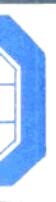


华东师范大学跨世纪学术著作出版基金资助

长江冲淡水扩展机制

朱建荣 沈焕庭著



Kuashiji

华东师范大学出版社

The Mechanism of the Expansion of the Changjiang (Yangtze River) Diluted Water

Zhu Jianrong Shen Huanting

East China Normal University Press

E166.66



长江冲淡水扩展机制

朱建荣 沈焕庭 著

华东师范大学出版社

责任编辑 倪 明

封面设计 陆震伟

长江冲淡水扩展机制

朱建荣 沈焕庭 著

华东师范大学出版社出版发行

(上海中山北路 3663 号 邮政编码 200062)

新华书店上海发行所经销

上海市印刷四厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 8.5 插页 4 字数 200 千字

1997 年 3 月第 1 版 1997 年 3 月第 1 次印刷

印数 001—1,000 本

ISBN 7 - 5617 - 1687 - 7/P·002

定价 18.00 元

内 容 简 介

本书建立了一个 σ 坐标系下三维非线性斜压浅海与陆架模式, 研究长江冲淡水扩展的动力机制。计算区域为整个东中国海, 水平分辨率为 $7.5' \times 7.5'$, 垂向分 11 层, 数值计算采用 ADI 方法。由于长江冲淡水的扩展与余流密切相关, 本书先对长江口外海区的余流, 包括风生流、边界力产生的余流、密度流、潮致余流作了数值模拟, 并分析了它们对长江冲淡水的扩展可能带来的影响。数值模拟了底形、斜压及其相互作用等对长江冲淡水扩展的影响, 并用一个考虑底斜和海面坡度及其与斜压相互作用的涡度方程对模拟的结果作了动力分析。夏季长江冲淡水的扩展, 尤其是夏季长江冲淡水的转向现象, 是本书研究的重点。对径流量、台湾暖流、风场、黄海冷涡等因子对夏季长江冲淡水扩展的影响, 作了详细的数值模拟和动力分析。最后对冬季长江冲淡水的扩展作了数值模拟。本书不仅模拟了长江冲淡水夏季转向东北、冬季在沿岸一狭窄带内向南扩展的现象, 同时再现了东中国海冬夏季的环流结构。本书可供海洋、河口海岸、气象等专业的研究人员、教师、学生参考阅读。

本研究课题受国家自然科学基金 (批准号 4940607) 和上海市青年科技启明星培养计划科研基金资助。本书出版受华东师范大学跨世纪学术著作出版基金资助。

Brief Introduction of the Content

A three dimension nonlinear baroclinic shallow water and continental shelf model in σ coordinate system is developed in this book to study the dynamic mechanism of the expansion of the Changjiang diluted water (ECDW). The calculation domain is the whole East China Sea. The horizontal resolution of the model is $7.5' \times 7.5'$, and the vertical one is 11 layers. The Alternating Direction Implicit (ADI) scheme is adopted for the numerical resolution. Since ECDW is closely related with the residual current induced by the boundary forces, density current and tidal induced residual current in the sea area outside of the mouth of the Changjiang, so these items are first numerically simulated and their potential impacts on ECDW are then discussed. The impacts exerted by bottom topography, barocline and their interaction are numerically simulated, and the calculation results are further analyzed dynamically through the employment of the vorticity equation in which the bottom topography and water level slope, and their interaction between barocline are considered. The main focus in this book is on ECDW in summer, especially on the phenomenon of turning direction of the Changjiang diluted water in summertime. The impacts of the factors of the runoff, Taiwan Warm Current, wind field, Yellow Sea Cool Eddy on ECDW are numerically simulated and analyzed in detail. ECDW in winter is also numerically simulated. The simulations show that the Changjiang diluted water changes its direction toward northeast in summer and expands southward along the coast in a narrow band in

winter, and thus the circulation structures of the East China Sea in summer and winter are reconstructed. This book can be served as reference book for the researchers, teachers and students engaged in oceanology, estuary and coast major and meteorology.

