

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 200327009

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

台湾海峡及邻近海域
潮汐数值模拟与特征分析

Numerical Modeling and Characteristic Analysis of Tides
in the Taiwan Strait and Its Adjacent Regions

朱 佳

指导教师姓名: 胡 建 宇 教授

专 业 名 称: 物 理 海 洋 学

论文提交日期: 2006 年 5 月

论文答辩时间: 2006 年 6 月

学位授予日期: 2006 年 月

答辩委员会主席: 陈金泉 教授

评 阅 人: 陈金泉 教授

吴培木 教授

2006 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。

2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

摘要

本文基于二维潮波运动方程建立台湾海峡及邻近海域的潮波数学模型,模拟了台湾海峡及邻近海域八个主要分潮(M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 、 P_1 、 Q_1 、 N_2 、 K_2)的潮汐、潮流运动。通过二十多个实测潮位站的潮汐调和常数对潮汐数值计算结果进行了验证,并将潮流计算结果与台湾浅滩 2 个观测站的实测潮流资料及其它实测资料进行了比较,结果表明潮汐、潮流的计算结果符合实际情况。

根据计算结果绘制了台湾海峡及邻近海域八个主要分潮的潮汐同潮图及四个主要分潮的潮流椭圆分布图,并划分了潮汐类型,总结了研究海域潮汐、潮流的分布特征:台湾海峡及邻近海域的潮波主要是西太平洋传入的协振潮波,在台湾海域内以半日潮为主。半日分潮的潮波分别由台湾海峡南、北口进入台湾海峡,并在其中部汇合,强潮流区位于台湾海峡内;而全日分潮的潮波一支由台湾海峡北口经台湾海峡南下,另一支由台湾岛以南穿过吕宋海峡,进入南海北部,具有前进波的性质,强潮流区位于琼州海峡附近。

文中重点探讨了台湾海峡 M_2 分潮潮汐、潮流的主要分布特征,得到了以下结论:

- (1) M_2 分潮潮汐振幅极值区位于湄州湾—兴化湾一带,最大值为 223cm。
- (2) M_2 分潮强流区集中在福建沿岸港湾的湾口(如平潭、东山以东近海)、台湾海峡北口、台湾浅滩以及澎湖水道,流速范围为 0.70~1.55m/s。
- (3) 台湾海峡内存在两条 M_2 分潮潮流椭率零线:一条由东山沿台湾浅滩北缘,连接澎湖列岛,沿台湾岛西岸延伸至台湾岛北角;另一条位于台湾岛西南角,可向西南延伸至海南岛东岸。
- (4) 台湾海峡的 M_2 分潮存在南、北两个分支,北支为退化了的旋转潮波系统,南支为前进波。这两者的相互作用是一个动态过程,其交汇带与走向在一个潮周期内随时间的推移而变动。
- (5) 强潮流是台湾海峡上升流区产生的主要机制之一。

关键词: 台湾海峡及邻近海域; 潮汐; 潮流

Abstract

The numerical tidal model of the Taiwan Strait and its adjacent regions is established from the 2-D depth-averaged tidal wave motion equation. Eight principal tidal constituents (M_2 , S_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 , N_2 and K_2) have been simulated in studied region. The calculated tidal harmonic constants are compared with the observed ones at more than twenty stations around the Taiwan Strait, and the calculated tidal current harmonic constants are compared with some observed data. It is indicated that the calculated results are reasonable and consistent with the observed ones.

According to the computed results, the co-tidal charts for eight tidal constituents and the charts of tidal current ellipses for four principal tidal constituents are drawn, and tide type is also classified. Then the characteristics of tide and tidal current in the studied regions is summarized as follow: the tidal waves in the Taiwan Strait and its adjacent regions come from the West Pacific Ocean, and the dominant tidal wave in the Taiwan Strait is semidiurnal tidal constituents. It's indicated that the semidiurnal tidal waves propagate into the Taiwan Strait from the northern and southern entrances respectively and meet with each other in the central Taiwan Strait, with the maximum tidal current areas appearing in the Taiwan Strait. The diurnal tidal waves enter the Taiwan Strait and the South China Sea in a southwestward progressive wave form, with the maximum tidal current areas appearing near the Qiongzhou Strait.

