

# 船型参数对船舶骑浪/横甩薄弱性衡准影响分析<sup>1</sup>

储纪龙, 顾民, 鲁江, 王田华

(中国船舶科学研究中心 水动力学重点实验室, 无锡, 214082, Email: long8616767@163.com)

**摘要:** 目前, 国际海事组织 (IMO) 正在制定第二代完整稳性衡准, 其中就包括骑浪/横甩薄弱性衡准, 用以评估船舶在波浪中发生骑浪/横甩的概率, 确保船舶在实际海况中安全航行。本研究首先以易于发生骑浪/横甩稳性失效的渔船为例, 选取船型主尺度  $L$ 、 $B$ 、 $D$ , 船型系数  $C_b$ 、 $C_r$  以及浮心垂向坐标  $Z_b$  为特征参数, 利用 CAESSES 软件进行船型变换生成系列新船型; 然后根据最新骑浪/横甩薄弱性衡准方法, 对新船型进行骑浪/横甩薄弱性衡准计算, 分析各个特征参数的变化对船舶骑浪/横甩薄弱性的影响趋势, 为 IMO 船舶第二代完整稳性衡准骑浪/横甩薄弱性衡准的制定提供技术支撑。

**关键词:** 第二代完整稳性衡准; 骑浪/横甩; 船型参数; 船型变换

## 1 引言

目前, 国际海事组织 (IMO) 正在制定第二代完整稳性衡准, 包括参数横摇、纯稳性丧失、瘫船稳性、过度加速度和骑浪/横甩 5 种稳性失效模式。每种失效模式衡准都由 3 个层次的评估方法组成, 分别为第一层薄弱性衡准、第二层薄弱性衡准和直接稳性评估, 3 层评估方法的计算复杂性依次递增, 评估的准确性也依次提高<sup>[1-2]</sup>。

所谓骑浪, 就是船舶在随浪或尾斜浪中高速航行时, 被波浪捕获并以波速前进的现象。通常船舶在波浪的下坡段发生骑浪, 处于骑浪状态下的船舶, 多数会因航向的不稳定性而不可控制的转向, 发生横甩, 横甩产生的大幅横摇严重时会导致船舶倾覆, 严重威胁驱逐舰等高速舰艇, 以及渡船、渔船等高速小型船舶的航行安全。

本研究以 IMO 最新骑浪/横甩薄弱性衡准方法为基础, 基于自主开发的骑浪/横甩薄弱性衡准校核软件, 以易于发生骑浪/横甩稳性失效的两艘渔船为研究对象, 通过母型船改型, 进行骑浪/横甩薄弱性衡准计算、比较和分析, 开展船型参数对船舶骑浪/横甩薄弱性衡准的

<sup>1</sup> 基金项目: 工业和信息化部 and 财政部高技术船舶项目([2017]614)

影响分析研究。

## 2 计算方法

### 2.1 骑浪/横甩薄弱性衡准

如果船舶满足条件 (1)，则认为该船舶满足第一层衡准校核，不易发生骑浪/横甩；对于不满足条件的船舶，需要进行第二层衡准校核。

$$L > 200\text{m} \quad \text{或} \quad Fr \leq 0.3 \quad (1)$$

式中： $L$  为船长； $Fr$  为船舶静水服务航速对应的佛汝德数。

如果船舶静水服务航速对应的衡准值  $C$  小于标准值 0.005，则认为该船舶满足第二层衡准校核，不易发生骑浪/横甩。衡准值  $C$  计算公式：

$$C = \sum_{HS} \sum_{TZ} \left( W2(H_S, T_Z) \sum_{i=1}^{N_\lambda} \sum_{j=1}^{N_a} W_{ij} C2_{ij} \right) \quad (2)$$

式中： $W2(H_S, T_Z)$  为短期海况的权重因子，代表长期波浪统计数据中各个短期海况的发生概率，是有义波高  $H_S$  和平均跨零周期  $T_Z$  的函数，这里采用北大西洋波浪统计的散点图； $W_{ij}$  为短期海况中各个规则波的统计权重； $C2_{ij}$  为判断规则波中是否发生骑浪的标准； $N_\lambda=80$ ， $N_a=100$ <sup>[3-4]</sup>。

