



自浮升降式航标平台吃水状态分析

余 葵^{1,2}, 周 浪^{1,2}, 胡应国^{1,2}, 张 飞³, 王 宏³, 梁家华^{1,2}

(1. 重庆交通大学, 国家内河航道整治工程技术研究中心, 重庆 400074;

2. 重庆交通大学, 重庆市桥梁通航安全与防撞工程技术研究中心, 重庆 400074;

3. 长江重庆航道局万州航道处, 重庆 400074)

摘要: 自浮升降式航标平台是一种新型水上航标平台装置, 可以通过浮体在导向柱上的滑动适应大幅度水位变化。浮体平台的吃水深度是影响浮体运行稳定性的重要因素。通过公式推导得出浮体吃水深度与浮体质心、浮心之间的关系; 通过水工物理模型试验观察分析吃水深度变化导致浮体稳定性变化的规律, 并通过有限元软件模拟了浮体运动状态; 最后得出航标平台的吃水深度与浮体运行稳定性之间的响应规律。

关键词: 浮体; 模型试验; 稳定性; 吃水线

中图分类号: U 644.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)07-0163-08

Analysis of best draft state of self-floating lifting navigation platform

YU Kui^{1,2}, ZHOU Lang^{1,2}, HU Ying-guo^{1,2}, ZHANG Fei³, WANG Hong³, LIANG Jia-hua^{1,2}

(1. National Inland Waterway Improvement Engineering Research Center, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Chongqing Bridge Navigation Safety and Collision Engineering Technology Research Center,

Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

3. Wanzhou Waterway Division of Chongqing Waterway Bureau of Yangtze River, Chongqing 400074, China)

Abstract: The self-floating elevating navigation mark platform is a new type of water navigation mark platform device, and it can adapt to large water level changes through the sliding of the floating body on the guide column. The draft of the floating body platform is an important factor affecting the stability of the floating body. The relationship between the draft of the floating body and the center of mass and the center of buoyancy is derived by formulas. Through the hydraulic physical model test, the law of the stability change of the floating body caused by the changes of the draft is observed and analyzed, and the movement of the floating body is simulated by the finite element software. Finally, the response law between the draught of the navigation mark platform and the stability of the floating body is obtained.

Keywords: floating body; model test; stability; draught depth

自浮升降式航标平台是一种适用于山区库区河流大水位变幅的航标平台装置, 山区库区河流具有水位变幅大、规律性明显、河岸陡深等特点。浮体平台通过内部通孔嵌套在导向柱上, 导向柱通过锚杆、法兰盘等设施固定于基岩上; 当水位发生变化时, 浮体可通过导轨、滑轮等导向装置在导向柱上滑动, 以此达到适应大水位变幅的要

求, 大大减少了航标维护人员的工作量。自浮升降式航标平台见图 1。

浮体平台的运行稳定性是影响航标平台运行安全的重要因素。影响浮体平台运行稳定性的因素有: 当地水文地质条件、浮体平台的结构形式以及浮体平台的吃水深度等。国内学者对水上平台稳定性已有相关研究, 文献[1]对防撞装置稳定

收稿日期: 2020-10-25

作者简介: 余葵(1965—), 男, 研究员, 研究方向为水工结构防撞。

性在多种波浪以及不同吃水条件进行了分析。分析自浮升降式航标平台的最佳吃水状态，对于航标平台的设计及结构优化具有重要的参考意义。本文通过水工物理模型试验和数学计算分析了航标平台吃水深度与航标运行稳定性的关系，通过有限元验证了其可靠性。

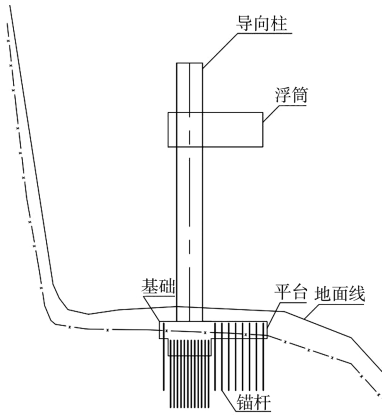


图 1 航标平台

1 模型试验

1.1 试验条件

试验的波浪池长 30 m、宽 0.5 m、高 0.8 m。根据试验任务中对模型范围和模型相似条件的要求，综合考虑试验场地、试验设备等因素，决定选用几何比尺为 $\lambda = 15$ 。

