



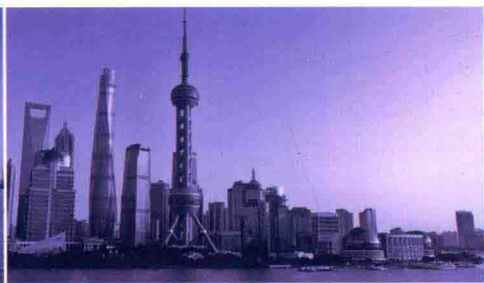
上海市水利学会

编

SHANGHAISHI
SHUIANQUAN
SHUIGUANLI
XUESHU WENXUAN

上海市 水安全·水管理 学术文选

上海市水利优秀科技论文集



上海科学技术出版社

上海水安全·水管理学术文选—— 上海市水利优秀科技论文集

上海市水利学会 编



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

上海水安全·水管理学术文选：上海市水利优秀科技论文集 / 上海市水利学会编. —上海：上海科学技术出版社，2018.3

ISBN 978-7-5478-3919-5

I. ①上… II. ①上… III. ①水资源管理—安全管理—上海—文集 IV. ①TV213.4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 032274 号

上海水安全·水管理学术文选——上海市水利优秀科技论文集
上海市水利学会 编

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.5

字数 410 千字

2018 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-3919-5/X·44

定价：68.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题，请向工厂联系调换

内容提要

本书系从 2017 年上海市水利优秀科技论文评选活动中挑选的一批论文汇编而成,内容突出“水安全、水管理”主题,分别涉及城乡防洪、水资源水环境、港航滩涂建设和水利工程管理等方面。这些论文曾在 2015 年 7 月 1 日—2017 年 6 月 30 日期间内公开发表,在理论上有独到见解,在应用上有新体会,在技术上有新观点,对解决重大关键问题或对促进上海涉水科技进步具有指导作用。

本书在编辑上力求尊重原文,个别体例、格式方面或有修改,以求全书有统一的风格。

本书可供从事水利事业的科技工作者和管理者,以及水利专业相关高等院校的高年级本科生及研究生阅读与参考。

上海水安全·水管理学术文选
——上海市水利优秀科技论文集

编 委 会

主 编 刘晓涛

副主编 胡 欣 胡传廉

编 委 (按姓氏笔画排列)

卢永金 邬显晨 刘 桦 刘新成 沈 洪
张 辰 陆忠民 周 海 黄明毅 章震宇
虞重亮

主办单位 上海市水利学会

序言

《上海水安全·水管理学术文选》是继 2013 年《上海水科技·水工程学术文选》和 2015 年《上海水生态·水环境学术文选》后再度出版的水利行业优秀论文集。这是以上海市涉水安全及管理为主题的又一次水利行业科技论文大会展,充分展示了上海市广大涉水科技工作者不断践行“创新、协调、绿色、共享”发展理念的最新成果。这是在上海市水务局科学技术委员会支持下,以上海市水利学会联合上海市水利工程协会、上海市水文协会举办的“第三届上海市水利优秀科技论文评选活动”为基础,通过聘请上海市涉水行业数十名资深专家,对近 200 篇应征论文进行初审、复审和奖项评定等层层筛选而得,最终汇集了这次评选活动的大部分获奖论文。其中不乏融合了创新性、理论性和前瞻性等鲜明特点的内容,对保护水安全、推进水管理具有较强的指导意义。同时,也充分体现了上海市广大涉水科技工作者的科技创新水平,体现了对该项评选活动的热爱和支持。

《上海水安全·水管理学术文选》的顺利出版,得到了上海市勘测设计研究院(集团)公司的大力支持,在此表示衷心感谢。

“安而不忘危,存而不忘亡,治而不忘乱。”

水安全、水管理作为城市安全的重要组成部分,已经越来越受到关注与重视。让我们切实遵照习近平总书记提出的“坚持以防为主、防抗救相结合,坚持常态减灾和非常态救灾相统一,从注重灾后救助向注重灾前预防转变,从应对单一灾种向综合减灾转变,从减少灾害损失向减轻灾害风险转变的防灾减灾救灾新理念(即‘两个坚持、三个转变’)”,在当前构建和完善中国特色防灾减灾救灾体系的实践中,更新观念、创新机制,搭建平台、汇聚智慧,管好水安全,服务上海发展大局,按照党的十九大绘制的伟大蓝图,始终坚持总体国家安全观,不断增强忧患意识,充分发挥水利行业、涉水学科无可替代的整体力量,在维护上海城市安全乃至国家总体安全的实践中,做出我们应有的贡献!

