



# 护岸越浪量的试验研究

许荔, 陈国平, 严士常, 葛蓉  
(河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏南京 210098)

**摘要:** 通过物理模型实验, 对斜坡式护岸和直立式护岸断面在不规则波作用下的越浪量进行观测, 分析墙顶超高、平台相对宽度等因子对越浪量的影响规律, 并将现有公式计算越浪量的结果与物模试验结果进行对比, 研究成果可供类似断面的工程应用参考。

**关键词:** 斜坡式; 直立式; 护岸; 越浪量

中图分类号: U 656.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)09-0036-05

## Test study on wave overtopping at revetment

XU Li, CHEN Guo-ping, YAN Shi-chang, GE Rong

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

**Abstract:** Based on the physical model test, we carry out a research on the wave overtopping at oblique and vertical revetment with the irregular wave, analyze the influence of main factors such as the levee free-board and the width of the platform on the wave overtopping, and compare the result calculated with the existing formula about the over topping volume and that of physical model test. The research result may serve as reference for the engineering design.

**Key words:** oblique; vertical; revetment; overtopping

越浪量是指在波浪作用下越过沿海建筑物(海堤或护岸等)的水量。越浪量通常以每米海堤的每个波浪越过堤顶的水量 $Q$  ( $\text{m}^3/\text{m}$ )来表示,也可用单位时间的平均越浪量 $q$  ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )表示<sup>[1]</sup>。影响越浪量的因素很多,主要有3个方面: 1) 设计水位与设计波要素,包括有效波高和平均周期; 2) 堤身的几何尺寸,包括结构形式、堤顶超高、护面结构形式、平台高程与静水位差及宽度、防浪墙结构形式及高度、坡肩宽度、堤前海底地形等; 3) 风对越浪量的影响分为直接和间接作用,风直接吹起海水形成波浪,当波浪爬高超过堤顶时引起越浪,此外风还可以将堤前溅起的水花吹过堤顶增加越浪量<sup>[2]</sup>。越浪量的大小直接关系到堤

体和堤后结构的稳定安全。从20世纪初开始,国内外学者对该问题进行了大量的研究工作,主要是基于室内物理模型试验的成果。由于试验条件、试验范围等因素的不同,各种影响因素促成了越浪量试验成果之间差别比较大,为研究成果的推广带来一定的难度。我国对直立堤越浪量的研究甚少,得出的计算公式大多适用于斜坡堤,因此,继续开展波浪越浪量问题的研究具有很大的实际意义。

本文利用多个护岸结构断面的物理模型实验结果进行分析,分别讨论影响斜坡式和直立式护岸平均越浪量的因素及其变化规律,并对比理论计算结果和物模试验结果,为今后的工程设计提供参考依据。

收稿日期: 2013-02-25

作者简介: 许荔(1989—),女,硕士研究生,研究方向为工程结构物及其与周围介质的相互作用。

### 1 物模试验

试验在河海大学风浪水槽中进行, 水槽长80 m, 宽1.0 m, 高1.5 m, 水槽一端安装不规则造波机, 另一端设置消波系统, 水槽纵向分为两部分, 宽0.5 m, 一部分铺设试验断面, 另一部分用以消除波浪的二次反射。试验采用不规则波波谱为JONSWAP谱。

试验采用斜坡式和直立式两种断面。断面1 (图1) 为如意岛护岸工程北侧断面的一个方案。迎浪面堤脚为-7.6 m, 底宽为21.8 m, 迎浪面设置1:1.5斜坡, 斜坡上采用20 t扭王护面, 1.63 m高程处设置平台, 平台宽度为15.4 m, 平台上采用20 t扭王字块体护面, 扭王字块体顶高程为4.30 m, 堤顶高程为7.0 m, 堤顶设置直立式挡浪墙, 挡浪墙顶高程为8.2 m。由于断面较小, 斜坡较陡, 虽然平台较宽, 但波浪较大, 因此越浪较大, 在50 a一遇极端高潮位4.13 m及相应50 a一遇波浪 $H_s=6.08$  m,

$T=9.2$  s作用下, 越浪量为 $0.195 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ , 越浪较大, 需对断面进行修改。因此, 在原断面基础上以墙顶高程、平台高程、平台宽度和护岸南移量等为变量进行了系列实验, 测定各种优化方案下的越浪量, 分析其变化规律, 并选取合适的优化方案。

