



多层直立开孔挡板透空式防波堤 消浪性能试验研究

周效国, 李雨, 江沐淮, 刘铭祎, 彭儒
(江苏科技大学船舶与海洋工程学院, 江苏镇江 212003)

摘要: 从破坏波浪水质点运动轨迹出发, 提出一种多层直立开孔挡板透空式防波堤。通过物理模型试验, 重点研究了板距布置方式及波要素对防波堤消浪性能的影响及其变化规律。试验结果表明, 该结构对长波表现出较好的消浪性能, 特别适用于浪大水深的海域, 对促进透空式防波堤从临时挡浪措施转变为永久性建筑物具有重要意义。

关键词: 透空式防波堤; 消浪; 直立挡浪板; 模型试验

中图分类号: U 656.2⁺4; TV 139.2⁺5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)01-0031-05

Experiment study on wave dissipation performance of permeable breakwater of multi-layer upright wave board with holes

ZHOU Xiao-guo, LI Yu, JIANG Shu-huai, LIU Ming-yi, PENG Ru

(School of Naval Architecture & Ocean Engineering, Jiangsu University of Science & Technology, Zhenjiang, 212003, China)

Abstract: From idea of destroying water particles' trajectory of waves, this paper proposes a kind of permeable breakwater of layer upright wave board with holes. Focusing on the wave board layout and wave elements, we study the breakwater wave dissipation performance and its variation based on the physical model test. The test results show that the structure has good wave dissipation performance for the long wave, especially for big-wave deep waters. It is of great significance to promote the breakwater from the temporary breakwater measures into permanent structures.

Key words: permeable breakwater; wave dissipation; upright wave board; physical model test

防波堤是港口水工建筑物的重要组成部分, 能保护港口水域不受风浪的影响, 维护港内水域平稳, 形成有掩护的水域。透空式防波堤一般具有经济轻便、施工快捷、拆除方便、透流以及对港口自然状况影响较小等优点。2001年起, 我国政府加大了对渔港建设资金投入力度, 并在全国范围内提出了建设中心渔港的新理念。建设中心渔港很重要的功能定位是要具有生态环境协调功能、活鱼蓄养交易功能以及生态渔业功能。集透流、消浪于一体的透空式防波堤是实现上述诸功能定位的良好工程措施^[1]; 同时, 随着我国海港事

业向深水发展, 一种能适应不同水深、不同波要素的具有良好消浪效果的透空式防波堤可以大大节约工程造价。

Ursell^[2]首先研究并给出无限水深时直立挡板在深水条件下透浪系数的精确解, Wiegel^[3]假设透射波能量等于挡板下的入射波能量, 用微幅波理论推导出有限水深情况下波浪透射率的近似解。80年代后期, 长江口南支河段北岸崇明岛新河镇车客渡码头工程和长江口南支河段南岸宝山附近长江轮船公司炮台湾船舶基地工程^[4-5]设计采用了挡板式轻型防波堤结构, 其中, 前者是在高

收稿日期: 2013-05-14

作者简介: 周效国(1978—), 男, 工学硕士, 讲师, 主要从事港口结构性能方面的研究。

桩码头外侧设置挡浪板作为轻型防波堤,后者是在两侧设置挡浪板。挡浪板消浪系数变化范围为0.08~0.83,变化幅度较大,消浪系数和码头外侧波高大小、波长大小以及涨落潮有关。谢怀东^[6-7]提出并应用于福建省连江县黄歧渔港的多层挡板桩透空式防波堤的消浪效果与挡板透空率、每层挡板的吃水深度(每层的底高程)、挡板间距以及挡板排数等因素有关,张婷婷等^[8]通过规则波作用下高桩梁板式透空防波堤断面波浪模型试验,重点研究影响防波堤透浪系数的主要因素(包括相对水深、相对透空率、入射波高和波周期等)及其规律,唐琰林^[9]、王国玉^[10-11]等进行了双层及多层水平消浪板的透空式防波堤的试验研究,研究显示相对板宽、相对水深、相对板间距及波陡对透射系数和反射系数都有影响,入射波的波陡对模型透射系数的影响要远大于其对反射系数的影响。从改善透空式防波堤的结构形式出发,更多的一系列试验研究,使透空式防波堤的实际工程应用成为可能,越来越多的工程应用实践进一步促进了透空式防波堤的发展。

