

潮流及单向流作用下海底沙波形成和运移试验

王 琮^{1,2}, 孙永福¹, 刘振纹², 周其坤¹, 孙玉欣³

(1. 自然资源部 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2. 中国石油集团 工程技术研究有限公司, 天津 300451;
3. 天津大学 建筑工程学院, 天津 300350)

摘 要: 基于量纲分析理论进行水槽试验,研究了潮流以及单向流作用下海底沙波的形成和发展过程。通过分析海床地形数据,对海底沙波的特征尺度和发展过程进行定量描述,得出了潮流流速、周期、水深以及叠加单向流等因素对沙波特征尺度的影响。结果表明,潮流作用产生的海底地貌由大尺度的沙波和小尺度的沙纹共同组成,大尺度沙波在地貌形态塑造中占主导地位。从平坦海床开始,沙波波高和波长随水流作用逐渐增大,增长速度越来越慢,最终达到动态平衡。沙波特征波高和特征波长随流速和水深增大而增大,同时随往复流周期的增大而增大,并不断趋近于单向水流的情况。进一步对小尺度的沙纹地貌进行分析,得出了沙纹特征尺度随水流条件的变化规律。

关键词: 海底沙波;潮流;发展过程;特征尺度

中图分类号: P737.22

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2020)04-0688-09

doi: 10.3969/j.issn.1671-6647.2020.04.012

引用格式: WANG C, SUN Y F, LIU Z W, et al. Experiment on formation and migration of submarine sandwaves under current conditions[J]. Advances in Marine Science, 2020, 38(4): 688-696. 王琮, 孙永福, 刘振纹, 等. 潮流及单向流作用下海底沙波形成和运移试验[J]. 海洋科学进展, 2020, 38(4): 688-696.

海底沙波是在陆架海域的一种较为规则的起伏地貌形态,尤其在潮流水动力作用明显的海域较为常见。海底沙波在潮流、波浪等各种因素的共同作用下形成并不断演化,波长一般为几十米甚至上百米,同时具有显著的活动性。此种尺度海底沙波的运移对海洋工程有重要影响:造成海底管道的悬空或掩埋,钻井平台基础的裸露甚至倾斜、海底光缆的断裂等重大危害^[1]。因此,研究海底沙波的发育、演化和运动规律,可对影响工程的海底沙波有更清楚的认识,对提高海洋工程建设中灾害预测能力有重要意义。

以往对海底沙波的研究主要基于现场实地测量和数值模拟研究,通过比较历次的测量结果,分析研究沙波活动方向和运移速率^[2-4]。但现场观测研究的缺点是耗费大量的人力物力,而且调查时间受气象条件和海况的制约,且测量间隔通常较长,无法实现对沙波的实时监测。目前数值模拟计算多是基于稳定性分析模型,对潮流作用下沙波的特征尺度和基本活动规律进行定性的分析,且限于理想形态的沙波^[5-9]。此外近年来,三维数值模型可模拟海底沙波的发展过程^[10-11]。模型试验是研究海底沙波的重要发展方向,通过模型试验可直观地得到潮流作用下海底沙波形成的特征尺度与水动力条件的关系以及沙波活动的基本规律,同时对其流动机理进行分析^[12-13]。沙波物理模型试验是从研究河床沙波演变开始的。在河水流动作用下,规则的沙波地形形成,有研究通过沙床上的单向流模拟了沙波的形成过程^[9]。对于不同的形成条件和控制因

收稿日期: 2019-03-21

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目——海底沙波形成机理及对管线影响研究(2017Q04);国家自然科学基金项目——南海北部外陆架海底沙波迁移特征及其动力机制研究(41806079);青岛市博士后应用研究项目

作者简介: 王 琮(1978-),男,高级工程师,博士,主要从事海底沙波运移与海底管道相互作用方面研究。

E-mail: wangcong1021@cnpc.com.cn

(陈 靖 编辑)

素,需要对沙波和沙纹分别进行研究^[14]。白玉川等^[15]在理论分析的基础上提出,沙波的形成和发展是由明渠层流不稳定性或河床表面附近的波动引起的。当靠近河床底部的扰动或由结构引起的河床底部剪应力大于希尔兹剪应力时,河床即产生响应,开始形成沙波。有研究表明泥沙粒径与水深之比越小,流速或弗劳德数值(Fr)越大,沙波的波长越长^[16]。潮流作用下沙波的生长速率随时间先增大后减小,且波高和波长随余流增大而增大^[17]。此外,还可以利用缩尺的水槽试验为沙波数值模型的建立提供验证,进而用于海洋尺度沙波的模拟和预测。目前多是对波浪作用下的沙波或沙纹形成的研究,对于潮流的模拟计算相对较少。

本文采用模型试验的方法研究潮流作用下沙波的形成和运移,试验水流分为单向流和往复流。基于量纲分析理论和水槽模型试验,对潮流作用下的海底沙波形成过程进行研究,重点开展水流参数(水深、流速、往复周期等)对沙波特征尺度及生长速度的影响进行分析,对真实环境下的海底沙波活动进行模拟和预测,并进一步研究小尺度沙纹随水流参数变化的基本规律。