衷心希望广大读者,能在本书中获益。

上海市水利学会第八届理事长、上海市水务局副局长 刘晓涛

2018 年 1 月

目 录

水安全·研究篇

长江口枯季北港淡水向北支扩展的动力机制

李 路 朱建荣 3

上海地区设计暴雨的雨型研究

金 云 16

墙后堆载下高桩承台式防汛墙变形规律研究

张琳琳 石永超 袁 昊 21

海岸冲蚀对海堤安全的影响研究

李 路 刘新成 宋永港 赵庚润 26

黄浦江河口水沙输运机制研究

宋永港 卢永金 刘新成 36

超标准台风风暴潮设计研究

李羽文 李 路 杜小弢 45

太湖来水和区域降雨对黄浦江潮位增水影响研究

李同德 金 科 姜桂花 53

上海市非汛期临时防汛墙(堤)防御标准研究

崔 冬 何小燕 赵庚润 李羽文 57

风暴潮对太湖流域防洪影响及对策研究

诸发文 陆志华 65

上海市芦潮港岸段警戒潮位核定研究

李 琪 顾圣华 聂 源 70

水安全·分析篇

淤泥质海岸入海河口闸下港道河相关系 陆倩 龚政 周曾 张长宽	77
海绵城市中湿塘湿地与河道协同设计探讨 唐金忠 温明	88
柯桥地区城市内涝成因分析 俞超锋	94
厄尔尼诺事件对太湖流域降水的影响 吴娟 林荷娟 吴志勇 姜桂花 季同德	99
流域减沙对长江口典型河槽及邻近海域演变的影响 刘杰 程海峰 韩露 王珍珍	106
黄浦江市区段防汛墙漫溢风险分析 赵庚润 李羽文 崔冬 杜小波	113
太浦闸控制运用对流域区域及金泽水源地的影响分析 曹菊萍 彭焱梅 李昊洋 张亚洲	121
淀东水利枢纽泵闸改扩建工程三维地质模型建模过程及思考 周奕琦 任华春	128
201323号“菲特”台风暴雨特征分析 甘月云 金科 武剑 马媛	132
太湖流域涉水建设项目防洪影响控制性技术指标初探 陆志华 王元元 蔡梅 马农乐	136
2015年太湖流域梅雨洪水特性分析 金科 季海萍 姜桂花	142
游艇码头波浪防护标准及防波堤设计探讨 陈建勇	146

水管理·研究篇

上海市河道生态性评价体系构建及其应用 徐后涛 赵风斌 张玮 王丽卿 郑小燕	155
长江口氨氮流动分析法的模型研究 季铁梅 田华 石冰 杨华	166
太浦河跨界合作管理模式研究 戴晶晶 尚钊仪 李昊洋	170

大型人工水源湖生态净化系统设计

钱 磊 陈雪初 177

基于水质自动监测系统改进的研究

刘 君 181

复杂结构闸室稳定分析程序的研究与开发

朱定国 周奕琦 朱柳峰 186

上海市水资源可持续利用评价研究

马建斌 李 琪 190

太湖流域设计暴雨修订

胡 艳 林荷娟 刘 敏 196

水管理·分析篇

太湖流域及东南诸河水土流失现状与演变趋势

张玉刚 卢慧中 曹龙熹 梁 音 203

太浦闸水量水质联合调度对金泽水库水质影响

戴晶晶 陈 红 彭焱梅 张亚洲 武 剑 胡庆芳 210

长江口 12.5 m 深水航道运行初期的疏浚效益评价

赵德招 218

基于水动力模拟的河网地区泵闸优化调度

李念斌 杨 琪 224

国内外河口航道治理经验及对长江口航道整治的启示

付 桂 231

太湖流域河湖连通工程调度模式综述

王元元 陆志华 马农乐 蔡 梅 238

水管理·推广与借鉴

基于随机森林分类算法的边坡稳定预测模型

胡添翼 戴 波 何 启 薛 洋 黄梦婧 245

上海滨江森林公园水环境治理方法研究

石正宝 251

大型竖井贯流泵装置在南水北调邳州站的首次应用

黄 毅 杨雪林 256

基于 Bentley 平台的泵闸建筑和结构 BIM 三维协同技术

卓鹏飞 卢育芳 261

水安全・研究篇

长江口枯季北港淡水向北支扩展的动力机制*

李 路^{1,2} 朱建荣³

(1. 上海市水利工程设计研究院有限公司, 上海 200061;

