

第十四届中国海洋(岸)工程 学术讨论会论文集

(上)



海洋出版社

第十四届中国海洋（岸）工程 学术讨论会论文集

DI-SHISI JIE ZHONGGUO HAIYANG(AN) GONGCHENG
XUESHU TAOLUNHUI LUNWENJI

（上）

中国 海洋工程学会 编

承办单位：南京水利科学研究院

协办单位：交通部港口航道泥沙工程重点实验室

中国·呼和浩特

2009年08月05日至08月08日

海洋出版社

内 容 简 介

第十四届中国海洋（岸）工程学术讨论会论文集主要内容有深水和近海工程，海岸工程，河口动力、演变及航道整治以及综合技术等。

图书在版编目（CIP）数据

第十四届中国海洋（岸）工程学术讨论会论文集/中国海洋工程学会编. —北京：海洋出版社，2009.07
ISBN 978-7-5027-7505-6

I.第… II.中… III.海洋工程—学术会议—文集 IV. P753-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 111256 号

主 编：左其华 窦希萍
责任编辑：阎 安 项 翔
特邀编辑：王 红 段子冰 滕 玲 杨 红
责任校对：周正萍 孙 宁
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

南京河海大学印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月南京第 1 次印刷

开本：880×1230 1/16 印张：103.25

字数：3270 千字 定价：598 元（上下册）

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

目 录

大会主题报告

我国河口泥沙研究进展	窦希萍 (1)
臺灣環島海洋觀測體系及其應用	高家俊, 馮向波 (8)
深水抗风浪网箱水动力学特性研究	李玉成, 赵云鹏 (16)
长波上非线性重力表面波传播数学模型	洪广文, 吴 中, 张 俞 (21)

深水和近海工程

Spar 平台垂向减振板水动力系数粘性影响	滕 斌, 郑苗子, 姜胜超, 勾 莹, 吕 林 (37)
传统深水 Spar 平台奇异运动响应研究	赵晶瑞, 唐友刚, 沈文君 (44)
考虑非线性系泊力时 Spar 平台垂荡-纵摇耦合运动	刘利琴, 唐友刚, 张若瑜 (49)
Cell Spar 平台结构总体强度分析	马 哲, 齐 凯 (55)
一种新型 SPAR 平台系泊系统设计	彭 程, 孙春梅, 刘仲平, 郝金凤 (60)
1500 m Truss Spar 方案设计及强度与系统稳定性分析	上官丽红, 黄维平 (64)
深海浮式结构物浮态计算及关键问题研究	桑 松 (68)
海冰作用下双层立管的稳定性分析	闫澍旺, 封晓伟, 潘晓东 (74)
在役抗冰导管架海洋平台结构风险评估	张大勇, 岳前进, 车啸飞 (79)
海上采油桩基固定平台动力沉桩分析	闫澍旺, 董 伟, 刘 润, 尹汉军, 樊之夏 (87)
HYSY-981 半潜式平台井架风压数值模拟与风洞实验 ...	朱 航, 欧进萍, 谢 彬, 马 哲, 翟钢军 (94)
海洋柔性管的抗拉性能及加强设计	卢青针, 岳前进, 汤明刚, 余志兵 (100)
深水半潜式平台与立管耦合计算敏感性分析	韩志强, 李 飒 (105)
桩-桶基础抗拔承载力模型试验研究	刘文白, 王梦瑜 (109)
桩靴贯入对固定平台基础扰动的数值模拟	吴永初, 鲁晓兵 (118)
深水海底管道 S 型铺设形态分析	龚顺风, 陈 源, 金伟良, 李志刚, 赵冬岩, 何 宁 (123)
海洋柔性管道拉伸实验研究	郑杰馨, 岳前进, 邢 健, 潘海锋, 樊哲良 (130)
浮体结构-铰接系泊系统的非线性响应分析	常宗瑜, 张喜超, 徐长密, 王 蕾 (137)
先进深水 S 形托管架概念设计研究	王庆国, 吕 伟, 张向峰, 岳前进 (141)
自升式海洋平台桩腿强度及稳定性分析	蒙古彬, 田海庆, 樊敦秋 (147)
海洋平台维修加固计划和技术的概述与选择	石 湘, 李 萍, 杨 彬, 李华军 (152)
深海浮式平台加筋板可靠性分析	何 勇, 徐龙坤, 叶 谦, 金伟良 (158)
超声冲击法提高 T 型管节点疲劳性能研究	李春润, 王东坡 (164)
吸力锚抢修平台拖航稳定性实验研究	陆海翔, 刁景华, 丁红岩 (173)
水下平台动态系统协同设计环境研究	沈文斌, 孙善春 (180)
海洋工程船锚泊分析研究	罗晓健 (183)
极端波浪对海上结构物的影响研究	刘振纹, 秦崇仁 (188)
浅谈深海平台发展现状	吴子全, 李怀亮, 于文太, 秦立成 (193)
Coefficients of added mass/damping of a low-mass-damping-ratio cylinder subjected to vortex-induced vibration	HE Chang-jiang, DUAN Zhong-dong, OU Jin-ping (199)

Global strength assessment for semi-submersible column after supply vessel collision accident.....	HU Zhi-qiang (204)
Study on fatigue test of submarine oil pipeline	GU Fan, ZHOU Jing, HUANG Cheng-kui, LI Lin-pu (212)
Dynamic response analysis of TLP's tendon in wave and current	YAN Gong-wei, XU Feng, ZHU Hang, OU Jin-ping (224)
Prediction of mooring line damping in time domain analysis	QIAO Dong-sheng, OU Jin-ping (229)
南海环境条件及油田开发关系研究	冯士明, 秦延龙 (235)
深海顶部张紧式立管涡激振动疲劳分析	罗 超, 唐琰林, 张雪粉, 易 丛 (239)
深水半潜平台防腐技术研究	孙春梅, 冯 珩, 洪学福, 黄 一 (243)
海上风力发电平台的建造技术分析	孙紫麾, 章 剑, 舒欣欣, 白海欣 (248)
水下机器人鲁棒故障诊断研究	王建国, 吴恭兴, 孙玉山, 万 磊, 庞永杰 (252)
水下机器人容错控制研究	王建国, 吴恭兴, 孙玉山, 万 磊, 庞永杰 (257)
水下机器人改进免疫控制方法	唐旭东, 庞永杰, 李 晔, 张 赫 (261)
微小型水下机器人载体外形的设计研究	沈海龙, 杜 莱, 苏玉民 (268)
AUV 自救信标系统关键技术研究	余 琨, 徐国华, 向先波 (273)
AUV 一体化运动体系及其仿真平台的建立	吴恭兴, 王建国, 邹 劲 (278)
潜水器视景仿真研究与实现	马 艳, 唐旭东, 庞永杰 (284)
潜水器耐压壳体结构设计研究	廖煜雷, 庞永杰, 张铁栋 (289)
长航程潜水器艇型设计	王兆立, 牛江龙, 秦再白, 庞永杰 (295)
仿胸鳍推进系统水动力性能分析	王兆立, 李彦丽, 王晓飞, 苏玉民 (303)
基于 CFD 理论的滑行艇阻力数值计算	王兆立, 牛江龙, 秦再白, 庞永杰 (309)
多波束测深系统波束角对海底管道探测影响	来向华, 马建林, 潘国富, 傅晓明, 陆晓鸣 (316)
基于蒸发波导测量的微波折射率仪	孟庆海, 张 瑜 (321)
海域活断层探测应用研究	许 江, 房旭东, 王恒波 (324)
海底管道冲刷的数值模拟	曹先凡, 秦延龙, 聂 冬, 孙建伟, 孙昭晨 (327)
海底管道浮拖法安装分析研究	孙国民, 郎一鸣, 冯现洪, 胡春红 (331)
海底管道坐底稳定性分析方法研究	孙国民, 胡春红 (336)
海底埋设管道跨越分析研究	刘志刚, 李 庆, 孙国民 (341)
“东方 1-1”海底天然气管道铺设工程潜水支持	于庆华, 邵 滨, 殷其建 (348)
海底电缆磁场模型及磁异常探测	许 江, 刘天佑, 李海东 (353)
基于滑动网格技术的船体和螺旋桨非定常干扰研究	沈海龙, 郑丰勇, 苏玉民 (357)
粘性非均匀伴流场中螺旋桨非定常水动力性能预报研究	沈海龙, 苏玉民 (364)
风浪流联合载荷作用下潮流能发电实验平台稳定性研究	王树杰, 尹克金, 李淑一, 李 冬 (370)
变值复合加载模式下条形基础安定性下限分析	张其一 (375)
基于粒子群算法的船体结构优化设计研究	秦洪德, 石丽丽 (379)
自升式平台作业过程中 RPD 问题研究	秦洪德, 王 洋 (386)
水面失事难船漂流运动的仿真程序设计	刘汉明, 刘 涛, 方 剑 (393)
自升式平台驳船下水浮态分析	杨 辉, 王忠畅, 吴 思 (397)
ISO 数学在海洋工程中应用	付昱华, 付安捷, 赵 戈 (401)
波动方程分析法在海洋平台打桩分析中应用	肖 花, 杨 帆, 付 方, 马飞翔 (405)
PL19-3 SYMS 组块运输载荷工况下结构强度分析	秦立成, 汪 莉, 江 锦 (410)
青岛海工建造基地工程设计及研究	徐东晖 (414)
边际油田群海底管道的串级设计	齐卫斌, 林国峰, 曾树兵, 陈文峰 (422)
水下生产复合电液控制液压仿真分析研究	周美珍, 程寒生, 余国核, 黄会娣 (425)

