



港口导堤植被消波的试验研究*

耿宝磊, 高峰, 张宇亭

(交通运输部天津水运工程科学研究院)

港口水工建筑技术国家工程实验室和工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456)

摘要: 针对天津中心渔港东导堤工程, 通过几何比尺为 1:10 的断面物理模型试验, 研究了植株布置方式、种植排数和淹没水深对护岸植被消波效果的影响。研究表明: 1) 护岸植被对波浪有一定的消减作用, 可减小波浪对护面结构的直接冲击, 并降低越浪量, 但是植被的消波效果只对一定范围内的波浪有效。2) 就植被的消波效果而言, 矩形布置方案略好于梅花形布置方案; 树木种植排数越多消波作用越大; 半淹没时的消波效果略好于全淹没状态。3) 结合天津中心渔港东导堤护岸结构, 肩台种植树木 7 排时, 植被消波效果最好, 其中波高最大消减 32.9%, 越浪量最大消减 87.8%。

关键词: 天津中心渔港; 植被; 消波; 物理模型试验

中图分类号: U 656.3, P 753

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)07-0051-07

Experimental study on wave absorbing effect with vegetation on port jetty

GENG Bao-lei, GAO Feng, ZHANG Yu-ting

(National Engineering Laboratory for Port Hydraulic Construction Technology & Key Laboratory of Engineering Sediment of Ministry of Communications, Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China)

Abstract: Physical model experiment with 1:10 model scale is taken to test the wave absorbing effect with vegetation on east-breakwater in Tianjin center fishing port. The vegetation arrangement, trees rows and submerged depth are considered to analyze the absorbing ability of the vegetation. The results show that: 1) the vegetation can reduce the wave height and overtopping water within a limited scope of wave height; 2) as the absorbing effect, rectangular arrangement is better than the quincuncial one; half-submerged water depth is better than the all-submerged and the more planted rows the better for wave absorbing; 3) for the project of Tianjin center fishing port, the maximum rate is 32.9% for wave height decrease and 87.8% for overtopping water decrease with 7 rows trees on the breakwater shoulder.

Key words: Tianjin center fishing port; vegetation; wave absorption; physical model test

本研究以天津中心渔港休闲作业区(游艇港)为依托工程。目前该区域在挡沙堤、港内以及护岸外坡随机撒播的灌木、海芦苇等植物已有部分成活,在护面栅栏板孔隙中有成熟的大体植株存在,同时东北侧外护岸浅水区亦有大范围的海芦苇覆盖且生长极其茂盛,形成了一定规模的湿地生态景观型海港形态。

以往对护岸植被消波作用的应用和研究多针对河道岸堤、堤围及近岸的滩涂,例如浙江海塘沿线生长的鸡干草、湖南洞庭湖临湖堤前的垂柳和鸡婆柳、江苏洪泽湖大堤堤坡上的防浪林台等,都在当地起到了良好的消浪护堤的作用^[1-2];宋连清^[3]、傅宗甫^[4]分别对互米花草、聚乙烯人工海草的消浪作用进行了原型观测。在试验研究方面,

收稿日期: 2013-11-11

*基金项目: 天津市滨海新区专业性科技服务业项目(2012-XJR13013)

作者简介: 耿宝磊(1980—),男,副研究员,主要从事波浪理论及波浪与结构物作用研究。

白玉川^[5]分析了防浪林宽度、护岸底坡的坡度以及底坡的高程对植被消波的影响,黄本胜^[6]和吉红香^[7]分析了防浪林对河堤波浪爬高和波压力的影响,杨建明^[8]和章家昌^[9]分别给出了不同情况下防浪林的消波系数计算公式,Mei C C^[10]利用数值方法对长波作用下滩涂植被的消波效果进行了分析。

在海港工程中利用植被消波受到近岸波浪条件和工程实际等因素的限制,其应用还不多。本研究采用物理模型试验方法,针对天津中心渔港东导堤已有的植被情况进行断面试验,探讨了护岸及堤防的植被消波效果,从而为生态型港口工程的实践提供借鉴。

