

在风浪场中船舶运动失速特征

余鹤书 谷美荣 许小峰
(国家气象局国家气象中心)

提 要

本文初步研究了海面上风浪运动对船舶航速的影响,得到了不同吨级船舶的运动性能曲线和失速回归方程,对船舶横渡大洋最佳航线选择和航行模拟有一定实用价值。

一、引 言

掌握船舶运动的速度变化,是气象导航中优选航线的关键环节^[1,2,3]。船舶在大洋中航行,影响航速的因素很多,例如风、浪、海流等都可以对船舶航行造成影响,船舶的形状、船底表面粗糙度、载货量、主机功率等诸种因素也综合影响着船舶的运动性能。但大洋中决定船舶速度变化的环境因素,主要是大风和海浪的影响,这种附加阻力常使船舶产生摇摆、螺旋桨滑脱,甚至导致货物位移倾覆等减速和危及安全现象。采用比较准确的方法来确定船舶在风浪中的失速是相当复杂的。早期的工作主要通过试验方法建立航速与海浪的对应关系,以后美国气象导航部门从大量航次中统计了风与航速的关系^[4],但风与浪的相关也并非一一对应。本文根据实际资料,采用分析统计方法,求出在各种风、浪、涌的环境状态下的综合失速特征,以满足计算船舶最佳航线的需要。

二、资料和数据分析

资料来源计有:被导船的直接观测报告、船舶航线总结、航海日志数据和天气、海浪图数据。由于有些数据因通信传递误差、主机故障滞航或有意加快航速等原因,对每组数据都需仔细地分析。此外还对实测资料进行了规格化处理,其公式如下:

$$V = V_0 + \Delta V_w + \Delta V_c$$

$$\Delta V_w = V - V_0 - \Delta V_c$$

$$\Delta V_c = V_c \cdot \cos\varphi$$

式中 V 是实际航速; V_0 是静水中船舶技术性能航速; ΔV_w 是船舶受天气、海况影响的失速值; ΔV_c 是船舶受海流影响的失速值; V_c 为海流流速; φ 为流舷角,即流向与船向夹角。

根据上述标准化数据,形成船舶运动性能数据资料库。

三、船舶运动性能函数曲线

利用船舶在海洋航行中的实际观测数据(350个样本),以及相应的船舶失速值,可以得到它们之间的简单函数关系。图1和图2分别是2—5万吨级和5—10万吨级、航速为12—15节(浬/时)货船的性能曲线。可以看出:(1)风对船舶失速的贡献随风速和风舷角而定,风速愈大船舶失速也愈显著,顶风时船舶失速值远大于顺风的失速值,例如在 20ms^{-1} (约 40kn)的风速条件下,5—10万吨级船在顶风时失速值为 4.7kn ,而在顺风时失速值仅为其53%;在顺风的条件下,风速在 10ms^{-1} (20kn)以下,船舶甚至可以出现微弱的增速。(2)风速在 10ms^{-1} 以上时,同样的风力条件下,吨级小的船舶失速值稍为大于吨级大的失速值,这与功率强、吨级大的船舶抗风能力较强有关。

