

2009 年夏季东沙群岛附近内孤立波的现场观测

吕海滨^{1,2}, 申 辉², 何宜军³

(1. 淮海工学院 测绘工程学院, 江苏 连云港 222005; 2. 中国科学院 海洋环流与波动重点实验室, 山东 青岛 266071; 3. 南京信息工程大学 海洋科学学院, 江苏 南京 210044)

摘要: 通过对东沙群岛附近2009年夏季测到的三个孤立波事件的分析, 结合现场的 X 波段雷达、ADCP 和 CTD 观测, 发现内孤立波经过时, 伴有突发性强流, 最大水平东西分量 U 大于 0.5 m/s, 周期大约 15 min, 各深度层海流均为西向。第三个孤立波事件中, 雷达后向散射影像中包含至少 4 个亮条带, 其中最后的条带雷达表面信号最强。而内波表面信号强弱不仅与内波的振幅有关, 还可能与潮流、混合层深度等环境条件有关, 该研究可加深对内波遥感观测的理解。

关键词: 内孤立波; X 波段雷达; 混合层

中图分类号: P71

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2013)11-0054-05

内波是一种很重要的海洋中尺度现象, 在陆架上被频繁地发现。目前一般认为东沙群岛附近的内波来自于吕宋海峡。一直以来, 海洋学家和遥感学者习惯于利用卫星影像来研究海洋内孤立波, 利用多年的遥感影像研究南海北部孤立波的空间分布^[1-4]。内孤立波是振幅大、周期短的非线性内波, 一般出现在斜压内潮较强的近海大陆架、大陆坡海区。其经过之处, 会产生极端异常的突发性强流。方文东等^[5-6]通过分析南海北部大陆坡海区 1998 年 5、6 月份 20 天 CTD 温度资料、6 天的温度链温度资料和 6 天的 ADCP 海流资料, 发现该海域的内孤立波波包主要为每 24 小时出现一次, 多数波包有多个子波, 而且以最前的子波的振幅最大。突发性强流一般出现在天文大潮后几天, 最大流速集中在跃层内, 因而推断大振幅向岸强流是由局地海区的内潮与地形相互作用引起的内孤立波所致。

本文列举了中国科学院知识创新工程重大项目 2009 年夏季航次期间在东沙群岛附近 K106 站的连续观测成果, 结合 X 波段雷达、CTD、温度链和 ADCP 实测, 发现内波表面信号强度不仅与其振幅有关, 还与背景流和混合层深度等有密切关系。

1 资料来源

中国科学院知识创新工程重大航次历时 30 d, 其中从 6 月 24 日 15 时 40 分到 25 日 16 时 40 分对东沙岛的东北部陆架上 K106 站(117°37.6198'E, 21°02.2990'N) 进行了连续观测, 水深 697 m(见图 1)。期间, 科考船

“科学一号”处于漂浮状态, 船的轨迹如图 2 所示。本航次利用船载 X 波段雷达对海表回波信息进行观测记录, 雷达工作频率 9.4 GHz, HH 极化。“科学一号”考察船利用 GPS 进行定位, 同时利用 SBE 911plus CTD 和温度链来监测温盐信息, 温度链长 240 m, CTD 每 4 h 采样一次。此次监测中, 成功的测到 3 个内孤立波(包)事件(图 3), 其中一个振幅大于 100 m。

2 仪器观测

2.1 温度链观测

在 2009 年 6 月 24 日 15 时 40 分到 25 日 16 时 40 分的现场连续观测中, 在 K106 站的温度链记录数据上发现存在 3 个大振幅的内孤立波事件(图 3), 可以看到大振幅孤立波引起的温度突然变化留下的踪迹, 内波产生的垂向运动把暖的上层水下移, 迫使等温线向下凹陷。第一个内孤立波在 6 月 24 日 22 时 43 分经过观测船, 第二个内孤立波出现在 6 月 25 日 8 时 30 分, 第三个内孤立波出现在 6 月 25 日 12 时, 分别在图 3 中用线框标记。

收稿日期: 2013-05-05; 修回日期: 2013-09-09

基金项目: 中国科学院海洋环流与波动重点实验室开放基金课题(KLOCAW1205); 国家自然科学基金(41030855; 41025019); 淮海工学院引进人才基金(KQ12002)

作者简介: 吕海滨(1979-), 男, 山东烟台人, 讲师, 博士, 主要从事海洋内波遥感与海洋数值模拟研究, 电话: 13861427903, E-mail: kjxlbh@126.com

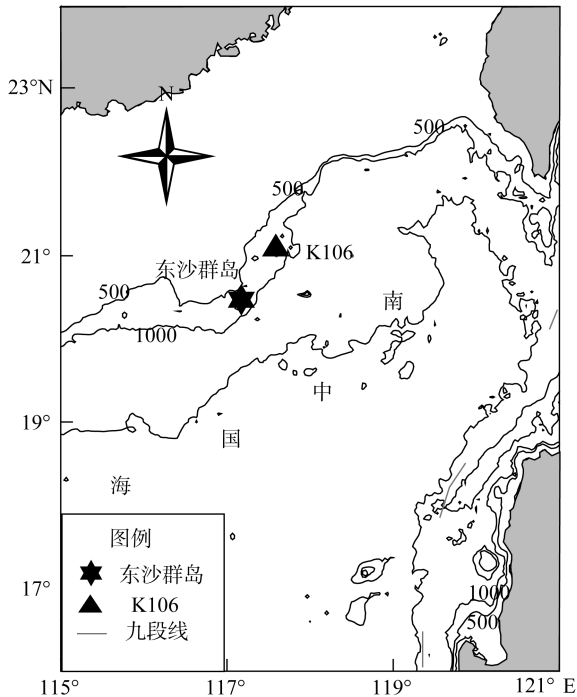


图1 南海水下地形(m)图及站位

Fig. 1 Under water topography of the South China Sea and station map (unit of depth: m)

