

风和流作用下动力定位船舶的运动性能预报

王志东

(华东船舶工业学院船舶工程系 江苏 镇江 212003)

徐玉如

(哈尔滨工程大学 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 本文根据某船的一系列风洞和水池模型试验所得到的数据, 给出了相应的力及力矩系数曲线, 然后建立了船舶运动数学模型, 通过数值求解, 预报了动力定位船舶在均匀风及海流作用下的运动性能。

关键词: 海风; 海流; 船舶运动 / 动力定位

中图分类号: U675.51

动力定位技术是一门为开发海洋而逐渐发展起来的全新技术。其含义是指在船舶上安装若干组纵向、横向、垂向控制器, 然后依靠螺旋桨和舵配合来共同抵抗外部环境力(风、海流、波浪等), 使船舶按人们的要求在海上保持一定位置或使船舶航向与预定航向的偏差最小。研究动力定位船舶在风、海流、波浪等外界环境作用下的运动性能具有重要的意义, 根据船舶的运动性能及各环境因素的影响强弱, 可以为控制仪提供控制策略及滤波参数, 并用来调试控制仪的软件和硬件配置, 同时还可为实现操纵性模拟、训练操纵人员提供重要依据。

1 船舶运动数学模型

1.1 坐标系的选取

选取两个坐标系: 大地坐标系 $O_0X_0Y_0Z_0$ 和船体坐标系 $OXYZ$, 坐标原点取在船舯, 如图1。

图中:

ψ ——船向角;

ψ_w ——风向的反向与 OX 轴正向的夹角;

ψ_c ——流向的反向与 OX 轴正向的夹角;

r ——船舶回转角速度;

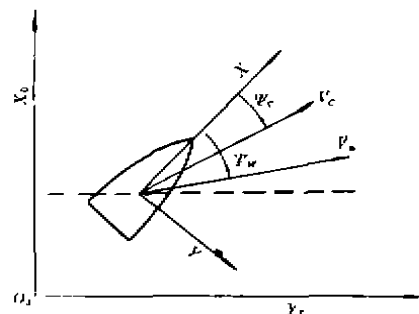


图1 坐标系

收稿日期: 1994-10-25

王志东 男 1967年生 讲师

V_w ——风速;

V_c ——流速。

1.2 数学模型

众所周知,三自由度的船舶操纵运动方程为^[1]:

$$m(\dot{u} - vr - X_{\dot{r}}r^2) = X$$

$$m(\dot{v} + ur - X_{\dot{r}}r^2) = Y$$

$$I_z \ddot{r} + mX_{\dot{r}}(\dot{v} + ur) = N$$

式中 $I_z = I_{za} + mX_0^2$ 为绕 Z 轴的转动惯量。

当船舶受到风、海流的干扰时,外力及外力矩为:

$$X = X_H + X_W + X_C$$

$$Y = Y_H + Y_W + Y_C$$

$$N = N_H + N_W + N_C$$

式中下标 H, W, C 分别代表船体水动力,风力,海流力。

为求解上述方程组,需给出方程组右端的船体水动力(矩)及环境力(矩)。

2 船体水动力(矩)及环境力(矩)

2.1 船体水动力及水动力矩

根据操纵性的知识,为保证预报精度,船体水动力及水动力矩采用下列非线性形式^[2]:

$$X_H = X_0 + X_u u + X_{\dot{u}} \dot{u} + X_{uu} u^2 + X_{u\dot{u}} u \dot{u} + X_{\dot{u}\dot{u}} \dot{u}^2$$

$$Y_H = Y_0 + Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} + Y_v v + Y_r r + Y_{|v|} v |v| + Y_{|r|} r |r|$$

$$N_H = N_0 + N_v \dot{v} + N_r \dot{r} + N_v v + N_r r + N_{|v|} v |v| + N_{|r|} r |r|$$

对于有控制力的船舶,其扰动速度不大,因此水动力系数 $X_w, X_{\dot{w}}, Y_r$ 的影响很小,予以忽略。在非线项中, $Y_{|v|}$ 的影响较之其它非线性项来讲数值不大,忽略不计。

对于 $X_0 + X_u u + X_{uu} u^2$, 在缺少水动力系数的情况下,一般将之合并为一项来处理,其物理意义是航速为 u 时的直航阻力,根据静水斜拖试验给出。

对于非线性水动力,可由下式给出:

$$N_{|v|} = -0.13 \times Y_{|v|}$$

$$H_{|v|} = 0.049 \times Y_{|v|}$$

其中 $Y_{|v|} = -\frac{A_0}{L^2} C_1$ 为横向流阻力系数;

A_0 为船体水下部分在垂直于来流方向上的投影面积;

