



搅拌船在波浪中运动响应 对物料计量精度的影响

刘修成, 杨秀礼, 程茂林

(中交第二航务工程局有限公司, 湖北 武汉 430040)

摘要: 为了分析波浪诱导搅拌船所产生的惯性加速度对物料计量精度的影响, 选取一艘 200 m³/h 生产能力的搅拌船, 采用 SESAM 软件分析其水动力特性, 对计量参考点处的竖向加速度进行短期预报, 同时在计量甲板层安装加速度传感器, 通过实测和理论的手段证实了影响的存在。

关键词: 搅拌船; 计量精度; 运动响应; 短期预报; 加速度传感器

中图分类号: U 661.32⁺4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0022-04

Influence on material measuring accuracy by the mixing ship's motion response in wave

LIU Xiu-cheng, YANG Xiu-li, CHENG Mao-lin

(CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Wuhan 430040, China)

Abstract: In order to analyze the influence on the material measuring accuracy by the inertial acceleration caused by the wave-induced hull motion, a mixing vessel with production capacity of 200 m³/h was selected to analyze its hydrodynamic characteristic with SESAM software. Short-term predictions about the vertical acceleration at the measuring reference point were done, and the acceleration sensor was installed in the measuring deck layer. Through the actual measurement and according to the theory, the influence was confirmed to be existed.

Keywords: mixing ship; measuring accuracy; motion response; short-term prediction; acceleration sensor

混凝土搅拌船是集物料存储、计量、搅拌、泵送于一体的大型搅拌设备, 该设备适用于桥梁、港口、码头等水上混凝土施工。制备混凝土必须严格控制配料, 以保证其硬化后达到设计强度, 这就要求各种搅拌物必须计量准确^[1]。但由于搅拌船的物料称量由陆地转移到了水上, 称量也是基于传统的拉(压)式传感器, 那么搅拌船在波浪中的运动响应会引起被称量物料的超重或失重, 这势必会对物料的称量精度造成影响。

选取一艘 200 m³/h 双线混凝土搅拌船作为研究对象, 采用基于三维势流理论的 SESAM 水动力分析软件, 得到船舶的水动力响应幅值算子, 并对计量甲板处的竖向加速度作短期预报, 将结果

与加速度传感器的实测值进行对比。

1 运动方程和不规则波中的响应理论

1.1 运动方程

船舶在波浪上的运动是以刚体在无限介质中运动为基础, 促使船舶摇荡的外力有波浪力、水动力和静水回复力。根据牛顿第二定律可得船舶运动的六自由度方程为:

$$(\mathbf{M}+\boldsymbol{\mu})\ddot{\mathbf{X}}+\boldsymbol{\lambda}\dot{\mathbf{X}}+\mathbf{C}\mathbf{X}=\mathbf{F}_w \quad (1)$$

式中: $\mathbf{M}$ 为广义质量矩阵; $\boldsymbol{\mu}$ 和 $\boldsymbol{\lambda}$ 分别为附加质量和阻尼系数矩阵; $\mathbf{C}$ 为静水回复力系数矩阵; $\mathbf{F}_w$ 为广义波浪干扰力矩阵; $\ddot{\mathbf{X}}$ 、 $\dot{\mathbf{X}}$ 和 $\mathbf{X}$ 分别为六

收稿日期: 2016-03-14

作者简介: 刘修成 (1989—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事工程船舶水动力特性及适应性研究。

自由度方向上的加速度、速度以及位移矩阵。

1.2 波浪谱和响应谱^[2]

在短期内, 海面的起伏是一个平稳的、各态历经的随机过程, 短期的海况通常可以用波浪谱来表达内在特性, 即用有义波高和平均过零周期来表征。谱密度函数 $S(\omega)$ 是平稳随机过程的频率描述, 它表示不规则波浪的能量相对于频率的分布, 所以又称为能量谱。不规则波谱表示了不规则波内各单元谐波的能量分布情况。

