



我国近海海洋综合调查与评价专项 成果
“十一五”国家重点图书出版规划项目

SHANGHAI HAIYANG ZONGHE DIAOCHA YU
PINGJIA LUNWENJI

上海海洋综合调查 与评价论文集

黄秀清 徐韧 胡欣 主编



 海洋出版社

上海海洋综合调查与评价论文集

黄秀清 徐 韧 胡 欣 主编

海洋出版社

2010 年 · 北京

图书在版编目(CIP)数据

上海海洋综合调查与评价论文集/黄秀清,徐韧,胡欣主编. —北京:海洋出版社,2010.7

ISBN 978-7-5027-7785-2

I. ①上… II. ①黄… ②徐… ③胡… III. ①海洋调查-上海市-文集 ②海洋资源-综合评价-上海市-文集 IV. ①P714-53②P74-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第137570号

责任编辑:杨传霞

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2010年7月第1版 2010年7月北京第1次印刷

开本:889mm×1194mm 1/16 印张:19.75

字数:500千字 定价:78.00元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《上海海洋综合调查与评价论文集》

编 委 会

主	编:	黄秀清	徐 韧	胡 欣
编	委:	倪文胜	王金辉	刘兴坡
		石少华	李九发	朱惠琴
		仵彦卿	沈明球	杨 红
		杨开良	杨 颖	戚定满
		翁光明	谢文辉	程祥圣

前言

Foreword

“我国近海海洋综合调查与评价”专项(“908”专项)是我国有史以来投入最大、调查范围最广、调查技术最为先进的近海海洋调查与研究项目,开展这一基础性工作,旨在全面掌握我国近海海洋“家底”,以适应新形势下海洋开发与管理的需要,也是建设海洋强国的必然要求,专项工作意义重大、影响深远。上海市“908”专项是国家“908”专项的有机组成部分,同时又是一个独立、完整的体系,本专项包括三项基本内容:(1)开展上海近海海洋综合调查。查清上海市海洋要素的时空分布特征和变化规律,查明海岸线的类型、长度和海岛(岛礁)位置、类型、数量、面积等基本情况,了解海洋灾害、可再生能源分布和沿海社会经济发展等状况。(2)开展上海近海海洋综合评价。分析与评价上海市海洋经济发展和海洋开发利用、海洋安全、海洋环境保护和生态建设以及海洋管理等领域的的相关内容,为优化现行海洋功能区划、制定海洋保护规划和海洋经济可持续发展战略提供科学依据。(3)构建“数字海洋”上海示范区框架。利用3S技术、数据仓库技术和信息网络技术等高新技术手段,汇总专项调查数据,整合历史资料,在统一的信息标准下,构建上海市近海“数字海洋”空间基础数据平台和网络交换中心,建立专题信息系统,形成海洋信息业务化综合应用及服务能力。

通过项目实施,可获得一批能直接应用于海洋经济建设、社会发展、海洋行政管理的基础图件、数据和评价成果,构建面向各涉海部门的“数字海洋”上海示范区框架,同时提升上海市海洋调查装备水平,培养高素质人才队伍,提高海洋科技创新和应用能力。

随着《上海市近海海洋综合调查与评价协议书》的签订,国家海洋局和上海市人民政府合作开展上海市“908”专项正式拉开了序幕。上海市“908”专项也继而于2005年正式启动实施。专项任务承担单位通过全市招标和择优委托的方式确定,具体有华东师范大学、复旦大学、上海河口海岸科学研究中心等共计17家单位承担了专项任务。2009年,专项工作已进入全面收尾阶段。项目开展以来,历经了四年多的辛勤耕耘,科研人员不懈努力,充分利用相关历史资料和“908”专项最新的调查资料,并进行分析、梳理、总结和提炼,形成了一大批专项研究论文成果,我们从中遴

选了一批优秀论文编印成册,这是项目科研人员勤劳和智慧的结晶,也是上海市“908”专项任务研究成果的集中反映。部分论文还在有关的报刊、杂志上发表,体现了该批论文质量好、水平高。

借此论文集出版的机会,感谢国家海洋局“908”专项办公室和上海市海洋局的正确领导,感谢各承担单位的积极参与和配合,并对本论文集编委会成员付出的艰辛劳动表示由衷的感谢!

