

中国科学院海洋研究所编辑

海洋科学集刊

STUDIA MARINA SINICA

Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences

50

科学出版社

北京

55
3

P-2023.0101

图书在版编目(CIP)数据

海洋科学集刊. 第50集 / 中国科学院海洋研究所编.
—北京: 科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-028113-5

I. ①海… II. ①中… III. ①海洋学—丛刊 IV. ①P7-55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 119207 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 3 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

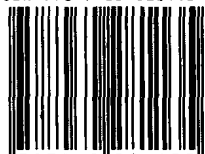
2010 年 3 月第一次印刷 印张: 10 3/4

印数: 1—1 000 字数: 255 000

定价: 60.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

ISBN 978-7-03-028113-5



9 787030 281135 >

定价: 60.00 元

海洋科学集刊 第 50 集

(2010 年 3 月)

目 录

- 单向流作用下沉底物体对水流结构和地形变化的影响.....庞重光 韦雁机 赵恩宝(1)
- 台湾暖流水和长江冲淡水在 32°N 断面和 PN 断面上的分布及其变化白虹 王凡(11)
- 热带印度洋 Rossby 波的基本特征.....冯俊乔 白学志 陈永利等(23)
- 风暴潮前后莱州湾西岸岸滩演化特征研究.....刘桂卫 黄海军 刘艳霞等(32)
- 深水水道沉积体系及地震识别特征研究.....吕彩丽 吴时国 袁圣强(40)
- Matlab 环境下去除 MODIS L1B 数据的“蝴蝶结”效应.....李振 黄海军(50)
- 多源数据集成在地面沉降监测研究中的应用.....杜廷芹 黄海军 严立文等(57)
- 利用 MODIS 反演渤海地区的大气水汽含量.....孔梅 黄海军 高兴国等(66)
- 天然气水合物钻井中的地质灾害分析.....马庆涛 张卫东 刘玉明(72)
- 辽河拗陷东部凹陷南部地区古近系沉积体系与储层评价.....高华丽 韩作振 樊爱萍等(79)
- 海上钻井与海洋环境保护.....梁海明(87)
- BP 神经网络在海洋赤潮预测中的应用.....刘伟(93)
- 变密度地下水流模拟软件 SEAWAT-2000 简介.....栾熙明 郑西来 黄翠等(99)
- 湖泊富营养化模型及其在南四湖的应用.....王海波 武周虎(105)
- 华北中新元古界海相碳酸盐岩烃源岩评价.....王丽娟 杨树杰(111)
- NaCl 浓度对土体粒径分布和强度的影响.....张倩 彭昌盛 陈广泉等(120)
- 日照傅疃河流域湿地功能综合评价.....曹红 刁玉杰(127)
- 南华北盆地石炭-二叠系沉积环境与聚煤规律研究.....刁玉杰 魏久传 曹红(133)
- 南海沉积物中甲烷水合物的实验研究.....刘锋 吴时国 董冬冬(139)
- 天然气水合物的分解导致海底沉积层滑坡的力学机理及相关分析.....房臣 张卫东(149)
- 牙鲆红细胞对几种细菌的免疫黏附活性检测.....王淑芬 邹亚男 王秀娟等(157)

STUDIA MARINA SINICA No. 50

(March, 2010)

CONTENTS

- A Numerical Study on Flow Patterns and Bedform Evolution Around Obstacles on Seabed
..... PANG Chongguang, WEI Yanji, ZHAO Enbao (10)
- Distributions and Variations of the Taiwan Warm Current Water and Changjiang Diluted
Water Along 32°N and PN Sections BAI Hong, WANG Fan (21)
- Characteristics of Rossby Waves in the Indian Ocean
..... FENG Junqiao, BAI Xuezhi, CHEN Yongli *et al.* (31)
- Numerical Study on Characteristics of Beach Evolution During Storm Surge Periods in
West Coast of Laizhou Bay LIU Guiwei, HUANG Haijun, LIU Yanxia *et al.* (39)
- Deepwater Channel Complex Sedimentary System and Its Seismic Reflection in
Qiongdongnan Basin LÜ Caili, WU Shiguo, YUAN Shengqiang (49)
- Using Matlab to Remove the Bowtie Effect of MODIS L1B Data
..... LI Zhen, HUANG Haijun (56)
- Application of Integration Methods of Multi-Source Data on Land Subsidence
..... DU Tingqin, HUANG Haijun, YAN Liwen *et al.* (65)
- Retrieving Atmospheric Water Vapor in Bohai Region from MODIS Data
..... KONG Mei, HUANG Haijun, GAO Xingguo *et al.* (71)
- Geologic Hazard Analysis of Natural Gas Hydrate in Drilling
..... MA Qingtao, ZHANG Weidong, LIU Yuming (78)
- Sedimentary Systems and Reservoir Assessment of the Paleogene Systems of the Southern
Part of Eastern Sag in Liaohe Depression
..... GAO Huali, HAN Zuozhen, FAN Aiping *et al.* (86)
- Offshore Drilling and Marine Environmental Protection LIANG Haiming (92)
- The BP Neural Network Technology Application in the Prediction of the Redtide
..... LIU Wei (98)
- Introduction to Software Seawat-2000 for Variable Density Groundwater Flow Simulation
..... LUAN Ximing, ZHENG Xilai, HUANG Cui *et al.* (104)
- Lake Eutrophication Modeling and Application in the Nasi Lake