1 相似理论分析与试验布置

由于沙波的走向通常垂直于水流主方向,根据前人的经验,可将海底沙波的形成和运移简化成二维问题来研究。潮流作用下海底沙波运动的主要影响因素包括水深(H)、水流流速(U_c)、往复流周期(T_c);描述海床特征的参量包括沙波特征波高(h_s)、特征波长(l_s)及沙纹特征波高(h_w)、特征波长(l_w);基于量纲分析,在潮流作用下海底沙波形成和运移研究中主要无量纲控制参量为 Shields 数(θ)、Froude 数(F_r)、沙波的波陡参数(η/λ)、波高与水深比值(η/H)、水质点的轨迹与沙波波长的比值(a/λ)以及泥沙颗粒的雷诺数($Re_s = U_{wc}D_{50}/\nu$)等。

本项目试验系统可自主完成供水、供沙、测控等多项试验任务。水槽试验系统其结构组成包括水槽主体及测量系统两部分,其中水槽部分为主体结构(图 1),测量系统用于水槽试验数据的采集和处理。试验水槽长 52 m,宽 1 m,深 1.5 m。水槽右端为消能区,左端配有可移动推板式造波机,由计算机自动控制产生所要求模拟的波浪要素,该造波系统可根据需要产生规则波或不同谱型的不规则波。采用直流电动机造流,可以根据需要产生单向流和往复流,水槽造流系统可生成流速最大 0.6 m/s,周期最大 1.0 h 的往复流。试验中在水槽底部设置一个两端带有缓坡的沙坑,沙坑长 30 m,深 0.2 m,两端的缓坡坡比为 1:10,将沙坑的顶面与水槽底面缓慢过渡连接。在沙坑内部铺设中有值粒径为 $d_{50} = 0.26$ mm 的沙样模拟海床变化。

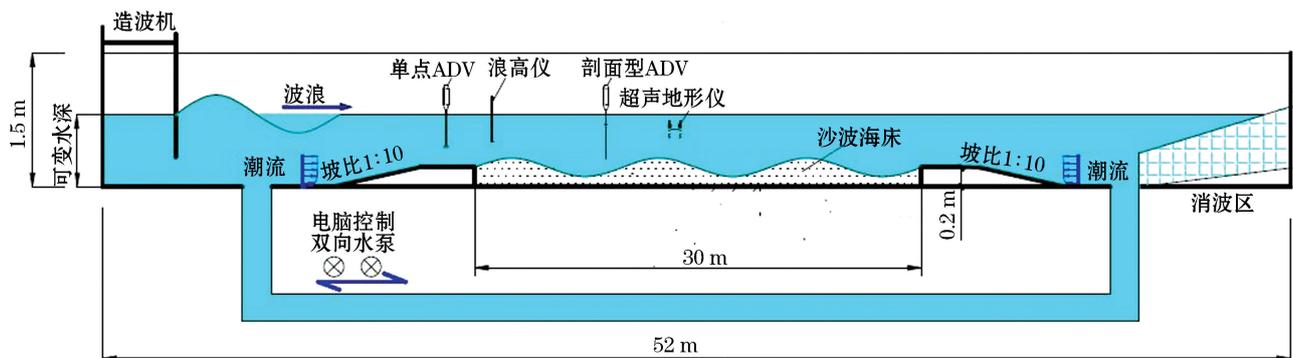


图 1 沙波试验水槽布置

Fig.1 Sketch of experimental setup for sand waves in flume

本试验采用挪威 Nortek AS 公司生产的“小威龙”剖面流速仪(Vectrino Profiler)进行模型流速测量,测量点距底面 5 cm,位于沙坑中部位置,采样频率为 100 Hz。海床地形采用超声地形测量仪结合水槽侧壁图像分析得到。为使床面地形得到充分发展,每组试验持续时间约为 10 h。在试验过程中,每隔一段时间对海床地形进行扫描,记录沙波发展过程。

本次试验共设置 14 组工况,水深为 0.10 和 0.15 m 两种。单向流工况 4 组,流速分别为 0.5 和 0.6 m/s。往复流工况包括 10 组,流速分别为 0.4,0.5 和 0.6 m/s,往复周期范围为 250~900 s。各工况具体参数设置见表 1。