海岸工程

應用 Boussinesq 方程式計算斜坡上波浪溯升及反射.....	許泰文, 楊炳達, 陳彥彰, 蔡立宏, 鄭金海 (431)
黏性数值波浪水槽的多孔介质消波方法	詹杰民, 董 志 (437)
西加勒比海风暴作用下海流温盐动力要素变化三维数值模拟.....	汤立群, 申锦瑜, 刘大滨 (442)
完全频散性非线性波数值模型及应用	吴 中, 洪广文, 张洪生, 张 俞 (448)
消去入射边界上反射波的方法及其验证	张洪生, 于小伟, 商 辉, 杨建民 (458)
考虑能量损耗的全水非线性波传播数学模型与数值模拟.....	张 俞, 洪广文, 冯卫兵, 吴 中 (465)
新型开孔板防波堤结构水动力特性的比较研究	刘 勇, 李玉成 (473)
斜坡堤上斜向和多向不规则波越浪量的数值研究.....	李晓亮, 俞聿修 (477)
波浪沿斜坡传播的 SPH 数值模拟	高 睿, 任 冰 (482)
三维波浪辐射应力对潮流垂向结构影响	王世澎, 秦延龙, 孙昭晨, 梁书秀 (488)
Wave reflection and transmission from a single slotted barrier.....	ZHU Da-tong, ZHU Si-wei (494)
不同海况条件下海面粗糙度方案比较	沙文钰, 潘玉萍, 葛苏放, 尹志军 (500)
渤海潮流场特性分析	张 娜, 张庆河, 张文忠 (506)
海面空气动力粗糙度参数化方案在湛江港风暴潮、流、浪耦合嵌套模式中的应用.....	潘玉萍, 葛苏放, 沙文钰 (513)
改进最大熵分布及其在极值波高统计中的应用	刘 伟, 董 胜, 张立振 (519)
南黄海近岸海域风浪统计分析	冯卫兵, 彭向丽, 张少兰 (523)
广东省台风风暴潮数值预报模式研究	邵佳爱, 张长宽, 张君伦 (529)
对一次渤海风暴潮过程数值模拟检验	杨晓君, 磊 磊, 吕江津, 何群英, 王 颖 (535)
波浪在波流相互作用中对底应力及流速的影响研究.....	林 祥, 尹宝树, 杨德周 (540)
基于 PLIC-VOF 的冲泻区波浪运动数值模拟	陈 杰, 蒋昌波, 郭 杰, 刘虎英 (545)
流体动力参数预报的数值水洞方法	孙善春, 宁 波 (553)
SWAN 模型在推求深水波要素中应用.....	郑国诞, 赵红军, 张淑华, 林 祥 (556)
江苏近海潮汐潮流的数值模拟	陶建峰, 张东生, 龚 政 (559)
深水防波堤堤心石级配与沉降量对比分析试验研究.....	冯卫兵, 金 鹰, 杨 越, 陈 丹 (563)
規則波通過透水同心圓柱交互作用研究	郭一羽, 岳景雲, 賴瑋婷 (568)
直立堤前設置弧形孔隙板消波減壓之研究	岳景雲, 莊世璿, 吳信璋 (576)
透水潛堤與海堤間波浪變形之探討	蔡清標, 陳信佑, 陳鴻彬 (585)
近岸潜堤上波浪传播的数值模拟	何海伦, 林 祥, 陈 君, 宋广慧 (591)
波浪对准椭圆沉箱作用的三维数值计算模型	任效忠, 王永学, 王国玉 (594)
斜向浪作用下斜坡式防波堤上扭王字块体稳定性试验研究.....	赵云鹏, 李玉成, 马小舟, 董国海 (600)
波浪斜向入射对单宽直立堤作用研究	徐绩青, 杨成渝, 许光祥, 周华君 (604)
波浪正向入射对直立堤作用研究	杨成渝, 华艳茹, 徐绩青, 吴宋仁 (608)
透水斜坡堤堤心压力分布及衰减规律试验研究	王登婷, 尹畅安, 周正萍 (614)
海平面上升对江苏沿海潮波影响研究	陈可锋, 季小强, 李 鑫 (620)
厦门高集、集杏海堤开口后水动力变化研究	于东生, 杨金艳 (628)
桩基—重力式复合结构码头下部沉箱波浪力数值计算方法.....	耿宝磊, 郑宝友, 陈汉宝, 刘海源 (633)
浙江嵊泗基湖沙滩沉积地貌特征	陈 君, 王义刚 (637)
海岸工程对浙江嵊泗基湖沙滩演变影响研究	张 弛, 王义刚, 李 熙 (644)
波浪與雙列連續彈性透水矩形潛堤互制分析	藍元志 (649)
雲嘉海岸離岸砂洲變遷之探討	陳文俊, 郭豐益 (657)
海上栈桥波浪顶托力试验研究	张华昌, 沈如军 (664)
斜坡堤胸墙及栅栏板上波浪力试验研究	张卓立, 王登婷 (668)

西码头小园山东防波堤断面波浪模型试验研究	黄 蕙, 戴江山, 顾春元 (672)
潜堤及透浪式建筑物的平面二维波浪数值模拟	张 娜, 张文忠, 曲淑媛 (676)
波浪通过潜堤引起速度场变化数值研究	石瑞祥 (680)
新型消防储水结构技术在滩海人工岛建设中的应用	曲昌萍, 谢燕春, 李 健, 肖辉文, 别社安 (687)
滑坡海啸引起港池振荡的实验研究	王 岗, 董国海 (692)
波浪作用下悬浮隧道响应谱分析	秦银刚, 周晓军 (696)
横沙东滩促淤工程护面结构断面波浪模型试验研究	冯卫兵, 余 竞, 沈震朝 (700)
广东省博贺中心渔港透空式防波堤断面波浪模型试验研究	黄 蕙, 顾春元, 戴江山 (704)
浙北渔港选址的水动力研究	谢锐才, 王义刚, 冯卫兵, 王 震 (708)
平潭海峡大桥桥梁受船舶撞击的有限元分析	范洪浩, 赵利平, 刘海民 (712)
华南砂质海岸近岸地形动力过程与海滩侵蚀作用研究	陈子荣, 蔡 峰, 冯砚青, 李志强, 李志龙 (716)
浅水非线性波作用下沙质斜坡床面形态演化试验研究	程永舟, 蒋昌波, 陈 纯 (721)
淤泥质海岸环抱式港池定点清淤工程可行性研究	韩西军, 杨树森 (725)
广东省海岸侵蚀特征及主因分析	季荣耀, 罗章仁, 陆永军, 罗宪林 (730)
杭州湾悬浮泥沙浓度分布及其探讨	黄惠明, 王义刚, 蓝尹余 (736)
互花米草入侵海岸潮滩的底栖动物组成	谢文静, 高 抒 (739)
湛江市观海长廊红树林种植对岸滩影响的初步研究	李志强, 谢石昌, 张会领, 杜健航, 王亚奇, 邹北妹, 李映林, 胡东波, 罗浩斌 (745)
防城港海湾污水扩散试验研究	李 莉, 赵晓冬, 尤 薇, 吴丽华 (748)
冲淤演变分析研究及其在海岸工程中应用	吴以喜, 麦 苗, 赵洪波 (754)
哑铃型海湾疏浚工程影响下的水道—沙脊系统演变	王玉海, 王崇浩, 汤立群 (761)
广利港海域泥沙环境及航道选线研究	左书华, 杨 华, 蔡嘉熙 (765)
南黄海辐射状沙脊浅水人工岛的工程稳定性研究	陆培东 (772)
台湾海峡地形地质特征及对通道工程选线的建议	李学杰, 张以诚, 冯志强, 郭连生, 周昌范, 万荣胜 (778)
兴化湾澄峰围垦工程影响的数值计算与分析	曹民雄, 范雪梅, 蔡国正, 徐 群, 王 驰, 程宁川 (786)
没水新月形浅滩集波特性之试验研究	翁文凯, 林孟毅, 林照圭, 萧俊贤 (790)
泥沙输移强度计算的人工神经网络模型	黄才安, 张 瑾 (799)
筒型基础结构稳定性有限元分析方法	王元战, 肖 忠 (803)
箱筒型基础结构技术在滩海人工岛建设中的应用分析	李 健, 曲昌萍, 邵文静, 别社安 (809)
招商局深圳孖洲岛友联修船基地船坞工程设计总结	曹健惠 (813)
Sustainable Flood Risk Management—An Overview of World Practice	YU Xiong (Bill), HUANG Yue-wen (819)
影响海堤安全的主要因素分析及应对措施	黄岳文, 吕洪波 (826)
京唐港挡沙堤堤头横流整治工程措施研究	章卫胜, 张金善, 孙林云 (832)
倾斜荷载下双层饱和黏土地基承载特性	詹云刚, 袁凡凡, 栾茂田 (839)
海洋动载作用下砂层液化特性的数值模拟	李 驰, 鲁晓兵, 王淑云 (845)
板桩码头结构中桩体作用宽度模型试验研究	徐光明, 李士林, 刘永绣, 吴荔丹 (850)
大型叉桩板桩码头结构离心模型试验研究	司玉军, 曾友金, 解占强, 武文奎, 李东青, 徐光明 (857)
滨海沉积淤泥固化土特性室内试验研究	夏永成, 陈秀良, 吴文华, 王志平 (863)
以海工青岛场地为例浅谈地基承载力	刘 超, 王 娟 (867)
浅析江苏省江岸、海岸旅游资源开发-以泰州、南通为例	薛 丹 (873)
浅议江苏东沙人工岛建设的有关问题	徐国华 (878)
钦州湾海底沉积物 Hg 元素分布及其影响分析	夏 真 (882)

