

# 并靠间距变化对浮体水动力性能影响分析

郑 律

(南通市交通运输综合行政执法支队 船检中队, 江苏 南通 226001)

**摘 要:**相邻两船舶并肩停靠时,水动力干扰作用会对两船舶的相对运动产生影响,从而影响船舶的安全作业。基于线性势流理论,文章使用 HydroSTAR 软件分析了单浮体的主要水动力性能,并对浮体距离 2 m 和 1 m 时来浪方向的浮体运动曲线和一阶力进行计算比较,探讨并靠间距变化对浮体水动力性能的影响,为两船并靠作业时的设施安全和人员安全提供参考。

**关键词:**势流理论;并靠间距;水动力;一阶力

**中图分类号:**U675.921

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-9891(2019)4-0041-06

## 0 引言

随着船舶行业的发展,各种海洋运载工具不断涌现,海洋运输和资源开发过程中多个船舶协调工作的情况日渐频繁,而相邻两船在并靠时,由于并靠船舶的间距较小,波浪对船体的水动力会产生影响,从而使并靠时船体受到的水动力与单个船体受到的水动力相比存在着较大的不同,两船的水动力干扰作用会对两船体的相对运动产生影响,影响两船舶的安全作业。<sup>[1-3]</sup>

目前,船舶的线型主要有 WIGLEY 型船与驳船两种,两船并靠作业有 WIGLEY 型船舶与驳船线型船舶并靠、驳船线型船舶与驳船线型船舶并靠和 WIGLEY 型船舶与 WIGLEY 型船舶并靠三种情况。但最常见的并靠方式为 WIGLEY 型船舶与驳船线型船舶并靠,因此本文在进行多浮体并靠作业的水动力分析时,选用 WIGLEY 型船舶与驳船线型船舶并靠作业模型进行研究,两船模型主要参数如表 1 所示。

表 1 WIGLEY 型船与驳船船模主要参数

船型	WIGLEY 型船	驳船
船长 $L/m$	2.0	2.0
船宽 $B/m$	0.3	0.3
型深 $D/m$	0.125	0.125
水线面面积 $A_w/m^2$	0.414	0.6
排水量 $\Delta/m^3$	0.041	0.075
X 轴回转半径 $R_{xx}/m$	0.1	0.1
Y 轴回转半径 $R_{yy}/m$	0.5	0.5
Z 轴回转半径 $R_{zz}/m$	0.5	0.5

由于驳船线型船舶相对于 WIGLEY 型船舶线型较为简单,且两类船舶并靠作业时,驳船线型船舶多为工程船,作业时多由系泊设备牢固固定在相应水域,水动力性能对其安全影响不大。因此进行研究时主要分析对 WIGLEY 型船舶的水动力性能产生的影响。

## 1 浮体水动力分析的基本原理

船舶是一种典型的浮体,浮体水动力即是研究浮体在水中的运动规律及其与水相互作用的学科。频域

收稿日期:2019-07-22

作者简介:郑律(1988—),男,湖北宜昌人,南通市交通运输综合行政执法支队船检中队工程师,硕士。

无航速理论<sup>[4]</sup>作为一种浮体水动力分析的方法,目前已较为成熟。该方法已成为海事工业结构物设计的一个标准工具。目前基于零航速格林函数理论开发的很多商业代码可以应用,本文使用 HydroSTAR 进行水动力计算,并对其结果进行分析,本文计算分析基于线性势流理论<sup>[5-7]</sup>,采用势流理论进行计算分析需满足如下假设:

- (1) 船体无航速漂浮在无限水深的水域表面上;
- (2) 流体无黏性,并且不可压缩,忽略其表面张力效应;
- (3) 运动无旋。

## 2 单浮体水动力分析

在进行多浮体水动力性能分析前,需要分析单个浮体,以确定使水动力系数变化最为敏感的浪向,然后再针对这一浪向分析两个浮体的相互作用。根据两船模主要参数采用 Patran 软件建立两船模的湿表面网格模型,处理导入 HydroSTAR 软件中进行分析,模型如图 1 所示。