2. 上海围海工程技术研究中心, 上海 200061;

3. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘 要: 2011年12月—2012年1月长江口的现场观测资料表明,大潮和大潮后中潮期间,北港的淡水向北支口门和下段扩展,减小了北支下段的盐度,而小潮及其后的中潮期间无此现象。为了确证淡水的来源,采用验证良好的三维数值模式再现了上述观测现象,并通过数值试验和淡水通量机制分解方法分析其动力成因。数值试验结果表明,大潮及其后的中潮期间,北港主槽流经北港北汊及其周围浅滩的水体是北支淡水的主要来源,拉格朗日余流输送是其向北支扩展的主要动力机制。北港北汊的增深增加了进入北支的淡水通量,减弱了北支的盐水入侵。偏北风风速的增加抑制了北港淡水向北支的扩展,增加了北支的盐水入侵。

关键词: 盐水入侵;淡水通量;数值模式;长江口

近年来随着社会经济的发展,河口地区人口增加迅速,对淡水资源的需求与日俱增。河口水库能缓解淡水资源不足的问题,但在枯季水库取水受盐水入侵影响。河口地区复杂的河势和地形与潮汐、径流及风应力等多种动力因子的综合作用,加上人类活动的影响,使得该区域盐水入侵和盐淡水分布规律变得十分复杂。缺乏对盐水入侵规律全面的认识势必会影响河口水库的取水安全。目前研究盐水入侵规律的方法主要有现场观测、理论公式分析和数值模拟等。数值模拟作为研究河口盐水入侵的重要手段,已在世界各大著名河口得到成功应用,如美国的 Hudson 河口^[1]、Columbia 河口^[2]、Tampa 湾^[3],以及我国的长江口^[4]、珠江口^[5]和钱塘江口^[6]等。长江河口的盐水入侵相对于我国其他河口研究较为成熟,研究内容由对盐水入侵现象的认知不断向探索现象背后的动力成因、动力机制深入。多年来,众多学者对长江口盐水入侵的基本规律做了研究,指出潮汐强弱和径流量大小是影响

长江河口盐水入侵的两个重要的动力因子^[7-8],此外还研究了风应力^[9]、河口环流^[10]、河口混合^[4]、海平面上升^[11]等对盐水入侵的影响。

长江口北支盐水倒灌是枯季盐水入侵特殊的形式,也是长江口水源地盐水的重要来源。以往对北支盐水倒灌规律及对南支、北港水源地的影响方面的研究较多^[12-17],但由于实测资料和研究方法的限制,专门针对枯季北港淡水对北支影响的研究较少。本文采用现场观测资料结合数值模拟揭示了大潮至小潮期间北港淡水向北支下口扩展这一现象,并探讨其形成的动力机制。研究成果丰富了对长江口北支、北港河段盐水入侵规律的认识,同时也对保障长江河口水库的供水安全具有重要的参考价值。

1 北港淡水向北支的扩展

1.1 研究区域概况

长江口盐度分布总体上东高西低,在大潮

* 本文发表于《水科学进展》2016年9月。

本文获得“2017年上海市水利行业优秀科技论文评选活动”一等奖。

期间由于北支倒灌的影响,南支、北港河段纵向盐度呈现出“两头高中间低”的分布特征。长江口为分汊河口,各汊道分流比的差异导致了盐水入侵差异。由于北支特殊的地形(图1),其分流比基本不超过长江径流的5%,而北港的分流比与南港相当,接近长江径流的一半。北港和北支之间悬殊的分流比,导致了它们虽仅相隔崇明岛,却是长江枯季盐水入侵最弱和最强的两条入海通道^[8,10]。目前上海市三大河口水库(水库青草水库、陈行水库和东风西沙水库)位于北港和南支河段(图1),北港盐水的正面入侵和北支盐水的倒灌是水源地盐水的主要来源^[12-17]。北港和北支口门水域滩槽相间,河势复杂。北港主槽和北港北汊之间是北港

