

南海北部内孤立波生成对黑潮响应的初步研究

郭大全^{1,2,3}, 申 辉^{1,3}

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院 海洋环流与波动重点实验室, 山东 青岛 266071)

摘要: 为了研究南海北部黑潮入侵对内孤立波生成造成的影响, 本研究在对合成孔径雷达图像处理分析的基础上, 运用二维非静力模式, 对南海北部内孤立波生成以及其对黑潮入侵的响应做了初步的模拟和分析。对 4 a(2007~2010 年)的合成孔径雷达(SAR)图像统计分析发现, 内波出现频率呈现明显的季节变化。月平均数据表明, 内波出现频率在 5 月到 8 月期间较高并在 6 月达到峰值, 占全年总数的 29%; 而在 11 月到次年的 2 月份期间出现频率较低并在 12 月和 1 月达到最低, 各占全年的 0.5%。通过二维、非静力近似数值模拟研究发现: 黑潮入侵引起的平流对吕宋海峡区域内孤立波的激发产生具有明显的影响。具体表现为, 黑潮入侵引起的西向平均流拉伸了内孤立波波形并加强内孤立波的能量频散, 使得大振幅内孤立波演变成多个分散的波动, 波长变长、振幅变小。敏感性实验通过替换夏季温盐场为冬季温盐场, 对模拟结果并无实质上的影响, 表明冬夏季温盐场的差异并非是 SAR 观测内波出现频率呈季节变化的重要因素。

关键词: 内波; 合成孔径雷达图像; 二维非静力近似; MITgcm 模式; 黑潮

中图分类号: P731.24 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)02-0136-09

doi: 10.11759/hyxx20130325003

大振幅海洋内孤立波广泛分布于南海北部, 以其非线性强、振幅大而受到广泛关注。2001 年的亚洲海洋声学实验在南海北部开展了较大规模的海洋内孤立波现场观测。卫星遥感和数值模拟技术是现场观测的重要补充, 在海洋内孤立波时空分布特征研究和机制分析等方面具有独到的优势。合成孔径雷达被广泛地应用于该海域的内孤立波研究中, 如: 直布罗陀海峡、苏禄海和南中国海等^[1-2]。Zheng 等^[3]在 2007 年利用收集到的 1995~2001 年的合成孔径雷达(SAR)图像统计分析得出, 中国南海北部内孤立波的出现时间和空间上呈现一定的规律性, 有着明显的年际变化和季节变化, 并指出 SAR 观测受海表面状况如风速等影响很大, 因此海表面状况成为修正 SAR 观测内波出现频率的主要外部条件, 而黑潮作为吕宋海峡东部的强劲西边界流是导致其呈现变化的另一个关键因素, 对此可能扮演着至关重要的角色。Cai 等^[4]在 2002 年用一个两层模式, 解释了中国南海的内孤立波产生于一种类似于 lee-wave 的机制。Yuan 等^[5]在 2006 年开发了一个线性的模式用来分析黑潮的不稳定性, 结果表明黑潮西分支不稳定而东分支稳定, 暗示了黑潮的西分支是吕宋海峡内波的扰动源。Du 等^[6]在 2008 年用一个二维静力模式

研究了包括潮流和象征着黑潮平均流在内的内波产生机制, 表明当西边界流在山脊处强于 2 m/s 时会明显地加强海水的混合, 类似于 Maxworthy^[7], 这种强混合区的塌陷会导致西向传播非线性内孤立波的产生。Wang 等^[8]在 2010 年用一个二维非静力模式模拟了吕宋海峡处内孤立波的产生与传播, 他们认为黑潮入侵南海对内孤立波的产生并不十分重要。在加入了垂向变化的流动之后, 内孤立波的产生形式没有明显的改变。

对于南海北部内孤立波生成的黑潮响应虽然已有以上的研究, 但黑潮分支究竟是如何影响内孤立波的生成及其影响方式与机制尚无确定的结论。本文将首先通过分析大量海洋内孤立波遥感影响获取南海北部海洋内孤立波季节变化特征, 进而通过数值模拟手段探讨黑潮入侵引起的平流对通过吕宋海

收稿日期: 2013-03-25; 修回日期: 2013-05-07

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41030855)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41030855]

作者简介: 郭大全(1987-), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事海洋遥感与数值模拟研究, 电话: 15963202590, E-mail: guodaquan129@126.com; 申辉(1978-), 男, 研究员, 博士, 主要从事物理海洋与海洋遥感研究, 电话 0532-82898783, E-mail: shenhui@qdio.ac.cn

峡口激发生成的海洋内孤立波的影响。

1 基于 SAR 的南海北部内孤立波季节变化特征

目前对南海内孤立波的研究主要集中在南海北部,研究方法主要有现场观测、卫星遥感以及数值模拟研究。合成孔径雷达(SAR)作为传统的遥感观测手段因其空间覆盖范围广、空间分辨率高、不受恶劣天气状况影响以及资料获取费用相对较低等优点,对研究内孤立波有得天独厚的优势^[9]。

我们对香港卫星地面站(CUHK)存档的(2007~2010年)共计 16 037 幅 SAR 图像开展了筛选与统计

分析,获得捕捉到海洋内孤立波信息的 SAR 图像共计 150 幅。各年月的内波出现频率分布如图 1 所示。可以看出,2007 年 4、5、6 月内孤立波出现频率较高,6 月最高占全年的 21.5%,12、1、2 月出现较少,2 月份最少为 1.3%;2008 年 5、6、7 月内波出现频率较高,7 月最高占全年的 25%,1、2、8、9、11、12 月出现频率都很低为 2.8%;2009 年 6、7、8 月出现频率较高,6 月最高为 23%,1、4、9、11、12 月出现频率都很低,其中 9 月份出现频率为 0,没有一次观测到的内孤立波出现;2010 年只有 1 月份到 10 月份的数据,6、7、8 月出现内波频率较高,6 月最高为 32%,1、3、9、10 月都很低,其中 10 月份内波出现频率为 0。

