



# 桩基透空式防波堤功效评判

刘 韬<sup>1</sup>, 戈国庆<sup>1</sup>, 钟瑚穗<sup>2</sup>

(1. 山东省交通规划设计院, 山东 济南 250031; 2. 河海大学港口、海岸及近海工程学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 在现有桩基透空堤功效评判研究成果的基础上, 结合波浪模型试验和理论计算所得的数据, 对现有计算公式进行分析总结, 归纳出新的计算公式, 在不同波要素、相对入水深度条件下进行验证分析, 得出相关的结论供桩基透空堤结构选型参考。

**关键词:** 桩基透空堤; 模型试验; 相对入水深度; 功效评判

中图分类号: U 656.31

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)02-0024-03

## Judgment on piled permeable breakwater's efficiency

LIU Tao<sup>1</sup>, GE Guo-qing<sup>1</sup>, ZHONG Hu-sui<sup>2</sup>

(1. Shandong Provincial Communications Planning and Design Institute, Jinan 250031 China;

2. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098 China)

**Abstract:** Based on the present study result about piled permeable breakwater's efficiency judgment, and combining with the data from wave model experiment and theory calculation, this paper analyzes the present calculation formula, and sums up a new calculation formula, which is checked out by different wave factors and relative depths in water, and gets the elemental conclusion for the comparison and choice of the piled permeable breakwater structure.

**Key words:** piled permeable breakwater; model experiment; relative depth in water; efficiency judgment

由于特殊的结构形式, 桩基透空堤的功效主要体现在消浪效果上, 由透浪系数量化表示, 现行行业标准《防波堤设计与施工规范》<sup>[1]</sup>给出了桩基透空堤透浪系数的计算公式, 可对消浪效果进行评定。根据文献[2]的研究成果, 在一定波浪水深条件下, 透浪系数和结构受力呈反比, 即结构受力越小, 透浪系数越大。文献[2]也给出了一个综合消浪效果和结构受力评判系数的计算公式, 但这一公式是基于模型试验, 仅在不同的波坦度 $L/H$ 下进行比较, 其他因素引起的变化未展开研究, 存在一定的局限性。本文以此为出发点, 结合目前现有的规范规定、理论计算以及模型试验, 对桩基透空堤的评判系数进行进一步的探讨。

## 1 试验数据

### 1.1 试验波要素

试验的水深及波要素见表1。

表1 桩基透空堤入射波要素

波坦度 $L/H$	水深 $d/m$	周期 $T/s$	平均波高 $H/m$	波长 $L/m$
12	0.45	0.883	0.1	1.2
15	0.45	1.003	0.1	1.5
20	0.45	1.201	0.1	2.0
25	0.45	1.407	0.1	2.5
30	0.45	1.616	0.1	3.0

波浪模型试验在河海大学航道试验室 $80\text{ m} \times 1.3\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 的不规则波浪水槽中进行。量测仪器采用水利部北京水利水电研究院研制的DJ 800型

收稿日期: 2012-06-06

作者简介: 刘韬(1981—), 男, 工程师, 主要从事港口与航道水工建筑设计工作。

多功能监测系统及配套的浪高仪和压力传感器。试验程序严格遵循文献[3]中相关条文执行。

### 1.2 试验模型

试验模型相对入水深度  $t/d$  为 0.6 ( $t$  为桩基透空堤挡板的入水深度,  $d$  为水深), 挡浪面积

430 mm × 485 mm, 宽度  $B$  为 360 mm, 桩基高为 180 mm, 斜度 1:3。试验中, 在每组模型迎浪侧挡板和胸墙中部相同位置处安装 5 个压力传感器, 堤后一定距离外设置 2 根浪高仪, 以此测量堤后波高和结构受力。试验布置如图 1 所示。

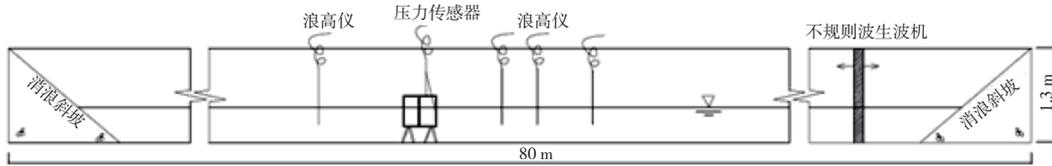


图1 桩基透空堤试验布置

### 1.3 试验结果

对试验原始数据无量纲化处理后, 结构受力和透浪系数如表 2 所示。

表2 试验数据

波坦度 $L/H$	$F_H/(\rho g H)$	$K_t$
12	0.648	0.097
15	0.825	0.167
20	0.843	0.272
25	1.093	0.343
30	1.213	0.384

