



翼板浮式防波堤水动力特性试验研究*

陈吉丰¹, 王靖坤¹, 王 翀², 沈雨生³, 吴金明²

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122;

2. 东南大学 机械工程学院, 江苏 南京 211189; 3. 南京水利科学研究院河流海岸研究所, 江苏 南京 210029)

摘要: 浮式防波堤广泛应用于海岸工程中, 对海浪具有有效的衰减作用。针对海上光伏电场面对的长周期大波幅海浪环境, 采用在浮箱底面加装斜翼板以及双浮箱浮式防波堤两种措施, 对浮箱浮式防波堤进行优化设计。根据比例缩小试验得到的不规则波条件下的波高时域响应信号, 计算波浪的透射系数, 对比分析不同结构浮式防波堤的消浪能力, 并进一步测量锚链受力以及浮箱的运动情况。结果表明, 两种措施均可降低波浪透射系数, 提升结构的消浪性能, 斜翼板入水长度每增长 0.5 m, 透射系数降低约 15%。选取试验中局部最优解, 设计底面加装斜翼板的双浮箱浮式防波堤, 此结构锚链受力更小, 对浮箱纵荡、垂荡、纵摇运动的抑制效果明显, 是工程设计中行之有效的一种思路。

关键词: 浮式防波堤; 水动力特性; 消浪性能; 斜翼板; 锚链受力

中图分类号: U656.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)04-0097-09

Experimental investigation on hydrodynamic characteristics of wing-plate floating breakwaters

CHEN Jifeng¹, WANG Jingkun¹, WANG Chong², SHEN Yusheng³, WU Jinming²

(1. Power China Huadong Engineering Co., Ltd., Hangzhou 311122, China;

2. School of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China;

3. River and Harbor Engineering Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: Floating breakwaters are widely used in coastal engineering due to their effective wave attenuation capabilities. To address the long-period and large-amplitude wave environment faced by offshore photovoltaic (PV) farms, this study optimizes floating-box breakwaters by attaching inclined wing plates to the bottom of the floating boxes and adopting a double-floating-box configuration. Based on the time-domain wave height response signals under irregular wave conditions obtained from scaled model tests, the wave transmission coefficients are calculated to compare and analyze the wave attenuation performance of floating breakwaters with different structural forms, and the mooring chain forces as well as the motion states of the floating boxes are further measured. The results show that both measures can reduce the wave transmission coefficient and improve the wave attenuation performance of the structure. For every 0.5 m increase in the water entry length of the inclined wing plate, the transmission coefficient decreases by approximately 15%. Selecting the local optimal solution from the experiments, a double-floating-box floating breakwater with inclined wing plates attached to its bottom is designed. This structure exhibits smaller mooring chain forces and has an obvious restraining effect on the surge, heave, and pitch motions of the floating boxes, which is an effective approach in engineering design.

Keywords: floating breakwater; hydrodynamic characteristics; wave-attenuation performance; inclined wing plates; mooring chain force

收稿日期: 2025-08-15 录用日期: 2025-10-28

*基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(Y225002)

作者简介: 陈吉丰(1980—), 男, 高级工程师, 研究方向为机械工程。

通信作者: 王翀(1998—), 男, 博士研究生, 从事海上光伏方面的研究。E-mail: 981287488@qq.com

我国海岸线辽阔,海上光伏开发潜力巨大。基于内陆水面漂浮光伏系统成功的先例,对海上浮式光伏系统的研究得以迅速推进。相较于内陆水体,光伏入海需要考虑更多更为苛刻的限制因素:抗风浪、抗腐蚀、使用寿命、环境保护等^[1]。对于海上光伏电场,外海波浪是其面临的主要挑战之一,如不建设消浪设施、直接通过光伏系统结构来抵抗外海波浪的作用,其综合造价成本十分高昂,且结构安全性难以保障。消浪设施的应用使得光伏系统结构的设计波浪条件得以改善。浮式消浪结构具有工程用量小、不受地基条件的限制、对海洋环境影响小、施工简单迅速、易于调整布置、适应大潮差海域等诸多优点^[2],可对海上光伏电站场区形成有效掩护。本文重点关注港口、海岸和海洋工程界广泛应用的浮式防波堤,改善水域波浪设计条件。

浮式消浪结构由消浪浮体和系泊系统组成,最常见的为单浮箱式结构。为提高消浪效果,国内外学者从增加波浪反射和波能损耗等角度对浮式消浪结构进行了改进。从传统的单浮箱式结构,衍生出多浮箱、浮箱-竖直板、浮箱-水平板等不同的浮式消浪结构。其中,Williams等^[3]、嵇春艳等^[4]、Abdullah等^[5]对由两个浮箱组成的浮堤的消浪性能分别进行了研究,研究均表明多浮箱式浮堤可提高浮式消浪结构的消浪效果。Ikesue等^[6]在浮箱入水部分设置翼板,提出了消浪效果更优的带有内外翼板的双浮箱式结构。沈雨生等^[7-8]对双浮箱间设置竖直多孔插板的浮堤结构进行了研究,其消浪效果也得到了明显改善。杨彪等^[9]设计出一种双浮箱-双水平板式浮堤,对长周期风浪具有更好的消浪效果。