编者

2009年6月

目 录

新模型——长江口无结构网格水流泥沙数学模型开发及应用·····	戚定满,顾峰峰,万远扬,等(1)
上海地区海洋灾害及海洋动力环境变化趋势分析·····	王 巍,戚定满,万远扬(12)
长江河口南汇嘴潮滩近期水文泥沙条件分析·····	李九发,戴志军,李占海,等(18)
上海地区近 50 年来风暴潮情况及典型风暴潮数学模型研究 ·····	戚定满,万远扬,顾峰峰,等(24)
上海沿海海域波浪能源蕴藏量分布·····	周根元,赵江艳(38)
上海南汇区滨海旅游度假区旅游资源评价研究·····	姚东京,温家洪(49)
夏季上海近岸及长江口邻近水域鱼卵、仔稚鱼种类组成及数量分布初步调查 ·····	忻丁豪,程祥圣,徐 韧(54)
赤潮相关有害藻类生物入侵状况研究·····	王金辉,秦玉涛,徐 韧,等(59)
夏冬季长江口底栖多毛类的分布·····	孙亚伟,秦玉涛,龚婉卿,等(68)
上海近岸冬季浮游植物分布现状·····	秦玉涛,宋晨瑶,孙亚伟,等(74)
夏季长江口近岸海域聚球蓝细菌生态分布特征及其与环境因子的关系 ·····	刘材材,项凌云,张昊飞,等(80)
夏冬两季长江口内不同水域浮游动物群落比较分析·····	曹 恋,李志恩,范海梅,等(91)
上海市近岸海水中营养盐分布与潜在性富营养化特征·····	张丽旭(101)
紫外光还原流动注射测定海水中的硝酸盐氮·····	杨 颖,程祥圣,刘鹏霞(110)
崇明东滩潮间带沉积物重金属环境污染评价·····	杨 颖,张丽旭(118)
我国无居民海岛的开发、保护及管理现状·····	刘兴坡,丁永生(126)
生态系统评价的目标、类型及方法·····	刘兴坡,丁永生(133)
上海市海岛与海岸带区域的开发及保护活动类型·····	刘兴坡,丁永生(137)
欧盟海岸带综合管理进展·····	刘兴坡,丁永生(143)
美国海岸带环境与生态效应评价研究综述·····	康与涛,丁永生(147)
横沙岛、长兴岛海岸线现状调查分析·····	秦 平,杨 华,王晓亮(152)
海洋产业对浦东经济发展影响浅析·····	朱 虹,石少华,向清华(158)
长江口深水航道治理工程不同工程阶段对长江口的影响分析·····	万远扬,戚定满(165)
长江河口南汇嘴潮滩冲淤演变研究·····	赵建春,李占海,戴志军,等(172)
2006 年夏季浙江海域赤潮生物群落分布与富营养化关系·····	朱 虹,黄秀清,秦铭俐(181)
长江口上海近海海域分子微生物初步研究·····	曹 波,杨 红,许强华(189)
长江口游泳动物渔获组成及其多样性分析·····	戴小杰,李 延,姜润林(200)
1999 年到 2006 年上海海域水体溶解氧分布变化分析·····	李 岫,仵彦卿,范海梅(209)
长江口吴淞—浏河滨岸带沉积物 AVS 和 SEM 含量的空间分布特征 ·····	孙玮玮,王东启,陈振楼,等(217)

上海滨岸带沉积物 AVS 空间分布特征 孙月娣,王东启,陈振楼,等(227)

上海滨岸带柱状沉积物酸挥发性硫化物(AVS)垂直分布及其空间变化特征
..... 周 栋,王东启,陈振楼,等(235)

基于 Google Earth 的空间信息发布 谢文辉(245)

上海海上“白玉兰城”:建设背景与概念规划 叶属峰,潘增弟,袁俊峰(250)

上海海域水质模糊综合评价 潘 怡,仵彦卿,叶属峰(259)

崇明县海洋产业可持续发展策略研究 顾惠明,姚洁芳(267)

上海市“908”专项任务概述 朱惠琴,黄秀清(276)

上海隧桥工程附近海域生态系统健康评价 杨 红,袁政涛,戴小杰,等(282)

上海无居民海岛潮间带沉积环境质量评价 杨 红,王 翔,李奶姜,等(292)

抓过程保结果 抓管理保质量 赵秀玲,邬益川,周罗明(302)

新模型——长江口无结构网格水流泥沙数学模型开发及应用

戚定满¹,顾峰峰¹,万远扬¹,沙伟²

(1. 上海河口海岸科学研究中心,上海 201201;2. 上海海洋环境预报台 海洋预报台,上海 200081)

摘要:介绍上海河口海岸科学研究中心开发长江口无结构网格水流泥沙数学模型。该模型采用半隐半显的计算格式,既保证了计算的稳定性,又提高了计算效率。同时采用无结构计算网格,对复杂的岸线、出水岛屿、整治建筑物的模拟能做到完全贴合,计算方法采用有限体积法全部计算域满足水流质量和动量守恒。该软件作为具有自主知识产权的计算工具,目前取得了国家版权局知识产权的认定(国家计算机软件著作权登记号:2008SR33450)。该计算软件对长江口的潮位、流速、流向、含沙量的资料进行了率定和验证。结果表明本模型选用的参数及边界条件是合理的,计算结果有令人满意的精度。最后利用该模型对长江口南北港河段的地形冲淤变化做验证,表明该泥沙模型确实能对该区段河床变化特征进行模拟。目前该模型为长江口航道的日常维护和管理提供科学的依据。在学术上,具有重要的意义,在工程应用上发挥了重大的作用。

