



# 新型钢结构浮式防波堤结构

董浩<sup>1,2</sup>, 左志刚<sup>1,2</sup>, 相如昕<sup>1,2</sup>

(1. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456; 2. 天津水运工程勘察设计院有限公司, 天津 300456)

**摘要:** 浮式防波堤具有不影响海域物质交换、造价较低等优点, 但是其结构连接及锚泊系统要求高的缺点限制了它的发展。为了克服浮式防波堤结构的这个缺点, 同时发挥其消浪优势, 利用大比尺波浪试验水槽通过物理模型试验对新型钢结构浮式防波堤消浪效果进行验证。试验通过浮式防波堤透射系数( $C_t$ )与相对吃水( $t/D$ )、相对入水( $t/L$ )以及防波堤相对宽度( $W/L$ )等主要影响因素的相关关系, 表明在波浪周期小于 6 s 时, 该新型钢结构浮式防波堤的透射系数  $C_t$  可达 0.5 以下, 验证了新型钢结构浮式防波堤的消浪效果。

**关键词:** 浮式防波堤; 锚泊系统; 透射系数; 相对入水

**中图分类号:** U 656

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2022)01-0073-04

## A new type of steel structure's floating breakwater structure

DONG Hao<sup>1,2</sup>, ZUO Zhi-gang<sup>1,2</sup>, XIANG Ru-xin<sup>1,2</sup>

(1. Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, MOT, Tianjin 300456, China;

2. Tianjin Survey and Design Institute for Water Transport Engineering Co., Ltd., Tianjin 300456, China)

**Abstract:** The floating breakwater has the advantages of not affecting material exchange in sea area and low cost. But the disadvantages of high requirements to the structural connection and mooring system of the floating breakwater limite its application and developmet, inorder to overcome these disadvantages and give full play to the effect of wave elimination of the floating breakwater, we verify the effect of wave elimination of the new steel structure of the floating breakwater by physical model test with large-scale wave test flume. The correlations between the transmission coefficient( $C_t$ ) and the relative draft( $t/D$ ), the relative water depth( $t/L$ ) and the relative width of the breakwater( $W/L$ ) are studied. The results show that when the wave period is less than 6 s, the transmission coefficient( $C_t$ ) of the new steel structure floating breakwater can be less than 0.5, which verifies the effect of the new steel structure floating breakwater.

**Keywords:** floating breakwater; mooring system; transmission coefficient; relative water depth

浮式防波堤通常是由金属、钢筋混凝土和塑料等材料制造的浮式构件和锚泊系统组成的防浪设施。与传统实体防波堤相比, 浮式防波堤具有海水交换功能强、不需要进行地基处理、安放位置可变、施工速度快等优点。同时, 随着水深的增加, 其造价低于实体防波堤。近 10 年来, 随着我国对波浪研究的深入和经济技术的发展, 各种浮式防波堤的研究也提上日程。

目前, 常见的防波堤结构类型有箱式、筏式、

板网式结构浮式防波堤以及上述类型浮式防波堤的复合结构。郑艳娜等<sup>[1]</sup>选取 3 种结构形式(单箱式、双箱式和板网式)的浮式防波堤进行物理模型试验研究, 得到在规则波浪作用下 3 种形式浮式防波堤的消浪效果: 板网式结构浮式防波堤消浪效果最好, 双箱结构次之, 单箱最差; 王永学<sup>[2]</sup>认为, 对于通常结构的浮式防波堤, 要使透射系数小于 0.5, 浮堤自身的宽度( $W$ )与波长( $L$ )的比值要不小于 0.3, 这对堤身的宽度提出很高的要

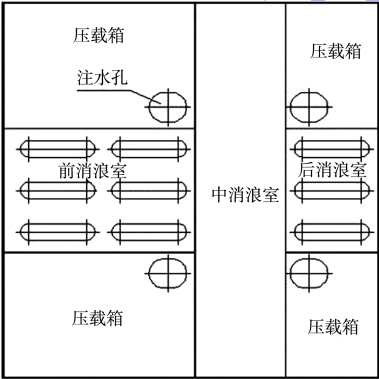
求，增加了浮堤的造价及安装和控制难度。

同时，研究资料表明：板网式结构浮式防波堤虽然消浪效果较好，但相对宽度较大，需占用较大范围的海域，且使用及维护难度较大；双箱式浮式防波堤箱体间自身连接极易损坏，一旦结构发生破坏，维修较困难；单箱式浮式防波堤虽然消浪效果相对较差，但其结构简单，便于安装维护，目前应用最为广泛。但由于上述几种形式的浮式防波堤对结构连接和锚泊系统的要求较高，布置形式不当容易引起缆绳断裂，故浮式防波堤的研究及应用尚处于起步阶段。

