



两种风荷载模拟方法下的 邮轮系泊撞击能量试验研究

赵明志¹, 王震¹, 周益人², 琚烈红², 李鹏³, 曹侃¹

(1. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏南京 210098; 2. 南京水利科学研究所, 江苏南京 210024;
3. 中国电力投资集团公司江苏分公司, 江苏南京 210008)

摘要: 以22.5万t邮轮为例, 分别进行单风、单浪和风浪共同作用下的系泊撞击能量试验, 研究在风机法和挂重法两种不同的风荷载模拟方法下单风、单浪和风浪共同作用时对邮轮撞击能量的影响。试验结果表明: 在风浪共同作用时, 运用风机法时的系泊撞击能量比挂重法的大17.4%; 另外, 风浪共同作用时, 风荷载对邮轮系泊撞击能量的影响较大, 风浪共同作用时的撞击能量远大于单浪作用时的撞击能量。

关键词: 邮轮; 撞击能量; 风机法; 挂重法

中图分类号: U 661.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)04-0089-04

Model test on impact energy of moored cruise under two different wind loads simulation methods

ZHAO Ming-zhi¹, WANG Zhen¹, ZHOU Yi-ren², JU Lie-hong², LI Peng³, CAO Kan¹

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China;
3. China Power Investment Corporation Jiangsu Branch, Nanjing 210008, China)

Abstract: Based on the conditions of a 225 000 DWT cruise, we carry out tests on the impact energy of a moored ship under the action of the single wind and single wave, and under that of the combined wind and wave, study the influence on the impact energy under the action of the single wind and single wave and under that of the combined wind and wave by two different wind simulation methods, i.e. blower fan method and method of hanging weight. Test results show that the impact energy by the blower fan method is 17.4% larger than that by method of hanging weight under the combined action of wind and wave. In addition, the wind load has a great impact on the impact energy under that of the combined wind and wave, the impact energy will increase rapidly as the wave height increases.

Key words: cruise; impact energy; blower fan method; method of hanging weight

随着经济不断发展, 世界邮轮旅游业日趋繁荣, 为保证大型邮轮停泊的需求, 码头系泊设施不断向深水区域发展, 使得邮轮系泊安全尤为重要, 系泊撞击能量是邮轮系泊安全的重要控制因素。基于舒适性考虑, 相比其他船型(散货船、油轮、LNG船、集装箱船), 邮轮对运动量和撞击能量也有更严格的要求。另外, 邮轮上部受风面积大, 对风荷载的敏感度高, 因此风荷载对邮

轮系泊撞击能量的影响很大, 在船舶系泊撞击能量模型试验中, 风荷载的模拟方法有风机法和挂重法两种方法: 风机法是将风荷载作为均布荷载进行模拟, 假定风场恒定均匀, 使用风机来模拟不同速度的风场; 而挂重法是通过公式计算出风荷载大小, 然后以挂重方法作为集中荷载进行模拟, 但在JTS144-1-2010《港口工程荷载规范》^[1]中没有邮轮风荷载大小的计算方法。

收稿日期: 2012-09-20

作者简介: 赵明志(1988—), 男, 硕士研究生, 从事河口、海岸动力学研究。

船舶系泊撞击能量的研究方法主要包括理论分析、数值计算、经验分析，原型观测、统计学方法和物理模型试验。理论分析是通过系泊船舶—系缆系统—防冲装置—系靠船结构进行合理假设，推导得出系泊船舶撞击能量的计算公式。S.Nagai^[2]在只考虑系泊船舶的横移、横摇以及护舷线性变形的情况下进行理论分析得出撞击力解析解。李向群^[3]通过理论分析研究了多点系泊船舶在波浪中的运动及系泊力；李玉成等^[4-8]通过数值模拟研究了系泊船舶动力响应和系缆力、撞击能量等；经验分析的成果很多，其中，李玉成在综合分析各种影响因素的基础上，结合试验资料提出了撞击能量公式：

$$E/H^2 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 k \left(\frac{T}{T_0} \right)^{2.5} \quad (1)$$

式中： T_0 为船舶自震周期； k 为频率响应系数，与船舶吨级有关。范自明^[9]将船舶撞击能量作为船舶横移和横摇产生的，并将系泊船舶看成对称的弹性体，提出撞击能量公式

$$E = \frac{1}{2} M v_g^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (2)$$

式中： M 为船舶总质量； v_g 为船舶重心横移速度； I 为横摇时的质量惯性矩； ω 船舶横摇角速度。

由于目前还没有针对邮轮这种特定船型的系泊撞击能量研究，因此，运用风机法和挂重法这两种风荷载模拟方法，分别进行单风、单浪和风浪共同作用下的邮轮系泊撞击能量试验，通过试验对比两种风荷载模拟方法的差别，为今后的邮轮系泊撞击能量研究和邮轮码头设计提供参考。

