

文章编号: 0254-0096(2020)09-0359-07

大直径多筒型基础的运动特性研究

刘宪庆¹, 赵明阶¹, 张浦阳², 罗 盛³

(1. 重庆交通大学河海学院, 重庆 400074; 2. 天津大学建筑工程学院, 天津 300072; 3. 陆军勤务学院军事设施系, 重庆 401331)

摘 要: 以某多筒型基础(MBF)为研究对象,考虑筒内气体的可压缩性,建立多筒型基础的摇荡运动方程并结合模型试验对结构在静水、规则波浪作用下的摇荡动力响应特性进行分析。研究表明:气浮筒型基础垂荡、横摇和纵摇运动的附加质量系数都大于船舶动力学中的建议值(1.2);不同吃水下,摇荡运动的附加质量随吃水的增加呈降低趋势;相同吃水下,垂荡运动的附加质量系数都小于摇荡运动的附加质量系数;结构摇荡运动幅值最大值随吃水的增加呈先增加后减少的趋势,而随着水深的增加呈相反的变化趋势,该结构在5.0 m吃水和11.25 m水深下的运动响应特性最佳。

关键词: 筒型基础; 响应幅值算子; 附加质量系数; 吃水; 水深

中图分类号: P752; TV321 **文献标志码:** A

0 引 言

风力发电是可进行大规模开发、商业化运行的发电方式之一,具有低环境影响性、可持续性以及高产等特点,随着技术的进步和成本的下降,全球海上风电市场规模迅速扩张^[1]。巨大风能资源的规模化开发需要解决设计、施工、建造成本等方面的瓶颈问题。筒型基础具有良好的承载特性、对环境影响小以及可重复使用等特点,在边际油田的开发、防波堤基础以及人工岛基础等领域被积极采用^[2-4]。此外,由于具有良好的水平及抗倾覆能力且省去了打桩造成的成本增加和噪声污染,近年来在海上风电工程中得到应用,有望成为近海5~60 m水深范围内的主力风力机基础形式之一^[5-6]。由于内部有气压垫的存在,筒型基础的受力作用机理不同于传统浮体。传统浮体相当于刚性结构支撑于底部的水弹簧上,而筒型基础相当于刚性结构支撑于水弹簧和气弹簧构成的串联弹簧上^[7],欲准确评估筒型基础的静动力运动特性,必须对结构在静水中的附加质量及阻尼特性以及波浪中的运动响应参数进行研究。

在多筒形式的筒型基础的研究方面,付海峰等^[8]对JZ9-3筒型基础(直径6.0 m,高度9.0 m)系缆平台

的充气浮运的浮态、稳性及下水以及沉放等进行了一系列的研究,徐宝^[9]对该筒型基础平台通过模型试验的形式对静水、拖航的运动参数进行了分析,但均未对静水中和波浪中运动的波浪力、水动力系数以及运动响应等进行研究;张积乐^[4]对人工岛筒型基础(外径12.0 m,高度12.5 m)的运动性能进行了试验和理论研究,在进行单筒绕射和辐射问题研究时未考虑气-水交界面处的边界条件、以及多筒之间的水动力干扰;刘宪庆等^[10]对JZ93系缆平台、吸力锚(筒直径6.0 m,筒高7.0 m)抢修抢建平台的拖航影响因素、附加质量系数等进行模型试验和数值模拟,取得了拖航影响因素对拖航响应的初步结论;刘宪庆等^[11-13]推导了多筒型基础的摇荡运动方程,对大直径三筒基础运动参数的变化规律进行数值模拟和试验分析,并对影响多筒型基础运动特性的因素进行了数值模拟和试验分析。

从以上研究成果可看出,虽然国内外对多筒型基础的运动特性有了一定研究,但对结构与运动相关的静动力参数缺乏统一的取值标准。因此,本文结合相关文献的研究成果,采用已有理论和模型试验相结合的方法对筒间距为1.0倍直径的三筒型基础的垂荡、横摇和纵摇的附加质量系数和阻尼系数进行研究,对不同吃水、不同水深下该多筒型基础的响应幅值算子(RAO)进行测

收稿日期: 2019-08-05

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC0810402); 重庆市自然科学基金(CSTC2016JCYJA0580); 国家自然科学基金(51679163); 水利工程仿真与安全国家重点实验室开放基金(HESS15-12)

