

文章编号:1009-3087(2015)02-0015-06

DOI:10.15961/j.jsuese.2015.02.003

缓坡开槽沙坝海岸裂流特性分析

王彦,邹志利

(大连理工大学 海岸及近海工程国家重点实验室,辽宁 大连 116024)

摘要:为了研究缓坡裂流槽地形叠加波浪的裂流特征,进行了由反射墙反射的交叉波浪叠加形成的沿岸波高周期性变化所产生的裂流实验研究,分析在开裂流槽的缓坡开槽沙坝模型实验地形随机波浪交叉叠加形成的裂流特性。实验中裂流由波浪在垂直岸线的直墙上的反射所形成的2列交叉的波浪生成,交叉波浪由具有等波幅和等频率但入射角相反的2波列叠加产生的。通过对交叉叠加波浪下裂流槽附近范围的波高分布、波浪增减水和ADV流速测量结果分析了缓坡地形开槽沙坝情况下的裂流特性。裂流槽和两侧沙坝位置形成的波浪破碎不同步产生的沿岸平均波面压力梯度是产生裂流的原因。不同周期引起的叠加波浪节腹点位置的变化影响裂流槽中裂流的形态,表明周期和裂流槽共同影响着沟槽中的裂流特性。

关键词:裂流;交叉波浪;沙坝;裂流槽;污染物排放

中图分类号:TV139.2

文献标志码:A

Rip Currents Characteristic on Mild-slope Barred Beach with Rip Channel

WANG Yan,ZOU Zhili

(State Key Lab. of Coastal and Offshore Eng., Dalian Univ. of Technol., Dalian 116024, China)

Abstract:To study the characteristics of rip current by intersecting wave on mild slope barred beach with rip channel,the experiment of rip currents by intersecting random wave on the mild-slope barred beach with rip channel was done. Rip currents resulted from the two intersecting wave trains produced by the reflection of obliquely incident waves on a vertical wall which stands perpendicular to the coastal line. The two intersecting waves were with the same amplitude and frequency, but the opposite angle. The results of the distribution of wave heights, setup and velocity measuring by ADVs near the rip channel were shown to analyze the characteristics of rip currents on barred beaches with rip channel of mild slope. Shoreward of the bars, the alongshore pressure gradients between the bars and channels owing to the stronger breaking on the bars drive feeder currents that converge at the channels and turn offshore as rip currents.

Key words:rip currents; intersecting wave; sand bar; rip channel; pollutant emission

近岸水动力因素对治理和保护沿岸水生态环境起重要作用,主要包括沿岸方向的沿岸流和离岸方向的裂流等所组成的近岸环流。裂流是影响近岸污染物排放重要的动力因素之一,它是近岸水域污染物输移和泥沙运动的主要动力和近岸水体向海排放的主要渠道,对近岸生态环境以及海岸地貌的演变具有十分重要影响。裂流是近岸海岸波浪破碎所导致的一种强而窄的离岸方向的水流。裂流对近岸水体的交换和污染物的输移扩散也有重要作用^[1-2]。Dalrymple等^[3]将裂流模型大致分为2类:波浪相互

作用模型及波浪与结构相互作用模型^[4]。裂流能在风暴时期将大量的泥沙输送到离岸较远的地方,引起岸线的后退^[5]。

目前关于裂流最全面的实验研究来源于在 Delaware 大学海洋工程实验室进行的裂流实验。在1个有沿岸沙坝和2个裂流槽海滩上,Haller等^[6]详细测量了流速、波高以及平均波面。他们发现流场中存在第1和第2的2个环流系统。第1环流是沿岸方向的补偿流转向穿过裂流槽后,一部分越过沙坝回到补偿流中。第2环流系统则是位于沙坝以

收稿日期:2014-06-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50479053;10672034)

