

航
海
技
术

船舶耐波性与船舶航速

王凤武, 吴兆麟 (大连海事大学, 辽宁 大连 116026)

【关键词】耐波性; 航速; 失速; 安全评估

【摘要】通过对耐波性的分析, 总结了船舶在波浪中航行时的耐波性标准, 并提出了船舶在考虑了耐波性标准后应采取的经济航速, 为船舶在大风浪中的开航安全评估提供了依据。

【中图分类号】U675.1

【文献标识码】A

【文章编号】1006-7728(2003)03-0001-03

1 耐波性概述

耐波性是研究船舶在波浪中运动规律的一门学科。在考虑船舶的耐波性问题时, 通常从适居性、使用性和生命力方面来权衡, 显然, 这3种性能不尽相同, 从耐波性的角度, 可归结为船舶在全天候条件下或在尽可能多的时间里完成其任务的能力。从设计者的角度, 应考虑以下一些因素:

6个自由度的运动平均值或特征值; 6个自由度的加速度特征值; 运动和加速度的极值; 甲板淹湿; 砰击和砰击负荷; 波浪诱导振动; 船体相当梁弯矩; 船体挠度; 局部波浪负荷; 所需功率的增加; 螺旋桨空转、尾轴负荷和航向稳定性。

目前, 设计者也仅能以保证生命力为设计标准, 从使用性和适居性的观点出发, 按上述因素做出部分项目, 且以一定概率的临界状态的定量标准, 使其更趋合理。因此, 建立船舶使用性和适居性的定量标准可从以下诸方面考虑:

(1) 船舶应考虑在施放救生艇时, 对船舶横摇、纵摇运动幅值和摇摆周期提出的限制。

(2) 应考虑船舶在预定的海浪中航行时, 能使船员有效地在处所作业。

(3) 应考虑保证导航仪器的正常工作能力。

(4) 应考虑船舶在风浪中航行时, 不得不人为地降低主机功率减小航速。

(5) 应根据船舶的特殊使命, 给出具体的耐波性指标。

2 船舶在波浪中的耐波性标准

2.1 船舶在波浪中横摇标准

(1) 为使船舶救生艇和工作艇在风浪情况下能顺利地施放到水面, 通常要求横摇幅值不超过 15° 。

(2) 关于横摇对船舶乘员身体运动能力的影响, 认为横摇幅值不超过 10° , 横摇周期应不大于 $5\sim 6\text{ s}$ 。有的渔船船长建议表明, 20° 横摇角时, 甲板人员也能正常工作。

(3) 为保证雷达能正常工作, 要求商船雷达天线在船舶的横摇幅值为 10° 时仍有合适的性能。

(4) 从适居性的要求横摇运动应是缓和的, 其经验判断依据是: $GM=(100/80\ 000+D)B^2$ 。

(5) 为保证直升机能安全地在舰船上起飞和降落, 应使横摇幅值小于 3° ; 而根据实际的起落经验, 认为白天的安全横摇幅值为 5° , 夜间操作的安全横摇幅值为 3.4° 。

(6) 为保证拖网渔船的专用设备能正常运作, 一般认为横摇幅值为 10° 。根据实际经验认为拖网作业常在 20° 以上进行。若渔船在海上进行补给、过驳等作业, 则要求横摇不能过大, 通常在6级风浪以下, 顺风进行靠帮, 横摇幅值应小于 5° 。

2.2 船舶在波浪中纵摇标准

(1) 通常要求船舶救生艇和工作艇在风浪情况下能顺利地施放到水面, 纵摇幅值不超过 7° 。

(2) 拖网作业时, 通常在顺风顺浪情况下进行, 6级风时 10° 的纵摇角仍能正常工作, 若渔船在海上进行补给、过驳等作业时, 纵摇角应不小于 5° 。

2.3 船舶在波浪中升沉标准

水面舰艇为保证武器的正常使用, 要求升沉小于 2 m 。

2.4 船舶在波浪中加速度标准

(1) 首部加速度标准。迎浪航行时, 以首垂线后 $0.0375L$ 处的升沉运动加速度 0.81 g 作为临界值; 当波浪与船舶在 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 之间遭遇时, 首垂线后 $0.0375L$ 处的临界升沉运动加速度 1.16 g 。

(2) 船员生理上能承受的运动加速度标准。一般当加速度超过 0.2 g 时, 船员晕船就加剧。

人们能适应船舶运动的摇摆运动加速度的临界值为:

$$Z_{\text{a}} \leq 1.0(\text{m/s}^3)$$

式中 Z_{a} ——升沉加速度幅值;

