

新型透空格栅板式防波堤消浪性能试验

程永舟^{1,2}, 杨小桦¹, 黄筱云^{1,3}, 胡有川¹

(1. 长沙理工大学水利工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410004; 3. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 江苏 210098)

摘要:为提高透空式防波堤的消浪效果,提出了一种新型透空格栅板式防波堤结构。通过水槽试验,分析了该防波堤的消浪性能,探讨了上下层平板相对间距以及格栅板间隙比等参数对防波堤透射系数和反射系数的影响。结果表明,该结构防波堤消浪性能良好,且防波堤出水状态下的消浪效果要好于淹没状态;随着相对板间距的增大,防波堤透射系数变小;上下层各格栅板间隙比为 0.1 时,防波堤的消浪效果最佳。

关键词:格栅板式防波堤;消浪性能;水槽试验;透射系数;反射系数

中图分类号:U656.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2016)02-0030-05

Experimental study on wave-dissipating performance of a new grille plate-type open breakwater//CHENG Yongzhou^{1,2}, YANG Xiaohua¹, HUANG Xiaoyun^{1,3}, HU Youchuan¹ (1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410004, China; 2. Key Laboratory of Water & Sediment Science and Water Hazard Prevention of Hunan Province, Changsha 410004, China; 3. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to improve the wave-dissipating performance, a new grille plate-type open breakwater is presented. Based on flume experiments, the wave-dissipating performance of this breakwater was analyzed, and the influence of parameters, including the relative spacing between the upper and lower plates and the gap ratio of the grille plate, on the transmission coefficient and reflection coefficient were investigated. The results show that the wave-dissipating performance of this breakwater is satisfying, and it is better when the breakwater is above the still water level than when the breakwater is submerged; the transmission coefficient of this breakwater decreases with the increase of relative plate spacing; and the breakwater performs best at a gap ratio of the top and bottom plates of 0.1.

Key words: grille plate-type breakwater; wave-dissipating performance; flume experiment; transmission coefficient; reflection coefficient

透空式防波堤是近年来针对水体生态问题提出的新型结构防波堤,除满足防浪的基本功能外,它还能使掩护区内外水体自由交换。透空式防波堤主要由桩柱基础和上部防浪结构组成,其中,上部结构用于反射和消减波浪的能量,其结构形式决定着防波堤的防浪性能。

最简单的透空防波堤是邱大洪等^[1]提出的单一薄板式结构防波堤。近年来有些学者在单层板防波堤的基础上进行了改进,如唐琰林等^[2]对双层板防波堤进行了物理试验研究;谷文强^[3]研究了双层开孔板防波堤的水动力特性;李靖波等^[4]通过数值模拟的方式研究了潜式双层水平板型防波堤消浪的经验公式;一些学者应用数值模拟和物理试验的方

式分别研究了双浮箱-双水平板透空防波堤^[5]、圆弧板透空防波堤^[6]和 T 型透空板防波堤^[7]的消浪效果。此外,陈旭达等^[8]采用规则波与不规则波对双层水平板型防波堤进行了水动力特性试验研究;Rey 等^[9]提出了一种淹没板式防波堤并对其进行了试验研究;Lalli 等^[10]用数值计算方法研究了双层平板式防波堤的有效性;Chen 等^[11]对一种矩形浮箱和水平板组成的防波堤的水动力特性进行了理论分析研究;Loukogeorgaki 等^[12]运用 3 种不同的特征函数方法数值模拟了双层浮式水平板防波堤的水动力特性;王国玉等^[13]利用数值模拟方法对多层板式防波堤进行了研究,得出了板厚、相对板宽、相对水深对消波的影响,但没给出防波堤板与板之间的距离

基金项目:国家自然科学基金(41176072,51109018);水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室开放基金(2014SS04)
作者简介:程永舟(1974—),男,教授,博士,主要从事波浪、水流及边界相互作用研究。E-mail:13786191344@163.com

对消波的影响。研究表明,多层板型防波堤的消波效果要优于单层板防波堤,并能更有效地增加波浪反射和减少波浪透射,但简单增加水平板数量会带来更大工程量和复杂度,给防波堤的施工及维修带来不便。

