

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.05.006

唐雯, 胡俊, 程永舟, 等. 新型透空组合板式防波堤结构型式及消浪特性分析[J]. 水利水运工程学报, 2017(5): 37-44. (TANG Wen, HU Jun, CHENG Yongzhou, et al. Analysis of structure and wave dissipation characteristics of a new type of perforated composite plate breakwater[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(5): 37-44. (in Chinese))

## 新型透空组合板式防波堤结构型式及消浪特性分析

唐雯<sup>1</sup>, 胡俊<sup>2</sup>, 程永舟<sup>1,3</sup>, 胡有川<sup>1</sup>

(1. 长沙理工大学 水利工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 武汉工程大学 邮电与信息工程学院, 湖北 武汉 430073; 3. 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 为提高透空式防波堤的消浪性能并减小结构受力, 在前人研究基础上提出了一种新型透空组合板式防波堤, 比较分析了该型式的防波堤(模型c)与另外两种型式的防波堤(模型a和模型b)的结构特点。通过物理模型试验, 探讨了模型c在不同影响因素下的消浪特性, 并对比分析了模型a与模型c的透射系数、反射系数和能量耗散系数在不同相对堤宽下的变化关系, 比较了两种模型的消浪效果。分析得出, 由于模型c兼具开孔水平板式防波堤和开孔挡板式防波堤的作用, 模型c的波浪反射小于模型a, 消浪效果优于模型a, 且模型c这种结构能有效减小防波堤结构受力; 当模型宽度和相对间隙比同时较大时消浪效果更好, 防波堤出水后的消浪性能要优于淹没状态下的防波堤。

**关键词:** 组合板式防波堤; 透射系数; 反射系数; 消浪特性

**中图分类号:** U656.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1009-640X(2017)05-0037-08

近年来, 随着经济社会的发展, 人们对海洋防护工程建设的观念也大有不同, 如今的港口建设不仅需要防波堤具有防浪功能, 还需要防波堤满足海洋生态环境的要求。因此, 研究消浪性能好、安全稳定且满足环保要求的新型防波堤结构已迫在眉睫。

国内外学者通过理论分析和模型试验对板式防波堤和透空式防波堤做了一系列研究。1947年 Ursell<sup>[1]</sup>研究了不同深度自由水面下单个插板式防波堤的波浪透射系数和绕射系数。Wiegel<sup>[2]</sup>继续在 Ursell 的基础上进行研究, 假设立板下波能不耗散, 推导出了一定水深下的透射系数和反射系数的近似解析解。我国在1986年开始研究板式防波堤, 邱大洪等<sup>[3]</sup>在国外有关成果的基础上研究了单板式防波堤的消浪性能, 奠定了我国板式防波堤研究的基础。王科等<sup>[4-5]</sup>通过模型试验和数值模拟, 分析了单层挡板结构防波堤的消浪性能和波浪力荷载的影响因素。王国玉<sup>[6]</sup>采用模型试验研究了多层水平板式防波堤结构消浪特性, 并分析了多层水平板式防波堤结构消浪性能的影响因素, 发现这种结构型式的防波堤消浪效果较好。唐琰林<sup>[7]</sup>通过数值模拟研究了双层板式防波堤的消浪性能和受力特点。Koutandos 等<sup>[8]</sup>结合国内外研究成果, 对透空箱式防波堤结构进行了改进, 并对比了透空箱式防波堤后方有无间隙垂直板情况下的水动力特性。王彦哲<sup>[9]</sup>在前人研究基础上将管群式防波堤水平圆柱群与底部的沉箱组成了透空式防波堤, 并利用物理模型试验研究了此种类型防波堤消浪特性的影响因素。董霞<sup>[10]</sup>将透空堤两侧挡板延伸至泥面高程得到直立堤, 两侧没有挡板时得到桩基无挡板透空堤, 并利用物理模型试验研究了这3种防波堤的波压力, 得到了这3种防波堤的波压力特性。

本文提出的组合板式防波堤是将垂直挡板结构与水平挡板结构相结合而成的一种新的防波堤结构型

收稿日期: 2016-09-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41176072, 51679015); 交通运输部应用基础项目(2012-329-825-160)

作者简介: 唐雯(1993—), 女, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 主要从事河流海岸动力学研究。

E-mail: 514953062@qq.com      通信作者: 程永舟(E-mail: chengyongzhou@163.com)