断面2、3、4 (图2) 为如意岛南侧护岸直立式大圆筒方案断面。大圆筒直径14.0 m, 顶高程9.3 m, 堤脚设置挖入置换抛石保护, 棱体顶高程为-6.8 m, 大圆筒后方设置平台, 平台宽度15.2 m, 平台上采用5 t扭王字块体护面, 块体顶高程为4.7 m, 堤顶高程为6.5 m, 堤顶设置直立式挡浪墙, 位于大圆筒上、平台中间、平台后端共3个断面, 挡浪墙顶高程为13.71 m。为了验证设计断面的抗浪标准, 对设计断面分别进行了多种不同潮位、波浪要素的组合试验, 测得越浪量和堤前波高, 并采用三点法计算反射系数。

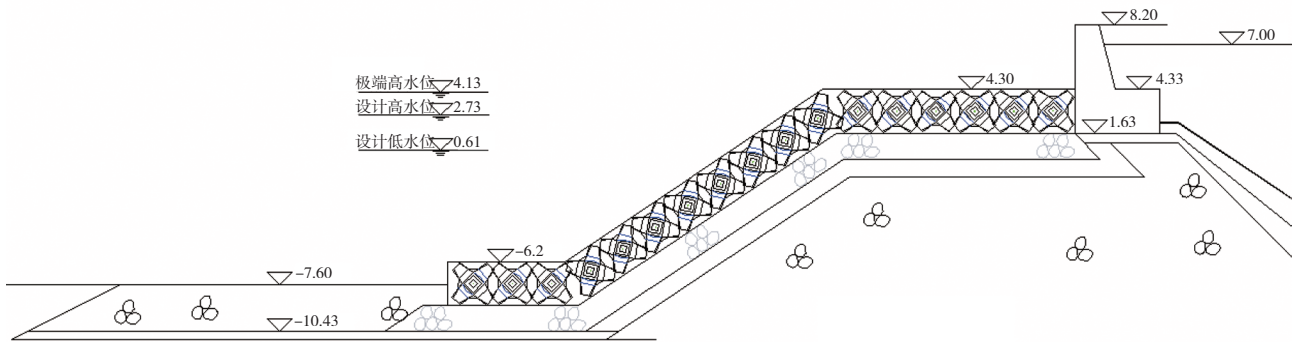


图1 试验断面1 (斜坡式)