注: 表中  $F_H$  指结构所受水平总力;  $\rho$  指水的密度;  $K_t$  指透浪系数。

## 2 理论计算

### 2.1 透射系数

根据文献[1, 4]相关内容, 桩基透空堤的透浪系数可采用下列公式近似计算:

$$K_t = \frac{H_t}{H} = \sqrt{\frac{(1 - \zeta) \operatorname{sh} \frac{2\pi}{L} (d - t_0) \operatorname{sh} \frac{2\pi}{L} (2d - t_0)}{\operatorname{sh} \frac{2\pi d}{L} \operatorname{sh} \frac{4\pi d}{L}}} \quad (1)$$

$$\zeta = \frac{H}{H + 0.5L} \exp\left[-\frac{t_0}{2(d - t_0)}\right] \quad (2)$$

式中:  $H_t$  为透射波高 (m);  $\zeta$  为系数。

经计算, 本试验模型的透浪系数如表 3 所示。

表3 透浪系数计算值

波坦度 $L/H$	12	15	20	25	30
$K_t$	0.217	0.279	0.353	0.400	0.431

### 2.2 结构受力计算

文献[5]给出了不同波浪和水深条件下直墙式建筑物波浪力的计算公式, 考虑到试验模型的结

构形式和入水深度, 在计算水平总力过程中, 需要近似处理, 即以挡板入水的最下沿点作为波浪作用的直墙底部点, 计算得出不同波浪条件下本模型的水平总力无量纲值 (表 4)。

表4 水平总力值

波坦度 $L/H$	12	15	20	25	30
$F_H/(\rho g H)$	0.953	1.053	1.179	1.457	1.501

## 3 评判系数公式探讨

根据参考文献[2]提出的评判系数公式:

$$\theta = \sinh\left(-\frac{F_H}{\rho g H^2} K_t\right) \cdot \tanh(t/d) \cdot \sqrt{\frac{10B}{L}} \quad (3)$$

式中:  $B$  为桩基透空堤堤宽 (m)。

但以上公式是根据试验数据总结得出, 存在一定的缺陷。首先  $F_H/(\rho g H^2)$  和  $K_t$  的关系较为复杂, 非简单的线性关系, 在临界的情况下, 若采用  $F_H/(\rho g H^2)$   $K_t$  容易出现  $\theta$  值的剧变。其次, 桩基透空堤  $\theta$  值越小说明桩基透空堤的功效越好; 但对于波长  $L$  来说,  $L$  越大桩基透空堤的挡浪效果越差, 结构受力越大, 即  $\theta$  值越大, 然而以上公式的计算结果和实际规律相违背, 需要作一定的修改。再次, 桩基透空堤堤宽  $B$  对  $\theta$  值影响尚需要更为深入的探讨, 根据文献[6]中关于波浪对刚性箱体作用的理论公式, 宽度越大, 其波浪衰减效果越明显, 即透射系数  $K_t$  越小, 但从水平受力方面来看, 目前的计算方法未对其进行考虑。因此, 在合适的范围内, 堤宽  $B$  越大, 桩基透空堤的功效越好, 即  $\theta$  越小, 然而文献[2]的公式和这一规律相矛盾。

由于桩基透空堤透浪系数  $K_t$  和部分波态作用下  $F_H/(\rho g H^2)$  值的计算方法为非理论公式, 因此, 评判系数的计算公式目前尚不能由理论公式推导

而来, 本文采用结合试验数据和规范公式计算值相结合的方法, 在文献[2]提出的评判系数公式的基础上, 进一步优化, 得出更为合理适用的计算公式, 并通过不同设计参数的桩基透空堤在不同波浪条件下的规范公式计算值进行验证。

根据对文献[2]提出的评判系数公式的分析, 优化计算公式中各项次的关系, 对波长 $L$ 和堤宽 $B$ 与评判系数的关系进行调整, 得出以下的计算公式:

$$\theta = \sinh\left(\frac{F_H}{\rho g H^2} + K_t\right) \cdot \tanh(1 - 0.5t/d) \cdot \sqrt{\frac{L}{B}} \quad (4)$$