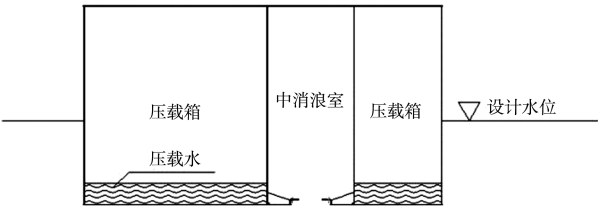
本文提出一种新型钢结构浮式防波堤结构，克服了浮式防波堤对结构连接和锚泊系统要求较高的缺点，并对其消浪效果进行了试验研究。

1 大型钢结构浮式防波堤

该新型防波堤结构采用单、双箱结合形式，前、后各设有封闭压载箱及消浪室，前、后箱体直接设置消浪室，封闭压载箱可以注入压载水以控制防波堤吃水深度，消浪室上、下设置多个开口。同时，通过直立桩进行安装，防波堤只进行上下运动，不产生横摇。各结构段之间无连接件，因此不会产生连接结构破坏(图1)。



a) 平面



b) 断面

图1 浮式防波堤结构

2 模型试验

2.1 试验条件

为验证浮式防波堤的消浪效果，使用大比尺波浪试验水槽<sup>[3-4]</sup>进行模型试验，水槽设计总长度450 m，宽5 m，最深处12 m。按波浪的生成、试验、消波等，分为造波区、试验区、消波区。可以进行1:5到1:1的大比尺模型试验，水槽内配有先进的吸收式造波机。采用电容式波高传感器进行测量，通过TK2008型动态采集分析系统进行波高和周期数据的采集与分析。

2.2 模型制作

水槽宽度5 m，可模拟水深为5 m的实际波浪，模型几何比尺定为1:1。浮式防波堤模型采用钢结构，浮箱高2.5 m、宽4.8 m，前压载箱宽2.3 m，后压载箱宽1.1 m，中消浪室宽1.1 m，横向长度为4.5 m，两端和水槽边壁各留25 cm空隙。浮式防波堤采用3根 $\phi 300$  mm钢管桩定位，迎浪侧布置2根，背浪侧布置1根。钢管桩与浮箱间采用抱箍连接，浮箱可随水位变化升降。浮式防波堤模型布置剖面见图2，浮式防波堤试验现场见图3。

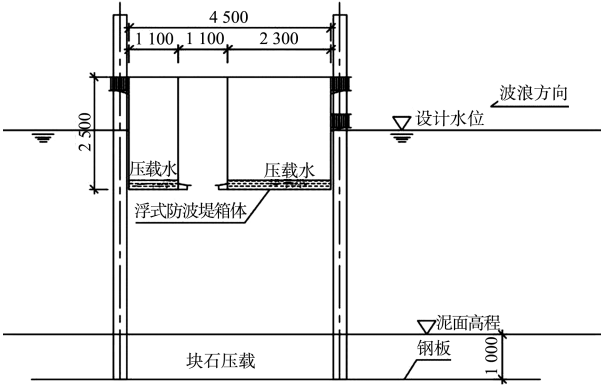


图2 浮式防波堤模型布置剖面 (单位: mm)



图3 浮式防波堤试验现场

2.3 波浪模拟

为探明新型浮式防波堤透浪系数与浮式防波

堤宽度和入水深度之间的关系, 考虑 2 种不同水深, 对防波堤进行不同周期、不同波高条件下的消浪试验。模型水深分别为 5.06 和 4.62 m, 代表浮式防波堤所处位置的不同设计水位对水深的影响。试验过程中采用规则波, 在没有结构物的情况下进行率波, 造波 20 个, 造波机的二次反射影响较小。试验波高为 0.15~1.00 m, 周期为 4~6 s。试验波要素见表 1。

表 1 试验波要素					
设计水位/m	波周期/s		波高 $H$ /m		
5.06	4	0.20	0.50	0.80	1.00
	5	0.20	0.50	0.70	0.90
	6	0.15	0.30	0.50	0.70
4.62	4	0.20	0.50	0.80	1.00
	5	0.20	0.50	0.70	0.90
	6	0.15	0.30	0.50	0.70