作者简介:王彦(1982—),男,博士生。研究方向:海岸水动力。E-mail:ywang0412@163.com

http://jsuese.scu.edu.cn

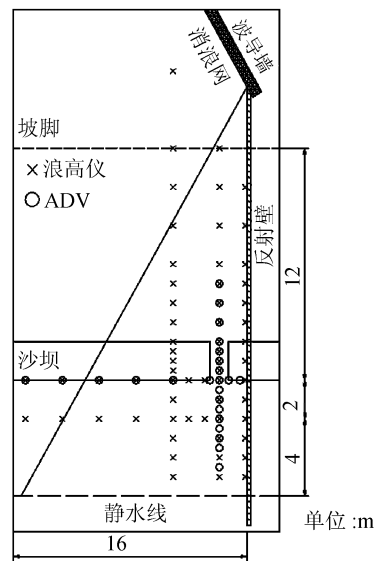


图2 仪器布置图

Fig.2 Layout of instruments

本实验研究内容是斜向入射波在直墙上的反射后的波浪交叉叠加形成沿岸波高周期性变化所产生的裂流,实验中该波幅变化是由入射波和其在垂直岸线的直墙上的反射波的叠加所产生,等波幅和等频率但入射角度相反的2列波叠加。入射波和反射波叠加所形成叠加波如图1阴影区和图3所示。



图3 实验4反射壁附近的波浪叠加

Fig.3 Wave near reflecting wall of test 4

所用的6种波况都为接近实际海岸的不规则波,更符合实际海岸现场实际情况,表1列出了各波况要素,波高为有效波高,涵盖了不同周期和波高,进而可以分析波高和周期对裂流的影响。

表1 实验波况表

Tab.1 Test conditions

实验	波高/cm	周期/s	实验	波高/cm	周期/s
1	1.78	1.5	4	5.24	1.5
2	3.16	1.5	5	5.25	1.0
3	4.08	1.5	6	5.22	2.0

2 裂流场结果分析

裂流的流速分布受沿岸沙坝和裂流槽的影响,当波浪传播到沙坝位置,大部分波浪在沙坝向海一侧发生破碎,在沙坝向岸侧沟槽里又恢复不破碎状态并继续向岸传播,到岸线附近发生二次破碎。当波浪从裂流槽里传播,由于没有沙坝地形突变,大部分波浪会比有沙坝时延迟发生破碎。下文给出了开槽沙坝地形的波高分布、波浪增减水分布和速度场,通过对沙坝和裂流槽的波高和增减水的对比来分析缓坡裂流槽地形的裂流特性;通过对不同波高和不同周期的对比,分析了波高和周期对裂流的影响。图4为开槽沙坝地形波浪交叉叠加后的波高分布图,波高等值线间隔为0.5 cm。图5为开槽沙坝地形的波浪增减水分布及速度场矢量图,波浪增减水等值线间隔为0.05 cm。图4~5中粗实线表示沙坝边线。

由图4可以看出:由于沙坝顶大部分波浪已经发生破碎,而通过裂流槽的波浪破碎延迟于两侧沙坝顶波浪,所以在沙坝向岸侧对应裂流槽区域的波高高于左侧沙坝处波高,形成背离反射墙斜向向岸的波高递减。对于小周期 $T = 1.0\text{ s}$ (实验5),裂流槽向两侧的波高递减。同周期情况下随着波高的增大,沙坝内侧波高差越明显(图4(a)~(d))。

由图5可以看出:在沙坝裂流槽中都有明显的离岸裂流产生,且能延伸到沙坝外侧1 m处,在沙坝沟槽内侧($y = 1.5\text{ m}, x < 6\text{ m}$),存在指向反射墙的较大沿岸流速分量和较小的离岸流速分量,随着波高和周期的增大,会出现向岸的流速分量。在靠近反射墙的沙坝处有向岸的流速,这是因为在靠墙附近属于叠加波浪腹点,波浪增减水较大,存在很大的向岸的质量输移流。在裂流槽范围内,沿着裂流槽离岸方向形成明显的波面增减水递减,使得沿着沟槽离岸方向形成波面压力梯度。在沙坝的向岸侧区域,由于裂流槽两侧沙坝处大部分波浪在沙坝上发生破碎,使得波面增减水高于裂流槽位置而产生指向裂流槽的波面压力梯度,这将驱使补偿流向裂流槽汇集,从而在裂流槽产生离岸方向的裂流。