式。将预制板装配式防波堤、透空格栅板式防波堤与本文提出的新型透空组合板式防波堤进行试验对比,通过比较各防波堤的结构型式特点,分析了模型c的反射系数和透射系数随防波堤结构参数以及堤顶相对潜深的变化关系,并对比分析了相对堤宽对模型a和模型c的消浪性能的影响,为今后实际工程应用提供参考依据。

## 1 结构型式比较

### 1.1 各模型介绍

谷文强<sup>[11]</sup>对前人的模型进行改进,在上下板上开孔,提出了开孔双层水平板式防波堤,虽然这种型式的防波堤能有效消能并减小上下板受力,但是仅对上下板的表面开孔仍然不能有效减小防波堤结构受力。王晶等<sup>[12]</sup>在双层水平板式防波堤上改进并提出了预制板装配式防波堤(模型a),该结构由双层开孔板、前开孔挡板、后实体挡板组成,上下板之间错开布置,在前后挡板之间形成一个消浪室,消浪室用桩基支撑(如图(1)模型a,其中1为桩基础,2为下横梁,3为单个预制板,4为上横梁)。该结构减小了单个板在顺水流方向长度,增加了板在顺水流方向的个数,针对不同的使用条件通过调节板在顺水流方向的个数、间距及上下双层板之间的间距,达到需要的消浪效果。但是考虑到预制板装配式防波堤结构上下板的有效作用有限,程永舟等<sup>[13]</sup>在模型a的基础上提出了新型三层格栅板式防波堤结构(如图(1)模型b),模型b相对于模型a在上下板中间增加了中层板,模型b上板在自由水平面,中板和下板有一定潜深,预制板之间存在一定宽度的空隙,且在背浪面有实体挡板阻挡波浪继续传播。有学者从破坏波浪水质点水平方向和垂直方向运动轨迹的角度出发,研究了一些新的防波堤结构型式,即将垂直挡板结构与水平板结构相结合形成组合板式防波堤。本文提出的模型c就是结合前人研究成果提出的新型透空组合板式防波堤,该结构由多个开孔工字预制板组成(如图(1)模型c所示)。该模型由双层水平板、多排挡板和开孔竖直挡板组成,工字预制板翼板按一定间隙组成的双层水平板和多排挡板能使波浪传播变形并反射波浪来达到消能效果,翼板的间隙排列方式还能有效减小波浪浮托力,在工字预制板腹板上开孔还能减小结构受力面积。综上,模型c有望在保持结构稳定的情况下提高消浪性能。