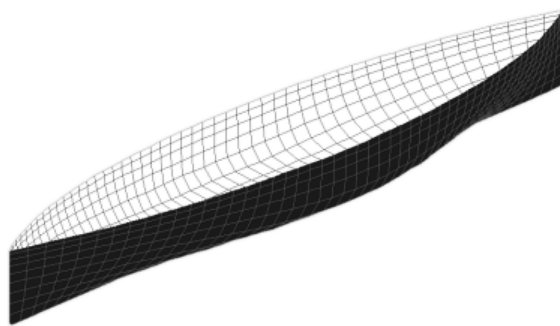


图 1 WIGLEY 型船可视化图像

### 2.1 单浮体运动曲线分析

图 2 为 WIGLEY 型船舶在 90°、120°、150°、180°迎浪中的纵荡(surge)、横荡(sway)、垂荡(heave)、横摇(roll)、纵摇(surge)、首摇(yaw)运动曲线。

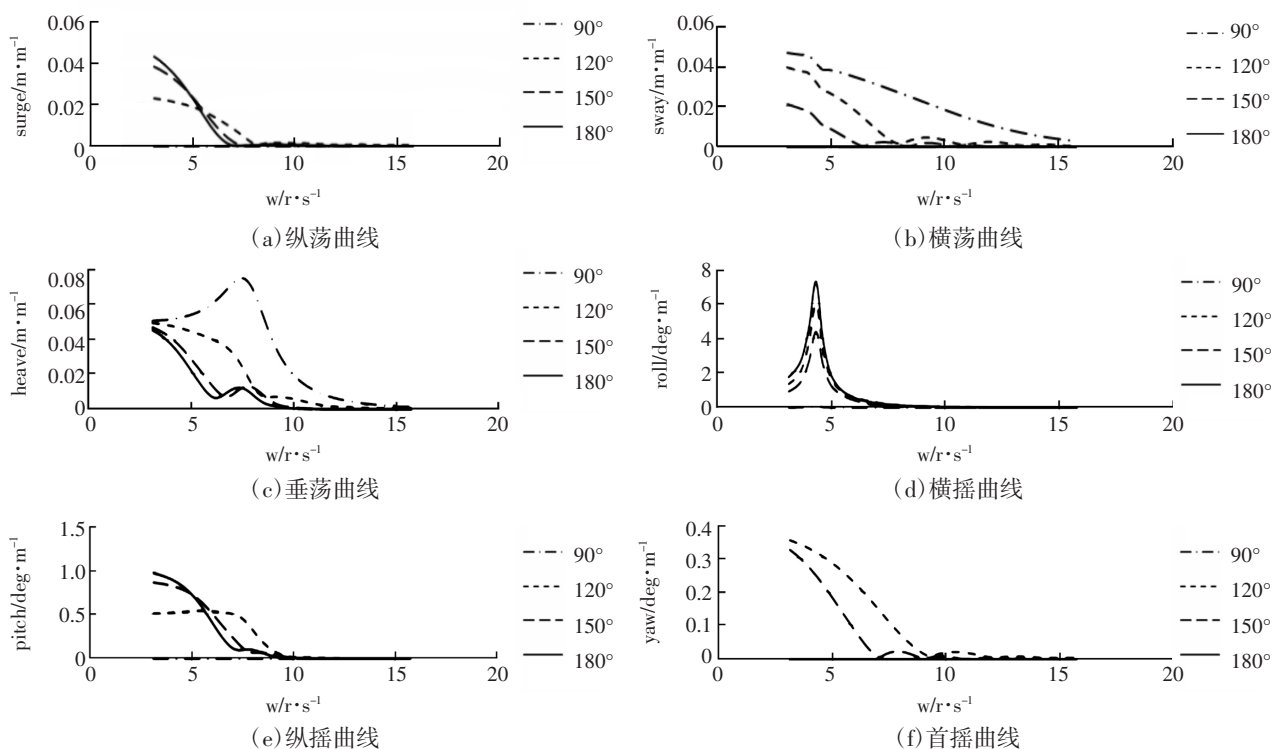


图 2 四种浪向下纵荡、横荡、垂荡、横摇、纵摇、首摇运动曲线图

由图 2(a)可以看出,迎浪角  $90^\circ$  即横向来浪对船舶纵荡基本无影响,随着迎浪角的增加,船舶纵荡幅度明显增加,在迎浪角达到  $180^\circ$  即船首迎浪时,船舶纵荡幅值最大。5 r/s 之后的高频区域,各浪向角的纵荡幅度差距变小;

