

# 船舶在纵浪上的动稳性影响因素研究

李龙刚

中石化胜利油建工程有限公司

DOI:10.12238/jpm.v4i4.5845

**[摘要]** 船舶的动稳性研究一直是船舶行业中重要而且复杂的问题。船舶动稳性是船舶安全航行的基本保证,也是船舶在进行检验的一个重要内容。船舶在纵浪中航行时,船体始终处于波峰和波谷的交替段,随着船体在水中时间的延长,船舶的动稳性也随时间而改变,由于船舶动稳性经过周期性的变化而促使横摇运动的产生,令船舶在纵浪中航行动稳性失控和船舶倾覆。纵浪船舶参数激励横摇运动的动稳性,影响了船舶航行的安全性,本文对这一问题做出了研究。

**[关键词]** 船舶;动稳性研究;周期性;阻尼;波浪中心频率;随机参数;激励幅值

## Study on the influencing factors of ship dynamic stability on longitudinal waves

Li Longgang

Sinopec Shengli Oil Construction Engineering Co., LTD

**[Abstract]** The study of ship dynamic stability has always been an important and complex problem in the ship industry. Ship dynamic stability is the basic guarantee of ship safe navigation, and also an important content of ship inspection. When the ship is sailing in the longitudinal wave, the hull is always in the alternating section of wave peak and wave trough. With the extension of the time of the hull in the water, the dynamic stability of the ship also changes with time. Due to the periodic changes of the dynamic stability of the ship, the navigation stability of the ship is out of control and the ship is capsized. The stability of the safety of ship navigation.

**[Key words]** ship; dynamic stability study; periodicity; damping; wave center frequency; random parameters and excitation amplitude

船舶在正常的航行时如果遇到了大风导致海浪过高的这种恶劣天气,船舶会把航向调整,使其在纵浪或者斜浪的状态上航行,避免船舶的横向受到大面积的风浪侵袭。船舶在波浪中的航行,稳定性是受到多方面因素影响的。最主要的影响就是船舶航行的安全性,稳定性不好的船舶往往会使人造成伤亡、财产造成损失。目前我国对很多的船长都进行了船舶动稳性的调查,多数的船长都提出,大多数的船舶稳定性事故都是由于驾驶人员缺乏船舶纵浪行驶动稳性的认识,导致了最终事故的发生。研究船舶在纵浪上的动稳性,可以提高船舶航行的安全系数,减少人员的伤亡和财产的损失。本文从船舶纵浪航行的动稳性入手,研究出船舶的阻尼、波浪的中心频率和随机参数激励幅值对船舶在纵浪上航行动稳性的影响。

### 1 船舶在纵浪中发生参数激励横摇动稳性的研究

纵浪航行是所有船舶最为常见的航行状态,纵浪航行方法是根据传统的线性理论,由于船舶纵浪航行是不会受到横向的干扰,所以在这种情况下,产生横摇运动的幅值基本不可能会

产生。在很多年以前就有人用船模做过类似的实验,在当时的实验中,当事人发现在船舶纵摇时如果频率超过了横摇频率的两倍,那及时船是在纵浪中行驶,也有可能就会导致船舶横摇。这种现象的产生是传统的线性理论无法解释的,现在对于这一现象的看法普遍是:船舶在纵浪航行时,最初的稳定性会随着时间的变化而发生改变,这种改变会促使船舶发生横摇运动。为了证实这种现象,那首先就要建立一个纵浪航行激励横摇产生的理想化模型,这个模型的建立首先要对船舶的航行做一个假设:

- (1) 船舶左右弦在传播整体上是一种对称的模式;
- (2) 船舶纵浪上进行平常速度的航行;
- (3) 船舶在行驶时,总的排水量去近似值中的常数;
- (4) 忽略其他阻尼,仅考虑船舶纵摇、升沉对于横摇的影响;
- (5) 纵浪行驶所以船舶纵摇和升沉的次数远远要比横摇多,在进行横摇研究时,假设纵摇和升沉是处于一种标准的平

衡状态;