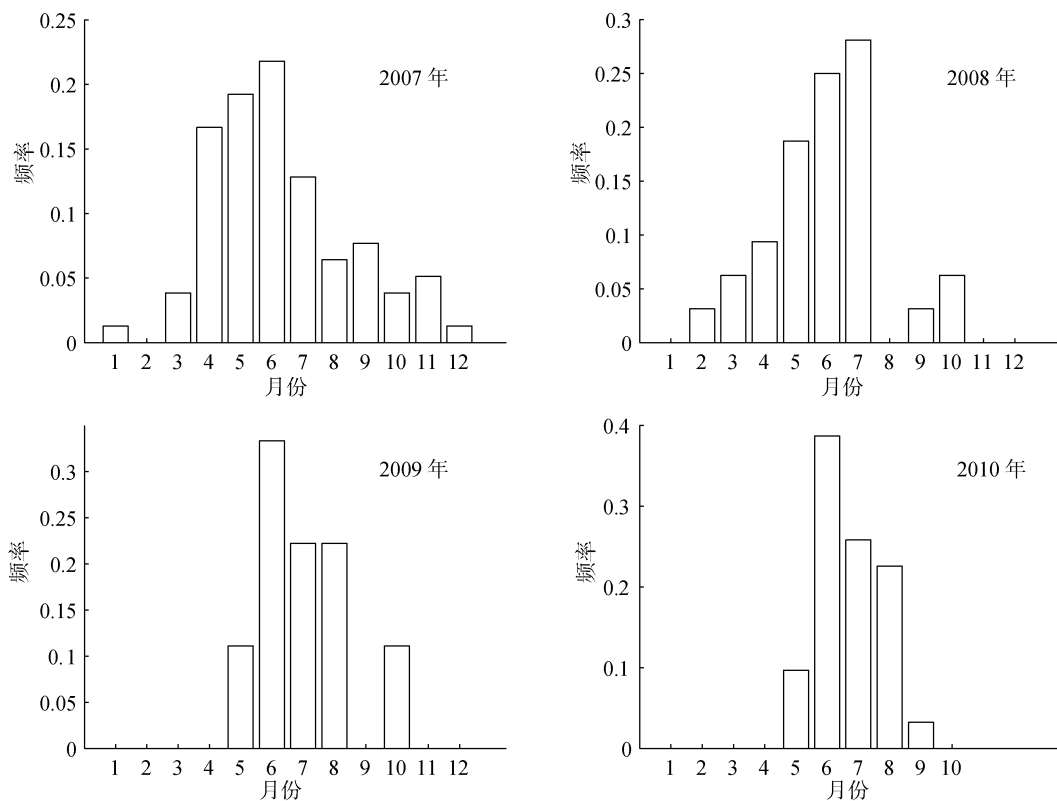


图 1 CUHK 存档的 SAR 观测内波出现频率月份变化

Fig. 1 Monthly SAR-observed internal solitary waves (ISWs) occurrence frequencies from CUHK

通过对 4 a(2007~2010 年)平均的合成孔径雷达(SAR)图像统计分析发现,内波出现频率呈现明显的季节变化。如图 2 所示,4 a(2007~2010 年)月平均数据表明:内波出现频率在 5 月到 8 月期间较高并在 6 月达到峰值,占全年总数的 29%;而在 11 月到次年的 2 月份出现频率较低并在十二月和一月达到最低,各占全年的 0.5%。这一统计结果与 Zheng 等^[3]对 1995~2001 共计 7 年的 SAR 图像月平均统计结果相

符,表明内波的出现频率呈现出明显的季节变化:夏季出现频率最高,春秋次之,冬季最低。

与此同时,黑潮入侵南海存在多模态和季节变化特征。前人^[10-11]研究表明,吕宋海峡处的黑潮入侵也呈现明显的季节变化特征,主要表现为:11 月至来年 3 月为强盛期,黑潮大规模入侵南海;3 月到 6 月为衰退期,黑潮影响范围逐渐北移直到退回吕宋海峡东侧;6 月至 9 月,黑潮入侵南海最弱,没有黑潮

南海分支出现; 9月到11月为成长期, 黑潮影响范围逐渐向南移直到深入南海。

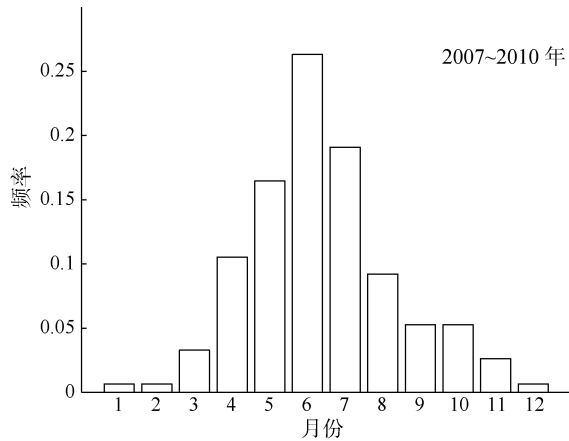


图2 CUHK 2007~2010年SAR观测内波出现频率月平均变化

Fig. 2 Monthly averaged SAR-observed ISWs occurrence frequencies from 2007 to 2010

