

· 综合 ·



# 斜坡式防波堤堤后波高试验研究<sup>\*</sup>

朱云峰<sup>1,2</sup>, 张万威<sup>1,2,3</sup>, 陈国平<sup>1,2</sup>, 严士常<sup>1,2</sup>, 赵祥运<sup>1,2</sup>, 张旭<sup>1,2</sup>

(1. 海岸灾害及防护教育部重点实验室(河海大学), 江苏南京 210098;  
2. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏南京 210098;  
3. 河海大学 水科学研究院, 江苏南京 210098)

**摘要:** 通过斜坡式防波堤物理模型试验, 研究堤后次生波波浪透射系数的变化规律, 建立了堤顶相对出水高度  $H_e/H_s$  和相对堤顶宽度  $B/H_s$  与波高透射系数的关系并拟合非线性回归公式。同时采用本文拟合公式和经验公式对不同工况下的堤后次生波波高进行计算, 并与试验结果对比。结果表明, 本文拟合公式与试验结果最为吻合, 具有良好的适用性, 然后分析了其他经验公式计算结果的差异性。该成果可为工程实际以及由斜坡式防波堤堤顶允许越浪生成的堤后次生波计算提供参考依据。

**关键词:** 斜坡式防波堤; 断面模型; 堤后波高; 扭王字块

**中图分类号:** U 656.2+1; TV 139.2+6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2023)06-0019-07

## Experimental study on wave height behind sloping breakwater

ZHU Yunfeng<sup>1,2</sup>, ZHANG Wanwei<sup>1,2,3</sup>, CHEN Guoping<sup>1,2</sup>, YAN Shichang<sup>1,2</sup>, ZHAO Xiangyun<sup>1,2</sup>, ZHANG Xu<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Coastal Disaster and Protection of Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;  
2. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;  
3. Institute of Water Science and Technology, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** After studying the variation law of the secondary wave transmission coefficient behind the breakwater by the physical model test of the sloping breakwater, this study establishes the relationships of the relative outlet height  $H_e/H_s$  and the relative levee top width  $B/H_s$  with the wave height transmission coefficient, and fit the nonlinear regression formula. At the same time, the fitting formula in this paper and the empirical formula are applied to calculate the height of the secondary wave behind the breakwater under different working conditions, and the results are compared with the test results. The results show that the proposed fitting formula is the most consistent with the experimental results and has good applicability. Then, the differences in the calculation results of other empirical formulas are analyzed. The results can provide a reference for engineering practice and the calculation of the post-dike secondary wave generated by the allowable surge at the top of the sloping breakwater.

**Keywords:** sloping breakwater; section model; wave height behind the breakwater; accropode

防波堤是修建在沿海地区用来防御波浪、潮流入侵, 为海岸、港口形成掩蔽水域的防护工程建筑物, 斜坡式防波堤是防波堤类型中比较通用

的一种, 具有消浪性能好、施工方便的特点。当设计的斜坡式防波堤堤顶高程较小或者港外波浪较大时, 波浪就会越过防波堤堤顶形成越浪, 然

收稿日期: 2022-08-16

\*基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (51579091)

作者简介: 朱云峰 (1999—), 男, 硕士研究生, 从事波浪与建筑物相互作用研究。

通讯作者: 严士常 (1980—), 男, 副教授, 从事波浪与建筑物相互作用研究。E-mail: 121023382@qq.com

后在港内、堤后的掩蔽水域内生成新的波浪继续传递, 该堤后次生波会影响港内水域的波浪状况, 进而影响停靠在水域内船舶的稳定以及码头、人员设备的安全, 对码头、海岸的影响不可忽视。

目前国内对堤后波高的规范仅针对潜堤结构形式, 《海港工程设计手册》<sup>[1]</sup>对斜坡式潜堤、立壁和矩形潜堤、半圆形潜堤的透射系数给出计算公式; 《防波堤与护岸设计规范》<sup>[2]</sup>给出抛石潜堤透射系数的经验公式, 用以计算堤后传递波高; 王博文等<sup>[3]</sup>针对不规则波作用下的双潜堤分析了影响透射系数的有关因素, 验证潜堤的透射系数与相对淹没深度和波陡有关, 并发现杨正己经验公式<sup>[4]</sup>对于计算双潜堤的堤后波高具有良好的适用性。康万军<sup>[5]</sup>以斜坡式潜堤为研究对象, 针对堤顶水深、堤前水深、波高和波长等主要影响因素, 分析了潜堤堤后次生波的变化规律。邹红霞<sup>[6]</sup>通过物理模型试验的方法, 利用一系列不规则波透过不同潜堤的试验, 得出不规则波作用下斜坡式潜堤透射系数的变化规律。