关键词:无结构化网格;有限体积法;长江口;数学模型

1 引言

为了使长江口北槽深水航道治理工程的效果得到充分体现,开发和保护好长江口航道资源,为上海市和长江流域的航运经济可持续发展服务,负责长江口航道规划、建设、管理和维护的长江口航道管理局需要一个长江口航道维护核心计算平台开展长江口潮流、泥沙及波浪等基本动力场状况研究。长江口内岛屿较多,平面形态复杂,模拟此类复杂水域的水流运动,传统正交或非正交曲线网格很难满足工程可行性研究的需要。基于三角形网格的有限元法因计算工作量大,在实际应用中会受到区域大小和网格数的限制,计算响应时间很难满足工程要求。在开发该计算平台的水流模型中,采用无结构化网格有限体积法水流计算模型。该模型具有边界易拟合、局部易加密、质量和动量均守恒的特点,能正确模拟长江流场整体特性。

基金项目:上海市近海海洋综合调查与评价专项(“908”专项)PJ8和专项PJ9资助。

作者简介:戚定满,博士,研究员,主要从事河口海岸泥沙运动研究。

2 水流泥沙模型控制方程

2.1 水流数学模型控制方程

大尺度潮流运动的数学描述基于静压假定,实践表明具有一定的计算精度。平面二维模型在保持一定计算精度的前提下计算量相对较少,在工程计算中得到了广泛应用。以下给出关于潮流运动的平面二维数学描述——二维浅水方程,坐标系为传统的笛卡儿直角坐标系。

水位控制方程:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{q} = 0 \quad (2.1)$$

动量方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{q}}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{q} \vec{V}) = & -gD \nabla \eta - \frac{g \vec{q} |\vec{q}|}{C^2 D^2} + \frac{\vec{\tau}_\alpha}{\rho_w} - 2\vec{\Omega} \times \vec{q} + \\ & \nabla \cdot [A_H (\nabla \vec{q} + \nabla^T \vec{q})] - \frac{D}{\rho_w} \nabla \vec{p}_\alpha \end{aligned} \quad (2.2)$$

式中, η 为水位值; $D = H + \eta$ 为总水深; $\vec{q}$ 为矢量流量; $\vec{V} = \frac{\vec{q}}{D}$ 为流速; $\vec{p}_\alpha$ 为大气压强; $\vec{\Omega}$ 为地转速度,描述地球自转效应,可以表示为

$$\begin{aligned} -2\vec{\Omega} \times \vec{q} & \approx f q_y \vec{i} - f q_x \vec{j}, \quad f = 2\Omega \sin \theta, \\ \Omega & = 7.29E-5 \end{aligned} \quad (2.3)$$

这里, f 为 Coriolis 系数; θ 为地球纬度; C 为 Chezy 系数,描述了床面摩阻效应 $C = \frac{D^{1/6}}{n}$; 曼宁系

数 $n: n = n_1 + \frac{n_2}{D}, n_1, n_2$ 可以人为通过两点线性插值得到。

A_H 为涡粘摩阻系数,这里采用了基于 SMAGORINSKY 子网格模型的二维平面大涡模型:

$$A_H = c_s \Delta^2 \left[\left[\frac{\partial u}{\partial x} \right]^2 + 0.5 \left[\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right]^2 + \left[\frac{\partial v}{\partial y} \right]^2 \right]^{0.5} \quad (2.4)$$

其量纲为 m^2/s , $C_s = 0.01 \sim 0.2$, $\Delta = (da)^{\frac{1}{2}}$, da 为网格控制体面积。

τ_α 为自由表面的风应力:

$$(\tau_{\alpha x}, \tau_{\alpha y}) = \rho_\alpha C_{ds} \sqrt{W_x^2 + W_y^2} (W_x, W_y) \quad (2.5)$$

这里, $\tau_{\alpha x}, \tau_{\alpha y}$ 分别代表 x, y 方向的风应力分量; ρ_α 为空气密度,取 1.2393 kg/m^3 ; C_{ds} 为风应力拖曳系数。采用 GARRAT(1977)公式:

$$C_{ds} = (0.75 + 0.067 W_s) \times 10^{-3}, C_{ds} = \min[C_{ds}, 0.003] \quad (2.6)$$

这里, W_s 为距离海面高度 10 m 处的风速大小。

2.2 泥沙数学模型控制方程

泥沙运动方式一般有悬移及推移两种,在长江口,一般认为泥沙运动以悬沙为主,水体含沙量是影响航道淤积的主要因素。根据曹祖德^[2~5]的研究,垂线平均流速在 $0.4 \sim 1.8 \text{ m/s}$ 的范围内,对于 $d \leq 0.05 \text{ mm}$ 的泥沙,以推移质方式的输沙所占比例均低于 5%,对于 $d \leq 0.075 \text{ mm}$ 的泥沙,以推移质方式的输沙所占比例均低于 14%。根据 2005 年 8 月南港的多个测点的实

测悬沙级配的成果统计,计算区段垂向平均的 d_{50} 约在 0.01 mm 左右,近底层的悬沙 d_{50} 约在 0.01 ~ 0.03 mm 之间,因而该区段的泥沙输运以悬沙输移为主,底沙推移质作用的相对较小。