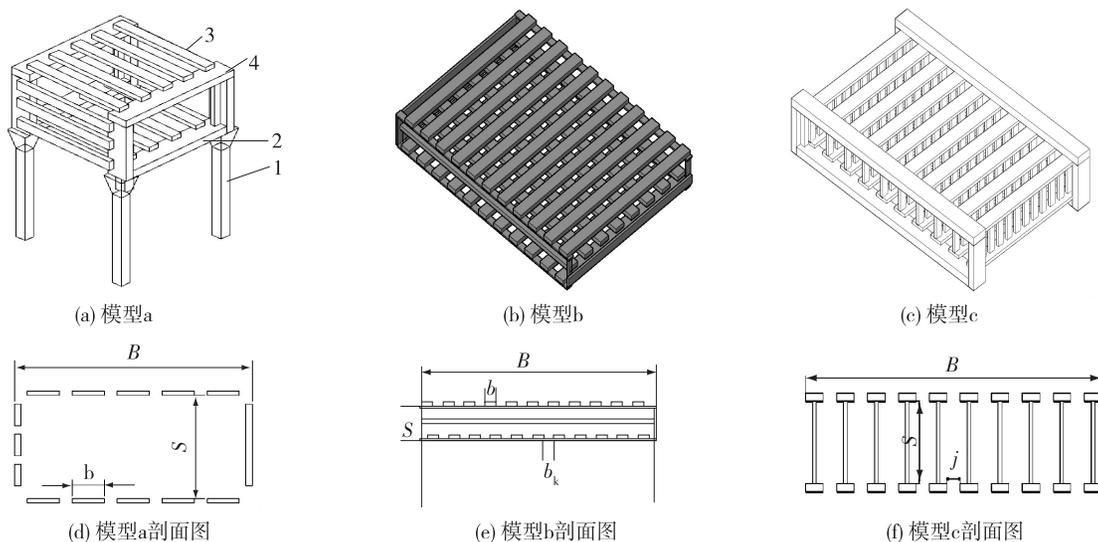


图1 防波堤结构

Fig. 1 Sketches of breakwaters

### 1.2 各结构型式对比分析

防波堤的消浪性能与结构型式有较大关系,现在对各模型的结构型式进行比较。

相同点:①3种模型均为透空式结构,这种结构能有效减小结构的受力面积,并能使波浪在结构内部相互碰撞从而达到能量耗散的目的,有利于结构稳定。②3种模型均具有多层水平板结构,模型a为双层水平板结构,模型b为三层水平板结构,模型c兼具上下水平板和竖直板结构。③3种模型均为有间隙的预制板组成,有间隙的预制板能使入射波在堤前耗散,并使波浪变形甚至破碎。④3种背浪面均为实体挡板,能阻挡波浪的继续传播,并使已进入结构内部的水体与传至防波堤的水体紊动加剧形成涡流使得波能耗散。

不同点:①相对于模型a,模型b在上下板之间加上中层板之后能加大对进入防波堤内部的波浪耗散,因此对水体的控制效果更好。②相对于模型a和模型b,模型c兼具开孔水平板式防波堤和开孔挡板式防波堤的作用。③模型c在竖直板上开孔,当波浪入射时,结构在堤前能反射一部分波能,波浪通过开孔时耗散一部分波能,进入结构内的水体被消浪室多次反射而消能,减小了结构受力,有利于防波堤的安全与稳定。④相对于模型a和模型b只有较少的消浪室,模型c中竖直板与水平板相互交叠使得模型c有多个消浪室,优化了模型c的消浪效果。

## 2 试验设计

### 2.1 试验设备及仪器

本次物理模型试验在长沙理工大学港工厅的波浪水槽中进行,该水槽长40 m、宽0.5 m、高0.8 m,工作水深0.2~0.6 m。水槽的一端安装有大连理工大学海岸与近海工程国家重点实验室研发的液压式造波机,可产生单向规则波、不规则波;水槽另一端安装有消能网,能减少波浪反射。波浪的采集仪器是加拿大RBR有限公司研制的电容式浪高仪,该浪高仪型号为WG-50,精度0.4%,探测高度0.1~0.2 m,线性度0.2%,反馈时间2 ms。

### 2.2 模型参数及试验条件

试验按照重力相似准则进行,综合考虑试验仪器精确度、造波机能力等因素来确定试验参数。防波堤模型a由迎浪面的有间隙预制板、背浪面的实体挡板和上下部有间隙预制板组成,模型b在模型a的上下板之间增加了中层板,模型a和模型b中单个预制板尺寸为:长×宽×高=0.50 m×0.05 m×0.01 m,模型c由多个腹板开孔的工字板按一定的间隙组装而成,单个工字板的尺寸为:长×宽×高=0.50 m×0.05 m×0.12 m,工字板的腹板和翼板厚度均为0.01 m。

试验水深 $d=0.36\sim 0.44$  m,入射波高 $H=0.08\sim 0.14$  m,入射波周期 $T=1.0\sim 1.6$  s,防波堤模型宽度 $B=0.23\sim 0.60$  m。预制工字板翼板间隙 $j$ 的变化范围是0.01~0.04 cm,预制工字板的开孔率分别为40%,50%,60%。此外,通过固定水深 $d=0.4$  m,调节防波堤堤顶高度来研究防波堤堤顶潜深 $h$ 对防波堤消浪性能的影响。模型试验参数如表1所示。

表1 物理模型试验参数

Tab. 1 Physical model experiment parameters

水深 $d/m$	波高 $H/m$	周期 $T/s$	淹没深度 $h/m$	模型宽度 $B/m$	工字板翼板间距 $j/m$	工字板上下翼板间距 $S/m$	工字板腹板开孔率/%
		1.0					
0.36		1.1	-0.04				
0.38	0.08	1.2	-0.02				
0.40	0.10	1.3	0	0.6	0.01	0.10	40
0.42	0.12	1.4	0.02				
0.44	0.14	1.5	0.04				
		1.6					