C_1 为无因次横向流阻力系数,可由横向流阻力系数曲线求得。

对于其它的水动力系数均由船模试验给出,试验是在哈船院循环水槽中利用 HPMM(水平型平面运动机构)进行的,其结果如下:

$$\begin{aligned}
 Y_r &= -6.2 \times 10^{-1}; & Y_r &= 1.36 \times 10^{-2} & N_r &= -4.2 \times 10^{-2}; & N_r &= -1.3 \times 10^{-2}; \\
 Y_s &= -5.23 \times 10^{-2}; & Y_s &= -8.1 \times 10^{-3}; & N_s &= 3.41 \times 10^{-3}; & N_s &= 1.24 \times 10^{-3};
 \end{aligned}$$

2.2 风力及风力矩

从海面吹过的自然风,其大小及方向都是不断变化的,而且由于海面波浪产生的粗糙度影响,风速沿高度方向存在梯度,因此这种风速的大小和方向是不稳定的,这给测定作用在船舶上的风力及风力矩带来了很多困难。为研究方便,通常均作为均匀风处理。

风力及风力矩的一般表达式为:

$$\begin{aligned}
 X_w &= 0.5 \rho_a \cdot A_x \cdot V_w^2 \cdot C_{wx} \\
 Y_w &= 0.5 \rho_a \cdot A_y \cdot V_w^2 \cdot C_{wy} \\
 N_w &= 0.5 \rho_a \cdot A_l \cdot L_{ao} \cdot V_w^2 \cdot C_{wN}
 \end{aligned}$$

式中 ρ_a ——空气密度;

A_x, A_l ——水面以上船体及上层建筑在 X 轴及 Y 轴上的投影面积;

V_w ——相对风速,其大小按速度合成定理计算;

C_{wx}, C_{wy}, C_{wN} ——风压力及风压力矩系数,是相对风舷角 θ 的函数。

试验由哈船院海洋综合技术研究中心委托航天工业部 627 所在 FL-5 号风洞中进行。试验条件:风速为 30 m/s,风向从 0° 到 180° 首顶风到尾顶风,每 5° 一个测点。试验结果给出了数学模型,上层建筑在 30 m/s 风速时的纵向风力系数、横向风力系数及风压力矩系数随相对风舷角 θ 的变化曲线,如图 2 所示。利用插值法可以求出任意 θ 角度下的风力及风力矩系数,从而求得船舶受到的风力及风力矩。

2.3 海流力及海流力矩

海流力是动力定位船舶受到的最主要的环境力,其数值大小直接影响首尾侧推力器所需功率的估算,因此对海流力的测量必须准确。试验在哈船院大水池中进行,试验结果给出了海流力及海流力矩系数曲线,如图 3 所示。利用下式即可确定船体受到的海流力及海流力矩^[3]。

$$\begin{aligned}
 X_r &= 0.5 \rho \cdot V_r^2 \cdot A \cdot C_x \\
 Y_r &= 0.5 \rho \cdot V_r^2 \cdot A \cdot C_y \\
 N_r &= 0.5 \rho \cdot V_r^2 \cdot A \cdot L_{ao} \cdot C_u
 \end{aligned}$$

式中 ρ ——水密度;

A ——水线长 \times 吃水;

L_{ao} ——船体总长;

