



指导性文件  
GD018-2024

中 国 船 级 社

# 集装箱船加速度响应直接 预报指南

2024

2025年1月1日生效

北 京

# 目 录

第1章 通 则.....	3
第1节 一般规定.....	3
第2章 加速度响应直接评估方法.....	4
第1节 一般规定.....	4
第2节 谐摇运动直接评估方法.....	5
第3节 参数横摇直接评估方法.....	5
第3章 船舶转动惯量.....	7
第1节 一般规定.....	7
第2节 转动惯量直接计算方法.....	7
第4章 船舶横摇阻尼.....	10
第1节 一般规定.....	10
第2节 船舶横摇阻尼评估方法.....	10
第5章 风力载荷.....	16
第1节 一般规定.....	16
第2节 风力载荷评估方法.....	16
第6章 集装箱船预防甩箱航行操作限制.....	18
第1节 一般规定.....	18
第2节 航行操作限制.....	18

# 第1章 通则

## 第1节 一般规定

### 1.1.1 目的

1.1.1.1 本指南旨在为集装箱船提供航行中加速度响应的直接计算方法。通过精确预报集装箱承受加速度，为制定和实施船舶操作限制，减少作用在货物堆装系统上的载荷，降低集装箱船甩箱事故风险提供必要的技术依据。

### 1.1.2 适用范围

1.1.2.1 本指南可适用于船长 24m 以上的海上航行集装箱船。

1.1.2.3 经申请，满足本指南相关要求的船舶，可申请签发符合证明。

### 1.1.3 定义

1.1.3.1 除另有规定外，本指南有关定义如下：

- (1) 集装箱船：系指其构造在货舱内和在甲板上专门装载集装箱的船舶。
- (2) 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。
- (3) 风洞试验：系指在风洞中开展的确定船舶风倾力矩的模型试验。
- (4) 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。

### 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；
- (5) 舳龙骨结构图（如适用）；
- (6) 集装箱船加速度响应直接评估报告；
- (7) 预防甩箱航行操作限制手册（如适用）；
- (8) 预防甩箱航行操作限制船载软件及其相关文件（如适用）。

## 第2章 加速度响应直接预报方法

### 第1节 一般规定

#### 2.1.1 一般要求

2.1.1.1 为了精确预报集装箱船装载的集装箱承受的加速度，应评估集装箱船在海上航行时不同运动模式可能产生的大幅加速度响应。

2.1.1.2 可采用水池试验或数值计算开展加速度响应直接评估。

#### 2.1.2 运动模式

2.1.2.1 集装箱船在海上航行时，受到波浪载荷的作用可能导致发生甩箱事故的运动模式包括：

- (1) 谐摇运动；
- (2) 参数横摇。

#### 2.1.3 加速度对于集装箱载荷的影响

2.1.3.1 集装箱船的运动响应会导致所装载的集装箱承受三个方向的加速度，包括：平行于甲板的横向加速度、平行于甲板的纵向加速度以及垂直于甲板垂向加速度。甲板平面为不考虑梁拱的假想平面。

2.1.3.2 横向加速度直接影响扭变力和绑扎力，对集装箱载荷具有重要影响。对于计算压力和分离力时横向载荷的力矩也是起到增加作用的。应精确评估横向加速度，确定集装箱承受的实际载荷。

2.1.3.3 垂向加速度引起的垂向载荷，仅在计算压力时起到增加的作用，在计算分离力时是起到减小载荷的作用。垂向加速度通常可以简化为采用固定值，可取为重力加速度。

2.1.3.4 纵向加速度对于载荷的影响远小于横向加速度，可以简化为采用固定值或忽略。

#### 2.1.4 船舶装载情况

2.1.4.1 应评估典型装载情况下船舶发生谐摇运动和参数横摇时装载集装箱的典型位置的加速度响应。典型装载情况可包括装载情况许用范围内若干排水量、初稳性高（ $GM$ ）、纵倾和横摇转动惯量组合的装载情况，且应至少包括最大和最小  $GM$  值的装载情况。可根据需要评估特定实际装载情况作为补充。