Based on the simulation results, M_2 tidal constituent in the Taiwan Strait is emphasized and discussed in detail. It is concluded that:

(1) The maximum tidal amplitude area is located near of the coastal area between the Meizhou Bay and the Xinghua Bay, with the maximum amplitude reaching 223cm.

(2) There are several strong tidal current areas of M_2 tidal constituent in the studied region, including some bay mouths of Fujian Province such as Pingtan and Dongshan, the northern Taiwan Strait, the sea area around the Taiwan Bank and the Penghu Channel. The tidal current ranges from 0.70 to 1.55m/s.

(3) Two lines of zero ellipticity for the tidal current of M_2 tidal constituent exist

in the Taiwan Strait. One crosses the Taiwan Strait from Dongshan to the Penghu Island and extends to the northern Taiwan Strait along the coast; while another is located in the southwest of Taiwan and extends southwestward to the eastern coast of Hainan Island.

(4) The tidal wave of M_2 tidal constituent propagates into the Taiwan Strait in two branches. The northern branch can be attributed to a degenerative rotary tidal system in the north of Taiwan and the southern branch is characterized as a prograssive tidal wave. The interaction of both branches is a dynamic process, with the converge zone moving with tidal current.

(5) The strong tidal current is one of the main causes for the upwelling in the Taiwan Strait.

Key words: The Taiwan Strait and Its Adjacent Regions; Tide; Tidal Current

目录

摘要.....	I
Abstract.....	II
第一章 绪论	1
1.1 中国海潮波研究进展	1
1.1.1 南海潮汐研究进展.....	2
1.1.2 渤海、黄海、东海潮汐研究进展.....	2
1.1.3 台湾海峡潮汐研究进展.....	3
1.1.4 卫星高度计资料在中国海潮汐研究中的应用.....	4
1.1.5 中国海潮流研究进展.....	5
1.2 中国海潮混合研究进展	6
1.3 台湾海峡潮波研究中的共识与争议	7
1.4 本文的主要工作	11
第二章 数学模型与分析方法	12
2.1 模型简介	12
2.1.1 模拟海域.....	12
2.1.2 计算方程与物理量的设定.....	13
2.1.3 初始与边界条件.....	14
2.1.4 边界数据来源.....	14
2.2 潮汐的调和分析	15
2.2.1 最小二乘法的基本原理及公式.....	16
2.2.2 潮汐调和分析的具体步骤.....	20
2.3 潮流的准调和分析及椭圆要素	23
第三章 台湾海峡及邻近海域潮汐特征分析	25
3.1 计算结果的验证	25
3.2 各分潮同潮图分析	30
3.2.1 M_2 分潮同潮图分析.....	30
3.2.2 S_2 分潮同潮图分析	32
3.2.3 K_1 与 O_1 分潮同潮图分析.....	34
3.2.4 P_1 与 Q_1 分潮同潮图分析	37
3.2.5 N_2 与 K_2 分潮同潮图分析.....	40
3.3 潮汐类型	42
3.4 小结	45
第四章 台湾海峡及邻近海域潮流特征分析	47
4.1 潮流结果的合理性验证	47
4.2 潮流特征分析	48
4.2.1 M_2 分潮潮流特征	48

4.2.2	S_2 分潮潮流特征	53
4.2.3	K_1 和 O_1 分潮潮流特征	54
4.2.4	P_1 、 Q_1 、 N_2 和 K_2 分潮潮流特征	57
4.3	强流区与上升流区之间的联系	58
4.4	研究海域的潮混合	60
4.5	小结	62
第五章	台湾海峡 M_2 分潮的潮波运动	64
5.1	台湾海峡 M_2 分潮的逐时流场	64
5.2	台湾海峡三断面的 M_2 分潮潮流的时序变化	71
5.3	小结	74
第六章	总结与展望	76
6.1	本文的主要工作与结论	76
6.2	下一步的工作	77
	参考文献	78
	致谢	82

