



指导性文件
GD008-2024

中 国 船 级 社

船舶第二代完整稳性衡准 评估指南

2024

2024年7月1日生效

北 京

目 录

第 1 章 通 则.....	1
第 1 节 一般规定.....	1
第 2 章 波浪中动稳性失效模式衡准.....	4
第 1 节 一般规定.....	4
第 2 节 波浪中动稳性要求.....	4
第 3 节 波浪中动稳性的等效替代评估方法和特殊要求.....	15
第 3 章 船舶转动惯量.....	19
第 1 节 一般规定.....	19
第 2 节 转动惯量直接计算方法.....	19
第 3 节 横摇转动惯量经验公式估算方法.....	21
第 4 章 船舶横摇阻尼.....	23
第 1 节 一般规定.....	23
第 2 节 船舶横摇阻尼评估方法.....	23

第 1 章 通 则

第 1 节 一般规定

1.1.1 目 的

1.1.1.1 基于静力学理论和事故经验制定的海船完整稳性衡准（第一代完整稳性衡准）为船舶静稳性和瘫船模式提供了基础性技术要求。上述衡准对于船舶在波浪中的动稳性失效问题做了高度简化和间接评估，对于动稳性失效模式仅考虑了瘫船模式。除瘫船模式外，参数横摇、纯稳性丧失和谐摇运动等事故模式也可能导致船舶遭遇波浪中危险的稳性失效情况。应充分认识到上述失效模式可能对船舶航行安全造成的严重危害。

1.1.1.2 本指南旨在为船舶提供基于水动力学理论方法的波浪中动稳性失效模式评估方法和技术要求。作为第一代完整稳性衡准的补充，为船舶优化设计方案提供技术手段，为航运业提供必要的避险操作指引。旨在从源头上降低船舶在恶劣海况下航行的风险，增强海上人命安全和船舶/货物的安全保障力度。

1.1.2 适用范围

1.1.2.1 除另有规定外，本指南适用于国际航行船舶、国内航行远海航区船舶、近海航区船舶和沿海航区船舶，但不适用于：

- (1) 军用舰艇、公安船艇；
- (2) 体育运动船艇；
- (3) 游艇；
- (4) 渔船；
- (5) 多体船；
- (6) 高速船；
- (7) 帆船；
- (8) 机帆船；
- (9) 顶推船-驳船组合体。

1.1.2.2 经申请，满足本指南相关要求的船舶，可申请签发符合证明。

1.1.2.3 经申请，满足本指南相关要求的船舶，可授予本章 1.1.6 中相应的附加标志。

1.1.3 定义

1.1.3.1 除另有规定外，本指南有关定义如下：

- (1) 水池试验：系指在水池中开展的波浪中船舶运动响应的模型试验。
- (2) 数值计算：系指计算机辅助水动力计算，采用现代计算流体动力学(CFD)软件/程序进行求解，软件/程序可以基于势流理论方法或者粘流理论方法。数值计算所用的方法或数值模型已通过水池试验结果验证的前提下，可等同于水池试验予以接受。
- (3) 许用安全区：系指满足第一层或第二层衡准要求的虚拟装载情况排列组合范围。

1.1.4 图纸资料

1.1.4.1 应将下列图纸资料提交 CCS 备查：

- (1) 船舶型线图和型值表；
- (2) 船舶总布置图；
- (3) 船舶装载手册；
- (4) 集装箱的装载布置图（如适用）；

- (5) 舳龙骨结构图（如适用）；
- (6) 减摇装置图（如适用）；
- (7) 船舶第二代完整稳性计算书；
- (8) 船载波浪中动稳性验证软件及其相关文件（如适用）。

1.1.4.2 船上应备有“船舶第二代完整稳性计算书”，旨在为船长提供充足数量的满足本指南要求的装载情况信息，为船舶航行提供指导。报告书至少包括下列内容：

- (1) 船舶主要参数；
- (2) “船舶稳性报告书”或“船舶装载手册”中包含的船舶航行状态下的装载情况基本资料总结表；
- (3) 各种装载情况横摇转动惯量计算结果；
- (4) 各种装载情况谐摇运动衡准校核结果；
- (5) 各种装载情况参数横摇衡准校核结果；
- (6) 各种装载情况纯稳性丧失衡准校核结果。

1.1.5 装载情况的符合性验证

1.1.5.1 对未经动稳性校核的装载情况，可使用以下两种方式之一进行符合性验证，判断是否满足本指南的要求，包括：

- (1) 可使用许用安全区进行符合性验证，许用安全区应在“船舶第二代完整稳性计算书”中提供；
- (2) 可使用船载波浪中动稳性验证软件在船上验证装载情况的符合性。

1.1.5.2 对以下船舶，应使用船载波浪中动稳性验证软件在船上验证装载情况的符合性：

- (1) 散货船；
- (2) 集装箱船；
- (3) 货舱口未设置钢质风雨口盖的船舶。

1.1.6 第二代完整稳性衡准附加标志

1.1.6.1 国际航行船舶如申请 SGISC (X) 附加标志，应符合第 2 章 2.1.1.2 的规定。其中，X 表示一个或多个后缀标志，其含义如下：

- PR_N：参数横摇失效模式；
PL_N：纯稳性丧失失效模式；
EA_N：过度加速度失效模式；
DS_N：瘫船失效模式；
SRB_N：骑浪/横甩失效模式。

其中：N=1，表示所有装载情况均满足第一层薄弱性衡准；N=2，表示所有装载情况均满足第二层薄弱性衡准；N=M，表示存在无法满足薄弱性衡准的装载情况，已制定提供给船长的船舶波浪中稳性信息。

1.1.6.2 国内航行远海航区船舶、近海航区船舶和沿海航区船如申请 SGISC (X) 附加标志，应符合第 2 章 2.1.1.3 的规定。其中，X 表示一个或多个后缀标志，其含义如下：

- PR_N：参数横摇失效模式；
PL_N：纯稳性丧失失效模式；
SR_N——谐摇运动失效模式。

其中：N=1，表示所有装载情况均满足第一层薄弱性衡准；N=2，表示所有装载情况均满足第二层薄弱性衡准；N=M，表示存在无法满足薄弱性衡准的装载情况，已制定提供给船长的船舶波浪中稳性信息。

第 2 章 波浪中动稳性失效模式衡准

第 1 节 一般规定

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 为了提升船舶在恶劣海况中航行的安全性，应评估船舶在波浪中发生动稳性失效事故的风险。

2.1.1.2 国际航行船舶应满足 IMO MSC.1/Circ.1627 通函和 MSC.1/Circ.1652 通函中相应失效模式的薄弱性衡准。其中，满足《2008 年国际完整稳性规则》中 A 部分第 2 章要求的船舶，视为自动满足瘫船失效模式第一层薄弱性衡准。

2.1.1.3 国内航行船舶应满足本章相应失效模式的衡准要求。

2.1.2 波浪中动稳性失效模式

2.1.2.1 国际航行海船在海上航行遭遇恶劣海况时，应考虑动稳性失效事故模式包括：

- (1) 参数横摇；
- (2) 纯稳性丧失；
- (3) 骑浪/横甩；
- (4) 过度加速度；
- (5) 瘫船。

2.1.2.2 国内航行海船在海上航行遭遇恶劣海况时，应考虑动稳性失效事故模式包括：

- (1) 参数横摇；
- (2) 纯稳性丧失；
- (3) 谐摇运动。

第 2 节 波浪中动稳性要求

2.2.1 参数横摇衡准

2.2.1.1 船舶在其所核算的各种航行装载情况下，应按 2.2.1.2 校核是否满足参数横摇第一层衡准的要求。如不满足参数横摇第一层衡准，则可按 2.2.1.5 校核是否满足参数横摇第二层衡准的要求。

2.2.1.2 参数横摇第一层衡准：

船舶在其所核算的各种航行装载情况应满足下式要求：

$$\frac{\delta GM_1}{GM} \leq R_{PR}$$

式中： R_{PR} ——第一层衡准标准值，按本章 2.2.1.3 求得；

δGM_1 ——波浪中初稳性高度的变化幅度，m，按 2.2.1.4 求得；

GM ——静水中所校核装载工况初稳性高度，m，计入自由液面影响修正。

2.2.1.3 对于尖艏型船，取 $R_{PR} = 1.87$ ；对于其他船型 R_{PR} 采用下列方法计算：

(1) 如 $C_{m,full} > 0.96$ ，采用下式计算：

$$R_{PR} = 0.17 + 0.425 \left(\frac{100A_k}{LB} \right)$$

如 $0.94 \leq C_{m,full} \leq 0.96$ ，采用下式计算：

$$R_{PR} = 0.17 + (10.625 \times C_{m,full} - 9.775) \left(\frac{100A_k}{LB} \right)$$

如 $C_{m,full} < 0.94$ ，采用下式计算：

$$R_{PR} = 0.17 + 0.2125 \left(\frac{100A_k}{LB} \right)$$

式中：L——船长，m；

B——船舶型宽，m；

A_k ——舦龙骨的总面积（无其他附体）， m^2 ；

$C_{m,full}$ ——静水中满载出港情况的船中横剖面系数；

(2) $\left(\frac{100A_k}{LB} \right)$ 不应超过 4.0；如超过 4.0 则取为 4.0；

(3) 不可收放的减摇鳍可被视为一种舦龙骨计入舦龙骨总面积。呆木不可被视为舦龙骨的一种；

(4) 尖舦型船系指舦部半径小于船舶型宽的 1%，且中横剖面型线分段线围成的舦部夹角小于 120° 。

2.2.1.4 δGM_1 为所校核装载情况计算得到的波浪中初稳性高度最大值和最小值之间差值的一半，应采用下列方法确定：

(1) 计算应基于弗汝德-克雷洛夫假定，且应计入自由液面影响修正；

(2) 应采用自由纵倾法计算波浪中初稳性高度，即在等效规则波中船舶纵倾和升沉应处于平衡状态；

(3) 等效规则波的波长 λ ，取为 $\lambda = L$ ；波陡系数 s_w ，远海航区取为 $s_w = 0.0167$ ，近海航区取为 $s_w = 0.0303$ ，沿海航区取为 $s_w = 0.0292$ ；

(4) 在计算 δGM_1 时，应考虑船舶在等效规则波中处于不同的船舶—波浪相对位置，即波峰应位于船中部，和船中前 0.1λ 、 0.2λ 、 0.3λ 、 0.4λ 和 0.5λ 及船中后 0.1λ 、 0.2λ 、 0.3λ 和 0.4λ 处。

2.2.1.5 参数横摇第二层衡准：

船舶在其所核算的各种航行装载情况应满足下式要求：

$$C2 \leq R_{PR2}$$

式中：C2——船舶参数横摇敏感性指数，按 2.2.1.6 求得；

R_{PR2} ——第二层衡准标准值，取 $R_{PR2} = 0.025$ 表征可接受的参数横摇风险水平。

2.2.1.6 对于 C2 值，应对衡准值 $C2(Fn_i, \beta_i)$ 计算平均值获得，每一个衡准值均为根据航区波浪散布表给出的不规则波海况出现概率得到的加权平均数：

$$C2 = \left[\sum_{i=1}^{12} C2(Fn_i, \beta_h) + \frac{1}{2} \{ C2(0, \beta_h) + C2(0, \beta_f) \} + \sum_{i=1}^{12} C2(Fn_i, \beta_f) \right] / 25$$

