

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2014.04.037

滩海工程中仿生草消浪特性试验研究

孟 强, 吴云云

(吉林省水利水电勘测设计研究院, 吉林 长春 130021)

摘 要: 为了选取最优的仿生草高度和铺设长度,使其更好的应用于滩海海底管线的防护,通过物理模型试验,选取不同的草高、水深、波浪要素和水流速度并测量仿生草前后波高、仿生草内部波浪质点水平速度和仿生草内不同测点的水流速度来分析仿生草的消浪特性和缓流作用的影响规律。试验结果表明:仿生草的消浪特性与草的高度和铺设长度成正比;消浪过程中,波浪作用于仿生草铺设段时,草叶的前后摆动降低了仿生草对海床面的遮蔽效果。仿生草的缓流作用与水深存在一定关系,试验得出在草高为 1.25 m,水深为 4 m 的情况下,仿生草缓流作用最好。

关键词: 仿生草;消浪;缓流;海底管线

中图分类号: TV139.2+5

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2014)04-0185-06

Experimental Study on Wave Absorbing Characteristics of Bionic Grass in Coastal Waters

MENG Qiang, WU Yun-yun

(Jilin Investigation and Design Institute of Water Resources and Hydropower, Changchun, Jilin 130021, China)

Abstract: The purpose of this study is to select the optimum bionic grass height and planting length, so that it can be better applied to protect the sea pipelines in costal waters. Through physical model tests, the influence laws of wave dissipation characteristics and velocity slowing effects of bionic grass were analysed by selecting different grass height, water depth, wave elements and flow velocity. The wave height, wave particle horizontal velocity in the grass and the flow velocity of different points in the grass were measured in the front and at the back of the bionic grass plantation. The test results showed that the wave dissipation characteristics of bionic grass was in proportional to grass height and length. During the wave dissipation process, when the waves struck on the planted bionic grass, the shading effect of the seabed surface was reduced by the swinging of the bionic grass. A certain relationship existed between the flow velocity and water depth. The Experiment results indicate that, the optimum effects of weakening the flow velocity can be achieved when the planted bionic grass height is 1.25 m and water depth is 4 m.

Keywords: bionic grass; effection of weaking velocity of flow; wave absorbing; submarine pipeline

在近海海洋工程中,由于近岸段水浅、潮流波浪条件恶劣使得海底冲刷成为近岸普遍存在的现象。由此造成近岸工程,如:海底管线,近岸建筑物,航道等极易受到冲刷破坏。对海底管线而言冲刷引起的悬空和移位是导致海底管线损坏的主要形式^[1]。例如,平湖油气田 10[#]海底管线岱山近岸段于 2000 年 10 月和 11 月由于受到台风出现冲刷悬空,进而有两处发生疲劳断裂,对油气田生产带来了巨大的损失,并对环境造成严重污染和不良的社会影响^[2]。

传统的防冲刷治理方法中常采用:水下抛石、砂袋堆垒、混凝土沉排垫和支撑防护桩等这几种处理方式,但水下抛石、砂袋堆垒、混凝土沉排垫在实施过程中存在二次冲刷、而且后续维护费用高、增加以后铺设管线电缆的施工难度、无促淤作用等缺点,支撑防护桩在实施过程中存在定位误差大、保护范围小、对小直径且悬空较长的管线投资高、无促淤作用、加快冲刷范围的扩展速度、施工费用高等缺点^[3-4]。

仿生草防护技术是基于海洋仿生学原理而开发

研制的一种海底防冲刷技术^[5-6], 1983 年由英国 SSCS 公司发明制造, 经过多年的不断研究与改进, 已成为一种成熟的技术。仿生草是采用耐海水浸泡、抗长期冲刷的新型高分子材料(聚乙烯和聚丙烯)制成的塑料制品, 通过将其安置并固定于需要防止或控制的海底位置, 当海底水流流经该区域, 利用仿生草的粘滞阻尼作用, 降低海底水流的速度, 减缓海水的冲刷, 同时促进海底泥沙的淤积, 从而达到预防和治理海底冲刷的目的。

目前国内关于仿生草消浪保护滩海海底管线的物理模型试验研究成果较少。陈德春^[7-8]等在波浪水槽中研究了单排和多排人工水草的消浪特性, 试验得出单排水草消浪特性甚差, 在研究水草屏栅的消浪特性时, 采用多排水草进行试验。另外在波浪潮流较为复杂的浅水海域, 波浪掀沙、潮流输沙作用明显, 对海底管线冲刷作用较强, 由此, 为了预防海底管线的冲刷破坏, 开展波浪和水流作用下仿生草消浪、缓流特性的研究就显得尤为重要。