图 2(b)中对垂荡影响最大的是  $90^\circ$  来浪,并且随着迎浪角增大而减小,直至  $180^\circ$  来浪时达到最小值,随着迎浪角的增大,影响的减小趋势越来越明显,到达纵向来浪时,垂荡中随着迎浪角增加垂荡幅值减小的趋势逐渐不明显,最后几乎无变化。

图 2(c)曲线中,对横荡影响最大的是  $90^\circ$  (横向) 来浪,并且随着迎浪角增大而减小,直至  $180^\circ$  来浪时达到最小值。随着迎浪角的增大,影响的减小趋势越来越明显,到达纵向来浪时,几乎没有横荡。在频率 7~8 r/s 之间会出现极大值,该极大值在  $90^\circ$  横向来浪时为整个曲线的最大值及垂荡运动的最大幅值。

图 2(d)中的横摇运动曲线,来浪角度的增大,使得船舶的摇荡幅度逐渐减小,直至迎浪时对船体几乎没有影响,并且在不同的角度上,均在来浪频率为 4 r/s 左右处出现最大摆幅。

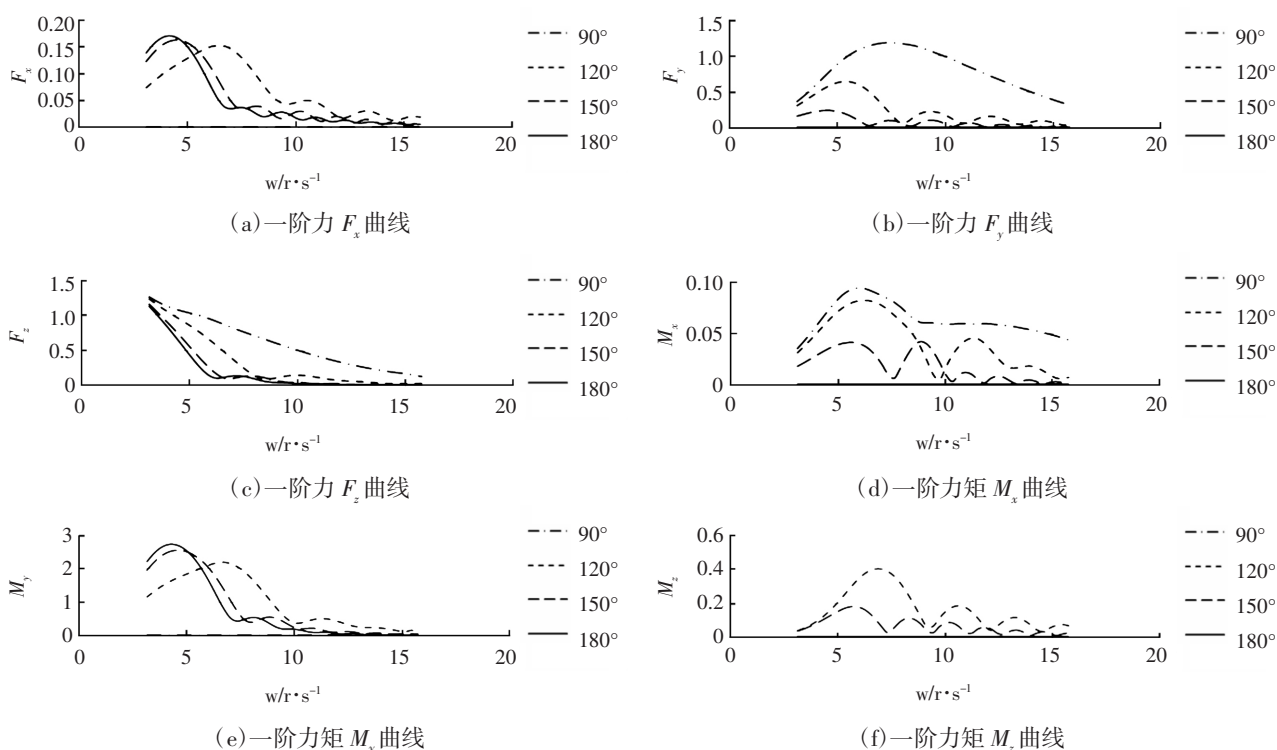
图 2(e)中的纵摇曲线随着迎浪角的增大,影响愈发明显,反而在横向来浪时对船体不会造成影响。