国外对防波堤堤后次生波研究较少, 国内部分学者对其展开了研究。邹春蕾<sup>[7]</sup>采用正态物理模型模拟了各种潮位、不规则波条件下重力式沉箱防波堤与波浪的相互作用, 探讨分析了防浪墙形式对堤顶越浪量和堤后次生波高的影响。常江等<sup>[8]</sup>针对顶部高程较低且光滑不透水的景观斜坡堤和护岸, 研究了不规则波作用下堤后次生波波高系数与堤后平均越浪量的关系, 并利用频谱分析研究堤后次生波的特性。谭忠华等<sup>[9]</sup>基于波浪泥沙物理模型展开研究, 结果表明, 外海波高越大, 堤后次生波高越大; 水位越高, 堤后次生波越大; 外海波浪周期越长, 堤后次生波波高相对越大。黄河等<sup>[10]</sup>针对中长周期波对斜坡式防波堤稳定性的影响, 通过波浪物理模型试验得出次生波波高沿程变化呈现逐步递减的趋势, 波周期变小, 堤顶越浪量减少, 堤后次生波随之减少。Liu 等<sup>[11]</sup>通过物理模型试验, 研究了越过斜坡式防波堤的波峰溢流厚度以及堤后次生波, 提出相对溢流厚度、堤后波高透射系数、相对波峰高度

的关系。戈龙仔等<sup>[12]</sup>研究了防波堤堤后次生波的有效波高、周期、波谱随相对堤顶水深的变化规律, 给出波高透射系数的经验公式, 但没有考虑波浪爬坡的消减作用。代英男等<sup>[13]</sup>给出堤后次生波波浪透射系数与无因次平均越浪量和相对堤顶高程之间的变化关系, 同样忽略了爬坡的消减作用。郑辉等<sup>[14]</sup>进一步根据斜坡堤模型试验结果, 给出了扭王字块护面斜坡堤堤后次生波高计算的经验公式。本文通过斜坡式防波堤物理模型试验给出非线性回归经验公式, 成果可为工程实际以及由斜坡式防波堤堤顶允许越浪生成的堤后次生波计算提供参考依据。

## 1 物理模型试验

### 1.1 试验设备及研究方法

试验针对斜坡式防波堤, 在河海大学国家重点实验室航道实验大厅风浪流水槽中进行, 水槽长 80.0 m、宽 1.0 m、高 1.5 m。水槽一端安装有能够二次反射吸收装置的推板造波机用来模拟设计波浪要素, 另一端设置消波缓坡。为了减少波浪二次反射, 将试验水槽沿纵向分成 0.5 m 宽的 2 部分, 一部分用来放置试验断面, 另一部分用来减少波浪二次反射产生的影响。

试验按照《防波堤与护岸施工规范》<sup>[15]</sup>及《水运工程模拟试验技术规范》<sup>[16]</sup>进行, 采用不规则波作为入射波, 波谱采用 JONSWAP 谱, 谱峰升高因子  $\gamma=3.3$ , 采用电容式波高仪和 DS30 64 通道多功能浪高仪系统记录斜坡式防波堤物理模型堤后水面的波动情况, 经过处理得到波高统计特征值。按正态重力相似准则设计模型, 结合试验断面及设备性能等因素确定模型长度比尺  $\lambda=32$ 。

在防波堤模型后方布置 5 个浪高仪测点(1#~5#)用以量测堤后波高的沿程分布。各测点距离斜坡堤轴线分别为 30、45、90、135、180 m。将特征波要素输入计算机, 产生造波讯号, 控制造波机产生相应的不规则波序列, 不规则波数在 120~180。每组试验重复 3 次, 取均值作为试验值。对结构进行稳定试验时, 波浪连续作用相当于原体