2.1.4.2 应评估全船甲板上典型排位的典型高度舷侧位置的集装箱各装载情况的加速度响应。

#### 2.1.5 环境条件

2.1.5.1 评估应采用长峰不规则波，海浪谱如下：

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

式中： $S$ ——海浪谱密度函数；

$\omega$ ——频率， $\text{rad}$ ；

$H_s$ ——有义波高， $\text{m}$ ；

$T_z$ ——平均跨零周期， $\text{s}$ 。

2.1.5.2 平均跨零周期可取为 6.5s 至 11.5s，周期步长可取为 1s。有义波高计算范围可根据航行海域的环境条件和船长确定，波高步长可取为 1.0m，计算范围建议如下（可根据船长适当增减）：

- (1) 对于船长大于 250m 的船舶，有义波高可取为 3.5m 至 6.0m；
- (2) 对于船长小于 200m 的船舶，有义波高可取为 2.5m 至 4.5m；
- (3) 对于船长大于等于 200m 且小于等于 250m 的船舶，有义波高下限可取为 2.5m，计算有义波高上限可根据船长线性插值得到。

2.1.5.3 风力载荷的影响可以按第 5 章评估。

### 2.1.6 航行条件

2.1.6.1 应评估船舶不同航速和浪向时发生谐摇运动时的横向加速度响应有义值，航行条件应包括：

- (1) 航速范围应包括零航速至服务航速，并至少评估 4 个中间航速；
- (2) 浪向应至少包括 180 度（顶浪）、150 度、120 度和 90 度，并适当增加以便得到加速度响应极值。

2.1.6.2 应评估船舶不同航速和浪向时发生参数横摇时的横向加速度响应有义值，航行条件应包括：

- (1) 航速范围应包括零航速至服务航速，并至少评估 4 个中间航速；
- (2) 浪向应包括迎浪和尾随浪。

## 第 2 节 水池试验预报方法

### 2.2.1 水池试验

2.2.1.1 应由 ITTC 成员单位开展水池试验，测量船舶发生谐摇运动和参数横摇时的加速度响应，并由 CCS 验船师对试验进行见证。

2.2.1.2 谐摇运动模型试验应采用自航模试验技术。

2.2.1.3 运动响应测量应采用惯性或光学测量系统。

2.2.1.4 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。

2.2.1.5 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，其平均值与目标值误差应小于 2%，且初始横倾角取 10 度（误差应小于  $\pm 0.5$  度）；

(4) 初始横倾角取 1 度（误差应小于  $\pm 0.25$  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。

## 第 3 节 数值计算预报方法

### 2.3.1 谐摇运动数值计算

2.3.1.1 应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义值。

2.3.1.2 对于不规则波中谐摇运动引起的船舶横向加速度有义值，数值计算的预报结果

与模型试验获得的值相比较，误差应控制在±25%以内。

2.3.1.3 基于势流理论的计算软件/程序一般包括但不限于如下方法：

- (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。

应考虑粘性效应对船舶横摇阻尼的影响，按第4章要求评估横摇阻尼。

2.3.1.4 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。

2.3.1.5 经CCS认可，可采用本章2.3.1.3和2.3.1.4规定以外的软件/程序开展数值计算。

### **2.3.2 参数横摇数值计算**

2.3.2.1 应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，应至少考虑横摇自由度的影响。允许采用等效波理论进行不规则波中参数横摇响应的预报。

2.3.2.2 基于势流理论的计算软件/程序一般包括但不限于如下方法：

- (1) 基于简化单自由度模型的时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弱非线性船舶运动预报方法。

