

单排方形多孔鱼礁保滩促淤的试验研究

吴建^{1,2}, 拾兵¹, 范菲菲¹, 陈举¹, 那婧¹

(1. 中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 海军 92854 部队, 广东 湛江 254002)

摘要: 通过断面波浪模型试验, 开展了单排方形多孔鱼礁对波浪的消减效果及其对水质点运动轨迹影响的研究. 结果表明: 人工鱼礁对波浪破碎、波面形态及波高消减有较大影响; 礁后底层水质点水平运动轨迹表现为向岸流速呈余弦分布, 而离岸流速在 0 附近呈现不封闭状态. 从岸滩地形响应可见, 礁体可使礁后一定范围底层泥沙向岸运移, 掩护区域的超饱和悬浮泥沙落淤. 试验研究在一定程度上揭示人工鱼礁保滩促淤机理, 探索了人工鱼礁对波浪的消减规律及岸滩地形的响应, 为利用人工鱼礁进行海滩侵蚀的防护提供了科学依据.

关键词: 海滩侵蚀; 人工鱼礁; 透射系数; 保滩促淤; 波浪试验

中图分类号: P753

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2011)03-0042-06

沙质海岸对沿海城市经济发展起到巨大推动作用. 然而, 随着世纪性海平面上升以及风暴潮发生频率的增多, 面对日益侵蚀的旅游黄金海滩, 采取环境友好、利于海滩资源发挥效益的防冲促淤工程, 已成为近岸工程发展趋势和渔业生态研究的热点问题. 从工程角度而言, 修筑丁坝、顺坝等实体建筑物或建桩柱、抛掷四面六方体、架设铁丝网、抛投柔性浮帘等透水结构, 以及在滩面种植红树林、互花米草等植物都对泥沙防冲淤积起到较好的效果^[1]; 但对以旅游开发为目的的海滩缺乏一定的适用性. 具有与自然礁相似特征的人工鱼礁淹没放置近岸海床, 不仅可作为海洋生物的庇护所、栖息地、食物源及繁殖区, 而且以其独特的流场效应, 较好地削弱掩护区的水动力强度, 减弱波浪挟沙能力, 促使超饱和悬沙落淤, 且通过对水质点水平运动离岸流速的阻减, 防止底层泥沙离岸亏损. 多孔人工鱼礁用作多功能近岸工程措施, 已在加勒比海岸等地有了工程应用, 并取得了较好的防护及生态效果^[2-3], 为了系统认识消浪防冲规律, 本文拟通过对国内已有投放的中空方形多孔鱼礁进行单排礁坝的断面试验研究, 旨在揭示该类人工鱼礁的消浪及阻流规律, 为近岸布置鱼礁群养护岸滩, 开发海滩垂钓、潜泳等功能提供科学依据.

1 理论分析

波浪作用下深水近底水质点运动轨迹为封闭曲线, 底层泥沙向岸和离岸输移总量接近于 0. 随着波浪向岸运动, 波浪浅水作用明显, 底层水质点运动轨迹呈现不封闭的现象. 若向岸速度大而历时短, 离岸速度小而历时长, 则将促使底层较粗的沉积物发生向岸搬运, 较细的泥沙离岸输移, 存在向岸净输沙量, 利于保滩; 反之, 向岸速度小而历时长, 离岸速度较大而历时短, 则将促使底层较粗的沉积物发生离岸搬运, 较细的泥沙向岸运动, 存在离岸净输沙量, 造成近岸侵蚀, 不利于保滩促淤.

波浪单独作用下水体挟沙能力可表示为^[4]

$$S_{*w} = \alpha\beta \frac{\gamma\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} \frac{H^2}{dT\omega} \quad (1)$$

式中: α, β 为系数; γ 和 γ_s 分别为水和泥沙的重度; d 为水深; ω 为流速; H, T 为波高和周期.