3 h 的风暴潮过程。

## 1.2 斜坡式防波堤断面结构

试验断面 1 迎浪面泥面高程为  $-10.07\text{ m}$ ，设置  $1:1.5$  斜坡，其上采用  $12\text{ t}$  扭王护面，坡脚  $-8.7\text{ m}$  高程处平铺 2 排扭王字块体，平铺块体顶高程  $-6.4\text{ m}$ ， $5.7\text{ m}$  高程处设置肩台，其上采用  $12\text{ t}$  扭王字块体护面，块体顶面高程为  $8.0\text{ m}$ ；背浪面设置  $1:1.5$  斜坡，斜坡上采用  $12\text{ t}$  扭王字块体护面，其下设置厚度为  $1.5\text{ m}$  垫层块石，见图 1a)。断面 2 泥面高程为  $-5.17\text{ m}$ ，在坡脚  $-3.7\text{ m}$  处平铺扭王字块，块体顶高程  $-1.4\text{ m}$ ，其余结构同断面 1。

试验断面3泥面高程为-5.40 m, 护底斜坡坡度为1:2; 护面坡脚、坡面和肩台采用10 t扭王块体, 坡面坡度为1:1.5, 坡脚和肩台均平铺2排扭王块体, 肩台顶高程为6.50 m(与挡浪胸墙墙顶齐平)。港池侧护底坡度为1:2; 护脚顶宽2.00 m, 坡度为1:2; 后坡护面采用10 t扭王块体, 坡面坡度为1:1.5, 坡脚和肩台均平铺2排扭王块体, 挡浪胸墙墙顶与平台高程分别为6.50、5.50 m, 见图1b)。断面4护底高程为-5.50 m, 堤顶宽度缩窄, 外海侧护脚、护坡均采用四脚空心方块, 其余结构同断面3。