1 试验概况

1.1 试验设备及仪器

本文中研究中, 物理模型试验在波浪水槽中进行, 该水槽可同时产生波浪、水流和风。水槽长 64 m、宽 1.8 m、深 1.8 m, 工作段分割成 0.8 m 和 1.0 m 宽两部分。水槽的一端配有消浪缓坡, 另一端配有推板式不规则波造波机, 由计算机自动控制产生所要求模拟的波浪要素。该系统可根据需要产生规则波和不同谱型的不规则波。为消除水槽试验中波浪的多次反射, 造波板上安装二次反射吸收装置(ARC)。水槽两端设有出流口, 安装有两台双向泵, 可产生不同流速的水流。水槽顶部装有吸风装置, 调节吸风装置的转速产生不同风速的风。

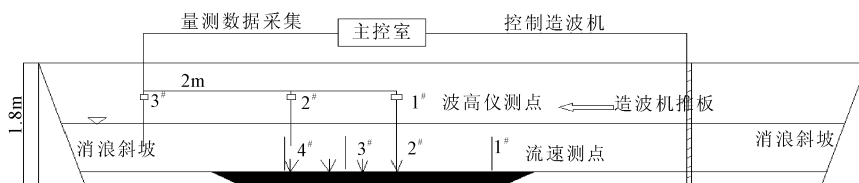


图 1 水槽布置

2 试验结果及分析

2.1 仿生草对波高的影响

仿生草段前后以波高衰减系数 R 表示, $R =$

波高测量采用电阻式波高仪; 流速采用声学多普勒流速仪(ADV)测量。

1.2 模型设计和试验方法

1.2.1 模型设计^[9-10]

本实验采用正态模型进行试验, 遵循《波浪模型试验规程》相关规定, 按照 Froude 数相似律设计, 模型几何比尺取为 1:10(模型比原型)。

1.2.2 波浪和水流模拟

试验采用不规则波, 波谱采用 Jonswap 谱, 模型中的波高、波周期等物理量按重力相似准则确定。水流采用恒定流, 模型中的流速也按重力相似准则确定。

波流共同作用采用恒定流与波浪组合, 试验时先在波浪水池中率定波浪和水流要素, 然后安放仿生草模型, 进行波浪水流作用下的水动力特性试验。

试验所用仿生草间距、草高、铺设长度、水深、波要素及水流流速均以实际工程存在的条件为参照, 按照模型比尺换算得来。仿生草间距 8.4 cm, 高度分别为 12.5 cm 和 6.25 cm, 铺设段长度分别为 1 m 和 2 m。试验模拟中考虑水深 ($H = 0.6$ m, 0.4 m, 0.2 m)、波高 ($H_s = 5$ cm, 7 cm, 10 cm, 12 cm, 15 cm, 17 cm, 20 cm)、周期 ($T_m = 1.5$ s, 1.8 s, 2.0 s, 2.2 s, 2.5 s) 的影响。

试验进行之前将仿生草按照一定的要求(间距 8.4 cm, 保证紧凑, 且疏密度与实际滩海仿生草相吻合, 草高、草段长按照各试验要求设置)铺设在波浪水槽试验段的底部, 并且在仿生草铺设段的两端位置及其后部 2 m 位置处分别布置三根波高仪, 在仿生草段前 1 m、两端及中部位置分别布置四个 ADV 声学多普勒流速仪测点(距底 4 cm), 用于测量仿生草段附近波高和波浪水质点速度(图 1)。

H_{s2}/H_{s1} 。

式中: H_{s1} 为草前波高(1#波高仪测点波高), H_{s2} 为草后波高(2#波高仪测点波高)。

由于仿生草对波浪的阻碍作用, 波高沿程有所

减小。而影响波高衰减的主要因素有:入射波高、水深、仿生草高、草段长度、铺设密度等。试验中,当研究其中某一因素对仿生草消浪的效果时,其他各因素均采用某一定值。

2.1.1 水深对波高衰减影响

试验条件为:草段长度 $L = 1\text{ m}$;草高 $h = 12.5\text{ cm}$;水深 $H = 0.2\text{ m}, 0.4\text{ m}, 0.6\text{ m}$ 。在不同波浪作用下,不同水深时仿生草对波高的沿程影响结果如图 2 所示。