表1 黑潮入侵南海与SAR观测内波出现频率季节变化对比

Tab.1 Seasonal variability of SAR-observed IWs occurrence frequencies and intrusion of K-branch

季节	黑潮入侵	SAR观测内波出现频率
春	衰退	中
夏	消亡	高
秋	成长	中
冬	强盛	低

对表1的结果比较得出: 黑潮入侵南海与SAR观测到的内波出现频率呈现极大的相关性, 当黑潮入侵南海最强盛时, SAR观测内波出现频率最低; 而当黑潮入侵南海最少处于消亡期时, SAR观测到的内波出现频率却最高。

尽管存在其他外部条件例如风速等对SAR观测的影响, 但不可否认的是黑潮分支对南海内孤立波

的形成有着重要的影响。

2 模式介绍与设置

2.1 MITgcm 模式

MITgcm 是美国麻省理工学院开发的基于原始方程的三维大气-海洋通用环流数值模式^[12]。模式可采用静力近似、准静力近似和非静力近似等模块, 可以模拟从小尺度(如对流过程)到大尺度(如全球环流)的各种现象; 采用有限体积法(finite volume method), 使得方程的离散比较直观; 采用正交曲线网格和网格切削技术, 可以很好地处理不规则地形和边界。并且模式提供了成熟的并行计算方案, 可以广泛的应用在各种平台上。

针对内孤立波非静力特性的考虑, 故采用该模式进行内孤立波生成的实验模拟。

2.2 模拟区域地形设置

吕宋海峡地形环境复杂, 在台湾-吕宋海沟东侧从北向南依次有巴坦群岛、巴布延群岛和许多小的海脊; 西侧是相对高度较低的海脊。复杂的海底地形与潮流相互作用使其成为中国南海北部内波生成的重要源地。

在此区域产生的内波传播方向有两种: 一种是沿着巴坦群岛至东沙群岛方向向西传播; 另一种是自巴布延群岛像西北方向传播^[6]。本文主要模拟向西传播的内孤立波, 数值计算区域如图3所示: 区域范围为 117.9°~122.6°E, 20°~21°N, 采用的地形数据来自 Etopo1 Global Relief Model, 分辨率为 1'×1'。

如图4所示, 为了更好地反映整个区域的地形走势, 二维模拟将以上模拟区域做经向平均, 蓝色细线为 20°~21°N 间每隔 1 000 m 做一次的地形剖面, 黑色实线为区域径向平均地形; 此外, 本文关注的是内孤立波的生成过程, 对平均后的地形做进一步

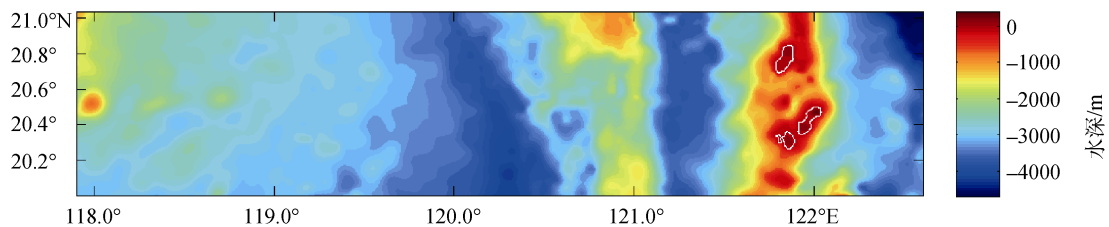


图3 所选实验海区地形图

Fig. 3 Topography of simulation domain

白色实线圈出的为露出海面部分

Circles indicate islands emerging above sea level

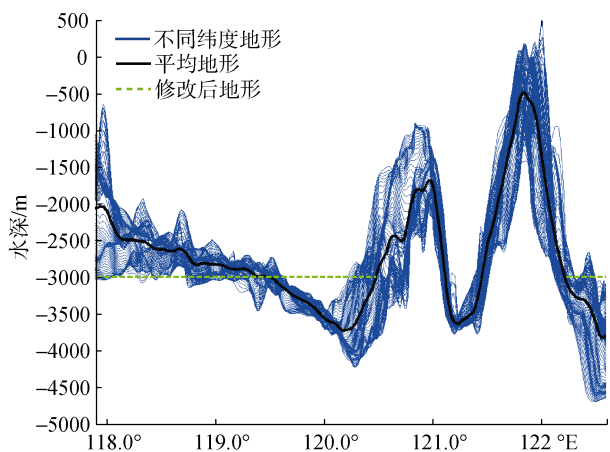


图4 二维模拟所用地形
Fig. 4 Topography used in 2-D simulation

的简化, 将 120.5°E 以西的海域水深设置为-3 000 m, 将 122.2°E 以东的海域水深设置为-3 000 m, 两海脊中间低于-3 000 m 区域设为-3 000 m(图中绿色实线标记)。模式采用的地形(黑色实线加绿色实线)最深

深度为-3 000 m, 拥有 A、B 两个海脊, A 海脊最高处水深-490 m, B 海脊最高处水深-1 650 m。

2.3 温盐数据

模式采用水平均一的海水分层, 温度盐度数据选自 World Ocean Atlas, 数值模拟时将所得数据进一步插值到间距为 10 m 的格点上。图 5 所示是模式采用的多点平均温盐数据和浮力频率 N 的垂直分布。图中实线描述的是夏季(6 月份到 8 月份)情况, 虚线描述的是冬季(11 月份到第二年 1 月份)情况。

