

波浪作用下非恒定输沙规律研究进展

王玉海, 汤立群, 王崇浩, 张治昊

(中国水利水电科学研究院, 北京 100048)

摘要: 为了准确计算一个波浪周期内净输沙率的大小和方向, 需要研究波浪作用下非恒定泥沙输移规律。介绍了过去 20 多年国内外学者在大型往复流水道和波浪水槽中开展的非恒定输沙试验以及原型观测结果, 总结了相位滞后效应参数的定量刻画以及不同半-非恒定净输沙率模式的构建, 探讨了现阶段需要着重解决的关键问题。指出未来需要重点研究不同波况(包括波浪破碎、长波、波流相互作用等)下颗粒的起动延迟或沉降延迟造成的非恒定输沙过程的动力机制, 准确刻画泥沙在波浪前、后多个半周期内的交换关系并将其反映在净输沙率的计算公式中; 此外还需要深入研究非均匀沙的非恒定输沙过程(包括垂向分选等), 并构建相应的净输沙率计算公式。

关键词: 波浪; 沙纹; 临底高含沙层; 非恒定输沙; 相位滞后; 半-非恒定净输沙率公式

中图分类号: TV148.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2013)06-0017-06

Advance in wave-driven unsteady sand transport//WANG Yuhai, TANG Liqun, WANG Chonghao, ZHANG Zhihao
(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China)

Abstract: It is of great importance to study wave-driven unsteady sand transport processes for predicting the magnitude and direction of net sand transport rate. After introducing experimental observations on unsteady sand transport in large-scale oscillatory water tunnels & wave flumes and field measurements over the past two decades, this paper thoroughly reviews the quantitative parameterizations of phase-lag effect and constructions of representative semi-unsteady net transport rate predictors, and discusses the key aspects to be solved. Future research endeavors should address the mechanism of unsteady sand transport under different wave conditions (i. e. breaking waves, infragravity waves, and wave & current interactions, etc.), the sand exchange processes between successive half wave cycles, furthermore, and the unsteady transport processes of non-uniform sands including their vertical sorting processes, etc.

Key words: wave; ripple; sheet flow; unsteady sand transport; phase-lag; semi-unsteady net transport rate predictor

近岸地区波浪动力复杂,泥沙输移活跃。当波浪动力较为温和时,海床床面上会发育沙纹;随着波浪动力的进一步增强,沙纹会被夷平,形成动平床形式的临底高含沙层。临底高含沙层与上部水流之间具有一个比较明显的交界面,虽然厚度较薄(毫米至厘米级),但是含沙量很大,颗粒运动速度较快,因而输沙率较大,是引起岸滩剧烈演变的主要输沙过程之一。

波浪的波峰速度大于波谷速度,当波峰通过时,泥沙向岸输移,而在波谷时段泥沙离岸输移,但是在一个波浪周期内净输沙却有可能是离岸方向,这一现象得到了一系列大型往复流水道、波浪水槽试验及原型观测的证实^[1-2]。离岸净输沙与波浪作用下

的非恒定输沙过程密切相关,即对应于波浪水质点近底速度的变化,由于泥沙颗粒的起动或沉降延迟,导致在波浪的前半个周期内被悬起的泥沙不能及时沉降到床面上而在波浪的后半个周期内向相反方向输移,其结果可能导致一个波浪周期内的净输沙率减小甚至向波浪传播的相反方向(即离岸方向)进行,研究人员将其称为相位滞后效应(phase-lag effect)^[3],在沙纹床面和临底高含沙层输沙情形下都可能出现。换言之相位滞后效应表明水体中悬沙的浓度变化与波浪动力条件的变化不同步,是一种非恒定输沙过程的体现。

如何准确地刻画复杂的波浪作用下非恒定输沙过程并构建相应的净输沙率计算公式,对正确预测

海滩横向剖面的塑造和演化过程,对指导人工育滩、海砂开采、港池航道防淤减淤等诸多海岸工程,对提高波浪作用下动力地貌数值模拟的精度等都有很重要的意义。本文分析总结了过去 20 多年国内外相关的研究工作,并探讨现阶段需要重点解决的关键问题和今后的研究方向。

