

纵倾角对筒基平台气浮拖航影响模型试验研究

乐丛欢¹ 丁红岩^{2a,b,c} 董国海¹ 张浦阳^{2a,2c}

(1 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116023; 2 天津大学

a 建筑工程学院; b 水利工程仿真与安全国家重点实验室;

c 滨海土木工程结构与安全教育部重点实验室, 天津 300072)

摘要 以某四筒-筒型基础平台为对象,就不同后倾纵倾角(后倾角)拖航组合,采用1:20的模型进行顺浪和逆浪下的拖航试验.通过测定各试验组合拖航过程中平台运动加速度、筒内气压力、筒底水压力以及拖缆力变化,并对试验数据进行对比分析,得到纵倾角对筒型基础平台拖航基本力学参数的影响,进而得出其对平台拖航稳性的影响.结果表明:设置一定的后倾角,可明显降低筒型基础平台拖航时的摇摆以及升沉运动的幅度,但后倾角对提高平台拖航稳性是有限的,与逆浪拖航相比,后倾角对平台顺浪拖航影响较大.对于该四筒-筒型基础平台,在顺浪和逆浪拖航中,当设置1°的后倾角时,平台的拖航稳性和耐波性均最高.

关键词 筒型基础; 气浮; 拖航; 纵倾角; 模型试验

中图分类号 P752 文献标志码 A 文章编号 1671-4512(2012)06-0086-04

Model test and analysis of influence of trim angle on towing of platform with air cushion supported by bucket foundation

Le Conghuan¹ Ding Hongyan^{2a,b,c} Dong Guohai¹ Zhang Puyang^{2a,2c}

(1 State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology,

Dalian 116023, Liaoning China; 2 a School of Civil Engineering, b State Key Laboratory of

Hydraulic Engineering Simulation and Safety, c Key Laboratory of Coast Civil Structure

Safety of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract Towing tests were conducted on a 1:20 scaled model of a platform with 4-bucket foundation with different angles of trim by stern in the following and head sea. The acceleration, the internal air pressure, the bottom water pressure of the bucket and towing force of the platform were determined in the process of towing of the bucket foundation platform. The effect of trim angle on basic mechanical parameters of the bucket foundation platform during towing in following sea and head sea by comparing was examined and the test data was analyzed to evaluate influence of the trim angle on the towing stability. Setting a certain backward trim angle can visibly reduce the dynamic response of the heave and sway motions. However, the backward trim angle to improve platform towing stability is limited. Compared with the towing in head sea, the backward trim angle has more influence on the platform towing in following sea. The 4-bucket foundation platform set 1° backward trim angle has the greatest stability and seakeeping when towing in the following and head sea.

Key words bucket foundation; air cushion; towing; trim angle; model test

筒型基础是一种新型的移动式基础,具备自拖航、海上快速安装、施工费用低及可重复利用等特点^[1-3],具有广阔的应用前景.自拖航能力是筒

型基础有别于其他海上基础的最大优势之一,特别是在浅海区^[4-5].

筒型基础平台的气浮拖航不同于普通浮体

收稿日期 2011-06-16.

作者简介 乐丛欢(1983-),女,博士,E-mail:leconghuan@163.com.

基金项目 国家高技术研究发展计划资助项目(2012AA051705);国家国际科技合作专项资助项目(2012DFA70490).

(如船舶,导管架平台)在水中的漂浮,普通浮体相当于具有刚性基础的结构支撑于弹性基床上,而筒型基础平台由于气体的可压缩性,相当于具有柔性基础的结构支撑于气垫与水塞耦合的弹簧之上,不能采用普通浮体的方法分析其运动特性^[6-7]. Pinkster 等^[8]通过 1:200 的模型试验,对气浮式移动基础进行了稳性分析,得到气浮式移动基础中剖面弯矩、水塞的相对运动及其在静水中拖航阻力. Thiagarajan 等^[9]通过模型试验对比分析了底部密封箱和底部气垫箱在波浪作用下的运动,并提出一个简化线性波理论来评估气浮结构在规则波上的垂荡和纵摇响应. 国内对气浮结构的研究开展得比较晚,别社安等^[6,10-11]对气浮结构的静浮态、小倾角稳性以及运动特性进行了分析. 目前尚无成熟的理论能准确地预报波浪作用下气浮结构拖航过程中的运动响应,模型试验是研究其拖航特性最实用的方法.