序

长江冲淡水扩展机制是物理海洋学界多年来悬而未决的问题, 长期以来为国内外同行所瞩目。本书作者在充分了解国内外研究现状的基础上, 根据长江口外海区复杂的自然条件, 设计了一个 σ 坐标系下三维非线性斜压原始方程细网格浅海与陆架模式, 以整个东中国海为计算区域, 考虑多种影响因子, 比较系统地研究了长江冲淡水的扩展机制。模式性能良好, 其分辨率甚高, 这在东中国海的水文数值模拟中并不多见。长江冲淡水的扩展与东海流场紧密相关。本书作者首先对长江口外海区各个余流成份进行了数值模拟, 这对深入探讨长江冲淡水扩展的动力机制是十分有益的。继而, 对夏、冬季长江冲淡水的扩展, 尤其是作为东中国海水文特征之一的夏季长江冲淡水的转向现象, 进行了详实的数值模拟。通过对相关的底形、斜压、径流量、风应力、台湾暖流、夏季黄海冷涡、沿岸流等因子的细微分析, 得到了一些重要结论。另外, 作者还利用动力学模式较好地模拟出了冬、夏季东中国海的环流结构, 如黑潮、台湾暖流、对马暖流、黄海暖流、沿岸流等, 这也是很有意义的结果。

本书内容丰富、思路清晰、观点新颖、结构合理、推理严谨、结论可信, 是研究长江冲淡水扩展机制的一部力作。本书的问世必将进一步推动物理海洋学界对长江冲淡水问题及其相关领域研究的深入开展。

秦曾灏

1996年9月20日于上海

目 次

第一章 导言	1
一、本书工作简述	1
二、东海陆架环流的基本特征	2
三、长江冲淡水扩展研究概况	8
四、评述	17
第二章 一个 σ 坐标系中三维非线性斜压浅海与陆架模式 的建立	19
一、引言	19
二、模式建立的理论分析	21
三、 σ 坐标系下的海洋原始方程组	25
四、物理过程参数化	28
1. 海表面风应力和海底摩擦应力	28
2. 垂向涡动粘滞系数	29
3. 垂向涡动扩散系数	31
五、初始条件和边界条件	31
1. 初始条件	31
2. 边界条件	32
六、数值方法	34
1. 网格系统、计算区域和空间分辨率	35
2. 空间差分	38
3. 时间积分	50
第三章 东中国海余流的数值模拟	63
一、风生流	63
二、边界力产生的余流	65
三、夏季黄海冷涡产生的余流	68

四、长江口外海区密度流	70
五、潮致余流	70
第四章 底形和斜压等对长江冲淡水扩展影响	132
一、考虑底斜和海面坡度及其与斜压相互作用的涡度方程	132
二、底形、斜压、径流量、底摩擦对长江冲淡水扩展影响的 数值模拟	136
1. 底形对长江冲淡水扩展的影响	137
2. 斜压对长江冲淡水扩展的影响	140
3. 径流量对长江冲淡水扩展的影响	143
4. 底摩擦对长江冲淡水扩展的影响	143
三、结论	144
第五章 夏季长江冲淡水扩展数值模拟	168
一、夏季长江冲淡水扩展的控制数值试验	168
二、径流量对夏季长江冲淡水扩展的影响	170
三、台湾暖流对夏季长江冲淡水扩展的影响	172
四、风对夏季长江冲淡水扩展的影响	173
五、黄海冷涡对夏季长江淡水扩展的影响	175
六、结论	176
第六章 冬季长江冲淡水扩展数值模拟	219
一、冬季长江冲淡水扩展的控制数值试验	219
二、不同风情对冬季长江冲淡水扩展的影响	220
三、径流量对冬季长江冲淡水扩展的影响	221
四、结论	222
参考文献	246

CONTENTS

Chapter 1. Preface	1
1. Brief introduction of the work in this book	1
2. Basic features of the circulation in the continental shelf of the Donghai sea	2
3. Generral research situation of ECDW	8
4. Discussion	17
Chapter 2. Development of a three dimension nonlinear baroclinic shallow water and continental shelf model in σ coordinate system	19
1. Introduction	19
2. Theoretical analysis of the establishment of the model	21
3. The primitive ocean equations in σ cooridate system	25
4. Paremeterization of the physical processes	28
4.1 Wind stress at sea surface and friction stress at sea bottom	28
4.2 Vertical eddy-viscosity coefficient	29
4.3 Vertical eddy-diffusivity coefficient	31
5. Initial conditions and boundary conditions	31
5.1 Initial conditions	31
5.2 Boundary conditions	32
6. Numerical method	34
6.1 Grid system, calculation domain and spacial resolution	35
6.2 Spacial difference	38
6.3 Temporal integration	50
Chapter 3. Numerical simulations of the residual currents in the East China Sea	63
1. Wind driven current	63
2. Residual currents induced by the boundary forces	65
3. Residual currents induced by the Yellow Sea Cool Eddy in summer	68
4. Density current in the sea area out of the mouth of the Changjiang	70