通信作者: 刘宪庆(1986—), 男, 博士、讲师, 主要从事海洋工程结构分析方面的研究。liuxianqing_1986@126.com

试,以期多筒型基础在工程中的应用提供理论和试验支撑。

1 筒型基础运动特性理论分析

1.1 筒型基础的气浮作用机理

多筒型基础在无外部荷载作用时,主要依靠内外气压形成的压力差排水来支撑结构漂浮于静水面上。多筒型基础在无外部荷载作用时,主要依靠内外气压形成的压力差排水来支撑结构漂浮于静水面上。由直径为 D 、高度为 H 的多个单筒型基础组成,建立如图 1 所示的整体坐标系 $O-XYZ$,原点 O 位于静水面的中心位置, OX 轴为波浪入射方向, OY 垂直于波浪入射方向, OZ 由右手螺旋法则确定。

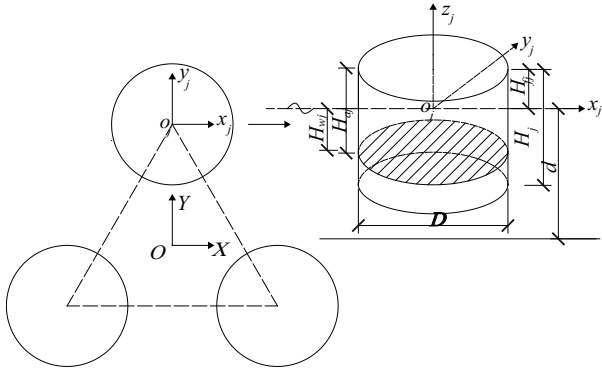


图 1 多筒型基础浮态示意图

Fig. 1 Schematic diagram of floating state for multi-bucket foundations

对于第 j 个筒型基础,局部坐标系为 $o_j-x_j y_j z_j$,平行于整体坐标系。其干舷高度为 H_j ,单筒质量为 m_{sj} ,筒内外水面高度差为 H_{wj} ,筒外大气压为 p_a ,筒内气压为 p_{bj} ,不难得到:

$$M_s = \sum_{j=1}^N m_{sj} = \sum_{j=1}^N \rho_w \cdot g \cdot H_{wj} \cdot A \quad (1)$$

$$p_{bj} = \rho_w \cdot g \cdot H_{wj} + p_a \quad (2)$$

式中, M_s ——多筒型基础结构质量, kg; N ——筒的数量; ρ_w ——海水密度, 1.025 kg/m^3 ; g ——重力加速度, 9.8 m/s^2 ; p_{bj} ——单筒内气压。

当筒型基础由于外力或环境荷载的作用引起结构竖向位移 Δh 时,由于筒内气垫的可压缩性,内部气垫相对结构向下或向上移动一段距离,结构向下运动时,气垫上移一段距离,结构向上运动时,气垫下移一段距离。假设移动距离为 $\vartheta \Delta h$, ϑ 为考虑空气压缩性的无因次参数,取值为^[10-11,13-14]:

$$\vartheta = \frac{\rho_w \times g \times H_a}{P_b + \rho_w \times g \times H_a} \quad (3)$$

1.2 多筒型基础的摇荡运动方程

1.2.1 多筒型基础的垂荡运动方程

多筒型基础沿垂直方向的运动方程可表示为^[11-13]:

$$M_{bz} \cdot \ddot{Z} + N_z \cdot \dot{Z} + C_z \cdot Z = F_z \quad (4)$$

式中, M_{bz} ——垂荡运动的重量,包括结构、筒内水体以及附加于结构上的质量; N_z ——垂荡运动的阻尼系数; C_z ——垂荡运动的恢复力刚度系数; F_z ——外荷载竖向作用力; Z ——结构的竖向位移。

$$C_z = \sum_{j=1}^N \rho_w \cdot g \cdot A \cdot (1 - \vartheta) \quad (5)$$

M_{bz} 包含结构质量、筒内水塞质量和附着于结构上的附加质量,可得:

$$M_{bz} = \mu_z (M_s + M_w) \quad (6)$$

式中, μ_z ——垂荡运动的附加质量系数; M_w ——筒内水塞质量。

1.2.2 多筒型基础的摇摆运动方程

以多筒型基础绕 OX 轴的摇摆运动为例建立其运动方程为^[11-14]:

$$I_{lmx} \cdot \ddot{\theta}_x + N_{mx} \cdot \dot{\theta}_x + C_{mx} \cdot \theta_x = F_{mx} \quad (7)$$

$$C_{mx} = \sum_{j=1}^N \rho_w \cdot g \cdot A \cdot (1 - \vartheta) \cdot (y_{bj} - y_c)^2 \quad (8)$$