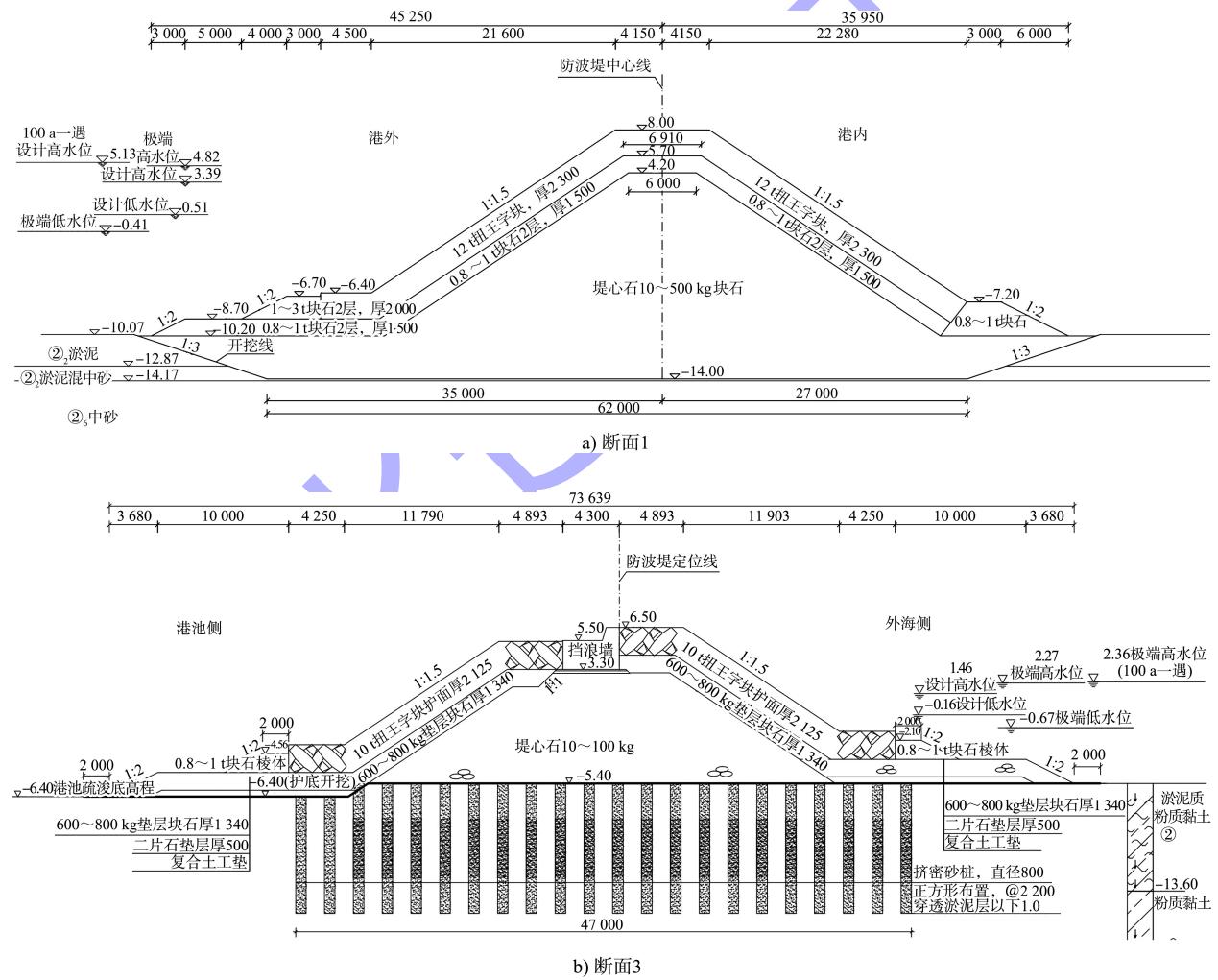


图 1 斜坡式防波堤断面 (高程: m; 尺寸: mm)

### 1.3 设计水位

断面1、2设计水位相同, 100 a一遇高水位为5.13 m, 极端高水位为4.82 m, 设计高水位为3.39 m。

断面3、4设计水位相同, 100 a一遇高水位为2.36 m, 极端高水位为2.27 m, 设计高水位为1.46 m。

## 1.4 试验组合

断面模型试验波浪要素见表 1。

表 1 模型试验波浪要素

断面	水位/m	重现期/a		周期 $T_s$ /s	波长 $L$ /m
		100	50		
1	100 a—遇高水位 5.13	100	4.65	8.0	76.4
	极端高水位 4.82	100	5.56	8.6	61.3
	极端高水位 4.82	50	4.09	8.5	61.3
	设计高水位 3.39	100	4.09	7.7	58.7
2	设计高水位 3.39	50	3.74	8.4	58.7
	100 a—遇高水位 5.13	100	5.76	8.1	75.4
	极端高水位 4.82	100	5.68	9.7	72.3
	极端高水位 4.82	50	5.53	7.9	72.3
3	设计高水位 3.39	100	4.92	8.0	69.8
	设计高水位 3.39	50	4.95	7.7	66.6
	100 a—遇高水位 2.36	100	4.85	9.7	82.7
	极端高水位 2.27	100	5.82	10.7	77.5
4	极端高水位 2.27	50	4.68	9.2	77.5
	设计高水位 1.46	100	4.32	9.7	58.7
	100 a—遇高水位 2.36	100	4.85	9.7	82.7
	极端高水位 2.27	100	4.68	10.7	77.5
5	极端高水位 2.27	50	4.40	9.7	78.7
	设计高水位 1.46	100	4.32	9.2	74.1

## 2 试验结果及分析

计算透射系数的关键是确定堤后波高, 即分析堤后 5 根浪高仪的波高变化, 进而确定堤后的透射波高。图 2 为不同设计波要素下断面 1~4 斜坡式防波堤堤后有效波高  $H$  沿程的变化情况, 从中可以看出, 前 3 个测点的堤后波高变化较为平缓, 4#、5#测点的波高变化幅度偏大, 可能是由于噪声或者其他外界干扰因素影响, 因此选取变化比较平稳的 1#~3#测点, 将波高仪的有效波高取平均值作为断面 1~4 的堤后波高。