收稿日期: 2010-10-05

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2008AA09Z309); 国家自然科学基金资助项目(50879084)

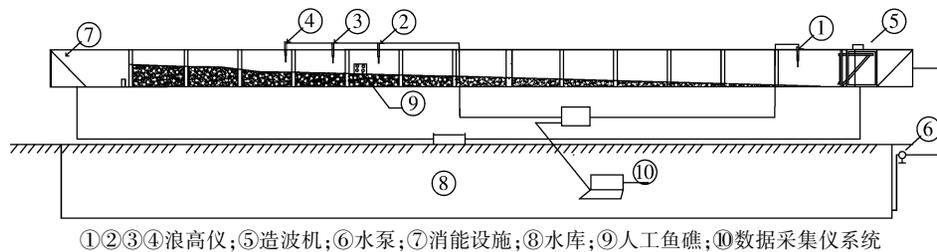
作者简介: 吴建(1983-), 男, 安徽宿州人, 助理工程师, 硕士研究生, 主要从事海滩侵蚀与防护研究.

E-mail: woo-jian@163.com 通信作者: 拾兵(E-mail: sediment@ouc.edu.cn)

从式(1)可见,波浪挟沙能力与波高的平方成正比,若通过构筑物削减相同水深对应的波高,则可形成悬浮泥沙在水体中的超饱和,进而为泥沙落淤提供有利动力环境。

2 物理模型试验设计

波浪物理模型试验采用正态模型且根据重力相似准则设计,试验岸滩剖面为调查选取的典型剖面,在图1中为填充部分,具体参见图8中的初始地形。几何比尺为1:20,模型沙中值粒径约为0.3 mm。试验在长30.0 m,宽0.6 m,深1.0 m的规则波水槽中进行。水槽一端为推板式造波机,另一端为消能设施。人工鱼礁在沙质海区沉降稳定后有效高度大大减小^[5]。为防止鱼礁冲刷沉陷,工程实践中可在底部安装防护垫,在鱼礁各面夯入固定栓(图中为礁体下部白色柱体)防止滑移。单个模型礁体的尺寸为 $a \times b \times c = 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$,中空无底无盖,壁厚为5 mm,每个侧面均有4个相同开孔,孔直径为2 cm。单个及单排鱼礁的立体图如图2所示。



①②③④浪高仪;⑤造波机;⑥水泵;⑦消能设施;⑧水库;⑨人工鱼礁;⑩数据采集仪系统

图1 波浪模型试验布置

Fig. 1 Cross-section of wave flume model

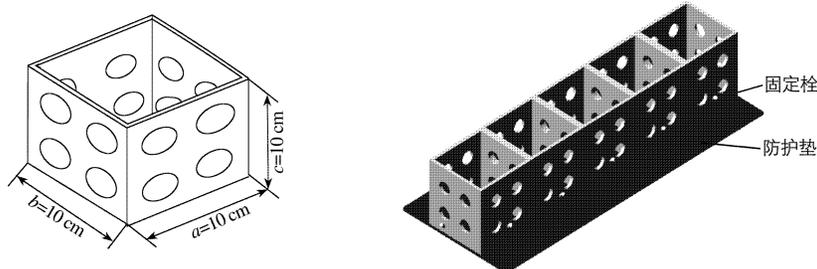


图2 鱼礁单体及单排礁坝布置

Fig. 2 A reef and the configuration of single-row reefs

3 试验结果分析

3.1 波浪透射系数结果分析

将平底上潜堤的透射系数定义为潜堤前后波高的比值,国内外部分学者对各种型式潜堤的透射系数研究较多且给出了经验公式^[2,6-10],但没有考虑波浪在斜坡上传播的非线性影响。陈杰^[11]在研究中以修建潜堤后的堤后波高与修建潜堤前该位置波高的比值为斜坡上潜堤透射系数,从而对斜坡上潜堤消浪效果进行更为实际的评价。冲刷水深附近的波浪因素对岸滩泥沙运动的影响最为重要^[12]。本文借鉴陈杰阐述的斜坡上潜堤透射系数的概念,定义斜坡上多孔人工鱼礁的波浪透射系数为冲刷水深前某处(试验为④浪高仪处)鱼礁放置前后波高的比值,即 $k = H' / H$,其中 H' 为抛填鱼礁后的波高, H 为无鱼礁时该位置的波高。