式中, I_{lmx} ——垂荡运动质量惯性矩; N_{mx} ——横摇运动的阻尼系数; F_{mx} ——引起结构横摇的绕 OX 轴的旋转的力矩; θ_x ——结构绕 OX 轴的横摇角; C_{mx} ——横摇运动的恢复力矩刚度系数; y_{bj} ——第 j 个浮筒的浮力中心点的 Y 坐标; y_c ——结构横摇中心点的 Y 坐标。

类似于结构的垂荡运动, I_{lmx} 由结构、内部流体以及附着于结构上的流体对横摇中心轴的质量惯性矩 3 部分组成,为:

$$I_{lmx} = \mu_{mx} \cdot (I_{smx} + I_{wmx}) \quad (9)$$

式中, μ_{mx} ——筒型基础横摇运动的附加质量系数。

在船舶动力学中,对于摇荡运动的附加质量系数无其他参考时取建议值为 $1.2^{[15]}$,而已有研究对于多筒型基础结构附加质量的取值不一。

2 模型试验及测试方案

2.1 试验模型及传感器布置

试验以某三筒型基础结构(如图 2 所示,直径 10.0 m 、高度 6.25 m ,筒与筒中心间的距离为 20.0 m)为原型,采用 $1:25$ 比例制作钢结构模型,模型和原型的主要参数对应关系见表 1。

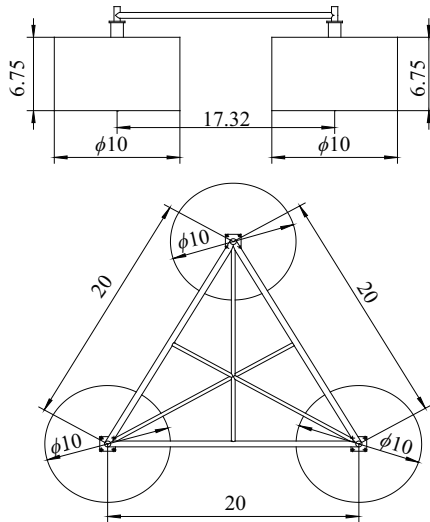


图2 结构原型图(单位:m)

Fig. 2 Prototype of multi-bucket foundations (Unit: m)

表1 模型结构和原型结构主要参数

Table 1 Main parameters of test model and prototype of MBF

项目	原型	1:25模型
筒体直径/m	10.0	0.40
筒体高度/m	6.25	0.25
筒轴线间距离/m	20.0	0.80
筒体截面积/m ²	78.5	0.1256
单筒质量/kg	91406	5.85
上部结构质量/kg	21875.0	1.40
结构总高度/m	7.50	0.30

试验在重庆交通大学国家内河航道整治工程技术中心的港池中进行,港池的长、宽、高依次为 30、20、1.2 m。采用 CS-VG-02A 型垂直陀螺仪进行试验数据测量,如图 3 所示,在每个筒顶部设置直径为 0.04 m,高度为 0.05 m 的钢管并采用刚性连接架对单筒型基础进行连接,传感器放置在连接架的中心位置。

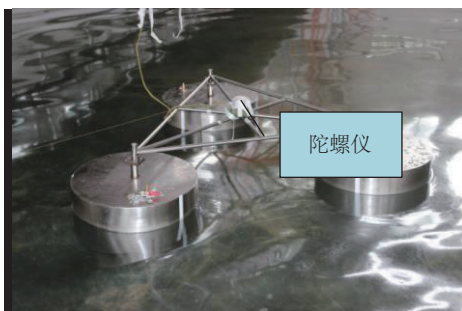


图3 试验模型及传感器布置

Fig. 3 Test model and arrangement of sensor

2.2 试验设计方法

试验采用多因素正交设计方法,采用正交组合表来进行试验组合设计,单个因素水平数设置为 3 个^[15]。为了研究多筒型基础的静力特性,设计如表 2 所示的摇荡运动静水测试试验组合,为了保证试验数据精确性,对测试参数的取值采用进行 3 次试验取平均值的方法获得。