Contents

Abstract in Chinese.....	I
Abstract in English	II
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Research progress of tidal waves in the China Seas	1
1.1.1 Research progress of tide in the South China Sea	2
1.1.2 Research progress of tide in the East China Sea.....	2
1.1.3 Research progress of tide in the Taiwan Strait.....	3
1.1.4 The application of satellite altimeter data on the tide research in the China Seas.....	4
1.1.5 Research progress of tidal current in the China Seaa	5
1.2 Research progress of tidal mixing in the China Seas.....	6
1.3 The common understanding and disputed issues of tidal waves in the Taiwan Strait.....	7
1.4 Introduction of the main work.....	11
Chapter 2 The tide model and the analysis method	12
2.1 Introduction of model.....	12
2.1.1 Model domain	12
2.1.2 Tidal wave motion equation and setting of physical parameters	13
2.1.3 Initial and boundary conditions	14
2.1.4 Data source of boundary condition	14
2.2 Harmonical analysis of tide.....	15
2.2.1 The theory of the least square and its formulae	16
2.2.2 Processing step of tidal harmonical analysis	20
2.3 Quasi-harmonical analysis of tidal current and ellipse factor.....	23
Chaper 3 Analysis of tidal characteristics in the Taiwan Strait and its adjacent regions	25
3.1 Verification of tidal result.....	25
3.2 Analysis of co-tidal charts of eight principal tidal constituents.....	30
3.2.1 Analysis of co-tidal charts of M_2 tidal constituent.....	30
3.2.2 Analysis of co-tidal charts of S_2 tidal constituent.....	32
3.2.3 Analysis of co-tidal charts of K_1 and O_1 tidal constituents	34
3.2.4 Analysis of co-tidal charts of P_1 and Q_1 tidal constituents	37
3.2.5 Analysis of co-tidal charts of N_2 and K_2 tidal constituents.....	40
3.3 Tidal types.....	42
3.4 Summary.....	45
Chapter 4 Analysis of tidal current characteristics in the Taiwan	

Strait and its adjacent regions	47
4.1 Verification of tidal current result.....	47
4.2 Analysis of tidal current characteristics	48
4.2.1 Analysis of tidal current characteristics of M_2 tidal constituent	48
4.2.2 Analysis of tidal current characteristics of S_2 tidal constituent	53
4.2.3 Analysis of tidal current characteristics of K_1 and O_1 tidal constituents	54
4.2.4 Analysis of tidal current characteristics of P_1 , Q_1 , N_2 and K_2 tidal constituents	57
4.3 The relation between strong current area and upwelling area.....	58
4.4 The tidal current mixing in the studied region.....	60
4.5 Summary.....	62
Chapter 5 The tidal motion of M_2 tidal constituent in the Taiwan Strait.....	64
5.1 Hourly M_2 tidal current field in the Taiwan Strait	64
5.2 Time-series of tidal current for three selected sections in the Taiwan Strait	71
5.3 Summary.....	74
Chapter 6 Summary and expectation	76
6.1 Our work and conclusion	76
6.2 Next to do	77
References	78
Acknowledgements	82

第一章 绪论

地球表面积为5.1亿平方公里,有3.6亿平方公里被海水覆盖,约占地球总表面积的71%。潮波运动是海水的基本运动形式之一,潮汐和潮流是潮波运动的基本要素,也是研究海洋其他特征(如温、盐分布)和运动(余流、风暴潮、潮混合、潮汐锋等)的基础。潮波运动与人类密切相关,海上捕捞、海上勘探开发、桥梁施工及港口设计都需要完整的潮位、潮流等资料;船只作业及航运也受潮位、潮流大小和方向的影响。可见,潮波影响着人类的民生、经济、安全等方面,掌握潮波运动变化规律,将有助于实现海洋的可持续发展。