5. Tidal induced residual current	70
Chapter 4. Impacts of the bottom topography, barocline, etc on ECDW	132
1. Vorticity equation in which the slope of bottom topography and seawater level, the interactions between them and barocline were considered	132
2. Numerical simulations of the impacts of the bottom topography, barocline, runoff and bottom on ECDW	136
2.1 Impact of the bottom topography on ECDW	137
2.2 Impact of the barocline on ECDW	140
2.3 Impact of the runoff on ECDW	143
2.4 Impact of the bottom friction on ECDW	143
3. conclusion	144
Chapter 5. Numerical simulation of ECDW in summer	168
1. Control numerical experiment of ECDW in summer	168
2. Impact of the runoff on ECDW in summer	170
3. Impact of the Taiwan Warm Current on ECDW in summer	172
4. Impact of the wind on ECDW in summer	173
5. Impact of the Yellow Sea Cool Eddy on ECDW in summer	175
6. Conclusion	176
Chapter 6. Numerical simulations of ECDW in winter	219
1. Control numerical experiment of ECDW in winter	219
2. Impact of the different case of wind on ECDW in winter	220
3. Impact of the runoff on ECDW in winter	221
4. Conclusion	222
References	246

第一章 导 言

一、本书工作简述

长江是我国第一大河。长江河口区上起安徽大通(枯季潮流区界),下迄水下三角洲前缘(约30-50米等深线),全长约700多公里。根据动力条件和河槽演变特性的差异,长江河口区可分成三个区段:大通至江阴(洪季潮流界),长400公里,河槽演变主要受径流和边界条件控制,多江心洲河型,此段称近口段;江阴至口门(拦门沙滩顶),长220公里,径流与潮流相互消长,河槽分汊多变,此段谓之河口段;自口门向海至30-50米等深线附近,以海洋因子作用为主,水下三角洲发育,为口外海滨段。国内学者对长江河口进行系统深入研究已近40年,但研究工作大多在口内,尤其是集中在河口段,对口外海滨的研究相对较为薄弱。因而对口外海滨的物理过程、化学过程、生物过程和沉积过程的认识甚少,尤其是对其中一些问题的认识仍很模糊,以致存在着较大分歧。如所周知,长江口扼长江的咽喉,是我国最大港口——上海港的门户;长江三角洲经济发达,人口密集,是我国重要的经济中心;河口通江达海,是内引外联的枢纽。因此,这一地区的开发与建设对我国的经济的发展具有极其重要的意义。随着改革开放的不断深入,长江河口的综合开发和利用已在加速进行,12.5米的深水航道开发已到实施阶段。这就要求对口外海滨的水文、泥沙、化学、生物、地貌和沉积等有更深入的了解,为充分、合理地开发长江河口提供科学依据。

本书重点研究长江冲淡水的扩展机制,尤其是夏季长江冲淡水的转向现象。冲淡水的扩展发生在东海陆架上,与位于其上的余流密不可分,要搞清长江冲淡水的扩展机制,很有必要首先了解东海陆架上的余流状况。余流是指滤去周期性流动之后的那部分流动。在浅海陆架区,最显著的运动是潮流,余流的量值小于潮流。但就海水的输移来说,周期性的往复潮流起不了大的作用,而余流由于旷日持久地搬运着海水,构成海洋环流,在大的时间尺度上就显得非常重要。

本书共分六章。第一章为导言,主要概述东海陆架环流基本特征和长江冲淡水扩展研究概况,为下文浅海与陆架模式的建立、数值计算结果的分析打下基础。第二章设计一个浅海与陆架模式,包括原始方程组、物理过程的处理、初边界条件和数值方法的给出。第三章模拟东中国海的余流,包括风生流、边界力产生的余流(如台湾暖流、黑潮)、夏季黄海冷涡产生的余流、近长江口门海区的密度流、潮致余流。第四章研究底形、斜压等对长江冲淡水扩展的影响。为从动力上分析长江冲淡水的扩展行为,建立了一个包括底形和水位坡度以及它们与斜压相互作用的涡度方程,并针对地形、斜压、底摩擦、径流量对长江冲淡水扩展的影响,分别作了数值模拟。第五章为夏季长江冲淡水扩展机制研究,数值模拟了径流量、风、台湾暖流、黄海冷涡对夏季长江冲淡水扩展的影响,并作了较为详细的动力分析。第六章为冬季长江冲淡水扩展的数值模拟。