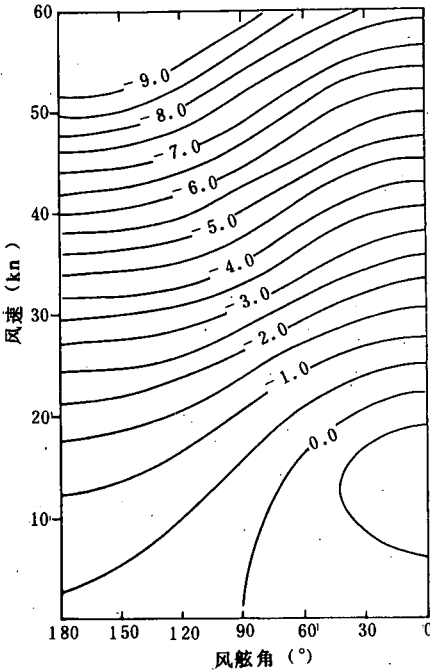


图1 2—5万吨级船舶运动性能曲线

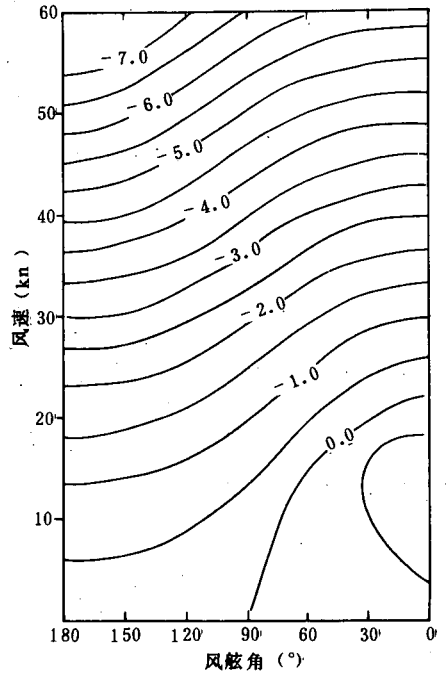


图2 5—10万吨级船舶运动性能曲线

海浪与船舶失速的函数关系(图略),其特点大致与上述风对船舶失速的关系类同。

一般而言,船舶在大洋环境中航行,其速度受风和浪的影响最大,由于大气中的风主要是对船舶水面以上建筑的影响,但风对海面的作用形成的波浪运动对船体的摇摆、冲击、拍击更有直接的影响。在选择航线时,利用海面风和波浪预报图,得出船舶可能航行海区的风、浪数据,然后从上面得到的性能函数曲线图上查出相应的失速值,结合海流影响的失速,规划全程各航段的航速,就有可能粗略地选择航行时间较短的航线。

四、船舶失速统计方程

为了研究风和海浪对船舶失速的综合影响,采用逐步回归统计方法,从大量的船舶实际失速量和风浪样本中建立不同类型的失速回归方程。

失速回归方程为:

$$\Delta V_w = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i$$

式中 ΔV_w 为船舶失速回归值; b_0, b_i 为船舶失速回归方程系数; m 为失速因子数。

进行统计处理时,失速因子选择了风向(WD)、风速(WS)、浪高(SH)、涌向(SWD)、涌高(SWH)、排水量(TON)、航向(HDG)和航速(SPD)。考虑到影响航速的诸因素与失速量之间存在的复杂关系,为此将各因子进行加权和数学组合。

根据14个航次的1400个数据,建立了2—5万吨级货船的失速回归方程:

$$\begin{aligned} \Delta V_{w1} = & 0.3808 - 0.17114x_1 - 0.00078x_5 + 0.00462x_{10} \\ & - 0.00002x_{12} - 0.25518x_{13} + 0.00407x_{14} - 0.00093x_{15} \end{aligned}$$

根据10个航次的1050个数据,建立了5—10万吨级货船的失速回归方程:

$$\begin{aligned} \Delta V_{w2} = & 0.0547 + 0.05177x_3 - 0.00152x_5 + 0.00008x_6 \\ & - 0.00028x_8 - 0.00679x_9 - 0.15533x_{13} - 0.00172x_{15} \end{aligned}$$

上述方程中各因子意义为:

$$\begin{aligned} x_1 &= SH; \\ x_3 &= SH^2 \cdot \cos(HDG - WD); \\ x_5 &= WS^2; \\ x_6 &= TON \cdot SPD \cdot WS \cdot \cos 2(HDG - WD); \\ x_8 &= TON \cdot SPD \cdot SWH \cdot \cos 2(HDG - SWD); \\ x_9 &= SWH^2 \cdot \cos(HDG - SWD); \\ x_{10} &= SH^3; \\ x_{12} &= WS^3; \\ x_{13} &= SWH; \\ x_{14} &= SWH^3; \\ x_{15} &= WS^2 \cdot \cos(HDG - WD) \end{aligned}$$

从失速统计方程的结果看,船舶速度的变化和风、浪、涌的综合影响密切相关。图3是按 ΔV_{w2} 方程计算的5—10万吨级货船失速值与风浪的关系。可以看出在不同的风浪条件下失速值的变化十分显著。当船舶在 20ms^{-1} (40kn) 的大风和6.0m波浪的情况下,顶风时船舶失速值达5.0kn,而顺风时仅1.5kn;当风速加大到 30ms^{-1} 、波高10m时,顶风船失速值达9.5kn,而顺风船失速值仅为4.2kn。可见顶风顶浪对船舶航行极其不利。一般而言,在大洋上遭遇风暴时,船长为了减轻恶劣顶头风浪的影响,经常主动降低航速,以便提高船舶的稳定性。图4是纳木湖轮在1984年12月航行中被一个快速移动的爆发性气旋追上时受影响的情况(每隔4小时一次观测报告),在12小时内气压下降32hPa,风速从 5ms^{-1} 加强到