筒型基础平台拖航时拖点位置一般位于重心以下,当波浪较大或航速较大时,系缆筒易发生埋首现象,通过设置后倾纵倾角(后倾角) α 预先施加一个初始回复力矩,调节作用力臂,降低摇摆幅度,有助于缓解系缆筒埋首现象,提高拖航稳性. 本研究设置不同后倾纵倾角对四筒-筒型基础平台进行顺浪和逆浪拖航模型试验,通过测定拖航过程中的力学参数变化,分析得到纵倾角对筒基平台拖航的影响,为实际工程中的拖航提供参考依据.

1 试验设计

1.1 试验模型

试验以四筒-筒型基础平台为原型,单筒直径 6.0 m,筒高 7.0 m,筒的中轴线间距离 9 m,平台整体高度 22 m,模型为钢质结构,依据重力和惯性力傅汝德相似定律按 1:20 相似比尺设计,模型与原型满足总质量、质心位置以及惯性矩相似^[12-13].

1.2 试验仪器和设备

试验水槽:长 98 m,宽 4 m,高 2 m. 水槽内配置了大功率造波机.

拖航设备:拖车,拖航速度以及拖航距离可控;拖缆采用钢缆,拖缆一端系于筒体上,另一端通过固定于拖车上的距水面 10 cm 高的定滑轮与拉力传感器相连.

测量设备:包括水压力传感器、气压力传感器、拉力传感器、加速度传感器、摄像系统、波浪率

定系统、水温度计以及相应的信号放大器和计算机信息采集系统. 所有测量仪器均需在水面以及平台结构静止时清零.

1.3 测量仪器布置

图 1 给出了平台的随体坐标系标识与筒体编号,模型试验的传感器布置如图 2 所示. 其中: D 为单筒直径; x 方向为拖航前进方向; y 方向为平

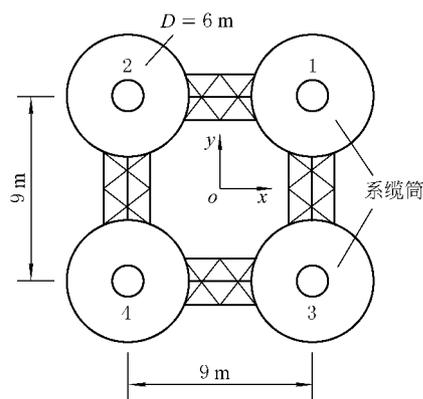


图 1 随体坐标系与筒体编号

台横漂方向; z 方向为平台上浮方向. 如图 1 所示,1 号筒和 3 号筒为系缆筒,2 号筒和 4 号筒为非系缆筒. 在图 2 所示平台顶部布置一个三向加速度传感器,用于测量 x, y, z 这 3 个方向的加速度,其中: x 向加速度 a_x 反映了拖航时平台纵荡运动激烈程度; y 向加速度 a_y 反映了平台横荡运动激烈程度; z 向加速度 a_z 反映了平台垂荡运动激烈程度. 在各筒型基础筒内顶部布置一个气压力计测量筒内气垫压力 p_a ,在筒底部布置一个水压力计,以测量筒内水塞压力 p_w .

