

· 综 合 ·



矩形方箱浮式防波堤消浪性能研究

何超勇^{1,2}, 王登婷³, 冯卫兵²

(1. 中国人民解放军92250部队, 浙江舟山 316000; 2. 河海大学, 江苏南京 210098;
3. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210024)

摘要: 通过物理模型试验, 探讨矩形方箱锚链锚泊浮式防波堤在规则波作用时, 透射系数随浮箱宽度、吃水深度、锚链初始张力等因素的变化规律。研究表明: 增大浮箱的宽度和吃水深度, 可以减小透射系数; 增加锚链的初始张力, 可以限制浮箱运动, 减小透射系数。

关键词: 矩形方箱; 浮式防波堤; 消浪特性; 模型试验

中图分类号: TV 139.2*3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)01-0014-05

Experimental study on wave attenuation of rectangular-pontoon floating breakwater

HE Chao-yong^{1,2}, WANG Deng-ting³, FENG Wei-bing²

(1. The Chinese People's Liberation Army Unit 92250, Zhoushan 316000, China;

2. Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: Adopting the method of physical model, this paper studies the laws for the development of wave attenuation of the rectangular-pontoon floating breakwater in different plate widths, underwater penetrations and initial tensions of the chain. The result shows that the increase of the plate width and underwater penetration may reduce the transmission coefficient; While the increase of the initial tension of the chain can confine the motion of rectangular pontoon, and the transmission coefficient decreases.

Key words: rectangular pontoon ; floating breakwater; wave attenuation; model test

随着海洋工程逐步向深水发展, 传统结构形式防波堤的应用受到一定限制, 新型防波堤结构优势逐渐显现。浮式防波堤具有造价低、对地基要求不高、海水交换能力强、损坏易修复等特点。在工程应用中, 浮式防波堤可以为水产养殖设施、人工海水浴场、游艇码头等场所提供有效的掩护。在军事上, 大型浮式结构可以用作临时码头, 方便舰艇停靠。

浮式防波堤的消浪性能一直是工程界关心的课题, 而透射系数的大小决定了消浪性能的好坏。目前与浮箱式结构消浪性能的相关研究成果也较多^[1-3]。胡峭^[4]等对3种浮箱结构形式的防波堤进行了物理模型试验研究。结果显示: 防波堤宽

度是浮箱透射系数的最重要影响因素, 防波堤越宽, 对波浪的阻碍作用越大, 透射系数越小。盛祖荫等^[5]对锚链锚泊的矩形浮箱式浮防波堤进行了物理模型试验研究, 结果表明浮箱式浮防波堤的消浪效果的好坏主要取决于浮箱迎水面的挡水面积, 挡水面积越大, 消浪效果越好。侯勇^[6]认为锚链的刚度及拖地长度对透射系数也会产生影响。

为了了解采用锚链锚泊的矩形方箱浮式防波堤消浪特点, 掌握影响透射系数大小的因素, 本文在不同波浪作用时, 改变浮箱宽度、吃水深度、锚链初始张力等因素, 讨论了透射系数随这些因素的变化规律, 得到的相关结论可为浮箱设计提供参考依据。

收稿日期: 2013-04-20

作者简介: 何超勇(1985—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事波浪与建筑物相互作用研究。

1 物理模型试验

1.1 模型设计及说明

本试验在南京水利科学研究院河港所波浪港池中进行。试验在港池中央用挡板分隔出所需宽度的水槽, 水槽末端设有良好的消波装置, 用来吸收波浪能量以减少波浪反射。模型在水槽中布置及锚链测力计设置见图1和图2。