对于船舶等线性系统, 响应谱等于波浪谱乘以系统的响应幅值算子, 即

$$S_R(\omega) = S(\omega) |H(\omega)|^2 \tag{2}$$

式中: $S_R(\omega)$ 为响应谱密度函数; $S(\omega)$ 为波浪谱密度函数; $|H(\omega)|^2$ 为响应幅值算子(RAO)。

考虑波浪能量在除主方向以外的分布特性, 即实际海域短峰波的影响, 文中计算时引入方向扩展函数 $f(\alpha)$:

$$S(\omega, \alpha) = S(\omega) f(\alpha) \tag{3}$$

式中: $S(\omega)$ 为长峰不规则波的海浪谱; α 为组成波与主浪向的夹角; ITTC 建议的方向扩展函数为:

$$f(\alpha) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \alpha \tag{4}$$

SESAM 软件后处理模块采用的是改进的 P-M 谱, 其波浪谱密度函数 $S(\omega)$ 为:

$$S(\omega) = \frac{H_s T_z}{8 \pi^2} \left(\frac{\omega T_z}{2 \pi} \right)^{-5} \exp \left[-\frac{1}{\pi} \left(\frac{\omega T_z}{2 \pi} \right)^4 \right] \tag{5}$$

式中: $H_s = 4 \sqrt{m_0}$; $T_z = 2 \pi \sqrt{m_0 / m_2}$; H_s 为有义波高; T_z 为平均过零周期。

2 计算模型的建立

选取一艘 200 m³/h 生产能力的混凝土搅拌船作为计算模型, 选取该船完工装载手册中“100% 物料、100% 燃油”的作业典型工况, 船舶的主尺度及装载情况见表 1。

表 1 搅拌船的主尺度及装载状态

船长/m	型宽/m	型深/m	平均吃水/m	纵倾/(°)	重心纵向位置/m	重心垂向位置/m	排水量/t
75.6	24.6	5.45	3.8	-0.741	-1.03	8.27	6 776.2

首先需要建立船体的湿表面模型, 软件分析计算时, 应用流体三维源汇理论, 计算一个规则波在船体外部湿表面离散网格上的波浪力及对船体重心的合力矩。其湿表面模型见图 1, 尾部设置有 3 块呆木, 目的是提高船舶拖航的直线稳定性。

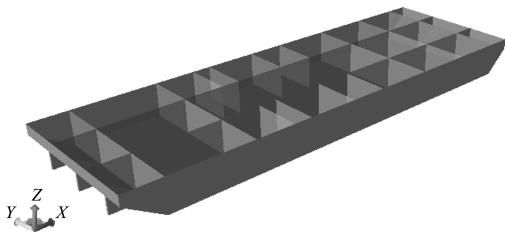


图 1 搅拌船的湿表面模型

质量模型与船体的湿表面模型相结合, 将周期性的波浪力作用在质量模型上, 就可以得到波浪引起的运动加速度。因此, 为了得到较准确的结果, 需要调节模型的质量、惯性矩以及质心位置与实际情况基本相符。本船的质量模型中, 采用 Equipment 单元模拟大型组块, 用 Mass 单元匹配小型的或离散的质量分布, 质量模型见图 2。

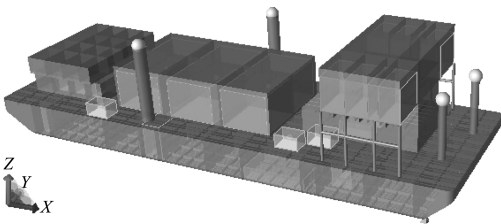


图 2 搅拌船的质量模型

建立以上模型后, 需要对其进行网格划分, 转化为有限元模型, 以方便导入 Wadam 模块进行频域水动力分析计算。选取 9 个浪向角: 0°、15°、30°、45°、60°、75°、90°、135°、180°; 波浪频率为 0.3~1.6 rad/s, 步长 0.05 s。

3 结果与分析

3.1 运动响应的传递函数

在线性理论的假定下, 认为船体是一个线性系统, 在单一频率规则波的作用下, 运动响应幅值与入射波的波幅成正比。因此, 作为计算结果, 波浪诱导的运动响应也可以以传递函数(或称频率

响应函数)的方式给出。频率响应函数代表了单位振幅波浪作用下的系统响应,这里主要给出系统的幅值响应算子(RAO),RAO反映了船舶在波浪中的固有动力特性。

波浪诱导引起的搅拌船的六自由度运动中,垂荡、横摇和纵摇运动在船体摇荡运动中是主要的^[3],并且此类往复运动在计量甲板层会产生垂向加速度,这理应会导致称量误差。搅拌船的垂荡、横摇和纵摇运动响应的传递函数曲线见图3。