### 2.2 阻力预报方法

本文中采用 Holtrop 法估算船舶阻力，近似公式为

$$R = R_F(1+k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (3)$$

式中： $R$  为总阻力； $R_F$  为摩擦阻力； $R_{APP}$  为附体阻力； $R_W$  为兴波阻力； $R_B$  为球鼻艏水线附近的黏压阻力； $R_{TR}$  为浸没方艏产生的黏压阻力； $R_A$  为船模修正阻力； $1+k_1$  为船体的形状因子。 $R_F, R_{APP}, R_W, R_B, R_{TR}, R_A$  和  $k_1$  的详细计算公式以及 Holtrop 法对船舶骑浪/横甩薄弱性衡准的影响分析分别参见文献[5]和文献[6]。

### 2.3 船型变换

根据母型船型线图利用 NAPA 软件对母型船进行船体建模，并将模型以 IGS 文件形式导入 CAESES 软件，然后利用 CAESES 中的 Lackenby、Scale 及 Deltashift 方法对母型船进行船型变换得到变形后的光顺船体型线。在船型变换中，特征参数的选取直接影响了船体几何形状，本文主要研究船型主尺度和船型系数对船舶骑浪/横甩稳性失效的影响，所以选取了在实际设计中较为关注的几个特征参数：包括船长（垂线间长） $L$ 、船宽  $B$ 、型深  $D$ 、方形系数  $C_b$ 、水线面系数  $C_w$ 、浮心垂向坐标  $Z_b$ 。通过这些特征参数，进行船型变换得到系列船型。当仅改变  $L, B, D$  中某一主尺度参数时，其余主尺度参数保持不变；当改变

$C_b$ 、 $C_w$ 、 $Z_b$ 时，主尺度参数保持不变<sup>[7]</sup>。

### 3 实例分析

本文选择了两艘渔船分析船型参数对船舶骑浪/横甩稳性失效的影响。两艘渔船的主要参数如表 1 所示。

表 1 样船的主要参数

主要参数	渔船 1	渔船 2
船长（垂线间长） $L/m$	49.2	65.6
船宽 $B/m$	7.8	11.1
型深 $D/m$	3.9	7.0
吃水 $d/m$	3.187	4.447
服务航速对应的 $Fn$	0.40	0.56

首先设定船型参数变化系数=变形后船型的船型参数/母型船的船型参数，例如  $L$  变化系数=变形后船型船长/母型船船长。为了衡量船型特征参数对船舶骑浪/横甩稳性失效的影响，以变形后船型的衡准值  $C$  相对于母型船衡准值  $C_0$  的变化率  $\Delta C/C_0=(C-C_0)/C_0$  为判定标准。如果  $\Delta C/C_0$  大于 0，说明相对于母型船变形后船型的骑浪/横甩稳性失效概率增加，更易发生骑浪/横甩现象；如果  $\Delta C/C_0$  小于 0，说明相对于母型船变形后船型的骑浪/横甩稳性失效概率减小，不易发生骑浪/横甩现象。

船长变化系数取 0.95-1.05，根据母型船的船长  $L$  和服务航速对应的  $Fn$  可知，两艘渔船的母型船和系列变换船型都不满足骑浪/横甩第一层薄弱性衡准，需要进行骑浪/横甩第二层薄弱性衡准校核。进而根据船舶骑浪/横甩第二层薄弱性衡准计算，分析船型特征参数对两艘渔船系列变换船型骑浪/横甩稳性失效的影响。

#### 3.1 船长对骑浪/横甩薄弱性衡准影响分析

图 1 和图 2 分别为船长对渔船 1 系列和渔船 2 系列在不同  $Fn$  条件下骑浪/横甩第二层薄弱性衡准  $C$  值的影响结果。

从图 1 中可以看出，对于渔船 1 系列，增大船长会增大船舶的骑浪/横甩稳性失效概率，使船舶更易发生骑浪/横甩稳性失效；且在  $Fn$  较小时，船长对船舶骑浪/横甩稳性失效概率影响较大，随着  $Fn$  的增大，船长对船舶骑浪/横甩稳性失效概率的影响逐渐减小。

从图 2 中可以看出，对于渔船 2 系列，在  $Fn$  相对较小约为 0.30~0.39 范围内时，船舶的骑浪/横甩稳性失效概率随着船长的增大而增大；而在  $Fn$  相对较大约为 0.40~0.47 范围内时，船舶的骑浪/横甩稳性失效概率随着船长的增大而减小；从整体上看，与渔船 1 相比，船长对渔船 2 的骑浪/横甩稳性失效概率影响相对较小。