1 非恒定输沙试验及现场观测

对于波浪作用下非恒定泥沙输移特征的认识离不开试验研究。通过精心控制的波浪动力条件和试验用沙(粒径、级配等),国内外学者进行了大量的室内输沙试验研究。20 世纪 90 年代开展较多的是 U 形往复流水道试验,但往复流水道中的水流特征与波浪水槽中的水流特征有较大的差别,由此在相同的波浪动力和泥沙条件下二者的净输沙率却不同^[4-5]。此外,小型波浪水槽输沙试验中不可避免地存在比尺效应问题^[6],为了克服比尺效应带来的试验误差,在过去 10 多年里国外研究人员越来越多地在能够产生原型尺度的大型波浪水槽中开展试验研究,借助于先进的水流和泥沙量测仪器,观察到一系列重要的现象。

Watanabe 等^[7]最早在试验中观察到相位滞后效应。他们于 1990 年在东京大学往复流水道的沙纹床面输沙试验中观察到在一定的条件下,泥沙会向波浪前进的反方向输移。对于临底高含沙层输沙而言,Dibajnia 等^[8]利用 $D_{50}=0.2\text{ mm}$ 的天然沙和非对称波浪及恒定流进行往复流水道输沙试验,由于在波浪连续半个周期内泥沙输移相互依赖,其结果是准恒定流输沙公式难以预测净输沙率的大小和方向。Ribberink 等^[9]在往复流水道试验中采用 $D_{50}=0.13\text{ mm}$ 的天然沙和 Stokes 二阶非对称波,发现当波浪轨道速度的均方根大于 0.7 m/s 时,净输沙就会向波浪传播相反的方向输移。Janssen 等^[10]在往复流水道试验中采用了 $D_{50}=0.13\text{ mm}$ 的天然沙和正弦波及恒定流,发现净输沙率随着波浪周期的减小而减小,但是在相同的波浪动力条件下,细沙的净输沙率要小于较粗粒径($D_{50}=0.21\text{ mm}$ 、 0.32 mm)泥沙的净输沙率。Ahmed 等^[11]利用 $D_{50}=0.21\text{ mm}$ 的天然沙和一阶余弦波进行的波浪水槽输沙试验也观察到离岸方向的净输沙现象。Dohmen-Janssen 等^[12]在德国汉诺威大型波浪水槽(长 300 m 、宽 5 m 、高 7 m)中测量了非规则、非破碎波群作用下粗沙($D_{50}=0.24\text{ mm}$)临底高含沙层输沙时泥沙浓度、近底流速(距床面 0.1 m)、颗粒运动速度等,由于是粗沙,临底高含沙层内颗粒的浓度与波浪边界层外缘水流速度之间几乎没有相位滞后,而水体上部悬沙层内颗粒的浓度则与水流速

度之间存在着明显的相位滞后现象。Kos'yan 等^[12]在俄罗斯黑海 Novomikhailovka 沙滩($D_{50}=0.21\sim 0.24\text{ mm}$)现场测量的悬沙浓度剖面中也观察到在波谷时刻,虽然底部并没有悬沙上扬,而上层水体却出现高浓度的悬沙云,他们认为是在波峰时刻悬扬的泥沙被水流对流输移到波谷时刻,是相位滞后效应的反映,如图 1 所示。