河口动力、演变及航道整治

长江口航道治理研究新进展	谈泽炜, 范期锦, 高 敏, 郑文燕 (891)
中国河口健康与环境变异	恽才兴, 戴志军 (901)
珠江口航道台风影响分析	罗肇森, 罗 勇 (905)
钱塘江涌潮研究进展	潘存鸿, 林炳尧 (911)
入海径流变化对长江口盐水入侵的影响	李褪来, 高祥宇, 王银爽 (917)
长江口南港近期河床演变及南岸淤积原因分析	刘 杰, 赵德招, 程海峰, 张俊勇 (927)
长江口南港河段近期潮流性质变化分析	罗小峰, 陈志昌, 路川藤, 王春华 (931)
长江口北支潮周期尺度水沙通量及分流分沙比	闵凤阳, 汪亚平, 高建华, 张志林 (935)
长江口北支河床演变及综合开发利用规划构想	高正荣, 杨程生 (942)
长江河口悬沙浓度时空变化的遥感研究	李 婧, 高 抒, 汪亚平 (946)
长江河口段的演变规律研究和徐六泾节点整治	夏益民 (952)
徐六泾节点—白茆沙河段整治和长江口河势及深水航道建设	夏益民 (957)
长江口航道三期工程抛泥区泥沙运动规律研究	孙连成 (963)
应用 ADCP 监测长江口北槽 10 号抛泥区的泥沙扩散场	张志林, 李秀文, 王元叶, 陈 鹏, 朱培华, 钱 峰 (967)
ELCIRC 模型在长江口应用研究	杨金艳, 于东生 (973)
感潮河段大型挖入式港池回淤试验研究	徐 华, 苏长城, 夏云峰, 吴道文, 闻云呈, 杜德军 (979)
白茆沙整治工程的必要性分析	姜国栋, 张 进, 邱张英, 黄志良 (984)
青草沙水库龙口保护期局部冲刷试验研究	韩玉芳, 钱明霞, 王学兰, 于守兵 (990)
上海洋山港西港区建设方案潮流物理模型试验研究	吴明阳, 许家帅, 冯玉林 (994)
挖入式港池回流三维动力特性分析	刘虎英, 蒋昌波, 邓 斌, 陈 杰 (1000)
复杂河口汊道封堵方案研究	李孟国, 李文丹 (1005)
分汊型河道二维水沙数学模型研究	黄文辉, 左利钦, 陆永军 (1009)
瓯江河口风暴潮数值模拟	王志力, 陆永军, 左利钦 (1015)
污染物三维对流扩散数值模型	曹 颖, 朱军政 (1020)
珠江河口二维整体数值模拟及分流比研究	包 芸, 许炜铭 (1026)
珠江口磨刀门出海航道整治研究	莫思平, 季荣耀, 陆永军, 左利钦 (1030)
磨刀门泥沙沉降的研究	陈丽芳, 莫思平, 陈国平 (1034)
崖门出海航道冲淤变化分析	何 杰, 辛文杰 (1037)
藤桥河口水沙过程及地貌响应	王世俊, 吴小明, 苏 波 (1042)
珠江口大铲湾水环境治理水动力控导方案研究	吴小明, 雷 勇, 何 为, 董志慧 (1047)
黄河口水沙过程变异对其湿地生态环境的影响	张治昊, 胡春宏, 陈建国 (1051)
黄河三角洲孤东海岸冲淤演变分析	程义吉 (1055)
最小能耗原理设计黄河下游不淤河槽断面的研究	王普庆, 孙赞盈, 罗立群, 李 婷 (1060)
二十一世纪黄河河口演变研究进展	茹玉英 (1063)
海洋动力对黄河尾间变迁的影响	王艳红 (1067)
黄河口清 8 汊河出汊摆动及其发展趋势	王万战, 李泽刚 (1071)
黄河口细颗粒泥沙基本特性实验研究	冯 曦, 周晶晶, 金 鹰 (1075)
近年来黄河尾间河道冲淤变化特性	侯志军, 赵双权, 耿少文 (1080)
浅谈黄河河口局部实体模型生潮控制系统	郭慧敏, 任艳粉 (1085)
河口闸下河道泥沙淤积特性及水动力变化分析	高祥宇, 窦希萍, 曲红玲 (1088)
二维波浪潮流泥沙数学模型在射阳港航道整治工程中的应用	闻云呈, 夏云峰, 马启南 (1094)
射阳港电厂拟建三期工程运煤航道通航能力分析	杜德军, 莫思平, 马启南 (1100)
河口挡潮闸闸外水位振荡现象初步分析	陈瑞方, 陆秋荣 (1106)

潮汐河口支流口门外移闸下淤积概化模型试验研究.....	张世钊, 夏云峰, 吴道文 (1109)
灌河口外航道整治方案对防洪水位影响试验研究.....	张世钊, 夏云峰, 徐 华 (1115)
苏北沿海挡潮闸下港道及其水环境监测与保护	陆体成, 张 勇, 周俭华, 张建德 (1120)
关于悬沙输运方程中泥沙沉降几率的讨论	张福然 (1123)
One higher order scheme for shallow water equations based on HLLE approximate Riemann solver	GENG Yan-fen, WANG Zhi-li (1126)
丁坝坝头冲刷机理探讨	勾兆莉, 武彩萍, 宋莉萱, 吴国英 (1133)
桥墩局部冲刷模型试验研究	任艳粉, 李远发, 郭慧敏 (1136)
大型沉井基础施工过程中局部冲刷试验研究	卢中一, 高正荣, 杨程生 (1139)
桥墩对涌潮影响的水动力数值模拟	鲁海燕, 潘存鸿, 杨火其 (1147)
凤塘河口湿地生态恢复工程研究	王建平 (1151)
基于遥感和 GIS 技术的崇明东滩植被群落时空动态变化研究	韩 震, 刘 瑜, 恽才兴, 郑金海 (1159)
从欧洲内河航道生态化建设理念谈我国内河航道生态护岸设计思路.....	赵东华, 陈 虹 (1164)
植草空心砌块在生态护岸中的应用	赵东华, 陈 虹 (1171)
切向水流对土体渗流的影响试验与数值模拟	谢立全, 郑永来, 牛永昌 (1176)
温州港乐清湾港区试挖槽回淤分析	王顺中, 叶建国 (1180)
温州浅滩围涂工程试验堤试验研究	王顺中, 李浩麟 (1188)
建桥对望虞河行洪及引水能力影响的计算分析	曲红玲, 高祥宇, 夏益民 (1197)
象山港大桥主通航孔航道通过能力计算研究	孟祥玮, 刘 凌, 孙精石, 李 焱 (1203)
鸭绿江中朝友谊桥至太平湾段航道通航重要性分析.....	王丽杰, 林天岩 (1208)
台州湾海域水文泥沙环境及海床冲淤演变	闫 勇, 麦 苗, 吴以喜 (1212)
枢纽调节下水流输沙能力变化的初探	应 强 (1218)
基于 BP 神经网络软粘土循环强度研究.....	李 驰 (1222)
广西钦州湾浅层埋藏古河道沉积特征	马胜中, 梁 开, 陈太浩 (1225)
一种适用于河道水流数值模拟的地形插值方法	陈 中, 夏云峰, 闻云呈 (1230)
河工潮汐模型潮水箱潮位控制策略研究	屈 波, 杜德军, 彭 涛 (1234)
轴流泵生潮系统在水工模型试验中的应用	刘海成, 杨会利, 曹玉芬, 孟祥玮 (1238)
红外热像仪在温排物理模型试验中应用	曹玉芬, 孟祥玮, 陈汉宝, 郑子龙, 刘海成 (1242)
三轴条件下钙质砂颗粒破碎的试验研究	胡 波, 汪 稔, 孟庆山, 谭峰屹 (1246)
掺气耙清淤机具在王港闸下港道淤积治理中应用.....	陆体成, 张 勇, 张建德 (1249)
潜伏式绕流清淤装置清淤机理探讨	王普庆, 李 婷, 张 玥 (1251)
黄河小浪底水库“04.8”洪水模型试验研究.....	陈孝田, 王开荣, 李 涛 (1254)
云南省长江流域防洪形势及对策分析	张玉蓉, 浦承松, 吕洪波 (1257)
防洪设计水位推算新模型	王莉萍, 代 伟, 齐 莹 (1262)
南京港航管理基础设施布局规划研究	陈秀瑛 (1266)
抗冲消能结构水工模型试验研究	顾志刚, 吴国英, 宋莉萱 (1269)
灰河倒虹吸工程不同口门宽度试验比较	宋莉萱, 吴国英 (1273)