表 1 潮流作用下水槽模型试验参数及结果

Table 1 Testing conditions and results for the flume experiments under currents

潮流类型	工 况	水深 H/cm	流速 $U/$ ($m \cdot s^{-1}$)	周期 T/s	初始床面	沙波波高 h_s/cm	沙波波长 l_s/cm	沙纹波高 h_r/cm	沙纹波长 l_r/cm
单向流	1	15	0.5	0	平床	3.3	85.6	2.2	31.3
	2	15	0.6	0	平床	3.8	99.0	2.3	33.1
	3	10	0.5	0	平床	2.9	78.2	2.0	28.0
	4	10	0.6	0	平床	3.4	95.9	1.9	30.8
往复流	5	15	0.5	300	续 1	2.9	64.6	1.9	22.0
	6	15	0.6	300	续 2	3.5	83.7	1.9	31.1
	7	10	0.5	600	续 3	2.4	74.0	1.7	23.7
	8	15	0.6	600	平床	4.0	102.4	2.4	33.0
	9	10	0.5	900	平床	2.8	76.0	2.1	30.9
	10	15	0.5	250	平床	2.4	58.2	1.9	18.8
	11	15	0.4	300	平床	2.1	60.0	1.7	17.7
	12	15	0.5	300	平床	2.7	69.4	1.8	20.5
	13	15	0.6	300	平床	3.3	81.0	1.8	25.3
	14	15	0.5	400	平床	3.5	76.4	2.1	25.1

2 结果与讨论

2.1 潮流与单向流作用下沙波形成过程与形态特征

由于以往研究中对于沙波的模拟都是基于单向流情况进行的,本研究首先对潮流与单向流作用下的海底沙波形成过程进行模拟计算以分析 2 种流动条件下床面形态的区别。图 2 为水深 15 cm、流速为 0.6 m/s 时, $t=30,60,100,200,300$ 和 500 min 的海床变化过程。为减小沙坑两侧端部效应的影响,研究选取中段 16 m 长的区域作为研究对象进行分析。水流作用在平坦的海床上,经过一段时间水的持续流动,床面泥沙起动的数量逐渐增加,床面部分区段地形开始出现小尺度的波浪形态的变化,即沙纹地貌。本实验中沙纹地貌最初是由海床地形的两端开始出现,而在海床中间部位还是处于比较平整的状态(图 2a)。随着水流进一步作用,沙纹逐渐增多和生长,从最开始出现的部位向其他位置传播,此时整个床面都出现了较小尺度的沙纹地貌(图 2b)。随后小尺度地形发展,各个区段连接起来,变成大尺度沙波地貌(图 2c)。随着时间的推移,沙波波高和波长逐渐增大,在 300 min 左右趋于稳定(图 2e)。在最后的床面地貌上,存在着不同尺寸的沙波地形共同存在的状态,即在较大尺度的沙波起伏的床面上分布着较小尺度的沙纹地貌,床面达到一种动态平衡的状态。

图 3 中为往复流条件下海床由平整状态开始逐渐发展的过程,其中流速最大值为 0.6 m/s,往复周期为 $t=300$ s。与单向流作用情况相似,床面最初出现一些较小尺度的沙纹。如图 3a 所示,在海床的中间和右端最先出现一些波浪状的地形,随后逐渐向周围扩展,并且起伏高度逐渐增大。随后较小的地形连接融合形

成较大尺度的波浪状地形,并最后趋于动态稳定。对比观察图 2 和图 3 可知,在单向流作用下,海床的地形呈现迎流面坡度较缓,而背流面较陡的非对称形态,这主要由于在水流作用下,沙波迎水面泥沙或滚动或跳跃向下游移动,经过沙波波峰后,背水面水流作用减小,泥沙颗粒发生沉积,造成沙波迎水面缓而长,背水面陡而短的形态特征。而在往复流作用下形成的海床地形基本接近于对称状态,主要是由于水流的往复作用,泥沙颗粒的输运呈周期性往复,在地形隆起的两侧的输运和堆积基本接近,从而形成比较对称的地形状态。相比较而言,往复流作用下的海床沙波地形的特征尺度要比相同流速小的单向流的特征尺度相对较小。