应考虑粘性效应对船舶横摇阻尼的影响，按第4章要求评估横摇阻尼。

2.3.2.3 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。

2.3.2.4 经CCS认可，可采用本章2.3.2.2和2.3.2.3规定以外的软件/程序开展数值计算。

# 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加速度评估。其中，横摇转动惯量对于集装箱船横向加速度的评估精度具有重要影响。

## 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。

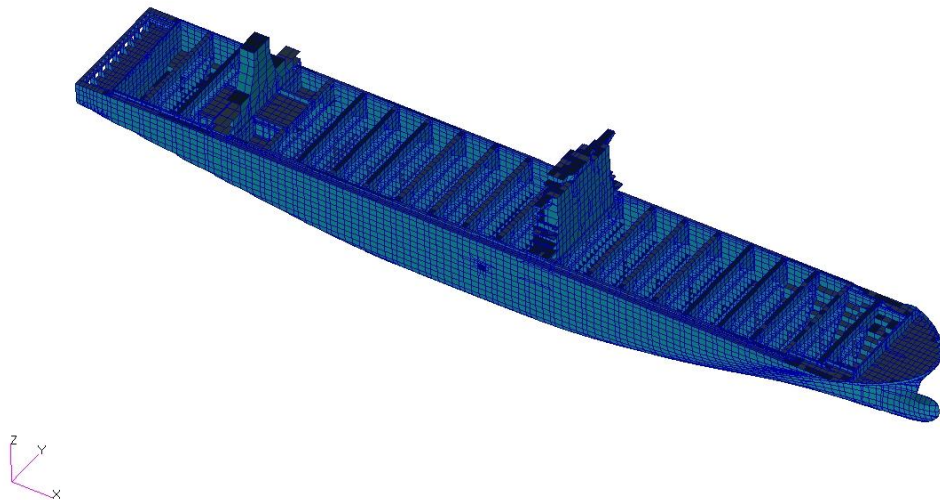


图 3.2.2.1 集装箱空船离散模型示意

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

$$I_{xx} = \Delta \cdot R_{xx}^2 \quad R_{xx} = R_x \cdot B$$

$$I_{yy} = \Delta \cdot R_{yy}^2 \quad R_{yy} = R_y \cdot L$$

$$I_{zz} = \Delta \cdot R_{zz}^2 \quad R_{zz} \approx R_{yy}$$

$$R_x = c_1 + c_2 \cdot (B/d) + c_3 \cdot (L/100)$$

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

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

$\Delta$ ——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。

### 3.2.3 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。

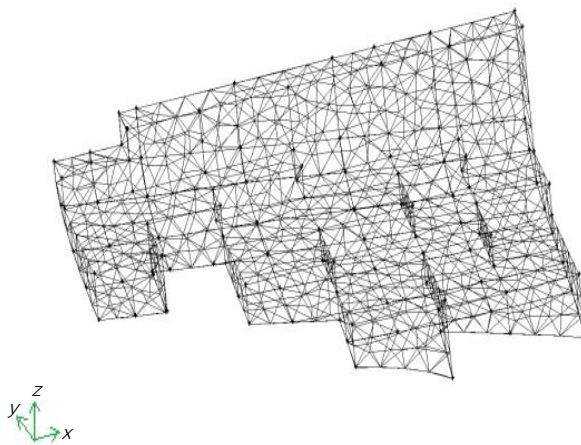


图 3.2.3.1 压载水舱离散网格示意

### 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。

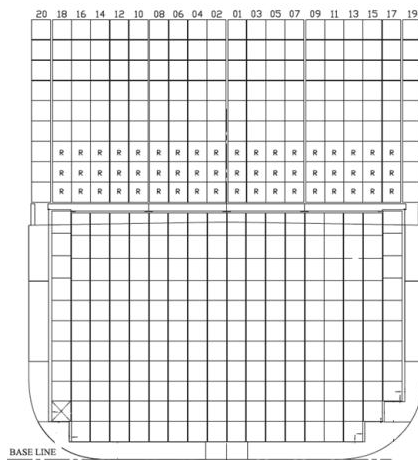


图 3.2.4.1 集装箱堆装示意

### 3.2.5 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 装载情况的附加转动惯量可以采用三维势流理论方法直接计算，当采用简化单自由度模型的时域船舶运动预报方法进行参数横摇加速度数值计算时，也可通过模型试验或经验证的 CFD 方法模拟横摇自由衰减获得。