目前的研究显示,透空式防波堤的透浪系数变化范围较大,对长波的透射率仍然很高,难以在更广范围内推广应用。一种新的想法是,波浪水质点做椭圆形运动,不同波要素下的水质点椭圆形运动轨迹尺度不同,研究设计一种不同开孔率、不同底高程的多层直立挡浪板透空式防波堤,在逐层反射不同水位波浪的同时,利用不同尺度的开孔逐层干扰水质点运动消散波能,使其在一定水深、一定波要素下,具有良好的消浪效果。

1 模型设计与试验

1.1 模型总体设计

本试验研究是基于某港水文资料,并结合江苏省船舶先进设计制造技术中心重点实验室的波浪水槽造波系统实际状况的基础上进行的。该港水文资料如表1所示。

表1 某港水文要素

设计水位/m	水深 h /m	波高 H /m	周期 T /s	波长 L /m
最低20	20	1.5~3	7~11	77~192
最高25	25	1.5~3	7~11	77~192

模型试验水槽长40 m,宽0.8 m,最大水深1 m,水槽一端装有液压式造波机,可产生单向规则波和水流,造波机推板行距 ± 350 mm,频率范围0.2~2.0 Hz,最大波高300 mm。当模型比尺为1:30时适合试验开展。模型总高度为96.7 cm,迎水面长度设计为79 cm,总宽度为60 cm,中间留有49 cm的滑道以供挡浪板II、III、IV滑动调整,下部支承由四对叉桩支承,桩斜度为3:1。挡浪板的底高程在设计高(低)水位以下3倍的设计波高处, I, III块挡浪板底高程为16 m, II, IV块挡浪板底高程为11 m,交错布置。模型如图1和图2所示。



图1 防波堤模型

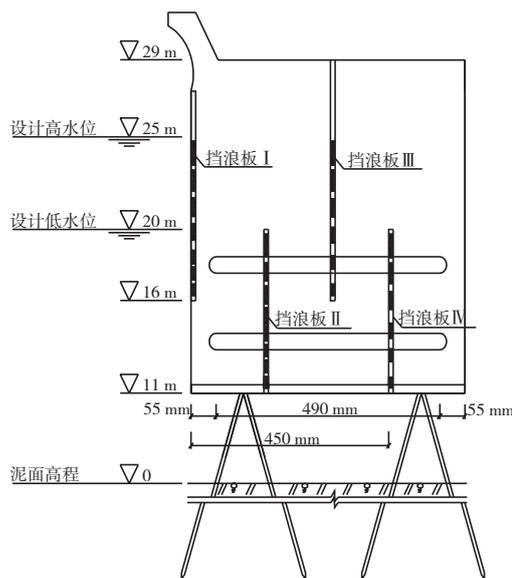


图2 防波堤模型断面

1.2 挡浪板设计

由微幅波理论可知,水质点作椭圆形运动,运动尺度随波高及周期的增大递增,因此挡浪板

的开孔孔径要小于以较小的波高和较小的周期计算得到的水质点运动尺度, 才能更好的破坏水质点的运动而消散波能, 故挡浪板 I, III 的开孔情况是基于设计高水位 25 m、波高 $H=1.5$ m、周期 $T=7$ s 时的波浪水质点运动轨迹, 挡浪板 II, IV 的开孔情况是基于设计低水位 20 m、波高 $H=1.5$ m、周期 $T=7$ s 时的波浪水质点运动轨迹, 椭圆形孔短轴垂向、长轴水平向布置。以第 I 块挡浪板开孔为例, 表 2 给出了挡浪板 I 开孔的主要参数。

表 2 挡浪板 I 开孔参数 (椭圆孔)

开孔位置/m	长半轴 a /m	短半轴 b /m	开孔个数	开孔面积/m ²
24.1	0.713	0.692	8	12.389
22.6	0.628	0.604	10	11.914
21.4	0.568	0.541	11	10.625
20.2	0.514	0.485	10	7.830
19.3	0.478	0.446	11	7.357
18.4	0.444	0.410	14	7.997
17.5	0.413	0.376	15	7.317
16.6	0.385	0.345	13	5.415

计算得第 I 块挡浪板开孔率为 35.57%, 沿波浪传播方向 4 块挡板的开孔率逐渐减小, 4 块挡浪板开孔率从第 I 块至第 IV 块依次为 35.57%, 29.47%, 25.42%, 19.18%。