本文提出一种新型3层格栅板式防波堤结构,并通过物理模型试验,获得不同波况下该防波堤的透射系数和反射系数,探讨该防波堤结构的消波效果,以分析该防波堤上下层平板相对间距以及格栅板间隙比等尺寸参数对消波效果的影响。

1 新型3层格栅板式防波堤结构

在预制板装配式防波堤(图1(a)(c))^[14]的基础上,提出一种新型3层格栅板式防波堤结构(图1(b)(d)),考虑到预制板装配式防波堤结构上下板的有效作用有限,为增加防波堤对水体的控制,在上下板中增加了中层板。该防波堤的特点在于每层水平板均可由多个预制板装配而成,预制板之间存在一定宽度的空隙,且在背浪面有挡板阻挡水体通过。当波浪遇到防波堤时,一部分水体将通过前端开口进入防波堤内部,另一部分水体则通过水平板上的空隙进入,加上实体挡板反射回来的水体,三者将在防波堤内部相互干扰,相互冲击,形成涡流,并消耗大量能量,从而有效削弱了波浪对防波堤的冲击作用。预制板装配式防波堤用桩基支撑(图1(a)),施工方便,本结构继续沿用(图1(d))。

试验过程中,通过调节不同的波浪参数(波高 H 、波周期 T 、水深 h)、格栅板间隙比 r (r 为格栅板的空隙距离 b_k 与预制板板宽 b 之比,即 $r=b_k/b$)、上下层板间距 S 等,对防波堤消波特性进行分析。

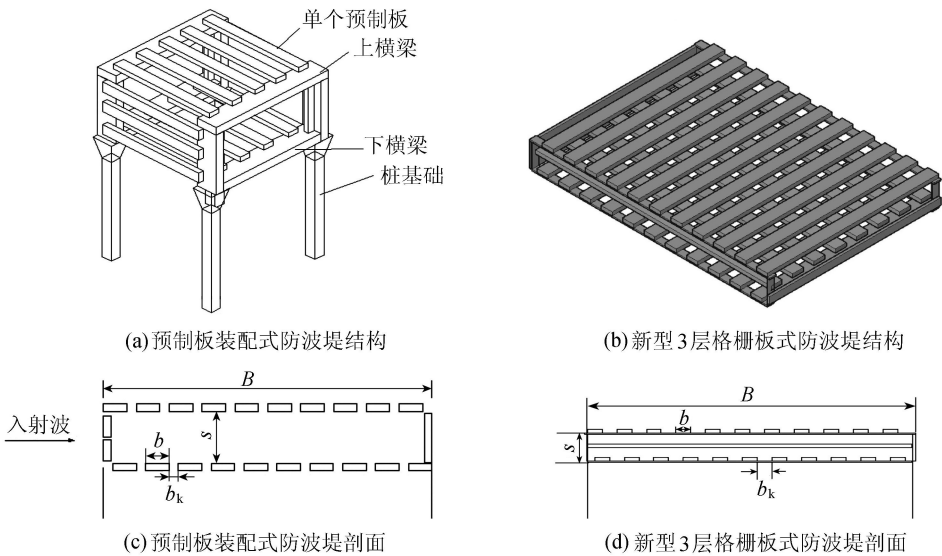


图1 防波堤结构示意图

2 物理模型试验

2.1 试验设备及仪器

物理模型试验所用的多功能波浪水槽位于长沙理工大学水利实验中心,水槽两侧为透明玻璃,总长40.0 m、宽0.8 m、深1.0 m,最低工作水深0.3 m,最高工作水深0.8 m。造波机后侧水槽末端设有直立式消能网,水槽的另一端设有消能坡,以消除波浪反射影响。造波控制系统是由大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室研究开发的造波系统,浪高采集采用电容式浪高仪,型号为WG-50,精度0.4%,探测高度10~20 cm,线性度0.2%,反馈时间2 ms。

2.2 试验布置

按照重力相似准则,再综合考虑试验设备条件等因素确定试验参数。防波堤模型水平板总宽度 $B=0.8$ m,中层水平板到水底距离 $q=0.4$ m,格栅板宽度 $b=0.025$ m,格栅板间隙比 $r=0\sim0.2$ (图2)。模型布置于水槽中间位置,距离造波板约20 m。试验共布置6台浪高仪(图2),1号浪高仪布置在距离造波板前端10 m处;2号、3号、4号浪高仪分别位于距模型前端2.7 m、2.3 m、2.0 m处;5号浪高仪布置在距模型后端3.0 m处,5号与6号浪高仪间距1.0 m。试验数据全部由计算机自动采集和处理,波浪历时过程采样间隔为0.02 s。