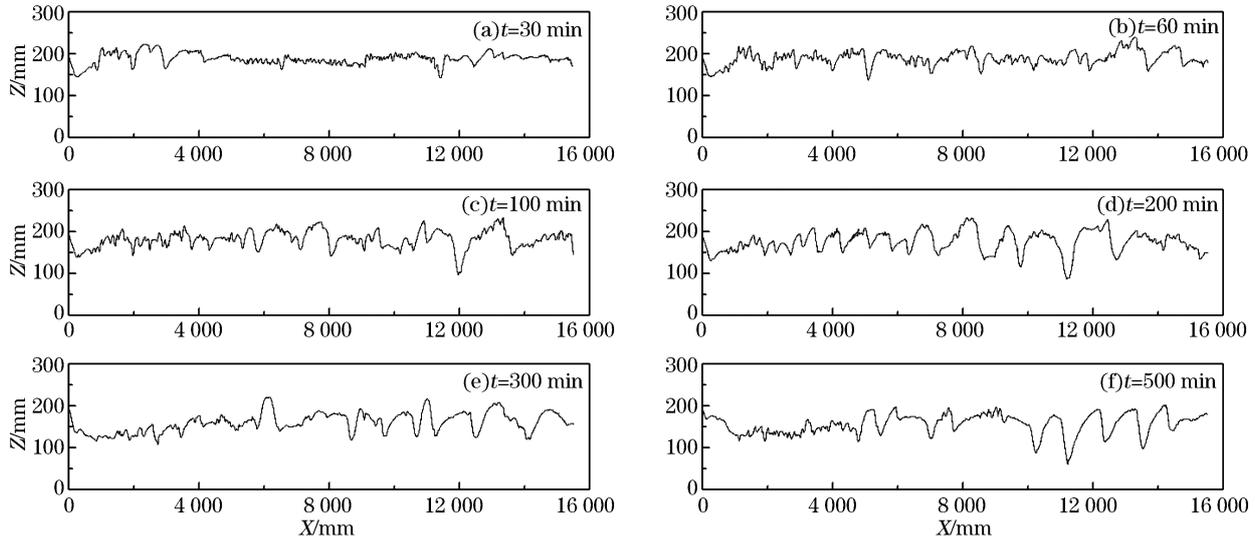


图 2 单向流作用下沙波形成过程

Fig.2 Development of sand waves under steady flows

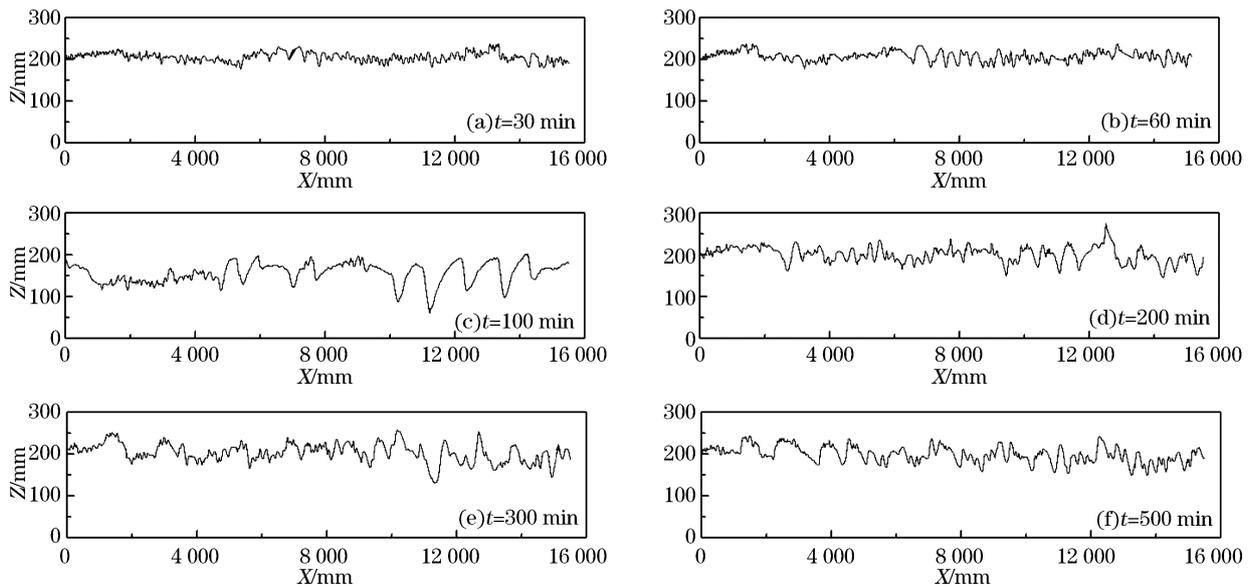


图 3 往复流下海底沙波形成过程

Fig.3 Development of sand waves under periodic flows

为了更清楚地认识大尺度沙波形态以及对海床地貌进行分析,现选取水槽沙床距左端 4~16 m 的 12 m 长度沙波地形数据,将实测数据进行拟合得到大尺度沙波地形的特征数据,同时将小尺度的沙纹进行分离。

图 4 所示为两个不同流速的往复流工况数据拟合后的海床沙波地形曲线,从中可以直观地看出海床大尺度沙波地貌形态随时间的变化。进一步利用原始地形数据和拟合的沙波地形数据进行比较,可以得到小尺度的沙纹地貌的数据,以便于对其进行统计分析。通过对上述地形尺度的计算,即可得到不同尺度地形的特征参数,包括沙波、沙纹的波高和波长等。

此外,试验中还在单向流作用后得到的海床地形基础上,继续施加相同最大流速的往复流,观察海床地形的变化。结果表明:原本单向流作用下处于动态平衡的沙波地形的波高和波长相较于单向流作用下的地形都有所减小,并最终趋于平床往复流作用下形成的海床地形尺度。

