



某直立式护岸挡浪墙顶高程设计与验证

徐敏芝

(中诚国际海洋工程勘察设计有限公司, 山东 青岛 266071)

摘要: 顶部设置弧形返浪墙的直立式护岸的堤顶越浪量相对于不设弧形返浪墙的情况小, 挡浪墙顶高程设计值可降低。以某直立式护岸挡浪墙顶高程设计为例, 按照现行相关规范进行挡浪墙高程计算, 然后根据相关文献提出的经验公式进行越浪量计算, 为了确定最为经济、合理的挡浪墙顶高程, 采用物理模型试验进行越浪量验证, 对物模试验的实测越浪量及经验公式计算越浪量进行对比分析, 最终确定弧形返浪墙顶高程。

关键词: 直立式护岸; 弧形返浪墙; 物理模型试验; 越浪量

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0102-04

Design and validation of crown wall's elevation of vertical revetment

XU Min-zhi

(China Integrity International Oceanengineering Co., Ltd., Qingdao 266071, China)

Abstract: The wave overtopping of vertical revetment with arc crown wall is reduced compared with the crown wall without arc, and the elevation of crown wall can be reduced too. Taking the design of the elevation of a vertical revetment's crown wall as an example, the author calculates the elevation of crown wall in accordance with the current related specifications, and calculates also the wave overtopping according to the experiential formula proposed in some literatures. For the most economical and reasonable elevation of the crown wall, the wave overtopping is validated by physical model test, the measured wave overtopping by physical model test and the calculated wave overtopping according to the experiential formula are compared, and the elevation of the arc crown wall is determined ultimately.

Keywords: vertical revetment; arc crown wall; physical model test; wave overtopping

直立式护岸是港口工程中常用的护岸结构形式, 对岸顶设挡浪墙的护岸来说, 确定合理的挡浪墙顶高程对后方陆域的安全性、结构形式的经济性和景观性具有重要的意义, 而目前港口工程设计中多以允许越浪量作为控制条件来确定堤顶高程。当条件允许时, 沿海港口护岸工程的顶高程设计应通过模型试验进行验证。通过某直立式护岸设计实例, 结合物理模型试验成果验证, 对设弧形返浪墙的直立式挡浪墙顶高程的设计进行探讨。

1 工程概况

本文所研究护岸位于我国南方某游艇俱乐部,

护岸位于港区的南侧, 受项目用海红线限制, 护岸结构形式采用直立式结构。护岸后方为游艇俱乐部配套开发建设的会所及别墅等, 因此对挡浪墙的防浪要求较高。

1) 设计水位 (高程基准面采用 85 国家高程基准面): 设计高水位 3.36 m (高潮累积频率 10%), 设计低水位 - 2.62 m (低潮累积频率 90%), 极端高水位 4.68 m (重现期为 50 a 的年极值高水位), 极端低水位 - 3.47 m (重现期为 50 a 的年极值低水位)。

2) 工程具体位置的设计波要素见表 1。

收稿日期: 2014-04-21

作者简介: 徐敏芝 (1981—), 女, 工程师, 从事港口航道设计咨询工作。

表 1 50 a 一遇设计波要素

计算水位/m	$H_{1\%}$ /m	$H_{4\%}$ /m	$H_{5\%}$ /m	$H_{13\%}$ /m	H_{mean} /m	T_{mean} /s
极端高水位 4.68	2.82	2.48	2.41	2.10	1.43	5.0
设计高水位 3.36	2.64	2.36	2.30	2.05	1.46	4.8

2 挡浪墙顶高程计算

2.1 护岸设计断面

护岸采用现浇混凝土挡墙结构，护岸后方陆

域高程为 6.0 m。临海侧挡浪墙顶部设置弧形返浪墙，挡墙前设置 150 ~ 200 kg 护底块石，挡墙后方设 10 ~ 100 kg 块石棱体，棱体后方依次设置二片石和碎石倒滤层，坡度分别为 1:1.25 和 1:1.5。挡墙下方为 C20 素混凝土垫层及二片石垫层。基础采用开挖换填，挖除淤泥层后抛填 10 ~ 100 kg 块石，抛石基床前方回填砂至原海底面。护岸断面见图 1。