式中： $C2(Fn_i, \beta_h)$ ——船舶在顶浪中以航速 V_i 航行时计算得到的 $C2(Fn, \beta)$ ，按 2.2.1.7 求得；

$C2(Fn_i, \beta_f)$ ——船舶在尾随浪中以航速 V_i 航行时计算得到的 $C2(Fn, \beta)$ ，按 2.2.1.7 求得；

Fn_i ——船舶航速 V_i 对应的弗汝德数，取 $Fn_i = V_i / \sqrt{L \cdot g}$ ；

V_i ——船舶航速，m/s，取 $V_i = V_s \cdot K_i$ ；

L——船长，m；

V_s ——船舶营运航速，m/s；

K_i ——航速系数，由表 2.2.1.6 查得。

航速系数 K_i

表 2.2.1.6

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K_i	1.0	0.991	0.966	0.924	0.866	0.793	0.707	0.609	0.500	0.383	0.259	0.131

2.2.1.7 对于加权衡量值 $C2(Fn, \beta)$ ，应根据给定的弗汝德数和波浪方向，依据航区波浪散布表给出的不规则波海况，按下式计算短期参数横摇失效指数的加权平均数：

$$C2(Fn, \beta) = \sum_{i=1}^N W_i \cdot C_{S,i}$$

式中： W_i ——航区波浪散布表给出的不规则波海况加权因子，采用航区波浪散布表中给出每一个由平均跨零周期 T_z 和有义波高 H_s 所表征的不规则波海况的数值除以总观测波数；

$C_{S,i}$ ——航区波浪散布表给出的不规则波海况所对应的敏感性指数，按 2.2.1.8 求得；

N ——用于评估给定航速和浪向组合下参数横摇最大横摇角的航区波浪散布表给出的不规则波海况总数。

2.2.1.8 对于 $C_{S,i}$ 的计算，应采用下列方法：

(1) 需要基于船舶以航速 V_i 在系列等效规则波中顶浪和尾随浪航行时每一个波高 h_j 下参数横摇最大横摇角的评估结果，按 2.2.1.9 求得；

(2) 航区波浪散布表中每一个单元格对应着由一个平均跨零周期 T_z 和一个有义波高 H_s 所表征的不规则波海况，按 2.2.4 求得。应根据平均跨零周期和有义波高，计算表征这个不规则波海况的等效规则波的代表波高 H_{ri} ，按 2.2.5 求得；

(3) 应采用不同等效规则波波高 h_j 下的参数横摇最大横摇幅值和最大横向加速度，使用线性内插法求得相应于代表波高 H_{ri} 的参数横摇最大横摇幅值和最大横向加速度；

(4) 如参数横摇最大横摇幅值大于等于 25° （对于载运散货的干货船取为 20° ），或最大横向加速度大于等于 R_1 ，则取 $C_{S,i} = 1$ ；其他情况下取 $C_{S,i} = 0$ 。

2.2.1.9 对于波高 h_j 下参数横摇横摇幅值和横向加速度，应基于计算得到的波浪中复原力臂值（ GZ ），采用时域模拟方法评估：

(1) 评估采用的波浪中复原力臂值（ GZ ）的计算应基于弗汝德-克雷洛夫假定，且应计入自由液面影响修正，假定船舶在下述系列等效规则波中维持纵倾和升沉平衡：

等效规则波的波长取为 $\lambda = L$ ；

等效规则波的波高取为 $h_j = 0.01 \cdot j \lambda$ ，其中 $j = 0, 1, \dots, 10$ 。

在计算波浪中复原力臂值（ GZ ）时，应考虑船舶在等效规则波中处于不同的船舶—波浪相对位置，即波峰应位于船中部，和船中前 0.1λ 、 0.2λ 、 0.3λ 、 0.4λ 和 0.5λ 及船中后 0.1λ 、 0.2λ 、 0.3λ 和 0.4λ 处。

(2) 参数横摇横摇幅值应采用下列单自由度横摇方程评估：

$$\left(\frac{I_{xx} + \Delta I_{xx}}{1000} \right) (\ddot{\varphi} + \delta_1 \dot{\varphi} + \delta_3 \varphi^3) + \text{sign}(\varphi) \rho \nabla g GZ(t, |\varphi|) = 0$$

$$\text{sign}(\varphi) = \begin{cases} 1 & \varphi \geq 0 \\ -1 & \varphi < 0 \end{cases}$$

式中： $I_{xx} + \Delta I_{xx}$ ——船舶横摇转动惯量和附加横摇转动惯量， $t \cdot m^2$ ，按第 3 章求得；

$\ddot{\varphi}$ 、 $\dot{\varphi}$ 、 φ ——船舶横摇运动的角加速度、速度和角度， rad/s^2 ， rad/s ， rad ；

δ_1 、 δ_3 ——横摇阻尼系数，按第 4 章求得；

ρ ——海水的密度， kg/m^3 ，取 $\rho = 1025.0$ ；

g ——重力加速度， m/s^2 ，取 $g = 9.81$ ；

∇ ——校核装载情况的排水体积, m^3 ;
 $GZ(t, |\phi|)$ —— t 时刻波浪中的复原力臂值, m 。

时域模拟时, 应采用四阶龙格-库塔法求解, 初始边界条件取 $\dot{\phi} = 0$, $\phi = \frac{5\pi}{180}$ 。

(3) 横向加速度采用下式计算:

$$a_y = k_L \cdot (\ddot{\phi} \cdot h_r - \sin \phi \cdot g)$$

式中: k_L ——考虑横摇、艏摇和纵摇同时作用的修正因子, 按 2.2.3.4 求得;

h_r ——校核加速度的位置在假定横摇轴线以上的垂直高度, m , 横摇轴可假定位于水线和重心垂向位置之间的中点处, 校核加速度的位置按 2.2.3.7 求得。

2.2.2 纯稳性丧失衡准

2.2.2.1 船舶在其所核算的各种航行装载情况下, 应按 2.2.2.2 校核是否满足纯稳性丧失第一层衡准的要求。如不满足纯稳性丧失第一层衡准, 则可按 2.2.2.4 校核是否满足纯稳性丧失第二层衡准的要求。

2.2.2.2 纯稳性丧失第一层衡准:

船舶在其所核算的各种航行装载情况应满足下式要求:

$$GM_{\min} \geq R_{PLA}$$

式中: GM_{\min} ——波浪中初稳性高度的最小值, m , 按 2.2.2.3 求得;

R_{PLA} 为——第一层衡准标准值, m , 取 $R_{PLA} = 0.05$ 。

2.2.2.3 GM_{\min} 为所校核装载情况计算得到的波浪中初稳性高度的最小值, 应采用下列方法确定:

- (1) 计算应基于弗汝德-克雷洛夫假定, 且应计入自由液面影响修正;
- (2) 应采用自由纵倾法计算波浪中初稳性高度, 即在等效规则波中船舶纵倾和升沉应处于平衡状态;
- (3) 等效规则波的波长 λ 取 $\lambda = L$; 波陡系数取为 s_w , 远海航区取为 $s_w = 0.0334$, 近海航区取为 $s_w = 0.0607$, 沿海航区取为 $s_w = 0.0584$;
- (4) 在计算 GM_{\min} 时, 应考虑船舶在等效规则波中处于不同的船舶—波浪相对位置, 即波峰应位于船中部, 和船中前 0.1λ 、 0.2λ 、 0.3λ 、 0.4λ 和 0.5λ 及船中后 0.1λ 、 0.2λ 、 0.3λ 和 0.4λ 处。

2.2.2.4 纯稳性丧失第二层衡准:

船舶在其所核算的各种航行装载情况应满足下式要求:

$$\max(CR_1, CR_2) \leq R_{PL0}$$

式中: $\max(CR_1, CR_2)$ ——船舶纯稳性丧失感性指数, 按 2.2.2.5 求得;

R_{PL0} ——第二层衡准标准值, 取 $R_{PL0} = 0.06$ 表征可接受的纯稳性丧失风险水平。

2.2.2.5 衡准值 CR_1, CR_2 为船舶在等效规则波中假定静平衡时根据稳性参数计算得到的加权平均值。计算所采用的等效规则波波高为 H_i , 波长 λ 取 $\lambda = L$; L 为船长, m 。采用下式计算:

$$CR_1 = \sum_{i=1}^N W_i C1_i$$

$$CR_2 = \sum_{i=1}^N W_i C2_i$$

式中： CR_1 ——衡准 1 的加权衡准值，采用衡准 1 的衡准值 $C1_i$ 计算，按 2.2.2.6 求得；
 CR_2 ——衡准 2 的加权衡准值，采用衡准 2 的衡准值 $C2_i$ 计算，按 2.2.2.6 求得；
 W_i ——航区波浪散布表给出的不规则波海况加权因子，采用航区波浪散布表中给出每一个由平均跨零周期 T_z 和有义波高 H_s 所表征的不规则波海况的数值除以总观测波数，按 2.2.4 求得；

N ——用于评估 $C1_i$ 和 $C2_i$ 的航区波浪散布表给出的不规则波海况总数，按 2.2.4 求得。

2.2.2.6 对于 $C1_i$ 和 $C2_i$ 的计算，需要基于船舶在系列等效规则波中尾随浪或顶浪航行时每一个波高 h_j 下得到的 ϕ_v 和 ϕ_{sw} 评估结果分别得到：

(1) 航区波浪散布表中每一个单元格对应着由一个平均跨零周期 T_z 和一个有义波高 H_s 所表征的不规则波海况，按 2.2.4 求得。应根据平均跨零周期和有义波高，计算表征这个不规则波海况的等效规则波的代表波高 H_i ，按 2.2.5 求得；

(2) 应采用不同等效规则波波高 h_j 下的 ϕ_v 和 ϕ_{sw} 评估结果所计算得到的 $C1_i$ 和 $C2_i$ ，使用线性内插法求得相应于代表波高 H_i 的 $C1_i$ 和 $C2_i$ ；

(3) 衡准 1 的衡准值 $C1_i$ 基于对波浪中稳性消失角 ϕ_v 的校核，采用下式计算：

$$C1_i = \begin{cases} 1 & \phi_v < K_{PL1} \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases}$$

式中： K_{PL1} ——标准值，取 $K_{PL1} = 30^\circ$ ；

ϕ_v ——稳性消失角，根据波浪中复原力臂曲线（ GZ 曲线）得到的最小值，不考虑进水角的影响。

(4) 衡准 2 的衡准值 $C2_i$ 基于对波浪中在横倾力臂 l_{PL2} 作用下横倾角 ϕ_{sw} 的校核，采用下式计算：

$$C2_i = \begin{cases} 1 & \phi_{sw} > K_{PL2} \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases}$$