表2 模型试验组合

Table 2 Combinations of test model

组合	吃水深度/m	水深/m	筒间距/m	结构运动方向
1	0.16	0.50	1.0	沿 OZ 轴平动
2	0.18	0.50	1.0	沿 OZ 轴平动
3	0.20	0.50	1.0	沿 OZ 轴平动
4	0.16	0.50	1.0	绕 OX 轴转动
5	0.18	0.50	1.0	绕 OX 轴转动
6	0.20	0.50	1.0	绕 OX 轴转动
7	0.16	0.50	1.0	绕 OY 轴转动
8	0.18	0.50	1.0	绕 OY 轴转动
9	0.20	0.50	1.0	绕 OY 轴转动

为了研究波浪作用下影响多筒型基础结构的运动响应因素的变化规律,通过造波设备产生规则波浪,规则波的波高为 0.04 m,波周期为 1.0~3.0 s;进行 0.50 m 水深下 0.16、0.18 和 0.20 m 3 个吃水的试验,确定吃水对结构运动响应的影响;进行 0.18 m 吃水下 0.50、0.45 和 0.40 m 共 3 个水深的试验,确定水深对结构运动响应的影响。

3 试验结果分析

3.1 静水中结构的运动响应特性分析

由奈奎斯特采样定理,本次测试参数的采样频率为 200 Hz,由于采样得到的数据是十六进制的形式,通过 Matlab 编程对数据进行处理,将所得到的数据采用绘图软件 Origin 进行绘制,从而获得结构六自由度运动的时程变化曲线。图 4 分别为不同吃水下给予结构平动或转动自由度一定的初始位移(角度)使其自由摇荡获得的结构垂荡、横摇和纵摇 3 个方向的测试参数时程变化曲线。从图 4 可看出,摇荡运动振幅随时间呈指数衰减的形式且都是以基数为零变化的,可根据船舶动力学的相关知识^[15]确定结构的摇荡运动的有阻尼周期 T_d 、阻尼比和阻尼系数 N_d ;由实际的测试曲线和精度,在垂荡