综合技术

海洋钢筋混凝土结构腐蚀影响因素及提高其耐久性措施.....	宋玉普, 宋立元 (1279)
海上风电场风机支撑结构防腐蚀对策	葛 燕, 朱锡昶, 李 岩 (1283)
海洋环境钢筋混凝土牺牲阳极阴极保护试验研究.....	葛 燕, 李 岩, 朱锡昶 (1287)

用于钢筋混凝土阴极保护的胶结材料研究概况	李 岩, 葛 燕, 朱锡昶, 蔡跃波 (1292)
关于混凝土中使用矿渣微粉的探讨	林锦兴 (1295)
热带海洋环境下钢板桩牺牲阳极阴极保护效果的评定	李 浩, 蔡惊涛, 王立军, 刁景华 (1299)
跨海大桥承台钢套箱底板对阴极保护系统的影响	沈静文, 朱锡昶, 胡少伟 (1303)
梁板式码头工程检测实例分析	蔡惊涛, 张琦彬, 唐军务, 王立强 (1307)
钢板桩涂层防腐应注意的几个问题	韩文礼, 林 竹 (1311)
外海人工岛工程施工技术	席明军, 荣万岭, 钱华伟, 叶跃平 (1314)
“南海 I 号”古沉船整体打捞成功关键技术	孙树民, 吴建成, 张永强 (1322)
磺化酚醛树脂聚合物新型高效混凝土外加剂的制备与应用研究	陈兆林, 孙国峰, 李玉龙 (1326)
无围堰湿法施工建船坞技术研究与应用	王星球, 胡小明 (1329)
番禺 30-1 导管架下水和小孔注水自扶正分析及其在安装中的应用	何 敏, 李怀亮, 吴子全, 于文太, 钱建伟, 秦立成 (1334)
大型不锈钢储罐建造工艺研究与探讨	刘 庆, 郝孟江, 马 成, 郝校澜 (1342)
平台组块顶层框架式结构的施工方案探讨	王长林, 张则青, 王福祥 (1347)
马姆特小车拖拉装船技术	梁艳霞, 余玥霞, 李金来, 魏 丽, 杨 胜 (1350)
铺管船的安全环保设计理念	陈雅杰 (1355)
便携式合金分析仪在海洋工程中的应用	陈永刚, 武海鹏 (1357)
浅谈海上油(气)田电、热、惰气三联供技术	王凯坡, 姬晓东, 陈 希 (1362)
海上风力发电项目导管架帽的建造方法选择	孙紫麾, 章 剑, 邓小明, 白海欣, 舒欣欣 (1366)
运用 Visual Lisp 开发两管相贯线展开程序	邓 林, 鹿栋梁, 王晓迪, 张向晖 (1372)
浅谈海洋平台电缆敷设的优化	陈淑媛, 杨岑磊, 吉光学, 张卫涛, 王永杰, 白 梅 (1376)
平台/FPSO 管道系统的泄漏分析和预防措施	但 乾, 王 娴, 王 刚, 何小超 (1381)
Tekla Structures 在海洋平台、FPSO 上部组块建造中的应用	邓海涛, 王 勇, 窦星慧, 董文乙 (1387)
海洋石油平台管道系统保温层经济厚度的程序化计算	何小超, 王 娴, 但 乾, 宋广兴, 翟新涛, 庄 阳 (1393)
龙门吊薄壁加肋箱型结构制作工艺的研究	苏 健, 高瑞力, 卢 晶, 石 亮, 关亚娟 (1397)
自升式钻井船围井区建造工艺讨论	胡博生, 王铁瑶, 徐晓平, 王 勇 (1401)
Spooler 的二次开发及配管设计一体化探讨	黄太安, 王 娴, 韩雁凌, 蒋小华 (1405)
XSTEEL 软件在海洋工程电仪加设中的应用	吉光学, 王 红, 韩 宇, 陈淑媛, 刘存耀, 白 梅 (1409)
单价合同下的加工设计变更控制	鞠学国, 潘德峰, 黄太安, 王 伟, 徐小平, 王腾飞 (1414)
浅谈 CAD 及 EXCEL 在加工设计中的优化	李 童, 吉光学, 姜 威, 王 伟 (1417)
镍矿项目总体方案与建造方案的确定	李丰亭, 宋峥嵘, 孙 宁, 郑茂尧, 赵江达, 孙晓娜 (1421)
镍矿项目中的场地布置与垫墩设计	杨 胜, 郑茂尧, 阮 庆, 孙 宁, 翟新涛 (1427)
箱型钢结构制作中的变形控制	孙金丽, 张慧池, 卢 晶 (1431)
FPSO 上部模块底部框架整体反造及整体翻身吊装强度分析	刘 琳, 刘俊斐, 窦星慧 (1435)
海洋平台设备侧装实施策略	王 刚, 张春军 (1439)
多相流量计在海洋石油工程中的应用	赵 丹, 贾明鑫, 张小钢, 魏 丽 (1446)
基于 SolidWorks 的三维仿真技术在海洋平台主机安装中的应用	赵鑫磊, 王 国, 杨海军, 焦 茗, 甄桂兴, 刘焕龙 (1450)
基于自升式采油平台旋转火炬臂的工程优化方案	韩 冬, 邱 波, 张慧芳, 陈 欣, 董 滨, 张益公 (1454)
撑杆在 FPSO 上部模块甲板翻身吊装中的应用分析	刘俊斐, 胡性涛, 窦星慧 (1459)
筒基贯入分析与屈曲分析程序设计	叶祥记, 张 鑫, 邓贤锋 (1467)
BZ34 油田单点系泊系统海上解脱	田 冰, 刘雪宜, 孙丕松 (1473)