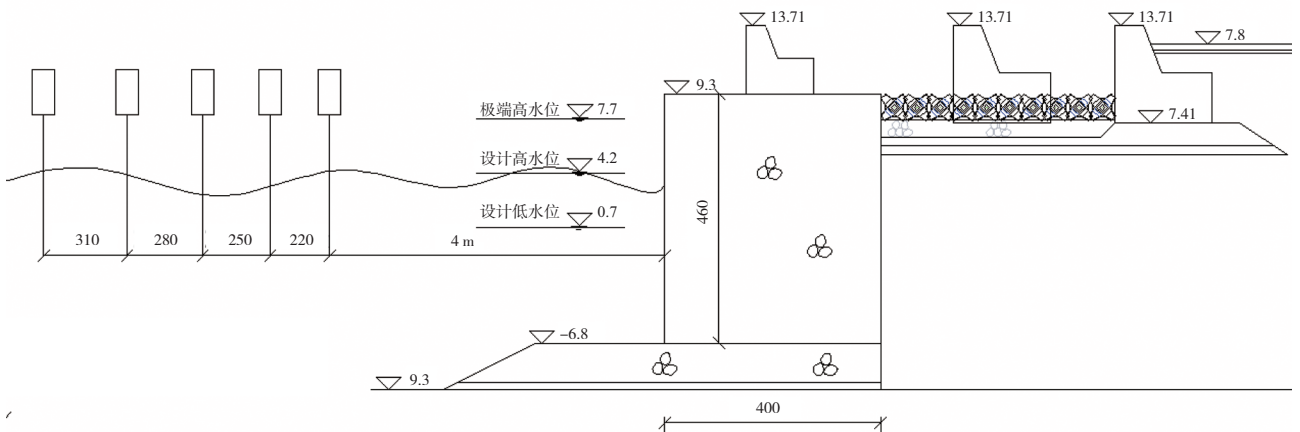


图2 试验断面2, 3, 4 (直立式) 及浪高仪布置

## 2 试验结果及分析

### 2.1 斜坡式断面越浪量分析

斜坡式断面，即断面1的试验结果如表1所示。在原有设计方案的基础上修改其堤顶高程、平台高程、平台宽度和向南位移等，进行了17组优化方案的实验。综上优化方案可以看出，人工岛处于现行位置时，墙顶高程为9.5 m、平台宽度为20 m、平台高程为5.3 m即优化方案5能满足越浪要求；人工岛后退100 m，墙顶高程为9.0 m、平台宽度为20 m、平台高程为5.3 m即优化方案7基本能满足越浪要求；人工岛后退150 m时，墙顶高程为9.0 m越浪量和后退100 m相比差别不大，墙顶高程为8.5 m时越浪量减小较多；人工岛后退200 m时，墙顶高程为8.5 m、平台宽度为25 m、平台高程为5.3 m即优化方案16能满足越浪要求。由17组实验结果可以看出墙顶超高、平台相对宽度和南移距离对越浪量的影响效果。

表1 斜坡式断面越浪量

方案	越浪量	墙顶高程/ m	平台高程/ m	平台宽度/ m	南移距离/ m
原方案	0.195	8.2	4.3	15.41	0
优化1	0.041	11.0	4.3	15.41	0
优化2	0.049	10.5	5.3	15.41	0
优化3	0.005	10.0	5.3	30.00	0
优化4	0.018	9.5	5.3	30.00	0
优化5	0.055	9.5	5.3	20.00	0
优化6	0.078	9.5	5.3	15.00	0
优化7	0.048	9.0	5.3	20.00	100
优化8	0.060	8.5	5.3	30.00	100
优化9	0.066	8.5	5.3	25.00	100
优化10	0.109	8.5	5.3	20.00	100
优化11	0.054	9.0	5.3	20.00	150
优化12	0.037	8.5	5.3	30.00	150
优化13	0.071	8.5	5.3	20.00	150
优化14	0.027	9.0	5.3	25.00	200
优化15	0.044	9.0	5.3	20.00	200
优化16	0.048	8.5	5.3	25.00	200
优化17	0.072	8.5	5.3	20.00	200

#### 2.1.1 墙顶超高对越浪量的影响

选取平台宽度20 m，平台高程5.3 m，墙顶高程分别为8.5 m和9.0 m，在潮位4.13 m，波高6.08 m作用下的断面实验结果进行分析，以墙顶超高 $\Delta H/H$

为变量（图3），当断面位置和平台相对宽度一定时，越浪量随墙顶超高的增大而明显减小，因此提高墙顶高程是减少越浪的有效方法。

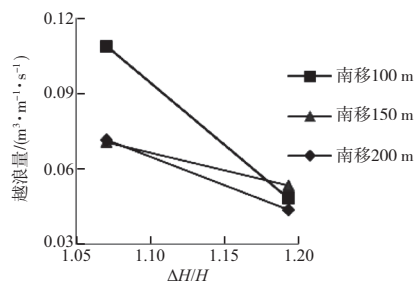


图3 墙顶超高对越浪量的影响

#### 2.1.2 平台宽度对越浪量的影响

选取平台高程5.3 m，墙顶高程8.5~9.5 m，平台宽度为15~30 m不等的断面结果进行分析，以平台的相对宽度 $B/L$ 为横坐标（图4），当墙顶高程一定时，越浪量随平台相对宽度的增加而减小，说明波浪在平台上有能量消耗，波要素一定时增加平台的宽度可以减少越浪量。

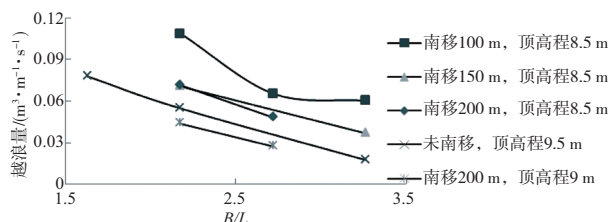


图4 平台相对宽度对越浪量的影响

#### 2.1.3 人工岛位置对越浪量的影响

由图3和图4中南移100, 150, 200 m共3个系列可见：当平台宽度和墙顶高程一定时，人工岛后移，越浪量有所减少，这是因为在后移的距离内，波浪发生破碎，消耗了能量，波高也有所衰减，墙顶超高相应增大，因此越浪量减小。