方向取 5 个周期的波峰值、在横(纵)摇方向取 3 个周期的波峰值来计算对数衰减率 δ 和衰减系数 n 。

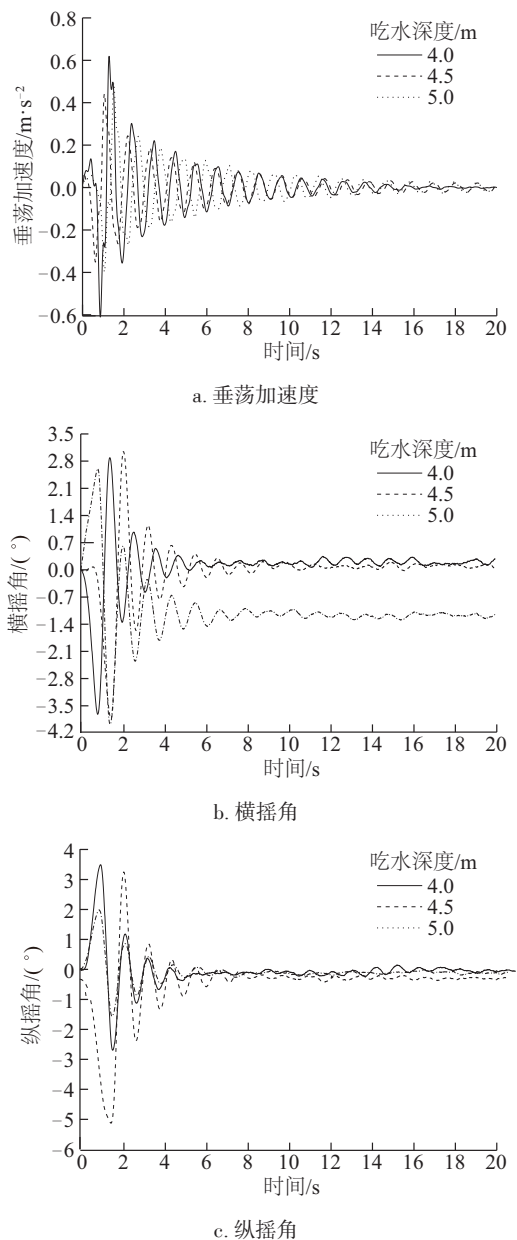


图4 不同吃水摇荡运动变化曲线

Fig. 4 Curves of oscillating motion with different drafts

表3 结构垂荡运动计算参数

Table 3 Calculation parameters of heaving motion in still water

组合	吃水深度/m	结构质量/kg	结构和内部水塞质量/kg	恢复力刚度系数 $C_r/\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	有阻尼垂荡周期 T_d/s	附加质量系数	阻尼系数 N_i
1	0.16	18.95	61.83	3757.8	1.02	1.60	5.61
2	0.18	18.95	69.56	3763.0	1.05	1.52	5.47
3	0.20	18.95	77.28	3768.3	1.08	1.44	6.54

3.1.1 垂荡运动附加质量和阻尼系数分析

表 3 为在不同吃水下确定垂荡垂荡运动静力特性的主要计算参数。从表 3 可看出,结构有阻尼垂荡周期随吃水的增加呈增大趋势,而结构的附加质量系数呈降低趋势,所得结论似乎与文献[9]中的研究结论相矛盾,主要原因是文献[9]在进行附加质量系数计算时,其振动的质量仅是结构本身的质量 M_s ,而未考虑结构内部水塞质量 M_w 的影响,若对文中结构的附加质量系数进行计算时,将结构本身质量 M_s 作为基本质量,则组合 1~组合 3 计算所得的附加质量系数为 5.22、5.58、5.87,所得结果与文献[9]的变化趋势相同;结构的阻尼系数随着吃水的增加呈先稍微减小再增大的趋势,原因在于结构垂荡方箱的阻尼比随着吃水的增加在 0.026~0.029 之间变化,变化趋势并不明显,但是结构内部水塞的质量 M_w 随着吃水的增加呈增大的趋势,从而导致结构垂荡方向的阻尼系数增大。试验吃水下该多筒结构的附加质量系数都大于船舶动力学建议值 1.2。

3.1.2 摇摆运动附加质量和阻尼系数分析

表 4 为计算筒型基础结构在不同吃水下横摇、纵摇运动附加质量系数和阻尼系数的主要参数。从表 4 可看出,随着吃水的增加,结构的横摇周期和纵摇周期呈增大趋势,原因在于吃水增大,水塞质量增加,由于水塞增加引起的质量惯性矩增大,而结构的恢复力刚度基本保持不变,导致结构的摇摆运动周期变大。结构摇摆的附加质量系数取值在 1.58~1.74 之间,吃水大时取小值,反之亦然,且随吃水的增加呈降低的趋势;组合 4~组合 9 的阻尼比(又称衰减系数)分别为 0.177、0.163、0.182、0.212、0.153 和 0.166,随吃水的增加呈降低趋势,取值在 0.15~0.21 之间,而阻尼系数随吃水的增加呈增加趋势。

3.2 波浪作用下结构的运动响应特性分析

由相似比原理可知模型结构和原型结构的加速度和角度变化的相似比为 1:1,模型试验在平动方向取加速度的变化规律、在转动方向取角度的变化规律都能较好地重现原型结构的变化规律。

表4 结构摇摆运动计算参数

Table 4 Calculation parameters of rocking motion in still water

运动组合	吃水深度/m	结构质量/kg	结构和内部水塞质量/kg	质量惯性矩 $I_{bmX(Y)}/\text{kg}\cdot\text{m}^4$	恢复力刚度系数 $C_{mX(Y)}/\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}^{-1}$	有阻尼摇摆周期 T_d/s	附加质量系数	阻尼系数 N
横摇	4	18.95	61.83	11.126	402.8	1.12	1.74	3.93
	5	18.95	69.56	12.59	402.8	1.16	1.67	4.11
	6	18.95	77.28	14.05	402.8	1.20	1.59	5.12
纵摇	7	18.95	61.83	11.147	402.8	1.11	1.66	2.57
	8	18.95	69.56	12.59	402.8	1.14	1.61	3.84
	9	18.95	77.28	14.05	402.8	1.20	1.58	4.61