-WANG Haibo, WU Zhouhu (110)
 Evaluation Marine Carbonate Source Rocks of Middle-Upper Proterozoic in North China
WANG Lijuan, YANG Shujie (119)
 Effect of NaCl Concentration on Size Distribution and Strength of Soil.....
ZHANG Qian, PENG Changsheng, CHEN Guangquan *et al.* (126)
 Comprehensive Evaluation of Wetland Function in the Futuan River Basin, Rizhao.....
CAO Hong, DIAO Yujie (132)
 Sedimentary Environment and Coal Accumulation of the Carboniferous and Permian
 in the Southern North China Basin.....DIAO Yujie, WEI Jiuchuan, CAO Hong (137)
 Experimental Study for Methane Hydrate in Porous Sediments from South China Sea.....
LIU Feng, WU Shiguo, DONG Dongdong *et al.* (148)
 Mechanism and Analysis of Landslide on the Seabed Due to the Decomposition of Gas
 Hydrate.....FANG Cheng, ZHANG Weidong (156)
 The Immune Adherence Activity to Different Bacteria Antigens of *Paralichthys Olivaceus*
 Erythrocytes.....WANG Shufen, ZOU Yanan, WANG Xiujuan *et al.* (166)

单向流作用下沉底物体对水流结构和地形变化的影响*

庞重光¹ 韦雁机² 赵恩宝³

(¹ 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

(² 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012)

(³ 上海航道勘察设计研究院, 上海 200120)

在河口水流环境中, 床面上的物体(如海底管线、水雷、桥墩、丁坝等)会对流场、底床产生重要影响。由于物体的存在造成局部流动呈强三维紊动特征, 泥沙运动剧烈, 从而造成局部地形强烈变化。物体周围的局部冲刷过程和机理十分复杂, 涉及物体形状、水动力环境、底床泥沙类型等多种因素。对于此类问题, 模型实验分析一直是主要的研究手段, 但模型实验费用高, 耗时多, 并且存在模型比尺效应等不确定因素。因此, 随着计算机技术的发展, 数值模拟的方法越来越引起研究者的重视。

过去 20 年中, 建立了大量预测底床冲刷的数值模型, 而且绝大多数采用泥沙输送经验公式。Brørs (1999) 建立垂向二维单向水流的管道冲刷模型, 该模式结果与文献中实验结果吻合良好。Liang 等 (2005) 同样也建立垂向二维单向水流的管道冲刷 SGS 模型, 该模型考虑床沙和悬沙两种泥沙输送, 经验公式中床沙输送仅取决于底床剪切力, 增加了泥沙平滑项, 降低了因冲刷坡度变化造成的不稳定性, 其预测与实验结果吻合良好。Yen 等 (2001) 建立三维 CFD 模型来模拟圆形桥墩周围水流和泥沙冲刷情况, 该模型模拟泥沙冲刷深度和形状时间变化均较好。Roulund (2000) 和 Roulund 等 (2005) 建立三维 CFD 模型模拟圆柱周围水流和底床冲刷。水流模型采用标准高雷诺数 $k-\omega$ 湍流模型; 冲刷模型引入特别泥沙平滑项来降低冲刷角度变化引起的不稳定性。其模拟桩体上、下游冲刷深度和形状时间变化与实验室模拟结果吻合良好。

除以上用泥沙经验公式的模拟外, 还有少数用水流、泥沙两相流模式的模拟。Yeganeh 等 (2000) 采用欧拉-拉格朗日两相流模型模拟较大底剪切力情况下床沙的输送情况。Wanker 等 (2002) 采用欧拉-欧拉两相流模型模拟泥沙的沉降和输送。该模式可以较好地预测沙堆的运动情况, 并且认为底床变化主要取决于动量变化和颗粒间相互作用。Zhao 等 (2007) 采用欧拉-欧拉两相流模型模拟二维海底管道周围冲刷。Zhao 和 Pang (2008) 采用欧拉二相流模型对长江口底床上圆柱周围的水流和局部冲刷过程进行了数值试验, 探讨了水流流速、底质粒径等因素的影响作用。

* 科技部 2006AA09Z157 号课题资助。

通讯作者: 庞重光, 女, 研究员, 现从事近海物质运输和通量研究; E-mail: chgpang@qdio.ac.cn.

收稿日期: 2009 年 1 月。

然而,无论是利用泥沙输送经验公式的模拟,还是水沙两相流模式的模拟,国内有关研究工作的开展都十分有限。本文作者利用 CFD 软件建立了单相流模型,对 3 种沉底物体附近的水流状况、地形变化进行了数值模拟。数值模拟详细刻画了由于沉底物体的阻挡,附近流场和地形的渐进变化过程。

一、单相流模型介绍

用三维 $k-\varepsilon$ 紊流数值模型计算沉物周围的流场,分别计算推移质和悬移质输运引起的冲刷和淤积,采用动网格技术处理床面地形随时间的变化。

模型主要由三部分组成:水力学模型、冲淤模型和边界处理。

首先运用水力学模型计算其流场,根据流场计算得出床面的摩擦力,从而得到床面希尔兹数,由此根据经验公式分别得到床面悬沙浓度和推移质大小。底部悬沙浓度作为边界条件求解悬沙浓度标量方程得到悬沙浓度分布,同时悬沙浓度通过附加源项加进动量方程体现泥沙对水流影响。

利用冲淤模型,根据底部悬沙通量变化和推移质大小计算单位时间内的地形变化。

采用动网格技术,根据每个时间步长计算所得的地形变化,改变网格点位置,得到新的地形,并用新的地形重新计算流场,如此反复,从而得到地形随时间的变化。

1. 水力学模型

水力学计算采用不可压缩雷诺平均 N-S 方程 (RANS) 和一个悬沙浓度标量方程,假设泥沙浓度较小,满足 Boussinesq 近似,方程可以表示为

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p^+}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho(s-1)cg_i$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial c(u_j - \omega_j)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_T} \frac{\partial c}{\partial x_j} \right)$$