由图5(a)~(d)($T = 1.0\text{ s}$)可以看出:裂流槽中的离岸裂流峰值集中在沟槽中心,对于小波高波况(图5(a)),裂流槽中的裂流离岸延伸尺度较小,在过沙坝1 m外($x = 9\text{ m}$)的裂流速度值已经很小,这说明裂流的尺度范围受到波高的影响。随着波高的增大,裂流槽中裂流速度也相应增大(图5(b))

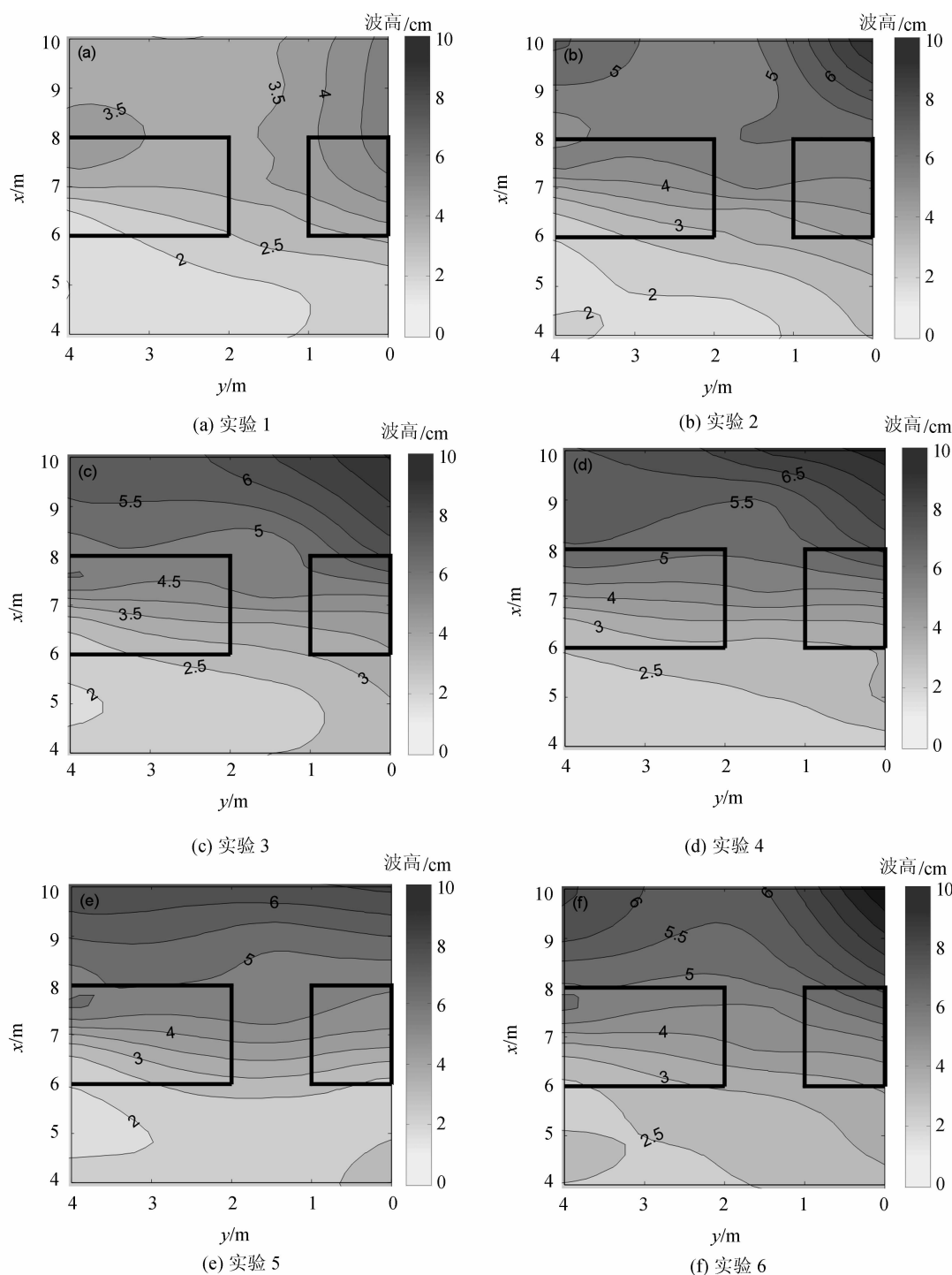


图4 开槽沙坝地形波高分布图

Fig.4 Contours of wave height on barred beach with rip channel

),但是当波高变得更大,则裂流速度就会相应的减小,这是因为当大波浪传播到裂流区域时,由于波浪传播方向与裂流方向相反,波流相互作用使得波浪波高和裂流速度都有所减小,并使得裂流头流速发生弯曲(图5(d))。图5(c)、(e)、(f)是入射波高为5.0 cm的3个周期波况,随着周期的变大,裂流最大峰值也偏移槽中心,在槽中心偏左产生向岸的速度,在 $x = 9$

m位置几乎没有离岸裂流速度,而只有沿岸方向的流速(图5(f))。这是由于随着入射波周期增大,波长也增大,导致沙坝外侧交叉波浪叠加形成的沿岸驻波节点位置发生变化,可由 $x = 8$ m处水深迭代计算得 $T = 1.0, 1.5, 2.0$ s波况下节点位置分别为1.23、1.95、2.61 m。对于 $T = 1.0$ s波况,恰有一节点在沟槽中心附近,由图4(a)~(d)和5(a)~(d)可以看出,