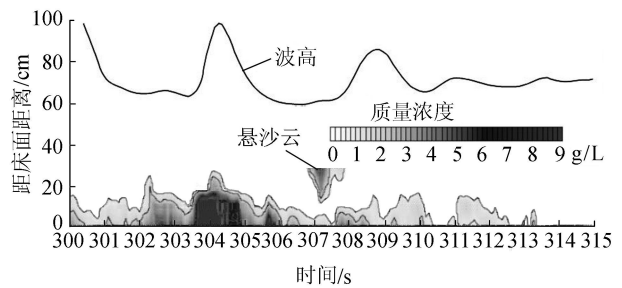


图 1 相位滞后效应的现场观测

国外学者所做的波浪输沙试验较多集中于中、粗沙($D_{50}\geq 0.20\text{ mm}$),对于粉沙的输沙试验屈指可数,其中比较有代表性的是 Lamb 等^[13]利用往复流水道专门开展的粉沙($D_{50}=0.026\text{ mm}$)试验研究,观察到临底高含沙层的存在导致波浪边界层厚度显著减小,并且可能改变紊流动能的产生与耗散,使得其在水深范围内的分布发生变化。近年来我国在淤泥粉沙质或细沙粉沙质海岸上建设的港口(如黄骅港、京唐港等)在建成后多次遭遇到寒潮大风浪引起的泥沙骤淤问题,促使国内学者对粉沙的输沙规律开展了积极的试验研究^[14-17]。但是国内学者较少注意到波浪作用下粉沙运动所具有的相位滞后效应和该效应所导致的净输沙率在大小和方向上的变化,由于试验设备和量测仪器的限制,主要在小型波浪水槽中进行中、低强度波浪动力条件下床面发育沙纹时的输沙试验,对于床面刷平时的临底高含沙层的输沙规律较少涉及。

天津水运工程科学研究院将于 2013 年底建成一座长 450 m 、宽 5 m 、深 12 m 的大型波浪水槽,该水槽能够产生最大 3.5 m 波高的波浪。希望国内学者能够充分利用该水槽开展粉沙输沙试验,以便深入了解不同波况下粉沙临底高含沙层输沙过程中颗粒起动、悬浮、沉降以及悬沙浓度剖面与近底流速在一个波浪周期内的瞬时变化过程,为更准确地刻画粉沙的非恒定输沙过程及计算净输沙率提供基础资料。

2 半-非恒定净输沙率模式

波浪作用下的净输沙率公式主要包括准恒定公式和半-非恒定公式两大类。经典的输沙率公式多属于 Madsen 等^[18-20]提出的准恒定(quasi-steady)公

式,运用这类公式计算中、粗沙的净输沙率的大小和方向都具有比较高的精确度,因为这类泥沙在输移过程中多集中于床面附近的一个薄层内,泥沙颗粒的沉速大,沉降时间相对于波浪半周期而言要小得多,泥沙的输移能够对近底流速或者床面切应力的变化做出迅速的反应,相位滞后效应不显著。

对于有大量泥沙悬扬的情形,如床面发育沙纹或者临底高含沙层输沙过程,尤其是细沙、粉沙输沙过程,由于相位滞后效应所引发的非恒定输沙过程显著,在一个波浪周期内的净输沙率可能减小甚至向波浪传播的相反方向进行。用准恒定流输沙公式很难准确计算净输沙率的大小和方向,有必要提出新的输沙模式。对此,国外学者做了大量的探索工作,提出了一系列半-非恒定(semi-unsteady)的经验公式,比较有代表性的包括 Nielsen 公式^[21]、Dohmen-Janssen 公式^[3]、Dibajnia 等公式^[8]以及随后的一系列修正公式等。

当床面发育沙纹时,在波峰转波谷和波谷转波峰的转流时刻,在沙纹的背流面由于漩涡的触发会将大量的泥沙悬浮到水体中。基于这一物理图景,Nielsen^[21]提出了一个简单的“抓-倒”输沙模式,即在每个波浪半周期内的转流时刻当漩涡触发时泥沙被悬扬,然后向相反方向输移一定距离后沉降下来;因此通过分别计算波峰和波谷半周期内输移的泥沙数量再把二者相减从而得到一个波浪周期内的净输沙率。应用该模式的一个难点在于如何确定悬沙在波峰半周期和波谷半周期内输移的距离。

Dibajnia 等^[8]同样提出了半周期分割的模式来计算一个波浪周期内的净输沙率。为了反映泥沙在前、后半个周期内的交换关系,他们通过分别计算波浪在前、后半个周期内各自悬扬的泥沙数量,实际输移的泥沙和保持悬浮状态直到后半个周期内被输移的泥沙数量来构建输沙模式(简称 DW92 模式,下同)。其中,相位滞后效应的计算公式为

$$\omega_i = \frac{T_{\text{fall}}}{T_i} = \frac{\Delta_s / \omega_s}{T_i} = \frac{1}{2} \frac{u_i^2}{(s-1)gT_i\omega_s} \quad (1)$$