潮汐、潮流数据的获得,早期主要是利用台站长期的定点观测、船只的调查等手段。随着科学技术的进步,计算机技术的飞速发展,人们实现了应用数学模型对潮波运动进行模拟及预测,这一研究方法也逐渐得到普遍应用并蓬勃发展了起来。20世纪70年代后期,卫星高度计的出现又使得利用卫星遥感资料进行潮汐研究成为可能,它能快速且大范围地测量海面高度,可以从其测量值中分离提取出潮汐信息,并且可作为潮汐研究的同化资料。因此,结合应用台站观测、船只调查、数值模拟以及卫星遥感,使四者相互补充,可大大提高潮波资料的精确度及预测的准确性。

1.1 中国海潮波研究进展

20世纪80年代以来,我国海洋科学工作者对中国各海域的潮汐、潮流、潮混合等方面开展了许多研究。研究方法主要可以归纳为五类:历史资料(包括台站观测和海上资料观测)的分析、数值计算、卫星高度计资料的分析、数值计算与各类观测资料的同化以及数学解析方法。

近十年来,一些学者对中国海潮波的研究成果进行了总结和归纳,并发表了研究综述。Fang G.H.等^[1]对其在上世纪70年代所做的一系列数值计算结果和实测资料的分析结果进行归纳,研究海域包括东海东部及南部、南海的浅水海域以及泰国湾,并绘制出这些海域 M_2 、 K_1 分潮的潮汐、潮流要素的分布图,具有重要的参考价值。Huang Q.Z.等^[2]基于潮位站和南沙群岛附近海域多次调查的实测数据,结合方国洪等^[3]的数值模拟结果,阐述了南海潮汐、潮流等的分布变化特征。

陈宗镛等^[4]回顾了我国近 40 年的潮汐研究进展,从潮汐的分析、推算、潮汐谱估计、平均海面、潮波理论和数值研究等方面进行了评估。沙文钰^[5]也就计算方法和计算模式,综述了中国海潮波的研究进展。之后,曾淦宁等^[6]则重点针对台湾海峡 M_2 分潮的研究做了较系统的总结。

1.1.1 南海潮汐研究进展

上个世纪 80 年代开始,就有学者通过收集《英国海军部潮汐表》等潮汐资料及国内外潮位站多年记载的实测数据,先后对南海、华南沿海的潮汐、潮流特征做了基本分析^[7, 8]。

随着计算机的普遍应用及高速发展,数值计算已成为当今海洋潮汐研究的重要手段,其研究也逐渐实现了从二维向三维扩展,从粗网格向细网格(即高分辨率)的升级。

关于南海潮汐的数值研究方面, Ye A.L.等^[9]于 1983 年开展了南海潮汐的数值计算。方国洪等^[3]以 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 的分辨率对南海的 m_1 和 M_2 分潮进行了二维数值模拟。钱成春等^[10]模拟了南海西南海域的 M_2 分潮,并对海域的岸形、底形和科氏效应做了数值实验,揭示了该海域 M_2 分潮潮波的运动特征。赵明才等^[11]还模拟计算并绘制出南海四个主要分潮的潮波图。Fang G.H.等^[12]也开展了南海四个主要分潮的模拟,指出“维持台湾海峡的潮波运动的能量主要来自于由东海传入的半日与全日分潮的能量以及部分由吕宋海峡传入的半日潮能量。南海其他海域的潮波运动则主要依靠吕宋海峡传入的能量维持。”

1.1.2 渤海、黄海、东海潮汐研究进展

早在 1980 年,沈育疆^[13]对整个东中国海的潮汐做了二维数值计算,旨在探索研究海域协振潮波的传播和潮汐分布的规律,指出“太平洋半日潮波传入东中国海后,大部分以前进波形式北上,一部分在基隆附近形成退化的旋转潮波系统,并左旋进入台湾海峡”。汤毓祥^[14]针对东海的 M_2 分潮也进行过数值模拟,分析了该海区潮汐的主要特征。赵明才等^[11]则对渤海的四个主要分潮进行了数值计算。Qian C.C.等^[15]以 $10' \times 10'$ 的分辨率建立潮汐数值计算模型,模拟并绘制出东中国海九个主要分潮的同潮图。周旭波等^[16]更是设计出一种自适应网格,能同时兼