式中, x_i 为 i 方向坐标; t 为时间; ρ 和 u 分别为流体的密度和速度; $p^+ = p + \rho g_k x_k$ 为包括静压的水压力; τ_{ij} 为雷诺平均剪力; c 为悬沙体积浓度; s 为泥沙有效容重; g_i 为重力加速度; ω_j 为泥沙沉速; ν_T 为湍流黏性系数。

动量方程右边第三项表示悬沙浓度对流场的影响。

2. 冲淤模型

根据水力学模型中床面剪力的大小,分别计算推移质和悬移质输沙率,根据输沙平衡,床面高程的变化可以用下式表示:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-n} \left(-\frac{\partial q_i}{\partial x_i} + D - E \right)$$

式中, n 为床沙空隙率; D 为沉积量; E 为侵蚀量; q_i 为 x_i 方向推移质单宽体积输沙率, 可用下式表示:

$$q_i = q_0 \frac{\tau_i}{|\tau|} - Cq_0 \frac{\partial h}{\partial x_i}$$

式中, q_0 为平面单宽体积输沙率; 第二项为坡度修正, 室内试验数据显示, 经验系数 C 的取值范围为 1.5~2.3。

$$q_0 = \begin{cases} 12\sqrt{g(s-1)d^3\theta(\theta-\theta_{cr})} & \theta > \theta_{cr} \\ 0 & \theta \leq \theta_{cr} \end{cases}$$

式中, d 为泥沙的中值粒径; θ 为泥沙床面希尔兹数; θ_{cr} 为泥沙临界启动希尔兹数。

对于泥沙临界希尔兹数, 根据下式 (Soulsdy, 1997) 确定:

$$\theta_{cr0} = \frac{30}{1+1.2D_*} + 0.055[1 - \exp(-0.02D_*)]$$

式中, D_* 为无量纲泥沙粒径, $D_* = d \left(\frac{g(s-1)}{\nu^2} \right)^{1/3}$ 。

3. 边界条件

在进流边界, 假设其湍流已经充分发展, 则相应的进流速度、湍动能、耗散率剖面由以下式子确定:

$$u(z) = \min \left[\frac{u_*}{k} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right), u_0 \right]$$

$$k(z) = \max \left[C_\mu^{-1/2} \left(1 - \frac{z}{\delta} \right)^2 u_*^2, 1.5(Tu_0)^2 \right]$$

$$\varepsilon(z) = \frac{C_\mu^4 k(z)^3}{l}, \quad l = \min \left[kz \left(1 + 1.5 \frac{z}{\delta} \right)^{-1}, C_\mu \delta \right]$$

式中, 自由表面流速 u_0 , 自由流湍流强度 T 和边界层厚度 δ 为输入参数; z_0 为床面糙度; C_μ 为湍流模型中指定的经验常数, 近似为 0.09; 摩阻流速 u_* 可由对数剖面计算而得。

实验为清水冲刷, 因此进流悬沙边界条件假设为 $c(z) = 0$ 。

二、数值试验

根据 2005 年已经进行的实验室物理模拟试验, 沉底物体 (以下简称沉物) 状态分为 3 种类型: 沉物模型 1, 沉物形状为圆台状 (上顶面半径为 56mm, 下底面半径为 80mm, 圆柱部分高为 28mm, 其余部分高为 48mm); 沉物模型 2, 沉物形状为圆柱状 (长为

210mm, 底半径为 53mm), 沉物轴向垂直于水流流向; 沉物模型 3, 沉物形状为圆柱状与沉物模型 2 相同, 而沉物轴向平行于水流流向。本文进行了与物理模拟条件相同的数值试验, 力图可以基本模拟出 2005 年已经进行的实验室物理模拟的模拟结果。

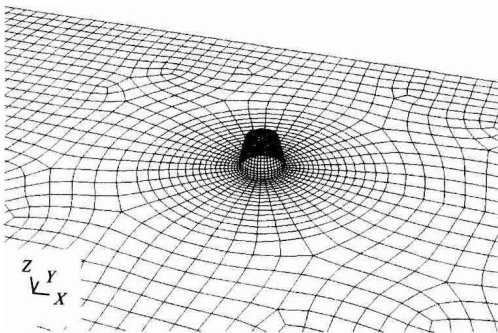
1. 参数设置和计算网格

网格各水文、漏沙参数的设置值见表 1。

表 1 计算参数值

$u_0 = 0.35$ (m/s)	自由表面流流速
$\delta = 0.3$ (m)	水深
$T = 0.09$	自由流湍动水平
$d_s = 900.E-6$ (m)	泥沙粒径
$s = 2.66$	泥沙密度与水的比值
$P_0 = 0.4$	孔隙率
$\phi = 0.5874$	泥沙内摩擦角(弧度)
$C_\mu = 0.09$	湍动经验系数
$\sigma_c = 1.0$	泥沙扩散系数
$\theta_{cr0} = 0.030$	泥沙启动希尔兹数
$D_* = 22.7$	无量纲颗粒粒径
$k_s = 0.0025$	表面粗糙度, 一般取 2.5 倍泥沙粒径
$C = 1.5$	推移质经验系数