式中: ω_i 为波峰半周期或波谷半周期的相位滞后效应; T_{fall} 为波浪半周期内颗粒的沉降历时; T_i 为波浪半周期内可供沉降的时段; Δ_s 为颗粒的悬浮高度(计算时假定颗粒的紊动动能全部转换成势能,没有考虑紊动动能的耗散); ω_s 为颗粒的沉降速度; g 为重力加速度; s 为泥沙颗粒密度与水流密度之比; u_i 为波浪半周期内波浪轨道速度的振幅。

当 ω_i 超过某个临界值时,在该波浪半周期内悬浮的部分泥沙就会一直保持悬浮状态直到下一个波浪半周期。显然,波浪轨道速度越大,颗粒粒径越

细,波浪周期越小, ω_i 就会越大。Dibajnia 等^[8]最初建议临底高含沙层时相位滞后效应临界值 $\omega_{\text{cr}} = 1$,沙纹床面时 $\omega_{\text{cr}} = 0.03$;但是 Dibajnia^[22]后来又认为 ω_{cr} 应该小于 1,并且随着颗粒希尔兹参数而变化,并给出了相应的计算方法。

波浪轨道加速度偏斜表示从波谷加速到波峰所用的时间要比从波峰减速到波谷所用的时间短。为了反映波浪轨道加速度偏斜和颗粒的临界启动对净输沙率的影响,Dibajnia 等^[23]利用颗粒的活动性参数重新修正了 DW92 模式中的相位滞后效应参数以及净输沙率计算公式。Watanabe 等^[24]进一步改进了 DW92 模式中有关参数的计算方法,以体现波浪轨道加速度偏斜的影响。

Silva 等^[25]指出 DW92 模式能够考虑相位滞后效应的作用,但是不能正确计算该效应引起的净输沙率的变化以及离岸方向的净输沙率,原因在于计算相位滞后效应参数时对沙纹床面或者临底高含沙层输沙过程中颗粒悬浮高度和临底高含沙层条件下颗粒沉降速度的计算不准确,而后者需要考虑沉降延迟效应;同时 DW92 模式计算的净输沙率采用波浪半周期轨道速度的 3 次方,因而对流速和水深都有依赖,影响计算精度,也不能准确反映波浪加速度偏斜的影响,特别是在单纯恒定流或者强流+弱波作用下该公式的计算值会出现间断。针对这些不足,Silva 等^[25]进一步修正了 DW92 模式,但是 Silva 修正公式并没有明确给出颗粒悬浮高度和沉降延迟效应的计算方法,而是代之以无量纲希尔兹参数来隐式地反映。

为了更好地反映波浪非对称性(包括速度偏斜和加速度偏斜)、波浪边界层余流和水质点的垂向流速、波流夹角等动力因素对净输沙率的影响,van der A 等^[26]进一步修正了 DW92 模式,明确了颗粒悬浮高度的计算公式:对于沙纹床面,颗粒的悬浮高度等于数倍的沙纹波高;对于临底高含沙层输沙,颗粒的悬浮高度则等于数倍的临底高含沙层的厚度,具体的倍数需要用试验数据来率定;对于颗粒的沉降延迟,则利用水质点的垂向流速进行修正。

van der A 模式能够计算波浪边界层内推移质及悬沙净输沙率的大小和方向,能够反映 Schretlen 等^[27]在大型波浪水槽试验中观察到的细沙在加速度偏斜波作用下向岸净输移的现象,但是向岸净输移的试验现象究竟是客观存在的还是由试验设备造成的,在天然现场情形如何,还需要进一步论证。