1 模型试验

1.1 水位和潮流

码头前沿水深13.44 m,不考虑潮流。

1.2 动力要素

波浪要素选用波高为1.0, 1.5, 2.0及2.5 m, 波周期为5,8及10 s, 波浪方向与码头前沿线夹角为90°；风速大小采用6级风、9级风的上限值，即为13.8 m/s和24.4 m/s的恒定风，与波浪同向。

1.3 试验船型

试验选用22.5万t的当前世界最大邮轮,原型船型和模拟船型尺度和运动性能以及参数见表1。

表1 22.5万t邮轮船体要素

名称	总长 $Loal$ m	垂线间 长 $Lppl$ m	设计水线 长 Lwl m	型宽 B m	型深 D m	设计吃 水 d m	设计排 水量 t	方型系 数 C_b	棱型系 数 C_p	水线面 系数 C_{wp}	最大剖 面系数 C_m	浮心纵向位 置(距10 站)/m	浮心垂向位 置(距基 线)/m	重心位置 x_g (距10 站)/m	重心位置 z_g (距基线) /m
实船	362	330	336.3	47	25	9.15	97 417.4	0.686	0.690	0.861	0.995	-7.286	5.036	-7.286	11.194
模型	6.241	5.690	5.798	0.810	0.431	0.158	0.499	0.686	0.690	0.861	0.995	-0.126	0.087	-0.126	0.193

1.4 码头结构、护舷及缆绳布置

码头结构均采用直立式沉箱结构，码头高15.8 m,采用SUC1450两鼓一板高反力橡胶护舷，设计反力2 588 kN，沿码头长度方向15 m均匀布置。缆绳采用44 mm HMPE，缆绳破断力为1491.1 kN，缆绳布置为3-2-2-2，系缆方式和护舷布置见图1，试验中将同一位置的双缆归并为1根缆绳，其中船缆是3根缆绳，在试验中也归并为1根缆绳，初始拉力为100 kN。

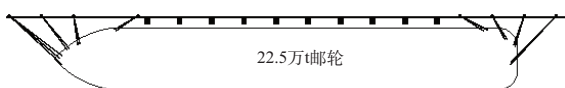


图1 船舶系缆方式

1.5 试验设备

试验在波浪港池进行，港池长50 m,宽17.5 m,高1.2 m,布置见图2。试验运用总力（拉压力）传

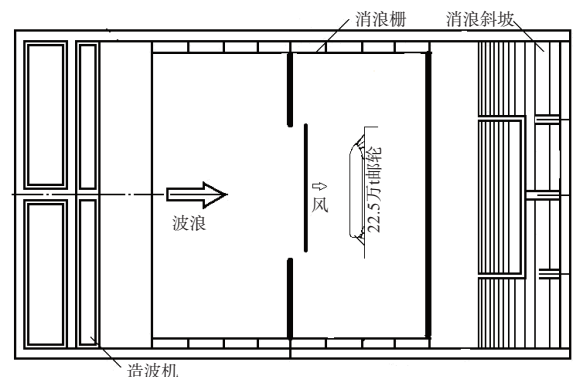


图2 港池布置

感器是应变式的,采用一体化防水结构,分辨率为0.01 N,自振频率为1 000 Hz,温度稳定性高,船舶撞击力和撞击能量采用2008型护舷缆力仪进行测量。

1.6 试验内容

分别进行了单风和单浪作用下的试验以及两种不同风荷载模拟方法下的风浪共同作用试验,以分析单因素和多因素情况下的邮轮撞击能量。

2 模型相似

试验遵循《港口工程技术规范》和《波浪模型试验规程》的规定,采用正态模型,按重力相似设计,模型几何比尺 λ_L 比尺为1:58,波高、波长、水深均按几何比尺 λ 计算;时间比尺 $\lambda_T=\lambda_L^{0.5}$,力比尺 $\lambda_F=\lambda_L^3$,质量比尺 $\lambda_M=\lambda_L^3$,质量惯性矩比尺 $\lambda_J=\lambda_L^5$,重力比尺 $\lambda_G=\lambda_L^3$,速度比尺 $\lambda_v=\lambda_L^{0.5}$ 。

2.1 波浪模拟

试验波浪谱定采用JONSWAP谱,其表达式为:

$$s(f) = \alpha H_s^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4}(T_p f)^{-4}\right] \gamma^{\exp[-(T_p f - 1)^2 / 2\sigma^2]} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{0.0624}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} \quad (4)$$

$$\sigma = \begin{cases} 0.07 & f < f_p \\ 0.09 & f \geq f_p \end{cases} \quad (5)$$

