

中小型交通船耐撞性能研究

赵重一

(泰州市地方海事局 水上检验科, 江苏 泰州 225300)

摘 要:以 2 200 t 级交通船为研究对象,建立撞击船、被撞船以及水域有限元模型,采用附加质量法研究不同撞击位置、不同撞击角度和不同撞击速度对该船耐撞性能的影响,获得了不同方案下的运动状态以及损伤变形、碰撞速度和碰撞力等动态结构响应。所获结果可为交通船在不可避免地发生碰撞时提供操船建议,对于提高交通船的结构强度具有重要的参考意义。

关键词:中小型交通船;附加质量法;耐撞性能

中图分类号:U674.24

文献标志码:A

文章编号:1671-9891(2019)02-0047-04

0 引言

船舶碰撞带来的后果一般都是灾难性的,既危及人的生命安全和财产安全,同时也给环境带来了沉重负担。因此,船舶耐撞性研究逐渐成为热点。Minorsky 提出了一种外部动力学的理论方法来估计结构失效后的释放能量与船舶初始动能之间的关系,但是该研究仅限于发生在船体中部和直角的碰撞情景^[1]。为了突破这种局限,Petersen 进行了第一次能够处理沿船长任意位置的二维倾斜碰撞的时域模拟,提出了附加质量法进行船舶碰撞分析^[2]。而 Tabri、Pedersen 和 Zhang 等研究人员对耦合和非耦合数值方法进行了比较,研究船舶运动与船舶耐撞性之间的耦合影响^[3-4]。随着研究的深入,张金军等学者针对典型的船舶结构,研究失效准则对碰撞仿真分析结果的影响,提出了碰撞的数值意义^[5]。胡志强等建立撞击船、被撞船以及水域的有限元模型,成功解决了撞击船与被撞船的碰撞关键技术^[6]。总体而言,上述研究取得了丰富成果,但对于不同撞击位置、不同撞击角度和不同撞击速度对中小船型的船舶耐撞性能研究为数不多,本文以 2 200 t 级交通船为研究对象,利用有限元软件建立碰撞模型,基于附加质量法研究交通船不同位置结构耐撞性能,为更加准确地预报不同碰撞角度、不同碰撞速度下的被撞船结构响应提供参考。

1 碰撞参数介绍

2 200 t 级交通船主要参数包括:总长约 112.00 m,设计水线长 104.00 m,型宽 13.50 m,型深 6.20 m,设计吃水 3.95 m,梁拱 0.20 m,满载排水量约 2 200 t,肋距 0.50 m,甲板有 3 层,其中 FR91-FR161 为机舱区域。以船首区域有限元模型为例,被撞船取全船有限元模型,其中目标撞击区域船首向后延伸至横舱壁且不小于 0.33 倍船长的纵向范围、内外舷板之间的横向范围、型深的垂向范围内的所有结构构件均应真实模拟。如图 1 所示,撞击船取全船有限元模型,其中防撞舱壁向船首的纵向范围、船宽的横向范围、型深的垂向范围内的所有结构构件均应真实模拟。

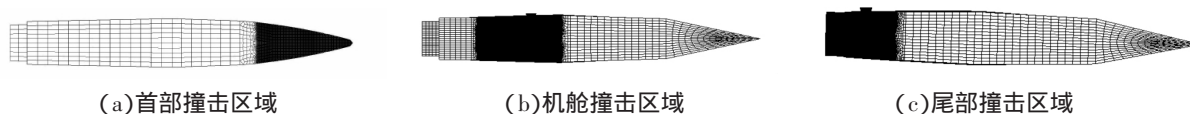


图 1 不同撞击区域下被撞船的有限元模型

假定撞击船与被撞船相当,撞击船的附连水质量取撞击船总重量的 0.05 倍。被撞船的附连水质量根据与撞击船的夹角大小确定。90°碰撞时,被撞船的附连水质量取被撞船总重量的 0.85 倍。撞击船以速度 v_0 撞