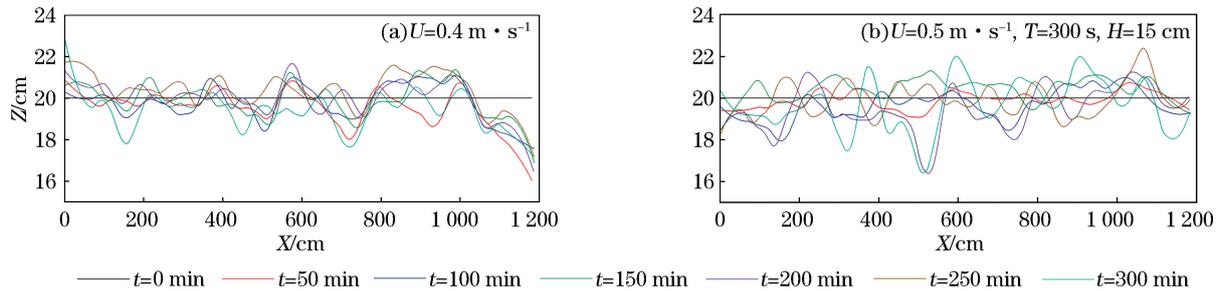


图 4 往复流作用下海床地形数据拟合结果

Fig.4 Fitting results of the seabed relief for periodic flows

2.2 流场参数对沙波特征尺度影响分析

对不同流速往复流作用下沙波发展过程进行分析。图 5 所示为 0.4 和 0.5 m/s 流速下沙波特征波高随时间的发展过程。在水流作用开始阶段,沙波波高的发展速度较快,随着作用时间的持续,沙波发展速度逐渐减缓并于约 300 min 后趋于稳定。此时大沙波在水流的作用下会逐渐分成几个小沙波,然后小沙波再发展融合形成大沙波,如此循环下去,呈现出动态平衡的状态。沙波的波长的变化过程与波高的变化过程基本相同。

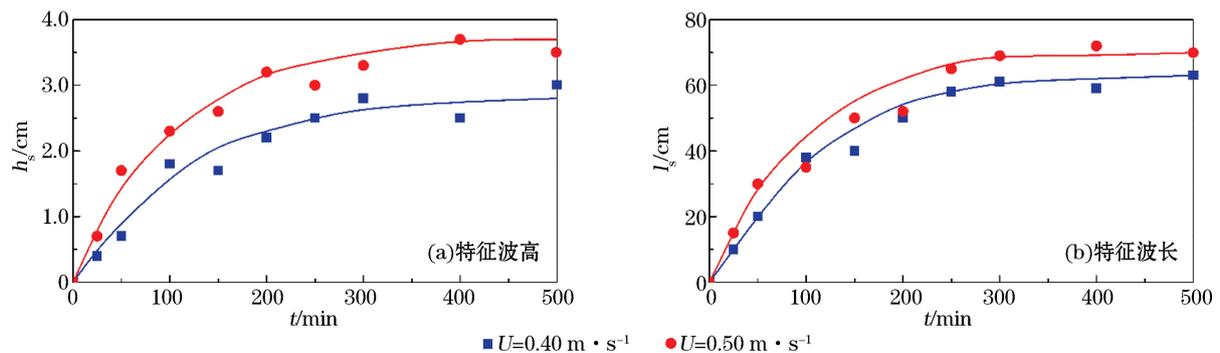


图 5 沙波特征尺度随时间的变化过程

Fig.5 Variations of characteristic sizes of sand waves over time

进一步对沙波的特征尺度,包括特征波高(h_s)和特征波长(l_s)随控制因素的变化进行分析。对经过拟合处理后的沙波地形进行统计分析得到其平均波长和波高,将它们作为特征波长和特征波高进行分析研究。图 6a 所示为海床沙波地形特征波长随流速的变化。研究中考虑了往复流以及单向流的作用,结果表明:对于单向流和往复流,均随着流速的增加海床沙波特征波长逐渐增大。这是由于较大的流速下更多的泥沙起动,床面泥沙输运率增大,泥沙颗粒输运距离较长所致。相同流速大小下,单向流形成的沙波地形要大于往复流作用的结果。此外,水深对海床沙波地形的特征尺度也有影响。相同流速条件下,沙波特征波长随着水

深的减小而减小。这是由于较小的水深,流场形成的垂向环流结果的尺寸也较小,而垂向环流结果是形成海底沙波的主要水动力原因。图 6b 中海底沙波特征波高随流速的变化趋势与特征波长相同,及随着流速的增加特征波高增加,随着水深的减小其特征波高也随之减小。