图 2(f)中垂向来浪和纵向来浪的首摇曲线几乎为与  $x$  轴重合的直线,而只有在斜向来浪时,才会出现明显的首摇现象。

综上所述可以发现,所有的运动幅度走势,均随着频率的增加而逐渐趋于平缓,并且不同的浪向角对船舶运动影响的差异明显。纵荡、纵摇的敏感浪向角为  $180^\circ$ ,横荡、垂荡、横摇敏感浪向角为  $90^\circ$ ,首摇敏感浪向角为  $120^\circ$  和  $150^\circ$ 。

## 2.2 单浮体一阶力曲线分析

来浪在遭遇浮体时,会产生相对复杂的波浪绕射。一阶力是考虑了绕射影响后的入射波系对无摇荡浮体的作用力,主要包括入射波浪力和绕射波浪力。 $90^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $150^\circ$  和  $180^\circ$  四个浪向下 WIGLEY 船一阶波浪力,如图 3 所示, $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  为波浪在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向上的合力, $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  为波浪在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向上的合弯矩。



注:图中数据为无因次化处理后的结果,一阶力无因次化公式为: $F = f \rho g A_{wp} A$ ,一阶力矩无因次化公式为: $M = f \rho g A_{wp} A^2$ ,其中: $f$  为软件计算结果, $\rho$  为海水密度、 $A_{wp}$  为水线面积、 $A$  为波幅

图3 四种浪向下一阶力、一阶力矩曲线图

由图 3 可以得出与六自由度运动类似的结论,即  $x$  方向上的力,受  $180^\circ$ 迎浪的影响最大; $y$  方向上和  $z$  方向的力,在  $90^\circ$ 横浪时最为明显。对六自由度的力矩比较可以看出,  $90^\circ$ 横浪对  $x$  方向上的力矩影响最为明显;  $180^\circ$ 迎浪对  $y$  方向上的力矩影响最为明显;浪向角为  $120^\circ$ 的情况下对  $z$  方向上的力矩影响最为明显。

### 3 并靠间距变化对水动力性能的影响分析

每一个自由度的运动都在某一方向的来浪上最为显著,根据对单浮体计算结果确定的最为敏感浪向,分别对多浮体的各运动分析进行分析。并靠时对固定船型的水动力性能影响,除了浪向以外还应考虑到两船间距的影响,本文将对两船并靠间距 2 m 时的各项性能与并靠间距 1 m 时的性能进行比较,两船旁靠示意图如图 4 所示。



图 4 HydroSTAR 两船旁靠示意图

#### 3.1 间距对船运动的影响分析

图 5 中图(a)至图(c)为并靠间距分别为 1 m 和 2 m 时的纵荡、横荡、垂荡三种震荡运动的比较曲线;图(d)至图(g)为并靠间距分别为 1 m 和 2 m 时的横摇、纵摇、首摇三种摇晃运动的比较曲线。