模型设计符合基本的相似准则，基于 JTJ/T 234—2001《波浪模型试验规程》^[2]，根据试验波浪参数、装置的几何尺寸及波浪水槽设备条件，选定模型试验的长度比尺为 $\lambda_l = 1:15$ ，水工物理模型见图 2。在本次试验中，重力起决定性作用，应按弗劳德准则进行设计。

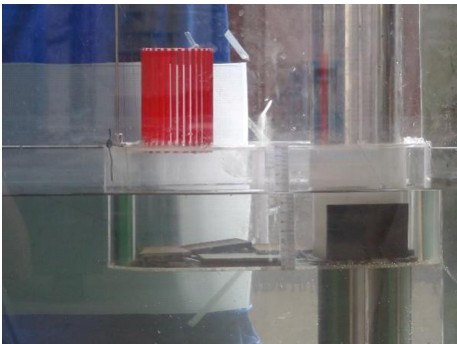


图 2 1:15 水工物理模型

按弗劳德准则， $(Fr)_p = (Fr)_m$ ，且 $g_p = g_m$ ，

则原型与模型的速度比为： $\frac{v_p}{v_m} = \sqrt{\frac{l_p}{l_m}} = \lambda_l^{1/2}$ ，由于

$T = \frac{\lambda}{v}$ ，从而得到原型与模型的时间比尺为： $\frac{T_p}{T_m} =$

$\frac{\lambda_p/\lambda_p}{\lambda_m/\lambda_m} = 3.87。$

本文主要研究自浮升降式航标平台在三峡库区波浪中的浮性与稳定性，试验要素主要有波高和周期。由于三峡库区各航段条件不一致，无相关波浪记录资料，所以根据现场调研与检测，试验采用了三峡库区的两种典型波浪，见表 1。

表 1 波浪要素

模型		原型	
波高/cm	周期/s	波高/cm	周期/s
6.02	0.90	90.3	3.483
4.36	0.65	65.1	2.561

1.2 相似条件

本模型满足几何条件相似、重力相似、浮力相似与稳性相似^[3-4]，其相似比尺如下：

1)几何条件相似。

几何条件相似是指结构模型尺寸、面积、体积相似，所以模型试验的长度比尺取为 $\lambda_l = 1:15$ 。

2)重力相似。

模型几何比尺 $\lambda_l = 15$ ，按照重力相似要求，重力相似比尺 $\lambda_{重} = \lambda_l^3 = 15^3$ 。

3)浮力相似。

由于 $F_{浮} = \rho_{水} g V_{排}$ ， $\lambda_v = \lambda_l^3 = 15^3$ ，因此浮力相似比尺 $\lambda_{浮} = \lambda_l^3 = 15^3$ 。

4)稳性相似。

稳性相似必须保证防撞设施质心与浮心位置的相似性，即稳性相似比尺 $\lambda_L = \lambda_l$ ，相似比尺见表 2。

表 2 相似比尺

类别	几何相似比	重力相似比	浮力相似比	稳性相似比
比尺	1:15	1:3 375	1:3 375	1:15

1.3 试验方法

由于本装置在设计时将模型的平移、转动进行了约束，在开展单桩自浮式升降航标平台浮性与稳定性试验时，仅涉及 3 个自由度的运动，即：

升沉运动、纵摇运动与横摇运动。试验模型采用 1:15 的模型比尺, 由于浮体的尺寸及质量较小, 本试验采用一种新方法量测浮体升沉运动与纵横摇运动, 即: 在浮体的 3 个方向上加装硬质刚性细杆(采用直径为 3 mm 的不锈钢管), 细杆的质量与其对整体的质心影响可忽略不计, 这样, 细杆远离浮体的一端在受到外力作用时位移相对于浮体本身而言扩大了很多, 即可直接观测或通过高速相机量测扩大后的位移。试验装置见图 3。



图 3 试验装置

2 数据分析

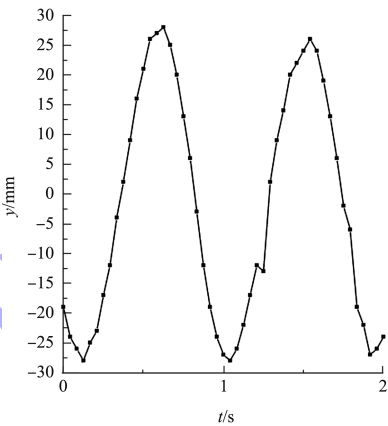
2.1 升沉运动

将试验模型在不同吃水深度的升沉运动响应绘制成曲线, 分别为试验模型在 1 号与 2 号波浪作用下, 模型吃水为 33、44、66、88 mm, 即吃水深度占整体 1/4、1/3、1/2、2/3 的升沉运动响应曲线。两种波浪升沉运动响应曲线见图 4, 浮体升沉运动参数见表 3。可以得到以下结论:

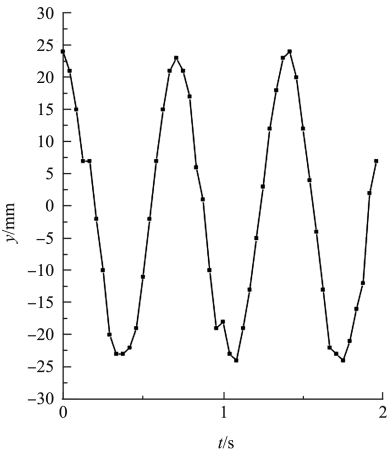
- 1)模型的升沉运动在平均值附近做等幅振动, 升沉运动规则且均匀, 呈现较强的周期性, 模型运动的周期为 0.9 s, 与波浪周期一致。
- 2)在 1/4、1/3、1/2、2/3 吃水线下, 波高、周期见表 3, 2/3 吃水线下模型升沉运动波高略低于前 3 组试验。
- 3)在 2/3 吃水线下, 并未完成完整的简谐运动, 在波浪高度达到峰值时, 由于惯性力的作用, 模型升沉运动并未达到最高点位置, 在波浪从最高位置开始下降时, 模型便随着波浪的下降而下降, 因此, 模型在 2/3 吃水下完成的并非一个完整

的简谐运动。

4)2/3 吃水线下, 在波浪峰值时水面线将超过浮箱顶高程, 由于惯性力的作用, 浮体做升沉运动略慢于波浪, 当波浪达到波峰时, 浮体升沉运动还未达到峰值, 此时, 浮体额外受到上部水带来的水压力, 使其不能达到预期的幅值位置。



a) 1号波1/4吃水升沉运动



b) 2号波1/2吃水升沉运动

图 4 波浪运动响应曲线 升沉运动变幅

表 3 升沉运动参数

吃水深度	1 号波		2 号波	
	周期/s	波高/mm	周期/s	波高/mm
1/4 吃水	0.93	60	0.70	38
1/3 吃水	0.95	57	0.66	38
1/2 吃水	0.91	56	0.66	46
2/3 吃水	0.85	55	0.66	34

2.2 横摇运动

两种波浪的横摇运动曲线见图 5, 可以看出,

在 1/4、1/3 吃水线下，模型的横摇运动较为激烈，其峰值接近 1.5°；在 1/2、2/3 吃水线下，模型的横摇运动相对前者较为缓和，横摇峰值在 0.5°左右。图 5a) 中 1/3 吃水时横摇运动变幅最大，图 5b) 中 1/4 吃水时横摇运动变幅最大。两种波况下的横摇响应结果产生差异是因为波浪的频率对浮体的变幅有一定影响，导致图 5a) 横摇运动变幅峰值是在 1/3 吃水处，而图 5b) 横摇运动变幅峰值是在 1/4 吃水处，但是两者在较大吃水情况下的横摇运动趋势是一致的，所以误差是在允许范围内，结果可信。浮体的吃水线维持在 1/2~2/3 时，浮体的横摇运动变幅较小。