# 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 采用基于势流理论的软件/程序开展数值计算评估集装箱船加速度响应时，横摇阻尼的精度对于横向加速度响应预报有重要影响。应考虑粘性效应对于横摇阻尼的影响。

## 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）的数值模拟获得。

4.2.1.2 船舶横摇阻尼的获得应满足以下要求：

（1）对于谐摇运动的数值计算，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，或采用线性横摇阻尼系数 $\delta_1$ 和三阶横摇阻尼系数 $\delta_3$ 的形式；

（2）对于参数横摇的数值计算，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 $\delta_1$ 和三阶横摇阻尼系数 $\delta_3$ ；

（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舳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“集装箱船加速度响应直接评估报告”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

4.2.2.1 在缺乏模型试验或经认可的 CFD 模拟结果时，允许采用下述经验公式方法估算横摇阻尼系数用于部分或全部装载情况的数值计算：

（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 $B_E$ 和舳龙骨阻尼 $B_{BK}$ 。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 $\phi_a$ 的函数 $B_{44}(\phi_a)$ 。

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

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  $\delta_1$ ; 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  $\delta_3$ ;
- (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  $\delta_1$ ; 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  $\delta_3$ ;
- (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  $B_E$ 、艏龙骨阻尼  $B_{BK}$  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:

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

式中:  $\rho$ ——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,  $\text{m}^2$ 。

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:  $\phi_a$ ——横摇幅值, rad;

$v$ ——海水运动粘性系数,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

$C_b$ ——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：

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

相关系数计算如下：

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

$$A_1 = AA_1 \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^5 Q1_{j+4(i-1),k} x_1^{5-k} x_2^{4-j} x_4^{3-i}$$

$$AA_1 = 1.0 + (1 - x_4) \cdot \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 Q1_{j+3(i-1)+12,k} x_1^{5-k} x_2^{3-j} x_3^{2-i}$$

$$A_2 = \sum_{i=1}^5 Q2_i x_4^{5-i}$$

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

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

$$AA_3 = \sum_{i=1}^4 Q_{41,i} x_1^{4-i} \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^4 Q_{4j+1,k} x_2^{4-k} x_4^{2-j}$$

$$\cdot \left( \sum_{i=1}^{10} Q_{5i} \left( x_4 - \sum_{j=1}^4 Q_{4,j} x_1^{4-j} \right)^{10-i} + \sum_{i=1}^3 Q_{5i+9} x_1^{3-i} \right)$$

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	-130677.4903	507996.2604	-826728.7127	722677.104	-358360.7392	95501.4948	-10682.8619
4	-110034.6584	446051.22	-724186.4643	599411.9264	-264294.7189	58039.7328	-4774.6414
5	709672.0656	-2803850.2395	4553780.5017	-3888378.9905	1839829.259	-457313.6939	46600.823
6	-822735.9289	3238899.7308	-5256636.5472	4500543.147	-2143487.3508	538548.1194	-55751.1528
7	299122.8727	-1175773.1606	1907356.1357	-1634256.8172	780020.9393	-196679.7143	20467.0904

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：

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

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) 零航速时舢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：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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“集装箱船加速度响应直接评估报告”中提交充分的证据证明所采用经验公式的合理性。

# 第5章 风力载荷

## 第1节 一般规定

### 5.1.1 一般要求

5.1.1.1 集装箱船在甲板上装载大量集装箱时，受到风力载荷的影响，可能会导致谐摇运动横摇响应增大以及参数横摇发生的临界波高降低。建议可以通过考虑风力载荷，提高集装箱船横向加速度的评估精度。

5.1.1.2 如考虑风力载荷对集装箱船加速度响应的影响，可假定风向与浪向不一致，并仅考虑风力载荷对横摇自由度的影响。评估时风向可简化为横风。

### 5.1.2 环境条件

5.1.2.1 评估风力载荷包括定常风和阵风引起的载荷两部分。阵风的风速可采用风谱计算，并与定常风风速相关。定常风风速计算范围可根据航行海域的环境条件和船长确定，计算步长可取为 1.0m/s，计算范围建议如下（可根据船长适当增减）：