1 试验条件

1.1 试验断面

天津中心渔港东导堤范围见图1,选取东导堤泥面高程1.0 m处初步设计断面为参考断面,断面形式见图2^[11]。该断面泥面高程1.0 m,肩台高

程为3.0 m,堤顶高程为6.0 m,胸墙顶高程为7.5 m。断面海侧肩台至堤顶铺设栅栏板,且肩台与堤顶之间的坡度为1:2;肩台以下铺设200~300 kg块石,坡度为1:3。由于本研究主要考察植被的消波作用,试验中暂未考虑胸墙结构,因此模型设计时断面的堤顶高程为6.0 m。

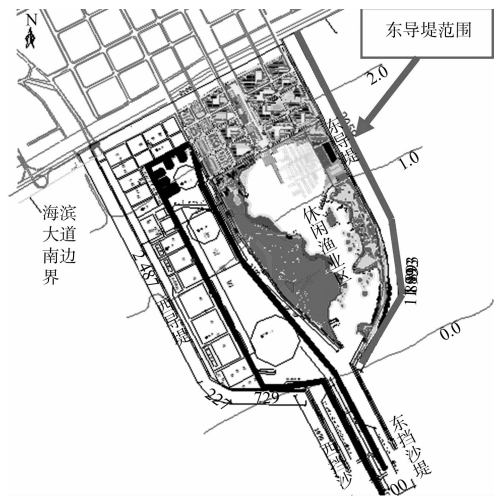


图1 天津中心渔港东导堤范围

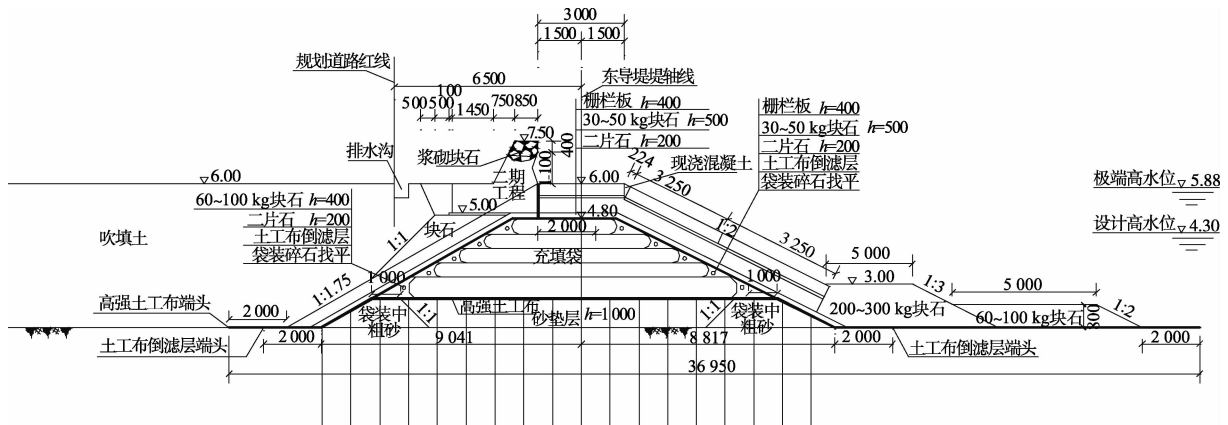


图2 东导堤1.0 m泥面高程初步设计断面

1.2 试验水位

试验中将树木种植在护岸肩台位置时,树木顶端高程为4.3 m(模型树的尺寸和模型设计见2.3节)。为了考察树木淹没一半和全部淹没情况下植被的消波效果,试验水位选取4.3 m和3.65 m,这分别相当于设计高水位(4.30 m)和设计高水位以下0.65 m。

1.3 波浪条件

根据已有研究成果^[12],中心渔港海域常浪向为ENE和E,强浪向为ENE,因此对于东导堤选取ENE向为波浪作用方向。对于护坡植被的消波效果而言,其对较小波浪的消减较为明显,因此选取重现期2 a波浪作为参考,设计高水位重现期2 a的0, 1, 2 m等深线ENE向波浪的 $H_{13\%}$ 分别

为 1.26, 1.20, 1.02 m, 3 m 等深线处破碎波高为 0.78 m。根据该波高范围, 试验断面入射波要素选取有效波高分别为 1.25, 1.0, 0.8, 0.6 m, 平均周期均取 5.6 s, 具体试验组次见表 1。