1) 悬移质输沙

悬沙输移是由对流扩散方程决定的,悬沙输移方程则提供平衡状态下的泥沙浓度,悬沙对流扩散方程可以表达为:

$$\frac{\partial hC_s}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(huC_s - \varepsilon h \frac{\partial C_s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hvC_s - \varepsilon h \frac{\partial C_s}{\partial y} \right) = F_s \quad (2.7)$$

式中, ε 为 x 和 y 方向的泥沙扩散系数,通常取同一值; F_s 为泥沙源汇函数或床面冲淤函数,由式(2.8)确定:

$$F_s = \omega_s (\alpha_2 S - \alpha_1 S_*) \quad (2.8)$$

式中, α_1 为泥沙冲刷几率; α_2 为泥沙淤积几率; ω_s 为悬沙沉速; S_* 为水体挟沙力,一般采用经验公式或半理论方法确定,这里参照窦国仁公式且只考虑水流作用,水流挟沙力计算公式可表示如下:

$$S_{c*} = \alpha \frac{\gamma\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} \frac{u^3}{C^2 h \omega_s} \quad (2.9)$$

式中, S_{c*} 为水流挟沙力; γ, γ_s 分别为水流和泥沙容重; C 为谢才系数; u 为水流速度; h 为水深; α 为待定参数。

床面泥沙的交换将导致床面高程的变化,在忽略推移质输沙的情况下,床面变化直接决定于泥沙的淤积通量和起悬通量,可由下式计算:

$$\gamma' \frac{\partial z_b}{\partial t} = F_s \quad (2.10)$$

式中, z_b 为河床高程; γ' 为泥沙干容重,一般来说,表层淤泥的干容重主要与淤积物的粒径有关,可近似由下式计算:

$$\gamma' = 1750 d_{50}^{0.183} \quad (2.11)$$

式中, γ' 为表层淤积物干容重 (kg/m^3); d_{50} 为淤积物中值粒径 (mm)。

2) 推移质输沙

根据窦国仁推移质不平衡输沙方程式为:

$$\frac{\partial (HN)}{\partial t} + \frac{\partial (HNv_x)}{\partial x} + \frac{\partial (HNv_y)}{\partial y} + \alpha_b \omega_b (N - N^*) = 0 \quad (2.12)$$

式中, N 为单元体积内推移质泥沙量; v_x 和 v_y 为流速分量; α_b 为推移质沉降系数; ω_b 为推移质颗粒沉速; N^* 可由式(2.13)确定:

$$N^* = \frac{q_b^*}{Hv} \quad (2.13)$$

式中, q_b^* 为推移质在单位时间内的单宽输沙能力,其用窦国仁公式可以由式(2.14)给定:

$$q_b^* = \frac{K_2}{C^2} \frac{\gamma\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} m \frac{(u^2 + v^2)^{3/2}}{\omega_b}$$

$$m = \begin{cases} \sqrt{u^2 + v^2} - V_k & \text{当 } V_k \leq \sqrt{u^2 + v^2} \text{ 时} \\ 0 & \text{当 } V_k > \sqrt{u^2 + v^2} \text{ 时} \end{cases} \quad (2.14)$$

式中, V_k 为推移质颗粒的临界起动流速。

由推移质引起的河床变形方程为:

$$\gamma_0 \frac{\partial \eta_b}{\partial t} = \alpha_b \omega_b (N - N^*) \quad (2.15)$$

所以,由悬移质和推移质引起的河床冲淤厚度为

$$\eta = z_b + \eta_b \quad (2.16)$$

式中, η_b 为推移质引起的冲淤厚度。

2.3 数值离散方法

采用有限体积法求解上述控制方程,离散方法采用 Casulli 半隐格式,即对连续方程中流速梯度项和动量方程中水位梯度项采用 θ 法, $0.5 \leq \theta \leq 1$, 在本文中取 $\theta = 0.5$; 对流项、扩散项、科氏力项、风应力项以及气压项采用显格式; 对摩阻项采用隐格式。离散原方程如下:

$$\frac{\eta^{n+1} - \eta^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} \nabla \cdot (\vec{q}^n + \vec{q}^{n+1}) = 0 \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\vec{q}^{n+1} - \vec{q}^n}{\Delta t} + \nabla \cdot (\vec{q} \vec{V})^n = & -\frac{1}{2} g D (\nabla \eta^n + \nabla \eta^{n+1}) - \frac{g |\vec{q}|^n \vec{q}^{n+1}}{C^2 D^2} + \frac{\vec{\tau}_\alpha^n}{\rho_w} - 2 \vec{\Omega} \times \vec{q}^n \\ & + \nabla \cdot [A_H (\nabla \vec{q}^n + \nabla^T \vec{q}^n)] - \frac{D}{\rho_w} \nabla \vec{P}_\alpha^n \end{aligned} \quad (2.18)$$