注:模型顶面与静水面的距离 $h$ 正值表示模型顶面位于静水面以下,负值表示模型顶面位于静水面上。

考虑水槽的尺寸、造波机的造波能力以及试验仪器测量精确度,防波堤模型固定在波浪水槽中间偏后的地方,距离波浪水槽前端造波机推板约为22 m,本次试验一共布置了6个浪高仪(图2),模型前布置1#,2#,

3#, 4#; 1#浪高仪用以测定防波堤模型前入射波高, 2#, 3#, 4#浪高仪用于测量防波堤模型前合成波高, 5#, 6#浪高仪用于测量防波堤后透射波高。1#浪高仪布置在距离波浪水槽前端造波机推板约为 10 m, 4#浪高仪距离防波堤模型前端 2.0 m, 3#和 4#浪高仪、2#和 3#浪高仪的间距均为 0.40 m; 5#浪高仪布置在防波堤模型后 2.0 m 处, 5#和 6#浪高仪间距为 1.0 m, 试验数据全部由计算机自动采集和处理, 每次试验待水面平静后开始造波, 当波浪平稳后开始采集, 浪高采集频率为 51.2 Hz。

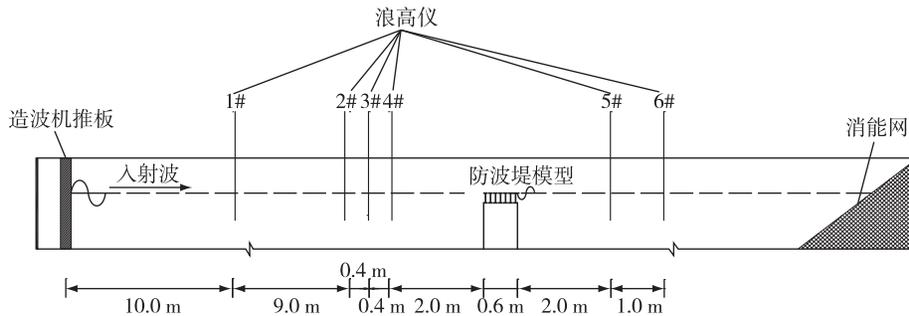


图2 试验布置

Fig. 2 Sketch of experiment plan

### 3 试验结果分析

通过 5#浪高仪所测的波浪历时曲线, 处理后得到透射波高。根据 2#和 3#浪高仪所测的波浪历时曲线, 通过 Goda 等的<sup>[14]</sup>两点法分离出入射波高和反射波高, 从而求出透射系数  $K_t$  和反射系数  $K_r$ 。反射系数为反射波高与入射波高的比值, 可表示为:  $K_r = H_r/H_i$ , 其中,  $H_r$  为反射波高;  $H_i$  为入射波高。透射系数为堤后波高与入射波高的比值,  $K_t = H_t/H_i$ , 其中,  $H_t$  为堤后波高。

能量耗散系数  $K_d = \sqrt{1 - K_r^2 - K_t^2}$ ,  $K_r$  为反射系数;  $K_t$  为透射系数。

#### 3.1 新型透空组合板式防波堤(模型 c) 消浪效果分析

**3.1.1 防波堤结构参数相对间隙比和宽度对模型 c 消浪效果影响** 取水深  $d=0.4$  m, 波高  $H=0.1$  m, 周期  $T=1.0, 1.2, 1.4, 1.6$  s, 间隙  $j=0.01$  m, 研究新型透空组合板式防波堤受堤宽变化的影响程度。图 3(a) 显示, 固定  $j/L$  不变时(此处  $L$  为入射波长), 透射系数随着模型宽度的增大而减小, 当防波堤宽度  $B$  为 0.23 和 0.35 m 时, 可以看到透射系数基本大于 0.5, 说明当防波堤宽度较小时, 至少有 50% 的波浪会越过防波堤, 当防波堤过短时, 结构只能阻挡一小部分波浪, 随着防波堤宽度的增加, 结构与波浪相互作用的面积也增大, 从而提高了防波堤对波浪的消能效果; 固定  $B$  不变时, 透射系数随相对间隙比的增大而减小, 说明相对间隙比的增加能加大防波堤内部水体紊动并使内部波浪变形并破碎来达到消能目的,  $j/L$  变大, 即波长变小, 说明当堤宽一定时, 此种型式的防波堤对短周期波消浪效果更好, 并且当模型宽度越大时, 透射系数随相对间隙比的变化幅度越大, 说明当模型宽度较小时, 增加相对间隙比也只能消去一部分波能, 只有当模型宽度和相对间隙比同时较大时防波堤的消浪效果最好。