表 1 试验波要素

编号	水位/m	波浪类型	$H_{13\%}$ /m	\bar{T} /s
1	3.65	不规则波	0.6	5.6
2		不规则波	0.8	5.6
3		不规则波	1.0	5.6
4		不规则波	1.25	5.6
5	4.30	不规则波	0.6	5.6
6		不规则波	0.8	5.6
7		不规则波	1.0	5.6
8		不规则波	1.25	5.6

2 模型设计与制作

2.1 相似准则与模型比尺

模型按重力相似准则设计, 结构断面尺寸按几何相似准则设计, 采用正态模型。根据试验要求, 结合植株尺寸和断面结构尺度, 并考虑试验场地及设备能力, 取模型几何比尺为 10, 亦即波高比尺为 10, 周期比尺为 3.16, 越浪量比尺为 31.62。

2.2 断面制作

试验中严格按照 JTJ/T 234—2001 《波浪模型试验规程》^[13] 的要求进行模型制作。断面模型中各种块石和块体按重力比尺挑选, 质量偏差控制在 $\pm 5\%$ 以内。由于模型试验采用的是淡水, 而实际工程中为海水, 受淡水与海水的密度差影响, 试验中考虑 $\rho_{\text{海水}} = 1.025 \rho_{\text{淡水}}$, 在计算模型质量时考虑了这种影响。

2.3 模型植被

护岸植被为具有一定高度的植株, 根据现场实地调研得到其主要尺寸: 树高 60 ~ 100 cm, 胸径 2 ~ 5 cm, 冠幅 80 ~ 100 cm, 冠高 50 cm。

根据依托工程的结构断面形式和水文条件, 试验中为满足断面水位的要求, 以上述植株外形数据为依据稍作调整, 即: 树高取 130 cm, 胸径 5 cm, 冠幅 100 cm, 冠高 70 cm。对于植株的胸

径, 这里指树干的平均直径。以模型树为例, 植株各部分见图 3。试验中, 护岸植株(树)的模型选择需要综合考虑几何外形相似和力学性能相似。由于原体护岸植株高度取 130 cm, 按照 1:10 的几何比尺, 设定模型树露出地表的高度为 13 cm, 其中冠高 7 cm。对于原体的树木而言, 其枝叶柔性较大, 而树干部分有一定的韧性, 试验中根据树干部分在外力 F 作用下的几何变形 d/l 相似(图 4)条件, 选取合适的材料代替模型树。

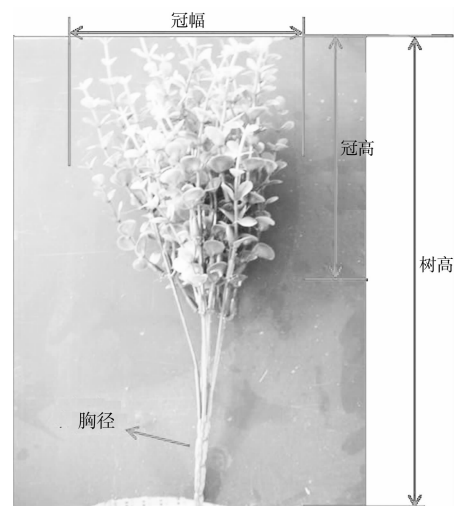


图 3 模型树

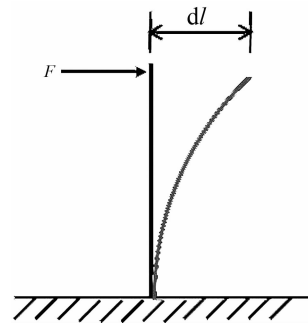


图 4 树干在外力作用下的几何变形

对于植物的株距, 由于在现实中树林的密度有一个不致太疏也不致太密的普遍经验值, 即株距和行距确定为使树之间树冠外沿刚好接触而不刺入对方, 因此株距和行距均取植株冠幅的一半, 即 50 cm, 模型中取株距和行距均为 5 cm。

3 试验设备与方法

3.1 试验设备

试验在交通运输部天津水运工程科学研究所水工试验厅风浪水槽中进行,水槽长 68 m,宽 1.0 m,高 1.5 m。造波机为电机伺服驱动推板吸收式造波机,可以产生规则波与不规则波。