北沙,北港北汊和北支口门相隔崇明东滩,北支口门被顾园沙分为南北两条水道(图1)。广阔的滩涂在涨潮期间被水体淹没,而落潮期间部分出露,涨落潮的不对称性使得该水域的余流和物质输送十分复杂^[10]。

一般而言,在科氏力和偏北季风的共同作用下,北港较淡的水体在流经口门后应转向南输运,不会影响到北支。Wu等^[10]的研究表明,在大潮期间,长江口口门存在显著的由南向北的横向环流。此外,Li等^[18]发现近年来增深的北港北汊,大大缩短了北支口门和北港主槽水体交换距离。在这两个因素的共同作用下,北港的淡水是否会影响北支,并进一步影响北支的盐水入侵和倒灌强度,目前尚未针对这一问题开展研究。

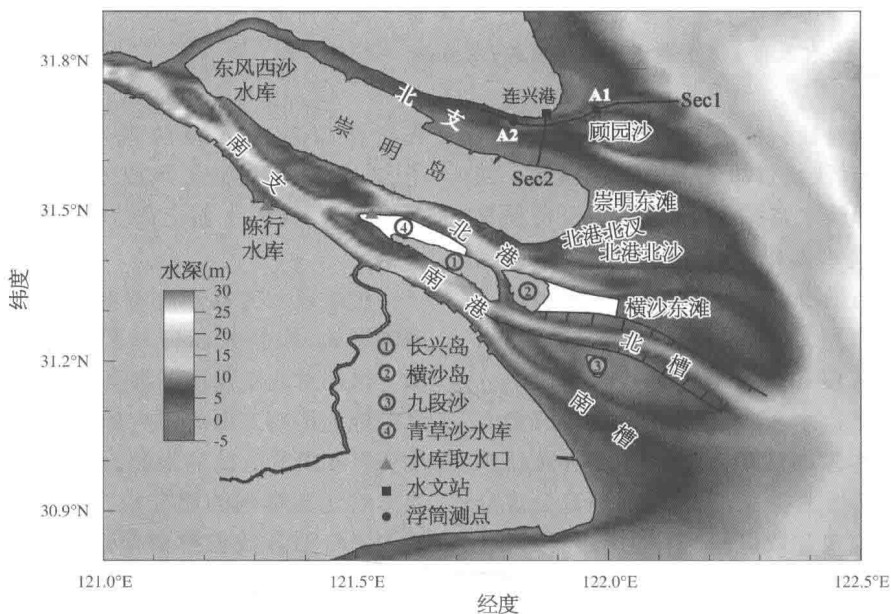


图1 长江口河势和水下地形图

1.2 现场观测

2011年12月24日—2012年1月13日,华东师范大学河口海岸学国家重点实验室在长江口进行了大规模的现场观测,其中浮筒测点A1和A2沿顾园沙北水道布设,测点A1位于顾园沙北侧,测点A2位于北支下段(图1)。各浮筒测点由1个JFT Electro-magnetic Current Meter (Infinity EMCM)测量表层流速

流向,1个SBE Conductivity-Temperature-Depth (SBE 37-SM CTD)测量表层盐度,仪器均放置于水下0.5 m,采样频率为5 min。观测连续进行了20天,包含了一个完整的大小潮过程(图2a)。观测期间长江大通站平均径流约为 $12\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,接近多年1月平均径流量;观测期间长江口以偏北风为主,与冬季季风方向一致^[18]。