人工鱼礁对水体的阻减呈上部增强底部减弱的规律,可防止床底泥沙在水流作用下发生离岸亏损^[13]。波浪作用下礁体对波谷时上层水质点离岸流速的增强,将对下一波峰水体向前运动产生碰撞,促使波能耗散,同时礁体自身形状等对波浪的摩阻引起波浪破碎,可进一步消减波能。通过分析可知影响人工鱼礁透射

系数的因素包括:水深 d , 堤顶平均水深 R , 堤顶宽度 B , 鱼礁距离参考岸线($x=0$)的位置 X , 鱼礁渗透性 S , 鱼礁几何形状 J , 入射波高 H_0 和波周期 T 等, 用公式可表示如下:

$$k = H'/H = f(d, R, B, X, S, J, H_0, T) \quad (2)$$

试验中鱼礁的渗透性及鱼礁的几何形状固定不变, 主要考虑入射波高 H_0 , 水深 d 及鱼礁距岸位置 X 对透射系数的影响。

3.1.1 鱼礁相对位置对透射系数的影响 鱼礁放置于岸滩不同的位置, 入射波到达礁体时波浪要素不尽相同, 礁体对波浪产生不同程度的折减, 试验在保持入射波要素($H=14$ cm, $T=1.67$ s)、水深($d=6.75$ cm)、地形等条件不变的情况下, 通过改变鱼礁的位置, 测取鱼礁折减后波高, 进而得到如图 3(a) 所示的透射系数与相对位置的关系, 相对位置用鱼礁到参考点距离 X 与入射波长 L 的比值表示。从图 3(a) 中可以看出, 当鱼礁距参考线位置约为 1.5 倍入射波长时, 鱼礁对波浪的折减效果较好, 其透射系数约为 0.7, 而当鱼礁距岸位置大于 2.8 倍入射波长时, 透射系数大于 1.0, 说明人工鱼礁在此位置不仅不能减弱波能, 相反会汇聚波能, 使波高增加, 对岸滩稳定性造成不利影响。

3.1.2 入射波高对透射系数的影响 因入射波高不同, 地形变化引起的波浪形态的变形也不同, 从而使鱼礁对波浪的消减效果产生影响, 保持入射波周期、水深等条件不变, 得到入射波高与透射系数的关系如图 3(b)。可见透射系数随波高的增大呈现先减小后增大中间有谷值的规律。试验条件下, 鱼礁对 2~3 m 的入射波消减效果较好。

3.1.3 水深对透射系数的影响 水深 d 的不同, 礁体的淹没水深也将随之变化, 而礁体的淹没水深是影响消浪效果的重要因素。同时水位对波浪的浅水变形影响也较大, 可使鱼礁处的波形改变。试验先找出不同水位下同周期时达到同一波高的造波参数, 且保证各水位下波浪都不会在到达鱼礁前破碎, 而后进行不同水位、相同入射波条件下的研究。透射系数随水位变化如图 3(c) 所示, 可见透射系数与水深的关系较为复杂, 且出现透射系数大于 1.00 的情况, 而消浪较好时的透射系数也达到 0.92 左右, 这说明单排鱼礁对非破波的消浪效果不好且可能造成波能汇聚。

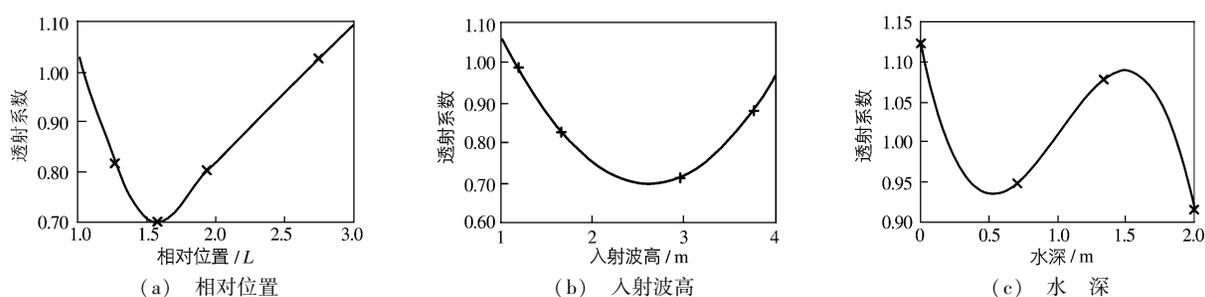


图 3 相对位置、入射波高和水深对透射系数的影响

Fig. 3 The impacts of relative position, incident wave height and water depth on transmission coefficients