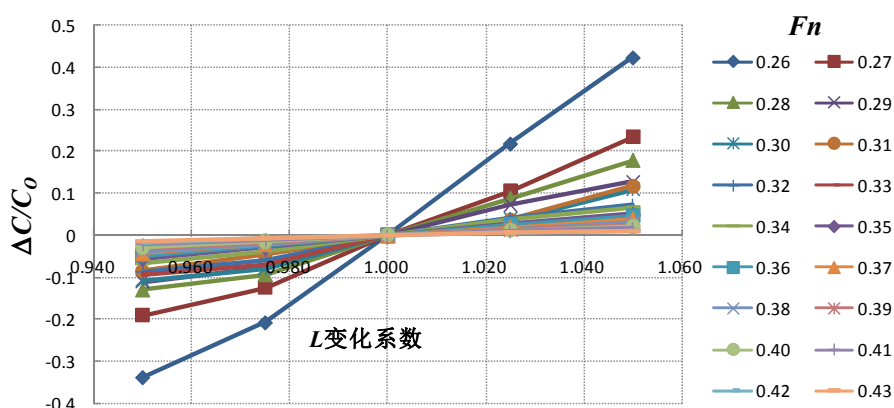


图1 船长对渔船1系列骑浪/横甩薄弱性衡准影响

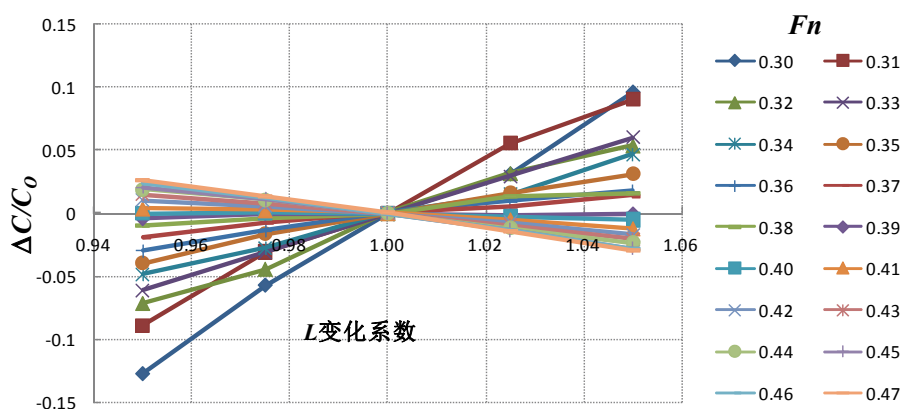


图2 船长对渔船2系列骑浪/横甩薄弱性衡准影响

### 3.2 船宽对骑浪/横甩薄弱性衡准影响分析

图3和图4分别为船宽对渔船1系列和渔船2系列在不同 $Fn$ 条件下骑浪/横甩第二层薄弱性衡准 $C$ 值的影响结果。

从图3中可以看出,对于渔船1系列,增大船宽会降低船舶的骑浪/横甩稳性失效概率,使船舶不易发生骑浪/横甩稳性失效;在 $Fn$ 较小时,船宽对船舶骑浪/横甩稳性失效概率影响较大,随着 $Fn$ 的增大,船宽对船舶骑浪/横甩稳性失效概率的影响逐渐减小。