长度为 1 m 时,水深越深,仿生草的消波效果越弱,对波高衰减影响越小;随着水深的减小,受仿生草的阻尼作用影响,消波效果逐渐增强,对波高衰减影响增大。

2.1.2 草段长对波高衰减影响

试验条件为:草段长度 $L = 1\text{ m}, 2\text{ m}$;草高 $h = 12.5\text{ cm}$;水深 $H = 0.2\text{ m}, 0.4\text{ m}, 0.6\text{ m}$ 。在周期 $T_m = 2.0\text{ s}$ 不同波浪作用下,不同水深时草段长度对波高衰减的影响对比如图 3 所示。

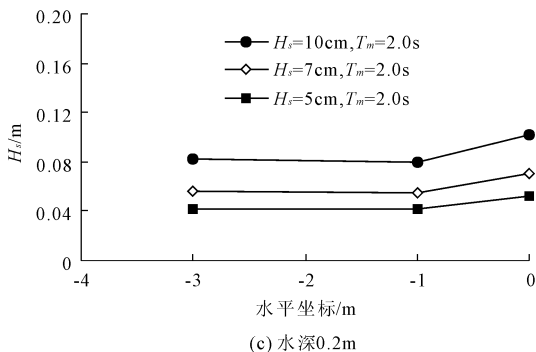
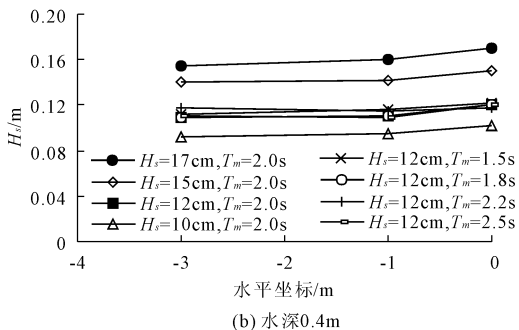
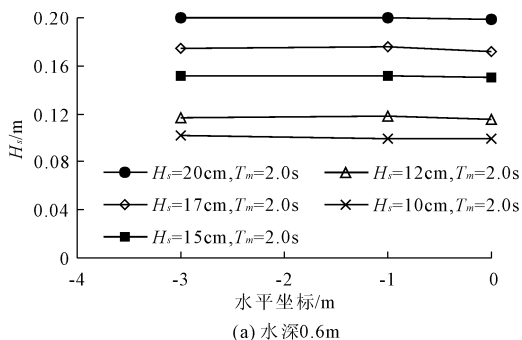


图 2 不同水深时仿生草对波高的沿程影响

由图 2 可见:水深相同时,入射波高的大小对波高衰减影响不大;水深为 0.6 m 时,波高基本处于平稳状态,无衰减;水深为 0.4 m 时,波高衰减系数处于 $0.91 \sim 0.94$ 之间;水深为 0.2 m 时波高衰减系数处于 $0.78 \sim 0.80$ 之间;由于波浪质点运动能量主要集中于水面附近,所以水深越深仿生草对波高衰减影响越不明显。

由此得出结论:对于 12.5 cm 高的仿生草,铺设

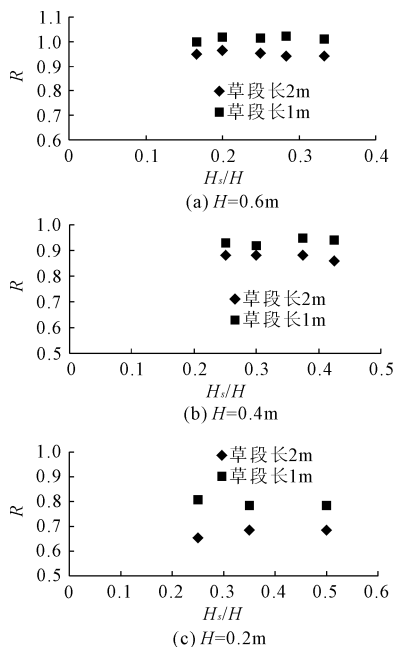


图 3 不同草段长度波高衰减对比

由图 3 可见:水深相同时,仿生草 2 m 草长时的消波作用要明显优于 1 m 草长;草段长 L 由 1 m 增加至 2 m ,水深 $H = 0.6\text{ m}$ 时波高衰减增加了 7% 左右,水深 $H = 0.4\text{ m}$ 时波高衰减增加了 6% 左右,水深 0.2 m 时波高衰减增加了约 10% 左右。