顾网格的光滑性、正交性及疏密程度的特点,对东中国海的 M_2 分潮做了三维数值模拟。Yu Y.F.等^[17]应用普林斯顿海洋模式 (POM) 研究了平均海平面的变化对潮汐特征值的影响,他们认为:随着平均海面升高,分潮振幅将减小,相位将提前;但在某些特定海域则相反,例如在无潮点附近,相位反而会随着平均海面升高而滞后。

此外,考虑到中国各个海域的连贯性及相互之间的水体交换,将渤、黄、东海视为一个整体,并对其全海区进行一体化数值模拟,也是近年来研究的一个重点。多位学者应用三维数值模式对此海域的潮汐、能通量等方面进行了研究,但侧重点各有不同。赵保仁等^[18]讨论了 m_1 和 M_2 分潮能通量在渤、黄、东海的传播和消耗情况。叶安乐等^[19]模拟了渤、黄、东海海区的潮波运动,绘制出该海区 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 及 M_4 分潮的同潮图。万振文等^[20]采用 POM 三维海流数值计算模式得到了高精度的潮汐调和常数。王凯等^[21]模拟得到了 M_2 分潮的潮汐分布特征,并给出了 M_2 分潮的潮能消耗。Bao X.W.等^[22]通过建立三维嵌套模型,获得了四个主要分潮准确度较高的潮汐特征分布图。而后,王永刚等^[23]又在连续方程中增加了一个松弛项,并将验潮站资料同化至数值模式中,改善了以往的计算结果。张衡等^[24]也通过应用河口近岸海洋模型 (Estuarine Coastal Ocean Model, 简称 ECOM), 并采用全球大洋模式所得的调和常数作为开边界条件,模拟了八个主要分潮的潮汐。

1.1.3 台湾海峡潮汐研究进展

台湾海峡的特殊地形及其潮汐的复杂性,引起过众多学者的兴趣,他们针对海峡内的潮汐进行了多方面的研究。多位学者通过对实测资料的分析,描述与探讨了台湾海峡潮汐的分布特征^[25-29]。其中,1985年王志豪^[27]通过对已发表数据的分析,概括台湾海峡的潮汐特征,提供了较完整的潮汐资料,指出台湾浅滩对潮波传播的影响,认为粤东沿岸驻波的形成是因为不绕台湾浅滩潮波的波峰与绕台湾浅滩潮波的波谷同时到达造成的。杨顺良^[28]将台湾海峡北口中部的实测资料与台湾海峡东、西两岸验潮站的资料进行比较分析,结果表明台湾海峡北口中部海域的潮差与台湾海峡西岸较接近,但明显大于东岸;潮时与西岸基本相同而早于东岸。

