

IMO 二代完整稳性模型试验技术综述

师超, 兰波, 韩阳, 刘长德

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

摘要: 国际海事组织(IMO)制定的第二代完整稳性衡准,确定了5种失效模式。国内外学者针对5种失效模式,开展其评估方法和衡准研究,而模型试验是验证评估方法不可缺少的手段。本文结合参数横摇、纯稳性丧失、瘫船稳性、骑浪/横甩和过度加速度五种稳性失效模式机理,凝练试验关键技术,形成了模型试验方法,并以ONR为研究对象,开展了模型试验。

关键词: 二代完整稳性; 模型试验; 试验技术

1 引言

船舶完整稳性是船舶重要的水动力性能,是船舶航行安全的重要基础这一,在船舶的设计阶段,特别是船型开发阶段,需对其稳性性能进行评估,降低海上航行过程中船舶因稳性问题而倾覆的危险。多年来,人们不断地致力于探索能够保证船舶航行安全的完整稳性衡准,国际海事组织(IMO)经过持续评估和修订,起草了《2008年国际完整稳性规则》,即第一代完整稳性规则,为船舶安全提供保障。

但是,随着海上运输的不断发展,航行日程也更加密集,尽管满足了现行稳性规范要求,但船舶的安全事故也时有发生,甚至会发生船舶倾覆,第一代稳性规则的不足已显现出来。因此,IMO在2008年启动了新一代稳性衡准的制定工作,不断收集、讨论稳性衡准提案,于第53届会议上正式确定“第二代完整稳性衡准”的制定,同进确定了5种稳性失效模式,包括纯稳性丧失、参数横摇、骑浪/横甩、瘫船稳性和过度加速度。

五种失效模式评估体系由第一层薄弹弱衡准、第二层薄弱衡准和稳性直接评估组成,3层评估方法由易到难,第一层和第二层薄弱性衡准没有通过的情况下,才需进行第三层评估。稳性评估涉及到船舶稳性、耐波性、操纵性等多学科交叉问题,是非常复杂的水动力学计算问题,所建立的评估方法需要经过模型试验的有效验证。本文结合二代完整稳性五种失效模式特点,提炼模型试验方法的关键技术,形成了模型试验方法,并以目标船为研究对象,开展相应模型试验,是掌握船舶在波浪中稳性失效运动特性及数值评估方法验证

的基础。

2 纯稳性丧失和骑浪/横甩模型试验技术

纯稳性丧失主要是指船舶在随浪/尾斜浪以较高航速航行时,波浪以接近船速的速度超越船舶,如果波峰在船中保持足够的时间,稳性力臂急剧减少,发生稳性损失而发生大幅横摇甚至倾覆的现象。

船舶在随浪/尾斜浪中航行时,波浪从船尾方向接近船舶,波浪的传播速度与船舶的航行速度相同,这样波形相对于船舶保持不变,称之为骑浪现象,在波浪作用下,船舶航行发生突然偏转,即使操满舵也无法保持航向,发生大幅转艏并伴有大幅横摇运动,剧烈情况下导致船舶倾覆,这种现象称之为横甩。

开展纯稳性丧失和骑浪/横甩模型试验,可能会发生倾覆,使仪器仪表进水,具有较大危险性,所以国内外开展试验研究工作较少。

纯稳性丧失现象最早是 Yamakoshi 研究渔船在波浪中倾覆特点时发现的。Nakamura 研发了自航模系统可用于开展随浪状态下纯稳性丧失模型试验。Masami 等开展了随浪中稳性试验研究重点测量模型在随浪中横摇力矩的变化。日本学者以 ONR 为研究对象,开展了随浪状态下不同波浪条件、稳性高状态下的纯稳性丧失模型试验。

Nicholson 和 Fuwa 等在耐波性/操纵性水池中,进行尾斜浪中操纵控制模型试验,再现了驱逐舰和高速渔船在波浪中的骑浪横甩现象,Kan 等和 Umeda 等在耐波性/操纵性水池中进行尾斜浪自航模试验,研究了集装箱船和渔船的骑浪横甩问题。

开展纯稳性丧失和骑浪/横甩两种模型试验,重点解决船舶的运动姿态测量,还需建立模型操控系统实现模型在波浪中自航及操舵保持航向功能。图 1 和图 2 为典型试验照片和结果。