3.2.1 不同吃水下结构的运动响应分析

图5为原型水深为12.5 m情况下,结构在吃水分别为4.0、4.5和5.0 m下垂荡运动加速度和纵摇角的幅值在所测周期范围内变化曲线,即结构在垂荡方向加速度和纵摇角的响应幅值算子(RAO)。

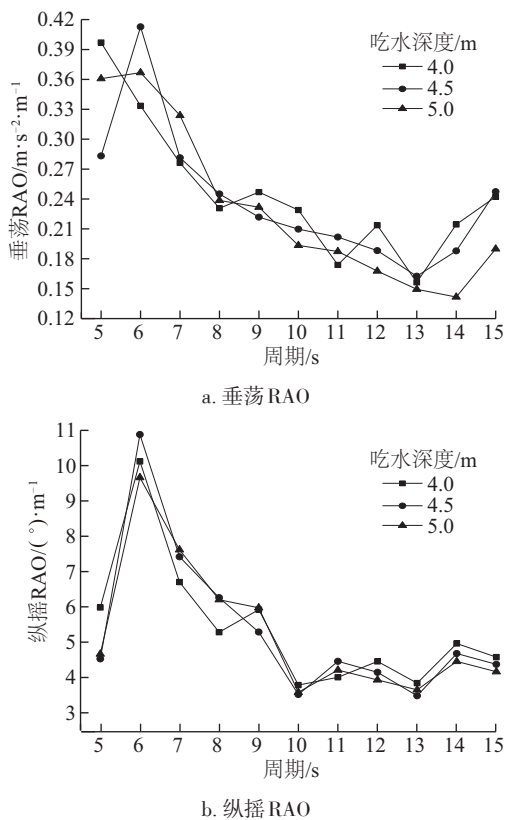


图5 不同吃水摇摆运动RAO

Fig. 5 RAOs of oscillating motion with different drafts

从图5a可看出,在结构的固有振荡周期附近,结构的垂荡运动和纵摇运动都出现最大幅值。从图5a可看出,吃水从4.0 m增加到4.5 m,垂荡运动的最大幅值增幅为3.96,吃水从4.5 m增加到5.0 m,最大幅值的降幅

为11.13%;当周期小于6 s时,随着吃水的增加,垂荡幅值最大值呈先减小后增大的趋势,最大幅值出现在4.0 m吃水的工况;在周期大于13 s时,随着吃水的增加,最大幅值呈降低趋势,最大幅值出现在4.0 m吃水的工况;而在周期从6~13 s的变化过程中,随着吃水的增加,幅值变化在周期较小时,呈增加趋势,在大的周期时呈下降趋势。从图5b可看出,随着吃水的增加,纵摇运动的最大幅值呈先增加后降低的趋势,吃水从4.0 m增加到4.5 m,纵摇角增加了0.75°,而吃水从4.5 m增加到5.0 m,纵摇角降低了1.21°;当周期小于6 s时,随着吃水的增加,纵摇幅值最大值呈先降低后稍微上升的趋势,最大幅值出现在吃水为4.0 m的工况;当周期大于12 s时,随着吃水的增加,最大幅值呈降低趋势,最大幅值出现在吃水为4.5 m的工况;而在周期从6 s变化到12 s的过程中,随着吃水的增加,既有增大的过程又有降低的过程,最大幅值出现在5.0 m吃水的工况。

3.2.2 不同水深下结构的运动响应分析

图6为原型吃水为4.5 m情况下,结构在水深分别为12.50、11.25和10.00 m下垂荡运动加速度和纵摇角的幅值随周期的变化曲线。从图6可看出,在结构的固有振荡周期附近,结构的垂荡运动和纵摇运动均出现最大幅值,且随水深的增加,垂荡运动的固有振荡周期呈增加趋势。从图6a可看出,水深从10.00 m增加到11.25 m,产生最大幅值的周期约为6 s,最大幅值降幅为13.0%,而水深从11.25 m增加到12.50 m,产生最大幅值的周期约为5 s,最大幅值增幅为1.58%,在周期从6 s增加到10 s过程中,随着水深的增加,垂荡幅值呈先增加后降低的趋势,而当周期大于14 s时,水深增加,垂荡幅值呈下降趋势,在周期为15 s时,垂荡加速度出现另一个较大的幅值。从图6b可看出,纵摇运动的幅值最大值随水深的