Dong 等^[28]假定颗粒的悬扬高度等于临底高含沙层的厚度并给出了相应的计算方法,考虑了水流叠加对波浪半周期的影响,考虑了高浓度颗粒阻碍

沉降和波浪轨道加速度偏斜的影响,再次基于DW92模式提出了新的修正公式。由于重新定义了颗粒悬浮高度,Dong等的修正公式^[28]对细沙和单纯波浪作用下的净输沙率的预测能力明显提高,对于粗沙而言,该公式对单纯波浪作用和叠加强流作用时的净输沙率的大小和方向的预测都较好,但是该公式似乎仍然低估了某些细沙净输沙率试验的观测值^[4]。

Dong等^[28]的修正公式计算结果和大量往复流水道及波浪水槽试验观测资料的对比表明,Dibajnia等的修正公式^[23]对净输沙率的预测能力相对较弱。Watanabe等的修正公式^[24]虽然引入了加速度偏斜因子,但是对于大部分单纯的加速度偏斜波作用下的净输沙率预测的偏差也是较大的;对于单纯速度偏斜波(即同波峰传播相关的向岸流速较强、历时较短而同波谷传播相关的离岸流速较弱且历时较长)作用下中粗沙的净输沙率预测是较好的;对于细沙的预测效果较差,原因是相位滞后效应的作用,净输沙是离岸方向的,而Watanabe等的修正公式预测的结果却是向岸的,同时该公式在计算颗粒的悬浮高度(对所有粒径的颗粒计算的高度都一样)和相位滞后效应参数时的偏差都导致在预测有强流叠加作用时的全沙的净输沙率偏小。

此外,Dohmen-Janssen^[4]、Camenen等^[29]直接利用相位滞后效应参数对希尔兹参数类型的准恒定输沙率公式进行了修正,以反映净输沙率的变化。但是Dohmen-Janssen公式^[4]只能计算相位滞后效应所导致的向岸输沙率的减小而不能计算离岸方向的净输沙率。Camenen等公式^[29]能够计算离岸方向的净输沙率,但是未能刻画波浪前、后半周期内的泥沙交换过程,公式的计算精度还是比较有限。

由于国内学者较少注意到波浪作用下泥沙的相位滞后效应,所构建或者修正的输沙率计算公式基本上都是准恒定的公式(即输沙率只能是行进波方向)。

Wang^[30]假定临底高含沙层输沙过程中的高浓度固-液混合体为连续介质运动,构建了刻画固-液混合体运动的数学模型,通过寻求该方程组的特解并进而导出了一个计算非对称波浪作用下临底高含沙层净输沙率的公式。与经典的经验、半经验性净输沙率公式相比较,该公式的系数不是一个单一固定的数值,而是一个动态函数式,能够随着水流和泥沙性质的改变而自动进行调整,能够充分考虑地形坡度(正坡、负坡)和水流中冲泻质多寡对净输沙率的影响。该公式得到了德国汉诺威大型波浪水槽试验、荷兰Delft水工实验室往复流水道试验以及澳大利

亚天然海滩上波浪上爬区(swash zone)中粗沙实测资料的良好验证,通过与物理模型试验结果的对比,该公式也能够较好地计算大浪作用下中、粗沙的高强度沿岸输沙率^[31]。为了提高预测粉沙质海岸航道泥沙淤积计算公式的精度,刘家驹^[32]基于悬沙落淤的模式从提高破波作用下水体含沙量的角度修正了原用于淤泥质海岸港池回淤计算的公式。罗肇森等^[14]则从风、浪、流联合作用下底沙输移的角度修正了原用于计算沙质海岸输沙率的公式。

3 结语及展望

近岸地区波浪的各种动力特征,如波形非对称性(包括速度偏斜和加速度偏斜)、边界层余流、水质点的垂向运动、波浪轨道速度的水平梯度等动力过程都与泥沙的相位滞后效应密切相关,它们共同作用,决定了波浪的非恒定输沙过程及净输沙率的大小和方向。计算波浪(流)作用下的净输沙率需要能够捕捉上述这些主要的动力过程,这样才能准确刻画由相位滞后效应所引发的非恒定输沙过程,才能准确计算波浪作用下净输沙率的大小和方向,才能更好地预测不同波浪动力条件下泥沙横向输移与海滩均衡剖面的塑造过程,为人工育滩、海砂开采、港池航道防淤减淤等各类海岸工程提供可靠的技术支撑。