3 防波堤消浪效果分析

3.1 相对波长对透射系数和反射系数的影响

根据5号浪高仪测得的波浪历时过程线,由计算分析处理得到透射波高;对于2号和3号浪高仪测得的波面过程线,由Goda^[15]两点法分离出反射波高与入射波高,进而求出防波堤透射系数 K_t 和反

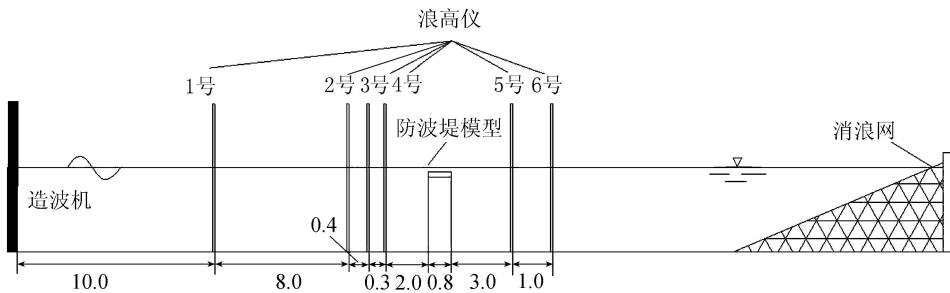


图2 试验布置示意图(单位:m)

射系数 K_r 。

在给定水深 $h = 0.5\text{ m}$ 、上下层平板相对间距 $S/h = 0.4$ 、上下层格栅板间隙比 r 均为 0.1 的情况下,取 4 个相对波高 ($H/h = 0.16, 0.20, 0.27, 0.33$) 进行试验,分析防波堤对不同波长波浪的消波效果。图 3 给出了透射系数 K_t 和反射系数 K_r 与相对波长 L/B 之间的关系。从图 3(a) 可以看出, K_t 与 L/B 基本呈线性关系,即随着波长增加,防波堤的消波效果逐渐减弱。当 $L/B < 4$ 时, $K_t < 0.5$, 当 $L/B > 4$ 时, $K_t < 0.6$, 说明该防波堤结构具有较好的消浪效果。图 3(b) 则给出了 L/B 增大引起的 K_r 变化,可以看出 $L/B > 4$ 时, K_r 明显减小,说明该结构对长波反射作用小。

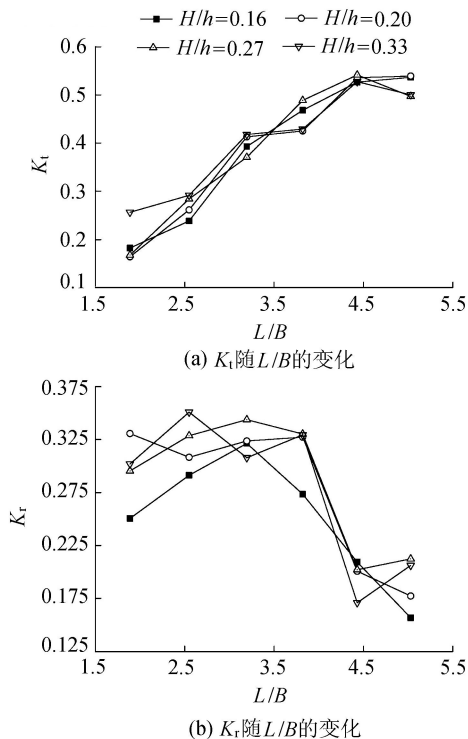


图3 K_t 和 K_r 随 L/B 的变化

3.2 相对水深对透射系数和反射系数的影响

为分析不同相对水深 h/q 下防波堤的消波效果,选取 3 种相对水深 $h/q = 1.125, 1.250, 1.375$ 进行试验。试验中,相对波高 $H/h = 0.13$, 采用的周期 $T = 1.4\text{ s}, 1.6\text{ s}, 1.8\text{ s}, 2.0\text{ s}$ 。图 4 给出了防波堤透射系数 K_t 和反射系数 K_r 随相对水深 h/q 的变化情