模型高程用水准仪控制;长度用钢尺测量;波高采用波高传感器测量,并通过 SG2000 型动态水位测量系统对波高进行采集分析;水位通过测针测量;试验过程中采用摄像机记录波面过程和爬高、越浪等试验现象。

3.2 试验方法

1) 波浪模拟。试验波浪采用频谱不规则波,频谱采用 JONSWAP 谱(简称 J 谱)模拟。

2) 消浪系数的定义。试验中在植被后布置波高传感器,传感器位于肩台后沿。设该传感器在没有植被时进行试验采集得到的波高(有效波高)为 a_1 ,在有植被时进行试验得到的波高为 a_2 ,则消浪系数 k 可用下式表示:

$$k = \frac{a_1 - a_2}{a_1} \quad (1)$$

3) 越浪量消减系数的定义。试验时,在断面堤顶距离堤顶前沿 1 m(原型值)位置处用接水装置接取越浪水体,通过测量体积得到模型的越浪量。由于在 3.65 m 水位时仅在大浪时有较少的水体产生越浪,因此只比较 4.30 m 水位时越浪量。设无植被方案时的越浪量为 c_1 ,有植被方案时的越浪量为 c_2 ,则定义越浪量的消减系数 m 如下:

$$m = \frac{c_1 - c_2}{c_1} \quad (2)$$

4) 试验组次。在进行无植被试验的基础上,分别进行了植株布置方式的比较、肩台种植排数的比较以及不同淹没水深的比较,具体的试验组次见表 2。

4 试验结果与分析

4.1 植株布置方式的比较

本试验考虑两种植株布置方式,分别是矩形布置和梅花形布置。对于矩形布置即按照成排的

规则布置,而梅花形布置则是将相邻两排间隔布置。模型中植被布置的行距与株距均为 5 cm,因此在宽度为 1 m 的水槽内,矩形布置时每排种树 19 棵,梅花形布置时每排种树 19 棵和 18 棵交替。

表 2 试验组次

编号	布置形式	水位/m	$H_{13\%}$ /m	\bar{T} /s
1	无植被	3.65	0.60	5.6
2			0.80	5.6
3			1.00	5.6
4			1.25	5.6
5			0.60	5.6
6			0.80	5.6
7			1.00	5.6
8			1.25	5.6
9	5排,梅花形	4.30	0.60	5.6
10			0.80	5.6
11			1.00	5.6
12			1.25	5.6
13			0.60	5.6
14			0.80	5.6
15			1.00	5.6
16			1.25	5.6
17	5排,矩形	3.65	0.60	5.6
18			0.80	5.6
19			1.00	5.6
20			1.25	5.6
21			0.60	5.6
22			0.80	5.6
23			1.00	5.6
24			1.25	5.6
25	7排,矩形	4.30	0.60	5.6
26			0.80	5.6
27			1.00	5.6
28			1.25	5.6
29			0.60	5.6
30			0.80	5.6
31			1.00	5.6
32			1.25	5.6
33	3排,矩形	3.65	0.60	5.6
34			0.80	5.6
35			1.00	5.6
36			1.25	5.6
37			0.60	5.6
38			0.80	5.6
39			1.00	5.6
40			1.25	5.6

图5给出了矩形布置方案和梅花形布置方案在不同水深时消浪系数的比较。从图5可以看出,在两种水位条件下,矩形布置方案的消浪系数略大于梅花形布置方案。在3.65 m水位两种布置方案的消浪系数均随入射波高的增大而增大,入射波高为1.25 m时,矩形和梅花形布置方案的消浪系数分别为0.270和0.226;在4.30 m水位两种布置方案的消浪系数随入射波高的增大先增大后减小,入射波高为1.0 m时,两种布置方案的消浪系数最大,分别是0.211(矩形)和0.193(梅花形)。