3.2 波浪水质点水平运动速度分析

波浪水质点运动轨迹不封闭, 将会产生净输移水流, 而造成泥沙的净输移; 对于底沙而言, 近岸的净向岸输移, 会促使泥沙脱离底床而推向海岸。本文借助声学多普勒流速仪 (ADV) 测量单排鱼礁作用下其前后断面水质点水平速度的分布规律。试验的入射波高 $H_{1/3}=14$ cm, 周期 $T=1.67$ s, 水深 $d=6.75$ cm, 鱼礁放置距岸 1.5 倍入射波长处。

3.2.1 鱼礁前后底层水质点水平运动速度分析 图 4 为礁前后底层水质点水平运动速度。比较礁后 5 倍礁长处与礁前 5 倍礁长处水质点水平运动速度可以发现: 波浪水质点向岸

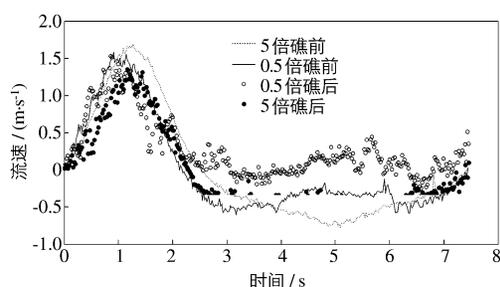


图 4 礁体前后底层水质点水平运动速度

Fig. 4 The horizontal velocity of water particle at the bottom in front and behind the reef

流速(2 s前)历时缩短,且速度降低30%左右,减少礁后底床泥沙冲刷量.0.5倍礁前水质点运动轨迹不封闭明显,向岸流速较大但持续时间较短,而离岸流速较小但持续时间较长;向岸流水体脉动较强,为礁前局部范围泥沙悬浮提供条件.在0.5倍礁后,底层水质点向岸历时最小而历时较长的离岸流速明显减小,基本在0 m/s附近,这是鱼礁后及内部悬浮泥沙沉积的原因.

3.2.2 鱼礁前后上部水质点水平运动速度分析 从图5礁前后顶部水质点水平运动速度可以看出,礁前水质点离岸流速在下一个波峰到来前后,水体紊动剧烈,这对于波能耗散能够起到积极作用;同时在礁后一定范围内,因波浪破碎,波峰时刻水质点流速也出现较短时间的剧烈脉动,进一步削减波能,改变波行进形态,为改善内破波区波浪破碎形态、防止卷破波挟沙离岸运移提供保障.

3.3 岸滩地形响应

3.3.1 人工鱼礁防护下岸滩地形的响应 试验条件与水质点分析的相同,在波浪作用4.5 h后对岸滩地形进行精细测量,结果如图6所示.从图中可以看出人工鱼礁能够有效稳定岸滩地形,坦化滩面.以距岸滩参考线位置60和100 m左右可将地形变化分为3部分.从水边线至60 m左右为波浪上爬及回流区,可以看出泥沙在上爬顶部沉积,60 m左右为破波线附近,水质点运动轨迹的不对称引起的泥沙向岸运动受到沿坡面向下的回流及重力的阻抗,以致所有底床颗粒在此处往复摆动.60~100 m区域也是泥沙沉积区,这与鱼礁消减波浪后,水体挟沙能力下降促使悬浮泥沙沉积有关,波浪水质点随着水深变浅,运动轨迹逐渐改变,在100 m附近为岸滩泥沙运动中立点,没有泥沙的冲淤.100 m以外为波浪刷底区,底层水质点运动轨迹不封闭,促使该区域泥沙向岸运移.