ω ——船舶与波浪遭遇频率。

[收稿日期]2003-03-26 【基金项目】国家教委博士学科点专项科研基金 编号: 2000015105

[作者简介]王凤武 (1965-), 男, 辽宁盘锦人, 副教授, 从事航海技术的教学与研究。

2.5 船舶在波浪中砰击标准

砰击的标准常用发生的概率或单位时间发生砰击的次数或砰击加速度来表示。

常规船的砰击概率为 2%~3%。对于普通货船在典型的压载状态时, 砰击概率为 3%。经过训练的船员的实用限度可认为船首的砰击加速度为 6 g。

2.6 船舶在波浪中甲板淹湿(上浪)标准

甲板淹湿标准常用发生的概率或单位时间发生次数表示。一般认为每小时上浪次数为 30 次; 常规船舶的上浪概率以 8% 为界。

2.7 螺旋桨出水(空转)标准

螺旋桨出水(空转)是主机功率降低的一个重要原因。船舶纵摇和升沉的耦合运动造成螺旋桨直径 1/3 出水, 作为螺旋桨出水(空转)的临界值; 而对于船首侧推器, 也可将直径 1/3 出水作为螺旋桨出水(空转)的临界值。

3 船舶航速

航行在海上的船舶由于受风和波浪的扰动, 使得在主机功率保持不变的情况下航行的速度较静水条件时的船速减小, 这种速度的损失有时是相当大的。有资料表明, 当北大西洋上蒲氏风 6 级时迎浪航行失速达 12%, 与静水相比主机马力相应增加了 80%。而北大西洋航线上蒲氏风 6 级的天气在夏季要占 45% 以上, 在冬季为 70%, 这说明无论从船舶的经济效益还是性能设计的技术角度看, 估算和维持船舶在海上前进速度的能力是非常重要的。

3.1 失速原因

船舶在海上的失速通常可分为 2 类: 名义失速(自然减速)和主动减速。其失速的原因有: 风引起的附加阻力、波浪中的水阻力增加、舵动作和首尾摇摆增加的阻力、推进器效率的降低、船舶激烈运动的影响和海流的影响等。

3.2 失速的计算

(1) 名义失速(自然减速)。通常有 3 种方法, 即理论法、试验法和实验法。理论法中较为成熟的是日本学者中村彰一等提出的计算及主机特性的估算方法等。该方法在得出失速公式时考虑了波浪中总阻力的平均值、自航要素和主机特性等方面要素, 其预报结果比较准确。公式如下:

$$DU = \frac{R - R_0 + \overline{R_{AW}}}{(1-t)(1-W)[P_{TU} + \frac{P_{TN}P_{QN}}{r^2 E_{QN} - P_{QN}}]}$$

式中 R_0 ——船速 U_s 时, 静水中的阻力;

R ——船速为 $U_s + U$ 时, 静水中的阻力;

$\overline{R_{AW}}$ ——船速

t, W ——表示在静水中航速 U_s 时推力减额系数的阻力平均增值;

$P_{TU}, P_{QU}, P_{TN}, P_{QN}$ ——表示推力和转矩随螺旋桨转速的变化率以及推力、转矩随转速的变化率;

E_{QN} ——表示主机轴的转速随轴转速的变化率;

$1/r$ ——螺旋桨转速对主机轴转速的传动比。

中村彰一人为了验证上述公式, 进行了几种船型的模拟试验, 试验测量值和估算值之间有良好的 consistency。

为了预报名义失速, 除了考虑上述的波浪中阻力增值、自航要素的变化和主机功率变化所引起的失速外, 还应计入风阻力所引起的功率增值, 尤其是在遇较大的蒲氏风级时, 风阻力对名义失速有相当大的影响。公式如下:

$$DU = \frac{R - R_0 + \overline{R_{AW}} + R_{wi}}{(1-t)(1-W)[P_{TU} + \frac{P_{TN}P_{QN}}{r^2 E_{QN} - P_{QN}}]}$$