式中： ϕ_{sw} ——波浪中复原力臂曲线（ GZ 曲线）在横倾力臂 l_{PL2} 作用下取得平衡的横倾角的最大值，不考虑进水角的影响；

K_{PL2} ——标准值，对于客船取 $K_{PL2} = 15^\circ$ ，对于其他船舶取 $K_{PL2} = 25^\circ$ ；

l_{PL2} ——横倾力臂，m，取 $l_{PL2} = 8(h_j/\lambda)dFn^2$ ；

Fn ——营运航速 V_s 对应的弗汝德数，取 $Fn = V_s / \sqrt{L \cdot g}$ ；

d ——平均吃水，所校核装载情况对应的静水中船中吃水，m；

波浪中复原力臂曲线（ GZ 曲线）按 2.2.2.7 求得。

2.2.2.7 波浪中复原力臂曲线（ GZ 曲线）的计算，应采用下列方法确定：

(1) 计算应基于弗汝德-克雷洛夫假定，且应计入自由液面影响修正。

(2) 假定船舶在下述系列等效规则波中维持纵倾和升沉平衡：

等效规则波的波长 λ 取 $\lambda = L$ ；

等效规则波的波高取为 $h_j = 0.01 \cdot j \lambda$ ，其中 $j = 0, 1, \dots, 10$ 。

在计算波浪中复原力臂曲线（ GZ 曲线）时，应考虑船舶在等效规则波中处于不同的船舶—波浪相对位置，即波峰应位于船中部，和船中前 0.1λ 、 0.2λ 、 0.3λ 、 0.4λ 和 0.5λ 及

船中后 0.1λ 、 0.2λ 、 0.3λ 和 0.4λ 处。

2.2.3 谐摇运动衡准

2.2.3.1 船舶在其所核算的各种航行装载情况下,应按 2.2.3.2 校核是否满足谐摇运动第一层衡准的要求。如不满足谐摇运动第一层衡准,则可按 2.2.3.8 校核是否满足谐摇运动第二层衡准的要求。

2.2.3.2 谐摇运动第一层衡准:

船舶在其所核算的各种航行装载情况应满足下式要求:

$$\varphi \cdot k_L \cdot (g + 4\pi^2 h_r / T_r^2) \leq R_{EA1} \quad \text{且} \quad \varphi \leq R_{SR1}$$

式中: φ ——特征横摇幅值, rad, 按 2.2.3.3 求得;

k_L ——考虑横摇、艏摇和纵摇同时作用的修正因子, 按 2.2.3.4 求得;

T_r ——横摇固有周期, s, 按 2.2.3.5 求得;

h_r ——校核加速度的位置在假定横摇轴线以上的垂直高度, m, 横摇轴可假定位于水线和重心垂向位置之间的中点处, 校核加速度的位置按 2.2.3.7 求得;

R_{EA1} ——第一层衡准的加速度标准值, 取 $R_{EA1} = 4.64\text{m/s}^2$;

R_{SR1} ——第一层衡准的横摇幅值标准值, 对于载运散货的干货船取 $R_{SR1} = 12^\circ$, 其他船型取 $R_{SR1} = 20^\circ$ 。

2.2.3.3 特征横摇幅值 φ 为采用下式计算:

$$\begin{aligned} \varphi &= 4.43rs/\delta_\varphi^{0.5} \\ r &= [K_1 + K_2 + OG \cdot F] / [(B^2/12 \cdot C_B \cdot d) - 0.5C_B \cdot d - OG] \\ K_1 &= g \cdot \beta \cdot T_r^2 \cdot (\tau + \tau \cdot \tilde{T} - 1/\tilde{T}) / (4\pi^2) \\ K_2 &= g \cdot \tau \cdot T_r^2 \cdot (\beta - \cos \tilde{B}) / (4\pi^2) \\ OG &= KG - d \\ F &= \beta(\tau - 1/\tilde{T}) \\ \beta &= \sin \tilde{B} / \tilde{B} \\ \tau &= \exp(-\tilde{T}) / \tilde{T} \\ \tilde{B} &= 2\pi^2 \cdot B / (g \cdot T_r^2) \\ \tilde{T} &= 4\pi^2 \cdot C_B \cdot d / (g \cdot T_r^2) \end{aligned}$$

式中: r ——有效波倾系数;

s ——第一层衡准航区波陡系数, 按 2.2.3.6 求得;

δ_φ ——由横摇衰减得到的无量纲指数衰减系数, 取 $\delta_\varphi = 0.5 \cdot \pi \cdot R_{PR}$, R_{PR} 按 2.2.1.3 求得;

B ——船舶型宽, m;

C_B ——所校核装载情况的方形系数;

KG ——所校核装载情况对应的重心距离基线的高度, m, 应不计入自由液面影响修正;

d ——平均吃水, 即所校核装载情况静水中对应的船中吃水, m。

2.2.3.4 修正因子 k_L 采用下式计算:

$$k_L = 1.125 - 0.625x/L, \text{ 如 } x < 0.2L$$

$$k_L = 1.0, \text{ 如 } 0.2L \leq x \leq 0.65L$$

$$k_L = 0.527 + 0.727x/L, \text{ 如 } x > 0.65L$$

式中: x 为自船长 L 尾端至用于校核加速度的位置的纵向距离, m。

2.2.3.5 横摇固有周期 T_r 应按下式计算:

$$T_r = 2\pi \cdot \frac{\sqrt{1000(I_{xx} + \Delta I_{xx})}}{\sqrt{\rho g \nabla GM}}$$

式中： $I_{xx} + \Delta I_{xx}$ ——船舶横摇转动惯量和附加横摇转动惯量， $t \cdot m^2$ ，按第3章求得；

ρ ——海水的密度， kg/m^3 ，取 $\rho = 1025.0$ ；

g ——重力加速度， m/s^2 ，取 $g = 9.81$ ；

∇ ——校核装载情况的排水体积， m^3 ；

GM ——静水初稳性高， m ，不计自由液面修正；

2.2.3.6 第一层衡准航区波陡系数 s 应按照船舶装载情况的 T_r 值及航区由图 2.2.3.6 插值得到。

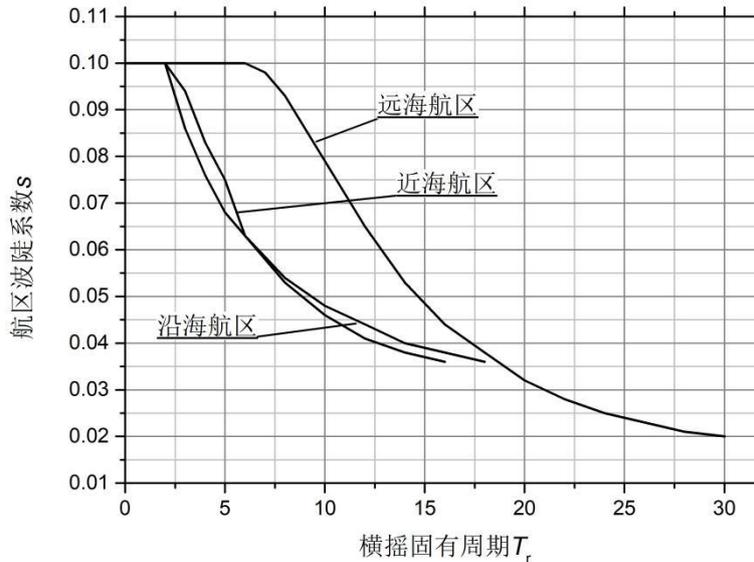


图 2.2.3.6 航区波陡系数 s

注： $T_r \geq 30s$ 时，远海航区取 $s = 0.02$ ； $T_r \geq 16s$ 时，近海航区取 $s = 0.036$ ； $T_r \geq 18s$ 时，沿海航区取 $s = 0.036$ 。

2.2.3.7 校核加速度的位置，货船应选取驾驶甲板上船员能够到达的离船中最远的位置；客船应选取航行时船舶艏处，船员能够到达的离水线最高的甲板上，离船中最远的位置。

2.2.3.8 谐摇运动第二层衡准：

船舶在其所核算的各种航行装载情况应满足下式要求：

$$C_{EA} \leq R_{SR2}$$

$$C_{SR} \leq R_{SR2}$$

式中： C_{EA} ——船舶加速度敏感性指数，按 2.2.3.9 求得；

C_{SR} ——船舶横摇幅值敏感性指数，按 2.2.3.9 求得；

R_{EA2} ——第二层衡准标准值， $R_{EA2} = 0.00039$ 取表征可接受的加速度风险水平；

R_{SR2} ——第二层衡准标准值， $R_{SR2} = 0.025$ 取表征可接受的横摇幅值风险水平。

2.2.3.9 C_{EA} 值和 C_{SR} 值为根据一系列短期环境条件计算的加权平均值：

(1) C_{EA} 值系根据所校核的装载情况和校核加速度的位置，基于短期环境条件发生概率计算的加速度敏感性指数所得到的长期概率指数，按下式计算：

$$C_{EA} = \sum_{i=1}^N W_i \cdot C_{S1,i}$$

(2) C_{SR} 值系根据所校核的装载情况, 基于短期环境条件发生概率计算的横摇幅值敏感性指数所得到的长期概率指数, 按下式计算:

$$C_{SR} = \sum_{i=1}^N W_i \cdot C_{S2,i}$$

式中: W_i ——航区波浪散布表给出的不规则波海况加权因子, 采用航区波浪散布表中给出每一个由平均跨零周期 T_z 和有义波高 H_s 所表征的不规则波海况的数值除以总观测波数, 按 2.2.4 求得;

$C_{S1,i}$ ——采用航区波浪散布表给出的不规则波海况(即短期环境条件)计算得到的短期加速度敏感性指数, 按 2.2.3.10 求得;

$C_{S2,i}$ ——采用航区波浪散布表给出的不规则波海况(即短期环境条件)计算得到的短期横摇幅值敏感性指数, 按 2.2.3.11 求得;

N ——航区波浪散布表给出的不规则波海况总数, 按 2.2.4 求得。

2.2.3.10 对于 $C_{S1,i}$ 的计算, 采用船舶超过一个特定横向加速度值的概率来衡量, 采用下式计算:

$$C_{S1,i} = \exp(-R_1^2 / (2 \cdot \sigma_{LAi}^2))$$

式中: R_1 ——加速度标准值, m/s^2 , 取 $R_1 = 9.81$;

σ_{LAi} ——零航速横浪时船舶在校核加速度位置处的平行于甲板方向的横向加速度标准差, m/s^2 , 按 2.2.3.12 求得。

2.2.3.11 对于 $C_{S2,i}$ 的计算, 采用船舶超过一个特定横摇值的概率来衡量, 采用下式计算:

$$C_{S2,i} = \exp(-R_2^2 / (2 \cdot \sigma_{RLi}^2))$$

式中: R_2 ——横摇标准值, rad , 对于载运散货的干货船取 $R_2 = 20 \cdot \frac{\pi}{180}$, 其他船型取 $R_2 =$