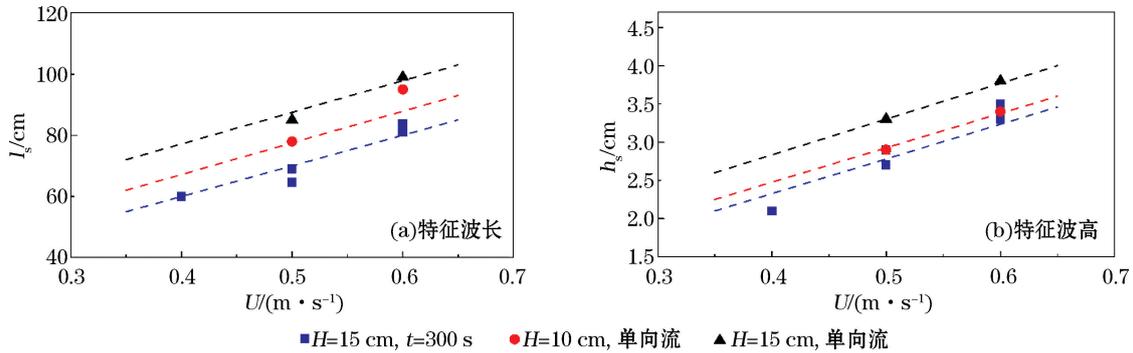


图 6 沙波特征尺度随流速的变化

Fig.6 Variations of characteristic sizes of sand waves with current velocities

图 7 所示为海底沙波特征尺度随往复周期的变化规律。图中对不同水深以及流速下的特征波高和特征波长进行分析。研究中将单向流的往复周期设为无穷大,一同进行比较。研究表明:随着往复周期的增大,海底沙波的特征波长和波高均随之增大。在周期较小的情况下,沙波特征波长和波高随往复周期的变化较为明显,当往复周期相对较大时,沙波特征波长和波高的变化趋于缓和,并最终接近于单向流的结果。这是由于随着往复周期的增大,对应的垂向环流结果尺寸也增大,从而使泥沙在床面水平方向往复运动的轨迹也逐渐增大。

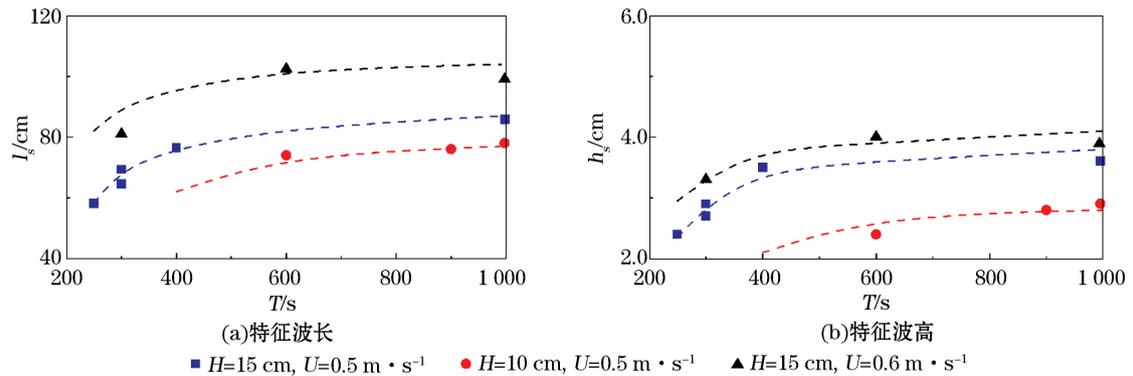


图 7 沙波特征尺度随周期的变化

Fig.7 Variations of characteristic sizes of sand waves with current periods

2.3 小尺度沙纹的特征参数分析

通过对沙波曲线进行拟合,可以近似得到大尺度沙波的形态曲线,通过在原始海床地形数据减去大尺度的沙波地形数据之后,可得到如图 8 所示(试验工况 11)的小尺度的沙纹地貌曲线,表明实际上海底沙波地貌是由大尺度的沙波和小尺度的沙纹共同组成的一种混合地貌形态。

本研究对得到的沙纹地貌数据进行统计分析,进

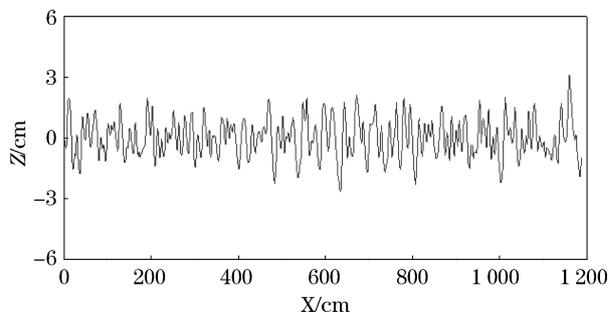


图 8 海床沙纹地貌形态 ($t=300$ min)

Fig.8 Sand ripples on the seabed ($t=300$ min)

一步得到沙纹的特征波长和特征波高。经分析,沙纹的特征尺度与流速、水深及周期同样存在一定的影响关系。图9所示为得到的沙纹地貌的特征波高和波长随流速的变化。结果表明:随着流速的增大,海床上小尺度沙纹的波高和波长均随流速的增大而增大。同时,对于同一流速下,随着水深的增加,沙纹的特征尺度也随之增加。图10中为沙纹的特征波高和波长随着往复流周期的变化规律。与大尺度的沙波的变化趋势相似,随着往复周期的增大,沙纹的特征波高和波长也随之增大,并趋近于单向流的结果。