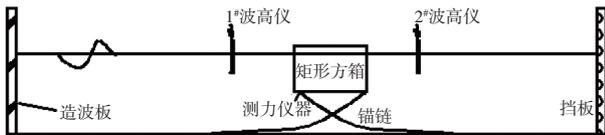


图1 模型布置

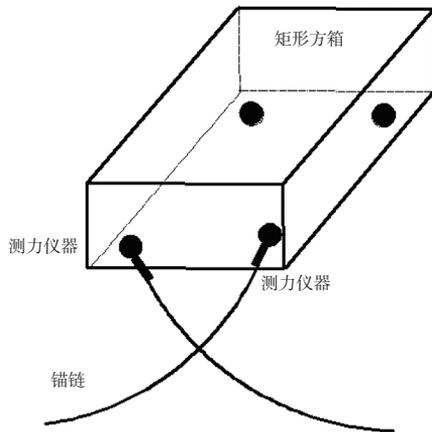


图2 锚链以及测力计设置

试验波高数据的测量采用DJ800型数据监测系统。试验前后对所有量测仪器都进行了标定和校准, 均能达到测试要求, 保证测量数据的准确性和精度。

试验中的浮箱采用重力相似设计模型, 试验遵照《波浪模型试验规程》相关规定, 采用正态模型, 按照Froude数相似律设计。试验中矩形方箱采用有机玻璃制作, 模型制作误差小于1 mm。试验中采用的矩形方箱尺寸参数见表1。

表1 方箱模型尺寸

| 模型 | 宽/m | 长/m | 高/m |
|-----|------|------|------|
| 模型1 | 0.65 | 3.20 | 0.13 |
| 模型2 | 0.78 | 3.20 | 0.13 |
| 模型3 | 0.98 | 3.20 | 0.13 |
| 模型4 | 1.18 | 3.20 | 0.13 |

1.2 试验波浪要素

1) 考虑浮箱宽度变化时试验波要素见表2。

表2 试验波浪要素

| 模型尺寸/m | 水深/m | 波高/cm | 周期/s |
|---------------------|------|-------------|-------------------------|
| 模型1 (0.65×3.2×0.13) | 0.5 | 4, 6, 8, 10 | 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.0 |
| 模型2 (0.78×3.2×0.13) | 0.5 | 4, 6, 8, 10 | 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.0 |
| 模型3 (0.98×3.2×0.13) | 0.5 | 4, 6, 8, 10 | 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.0 |
| 模型4 (1.18×3.2×0.13) | 0.5 | 4, 6, 8, 10 | 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.0 |

2) 考虑吃水深度影响时波要素见表3。

表3 吃水深度影响试验波浪要素

| 模型尺寸/m | 试验水深/m | 波高/cm | 周期/s | 吃水/m |
|------------------------|--------|-------------|-------------------------|-------|
| 模型1 (0.65×3.2×0.13) | 0.5 | 4, 6, 8, 10 | 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.0 | 0.119 |
| | | | | 0.103 |
| | | | | 0.083 |
| | | | | 0.065 |

3) 考虑初始张力影响时的波浪要素见表4。

表4 张力影响试验波浪要素

| 模型尺寸/m | 试验水深/m | 波高/cm | 吃水/m | 周期/s | 初始张力/N |
|------------------------|--------|-------------|-------|-------------------------|--------|
| 模型1 (0.65×3.2×0.13) | 0.5 | 4, 6, 8, 10 | 0.065 | 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.0 | 10 |
| | | | | | 20 |
| | | | | | 30 |
| | | | | | 40 |

1.3 试验数据处理

透射系数用 K_t 表示, 其构成由透射波高比入射波高即:

$$K_t = \frac{H_2}{H_1} \quad (1)$$

式中: H_1 为入射波高, 未放置模型前由造波机生成并在堤前测量; H_2 为经由防波堤作用后的波高。根据保存文件驱动造波机产生所需要的波浪要素, 待波浪稳定后开始采集数据, 每次试验之前等水面平静后再继续造波, 以消除波浪的多次反射。每一组次试验重复进行3次, 再取其平均值作为最终结果以消除误差。数据的采样间隔均取0.02, 采样时间为100 s。试验过程中, 实测波高、周期和目标波高、周期的偏差控制在±5%以内。试验中每个波浪要素作用时采集3次, 取3次波高的平均值作为透射波高值。