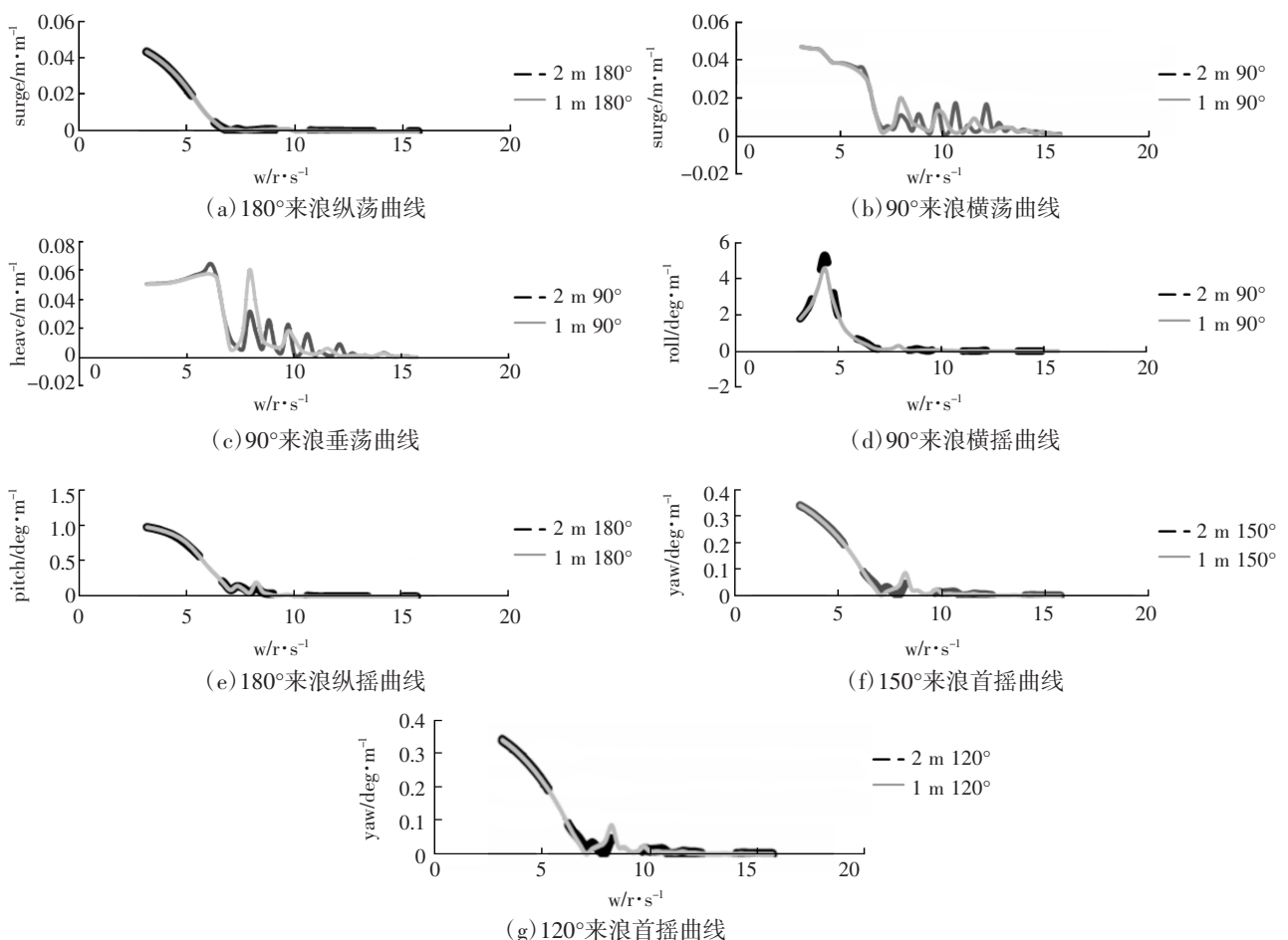


图 5 不同间距下最敏感浪向运动曲线

观察以上六幅曲线图,可以发现不同并靠间距的运动性能存在着一定的差异:

(1)由图 5(a)可以看出,对纵荡影响最突出的  $180^\circ$  来浪时,同样由于是并靠的关系,WIGLEY 船同样完全暴露在来浪上,与其旁靠的驳船没有任何阻挡作用,所以对纵荡不存在影响,因此可以得出结论: $180^\circ$  的垂向来浪不会对并靠下两船间的水动力性能造成任何影响。

(2)观察图 5(b)和图 5(c),可以发现两者之间有很多共同点。在低频情况下,不同间距的曲线基本重合,随着频率的增加两者差异逐渐增大,曲线在走势相同的前提下,除了个别频率以外,2 m 间距的曲线的幅值要明显高于 1 m 间距的曲线,并且曲线的波动明显要比 1 m 间距下的剧烈。由图(b)和图(c)可以看出,在 5  $r/s$  频率以后,曲线的波动幅度逐渐出现差异;

