

斜坡式防波堤护岸工程优化试验研究

王珍, 吉红香, 邱静

(广东省水利水电科学研究院; 广东省水动力学应用研究重点实验室, 广州, 510610)

摘要: 通过波浪断面模型试验, 研究斜坡式防波堤护岸工程斜坡坡度、胸墙顶高程、护面块体与越浪量和稳定性的关系。实验结果表明, 斜坡坡度越缓, 胸墙顶高程越高、护面块体吨位越大越浪量越小, 工程越稳定。当胸墙顶高程较高时, 三者对于越浪量及稳定性影响较大, 降低任何一者越浪量将显著增加; 当胸墙顶高程下降到一定程度后, 三者对越浪量及稳定性的影响减小, 降低任何一个越浪量变化不明显。因此, 在保证工程安全的基础上, 选择较低胸墙顶高程、相对较陡坡度和较小吨位护面块体的护岸型式来减少工程投资是可行的。

关键词: 波浪断面模型; 胸墙顶高程; 斜坡坡度; 扭王字块; 越浪量; 稳定性

前言

防波堤的安全与稳定一直是港口工程设计人员及施工人员普遍关注的问题。斜坡式防波堤是防波堤的一种主要型式, 因为其对波浪反射弱、对地基不均匀沉降不敏感、施工较简单等优点, 被广泛应用于港区和城市护岸。斜坡坡度、胸墙顶高程及护面块体吨位不仅关系工程的安全与稳定, 还关系到工程的经济性。从工程安全角度, 缓坡较陡坡稳定性高, 胸墙顶高程越高越浪量越小, 所受浪压力越小, 工程越稳定, 护面块体越大, 稳定性越好; 从工程经济角度则刚好相反。综合二者考虑, 存在一个斜坡坡度、胸墙顶高程、护面块体吨数最优值, 能同时兼顾工程安全和经济要求。

目前, 人们多用采用波浪断面模型来解决工程实际问题。孙精石^[1]早在 1984 年就曾撰文对对鲛鱼圈港防波堤断面块体与护底块石稳定性及失稳率, 波浪反射系数、爬高和越浪, 胸墙稳定性及波压力、浮托力的测量等进行了详细的介绍; 王爱群等^[2]对斜坡式防波护岸断面形式进行了实验研究; 2004 年杨洪旗^[3]结合 2008 年奥帆工程对防波堤模型试验进行系统研究, 涉及的内容较文献^[1]多了波浪透射系数研究; 黄海龙^[4]针对核电站海域的特点对波浪作用下防护断面的稳定性进行研究。詹明^[5]根据工程实例, 并结合有关文献资料进行统计分析, 对斜坡式防波堤胸墙顶高程的确定及允许越浪量值提出建议。连卫东、曹玉芬^[6]结合烟台港龙口港区防波堤进行波浪断面模型试验, 重点研究了不同斜坡断面堤顶高程与越浪量及堤后次生波的关系。

早期的试验研究多基于规则波作用, 近十几年来, 随着水运工程试验设备的不断更新与测试仪器的不断升级, 防波堤断面模型试验多采用不规则波进行。本文主要通过断面模型试验对非规则波作用下斜坡式护岸工程斜坡坡度、胸墙顶高程、护面块体与越浪量和稳定性的关系进行研究。

1 项目背景

1.1 护岸断面型式

防波堤堤身采用 0~500kg 堤心石, 底高程为-4.0m~-2.0m。胸墙型式采用弧形胸墙, 底高程为 2.6m, 顶高程为分别为 9.0m、8.7m、8.4m、8.0m, 分别采用坡度为 1:1.5 和 1:2.0 的斜坡式护岸布置, 护面工程从下到上分别为: 200~500kg 块石抛填两层、500~1000kg 块石抛填两层、10t 扭王字块 (或 8t 扭王字块) 摆放一层, 护面工程顶高程为 4.6m。

