

# 随浪航行中船舶稳性损失及船舶状态分析

李龙刚

中石化胜利油建工程有限公司

DOI: 10.12238/ems.v4i10.5731

**[摘要]** 船舶稳性是船舶在使其倾斜的外力消除后能自行回到原来平衡位置的性能。当船舶在随浪中航行时, 由于船波遭遇周期长, 波面形状对船体复原特性的影响更为显著。随着对海难事故的统计和观察以及近年来对波浪中船舶稳性的深入研究, 船舶在随浪中的稳性损失已逐步得到重视, 因为在完整船舶的海难事故中竟有一半发生在随浪或尾随浪航行状态。

**[关键词]** 船舶; 稳性损失; 状态; 航向

中图分类号: U661 文献标识码: A

## Analysis of Ship Stability Loss and Ship State in Sailing with Waves

Li Longgang

Sinopec Shengli Oilfield Construction Engineering Co., Ltd

**[Abstract]** Ship stability is the performance that a ship can return to its original equilibrium position after the external force that makes it tilt is eliminated. When the ship is sailing in the following waves, because of the long wave encounter period of the ship, the influence of the wave surface shape on the hull recovery characteristics is more significant. With the statistics and observation of marine accidents and the in-depth research on the stability of ships in waves in recent years, the stability loss of ships in the following waves has gradually been paid attention to, because half of the marine accidents of complete ships occur in the following or trailing waves.

**[Key words]** ship; Stability loss; Status; course

船舶是由许多部分构成的, 按各部分的作用和用途, 可综合归纳为船体、船舶动力装置、船舶舾装等三大部分。大风浪中的船舶航行安全问题一直是IMO 各个航运国家的海事管理部门和航运公司及营运船舶极为关心的。在统计的海难事故中, 大风浪天气中的事故居多, 其中对失事的中小船舶而言, 在随浪和尾随浪中航行于没有很好地分析稳性和遭遇到的随浪波的特点, 出现了稳性丧失、横甩和不稳定的横摇, 再加上操纵不当, 极易使船舶倾覆而酿成海难。为此, 有必要对在随浪中航行船舶的稳性及状态进行分析研究, 找出倾覆的原因和机理, 为使船长在开航前对将要遇到的海况做到心中有数, 提供操船决策。

### 1、船拍在随浪中的稳性损失与计算

船舶稳性是船舶在使其倾斜的外力消除后能自行回到原来平衡位置的性能。根据倾斜方向, 船舶有横稳性和纵稳性, 后者一般不危及船舶的安全。根据所受外力性质及是否计及倾斜时

的角速度和惯性, 有静稳性和动稳性之分。同类型的船还应根据使用特点考虑其稳性。如渔船在捕捞作业中施网和起网时的稳性、拖船在拖带驳船队时的拖曳稳性等。船舶稳性是保证船舶安全的一项重要航行性能, 许多国家都订有船舶稳性规范。在船舶尺度和船体外形方面, 船宽、干舷和上层建筑等对稳性的影响较大。

#### 1.1 随浪航行中的稳性变化

船舶在外力矩逐渐作用下的稳性。船上重物移动或在一侧装载少量货物引起的倾斜力矩可认为是逐渐作用的外力矩。受外力矩逐渐作用时船舶倾斜较慢, 倾斜角速度可以忽略不计。根据倾角大小, 可分为初稳性和大倾角稳性。

(1) 波长与船长比对稳性的影响。稳性的变动主要是浮在波面上的船体的水线面惯性矩的增减引起的, 并与波浪的大小和船舶的尺度有关。当船中位于波谷时, 因船体前后部的水线面惯性矩与静水相比, 其水线面惯性矩增加了, 故位于波谷时的

稳性比静水中的稳性要大;但当位于波峰时,水线面惯性矩反而减小,造成位于波峰时的稳性也随之减少;而且,船中位于波浪的上升波面及下降波面时,船体前后部的水线面惯性矩因相互抵消,故静水中的水线面惯性矩大体相等,稳性变化亦小。因此,在波长大致与船长相等的随浪中,稳性人约减小到静水中的一半以下,由于水线面的形状变化,则GM变化,即横稳性发生了变化。尤其是在船舶高速航行时,因其速度与船长相等的波浪的行进速度相接近,船体中央停留在波峰上的时间较长,稳性损失易持续,在风浪和其他外力矩作用下容易导致倾覆。船舶在静水中的复原力臂与随浪中的复原力臂是有差异的,其变化量为

$$\Delta GZ = (B \cdot R^* - BR) - BB \cdot \sin \theta$$

式中

B-船舶正浮时的浮心;

B\*-船舶在随浪中正浮时的浮心;

R-正浮时浮心水平线与倾斜时的浮心垂直线的交点;

R\*-随浪中浮心水平线与倾斜0时的浮心垂直线的交点;

BR-船舶正浮时的浮心B与R间的距离;