式中 R_{wi} ——风所产生的阻力。

(2) 主动减速。参考文献^[1]中介绍了几种常用的船舶主动减速的方法, 除此之外, 还有如下的一种重要的确定方法。

船舶在不规则波中迎浪航行时, 如果所有组成波的波长 $\lambda \leq \frac{3}{4}L$ 时, $\Lambda < \frac{3}{4}$, 船舶航行于亚临界区; 如果所有组成波的波长在船长 L 和波谱最大的波长 $\lambda_{\text{波谱最大值}}$ 之间时, $\Lambda = 1.0$, 船舶航行于临界区; 如果所有组成波的波长大于最大显著波的波长时, $\Lambda > 1.20$, 船舶航行于超临界区。从实际航海的角度看, 主要是给出出现最激烈纵摇或升沉运动的允许航速, 即是在已知有波高、船长及纵摇或升沉自摇周期的前提下, 给出临界区下边界对应的航速——允许速度(也就是主动减速值), 公式如下:

$$\frac{U_{ws}}{\sqrt{L}} = C \left(\frac{1}{1.6878} \right) \left[\frac{(0.95)^2}{(T_{q,z}/\sqrt{L})} - \sqrt{\frac{0.95g}{2\pi}} \right]$$

式中 U_{ws} ——海上允许航速;

$T_{q,z}$ ——纵摇、自摇周期升沉自摇周期;

g ——重力加速度(9.81 m/s²)。

显然, 在评价船舶在大风浪航行安全时, 必须考虑船舶失速问题。

3.3 船舶经济航速的确定

对船舶经济航速, 有不同的理解。就经济效益角度而言, 选定船舶在营运过程中的经济航速, 必须考虑以下几个指标: 燃料消耗费用小、其他营运成本开

支小和资本回收率最大。

船舶单位时间内的燃料消耗量 F_0 与主机功率 MHP 成正比, 而船舶主机功率与船舶排水量、航速存在着如下关系:

$$F_0 = KD^{2/3}V^3$$

如排水量不变, 则单位时间内的燃料消耗量与航速的三次方成正比。如考虑航行一定距离内总的燃料消耗量, 则 $F_0 = KD^{2/3}V^2S$ 。

船舶在营运过程中, 一方面是运费和租费等营运收入, 另一方面是燃料费和船费(船舶折旧、保险、修理、消耗、港口使费)等支出。显然, 航速越高, 燃料消耗越多, 燃料费也越大, 但船费却得到了节约, 通常认为船费与燃料费之和的总费用为最低的航速就是经济航速。

$$G_t = G_a + G_f$$

G_t, G_a ——总燃料费;

G_f ——总船费。

$$G_a = aKV^2S$$

$$G_f = f \frac{S}{V}$$

$$V_e = \left(\frac{f}{2aK} \right)^{1/3}$$

综合耐波性标准和在风浪中航行的失速情况, 经济航速不仅要考虑上述因素, 还应顾及失速情况, 即经济航速应处于考虑在自然减速后的航速与允许航速之间的某一速度, 以利于船舶在大风浪中的航行安全, 也将给船长的操船决策提供了切实可行的依据。

【参考文献】

- [1] 王凤武. 船舶在风浪中航行的临界速度探讨[J]. 世界海运 1998(2), 11-12.
- [2] 吴秀恒. 船舶操纵性与耐波性[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.



Ship's Seakeeping and Speed

WANG Fengwu, WU Zhaolin

(Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

[Abstract] According to the analysis on the ship's seakeeping quality, this paper summarizes the ship's seakeeping standards during navigation in the wave, then puts forward the economic speed on considering the standards and provides the basics of the safety evaluation for the sailing of ship on the rough sea.

[Keywords] seakeeping; speed; speed loss; safety evaluation

IMO 新的修正案导致新的 CBT

去年 12 月, IMO 召开了一个不仅对国际海运界而且对整个世界都具有重要意义的主题大会——《国际船舶和港口设施保安规则》(ISPS CODE)大会。该规则将于 2004 年 7 月 1 日开始实施。为了帮助船员更好地理解规则的船舶保安计划, 让船员熟悉新规则的内容并提高他们的船上保安意

识, Laurin Maritime, Stolt-Nielsen 和挪威船级社(DNV)联合开发并发行了一套名为“安全意识”的 CBT 模拟器, 挪威船级社还用其培训和课程材料中的最新的 SeaSkill 标准来保证其质量。

(徐海蓉)

2003 年 1 月 1 日前已生效的 IMO 公约修正案

1. 海员培训、发证和值班标准公约 1998 年 12 月修正案;

2. SOLAS 74 公约修正案及 INF 规则 2001 年 6 月修正案;

3. 高速船安全管理规则 2001 年 6 月修正案。

(徐海蓉)