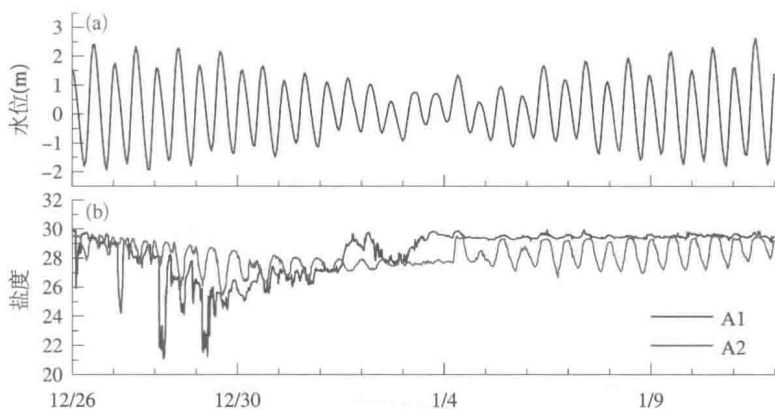


图2 2011年12月26日至2012年1月11日连兴港站水位和测点A1、A2表层盐度

测点A1和A2的表层盐度存在明显的大小潮变化(图2b)。测点A1的盐度在大潮期间日变化十分显著,总体上表现出迅速下降的趋势,12月28和29日到达观测期间的最小值,量值约21。从29日后半日至次日3日(大潮后中潮至小潮期间),盐度整体上呈现出上升趋势,达到本次观测最大值,量值约30。从1月4日直至本次观测结束(小潮至大潮期间),盐度维持在29~30之间,基本没有日变化。测点A2大小潮期间的表层盐度变化趋势总体上与测点A1一致,大潮期间盐度日变化显著,总体趋于下降,在29日(大潮后中潮期间)达到观测期间的最小值,量值约25。从30日至次日3日(大潮后中潮至小潮期间),盐

度日变化逐渐减小,盐度总体缓慢上升。4日盐度达到观测期间的最大值,量值约30,之后直至观测结束(小潮至大潮期间),盐度在26~29之间波动,有比较明显的日变化。

大潮至小潮过渡期间(12月27—29日),测点A2的盐度在涨潮期间减小,在落潮期间增大,这一现象在28和29日尤为明显,表明在该测点下游存在较淡的水体(图3a)。这一时段测点A1的盐度变化更复杂,在落潮初期盐度下降,随后盐度迅速上升至落潮结束,在涨潮期间盐度下降。小潮至大潮期间(1月4—6日),测点A2的盐度在涨潮期间升高,落潮期间下降,表明高盐水来自下游(图3b)。测点A1在这一时段的盐度基本保持不变。

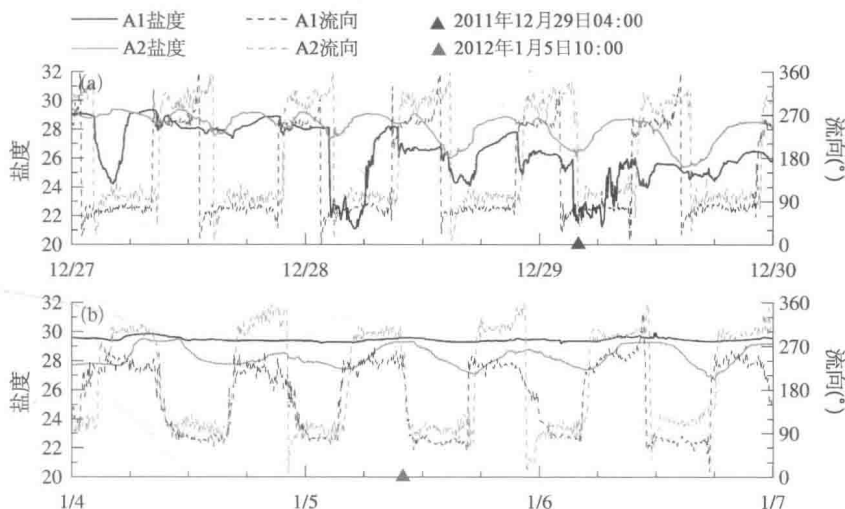


图3 2011年12月27—29日和2012年1月4—6日期间测点A1、A2表层盐度和流向

上述现象表明大潮及其之后的中潮期间,在测点 A1 和 A2 之间存在比上下游更淡的水体,这很可能是由于北港的淡水越过北港北沙和崇明东滩,并通过顾园沙南水道影响到北支下段,减弱了北支的盐水入侵。这一现象之前未见报道,其动力成因将在后文讨论。

1.3 数值模拟

为了对上述观测到的淡水来源进行确证,并探讨其物理过程和形成动力机制,采用改进的三维数值模式 Ecom-si 进行定量研究,该数值模式在长江口盐水入侵的研究中已得到广泛应用^[9, 10, 18-20]。模式计算区域包括长江口、杭州湾和邻近海域,特别对长江口口门和北港北汉的网格进行了局部加密,能较好地分辨口门的汉道和潮间带^[18]。数值模式的设置和对观测资料的验证详见 Li 等^[18]。数值模式的计算结果与观测资料总体吻合良好,并较好地模拟出测点 A1 和 A2 表层盐度的日变化和大小潮变化,计算值和观测值的均方差仅为 0.79 和 0.87^[18]。这表明数值模式能较好地模拟长江口,特别是北支口门和下段的盐水入侵过程。