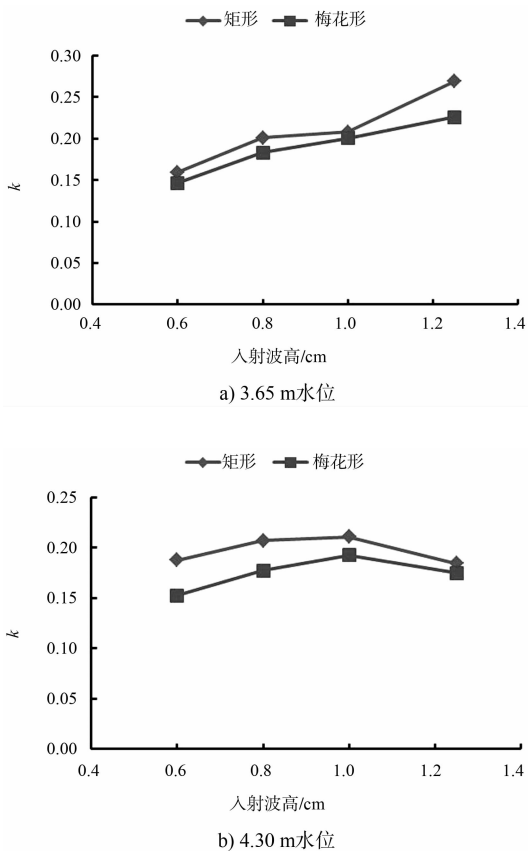


图5 两种布置方式 k 值的比较

图6给出了两种布置方案越浪量消减系数的比较。从图6可以看出,两种布置方案的越浪量消减系数均随入射波高的增大而减小,在入射波高为0.6 m时 m 值最大,分别为0.765(矩形)和0.694(梅花形)。

通过对两种布置方案波高和越浪的分析,表明矩形布置方案的消波效果略好于梅花形布置方案。另外,从图5b)可以看出,在入射波高小

于1.0 m时,植被消波作用较为明显,表现在消浪系数随入射波高的增大而增大;在入射波高大于1.0 m时,波浪消减能力逐渐下降,表现在消浪系数随入射波高的增大而逐渐减小,这说明植被的消波作用只对一定范围内的波浪效果较明显。

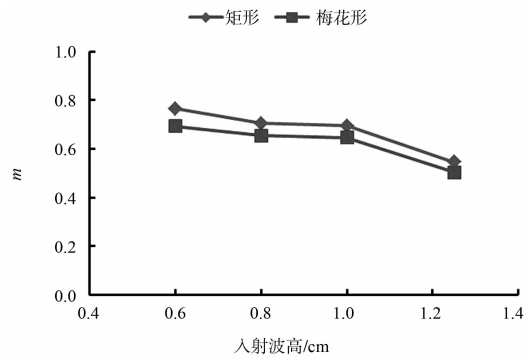
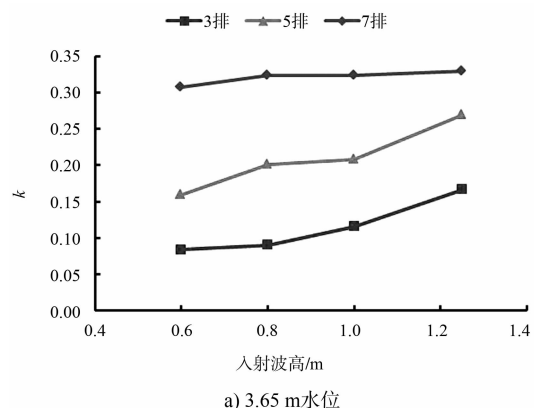


图6 不同植株布置方案 m 值的比较

4.2 植株种植排数的比较

采用矩形布置方案在肩台分别种植3排、5排和7排进行试验,比较不同植株种植排数消波效果,对于种植3排和7排的模型布置即在5排方案的基础上减去两侧各1排和在两侧各增加1排。图9给出了种树3排、5排和7排 k 值的比较。

从图7可以看出,在两种水位条件下, k 值随着种植排数的增加而增大。对于3.65 m水位,不同种植排数的 k 值随入射波高的增大而增大,在入射波高为1.25 m时, k 值分别为0.167(3排),0.270(5排)和0.329(7排);对于4.30 m水位,不同种植排数的 k 值随入射波高的增大先增大后减小,且在入射波高为1.0 m时达到最大,分别为0.120(3排),0.211(5排)和0.265(7排)。



