

基于临界横倾角的散装谷物船舶稳性衡准

大连海事大学航海学院 李荣辉 徐邦祯

内容提要:依据 IMO 谷物装运规则,对散装谷物装载船的稳性核算进行研究,建立临界横倾角的概念,推导出临界横倾角的计算方法和原理,形成完整实用的散装谷物装载船舶,尤其是非专用散装谷物船舶核算船舶稳性的临界横倾角稳性衡准方法。通过实船计算,总结了大型远洋运输船和小型沿海运输船临界横倾角的特点。

关键词:散装谷物船 临界横倾角 船舶稳性衡准 稳性校核

0 引言

装载散装谷物的船舶,由于稳性不足而导致船舶倾覆的事故时有发生,因此按照规则的要求对散装谷物船舶进行稳性校核十分重要。根据国际海事组织通过的《1991年国际散装谷物安全装运规则》,要求对散装谷物实际装载状态的三项指标逐一核算,即:经对各液体舱内自由液面修正后的初稳性高度应不小于 0.3 m;由于谷物移动而产生的横倾角应不大于 12°,但对 1994 年 1 月 1 日以后建造的船舶还应考虑甲板边缘入水角,取两者之较小者;船舶剩余动稳性值应不小于 0.075 m·rad。

在船舶实际营运中,对规则规定的三项衡准指标逐一核算,显得相当复杂。目前大多数专用散装谷物船舶进行稳性核算的主要简化方法是谷物许用倾侧力矩法,即将规则中的衡准要求简化为全船谷物倾侧力矩不大于最大谷物许用倾侧力矩, $\sum M'_u \leq M_a$, 则船舶同时满足谷物装运规则的三项指标。谷物许用倾侧力矩 M_a 是指船舶恰能满足散装谷物装运规则的各项稳性衡准指标时,对船舶各舱内允许出现的谷物假定移动倾侧力矩之和的最大限制值。其方法是按船舶不同排水量和重心高度,将同时满足散装谷物船稳性的三项衡准指标要求的最大许用倾侧力矩编制成最大许用倾侧力矩表。校核散装谷物船舶稳性时,根据船舶排水量和重心高度查取船舶最大许用倾侧力矩值,再将许用倾侧力矩与全船实际谷物移动倾侧力矩相比较,来判断船舶稳性是否满足散装谷物装运规则。

然而,对于非专用谷物船舶装载散装谷物时,由于船舶不具备谷物装载证书及谷物规则规定的与稳性核算有关的谷物装载资料,也没有提供最大谷物许用倾侧力矩表,因而不能采用此种方法。鉴于此,本文依据《1991年国际散装谷物安全装运规则》的规定,利用船舶静力学理论,提出了基于临界横倾角的散装谷物船稳性等效衡准方法,以期能对散装谷物船舶的稳性校核的简化提供指导。

1 船舶临界横倾角定义

船舶临界横倾角是指同时满足《1991年国际散装谷物安全装运规则》对散装谷物船稳性三项衡准指标

要求的最大的由于谷物移动引起的船舶横倾角,如果船舶由于移动所产生的横倾角不大于此值,则认为该装载状态同时满足规则中的稳性各项指标要求。这需要根据船舶现有资料求取船舶不同装载状态下的由于谷物移动所引起的船舶临界横倾角,作为船舶资料,便于在工作中随时查用。

2 船舶临界横倾角的计算

2.1 静稳性力臂 GZ 的求取

船舶形状稳性力臂 KN 是随船舶排水量和船舶横倾角的改变而改变的一组数据,在船舶稳性报告书中可以查取,但这些是离散的。为方便计算和计算机程序的实现,需要将对应某一排水量的 KN 值按最小二乘法或采用 MATLAB 工具软件拟合成多项式,其形式为:

$$KN = a_0 + a_1\theta + a_2\theta^2 + a_3\theta^3 + \dots + a_n\theta^n = \sum_{i=0}^n a_i\theta^i \quad (i = 0, 1, 2, 3, \dots, n)$$

则船舶不同横倾角下的静稳性力臂为:

$$GZ = KN - KG \cdot \sin\theta = \sum_{i=0}^n a_i\theta^i - KG \sin\theta$$

其中 KG 为经过自由液面修正后的船舶重心高度。

2.2 船舶剩余动稳性的计算

根据散装谷物装运规则规定:谷物倾侧力臂曲线是一条随横倾角的增大而下降的直线,横倾角为 0° 时的谷物倾侧力臂 λ_0 和横倾角为 40° 的谷物倾侧力臂 λ_{40} 分别按下式计算:

$$\lambda_0 = \frac{\sum M'_u}{\Delta}; \quad \lambda_{40} = 0.8\lambda_0$$

根据散装谷物装运规则,谷物倾侧力臂直线过(0, λ_0)和(40, $0.8\lambda_0$),容易得到谷物倾侧力臂曲线的计算公式为:

$$\lambda_\theta = \lambda_0(1 - 0.005\theta)$$

则剩余静稳性力臂为静稳性力臂 GZ 与谷物倾侧力臂 λ_θ 的差值,其计算公式为

$$H = GZ - \lambda_\theta = \sum_{i=0}^n a_i\theta^i - KG \sin\theta - \lambda_0(1 - 0.005\theta)$$

剩余动稳性值是指由船舶静稳性力臂曲线、谷物倾侧力臂曲线和右边界线所包围的面积值,所以船舶剩余动稳性的计算公式为:

$$A_d = \int_{\theta_h}^{\theta_m} \left[\sum_{i=0}^n a_i \theta^i - KG \sin \theta - \lambda_0 (1 - 0.005 \theta) \right] d\theta.$$