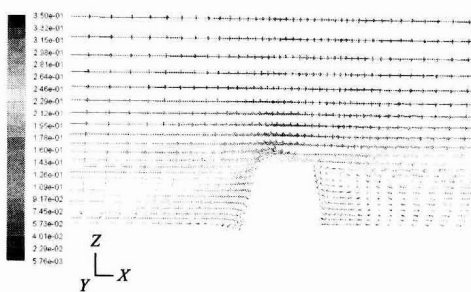
计算网格均采用六面体网格, 图 1(a) 是初始时刻底边界的初始网格示意图。



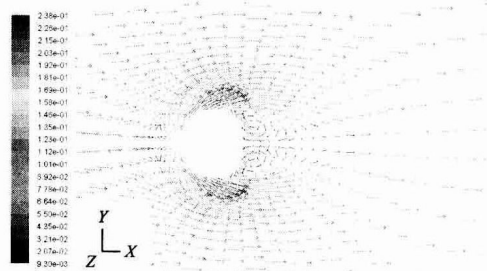
(a) 数值计算的初始网格图



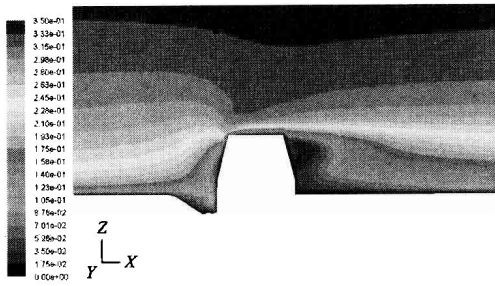
(b) 数值计算的初始流线图



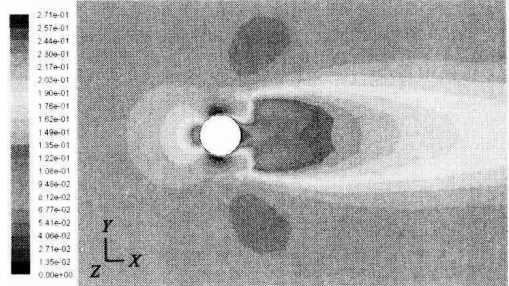
(c) 初始剖面流场图



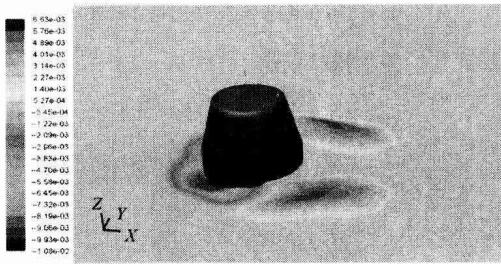
(d) 初始平面流场图



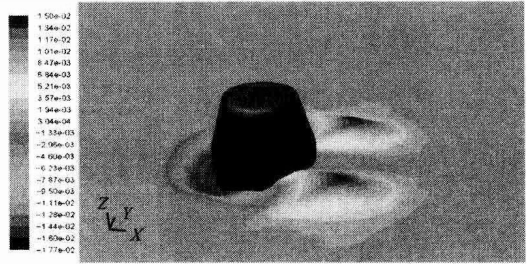
(e) 计算 30min 后剖面流速等值线图



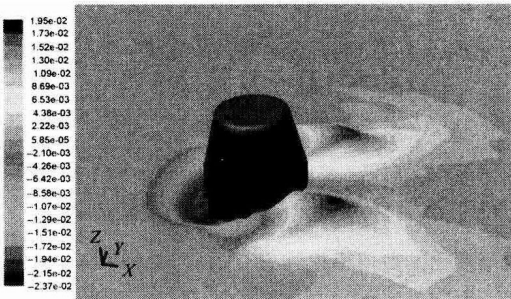
(f) 计算 60min 后近底层流速等值线图



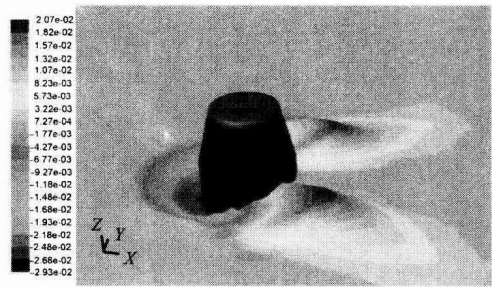
(g) 计算 1min 后, 地形变化等值线图



(h) 计算 5min 后, 地形变化等值线图



(i) 计算 30min 后地形变化等值线图



(j) 计算 60min 后地形变化等值线图

图 1 沉物模型 1 附近水文状况、地形变化的数值模拟结果

2. 模拟结果分析

数值试验的模拟结果如图 1、图 2、图 3 所示, 对应的 2005 年物理模拟实验的结果如图 4 所示。模拟结果基本再现了在较小流速(近底层流速为 0.22m/s)作用下, 较粗底质泥沙(中值粒径为 0.9mm)上, 沉物模型 1、2、3 周围的水流、泥沙状况及其变化。

