

某超大型集装箱船斜航数值模拟

吴琮^{1,2}, 熊小青^{1,2}, 李兆辉¹

(1.中国船舶及海洋工程设计研究院, 上海, 200011 Email: chuan0627@163.com)

(2.上海市船舶工程重点实验室, 上海, 200011 Email: chuan0627@163.com)

摘要: 航向稳定性, 是指船舶在水平面内的运动受到扰动而偏离平衡状态, 当扰动完全消失后, 保持原有航向运动的特性。判断船的航向稳定性有诸多横准系数。针对某超大型集装箱船, 利用 CFD 手段对其斜航运动进行模拟, 获取其在不同漂角下的纵向力、横向力和垂向力矩, 并与试验结果进行对比, 为船舶的航向稳定性研究提供参考。

关键词: 航向稳定性; 斜航; 不同漂角; CFD

1 引言

在 EEDI、EEOI 等船舶能效法规强制执行、全球经济下行、航运业竞争日趋激烈的背景下, 集装箱船大型化所具有的优势愈发明显, 目前正朝着超大型箱的方向快速发展。在单纯追求快速性指标时, 通常会导致船舶的航向稳定性变差, 准确预报和评估超大型集装箱船航向稳定性, 有利于增强我国在超大型集装箱船领域的设计能力和市场竞争力。本文针对某超大型集装箱船, 利用 CFD 手段对其斜航运动进行模拟, 仅对裸船体, 不带舵和螺旋桨, 计算采用商业软件 Numeca, 考虑了船舶的纵倾、升沉和横摇, 获取其重心在不同漂角下受到的纵向力、横向力和垂向力矩, 并与试验结果进行对比, 为船舶的航向稳定性研究提供参考。

2 计算工况

表 1 为某超大型集装箱船实船和船模的主参数。

表 1 实船与船模参数

项目	实船	模型
垂线间长 L_{pp} (m)	383.0	4.506
型宽 B (m)	58.6	0.689
首吃水 T_F (m)	14.0	0.165
尾吃水 T_A (m)	14.0	0.165
型排水体积 ∇ (m ³)	215284.4	0.351
航速 V	22.5kn	1.255m/s
佛汝德数 Fn	0.189	0.189
横向惯性半径/ B	0.35	0.35
纵向惯性半径/ L_{wl}	0.25	0.25
重心距基线高(m)	24.2	0.285
重心距尾垂线(m)	195.2	2.296
缩尺比	85	

3 斜航数值模拟

如图 1 所示, 船的运动方向与它的中纵剖面存在一个夹角, 称之为漂角, 本文考察的漂角为 0° 、 2° 、 4° 、 6° 、 8° 。在数值计算中, 船身最初处于静水中, 后给定船的运动速度和速度方向(漂角), 获得船体重心处所受的纵向力(沿船长方向)、横向力(沿船宽方向)和垂向力矩(沿船深方向)。

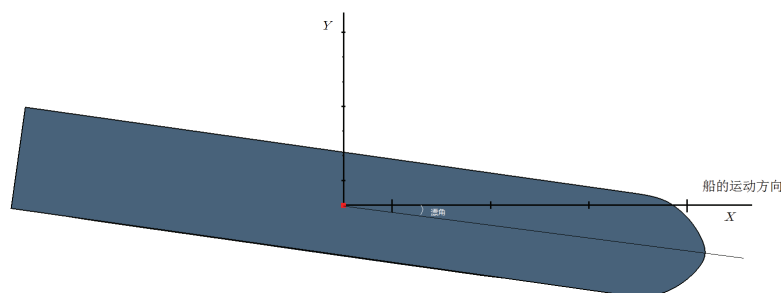


图 1 漂角示意

图 2 为计算域示意图, 面 EFGH 为流场上游, 距船首 $2L_{pp}$, 面 ABCD 为流场下游, 距船尾 $3L_{pp}$, 面 ABFE 为流场顶面, 距船甲板 $0.5L_{pp}$, 面 DCGH 为流场底面, 距船底 $1L_{pp}$;