收稿日期:2019-02-27

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

向被撞船, 撞击位置取目标撞击区域内中间两横向强框架中线和纵向两强框架中线的交点, 逐步调整 v_0 的大小, 直至被撞船的外板破裂。材料采用线性强化弹塑性模型, 考虑材料应变率敏感性, 材料密度为 $7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 弹性模量为 $2.10 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, 屈服应力为 $3.45 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, 泊松比为 0.3, 最大塑性失效应变为 0.3, Cowper—Symonds 本构方程中两个常数分别为 $D = 40.4$, $\mu_1 = 5$ 。撞击区域的网格尺寸和单元失效应变按照 100 mm 来选取, 其它区域的网格尺寸可适当加大。本文使用了主从接触和自身接触, 摩擦系数定义为 0.3, 撞击船和被撞船处于全自由状态。

2 不同被撞区域耐撞性能分析

2.1 碰撞方案

本节主要研究 2 200 t 级交通船不同撞击位置、不同撞击角度和不同撞击速度对交通船耐撞性影响, 具体碰撞方案如表 1 所示。

表 1 不同撞击位置、角度和速度下的碰撞方案

方案	撞击区域	撞击角度	撞击速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
A1	首部	20°	2
A2		20°	4
A3		90°	2
A4		90°	4
A5		135°	2
A6		135°	4
B1	机舱	20°	2
B2		20°	4
B3		90°	2
B4		90°	4
B5		135°	2
B6		135°	4
C1	尾部	20°	2
C2		20°	4
C3		90°	2
C4		90°	4
C5		135°	2
C6		135°	4

2.2 碰撞分析

在对被撞船首部、机舱和尾部被撞区域仿真计算时, 考虑了材料的动态特性, 即应变率敏感性及摩擦力的影响。在此基础上, 进一步考察了撞击参数(区域、速度和角度等)对被撞船结构碰撞特性的影响问题。

(1) 研究交通船首部、机舱和尾部结构的碰撞是一个复杂的瞬态响应过程, 用非线性有限元技术可以对其进行成功的数值仿真, 可计算出每一具体构件直至失效的损伤变形过程。

(2) 舷侧结构的碰撞损伤变形具有非常明显的局部性, 损伤区域的大小和形状主要取决于撞头与撞击角度。正面碰撞引起的舷侧结构整体变形很小, 而在小角度碰撞下变形区域就很大, 范围也较广。损伤变形主要发生在被撞船舷侧的撞击区域。撞击船的动能损失主要转化撞击船和被撞船的塑性变形能, 另外还有一小部分转化为沙漏能而损耗。

(3) 当 2 200 t 级交通船以不同角度撞击被撞船首部、机舱和尾部区域时, 被撞船的变形范围随着撞击速度的增加而变大。如表 2 所示, 通过整体和局部应力结果可以发现, 撞击船以 2 m/s 和 4 m/s 撞击被撞船时, 被撞船的舷侧外板和内部结构出现不同程度的破损情况。方案 A1 和 A2 中被撞船碰撞区域没有出现破损, 其中方案 A2(20-4)中被撞船碰撞区域最大变形达到 0.15 m。方案 A3-A6 中, 被撞船碰撞区域均出现破损, 损伤面积最大为 0.19 m^2 , 破损出现在舷侧外板、强肋骨、舷侧纵骨等主要结构上, 其他构件发生变形而未

破损,仍旧能够保证首部的安全性。方案 B1 中被撞船碰撞区域没有出现破损,其中方案 B1(20-2)中被撞船碰撞区域最大变形达到 0.19 m。方案 A2-A6 中,被撞船碰撞区域均出现破损,损伤面积最大为 0.35 m²,破损出现在舷侧外板、强肋骨、舷侧纵骨等主要结构上,其他构件发生变形而未破损,可见在低速小角度下撞击机舱区域才不会破损。方案 C1、C3 和 C5 中被撞船碰撞区域没有出现破损,其中方案 C5(135-2)中被撞船碰撞区域最大变形达到 0.498 m。方案 C2、C4 和 C6 中,被撞船碰撞区域均出现破损,损伤面积最大为 0.27 m²,破损出现在舷侧外板、强肋骨、舷侧纵骨等主要结构上,其他构件发生变形而未破损。从整体上来看,在相同速度和相同撞击角度下首部区域破损的范围和面积最大,尾部区域破损的范围和面积最小,这主要跟交通船不同区域下的舷侧结构强度有关系。