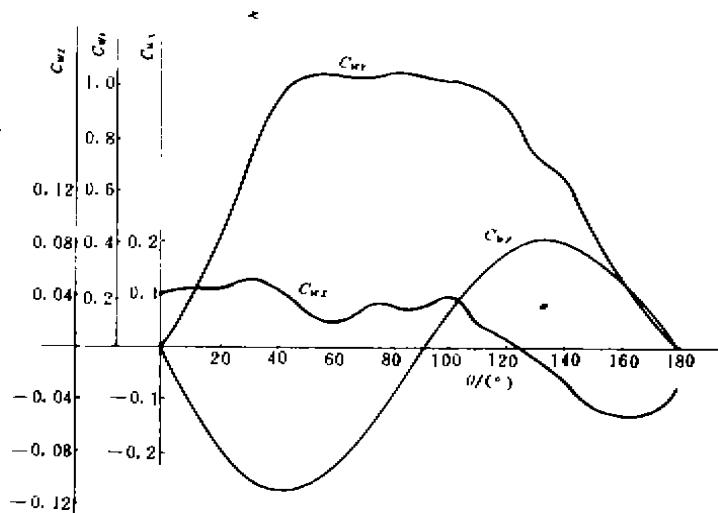


图2 风压力及风压力矩系数曲线

V_c ——海流速度。

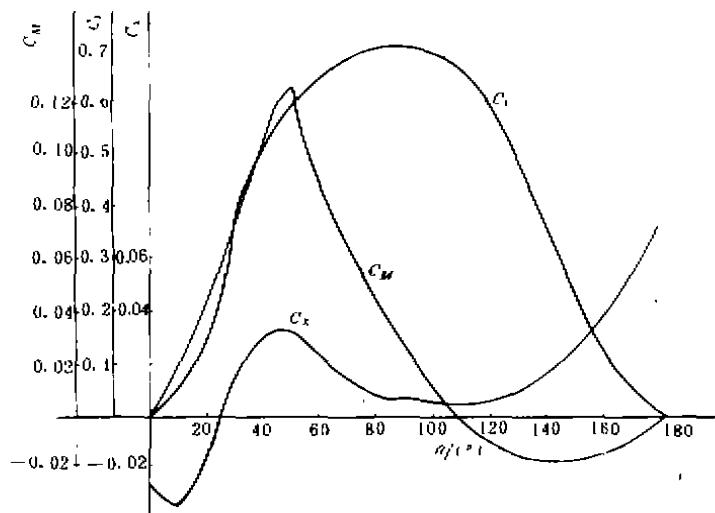


图3 海流力及海流力矩系数曲线

3 船舶运动性能预报

将求得的船舶水动力(矩)系数及环境力(矩)系数代入船舶操纵运动方程,整理并将方程无因次化得:

$$(m - X_0) \dot{u} = X_0 + m' u r' + m' X_G r'^2 + \frac{\rho_h A}{\rho L^2} V_{11}^2 C_{W1} + \frac{A}{L^2} V_c^2 C_A (m' - Y_r') \dot{v}' + (m' X_G - Y_r') \dot{r}'$$

$$= Y_v' v' + Y_r' r' + Y_{|v|} v' |v'| - m' u r' + \frac{\rho_h A_r}{\rho L^2} V_w^2 \cdot C_{W2} + \frac{A}{L^2} V_c^2 \cdot C_A$$

$$(m' X_G - N_x') \dot{v}' + (I_z - N_r') \dot{r}' = N_v' v' + N_r' r' + N_{|v|} v' |v'| + N_{|r|} r' |r'| - m' X_G u r' + \frac{\rho_h A_r L_m}{\rho L^3} \cdot V_w^2 \cdot C_{W3} + \frac{A \cdot L_m}{L^3} V_c^2 \cdot C_M$$

利用四阶龙格-库塔法求解,即可预报船舶在风、海流作用下的运动性能^[4]。

3.1 均匀风作用下船舶的运动性能预报

漂浮在海面上的船舶在受到均匀风作用时,不同的初始风向将会导致船舶产生完全不同的漂浮运动。本文给出了五种不同初始状态(初始风向角 $\psi_w = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$)下船舶的重心运

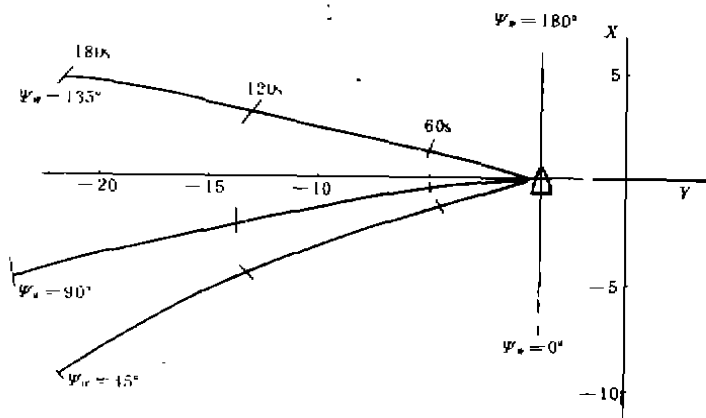


图4 均匀风作用下船舶的运动轨迹及船向变化

动轨迹及艏向变化趋势。取时间 $t=180\text{ s}$, 绘制成曲线如图4所示。

3.2 均匀风、海流共同作用下船舶的运动性能预报

当船舶同时受到风及海流的影响时, 船舶将会因风向、流向及风、流夹角的不同产生情形各异的漂移运动。根据动力定位船舶的特点(最优艏向在 $\pm 20^\circ$ 的范围内)分别取初始流向角 $\psi_r = \pm 5^\circ, \pm 10^\circ, \pm 15^\circ, \pm 20^\circ$, 而且风向始终在船舶右侧并与流向成 45° 夹角, 共8种状态来预报船舶的运动响应特性。本文给出了船舶在3节海流, 22节风作用下的重心运动轨迹及艏向变化趋势, 取时间 $t=180\text{ s}$ 绘制成曲线图5。