$25 \cdot \frac{\pi}{180}$;

σ_{RLi} ——零航速横浪时船舶横摇幅值的标准差, rad , 按 2.2.3.12 求得。

2.2.3.12 应通过波浪作用下的横摇运动响应谱确定 σ_{LAi} 和 σ_{RLi} , 采用下式计算:

$$\sigma_{LAi}^2 = \frac{3}{4} \cdot \sum_{j=1}^N (a_y(\omega_j))^2 \cdot S_{zz}(\omega_j) \cdot \Delta\omega$$

$$\sigma_{RLi}^2 = \frac{3}{4} \cdot \sum_{j=1}^N (\varphi_a(\omega_j))^2 \cdot S_{zz}(\omega_j) \cdot \Delta\omega$$

式中: $\Delta\omega$ ——频率计算间隔, rad/s , 取 $\Delta\omega = (\omega_2 - \omega_1) / N$;

ω_2 ——波浪谱频率计算上限, rad/s , 取 $\omega_2 = \min((25/T_r), 2.0)$;

ω_1 ——波浪谱频率计算下限, rad/s , 取 $\omega_1 = \max((0.5/T_r), 0.2)$;

N ——频率计算间隔数, 应取为不少于 100;

ω_j ——计算频率间隔的中间点, rad/s , 取 $\omega_j = \omega_1 + ((2j - 1) / 2) \cdot \Delta\omega$;

$S_{zz}(\omega_j)$ ——海浪谱密度函数, 取 $S_{zz}(\omega_j) = \frac{H_s^2}{4\pi} \cdot \left(\frac{2\pi}{T_z}\right)^4 \omega_j^{-5} \exp\left(-\frac{1}{\pi} \left(\frac{2\pi}{T_z}\right)^4 \omega_j^{-4}\right)$;

H_s —— W_i 对应的有义波高, m , 按 2.2.4 求得;

T_z —— W_i 对应的平均跨零周期, s , 按 2.2.4 求得;

$a_y(\omega_j)$ ——在校核加速度位置处单位波幅对应的横向加速度, $(m/s^2)/m$, 取 $a_y(\omega_j) = k_L \cdot (g + h_r \cdot \omega_j^2) \cdot \varphi_a(\omega_j)$;

k_L ——考虑横摇、艏摇和纵摇同时作用的修正因子，按 2.2.3.4 求得；

h_r ——校核加速度的位置在假定横摇轴线以上的垂直高度， m ，横摇轴可假定位于水线和重心垂向位置之间的中点处，校核加速度的位置按 2.2.3.7 求得；

$\varphi_a(\omega_j)$ ——船舶在零航速横浪中，单位波幅和圆频率 ω_j 的规则波引起的横摇幅值， rad/m ，按 2.2.3.13 求得。

2.2.3.13 $\varphi_a(\omega_j)$ 应采用下式计算：

$$\varphi_a(\omega_j) = (\varphi_r(\omega_j)^2 + \varphi_i(\omega_j)^2)^{0.5}$$

$$\varphi_r(\omega_j) = \frac{a \cdot \left(\frac{\rho g \nabla GM}{1000} - (I_{xx} + \Delta I_{xx}) \cdot \omega_j^2 \right) + b \cdot B_e \cdot \omega_j}{\left(\frac{\rho g \nabla GM}{1000} - (I_{xx} + \Delta I_{xx}) \cdot \omega_j^2 \right)^2 + (B_e \cdot \omega_j)^2}$$

$$\varphi_i(\omega_j) = \frac{b \cdot \left(\frac{\rho g \nabla GM}{1000} - (I_{xx} + \Delta I_{xx}) \cdot \omega_j^2 \right) - a \cdot B_e \cdot \omega_j}{\left(\frac{\rho g \nabla GM}{1000} - (I_{xx} + \Delta I_{xx}) \cdot \omega_j^2 \right)^2 + (B_e \cdot \omega_j)^2}$$

式中： a ， b ——采用弗汝德-克雷洛夫假定计算横浪规则波中单位波幅下横摇力矩的余弦和正弦分量， $kN \cdot m/m$ ；

ρ ——海水的密度， kg/m^3 ，取 $\rho = 1025.0$ ；

g ——重力加速度， m/s^2 ，取 $g = 9.81$ ；

∇ ——校核装载情况的排水体积， m^3 ；

GM ——静水初稳性高， m ，不计自由液面修正；

B_e ——等效线性横摇阻尼， $kN \cdot m \cdot s$ ，取 $B_e = 2 \cdot (I_{xx} + \Delta I_{xx}) \cdot \mu_e$ ，按第 4 章求得；

μ_e ——等效线性横摇阻尼系数， $1/s$ ，按第 4 章求得；

$I_{xx} + \Delta I_{xx}$ ——船舶横摇转动惯量和附加横摇转动惯量， $t \cdot m^2$ ，按第 3 章求得。

2.2.4 航区波浪散布表

2.2.4.1 波浪散布表给出了各航区不规则波海况信息如下：

- (1) 不规则波海况加权因子 W_i ；
- (2) 不规则波海况平均跨零周期 T_z ；
- (3) 不规则波海况有义波高 H_s ；
- (4) 不规则波海况总数 N 。

2.2.4.2 远海航区不规则波海况信息由表 2.2.4.2 查得。

远海航区波浪散布表

表 2.2.4.2

H_s/T_z	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	sum
0.5	0	0	1.3	133.7	865.6	1186	634.2	186.3	36.9	5.6	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0	3050.1
1.5	0	0	0	29.3	986	4976	7738	5569.7	2375.7	703.5	160.7	30.5	5.1	0.8	0.1	0	0	0	22575.1
2.5	0	0	0	2.2	197.5	2158.8	6230	7449.5	4860.4	2066	644.5	160.2	33.7	6.3	1.1	0.2	0	0	23810.4
3.5	0	0	0	0.2	34.9	695.5	3226.5	5675	5099.1	2838	1114.1	337.7	84.3	18.2	3.5	0.6	0.1	0	19127.7
4.5	0	0	0	0	6	196.1	1354.3	3288.5	3857.5	2685.5	1275.2	455.1	130.9	31.9	6.9	1.3	0.2	0	13289.4
5.5	0	0	0	0	1	51	498.4	1602.9	2372.7	2008.3	1126	463.6	150.9	41	9.7	2.1	0.4	0.1	8328.1
6.5	0	0	0	0	0.2	12.6	167	690.3	1257.9	1268.6	825.9	386.8	140.8	42.2	10.9	2.5	0.5	0.1	4806.3
7.5	0	0	0	0	0	3	52.1	270.1	594.4	703.2	524.9	276.7	111.7	36.7	10.2	2.5	0.6	0.1	2586.2
8.5	0	0	0	0	0	0.7	15.4	97.9	255.9	350.6	296.9	174.6	77.6	27.7	8.4	2.2	0.5	0.1	1308.5
9.5	0	0	0	0	0	0.2	4.3	33.2	101.9	159.9	152.2	99.2	48.3	18.7	6.1	1.7	0.4	0.1	626.2
10.5	0	0	0	0	0	0	1.2	10.7	37.9	67.5	71.7	51.5	27.3	11.4	4	1.2	0.3	0.1	284.8
11.5	0	0	0	0	0	0	0.3	3.3	13.3	26.6	31.4	24.7	14.2	6.4	2.4	0.7	0.2	0.1	123.6
12.5	0	0	0	0	0	0	0.1	1	4.4	9.9	12.8	11	6.8	3.3	1.3	0.4	0.1	0	51.1
13.5	0	0	0	0	0	0	0	0.3	1.4	3.5	5	4.6	3.1	1.6	0.7	0.2	0.1	0	20.5
14.5	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	1.2	1.8	1.8	1.3	0.7	0.3	0.1	0	0	7.7
15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0	0	2.8
16.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0.9
sum	0	0	1.3	165.4	2091.2	9279.9	19921.8	24879	20869.9	12898.4	6244.6	2479	836.7	247.3	65.8	15.8	3.4	0.7	10000

2.2.4.3 近海航区不规则波海况信息由表 2.2.4.3 查得。

近海航区波浪散布表

表 2.2.4.3

Hs/Tz	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	SUM
0.5	112.7	1650.7	2874.8	4746.6	3046.4	480.4	114.6	19.2	9.2	2.3	1.5	0.8	0	0	0	0	0	0	13059
1.5	26.5	3120.6	19453.9	11634.7	9331	2944.4	614.6	157.3	51.2	25.4	20.8	13.5	0	0	0	0	0	0	47394
2.5	0	1.2	419.6	7506.9	10060.2	2329.5	316.5	91.9	24.6	12.7	6.9	2.3	0.4	0	0	0	0	0	20773
3.5	0	0	0	16.2	5627.8	5952.3	341.5	26.9	6.9	5	0.8	4.2	0.8	0.4	1.2	0.8	0	0	11985
4.5	0	0	0	0	25.8	3097.1	2003.7	16.9	0.8	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0	0.4	5145
5.5	0	0	0	0	1.5	58.1	1071.5	195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1326
6.5	0	0	0	0	0	2.3	58.1	195.8	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	260
7.5	0	0	0	0	0	0	5.4	39.2	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47
8.5	0	0	0	0	0	0	0.8	7.3	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10.5	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUM	139	4772	22748	23904	28093	14864	4527	751	100	46	30	21	1	0	1	1	0	0	100000

2.2.4.4 沿海航区不规则波海况信息由表 2.2.4.4 查得。

沿海航区波浪散布表

表 2.2.4.4

Hs/Tz	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	SUM
0.5	103.5	1309.9	2872.1	4557.8	2867.1	448.4	113.5	28.8	9.6	2.7	2.3	0	0	0	0	0	0	0	12316
1.5	16.2	2144.9	15865.6	14994.9	12382.4	4603.2	877.6	249.2	53.8	21.9	28.1	17.3	3.5	1.5	1.5	0.8	0.4	1.2	51264
2.5	0	0.8	143.5	5997	11290.1	3730.9	520.4	151.5	33.5	20.4	8.1	6.2	0.8	1.2	0.4	0	0	0.4	21905
3.5	0	0	0	3.5	3612.5	6234.6	893.4	33.5	5.4	7.7	3.8	1.2	1.5	1.5	1.5	0.4	0	0.4	10801
4.5	0	0	0	0	15.4	1325.7	1646.4	46.5	1.5	0.8	0.8	0	0	0.8	0.4	0.4	0	0	3039
5.5	0	0	0	0	0	27.7	356.9	141.1	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	526
6.5	0	0	0	0	0	1.9	40.4	66.2	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	109
7.5	0	0	0	0	0	0	3.1	31.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
8.5	0	0	0	0	0	0	0.4	4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUM	120	3456	18881	25553	30167	16373	4452	753	106	53	43	25	6	5	4	2	0	2	100000