有限体变量的体积平均量,赋值于有限体中心点(格心),有限体边界面 f 上的平均量,赋值于边界面中心点(图 1),其中, $\vec{dl}$ 为面法向量; $\vec{r}$ 为连接格心和面中心点的向量; L, R 分别表示某个面 f 的左单元和右单元。

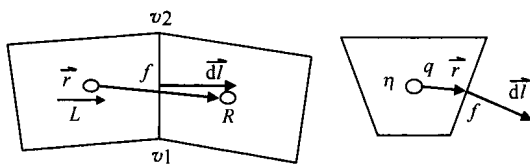


图 1 有限体结构及变量配置

具体求解过程可分为四步:首先计算 n 时刻各有限体单元边界面上的流通量 $\vec{q}^f$; 然后引入中间变量 $\vec{q}^*$; 计算预估流场 $\vec{q}^*$; 接着对水位方程采用隐式求解; 最后更新 $n+1$ 时间层上水位、流量以及水深。

2.4 数学模型范围

模型的计算区域西起上游的大通站,东至外海 -40 m 等深线,北边界至连兴港的北侧,南边界包括杭州湾的整个区域,包括南北支、南北港和南北槽以及杭州湾在内的海域;其中,东西向的长度约 600 km,南北向宽度为 600 km。由于采用无结构化网格更好地拟合长江口复杂的岸线,该区域一些小的岛屿均可以被较好地分辨出来,在长江口区域的网格比较密,而在外海,

网格分辨率则比较大。网格最小间距约为 45 m,总网格单元数为 63 945,总网格节点数为 33 609(图 2)。

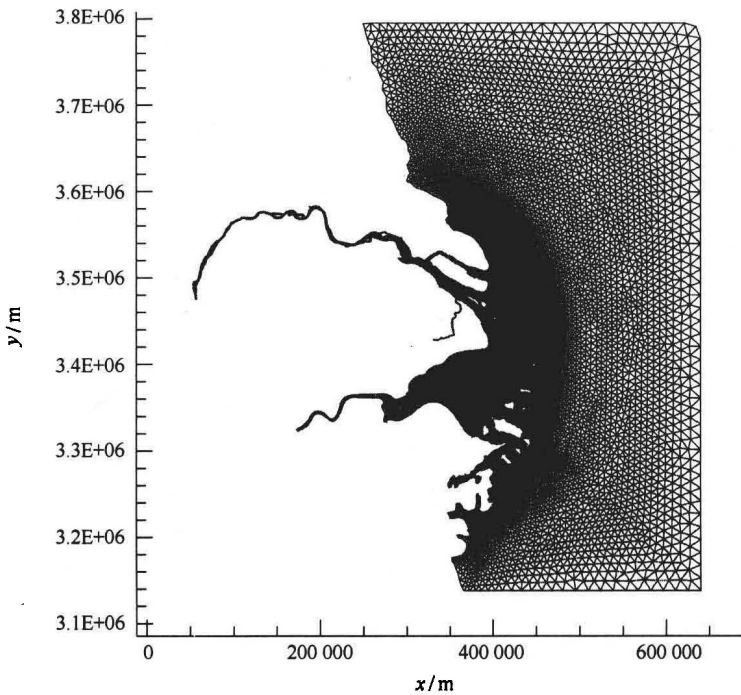


图 2 长江口模型计算区域

2.5 动边界处理

当计算单元露出水面或是单元水深小于某一最小控制水深时(这里取 0.2),即出现干湿情况。干湿判断准则:一个时间层计算结束后,首先观察所有有限体边界面的干湿状况,根据边界面相邻两个有限体的水深、水位及底高程,判断该边是否为干边界(参见图 3 至图 5);随后判断每个有限体的干湿,当有限体的所有边界面都为干边界面时,该有限体设为干有限体。为了能在对整个计算域进行计算的过程中,自动捕捉干单元与湿单元的边界,通常要进行动边界的特殊处理。常用的方法有冻结法、窄缝法、最小水深法等,这里采用最小水深法,即假设在干单元上有一极薄层静止水深 $\min D$ (这里取 0.2),通过这一假设后,让干单元也参与计算。结合有限体积法,动边界处理的具体分为如下的三种情况:如图 3,当湿单元水位小于干单元底高程时,界面流量为 0,界面水位在计算不同单元时,分别取各自单元的水位;如图 4,当湿单元水位大于干单元底高程时,界面流量和水位插值方法不变,可计算出下一时刻干单元是否为干;如图 5,当两个单元都为干时,界面流量为 0,界面水位在计算不同单元时,分别取各自单元的水位。

图 3 至图 5 中,L 和 R 分别表示左单元和右单元, h_L 和 h_R 分别为 L 和 R 单元底高程, η_{L_i} 和 η_{R_i} 分别为 L 和 R 单元水位, D_L 和 D_R 分别为 L 和 R 单元水深,L/R 表示为界面值, q 为流量。