在台湾海峡潮汐数值计算方面,除了同样具有从二维向三维扩展,从低分辨率向高分辨率升级的特点之外,还表现出越来越强的目的性和精确性。Yin F.等^[30]和 Fang G.H.等^[31]分别于 1982、1984 年开展了台湾海峡潮汐的数值计算研究。方国洪等^[32]还以 $10\text{n.m} \times 10\text{n.m}$ 的分辨率建立了台湾海峡二维潮波数值计算模型,得出了 M_2 和 K_1 、 O_1 分潮的潮汐特征。叶安乐等^[33-35]也对台湾海峡及附近海域的半日和全日潮波做过三维的数值研究,并特别针对 K_1 分潮建立了开尔文波模型,分析了 K_1 分潮的主要特征。颜廷壮等^[36]为了弄清台湾海峡内潮在上升流形成过程中的作用,在前人研究的基础上重新对台湾海峡内的 M_2 、 K_1 、 O_1 分潮的潮汐做了三维数值计算。吕新刚等^[37]应用 POM 模式再一次分析了台湾海峡 M_2 分潮的潮汐、潮流,认为北支潮波的影响范围可以达到台湾海峡中部。沙文钰等^[38-40]采用初值法将 1997 版的 POM 模式应用于环台湾岛的半日及全日分潮潮汐、潮流综合特征的三维数值研究。Jan S.等^[41、42]先后两次以 $3\text{km} \times 3\text{km}$ 的网格建立了台湾海峡潮汐的三维数值计算模型,通过反复应用一个线形二维模型及其伴随矩阵作为附加方法,提高了计算结果的准确度。此外,杜凌等^[43]采用了三维有限元 (QUODDY) 模型模拟了台湾海峡的潮汐和潮流特征,认为台湾海峡内占主导地位的是自台湾海峡北口传入的半日潮波,正规半日潮和不正规半日潮的潮汐类型约占整个海区的 92% 以上。近年来,台湾的一些学者也重点研究了台湾海峡 M_2 分潮振幅异常放大现象。其中, Lin M.C.等^[44]结合理论分析与数值计算,探讨了沿台湾西岸半日分潮振幅的异常放大现象,认为其机制可由陷波理论与潮共振理论解释; Jan S.等^[45]也对台湾海峡内 M_2 分潮异常放大现象的原因进行了数值模拟,认为受台湾海峡以南水深陡变所产生的反射波及其本身共同作用,海峡西部的前进波与海峡东部的部分驻波共存,是导致振幅放大的主要原因。

关于台湾海峡的潮汐研究方法,除了目前普遍应用的数值模拟之外,也有学者尝试了其它的研究方法。例如,数学解析与推导。方越等^[46]将改进后的解析模式应用于台湾海峡海域,计算了 M_2 、 S_2 、 M_4 、 MS_4 这 4 个分潮的理论解。结果表明,受吕宋海峡传入的潮波影响,半日潮波的解析解与实测差异较大;而四分潮受台湾海峡潮波的控制,解析解与实测较一致。

1.1.4 卫星高度计资料在中国海潮汐研究中的应用

上个世纪 70 年代后期,卫星高度计的出现为科学家们研究海洋潮汐提供了

另一个方便而直观的途径。它的出现,不仅增加了学者们的研究工具,也使原本研究海洋的手段(即原先的资料统计分析和模拟计算这两种研究手段)得出的结果有了可靠的佐证,并且通过引入高度计数据进行同化,更使得以往的研究方法在准确性上有了进一步的提高。

在 TOPEX/POSEIDON(T/P)高度计应用方面, Yanagi 等^[47, 48]分别做出东中国海、南中国海一些主要分潮的等潮时线与等振幅线。暴景阳等^[49]应用 T/P 卫星高度计资料进行南中国海潮汐调和与分析。Hu J.Y.等^[50]以 6 年的 T/P 卫星高度计资料做出了中国海及邻近海域主要分潮的大范围经验同潮图,较好的反映了该海区的潮汐分布特征。李燕初等^[51]通过 T/P 卫星高度计资料,分析了福建与台湾邻近海域四个主要分潮的潮汐特征。董晓军等^[52]对 1993-1999 年的 T/P 高度计数据进行了质量控制和共线平差处理,提高了黄海、东海 M_2 和 m_1 分潮调和常数结果的精度。Fang G.H.等^[53]根据 10 年的 T/P 高度计资料绘制了中国海及邻近海域四个主要分潮的潮汐特征分布图。

为了进一步提高数值计算的准确度,学者们尝试变分同化(伴随同化)法将实测资料同化至陆架海域潮汐数值模型中,优化了开边界条件和底摩擦系数,从而校正了模型。韩桂军等^[54]利用该方法把验潮站的水位资料和 T/P 资料同化到潮汐、潮流的数值模式中,模拟了黄海、东海的 M_2 分潮。吴自库等^[55, 56]先后利用正交潮响应法及 POM 模式,考虑引潮力,结合 6 年的高度计资料进行伴随同化,分别模拟了南海的 m_1 、 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 分潮,较好地体现了南海的潮波特征。丘仲锋等^[57, 58]利用趋近插值法将 T/P 资料同化到二维非线性潮汐模式中,反演了中国近海 M_2 分潮以及黄海、渤海四个主要分潮的潮汐分布。