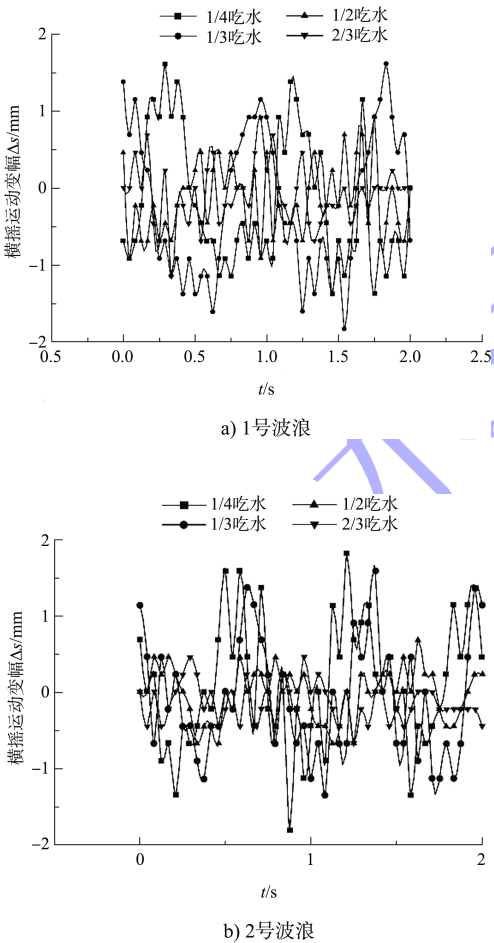


图 5 横摇运动响应曲线

2.3 纵摇运动

两组波浪下的模型纵摇运动峰值见表 4，表中数值反映的结果同横摇运动类似，即在 1/2、2/3 吃水线下，模型的纵摇运动峰值小于 1/4、1/3 吃水线下的峰值，纵摇运动强度与 Δs 呈负相关。

表 4 纵摇运动参数

吃水深度	纵摇角度/(°)	
	1 号波	2 号波
1/4 吃水	2.676	2.102
1/3 吃水	2.676	1.72
1/2 吃水	1.528	1.147
2/3 吃水	1.146	0.803

3 合理吃水线的计算

根据水力学相关知识，浮体的稳定性同质心、浮心的相对位置有关。浮体可简化为其关于纵轴对称的轴对称图形，其浮心与质心均位于对称轴上，因此，可以将浮体简化为其横纵切面上的二维矩形；通过研究质心及浮心在这个二维图形上的相对位置，可以推导出浮体的相对稳定状态。

3.1 计算假定

为了便于计算，对水工模型做了如下简化^[5]：不考虑浮体纵向上的形状及结构变化；配重体与浮箱内壁紧密贴合，即不考虑浮箱与配重体之间、配重体与配重体之间的间隙。

3.2 质心浮心相关计算

将浮体运动简化为在二维平面的纵轴运动后，浮体的质心与浮心随配重质量的变化沿着横切面的对称轴运动，可以通过式(1)~(7)计算出质心与浮心的相对位置。

$$\Delta s = s_{\text{质}} - s_{\text{浮}} \tag{1}$$

$$s_{\text{浮}} = \frac{1}{2}h \tag{2}$$

$$s_{\text{质}} = \frac{m_1s_1 + m_2s_2}{m_1 + m_2} \tag{3}$$

$$m_1 = [2ay + 2(b - y)y]\rho_1 \tag{4}$$

$$m_2 = \rho_{\text{水}}ha - m_1 \tag{5}$$

$$s_1 = \frac{b}{2} \tag{6}$$

$$s_2 = \frac{m_2}{\rho_2(a - 2y)} + y \tag{7}$$

式中：Δs 为质心浮心相对距离；s_浮 为浮心距浮体底端距离；s_质 为质心距浮体底端距离；h 为吃水深度；m₁ 为浮体外壳质量；m₂ 为舱内配重质量；s₁ 为浮体外壳质心距底端距离；s₂ 为舱内配重质心距底端距离；a 为舱体宽度；b 为舱体高度；y

为舱壁厚度; ρ_1 为舱体材料密度; ρ_2 为配重材料密度; $\rho_{\text{水}}$ 为水的密度。

通过上述公式可以推导得出浮体的最佳吃水深度公式(本文所指最佳吃水深度即在该吃水深度下受波浪影响最小的吃水深度)^[6]。当 Δs 值为负值时, 即质心在浮心之下, 可以认为浮体处于稳定状态; Δs 值越小, 即吃水深度越大, 抗倾覆力矩相对就越大, 越利于浮体的抗倾稳定性。

3.3 吃水深度与稳定性研究

将水工模型参数代入公式: 模型的箱体材料为有机玻璃, 宽度为 166.6 mm, 高度为 133.3 mm, 厚度均为 5 mm, 密度为 $1.2 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$ 。模型试验中所采用的配重材料为铸铁块, 密度为 $7.25 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$ 。

计算结果如下: $m_1 = 3.478 \text{ g}$, $s_1 = 66.65 \text{ mm}$, 铸铁块的质量及其质心位置均与吃水深度 h 有关:

$$m_2 = h \times 166.6 \times 1 \times 10^{-3} - m_1 \tag{8}$$

$$s_2 = \frac{h \times 166.6 \times 1 \times 10^{-3} - 3.478}{7.25 \times 10^{-3} \times 156.6} + 5 \tag{9}$$

那么, 箱体的质心位置为:

$$S_{\text{质}} = \frac{1}{0.167h} (0.025 h^2 - 0.185h + 225.07) \tag{10}$$

由上述结果可以得到一个吃水深度-质心浮心相对距离关系, 即 $h-\Delta s$ 关系, 见图 6。①当 Δs 为负时, 浮心在质心之上; ② Δs 为正时质心在浮心之上; ③ Δs 为零时, 质心与浮心重合。