1.3 试验组次

对应设计水位, 试验水位高、低水位分别为 0.83 m 和 0.67 m, 针对每种水位, 设计了 5 种板距布置方案, 如表 3 所示。

表 3 板距布置方案

板距方案	I, II 块挡板间距 d_1 /cm	II, III 块挡板间距 d_2 /cm	III, IV 块挡板间距 d_3 /cm
1	8	13	24
2	9	14	22
3	10	15	20
4	20	15	10
5	24	13	8

每种板距方案下, 波浪要素为周期 1.2, 1.5, 1.8 s, 波高取 5, 7, 10 cm, 共 9 种组合, 分别进行模型试验, 模型试验布置如图 3 所示。

3 试验结果分析

和研究其他防波堤的消浪效果一样, 透空式

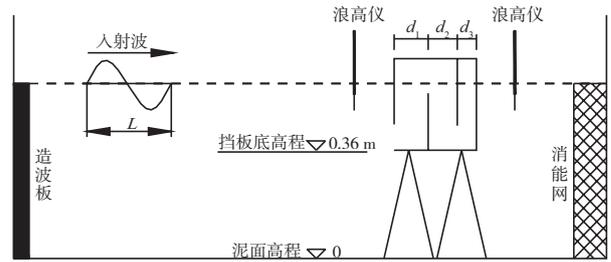


图 3 模型试验布置

防波堤的消浪效果也采用消浪系数 K 来表征, 假设原始入射波高为 H_i , 堤后波高为 H_t , 则 $K=1-H_t/H_i$, 入射波高为 H_i 由液压造波板输入, 堤后波高为 H_t 则由布置在堤后 1 倍波长外的浪高仪测得。

3.1 板距对消波效果的影响

在低水位 0.67 m 时, 研究了 5 种板距方案对消浪性能的影响, 如图 4 所示。从图 4 a) 和 b) 可以看出, 在周期 1.2, 1.5 s 时, 方案 4、方案 5 相较前 3 种方案有更好的消波效果; 从图 4 c) 可以看出, 在周期 1.8 s, 即波长较长时, 5 种方案的消波效果大致相当。

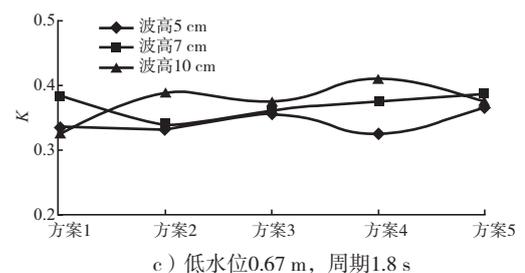
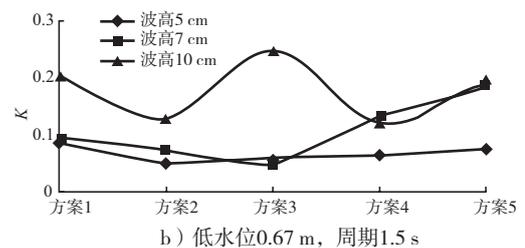
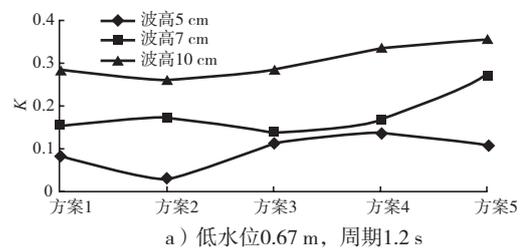