3.3.2 鱼礁布置位置对岸滩地形的影响 试验保持波浪等条件不变仅改变鱼礁位置,量取波浪作用一定时间后的地形变化.从图7可以看出鱼礁位于不同位置时,岸滩地形的2个动态平衡点位置不同,鱼礁位置远离岸线,因堤顶水深较大,鱼礁不仅起不到消浪效果反而会聚集波能,在近岸可形成卷破波,出现深槽沙坝地形.鱼礁距岸1倍入射波长时,滩肩淤积泥沙较多,但容易形成泻湖地形,且出现一定幅度的沙坝-深槽地形.距岸1.5倍入射波长时,滩面坡度变小,且滩肩有适量泥沙淤积,为试验条件下较理想的布置位置.

3.3.3 礁体淹没水深对岸滩地形的影响 试验保持入射波浪、鱼礁位置(距岸1.5倍入射波长处)等条件不变,通过改变水位来研究礁体淹没水深不同对岸滩地形响应的影响.从图8可以看出鱼礁在堤顶水深较小时(小于0.9 m)后方岸滩地形较稳定,而礁体堤顶水深较大时,不仅在距岸40~70 m处出现深槽-沙坝地形,而且滩肩泥沙淤积体较大,出现泻

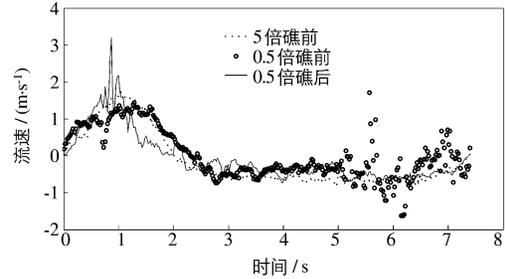


图5 礁体前后顶部水质点水平流速

Fig.5 The horizontal velocity of top water particle at the bottom in front and behind the reef

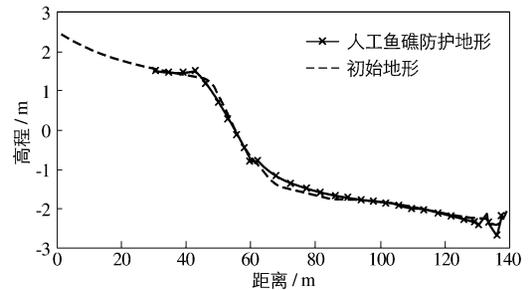


图6 人工鱼礁防护下岸滩地形变化

Fig.6 Shoreline adjustment due to offshore reefs

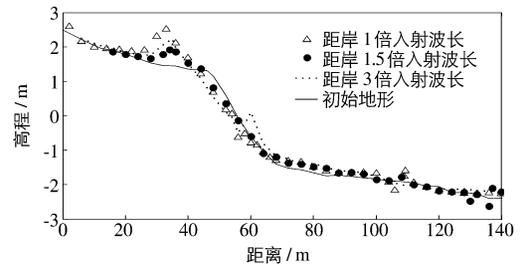


图7 鱼礁位置对岸滩地形的影响

Fig.7 Shoreline adjustment due to offshore reefs located different positions

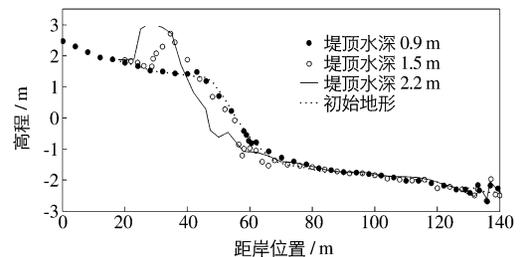


图8 礁体堤顶水深对岸滩地形的影响

Fig.8 Shoreline adjustment due to the crest depth of offshore reefs

湖. 可见人工鱼礁用作海滩防护时,在不影响景观等因素的情况下,应通过小型礁体垒砌、增大礁体尺寸等措施降低鱼礁的堤顶水深.