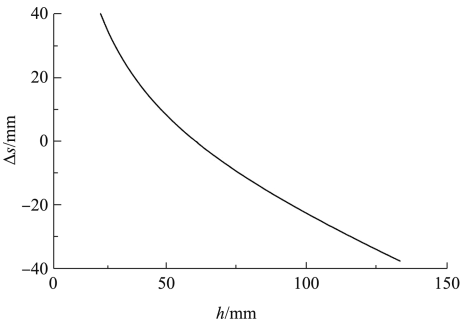


图 6 水工模型 $h-\Delta s$ 关系曲线

在①情况下, 浮体若倾斜, 重力 G 与浮力 F 会形成一个使浮体恢复原来位置的转动力矩, 使浮体恢复原位; 在②情况下, 浮体若倾斜, 重力 G 与浮力 F 不形成转动力矩, 浮体处于随机平衡

状态; 在③情况下, 浮体若倾斜, 重力 G 与浮力 F 形成一个使浮体继续倾斜的转动力矩, 使浮体位置复原。

所以, 当 Δs 为负时, 转动力矩的存在使得浮体受到外力作用时相对稳定, Δs 越小, 即吃水深度越深, 浮体越稳定。试验中, 在 1/2、1/3 吃水线下, 浮体模型的纵横摇运动幅度远小于 1/4、1/3吃水线下的运动幅度, 计算结果同试验结果基本吻合。

3.4 装置合理吃水线研究

原型的箱体材质为 304 不锈钢, 箱体厚 5 mm, 高度为 2 m, 长为 5.5 m, 宽为 2.5 m, 密度为 $7.93 \times 10^6 \text{ g/m}^3$; 所用配重材质为素混凝土, 密度为 $2.4 \times 10^7 \text{ g/m}^3$ 。通过计算推导可以得到其吃水深度-质心浮心相对距离关系图像, 原型吃水深度-质心浮心关系见公式(11)。

$$s_{\text{质}} = \frac{1}{2.5h} (1.045h^2 - 0.164h + 0.22) \tag{11}$$

航标平台 $h-\Delta s$ 关系见图 7, 可以看出, Δs 在吃水深度 h 为 0.71 m 时变为负, 即吃水深度在超过 0.71 m 后, 浮体开始变得稳定, 考虑到当地波浪最大为 0.9 m, 为避免出现波浪漫过浮体顶端的现象, 其吃水深度不应超过 1.1 m。因此, 原型的最佳吃水深度为 0.8~1.1 m。

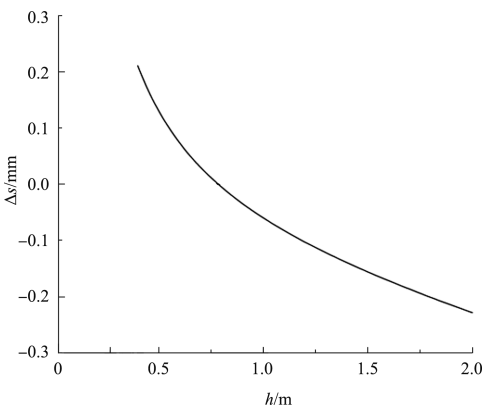


图 7 航标平台 $h-\Delta s$ 关系

4 基于 AQWA 的浮体运动分析

4.1 模型构建与有限元设置

根据试验条件及试验浮体, 对浮体进行建模, 见图 8。

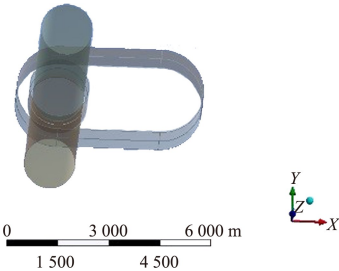


图 8 浮体模型

考虑在不同吃水条件下浮体的运动响应，取浮体高度的 1/4、1/3、1/2、2/3 作为浮体的吃水深度位置，进行 slice 切片操作，标记水面线，设置方式见图 9。