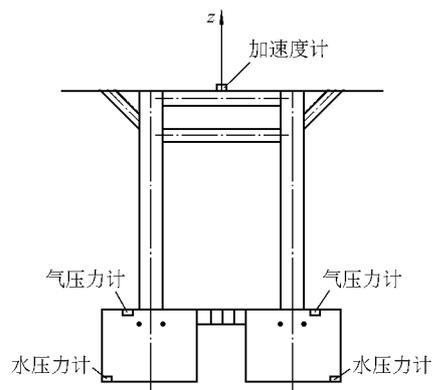


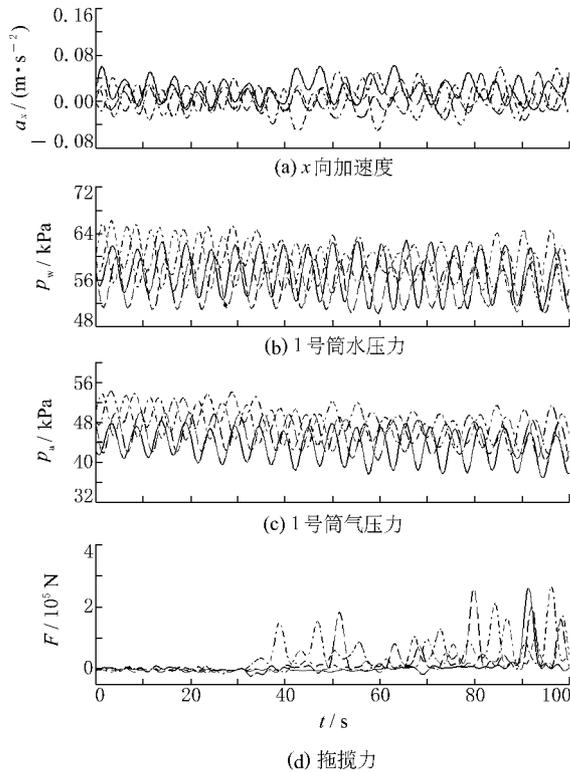
图 2 传感器布置

1.4 测试组合方案

在波浪(波高 1 m,周期 5 s)、航速(2 kn)、吃水(6 m)、缆长(34 m)、拖点位置(筒顶以下 0.8 m)一定且平均吃水不变的情况下,通过提高 1 号筒和 3 号筒的干舷高度,降低 2 号筒和 4 号筒的干舷高度,使平台绕 y 轴逆时针旋转 $0^\circ, 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$,试验组合见表 1,其中 α 为后倾角.

表1 拖航试验组合

组合	波浪方向	$\alpha/(\circ)$
1	顺浪	0
2	顺浪	1
3	顺浪	2
4	顺浪	3
5	逆浪	0
6	逆浪	1
7	逆浪	2
8	逆浪	3



—0°; - - - -2°;1°; - · - ·3°(下同).

图3 顺浪拖航试验组合各测试参数时程曲线

揽力 F . 对比图3和图4可知,逆浪拖航时平台摇摆运动与升沉运动的频率要略高于顺浪拖航.

3 分析与讨论

3.1 顺浪拖航

图5为顺浪拖航时各参数峰值随后倾角 α 的变化曲线. 其中图5(a)为平台各向最大加速度 a_{\max} 随后倾角 α 的变化曲线. 由图5(a)可知:顺浪拖航时,设置一定的 α 能较大程度地降低平台的 x 向最大加速度 $a_{\max,x}$, y 向最大加速度 $a_{\max,y}$ 和 z 向的最大加速度 $a_{\max,z}$. 相比于 $\alpha=0^\circ$ 的情况,当 $\alpha=1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$ 时, $a_{\max,x}$ 的降幅依次为 39.76%, 19.28% 和 22.89%; $a_{\max,y}$ 的降幅依次为 58.82%, 41.18% 和 54.41%; $a_{\max,z}$ 的降幅依次为 41.86%, 50.00% 和 38.37%. 图5(b)和图5(c)分别为顺

2 试验结果

利用傅里叶滤波对试验数据进行滤波分析^[14],并根据相似理论转化为平台原型数据.限于篇幅,文中只给出部分试验结果.