式中: H_s 为有效波高(m); T_p 为谱峰值周期(s); γ 为谱峰值参数,取 $\gamma=3.3$ 。

2.2 风荷载模拟

风荷载的模拟一般运用风机法和挂重法两种方法,由于邮轮是一种较新的船型,JTS144-1—2010《港口工程荷载规范》中没有邮轮所受风荷载大小的计算公式,因此无法直接计算风荷载的大小。如果在系泊模型试验中采用挂重法,首先要在试验水深下,运用总力多功能监测系统测出邮轮固定受风面积的风荷载。

3 试验结果分析

3.1 风荷载测定试验

试验在设计水深下,邮轮左右两边各选一个

测点安装总力测力块,用风机向船舶施加均匀风速,总力多功能监测系统测量出静止时的邮轮两个测点受力。风速为13.8 m/s时,船舶左右两边受力分别为7.995 N和7.566 N;风速为22.4 m/s时,船舶左右两边受力分别为24.867 N和23.648 N。采用挂重法时,重物通过细绳和滑轮悬挂于邮轮,细绳和邮轮的连接点为测力时的测点处,测点位置以及邮轮受风面见图3。

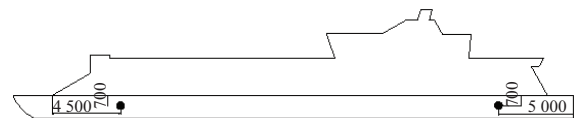


图3 邮轮受风面及测点位置(单位:cm)

3.2 单风作用下的船舶撞击能量试验

在试验水位下,分别运用挂重法和风机法向船舶施加两组试验风荷载时,测出邮轮撞击能量大小相近且很小。风速为13.8 m/s时,系泊撞击能量为289 kJ;风速为22.4 m/s时,系泊撞击能量为659 kJ。

3.3 单浪作用下船舶撞击能量的试验

单浪试验采用了4组波高(1.0,1.5,2.0和2.5 m)和3组周期(5,8,10 s)的横浪,图4给出了邮轮受到不同周期的横浪作用时撞击能量随波高的变化过程,最大的撞击能量为2 915 kJ。当周期不变时,撞击能量随着波高增加而增加,在相同波高下,撞击能量随着周期变大而增加。当长周期横浪作用时,撞击能量随波高的增幅比短周期横浪作用时要更快。

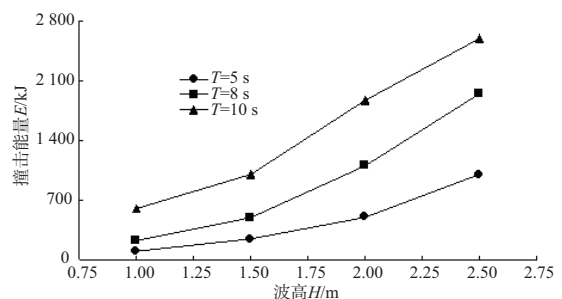


图4 波浪作用下撞击能量随波高的变化

邮轮在横浪作用下,主要的运动是横移、横摇和升沉,纵移、纵摇和转动几乎不存在。其次,邮轮和横浪一样做周期性运动,波谷作用于邮轮时,邮轮离开码头向外移动,护舷不受力,

而缆绳拉紧受力。波峰作用于邮轮时，船舶向码头碰撞，护舷受力，缆绳松弛不受力，下一个波谷作用于邮轮时又重复上述运动现象。

3.4 两种风荷载模拟方法下风浪联合作用船舶撞击能量试验

图5和图6分别给出了邮轮在风速为13.8 m/s和24.4 m/s时，运用挂重法和风机法两种方法并在不同波浪周期时波高对系泊撞击能量的影响；以及邮轮在单浪作用时，不同周期下波高对系泊撞击能量的影响。