(6) 船舶在航行时, 水流会给船体增加的横摇力有两个方面组成, 第一个是假设的入射波压力, 第二点是由于船体本身的运动所产生的。这一点包含在船体阻尼中, 不考虑进入到绕射波的影响。

根据上述几个点来建立船舶纵浪航行的理想化模型。

在船舶纵浪航行的稳定性研究上, 不单单是理想化模型的建立来推导结果, 我国一位学者在国外的运动方程式基础上, 建立了纵浪安全池的研究, 得出了横摇、纵摇、升沉这三个数据影响船舶稳定性的研究。考虑这三个数据会发生耦合作用, 在船舶阻尼的记忆基础上, 建立了三维非线性时域运动方程, 并对方程进行了求解, 分析了船舶稳定性。

九十年代有人应用 Liapunov 理论, 研究了船舶在规则波浪中的动稳性, 并且用摄动理论, 得出了船舶的运动响应。分析出了最大横摇角度和波浪的要素对船舶动稳性变化曲线的影响。

船舶实际在海中航行时, 受到的波浪都具有随机性, 所以船舶在实际的海中行驶时产生大幅度的横摇运动是一种非线性的随机问题, 而且船舶在随机的纵浪中会由于参数的共振导致船舶发生不稳定横摇, 最终导致船舶的倾覆。虽然采用一些非线性的动力学研究方法能够研究出船舶在波浪中的倾覆问题, 但是要更好的掌握船舶横摇、纵摇的规律和特点, 这样才能更好的避免倾覆现象的产生, 为船舶的出行提供更加可靠的措施。

## 2 纵浪中多自由度耦合的船舶横摇运动

对于船舶在随机波中的多自由度耦合的运动分析和船舶在随机波中的横摇角概率分布研究较少。且多是利用欧拉旋转矩阵对船舶多自由度运动进行研究。本文利用瞬时等效旋转矩阵推导出考虑多自由度同时运动的运动方程, 在此基础上计算实时位置的波浪力。通过无理数分波浪谱模拟随机波, 计算实船在时历上的运动响应。并进一步其进行力学分析, 分析运动不稳定性和混沌产生的原因。同时对多组计算结果进行直方图统计和概率密度函数的模拟。创新引入风险评估与数学函数模拟相结合的思想, 研究船舶在随机波中的横摇角概率。并深入研究, 推导出研究其横摇概率的广义方法, 拟合得到以波高和横摇角为自变量的三维概率分布函数。以此估算任意波高下发生某个横摇角度的概率。

在运动的计算中, 我们选取了 262m 为具有随机性质的波浪的波长, 纵向行驶的航行体在具有随机性质的波浪中的航行速度是 2kn, 航行体在零时刻的横向转动的角速度是 0.01rad/s。随机波浪在零时刻的相位是通过计算机随机产生的。从计算结果可以看出, 船舶在随机波下的横摇运动是不稳定的。比较可以看出, 纵向行驶在具有随机性质的波浪的航行体的横向摇摆的幅度最大值和波浪幅度并非正相关的, 这是

因为波浪的随机性质存在一定的不确定性和奇异性。但也能够看出航行体在整个横向摇摆系统中的能量与波浪幅度是正相关的。为了研究其非线性运动的不规则性和运动能量的分布情况, 给出对应的相图。

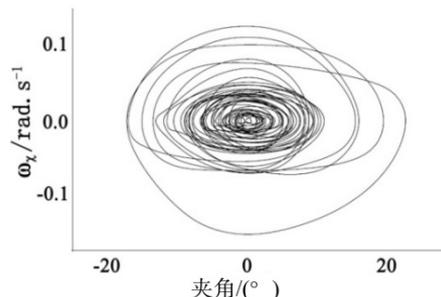


图1 波高 2.5m 随机波横摇运动相图

从图可以看出, 其运动速度极值点在波高 2m 是 0.1rad/s 左右, 到 5m 波高时达到 0.3m/s 左右。这表明其运动的能量是随波高增大而增大的, 这个现象从横摇幅值不能完全断言。船舶横摇运动的能量, 主要还是来源于波浪的能量, 其中可能有一些转换过程, 但最终表现出来的是波浪的能量带动了船舶的横摇。从各相图可以看出, 在随机波下的参数横摇运动很容易就产生了混沌。观察可以发现, 运动变得剧烈, 相图更是不规则, 其运动越是不稳定。其产生的主要原因来自于, 大波高情况下船体表面的不规则性表现得更加明显, 加上随机波的难以预料性, 使其运动更为不稳定。对于各相图的集中区域可以看出, 其集中区域是在不断扩大的, 这是其分叉运动的一个缩影, 也是其运动能量转换的一个标志。