B\*R\*-船舶在随浪中正浮时的浮心B与R间的距离。

船舶稳性比静水中的稳性低;当波谷在船中时,船舶稳性比静水中的稳性高。

(2)波高与波长比对稳性的影响。当波长与船长比固定不变(为1)时,随着波高与波长比的增大,因船体前后部的水线面惯性矩的增减引起的稳性变动,水线面惯性矩与波高的平方成正比,当船中位于波谷时,波高越高,稳性亦增加;当船中位于波峰时,波高越高,稳性降低;而当波浪处于上升波面及下降波面时,与静水中的稳性大体一致。(3)波与船的波舷角对稳性的影响。当船舶与波浪形成波舷角时,左右舷的船侧波形成非对称性,所以,对船体来说,垂直于水面的浮力和平行于水面的横向力均作用于船体的浸水部分。当波舷角为 $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 和 $90^\circ$ 时,其复原力臂GZ呈现出随着波浪与船舶的波舷角的增大而近似于静水中的GZ曲线的倾向。当船中位于上升波面及下降波面时,随着波与船舶的波舷角的增大,由于作用于船体浸水部分的横向力的作用,初始横倾角有变大的倾向。当船中位于波峰及上升波面时,最大恢复力矩减少,不满足稳性要求,可能发生倾覆。(4)波浪对动稳性的影响。当波高、波长比小,波长与船长比大,波舷角变大时。则船舶达到倾覆前的动稳性亦大。当波长与船长比为1时,波与船舶的相对位置在0.4-0.6(当船舶位于波谷时为0,位于波峰时0.5)的范围内,因其动稳性变得最小,可认为在这一范围内船舶容易发生倾覆。(5)船型与载

态对稳性的影响。客船由于干舷较高,并有足够的可计入浮力的上层建筑即使在满载状态下,船中位于波峰时的稳性损失相对于其他船舶来说不是很严重,但对于干舷较低的货船与油船,船中位于波峰时的稳性损失相当大。如船中无足够的可计入浮力的上层建筑,满载状态下波峰经常可能超过甲板,则稳性损失可能足以危及船舶的安全。船舶在横浪中航行时,轻载状态下受风面积较大,重心较高,比较危险。但随浪航行时却有相反的趋势:满载状态下船舶稳性损失较大,同时受甲板上浪及货物移动所造成的不利影响也较轻载状态严重,故满载状态是随浪航行的危险状态,这也是随浪和横浪中船舶稳性的一个主要不同点。

## 1.2 随浪稳性的计算

船在外力矩突然作用下的稳性。阵风突然袭击和海浪冲击引起的倾斜力矩属于突然作用的外力矩。力的突然作用,使船舶倾斜很快,这就需要考虑倾斜时的角速度和惯性。在静力作用下,外力矩不超过船舶的最大回复力矩,船舶就不会倾覆。但在动力作用下,由于惯性,即使达到回复力矩与外力矩相等,船舶还要继续倾斜,只有当外力矩所作的功被回复力矩所作的功抵消时才能停止倾斜。因此,衡量动稳性优劣的指标是回复力矩所作的功。船舶倾斜中最危险的情况是船舶摇摆到最大摆幅正要回复时,受到与回复方向一致的突加力矩作用,船舶在两个同方向力矩作用下倾斜加剧。此时能使船舶倾覆的最小突加外力矩称为最小倾覆力矩。中国《海船稳性规范》规定,船舶最小倾覆力矩 $M_q$ 与风压动倾力矩 $M_f$ 之比 $K$ 应不小于1,即。式中最小倾覆力矩的数值与装载情况、船形、航区、波浪周期及摇摆程度有关。风压动倾力矩根据船舶的航区、受风面积和面积中心来确定。船舶的受风面积越大,面积中心位置越高,航区中风浪越大,稳性问题就越严重。例如,远洋客船和集装箱船因受风面积大,故稳性问题就比其他船舶严重,更需要认真对待。

船舶在静水中稳性理论已经比较完善,然而,船舶经常航行在波浪的海况下,稳性规范要求以稳性储备形式来保证船舶在波浪中的航行安全,由于船舶在波浪中的运动稳性与船形、波浪要素和船舶运动等许多因素有关,如把船舶在波浪中的稳性损失问题简单笼统地用“稳性储备”来解决,粗糙且不合理。实际上,一些考虑了稳性储备的船舶,仍因稳性不足而翻沉。为此,随浪稳性的计算就显得非常重要。有人应用Liapunov理论,研究了船舶在规则波浪中随浪运动的稳性,应用摄动理论,求解出船舶运动响应并讨论了船舶横摇与垂荡频率、最人横摇角和波浪要素对稳性曲线的影响,给出一种计算船舶在随浪中

稳性的方法, 船舶随浪稳性曲线公式可表示为

$$GZ = \frac{\sqrt{[(x_c - x_g) \tan \theta - (y_c - y_g) \tan \phi]^2}}{\sqrt{1 + \tan^2 \theta + \tan^2 \phi}} + \frac{\sqrt{[(y_c - y_g) + (z_c - z_g) \tan \theta]^2 + [(x_c - x_g) + (z_c - z_g) \tan \phi]^2}}{\sqrt{1 + \tan^2 \theta + \tan^2 \phi}}$$