a) 3.65 m 水位

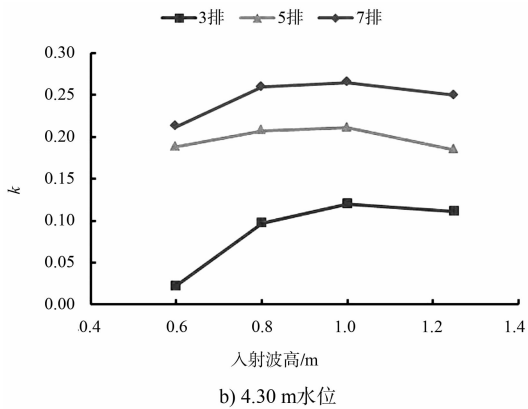


图7 不同种植排数 k 值的比较

图8给出了 m 值的比较。从图8可以看出，随着种植排数的增加， m 值随之增大，且3种方案的 m 值均随入射波高的增大而减小。在入射波高0.6 m时 m 值最大，分别为0.337 (3排)，0.765 (5排) 和0.878 (7排)。

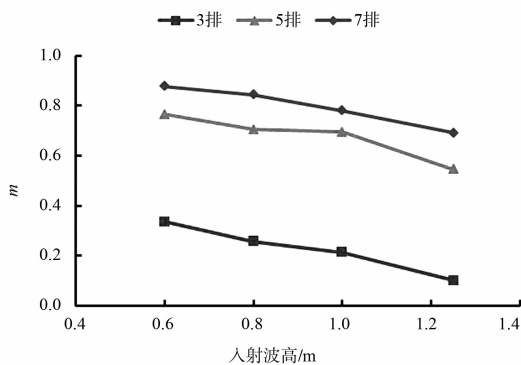


图8 不同植株布置方案 m 值的比较

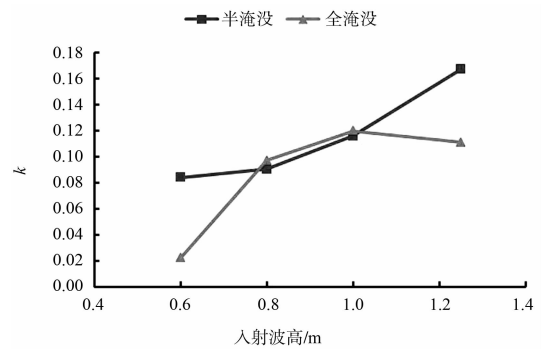
通过对波高和越浪的比较，表明树木种植排数越多，波高消减越大，越浪量消减也越大，这是由于随着种植排数的增加，消波区域越长，波浪的衰减也就越大。

4.3 不同淹没水深消波效果的比较

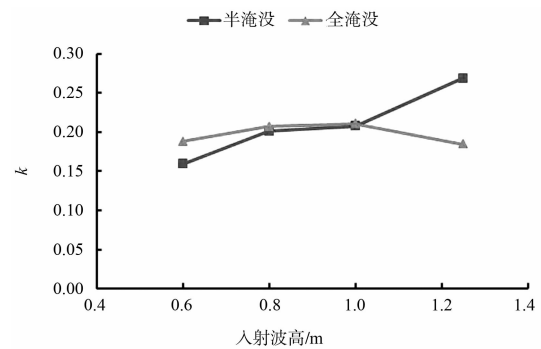
植被的淹没水深分为淹没一半 (3.65 m 水位) 和完全淹没 (4.30 m 水位) 两种情况。图9给出了肩台种植3排、5排和7排时两种淹没状态消浪系数的比较。在比较时，对于不同的淹没状态对应不同的原始波高值。