取水深  $d=0.4$  m, 波高  $H=0.1$  m, 周期  $T=1.0, 1.2, 1.4, 1.6$  s, 防波堤宽度  $B=0.6$  m, 间隙  $j=0.01, 0.02, 0.03, 0.04$  m, 研究新型透空组合板式防波堤受相对间隙比变化的影响程度。从图 3(b) 可以看出, 透射系数随相对间隙比的增加而急剧减小, 并且  $j/H$  越小, 减小的幅度越大, 说明防波堤消能效果与相对间隙比有很大关系,  $j/H$  一定,  $j/L$  越大, 消浪效果越好。从图中还能发现,  $j/H$  为 0.1 和 0.2 时, 透射系数基本相同, 但  $j/H=0.1$  和 0.4 时透射系数相差较大,  $j/H$  增大, 即预制板间隙增大, 说明当预制板间隙在一定范围内增加时对消能效果影响不大; 但当预制板间隙增大到一定程度后, 进入防波堤内部的水体也变多, 消能效果变差。

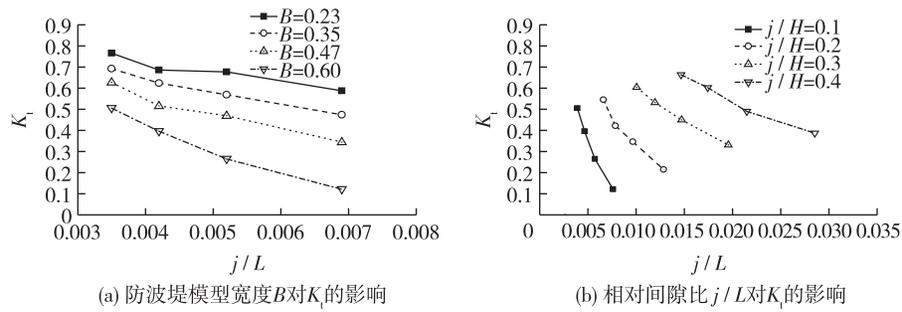


图3 防波堤结构参数对  $K_t$  的影响

Fig. 3 Effect of  $B$  and  $j/L$  on  $K_t$

**3.1.2 堤顶相对潜深  $h/d$  对模型 c 透射、反射系数的影响** 取水深  $d=0.4\text{ m}$ , 波高  $H=0.1\text{ m}$ , 周期  $T=1.0\sim 1.6\text{ s}$ , 波长  $L=1.46\sim 2.84\text{ m}$ , 通过改变堤顶潜深  $h$  来研究  $h/d$  对防波堤透射系数和反射系数的影响。从图 4 发现, 透射系数随相对潜深的增大而增大, 反射系数随相对潜深的增大而减小。  $H/L=0.035, 0.038, 0.042$  和  $0.046$  时, 4 条曲线的透射系数随相对潜深变化的幅度较平缓, 且这 4 条曲线的透射系数也比较接近。当  $H/L$  从  $0.052$  增大到  $0.068$  时, 这 3 条曲线中的透射系数随相对潜深变化的幅度较大, 反射系数随相对潜深的变化规律与透射系数基本相反。说明防波堤堤顶相对潜深越大消浪效果越弱, 这是因为当模型高于水面时, 由于有水平挡板和竖直挡板的存在能加大波浪的堤前反射, 并且防波堤的出水高度越大波浪越过防波堤继续传播的难度也越大, 大部分波浪将无法越过堤顶而被挡板反射回去。当堤顶淹没时, 一部分波浪在防波堤上方破碎, 但绝大部分波浪会越过结构继续传播, 所以波浪的反射系数小透射系数大。当  $H/L=0.068$  时, 随着相对潜深的增大透射系数也基本在  $0.15$  附近, 说明此模型对短周期波消浪效果良好, 当  $H/L=0.068$  时, 透射系数也基本在  $0.5$  左右, 说明新型透空组合板式防波堤对较长周期波也有较好的消波效果。