况。从图 4(a) 可以看出,随着 h/q 增大 K_t 逐渐增大,当 $h/q < 1.25$ 时, $K_t < 0.55$, 说明防波堤上层水平板处于出水状态时,防波堤的消波效果较好,而上层水平板处于淹没状态时,防波堤的消波效果较差,波浪周期越大,消波效果越差;从图 4(b) 可以看出 K_r 随着 h/q 的增大而减小,且对于同一相对水深,周期大的波浪,防波堤前产生的反射波高小。

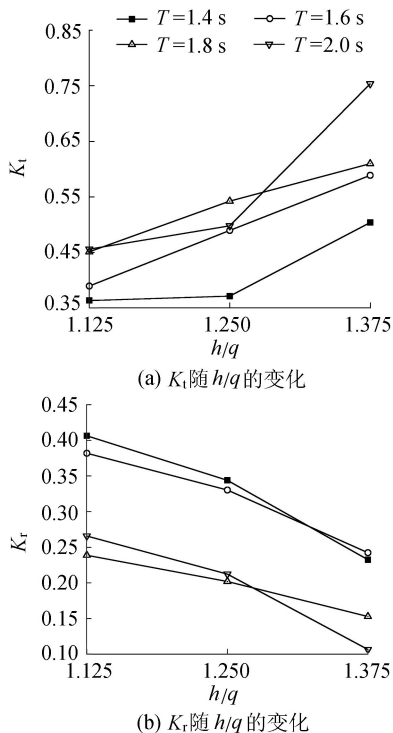


图4 K_t 和 K_r 随 h/q 的变化

3.3 上下层平板相对间距对透射系数和反射系数的影响

为考察上下层平板相对间距 S/h 对防波堤消波效果的影响,选取 $S/h = 0, 0.2, 0.3, 0.4$ 这 4 种情况进行试验,其中, $S/h = 0$ 相当于单层板的情况,上下层各格栅板的间隙比 r 均为 0.1 ,中层格栅板与水槽底部的距离始终为 0.4 m ,水深 $h = 0.5\text{ m}$,波高 $H = 0.08\text{ m}$,给定的波周期 $T = 1.4\text{ s}, 1.6\text{ s}, 1.8\text{ s}, 2.0\text{ s}$ 。图 5 给出了防波堤透射系数 K_t 和反射系数 K_r 与上下层平板相对间距 S/h 的关系。从图 5(a) 可以看出,随着 S/h 的增大, K_t 将减小,当 $S/h > 0.4$ 时, $K_t <$

0.55;从图 5(b)可以看出, K_r 同样随 S/h 的增大而减小。主要原因是:一方面由于上下层平板相对间距增大,波浪能够进入到防波堤内部,而防波堤内部复杂的水体运动耗散掉大部分波能,使得反射波高减小;另一方面,防波堤后方挡板面积增大使得堤后波浪波高变小。

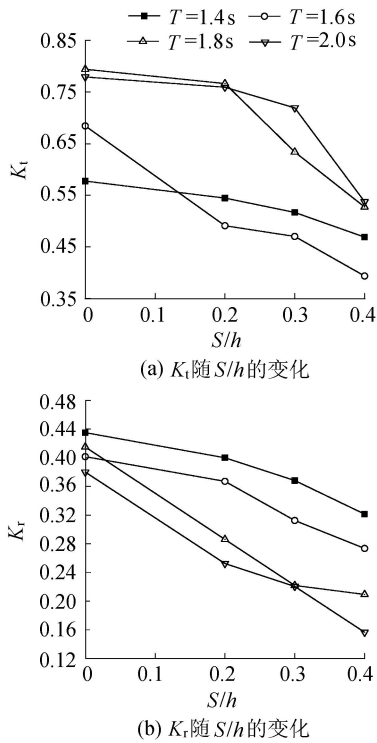


图 5 K_t 和 K_r 随 S/h 的变化

3.4 格栅板间隙比对透射系数和反射系数的影响

试验中取水深 $h=0.5\text{ m}$,波高 $H=0.13\text{ m}$,周期 $T=1.2\text{ s}$ 、 1.4 s 、 1.6 s 、 1.8 s 、 2.0 s ,模型水平板总宽度 $B=0.8\text{ m}$,取上下层平板相对间距 $S/h=0.25$ 。图 6 给出了格栅板间隙比 $r=0$ 、 0.1 、 0.2 时防波堤的透射系数 K_t 和反射系数 K_r 。从图 6(a)可以看出, $r=0.1$ 时, K_t 最小,且对于 $T<2.0\text{ s}$ 的波浪, K_t 仍小于 0.55,得到较好的消波效果,说明 $r=0.1$ 是消波效果最佳的间隙比值;从图 6(b)可以看出, K_r 随 r 增大而逐渐减小,这是因为较大的格栅板间隙比使得波能耗散增大,从而使反射波高减小。

