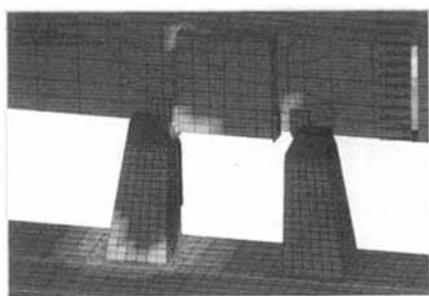


图 4 结构等效应力云图（工况 5）

在后处理过程中，通过打开 glstat 文件可以方便

的查看模型在碰撞过程中的各种能量信息，如模型中全部的动能、内能和沙漏能等，如图 5 所示。一般情况下，如果沙漏能量超过总能量的 10%，那么就需要调整沙漏控制，以保证计算结果的精度<sup>[2]</sup>。本次分析中，沙漏能与总能量的比值小于 2%，沙漏问题得到了有效的控制。

最大碰撞力随碰撞速度大小变化的曲线如图 6 所示，从图中可以看出最大撞击力与碰撞速度在  $0\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \sim 0.42\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  近似呈线性关系。

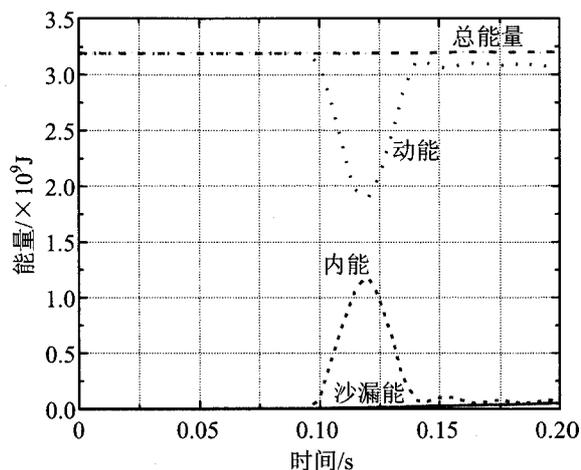


图 5 模型能量随时间变化曲线

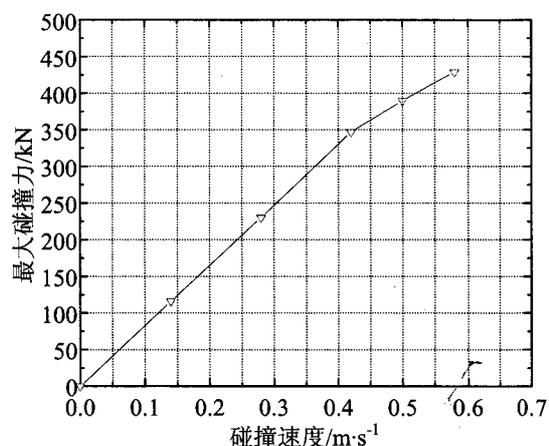


图 6 最大碰撞力-碰撞速度曲线

导向装置的最大位移发生在结构的顶端位置，该参数随碰撞速度变化的曲线如图 7 所示。从图 7 中可以看出，结构的最大位移量均小于 7 mm，可见该结构整体上还是比较“强壮”的。

图 8 为导向装置结构的最大等效应力随碰撞速度变化的曲线，应力最大值发生在导向装置根部外侧区域。由于此处结构承受的弯矩最大，因而应力值也最大，图 8 中显示在合成速度为  $0.58\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  时最大的等效应力值约为 350 MPa，接近了材料的屈服极

限 355 MPa. 图 9 为舱盖板贴板处的最大有效应力随碰撞速度变化的曲线. 由 9 图可见其结构等效应力的最大值约为 390 MPa, 超过了材料的屈服极限 355 MPa, 故该处结构部分单元已经进入了塑性状态, 产生了塑性变形.