由此得出结论:对于 12.5 cm 高的仿生草,铺设草段长度越长阻尼作用越强,其阻碍波浪传播距离越长,消耗更多波能,对波高衰减越显著,消波效果越好。

2.1.3 草高对波高衰减影响

试验条件为:草段长度 $L = 1\text{ m}$;草高 $h = 12.5\text{ cm}, 6.25\text{ cm}$;水深 $H = 0.2\text{ m}$ 。在周期 $T_m = 2.0\text{ s}$ 不同波浪作用下,不同草高对波高衰减的影响对比如图 4 所示。

草高对波高衰减的影响由图 4 可见: 6.25 cm 高仿生草段后波高明显大于 12.5 cm 高仿生草段后波高值,草高 6.25 cm 时波高衰减系数 R 为 $0.90 \sim 0.91$,草高 12.5 cm 时波高衰减系数 R 为 $0.78 \sim$

0.80, 草高增加一倍, 波高衰减增加了近 11% ~ 12%。由此得出结论: 仿生草高度越高, 其阻尼作用越强, 消波效果越好。

2.2 仿生草段波浪质点速度

滩海工程所处位置一般水深较浅, 在波浪作用下, 近底水质点速度很大程度上影响海床面泥沙的运动, 铺设仿生草之后, 仿生草的阻尼作用会在一定程度上阻碍含沙水体的运动, 减小冲刷。本次试验采用 ADV(声学多普勒流速仪) 测量了仿生草附近

波浪水质点水平方向的速度(测点流速见图 5)。

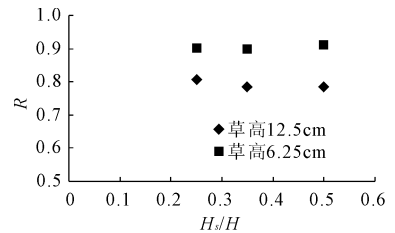


图 4 不同草高波高衰减对比

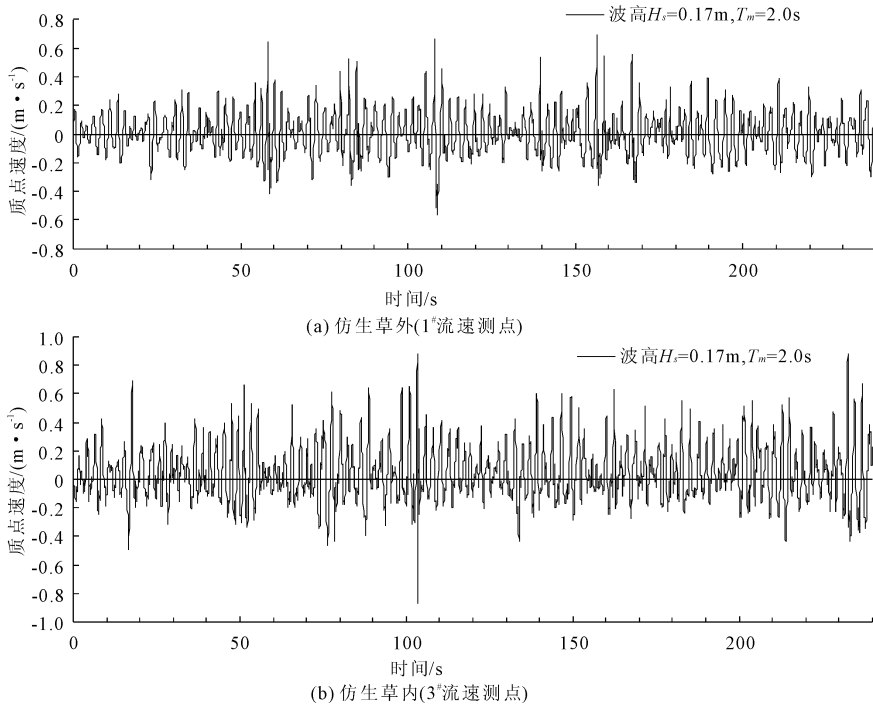


图 5 波浪质点速度随时间变化

图 5 为水深 0.6 m、有效波高 0.17 m、平均周期 2.0 s 时, ADV 测得草内外波浪质点速度随时间变化过程。由图 5 可见: 在此种草的疏密程度一定情况下, 波浪作用下, 仿生草内速度超过 0.5 m/s 的峰值明显多于仿生草段前。