所选区域多点平均的温盐数据及计算出的 N 显示: 冬夏两季海水温盐并无太大的差异, 在水深 250 m 以下几乎一致。而差异只体现在上层海水, 具体体现为夏季海水的盐度最小值比冬季约小 0.3, 温度最大值比冬季约大 4 度; 上层海水的温盐差异导致了浮力频率的差异, 夏季海水浮力频率最大值为 0.017 8, 位于水深 60 m 左右; 冬季海水浮力频率最大值为 0.014 1, 位于水深 80 m 左右。

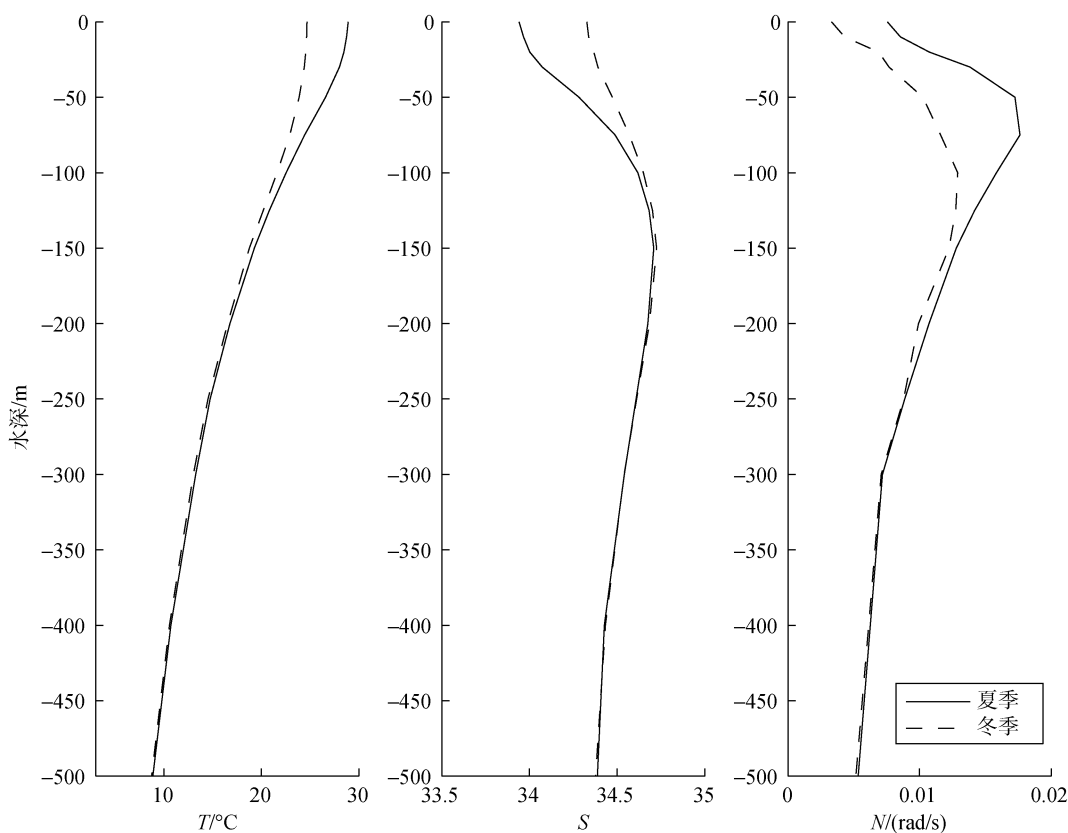


图5 模式所用温度(T)、盐度(S)和浮力频率(N)垂直剖面图
Fig. 5 Profiles of temperature (T), salinity (S), and buoyancy frequency (N)

2.4 网格及参数处理

二维模拟 x 方向范围为 117.9°~122.6°E, 分为

1 960 个格点, 水平分辨率为 250 m, y 方向 1 000 m, 垂直方向共分 155 层, 1 500 m 以上每 10 m 一层,

1 500~3 000 m 每 300 m 一层。为了防止正压波动及斜压波动在边界处的反射,在两边界处加了海绵区域,使 x 方向的网格点间距从中间区域的 250 m 逐渐增大到边界处的 100 km。模式的时间步长设置为 10 s 以满足 CFL(Courant-Friedrichs-Lewy)条件。

根据 Vlasenko 等^[13]中的方法,模式采用周期性的正压潮流驱动,选择 M_2 分潮,水平流速振幅为 U 。具体体现为在纬向和经向的动量平衡方程中分别加一个外力驱动项 $F_x = UH_0 / H(x, y)\sigma \cos(\sigma t)$ 和 $F_y = UH_0 / H(x, y)f \sin(\sigma t)$, 其中对应水平流速振幅 U 所在位置的海水深度, $H(x, y)$ 为不同 (x, y) 点对应的水深, f 为科氏力参数, σ 为对应分潮的角速率。此处选择为区域平均纬度 20.5°N , 因此计算得到科氏力参数 f 为 5.0936×10^{-5} 。

2.5 实验设计

针对黑潮入侵对内孤立波的产生所造成的影响,同时考虑冬夏季海水温盐差异,二维模拟设计了如下 4 组实验(表 2)。

表 2 二维数值模拟实验设计

Tab. 2 Design of 2-D numerical model

实验	海水分层	U_0 (m/s)	U_k (m/s)
a	夏季	0.1	0
b	夏季	0.1	0.2
c	冬季	0.1	0
d	冬季	0.1	0.2

标准实验 a 选自夏季海水温盐条件(图 6 所示为其初始场), M_2 分潮潮流最大流速 U_0 为 0.1 m/s, 模式初始时刻,全场为静止态,驱动潮流从 0 开始,随之为东向渐增的退潮流并作周期性往复。对比试验 b 在实验 a 的基础上,于东边界叠加类似黑潮分支平均流(K-branch)。黑潮平均流速度(U_k)大小设置为 0.2 m/s,方向自东向西。对比实验 c 将海水温盐场替换为冬季,其他设置与实验 a 相同,用来模拟冬季海水层化条件下的内波产生过程。对比实验 d 在实验 c 基础上叠加类似黑潮分支平均流,大小为 0.2 m/s,方向自东向西。