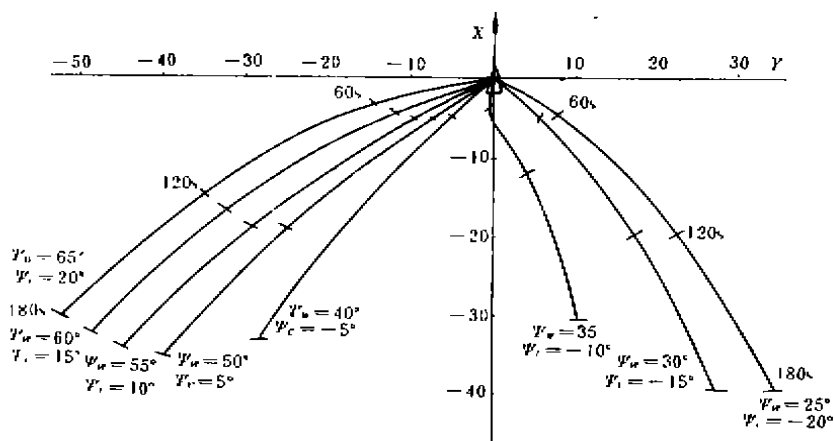


图5 均匀风、海流共同作用下船舶的运动轨迹及艏向变化

4 计算结果分析及主要结论

1) 漂浮在海面上的船舶受到均匀风作用时, 风向对其漂移的趋势有着决定的影响, 因此在控制过程中必须优先进行艏向控制, 这样才能在不同的环境因素下使船舶的态势始终处于可控状态。

2) 从图4中可以看出, 船舶受到均匀风作用而最终进入稳定漂移时, 船舶总是横向对着风, 在艏向角保持不变下进行漂移, 但由于此时船舶仍受到纵向风力的作用, 因此船舶还将在纵中线方向上移动。

3) 相对于风而言, 海流对动力定位船舶的作用要大的多。当流向为 $-20^\circ, -15^\circ$, 而风向为 $25^\circ, 30^\circ$ 时, 流产生的横向力及横向力矩均超过了风, 因此船舶沿着流向的方向漂移并不停地转艏。此时推力器应当产生与风的作用效果相同的横向推力及推力矩来共同抵抗海流的影响。

当流向为 -10° , 风向为 35° 时, 初始阶段风产生的横向力大于流作用于船舶的横向力, 但风产生的转艏力矩仍然小于流产生的转艏力矩, 因此要求推力器提供与流的作用效果相同的横向推力以及风的作用效果相同的推力矩, 这样才能迅速有效地控制船位及艏向。

当流向减小到 -5° , 风向增大到 40° 时, 无论是横向力及转艏力矩, 风的影响均超过了流,

此时只须使用推力器与海流联合共同抵抗风的作用即可。

当风、海流处于船舶同一侧时,船舶迅速发生漂移和转舵,此时推力器抵抗风、海流的共同作用。若不考虑控制力,则当船舶继续变化到一定角度时,船舶停止转舵,风与海流产生的转舵力矩相平衡,船舶进入稳定漂移状态。

4)本工作为船舶动力定位研究的前期工作,只是考虑了船舶在无控制力情况下的运动性能,进一步的工作将是在此基础上研究实施动力控制及其控制精度的方法。

参 考 文 献

- 1 陈厚泰. 潜艇操纵性. 北京:国防工业出版社, 1981. 9~69
- 2 夏尚钰, 竺瑞庭. 均匀风作用下的船舶回转性能研究. 见: 第三届船舶操纵性学术讨论会论文集, 1983. 17~29
- 3 摩根 M J. 近海船舶动力定位. 北京:国防工业出版社, 1984. 326~372
- 4 腾野正隆, 不破健. 外力下的操纵运动. 见: 日本造船学会第三届操纵性讨论会论文集, 1980. 26~36

The Prediction of Kinetic Characteristics of Dynamically Stationed Ship Acted by Wind and Current

Wang Zhidong

(Dept. of Shipbuilding Engineering, East China Shipbuilding Institute, Zhenjiang, Jiangsu, 212003)

Xu Yuru

(Harbin Engineering University, Harbin, 150001)

Abstract: Obtained the relative corresponding force and moment curve on the basis of figures derived from a serial of tunnel tests and tank-model experiments on some ship. Then set up ship's kinetic mathematic model. Through numerical computation, The paper predicted the kinetic characteristics of dynamically stationed ship under uniform wind and ocean current.

Key words: sea wind; ocean current; ship motion / dynamically stationing.

(责任编辑:施林标)