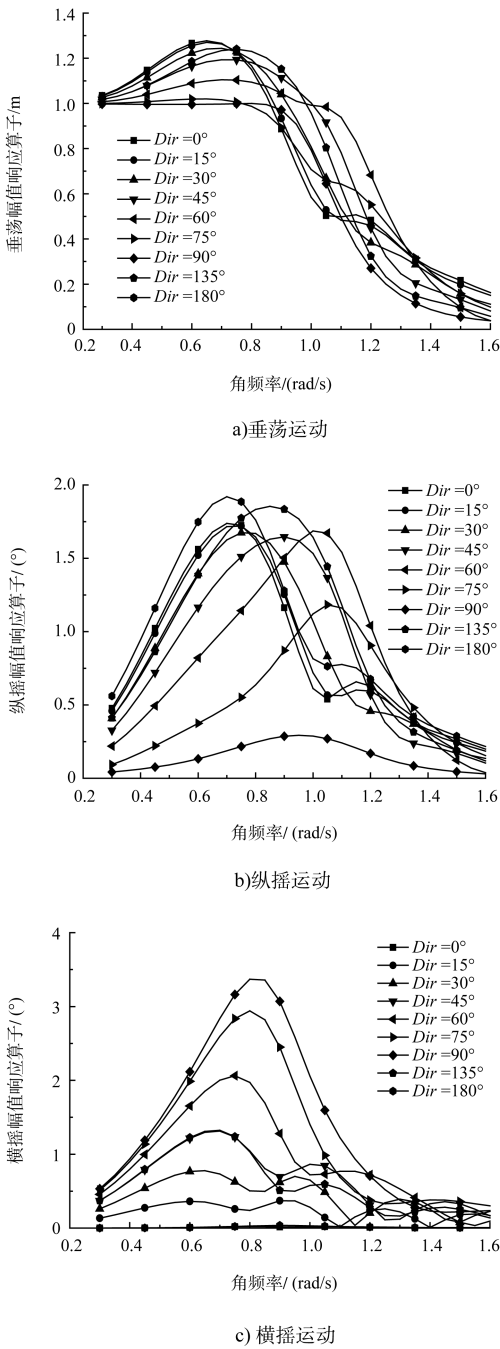


图3 搅拌船质心处运动传递函数

由图3可知,船舶的纵摇幅值在频率为0.7~0.9 rad/s时幅值较大;横摇幅值在频率为0.85 rad/s,横浪向时取得最大值。对搅拌船进行了频域的水动力分析,得到其水动力特性,为后续的运动响应谱分析以及短期预报作铺垫。

3.2 参考点处竖向加速度短期预报

为了衡量波浪诱导运动在计量甲板层引起的竖向加速度,通过后处理模块 Postresp 在物料称量处创建点 P(22.7, 1.85, 12.1),得到该点因船体摇荡所产生的竖向加速度响应幅值算子。

短期预报假定船舶的装载、浪向角以及海况等条件在短期内变化不大,那么可以认为船舶的响应与波浪同属于平稳的随机过程,可以进行谱变换,根据输入的波浪谱 $S_{\omega}(\omega)$ 得到参考点处竖向加速度的响应谱,图4给出的是不同平均过零周期的海浪谱横浪向作用于搅拌船时,参考点处竖向加速度响应谱曲线。

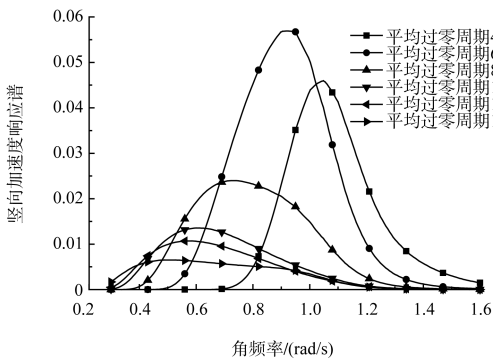


图4 参考点 P 处竖向加速度响应谱

将响应谱的统计特征值代入 Rayleigh 分布的概率累计函数中,可以得到参考点处竖向加速度在某一概率下的响应值,表2给出的是有义波高为1 m时,不同浪向角和周期所对应的竖向加速度 1/3 幅值的短期预报。