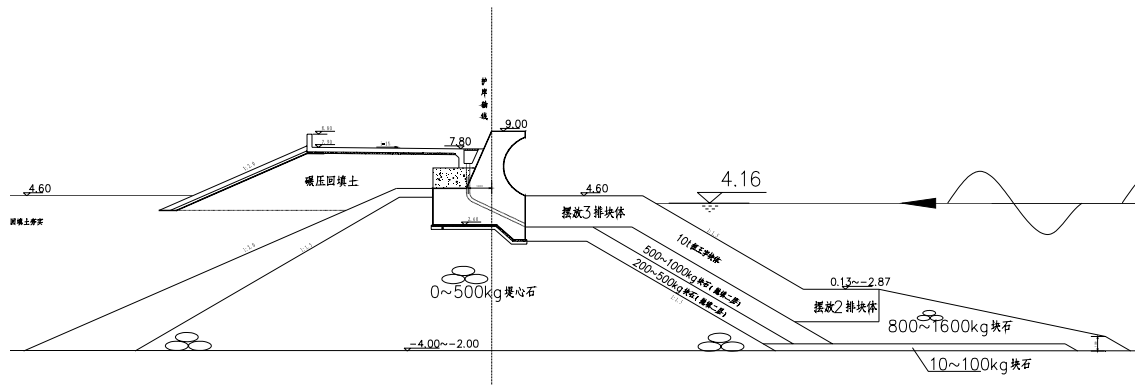


图 1 防波堤护岸工程断面型式

1.2 水文条件

工程水域 200 年一遇潮位为 4.16m (1985 国家高程基准, 下同) 50 年一遇高潮位为 3.62m、10%设计高潮位为 2.12m、90%设计低潮位为-0.75m。对于各累积频率波浪要素见表 1。

表 1 试验组次及相应水文波浪要素

编号	潮位	方向	$H_{1\%}(m)$	$H_{13\%}(m)$	$\bar{H}(m)$	$\bar{L}(m)$	$\bar{T}(s)$
1	200 年一遇高潮位	SE-SSE	5.24*	4.5	3.23	93.4	11.0
2	50 年一遇高潮位	SE-SSE	4.89*	4.1	2.93	90.5	11.0
3	设计高潮位	SE-SSE	3.91*	3.6	2.63	81.7	11.0
4	设计低潮位	SE-SSE	1.97*	1.5	1.05	60.1	11.0

1.3 实验设备及量测仪器

波浪水槽长 66m, 宽 1m, 高 1.6m。在水槽的一端放置模型, 用玻璃墙将波浪水槽分成二元水路, 模型布置在其中一侧, 在模型的背后是高约 1m, 分层铺设的消波装置。另一端是电机式水槽不规则造波机, 由 5.5kw 功率的 C37 型电机驱动。不规则造波机由控制室计算机通过不规则造波系统软件控制推波板的运动, 生成试验中需要的波。

波高用电容式波高传感仪测定, 数据采集时间间隔 $\Delta t=0.02$ 秒, 连续采集有效波数 110 个左右, 连续采集时间 240 秒, 每组重复三次, 取平均值作为代表值。

压力测定采用压力传感器, 连续采集的时间间隔采用 0.02 秒。

护岸越浪量的测量是在胸墙后安装容器收集越顶水体, 称重得到越浪量, 每组测量多次取其平均值。

1.4 比尺选择

根据工程海域的波浪要素和实验室的设备条件, 拟定正态模型的几何比尺 $l_r = 20$ 进行模型设计, 根据重力相似原则计算得其他相应比尺如下:

$$\text{速度比尺 } v_r = \sqrt{l_r} = 4.47$$

$$\text{时间比尺 } t_r = \sqrt{l_r} = 4.47$$

$$\text{压强比尺 } p_r = l_r = 20$$

2 实验内容分析

试验拟定了胸墙顶高程为 9.0m、8.7m、8.4m 和 8m 分别与斜坡坡度为 1:1.5 和 1:2.0 组合的试验组次，并对 10t 和 8t 扭王字人工块体进行试验，观测扭王字块体在大浪作用下的稳定性和测量护岸工程的越浪量，以确定最安全、经济的胸墙顶高程和坡面型式。

表 2 10t 扭王字块体护面下越浪量及稳定性分析

编号	方案	坡度 1:1.5		坡度 1:2	
		越浪量 (m ³ /m·s)	稳定性描述	越浪量 (m ³ /m·s)	稳定性描述
1	胸墙顶高程 9.0m	0.0020	在大浪作用下，坡面 1~2 个块体发生轻微晃动，未产生位移或跌落	0.0010	在大浪作用下，坡面 1 个块体发生轻微晃动，未产生位移或跌落
2	胸墙顶高程 8.7m	0.0045	在大浪作用下，坡面 1~2 个块体发生轻微晃动，未产生位移或跌落	0.0031	在大浪作用下，坡面 1 个块体发生轻微晃动，未产生位移或跌落
3	胸墙顶高程 8.4m	0.0080	在大浪作用下，护岸肩部约 3 个块体发生轻微晃动，未产生位移或跌落	0.0072	在大浪作用下，护岸肩部 2 个块体发生轻微晃动，未产生位移或跌落
4	胸墙顶高程 8.0m	0.0210	在大浪作用下，护岸肩部约 5 个块体发生晃动，未产生位移或跌落	0.0206	在大浪作用下，护岸肩部约 3 个块体发生晃动，未产生位移或跌落