试验中使用的参数和相关符号见表5。

表5 试验相关符号

| 主要参数 | 表示符号 | 主要参数 | 表示符号 |
|------|-------|-------|-------|
| 试验水深 | d | 相对宽度 | B/L |
| 波高 | H | 相对吃水 | q/d |
| 周期 | T | 透射系数 | K_t |
| 波长 | L | 初始张力 | F_0 |
| 浮箱宽度 | B | 模型吃水 | q |
| 波陡 | H/L | 吃水波高比 | q/H |

2 消浪性能影响因素分析

2.1 相对浮箱宽度变化对透射系数影响

图3是吃水分别为0.119, 0.103, 0.083, 0.065 m

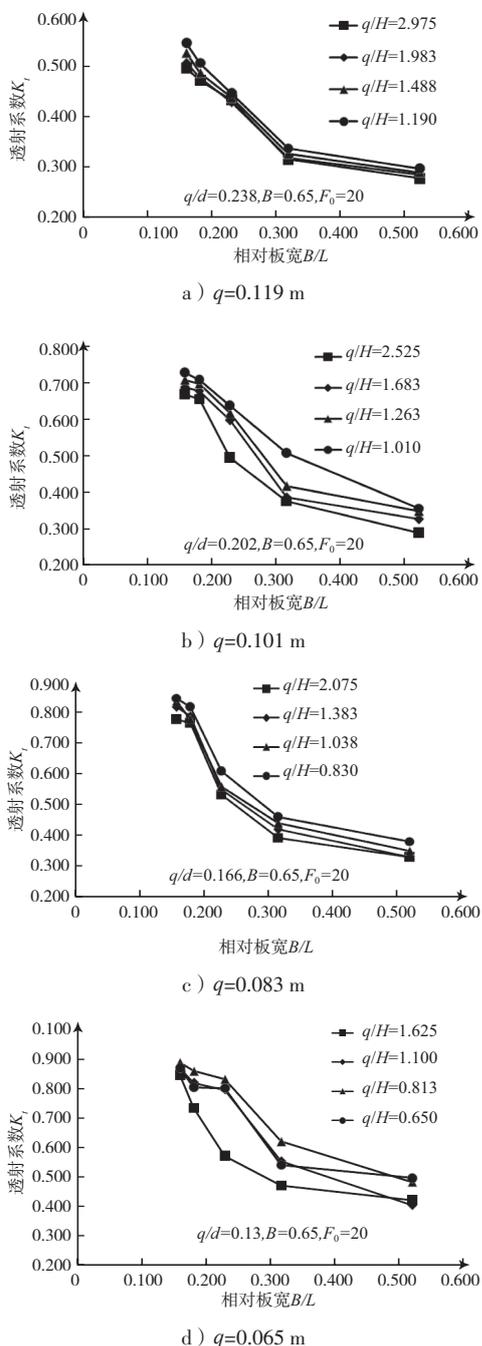


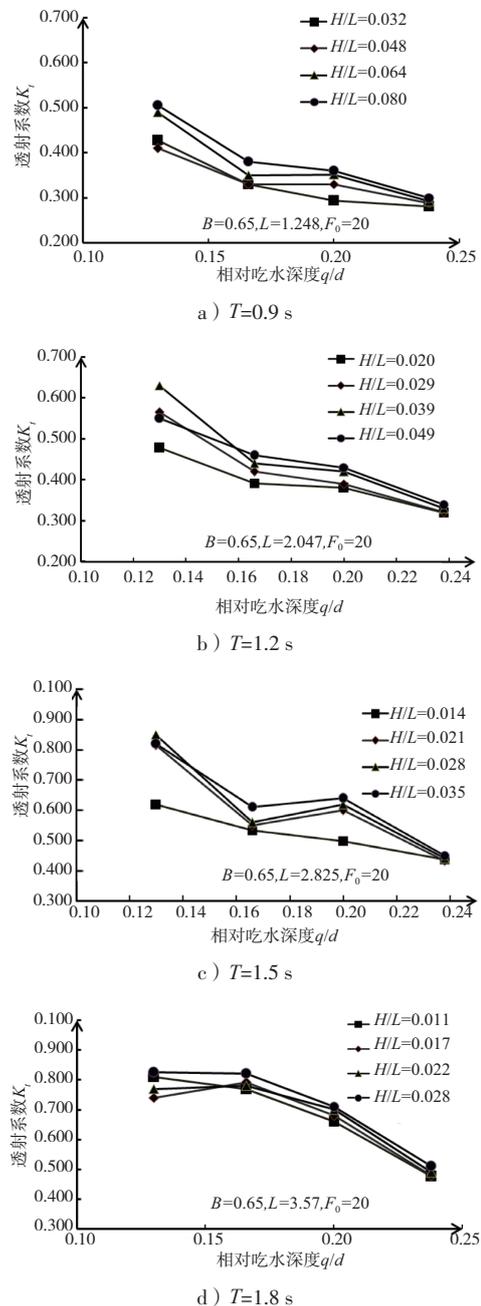
图3 透射系数随相对宽度变化

时, 不同吃水波高比系列时透射系数随相对浮箱宽度的变化关系。