从图4中可以看出,对于渔船2系列,船宽对船舶的骑浪/横甩稳性失效概率影响相对较小,而且规律性不大。

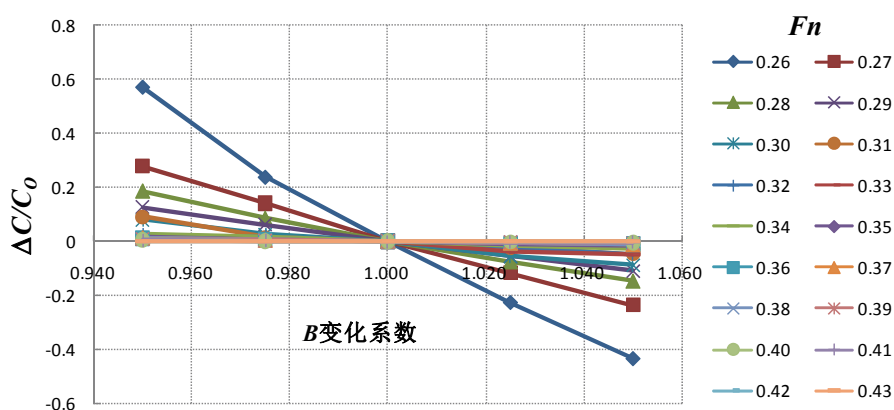


图3 船宽对渔船1系列骑浪/横甩薄弱性衡准影响

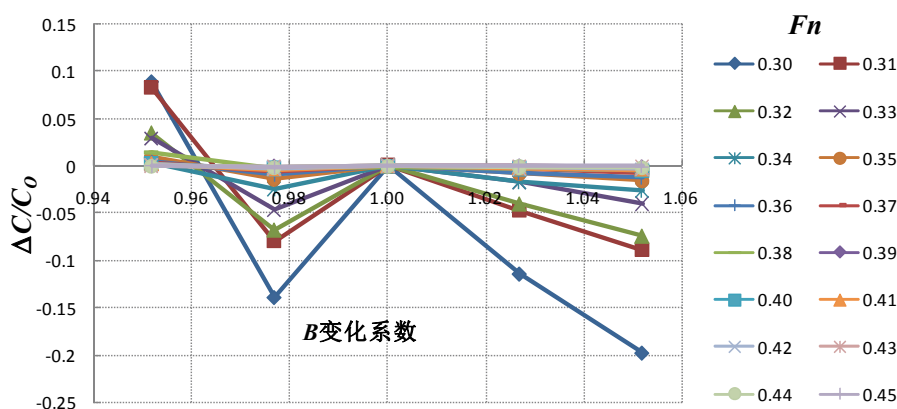


图4 船宽对渔船2系列骑浪/横甩薄弱性衡准影响

### 3.3 型深对骑浪/横甩薄弱性衡准影响分析

图5和图6分别为型深对渔船1系列和渔船2系列在不同 $Fn$ 条件下骑浪/横甩第二层薄弱性衡准 $C$ 值的影响结果。

从图5和图6中可以看出，对于渔船1系列和渔船2系列，增大型深会增大船舶的骑浪/横甩稳性失效概率，使船舶更易发生骑浪/横甩稳性失效； $Fn$ 较小时，型深对船舶骑浪/横甩稳性失效概率影响较大，随着 $Fn$ 的增大，型深对船舶骑浪/横甩稳性失效概率的影响逐渐减小。