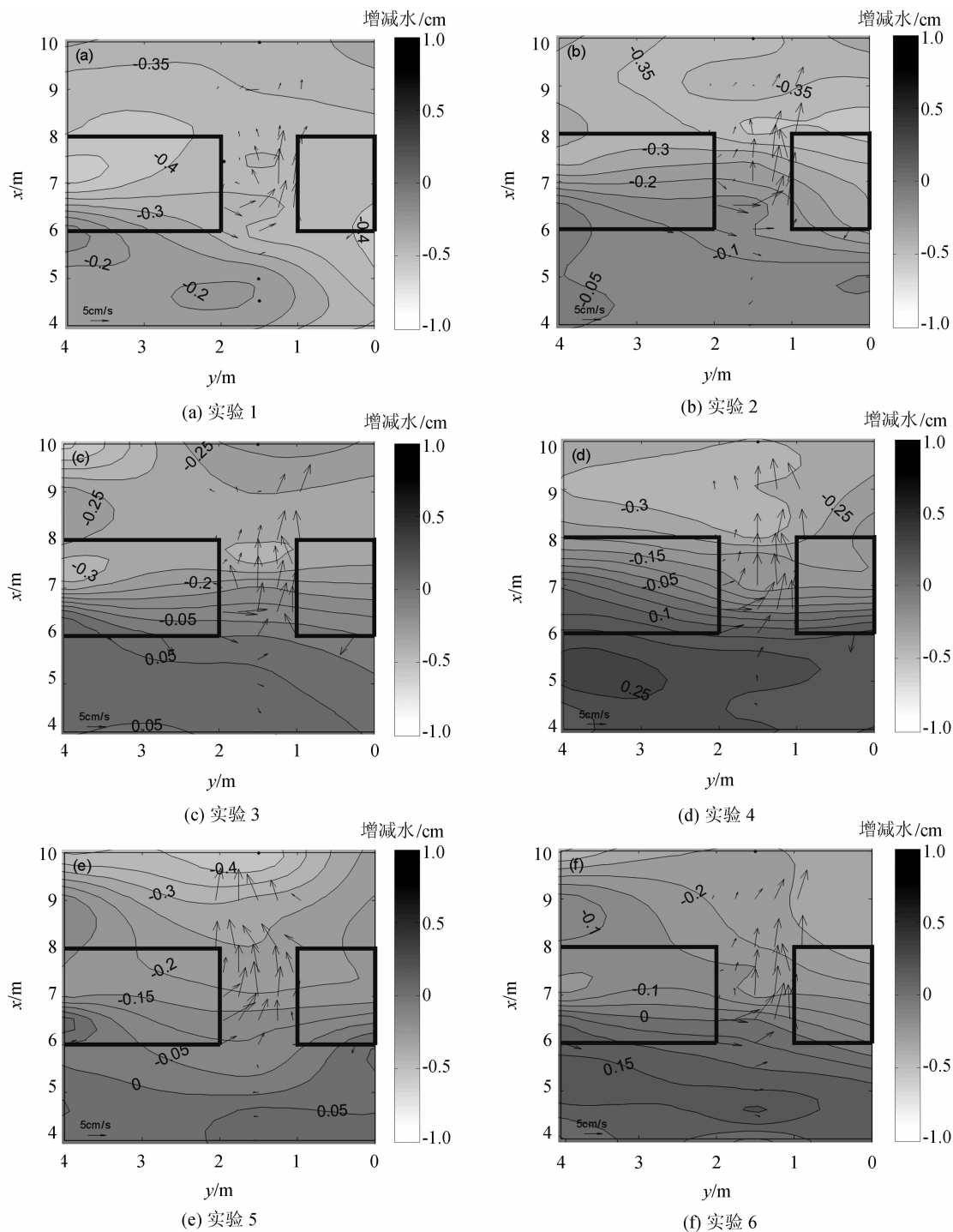


图5 开槽沙坝地形波面等高线及流速矢量图

Fig.5 Contours of MWL with vectors of mean currents on barred beach with rip channel

裂流槽向海外侧波浪叠加波高和波浪增减水都很小,而裂流槽向岸侧波高明显大于两侧沙坝位置,波浪增减水也明显低于两侧沙坝位置,从而形成大的指向沟槽的压力梯度,这有利于裂流槽中产生裂流。对于 $T = 1.5$ s 波况,有一节点但位置靠近沟槽边缘,由图 4(e) 和 5(e) 可以看出,裂流槽向海外侧附近叠加波高和波浪增减水较均匀,而裂流槽向岸侧附近波高仅仅略大于两侧沙坝位置,由波浪增减水形成的指向沟

槽的压力梯度也弱于 $T = 1.0$ s 情况,所以在沟槽里形成的裂流均匀性不如 $T = 1.0$ s 情况。对于 $T = 2.0$ s 波况,在对应于沟槽范围内没有叠加节点,由图 4(f) 和 5(f) 可以看出,裂流槽向海外侧和向岸内侧附近叠加波高都形成背离反射墙的斜向递减而波浪增减水则形成背离反射墙的斜向递增,从而在裂流槽向海外侧附近形成指向反射墙的速度分量,在裂流槽里没有形成均匀的离岸裂流。由此可见:在裂流槽范围

内是否存在节点将影响到裂流槽中裂流的分布。在裂流槽范围内存在节点,就会在裂流槽中产生均匀的离岸裂流;如果没有节点位于裂流槽范围内,在裂流槽中就不会产生均匀的离岸裂流。