图 4 低水位挡浪板布置方案对消浪效果的影响

在高水位 0.83 m 时, 对方案 4、方案 5 两种方案进行了试验, 试验结果如图 5 所示。综合来看,

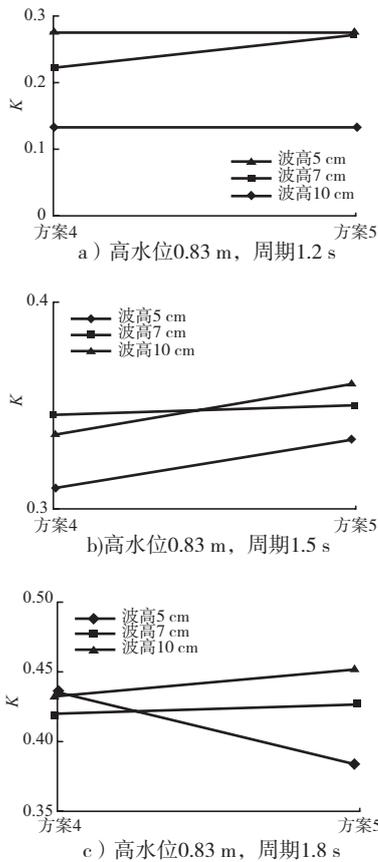


图5 高水位挡浪板布置方案对消浪效果的影响

对3种波周期而言, 方案5消浪效果稍好于方案4, 且随着波高的增大, 消能效果也随之提高。

3.2 波高对消浪效果的影响

在方案4、方案5下, 利用无因次化量消除水位的影响, 研究波高对消浪性能的影响, 试验中采用了5, 7, 10 cm共3种波高, 试验结果如图6所示。从图中可以看出, 消浪系数随着波高的增大而增大, 特别是方案5, 在波高浪大的水域, 更加适用。

3.3 波长对消浪效果的影响

在方案4、方案5两种板距布置方案下, 试验研究了波长对消浪效果的影响, 如图7所示。在低

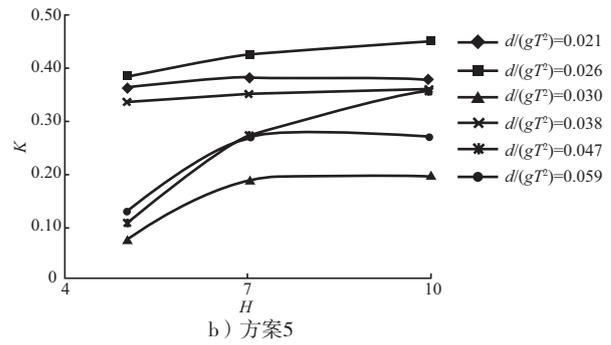
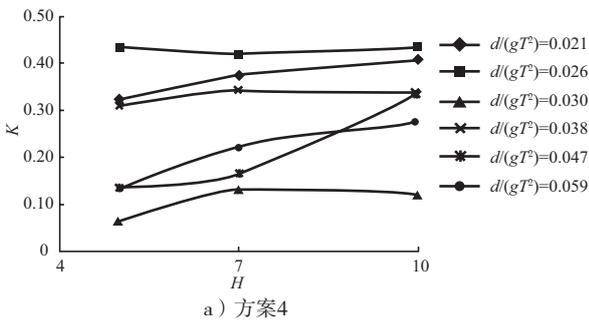
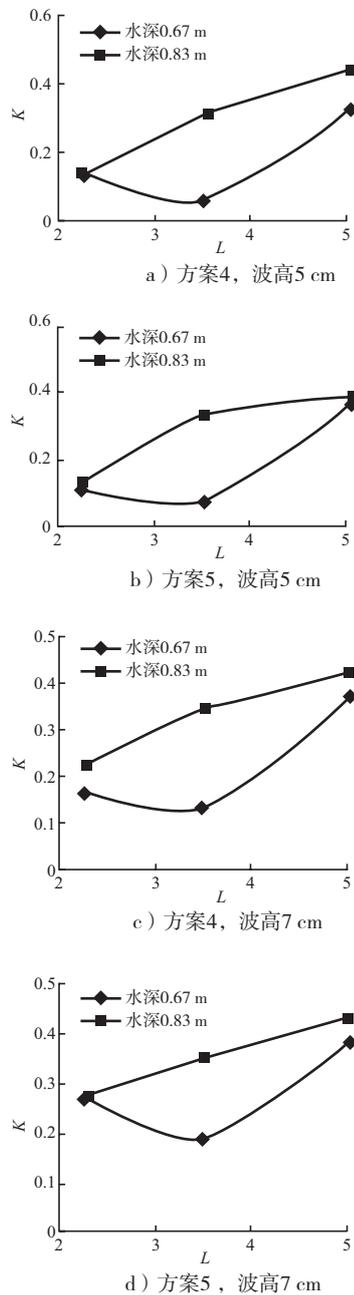