(1) 试验环境:建议试验水域有足够的长度和宽度,水深大于 1/2 最大波长。水池可模拟规则波、不规则波,且精度满足试验要求。

(2) 试验模型:试验模型要保证与实船几何相似,满足加工误差,采用水密构造,避免发生倾覆现象损坏试验设备。

(3) 试验状态调试:试验前需对船舶的重心、质量惯性矩及初稳性高进行调试,满足试验要求。

(4) 试验测试系统:测迹采集系统可实时记录船舶的轨迹及状态,试验推进/控制系统,可实现船模自航及自动操舵保持航向。

(5) 试验内容:开展模型试验,船模以自航方式在随浪或尾斜浪状态下航行,六自由度不受约束,通过自动稳向系统保持航向。波浪条件及航速根据纯稳性丧失、骑浪/横甩现象发生机理确定。

(6) 试验结果分析:纯稳性丧失及骑浪/横甩模型试验以最大横摇运动来表达试验结

果。因两者发生机理不同，试验结果分析中关注舵角、艏向和横摇，因横摇运动过大而发生倾覆，如艏向无急剧偏转，舵角未满舵则是发生了纯稳性丧失，如艏向急剧偏转，舵角已为满舵则是发生了骑浪/横甩。

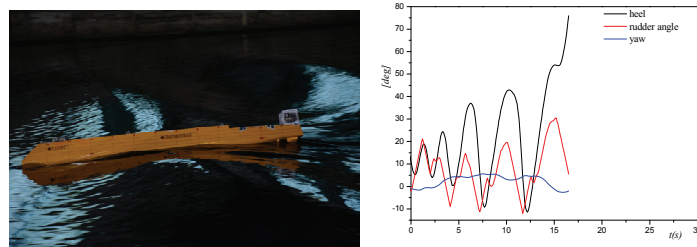


图1 纯稳性丧失典型试验照片和结果

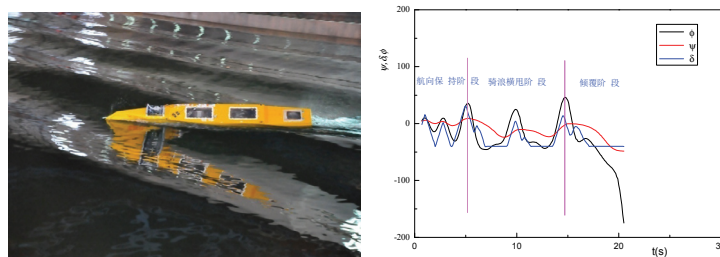


图2 骑浪/横甩典型试验照片和结果

3 参数横摇模型试验技术

参数横摇是指阻尼较小的船，在遭遇到一定频率的波浪时，短时间内产生很大横摇角并伴随着显著的纵摇、升沉运动的非线性现象。根据参数横摇的特点及模型试验要求，形成了船舶参数横摇模型试验方法。

(1) 试验环境：建议试验水域有足够的长度和宽度，水深大于 1/2 最大波长。水池可模拟规则波、不规则波，且精度满足试验要求。

(2) 试验模型：试验模型要保证与实船几何相似，满足加工误差，模型甲板进行水密处理，避免因大幅摇荡运动使船模进水，破坏试验设备。

(3) 试验状态调试：试验前需对船舶的重心、质量惯性矩及初稳性高进行调试，满足试验要求。

(4) 试验测试系统：测迹采集系统可实时记录船模的六自由度运动，试验推进/控制系统，可实现船模自航及自动操舵保持航向，试验浪高仪采集系统，可记录试验过程中波高变化。

(5) 试验内容：横摇衰减试验。通过横摇衰减试验测定船模固有周期和横摇衰减系数。

规则波中参数横摇试验。试验浪向为顶浪。因波长船长比为 1 时，复原力变化振幅最大，因此波长船长比 1 附近选取几个典型值。不规则中参数横摇试验。试验浪向为顶浪和随浪。波浪的平均周期取 1/2 倍固有横摇周期附近。不规则波运动响应单次试验时间不小于 10 min。

(6) 试验结果分析：规则波中以最大横摇振幅表达参数横摇结果。不规则波中，采用标准偏差来评价参数横摇。

4 瘫船稳性/过度加速度模型试验技术

瘫船稳性是指船舶由于推进系统或操舵系统问题，处于无法推进或操舵的状态，此时船舶在风浪作用下可能发生共振横摇甚至倾覆。目前瘫船稳性研究都设定船舶处于横风、横浪状态。