4 结 语

人工鱼礁抛填近岸海底,通过增强水体顶部离岸流强度与波峰的向岸水体碰撞等起到耗散波能,对波峰水质点运动的摩擦作用降低波高,改变波的行进形态和波浪在近岸的破碎形态,防止波浪卷破造成的泥沙离岸亏损.同时鱼礁使底层水质点运动轨迹不对称增强,使礁后一定区域底层泥沙向岸运移,可防止岸滩泥沙离岸亏损.从岸滩地形变化可见,人工鱼礁对悬浮及底层泥沙沉积于滩面及滩肩起到较好的作用,同时坦化了滩面.对于礁前后区域的刷底现象,可适当采取护底措施;鱼礁抛填位置及礁体淹没水深应根据实际水动力条件确定.

参 考 文 献:

- [1] 李艳红,陈琴琴,喻国良. 海滩泥沙促淤防冲技术研究进展与展望[J]. 海岸工程, 2007, 26(4): 27-34. (LI Yan-hong, CHEN Qin-qin, YU Guo-liang. Advances and prospects in study on siltation promotion and erosion control techniques for beach sediments[J]. Coastal Engineering, 2007, 26(4): 27-34. (in Chinese))
- [2] ARMONO H D. Artificial reefs as shoreline protection structures[R]. Surabaya: Seminar Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan IV, 2004.
- [3] HARRIS L E. Artificial reefs for ecosystem restoration and coastal erosion protection with aquaculture and recreational amenities [J]. Reef Journal, 2009, 1(1): 235-246.
- [4] 窦国仁,董凤舞. 潮流和波浪的挟沙能力[J]. 科学通报, 1995, 40(5): 443-446. (DOU Guo-ren, DONG Feng-wu. Carrying capacity of current and waves[J]. Chinese Science Bulletin, 1995, 40(5): 443-446. (in Chinese))
- [5] 徐洪科. 泥底质海区人工鱼礁的效果[J]. 浙江水产学院学报, 1990, 9(1): 35-42. (XU Hong-ke. Studies on the effectiveness of artificial fish reefs in the sea area with muddy bottom[J]. Journal of Zhejiang Ocean University, 1990, 9(1): 35-42. (in Chinese))
- [6] 谢世楞,蔡艳君. 半圆型潜堤后的波高分析[J]. 港工技术, 1999(4): 1-3. (XIE Shi-leng, CAI Yan-jun. Analysis of wave heights behind a submerged semi-circular breakwater[J]. Port Engineering Technology, 1999(4): 1-3. (in Chinese))
- [7] 薛万东,蒲高军. 飞雁滩油田保滩促淤潜堤的研究[J]. 石油工程建设, 2001, 27(4): 13-16. (XUE Wan-dong, PU Gao-jun. Research for the silt pile-up & earth bank protection in the Feiyan beach oilfield[J]. Petroleum Engineering Construction, 2001, 27(4): 13-16. (in Chinese))
- [8] 张日向,刘圆,蒲高军. 潜堤结构型式及其透射系数研究[J]. 海洋工程, 2003, 21(4): 81-85. (ZHANG Ri-xiang, LIU Yuan, PU Gao-jun. Research on structural types and transmission coefficients of submerged dykes[J]. Ocean Engineering, 2003, 21(4): 81-85. (in Chinese))
- [9] RAMBABU A C, MANI J S. Numerical prediction of performance of submerged breakwaters[J]. Ocean Engineering, 2005 (32): 1235-1246.
- [10] 陈兆林. 不同结构离岸式潜堤消浪效果实验研究[J]. 海岸工程, 2005, 23(2): 2-6. (CHEN Zhao-lin. Experimental study of wave dissipating effect of offshore submerged dikes with different structures[J]. Coastal Engineering, 2005, 23(2): 2-6. (in Chinese))
- [11] 陈杰. 波浪在斜坡上的传播变形及与潜堤的相互作用[D]. 长沙:长沙理工大学, 2008. (CHEN Jie. Study of wave propagation and interactions between wave and submerged breakwater on the sloping bed[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2008. (in Chinese))
- [12] 陈万佳. 港口水工建筑物[M]. 北京:人民交通出版社, 1989. (CHEN Wan-jia. Port hydraulic structures[M]. Beijing: China Communications Press, 1989. (in Chinese))
- [13] 吴建,拾兵,杨立鹏,等. 多孔方形鱼礁对水动力环境影响的试验研究[J]. 海洋湖沼通报, 2011(2): 147-152. (WU Jian, SHI Bing, YANG Li-peng, et al. Experimental study of the hydrodynamics of modeled reefs located within a current[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2011(2): 147-152. (in Chinese))