3 实验结果及分析

为模拟内孤立波产生过程,时间步长选择 10 s,运行 9 360 步,模拟时间为 26 h。如图 7a 中 6 幅图像所示,标准实验 a 采用的是夏季海水分层,不加黑潮分支平均流,较好地模拟出了内孤立波群的产生

过程。

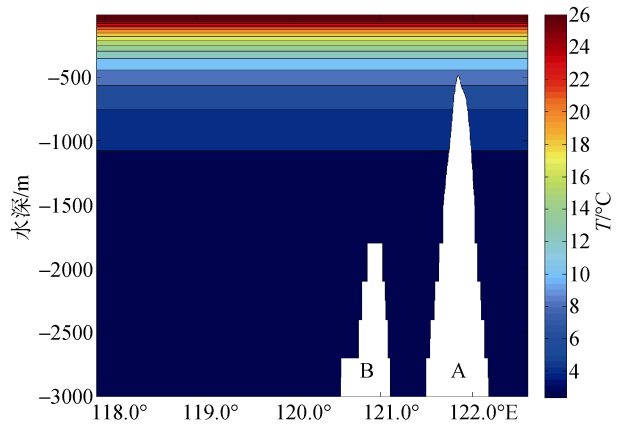


图 6 实验初始温度场

Fig. 6 Initial temperature field

图中白色显示自东向西 A、B 两个海脊
White areas (A and B) show the positions of two sea mountains

在实验初始时刻,东向渐增的退潮流使得海脊 A 西侧潮流有向上的通量,而在东侧有向下的通量,这会使得对应的海脊 A 西侧的等温线抬升而东侧的等温线下压(图 7a, $t=2$ h); 随后东向退潮流在 3.1 h 达到最大,之后开始减小,到 6.2 h 为 0 转向为西向渐增的涨潮流,之前海脊 A 西侧抬升的等温线由于没有东向潮流能量的继续供给,反之还有西向的涨潮流的逐渐增大,使得抬升的等温线以整体的形式开始向下塌陷,最大塌陷达到 150 m,并伴随着西向涨潮流向西传播(图 7a, $t=7, t=12$ h); 随后在 12.42 h, 一个 M_2 潮周期完成,潮流重新变为东向渐增的退潮流,巨大的塌陷由于惯性继续向西传播,但同时因退潮流的阻碍,塌陷开始变得平滑,深度也有所减弱,最大塌陷为 70 m 左右(如图 7a, $t=17$ h 所示); 随后在 18.6 h 潮流转向,需要指出的是,海脊 B 的位置位于 121°E 左右(图 6 红色虚线标出),由于海脊 B 的阻挡,以及西向渐增的涨潮流的共同作用,使得之前较平滑的塌陷重新变得陡峭起来(图 7a, $t=22$ h); 最后西向传播的塌陷经过了地形的阻碍,开始释放变为稳定的内孤立波列向西传播(图 7a, $t=26$ h)。

如图 7b, 6 幅图像所示,实验 b 在标准实验 a 的基础上叠加了黑潮分支平均流,大小为 0.2 m/s,方向自东向西,使得整个流场添加了西向的背景平均流场。在实验初始时刻,西向的平均流场使得海脊 A 东侧等温线抬升、西侧等温线下压,造成西侧等温线的塌陷(图 7b, $t=2$ 时),但也正是由于平均流持续向