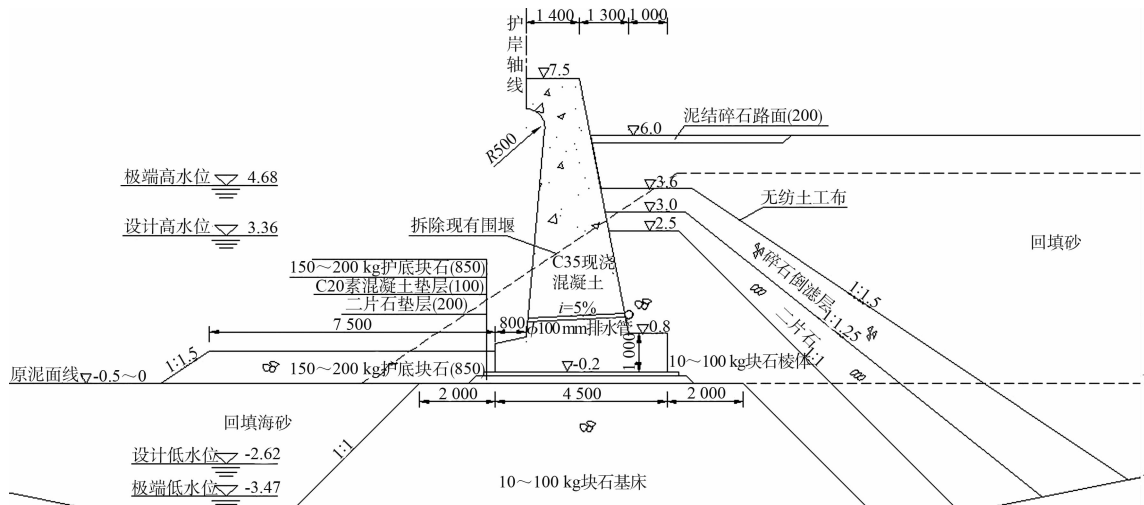


图 1 护岸断面

2.2 挡浪墙顶高程计算

挡浪墙顶高程可按《港口及航道护岸工程设计与施工规范》^[1]计算，根据以往设计经验可知，海堤及堤防规范挡浪墙顶高程计算值相对港口工程规范高，而本护岸后方布置了会所及别墅等建筑物，安全要求较高，因此挡浪墙顶高程的计算需按《海堤工程设计规范》的计算值来校核控制。

1) 根据《港口及航道护岸工程设计与施工规范》^[1]计算。

按不允许上浪，海港直立式护岸顶高程可定在设计高水位以上 1.0 ~ 1.25 倍设计波高处，并应高于极端高水位加超高值 0 ~ 0.5 m，则：挡浪墙顶高程 = 3.36 m + (1.0 ~ 1.25) × 2.64 m = 6.0 ~ 6.66 m；

允许上浪时，海港直立式护岸顶高程可定在设计高水位以上 0.6 ~ 0.7 倍设计波高处，并应高于极端高水位，则：挡浪墙顶高程 = 3.36 m + (0.6 ~ 0.7) × 2.64 m = 4.94 ~ 5.21 m。

2) 根据《海堤工程设计规范》^[2]计算。

本护岸挡浪墙下部为后倾墙面（坡度系数为

0.1），顶部设弧形返浪墙。设计时不考虑上部返浪结构，按坡度系数为 0.1 的单一墙面进行初步计算。波浪爬高可按规范中附录 E. 0.3 公式进行计算。

$$Z_p = h_p + R_f + A \quad (1)$$

$$R_f = K_\Delta K_v R_0 H_{1\%} K_F \quad (2)$$

式中： Z_p 为设计频率的堤顶高程（m）； h_p 为设计频率的高潮位（m）； R_f 为按设计波浪计算的累积频率为 F 的波浪爬高值（m）； A 为安全加高值（m）； K_Δ 为斜坡的糙率及渗透性系数； K_v 为与风速口有关的系数； R_0 为不透水光滑墙上相对爬高（m）； $H_{1\%}$ 为累积频率为 1% 的波高（m）； K_F 为爬高累积频率换算系数。

经计算，按不允许越浪，南护岸的波浪爬高 $R_f = 3.73$ m，挡浪墙顶高程 $Z_p = 9.21$ m；按允许部分越浪，南护岸的波浪爬高 $R_f = 3.05$ m，挡浪墙顶高程 $Z_p = 8.13$ m。