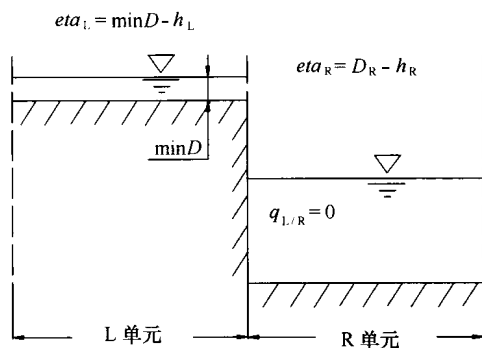


图3 湿单元水位小于干单元底高程

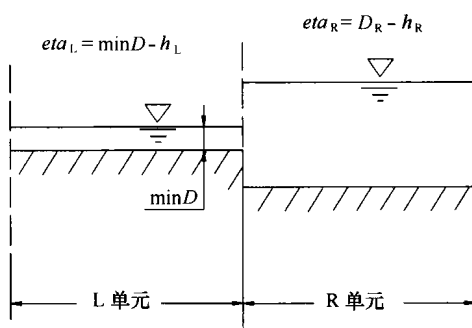


图4 湿单元水位大于干单元底高程

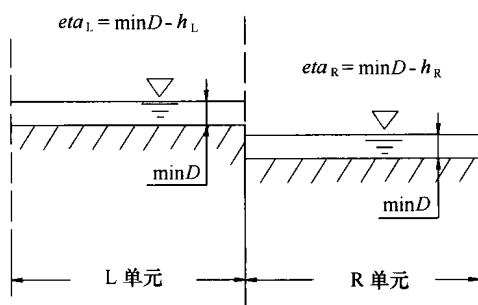


图5 相邻两单元都为干

3 数值模拟结果

3.1 水流验证结果

本文选用了2007年8月14—25日长江口各水文站实测水位资料对模型水位计算进行验证。同时采用2007年8月14日6:00到2007年8月15日9:00的水文站流速资料对模型的计算结果进行验证。从图6中可以看到,模型对潮位的计算和实测值符合较好,对六淤、横沙和北槽中3个潮位站的计算值与实测值误差较小。

3.2 泥沙场验证结果

以2005年8月19日6:00至8月20日11:00时段内的实测数据为验证样本(测点位置见流场验证点),计算数据取该时段前后约3天的结果,对两组数据进行比较的结果列于图8。由于实测的含沙量受测量条件的影响较大,所以得到的实测结果会有一定的测量误差,因而计算值通常并不能和测量值完全符合。但可以看出,除少数几个测点有不大的偏差外,计算的结果和实测值的平均值基本上在同一范围内,可知本文所采用的泥沙计算模型是可靠的。