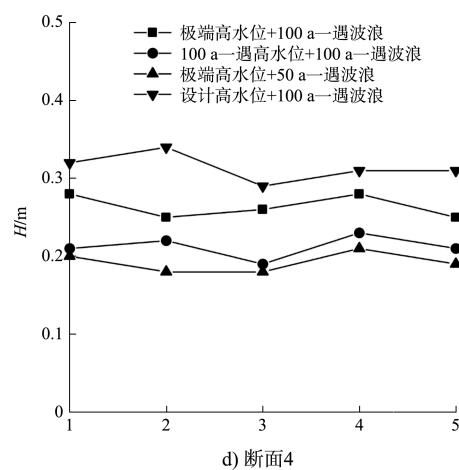
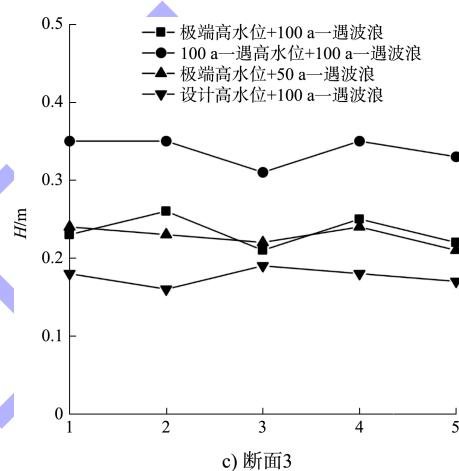
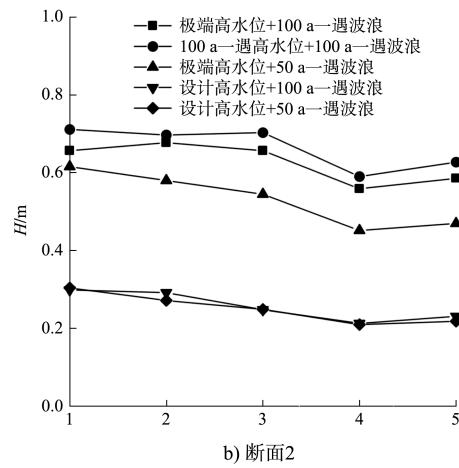
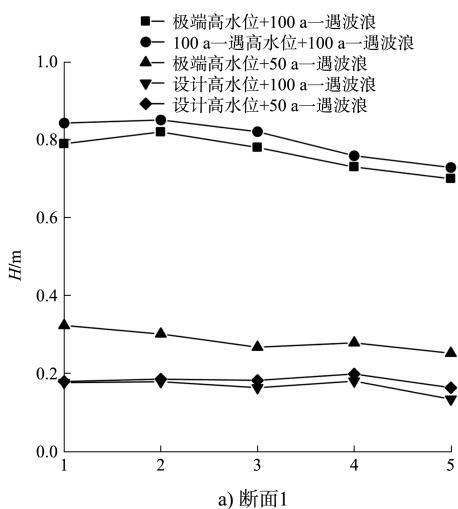


图 2 斜坡式防波堤各断面堤后波高变化

研究堤后次生波大小的一个重要指标是波高透射系数  $K_t$ , 即堤后产生的次生波有效波高  $H_t$  和入射波有效波高  $H_s$  之比,  $K_t = H_t / H_s$ 。考虑到堤顶出水高度  $H_e$  和堤顶宽度  $B$  对堤后波高带来的影响, 引入堤顶相对出水高度  $H_e / H_s$  以及堤顶相对宽度  $B / H_s$  进行分析。各试验方案结果见表 2。

表 2 堤后波高与  $K_t$  试验值

断面	堤前水深/m	有效波高 $H_s$ /m	波高试验结果/m	$H_c/H_s$	$B/H_s$	$K_t$
1	18.13	4.59	0.80	0.63	1.81	0.17
	17.82	5.49	0.81	0.52	1.51	0.15
	17.82	4.07	0.30	0.78	2.04	0.07
	16.39	4.34	0.19	1.06	1.91	0.04
2	16.39	3.90	0.18	1.18	2.13	0.05
	11.63	5.48	0.83	0.52	1.51	0.12
	11.32	5.68	0.73	0.62	1.46	0.12
	11.32	5.45	0.75	0.58	1.52	0.11
3	9.89	4.58	0.32	1.01	1.81	0.06
	9.89	4.62	0.32	1.00	1.80	0.06
	8.86	4.85	0.30	0.85	2.90	0.05
	8.77	5.82	0.50	0.71	2.42	0.06
4	8.77	4.68	0.27	0.90	3.01	0.05
	7.96	4.32	0.19	1.17	3.26	0.04
	8.86	4.59	0.42	0.85	2.16	0.05
	8.77	5.49	0.39	0.71	1.81	0.06
	8.77	4.07	0.27	0.90	2.44	0.05
	7.96	4.34	0.26	1.17	2.29	0.04