部分学者就翼板对浮式防波堤消浪的机理进行了研究。通过对不同形式的浮式防波堤结构进行数值仿真,陈城等^[10]发现加装翼板可以提高浮式防波堤垂荡运动的固有周期,进而表现为在长周期波浪条件下具有更好的波浪能吸收效果。当斜翼板角度为 0° 时,恰如杨朕^[11]提出的水平外突底板。通过解析、数值与模型试验研究,分析了

水平外突底板宽度对水动力系数和激励力的影响,试验发现迎浪侧存在较大水与空气的混合漩涡,导致试验所测反射系数与势流理论计算存在较大偏差。张天向等^[12]在二维水槽内进行数值计算,从涡理论的角度进行分析,发现浮箱加装斜翼板后,在翼板尖端产生了强度更大的涡旋,涡与自由液面产生碰撞致使波浪破碎,实现减浪目标。

为了提高浮式消浪结构的消浪效果,本文选取浮箱与斜翼板组合的浮式消浪结构形式,参照工程应用背景实际情况和试验设备条件,模型采用1:20的几何长度比尺,采用正态模型,按照Froude数相似律设计模型试验,对其消浪特性、锚链受力以及运动响应情况进行研究,提出优化设计方案。

1 试验装置及方法

1.1 试验装置

本文研究重点关注浮式消浪结构在不规则波作用下的水动力特性。试验在水深10 m(模型值0.5 m)、不规则波的环境下进行,不规则波采用JONSWAP波谱。使用有效波高 H_s 、平均波浪周期 T 、波长 L 三个参数描述不规则波。基于不同目标有效波高:1 m(模型值0.05 m)、2 m(模型值0.10 m),不同海浪平均周期:5.0、5.7、6.4、7.0 s,共设计8组波况试验,波浪参数见表1,表中参数均为海浪原型值。

表1 试验波浪参数
Tab.1 Wave parameters in tests

目标波高/m	实测波高/m	试验周期/s	目标波长/m
1.0	1.040	5.0	36.6
1.0	1.036	5.7	44.9
1.0	1.014	6.4	53.0
1.0	1.014	7.0	59.8
2.0	2.076	5.0	36.6
2.0	2.080	5.7	44.9
2.0	2.096	6.4	53.0
2.0	2.100	7.0	59.8

试验在南京水利科学研究院河流海岸研究所波浪水槽内进行,水槽全长175 m、宽1.2 m、深1.8 m。工作段依据水槽宽等分为0.6 m两部分,一半用于扩散造波板的二次反射波,另一半用来

安装浮式消浪结构断面模型。

水槽一端配有推板式造波机, 可根据试验需要产生规则波和不同谱型的不规则波, 另一端配有消浪缓坡, 模型布置在试验水槽中部, 部分试验实物见图 1。

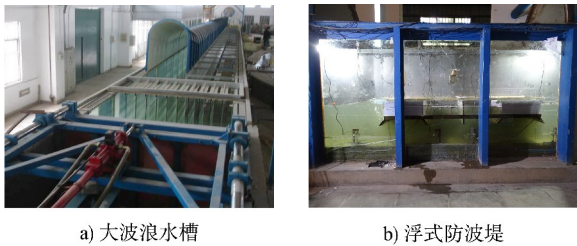


图 1 试验装置实物

Fig. 1 Photograph of the experimental setup

为探究不同浮式消浪结构的消浪效果差异, 依据原型值将浮箱宽度分为: 10 m 宽单浮箱、20 m 宽单浮箱、10 m 宽双浮箱(浮箱间隔 20 m); 并在此结构上设计 45°斜翼板, 根据不同入水板长

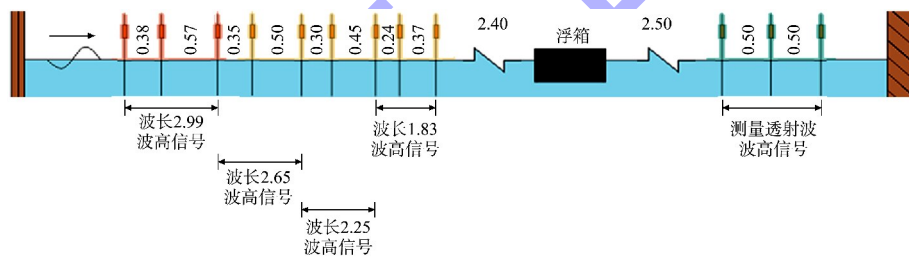


图 3 波高仪排布(单位:m)