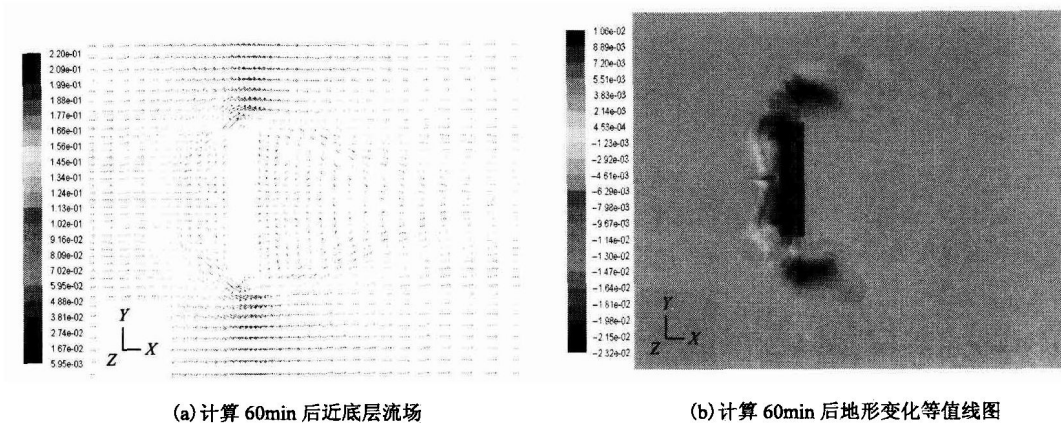


图 2 沉物模型 2 附近流场、地形变化的数值模拟结果

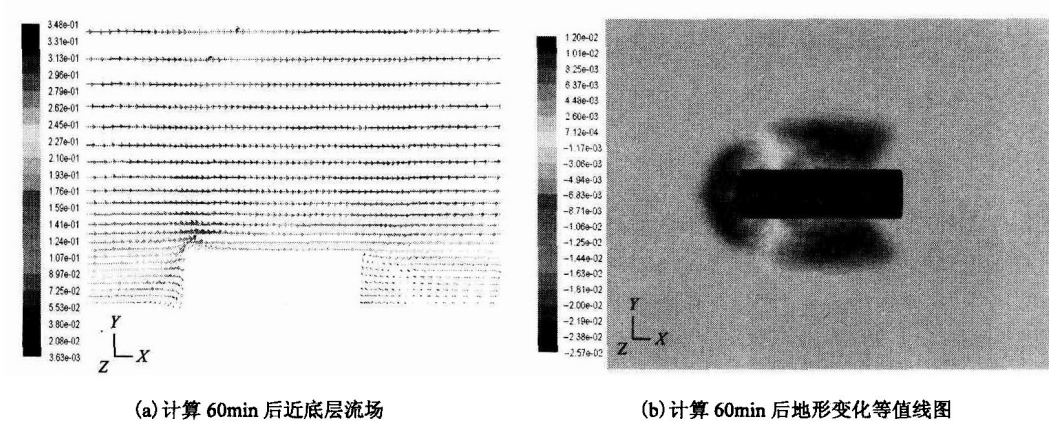


图 3 沉物模型 3 附近流场、地形变化的数值模拟结果

1) 沉物模型 1

如图 1(b)、(c)、(d)、(e)、(f) 不同时刻、不同断面流场矢量图和流速等值线图所示, 沉物模型 1 的存在使流场发生了显著变化。在沉物的迎流面, 由于沉物对水流的阻挡作用, 水流流速迅速减小, 到与沉物接触面达到最小; 而且水流发生分叉, 即绕流; 水流分叉后, 流速显著增强。在沉物的背流面, 即尾流区, 发生脱体流动漩涡, 存在较弱的回流, 而且整个尾流区流速较小。随着时间的推移, 沉物周围冲刷和堆积地形的不断发展, 流场也随之发生相应的变化[图 1(e)、(f)]。