### 2.2 直立式断面越浪量分析

断面2, 3, 4均为直立式大圆筒结构断面，胸墙的位置不同，但墙顶高程一致。选取1:35的实验比尺，断面2的胸墙位于大圆筒上，距离圆筒最前沿15 cm，胸墙尺寸较小，断面3的胸墙位于筒后的消浪平台上，距离圆筒前沿53.5 cm，胸墙尺寸较大，断面4的胸墙位于消浪平台末端，距离圆筒前沿83.4 cm，尺寸与断面3的相同。试验采

用30, 40, 50 cm共3种模型水深, 8, 11, 14, 17 cm共4种波高, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0 s共4种周期相组合, 不仅测得了各断面在不同波要素作用下的越浪量, 也采用三点法测算了不同波要素作用下的反射系数。胸墙位置不同, 对波浪的反射和消耗程度不同, 越浪量也不同。根据实验结果, 结构的越浪量与反射系数的变化规律密切相关。

以胸墙到大圆筒前沿的距离为平台宽度 $B$ , 不同断面的相对宽度 $B/L$ 不同, 对越浪量的影响很大。选取50 cm水深对应的实验结果分析如下:

1) 由图5中3个系列可以看出, 其余条件相同时, 堤顶超高 $H_c/H$ 越大, 越浪量越小。这与图6中反射系数的变化规律是相反的: 堤顶超高越大, 反射系数越大。因为在50 cm水深的情况下, 堤顶超高, 波浪越过堤顶的量明显减少, 反射的波浪量就减少, 测算出的反射系数就较小。

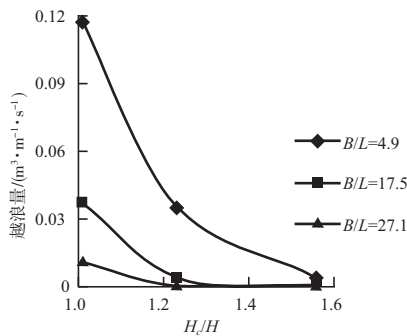


图5 堤顶超高对越浪量的影响

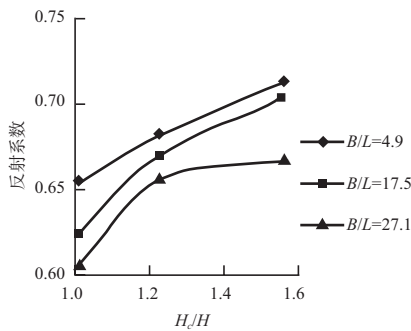


图6 堤顶超高对反射系数的影响

2) 图7中, 由周期1.6 s, 波高11~17 cm作用下的越浪量结果可知, 直立式断面的越浪量随着平台相对宽度的增加而明显减小, 这与图8中的反射系数的变化规律是一致的。50 cm水深情况下, 反射系数随平台相对宽度的增大而减小。因为平

台相对宽度较大时, 对波浪的消耗作用更大, 因此反射的波浪量和越过平台的波浪量都更少。

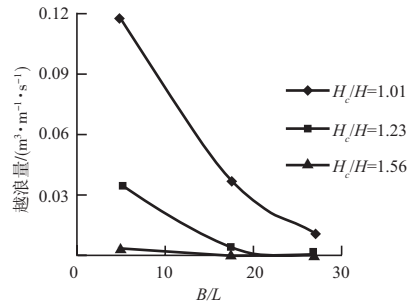


图7 平台相对宽度对越浪量的影响

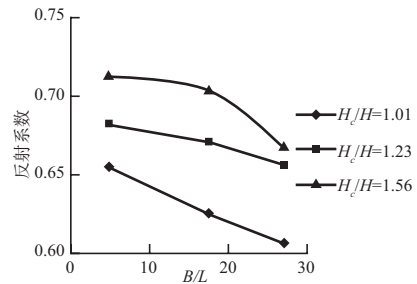


图8 平台相对宽度对反射系数的影响

### 3 越浪量的公式计算与物模试验成果比较

多年来, 国内外学者对水工建筑物的越浪量进行了大量研究, 总结出了不少经验公式, 且大多适用于斜坡式建筑物。本文分别用《海港水文规范》公式<sup>[3]</sup>、陈国平公式<sup>[4-5]</sup>和Van der meer公式<sup>[6-7]</sup>计算试验断面1在极端高潮位4.13 m和50 a一遇波浪 $H_s=6.08$  m,  $T=9.2$  s作用下的越浪量(表2); 采用陈国平公式计算断面2, 3, 4在不同波要素作用下的越浪量(表3), 并与物模试验结果对比。