浅谈海洋平台大型设备吊装实施策略	吴松平, 王 刚, 谢维纶 (1478)
特氟隆 (PTFE) 滑道板在深水导管架建造中的应用	徐善辉, 曲延涛, 王铁瑶, 王增波, 刘 鑫 (1484)
基于海上风场的垂直轴风力发电装置研究	韩 冬, 张慧芳, 陈 欣, 刘玉玺, 孙章权, 周美珍 (1487)
PDMS 在海洋石油工程配管加工设计中的应用探讨	黄太安, 韩雁凌, 王 娟, 蒋小华, 鞠学国, 但 乾 (1490)
基于 ANSYS 的片式元件切割机有限元分析	苏 健, 索来春 (1492)
浅谈 FPSO 上部模块建造方式的确定	刘 琳, 刘俊斐, 窦星慧 (1495)
基于 VB 和 SQL Server 的海洋石油平台加工设计料单管理系统开发	田 冲, 王 刚, 焦 茗, 谢维纶 (1499)
海底天然气输送管道焊接接头 ECA 评估研究	赵冬岩 (1504)
浅谈吊装过程中风荷载的影响	石继程, 杨明旺, 杨风艳 (1510)
ANSYS 优化方法在结构设计中的应用	田旺生, 杨明旺, 李黎霞 (1516)
BULKHEAD 的有限元分析	余志兵, 冯现洪, 高 嵩, 孙国民 (1520)
SDAS 软件设计	张小钢, 赵 丹, 贾明鑫, 魏 丽, 杨岑磊 (1524)
浅谈海洋平台管线三维图加工设计优化	王 刚, 谢维纶, 但 乾 (1529)
海上含油污水处理技术发展研究	毛伟志, 余 智 (1534)
海水源热泵在海洋石油平台上的应用探讨	张宝和, 陈仁权, 姬晓东 (1539)
浅谈海洋工程吊点设计	李 林, 宋峥嵘, 李淑民 (1544)
龍門計畫海上肘管與四噴頭吊裝實務	廖銘洋 (1550)
海洋石油平台 HVAC 系统噪声分析与控制	王 国, 王 娟, 赵鑫磊, 黄太安, 朱凯宾 (1556)
起重船动态调载的预报	吕津波, 田 锋, 吴 思 (1560)
气浮设备在海洋石油污水处理中的应用	高秀敏, 余 智, 马利锋 (1564)
海洋石油平台消防水量计算探讨	李艳华, 祝皎琳, 秦振林 (1568)
海上油田生产原油外输的预测方法	吕津波, 田 锋, 吴 思 (1572)
海洋工程环境条件选择的考虑和作法	吴 思, 刘瑞华, 杨 辉 (1576)
海洋石油平台航空煤油储罐火灾爆炸危险指数分析	吴 磊, 薛春芳, 于 磊, 霍有利 (1579)
火灾爆炸指数法确定海上平台设备危险等级	王 媛, 吴 磊 (1582)
几种框架形式的地震响应分析	梅华东, 胡 勇, 董宝辉, 刘 庆 (1587)
平台增加井槽新技术及其应用	叶永坤, 赵 阔, 段艳丽 (1591)
热电联产在海洋平台上的应用	丁海燕, 张慧芳, 鄂瑞峰, 张海云, 武震华 (1594)
生产储油平台大型原油储罐消防系统设计	孙晓东, 霍有利, 李祥锋, 蔡 涛 (1597)
BZ26-2 油田改造项目中流量计的选型设计	胡云鹏, 李敏雪 (1601)
登陆油气管道滩涂段不停产改线连接技术	奉 虎, 潘东民, 张海波 (1604)
红外技术在海洋平台可燃气体探测中的应用	宋永强, 何小涛, 王 伟, 刘存耀 (1609)
预应力与偏心矩对简支梁一阶振动频率的影响分析	王立军, 马津渤 (1615)
双相不锈钢在海洋工程中应用浅谈	陈永刚, 武海鹏 (1619)
厦门海沧 7 号码头基槽炸礁方案的设计与施工	陈通生, 伊左林 (1623)
厦门海沧港区 12 号泊位水上大体积现浇钢筋混凝土墩台施工	郭伟立 (1627)
长江下游白茆沙河道河势控制工程研究分析	苏长城, 夏云峰, 吴道文 (1632)
海峡两岸英汗海岸工程部分基本术语异同简明对照表	左其华, 许泰文, 藤玲 (1636)

我国河口泥沙研究进展

窦希萍

(南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 从河口泥沙基本运动规律(包括泥沙起动、悬沙垂向分布、潮流和波浪挟沙能力、最大浑浊带形成机制)、泥沙数学模型和物理模型三个方面, 对我国近十年在河口泥沙研究方面的成果进行了评述。建议进一步加强河口现场测量、多种动力条件下的泥沙试验研究、数学模型和物理模型的耦合技术研究以及测量资料和试验资料的共享和合作研究, 为河口工程泥沙问题的深入研究提供基础。

关键词: 河口; 泥沙; 基本规律; 数学模型; 物理模型

我国入海河口众多, 类型复杂, 据初步统计, 在包括台、琼及其它一些大岛屿在内的长达 21 000 多 km 的海岸线上, 分布着大小不同、类型各异的河口 1 800 多个, 其中河流长度在 100 km 以上的河口有 60 多个。多数河口的泥沙主要来自流域, 如长江口、黄河口、珠江口, 少数河口以海域来沙为主, 如钱塘江口、瓯江口、椒江口和长江口北支。随着河口地区经济快速发展, 河口航运、水土资源的开发力度不断加大, 对河口泥沙研究的需求也日益增加。河口地区动力条件十分复杂, 除有径流和海洋潮汐相互叠加作用外, 还因河水、海水密度不同产生盐水异重流作用, 以及波浪和风暴潮作用等, 径流的丰枯、潮汐的大小、波浪的强弱, 构成河口泥沙运动的复杂性, 成为河口治理工程中的需要解决的关键性技术难题。近十年来, 结合航道整治、港口建设、水土资源利用和河口综合治理规划制(修)定等工作, 国内研究机构开展了大量研究工作和工程实践, 本文将对我国近十年在河口泥沙基本规律、数学模型和物理模型方面的研究进行评述。

1 泥沙运动基本规律研究

我国河口多为淤泥质沉积物, 床沙中值粒径(d_{50})一般小于 0.25 mm, 悬移质中值粒径一般小于 0.045 mm。河口泥沙运动特性是河口泥沙研究的关键, 这方面的研究主要集中在波浪或波、流共同作用下的泥沙起动规律、泥沙垂线分布、挟沙能力和最大浑浊带等。

1.1 泥沙运动特性

窦国仁^[1]通过对波浪作用下泥沙颗粒的受力分析, 建立了泥沙颗粒临界起动条件, 推导出分别用底部最大轨迹质点速度和波高来表示的各种泥沙包括轻质沙在内的波浪作用下的泥沙起动公式。曹文洪^[2]考虑泥沙颗粒由床面扬起过程中受力的平衡, 得到波浪作用下床面泥沙扬动时的临界高计算公式。

周益人^[3]通过分析认为同样边界层下单向水流泥沙起动标准可以用于波浪条件, 并给出 Shields 曲线过渡区的波浪作用下泥沙起动标准曲线和相应的计算公式。

赵冲久^[4]研究了波浪作用下悬移质含沙量的垂线分布规律、底部高浓度含沙水体层的高度和含沙量分布以及该层中水体的运移速度, 得到底部高浓度含沙水体层的输沙量计算公式。罗肇森^[5]考虑波、流(包括潮流和风吹流)共同作用下的输沙机理是波浪轨道速度掀沙与挟沙, 波浪传质速度、潮流速度和风吹流的合成速度输沙, 参考窦国仁水流作用下底沙输沙率的推导方法, 得出波浪、潮流和风吹流共同作用下的底沙输沙率公式。

曹祖德^[6]认为在紊动边界层内, 贴近床面处存在几毫米厚度的层流边界层副层, 其床面剪切力即由该层速度梯度所决定, 将流速分解为定常和非定常两部分, 推导出波、流共存时的床面剪切力计算公式。孔令双^[7]从波、流共存时床面剪切力对水体做功与挟沙水体获得位能相等出发, 建立了波浪、水流共同作用下的粉砂和细沙起动公式。

徐宏明^[8]通过原型沙(d_{50} 分别为0.036 mm和0.073 mm)起动实验发现,当水动力较弱时,泥沙以推移质运动为主,但推移质输沙强度较低;当水动力加强时,既有悬移质运动,又有推移质运动,试验得到推移质与悬移质输沙率之比为1:2.4~1:4.6。对于颗粒较细的泥沙,由于起动后很容易悬浮于水中成为悬移质,并以悬移质方式运移,因此其推移质输沙量相对较少,这就是依据较粗泥沙得出的推移质输沙率公式计算较细泥沙推移质输沙率时结果偏大的主要原因。

1.2 泥沙垂向分布

白玉川^[9]从波浪作用下泥沙颗粒受力平衡、泥沙向上和向下输沙率相等的条件出发,基于波浪的悬沙和挟沙机理,推导出波浪作用下泥沙浓度分布函数。严冰^[10]从垂向一维悬沙扩散方程出发,将全水深范围划分为三层,即边界层内、边界层外上部流区、边界层上部流区之间的过渡区,分别考虑悬沙扩散系数,得到了波浪作用下全水深的悬沙浓度分布。