2.2.5 等效规则波

2.2.5.1 参数横摇衡准所采用的等效波规则波波高采用下式计算：

$$H_{ri} = 4.0043\sqrt{m_0}$$

系数 m_0 按 2.2.5.3 求得。如 $H_{ri} > 0.1L$ ，则 H_{ri} 应设置为 $H_{ri} = 0.1L$ 。

2.2.5.2 纯稳性丧失衡准所采用的等效波规则波波高采用下式计算：

$$H_i = 5.9725\sqrt{m_0}$$

系数 m_0 按 2.2.5.3 求得。如 $H_i > 0.1L$ ，则 H_i 应设置为 $H_i = 0.1L$ 。

2.2.5.3 系数 m_0 采用下式计算：

$$m_0 = \int_{0.01\omega_L}^{\omega_L} \left\{ \frac{\omega^2 L}{g} \sin\left(\frac{\omega^2 L}{2g}\right) \right\}^2 S_{zz}(\omega) d\omega + \int_{\omega_L}^{3\omega_L} \left\{ \frac{\omega^2 L}{g} \sin\left(\frac{\omega^2 L}{2g}\right) \right\}^2 S_{zz}(\omega) d\omega$$

$$\omega_L = \left(\frac{2g\pi}{L} \right)^{0.5}$$

$$S_{zz}(\omega) = \frac{H_s^2}{4\pi} \cdot \left(\frac{2\pi}{T_z} \right)^4 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{1}{\pi} \left(\frac{2\pi}{T_z} \right)^4 \omega^{-4} \right)$$

式中：L——船长，m；

ρ ——海水的密度， kg/m^3 ，取 $\rho = 1025.0$ ；

S_{zz} ——海浪谱密度函数；

H_s ——有义波高，m；

T_z ——平均跨零周期，s。

2.2.6 装载情况波浪中稳性特征的计算

2.2.6.1 船舶在任一装载情况下，用于参数横摇和纯稳性丧失衡准校核的波浪中初稳性高（ GM 值）和波浪中复原力臂（ GZ 值）的计算应采用修正重心高度的方法计及自由液面的影响，自由液面的影响按《国内航行海船法定检验技术规则》第4篇7章7.2.2.11（1）~（5）求得。用于谐摇运动衡准校核的船舶重心高度应不计入自由液面的影响。衡准校核时不考虑液体舱中液体晃荡的动力学影响。

2.2.6.2 按2.2.1、2.2.2和2.2.3应用参数横摇、纯稳性丧失和谐摇运动衡准进行装载情况符合性校核时，船舶静水和波浪中的稳性特征，即初稳性高（ GM 值）和复原力臂（ GZ 值）的计算，应满足：

- （1）当船体左右舷不对称时，应使用最不利的一侧进行计算；
- （2）计入对稳性特征有明显影响的水密附体的影响；
- （3）考虑月池（无关闭装置）、侧推器通道的影响，如有时；
- （4）按照《国内航行海船法定检验技术规则》7.2.2.9条（1）（2）（3）的要求，计入上层建筑、货舱口的影响；
- （5）不考虑进水角开口的影响；
- （6）不考虑舵和推进装置的影响；
- （7）不考虑海水箱的影响；
- （8）不计入干舷甲板以上甲板上的甲板室的影响；
- （9）不计入甲板上所装载货物、安装的设备 and 燃料储存设施等的影响。

2.2.7 提供给船长的船舶波浪中稳性信息

2.2.7.1 按2.2.1进行参数横摇衡准校核时，当任一装载情况既不满足第一层衡准，也不满足第二层衡准时，应提供下列资料供船长参考：

- （1）应提供装载情况各有义波高和平均跨零周期组合对应的参数横摇幅值和校核加速度位置处加速度响应值；
- （2）对于可能装载需要系固货物的船舶，应提供装载情况各有义波高和平均跨零周期组合对应的系固货物各典型位置的平行于甲板方向加速度响应， m/s^2 ；
- （3）应采用显著形式明确标识不满足衡准要求的有义波高和平均跨零周期组合及其航速和浪向。

2.2.7.2 按2.2.2进行纯稳性丧失衡准校核时，当任一装载情况既不满足第一层衡准，也不满足第二层衡准时，应提供下列资料供船长参考：

- （1）应提供装载情况各有义波高和平均跨零周期组合对应的是否满足衡准要求情况；
- （2）应采用显著形式明确标识不满足衡准要求的有义波高和平均跨零周期组合。

2.2.7.3 按2.2.3进行谐摇运动衡准校核时，当任一装载情况既不满足第一层衡准，也不满足第二层衡准时，应提供下列资料供船长参考：

- （1）应提供装载情况各有义波高和平均跨零周期组合对应的横摇幅值最大值和加速度最大值；
- （2）对于可能装载需要系固货物的货船，应提供装载情况各有义波高和平均跨零周期组合对应的系固货物各典型位置的平行于甲板方向加速度响应最大值， m/s^2 ；
- （3）应采用显著形式明确标识不满足衡准要求的有义波高和平均跨零周期组合。

2.2.7.4 当提供上述稳性信息时，应在签发的符合性证明中说明。

2.2.7.5 建议船长在制定航行计划和操船时，注意到不满足特定波浪中动稳性失效模式衡准的装载工况可能存在的安全风险。建议参考上述稳性信息，在航行中注意规避不满足衡准要求的海况和航行条件（如有时），包括：有义波高和平均跨零周期组合、航速和浪向（如

有时)。

第 3 节 波浪中动稳性的等效替代评估方法和特殊要求

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 船舶可按 2.3.2 采用等效替代评估方法进行参数横摇第二层衡准和过度加速度第二层衡准的校核。

2.3.1.2 船舶除符合本章第 2 节各项规定外,如适用,还应满足以下有关的波浪中稳性特殊要求。

2.3.2 等效替代评估方法

2.3.2.1 经同意,可以采用数值计算或水池试验,作为等效替代评估方法代替 2.2.1.9(2) 和 2.2.1.9(3),用于计算参数横摇横摇幅值和横向加速度。应满足以下要求:

(1) 应由 ITTC 成员单位开展水池试验,测量船舶发生参数横摇时的加速度响应。运动响应测量应采用惯性或光学测量系统;

(2) 船舶模型应采用适当的缩尺比降低尺度效应的影响,缩尺比不应小于 130,模型垂线间长不小于 2.5m。应有效避免池壁效应对试验的干扰;

(3) 模型误差应满足下列要求:

①质量误差应小于 1%;

②初始横倾角误差应小于 0.5 度;

③横摇固有周期应至少测量 3 次,且初始横倾角应保持一致,初始横倾角取 10 度(误差应小于 ± 0.5 度),平均值与目标值误差应小于 2%;

④初始横倾角取 1 度(误差应小于 ± 0.25 度)测量得到的 GM 平均值与目标值误差应小于 2%。测量 GM 值时,压铁应在重心位置对应的舷侧固定位置安放,测量至少三次并取平均值。

(4) 采用基于势流理论方法或者粘流理论方法的软件/程序开展数值计算,应至少考虑横摇、纵摇和垂荡三个自由度的影响。

(5) 采用基于势流理论方法的软件/程序开展数值计算时,应考虑粘性效应对船舶横摇阻尼的影响。应按本指南第 4 章要求评估横摇阻尼。

(6) 可采用的基于势流理论方法的软件/程序包括:

①基于脉冲响应函数理论和频域格林函数的弱非线性时域船舶运动预报方法;

②基于时域格林函数内外域匹配法的时域弱非线性船舶运动预报方法。

(7) 可采用的基于粘流理论方法的软件/程序包括:基于有限体积法的全非线性三维 CFD 船舶运动预报方法。

(8) 经同意,可采用本章 2.3.2.1(6) 和 2.3.2.1(7) 规定以外的软件/程序开展数值计算。

2.3.2.2 经同意,可以采用数值计算或水池试验,作为等效替代评估方法代替 2.2.3.12 和 2.2.3.13,用于计算 σ_{LAi} 和 σ_{RLi} 。应满足以下要求:

(1) 应采用无约束、自航模试验技术由 ITTC 成员单位开展水池试验,测量船舶发生谐摇运动时的加速度响应。运动响应测量应采用惯性或光学测量系统;

(2) 船舶模型应采用适当的缩尺比降低尺度效应的影响,缩尺比不应小于 130,模型垂线间长不小于 2.5m。应有效避免池壁效应对试验的干扰;

(3) 模型误差应满足下列要求:

①质量误差应小于 1%;

②初始横倾角误差应小于 0.5 度；

③横摇固有周期应至少测量 3 次，且初始横倾角应保持一致，初始横倾角取 10 度（误差应小于 ± 0.5 度），平均值与目标值误差应小于 2%；

④初始横倾角取 1 度（误差应小于 ± 0.25 度）测量得到的 GM 平均值与目标值误差应小于 2%。测量 GM 值时，压铁应在重心位置对应的舷侧固定位置安放，测量至少三次并取平均值。

(4) 采用基于势流理论方法或者粘流理论方法的软件/程序开展数值计算，应至少考虑横摇、纵摇和垂荡三个自由度的影响。允许采用谱分析方法计算横向加速度有效值。

(5) 采用基于势流理论方法的软件/程序开展数值计算时，应考虑粘性效应对船舶横摇阻尼的影响。应按第 4 章要求评估横摇阻尼。

(6) 数值计算所采用的软件/程序对于不规则波中谐摇运动引起的船舶横摇有效值和横向加速度有效值的预报误差应控制在 $\pm 25\%$ 以内。

(7) 可采用的基于势流理论方法的软件/程序包括：

①基于频域格林函数的频域船舶运动预报方法；

②基于脉冲响应函数理论和频域格林函数的弱非线性时域船舶运动预报方法；

③基于时域格林函数内外域匹配法的时域线性船舶运动预报方法；

④基于时域格林函数内外域匹配法的时域弱非线性船舶运动预报方法。

(8) 可采用的基于粘流理论方法的软件/程序包括：基于有限体积法的全非线性三维 CFD 船舶运动预报方法。

(9) 经同意，可采用本章 2.3.2.2 (7) 和 2.3.2.2 (8) 规定以外的软件/程序开展数值计算。

2.3.3 具有延伸的低露天甲板船舶

2.3.3.1 具有延伸的低露天甲板船舶系指起居处所和桥楼上层建筑在船舶前部或中部，用于装卸货物、开展海上作业或其他用途的露天甲板在后部的船舶。其夏季干舷小于船长 L 的 10%；用于装卸货物、开展海上作业或其他用途的露天甲板长度大于等于船长 L 的 40%。

2.3.3.2 对于参数横摇和纯稳性丧失第二层衡准，当按 2.2.1.9 和 2.2.2.7 计算波浪中复原力臂值或曲线 (GZ 值或 GZ 曲线) 时，对于 $h_j \geq s_c \cdot L$ 的 GZ 值或 GZ 曲线的计算，经同意，允许采用水池试验或基于粘流理论的计算流体方法 (CFD) 的数值计算，获得该装载情况的波浪中 GZ 值或 GZ 曲线。