(3)由图 5(d)可以看出, $90^\circ$  横向来浪时,横摇在走势相同的情况下,大间距的工况要比小间距的横摇幅值略大一些。

(4)由图 5(e)可以看出, $180^\circ$  的纵向来浪产生的纵摇,同样不受并靠状况的影响。

(5)由图 5(f)、图 5(g)可以看出由于首摇运动受斜向来浪的影响,所以与其他运动的影响因素存在着差异,随着间距的变化略有变化,但是影响不大。

总体来说所有运动,只有横荡和垂荡在 5  $r/s$  频率以后的高频区域,曲线的波动幅度逐渐出现差异;由于驳船对 WIGLEY 型船存在横向的遮挡作用,受影响最大的是横向  $90^\circ$  的来浪所产生的响应,并且由于间距的增大,遮蔽作用逐渐减小,即多浮体状态下的 WIGLEY 型船的运动逐渐增加,越发趋于单体时的运动,由此可以推断当间距增加到某一临界值时,驳船对 WIGLEY 船的遮蔽作用会消失。

### 3.2 间距对浮体一阶力的影响分析

图 6 为不同间距在该浪向上影响最显著力的分析比较。

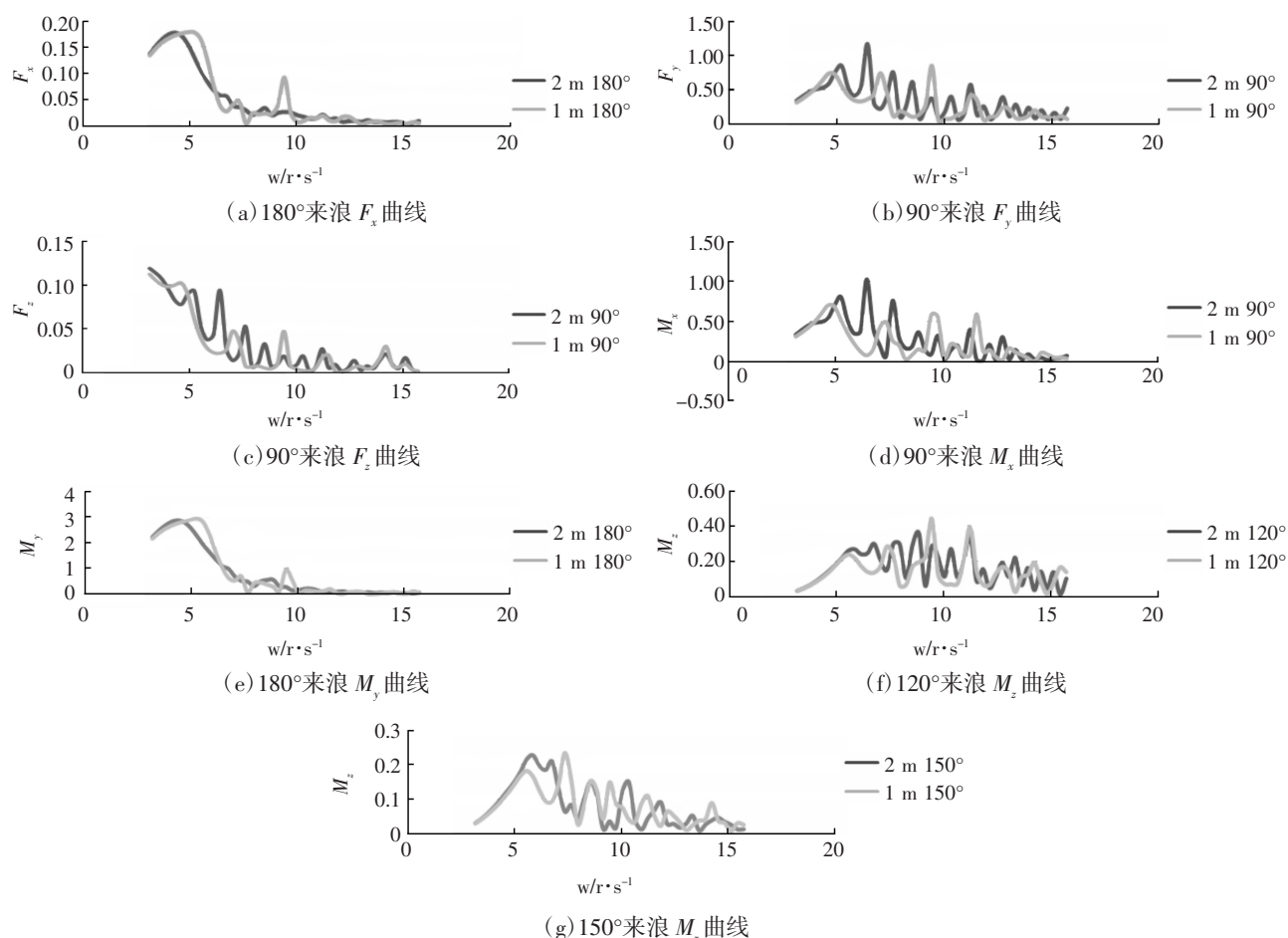


图 6 不同间距下最敏感浪向一阶力、一阶力矩曲线



从以上的曲线比较图中不难发现间距 2 m 的一阶力比间距 1 m 的一阶力波动要剧烈一些,但是曲线的总体走势两者之间仍然没有太大出入,与运动性能不同的是:除了个别的频率相差过多以外,两者的振动幅度之间并没有太大的差距,只是同样 90°来浪产生的力在 2 m 间距时微有提升,这是由于间距增加,使得驳船对 WIGLEY 型船的遮蔽作用减弱所造成的。一阶力在 5 r/s 之后的高频区域上,波动的差距逐渐明显。

#### 4 结束语

通过本文的研究可以得出以下结论:

(1)不同工况下的水动力及其性能曲线的总趋势(随频率响应增加或者减弱)基本一致,并且在低频状况下两者基本一致,主要的差距出现在 5 r/s 之后的高频区域上。

(2)间距的影响对船体的运动响应影响较大,即由于驳船对 WIGLEY 型船的遮蔽作用随着两船间距的增加,逐渐减弱,并且有理由相信当间距超过某一临界值后,驳船对 WIGLEY 型船的遮蔽作用将会消失,此时 WIGLEY 型船的运动相应将会与单浮体状态一致。

#### 参考文献:

- [1]盛振邦,刘应中.船舶原理:下[M].上海:上海交通大学出版社,2008.
- [2]张亮,李云波.流体力学[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2001.
- [3]马山,宋竞正,段文洋.二维半理论和切片法的数值比较研究[J].船舶力学,2004(1):35-43.
- [4]Bureau Veritas.Hydrostar For experts Version 4.0 User Manual[M].Paris:Bureau Veritas,2006.