从图3中可以看出: 不同吃水波高比系列时, 随着相对宽度 B/L 的增大, 透射系数逐渐减小; 在相对板宽 B/L 由0.2增大到0.3的过程中, 透射系数减小幅度较大, 可达到初始数值的50%, 说明在一定波浪要素作用时, 通过增加相对板宽 B/L 的数值, 可以迅速减小透射系数, 增大浮堤的消浪能力。

2.2 相对吃水深度对透射系数影响分析

图4是不同波浪作用时, 不同波陡系列的透射系数随相对吃水深度的变化情况。



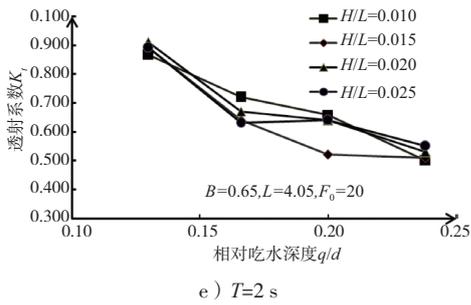
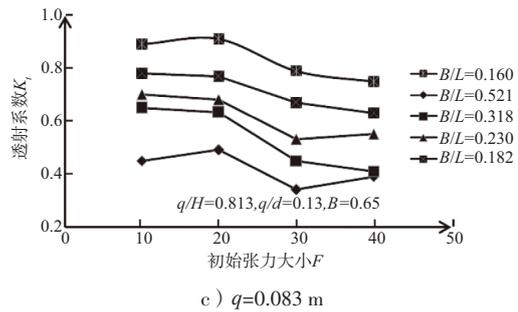


图4 透射系数随相对吃水变化

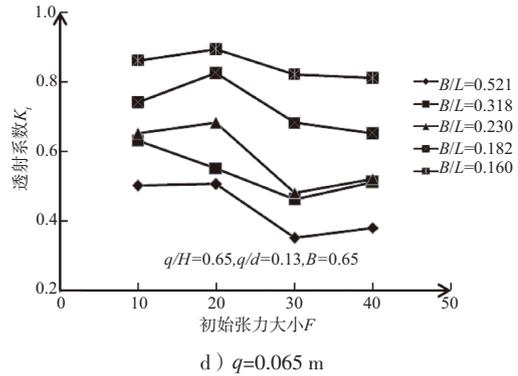
由图4可以看出: 随着相对吃水深度的增加, 透射系数呈逐渐减小的趋势, 相对吃水越大, 浮箱迎浪面的挡水面积越大, 对波浪的阻碍作用增强, 消浪效果越好, 透射系数越小。各图中可以看出, 在相对吃水相同时, 波高越大透射系数是增大的, 可见入射波高也影响防波堤透射系数大小。同时, 随着波长的增长, 透射系数的最大值也在增长, 图4a), b)中最大值在0.5和0.6左右, 图4d), e)透射系数最大值都接近0.9, 可见波浪本身的特性也影响着浮堤的透射系数大小。