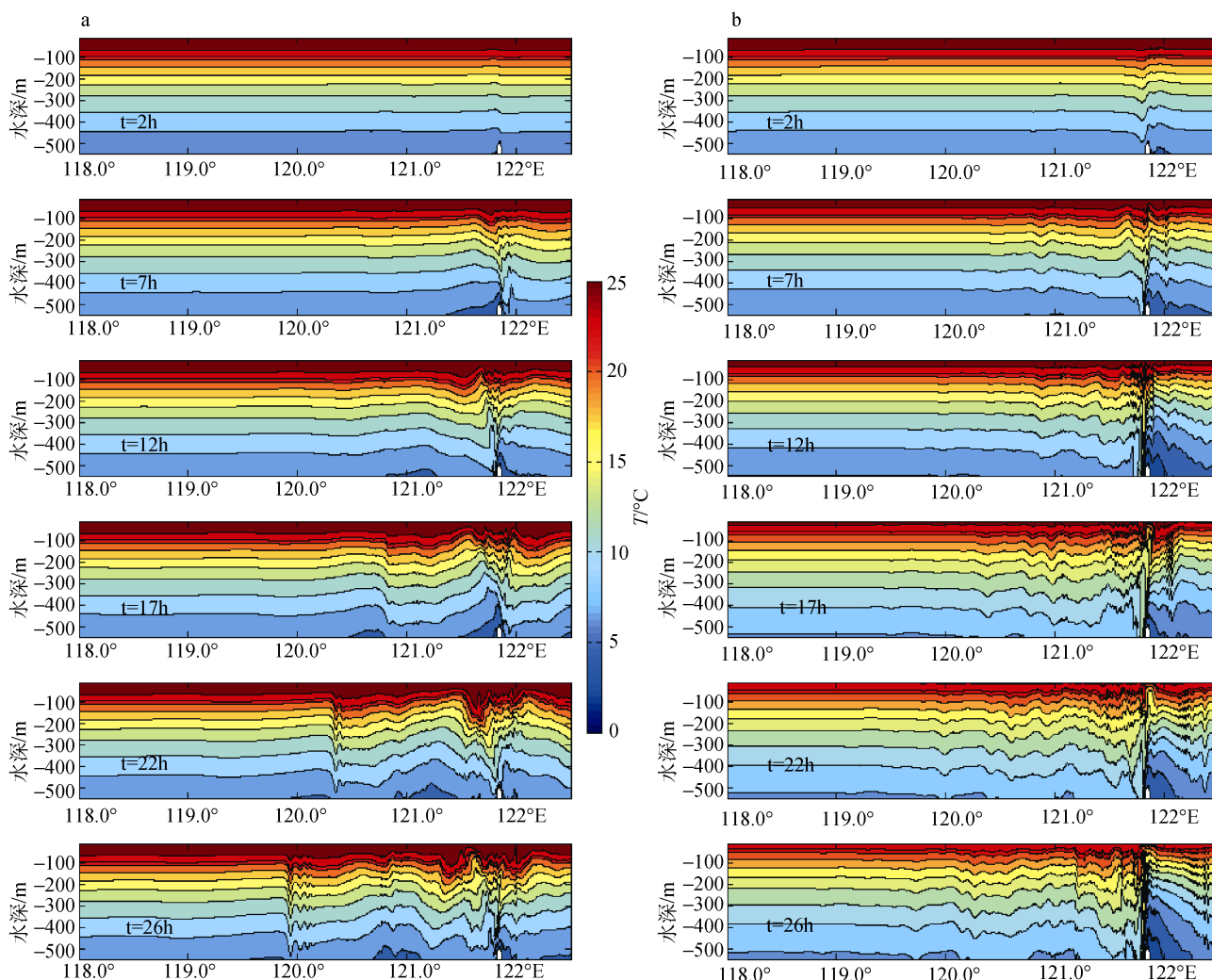


图 7 内孤立波形成过程

Fig. 7 Generation of IWs

a. 潮流驱动标准实验温度场; b. 叠加类似黑潮平均流实验温度场
a. Temperature field for case a; b. temperature field for case b

西,使得这种塌陷在并没有获得太多的能量聚集起来时便随之向西传播(图 7b, $t = 7, 12$ h),尽管在 121°E 处,由于海脊 B 的阻挡,再次获得能量的聚集,但同时由于海脊 B 较低及西向平均流均一、较快,并无太明显的塌陷加深,并且随着西向传播而波形越来越小,在实验结束时,初始形成的第一个波动已传播到 119°E 以西,振幅已经减小到 10 m 左右;在整个过程中,虽然有西向平均流的干扰,潮流变化所引起的塌陷仍然很明显,如图 7b, 2, 7, 12 h,由于东向退潮流渐增再减小到 0 转向,再到西向渐增的西向涨潮流,使得海脊 A 西侧仍然形成类似实验 a 中的等温线抬升以及塌陷,只不过由于背景平均流的作用,将这种塌陷的能量通过类似头波传播的形式分散掉了,导致塌陷在 121°E 处与海脊 B 相作

用时已经没有太过集中的能量与抖动,最终形成的波动能量较小且不集中。

在实验结束时刻即 26 时,一组内孤立波群清晰地出现在 120°E 左右(图 8a 左侧黑框),模拟出的波群与我们在 2012 年 6 月 21 日采集到的 SAR 图像显示的内孤立波群有极大的吻合度(图 10 黑色虚线框内显示):一组自西向东传播的下凹型内孤立波;头波波长较长、振幅较大;尾随的波动波长与振幅依次减小。

而对照实验 b 同样采用夏季海水分层,相比实验 a 增加了自东向西的类似黑潮分支平均流,在实验结束时刻即 26 h,并无清晰的内孤立波群出现,只是有振幅相对较小而波长较长的波动,实际上,更像是 a 图像波动的拉伸版本:能量分散,波长拉伸