Fig. 3 Arrangement of wave gauges(unit :m)

试验中波高仪采样频率为 50 Hz, 采样时长为 145 s。将波高仪采样所得时域信号进行快速傅里叶变换, 进行波浪谱分析, 对波浪谱积分得到总能量并得到有效波高。

锚链力采用拉压力总力传感器进行测量, 采样频率 100 Hz。浮体运动量采用非接触式运动量传感器进行测量, 可同时测量浮体的六自由度运动量, 采样频率为 50 Hz。

2 试验结果及分析

2.1 浮式防波堤消浪性能

试验中, 平均周期为 7 s 的不规则波透过浮箱, 波高仪采样得到浮箱前后最近的一支波高仪时域波浪过程, 见图 4。透射波浪波高普遍小于 5 cm,

分为单箱+入水 1 m 斜翼板、单箱+入水 1.5 m 斜翼板、单箱+入水 2 m 斜翼板、双箱+入水 0.5 m 斜翼板、双箱+入水 1 m 斜翼板、双箱+入水 1.5 m 斜翼板, 模型示意见图 2。

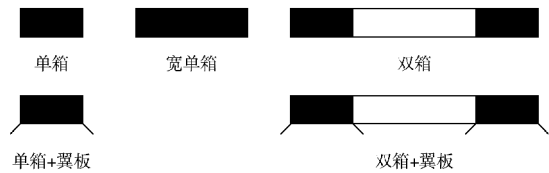


图 2 浮箱结构设计

Fig. 2 Structural design of floating boxes

1.2 试验方法

波浪要素测量采用电阻式波高仪, 通过 DS30 多功能自动采集系统采集波浪信息。基于 Mansard 等^[13]提出的最小二乘法, 在模型前布置 3 根波高仪测量提前波浪过程参数, 提前共设置 9 支波高仪。堤后共设置 3 支波高仪以测量透射波参数, 波高仪排布间隔见图 3。

相较于入射波高, 浮式结构具有一定的消浪作用。

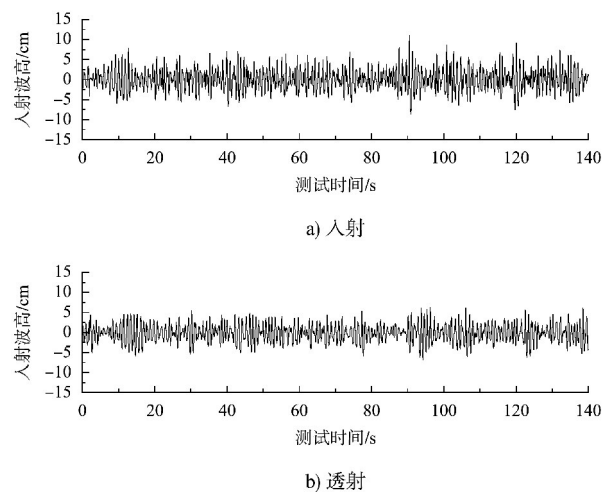


图 4 入射及透射波动曲线

Fig. 4 Incident and transmitted wave curve

提取各个波高仪时域信号，计算得有效波高，不同浮箱宽度的浮式防波堤结果见图5，单浮箱结构在入射波浪周期较长时消浪效果较差，增加浮箱宽度或采用双浮箱结构可有效提升消浪性能。

针对单浮箱和双浮箱结构，加装45°斜翼板，设计不同入水深度的对照试验，对有效波高完成入反射分离，基于透射波有效波高与入射波有效波高的比值，计算浮堤透射系数，结果见图6。