2.3 初始张力变化对透射系数影响分析

本实验中对方案1 (0.65 m × 3.2 m × 0.13 m) 在初始张力分别为10, 20, 30, 40 N的情况进行了试验, 根据试验结果绘制的透射系数随初始张力变化见图5。



c) $q=0.083$ m



d) $q=0.065$ m

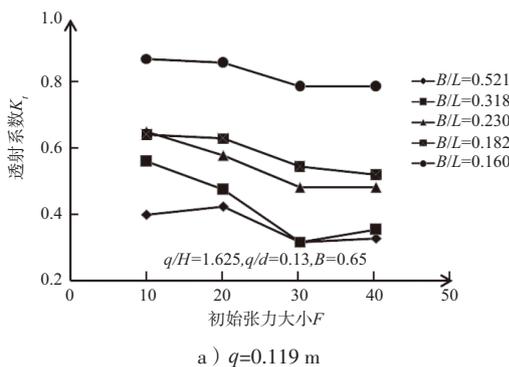
图5 透射系数随初始张力变化

从图中可以看出, 随着初始张力从10 N增加到40 N的过程中, 透射系数是逐渐减小的, 说明增加初始张力可以使浮箱更稳固, 加强了对波浪的反射作用, 一定程度上减小了透射波浪, 达到了消能的目的; 在初始张力由20 N增大到30 N的过程中, 透射系数减小显著, 说明在此区间内有一个较好的初始张力值, 能过是浮箱达到消浪与反射的平衡, 使透射波的能量较小; 在初始张力由30 N增大到40 N的过程中, 透射系数减小不明显, 甚至有增加的趋势, 说明锚链初始张力不是越大越好, 而是应该处于一个适当的范围内。

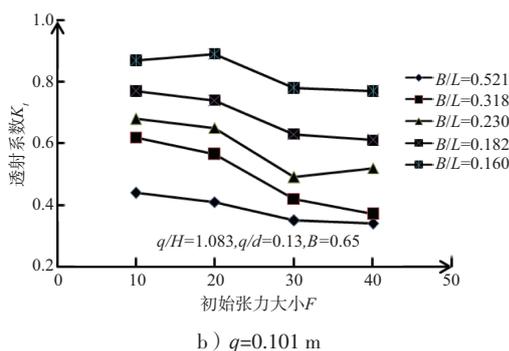
2.4 透射系数公式拟合

前面分别讨论了浮箱的相对宽度、相对吃水深度、锚链初始张力等因素影响下透射系数的变化情况, 本节将对这几个因素做量纲分析, 根据本试验数据进行多元线性回归, 得到一个关于透射系数的参考公式。蒋昌波等^[7]提出浮箱的透射系数与浮箱高度与水深的比值、吃水波高比、相对水深、浮箱相对宽度有关, 侯勇^[8]在文中定义了一个用于无因次的锚链力 $\frac{F_0}{F}$, 其中 F_0 为锚链的初始张力。

$$\bar{F} = \rho g S A \quad (2)$$



a) $q=0.119$ m



b) $q=0.101$ m

式中： ρ 为水的密度，取 $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ； g 为重力加速度，取 9.81 m/s^2 ； S 为模型迎浪面积（ m^2 ）； A 为入射波波幅（ m ）。

选取的几个无量纲量分别为：

$$\pi_1 = \frac{q}{d}, \pi_2 = \frac{B}{L}, \pi_3 = \frac{F_0}{F} \quad (3)$$

考虑到透射系数与上述因素相关，即：

$$K_t = f\left(\frac{q}{d}, \frac{B}{L}, \frac{F_0}{F}\right) \quad (4)$$

通过前文的分析，假定透射系数与各因素之间成幂函数变化关系，建立透射系数与各无量纲之间函数关系的非线性的乘法模型，即：

$$K_t = \beta \left(\frac{q}{d}\right)^{x_1} \left(\frac{B}{L}\right)^{x_2} \left(\frac{F_0}{F}\right)^{x_3} \quad (5)$$

取自然对数后，可以得到：

$$\ln K_t = \ln \beta + x_1 \ln\left(\frac{q}{d}\right) + x_2 \ln\left(\frac{B}{L}\right) + x_3 \ln\left(\frac{F_0}{F}\right) \quad (6)$$