采用观测期间的潮汐、径流和风应力条件^[18],数值模拟了大潮后中潮和小潮期间涨憩时刻的表层盐度分布(图 4,输出时刻见图 3a

和 b 三角形所示)以及北支下段—北支口外纵断面 Sec1 的盐度分布(图 5, Sec1 的位置如图 1 所示)。大潮后中潮期间,通过北港下泄的长江径流向口外输送。涨憩时刻,在北港口外盐度锋面显著,并且存在一个明显的从崇明东滩伸向北支下段的低盐水舌,盐度值在 15~20 之间,量值低于其上游和下游的盐度值(图 4a),这证实了北支口门和下段受北港淡水的影响。从北支下段—北支口外的盐度纵向剖面看,在测点 A1 和 A2 之间 5 m 以上的水体存在一个显著的低盐水团,分层明显;5 m 以下的水体混合均匀(图 5a),这表明北港淡水主要影响北支口门和下段的表层和次表层水体,对中层和底层水体影响较小。

小潮期间的涨憩时刻,北港下段的淡水主要分布在北港南侧,未向北支口门和下段扩展,北港北汉及其附近浅滩的盐度大大高于大潮后中潮期间(图 4b)。上述现象主要是因为小潮期间潮动力较弱,水体的垂向分层较大潮和中潮期间明显,北支口门的盐分通过垂向切变输送作用进入北港北汉,大大增加了该处和相邻水域的盐水入侵^[18]。由于未受到北港淡水的影响,北支下段—北支口外纵向上的盐度较高,量值约为 30,且垂向混合均匀(图 5b)。