从表 3 可以看出,  $K_t$  随  $H_c/H_s$  和  $B/H_s$  增大而减小。以  $H_c/H_s$ 、 $B/H_s$  作为  $K_t$  的主要相关因子, 利用 Matlab 进行非线性回归拟合, 求出本文  $K_t$  经验公式:

$$K_t = 1 - 0.94 \tanh\left(0.68 \frac{B}{H_s}\right) - 2.89 \frac{H_c}{H_s} \cdot \left[1 - 0.99 \tanh\left(1.09 \frac{B}{H_s}\right)\right] \quad \left(\frac{H_c}{H_s} > 0\right) \quad (1)$$

### 3 堤后次生波计算方法

#### 3.1 郑辉法

郑辉通过斜坡堤断面物理模型试验, 在不同堤顶高程条件下, 拟合了  $H_c/H_s$  和  $K_t$  的经验公式:

$$K_t = -0.197 \frac{H_c}{H_s} + 0.35 \quad \left(0.3 < \frac{H_c}{H_s} < 1.5\right) \quad (2)$$

#### 3.2 邹红霞法

邹红霞通过大量的试验数据, 利用 Matlab 进行非线性回归, 建立了潜堤透射系数的方程式, 并给出出水堤  $K_t$  的计算公式:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{t1} = 1 - 0.79 \left[ 1 + \tanh\left(0.61 \frac{H_c}{H_s}\right) \right] \tanh\left(0.41 \frac{B}{H_s}\right) \\ \quad \left( \frac{H_c}{H_s} \leq 0 \right) \\ K_{t2} = (K_{t1})_{\frac{H_c}{H_s}=0} - 1.25 \frac{H_c}{H_s} \left[ 1 - 0.93 \tanh\left(0.44 \frac{B}{H_s}\right) \right] \\ \quad \left( \frac{H_c}{H_s} > 0 \right) \end{array} \right. \quad (3)$$

### 3.3 规范法

《防波堤与护岸设计规范》给出了抛石潜堤的传递波高  $H_t$  计算公式:

$$H_t = K_t H_s \quad (4)$$

$K_t$  取值见表 3。

表 3 潜堤透射系数  $K_t$  取值

$H_c/H_s$	$K_t$
$-2.00 \sim <-1.13$	0.80
$-1.13 \sim <1.20$	$0.46 \sim 0.30 H_c/H_s$
$1.20 \sim <2.00$	0.10

注:  $H_c$  为堤顶在计算水位以上的高度, 潜堤时  $H_c$  为负值。

### 4 计算公式结果对比

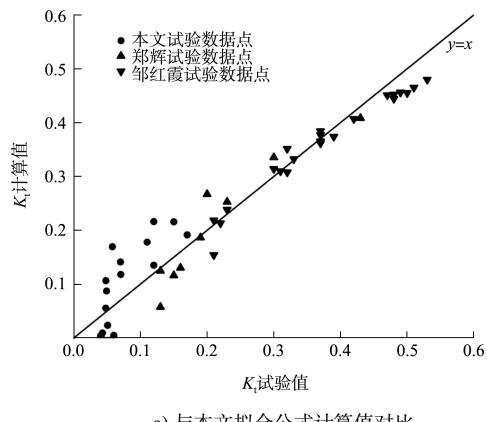
通过模型试验测得的断面 1~4 的  $H_t$  结果与各公式计算结果对比见表 4, 不同方法  $K_t$  试验值与各公式计算值对比见图 3。