表2 被撞船破损情况

方案	破损位置	破损范围/m ²	最大变形/m
A1(20-2)	—	—	0.13
A2(20-4)	—	—	0.15
A3(90-2)	舷侧外板、舷侧纵骨、强肋骨	0.12	—
A4(90-4)	舷侧外板、舷侧纵骨、强肋骨	0.16	—
A5(135-2)	舷侧外板、舷侧纵骨、强肋骨	0.12	—
A6(135-4)	舷侧外板、舷侧纵骨、强肋骨	0.19	—
B1(20-2)	—	—	0.19
B2(20-4)	舷侧外板、舷侧纵骨、强肋骨	0.01	—
B3(90-2)	舷侧外板、舷侧纵骨、强肋骨	0.16	—
B4(90-4)	舷侧外板、舷侧纵骨、强肋骨	0.27	—
B5(135-2)	舷侧外板、舷侧纵骨、强肋骨	0.08	—
B6(135-4)	舷侧外板、舷侧纵骨、强肋骨	0.35	—
C1(20-2)	—	—	0.28
C2(20-4)	舷侧外板、舷侧纵骨、强肋骨	0.04	—
C3(90-2)	—	—	0.57
C4(90-4)	舷侧外板、舷侧纵骨、强肋骨	0.07	—
C5(135-2)	—	—	0.50
C6(135-4)	舷侧外板、舷侧纵骨、强肋骨	0.27	—

(4)撞击船的初始速为 2 m/s 和 4 m/s,而被撞船碰撞前处于静止状态(速度为零)。以首部撞击区域为例,计算终止时撞击船的速度变化比较大,这意味着撞击船将有很大的动能损失,而被撞船的速度有所增加表明碰撞开始后,相当一段时间内被撞船的运动响应才有所体现,即被撞船也吸收了部分动能。船舶碰撞过程中撞击船的动能损失将主要转化为被撞船舷侧结构的塑性变形能。撞击参数对 2 200 t 交通船不同被撞区域的碰撞特性的影响是多方面、多层次的。撞击速度的影响主要通过被撞船的损伤变形和碰撞力等来体现,速度越大,碰撞相应也越大,撞击角度的变化可能产生不同的整体失效时机和能量损耗。为了更好地减小船舶碰撞损伤变形和结构破坏能力,撞击船可以采取小角度低速航行。

3 2 200 t 级交通船结构加强和避撞措施分析

船舶避碰过程主要包括:发现来船、搜集信息,根据情况确定安全通过距离,判断是否要采取避让行动,确定采取行动的时机,确定避让行动的方式和复航。发现来船、搜集信息和确定来船的运动状态等是避碰信息搜集和处理阶段,其余部分是避碰行动的决策阶段。预防碰撞事故的主要对策有以下 4 个方面:改善船舶航行环境、改善航行技术、提高船舶操纵性性能、提高驾驶员技术水平。本文主要针对 2 200 t 级交通船进行碰撞分析,主要从改变碰撞速度以及碰撞角度研究撞击船与被撞船的碰撞性能。在双方不可避免地发生碰撞的情况下,要达到驱赶他船的目的,可采取以下措施:其一,由于撞击船和被撞船吨位持平,在极端情况下不惧与对方船只发生直接的船体接触。其二,在需要发生船体接触时,尽量以小速度、小角度碰擦(如 20°或 135°以上)为主要形式。在小角度碰擦时,不管是撞击船还是被撞船,自身损伤变形都较小,结构几乎没有出