图 7 给出了分别改变上层格栅板和下层格栅板的间隙比 r_t 、 r_b 时防波堤的透射系数 K_t 和反射系数 K_r 变化情况。从图 7(a)可以看出,只增大 r_t ,对于 $L/B<3.5$ 的波浪, K_t 有所增大,对于 $L/B>3.5$ 的波浪, K_t 则基本不变,表明 r_t 变化只对波长较短波浪的消弱效果有影响;而只增大 r_b , K_t 基本保持不变,说明下层格栅板间隙比变化对防波堤的消波效果基本无影响。从图 7(b)可以看出,与透射系数相比,改变上下层格栅板间隙比使防波堤反射系数变化增

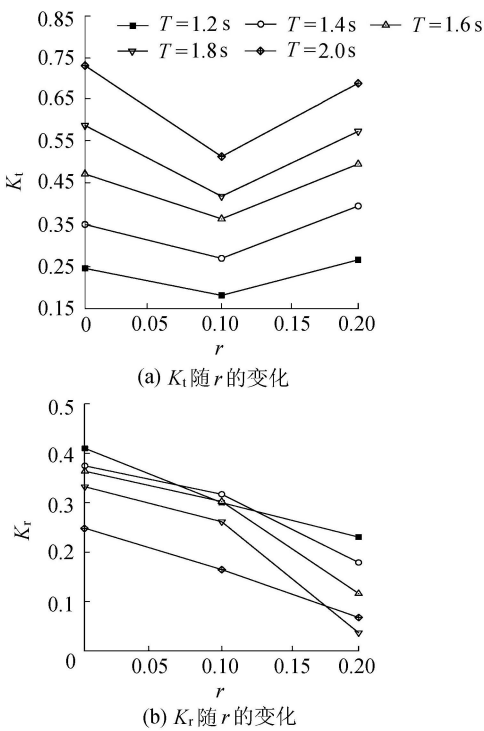


图 6 K_t 和 K_r 随 r 的变化

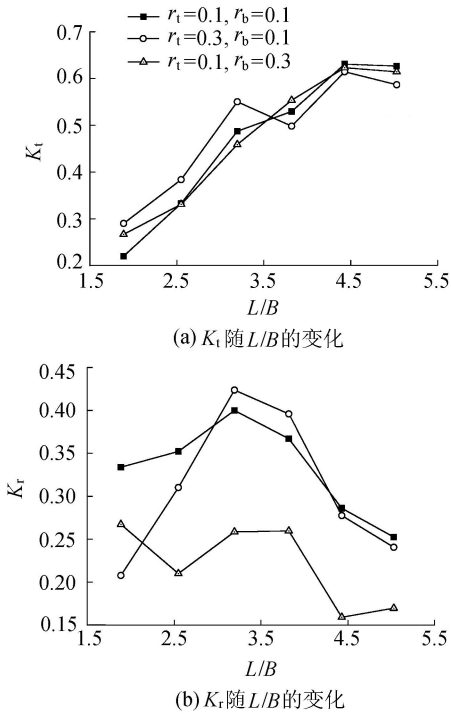


图 7 不同上下层格栅板间隙比组合下 K_t 和 K_r 随 L/B 的变化

大。当 r_t 增大后, $L/B<3$ 的波浪遇到防波堤后所形成的反射波高减小,波长越小,防波堤对反射波高抑制越明显;而当 r_b 增大后,对反射波高的抑制作用更加明显,反射波高最大可以抑制到原来的一半左右。