表 4 试验结果与各公式计算结果对比

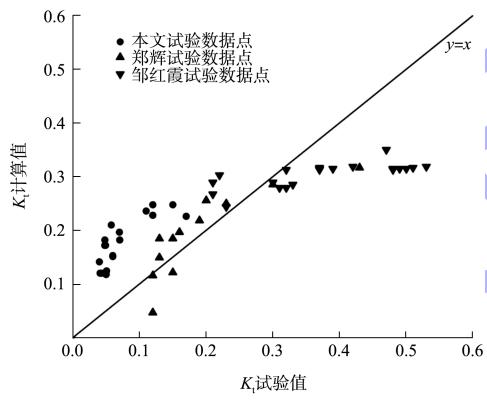
断面	堤前水深/m	$H_s$ /m	$H_t$ 计算结果/m			$H_t$ 模型试验结果/m	
			拟合公式	郑辉法	规范法		
1	18.13	4.59	0.56	0.80	1.24	0.91	0.80
	17.82	5.49	0.83	0.81	1.67	1.46	0.81
1	17.82	4.07	0.39	0.30	0.92	0.54	0.30
	16.39	4.34	0.29	0.19	0.62	0.02	0.19
	16.39	3.90	0.23	0.18	0.41	-0.09	0.18
2	11.63	5.48	0.83	0.66	1.67	1.46	0.66
	11.32	5.68	0.73	0.70	1.56	1.19	0.70
2	11.32	5.45	0.75	0.58	1.56	1.26	0.58
	9.89	4.58	0.32	0.28	0.72	0.08	0.28
	9.89	4.62	0.32	0.27	0.74	0.09	0.27
3	8.86	4.85	0.30	0.23	0.99	0.61	0.23
	8.77	5.82	0.50	0.34	1.44	0.95	0.34
3	8.77	4.68	0.27	0.23	0.88	0.54	0.23
	7.96	4.32	0.19	0.18	0.48	0.28	0.18

续表1

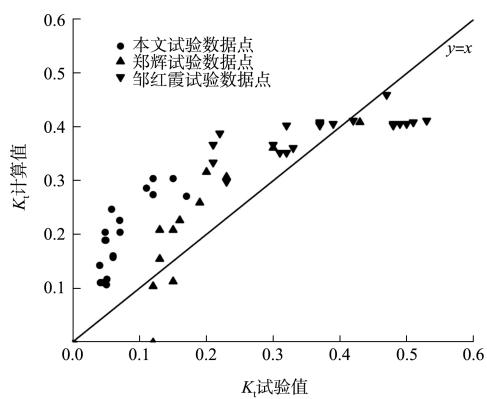
断面	堤前水深/m	堤后水深/m	$H_t$ 计算结果/m			$H_t$ 模型试验结果/m	
			拟合公式	郑辉法	规范法		
4	8.86	4.59	0.42	0.32	0.99	0.50	0.32
	8.77	5.49	0.39	0.26	0.88	0.40	0.26
	8.77	4.07	0.27	0.21	0.51	0.01	0.21
	7.96	4.34	0.26	0.19	0.48	0.00	0.19



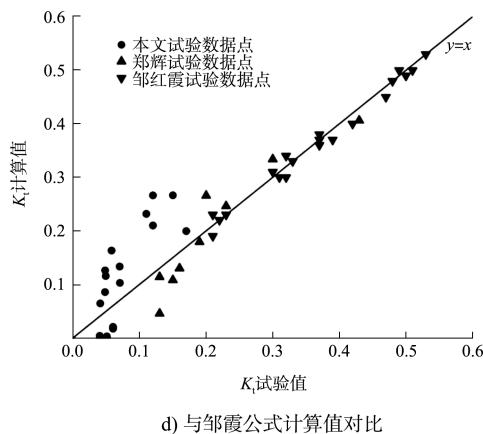
a) 与本文拟合公式计算值对比



b) 与郑辉公式计算值对比



c) 与规范法公式计算值对比

图 3  $K_t$  试验值与各经验公式计算值对比

由表 4 可知, 通过郑辉公式计算得到的堤后次生波波高与本文试验结果具有一定偏差, 同时从图 3b) 可以看出, 各  $K_t$  试验值与郑辉公式计算值吻合度较低, 而郑辉试验条件与本文相似, 分析并对比公式发现, 郑辉公式中缺少了  $B/H_s$  这一重要影响因子, 而堤后波高随  $B/H_s$  的增加呈逐渐减小的趋势, 因此不能忽略。另外, 郑辉公式的应用范围为  $0.3 < H_c/H_s < 1.5$ , 在计算中造成一定的局限性。

规范法计算结果与堤后波高随相对堤顶出水高度的增加而逐渐减小的试验结果相同, 但偏差较大, 从图 3c) 中也可以发现规范法得到的  $K_t$  计算值基本略大于试验值, 因此推测, 计算抛石潜堤堤后波高的规范不太适用于出水斜坡堤。