杨华^[11]通过波浪水槽实验和现场观测资料,研究了粉沙质滩面泥沙在波浪和潮流作用下垂线分布特征,确定了含沙量垂向一维扩散方程中的泥沙垂向扩散系数和沉降速度,得到波浪和潮流作用下含沙量垂线分布公式。时钟^[12]在长江口北槽观测得到大潮细颗粒悬沙浓度声学垂向分布图和垂线分布曲线,涨潮时悬沙浓度的垂向变化梯度小,涨急时垂向变化梯度大,接近涨憩时垂向变化梯度小;落潮时从水面到水底悬沙浓度按指数增加,代表恒定均匀流中悬沙处于平衡条件的分布,泥沙垂向扩散系数在数值上大约是泥沙颗粒沉降速度的两倍,落急时悬沙浓度的垂向变化梯度大,接近落憩时,悬沙浓度的垂向梯度适中。

1.3 挟沙能力

近年来得研究主要是根据能量平衡原理进行挟沙能力研究。曹文洪^[13]根据曹志先基于湍流猝发的平均时空尺寸,得到波浪和潮流作用下的床面泥沙上扬通量,当悬移质处于不冲不淤平衡条件下,泥沙上扬与沉降通量相等,建立了平衡近底含沙量的理论表达式。根据潮流输沙过程中含沙量沿垂线分布关系可以得出沿垂线的平均含沙量,在平衡的情况下,即得到潮流和波浪共同作用下的挟沙能力公式。曹祖德^[14]从波、流共存时床面剪切力对水体做功与挟沙水体获得位能相等出发,建立了波浪、水流共同作用下的粉砂和细沙起动公式和水体挟沙能力公式。乐培九^[15]从能量平衡原理出发,导出了潮流、波浪以及波、流共同作用下的悬移质挟沙能力及输沙率公式。邢云^[16]认为,理论上水流挟沙力所挟带的泥沙由两部分组成,一部分为直接通过水柱的悬移质,另一部分为通过水柱单位床面上浮的床沙中的悬移质,得到河口半潮平均挟沙力公式。

目前常用的河口挟沙能力公式主要有窦国仁公式^[17]、刘家驹公式^[18]、曹祖德公式^[19],还有直接引用河道水流挟沙能力公式^[20]、根据河口实测含沙量建立经验关系^[21~22]、采用因次分析建立公式^[23]以及利用挟沙能力公式中的波浪挟沙能力部分与其它水(潮)流挟沙能力公式进行叠加^[24]。

1.4 最大浑浊带形成机制

潘定安^[25]通过研究长江口浑浊带形成机理得到,强潮高度混合的河口,浑浊带以潮汐浑浊带为主,发生在较上的河段;弱潮高度分层的河口,浑浊带以盐水浑浊带为主,发生在较下的河段;潮汐作用较强、盐淡水部分混合的河口,潮汐浑浊带和盐水浑浊带皆很重要。时钟^[26]分析了长江口北槽最大浑浊带的成因机制,在北槽口内,最大浑浊带形成的主要动力过程是潮汐的不对称性和河口重力环流,前者是由潮波和河口地形相互作用造成的,而后者是在径流和海水入侵下产生的密度不同所导致的;在北槽口外,最大浑浊带形成的主要动力过程是河口底部泥沙的周期性再悬浮。朱建荣^[27]对平直理想河口进行三维潮流泥沙数学模型计算,研究了潮流、盐度、泥沙对河口最大浑浊带形成的作用。

庞重光^[28]认为,汛期黄河携带大量泥沙(泥沙浓度 $>50\text{ g/L}$)入海,是黄河口最大浑浊带形成的必要条件。黄河口泥沙异重流在保持最大浑浊带持续高含沙量背景值方面起着关键作用。河口盐水入侵导致的垂向密度环流及涨潮流的陆向运动使垂直混合作用加强,使泥沙富集并保持悬浮状态。由于黄河口水浅,汛期混合较为强烈,加之异重流排放的泥沙量占有很大比重,最大浑浊带的顶点可处于盐度为零的地带,所以絮凝作用在黄河口最大浑浊带形成中的作用应该可以忽略。

2 河口泥沙数学模型研究

泥沙数学模型的研究主要集中在如何反映河口径流、潮流、波浪对泥沙的作用上,具体反映在平面二维泥沙数学模型中泥沙源汇项(冲淤函数)的处理上,主要有挟沙能力法、切应力法和通量法;垂向二维和三维泥沙模型底部边界条件的给定,主要有应力法和通量法。

2.1 平面二维泥沙数学模型

窦希萍^[29]根据窦国仁悬沙不平衡输沙方程式、底沙不平衡输沙方程式和河床变形方程式,建立了长江口潮流和波浪共同作用下的全沙数学模型,挟沙能力采用窦国仁潮流波浪共同作用下的挟沙能力公式,模型验证了实测含沙量、地形变化、台风暴潮造成的航道骤淤以及动床物理模型得冲淤变化。曹文洪^[30]建立了适合黄河口平面二维非恒定水流泥沙数学模型,采用自己建立的潮流与波浪共同作用下的悬移质挟沙能力公式,适应黄河河口海岸含沙量变幅大的特点,验证了含沙量和泥沙冲淤变化。曹振铁^[31]针对长江口水流泥沙运动的特点建立了非均匀悬沙的平面二维数值模型,在模型中考虑了波浪对流场的影响,水流挟沙能力采用窦国仁公式,在确定悬沙絮凝沉速时考虑了泥沙粒径、盐度、含沙量及水流紊动的影响,通过实测资料对数学模型计算的悬沙含量进行检验。陆永军^[32]在挟沙能力中引进前期含沙量的概念,得到了潮流挟沙能力公式,波浪作用下的挟沙能力采用窦国仁公式,浮泥挟沙能力采用罗肇森公式,建立了瓯江口波浪与潮流共同作用下二维泥沙数学模型,并对实测含水量和航道回淤进行了验证。马进荣^[33]建立了浮泥水域波流共同作用下的泥沙数学模型并应用于椒江口围垦工程研究中,其挟沙能力采用罗肇森浮泥挟沙能力公式^[5]与窦国仁波浪挟沙能力公式相加,较好地反映了椒江口的含沙量变化。

白玉川^[34]以悬沙连续方程和河床冲淤方程为基本方程,用泥沙沉降量与泥沙起悬量表示单位体积内的悬沙变化,建立了独流减河口潮流泥沙数学模型,并对含沙量和床面演变进行了验证。孔令双^[35]建立了波、流共同作用下的二维泥沙数学模型,泥沙运动方程中的冲淤函数由环形水槽试验^[36]建立经验表达式确定。丁平兴^[37]在悬沙扩散方程中通过切应力概念来确定源汇项,采用窦国仁底沙输运方程,建立了长江口二维全沙数学模型,对含沙量和风暴潮引起的航道冲淤进行了验证。胡克林^[38]在长江口二维悬沙输运模型中采用切应力方法来确定对流扩散方程中的泥沙源函数,底部剪切应力由波流边界层模型给出波一流共同作用下的形式。

堵盘军^[39]在二维泥沙数学模型中,将底部泥沙层分为7层,每一层有不同的厚度,越往下的层沉积的时间越长,密度也越大,临界起动速度也越大,按经验,给出了每一层的临界起动速度。张红武^[40]引入其修正的河床变形方程与泥沙连续方程建立了黄河口潮流泥沙二维数学模型,对黄河口泥沙淤积规律进行了计算研究。周杰^[41]在 ECOMSED 模型和 MIKE3 模型的基础上,建立了平面二维、三维水沙数学模型,并应用于长江河口的粘性沙输运过程的数值模拟。

2.2 垂向二维泥沙数学模型

周济福^[42]将河口流速分解为径流流速分量和潮流流速分量,对于径流流速分量,采用对数流速分布表示;对于潮流流速分量,利用振荡边界层理论,得到往复运动水流流速垂向分布。据此建立了河口垂向二维泥沙数学模型,泥沙上扬通量采用基于湍流碎发的公式。模型得到实测含沙量资料的验证。李国杰^[43]建立了垂向二维悬沙输移数学模型,冲刷算法采用 Partheniades 经典方法,当底部剪应力超过不冲刷的极限时,产生冲刷。

2.3 三维泥沙数学模型

白玉川^[44]根据近岸带及河口区潮流、波浪、湍流各自物理尺度的不同,将悬沙运动方程中的流速和含沙量分解为与潮流相关、与波浪相关、与湍流拟序和随机脉动相关四个部分,建立了模拟波浪潮流联合输沙及海床冲淤演变的理论体系,利用波流合成底部切应力、底层湍流脉动随机特性,得出了波流联合作用下不平衡输沙计算中泥沙起悬与沉降量的确定方法。模型已应用于工程实例。李孟国^[45]建立了三维潮流输沙的数学模型,为了增加模型的稳定性和减少数值耗散,对悬沙对流扩散方程中的水平对流项采用三阶迎风格式离散。应用本模型对伶仃洋的枯季和洪季的潮流输沙的悬沙场进行了数值模拟。陈晓宏^[46]建立了珠江口海域三维悬浮泥沙和非饱和输沙数学模型,并与珠江口三维水动力斜压模型耦合,对悬沙迁移分布进