图3和图4分别为顺浪和逆浪拖航试验组合的部分试验结果,包括 x 向加速度时程曲线,系缆筒(1号筒)水压力、气压力时程曲线及平台拖

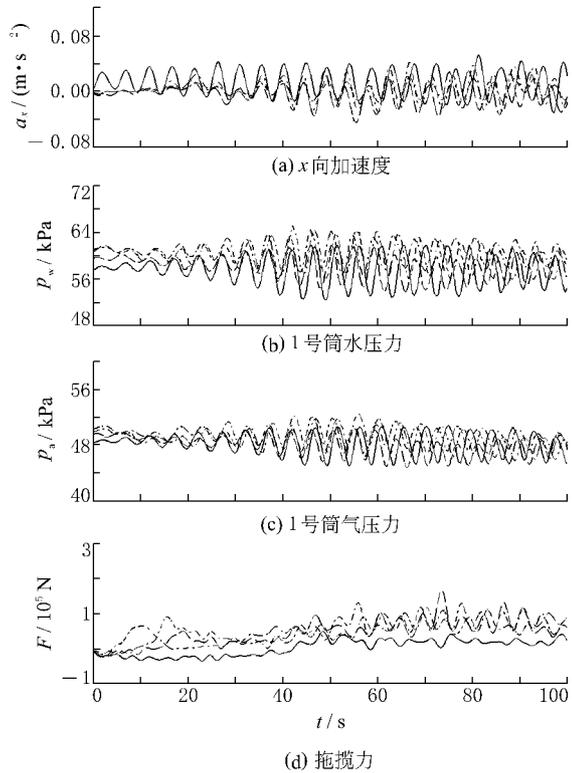


图4 逆浪拖航试验组合各测试参数时程曲线

浪拖航下各筒的水压力最大变化幅值 $\Delta p_{\max,w}$ 和气压力最大变化幅值 $\Delta p_{\max,a}$. 随着 α 变化情况, $\Delta p_{\max,w}$ 和 $\Delta p_{\max,a}$ 值决定了吃水的变化,即各筒的垂荡响应的激烈程度. 从图5(b)和图5(c)可知:随着 α 的增加 $\Delta p_{\max,w}$ 和 $\Delta p_{\max,a}$ 的变化趋势一致. 而且系缆筒(1号和3号筒)的 $\Delta p_{\max,w}$ 和 $\Delta p_{\max,a}$ 明显低于非系缆筒(2号筒和4号筒)的值. 图5(d)为顺浪拖航下,最大拖揽力 F_{\max} 随着 α 变化曲线. 从图5(d)可以看出:在顺浪拖航过程中,设置一定的 α 能明显地降低 F_{\max} , 相比于 $\alpha=0^\circ$ 的情况,当 $\alpha=1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$ 时, F_{\max} 降幅依次为 9.6%, 12.0%, 23.0%.

由图5可知:顺浪拖航下当 $\alpha=1^\circ$ 时, $a_{\max,x}$ 和 $a_{\max,y}$ 均达到最小值,而 $a_{\max,z}$ 仅比最小值($\alpha=2^\circ$)增加 11%, 因此顺浪拖航时设置 1° 的后倾角,四筒-筒型基础平台的拖航稳性和耐波性最高.

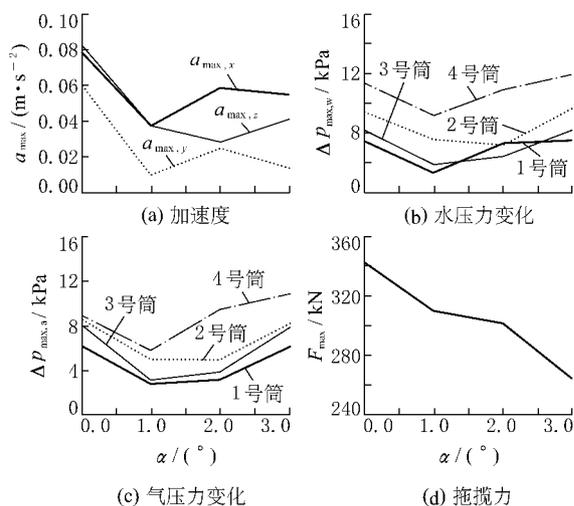


图 5 顺浪条件下实测峰值

3.2 逆浪拖航

图 6 为逆浪拖航时各参数峰值随后倾角的变化曲线,其中图 6(a)为平台各向最大加速度随后倾角的变化曲线。由图 6(a)可知:逆浪拖航时,后倾角的存在对于平台 $a_{\max,x}$ 的影响较小,但有效地降低了 $a_{\max,y}$ 和 $a_{\max,z}$,相比于 $\alpha=0^\circ$ 的情况,当 $\alpha=1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$ 时, $a_{\max,y}$ 降幅依次为 33.77%, 46.05% 和 35.96%, $a_{\max,z}$ 降幅依次为 29.8%, 5.3% 和 56.2%。