表 3 8t 扭王字块体护面下越浪量及稳定性分析

编号	方案	坡度 1:1.5		坡度 1:2	
		越浪量 (m ³ /m·s)	稳定性描述	越浪量 (m ³ /m·s)	稳定性描述
5	胸墙顶高程 9.0m	0.0020	在大浪作用下，坡面 1 个块体发生轻微晃动，未产生位移或跌落	0.0012	在大浪作用下，坡面 1 个块体发生轻微晃动，未产生位移或跌落
6	胸墙顶高程 8.4m	0.0101	在大浪作用下，坡面 4 个块体发生轻微晃动，未产生位移或跌落	0.0074	在大浪作用下，坡面 4 个块体发生轻微晃动，未产生位移或跌落
7	胸墙顶高程 8.0m	0.0211	在大浪开始作用下，护岸肩部约 2 排块体发生晃动，未产生位移，随着波浪继续作用，晃动块体数量减小。	0.0206	在大浪开始作用下，护岸肩部约 2 排块体发生晃动，未产生位移，随着波浪继续作用，晃动块体数量减小。

2.1 胸墙顶高程与越浪量关系

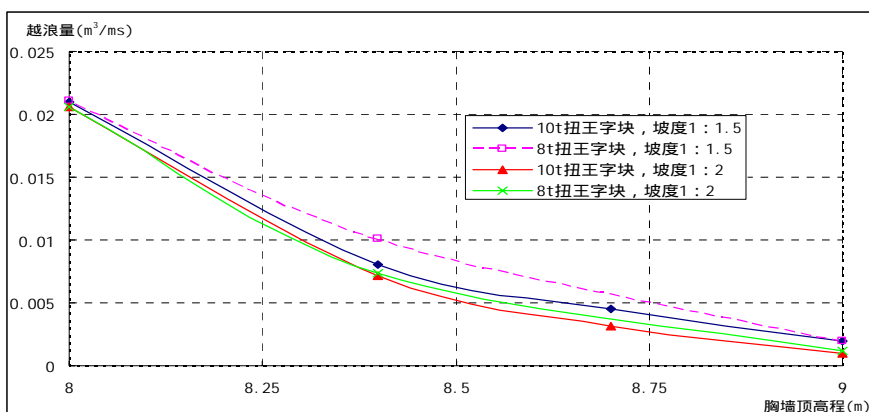


图 1 胸墙顶高程与越浪量关系

由图 1 可知，胸墙顶高程 H 与越浪量 q 呈反比，越浪量随着胸墙顶高程的增加而降低。 $F=f(H, q)$ 函数初始 q 随 H 的增大下降幅度增大，当 H 增大到一定值后， q 对于 H 变化越来越不敏感。当 $H \in [8m, 8.4m]$ ， H 与 q 呈线性关系，大致满足：

$$-0.0335H + 0.2886 = q$$

当 $H \in (8.4m, 9m]$ ， H 与 q 呈非线性关系，大致满足：

$$0.011111H^2 - 0.20367H + 0.934 = q$$

2.2 斜坡坡度与越浪量关系

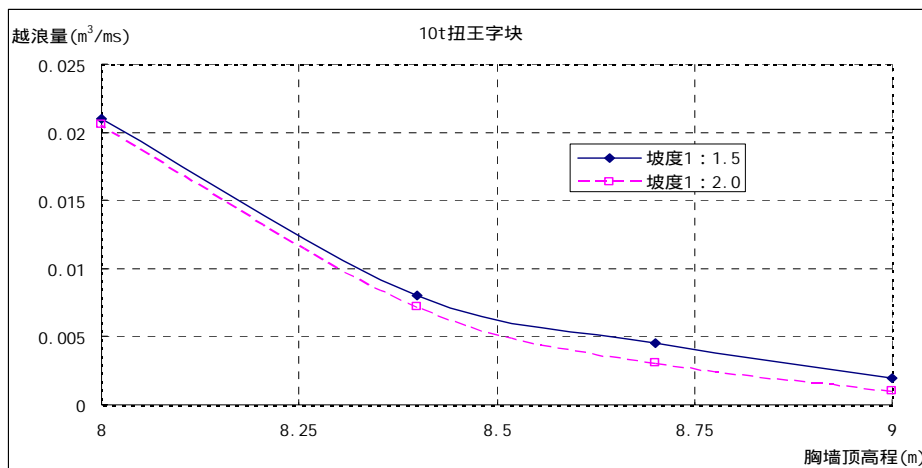


图 2 斜坡坡度与越浪量关系

1:1.5 和 1:2.0 是斜坡式护岸常用的坡度。其他条件相同时，斜坡坡度越缓，越浪量越小，护面块体越稳定。当胸墙高度 H 较大时，二者越浪量相差较大，当 H 较小时，二者越浪量差别很小。因此，当胸墙顶高程降低到一定值后，坡度对于越浪量的影响几乎可以忽略。以 10t 扭王字人工护面块体为例，胸墙顶高程在 9.0m 以上，坡度为 1:2.0 的越浪量近似是 1:1.5 坡度的 1/2；当胸墙顶高程下降到 8.7m，坡度为 1:2.0 的越浪量近似是 1:1.5 坡度的 2/3；当胸墙顶高程下降到 8.4m，坡度为 1:2.0 的越浪量近似是 1:1.5 坡度的 9/10；当胸墙顶高程下降到 8.0m，坡度为 1:2.0 的越浪量与 1:1.5 坡度越浪量近似相等。