影响相位滞后效应的因素主要包括颗粒的沉降速度和悬浮高度,而波浪的一些主要动力特征,如波形非对称性、边界层余流、水质点的垂向运动等会影响二者以及颗粒的沉降历时,国外学者对相位滞后效应参数的一系列修正也主要集中在这些方面。但是现有的研究工作对于颗粒的沉降历时尚未能准确把握,而沉降历时取决于颗粒在波浪半周期内何时沉降、沉降速度大小等条件,与波浪边界层内的水平流速、垂向流速的变化过程密切相关;此外,现有的研究工作对于颗粒的起动延迟在相位滞后效应参数中的体现和影响较少涉及,个别学者只是简单地引入颗粒的临界起动希尔兹参数来适当反映^[23]。由于上述不足的存在和对波浪边界层输沙过程中其他一些关键机理缺乏清晰的认识,导致现有的计算沙纹床面或是临底高含沙层净输沙率的半-非恒定公式中都有一个或几个率定系数,需要借助于试验观测数据进行率定,不仅计算精度存在着较大误差,而且也限制了公式的应用范围,这些都需要在今后的研究工作中重点加以解决。

目前,波浪半周期、半-非恒定输沙模式得到了越来越多学者的认同,但是对于强流+弱波的情形,此时波谷半周期可能消失,现有的各类半波非恒定

输沙模式就不太适用;另外,现有的各类半-非恒定输沙模式都假定悬浮颗粒在波峰、波谷两个半周期内得到全部沉降,对于部分悬浮颗粒经历连续两个半周期仍未能沉降的输沙情形就不适用,这些问题都需要在今后的研究工作中进一步加以解决。

已有的各类半-非恒定输沙模式计算的都是波浪边界层内全沙的净输沙率,因而引入的相位滞后效应参数会影响全沙的输沙过程,但实际上该效应影响的只是边界层内悬沙的输移过程,对于推移质而言需要采用准恒定输沙率公式进行计算才更准确。另外已有的各类半-非恒定输沙模式计算的主要是非破碎波作用下的净输沙率,尚未涉及波浪破碎过程中的半周期泥沙交换关系。从垂向上讲,无论是沙纹床面还是临底高含沙层,被悬浮的都是底床中较细的颗粒,而底床上剩余的颗粒被粗化,这是一种非均匀泥沙垂向分选的过程。

因此,针对不同波况(包括波浪破碎、长波、波流相互作用等)下颗粒的起动延迟或沉降延迟所造成的非恒定输沙过程的动力机制,特别是非均匀沙的非恒定输沙过程(包括垂向分选等)将是今后较长一段时间内国内外学者需要致力研究的重要课题。

参考文献:

[1] O' DONOGHUE T, van der A D A. Laboratory experiments for wave-driven sand transport prediction [C]// KRAENBURG W M, HORSTMAN E M, WIJNBERG K M. NCK-days 2012: Crossing Borders in Coastal Research; Jubilee Conference Proceedings. Netherlands: University of Twente, 2012: 61-67.

[2] KOS'YAN R D, KRYLENKO M V, VINCENT C E. Fluctuations of instantaneous vertical distribution of suspended sediment in the surf zone [C]// SMITH J M. Proceedings of the 30th International Conference on Coastal Engineering. Singapore: World Scientific, 2007: 1-8.

[3] DOHMEN-JANSSEN C M. Grain size influence on sediment transport in oscillatory sheet flow: phase lags and mobile bed effects [D]. Delft: Delft University of Technology, 1999.

[4] DOHMEN-JANSSEN C M, HANES D M. Sheet flow dynamics under monochromatic non-breaking waves [J]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107 (C10): 1301-1321.

[5] NIELSEN P, CALLAGHAN D P. Shear stress and sediment transport calculations for sheet flow under waves [J]. Coastal Engineering, 2003, 47 (3): 347-354.