## 4 数据分析

### 4.1 试验数据分析和评判系数公式比较

根据文献[2]提出的评判系数计算公式得出的桩基透空堤的曲线如图2所示, 本文提出的评判系数计算公式得出的桩基透空堤的曲线如图3所示。

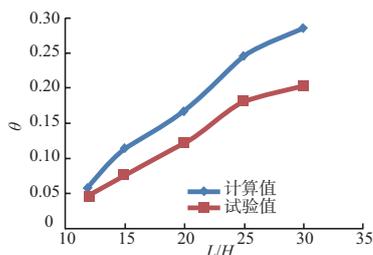


图2 参考文献[2]评判系数公式计算曲线

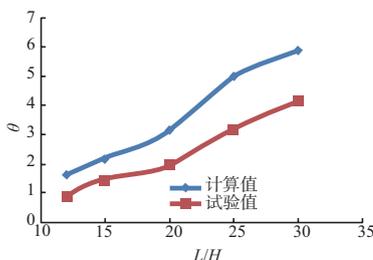


图3 本文修正的评判系数公式计算曲线

分析图2和图3中 $\theta$ 值曲线可以看出, 由于规范公式所计算的透浪系数 $K_t$ 和 $F_H/(\rho g H^2)$ 均大于试验值, 不同计算公式中, 规范计算的 $\theta$ 值大于模型试验所得出的 $\theta$ 值。就两组公式所得出的 $\theta$ 值曲线区别来看, 本文总结的公式 $\theta$ 值更大, 更能体现由于结构受力和透浪系数不同而引起的差异, 对其量化评定更为准确。本文修正的公式 $\theta$ 值在 $L/H$ 较大时, 其变化趋势更为明显, 曲线的斜率更大, 这与实际情况更加吻合( $L/H$ 较大的波浪极易穿透桩基透空堤, 作为在结构上的受力较大, 其功效差)。

### 4.2 评判系数公式的推广

除波浪条件外, 桩基透空堤的挡板相对入水

深度 $t/d$ 也是影响 $\theta$ 值的重要因素, 以试验模型为例, 根据文献[1,5]的相关计算公式, 在不同相对入水深度 $t/d$ 的条件下, 计算得出透浪系数和结构受力值, 由本文提出的计算公式计算得出 $\theta$ 值如表5所示。

表5  $\theta$ 值计算结果

$L/H$	$t/d$				
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
12	1.893	1.828	1.758	1.685	1.607
15	2.327	2.312	2.283	2.236	2.175
20	2.960	3.050	3.111	3.142	3.145
25	3.842	4.158	4.462	4.740	4.975
30	4.360	4.774	5.179	5.559	5.896

从表5中可以看出, 由于 $L/H$ 不同,  $\theta$ 值随 $t/d$ 的变化趋势有所不同,  $L/H$ 为12和15时,  $\theta$ 值随 $t/d$ 增大而减小;  $L/H$ 为20, 25和30时,  $\theta$ 值随 $t/d$ 增大而增大, 且 $L/H$ 越大, 增大的趋势越明显。由此可知, 在满足港内波高要求的前提下, 当桩基透空堤所面临的波浪波坦度 $L/H$ 较大( $\geq 20$ )时, 可将结构受力作为控制参数, 减少相对入水深度 $t/d$ ; 当桩基透空堤所面临的波浪波坦度 $L/H$ 较小( $< 20$ )时, 可将透浪系数作为控制参数, 在结构设计及施工的允许下, 适当增加相对入水深度 $t/d$ 。

## 5 结语

本文通过对参考文献[2]中桩基透空堤功效评判系数计算公式的进一步分析总结, 提出新的功效评判系数计算公式, 且通过规范公式的计算方法和试验数据相结合进行比较验证, 改变影响桩基透空堤功效的两个重要因素波坦度 $L/H$ 和相对入水深度 $t/d$ , 探讨桩基透空堤功效变化的趋势, 得出相关结论供具体工程设计参考。

### 参考文献:

- [1] JTJ 298—1998 防波堤设计与施工规范[S].
- [2] 尹德军, 刘韬, 丁七成, 等. 不同结构形式桩基透空式防波堤功效综合试验研究[J]. 水运工程, 2009(7): 26-30.
- [3] JTJ 213—1998 海港水文规范[S].
- [4] JTJ/T 234—2001 波浪模型试验规程[S].
- [5] 杨宪章, 李文玉, 曲淑媛. 桩基透空堤消浪效果分析与探讨[J]. 中国港湾建设, 2005(2): 25-27, 35.
- [6] 李玉成, 滕斌. 波浪对海上建筑物的作用[M]. 2版, 北京: 海洋出版社, 2002.