2.3.3.3 应用以下方式计算临界波陡系数 s_c ：

(1) 露天甲板高度系数 s_{cs} ，取为夏季干舷与船长 L 的比值；

(2) 临界有义波高系数 s_{cw} ，采用等效波理论，选取 1.5~18.5s 平均跨零周期（以 1.0s 为间隔），波长取为船长 L ，计算临界有义波高对应的等效规则波波陡系数，取最大值为 s_{cw} ，临界有义波高远海航区取为 6.5m，近海航区取为 4.5m，沿海航区取为 4.5m；

(3) s_c 取为 $s_c = \min(s_{cs}, s_{cw})$ 。

2.3.3.4 波浪中 GZ 值或 GZ 曲线的获得应满足以下要求：

(1) 水池试验或 CFD 模拟应在零航速、尾随浪中开展；

(2) 横摇自由度约束为固定横倾角，垂荡和纵摇自由度无约束，约束艏摇、横荡和纵荡自由度；

(3) 获取 GZ 曲线值时，横倾角应取为 10°、15°、20°、25°、30°、40°、50°、60°；

2.3.3.5 水池试验应满足以下要求：

(1) 应提供与标模试验或其他船舶模型试验的对比验证结果，证明其可靠性和精度；

(2) 应提供船舶模型详细说明和视图、模型试验设备及精度、试验方法说明、试验时

历测量结果和后处理结果；

(3) 试验时历测量结果应包括船舶波浪中横倾力矩时历曲线、船舶纵摇和垂荡运动时历曲线、全局视图下波峰和波谷分别处于船中附近时包含船舶、波形和波浪高度的示意图；

(4) 后处理结果应包括波浪中 GZ 值的时历曲线（不同船舶-波浪相对位置）的计算结果。

2.3.3.6 基于粘流理论的计算流体方法（CFD）的数值计算应满足以下要求：

(1) 应采用三维时域模拟；

(2) 应提供与标模试验或其他船舶模型试验的对比验证结果，证明其可靠性和精度；

(3) 应提供用于 CFD 模拟的几何模型详细说明和示意图、网格划分说明和视图、网格收敛性验证结果、计算设置说明、CFD 时域模拟结果和后处理结果；

(4) 网格收敛性验证结果应包含至少 3 套不同尺寸离散网格的划分方案和波浪中横倾角 20° 对应的 GZ 值的计算结果，用于证明所选择的网格划分方案是合理的；

(5) 网格收敛性验证结果可由用于可靠性和精度验证的标模试验或其他船舶模型试验的 CFD 模拟收敛性验证结果替代；

(6) 网格划分视图应包括船艏船中和船艉网格横剖面、船中纵剖面网格示意图、船水线面网格示意图；

(7) CFD 时域模拟结果应包括船舶波浪中横倾力矩时历曲线、船舶纵摇和垂荡运动时历曲线、全局视图下波峰和波谷分别处于船中附近时包含船舶、波形和波浪高度的示意图；

(8) 后处理结果应包括波浪中 GZ 值的时历曲线（不同船舶-波浪相对位置）的计算结果。

2.3.4 货舱口未设置钢质风雨密舱口盖的船舶

2.3.4.1 除集装箱船以外，对于货舱口未设置钢质风雨密舱口盖的船舶， R_{PR} 、 $C2$ 、 R_{PL0} 、 R_{EA1} 、 R_{SR1} 、 R_{EA2} 、 R_{SR2} 取为本章第 2 节要求值的 0.8 倍， R_{PLA} 取为本章第 2 节要求值的 1.2 倍。

2.3.4.2 对于砂船， R_{PR} 、 $C2$ 、 R_{PL0} 、 R_{EA1} 、 R_{SR1} 、 R_{EA2} 、 R_{SR2} 取为本章第 2 节要求值的 0.7 倍， R_{PLA} 取为本章第 2 节要求值的 1.3 倍。

2.3.4.3 除集装箱船以外，对于货舱口未设置钢质风雨密舱口盖的船舶，当校核装载情况的进水角小于 30° 时，按 2.2.1 和 2.2.2 校核参数横摇衡准和纯稳性丧失衡准时假定货舱口未设置钢质风雨密舱口盖的货舱存在最大自由液面，采用重心升高法修正重心高度。

2.3.4.4 除集装箱船以外，对于货舱口未设置钢质风雨密舱口盖的船舶（含砂船）应安装船载运动监测系统，对船舶横摇角、横向加速度和横摇周期进行自动监测，满足以下要求：

(1) 当船舶横摇角幅值超过 R_{EA1} 时或横向加速度幅值超过 R_{SR1} 时，应自动报警；

(2) 当横摇周期突然变长时，应自动报警；

(3) 船载运动监测系统应接入全船通用报警器；

(4) 应配备两套独立的船载运动监测系统，互为备份；

(5) 应配备主电源，应急电源以及当主电源和应急电源失效时自动切换专用备用电源共同保障船载运动监测系统的持续供电。其中专用备用电源供电时间不小于无线电设备专用备用电源的要求。

2.3.4.5 对于砂船，在航行时应特别注意海况对于船舶波浪中稳性的负面影响，应采取必要技术措施在航线规划和航行时限制船舶遭遇可能危及波浪中动稳性安全的恶劣海况、航速和浪向。

2.3.5 许用安全区

2.3.5.1 许用安全区应满足以下要求：

(1) 许用安全区与初稳性高、横摇转动惯量和纵倾相关，包括满足第一层或第二层衡准要求的装载情况组合信息；

(2) 使用许用安全区时，被校核装载情况的计算参数与许用安全区相应信息的差异应符合表 2.3.5.1 的要求；

(3) 制定许用安全区时，重心垂向位置或静水 GM 值的自由液面修正应满足本章第 2 节的有关规定。

许用安全区的要求

表 2.3.5.1

计算参数	被校核装载情况计算参数值与许用安全区表的差异要求
排水量	小于±5%
纵倾	小于±0.5%倍的船长
静水 GM 值	小于±5%
横摇转动惯量	小于±5%

2.3.6 船载波浪中动稳性验证软件

2.3.6.1 船载波浪中动稳性验证软件应满足以下要求：

(1) 软件应具有参数横摇衡准、纯稳性丧失衡准和谐摇运动衡准第一层和第二层衡准的计算功能；

(2) 软件应能确保普通用户无法修改已输入的船舶几何特征和船型特征等实船数据。

(3) 软件应使用直接计算方法或适当的代理模型校核装载情况的符合性；

(4) 软件应基于经批准的“波浪中动稳性报告书”提供测试装载情况，软件得到的测试装载情况计算结果与经批准的“波浪中动稳性报告书”中结果的差异应符合表 2.3.6.1 的要求。

软件计算结果允许误差

表 2.3.6.1

按船体形状	误差
排水量	2%
静水初稳性高	1%/最大 5cm
波浪中初稳性高 (GM 值) 的变化幅度	1%/最大 5cm
波浪中初稳性高 (GM 值) 的最小值	1%/最大 5cm
波浪中复原力臂值 (GZ 值) (横倾 10°,20°,25°,30°,40°)	1%/最大 10cm

第3章 船舶转动惯量

第1节 一般规定

3.1.1 一般要求

3.1.1.1 转动惯量对于船舶运动响应特性具有重要影响，应精确评估船舶不同装载情况下的转动惯量用于波浪中动稳性评估。应按本章第2节或第3节的要求计算/估算船舶转动惯量。

3.1.1.2 在提交充分的证据证明所采用计算方法的合理性，经同意，可采用其他适当的直接计算方法或经验公式替代本章第2节和第3节给出的方法，进行船舶横摇转动惯量和附加横摇转动惯量的估算。

第2节 转动惯量直接计算方法

3.2.1 船舶装载情况的转动惯量

3.2.1.1 船舶各装载情况的转动惯量和附加转动惯量之和包括五个组成部分：空船转动惯量、液体转动惯量、货物转动惯量、人员备品转动惯量和附加转动惯量。

3.2.2 空船转动惯量

3.2.2.1 应将组成空船的船舶结构和设备离散后，通过解析方法计算转动惯量。其中，船舶设备可根据其体积和质量适当简化计算。图3.2.2.1给出了空船离散模型示意。

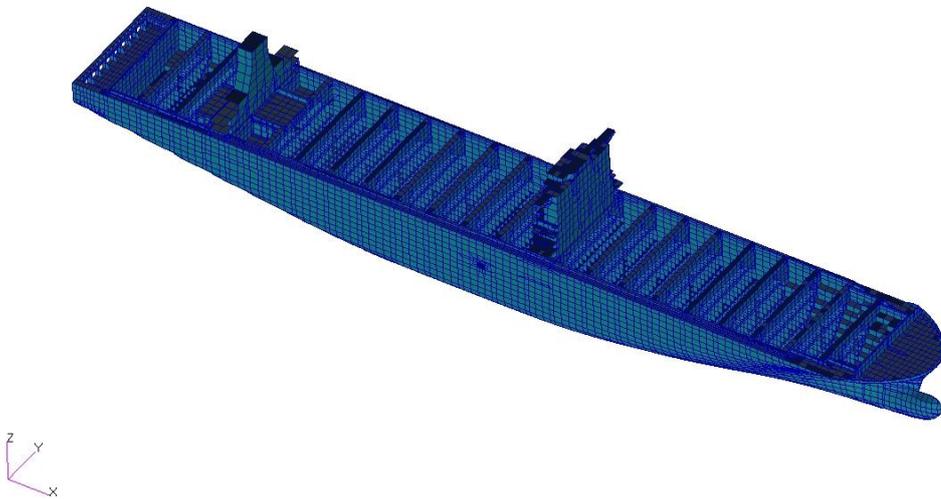


图 3.2.2.1 集装箱空船离散模型示意

3.2.2.2 当缺乏目标船离散模型计算结果时，可采用基于已有同类船舶转动惯量离散模型计算结果制定的经验公式计算目标船空船转动惯量。经验公式应采用下式形式：

$$\begin{aligned} I_{xx} &= \Delta \cdot R_{xx}^2 & R_{xx} &= R_x \cdot B \\ I_{yy} &= \Delta \cdot R_{yy}^2 & R_{yy} &= R_y \cdot L \\ I_{zz} &= \Delta \cdot R_{zz}^2 & R_{zz} &\approx R_{yy} \\ R_x &= c_1 + c_2 \cdot (B/d) + c_3 \cdot (L/100) \end{aligned}$$

$$R_y = c_4 + c_5 \cdot (B/d) + c_6 \cdot (L/100)$$

式中： I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} ——横摇、纵摇和艏摇转动惯量， $t \cdot m^2$ ；

Δ ——空船排水量， t ；

R_{xx} ——空船横摇惯性矩半径， m ；

R_{yy} ——空船纵摇惯性矩半径， m ；

R_{zz} ——空船艏摇惯性矩半径， m ；

B ——船型宽， m ；

L ——船长， m ；

d ——空船平均型吃水， m ；

R_x, R_y ——惯性矩半径系数；

$c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$ ——拟合系数。

3.2.2.3 当按照 2.2.1.9 (2) 和 2.2.1.9 (3) 开展参数横摇第二层衡准校核或按照 2.2.3.12 和 2.2.3.13 开展谐摇运动第二层衡准校核时，可取 $c_1 = 0.41187$ ； $c_2 = -0.00383$ ； $c_3 = 0.01571$ 。