[6] 王玉海, 蒋卫国, 王艳红. 冲刷物理模型试验的比尺效应研究 [J]. 泥沙研究, 2012 (3): 31-34. (WANG Yuhai, JIANG Weiguo, WANG Yanhong. Study of scale effect in

scour physical-model experiments [J]. Journal of Sediment Research, 2012 (3): 31-34. (in Chinese))

[7] WATANABE A, ISOBE M. Sand transport rate under wave-current action [C]// EDGE B L. Proceedings of the 22nd International Conference on Coastal Engineering. Reston: ASCE, 1990: 2495-2507.

[8] DIBAJNIA M, WATANABE A. Sheet flow under nonlinear waves and currents [C]// EDGE B L. Proceedings of the 23rd International Conference on Coastal Engineering. Reston: ASCE, 1992: 2015-2028.

[9] RIBBERINK J S, CHEN Z. Sediment transport of fine sand under asymmetric oscillatory flow [R]. Delft: Delft Hydraulics, 1993.

[10] JANSSEN C M, RIBERRINK J S. Influence of grain diameter on sand transport in oscillatory sheet flow [C]// EDGE B L. Proceedings of the 25th International Conference on Coastal Engineering. Reston: ASCE, 1996: 4779-4792.

[11] AHMED A S M, SATO S. A sheet flow transport model for asymmetric oscillatory flows: part I [J]. Coastal Engineering Japan, JSCE, 2003, 45 (3): 321-337.

[12] DOHMEN-JANSSEN M, HANES D M. Sheet flow and suspended sediment due to wave groups in a large wave flume [J]. Continental Shelf Research, 2005, 25 (3): 333-347.

[13] LAMB M P, D'ASARO E, PARSONS J D. Turbulent structure of high-density suspensions formed under waves [J]. Journal of Geophysical Research, 2004, 109 (C12026): 1-14.

[14] 罗肇森, 马进荣, 张晓艳. 从京唐港大风期骤淤浅议粉沙质海岸建港布置和航道选线 [J]. 中国港湾建设, 2007, 147 (1): 35-41. (LUO Zhaoseng, MA Jinrong, ZHANG Xiaoyan. Discussion on the layout of port and channel to be constructed in silty coast [J]. China Harbour Engineering, 2007, 147 (1): 35-41. (in Chinese))

[15] 赵群, 韩鸿胜. 黄骅港骤淤机理的分析以及波浪作用下近岸含沙量场的三维特性 [J]. 水道港口, 2007, 28 (2): 77-80. (ZHAO Qun, HAN Hongshen. Siltation mechanisms of Huanghua Port and 3D characteristics of nearshore suspended sediment concentration under waves [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2007, 28 (2): 77-80. (in Chinese))

[16] 徐宏明, 张庆河. 粉沙质海岸泥沙特性试验研究 [J]. 泥沙研究, 2000 (3): 42-49. (XU Hongming, ZHANG Qinhe. Experiment study of sediment characteristics in silty sand coast [J]. Journal of Sediment Research, 2000 (3): 42-49. (in Chinese))

[17] 赵冲久, 秦崇仁, 黄明政. 波流共同作用下近底高含沙水层的探讨 [J]. 水道港口, 2005, 26 (1): 12-16. (ZHAO Chongjiu, QIN Chongren, HUANG Mingzheng. On current velocity of high concentration layer near bottom [J].