行了模拟和验证。

王崇浩^[47]建立了河口三维水动力及泥沙输移模型,泥沙在垂向上的交换通量采用与 ECOMSED 软件相同的粘性泥沙处理方法。模型应用于模拟珠江口的泥沙运动,计算域包括整个八大口门,对洪季实测含沙量进行了验证。梁丙臣^[48]将水动力-生态耦合模型 CHOERENS 与波浪模式 SWAN 联合,建立了悬沙数学模型,泥沙床面边界条件采用通量型,模型在黄河三角洲滨海区的潮流和悬浮泥沙输运规律研究中得到应用。

陈斌^[49]在水流连续方程和悬沙扩散方程中分别加上松弛项,即分别用松弛系数 β_1 乘以计算潮位与实测潮位的差值,用松弛系数 β_1 乘以计算含沙量与实测含沙量的差值,数值试验表明,随着松弛系数的增加,控制点的计算和实测之差越来越小,直至松弛系数过大时,计算溢出。从比较结果来看,将松弛项加入模式后,悬沙浓度的模拟结果有较明显的改善,拟合程度提高 2%~6%。

丁平兴^[50]将流速分解成潮(径)流速度、波动质点速度和紊流脉动速度,将含沙量分解成由潮(径)流、波动和紊流脉动引起的含沙量,代入三维水流和悬沙运动方程式中,在波周期内进行时间平均,采取一些假设对方程组进行简化,得到反映波浪影响的三维流场方程和波一流共同作用下的三维悬沙扩散方程。由于在水流方程组中含有波动引起的动量通量,在泥沙方程组中含有脉动和波动共同引起的悬沙扩散系数,目前还无法确定。

2.4 航道骤淤预测

丁平兴^[51]等采用非对称型台风场模型和 SWAN 模型模拟风暴潮、天文潮、径流、波生流等的复合流场以及波一流共同作用下的平面二维悬沙与底沙运动,模拟了由“杰拉华”台风引起的长江口北槽航道的冲淤变化。赵群^[52]采用 SWAN 风浪模型与 ECOMSED 联合对黄骅港海域在强风作用下的海岸动力过程及泥沙运动进行了模拟,波浪主要是通过底面剪应力与潮流耦合起到“波浪掀沙”的作用,计算结果与现场实测资料进行了比较。

刘家驹^[53]在进行风暴潮航道回淤计算时,将挟沙能力公式中的潮流流速取为风暴潮时的平均潮流速,将波动速度取为破波平均流速,水深用破波水深,代入刘家驹航道回淤预报公式中,得到风暴潮作用下破波区航道回淤厚度。罗肇森^[5]针对不同泥沙粒径进行大风浪作用下的航道回淤计算,当 $d_{50} > 0.03 \text{ mm}$ 时,淤积于航道的泥沙为底沙,即近底泥沙并含部份悬移质泥沙,使用他推导出的波浪、潮流和风吹流共同作用下的底沙输沙率公式;当 $d_{50} \leq 0.007 \text{ mm}$ 时,可按浮泥输沙率公式;当 $0.007 \text{ mm} < d_{50} < 0.03 \text{ mm}$ 时,建议就颗粒分曲线不同粒径及其百分数分别按底沙输沙率和浮泥输沙率公式计算。

3 河口泥沙物理模型研究

3.1 相似理论

窦国仁^[54]通过对波动速度、波浪传质速度、波浪折射、绕射、破碎、沿岸流等波浪相似条件的理论分析,建立了河口海岸全沙物理模型相似理论。模型潮流与原型潮流、模型波浪与原型波浪基本相似的条件是必须同时满足重力相似和阻力相似,对于变态模型,必须取波高比尺与波长比尺相同且均等于水深比尺时,在坡度较缓的海岸和河口,可以达到波浪质点速度、传质速度、波速、波群速、波浪折射、波浪破碎的位置、类型和沿岸流等的相似,但在波浪绕射方面有一定的偏离;按泥沙沉降相似和起动相似选择模型沙,并确定其粒径和级配,按挟沙能力相似控制含沙量,按底沙输沙能力比尺控制底沙加沙量,可以实现一个模型中同时进行潮流和波浪共同作用下的悬沙和底沙试验。

熊绍隆^[55]指出,潮汐河口悬移质动床物理模型水流运动必须遵循连续、重力与动床阻力相似,满足紊流和表面张力限制条件;泥沙运动必须服从悬移、起动与河床变形相似条件,如模型采用天然沙,还应满足相应的挟沙相似条件,若采用轻质沙,则挟沙相似模拟的含沙量现阶段只能由冲淤率定试验确定。根据悬移与起动相似条件沙选择模型,模型沙选定后的动床阻力应不大于阻力相似要求之值,因为模型加糙容易减糙难;选轻质沙后,河床变形的时间比尺将远大于水流连续的时间比尺。由于潮流随时间的变化迅速剧烈,因而各单个潮汐只能由水流时间比尺控制;再选择代表性较好的由若干个潮组成的基本单元,基本单元数即试验总潮数取决于河床变形的时间比尺,这样可同时满足河床变形相似条件。上游径流随时间的

变化远较潮流缓慢,可按河床变形的时间比尺统一缩短。

3.2 变率影响

窦希萍等^[56-57]按照河口海岸全沙模型相似理论^[54]设计变率分别为 2.5、4、6、8.33 和 12.8 的 5 个河口航道概化模型,选择密度为 1.48 t/m^3 的电木粉作为模型沙。在各模型上分别进行无丁坝和三种不同丁坝布置时的潮流试验、清水动床试验、浑水定床试验和浑水动床试验。试验表明:无丁坝条件下,当变率小于 8,模型变率对潮流作用下的航道冲淤厚度影响不明显;当变率大于或等于 6,对潮流波浪共同作用下的航道回淤有较显著影响,当变率大于 6,变率对大浪作用下的底沙输沙量影响显著;有丁坝条件下,变率 12.8 的模型航道内潮流速明显大于小变率模型的流速,建议研究有丁坝整治建筑物的航道水流问题时,变率应小于 8,当变率在 2.5~8.33 之间,变率对潮流作用下的航道冲淤厚度影响不明显,坝头冲刷坑深度和冲刷范围与模型变率成正比,即变率越大,冲刷坑越深,冲刷坑的面积也越大;一对丁坝布置时模型变率对冲刷坑的影响小于两对丁坝布置时的影响,即模型变率对丁坝群冲刷的影响更大。

韩曾萃等^[58]对模型变率进行了讨论。如按雅林(M S Yalin)给出的模型允许变率关系式,钱塘江河口的变率高达 50 时也基本在允许变率之内。20 世纪 60 年代,曾做过钱塘江河口大变率模型,平面比尺 2 500,垂直比尺 50,变率 50,原型平均糙率约为 0.009,因此,需要模型要求糙率为 0.033。该模型采用插棒法加糙,模型中平均插棒 21 根/ m^2 (棒的断面为 $0.8 \text{ cm} \times 0.8 \text{ cm}$)方能满足模型糙率的要求,模型插棒后对局部水流产生较大的破坏作用,故模型变率的限制条件需综合考虑。

3.3 物理模型

我国长江口、珠江口和钱塘江口均已建河口整体物理模型,黄河口物理模型正在建设中。

长江口物理模型有两个,一个在南京水利科学研究院,一个在上海河口海岸科学研究中心,主要研究长江口深水航道治理工程航道回淤等问题。

南京长江口模型比尺平面比尺 2 000,垂直比尺 150,变率 $13.3^{[59]}$ 。外海控制边界置于北槽口外约 30 m 水深处,上游地形至南通天生港,再由扭曲水道至大通。模型南边界至南汇嘴附近,北边界位于北支口的启东嘴。南港北槽动床段的上边界始自南港河段中部,下边界延伸至北槽口外 20 m 水深处,南槽上段至中浚水位站附近、横沙通道及横沙东滩窄沟以西的滩面也制作成动床,全部动床模型的面积约 300 m^2 (相当于原型 $1 200 \text{ km} \times 103 \text{ km}$ 的水域)。上述布置使长江口深水航道治理工程的一、二、三期工程都位于模型的有效段内。模型在外海南、北边界上布置了潮流量控制设备。用多台双向流量泵连接立面水廊道,实现了南北方向水流运动的控制,以满足模型复演口外旋转流的需要。模型采用先进的仪器设备和技術,运用自行设计的可逆泵解决了大型河口物理模型口外旋转流模拟的难题,完善了大型潮汐河口动床物理模型模拟技术,使之成为解决河口许多工程问题的重要研究手段,大大提升了潮汐河口物理模型实验技术。