3.2.3 液体转动惯量

3.2.3.1 应将舱室容积离散后，计算装载情况下各舱室液体装载率对应的转动惯量。液体转动惯量不考虑液体在液舱内部的晃荡作用影响。图 3.2.3.1 给出了压载水舱离散网格示意。

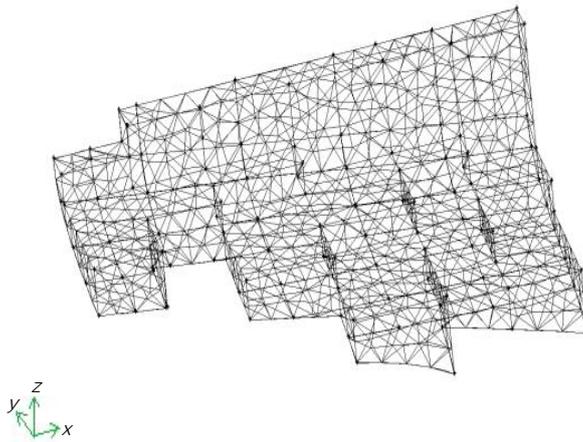


图 3.2.3.1 压载水舱离散网格示意

3.2.4 货物转动惯量

3.2.4.1 集装箱的转动惯量应根据其装载位置采用解析方法计算，也可按排位计算所有集装箱堆垛的转动惯量。其中，集装箱内货物可假定为质量均匀分布。图 3.2.4.1 给出了集装箱堆垛示意。

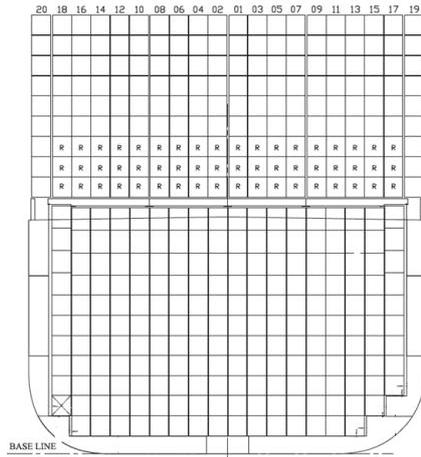


图 3.2.4.1 集装箱堆装示意

3.2.4.2 对于液货船和干货船，装载货物为均质液体或近似均质散货。应将舱室容积离散后，计算装载情况下各舱室装载率对应的横摇转动惯量。液体横摇转动惯量不考虑液体在液舱内部的晃荡作用影响。

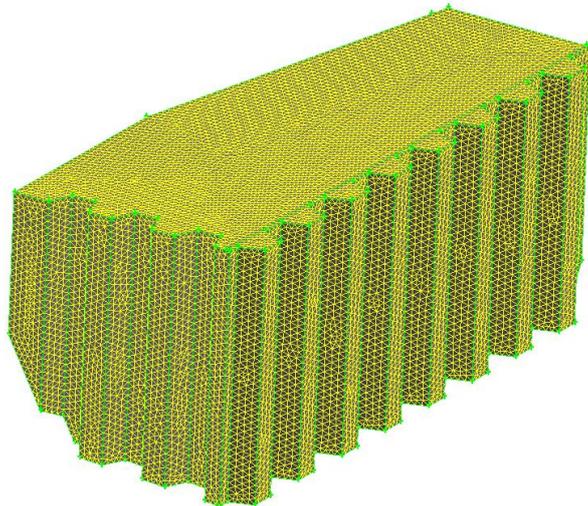


图 3.2.4.2 货舱离散网格示意

3.2.5 人员备品转动惯量

3.2.5.1 集装箱的装载情况的人员备品横摇转动惯量可以按照集中质量处理。

3.2.6 附加转动惯量

3.2.6.1 装载情况的附加横摇转动惯量可以通过模型试验或经验证的 CFD 方法模拟横摇自由衰减获得，或采用三维势流理论方法计算。当使用许用安全区或船载波浪中动稳性验证软件在船上验证装载情况符合性时，附加横摇转动惯量可取为装载情况横摇转动惯量的 10%。

第 3 节 横摇转动惯量经验公式估算方法

3.3.1 横摇转动惯量经验公式

3.3.1.1 船舶各装载情况的横摇转动惯量和附加横摇转动惯量之和可以采用下列经验

公式估算：

(1) 船舶装载情况的横摇转动惯量 $I_{xx} + \Delta I_{xx}$ ， $t \cdot m^2$ ，可采用下式估算：

$$I_{xx} + \Delta I_{xx} = \frac{1}{1000} \frac{\rho g \nabla G M T_r^2}{4 \pi^2}$$

(2) 横摇固有周期 T_r 按《国内航行海船法定检验技术规则》第4篇第7章2.1.8条的要求计算；

(3) 远海航区船舶装载情况的 T_r 也可采用下式计算：

$$T_r = \frac{2 \cdot C \cdot B}{\sqrt{GM}}$$

$$C = 0.373 + 0.023(B/d) - 0.043(L_{WL}/100)$$

式中： ρ ——海水的密度， kg/m^3 ，取 $\rho = 1025.0$ ；

g ——重力加速度， m/s^2 ，取 $g = 9.81$ ；

∇ ——装载情况排水体积， m^3 ；

GM ——装载情况静水初稳性高， m ，计入自由液面修正；

T_r ——装载情况横摇固有周期， s ；

B ——船型宽， m ；

d ——装载情况平均吃水， m ；

L_{WL} ——装载情况水线长， m 。

第 4 章 船舶横摇阻尼

第 1 节 一般规定

4.1.1 一般要求

4.1.1.1 横摇阻尼对于参数横摇和谐摇运动响应具有重要影响，应考虑粘性效应对于横摇阻尼的作用。除采用基于粘流理论方法的软件/程序或水池试验作为等效替代评估方法外，应按本章第 2 节的要求获得船舶横摇阻尼。

第 2 节 船舶横摇阻尼获得方法

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 船舶装载情况的横摇阻尼应采用静水中横摇自由衰减的方式，通过模型试验或经认可的基于粘流理论的计算流体方法（CFD）模拟获得。

4.2.1.2 船舶横摇阻尼的获得应满足以下要求：

(1) 对于谐摇运动第二层衡准，横摇自由衰减的初始横倾角应大于 15 度，由横摇衰减曲线获得等效线性横摇阻尼系数。采用数值计算的等效替代评估方法也可采用线性横摇阻尼系数 δ_1 和三阶横摇阻尼系数 δ_3 的形式；

(2) 对于参数横摇第二层衡准，横摇自由衰减的初始横倾角应大于 25 度，由横摇衰减曲线获得线性横摇阻尼系数 δ_1 和三阶横摇阻尼系数 δ_3 ；

(3) 采用模型试验获取横摇阻尼系数时，每个装载情况的横摇自由衰减试验应采用不同初始横倾角开展至少 4 次；

(4) 获得横摇阻尼系数时，不应考虑主动减摇装置的影响。在提交充分的证据证明所采用计算方法的合理性，并获得批准的情况下，横摇阻尼系数可以计入除舦龙骨以外的非主动减摇装置的作用；

(5) 采用上述方法获得的装载情况横摇阻尼应在“波浪中动稳性报告书”中提供试验/模拟方法和计算结果。

4.2.1.3 在缺乏模型试验和 CFD 模拟结果时，可采用本章 4.2.2 给出的经验公式计算方法获得横摇阻尼系数。

4.2.2 横摇阻尼经验公式计算方法

4.2.2.2 经验公式计算方法如下：

(1) 对于零航速情况，船舶横摇阻尼 B_{44} 组成成分包括摩擦阻尼 B_F 、兴波阻尼 B_W 、涡阻尼 B_E 和舦龙骨阻尼 B_{BK} 。对于有航速情况，还应考虑升力阻尼 B_L 。等效线性阻尼系数 B_{44} 表征为横摇幅值 φ_a 的函数 $B_{44}(\varphi_a)$ 。

$$B_{44} = B_F + B_W + B_E + B_L + B_{BK}$$

横摇阻尼系数 B_{44} 和装载情况对应的横摇固有圆频率 $\omega = 2\pi/T_r$ 的无因次化采用下式：

$$\hat{B}_{44} = \frac{B_{44}}{\rho \nabla B^2} \sqrt{\frac{B}{2g}}$$

$$\hat{\omega} = \omega \sqrt{\frac{B}{2g}}$$

(2) 对于谐摇运动数值计算，可取横摇幅值 $\varphi_a = 15^\circ$ 进行计算 B_{44} ，由 $B_{44} = B_e$ 得到 B_e ；

(3) 对于谐摇运动数值计算, 也可取 $\varphi_a = 1^\circ$ 计算 B_{44} , 由 $B_{44} = \delta_1 \cdot (I_{xx} + \Delta I_{xx})$, 得到 δ_1 ; 取 $\varphi_a = 15^\circ$ 计算 B_{44} , 由 $B_{44} = \delta_1 \cdot (I_{xx} + \Delta I_{xx}) + \frac{3}{4}\delta_3 \cdot (I_{xx} + \Delta I_{xx}) \cdot \varphi_a^2 \cdot \omega^2$, 得到 δ_3 ;

(4) 对于参数横摇数值计算, 取 $\varphi_a = 1^\circ$ 计算 B_{44} , 由 $B_{44} = \delta_1 \cdot (I_{xx} + \Delta I_{xx})$, 得到 δ_1 ; 取 $\varphi_a = 25^\circ$ 计算 B_{44} , 由 $B_{44} = \delta_1 \cdot (I_{xx} + \Delta I_{xx}) + \frac{3}{4}\delta_3 \cdot (I_{xx} + \Delta I_{xx}) \cdot \varphi_a^2 \cdot \omega^2$, 得到 δ_3 ;

(5) 横摇阻尼 B_{44} 应按本章 4.2.2.2 求得。

4.2.2.2 摩擦阻尼 B_F 、兴波阻尼 B_W 、涡阻尼 B_E 、舭龙骨阻尼 B_{BK} 和升力阻尼 B_L 采用下列方式计算:

(1) 经验公式适用范围为:

$$\begin{aligned} 0.5 &\leq C_b \leq 0.85 \\ 2.5 &\leq B/d \leq 4.5 \\ -1.5 &\leq \frac{OG}{d} \leq 0.2 \\ 0.9 &\leq C_m \leq 0.99 \\ 0.01 &\leq b_{BK}/B \leq 0.06 \\ 0.05 &\leq l_{BK}/L_{BP} \leq 0.4 \\ \widehat{\omega} &\leq 1.0 \end{aligned}$$