2.3 护面块体与越浪量关系

扭王字块是海滨区护岸常用材料之一。其他条件相同时，扭王字块吨数越大，越浪量越小，岸坡越稳定。当胸墙高度 H 较大时，10t 扭王字块和 8t 扭王字块护面二者越浪量相差较大，当 H 较小时，二者越浪量差别很小。因此，当胸墙顶高程降低到一定值后，扭王字块吨数对于越浪量的影响几乎可以忽略。以斜坡坡度为 1:2 为例，胸墙顶高程在 9.0m 以上，10t 扭王字块护面的越浪量近似是 8t 扭王字块护面的越浪量的 5/6；当胸墙顶高程下降到 8.4m，10t 扭王字块护面的越浪量近似是 8t 扭王字块护面的越浪量的 4/5；当胸墙顶高程下降到 8.0m，10t 扭王字块护面的越浪量与 8t 扭王字块护面的越浪量近似相等。

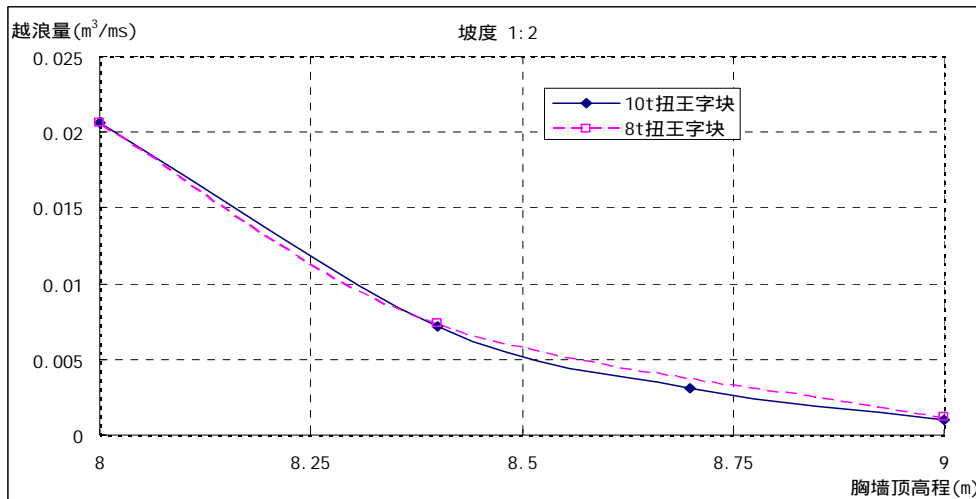


图 3 护面块体与越浪量关系

3 结论

通过以上实验数据及成果分析，得到以下结论：

- 1) 胸墙顶高程 H 与越浪量 q 呈反比，当 H 较小时，二者呈线性关系， q 对 H 的变化较为敏感；当 H 增大到一定程度，二者呈非线性关系， q 对 H 的变化敏感性减弱；
- 2) 相同条件下，坡度 1:2 的越浪量小于坡度 1:1.5 的越浪量，但当胸墙顶高程 H 下降到一定程度后，二者越浪量相当；
- 3) 相同条件下，10t 扭王字块的越浪量小于 8t 扭王字块的越浪量，但当胸墙顶高程 H 下降到一定程度后，二者越浪量相当；
- 4) 在保证工程安全的前提下，适当减低胸墙顶高程、采用较陡的坡度及吨数稍小的护面块体以减小工程投资是可行的。

参考文献：

- [1] 孙精石, 李智贤, 黄伊立. 鲎鱼圈港防波堤断面试验研究[J]. 水道港口, 1984(3):23-32.
- [2] 王爱群, 李春柱, 孙学信等. 斜坡式防波护岸断面形式的实验研究[J]. 海岸工程, 1999 (9) :3-18.
- [3] 杨洪旗. 2008 奥帆工程防波堤模型试验及相应概率分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.
- [4] 黄海龙, 王登婷, 张定安. 波浪作用下核电站海域防护断面稳定性研究[C]. 中国海洋工程学会. 第十二届中国海岸工程学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 2005:477-480.
- [5] 詹明. 防波堤胸墙设计问题探讨[J]. 水运工程. 2006(9):393-9.
- [6] 连卫东, 曹玉芬. 烟台港龙口港区防波堤波浪断面试验研究[J]. 水道港口. 2009(8):4-30.