变长, 振幅减小(图 8 左侧黑框所示)。同时, 黑潮平均流也加剧了与海脊 A 的相互作用(图 8 右侧黑框所

示), 相比实验 a, 实验 b 在海脊 A 处等温线的抖动更加剧烈复杂。

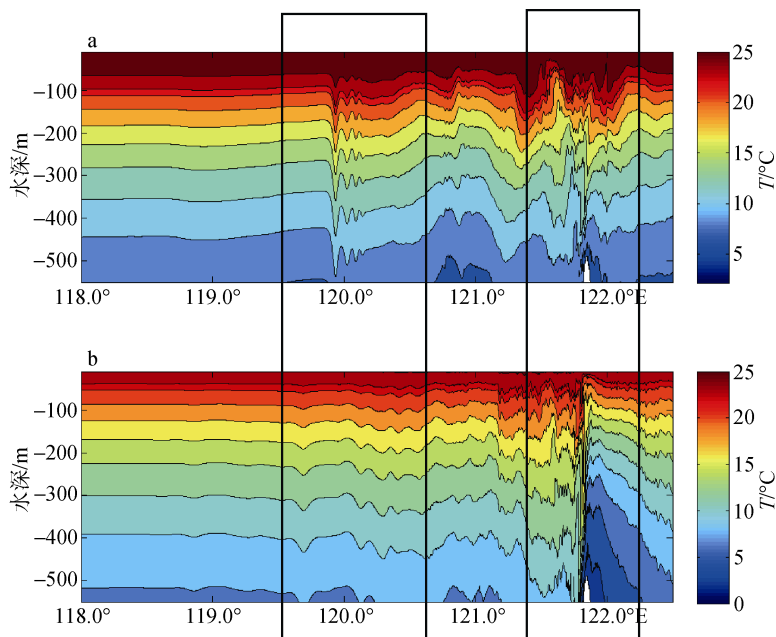


图 8 a、b 实验结束时刻 26 h 温度场对比图

Fig. 8 Comparison of temperature fields for cases a and b at $t = 26$ h

a. 潮流驱动标准实验温度场; b. 叠加类似黑潮平均流实验温度场
a. Standard case; b. Kuroshio case

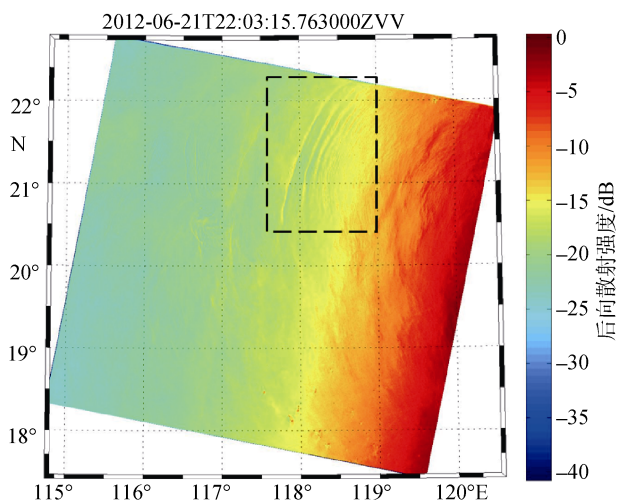


图 9 Radarsat-2 采集成孔径雷达图像

Fig. 9 SAR image from Radarsat-2

黑色虚线框出区域显示一组自东向西传播的内孤立波群
Black dashed frame shows a group of IWs propagating westward

对比实验 c 和实验 d 所选为冬季海水温盐场, 其层化形式绝大部分都一致, 差异只体现在上 150 m 处: 相比夏季温盐场, 冬季表层水最高温度比夏季低, 最低盐度比夏季高, 浮力频率相对夏季也较低。

由图 10 可以看出温盐场的改变对内孤立波群的形成影响不大, 其形成过程与实验 a 过程类似, 最终的内孤立波波群、波数、振幅等都与标准实验 a 一致。而对比实验 d 与实验 b 相比同样差别不大。由此表明温盐差异并非内波出现频率呈现季节变化的关键因素^[13]。

4 结论

通过对合成孔径雷达图像统计分析发现, SAR 观测内波出现频率呈现明显的季节变化: 夏季出现频率最高, 春秋次之, 冬季最低。

二维、非静力近似、半实际地形数值模拟较好地模拟出了内孤立波群的产生过程, 并显示: 在叠加了类似黑潮分支平均流后, 内孤立波的形成受到了干扰, 能量被背景流场带走分散掉, 以致最终产生的波动波长较长, 振幅较小, 能量非常不集中, 推测这一影响是导致 SAR 观测内波出现频率呈现季节变化的关键原因。而对比实验替换夏季温盐场为冬季温盐场, 对模拟结果并无实质上的影响, 说明冬夏季温盐场的差异并非是 SAR 观测内波出现频率呈季节变化的重要因素。