3) 护岸挡浪墙顶高程确定。

通过以上两组计算结果对比可以看出，按《港口及航道护岸工程设计与施工规范》^[1]计算的

挡浪墙顶高程偏低,而《海堤工程设计规范》^[2]的计算值因未考虑上部弧形返浪墙的返浪作用,计算值明显偏高,结合附近已建海堤顶高程值,设计时暂定了3个高程,为7.5、7.0、6.5 m,通过对越浪量的经验公式计算和物模试验结果对比分析,来确定合理的挡浪墙顶高程。

3 越浪量经验公式计算

在我国现行的港口工程设计规范中,尚未给出关于直立堤上越浪量的计算方法。文献[3]提出当堤前水深较小、波浪可能破碎时,对 $d^* \leq 0.3$ 的暗基床和 $d^* > 0.3$ 的低基床直立堤,适用Allsop法计算长峰破碎波正向作用于直立堤时的平均越浪量;Allsop法定义 $d^* = 2\pi d^2 / (gH_s T_m^2)$,当 $d^* > 0.3$ 时,堤前波浪以反射为主;当 $d^* \leq 0.3$ 时,堤前波浪破碎^[5]。根据以上两种情况分别给出越浪量公式:

$d^* > 0.3$ 时

$$\begin{cases} \frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = 0.05 \exp\left(-2.78 \cdot \frac{R_c}{H_s}\right) \\ 0.03 < R_c/H_s < 3.2 \end{cases} \quad (3)$$

$d^* \leq 0.3$ 时

$$\begin{cases} \frac{q}{d^{*2} \sqrt{gd^3}} = 1.37 \times 10^{-4} \left(\frac{R_c}{H_s} \cdot d^*\right)^{-3.24} \\ 0.05 < \frac{R_c}{H_s} \cdot d^* < 1.0 \end{cases} \quad (4)$$

式中: q 为单位时间单位堤宽的越浪量($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$);

R_c 为堤顶在静水面上的高度(m); H_s 为有效波高(m)^[3]。

根据以上经验公式进行计算,挡浪墙顶高程为7.5、7.0、6.5 m时,单位时间单位堤宽的越浪量计算结果见表2。

表2 50 a一遇越浪量计算结果 $\text{m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$

水位/m	挡浪墙顶高程		
	7.5 m	7.0 m	6.5 m
极端高水位 4.68	0.011	0.022	0.043
设计高水位 3.36	0.002	0.004	0.006

由于上述计算并未考虑挡浪墙上部弧形返浪墙的返浪作用,计算越浪量应比实际情况偏大,因此设计过程中针对挡浪墙顶高程7.5、7.0、6.5 m,进行了断面物理模型试验,测定以上3个高程对应的越浪量。

4 物理模型试验研究

4.1 试验仪器设备

波浪试验在长波浪水槽中进行(图2),该水槽可同时产生波浪、水流和风。水槽长175 m,宽1.2 m,深1.8 m。水槽的工作段分割成0.6 m和0.6 m两部分,0.6 m宽的部分用来安放模型断面和进行模型试验,另一部分用于扩散造波板的二次反射波。水槽的一端配有消浪缓坡,另一端配有不规则波造波机,由计算机自动控制产生所要求模拟的波浪要素。

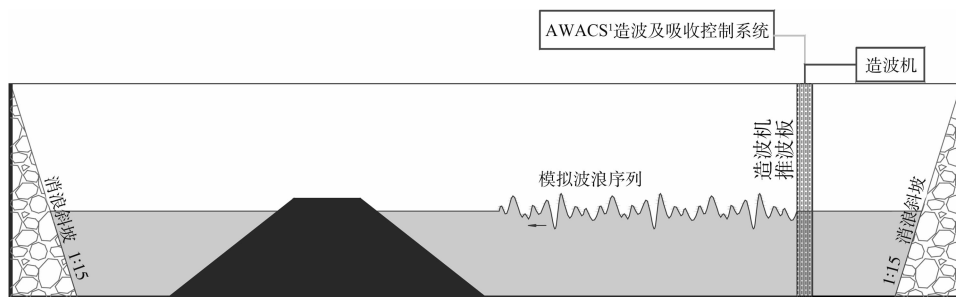


图2 水槽断面布置

4.2 模型设计

试验遵照《波浪模型试验规程》^[4]相关规定,采用正态模型,按照Froude数相似律设计。根据设计水位、波浪要素、试验断面及试验设备条件等因素,试验断面形式模型比尺取