表2 参考点处竖向加速度 (Z_{acc}) _{1/3} 短期预报 m/s ²						
浪向角/ (°)	过零周期/s					
	4	6	8	10	12	14
0	0.187	0.234	0.201	0.161	0.128	0.103
45	0.227	0.271	0.221	0.173	0.136	0.108
90	0.271	0.321	0.244	0.186	0.144	0.114
135	0.250	0.287	0.231	0.179	0.140	0.111
180	0.203	0.247	0.208	0.166	0.131	0.105

3.3 竖向加速度实测值

建立水动力模型, 作参考点处短期预报的同时, 在搅拌船的称量甲板处安装基于 Mems 的加速度传感器, 实时监测称量参考点处的竖向加速度, 设置采样频率为 2 Hz, 时长取 15~20 min, 得到的竖向加速度的时程曲线见图 5。

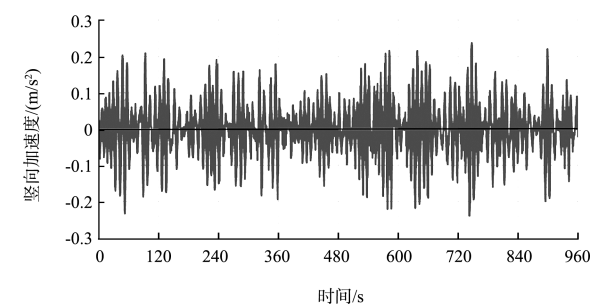


图 5 称量甲板处的竖向加速度时程曲线

根据现场波浪仪所测得海况条件, 有义波高约 0.75 m, 平均跨零周期为 8.5 s, 浪向角约为 20°, 通过表 2 插值得到此海况下参考点处的竖向加速度的预测值为 0.151 m/s²; 同时对加速度传感器测量值进行统计分析, 得到竖向加速度 1/3 幅值为 0.161 m/s²。

根据 GB/T 10171—2005《混凝土搅拌站(楼)》国家标准的规定, 骨料称量精度为±2%, 水泥和液态原料的精度需达到±1%。若搅拌船在此工况下作业时, 仅由惯性加速度所引起的称量误差为 1.6%, 可见波浪诱导船舶运动引起的惯性

加速度对搅拌船物料计量影响较大, 并且波高越大影响越显著。

4 结语

针对一艘生产能力为 200 m³/h 的搅拌船, 采用 SESAM 水动力分析软件, 计算了船舶在规则波中的运动响应幅值算子, 以改进的 P-M 波浪谱作为输入, 得到了参考点处的竖向加速度的响应谱, 并对响应谱进行统计分析得到参考点处竖向加速度短期预报值, 将此结果与加速度传感器的实测值进行对比, 可得出以下结论:

- 1) 通过水动力模型数值分析和现场实测两种手段, 证实了惯性加速度对物料称量精度的影响, 预报值和实测值结果也比较接近。
- 2) 根据短期预报结果, 在有义波高为 1 m、平均过零周期为 6~8 s 时, 因波浪诱导船舶运动而在参考点处引起的竖向惯性加速度对物料的计量有较大的影响; 当施工海域波高超过 1 m 时, 物料的计量精度很难得到保证。

参考文献:

[1] 李波, 王任, 万金辉, 等. 浅议混凝土搅拌设备的计量误差[J]. 商用混凝土, 2015(6): 54.

[2] Det Norske Veritas. SESAM User Manual: Postresp [M]. Norway: DNV, 2004.

[3] 盛振邦, 刘应中. 船舶原理(下) [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2004.

(本文编辑 武亚庆)

~~~~~

· 消 息 ·

福建省首个大型专业化散货码头通过竣工验收

日前, 由中交第三航务工程勘察设计院有限公司设计完成的福建省首个大型专业化散货码头——福州港可门作业区 4 号、5 号泊位工程顺利通过竣工验收。

工程从 2011 年 11 月投入试运营至今, 已累计完成散货吞吐量 7 000 多万 t, 系统运行良好, 达到了设计能力。工程包含建设 1 个 30 万吨级散货卸船泊位和 1 个 5 万吨级散货装船泊位, 堆场配置 5 台斗轮堆取料机, 输送系统配置 3 套全自动化机械采制样装置和其他必要的生产、生活辅助设施。