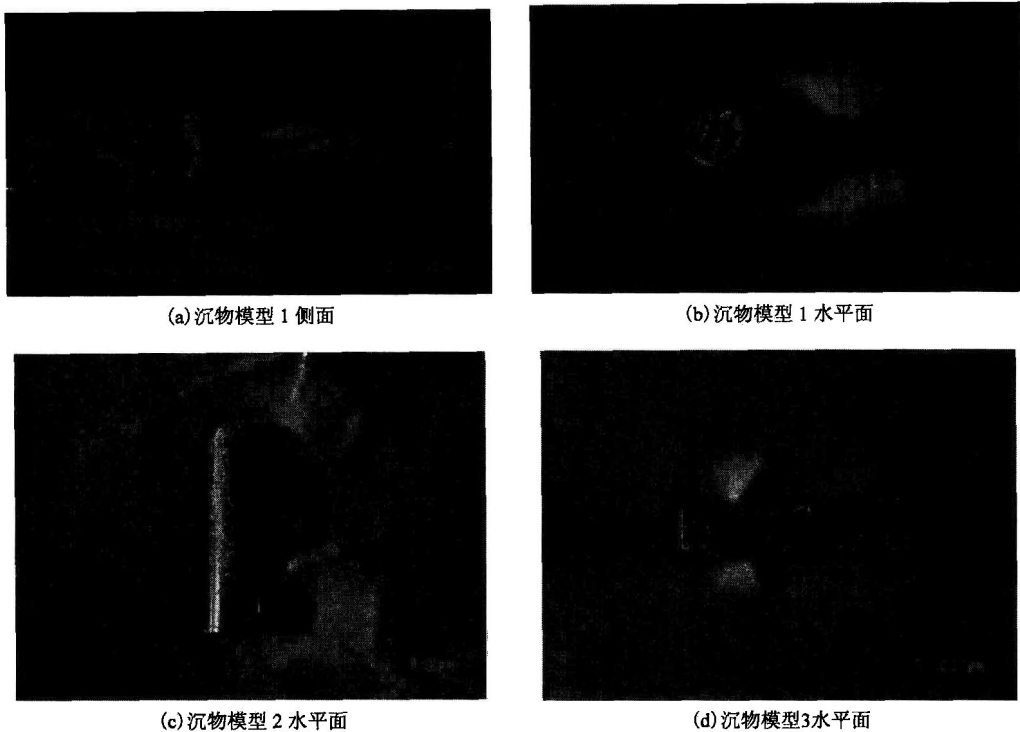


图4 实验室物理模拟试验沉物周围的地形变化结果

在流场的作用下，沉物周围的泥沙发生运动，并最终导致沉物周围地形的变化，如图1(g)、(h)、(i)、(j)不同时刻沉物周围地形变化图所示。在数值计算1min后，地形的变化量很小，在迎流面最大冲刷深度为1.08cm，在背流面的最大堆积厚度为0.66cm；随着计算时间的推移，冲刷与堆积地形的进一步发展，在数值计算5min后，最大冲刷深度为1.77cm，最大堆积厚度为1.50cm；当计算时间达到30min时，相应的最大冲刷深度和最大堆积厚度分别为2.37cm和1.95cm；当计算进行到60min时，相应的最大冲刷深度和最大堆积厚度的增加并不显著，分别为2.93cm和2.07cm。随着时间的推移，沉物周围冲刷、堆积的变化量逐渐减小，表明随着时间的推移，冲淤逐渐趋于平衡。

地形的改变是通过推移质的输运(推移质图略)引起的，流速大的位置，推移质输沙率大；流速小的区域，推移质输沙率小。 X 方向推移质输沙率自左向右随水流输送； Y 方向推移质输沙率在迎流面随水流向下，在背流面随水流向上输送。随着时间的推移，输沙率大的地方被逐渐冲刷，冲刷起来的泥沙随水流方向输运，最终被堆积在输沙率小或几乎等于零的地方。随着计算时间的增加，冲淤逐渐达到平衡，推移质的输沙率也在逐渐减小。

数值模拟的结果与2005年实验室物理模拟的结果进行对比(图1、图4)，发现它们在冲淤地形的形态上，即什么位置冲刷，什么位置淤积以及冲刷和淤积量的大小等方面基本吻合。表2中实验室物理模拟的结果是，在水流加载1h后，最大冲刷深度为4.4cm，最大堆积厚度为0.1cm，地形高差为4.5cm；数值试验的结果是，在相同加载条件下，最大冲刷深度为2.93cm，最大堆积厚度为2.07cm，地形高差为5.0cm。两者之间在量值上有一定差别，主要原因可能是数值试验的底质条件是完全均匀的，即只有粒径为0.9mm

表 2 沉物模型周围地形变化的实测与模拟结果 (单位: cm)

项目	实测结果		模拟结果		实测高差	模拟高差
	最大冲刷	最大堆积	最大冲刷	最大堆积		
模型 1	-4.0	-0.1	-2.32	1.06	3.90	3.38
模型 2	-4.4	0.1	-2.93	2.07	4.5	5.0
模型 3	-3.2	-1.1	-2.57	1.20	2.1	3.77

的泥沙,而在实验室试验中,泥沙存在一定的级配比例,这样泥沙粒径小于中值粒径的部分泥沙和泥沙粒径大于中值粒径的另一部分泥沙的输运状况不同于数值试验,导致最终地形结果的差别。

2) 沉物模型 2

关于沉物模型 2 的数值试验,沉物模型 2 的存在也使流场发生了显著变化。流场的变化特征分为迎流面变化和背流面变化,由于沉物模型 1 轴向垂直于水流流向放置,所以其对水流的阻碍作用更加明显,除具有沉物模型 1 相同的流场特征外,在背流面形成了范围更大 5 倍于沉物直径的涡旋区(弱流区)[图 2(a)]。

随着水流的不断作用,沉物周围的地形不断发生变化。在数值计算 1min 后,地形的变化量很小,在迎流面沉物模型的末端,最大冲刷深度为 0.85cm,在冲刷坑的侧后方,最大堆积厚度为 0.33cm;随着计算时间的推移,冲刷与堆积地形的进一步发展,在数值计算 5min 后,最大冲刷深度为 1.45cm,最大堆积厚度为 0.46cm;当计算时间达到 30min 时,相应的最大冲刷深度和最大堆积厚度分别为 2.35cm 和 1.02cm;当计算进行到 60min 时,相应的最大堆积厚度的增加并不显著,为 1.06cm,而最大冲刷深度反而有所减小为 2.32cm,但冲刷范围有所增加。

数值模拟的结果与 2005 年实验室物理模拟的结果进行对比,发现它们在冲淤地形的形态上,即什么位置冲刷、什么位置淤积方面存在一定的差异,特别是淤积范围与实验室物理模拟结果相差较大。这是本次数值试验的主要不足,有待于在今后做相应改进。如表 2 所示,实验室物理模拟的结果是,在水流加载 1h 后,最大冲刷深度为 4.0cm,最大堆积厚度为 0.1cm,地形高差为 3.9cm;数值试验的结果是,在相同加载条件下,最大冲刷深度为 2.32cm,最大堆积厚度为 1.06cm,地形高差为 3.38cm。两者地形高差基本吻合。

3) 沉物模型 3

关于沉物模型 3 的数值试验,沉物模型 3 的存在使流场发生了显著变化[图 3(a)]。由于沉物模型 3 的轴向平行于水流流向,沿沉物周围的绕流现象明显;在沉物的迎流面,同样显著阻隔了水体流动,甚至出现水流的反向流动;而在沉物的背流面,即尾流区,漩涡流动的范围小,强度小。在流场的作用下,沉物周围的泥沙发生运动,并最终导致沉物周围地形的变化。在数值计算 1min 后,地形的变化量很小,在迎流面最大冲刷深度为 0.83cm,在顺流面的最大堆积厚度为 0.43cm;随着计算时间的推移,冲刷与堆积地形的进一步发展,在数值计算 5min 后,最大冲刷深度为 1.43cm,最大堆积厚度为 1.13cm;当计算时间达到 30min 时,相应的最大冲刷深度和最大堆积厚度分别为 2.24cm 和