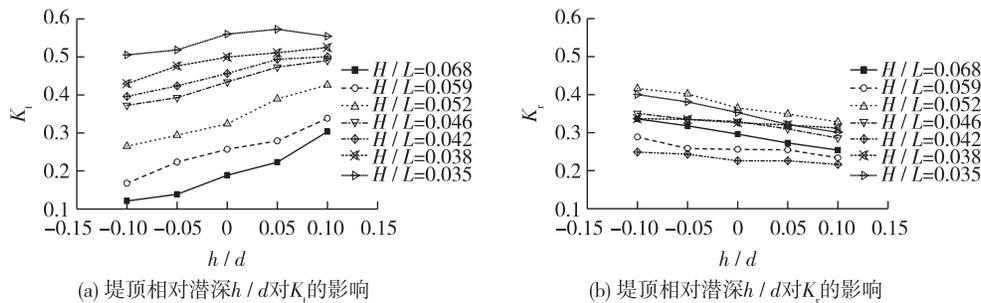


图4 堤顶相对潜深  $h/d$  对  $K_t, K_r$  的影响

Fig. 4 Effect of  $h/d$  on  $K_t$  and  $K_r$

**3.2 模型间透射、反射、能量耗散系数影响因素分析比较**

在相同入射波要素条件下, 将本文的新型透空组合板式防波堤结构(模型 c)与王晶等<sup>[12]</sup>提出的新型透空板式防波堤结构(模型 a)的消浪性能进行比较。图 5 给出了 4 种不同入射波高情况下, 相对堤宽  $B/L$  对两种结构的透射系数  $K_t$ 、反射系数  $K_r$ 、能量耗散系数  $K_d$  的影响。实线为模型 c, 虚线为模型 a。

图 5(a) 表明两种模型的透射系数随相对堤宽的改变都变化较大, 透射系数均随相对堤宽的增加急剧减小, 相对于模型 a, 模型 c 透射系数的变化更加显著。固定相对堤宽  $B/L=0.352$ , 入射波高  $H=0.08, 0.10, 0.12, 0.14\text{ m}$  时, 模型 c 的透射系数明显小于模型 a 的透射系数。相对堤宽  $B/L$  变化即为波长  $L$  改变, 两种模型的透射系数均随波长增加而增大, 说明两种模型均对较短周期波消浪效果更好。从图 5(a) 可以看出,

模型 a 与模型 c 的透射系数始终小于 0.5, 这表明两种模型至少能消去 50% 的波浪。当相对堤宽  $B/L=0.4$  时, 模型 c 的透射系数为 0.07, 此时仅有小部分波浪通过。观察模型 c 的图像还能发现, 当  $H=0.08, 0.10, 0.12$  时, 透射系数随着波高的增大而增大, 说明波高在某一范围内越大越容易越过防波堤进入结构内部, 但是当  $H=0.14$  时的透射系数反而比  $H=0.10$  的透射系数要小, 这是由于当波高达到一定高度时波浪就会在堤前自行破碎。

图 5(b) 可以看出, 两种模型的反射系数均有随相对堤宽的增加先减小后增大的趋势, 且模型 c 的反射系数始终小于模型 a 的反射系数。由于模型 a 只有前后水平挡板反射波浪消能, 模型 c 加上了竖直挡板, 兼具水平板式和垂直板式的作用, 波浪在遇到防波堤后水体沿原运动轨迹反向运动, 一部分波浪沿原轨迹继续传播, 一部分波浪通过竖直挡板时将会被反射, 水平有间隙的预制板可以使入射波波长变短甚至破碎从而进一步消散波能, 所以相对于模型 a 而言, 模型 c 在堤前反射的波能更大。从图中还能看出, 反射系数随着波高的增大而减小, 这一规律恰好与透射系数相反, 当波高较小时, 很大一部分波能被挡板反射回去; 当波高较大时波浪便越过防波堤进入结构内部, 所以反射系数变小。

对比图 5(c) 两种模型的能量耗散系数变化曲线, 可以看出, 随着相对堤宽的变化, 两种模型的能量耗散系数变化较大。模型 a 的能量耗散系数随相对堤宽的增大先增加后减小, 而模型 c 的能量耗散系数随相对堤宽的增大而一直呈现增加的趋势, 且模型 c 的能量耗散系数始终大于模型 a, 这说明模型 c 消浪性能更佳。