面 ADHE 和面 BCDF 为流场的侧面，距船中纵剖面 $3L_{pp}$ 。

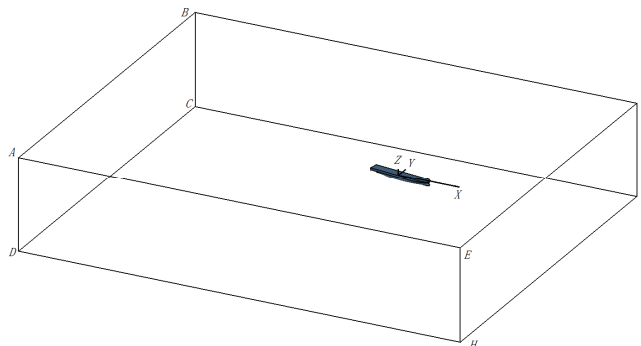


图2 计算域示意

斜航数值模拟有两种船身放置方法：一种是将船和计算域二者的 Y 向中纵剖面重合，如图 3 所示，船速基于漂角，分解为 X 向和 Y 向两个方向的速度，计算采用绝对坐标系，力的方向与船长船宽方向一致；另一种是将船体按漂角旋转，计算域不动，如图 4 所示，船速沿 X 方向，计算仍采用绝对坐标系，但力的方向与船长船宽的方向有夹角（漂角），故计算结果需进行换算。

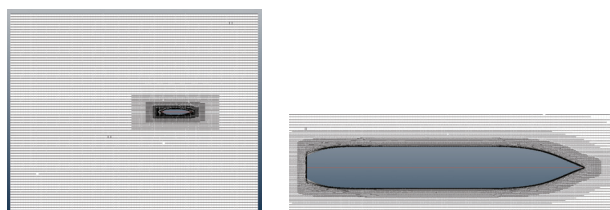


图3 船身放置方法一

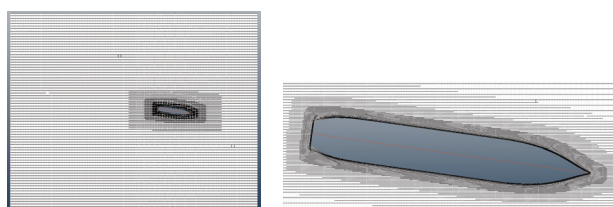


图4 船身放置方法二

由图 3 和图 4 可知，图 3 中的船身附近的网格正交性较图 4 的好，但速度方向的网格正交性比图 4 稍差，通过计算发现两者的计算结果与试验结果的偏差相当。

图 5 为试验的模型安装简图，X 轴沿船长方向，正向指向船首；Y 轴沿船宽方向，正向指向船的右舷；Z 轴沿船深方向，正向指向船底，试验采用的时随动坐标系，而图 3 中的船身安置方式，坐标系与试验坐标系更加接近，计算结果可以直接和试验结果比较（仅横向力和垂向力矩方向不同），因此本文中计算采用图 3 的船身安置方式。

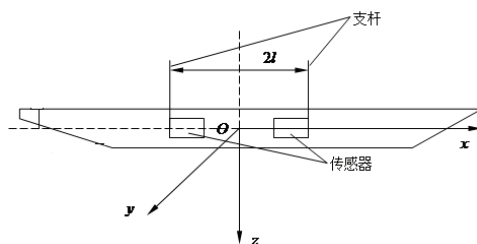


图5 试验模型安装简图

计算采用 k- ω (SST-Menter) 湍流模型, 总的体网格数约 465 万。流场上游、下游和侧面均为远场边界, 顶面和底面均设为压力条件。

4 计算结果与试验结果的比较

表 2 为计算结果与试验结果的对比。由于试验中, 船模由前后两个支杆固定, 漂角可能无法十分精确。漂角为 0° 时, 横向力和垂向力矩均为小量, 因此计算与试验结果的偏差很大。所有计算中, 纵向 X 力计算与试验结果吻合较好, 最大偏差约 1.756%, 横向 Y 力, 最大偏差约为 2.018%; 垂向力矩普遍偏差较大, 可能由于试验中, 力矩中心在两根支杆中间, 与船体重心位置有所偏差所致。

表 2 中, 横摇角的正值表示船身绕 X 的负向旋转, 升沉量的正值表示重心下沉, 纵倾角正值表示首倾, 旋转中心为重心。随着漂角的增加, 船身的横摇角和纵倾角均逐渐加大, 下沉量亦越来越大。