0.83cm, 堆积厚度有所减小, 但堆积范围却显著增加了; 当计算进行到 60min 时, 相应的最大冲刷深度和最大堆积厚度的增加并不显著, 分别为 2.57cm 和 1.20cm。

数值模拟的结果与 2005 年实验室物理模拟的结果进行对比, 发现它们在冲淤地形的形态上, 即什么位置冲刷, 什么位置淤积方面基本吻合。在水流加载 1h 后, 最大冲刷深度为 3.2cm, 最大堆积厚度为 -1.1cm, 地形高差为 2.1cm; 数值试验的结果是, 在相同加载条件下, 最大冲刷深度为 2.57cm, 最大堆积厚度为 1.20cm, 地形高差为 3.77cm。两者之间在量值上有较大差别, 主要原因可能是在实验室试验时, 由于沉物模型 3 放置在水槽的末端, 受尾部有少量回流的影响, 实际水流流速小于数值试验的输入流速, 导致最终地形高差小于数值试验结果。

三、结论与讨论

利用 CFD 软件对单向水流作用下 3 种沉底物体附近的水流状况、地形变化进行了数值模拟。数值模拟详细刻画了由于沉底物体的阻挡, 附近流场和地形的渐进变化过程; 3 种沉物地形变化的模拟结果与实验室物理模拟试验的结果基本吻合。

在进行数值试验时, 存在的主要问题是, 沉物在计算区域的位置是固定的, 不能像实际情况那样, 随着沉物周围冲刷深度的加大, 沉物会随之发生倾斜, 所以当冲刷深度相当大时, 再继续进行数值计算, 其模拟结果与实际结果的差别会越来越大。这是今后工作要克服的主要困难。存在的另一个问题是, 现在所做的模拟, 不包括对较粗颗粒底质冲刷比较关键的渗流引起的冲刷, 因此在沉物模型的背流面由于渗流引起的冲刷不能模拟出来。

参考文献

- Brørs B. 1999. Numerical modeling of flow and scour at pipelines. *J Hydr Eng*, 125 : 511–523
- Liang D, Cheng L, Li F. 2005. Numerical modeling of flow and scour below a pipeline in currents. Part II. scour simulation. *Coast Eng*, 52 : 43–62
- Roulund A. 2000. Three-dimensional numerical modelling of flow around a bottom-mounted pile and its application to scour. PhD Thesis, Department of Hydrodynamics and Water Resources, Technical University of Denmark
- Roulund A, Sumer B M, Fredsøe J *et al.* 2005. Numerical and experimental investigation of flow and scour around a circular pile. *J Fluid Mech*, 534 : 251–401
- Soulsby R. 1997. *Dynamics of Marine Sands*. London: Thomas Telford
- Wanker R, Goekler G, Knoblauch H. 2002. Numerical modeling of sedimentation utilizing a Euler/Euler approach. First International Conference on Computational Methods in Multiphase Flow. Orlando, Florida. 327–336
- Yeganeh A, Gotoh H, Sakai T. 2000. Applicability of Euler–Lagrange coupling multiphase-flow model to bed-load transport under high bottom shear. *J Hydr Res*, 38 : 389–398
- Yen C, Lai J S, Chang W Y. 2001. Modeling of 3D flow and scouring around circular piers. *Proc Natl Sci Coun ROC (A)*, 25 : 17–26
- Zhao E B, Pang C G. 2008. A numerical experiment on influence of obstacles upon current and sediment near sea floor. *The Yellow Sea*, 9(1) : 8–17
- Zhao Z H, Fernando H J S. 2007. Numerical simulation of scour around pipelines using an Euler-Euler coupled two-phase model. *Environ Fluid Mech*, 7 : 121–142

A Numerical Study on Flow Patterns and Bedform Evolution Around Obstacles on Seabed

PANG Chongguang¹ WEI Yanji² ZHAO Enbao³

(¹ Institute of oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

(² The Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012)

(³ Shanghai Institute of Waterways, Shanghai 200120)

ABSTRACT

A one-phase model is established by using CFD (Computational Fluid Dynamics) software, which includes a hydrodynamic sub-model, an erosion-deposition sub-model and a moving boundary method. In the model, the velocity field surrounding obstacles on the seabed is computed by a three dimensional $k-\varepsilon$ turbulence closure sub-model. Erosion and deposition caused by the transportation of suspended load and bed load are also calculated. The evolution of bedform is simulated in a mobile grid technique. The three-dimensional flow patterns and evolution of bedform around three different obstacles are simulated using the one-phase model. The hydrodynamic process and sediment transportation process surrounding the obstacles are reproduced in detail. The simulated results of bedform evolution are in good agreement with laboratory measurement results in 2005.