从图9可以看出，在给定的波高范围内 (0.6~1.25 m)，半淹没情况下 k 值随入射波高的增大而增大，而全淹没情况下 k 值随入射波高的

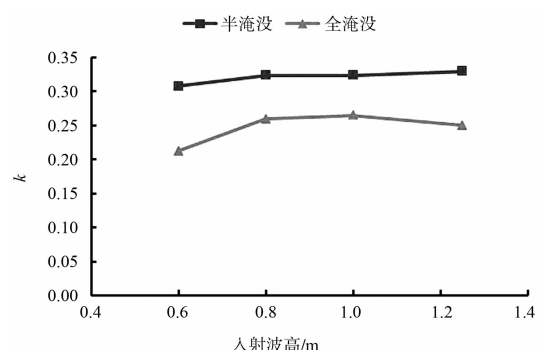
增大先增大后减小。



a) 3排



b) 5排



c) 7排

图9 两种淹没状态下 k 值的比较

对于半淹没状态 (3.65 m 水位)，当波浪行进到植被覆盖区域时，部分波浪穿过树木的枝叶部分，而枝叶的来回摆动起到了很好的消波作用，且随着入射波高的增大，枝叶对波浪的消减作用更加明显 (种树3排和5排情况)；当种树为7排时，由于植被宽度的增加， k 值随入射波高的变化不再明显，此时在入射波高为1.25 m时， k 值最大为0.329。对于全淹没状态 (4.30 m 水位)，由于水位已经没过树顶，当波浪行进到植物覆盖区域时，上部波浪很容易穿过植被覆盖区，且随着

入射波高的增大穿过植被覆盖区的波浪也越多。在入射波高小于 1.0 m 时植被消波能力逐渐增强, 在入射波高大于 1.0 m 时消波能力逐渐减弱, 表现在 k 值随入射波高的增大先增大后减小。当种树为 7 排且入射波高为 1.0 m 时, k 值最大为 0.265。

5 结论

1) 护岸植被对波浪有一定的消减作用, 可减小波浪对护面结构的直接冲击, 并降低越浪量。但是植被的消波效果只对一定范围内的波浪有效, 当入射波高大于某一值时植被的消波效果是逐渐减弱的。

2) 就植被的消波效果而言, 矩形布置方案略好于梅花形布置方案; 树木种植排数越多消波作用越大; 半淹没时的消波效果略好于全淹没状态。

3) 结合天津中心渔港东导堤护岸结构, 肩台种植树木 7 排时, 植被消波效果最好。其中 k 值最大为 0.329 (3.65 m 水位, 入射波高 1.25 m), m 值最大为 0.878 (4.30 m 水位, 入射波高 0.6 m)。

参考文献:

[1] 吉红香, 黄本胜, 邱秀云. 植物消波消浪研究综述[J]. 水利水运工程学报, 2005 (1): 75-78.

- [2] 赵辉, 蔡树伯, 刘金来. 植物护岸工程技术应用研究[J]. 现代农业科技, 2010(17): 248-250.
- [3] 宋连清. 护花米草及其对海岸的防护作用[J]. 东海海洋, 1997(1): 11-19.
- [4] 傅宗甫. 互花米草消浪效果试验研究[J]. 水利水电科技进展, 1997(5): 45-47.
- [5] 白玉川, 杨建民, 胡颀, 等. 植物消浪护岸模型实验研究[J]. 海洋工程, 2005, 23(3): 65-69.
- [6] 黄本胜, 吉红香. 植物护岸对大堤波浪爬高影响试验初探[J]. 水利技术监督, 2005(3): 43-46.
- [7] 吉红香, 黄本胜, 邱秀云, 等. 植物护岸对波压力的影响试验研究[J]. 广东水利水电, 2006(2): 17-19.
- [8] 杨建明. 植物消浪护岸动力机制理论分析与模型试验研究[D]. 天津: 天津大学, 2003.
- [9] 章家昌. 防波林的消波性能[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 1965.
- [10] MeiChiang C, Chan I-Chi, Liu Philip L-F, et al. Long waves through emergent coastal vegetation[J]. J Fluid Mech, 2011, 687: 461-491.
- [11] 刘海源, 迟杰. 天津中心渔港海域工程波浪断面物理模型试验研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2007.
- [12] 张慈珩, 刘针, 高峰, 等. 中心渔港游艇码头泊稳及防护措施研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2011.
- [13] JTJ/T 234—2001 波浪模型试验规程[S].

(本文编辑 武亚庆)

· 消 息 ·

引航安全环境分析与防控措施研究通过专家评审

由宁波市港口管理局、宁波引航站、交通运输部水科院三家单位联合开展的《宁波引航安全环境分析与防控措施研究》课题项目通过专家评审。

课题在充分分析宁波引航现状和外部通航环境的基础上, 结合宁波港域实际, 提出了成立宁波引航监督与安全协调委员会, 建立“宁波引航安全防控协调会议机制”等一系列具有操作性的引航安全防控措施建议, 专家组对课题成果给予高度评价并一致同意通过评审。

(摘编自《中国交通信息网》)