30ms⁻¹,有效波高从2m增至10m,在这种恶劣的逆顶风浪形势下,船长把推进器转速从正常的146转/min,降低到105转/min,航速从1.4kn左右降低到2.5kn,处于滞航抗风浪状态,待风暴过后才调整到正常速度续航。在上述统计方程中,特别是在在强烈风浪下的失速值是比较复杂的,它不仅取决于自然因素(风、浪、涌)的影响,也可能把船的功率变化等不易确定的因素包括在方程之中。

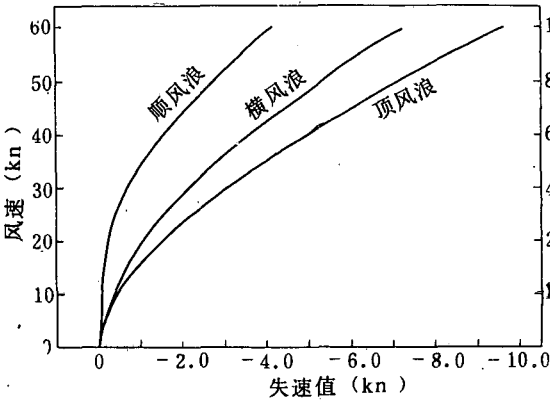


图3 5—10万吨级船舶失速与风浪关系

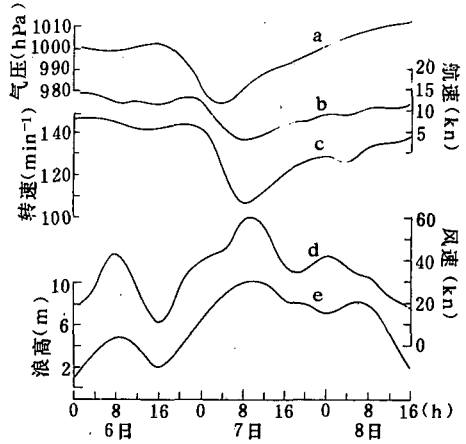


图4 1984年12月纳木湖轮受爆发性温带气旋影响时的气压(a)航速(b)推进器转速(c)风速(d)和浪高(e)的变化

五、实用效果

采用逐步回归技术得到的失速统计方程虽然还难以求得失速精确值,但作为近似值在实际业务中仍有其重要的参考作用。根据船舶因风浪影响的失速方程和因海流影响的失速公式,编写入计算机程序,当优选航线时,机器自动调出天气、海浪和洋流资料,计算全程各航段的预期航速变化,优选出安全、经济的气象航线。

将上述不同吨级的失速方程,应用于航行在中国至加拿大、美国、巴拿马和澳大利亚的10个航次的气象导航业务中,经检验效果良好。根据用失速方程求得的计算航速与实际航速的比较,大部分误差小于0.5kn,平均绝对误差在0.36—0.38kn之间,基本能满足气象导航误差精度的要求。

致谢:本工作得到司徒杰教授的有益意见,深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 司徒杰,海洋航线优选,中国航海,1,1986。
- [2] 韩忠南,船舶在波浪中航行失速问题探讨,海洋预报,5,1986。
- [3] 余鹤书等,海洋气象航线优选技术和实船导航业务试验,气象,14,4,1987。
- [4] 上海船研所,国外气象导航简介,远航资料,4,1984。

LOSS-SPEED CHARACTERISTICS OF SHIPPING MOVEMENT IN WIND AND SEA-WAVE FIELDS

Yu Heshu Gu Meirong Xu Xiaofeng

(*National Meteorological Center, SMA*)

Abstract

Through studies on the effect of wind and sea-wave motion on navigational speed of shipping, the curve of motion property for different tonnage shipping and the regression equation of loss-speed have been obtained. Those are of practical significance to the choice of optimum sea route for trans-oceanic shipping and navigation simulations.