3 结 论

通过对缓坡有裂流槽的沿岸平直沙坝模型实验地形下,由反射墙生成的交叉叠加波浪形成的近岸波浪场和速度场来分析裂流槽情况下裂流的特性。结果表明:在交叉叠加波浪情况下,沙坝裂流槽中都有明显的离岸裂流产生,且能延伸到沙坝外侧,在沙坝沟槽的近岸侧,存在指向反射墙的较大沿岸流速分量和较小的离岸流速分量。在靠近反射墙的沙坝处有离岸的流速,这是因为在靠墙附近也存在离岸的波面增减水压力梯度。在沙坝的向岸侧区域,由于裂流槽两侧沙坝处大部分波浪在沙坝上发生破碎,使得波面增减水高于裂流槽位置而产生指向裂流槽的波面压力梯度,这将驱使补偿流向裂流槽汇集,从而在裂流槽产生离岸方向的裂流。裂流会随着入射波高的增大而增大,但当入射波高很大形成很强的离岸裂流,由于波流相互作用,使得波浪波高和裂流速度都有所减小,裂流的速度值小于小波高情况。

参考文献:

- [1] Jin Hong, Zou Zhili, Qiu Dahong, et al. The effects of wave-induced currents on the transport of pollutant outside and inside surf zone[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(6): 144 – 150. [金红, 邹志利, 邱大洪, 等. 波生流对海岸污染物输移的影响[J]. *海洋学报: 中文版*, 2006, 28(6): 144 – 150.]
- [2] Mu Jinbin, Huang Shichang, Lou Haifeng. Study on hydrodynamic environment of the large-scale reclamation projects at the estuary[J]. *Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition*, 2013, 45(1): 61 – 66. [穆锦斌, 黄世昌, 娄海峰. 河口大规模围海工程对周边水动力环境的影响[J]. *四川大学学报: 工程科学版*, 2013, 45(1): 61 – 66.]
- [3] Dalrymple R A, Macmahan J H, Reniers A J H M, et al. Rip currents[J]. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 2011, 43: 551 – 581.
- [4] Wang Yan, Zou Zhili. Progress and prospect of rip currents

- [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2014, 36(5): 170 – 176.
- [王彦, 邹志利. 海岸裂流的研究进展及其展望[J]. *海洋学报: 中文版*, 2014, 36(5): 170 – 176.]
- [5] Zuo Qihua. A review on wave induced nearshore currents and second order long waves[J]. *The Ocean Engineering*, 2003, 21(4): 115 – 122. [左其华. 近岸波浪引起的水流及长波研究进展[J]. *海洋工程*, 2003, 21(4): 115 – 122.]
- [6] Haller M C, Dalrymple R A, Svendsen I A. Experimental study of nearshore dynamics on a barred beach with rip channels[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107(C6): 14.
- [7] Haas K A, Svendsen I A, Haller M C, et al. Quasi-three dimensional modeling of rip current system[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108(C7): 3217.
- [8] Kennedy A B, Thomas D T. Video measurements of a laboratory rip current[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2004, 109(C8): 5.
- [9] Haas K A, Sapp B. Video measurements of large scale flows in a laboratory wave basin[J]. *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering*, 2008, 134(1): 12 – 20.
- [10] Castelle B, Michallet H, Marieu V, et al. Laboratory experiment on rip current circulations over a moveable bed: Drifter measurements[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2010, 115(C12): 8.
- [11] Peng Shi, Zou Zhili. Experimental measurement of rip currents with video-tracked drifters[J]. *Chinese Journal of Hydrodynamics*, 2011, 26(6): 645 – 651. [彭石, 邹志利. 海岸裂流的浮子示踪法实验测量[J]. *水动力学研究与进展*, 2011, 26(6): 645 – 651.]
- [12] Fang Kezhao, Yin Jiwei, Zou Zhili. Experiment study on rip current of barred beach with a single channel[J]. *Chinese Journal of Hydrodynamics*, 2013, 28(3): 363 – 369. [房克照, 尹继伟, 邹志利. 单沟槽沙坝海岸的裂流实验研究[J]. *水动力学研究与进展*, 2013, 28(3): 363 – 369.]

(编辑 张 琼)