图 6 为不同工况下, ADV 测点波浪近底水平速度有效值($u_{w13\%}$)的沿程变化。由图 6 可见, 仿生草内及后部的近底水平速度有效值($u_{w13\%}$)略大于仿生草前的值。这主要是由于波浪作用下, 柔软度高的仿生草叶片随波浪前后摆动, 难以形成对海底床面的有效保护, 同时, 叶片的摆动也可能增大了底部空隙处水平速度的峰值。这也表明, 仿生草对作用于海床的波浪动力影响较小。根据波浪作用下泥沙输移研究成果^[11-12]可知, 尽管仿生草的影响下局部波浪质点速度增加, 掀起的泥沙含量增加, 但仿生草的存在阻碍底层高含沙水体的运动, 仍然可以减

小冲刷的效果。

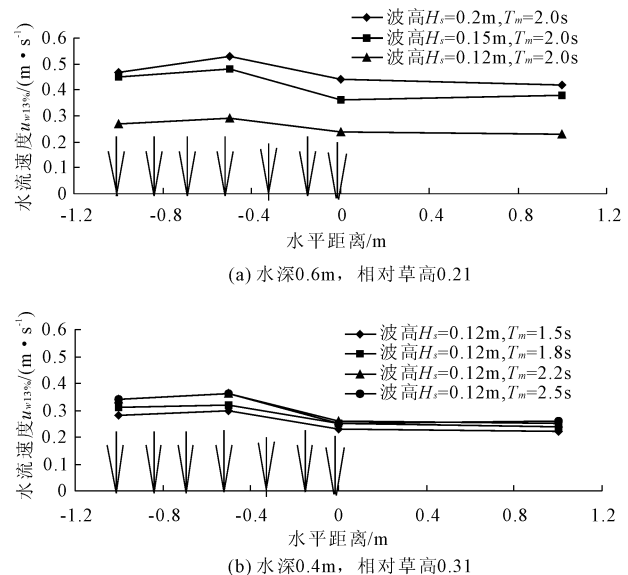


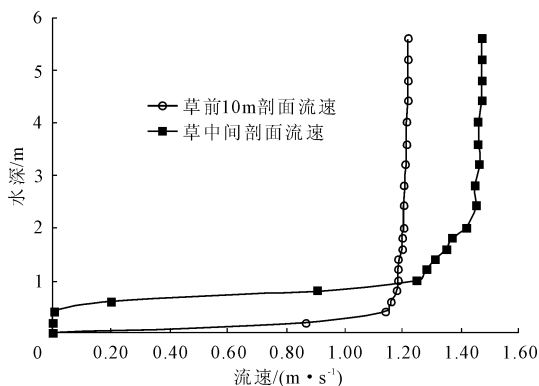
图 6 草内外质点速度

2.3 水流作用试验

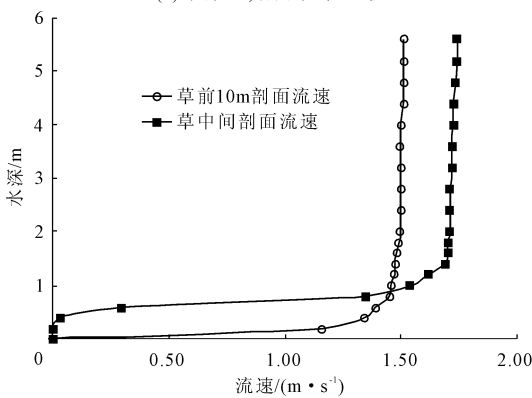
水流作用下,海底仿生草顺水流方向倒伏,倒伏程度随水流流速增大而增强。在水深 6 m、流速 1.5 m/s 条件下,长度 1.25 m 的仿生草倒伏后的高度约 0.7 m;在水深 2 m、流速 1.5 m/s 条件下,长度 1.25 m 的仿生草倒伏后的高度仅有 0.6 m。倒伏后的仿生草叶片覆盖在海床上,形成一个覆盖层。

2.3.1 仿生草上流速垂线分布

仿生草的存在使草内流速减小,同时增大了草外流速,改变了流速沿水深的分布。图 7 为仿生草段内与段外流速垂线分布的比较。(以下各单位换算到原形,模型比尺是 1:10)