为1:15。各物理量比尺如下:几何比尺 $L_r = 1:15$,时间比尺 $T_r = L_r^{1/2}$,重力比尺 $W_r = L_r^3$,单宽流量比尺 $q_r = L_r^{3/2}$ 。

4.3 试验方法

在水槽内放置模型断面,先用小波进行作用,

以使堤身密实，然后观测挡浪墙、护底块石、堤顶及内坡结构等各部位的稳定，并测量越浪量。

4.4 试验结果

测量越浪量针对两个设计水位（极端高水位 4.68 m、设计高水位 3.36 m）、表 1 中所列的波要素、3 种挡浪墙顶高程（7.5、7.0 和 6.5 m）进行，越浪量测量结果见表 3。试验照片见图 3 和 4。



图 3 波浪冲击挡浪墙



图 4 越浪水体对堤顶的作用

表 3 越浪量测量结果 $m^3 / (s \cdot m)$

试验组合	挡浪墙顶高程		
	7.5 m	7.0 m	6.5 m
极端高水位 4.68 m, 不规则波	0.003	0.167	0.053
设计高水位 3.36 m, 不规则波	无越浪	少许浪花越过挡浪墙顶部, 未测得越浪量	0.001

5 挡浪墙顶高程取值

挡浪墙顶高程与越浪量变化趋势分析见图 5。

从图 5 可以看出，理论计算值与试验测定值之间存在一定的差异，除挡浪墙顶高程为较低值 6.5 m 时经验公式计算值比试验测定值小外，其余情况下经验公式计算值均大于试验测定值；另外

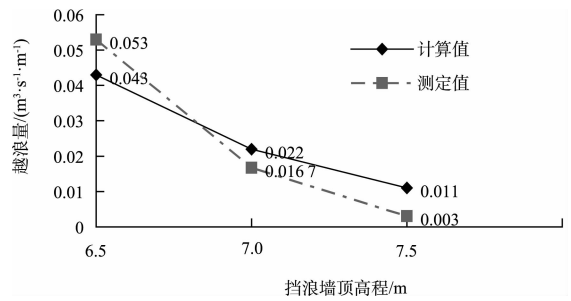


图 5 挡浪墙顶高程与越浪量变化趋势分析（极端高水位）

随着挡浪墙顶高程的增大，越浪量试验测定值减小的趋势比公式计算值减小的趋势大。分析认为，理论计算值与试验测定值存在差异的原因是由于堤顶上部设置了弧形返浪墙，经验公式计算是按直墙考虑，并未考虑弧形返浪墙的返浪作用。

根据物模试验测定的越浪量结果，挡浪墙顶高程为 7.0 m 时，试验测定值为 $0.016 m^3 / (s \cdot m)$ ($< 0.02 m^3 / (s \cdot m)$)，因此在保证良好排水条件的前提下，挡浪墙顶高程设计值可定在 7.0 ~ 7.5 m，考虑到挡浪墙后方陆域高程为 6.0 m，从后方建筑物的安全性和看海的景观性及结构造价的经济性等角度出发，设计最终确定挡浪墙顶高程为 7.2 m。

6 结论

1) 在实际工程设计中，由于现行规范中尚未给出直立堤越浪量计算方法，可根据文献[3]总结提出的经验公式进行越浪量的近似计算，以初步确定挡浪墙结构的顶高程。为确保结构安全，力求经济、合理，需通过模型试验进行验证，结合试验测定值确定最终的挡浪墙顶高程。

2) 顶部设置弧形返浪墙的直墙堤顶越浪量小于不设返浪墙的直墙越浪量，因此当对挡浪墙的越浪量要求很高时，应采用堤顶设弧形返浪墙的结构以减少堤顶越浪量。

参考文献：

[1] JTJ 300—2000 港口及航道护岸工程设计与施工规范[S].
 [2] SL 435—2008 海堤工程设计规范[S].
 [3] 俞聿修. 直立堤上平均越浪量计算方法的比选[J]. 港工技术, 2011(3): 1-3, 22.
 [4] JTJ/T 234—2001 波浪模型试验规程[S].

(本文编辑 武亚庆)