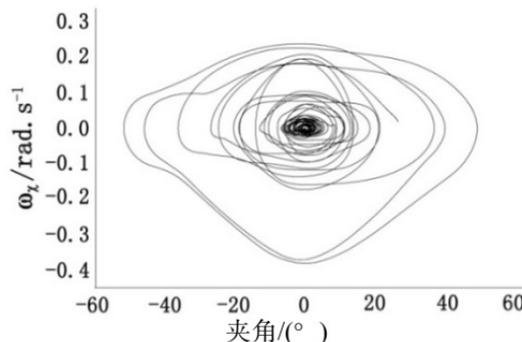


图2 波高 4m 随机波横摇运动相图

为了研究其混沌运动的内在频率关系, 给出各运动的频谱图。其中  $\omega$  表示圆频率。船舶横摇固有频率为 0.26rad/s。在各波高下的运动的主频中都出现了接近固有频率的主频。此频率在能量方面对于水面航行体的横向摇摆运动的影响随着具有随机性质的波浪的波幅增大而减小。同时, 从功率谱图可以看出水面航行体的横向摇摆运动具有多个复杂的频率, 这些复杂的频率来自于随机性质的波浪中占能量的比例相对较大的正弦函数的频率。然而还有一些偏离了随机波浪中的正弦函数的频率, 这些值来自于船舶运动中的多种不确定性, 如航行体和波的不规则性、耦合影响和仿真中数值不稳定性。

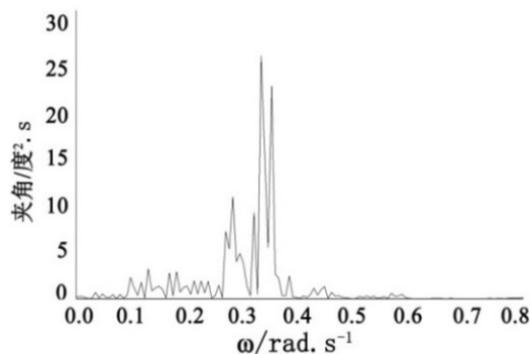


图3 波高 5 m 随机波横摇运动频谱

基于瞬时转换矩阵考虑坐标轴的瞬变性建立了多自由度耦合非线性运动方程。考虑控制航向,对运动方程进行退化。基于势流理论推导波浪力的计算方法,并通过编程实现考虑瞬时位置的波浪力的实时计算。对于随机波利用无理数倍数关系划分波浪谱。最终实现对船舶在随机纵浪中的多自由度耦合下的参数横摇的研究。

### 3 研究中船舶在纵浪行驶影响动稳性的成果

对传播在波浪中行驶大幅度横摇运动对稳定性产生的影响进行了分析,结合阻尼、非线性的力矩系数,对船舶摇动的影响进行了分析。

研究了船舶在规则纵浪中横摇运动的稳定性,得出了规则纵浪中稳定区域与不稳定区域的分布,分析参数,以取值的方法提高船舶在纵浪上横摇运动的稳定性。

对于船舶在纵浪中的动稳性,要用多尺度法对整个船舶在纵浪中主参数的共振响应进行分析,然后解出答案。分析了各参数对横摇运动稳定性的影响。

在分析船舶的动稳性时,传统的分析方法是将波浪激励转化为白噪声,但是白噪声模型与船舶实际的激励情况差距甚远,所以要建立符合船舶实际运行情况的模型,从而得出符合实际情况的结果。