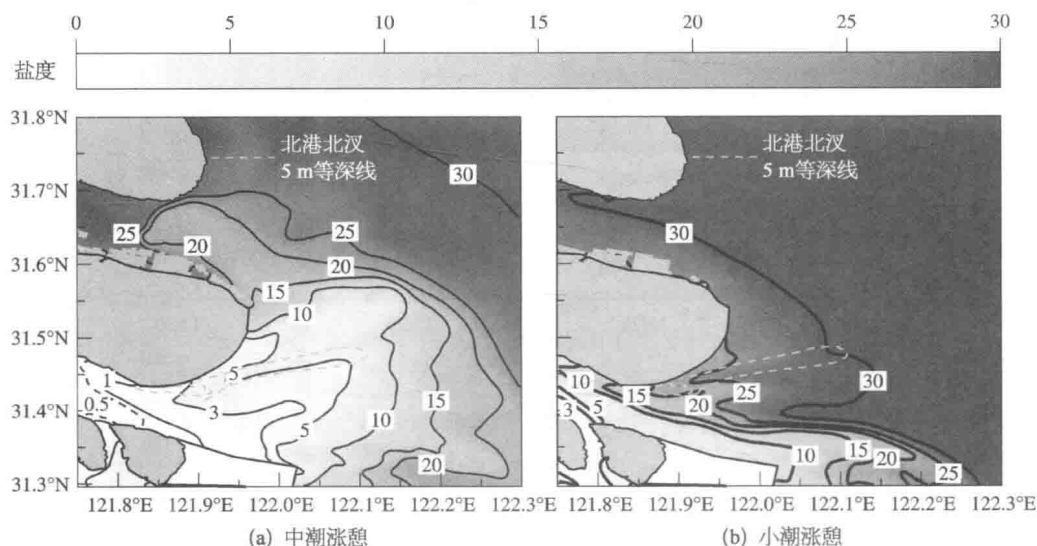


图4 数值模拟的大潮后中潮涨憩和小潮涨憩表层盐度分布

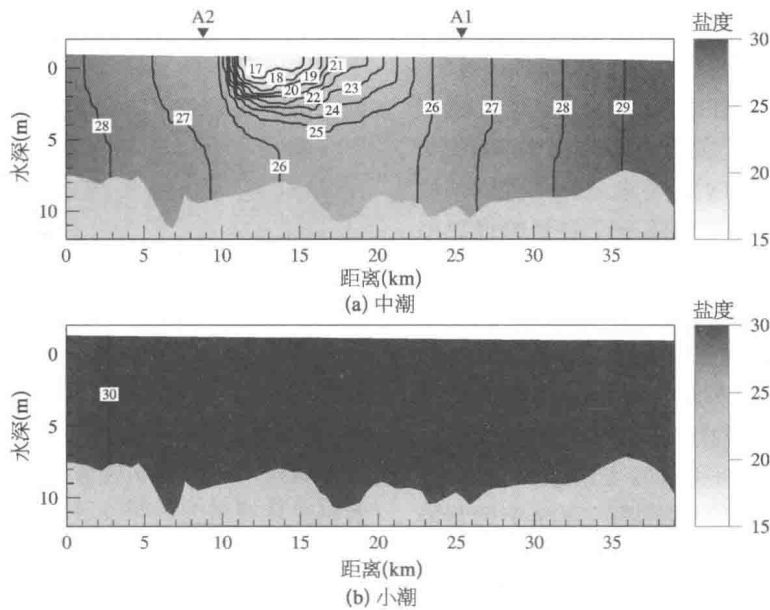


图5 数值模拟的沿断面 Sec1 大潮后中潮涨憩和小潮涨憩盐度分布

1.4 控制试验模拟的盐度随大小潮变化

数值模拟的结果表明,观测期间北支下段和口门盐度变化的异常现象是由北港淡水向北支扩展引起的,但这一现象是否为特定潮汐、径流和风应力相互作用下的偶然现象还无

法确定,为此本节设置了一个气候态下的控制试验(数值试验 S1),其中径流量采用 1 月多年月平均值 $11\,200\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,海表面取枯季的平均 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的定常北风。数值模式共运行 50 d,采用最后 20 d 的数据用于分析。

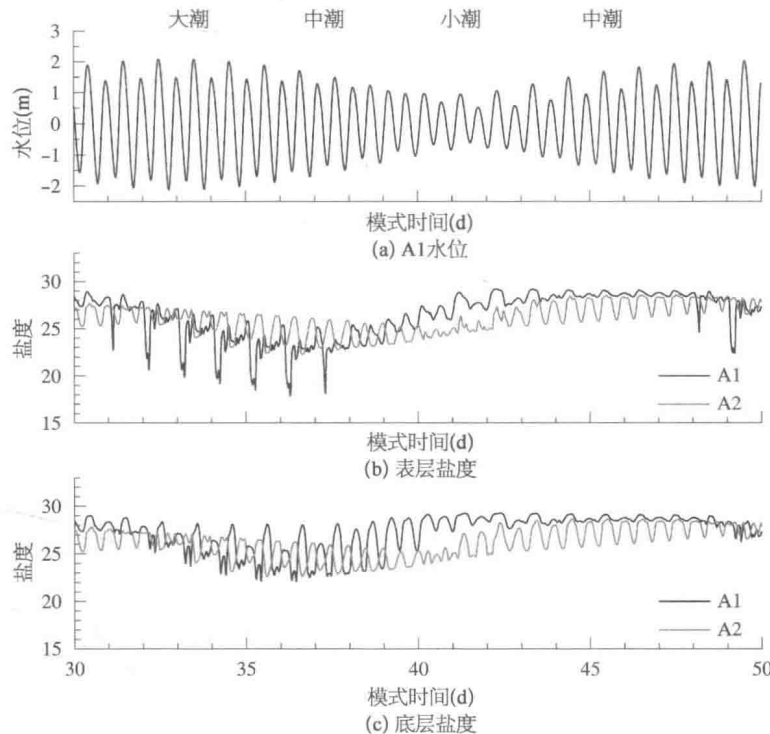


图6 控制试验测点 A1 和 A2 水位、表底层盐度随时间变化

在气候态动力因子的驱动下,测点 A1 和 A2 的表层盐度随大小潮变化如图 6b 所示。大潮和大潮后中潮期间,位于下游的测点 A1 的表层盐度低于位于上游的测点 A2 的表层盐度,在之后的小潮和小潮后的中潮期间则恰恰相反。这一变化趋势与观测到的现象一致(图 2b),表明枯季北港淡水向北支口门和下段的扩展是一个常态现象,主要发生在大潮以及之后的中潮期间。这主要是由于大潮及其后的中潮期间北港和北支口门的水面比降差异形成北港向北支的环流,导致北港淡水向北支输移。底层盐度有类似的变化趋势(图 6c),表明大潮及其之后的中潮期间同样受到北港淡水扩展的影响,但由于淡水主要沿表层输运,影响程度较表层小。