《海港水文规范》的公式考虑了防浪墙顶超高、波浪要素、护面结构形式、水深、前坡坡度及防浪墙前肩宽对越浪量的影响, 其计算斜坡堤的越浪量结果偏小; Van der meer对影响波浪爬高及越浪的各种因素包括前坡平均坡度、堤前地形及水深变化、平台宽度及高程、波浪斜向入射、前坡糙率系数等都做了详细的分析研究, 其公式计算斜坡堤越浪量的结果与物模试验结果符合较好; 陈国平公式以波浪爬高、墙顶超高为2个主要影响因子, 大大简化了越浪量公式, 该公式不仅适用于斜坡堤, 也可将坡度取为接近零的值来计算直立堤, 例如本文直立堤坡度取0.000 01, 算得

表2 斜坡堤越浪量的公式计算与物模试验结果对比

方案	墙顶高程/m	平台高程/m	平台宽度/m	越浪量/( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )			
				物模试验结果	海港水文规范	陈国平公式	Van der meer 公式
设计方案	8.2	4.3	15.41	0.195	0.039	0.127	0.103
优化方案1	11.0	4.3	15.41	0.041	0.012	0.037	0.032
优化方案2	10.5	5.3	15.41	0.049	0.014	0.043	0.040
优化方案3	10.0	5.3	30.00	0.005	0.005	0.018	0.007
优化方案4	9.5	5.3	30.00	0.018	0.007	0.025	0.013
优化方案5	9.5	5.3	20.00	0.055	0.015	0.050	0.052
优化方案6	9.5	5.3	15.00	0.078	0.023	0.072	0.104

表3 直立堤越浪量的公式计算与物模试验结果对比

断面	波高/cm	平台宽度/m	物模越浪量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )	陈国平公式越浪量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )
1	11	15.0	0.004	0.017
2	14	15.0	0.035	0.077
3	17	15.0	0.117	0.170
4	11	53.8	0.000	0.001
5	14	53.8	0.004	0.008
6	17	53.8	0.037	0.031
7	11	83.4	0.000	0.000
8	14	83.4	0.000	0.002
9	17	83.4	0.011	0.016

的斜坡堤和直立堤越浪量的结果均与物模试验结果比较接近。

#### 4 结论

1) 墙顶超高和平台相对宽度是影响斜坡式和直立式护岸越浪量的2个主要因子,在实际工程中,波浪要素一定,可以采取提高墙顶高程或增加平台宽度的措施来保证越浪量满足标准。

2) 陈国平公式和Van der meer公式计算斜坡式护岸越浪量的结果较准确,推荐用于斜坡式护岸越浪量的计算;计算直立式护岸的越浪量公式很少,陈国平公式的计算结果接近实验值,推荐用于计算直立式护岸越浪量。

3) 由于各国学者提出的计算公式往往针对自己国家的典型结构断面形式,对于不同的断面,各国公式计算结果差别较大。另外,现有的平均越浪量计算公式,大多适用范围较窄,尤其是对于直立堤越浪量的计算,鲜有适合的公式。因此,这方面的研究还有较大的发展空间。

#### 参考文献:

- [1] 张从联,钟伟强,江洧,等.护岸越浪量的试验研究[J].广东水利水电,2005(2):37-39.
- [2] 范红霞.斜坡式海堤越浪量及越浪流实验研究[D].南京:河海大学,2006.
- [3] JTJ 213—1998 海港水文规范[S].
- [4] 陈国平,王铮,袁文喜,等.不规则波作用下波浪爬高计算方法[J].水运工程,2010(2):23-30.
- [5] 陈国平,周益人,严士常.不规则波作用下海堤越浪量试验研究[J].水运工程,2010(3):1-6.
- [6] Van der meer J W. Wave run-up and overtopping[C]//Pilarczyk Ed K W, Balkema A A. Brookfield Dikes and Revetments, Designs, Maintenance and Safety Assessment, Rotterdam, 1998.
- [7] Van der meer J W. Technical report wave run-up and wave overtopping at dikes[C]// Technical Advisory Committee on Flood Defence, Delft, 2002.

(本文编辑 郭雪珍)