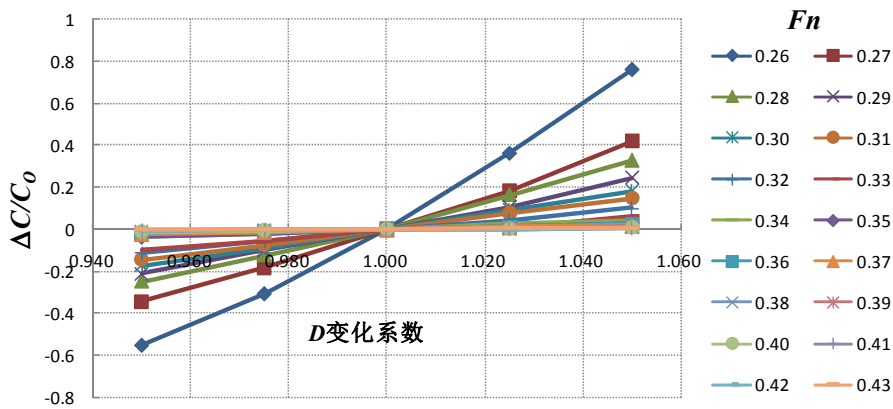


图5 型深对渔船1系列骑浪/横甩薄弱性衡准影响

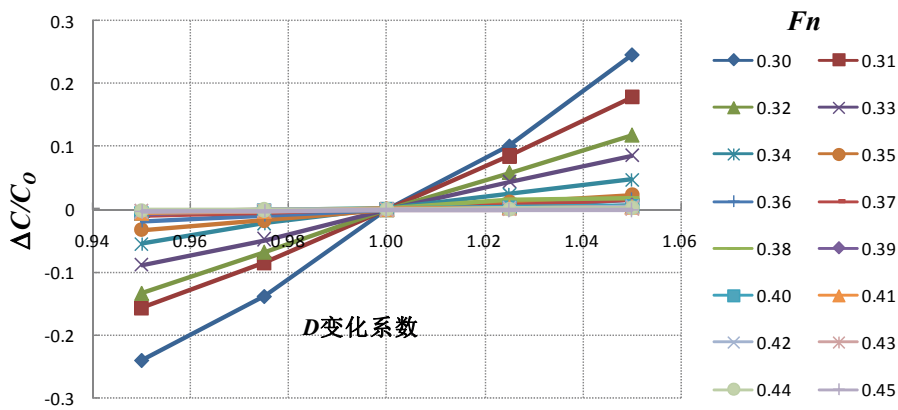


图6 型深对渔船2系列骑浪/横甩薄弱性衡准影响

### 3.4 $C_b$ 、 $C_w$ 和 $Z_b$ 对骑浪/横甩薄弱性衡准影响分析

图7至图9分别为方形系数  $C_b$ 、水线面系数  $C_w$  和浮心垂向坐标  $Z_b$  对渔船1系列在不同  $Fn$  条件下骑浪/横甩第二层薄弱性衡准  $C$  值的影响结果。

从图7至图9中可以看出，增大  $C_b$ 、 $C_w$  和  $Z_b$  会降低船舶的骑浪/横甩稳性失效概率，使船舶不易发生骑浪/横甩稳性失效； $Fn$  较小时， $C_b$ 、 $C_w$  和  $Z_b$  对船舶骑浪/横甩稳性失效概率影响较大，随着  $Fn$  的增大， $C_b$ 、 $C_w$  和  $Z_b$  对船舶骑浪/横甩稳性失效概率的影响逐渐减小。