现破坏失效,危害既小又可以起到与对方对抗及显示我方态度的目的。其三,避免垂直(60° 至 120° 之间)撞击的发生。2 200 t 级吨位撞击船吨位较大一方面具有更大的初始动能,传递到被撞船上的动能也相应增大;另一方面 2 200 吨级的干舷高度较高,甲板和舷侧共同直接受到撞击,局部区域会受到更严重的损伤或变形。其四,在撞击过程中,速度尽量在 4 m/s 以下,船舶结构损伤变形降到最低,不仅起到驱赶目的,同时也保证了撞击船自身结构与船上人员安全;其五,2 200 t 级交通船在撞击过程中,尽量使用船首进行撞击,由于船舶主机在中后方,应尽量避免中后部发生大能量碰撞,如外板结构破损,船体安全将受到严重影响。

依据对被撞船在不同方案下的损伤变形和吸能情况,在结构设计过程中,必要时应考虑以下 2 个加强方案:一是被撞船的结构损伤变形主要集中在撞击区域,由于交通船首部均较为瘦削,碰撞损伤具有局部性,撞击过程易发生“劈柴效应”,因此,在易发生碰撞部位或重要设备放置区域应进行局部结构加强,如增加舷侧肋骨数量和尺寸,增加碰撞高度处的外板厚度等。二是通过计算各构件的吸能特性可知,碰撞区舷侧外板及其骨架是结构吸能的主要构件,因此,在结构加强中可以提高甲板、舷侧外板厚度或增加中间肋骨等以提升被撞区域结构强度及刚度,从而提高交通船在危险工况下的耐撞性能。

4 结束语

利用显式非线性有限元动态分析技术,对 2 200 t 交通船首部区域结构的碰撞特性进行了数值仿真研究。从整体上来看,在相同速度和相同撞击角度下首部区域破损的范围和面积最大,尾部区域破损的范围和面积最小,这主要跟交通船不同区域下的舷侧结构强度有关系。由于本文主要考虑两条相同吨级船舶之间的碰撞性能分析,所以损伤区域主要集中甲板及相连部分区域。然而,不同吨级船舶在碰撞时碰撞区域可能发生变化。因此,需要对甲板以下吃水以上结构进行加强,从而提高交通船在危险工况下的耐撞性能。

参考文献:

- [1]Minorsky,V.U. An analysis of ship collision with reference to protection of nuclear power plants [J].Journal of Ship Research,1959 (1):1-4.
- [2]Petersen,M.J. Dynamics of ship collisions[J].Ocean Engineering,1982(4):295-329.
- [3]Tabri,K. Influence of coupling in the prediction of ship collision damage[J].Ships and Offshore Structures,2012(1):47-54.
- [4]Zhang,S.M. and Pedersen, P.T. A method for ship collision damage and energy absorption analysis and its validation [J].Ships and Offshore Structures,2017(1):11-20.
- [5]张金军,王林,蔡厚平.钢-泡沫结构冲击性能的建模方法[J].舰船科学技术,2012(4):17-21.
- [6]胡志强,崔维成.船舶碰撞机理与耐撞性结构设计研究综述[J].船舶力学,2005(2):131-142.

(责任编辑:顾力豪)

Research on Crashworthiness of Small and Medium-sized Traffic Boats

ZHAO Chong-yi

(Section of Water Surface Traffic Inspection, Taizhou Local Maritime Safety Administration, Taizhou 225300, China)

Abstract: Taking the 2, 200-ton traffic boat as a research focus, the finite element model of the colliding ship, the collided ship and the water area is established. The impact of different collision positions, different collision angles and different collision speeds on crashworthiness of the boat is studied by the additional mass method. The dynamic state under different schemes and the dynamic structural response such as damage deformation, collision speed and collision force are obtained. The obtained results can provide the traffic boat with maneuvering suggestions for inevitable collision situation, which has significant reference for improving the structural strength of the traffic boat.

Key words: small and medium-sized traffic boat; additional mass method; crashworthiness