3.3 地形冲淤验证

为了验证数模计算的地形冲淤的准确和合理性,对数模计算的地形变化和实测地形变化进

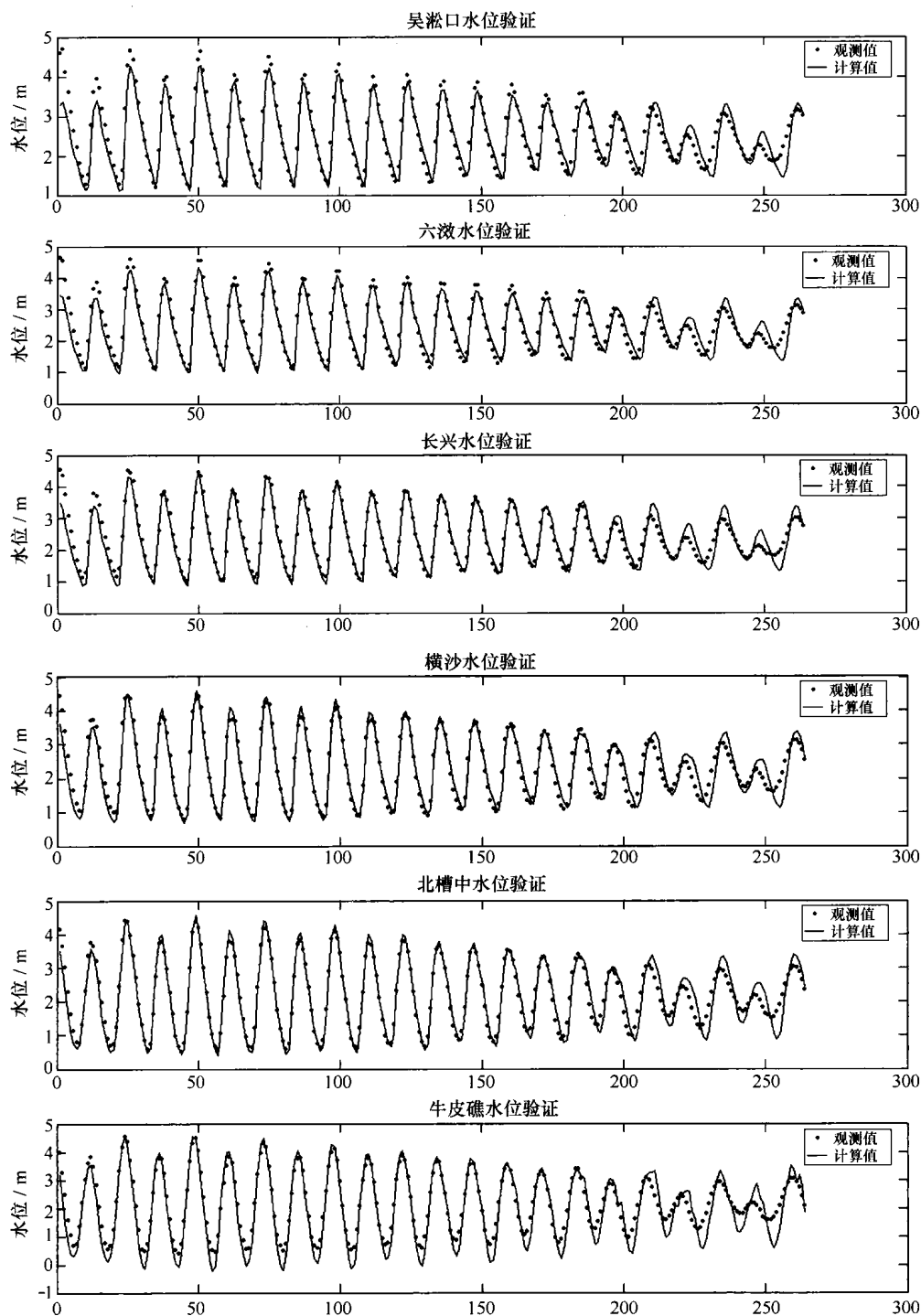


图6 潮位验证

行比较,这里计算时采用的初始地形为2005年地形,预报的目标地形为2007年(其中,2005年计算地形采用2005年2月南港地形和2005年4月宝山南北水道及南支地形的拼图),即进行两年的地形冲淤变化数值模拟。

2007年2月实测地形与2005年2月实测地形进行比较,得到的冲淤变化图如图9(a)所示,计算得到的2007年2月的目标地形与初始地形比较得到的冲淤变化如图9(b)所示。