二、东海陆架环流的基本特征

东海是一个开阔的边缘海,大陆架宽广,地形复杂,西侧有巨量径流入海,东侧有强大的黑潮流经,海上又盛行季风。东海水文状况就是在这样复杂的自然条件下形成和变化着。而东海环流又是东中

国海的环流的重要组成部分,因而有必要先简述一下东中国海环流的基本特征,随后再介绍东海环流的基本特征。

东中国海为典型的边缘陆架海,它包括东海、黄海和渤海。其中黄、东海的陆架部分是世界上最大的陆架之一。长江口位于东海区的西岸。东中国海在南北方向上呈狭长状,从 24°N 直至 41°N , 约跨 17 个纬度。等深线主要呈南北走向,如图 1.1 所示。渤海是嵌入中国北部大陆的一个典型半封闭海湾,平均水深约 20m,仅通过渤海海峡相通。黄海为一半封闭的陆架浅海,平均水深 44m,最大水深 140m,位于济州岛北侧。黄海地形比较平缓,只在海区中央有一狭长的水下洼地,从济州岛延伸至渤海海峡处,称为黄海槽。东海的地势自西北向东南倾斜,以台湾岛和五岛列岛连线为界,其西北侧属于陆架浅海,面积约占东海总面积的 $2/3$,东南侧为大陆坡与冲绳海槽,有诸多水道如台湾海峡、与那国海峡、吐噶喇海峡、对马海峡等,是东海与大洋进行物质交换的咽喉要道。东中国海的水文特征深受海底地形的影响。东中国海的环流系统从总体上说是由两个流系构成,即黑潮及其分支组成的外来流系和沿岸水流系(管秉贤, 1985)。黑潮是源于北赤道流在菲律宾吕宋岛东侧向北流动的一个分支。它经台湾东岸的苏澳——与那国岛之间的狭窄水道进入东海,主流沿着陡峭的东海大陆坡向东北流动,经吐噶喇海峡流出东海。在日本九州的西南海域,有一向北流动的海流,称为对马暖流。对马暖流在济州岛以南海域又分出一支海流,沿着济州岛南面的洼槽进入黄海,称为黄海暖流。对马暖流的主流经对马海峡和朝鲜海峡进入日本海。沿岸流系主要有黄海沿岸流、东海沿岸流和西朝鲜沿岸流等。黄海暖流及其延伸部分和黄海沿岸流构成黄海环流,在夏季由于出现黄海冷水团密度环流,黄海环流更趋于封闭。夏季伴随黄海冷水团的形成,出现的黄海冷水团密度环流和长江冲淡水转向特征是夏季东中国海的两个重要特征。

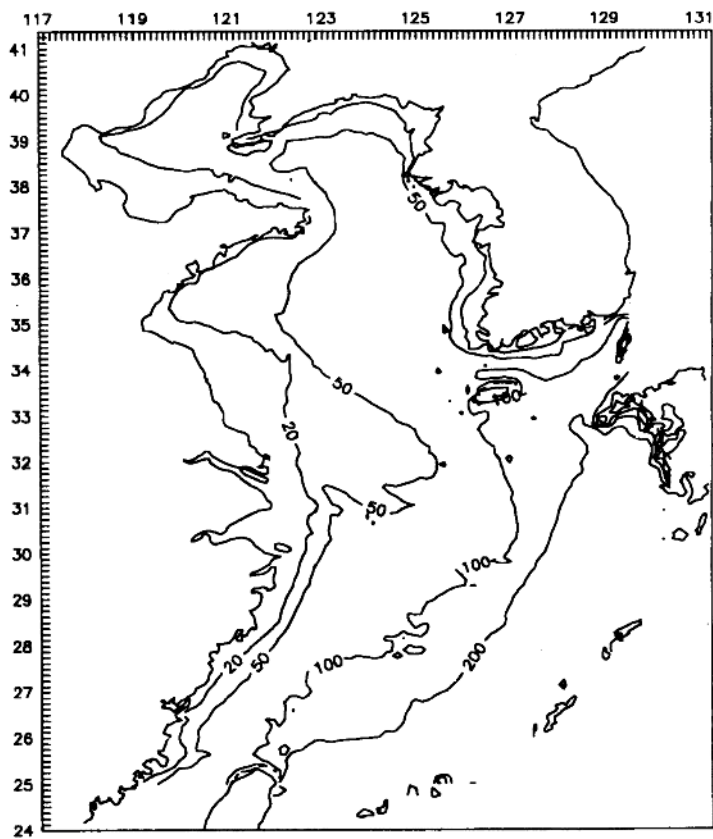


图 1.1 东中国海水深图