(a) 水深6m,断面平均流速1.2m/s



(b) 水深6m,断面平均流速1.5m/s

图 7 仿生草段内与段外流速垂线分布的比较

由图 7 可见,在水流作用下,仿生草倒伏前,草内水深小的地方流速很小水深大的地方流速大,仿生草倒伏后使草内流速减小,与此同时,也使草外流速增大,由于仿生草的存在,流速沿水深的分布图发生了变化。

2.3.2 仿生草前后流速沿线分布

仿生草的缓流作用主要体现在减小水流对仿生草下局部海床的作用,以达到保护海底管线的目的。因此,本次试验测量了不同工况水流作用下仿生草下距海底 0.4 m 和 0.6 m 处的流速。图 8~图 11 为

不同工况下仿生草段前后水流流速沿程变化,图 12 为不同草高仿生草段前后水流流速比较。

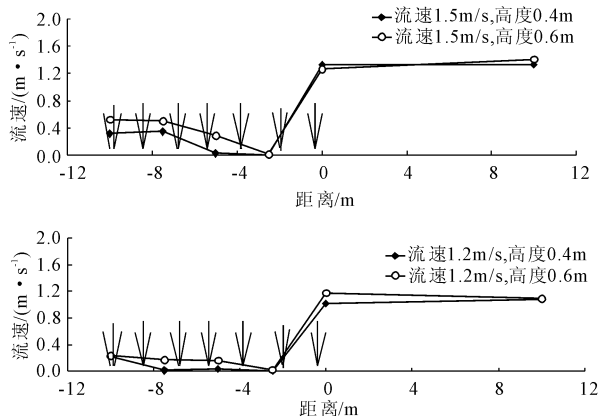


图 8 仿生草段前后水流流速沿程变化
(草高 1.25 m,水深 6 m)

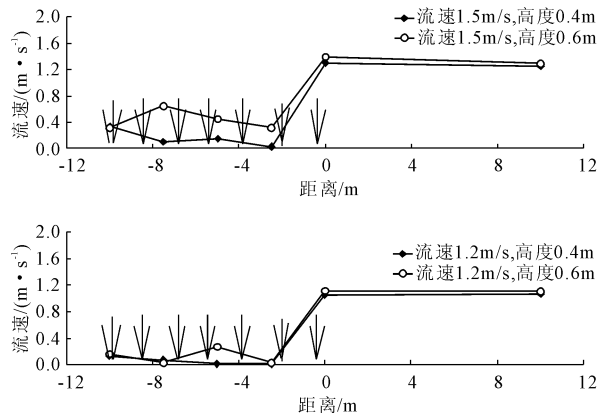


图 9 仿生草段前后水流流速沿程变化
(草高 1.25 m,水深 4 m)

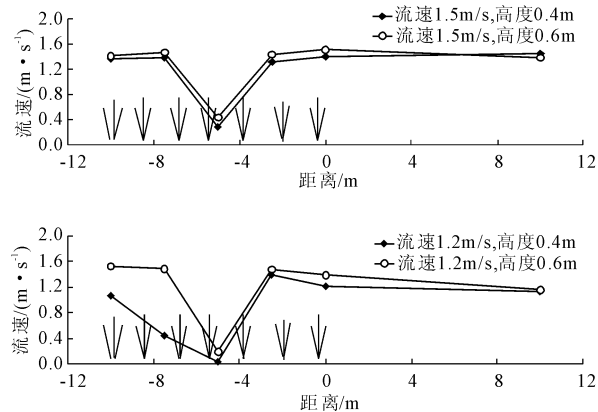


图 10 仿生草段前后水流流速沿程变化
(草高 1.25 m,水深 2 m)

由图 8~图 12 可见:

- (1) 铺设仿生草对减小作用于铺设段海床的水流动力有较好的效果。
- (2) 在水深较大(4 m~6 m)时,仿生草铺设段

内近底流速明显减小。

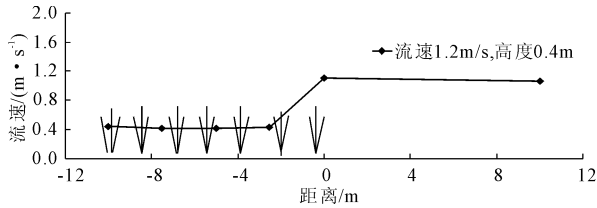


图11 仿生草段前后水流流速沿程变化
(草高0.625 m,水深4 m)