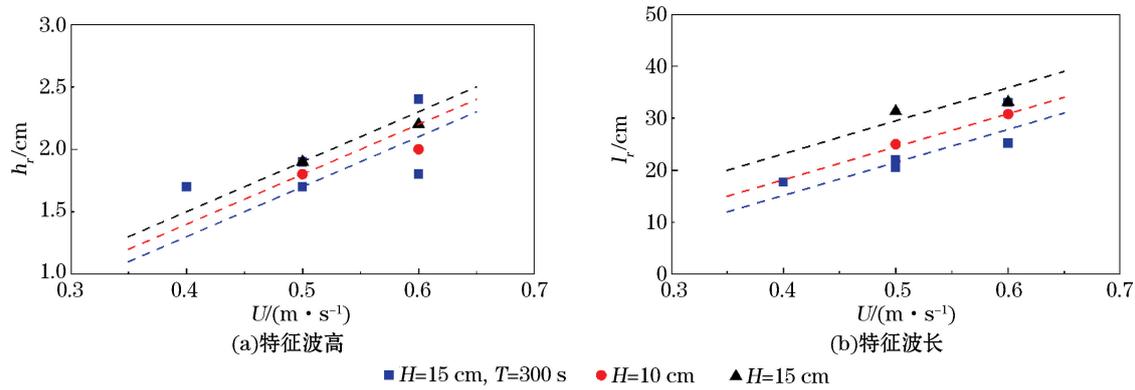


图9 沙纹特征尺度随流速的变化

Fig.9 Variations of characteristic sizes of sand ripples with current speeds

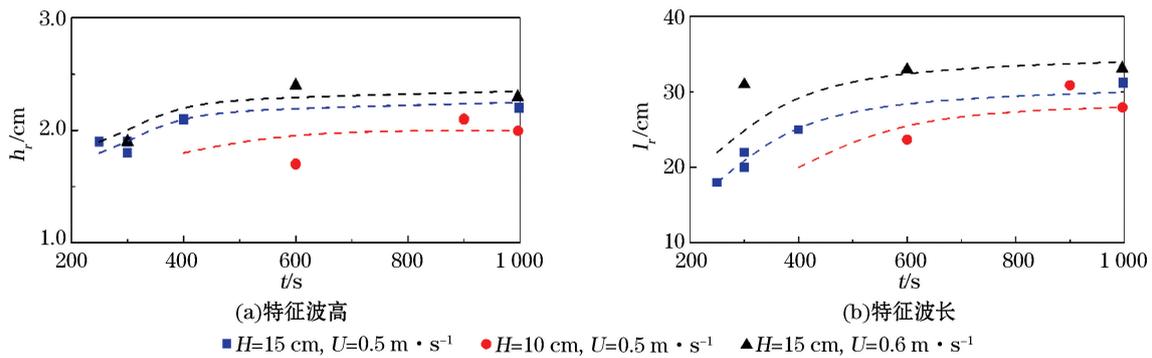


图10 沙纹特征尺度随周期的变化

Fig.10 Variations of characteristic sizes of sand ripples with current periods

3 结论

本文重点研究了潮流作用下海底沙波的形成和发展,包括单向流及往复流,以波浪水槽试验为主,分析了流动类型、流速、周期、水深对沙波形态尺度的影响,得到的主要结论如下:

- 1) 潮流作用下产生的海底地貌是由大尺度的沙波和小尺度的沙纹共同组成的,影响二者特征尺度的因素不同;沙波在往复流作用下发展速度逐渐变慢,最终达到动态平衡。
- 2) 潮流作用下,沙波特征波高和特征波长随流速增大而增大。
- 3) 潮流作用下,其他条件不变,水深增大时,沙波特征波高增大,特征波长也随之增大。
- 4) 往复流作用下,沙波特征波高和特征波长随水流周期增大而增大,并趋近于单向流的结果。
- 5) 海床上小尺度的沙纹地形特征波高和波长的变化随流速速度、往复周期和水深的变化趋势与沙波的变化趋势相同。

参考文献 (References):