图6 波高对消浪效果的影响

水位0.67 m时, 模型对波浪的吸收反射能力随着波长的增大先减小后增大; 而在高水位时, 波长增



a) 方案4

d) 方案5, 波高7 cm

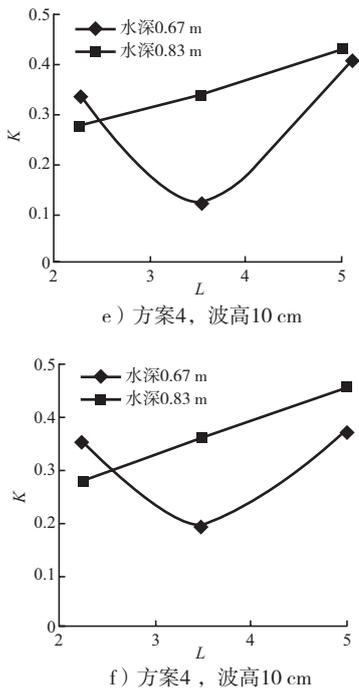


图7 波长对消浪效果的影响

大, 消浪系数也在增大, 未出现先减小后增大的情况。总体而言, 模型对长波表现出较好的消能效果。

3.4 波坦对消波效果的影响

在方案4、方案5下, 研究波坦对消浪效果的影响, 在低水位0.67 m、高水位0.83 m两种水位下的试验结果如图8所示。从图8中可以看出, 消浪系数随着波坦的增大呈先减小后增大的趋势, 在波坦较大时, 消波效果较好, 特别是在高水位时, 消浪效果更好, 说明此种防波堤适用于水深较大海域。

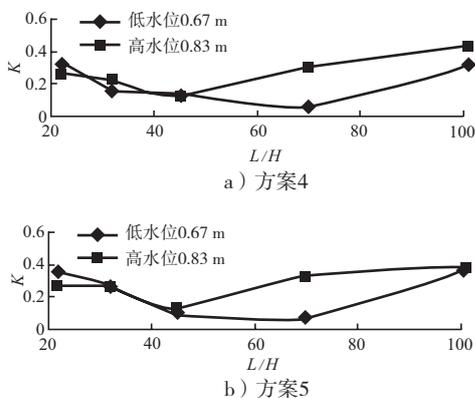


图8 波坦对消浪效果的影响

4 结论与展望

1) 板距布置方式对短周期波的消浪性能有较

大影响, 在防波堤总宽度不变的情况下, 沿着波浪传播方向, 随着板距逐渐减小消浪性能逐渐提高; 对于长周期波, 板距的布置方式对消浪性能的影响不大。

2) 随着波高的增大, 该防波堤的消浪性能逐渐提高, 该结构形式防波堤在波高浪大的水域, 更加适用。

3) 在低水位时, 模型对波浪的吸收反射能力随着波长的增大先减小后增大, 而在高水位时, 波长增大, 消浪系数也在增大, 未出现先减小后增大的情况。总体而言, 模型对长波表现出较好的效能效果。

4) 随着波坦的增大, 消浪性能呈先减小后增大的趋势, 在波坦较大时, 消波效果较好, 特别是在高水位时, 消浪效果更好, 说明该防波堤更适用于水深较大海域。

本试验研究的结果很好地表达了该透空式种防波堤消浪性能的主要影响因子及变化趋势, 但是总体来看, 消浪系数相对较小, 原因有两方面: ①试验模型在沿着防波堤长度方向, 没有加横隔板, 导致在试验过程中, 挡浪板自身产生轻微扰动造浪; ②II, IV这两块挡浪板没有伸至堤顶, 在试验过程中, 有部分波浪越过挡浪板导致堤后波高增大。从改善透空式防波堤的结构形式出发, 在克服以上2个因素的基础上, 同时在挡浪内设置水平消浪板, 有望取得更好的消浪性能, 可进一步进行研究; 同时, 本研究所得出的结论是基于规则波的试验结果, 对于随机波, 波高、波长的变化范围较大, 可能会出现与规则波不同的试验结果, 需进行更多的模型试验。

参考文献:

- [1] 栾曙光, 周效国. 多功能生态环保渔港建设构想[J]. 中国水产, 2004(3): 26-29.
- [2] Ursell F. The effect of a fixed vertical barrier on surface waves in deep water[J]. Proc Cambridge Philo Soc, 1947, 43(3): 374-382.
- [3] Wiegel R L. Transmission of waves past a rigid vertical thin barrier[J]. Journal of the Waterways and Harbors Division, 1960, 86(1): 1-12.