3 试验结果分析

3.1 透射系数与相对吃水的关系

不同波高作用下的透射系数与相对吃水(入水深度  $t$  与水深  $D$  之比,  $t/D$ ) 的关系见图 4。由图 4 可知, 随着浮式防波堤相对吃水的增大, 透射系数相应减小。本文提出的浮式防波堤能够通过注水孔对防波堤的入水深度进行调整, 从而更好地减小透射系数。

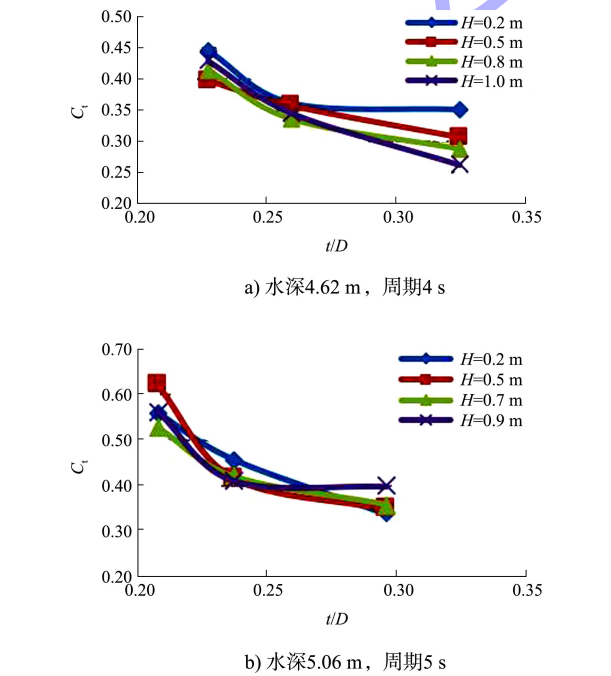


图 4 不同水深和周期时透射系数与相对吃水的关系

3.2 透射系数与相对入水的关系

不同波高作用下的透射系数与相对入水的关系见图 5。由图 5 可知, 随着浮式防波堤相对入水的增大, 透射系数相应减小。

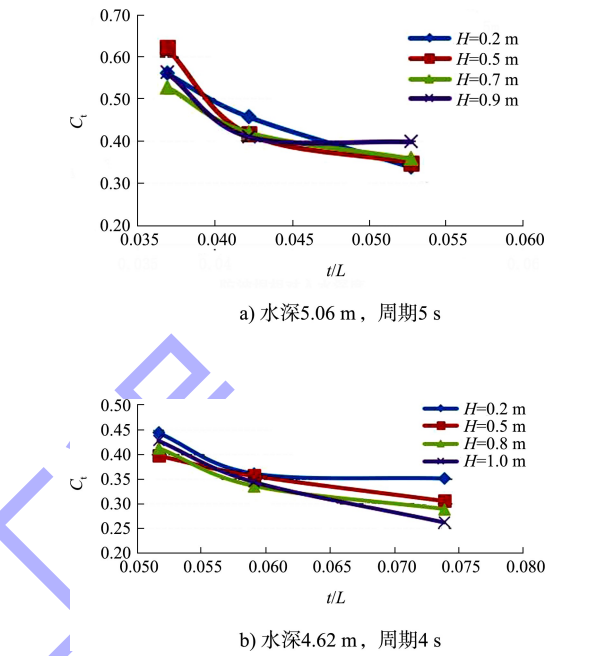


图 5 不同水深和周期时透射系数与相对入水的关系

只考虑防波堤相对入水对透射系数的影响时, 绘制相对入水与透射系数的拟合曲线(图 6), 并通过拟合可得到防波堤相对入水与透射系数的相关关系表达式为:

$$y=0.824\ 5e^{-13.97x} \tag{1}$$

通过计算可得到式(1)的相关性系数为 0.78, 相关性较好。

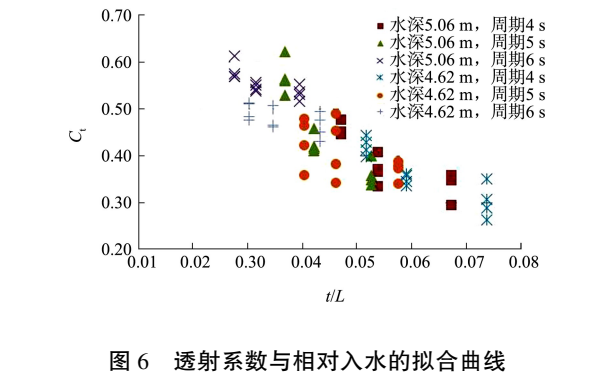


图 6 透射系数与相对入水的拟合曲线

3.3 透射系数与相对宽度的关系

不同入水深度下的透射系数与防波堤相对宽

度的关系见图 7。

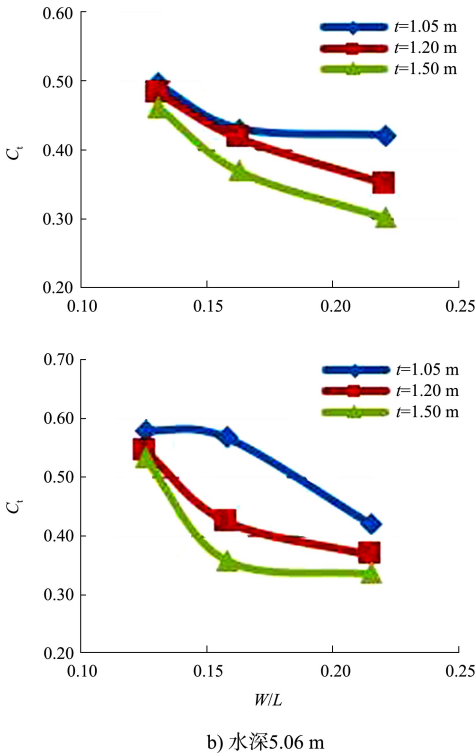


图 7 不同水深时透射系数与相防波堤相对宽度的关系

由图 7 可知，随着防波堤相对宽度的增大，透射系数不断减小，但同时会增加建筑成本，因此须选取合适的防波堤相对宽度。

4 结论

1)随着浮式防波堤相对吃水的增大，其透射

系数减小。

2)随着浮式防波堤相对入水的增大，其透射系数减小。

3)随着防波堤相对宽度的增大，透射系数减小。只考虑防波堤相对入水深度对透射系数的影响时，通过拟合得到的防波堤相对入水深度与透射系数的相关关系系数为 0.78，相关性较好。

4)该新型浮式防波堤的消浪性能良好。与单箱浮式防波堤相比，采用的介于单、双箱结合的新型结构消浪效果明显提高；与双箱浮式防波堤相比，在双箱之间增加了消浪室，采用直立桩进行安装，使防波堤只进行纵向移动，限制了横摇，共同提高了消浪性能。

参考文献：

[1] 郑艳娜,董国海,李玉成,等.深水浮式防波堤结构形式的试验研究[J].中国海洋平台,2005(6):1-5.

[2] 侯勇,王永学,高军,等.新型浮式防波堤水动力特性试验研究[J].水运工程,2010(2):50-53.

[3] 耿宝磊,郑宝友,孟祥玮,等.天科院大比尺波浪水槽的建设与应用前景[J].水道港口,2014,35(4):415-421.

[4] 刘针,孟祥玮,姜云鹏,等.大比尺水槽波浪-防波堤-地基相互作用试验方法初探[J].水道港口,2015,36(6):481-485.

( 本文编辑 郭雪珍)

(上接第 72 页)

[3] 姚海元,房卓,郝军,等.基于多智能体仿真的 LNG 船舶进出港通航影响的评价指标研究[J].水运工程,2018(3):52-58.

[4] 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.

[5] 马兴华,顾勇,金雪英,等.连云港港 30 万吨级航道工程可行性研究综述[J].中国港湾建设,2012(4):25-29.

[6] 应铭,赵越,马兴华,等.连云港区 25 万吨级航道和徐圩港区 5 万吨级航道常年回淤观测与研究[J].水运工程,2017(11):86-91,103.

[7] 纪为刚,曹杰,付桂.连云港徐圩港区通航环境分析[J].中国水运(下半月),2015,15(9):40-42.

[8] 房卓,左天立,王达川,等.连云港港主航道远期适应性及通航标准[J].水运工程,2017(10):160-165,185.

[9] 房卓,姚海元,黄俊,等.多智能体仿真在 LNG 码头选址及港口规划中的应用[J].水运工程,2017(12):123-128.

[10] 梁辰,唐国磊,于菁菁,等.基于多智能体仿真的自动化集装箱码头合理通过能力研究[J].水运工程,2018(10):177-182,188.

( 本文编辑 郭雪珍)