- [5]Masashi Kashiwagi,Kazuaki Endo,Hiroshi Yamaguchi.Wave drift forces and moments on two ships arranged side by side in waves [J].Elsevier Ltd,2004(12):529-555.
- [6]戴捷.两个浮体在规则波中受到的漂移力[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2007.
- [7]王强.FPSO 串靠外输时的多浮体系统响应分析[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2010.

(责任编辑:张 利)

## Analysis of the Influence of Side-by-side Berthing on Floating Object Hydrodynamic Performance

ZHENG Lv

(Ship Inspection Squadron, Nantong Municipal Comprehensive Administrative Law Enforcement Division of Transport, Nantong 226001, China)

**Abstract:** When two adjacent ships are docked side by side, the hydrodynamic interference will affect the relative movement of them, thereby affecting their safe operation. Based on the theory of linear potential flow, the article uses HydroSTAR software to analyze the main hydrodynamic performance of a single floating object, and compares the movement curve and first-order force of the floating object in the direction of approaching waves at a distance of 2 m and 1 m respectively. The impact on hydrodynamic performance of distance variation between side-by-side floating objects is explored, which provides reference for the safety of facilities and personnel when two ships berthing side by side.

**Key words:** potential flow theory; side-by-side berthing distance; hydrodynamics; first-order force