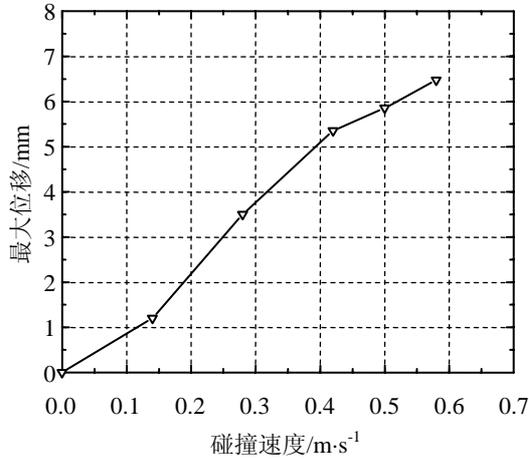


图 7 导向装置最大位移-碰撞速度曲线

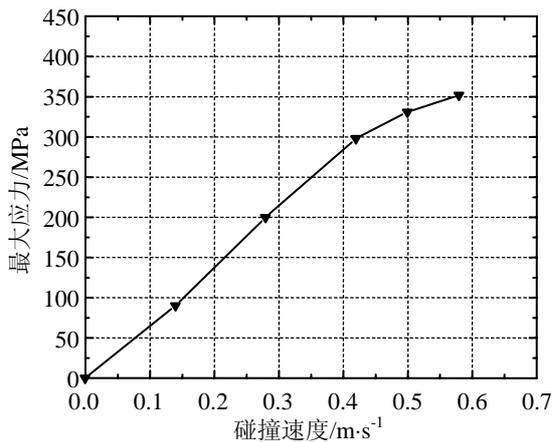


图 8 导向装置结构最大等效应力-碰撞速度曲线

### 3 结论

利用非线性有限元程序 LS\_DYNA 进行碰撞仿真, 不仅可以得到所关心的最大碰撞力、位移等参数, 而且可以直观的显示碰撞的整个过程, 方便了解各个构件的变形及损伤程度, 为进行碰撞性能研究提供了有力的帮助. 本文所研究的导向装置结构形式较为简单, 在碰撞速度较低时, 撞击力与碰撞速度关系近似为线性关系, 最大位移和最大应力可以通过插值得到.

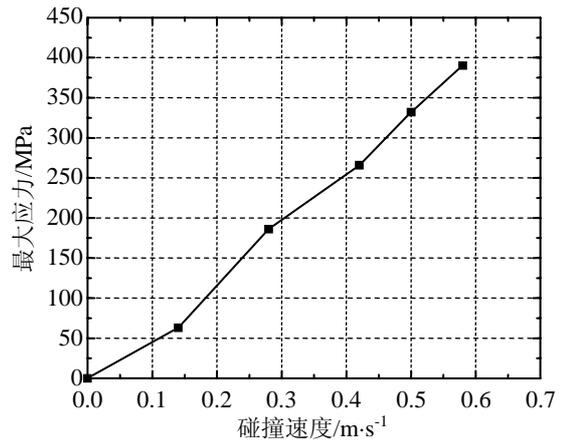


图 9 舱盖板贴板处最大等效应力-碰撞速度曲线

### 参考文献:

- [1] 朱德龙. 现代货船舱口盖发展特点[J]. 上海造船, 1997, (1):58-61.
- [2] 陶亮. 船舶舷侧结构碰撞性能的研究[D]. 大连理工大学, 2006.
- [3] 白金泽. LS\_DYNA3D 理论基础与实例分析[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [4] 陆新征, 江见鲸. 抗爆门在爆炸荷载作用下有限元动力数值模拟[J]. 防护工程, 2003, 25 (1): 14-7.



## 《船舶知识》(Ship Knowledge)

《船舶知识》由荷兰 Dokmar, Maritime Publisher B.V.出版。其内容涉及所有的船舶和海运领域, 从各类现代船舶结构和系统到工程、维修、安全和法律以及管理船舶业的规则(条例)。

本书通过详细的图表、照片和许多不同型号的远洋货轮的横截面提供了详细的解释。本书为全彩页, 极具吸引力, 对那些对海事业和航运感兴趣的人来说具有很高的可读性。

《船舶知识》提供了极具价值的资源信息, 对航海类学院和大学及船员都非常有帮助。

主要栏目: 1. 船舶了解、2. 船的形状、3. 船型、4. 船舶建造、5. 船上的作用力、6. 法律和规定、7. 结构布置、8. 关闭装置、9. 货物装卸设备、10. 起锚设备和系泊装置、11. 机舱、12. 推进力和舵机、13. 电器装置、14. 材料和维护、15. 安全、16. 稳定。

ISBN: 9080633089