增加呈先减小后增大的趋势,水深从 10.00 m 增加到 11.25 m,纵摇角减小 2.99° ,而水深从 11.25 m 增加到 12.50 m,纵摇角增加 1.12° ;当周期小于 6 s 时,在 10.0 m 水深下幅值最小,在周期从 6 s 增加到 10 s 过程中,纵摇幅值随水深的增加呈增大趋势,而当周期大于 10 s 时,纵摇角随水深的增加呈下降趋势。

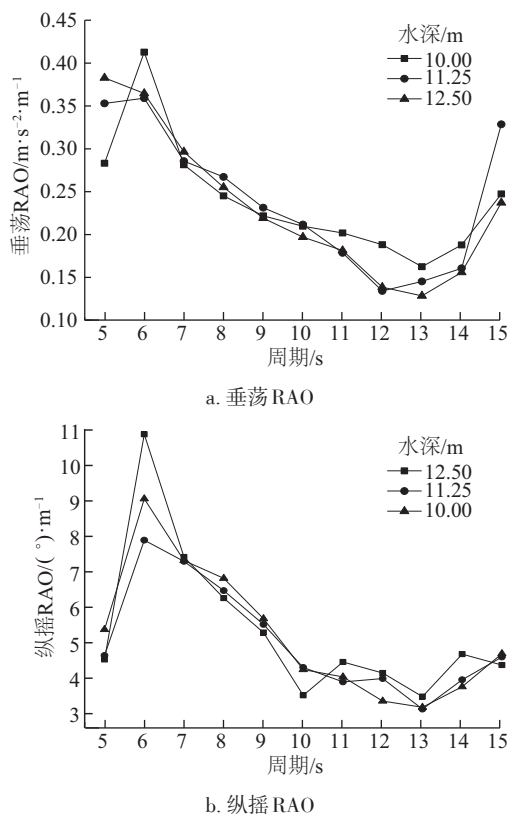


图6 不同水深摇荡运动RAO

Fig. 6 RAOs of oscillating motion with water depths

4 结 论

本文通过已有文献建立的多筒型基础运动方程并结合模型试验的结构对多筒型基础静水中的附加质量和阻尼特性进行了分析,并通过模型试验对影响多筒型基础的幅频响应特性的因素进行了分析,得到如下主要结论:

1) 参数 ϑ 可用来考虑空气压缩对结构摇荡运动的影响。

2) 多筒型基础的摇荡运动的附加质量系数都大于船舶动力学的建议值(1.2),取值在 1.4~1.8 之间变化,吃水大取小值,吃水小取大值。

3) 静水中垂荡运动的附加质量及阻尼系数都小于摇荡运动的附加质量和阻尼系数。

4) 在水深一定的情况下,垂荡和纵摇运动的幅值最

大值随吃水增加呈先增加后降低的趋势,该基础在 5.0 m 吃水下的运动响应最小。

5) 在吃水一定的情况下,垂荡和纵摇运动的幅值最大值随着水深的增加呈先减小后增大的趋势,该基础在 11.25 m 水深下的运动性能最佳。

[参考文献]