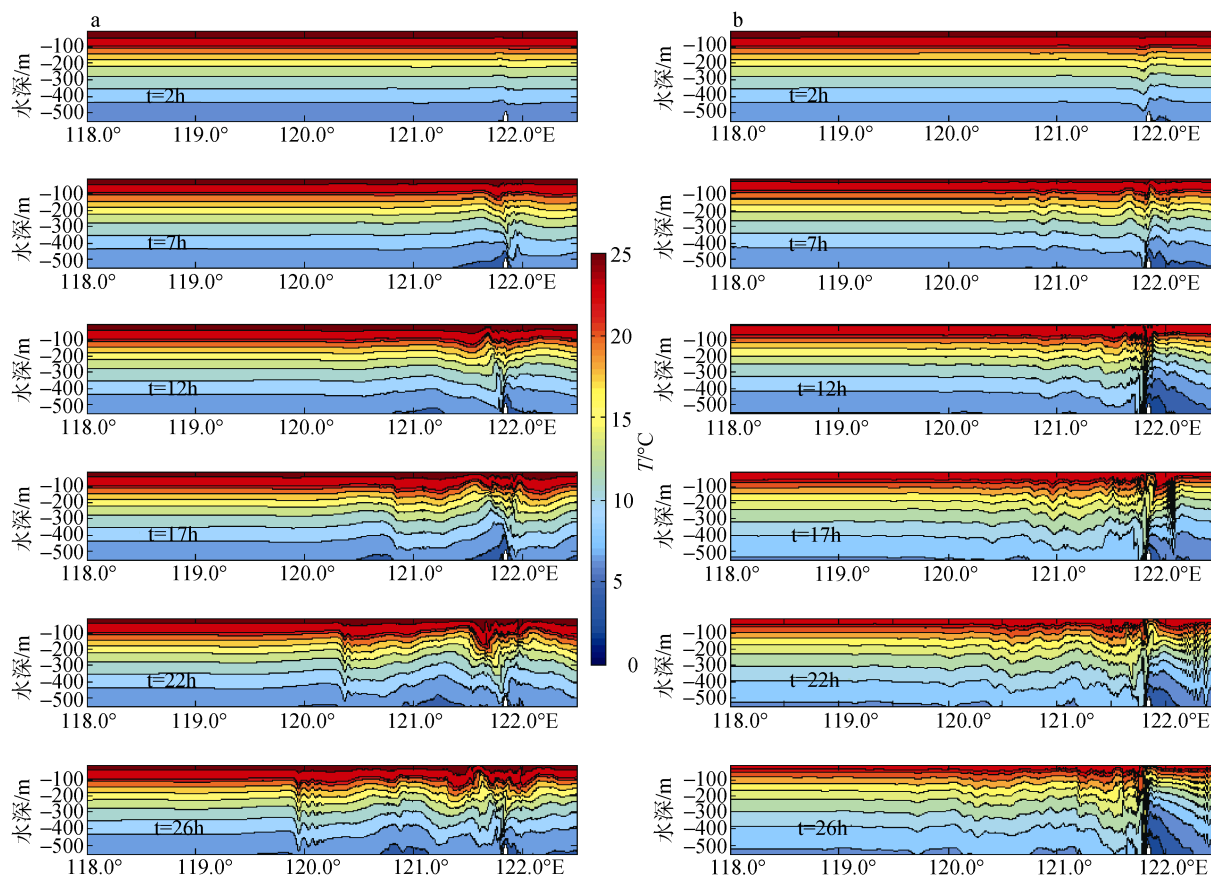


图 10 冬季内孤立波形成过程对比图

Fig. 10 Generation of IWs in winter

a. 冬季海水分层实验温度场; b. 冬季海水分层加黑潮平均流实验温度场
a. temperature field for case c; b. temperature field for case

由于二维近似，忽略了模拟区域的三维地形及波波相互作用等因素，模拟的准确性还有待提高。另外黑潮入侵南海的具体形式尚无明确的结论，如入侵具体时间、位置、流速大小等。因此，三维、实际地形、明确的黑潮入侵形式也成为今后进一步研究的目标。

参考文献:

[1] Apel J R. A new analytical model for internal solitons in the ocean[J]. *J Phys Oceanogr*, 2003, 33: 2247-2269.
 [2] Helfrich K R, Melville W K. Long nonlinear internal waves[J]. *Annu Rev Fluid Mech*, 2006, 38: 395-425.
 [3] Zheng Q, Susanto R D, Ho C R, et al. Statistical and dynamical analyses of generation mechanisms of solitary internal waves in the northern South China Sea[J]. *J Geophys Res*, 2007, 112: C03021, doi: 10.1029/2006JC003551.
 [4] Cai Shuqun, Long X, Z Gan Z. A numerical study of the generation and propagation of internal solitary waves in the Luzon Strait[J]. *Oceanologica Acta*, 2002, 25: 51-60.

[5] Yuan Y, Zheng Q, Dai D, et al. Mechanism of internal waves in the Luzon Strait[J]. *J Geophys Res*, 2006, 111: C11S17, doi: 10.1029/2005JC003198.
 [6] Du T, Tseng Y H, Yan X H. Impacts of tidal currents and Kuroshio intrusion on the generation of nonlinear internal waves in Luzon Strait[J]. *J Geophys Res*, 2008, 113: C08015.
 [7] Maxworthy T. A note on the internal solitary waves produced by tidal flow over a three-dimensional ridge[J]. *J Geophys Res*, 1979, 84: 338-346.
 [8] Wang G, Qiao F, Dai D. A 2-D numerical modeling of the generation and propagation of internal solitary waves in the Luzon Strait[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, 29(6): 1-11.
 [9] 申辉. 海洋内波的遥感与数值模拟研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生, 2005.
 Shen Hui. Remote sensing and numerical simulation for the internal waves in the ocean[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2005.
 [10] 刘秦玉, 刘倬腾, 郑世培, 等. 黑潮在吕宋海峡的形变及动力机制[J]. *青岛海洋大学学报*, 1996, 26(4): 413-420.
 Liu Qinyu, Liu Zhuoteng, Zheng Shippei, et al. The

- deformation mechanism of Kuroshio in Luzong Strait[J]. Journal of Ocean University of China, 1996, 26(4): 413-420.
- [11] Caruso M J, Gawarkiewicz G G, Beardsley R C. Inter-annual variability of the Kuroshio intrusion in the South China Sea[J]. Journal of Oceanography, 2006, 62(4), 559-575.
- [12] Marshall J, Adcroft A, Hill C, et al. A finite-volume, incompressible Navier Stokes model for studies of the ocean on parallel computers[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(C3): 5753-5766.
- [13] Vlasenko V, Stashchuk N, Guo C , et al. Multimodal structure of baroclinic tides in the South China Sea[J]. Nonlin Processes Geophys, 2010, 17: 529-543.

Effect of the Kuroshio on the generation of internal waves in the Northern South China Sea

GUO Da-quan^{1, 2, 3}, SHEN Hui^{1, 3}

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Ocean Circulation and Wave, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Mar., 25, 2013

Key words: internal waves; synthetic aperture radar; 2 dimensional; MITgcm; the Kuroshio

Abstract: In this study, we analyzed the Kuroshio's effect on the generation of ocean internal waves (IWs) in the northern South China Sea (NSCS). We statistically analyzed IW occurrences in satellite synthetic aperture radar (SAR) images from 2007 to 2010. The monthly SAR-observed IW occurrence frequencies show that the highest frequencies are distributed from May to August and reach a peak in June, with a maximum frequency of 29%. Lowest frequencies are distributed in winter from November through February, with a minimum frequency of 0.5% in both December and January. The intrusion of the Kuroshio into the SCS represents a seasonal variability that matches the IWs occurrence variability well. A 2-D non-hydrostatical model properly simulates the generation of IWs and, with the K-branch current added into the domain, the IWs appear to stretch and the energy of the depression appears to scatter.

(本文编辑: 刘珊珊)