### 上接第 154 页

因素,即细菌、pH、胶结溶液、注入和温度。文献中的观察表明,生物水泥的有效性取决于方解石的均匀分布,这是由于胶结溶液与沙子的适当制备和混合而发生的。由于 MICP 的流出物或副产物,水环境可能会被污染。然而,当氨被再加工为农业肥料时,这将被最小化。到目前为止,通过 MICP 方法生产用于不同应用的生物水泥已在微观水平或实验室规模上进行了尝试。然而,一些研究人员在现场规模上的实施很少。然而,就目前的建筑发展而言,还应克服胶凝溶液(尿素和氯化钙)浓度高、细菌培养难工业化等挑战。因此,需要进一步的科学研究来解决上述 MICP 过程中的问题。

### [参考文献]

- [1]胡健,肖杨,肖鹏,王林,丁选明,仇文岗,刘汉龙.基于机器学习预测微生物加固钙质砂统一动强度[J].中国公路学报:1-10
- [2]刘小军,郜鑫,潘超钊.MICP 固化土遗址裂隙的剪切强度

### 4 结束语

统计我国实际的船舶运行状况,很多船舶的纵摇与横摇固有频率的比值接近二时,会发生参数激励主共振,纵浪上船舶动稳性的主要影响因素是参数激励,这种理解让我们对传播的倾覆有了新的认识,参数激励的主要决定因素是由:船舶航行的速度、波幅、波长、船舶重心的位置还有船体的形状组成的。参数激励和非线性分析中所发现的现象,是正常的线性分析中所不存在的。这样的研究结果会对船舶纵浪行驶的动稳性进一步研究提供更加重要的参考信息,实现本次研究的价值。导致船舶倾覆的参数激励只要是两种方式。第一种是船舶在很大的角度横摇时突然进入了混沌运动,这种运动的失衡突然使船舶失去了稳定性,造成了船舶倾覆。第二种是船舶进行的小角度的横摇,突然平稳基础了原有的横摇状况,导致船舶失去稳定性而造成了船舶的倾覆。总的来说,第一种参数激励有比较明显的征兆,但是第二种属于无先兆的倾覆,对于船舶来说有更大的危险性。船舶中的货物移动时可以对船舶的初始倾斜造成一定的影响。这种倾斜会给船舶在纵浪行驶过程中造成非常大的影响,甚至会导致船舶在非常小的参数激励下产生倾覆的事故。

### [参考文献]

- [1]胡开业.船舶在波浪中的大幅横摇运动及其运动稳定性研究[D].哈尔滨工程大学,2011.
- [2]李红霞.纵浪和斜浪中船舶非线性运动特性研究[D].天津大学,2008.
- [3]欧珊.船舶在波浪中的非线性横摇研究[D].武汉理工大学,2010.
- [4]黄武刚.船舶在波浪中航行时稳性研究及危险性分析[D].大连理工大学,2010.
- [5]胡开业,丁勇,王宏伟,李积德.船舶在随机纵浪中参数激励横摇稳定性研究[J].船舶力学,2011,Z1:11-16.

试验研究[J].土木工程学报,2022,55(04):88-94+108.

[3]程观涛.微生物诱导碳酸盐沉淀在路堤边坡裂缝修复中的应用研究[J].科技创新与应用,2022,12(10):6-12.

[4]胡坪伸,张文,赵媛,杨晓旭,侯福星,袁媛.青海强盐渍粉砂土 MICP 的有效性探索[J].土木工程学报,2022,55(03):65-73.

基金项目:湖南城市学院土木工程国家级实验教学示范中心大学生创新性实验计划项目(SFZX202107、SFZX202208);国家级大学生创新创业训练计划项目(202111527033);湖南省社会科学成果评审委员会一般课题(2023844)益阳市社科课题(2023YS124);教育部产学合作协同育人项目(202101116018、202101149010、220904718260833);湖南省自然科学基金省市联合基金(2022JJ50265)。

作者简介:黄杨丽(2002-),女,湖南郴州人,本科生,主要从事岩土工程方向研究。

通讯作者简介:徐赞(1989-),男,湖南益阳人,讲师,主要从事岩土工程方向研究。