对比模型 a, c 的透射系数、反射系数和能量耗散系数来看, 模型 c 的透射系数和反射系数均小于模型 a, 而能量耗散系数始终大于模型 a。从图 5(c) 可发现模型 a 的能量耗散系数受波高影响变化显著, 这说明模型 a 受波高影响更大。模型 c 的能量耗散系数始终大于模型 a, 当  $B/L=0.4$  时, 模型 c 的能量耗散系数约为 0.96, 此时很大一部分波能已经被消去, 说明模型 c 的消浪性能更好。

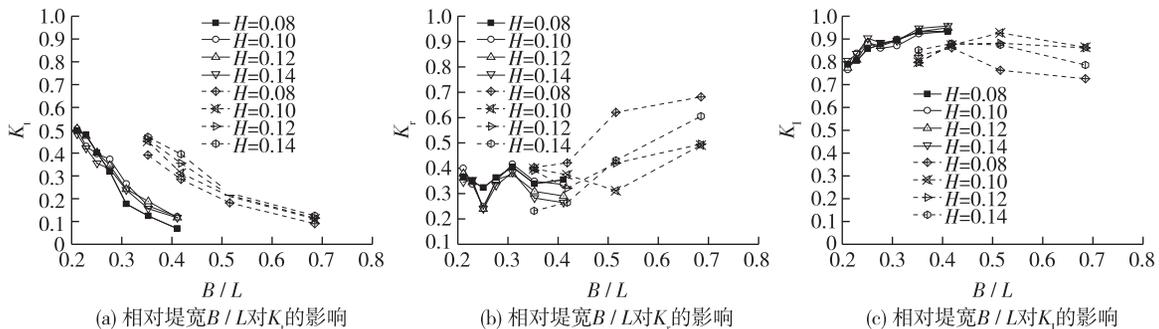


图 5 两种模型的透射系数  $K_t$ , 反射系数  $K_r$  和能量耗散系数  $K_d$  随相对堤宽  $B/L$  的变化关系

Fig. 5 Variation of  $K_t$ ,  $K_r$  and  $K_d$  with  $B/L$

## 4 结 语

本文对比了 3 种防波堤的结构型式特点, 探讨了新型透空组合板式在不同影响因素下的消浪特性, 并对比分析了其中两种模型的透射系数、反射系数和能量耗散系数在不同相对堤宽  $B/L$  下的变化关系。

(1) 本文提出的新型透空组合板式防波堤(模型 c)相对于另外两种模型的水平板结构来说, 模型 c 同时具有水平挡板和竖直挡板的作用, 开孔竖直挡板的存在有效减小了防波堤前波浪反射并减小了结构受力。由于模型 c 有竖直板的存在, 竖直板与水平板相互交叠使得模型 c 有多个消浪室, 优化了模型 c 的消浪效果。

(2) 分析模型 c 的试验结果发现, 当模型宽度和相对间隙比同时较大时消浪效果最好, 模型宽度  $B$  越大, 模型 c 的消浪效果越好。相对间隙比在一定范围内增加时模型 c 消浪效果也越好, 但预制板间隙增大到一定程度后, 进入防波堤内部的水体变多, 消浪效果反而变差。堤顶相对潜深的大小对结构消波特性也有很

大影响,结构淹没深度越大,消浪特性越差;结构出水高度变大,消浪性能变好且结构更稳定。

(3)对比模型 a 与模型 c 的消浪特性发现,两种模型均对较短周期波的消浪效果更好。在不同的波浪参数影响下,模型 c 的反射系数始终小于模型 a 的反射系数,且模型 c 的能量耗散系数始终大于模型 a 的能量耗散系数,说明模型 c 这种结构型式能反射更多波能,消能效果更好。