在风浪联合作用时，当邮轮受到不规则波浪作用，船舶发生横移和横摇运动，受风面积和船舶质心处于动态响应中，风荷载分别通过风机法

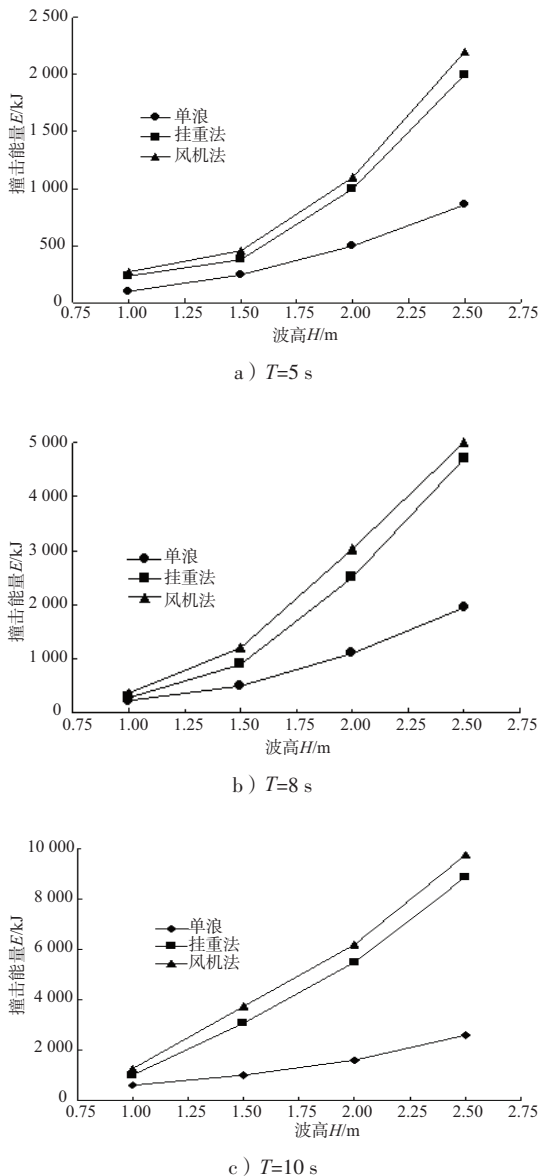


图5 风速为13.8 m/s时撞击能量随波高的变化曲线

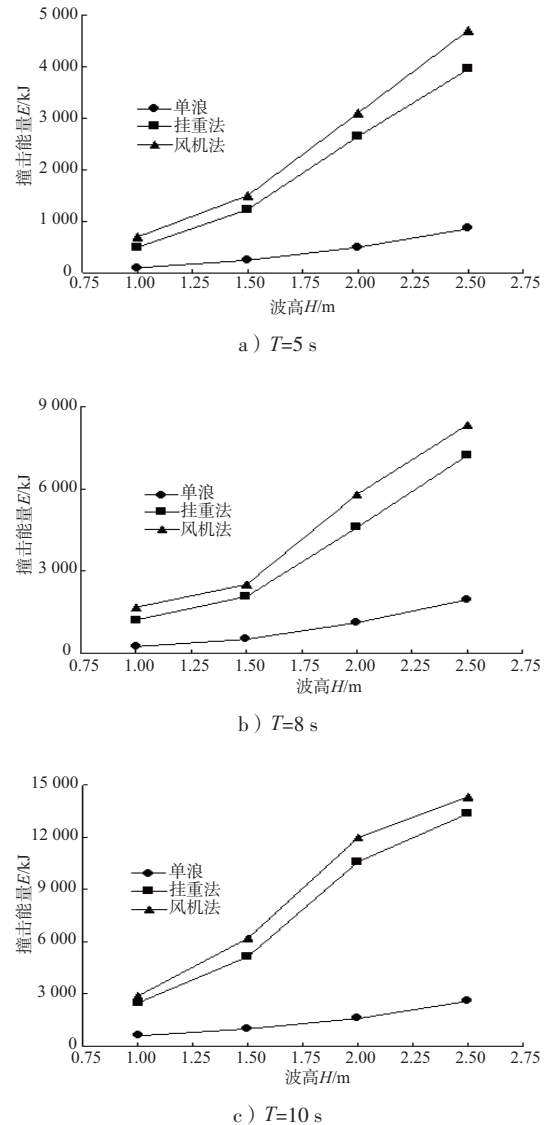


图6 风速为24.4 m/s时撞击能量随波高的变化曲线

和挂重法作用于船舶时，船舶所受风荷载大小和受力点也相应变化，所以两种风荷载模拟方法所测的撞击能量将不同。在风浪这两种不同外力的作用时，对邮轮运动将产生不同的影响，有可能相互抵消，有可能相互叠加。因此，风浪联合作用时，产生的撞击能量不能为单风和单浪作用下的简单合成。另外，邮轮在风浪共同作用下，运用风机法模拟风荷载时，13.8 m/s风速下的系泊撞击能量是单风作用下系泊撞击能量的2.6倍，22.4 m/s风速下的系泊撞击能量是单风作用下的5.9倍；运用挂重法模拟风荷载时，13.8 m/s风速下的系泊撞击能量是单风作用下的2.3倍，22.4 m/s风速下的系泊撞击能量是单风作用下的4.8倍。

(下转第186页)