- [1] ZHANG X L, XU J S, TAO H G. Analysis of effects of sea bottom sand waves on submarine cable burial operation in China seas[J]. *Coastal Engineering*, 2006, 25(3): 39-43. 张效龙, 徐家声, 陶慧刚. 中国海海底沙波对海缆埋设施工的影响分析[J]. *海岸工程*, 2006, 25(3): 39-43.
- [2] MA X C, YAN J, FAN F X, et al. Bedform dynamics and suspended sediment transport near sea bottom in the south of Beibu Gulf[J]. *Haiyang Xuebao*, 2012, 34(4): 109-120. 马小川, 阎军, 范奉鑫, 等. 北部湾南部海域近底悬沙输运及地貌演变[J]. *海洋学报*, 2012, 34(4): 109-120.
- [3] CHENG H Q, SHI Z, RAY K, et al. Stability field for sand bedforms at the south branch and the south channel in the Changjiang (Yangtze) Estuary[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 35(4): 214-220. 程和琴, 时钟, RAY K, 等. 长江口南支-南港沙波的稳定域[J]. *海洋与湖沼*, 2004, 35(4): 214-220.
- [4] BUIJSMAN M C, RIDDERINKHOF H. Long-term evolution of sand waves in the Marsdiep inlet: I high-resolution observations[J]. *Continental Shelf Research*, 2008(28): 1190-1201.
- [5] LURINA B, VERNEMMEN C, et al. On the behaviour of tidal current directions due to the presence of submarine sand waves[J]. *Marine Geology*, 2000, 169: 57-68.
- [6] HUTHNANCE J M. On one mechanism forming linear sand banks[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1982, 14(1): 79-99.
- [7] HULSCHER S J M H, DE SWART H, DE VRIEND H J. The generation of offshore tidal sand banks and sand waves[J]. *Continental Shelf Research*, 1993, 13(11): 1183-1204.
- [8] HULSCHER S J M H. Tidal-induced large-scale regular bed form patterns in a three-dimensional shallow water model[J]. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 1996, 101(C9): 20727-20744.
- [9] SUN Y F, WANG C, ZHOU Q K, et al. A review on sand waves evolution and its influence on pipeline engineering[J]. *Advances in Marine Science*, 2018, 36(4): 489-498. 孙永福, 王琮, 周其坤, 等. 海底沙波地貌演变及其对管道工程影响研究进展[J]. *海洋科学进展*, 2018, 36(4): 489-498.
- [10] ZHOU Q K, HU G H, SUN Y F, et al. Numerical research on evolvement of submarine sand waves in the northern South China Sea [J]. *Frontiers of Earth Science*, 2017, 11(1): 35-45.
- [11] JIANG W B, LIN M. Application of grid-nesting technique to sandwave migration simulation I: ultra-high resolution 3D current simulation[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2011, 54(6): 1679-1689. 江文滨, 林颀. 网格嵌套技术在模拟海底沙波运移中的应用 I——超高分辨率海洋三维流场模拟[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(6): 1679-1689.
- [12] CATANO-LOPERA Y A, GARCIA M H. Geometry and migration characteristics of bedforms under waves and currents: part 1 sand-wave morphodynamics[J]. *Coastal Engineering*, 2006, 53: 767-780.
- [13] VAN DER WERF J J, SCHRETLEN J J L M, RIBBERINK J S, et al. Database of full-scale laboratory experiments on wave-driven sand transport processes[J]. *Coastal Engineering*, 2009, 56(7): 726-732.
- [14] QIAN N, WAN Z H. *Mechanics of sediment transport*[M]. Beijing: Science Press, 1983. 钱宁, 万兆惠. *泥沙运动力学*[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [15] BAI Y C, LUO J S. The loss of stability of laminar flow in open channel and the mechanism of sand ripple formation[J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 2002, 23(3): 254-268. 白玉川, 罗纪生. 明渠层流失稳与沙纹成因机理研究[J]. *应用数学和力学*, 2002, 23(3): 254-268.
- [16] LIANG Z Y, JIN L H, WANG Z Y, et al. Anti-dunes in hyper-concentrated flows[J]. *Journal of Sediment Research*, 2003(4): 16-20. 梁志勇, 金龙海, 王兆印, 等. 高含沙水流逆行沙浪探讨[J]. *泥沙研究*, 2003(4): 16-20.
- [17] ZHU X H, WANG Z L, WU Z H, et al. Experiment research on geometry and evolution characteristics of sand wave bedforms generated by waves and currents[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018(171). DOI: 10.1088/1755-1315/171/1/012002.

Experiment on Formation and Migration of Submarine Sandwaves Under Current Conditions

WANG Cong^{1,2}, SUN Yong-fu¹, LIU Zhen-wen², ZHOU Qi-kun¹, SUN Yu-xin³

(1. *First Institute of Oceanography, MNR, Qingdao 266061, China;*

2. *CNPC Engineering Technology Research Company Limited, Tianjin 300451, China;*

3. *School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China)*

Abstract: Submarine sand waves have important influences on the construction and safety operation of ocean engineering. The tidal current is one of the main causes for formation of submarine sand waves. Based on the dimensional analysis, this study conducted the flume experiments to study the formation and development of submarine sand waves under the tidal current and unidirectional flows. By analyzing the seabed morphology data, this study quantitatively described the characteristic scale and evolution process, and discussed the effects of the speed and cycling period of the tidal current, the water depth and the combination of tidal current and unidirectional flow on the characteristic geometry of sand waves. The experiment results showed that the seabed topography produced by the tidal current is composed of large-scale sand waves and small-scale sand ripples, in which the former topography is dominant to shape the form of the seabed. Beginning from a flat seabed, the height and length of sand waves gradually increase and the growth rate decreases under the action of currents, and it reaches a dynamic balance finally. Both the characteristic wave height and characteristic wavelength of sand waves increase with the increase of flow velocity and water depth. They also increase with the increasing reciprocating flow period, finally tend to close to the condition of unidirectional flows. Furthermore, this study analyzed the topography of the small-scale sand ripples, and indicated the rule of characteristic scale of sand ripples under different currents.

Key words: submarine sand wave; current; development process; characteristic scale

Received: March 21, 2019