- Journal of Waterway and Harbor,2005,26(1):12-16. (in Chinese))
- [18] MADSEN O S, GRANT W D. Quantitative description of sediment transport by waves [C]//Proceedings of the 15th International Conference on Coastal Engineering. Reston: ASCE,1976;1093-1112.
- [19] BAILARD J A. An energetic total load sediment transport model for a plane sloping beach [J]. Journal of Geophysical Research,1981,86(C11):10938-10954.
- [20] RIBBERINK J S. Bed-load transport for steady flows and unsteady oscillatory flows [J]. Coastal Engineering,1998,34(1/2):59-82.
- [21] NIELSEN P. Three simple models of wave sediment transport [J]. Coastal Engineering,1988,12(1):43-62.
- [22] DIBAJNIA M. Sheet flow transport formula extended and applied to horizontal plane problems [J]. Coastal Engineering Japan,JSCE,1995,37(2):179-194.
- [23] DIBAJNIA M, MORIYA T, WATANABE A. A representative wave model for estimation of nearshore local transport rate [J]. Coastal Engineering Japan,JSCE,2001,43(1):1-38.
- [24] WATANABE A, SATO S. A sheet-flow transport rate formula for asymmetric, forward-leaning waves and currents [C]//SMITH J M. Proceedings of the 29th International Conference on Coastal Engineering. Singapore:World Scientific,2004:1703-1714.
- [25] SILVA P A, TEMPERVILLE A, SANTOS F S. Sand transport under combined current and wave conditions: a semi-unsteady, practical model [J]. Coastal Engineering,2006,53(11):897-913.
- [26] van der A D A, RIBBERINK J S, van der WERF J J, et al. New practical model for sand transport induced by non-breaking waves and currents [C]//SMITH J M, LYNETT P. Proceedings of 32nd International Conference on Coastal Engineering. Reston: Coastal Engineering Research Council,2010:1-14.
- [27] SCHRETLEN J J L M, RIBBERINK J S, O' DONOGHUE T. Sand transport under full-scale surface waves [C]//MIZUGUCHI M, SATO S. Proceedings of Coastal Dynamics. Singapore:World Scientific,2009:1-3.
- [28] DONG L P, SATO S, LIU H. A sheetflow sediment transport model for skewed-asymmetric waves combined with strong opposite currents [J]. Coastal Engineering,2013,71:87-101.
- [29] CAMENEN B, LARSON M. Phase-lag effects in sheet flow transport [J]. Coastal Engineering,2006,53(5/6):531-542.
- [30] WANG Y H. Formula for predicting bedload transport rate in oscillatory sheet flows [J]. Coastal Engineering,2007,54(8):594-601.
- [31] 王玉海. 沙质海岸强浪作用下沿岸输沙问题研究 [J]. 海洋工程,2008,26(4):39-44. (WANG Yuhai. Longshore sand transport by strong waves [J]. The Ocean Engineering,2008,26(4):39-44. (in Chinese))
- [32] 刘家驹. 粉沙淤泥质海岸的航道淤积 [J]. 水利水运工程学报,2004(1):6-11. (LIU Jiaju. Silt siltation in approach channel of the coast with silty mud sediment [J]. Hydro-science and Engineering,2004(1):6-11. (in Chinese))

(收稿日期:2012-01-17 编辑:周红梅)

· 简讯 ·

河海大学 3 种期刊入选 2013—2014 年度 CSCD 核心期刊

经过中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database,简称 CSCD)新一轮的定量遴选、学科专家评审和中国科学引文数据库来源期刊遴选委员会的评议,2013—2014 年度中国科学引文数据库核心期刊日前正式发布。《河海大学学报(自然科学版)》自 1996 年开始被 CSCD 收录,已连续多年入选该数据库核心期刊;河海大学主办的另两种杂志《Water Science and Engineering》和《水利水电科技进展》首次入选 CSCD 核心期刊。

CSCD 建于 1989 年,2013—2014 年度共收录 780 种核心期刊,其中中文期刊 657 种,中国出版的英文期刊 123 种。CSCD 来源期刊每 2 年遴选 1 次,每次遴选均采用定量与定性相结合的方法,即在定量数据分析的基础上,聘请国内各学科领域的专家对期刊进行评审。定量与定性综合评估结果构成了 CSCD 来源期刊。2007 年,CSCD 与美国 Thomson-Reuters 集团合作,登陆 ISI Web of Knowledge 平台,成为 ISI Web of Knowledge 平台上第一个非英文语种的引文数据库,为全世界更多的科研人员了解中国的科研发展及动态、推动我国科研成果在全球的传播提供了重要的渠道,为我国期刊面向全球提供了展示平台。

(本刊编辑部供稿)