式中

$x_c, y_c, z_c$ -浮心位置的纵向、横向和垂向坐标;

$x_g, y_g, z_g$ -重心位置的纵向、横向和垂向坐标;

$\theta$ -横倾角;

$\phi$ -纵倾角。

利用该公式以38000t成品油船为例进行了计算, 得到船舶在随浪中的GZ曲线比静水中的GZ曲线要低, 而且随着波高而增大, GZ曲线损失也增多。该公式实用, 且较好地反映出船舶在随浪中的航行稳性情况。

## 2、船舶在随浪中横甩现象的分析

对于中小型船舶而言, 在随浪中突然失去航向保持能力急速转向横浪横甩, 极易引发船舶的危险横倾, 对船舶在波浪中的航行安全造成极大威胁。

### 2.1 横甩现象

船舶在随浪中航行, 当船长、波长之比约为1/2, 船首在波谷且航速等于波速时, 船首尾所受的水动力不同, 船首部与海水的相对速度增加, 水动力也增加; 船尾部与海水的相对速度降低, 水动力也降低, 这种水动力的分布变化降低了船舶的直线稳定性和舵效。如果波陡很大, 一旦船尾处于波峰、船首处于波谷就可能出现波浪偏转力明显大于舵力的情况, 船舶将突然转向横浪而打横, 此时, 若在风力矩和横摇的作用下, 船舶极可能出现危险横倾甚至倾覆。

### 2.2 发生横甩的条件

船舶在随浪中发生横甩是有一定条件的, 具体来讲有如下几点: (1) 波长与船长之比  $V_L = 1.5 - 2.5$ ; (2) 航速等于波速  $V = V_\omega$ ; (3) 船舶位于波面的下波段; (4) 波高与波长之比  $H_\omega / \lambda < 1/25$ ; (5) 波向角  $\alpha = 30^\circ$

## 3、船舶在随浪中的倾覆危险分析

(1) 船舶骑在波峰上, 因存在稳性丧失而引起倾覆。在这种情况下, 船舶的速度几乎和波浪前行的速度相同, 且船长与波

长相当, 在波浪较大的海域中, 波峰会高于船中部舷墙, 使海水大量地涌上甲板, 从而加速了船舶倾覆的危险。(2) 船舶遭遇到的波浪频率与船舶横摇周期一致时, 由于共振引起倾覆。在这种情况下, 船舶的复原力矩做周期性的变动, 船舶连续重复着大角度横摇, 倘若船舶的稳性不足和未及时采取措施, 就有可能造成船舶倾覆。(3) 船舶以接近于波速相同的速度航行时, 当其处在波浪的下降波面时, 将被加速而处于冲浪状态, 此时极易产生横向急转—横甩而导致倾覆。在这种情况下, 船舶的航向被强制偏向横浪方向, 船舶会产生严重的倾斜。倘若船舶操舵改变航向或原来就向一舷倾斜, 则舵的效应和初始横倾角可能会激发作用在船上的倾斜力矩, 出现危险境地以至倾覆。

## 4、船舶在随浪航行中的决策

(1) 在大风浪航行时, 为了避免波浪对船体的冲击, 同时为了保持相当的航速, 通常采用随浪航行的方法。①在北半球, 处于台风进路上的船舶顺着风浪驶人可航半圆; ②在大风浪中经不住波浪冲击的老旧船和中小船舶, 通常采用随浪航行方法, 但应注意随浪航行会使船舶舵效大大降低, 若风浪过大, 会使航向把定困难, 不易采用, 否则就有被打横而遭遇倾覆的危险。(2) 船舶实际装载方案所确定的初稳性高度应不小于该状态下的临界稳性高度值, 且横摇周期控制在适度范围内。船舶在风浪中航行, 波面的变化使稳性也随之发生变化, 若稳性过小, 就有可能当波峰处于船中时出现负稳性, 使船舶倾覆。(3) 加强货物的系固, 防止货物在风浪作用下产生移位, 使船舶出现固定的横倾角。(4) 选择适宜的航速和航向。选择适宜的航速和航向, 就是避免船舶进入危险区域, 即调节波浪的遭遇周期, 改变航速和(或)波舷角, 就可以改变波浪的遭遇周期, 避免谐振运动。但波舷角为90或270即正横受浪时, 改变航速无效, 只有采取改变航向才能取得减轻横摇的效果。但是, 航向的改变常常会伴有不利因素, 一般优先选择减小航速。(5) 波浪中的初始横倾角与航行中的突然操舵, 会明显引发船舶倾覆, 因此, 要求在波浪中航行应谨慎操船, 恰如其分地把握好用舵时机。

### 【参考文献】

- [1] 封培元, 范余明, 刘小健. IMO第二代完整稳性骑浪/横甩评估软件研发[J]. 中国造船, 2015, S1:22-28.
- [2] 顾民, 鲁江, 王志荣. 国内第二代完整稳性衡准研究主要成果和重点发展方向[J]. 中国造船, 2015, S1:1-8.