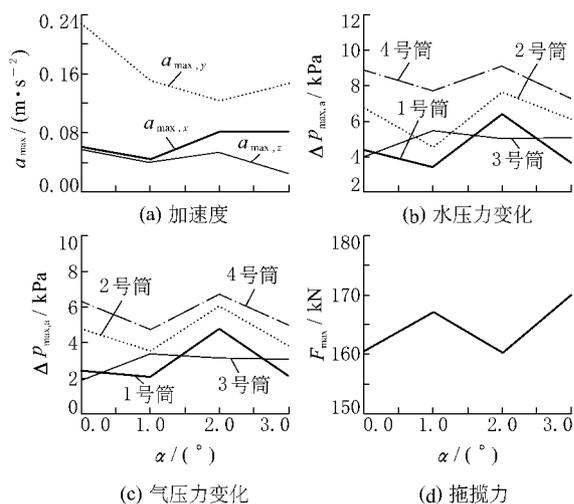


图 6 逆浪条件下实测峰值

图 6(b)和图 6(c)为逆浪拖航气压力和水压力最大变化幅值随后倾角的变化曲线。与顺浪拖航类似,随着 α 的增加 $\Delta p_{\max,a}$ 和 $\Delta p_{\max,w}$ 的变化趋势基本一致。图 6(d)为逆浪拖航下,最大拖缆力 F_{\max} 随着 α 变化的曲线,可见 α 的改变对 F_{\max} 的影响很小。

从图 6 可知:当 $\alpha=1^\circ$ 时,平台的稳性和耐波性最高;当 $\alpha \geq 2^\circ$ 时,后倾角对拖航稳性的改善作用不再明显,而且拖航结束后,后倾现象严重,必须靠扶正才能保证顺利停靠。

3.3 顺浪和逆浪对比分析

对比图 5 和图 6 可知:与逆浪拖航相比,后倾角对平台顺浪拖航影响较大,即与逆浪拖航相比,顺浪拖航时通过设置合理的后倾角能更大程度改善筒型基础平台的拖航稳性。

逆浪拖航时,由于波浪持续地作用在平台上,各筒的气压力和水压力变化幅度均小于顺浪拖航时的变化幅度;同时,逆浪拖航时拖缆处于拉直状态时间变长,而在横漂方向由于没有采取防止飘移措施,平台出现了周期性幅度较大的漂移运动,直航性能较差。

参 考 文 献

- [1] 徐继祖,史庆增,宋安,等. 吸力锚在国内近海工程中的首次应用与设计[J]. 中国海上油气工程, 1995, 7(1): 32-36.
- [2] 乐丛欢,丁红岩,张浦阳,等. 筒型基础负压沉贯后筒内水膜现象的试验研究[J]. 中国港湾建设, 2006, 25(6): 29-32.
- [3] 丁红岩,张浦阳. 多筒系统平台原型顶升试验研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(6): 1585-1588.
- [4] 丁红岩,王高峰,刘建辉. 多筒基础平台自浮拖航系拖点位置试验分析[J]. 天津大学学报: 自然科学版, 2007, 40(5): 548-553.
- [5] 乐丛欢,丁红岩,董国海. 多元统计在四筒吸力锚平台气浮拖航模型试验中的应用[J]. 重庆大学学报, 2011, 34(10): 46-53.
- [6] 别社安,赵冲久,及春宁,等. 筒型基础海洋平台气浮拖航稳性分析[J]. 天津大学学报: 自然科学版, 2002, 35(2): 221-225.
- [7] 丁红岩,刘建辉. 筒型基础海洋平台拖航研究——波浪影响分析[J]. 船舶力学, 2009, 13(1): 19-26.
- [8] Pinkster J A, Scholte E M. The behaviour of a large air-supported MOB at sea[J]. Marine Structures, 2001, 14: 163-179.
- [9] Thiagarajan K P, Michael T, Thomas M. Wave-induced motions of an air cushion structure in shallow water[J]. Ocean Engineering, 2006, 33: 1143-1160.
- [10] 别社安,任增金,李增志. 结构气浮的力学特性研究[J]. 应用力学学报, 2004, 21(1): 68-71.
- [11] 别社安,徐艳杰,王光纶. 气浮结构的静稳性分析[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2002, 42(2): 274-277.
- [12] 杨建民,肖龙飞,盛振邦. 海洋工程水动力学试验研究[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2008.
- [13] 中华人民共和国交通部. JTJ/T234—2001 波浪模型试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [14] 叶卫平,方安平,于本方. Origin 7.0 科技绘图及数据分析. 北京: 机械工业出版社, 2003.