- [1] WANG X Y, ZENG X W, LI J L, et al. A review on recent advancements of substructures for offshore wind turbines [J]. Energy conversion and management, 2018, 158: 103-119.
- [2] 栾文辉. 筒型基础平台气浮拖航研究[D]. 天津: 天津大学, 2005.
LUAN W H. The study on towing by air floating of bucket foundation platform [D]. Tianjin: Tianjin University, 2005.
- [3] 别社安, 时忠民, 王翎羽. 气浮结构的运动特性研究 [J]. 中国港湾建设, 2001(2): 18-21.
BIE S A, SHI Z M, WANG L Y. Study on kinetic properties of the air floated structures [J]. China harbour engineering, 2001(2): 18-21.
- [4] 张积乐. 人工岛基础气浮拖航运动性能试验研究 [D]. 天津: 天津大学, 2011.
ZHANG J L. An experimental study on the motion performances of air supported artificial island foundation during floating towing [D]. Tianjin: Tianjin University. 2011.
- [5] BYRNE B, HOULSBY G, MARTIN C, et al. Suction caisson foundations for offshore wind turbines [J]. Wind engineering, 2002, 26: 145-155.
- [6] ZHANG P Y, DING H Y, ZHANG S Y. Field experiments on wet tows of an integrated transportation and installation vessel with two bucket foundations for offshore wind turbines [J]. Ocean engineering, 2015, 108: 769-777.
- [7] 别社安, 徐艳杰, 王光纶. 气浮结构的浮态和运动特性分析与试验 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2001, 41(11): 123-126.
BIE S A, XU Y J, WANG G L. Study on floating state and kinetic properties of the air floated structures [J]. Journal of Tsinghua University (natural science edition), 2001, 41(11): 123-126.
- [8] 付海峰. 大直径圆筒结构充气浮运的浮态特性分析和试验研究 [D]. 天津: 天津大学, 2001.
FU H F. Air floating state and properties analysis of the large-diameter cylinder shell structures [D]. Tianjin:

- Tianjin University, 2001.
- [9] 徐宝. 筒型基础结构附加质量系数的模型试验研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.
- XU B. The model test study on added mass coefficient of bucket foundation structure[D]. Tianjin: Tianjin University, 2006.
- [10] 刘宪庆. 气浮筒型基础拖航稳性和动力响应研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.
- LIU X Q. Study on stability and dynamic response for towing of air-floating bucket foundation[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012.
- [11] LIU X Q, ZHANG P Y, ZHAO M J, et al. Air-floating characteristics of large-diameter multi-bucket foundation for offshore wind turbines[J]. *Energies*, 2019, 12: 4108.
- [12] LIU X Q, ZHANG P Y, ZHAO M J, et al. Influencing factors of motion responses for large-diameter tripod bucket foundation[J]. *Applied sciences*, 2019, 9: 49-57.
- [13] 刘宪庆, 赵明阶, 乐丛欢, 等. 大直径多筒型基础的运动特性分析[J]. *船海工程*, 2020, 49(1): 124-129.
- LIU X Q, ZHAO M J, LE C H, et al. Analysis of motion characteristics of multi-bucket foundations with large diameter[J]. *Ship & ocean engineering*, 2020, 49(1): 124-129.
- [14] 刘宪庆, 赵明阶, 孙涛. 气浮筒型基础的运动特性理论及试验研究[C]//第十九届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集, 重庆, 2019.
- LIU X Q, ZHAO M J, SUN T. Theoretical and experimental study on motion characteristics of air-floating bucket foundation[C]//Proceedings of the 19th China Ocean (Offshore) Engineering Symposium, Chongqing, 2019.
- [15] 刘应中. 船舶兴波阻力理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- LIU Y Z. Theory of ship wave making resistance[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003.
- [16] 李忠献. 工程结构试验理论与技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2004.
- LI Z X. Theory and technique of engineering structure experiments[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2004.

STUDIES ON MOTION CHARACTERISTICS OF MULTI-BUCKET FOUNDATIONS WITH LARGE DIAMETER

Liu Xianqing¹, Zhao Mingjie¹, Zhang Puyang², Luo Sheng³

(1. College of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

3. Department of Military Facilities, Army Logistics University of PLA, Chongqing 401331, China)

Abstract: Taking a multi-bucket foundations (MBF) as the research object, the equations of oscillating motion for MBF were established by considering the compressibility of air in the foundation. The dynamic response characteristics of the structure in still water and regular waves were investigated in still water and regular waves by combining model tests. The results showed that the added mass coefficients of heave, roll, and pitch for the MBF are all greater than the recommended value 1.2 in ship dynamics. The added mass coefficients decrease with the increasing draft. The added mass coefficients in heaving motion are smaller than those in rocking motion at the same draft. The maximum amplitudes in oscillating motions increase first and then decrease with the increasing draft, while the opposite trends occur with increasing water depths. The optimal motion responses for the MBF are achieved at 5.0 m draft and 11.25 m water depth.

Keywords: bucket foundation; response amplitude operator(RAO); added mass coefficient; draft; water depth