利用excel中的LINEST函数对本试验中得到的数据进行多元线性回归计算，可以得到： $\beta=0.336$ ， $x_1=-0.913$ ， $x_2=-0.523$ ， $x_3=-0.208$ 。

则透射系数与各因素之间可得到如下关系：

$$K_t = 0.0336 \left(\frac{q}{d}\right)^{-0.913} \left(\frac{B}{L}\right)^{-0.523} \left(\frac{F_0}{F}\right)^{-0.208} \quad (7)$$

本公式适用的范围：

$$0.13 \leq \frac{q}{d} \leq 0.238, 0.16 \leq \frac{B}{L} \leq 0.942, 0.049 \leq \frac{F_0}{F} \leq 0.49 \quad (8)$$

图6是透射系数随相对宽度变化规律，图中趋势线是公式拟合线，可见拟合曲线和试验点相关关系良好，拟合公式能够反应出实际试验中透射系数随相对宽度的变化关系。透射系数随相对吃水深度和锚链初始张力的拟合公式和实际值的进行比较，一致性较好。

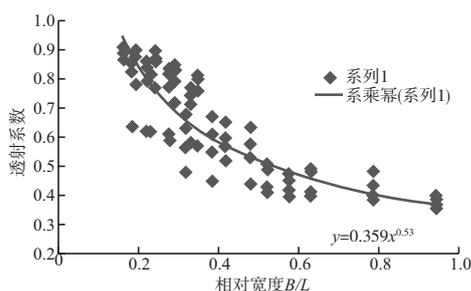


图6 公式拟合与实际数值的比较

3 结论

1) 相对浮箱宽度 B/L 是浮箱透射系数最重要的影响因素，当板宽 B/L 在0.2~0.3变化时，透射系数可减小50%，在一定范围内增大浮箱宽度，可较大幅度减小浮箱的透射系数，提高消浪效果。

2) 相对吃水深度 q/d 是影响浮堤消浪能力的主要因素，随着 q/d 的增加，透射系数减小明显。入水深度的增加，可以增大浮箱的挡水面积，从而消耗掉更多的能量，因此通过增加浮箱的吃水可以有效提高其消浪性能，减小透射系数。

3) 随着锚链初始张力的增加，透射系数是逐渐减小的，但是初始张力达到一定范围后，透射系数减小不明显，甚至有增加的现象。说明一定范围内，增大锚链的初始张力，可以减小浮箱的自由运动，增大波浪反射，提高消浪能力。但锚链初始张力不是越大越好，对于一定的波浪要素，应通过实验研究得到一个合理的初始张力，使波浪反射消能和浮箱运动消能效果达到最大，使透射系数最小。

4) 通过公式的拟合分析，得到透射系数随相对吃水深度、相对浮箱宽度、锚链张力比值的关系式，能够反应出本实验条件下透射系数随各因素的变化情况。

参考文献：

- [1] 吴静萍, 王仁康, 郑晓伟, 等. 漂浮式防波堤的试验研究[J]. 武汉理工大学: 交通科学与工程版, 2001, 25(1): 91-93.
- [2] 董国海, 郑艳娜, 李玉成, 等. 板-网结构浮式防波堤消浪性能的试验研究[J]. 工程力学, 2006(7): 142-146.
- [3] 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, 10(43): 314-321.
- [4] 胡喟, 李大鸣. 浅水区域浮箱式防波堤结构形式的试验研究[J]. 中国港湾建设, 2007(5): 41-44.
- [5] 盛祖荫, 孙龙. 掩护海域海水养殖网箱的浮式防波堤的消浪特性[J]. 中国水产科学, 2001, 8(4): 70-72.
- [6] 侯勇. 单方箱-锚链式浮防波堤水动力特性试验研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
- [7] 蒋昌波. 透空箱体浮式防波堤消浪特性试验研究[J]. 交通科学与工程, 2012(3): 56-59.
- [8] 侯勇, 王永学. 矩形浮式防波堤运动特性和锚链力试验研究[J]. 中国海洋平台, 2009(12): 1-5.

(本文编辑 郭雪珍)