1.1.5 中国海潮流研究进展

以往多数学者在研究潮汐特征的同时也分析了潮流的特征。汤毓祥^[14]、Qian C.C.等^[15]和周旭波等^[16]均对东中国海的 M_2 分潮潮流进行过数值模拟,分析了潮流特征并绘制了潮流椭圆分布图。方国洪等^[3]、钱成春等^[10]与赵明才等^[11]模拟了南海 M_2 分潮,较好地概括了潮流的分布特征。多位学者^[18-24]还应用三维数值计算模式研究了渤、黄、东海的潮流。其中,赵保仁等^[18]的结果表明此海域共存在 9 个圆流点。此后,万振文等^[20]在文章中认同赵保仁等^[18]主张的全海区共存在 9

个圆流点的说法, 但认为位置不尽相同, 并指出 M_2 分潮潮流在浙江外海舟山群岛附近存在一个圆流点, m_1 分潮潮流在黄海北部和台湾海峡各存在一个圆流点, 还得到该海域的潮流水平涡动系数和垂直涡动系数的分布。王凯等^[21]则揭示了 M_2 分潮圆流点的水平位置不随深度变化的特性。此外, 在研究台湾海峡的潮汐特征的同时, 方国洪等^[32]、叶安乐等^[33-35]、颜廷壮等^[36]、沙文钰等^[38-40]以及 Jan S. 等^[41、42]学者也开展了台湾海峡及附近海域半日潮流和全日潮流分布特征的数值模拟研究, 分别探讨了潮流椭圆要素、圆流点和椭率零线等特征量的分布与变化。

已有的研究工作中也有不少是单独针对潮流所进行的研究, 研究方法也包括实测资料分析与数值模拟。沈育疆等^[59]模拟得出了东中国海潮流要素的垂向变化规律, 但由于当时条件所限, 他们把对潮流三维结构有较大影响的垂向涡动粘性系数取成了常量, 因而所得出的摩擦层较厚。方国洪等^[60]则以 $15\text{n.m} \times 15\text{n.m}$ 的格点针对东海东部和南部的半日和全日潮流进行了数值计算, 给出了潮流的分布, 对今后的潮流研究具有良好的参考价值。尹逊福等^[61]对 1997-1998 年南海东部海域的实测海流资料进行了分析, 统计得出潮流各方向的出现频率、平均流速及最大流速等特征值, 并给出各主要分潮流的调和常数和潮流椭圆要素, 认为该区域属于正规全日潮流性质。

关于台湾海峡潮流的研究方面, 陈新忠^[62]较早就依据数值计算结果总结了台湾海峡及两岸沿海的潮流特征。王寿景^[63]分析了台湾海峡西部海域的潮流特征。李立等^[64]以福建近海及台湾海峡西部海域 27 个海流站实测的详尽资料, 对以往的数值计算结果^[8、32、33]提出了异议, 认为在台湾海峡西部中段, 最大 M_2 分潮潮流的发生时间并不自东北向西南推迟, 而是自南向北推迟的, 因而南支 M_2 分潮潮流的影响范围比以往认识的大, 可达到台湾海峡西岸中段。陈照章等^[65]与丘仲锋等^[66]根据 1997 年 8 月台湾浅滩附近两个观测站所得的水文资料, 分析了台湾浅滩附近海域的潮流及余流特征。

1.2 中国海潮混合研究进展

自从 Simpson 等^[67]在开展夏季爱尔兰海锋面研究时提出潮混合控制潮汐锋的规律以来, 人们开始意识到潮混合现象对温、盐和水团分布、层化现象、强温跃层的分布变化、环流等有重要影响。在我国, 关于潮混合的研究开展得较迟,

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库