台湾暖流水和长江冲淡水在 32°N 断面 和 PN 断面上的分布及其变化*

白虹王凡

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

台湾暖流和长江冲淡水是东海西部环流的两个关键分量。台湾暖流起源于台湾海峡和黑潮, 通常沿福建和浙江海岸向北流动(翁学传等, 1984a; Su *et al.*, 1987; Guan, 1994)。与已形成于长江口外的长江冲淡水为特征的沿岸水相遇后, 台湾暖流转向东北, 甚至转向东(Hu, 1994)。冬季, 长江冲淡水在一个非常窄的范围内沿海岸线向南流动, 但在江河径流较大的洪水期, 则指向济州岛方向, 甚至可以到达对马海流区域(Hu, 1994)。台湾暖流携带了具有高盐、低悬浮体含量的大洋水, 而长江冲淡水则是低盐、高营养盐和高悬浮体含量的水体。台湾暖流水和长江冲淡水分别作为东海的盐量和淡水的主要来源, 其分布和变化控制着该地区的水团分布、环流结构以及物质输送和通量。

根据过去的研究, 具有高温和次高盐特征的台湾暖流上层水同时起源于台湾海峡和黑潮, 而具有高盐特征的深层水则只来源于由台湾东北部侵入陆架的黑潮水(翁学传等, 1984a)。上层水的温度和盐度范围在夏季分别是 23~29°C 和 33.3~34.2, 在冬季则温度降低、盐度略有增大。台湾暖流深层水的温度、盐度相对稳定, 温度的特征值为 19°C, 盐度的特征值为 34.4, 盐度的年变化范围为 34.1~34.7(Su *et al.*, 1994)。目前有关台湾暖流水行为特征的描述还存有争议。例如, 翁学传等(1984a)认为, 上层水的前锋可以伸展至 31°N, 而深层水能进一步延伸到 31°N 以北, 但不能到达 32°N。相反, 苏育嵩等(1994)指出, 上层水可到达 32°N, 而深层水仅在北半球的暖季(4~9 月)才可到达 28°N 以北。但他们都认为台湾暖流水的北侵在夏季最强(接近 31°N), 冬季最弱(仅达 28°N)。于是, 在这一海域的环流研究中, 便提出了有关台湾暖流水北侵的问题, 如“台湾暖流上层水和深层水北侵的季节变化特征是什么?”“台湾暖流水是否、什么时候和如何到达 32°N?”以及“台湾暖流在什么纬度上以整支流的方式转向东流?”等。

作者根据 1987~1998 年在 32°N 断面和 PN 断面上获得的 6 个航次的资料, 对东海西部海域的水团以及相关的环流, 特别是台湾暖流水和长江冲淡水的行为特征进行了分析研究, 试图回答上述部分问题。

* 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-YW-12)。

通讯作者: 王凡, 男, 研究员, 博士生导师, 现从事海洋环流与全球变化研究。E-mail: fwang@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 2009 年 3 月。

一、资料描述

作者所用资料来源于 1987 年国家基金项目“陆架环流与大洋环流的关系及其相互作用” 1 个航次、1993~1998 年国家基金重点项目“东海陆架边缘海洋通量研究” 3 个航次和国家基金重点项目“东海海洋通量关键过程的研究” 2 个航次的 CTD 资料(表 1)。

表 1 航次表

航次	时间	断面
1	1987 年 7 月	32°N, G
2	1993 年 10 月	32°N, PN
3	1994 年 4 月	32°N, 31°N, PN
4	1994 年 10 月	32°N, PN
5	1997 年 2 月	32°N, PN
6	1998 年 7 月	32°N, PN

上述 6 个航次调查是在不同季节进行的, 因此可以用来分析水团分布在 32°N 和 PN 断面上的季节变化和年际变化。除 32°N 和 PN 断面外, 航次 3 还有一个 31°N 断面。另外, 航次 1 的 G 断面位置与正常 PN 断面位置略有差别(图 1)。

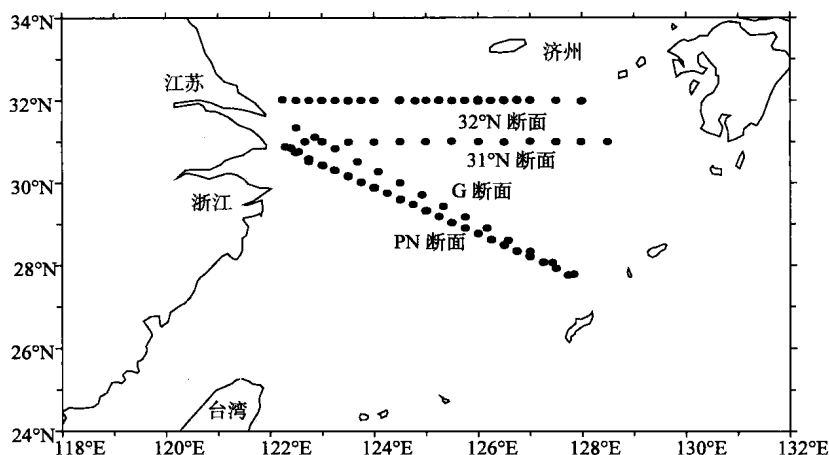


图 1 G 断面的位置与正常 PN 断面的位置图

二、方法与定义

台湾暖流的行为特征(包括其分布和变化)与台湾暖流和长江冲淡水之间混合和相互作用的变化密切相关, 而台湾暖流和长江冲淡水的盐度值分别是这个区域的最大值和最小值。因此, 根据其盐度值, 可以很容易地将台湾暖流与长江冲淡水加以区分。台湾暖流和长江冲淡水之间存在着强盐度锋面(翁学传等, 1984b), 它清楚地显示了两个水团间的边界, 并在很大程度上制约了台湾暖流的路径。与温度相比, 陆架上水团的盐度在季节循环中是相当稳定的。由于台湾暖流和长江冲淡水的盐度有着明显的差异, 以及其量值的稳定性也有差别, 所以在下面对水团, 特别是台湾暖流及其性质的讨论中, 采用