- (1) 对于船长大于 250m 的船舶，定常风风速可取为 22.6m/s 至 26.0m/s，
- (2) 对于船长小于 200m 的船舶，定常风风速可取为 19.0m/s 至 26.0m/s。
- (3) 对于船长大于等于 200m 且小于等于 250m 的船舶，定常风风速计算上限可取为 26.0m/s，定常风风速计算下限可根据船长线性插值得到。

## 第2节 风力载荷评估方法

### 5.2.1 风力载荷计算

5.2.1.1 可采用下式计算风力载荷：

$$F_4^W = 0.5 \rho_{air} C_m (U_w + U(t))^2 A_L H_c$$
$$U(t) = \sum_{i=1}^{N_w} b_i \sin(\omega_i t + \varepsilon_i) \quad b_i = \sqrt{2 S_{wind}(\omega_i) \delta \omega}$$
$$S_{wind}(\omega_i) = 4K \frac{U_w^2}{\omega_i} \frac{X_D^2}{(1 + X_D^2)^{4/3}}$$
$$K = 0.003 \quad X_D = 600 \frac{\omega_i}{\pi U_w}$$

式中： $U_w$ 、 $U(t)$ ——风速横向分量中平均风速和时历风速变化项，m/s；

$A_L$ ——船侧面受风面积，m<sup>2</sup>；

$H_c$ ——风倾力臂，m；

$C_m$ ——空气阻力系数。

5.2.1.2 风倾力臂可参照国际海事组织 MSC.1/Circ.1200 通函提供的风洞试验方法和水池试验方法确定。当缺乏试验结果时，可取为从侧受风面积中心至平均吃水 1/2 处的垂直距

离。

5.2.1.3 可采用船侧投影面积作为船侧受风面积。

5.2.1.4 空气阻力系数需要考虑不同风向及船舶横摇角的影响。出于简化可以忽略风向和横倾角的影响，将其假定为常数。该系数可以采用风洞试验测量。在缺乏试验数据的情况下，可简化取为 1.22。

# 第 6 章 集装箱船预防甩箱航行操作限制

## 第 1 节 一般规定

### 6.1.1 一般要求

6.1.1.1 基于本指南获得的加速度响应评估结果，可以获得装载情况自船艏至船尾甲板上典型排位的典型高度舷侧位置的绑扎系固载荷，并制定相应的预防甩箱航行操作限制。可用于指导船员合理规划航线，规避可能引起甩箱的海况和航行条件组合，降低事故风险。

6.1.1.2 预防甩箱航行操作限制可使用以下两种方式之一制定，包括：

(1) 可使用与装载情况相关的，能够规避甩箱的安全海况及航行条件组合，以手册形式提供给船员；

(2) 可使用船载软件，在船上根据配载的装载情况给出能够规避甩箱的安全海况及航行条件组合。

## 第 2 节 航行操作限制

### 6.2.1 预防甩箱航行操作限制手册

6.2.1.1 预防甩箱航行操作限制手册应满足以下要求：

(1) 航行操作限制应根据装载情况分别制定，装载情况信息包括排水量、GM 值、横摇转动惯量和纵倾等；

(2) 航行操作限制给出的安全海况及航行条件组合应包括：有义波高、浪向、航速；

(3) 应给出自船首至船尾甲板上典型排位的典型高度舷侧位置防止甩箱的集装箱最大质量。

### 6.2.2 船载软件

6.2.2.1 船载软件应满足以下要求：

(1) 软件应能够根据输入的装载情况，给出安全海况及航行条件组合，包括：有义波高、浪向、航速；

(2) 软件应给出自船艏至船尾甲板上典型排位的典型高度舷侧位置防止甩箱的集装箱最大质量。

(3) 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。

(4) 软件应使用直接计算方法或适当的代理模型获得装载情况的加速度响应及相应的航行操作限制；

(5) 软件应基于“集装箱船加速度响应直接评估报告”提供的典型装载情况进行测试，并达到等效的精度。