表 2 计算结果与试验结果的比较

计算结果			
漂角 (°)	Y (N)	N (N*m)	X (N)
0	0.010	0.000	-10.335
2	2.993	9.108	-10.420
4	5.350	19.524	-10.614
6	8.432	29.104	-10.930
8	13.395	36.372	-11.300
试验结果			
	Y (N)	N (N*m)	X (N)
0	0.476	1.624	-10.337
2	2.991	8.610	-10.345
4	5.291	18.707	-10.646
6	8.280	27.338	-10.939
8	13.130	34.009	-11.105
偏差 (%)			
	Y (N)	N (N*m)	X (N)
0	-97.899	-100.000	-0.017
2	0.067	5.779	0.725
4	1.119	4.368	-0.301
6	1.836	6.459	-0.084
8	2.018	6.947	1.756
	横摇角 (°)	升沉量 (cm)	纵倾角 (°)
0	0.000	0.430	0.089
2	0.366	0.440	0.090
4	0.684	0.470	0.094
6	1.043	0.520	0.103
8	1.523	0.580	0.115

5 流场分析

图 6 为各计算方案的自由面波形图,随着漂角的增加,首部迎流面处的波峰逐渐增高,而背流面处的波谷亦逐渐加深。

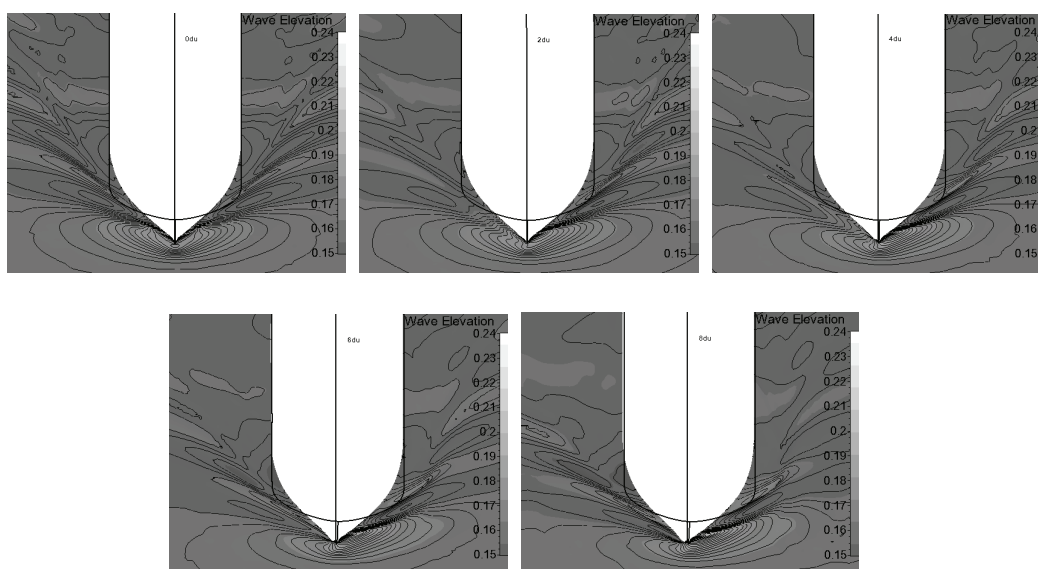


图6 首部自由面波形

图7为船身首部压力图。随着漂角的增加，首部迎流面处的正压逐渐增高，而背流面处的负压亦逐渐增加。从图中，还可以看出横摇角亦逐渐增加。

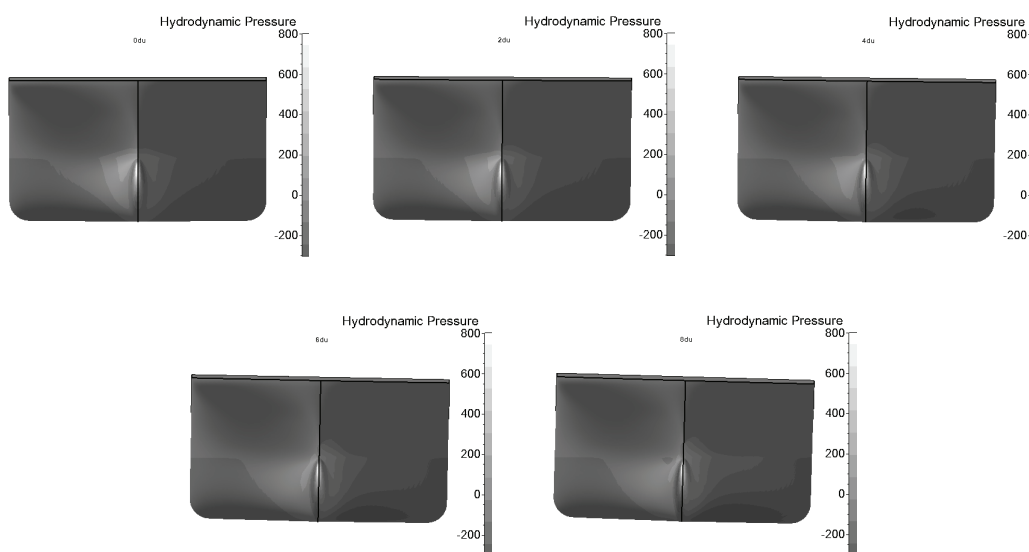


图7 首部压力分布图

图8为船身尾部压力图。随着漂角的增加，尾部迎流面处的正压变化并不明显，但背流面处的负压亦逐渐增加的现象较为明显。

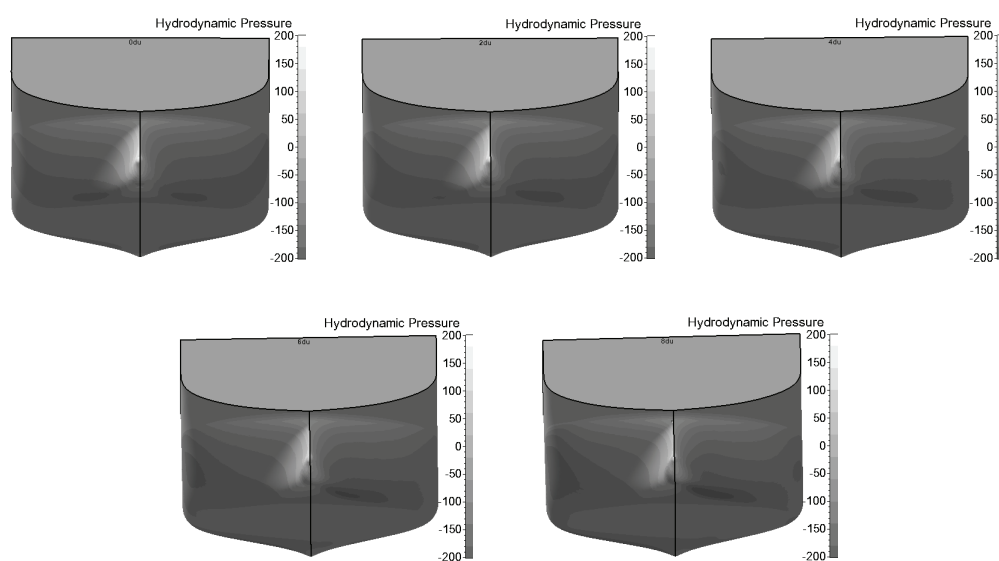


图8 尾部压力分布图

6 结论

利用 CFD 手段,对某超大型集装箱船的斜航运动进行数值模拟,并将计算结果与试验结果进行了对比。通过对流场的分析,发现船首的自由面、首尾压力分布随漂角增加而变化的一些规律,为该船的航向稳定性研究提供参考。

参考文献

- 1 冯铁城. 船舶操纵与摇荡. 北京: 国防工业出版社.
- 2 Numeca help manual

Numerical simulation of oblique movement of an oversize container ship

WU Qiong^{1,2}, XIONG Xiao-qing^{1,2}, LI Zhao-hui¹

(1. Marine Design and Research Institute of China, Shanghai, 200011, China, Email:
chuan0627@163.com)

(2. Shanghai Key Laboratory of Ship Engineering, Shanghai 200011, China, Email: chuan0627@163.com)

Abstract: Course stability refers to the deviation from the equilibrium state of the ship's motion in the horizontal plane due to disturbance. When the disturbance disappears completely, the characteristics of the original course motion are maintained. For an oversize container ship, the longitudinal force, transverse force and vertical moment of the ship in different drift angles are obtained by using the CFD method to simulate the oblique shipping movement, and the results are compared with the test results, providing reference for the research on the directional stability of the ship.

Key words: course stability; oblique towing; different drift angles; CFD