过度加速度是指船舶在大幅横摇运动中，导致的横向加速度过大的现象，会导致人员的伤害和货物的损坏。横向加速度主要是由船舶横摇运动引起的，大多情况下船舶在横浪中发生横摇共振时，横向加速度会最大，此时也最有可能出现过度加速度现象。

波浪中瘫船稳性和过度加速度模型试验，浪向均为横浪，船模无动力。试验需有船模运动姿态测量系统，重点解决船舶自由漂浮状态下大幅横摇测量技术问题，过度加速度还需考虑关键位置加速度测量。本文形成了瘫船稳性，过度加速度模型试验方法。

(1) 试验环境：建议试验水域长度有足够的长度和宽度，水深大于 1/2 最大波长。水池可模拟规则波、不规则波，且精度满足试验要求。

(2) 试验模型：试验模型要保证与实船几何相似，满足加工误差，模型为水密结构，避免因大幅横摇运动使船模进水，破坏试验设备。

(3) 试验状态调试：试验前需对船舶的重心、质量惯性矩及初稳性高进行调试，满足试验要求。

(4) 试验测试系统：测迹采集系统可实时记录船模的六自由度运动，过度加速度试验需记录关键处的横向加速度。试验浪高仪采集系统，可记录试验过程中波高变化。

(5) 试验内容：横摇阻尼试验。通过开展横摇阻尼试验测定横摇周期和阻尼系数。规则波中模型试验。试验浪向为横浪，航速为 0。对于参数横摇试验，波浪周期近似船舶横摇固有周期，取系列波浪进行试验，开展无风有浪和有风有浪状态下模型试验。对于过度加速度试验，不考虑风只考虑浪的影响。不规则中模型试验。试验浪向为横浪，航速为 0。对于参数横摇试验，开展无风有浪和有风有浪状态下模型试验。对于过度加速度试验，不考虑风只考虑浪的影响。

(6) 试验结果分析：参数横摇模型试验，规则波中以最大横摇表达试验结果。不规则波中，采用横摇最大值和有义值表达试验结果。过度加速度模型试验，试验结果以关键位置处的横向加速度最大值来表达。

5 结论

二代完整稳性失效模式,会产生大幅的横摇运动,极端情况下会产生倾覆,涉及到船舶稳性、操纵性和耐波性多学科问题,研究难度很大,模型试验可有效验证失效模式评估方法。本文结合二代完整稳性失效模式特点,详细阐述了模型试验环境、试验设备试验内容和试验分析等,所形成的试验方法是掌握稳性失效模式运动特性,建立稳性失效模式预报方法的重要基础。

参 考 文 献

- 1 顾民,鲁江,王志荣. IMO第二代完整稳性衡准评估技术进展综述. 中国造船, 2014.
- 2 师超,鲁江等. 随浪规则波中纯稳性丧失研究. 第二十届全国水动力学研讨会文集, 2018.
- 3 曾柯,顾民等. IMO船舶稳性倾覆根率研究. 中国造船, 2015.
- 4 张宝吉,鲁江等. 船舶骑浪/横甩薄弱性衡准研究综述. 中国造船, 2015.
- 5 卜淑霞,顾民等. 波浪中过度加速度的非线性时域预报. 船舶力学, 2019年.
- 6 王田华,顾民等. 纯稳性丧失薄弱性衡准研究进展综述. 第十三届全国水动力学学术会议. 2015.

An overview on model test technology of the second generation intact stability criteria in IMO

SHI Chao, LAN Bo, HAN Yang, LIU Chang-de

(China Ship Scientific Research Center, Wuxi 214082, China.

Email: shichao@cssrc.com.cn)

Abstract: Five stability failure modes were established by the second generation intact stability criteria, which are development by the International Maritime Organization (IMO). The researchers focused on assessment criteria of stability failure modes. And model test was one essential approach to validate assessment criteria of stability failure modes. The mode test technology for stability failure modes, which included parametric rolling, pure loss of stability, stability under dead ship condition, cases of surf-riding, broaching and excess acceleration, were given in the paper.

Key words: Second generation intact stability criteria; Model test; Test technology..