上海长江口模型平面比尺 1 000,垂直比尺 125,变率 $8^{[60]}$ 。长江口平均潮流界在江苏省江阴市附近,模型地形做到距江阴水位站上游 10 km 的利港。北边界在苏北嘴,南边界在南汇嘴,外海边界在 20~40 m 等深线。上游边界位于潮区界大通,利港至大通用扭曲水道相联。外海边界用气压式潮水箱产生潮汐,模型北边界设置变速可逆泵,用廊道与南边界相通产生潮汐水流的南北向分量,与潮水箱产生的东西水流向分量合成,模拟了口外的旋转流流场。大通站的上游径流用变速泵模拟。研究长江口深水航道整治工程实施过程中的若干技术问题。

珠江口整体物理模型模型平面比尺 1:700,垂直比尺 1:70,变率 $10^{[61]}$ 。范围包括思贤以下西北江三角洲、石龙以下东江三角洲、老鸦岗以下珠江干流河道、石咀以下潭江水道、珠江八大口门及口外 25 m 等深浅海区及香港、澳门地区。整体模型在设计时考虑到分区应用问题,在伶仃洋、磨刀门、黄茅海海域下边界采用独立的控制系统,上游则根据局部模型的要求对网河进行局部调整、封堵。主要研究珠江河口综合治理等问题。

钱塘江河口物理模型平面比尺 1:1 500,垂直比尺 1:100,变率 $15^{[58]}$ 。以潮区界为上游边界,金山为其下边界,模型沙采用经防腐处理的木粉。含沙量采用半潮平均控制和验证,木粉大部置于潮水箱内,由箱底管路使其充分紊动悬扬,上游泥沙的补给通过搅拌加沙设施完成。试验分别就冲淤分布和各河段净淤积量进行验证。主要研究钱塘江河口围垦工程的影响等。

正在建设中的黄河口物理模型平面比尺为 600, 垂直比尺为 60, 变率 $10^{[62]}$ 。模拟范围: 陆上包括利津以下现河道、三角洲上规划的马新河流路及钓口河流路区域; 滨海区域岸线范围则应包括北起套儿河口、南至小清河河口, 岸线弧长约 200 km, 海区范围在离岸 50~60 km 之间。整个模拟范围东西长约 135 km, 南北宽 150 km, 原型区域面积约 2 万 km^2 。主要研究清水沟流路演变规律、治理对策和行洪年限, 河口外海洋动力输沙作用, 黄河口综合治理及规划方案, 黄河河口淤积延伸对下游河道冲淤影响等。

4 结 语

近十年来国内学者对河口泥沙的许多基本问题进行了较深入的探讨, 在潮流和波浪作用下的粘性泥沙运动规律、河口泥沙物理模型相似理论和试验技术、河口泥沙数学模型理论和模拟技术等方面取得了令人瞩目的成就, 很多成果在河口治理与开发中得到应用, 我国河口泥沙研究水平总体处于国际领先地位。

由于河口动力的非恒定性和不确定性以及多种动力以及盐水的相互耦合和相互作用, 河口泥沙运动规律十分复杂, 而流域工程和河口工程的实施又使得河口处于一种重新适应的调整之中, 其调整的强度和适应的时间目前尚不清楚。因此, 迫切需要加强河口现场观测特别是大潮、大浪和洪水相遇期间的动力和泥沙观测并与试验研究和数学模型研究相结合; 目前的现场测量或模型试验研究的基础数据都与具体工程密切结合, 社会共享程度较差, 甚至有有意封锁资料的现象, 这将有碍于河口泥沙研究的发展。要加强多种动力作用下和盐水影响下的泥沙运动试验研究, 为数学模型模拟泥沙运动提供更加可靠的边界条件; 应进一步加强物理模型试验理论、试验技术和量测技术研究; 加强物理模型与数学模型的复合技术研究, 更好地发挥两种研究手段的互补优势。

参考文献:

- [1] 窦国仁, 窦希萍, 李堤来. 波浪作用下泥沙的起动规律. 中国科学 (E 辑), 2001, 31(6).
- [2] 曹文洪, 刘青泉. 波浪掀沙的动力学机理分析. 水利学报, 2000, (1).
- [3] Zhou Yiren, Chen Yongping, Ma Qinan. Threshold of sediment movement in different wave boundary layer. China Ocean Engineering, 2001, 15(4): 509-520.
- [4] 赵冲久, 秦崇仁, 杨 华, 曹祖德, 蔡嘉熙, 冯玉林, 杨树森. 波流共同作用下粉沙质悬移质运动规律的研究. 水道港口, 2003, 24(3).
- [5] 罗肇森. 河口治理与大风骤淤. 北京: 海洋出版社, 2009.
- [6] 曹祖德, 唐士芳, 李 蓓. 波、流共存时的床面剪切力. 水道港口, 2001, 22(2).
- [7] 孔令双, 曹祖德, 焦桂英, 刘德辅. 波、流共存时的床面剪切力和泥沙运动. 水动力学研究与进展, 2003, A 辑 18(1).
- [8] 徐宏明, 张庆河. 粉沙质海岸泥沙特性实验研究. 泥沙研究, 2000, (3).
- [9] 白玉川, 张 彬, 张胤祺, 徐海珏. 波浪挟沙能力及航道骤淤机理的研究. 水利学报, 2007, 38(6).
- [10] 严 冰, 张庆河. 波浪作用下悬沙浓度垂线分布的研究. 泥沙研究, 2006, (5).
- [11] 杨 华, 赵冲久, 侯志强, 张书庄. 粉沙质海岸波浪和潮流作用下泥沙垂线分布研究. 水道港口, 2006, 27(3).
- [12] 时 钟. 长江口细颗粒泥沙过程. 泥沙研究, 2000, (6).
- [13] 曹文洪, 张启舜. 潮流和波浪作用下悬移质挟沙能力的研究. 泥沙研究, 2000, (5).
- [14] 曹祖德, 孔令双, 焦桂英. 波、流共同作用下的泥沙起动. 海洋学报, 2003, 25(3).
- [15] 乐培九, 杨细根. 波浪和潮流共同作用下的输沙问题. 水道港口, 1998, (3).
- [16] 邢 云, 宋志尧, 孔 俊, 章卫胜. 长江口水流挟沙力公式初步研究. 水文, 2008, 28(1).
- [17] 窦国仁, 董凤舞, Xiping Dou. 潮流和波浪的挟沙能力. 科学通报, 1995, 40(5): 443-446.
- [18] 刘家驹. 海岸泥沙运动研究及应用. 北京: 海洋出版社, 2009.
- [19] 曹祖德, 李 蓓, 孔令双. 波、流共存时的水体挟沙力. 水道港口, 2001, 22(4): 151-155.
- [20] 李瑞杰, 孙效功. 潮流作用下河口悬沙运动二维数学模型. 海洋湖沼通报, 1999, (3).
- [21] 杨 辉, 范宝山, 朱新华, 陈晓霞. 东北地区河口潮流挟沙能力的研究. 泥沙研究, 2005, (5).
- [22] 陆建宇, 陆永军, 李浩麟. 瓯江河口挟沙能力的初步探讨. 海洋工程, 2002, 20(1).
- [23] 侯志军, 杨晓阳, 李 岩. 黄河口水流挟沙力计算方法研究. 人民黄河, 2008, 30(11).
- [24] 张红武, 李东风, 张俊华. 黄河口潮流波浪挟沙能力研究. 人民黄河, 2008, 30(7).
- [25] 潘定安, 沈焕庭, 茅志昌. 长江口浑浊带的形成机理与特点. 海洋学报, 1999, 21(4): 62-69.
- [26] 时 钟, 陈伟民. 长江口北槽最大浑浊带泥沙过程. 泥沙研究, 2000, (1): 28-38.
- [27] 朱建荣, 傅德健, 吴 辉, 戚定满. 河口最大浑浊带形成的动力模式和数值试验. 海洋工程, 2004, 22(1).
- [28] 庞重光, 杨作升, 张 军, 雷 坤. 黄河口最大浑浊带特征及其时空演变. 黄渤海海洋, 2000, 18(3).
- [29] 窦希萍, 李堤来, 窦国仁. 长江口全沙数学模型研究. 水利水运科学研究, 1999, (2).
- [30] 曹文洪, 何少苓, 方春明. 黄河河口海岸二维非恒定水流泥沙数学模型. 水利学报, 2001, (1): 42-48.
- [31] 曹振轶, 胡克林. 长江口二维非均匀悬沙数值模拟. 泥沙研究, 2002, (6).