邹红霞法得到的堤后波高计算值与试验结果较为接近, 分别用本文拟合公式、郑辉公式、规范公式、邹红霞公式与 3 种试验结果进行对比, 从图 3 中可以看出, 3 种  $K_t$  试验值与本文经验公式吻合最好, 与邹红霞公式吻合度也比较高, 因为邹红霞公式同样考虑了  $B/H_s$  这一因子, 在计算斜坡堤堤后波高具有良好的适用性。本文经验公式吻合最好, 拟合精度较高, 适用性较强。

## 5 结论

1) 通过斜坡式防波堤物理模型试验, 选取不同入射波要素, 分析了堤后波高的选取。试验结果表明, 斜坡堤堤后波高受堤顶相对出水高度、相对堤顶宽度的影响, 在计算波高透射系数时需要同时考虑这两个因素。

2) 建立了堤顶相对出水高度与相对堤顶宽度和波高透射系数的关系, 通过 Matlab 拟合非线性回归经验公式, 与前人研究的经验公式进行对比, 通过计算结果分析及对比发现, 经验公式具有一些局限性, 导致其计算结果与试验值之间存在差异。

3) 本文拟合的经验公式既考虑了相对出水高度参数因子, 也包含了相对堤顶宽度参数因子, 得到的波高透射系数计算值与郑辉、邹红霞试验值均较为吻合, 具有良好的可靠性。

4) 本文给出的斜坡式扭王字块护面防波堤堤后波高计算的拟合公式, 可为工程实际以及由斜坡式防波堤堤顶允许越浪生成的堤后次生波计算提供参考。

## 参考文献:

- [1] 顾民权. 海港工程设计手册(中册)[M]. 北京: 人民交通出版社, 1994: 539-541.
- [2] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 防波堤与护岸设计规范: JTS 154—2018[S]. 北京: 人民交通出版社有限公司, 2018.
- [3] 王博文, 应志远, 田秋实, 等. 不规则波作用下双潜堤透射系数的试验研究[J]. 水运工程, 2019(8): 41-46.
- [4] 杨正已, 贺辉华, 潘少华. 波浪作用下抛石堤的稳定性及消浪特性[J]. 水利水运科学研究, 1981(3): 34-45.
- [5] 康万军. 波浪经过斜坡潜堤后的传播变化规律研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2010.
- [6] 邹红霞. 斜坡式潜堤波浪透射特性试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2009.
- [7] 邹春蕾, 孙天霆, 王登婷. 重力式沉箱防浪墙型式对顶部越浪量的影响[J]. 吉林水利, 2020(3): 6-9, 20.
- [8] 常江, 解静, 范东华, 等. 景观斜坡堤和护岸的越浪与爬坡物理模型试验研究[C]//第十八届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集. 舟山: [出版者不详]. 2017: 783-794.
- [9] 谭忠华, 刘海成, 陈汉宝, 等. 人工沙滩在堤后次生波作用下的稳定性试验[J]. 水运工程, 2019(1): 35-41.
- [10] 黄河, 高峰, 江义, 等. 中长周期波作用下斜坡堤稳定性与堤后次生波试验研究[J]. 水道港口, 2021, 42(4): 464-470.
- [11] LIU S X, CHANG J, DAI Y N, et al. Experimental research on overtopping flow thickness and secondary wave conditions over sloping breakwater[C]// International Society of Offshore and Polar Engineers. The proceedings of the Tenth (2012) ISOPE Pacific/Asia offshore mechanics symposium. Vladivostok (RU): ISOPE, 2012: 132-136.
- [12] 戈龙仔, 迟杰, 张慈珩. 防波堤堤后次生波的试验研究[J]. 水道港口, 2010, 31(3): 204-209.
- [13] 代英男, 柳淑学, 常江, 等. 斜坡堤越浪流厚度及堤后次生波的试验研究[J]. 水运工程, 2011(12): 1-5.
- [14] 郑辉, 邓小敏, 程曦. 斜坡堤堤后次生波高试验与计算[J]. 水运工程, 2015(9): 74-78.
- [15] 中交第一航务工程局有限公司, 天津港航工程有限公司. 防波堤与护岸施工规范: JTS 208—2020[S]. 北京: 人民交通出版社有限公司, 2020.
- [16] 交通运输部天津水运工程科学研究所. 水运工程模拟试验技术规范: JTS/T 231—2021[S]. 北京: 人民交通出版社有限公司, 2021. (本文编辑 王传瑜)

## 著作权授权声明

本刊已许可《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述公司著作权使用费, 所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。