Experimental study on single-row artificial reefs for beach protection and siltation promotion

WU Jian^{1,2}, SHI Bing¹, FAN Fei-fei¹, CHEN Ju¹, NA Jing¹

(1. College of Civil Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. The Navy 92854, Zhanjiang 524002, China)

Abstract: By using the cross-section wave model, we make studies of some impacts of single-row artificial reefs on wave reduction and trajectory of water particle motion in this paper. Artificial reefs' hydrodynamics features such as breaking wave, reducing incoming wave, as well as current pattern and shoreline adjusting behind the artificial reefs are presented. Results of test data analysis show that the artificial reefs weaken wave carrying sediment capacity substantially, so that sediment may deposit in the lee of artificial reefs. To a certain extent, the artificial reefs can prevent the loss of offshore sediment, as the current pattern of back reefs. The research result will provide a scientific basis for beach protection and siltation promotion projects by using artificial reefs.

Key words: beach erosion; artificial reefs; transmission coefficient; beach protection; wave experiment

本刊更改刊期及征稿启事

《水利水运工程学报》创刊于1979年,是国家水利部主管,南京水利科学研究院主办的学术性科技期刊,国内外公开发行。依托办刊的南京水利科学研究院是我国建院最早的水利水运科学研究机构,同时也是面向国内外的综合性水利科研机构。

办刊30多年来,承蒙主管与主办单位的正确领导、历届编委的关心呵护、以及作者、读者的大力支持,本刊一直被评“全国中文核心期刊”和“中国科技核心期刊”,同时被《中国学术期刊综合评价数据库》、《中国期刊全文数据库》、美国《剑桥科学文摘(自然科学)》等国内外多家数据库和检索机构收录,并作为南京水利科学研究院唯一对(境)外交流的期刊,长期以来一直定期寄发(境)外44家院校和研究机构,积极开展国际学术技术交流,取得了很好的社会效益。

随着本刊影响力的不断扩大和众多作者的积极投稿,现行出版周期已不能满足读者和作者的需求。为了让更多的读者及时了解国内外有关水利水电、水运交通、海洋工程、岩土工程、水文水资源等相关领域的最新研究成果与前沿动态,进一步加强学术和技术交流,2011年8月,报经水利部同意,江苏省新闻出版局审核批准,从2012年起,《水利水运工程学报》的刊期由季刊更改为双月刊。

本刊改为双月刊后,用稿量将会明显增大,热忱欢迎业内专家学者、科技人员和高校师生踊跃投稿,尤其欢迎以下几方面的稿件:(1)能为国家解决与涉水工程有关的重大问题的决策提供科学依据的稿件;(2)反映水利水电水运工程、海洋工程、岩土工程、水文水资源和水环境等领域中重要的基本理论研究成果,特别是最新科技前沿课题研究成果的稿件;(3)探讨涉水工程重大项目技术进展和发展趋势等宏观科学问题的稿件;(4)报道重大涉水工程的规划、可行性研究、设计、科研、施工、监理工作中的新理论、新技术、新方法和新材料方面的稿件;(5)运用多学科理论与方法探讨水利水电、水运交通与海洋、土木工程交叉学科或跨学科实际问题的稿件;(6)思路新颖而且具有推广价值的技术方法和经验总结的稿件。

“长风破浪会有时,直挂云帆济沧海。”感谢您与我们一路走来,真诚期待您与我们一如既往、携手共进,使学报越来越好!

《水利水运工程学报》编辑部

电 话: 025-85829135 传 真: 025-85829130 E-mail: jnhri@nhri.cn

通讯地址: 南京市鼓楼区虎踞关34号 邮 编: 210024