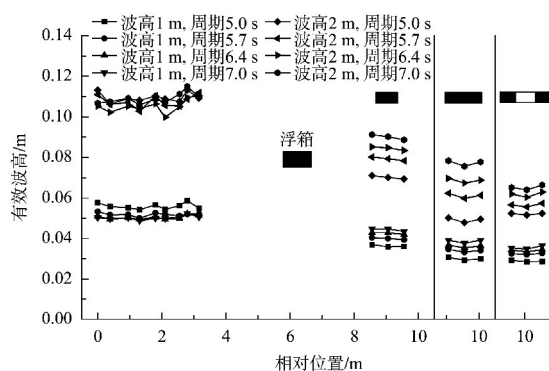


图5 不同浮箱数量的有效波高
Fig. 5 Significant wave heights of different floating boxes

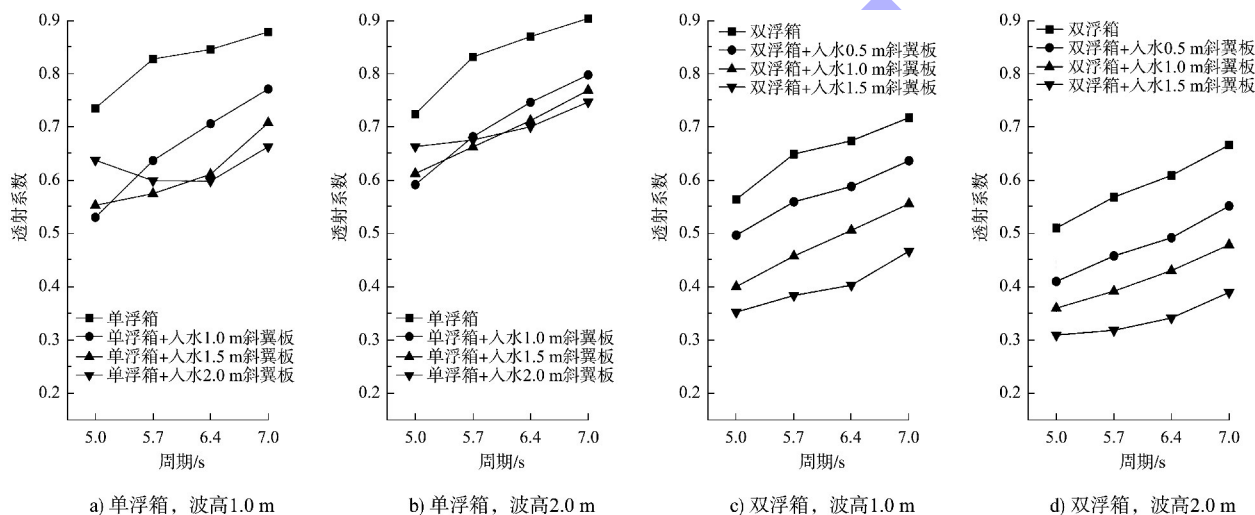


图6 浮箱斜翼板长引致的消浪特性结果对比
Fig. 6 Comparison of wave-attenuation performance results with inclined wing plate lengths of floating boxes

加装翼板的浮式消浪结构透射系数与未加装的相比整体减小。带有斜翼板结构的浮堤对于较长入射波浪周期情况具有更好的适用性。加装翼板对于提升双浮箱结构的消浪性能更为显著，翼板入水深度每增加0.5 m，透射系数相对减小约15%。这种规律性与上文提及的数值计算研究观点^[10]相吻合，即在浮箱底面两侧加装斜翼板可以减小波浪透射系数，斜翼板越长，消浪效果越明显，且在应对长周期波浪时消浪效果更为显著。

透射系数普遍随翼板入水深度的增加而减小，但是在短波浪周期条件下，加装入水1.5、2.0 m翼板的单浮箱浮堤出现了透浪系数随翼板入水深

度增加反而有所增大的情况，这一情况在设计有效波高2 m的工况中也有体现。分析其原因，入射波周期较短的条件下，浮体受波浪冲击运动产生辐射波，入水深度较大的斜翼板对辐射波产生了激励效果，波高仪所测波高为辐射波与透射波的叠加。

双浮箱浮堤消浪效果优良，且浮箱底面加装翼板后，其消浪能力提升的规律更显著，下文将重点关注双浮箱浮堤水动力特性。

2.2 浮式防波堤受力情况

在海上光伏电场的应用背景下，系泊采用交叉缆进行布置，单个消浪设施布置4根锚链，采用锚链环直径60 mm的船用锚链，锚链总长度

为 21 m。双浮箱浮式防波堤锚固方案见图 7, 锚固点均安装有测力计以捕获锚链受力情况, 单浮箱浮式防波堤对应减少 4 条锚链和 4 支测力计。

取对称位置测力计所测锚链力峰值的平均值, 沿波入射方向分为 4 组: G1、G2、G3、G4(单浮箱浮堤仅有 G1、G2 两组数据), 不同斜翼板长度的单浮箱锚链受力峰值结果见表 2, 双浮箱锚链受力结果见表 3。

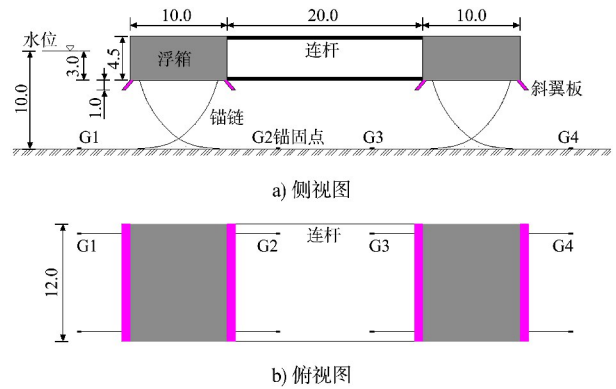


图 7 浮箱锚固方案(单位:m)