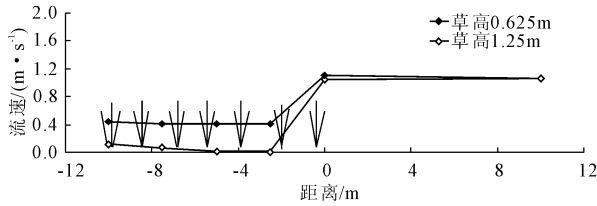


图12 不同草高仿生草段前后水流流速比较
(水流流速1.2 m/s,水深4 m)

(3) 在水深较小(2 m)时,与水深较大情况有所不同,仿生草铺设段内近底流速只有中间点有所减小,大部分区域变化不大,有些位置的草内流速还略大于草外。这主要是由于水深较小时,仿生草的铺设减小了过水断面面积,并且占过水断面面积的比例较大,使得断面流速增大较多,草内的流速也相应增大。

(4) 不同仿生草高度试验结果表明,在水深较深时(4 m),较高仿生草高度的缓流效果较好。

3 结 语

(1) 从试验结果得出:仿生草对波高的影响是非常有限的,当水深0.6 m草高12.5 cm时仿生草对波高几乎没有影响。只有当水深很浅时仿生草波高衰减特性才会体现出来。

(2) 在水流作用下,铺设仿生草对减小作用于铺设段海床的水流动力有较好的效果,在水深较大(4 m~6 m)时,仿生草铺设段内近底流速明显减小。在水深较小(2 m)时,与水深较大情况有所不同,仿生草铺设段内近底流速只有中间点有所减小,大部分区域变化不大,有些位置的草内流速还略大于草外。

(3) 滩海工程所处位置水深较浅,波浪质点运动直接作用至海底,仿生草对水流的遮蔽效果会被

波浪质点的来回摆动所削弱。从能力角度考虑,波浪与仿生草相互作用时,波高降低波能衰减。

(4) 波浪作用下泥沙在近底层形成高含沙底层,尽管在仿生草段处波浪近底速度略有增加,掀起的泥沙含量增大,但同时仿生草存在阻碍底层高含沙水体的运动,仍然可以减小冲刷的效果。

参考文献:

- [1] 梁富浩,张印桐,庄亚锋,等.基于仿生技术防治平湖油气田外输海底管线冲刷的探讨[J].中国海洋平台,2011,26(4):24-28,46.
- [2] 王世圣,谢 彬,曾恒一.3000米深水半潜式钻井平台运动性能研究[J].中国海上油气,2007,19(4):277-280,284.
- [3] Hsieh T. Resistance of cylinder piers in open-channel flow [J]. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 1964, 90 (HY1):161-173.
- [4] Li Ruh-Ming, Shen Hsieh W. Effect of tall vegetations on flow and sediment [J]. Journal of The Hydraulics Division, ASCE, 1973,99(HY5):793-814.
- [5] 王在行,魏 涛,孟祥军.仿生草技术在海底油气管道悬空治理中的应用[C]//第六届中国国际救捞论坛论文集:西安,2010:271-273.
- [6] 刘锦昆,张宗峰.仿生防冲刷系统在埕岛油田中的应用 [J].中国海洋平台,2008,23(6):36-38.
- [7] 周家苞,陈德春.人工水草消浪特性初探[C]//全国第三届土工合成材料学术会议论文选集.天津:天津大学出版社,1992:375-379.
- [8] 陈德春,周家苞.人工水草缓流和消浪研究[J].河海大学学报,1998,26(5):99-103.
- [9] 交通部第一航务工程勘察设计院有限公司.JTS145-2-2013.海港水文规范[S].北京:人民交通出版社,2013.
- [10] 中华人民共和国交通部.JTJ/T234-2001.波浪模型试验规程[S].北京:人民交通出版社,1988.
- [11] Madsen O S, Grant W D. Quantitative description of sediment transport by waves [C]//Coastal Engineering Proceedings, 1976:1093-1112.
- [12] Velasco D, Bateman A, Redondo J M, et al. An open channel flow experimental and theoretical study of resistance and turbulent characterization over flexible vegetated linings [J]. Flow, Turbulence and Combustion, 2003,70(1-4):69-88.