#### 参 考 文 献:

- [1] URSELL F, DEAN W. The effect of a fixed vertical barrier on surface waves in deep water[J]. Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 1947, 43(3): 374-382.
- [2] WIEGEL L. Transmission of wave past a rigid vertical thin barrier[J]. Journal of Waterways and Harbors Division, ASCE, 1960, 86(1): 1-12.
- [3] 邱大洪, 王学庚. 深水薄板式防波堤的理论分析[J]. 水运工程, 1986(4): 8-12. (QIU Dahong, WANG Xuegeng. Theoretical analysis of deepwater plate breakwater[J]. Waterway Engineering, 1986(4): 8-12. (in Chinese))
- [4] 王科, 高鑫, 张犀. 平板及立板式防波堤散射波浪力研究[J]. 船舶力学, 2011, 15(10): 1127-1133. (WANG Ke, GAO Xin, ZHANG Xi. Study on wave exciting force of horizontal and vertical plate type breakwater[J]. Journal of Ship Mechanics, 2011, 15(10): 1127-1133. (in Chinese))
- [5] 王科, 张志强, 贺大川. 水下平板式防波堤流场分析[J]. 船舶力学, 2013, 17(4): 360-368. (WANG Ke, ZHANG Zhiqiang, HE Dachuan. Flow field for breakwater of submerged horizontal plate type[J]. Journal of Ship Mechanics, 2013, 17(4): 360-368. (in Chinese))
- [6] 王国玉. 特种防波堤结构型式及水动力特性研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2005. (WANG Guoyu. Investigation on the structure type and performance of the special breakwater[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2005. (in Chinese))
- [7] 唐琰林. 双层水平板型透空式防波堤消浪性能研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2006. (TANG Yanlin. The study of wave-dissipating performance of twin-plate penetrating breakwater[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2006. (in Chinese))
- [8] KOUTANDOS E V, PRINOS P E. Hydrodynamic characteristics of semi-immersed breakwater with an attached porous plate[J]. Ocean Engineering, 2011(38): 34-48.
- [9] 王彦哲. 复合式防波堤消浪性能试验研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2010. (WANG Yanzhe. Experimental study of wave-dissipating performance of composite breakwater[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010. (in Chinese))
- [10] 董霞. 桩基挡板透空式防波堤结构波压力特性研究[D]. 南京: 河海大学, 2006. (DONG Xia. Study on the characteristics of wave force on piled baffle permeable breakwater[D]. Nanjing: Hohai University, 2006. (in Chinese))
- [11] 谷文强. 双层水平板型防波堤水动力特性研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2008. (GU Wenqiang. The study of hydrodynamic performance of twin-plate breakwater[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008. (in Chinese))
- [12] 王晶, 程永舟, 杨小桦, 等. 新型透空板式防波堤消浪效果试验研究[J]. 船舶力学, 2015, 19(1/2): 86-94. (WANG Jing, CHENG Yongzhou, YANG Xiaohua, et al. Experimental study on wave dissipation of new plate breakwaters[J]. Journal of Ship Mechanics, 2015, 19(1/2): 86-94. (in Chinese))
- [13] 程永舟, 杨小桦, 黄筱云, 等. 新型透空格栅板式防波堤消浪性能试验[J]. 水利水电科技进展, 2016, 36(2): 30-34. (CHENG Yongzhou, YANG Xiaohua, HUANG Xiaoyun, et al. Experimental study of wave-dissipating performance of a new grille plate-type open breakwater[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2016, 36(2): 30-34. (in Chinese))
- [14] GODA Y, SUZUKI Y. Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments[C]// Proc 15th Int Coast Engrg Conf, New York, ASCE, 1976: 828-845.

## Analysis of structure and wave dissipation characteristics of a new type of perforated composite plate breakwater

TANG Wen<sup>1</sup>, HU Jun<sup>2</sup>, CHENG Yongzhou<sup>1,3</sup>, HU Youchuan<sup>1</sup>

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410004, China; 2. College of Post and Telecommunication, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China; 3. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster Prevention of Hunan Province, Changsha 410004, China)

**Abstract:** In order to improve the wave dissipation performance of perforated breakwater and to reduce the stress of the structure, a new type of perforated composite plate type breakwater (Model c) is proposed. The structural features of the breakwater (Model c) are analyzed by comparison with the other two types of breakwaters (Models a and b). The physical model test is carried out to study the wave dissipation characteristics under different influence factors. The comparative analysis of transmission coefficients, reflection coefficients and energy dissipation coefficients of Model a and Model c is made, under different relative structure widths. And the wave absorbing effects of Models a and c are compared. The results indicate that Model c has the function of both the opening horizontal plate type breakwater and the perforated baffle type breakwater; the wave reflection of Model c, with a better wave dissipation effect, is smaller than that of Model a, and the structure of Model c can effectively reduce the force acting on the breakwater structure. When the width and the relative clearance ratio of the model are both large, the wave dissipation effect is better, and the wave dissipation performance of the breakwater in the unsubmerged state is better than that in the submerged state.

**Key words:** composite plate breakwater; transmission coefficient; reflection coefficient; wave dissipation characteristic