Fig. 7 Anchoring scheme of floating boxes(unit:m)

表 2 单浮箱浮式防波堤锚链受力情况

Tab. 2 Mooring chain forces of floating breakwater with single floating box

kN

试验 工况	单浮箱		+1.0 m 翼板		+1.5 m 翼板		+2.0 m 翼板	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2
波高 1.0 m 周期 5.0 s	103.030	11.216	17.056	8.936	13.896	4.424	13.712	3.792
波高 1.0 m 周期 5.7 s	42.020	14.248	33.200	8.936	80.368	7.312	96.760	5.960
波高 1.0 m 周期 6.4 s	25.200	18.192	24.768	13.992	114.680	10.024	102.720	8.128
波高 1.0 m 周期 7.0 s	17.230	26.416	22.032	16.790	95.720	12.640	90.8640	10.832
波高 2.0 m 周期 5.0 s	543.700	417.770	490.110	662.140	395.528	522.480	367.230	361.440
波高 2.0 m 周期 5.7 s	629.920	658.440	653.250	728.840	663.952	793.840	608.510	848.550
波高 2.0 m 周期 6.4 s	724.950	668.640	664.730	722.890	585.280	778.500	489.680	805.580
波高 2.0 m 周期 7.0 s	841.680	726.680	665.930	669.540	709.200	734.800	700.480	814.160

注: 表中为实际值(试验值的 8 000 倍)。

表 3 双浮箱浮式防波堤锚链受力情况

Tab. 3 Mooring chain forces of floating breakwater with double floating boxes

kN

试验 工况	双浮箱				+0.5 m 翼板				+1.0 m 翼板				+1.5 m 翼板			
	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4
波高 1.0 m 周期 5.0 s	4.624	1.624	3.488	1.232	5.616	1.384	4.416	2.816	5.648	1.280	4.960	1.480	6.456	1.544	4.840	1.992
波高 1.0 m 周期 5.7 s	4.784	1.296	4.136	1.432	3.496	1.072	3.480	1.344	4.280	1.312	4.176	1.632	6.296	1.376	4.840	1.768
波高 1.0 m 周期 6.4 s	4.712	2.048	4.904	1.768	3.000	2.176	3.008	1.880	5.080	1.496	5.160	1.656	8.328	1.360	4.928	1.520
波高 1.0 m 周期 7.0 s	4.136	2.360	4.360	1.368	3.760	2.464	2.992	1.392	3.008	2.024	4.224	1.816	5.024	1.776	4.264	1.544
波高 2.0 m 周期 5.0 s	199.880	5.856	96.984	6.192	215.130	3.320	17.536	3.504	315.160	4.736	100.150	6.504	192.460	1.544	25.992	1.616

续表3

试验 工况	双浮箱				+0.5 m翼板				+1.0 m翼板				+1.5 m翼板			
	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4
波高2.0 m 周期5.7 s	274.990	8.048	105.730	4.464	370.600	6.008	26.200	7.240	353.960	6.568	74.816	8.832	356.850	7.472	127.190	11.744
波高2.0 m 周期6.4 s	196.490	15.520	239.920	7.040	219.690	6.704	142.900	3.992	233.090	5.640	170.140	3.312	85.440	3.136	119.120	2.688
波高2.0 m 周期7.0 s	210.100	24.864	189.880	8.648	293.240	8.872	97.912	6.008	264.160	7.112	45.496	5.824	234.940	6.176	29.968	5.272