2 动力机制分析

2.1 淡水通量随大小潮的变化

为了进一步定量分析北港淡水的输运规律,可通过计算该水域淡水通量的分布和变化。瞬时单宽淡水通量可按下式计算:

$$\vec{Q}_i = \int_{-1}^0 \frac{s_0 - s}{s_0} D \vec{V} d\sigma \quad (1)$$

式中, s 表示盐度; s_0 表示背景盐度; D 表示总水深; $\vec{V}$ 表示流速矢量; σ 表示相对水深(表层为 0,底层为 -1)。 s_0 实际上定义了一个区域海水的最高盐度,低于这个盐度就认为有淡水混合进入海水中。 $(s_0 - s)/s_0$ 取值在 0~1 之间,表示水体中淡水所占的比重。在研究冲淡水扩展时, s_0 一般可取 35,表示陆架上的盐度^[21]。但近岸水域受径流影响较大,背景盐度变化剧烈,很难按空间给出。本文采用示踪剂(Tr)来标记长江径流,通过 Tr 的分布变化来分析长江径流如何向海输运,以及如何与盐水混合。 Q_i 等^[22]曾采用此方法研究长江河口径流的滞留时间。本研究中, Tr 在径流边界处设置为 1,外海开边界处设置为 0;在 Tr 的初始场中,盐度初始场为 0 的区域设置为 1,其他区域设置为 0。根据上述设置,瞬时单宽淡水通量的计算可转化为:

$$\vec{Q}_i = \int_{-1}^0 Tr \cdot D \vec{V} d\sigma \quad (2)$$

潮平均的单宽淡水通量($\vec{R}_i$)可表示为:

$$\vec{R}_i = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{-1}^0 Tr \cdot D \vec{V} d\sigma dt \quad (3)$$

式中, T 为时间,等于一个或几个潮周期。本研究中 T 取 6 个半日潮周期,约 3 d,可以过滤掉半日潮和全日潮的影响。分别分析了大小潮周期内大潮和大潮后中潮,小潮,小潮后中潮 4 个时段淡水通量的输运变化。为了研究其内在的动力机制,若将淡水作为一种物质,类似于盐通量的机制分解^[23],同样可对淡水通量进行机制分解:

$$\vec{R}_i = \langle \vec{Q} \rangle \langle Tr \rangle + \langle \vec{Q}_i \rangle \langle (Tr)_i \rangle + \langle D \vec{V}' (Tr)' \rangle \quad (4)$$

式中, $\langle \rangle$ 表示潮平均算子; $\vec{Q}$ 和 $\overline{Tr}$ 表示瞬时单宽水通量和垂向平均淡水浓度; $\vec{Q}_i$ 和 $(Tr)_i$ 为 $\vec{Q}$ 和 $\overline{Tr}$ 的潮振荡项; $\vec{V}'$ 和 $(Tr)'$ 为 $\vec{V}$ 和 $\overline{Tr}$ 的垂向偏差项。式(4)的右边第一项为拉格朗日对淡水输运,主要是由平均流输运产生;第二项为潮泵对淡水的输送,主要由潮流和淡水浓度的潮振荡项引起;第三项为垂向切变淡水输送,主要由流速和淡水浓度的垂向差异产生。上述三项的计算方法与盐通量分解项的计算方法类似,详见文献[23]。图 7 和图 8 分别是控制试验大潮、大潮后中潮,小潮、小潮后中潮期间平均的淡水通量及其分解项。

2.1.1 大潮期间

大潮期间,北港淡水大部分沿北港主槽向海外输运,小部分沿北港北汊向海外输运(图 7a)。北港主槽部分淡水绕北港北沙进入北港北汊。Wu 等^[10]指出,大潮期间,长江口口门存在明显的横向环流。该环流从南槽越过北槽导堤和横沙东滩进入北港,并继续向北越过崇明东滩进入北支口门。受此横向环流影响,北港主槽向海的淡水输运出口门后先沿东北方向,后逐渐转向东南方向。北港主槽中部分淡水横穿北港主槽、北港北汊以及崇明浅滩,经