应用该经验公式估算横摇阻尼时, 如船舶参数超出适用范围, 应直接取为边界值用于计算。

(2) 零航速时摩擦阻尼采用下式计算:

$$B_F = \frac{4}{3\pi} \rho s_f r_f^3 \varphi_a \omega c_f$$

式中: ρ ——海水密度, 取 1025, $\text{kg} \cdot \text{m}^3$;

c_f ——摩擦系数;

r_f ——横摇轴平均半径, m;

s_f ——湿表面积, m^2 。

相关系数计算如下:

$$c_f = 0.74 \frac{\sqrt{T_r v}}{r_f \phi_a}$$

$$r_f = \frac{(0.887 + 0.145C_b) \cdot (1.7d + C_b B) - 2 \cdot OG}{\pi}$$

$$s_f = L(1.75d + C_b B)$$

式中: ϕ_a ——横摇幅值, rad;

v ——海水运动粘性系数, m^2/s ;

C_b ——装载情况方形系数;

B ——船型宽, m;

L ——船长, m;

d ——装载情况平均吃水, m;

OG ——静水面至重心的距离 (指向水下方向为正), m, 取 $OG = d - KG$;

KG——装载情况重心垂向高度，m。

(3) 零航速时兴波阻尼采用下式计算：

$$\hat{B}_W = \frac{A_1}{\hat{\omega}} \cdot \exp(-0.6944A_2(\log(\hat{\omega}) - A_3)^2)$$

相关系数计算如下：

$$x_1 = B/d ; x_2 = C_b ; x_3 = C_m ; x_4 = 1 - OG/d$$

$$A_1 = AA_1 \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^5 Q_{1_{j+4(i-1),k}} x_1^{5-k} x_2^{4-j} x_4^{3-i}$$

$$AA_1 = 1.0 + (1 - x_4) \cdot \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 Q_{1_{j+3(i-1)+12,k}} x_1^{5-k} x_2^{3-j} x_3^{2-i}$$

$$A_2 = \sum_{i=1}^5 Q_{2_i} x_4^{5-i}$$

系数 Q1 和 Q2 由表 4.2.2.2 (3) a 查得。系数 Q1 的第一个下标为表 4.2.2.2 (3) a 的行号，第二个下标为表 4.2.2.2 (3) a 的列号。系数 Q2 的下标为表 4.2.2.2 (3) a 的列号。

系数 Q1 和 Q2

表 4.2.2.2 (3) a

系数 Q1					
	1	2	3	4	5
1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	0.00000	-0.00222	0.04087	-0.28687	0.59942
3	0.00000	0.01019	-0.16118	0.90499	-1.64139
4	0.00000	-0.01542	0.22037	-1.08499	1.83417
5	-0.06287	0.49893	0.52735	-10.79187	16.61633
6	0.11407	-0.81090	-2.21868	25.12697	-37.77298
7	-0.05893	0.26397	3.19497	-21.81266	31.41135
8	0.01077	0.00187	-1.24941	6.94279	-10.20190
9	0.00000	0.19221	-2.78746	12.50785	-14.76486
10	0.00000	-0.35056	5.22235	-23.97485	29.00785
11	0.00000	0.23710	-3.53506	16.36838	-20.53991
12	0.00000	-0.06712	0.96636	-4.40754	5.89470
13	0.00000	17.945	-166.294	489.799	-493.142
14	0.00000	-25.507	236.275	-698.683	701.494
15	0.00000	9.077	-84.332	249.983	-250.787
16	0.00000	-16.872	156.399	-460.689	463.848
17	0.00000	24.015	-222.507	658.027	-660.665
18	0.00000	-8.56	79.549	-235.827	236.579
系数 Q2					
	0.00000	-1.402	7.189	-10.993	9.45

$$A_3 = AA_3 + \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 Q_{3_{ij}} x_2^{7-j} x_4^{7-i}$$

$$AA_3 = \sum_{i=1}^4 Q_{4,1,i} X_1^{4-i} \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^4 Q_{4,j+1,k} X_2^{4-k} X_4^{2-j}$$

$$\cdot \left(\sum_{i=1}^{10} Q_{5,i} \left(x_4 - \sum_{j=1}^4 Q_{4,4,j} X_1^{4-j} \right)^{10-i} + \sum_{i=1}^3 Q_{5,i+9} X_1^{3-i} \right)$$

系数 Q3 由表 4.2.2.2 (3) b 查得。系数 Q3 的第一个下标为表 4.2.2.2 (3) b 的行号，第二个下标为表 4.2.2.2 (3) b 的列号。系数 Q4 和 Q5 由表 4.2.2.2 (3) c 查得。系数 Q4 的第一个下标为表 4.2.2.2 (3) c 的行号，第二个下标为表 4.2.2.2 (3) c 的列号。

系数 Q3

表 4.2.2.2(3)b

系数 Q3							
	1	2	3	4	5	6	7
1	-7686.0287	30131.5678	-49048.9664	42480.7709	-20665.147	5355.2035	-577.8827
2	61639.9103	-241201.0598	392579.5937	-340629.4699	166348.6917	-43358.7938	4714.7918
3	-130677.490 3	507996.2604	-826728.7127	722677.104	-358360.7392	95501.4948	-10682.861 9
4	-110034.658 4	446051.22	-724186.4643	599411.9264	-264294.7189	58039.7328	-4774.6414
5	709672.065 6	-2803850.239 5	4553780.501 7	-3888378.990 5	1839829.259	-457313.693 9	46600.823
6	-822735.928 9	3238899.730 8	-5256636.547 2	4500543.147	-2143487.350 8	538548.119 4	-55751.152 8
7	299122.872 7	-1175773.160 6	1907356.135 7	-1634256.817 2	780020.9393	-196679.714 3	20467.090 4

系数 Q4 和 Q5

表 4.2.2.2 (3)c

系数 Q4				
	1	2	3	4
1	-0.3767	3.39	-10.356	11.588
2	-17.109	41.495	-33.234	8.8007
3	36.566	-89.203	71.8	-18.108
4	0	-0.0727	0.7	-1.2818
系数 Q5				
下标	1	2	3	4
Q5	-1.05584	12.688	-63.70534	172.84571
下标	5	6	7	8
Q5	-274.05701	257.68705	-141.40915	44.13177
下标	9	10	11	12
Q5	-7.1654	-0.0495	0.4518	-0.61655

(4) 零航速时涡阻尼采用下式计算：

$$\widehat{B}_E = \frac{4\widehat{\omega}\varphi_a}{3\pi x_2 \cdot x_1^3} C_R$$

相关系数计算如下：

$$x_1 = B/d ; x_2 = C_b ; x_3 = C_m$$

$$C_R = A_E \cdot \exp(B_{E1} + B_{E2} \cdot x_3^{B_{E3}})$$

$$A_E = (-0.0182x_2 + 0.0155) \cdot (x_1 - 1.8)^3 + \sum_{i=1}^5 Q_{6,1,i} x_2^{5-i}$$

$$B_{E1} = (-0.2x_1 + 1.6) \cdot (3.98x_2 - 5.1525) \frac{OG}{d} \left(\frac{OG}{d} \sum_{i=1}^3 Q_{6,2,i} x_2^{3-i} + \sum_{i=1}^2 Q_{6,2,i+3} x_2^{2-i} \right)$$

$$B_{E2} = (0.25 \frac{OG}{d} + 0.95) \cdot \frac{OG}{d} + \sum_{i=1}^5 Q_{6,3,i} x_2^{5-i}$$

$$B_{E3} = (46.5 - 15x_1) \cdot x_2 + 11.2x_1 - 28.6$$

系数 Q6 由表 4.2.2.2 (4) 查得。系数 Q6 的第一个下标为表 4.2.2.2 (4) 的行号，第二个下标为表 4.2.2.2 (4) 的列号。

系数 Q6

表 4.2.2.2(4)

系数 Q6					
	1	2	3	4	5
1	-79.414	215.695	-215.883	93.894	-14.848
2	0.9717	-1.55	0.723	0.04567	0.9408
3	0	-219.2	443.7	-283.3	59.6

(5) 零航速时舵龙骨阻尼采用下式计算：

$$\widehat{B}_{BK} = A_{BK} \cdot \widehat{\omega} \cdot \exp(B_{BK1} + B_{BK2} \cdot x_3^{B_{BK3}})$$

相关系数计算如下：

$$x_1 = B/d ; x_2 = C_b ; x_3 = C_m$$

$$x_6 = \varphi_a (deg) ; x_7 = \frac{b_{BK}}{B} ; x_8 = \frac{l_{BK}}{L}$$

$$A_{BK} = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 ;$$

$$f_1 = (x_1 - 2.83)^2 \sum_{i=1}^3 Q_{7,1,i} x_2^{3-i} + \sum_{i=1}^3 Q_{7,2,i} x_2^{3-i} ;$$

$$f_2 = \sum_{i=1}^3 Q_{7,3,i} x_6^{3-i} ;$$

$$f_3 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 Q_{7,3+i,j} x_7^{3-j} x_8^{3-i}$$

$$B_{BK1} = \frac{OG}{d} \cdot \left(5x_7 + 0.3x_1 - 0.2x_8 + \sum_{i=1}^3 Q_{7,6,i} x_6^{3-i} \right)$$

$$B_{BK2} = -15x_7 + 1.2x_2 - 0.1x_1 + \sum_{i=1}^3 Q_{7,7,i} \left(\frac{OG}{d} \right)^{3-i}$$

$$B_{BK3} = 2.5 \frac{OG}{d} + 15.75$$

式中： b_{BK} ——舢龙骨宽度，m；

l_{BK} ——舢龙骨长度，m。

系数 Q7 由表 4.2.2.2 (5) 查得。系数 Q7 的第一个下标为表 4.2.2.2 (5) 的行号，第二个下标为表 4.2.2.2 (5) 的列号。

系数 Q7

表 4.2.2.2(5)

系数 Q7			
	1	2	3
1	0	-0.3651	0.3907
2	0	-2.21	2.632
3	0.00255	0.122	0.4794
4	-0.8913	-0.0733	0
5	5.2857	-0.01185	0.00189
6	0.00125	-0.0425	-1.86
7	-0.0657	0.0586	1.6164

(6) 有航速时升力阻尼采用下式计算：

$$\hat{B}_L = \frac{S_L U K_n l_0 l_R}{2 \nabla B^2} \left(1 - 1.4 \frac{OG}{l_R} + 0.7 \frac{OG^2}{l_0 l_R} \right) \sqrt{\frac{B}{2g}}$$

相关系数计算如下：

$$K_n = \frac{2 \pi d}{L_{BP}} + \kappa \left(4.1 \frac{B}{L_{BP}} - 0.045 \right)$$

$$S_L = L_{BP} d, \quad l_0 = 0.3d, \quad l_R = 0.5d, \quad U = F_n \sqrt{L_{BP} g}$$

$$\kappa = \begin{cases} 0 & C_m \leq 0.92 \\ 0.1 & 0.92 < C_m \leq 0.97 \\ 0.3 & 0.97 < C_m \end{cases}$$

4.2.2.3 如采用本章 4.2.2.2 以外的经验公式计算方法，应在“波浪中动稳性报告书”中提交充分的证据证明所采用经验公式的合理性。