由表 2、3 中 G1、G3 两组锚链受力数据可见，在浮式防波堤的迎浪侧，锚链受力更大，对

应锚链 G1 的受力变化曲线见图 8。

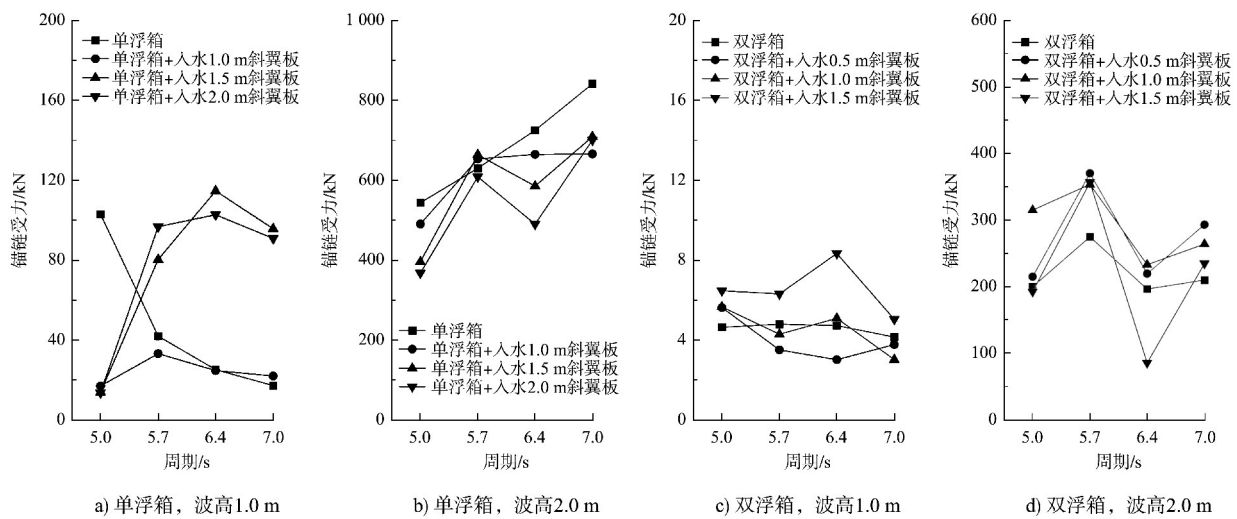


图 8 不同浮箱形式锚链 G1 的受力情况
Fig. 8 Mooring chain forces of G1 with different box types

浮式防波堤在底面加装斜翼板后，其迎浪面积增加，受波浪力增大。作为浮箱运动的唯一约束，锚链受力也随翼板长度增加而增大。锚链力普遍增大的同时，在波高 2 m、平均周期 5.7 s 时锚链受力出现异常峰值，下文将进一步讨论浮堤运动特性，探究其具体原因。

对比单双浮箱浮堤形式，双浮箱锚链最大受力仅为对应单浮箱锚链的 30%，极大减小了锚链的设计需求。

2.3 浮式防波堤运动特性

试验使用宽 0.6 m 的水槽部分安装消浪结构断面模型，使用非接触式 FL-NH 型船模运动测量系统获得浮箱运动二维试验结果。重点关注不同

浮箱结构纵荡、垂荡、纵摇运动数据，计算得到纵荡、垂荡以及纵摇双幅值(峰值平均值与谷值平均值的差值)，见图 9。

就浮箱的纵荡运动而言，当设计有效波高为 1 m 时，加装斜翼板使浮箱迎浪面积增加，促进了浮箱的纵荡；当设计有效波高提升至 2 m 时，其运动抑制效果得以显现。随着浮箱加装翼板入水深度的增加，出现了纵荡异常增大的情况，这与上文浮箱受力异常峰值同时出现在波高 2 m、平均周期 5.7 s 的工况下。将浮箱视为标准长方体，试验中单个浮箱质量约 48 kg，估算浮体纵荡固有周期 5.58 s，与试验工况接近，易发生共振，导致出现锚链极端受力情况。