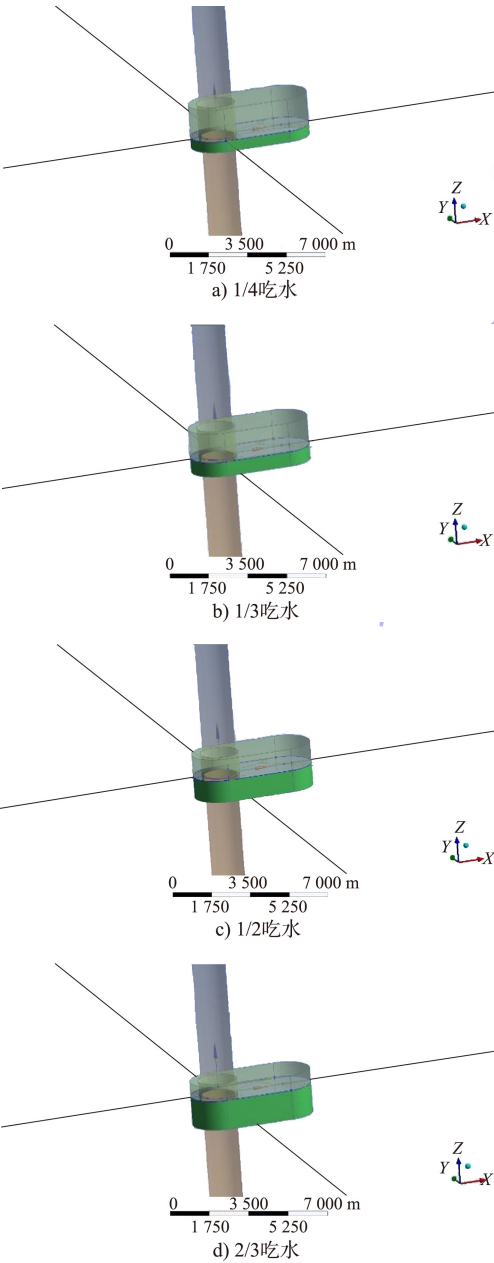


图 9 浮体模型吃水深度

将原试验条件按比例放大后波浪方向长度为 450 m，宽度 7.5 m，深度 7.5 m。

试验仅考虑波浪载荷的影响，风载荷以及流载荷不考虑^[7]。其环境参数为：水深 $H=7.5\text{ m}$ ， $\rho_{\text{水}}=1\,000\text{ kg/m}^3$ ，重力加速度 $g=9.81\text{ kg/m}^2$ 。因为，在有限元模拟中波浪方向以 x 轴正向为 0° ，根据试验情况，设置波浪入射方向为 180° 方向，波浪频率数设置为 30 组。

4.2 模型升沉运动响应

试验的条件工况见表 5、6。表 6 模型试验工况浮体形状为环形，入射波要素采用表 5 的 1 号波、2 号波参数。

表 5 模型波况设置		
编号	波高/m	周期/s
1 号波	0.90	3.5
2 号波	0.66	2.5

表 6 模型工况				
工况	1	2	3	4
吃水/m	0.500	0.666	1.000	1.333

首先对软件进行相关设置^[8-9]，为了与试验一致，用护舷限制了浮体的 x 、 y 方向的位移，所以只关心在垂直方向上浮体的运动响应情况，水平方向的运动情况可以忽略不计，如无说明，均只考虑浮体垂直方向的特性。

选取 80~90 s 时刻浮体的升沉运动，图 10 为模型在 1、2 号波浪下，模型吃水占整体高度 1/4、1/3、1/2、2/3 的升沉运动响应曲线。

从图 10 可以看出，1 号波情况下，模型的升沉运动较规则且均匀，呈现较强的周期性，随波性能良好，即数值仿真模拟运行正常，2 号波浮体模型的升沉运动曲线与 1 号波基本一致；两种波浪下模型升沉运动的周期与各波浪的周期基本一致，升沉运动周期分别为 3.5、2.5 s，但是，1 号波模型升沉幅值比 1 号波的波浪幅值大，2 号波模型的升沉幅值比 2 号波的波浪幅值小，吃水对浮体升沉运动有一定的影响，吃水越大浮体的升沉幅值越大，虽然波浪对浮体升沉运动也有一定的影响，但不同波浪对浮体模型在不同吃水深度的升沉运动影响不大，呈现出一样的趋势。