4 结 论

a. 新型透空格栅板式防波堤结构消浪效果较

好,即使相对波长 L/B 达到 4 时,防波堤透射系数仍小于 0.5;防波堤出水状态下的消浪效果要好于淹没状态下的效果,且透射系数随出水高度增加而减小。

b. 上下层板间距对防波堤消波效果有较大影响,防波堤透射系数随上下层平板相对间距 S/h 增大而减小,且当 $S/h > 0.4$ 时,透射系数将小于 0.55。

c. 防波堤上下层各格栅板间隙比对防波堤透射系数和反射系数有影响,最佳间隙比为 0.1;上层各格栅板的间隙比对透射系数和反射系数的影响要大于下层各格栅板的间隙比。

参考文献:

[1] 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))

[2] 唐琰林,张宁川,刘爱珍.双层水平板型透空式防波堤消波性能试验研究[J].水道港口,2006,27(5):284-288. (TANG Yanlin, ZHANG Ningchuan, LIU Aizhen. Test on wave-dissipating performance of twin-plate penetrating breakwater [J]. Journal of Waterway and Harbour, 2006, 27(5):284-288. (in Chinese))

[3] 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.

[4] 李靖波,张宁川,刘爱珍.潜式双层水平板型防波堤的数值研究[J].水道港口,2014,35(4):371-324. (LI Jingbo, ZHANG Ningchuan, LIU Aizhen. Numerical investigation of submerged horizontal twin-plate breakwater [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2014, 35(4):371-324. (in Chinese))

[5] 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),2014,24(1):40-49. (YANG Biao, CHEN Zhijie, WANG Guoyu, et al. Experimental investigation of twin pontoon-twin horizontal plate floating breakwater [J]. Chinese Journal of Hydrodynamics, 2014, 24(1):40-49. (in Chinese))

[6] 潘春昌,王国玉,任冰,等.圆弧板透空式防波堤消波性能试验研究[J].海洋工程,2014,32(4):33-40. (PAN Chunchang, WANG, Guoyu, REN Bing, et al. Experimental study on the performance of arc-plate type breakwater [J]. The Ocean Engineering, 2014, 32(4):33-40. (in Chinese))

[7] 王国玉,黄璐,任冰,等.T型透空式防波堤消波性能的理论分析[J].水利水电科技进展,2014,34(2):1-5. (WANG Guoyu, HUANG Lu, REN Bing, et al. Theoretical analysis of the performance of wave dissipation of T-type open breakwater [J]. Advances in Science and

Technology of Water Resources, 2014, 34(2):1-5. (in Chinese))

[8] 陈旭达,张宁川.一种新型透空式防波堤水动力特性试验研究[J].水道港口,2011,32(1):7-11. (CHEN Xuda, ZHANG Ningchuan. Study of hydrodynamic performance of a new-type penetrating breakwater [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2011, 32(1):7-11. (in Chinese))

[9] REY V, TOUBOUL J. Forces and moment on a horizontal plate due to regular and irregular waves in the presence of current [J]. Applied Ocean Research, 2011, 33(2):88-99.

[10] LALLI F, BRUSCHI A, LIBERTI L, et al. Analysis of linear and nonlinear features of a flat plate breakwater with the boundary element method [J]. Journal of Fluids and Structures, 2012, 32(7):146-158.

[11] CHEN Z J, WANG Y X, DONG H Y, et al. Time-domain hydrodynamic analysis of pontoon-plate floating breakwater [J]. Water Science and Engineering, 2012, 3(5):291-303.

[12] LOUKOGEORGAKI E, MICHAILIDES C, ANGELIDES D C. Hydroelastic analysis of a flexible mat-shaped floating breakwater under oblique wave action [J]. Journal of Fluids and Structures, 2012, 31(5):103-124.

[13] 王国玉,刘丹,任冰,等.多层水平板衰减波浪的影响因素分析[J].水利水电科技进展,2011,31(1):33-36. (WANG Guoyu, LIU Dan, REN Bing, et al. Influencing factors of dissipating waves by multiple horizontal plates [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(1):33-36. (in Chinese))

[14] 程永舟,张戈,王晶,等.桩基预制板装配式防波堤:ZL201210370879.X[P].2014-06-25.

[15] GODA Y, SUZUKI Y. Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments [C]//The 15th International Conference on Coastal Engineering. New York:ASCE, 1976:214-232.

(收稿日期:2014-11-27 编辑:熊水斌)