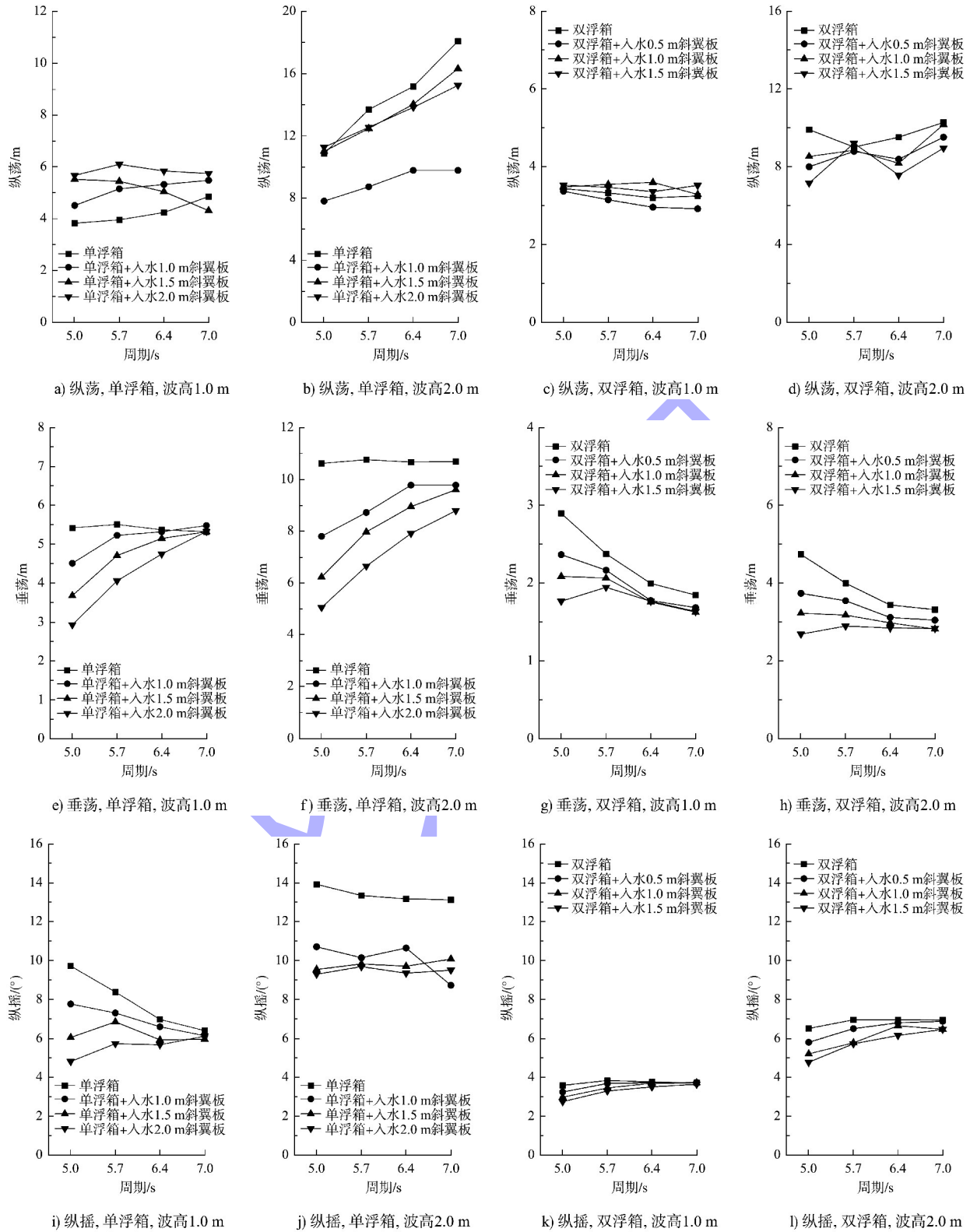


图 9 浮堤运动情况汇总

Fig. 9 Summary of floating breakwater motion

加装翼板有效抑制了浮式防波堤的垂荡, 在周期 5.0 s 的短周期波浪条件下效果更为明显, 斜翼板入水深度每增加 0.5 m, 其垂荡双幅值减小约

10%; 随着波浪平均周期增大, 垂荡抑制效果减弱, 这与陈城^[10]的研究相吻合。单浮箱浮堤加装翼板的抑制效果接近于 50%, 双浮箱浮堤由于自

身具有较好的运动抑制效果, 加装翼板产生的正向效果略有下降。

纵摇和垂荡对船舶造成多方面的不利影响, 是失速、砰击、上浪的主要原因之一。加装翼板、采用双浮箱形式对浮堤纵摇均具有极强的抑制效果, 使浮堤在波浪有效波高 1 m 的环境下纵摇普遍小于 4° , 在有效波高 2 m 的环境下纵摇普遍小于 7° 。

在上述多组研究中, 浮箱+翼板的组合使得浮式防波堤的消浪性能增强, 同时起到了较强的运动抑制效果。此外, 试验中观察到浮箱迎浪侧出现涡旋, 而在浮箱背面产生大量气泡, 见图 10, 其中涡旋的影响以及空化气泡的作用仍待进一步研究。



a) 浮箱前倾, 涡旋生成



b) 浮箱后仰, 涡旋破碎

图 10 浮堤运动中的涡旋

Fig. 10 Vortices during the motion of floating breakwater

3 结论

1) 单浮箱结构在入射波浪周期较长时消浪效果较差。在浮箱底面加装倾斜翼板或采用多浮箱结构均可降低波浪透射系数, 提升结构的消浪性能; 翼板入水深度每增加 0.5 m, 透射系数相对减小约 15%。

2) 浮箱+入水斜翼板的浮式防波堤结构有效

抑制了浮箱的纵摇和垂荡, 提升了结构的安全性; 但同时增加了结构的迎浪面积, 导致受力增加, 锚链强度需求增大, 浮箱纵荡幅度增加。

3) 试验中出现了锚链受力急剧增加、浮箱纵荡异常增大的情况, 究其原因, 此时波浪周期接近于浮箱纵荡固有周期, 易发生共振, 工程设计中应当避免此状况发生。

参考文献:

- [1] 王永学, 王国玉. 近岸浮式防波堤结构的研究进展与工程应用[J]. 中国造船, 2002, 43(S1): 314-321.
WANG Y X, WANG G Y. Research progress and application of floating breakwaters [J]. Shipbuilding of China, 2002, 43(S1): 314-321.
- [2] 沈雨生, 周益人, 潘军宁, 等. 浮式防波堤研究进展[J]. 水利水运工程学报, 2016(5): 124-132.
SHEN Y S, ZHOU Y R, PAN J N, et al. Research progress and application of floating breakwater [J]. Hydro-science and engineering, 2016(5): 124-132.
- [3] WILLIAMS A N, LEE H S, HUANG Z. Floating pontoon breakwaters [J]. Ocean engineering, 2000, 27(3): 221-240.
- [4] JI C Y, BIAN X Q, CHENG Y, et al. Experimental study of hydrodynamic performance for double-row rectangular floating breakwaters with porous plates [J]. Ships and offshore structures, 2019, 14(7): 737-746.
- [5] ABDULLAH S F, FITRIADHY A. Application of genetic algorithm for optimum hydrodynamic performance of twin pontoon floating breakwater [J]. Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, 2020, 146(2): 04019040.
- [6] SHUNICHI I, KAZUMI T, YASUHIRO S, et al. Study on the performance of a floating breakwater with two boxes [C]// Proceedings of the Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference. Kitakyushu: International Society of Offshore and Polar Engineers, 2002: 26-31.
- [7] 沈雨生, 潘军宁, 周益人, 等. 双浮箱式浮式防波堤消浪性能试验研究[J]. 海洋工程, 2018, 36(1): 47-54.

- SHEN Y S, PAN J N, ZHOU Y R, et al. Experimental study on wave attenuation performance of twin-pontoon floating breakwater [J]. The ocean engineering, 2018, 36(1): 47-54.
- [8] 沈雨生, 潘军宁, 周益人, 等. 双浮箱与不同形式板组合的浮堤消浪性能试验[J]. 水运工程, 2018(7): 20-25.
- SHEN Y S, PAN J N, ZHOU Y R, et al. Experiment on wave attenuation performance of floating breakwater composed of two pontoons and different types of plates[J]. Port & waterway engineering, 2018(7): 20-25.
- [9] 杨彪, 陈智杰, 王国玉, 等. 双浮箱-双水平板式浮式防波堤试验研究[J]. 水动力学研究与进展 A 辑, 2014, 29(1): 40-49.
- YANG B, CHEN Z J, WANG G Y, et al. Experimental investigation of twin pontoon-twin horizontal plate floating breakwater[J]. Chinese journal of hydrodynamics, 2014, 29(1): 40-49.
- [10] 陈城, 陈新权, 杨启, 等. 翼板浮式防波堤消波性能[J]. 水运工程, 2022(9): 8-14, 85.
- CHEN C, CHEN X Q, YANG Q, et al. Wave suppression performance of wing-plate floating breakwater[J]. Port & waterway engineering, 2022(9): 8-14, 85.
- [11] 杨朕. 带水平外突底板的方箱浮式防波堤消波性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2015.
- YANG Z. Numerical and experimental investigation of the performance of the rectangular floating breakwater with horizontally extended baseplates [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2015.
- [12] 张天向, 王贯宇, 伍磊, 等. 带翼板浮式防波堤消浪性能研究[J]. 水运工程, 2025(6): 35-43.
- ZHANG T X, WANG G Y, WU L, et al. Wave dissipation performance of floating breakwater with wing plates[J]. Port & waterway engineering, 2025(6): 35-43.
- [13] MANSARD E P D, FUNKE E R. The measurement of incident and reflected spectra using a least squares method[J]. Coastal engineering, 1980, 1: 154-172.
- (本文编辑 王传瑜)

(上接第 89 页)

- [7] 交通运输部规划研究院. 无锡(江阴)港长山港区东江作业区运输需求预测专题报告[R]. 北京: 交通运输部规划研究院, 2024.
- Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport. Report on transport demand forecasting of Dongjiang operation district in Changshan harbour district of Wuxi (Jiangyin) Port [R]. Beijing: Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, 2024.
- [8] 长江干线通航标准: JTS 180-4—2020 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020.
- Navigation standard of Changjiang River mainstream: JTS 180-4-2020 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2024.
- [9] 长江科学研究院. 无锡(江阴)港长山港区东江作业区及临港区域开发方案二维水沙数学模型计算研究报告[R]. 武汉: 长江科学研究院, 2024.
- Changjiang River Scientific Research Institute. Report of two-dimensional water and sediment mathematical model calculation of Dongjiang operation district in Changshan harbour district of Wuxi (Jiangyin) Port [R]. Wuhan: Changjiang River Scientific Research Institute, 2024.
- [10] 长江科学研究院. 无锡(江阴)港长山港区东江作业区及临港区域开发方案工程河段水文与河势分析报告[R]. 武汉: 长江科学研究院, 2024.
- Changjiang River Scientific Research Institute. Report of hydrology and river dynamics analysis of Dongjiang operation district in Changshan harbour district of Wuxi (Jiangyin) Port [R]. Wuhan: Changjiang River Scientific Research Institute, 2024.
- (本文编辑 王璵)