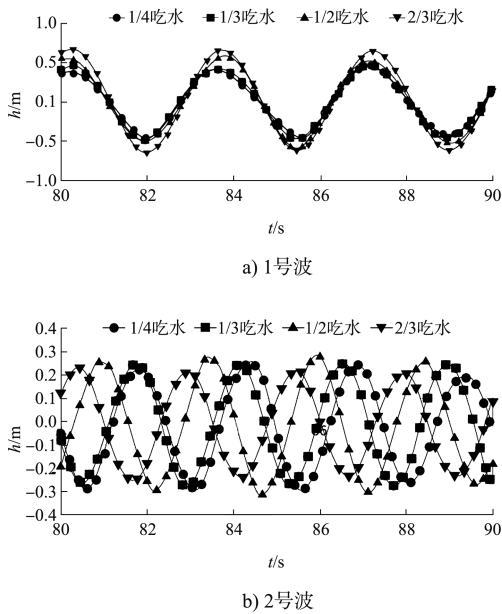


图 10 浮体模型升沉响应曲线

选取 1/2 吃水浮体模型在两种波况下的有限元模拟升沉运动曲线与试验升沉运动曲线(按缩尺比放大)进行比较,从图 11 可以看出:在两种波况下,有限元模拟的升沉运动曲线与试验得到的升沉运动曲线趋势大体一致,升沉幅值也基本一致。

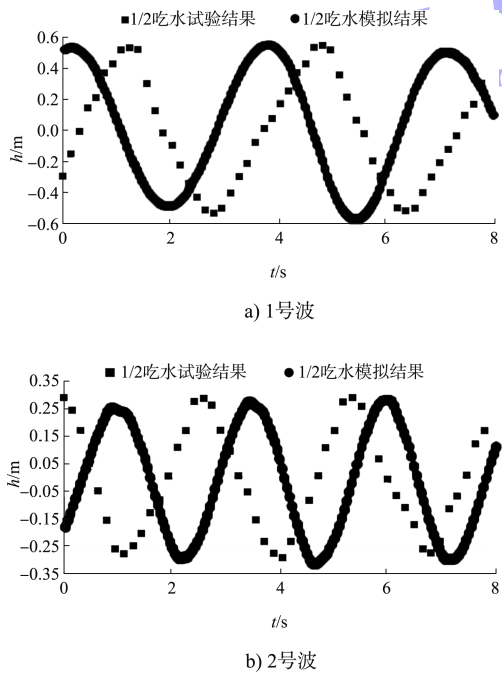


图 11 浮体模型升沉响应曲线对比

各种工况的数值仿真模型升沉运动幅值与试验模型升沉运动幅值(按 1:15 的比例放大)结果见表 7。

表 7 数值仿真模型与试验模型升沉运动幅值

吃水	1 号波		2 号波	
	模拟升沉幅值/m	试验升沉幅值/m	模拟升沉幅值/m	试验升沉幅值/m
1/4 吃水	0.89	0.94	0.55	0.53
1/3 吃水	0.95	0.98	0.53	0.54
1/2 吃水	1.18	1.10	0.60	0.59
2/3 吃水	1.28	0.98	0.49	0.39

从表 7 可知,浮体的升沉运动模拟结果与试验模型升沉运动结果大体一致,在 1/4/、1/3、1/2 吃水情况下升沉运动幅值模拟结果与试验结果误差在 10%以内,而在 2/3 吃水情况时模拟结果的升沉幅值大于试验结果,这是由于在 2/3 吃水情况下,AQWA 软件没有考虑波浪漫过浮筒时对浮筒上部带来的压力^[10],所以模拟得出的升沉幅值结果比试验时的大。

由于护舷约束了浮筒的水平向运动,所以浮筒纵横摇运动基本被约束在一定的范围,在不同周期波浪下,其幅值变化很小,两种波变化情况一致。在 1/4、1/3、1/2、2/3 吃水时,浮筒的横摇运动峰值分别为 1.6°、1.2°、0.8°、0.5°。在 1/4 吃水时,浮筒的横摇运动较为激烈,吃水增大时,横摇运动缓和;而在同等模拟试验条件下,浮筒的纵摇峰值差别不大,都在 0.6°左右,在波向一定的时候,吃水对纵摇运动几乎没有影响。

不同吃水情况下,数值模型纵横摇峰值与试验模型纵横摇峰值结果见表 8。

表 8 纵横摇运动峰值比较

吃水	模型横摇角度/(°)	试验横摇角度/(°)	模型纵摇角度/(°)	试验纵摇角度/(°)
1/4 吃水	1.6	1.5	0.6	1.4
1/3 吃水	1.2	1.1	0.6	1.3
1/2 吃水	0.8	0.9	0.7	0.9
2/3 吃水	0.5	0.6	0.6	0.7