上式中, θ_h 为谷物移动所产生的横倾角, 即 GZ 曲线与 λ_0 曲线交点的横坐标; θ_m 为右边界所对应的横倾角, 取 $\theta_m = \min(\theta_{GZ'_{max}}, \theta_f, 40^\circ)$, 其中, $\theta_{GZ'_{max}}$ 为剩余静稳性力臂最大值所对应的横倾角, θ_f 为船舶进水角。

2.3 满足动稳性的临界横倾角的计算

首先, 将 θ_m, KG, λ_0 和 $\theta_h = 12^\circ$ (因为谷物规则中要求的 θ_h 的最大值为 12°) 带入剩余动稳性计算公式, 求得船舶剩余动稳性值, 其结果有如下可能:

若 $A_d \geq 0.075 m \cdot rad$, 则该状态下的船舶临界横倾角 θ_L 可以认为 12° ;

若 $A_d \leq 0.075 m \cdot rad$, 则适当减小 θ_h 值, 从而使 λ_0 下移, 直至使 $A_d = 0.075 m \cdot rad$, 则此时的 θ_h 即为临界横倾角 θ_L 。

经以上计算, 剩余动稳性满足公约要求后, 即可确定该装载状态下的临界横倾角。现使经各液舱自由液面修正后的初稳性高度 $GM = 0.30 m$, 那么 $KG = KN - GM = KN - 0.3$, 同时满足剩余动稳性 $A_d \geq 0.075 m \cdot rad$ 时所对应的横倾角为 θ_{hm} , 则得到该状态时的临界横倾角 $\theta_L = \min(\theta_{hm}, 12^\circ)$ 。

2.4 船舶临界横倾角数值表的求取

根据以上方法, 对于满载排水量, 如果不改变排水量, 只改变船舶重心 KG 的值, 即 $KG' = KG - \delta KG$, 但要确保 $KG = KN - GM \leq KN - 0.3$, 重复以上步骤, 可以得到满载排水量条件下不同 KG 时的 θ_L 值。

对某一重心高度下, 如果排水量递减, 即 $\Delta' = \Delta - \delta \Delta$, 可以得到不同排水量条件下的临界横倾 θ_L 值。

这样, 可以求得船舶不同装载状态下的临界横倾角 θ_L , 然后编制成船舶临界横倾角数值表, 供航海人员在工作中查取。

3 利用临界横倾角数值表校核稳性

将船舶临界横倾角作为公约中散装谷物船舶稳性要求的等效衡准, 必须满足由于谷物移动所产生的横倾角 $\theta \leq \theta_L$ 。校核步骤如下:

(1) 计算谷物装载后船舶排水量 Δ 和经自由液面修正后的船舶重心高度 KG ;

(2) 根据各舱的谷物装载情况, 利用公式 $\theta = \arctan \frac{\sum M'_u}{9.81 \Delta \cdot GM}$ 计算出该装载状态下由于谷物移动引起的船舶横倾角 θ , 式中 $\sum M'_u$ 为全船谷物移动倾侧力矩之和;

(3) 由 Δ 和 KG 查 θ_L 数值表, 得到该装载状态下的 θ_L ;

(4) 若 $\theta \leq \theta_L$, 则船舶稳性满足规则要求, 反之, 不满足要求。

4 临界横倾角的实船计算

基于临界横倾角的计算理论, 利用 MICROSOFT EXCEL 和 VB, 编写计算机程序, 对大连海事大学配载软件中 DWT 20 000 t 级杂货船 DEMO 轮和某 DWT 3 000 t 的沿海运输散货船“XXX”轮的临界横倾角进行计算, 得到结果如下:

表 1 DEMO 轮船临界横倾角

Δ \ KG	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3
14 000	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
16 000	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
18 000	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
20 000	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
22 000	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0

表 2 沿海运输散货船“XXX”船舶临界横倾角

Δ \ KG	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4
2 900	12.0	12.0	12.0	11.4	10.2
3 100	12.0	11.6	10.5	9.3	8.2
3 300	10.6	9.5	8.5	7.4	6.3
3 500	8.3	7.8	7.0	6.2	5.4

从以上两艘船的计算结果不难发现: 对于较大吨位的远洋船舶, 如果合理配载, 充分平舱, 保证船舶静稳性时, 其船舶临界横倾角一般比较大, 取 12° 或接近 12° ; 但对于小吨位的沿海运输船, 由于其干舷较低, 导致船舶进水角也很小, 造成剩余动稳性面积的右边界减小, 所以其临界横倾角也要减小(如表 2), 一般要小于 12° 。

5 结束语

按照《1991 年国际散装谷物安全装运规则》的要求对散装谷物船舶进行稳性校核是必须完成的工作。本文依据规则规定, 提出了基于临界横倾角的散装谷物船的稳性等效衡准方法, 据此, 能够方便快捷地解决装载散装谷物船舶在有关稳性资料不足情况下的稳性核算, 以期能对散装谷物船舶简化稳性校核提供指导。

* 作者: 李荣辉. 大连海事大学航海学院 讲师 船长 硕士研究生
徐邦祯. 大连海事大学航海学院 教授 船长

参考文献

- 李传生. 基于 IMO 规则散装谷物船舶稳性简便核算方法的研究[M], 大连海事大学, 2008;
- 张先桥, 徐邦祯, 李荣辉. 基于极限右边界的散装谷物船舶稳性等效衡准[J], 大连海事大学学报, 2007.06;
- IMO. International Code for the Safe Carriage of Grain in Bulk. London UK[M], 1996