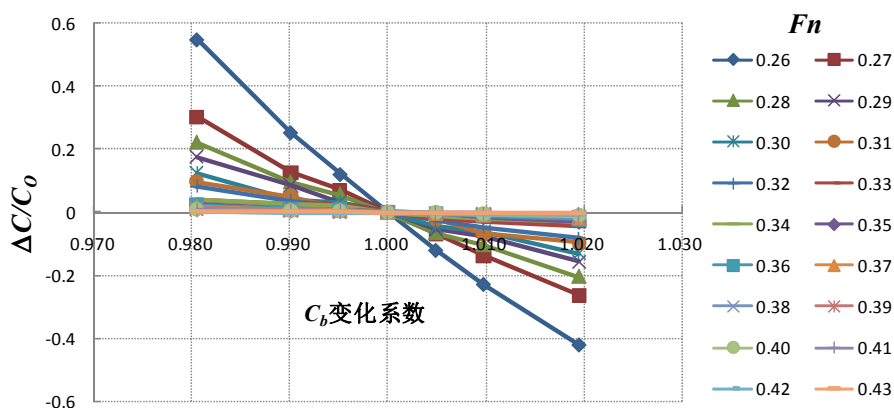


图7 方形系数对渔船1系列骑浪/横甩薄弱性衡准影响

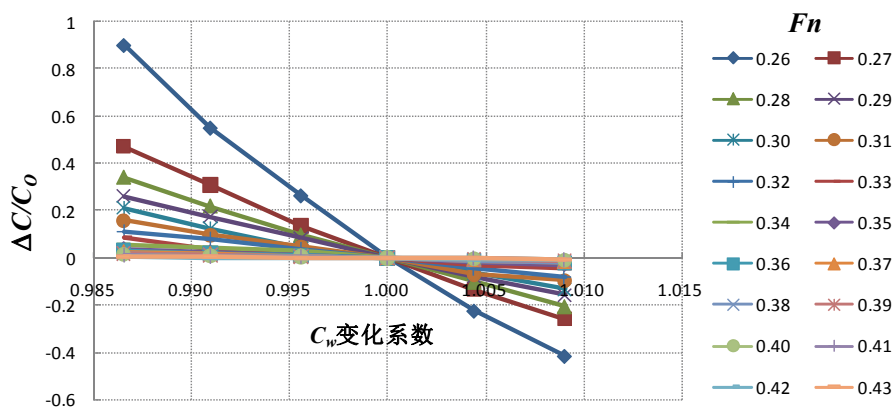


图8 水线面系数对渔船1系列骑浪/横甩薄弱性衡准影响

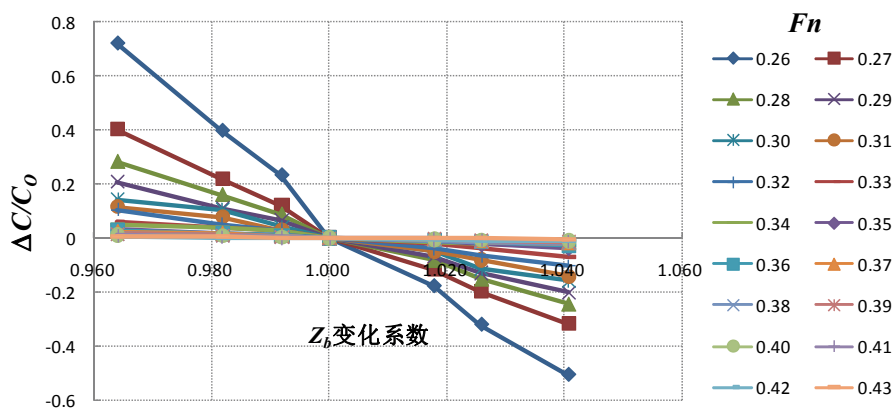


图9 浮心垂向坐标对渔船1系列骑浪/横甩薄弱性衡准影响

## 4 结论

本研究以两艘渔船为例, 基于最新骑浪/横甩薄弱性衡准方法, 分析了船长、船宽、型深、方形系数、水线面系数和浮心垂向坐标等特征参数对船舶骑浪/横甩薄弱性衡准的影响。分析表明: ①对于渔船 1 系列, 船舶的骑浪/横甩稳性失效概率随着  $B$ 、 $C_b$ 、 $C_w$  和  $Z_b$  的增大而降低, 使船舶不易发生骑浪/横甩稳性失效; 船舶的骑浪/横甩稳性失效概率随着  $L$  和  $D$  的增大而增大, 使船舶更易发生骑浪/横甩稳性失效。②对于渔船 2 系列, 在  $Fn$  相对较低时, 船舶的骑浪/横甩稳性失效概率随着船长的增大而增大; 随着  $Fn$  的增大, 船舶的骑浪/横甩稳性失效概率随着船长的增大而减小。船舶的骑浪/横甩稳性失效概率随着  $D$  的增大而增大, 使船舶更易发生骑浪/横甩稳性失效。船宽对船舶的骑浪/横甩稳性失效概率影响相对较小, 而且规律性不大。③随着  $Fn$  的增大,  $L$ 、 $B$ 、 $D$ 、 $C_b$ 、 $C_w$  和  $Z_b$  对船舶骑浪/横甩稳性失效概率的影响逐渐减小。

## 参 考 文 献

- 1 Information collected by the correspondence group on intact stability[R]. IMO SLF 53/INF.10, 2011.
- 2 Development of second generation intact stability criteria, report of the working group (part 1)[R]. IMO SLF 53/WP.4, 2011.
- 3 Draft amendments to part B of the IS CODE with regard to vulnerability criteria of levels 1 and 2 for the surf-riding/broaching failure mode[R]. SDC 2/WP.4, Annex3, 2015.
- 4 Draft explanatory notes on the vulnerability of ships to the surf-riding/broaching stability failure mode[R]. SDC 3/WP.5 Annex 5, 2016.
- 5 Holtrop J. A Statistical Re-analysis of Resistance and Propulsion Data[J]. Intl Shipbuilding Progress, Vol.31, No363, 1984: 272-276.
- 6 储纪龙, 顾民, 鲁江, 邱耿耀. 阻力对船舶骑浪/横甩薄弱性衡准影响分析[C]. 第二届全国船舶稳性学术研讨会论文集, 2018: 260-271.
- 7 马坤, 杨博, 胡高源. 船型参数对纯稳性丧失薄弱性的影响[J]. 中国造船, 2018,59(3): 81-88.



## **Influence of ship form parameters on the vulnerability criteria for surf-riding and broaching**

CHU Ji-long, GU Min, LU Jiang, WANG Tian-hua

(China Ship Scientific Research Center, National Key Laboratory of Science and Technology on Hydrodynamics, Wuxi, 214082, Email: long8616767@163.com)

**Abstract:** The second generation intact stability criteria are under development by the International Maritime Organization (IMO), including the vulnerability criteria for surf-riding/broaching, which is used to evaluate the probability of surf-riding and broaching in waves to ensure the safety of ships in actual seaways. In this paper, taking the fishing boats as an example, new ships are produced by using the software CAESES with changing ship form parameters  $L$ ,  $B$ ,  $D$ ,  $C_b$ ,  $C_w$  and  $Z_b$ . Based on the approach of vulnerability criteria for surf-riding/broaching, the new ships are calculated to analyze the influence of ship form parameters on the vulnerability criteria of surf-riding and broaching. This study provides technical support for the development of vulnerability criteria for surf-riding/broaching in the second generation intact stability criteria.

**Key words:** second generation intact stability criteria; Surf-riding/Broaching; ship form parameters; ship transformation.