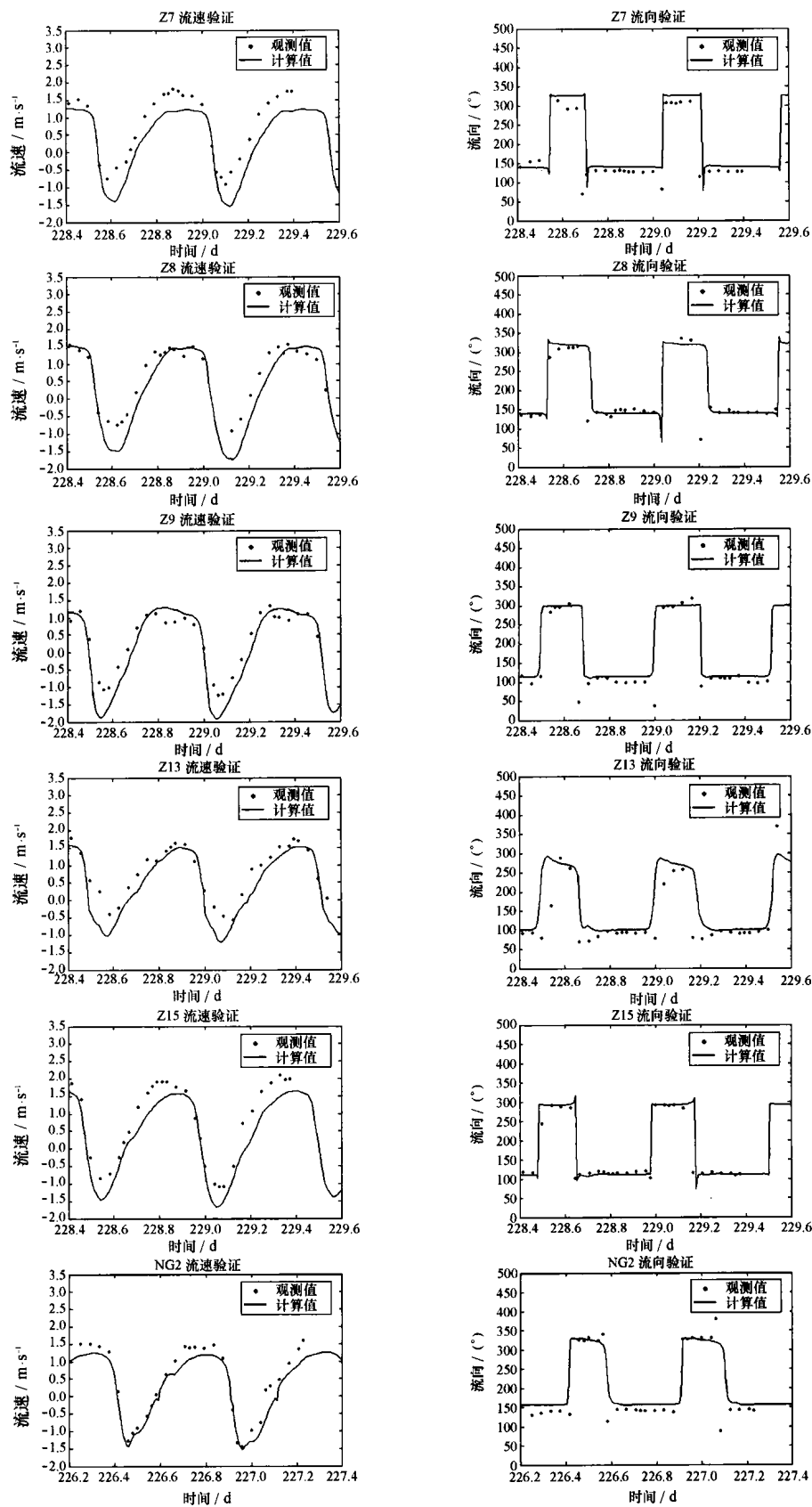


图7 流速流向验证

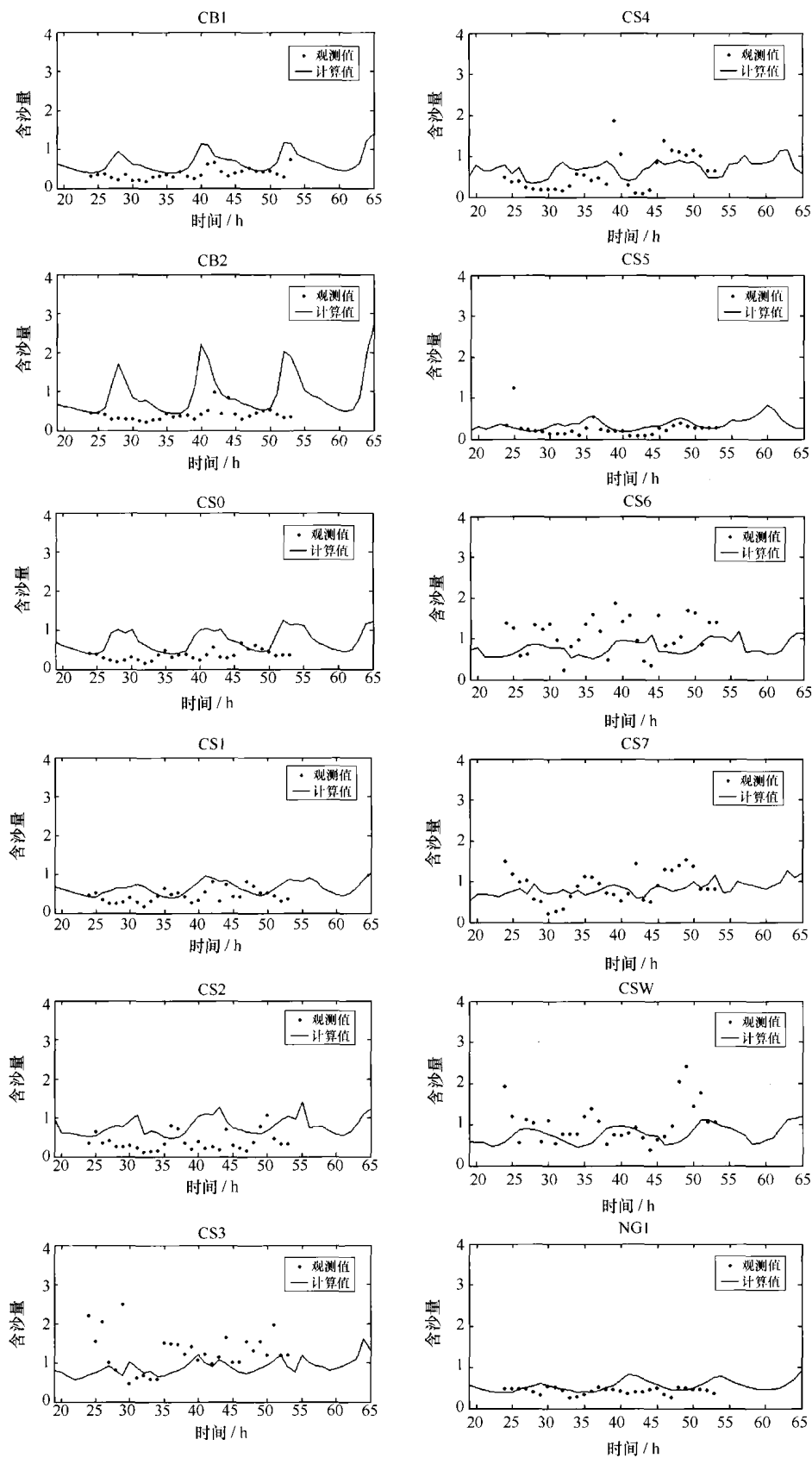


图8 2005年8月含沙量验证