由表 8 可知,AQWA 模型的横摇运动模拟结果与试验模型横摇运动结果大体一致,浮筒吃水越大,横摇运动峰值越小。4 种吃水情况下横摇运动峰值模拟结果与试验结果误差在 5%以内,而有限元模拟的纵摇运动在 4 种吃水情况下几乎没什么变化,与试验情况模型纵摇运动不同。这是因

为在试验时水槽边界的影响,波浪对水槽的反射影响了试验纵摇运动的变化^[11],软件中没有考虑水槽边界的反射力,所以模拟得出的纵摇峰值结果与试验的纵摇峰值结果不同。

5 结语

1) 可通过限制浮体模型水平方向运动来简化其有限元模拟模型,提出了一种利用护舷单元限制浮筒的水平向运动使其沿着导向柱上下滑动的数值仿真方法,通过该方法得到的浮筒升沉运动和纵横摇运动与试验得到的结果之间虽然存在一定的误差,但仿真结果与试验结果误差在 10% 以内,说明该数值仿真方法能较好地模拟自浮式航标装置浮筒的运动响应;而误差产生的原因主要是浮筒吃水较深时,波浪越过浮筒对浮筒产生的作用力,在软件中实现不了,所以吃水较深时,误差较大。

2) 从稳定性角度讲,浮体的吃水深度越深,它的稳定性越好,但是浮体露出水面的高度不宜小于波浪的波高,并且二者之间的高度差不宜小于总体高度的 1/3,这是为了避免出现波浪漫过浮体顶端的现象,可以得出航标原型的最佳吃水深度为 0.8~1.1 m。

3) 该试验仍有待优化,例如浮体结构形式、不规则波浪对航标平台运动稳定性的影响都是要进一步研究的内容。

参考文献:

[1] 余葵,储雪权,吴俊,等.拱形自浮式水上升降防撞装置的浮性与稳性[J].科学技术与工程,2018,18(5):315-318.

[2] 南京水利科学研究所.波浪模型试验规程:JTJ/T 234—2001[S].北京:人民交通出版社,2002.

[3] 孙翠琴,朱祖祺,耿修文.单浮筒贮油系统(SBS)模型的波浪试验[J].海洋工程,1988(1):89-95.

[4] 黄森,廉滋鼎,左仔滨,等.水陆两栖飞机模型水池波浪试验研究[J].航空科学技术,2016,27(1):74-78.

[5] 徐哲,付光辉.一种巨型浮标平台的稳定性分析[J].水雷战与舰船防护,2017,25(1):60-65.

[6] LE C H, DING H Y, ZHANG P Y. Air-Floating Towing Behaviors of Multi-Bucket Foundation Platform[J]. China ocean engineering, 2013, 27(5): 645-658.

[7] 肖文智,王登婷,冯卫兵,等.高桩码头上部结构波浪力物理模型试验研究[J].水运工程,2012(3):50-54.

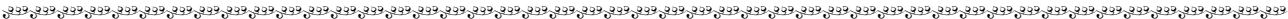
[8] 陆晔,顾学康,宗智.超大型浮体波浪中的完整稳性研究[J].中国造船,2015,56(S1):138-145.

[9] 王华明,付光辉,王志刚.某观测平台运动特性仿真分析[J].水雷战与舰船防护,2014,22(03):33-36.

[10] 许崇银,孟庆良.基于 ANSYS/Workbench/AQWA 的新型两栖装甲车辆海上航行稳定性分析[J].四川兵工学报,2012,33(10):34-35,40.

[11] 罗亮.一种新型筏式波浪能发电平台的水动力特性研究[D].杭州:浙江大学,2017.

(本文编辑 武亚庆)



(上接第 121 页)

[12] 王辉,丛榆坤,陈金阳,等.基于 MATLAB 数字图像 GLCM 纹理分析软件实现[J].数字技术与应用,2019,37(10):146-148,150.

[13] ALMEIDA M A M, SANTOS I A X. Classification models for skin tumor detection using texture analysis in medical images[J]. Journal of imaging, 2020, 6(6): 1-15.

[14] 顾勇,马兴华,金雪英,等.连云港港 30 万吨级航道建

设主要技术问题[J].水运工程,2012(4):122-128.

[15] 张存勇.淤泥质海底航道边坡稳定性模糊综合评价[J].安全与环境学报,2019,19(6):1892-1897.

[16] 王媛,林森.基于 NSST 和 Tetrolet 能量特征的指关节纹识别[J].激光与光电子学进展,2021,58(2):0210019-01-0210019-10.

(本文编辑 武亚庆)