2.2 X波段雷达观测

船载 X 波段雷达是在古野公司 FAR-2127 系列 X 波段雷达基础上改造而成, FAR-2127 系列雷达是标准的非相干脉冲实孔径成像雷达。经过改造的整个系统主要由七个部分组成: 天线及 T/R 组件、雷达主机、控制单元、LCD 显示器、高速数据采集卡、极化切换装置以及个人计算机。该雷达系统主要参数如表 1 所示。

X 波段船载雷达能监测后向散射强度, 后向散射强度与海面粗糙度有关。关于此次观测中基于 X 波段雷达提取内波的相关参数已有成果发表^[7-9]。图 4 给出了第一个和第三个孤立波经过科考船时船载雷达记录回波强度影像。对比图 3, 我们发现一个有趣的现象, 第一个孤立波前部振幅达 20 m 的内波在表面没有内波信号, 而第三个孤立波前部振幅 5 m 的内波在表面有内波信号。是什么影响到较大振幅的内波在海表没有信号而小振幅的内波确有信号呢? 根据当时的正压潮流信息, 来源于 Tide Model Driver (TMD)模式(http://www.oce.orst.edu/po/rsearch/tide/inv_doc.html), 第一个孤立波经过科考船时, 是涨潮期间, 内波传播方向与正

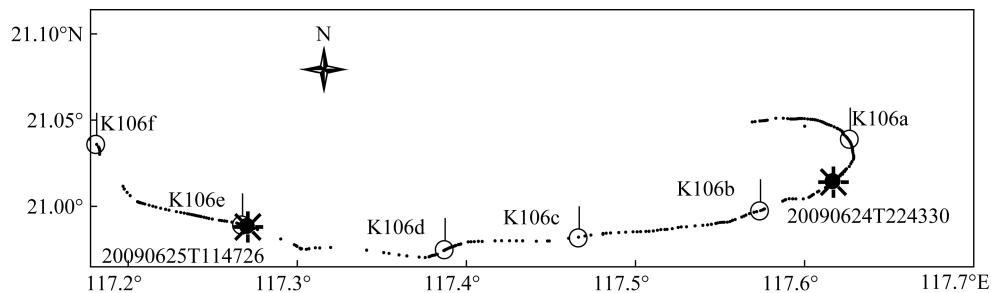


图2 “科学一号”船的漂流轨迹

Fig. 2 Drifting trajectory of the R/V Science # 1

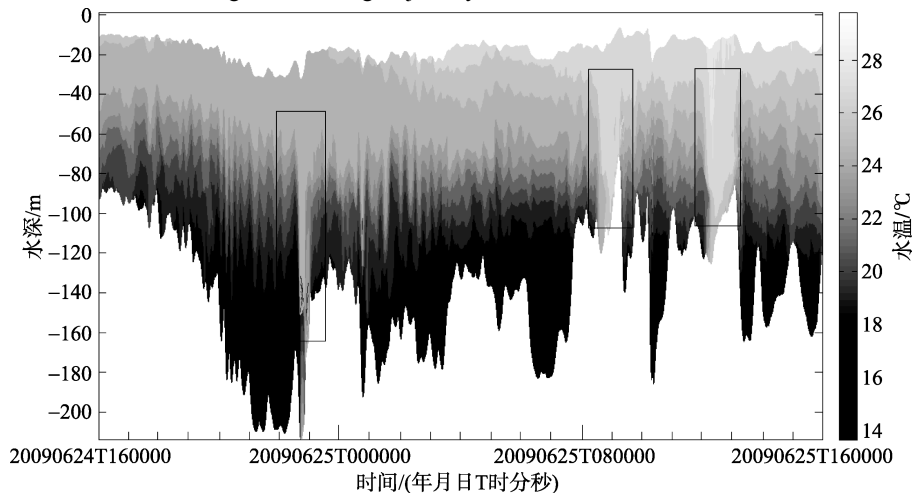


图3 温度链 25 h 连续监测的温度数据(线框标记本文所研究的孤立内波)

Fig. 3 The ISWs were recorded by the rmistor chains during in-situ measurement for 25 hours, which were marked by line boxes

表 1 X 波段雷达主要参数表

Tab. 1 The key parameters of the X-band radar

工作频率 (MHz)	最小发射 脉冲(ns)	脉冲重复 频率(Hz)	发射功率 (kW)	天线长度 (cm)	天线转速 (r/min)	增益(dB)		波宽(°)			
						水平极化	垂直极化	水平极化		垂直极化	
								方位面	俯仰角	方位面	俯仰角
9410±30	70	3000	25	244	24	31.5	30.2	1	22	1.2	20.5

压潮流方向一致,都是向西;第二个和第三个孤立波经过科考船时,是落潮时刻,内波传播方向与正压潮流方向相反,我们猜测不同的背景流场对内波的表面信号有影响,关于这部分的数值模拟实验研究成果将陆续发表。

2.3 ADCP 观测

孤立波是振幅大、周期短的非线性内波,其经过

之处,会产生极端异常的突发性强流。我们在K106站船载ADCP观测到的强流现象伴随着大振幅孤立波的出现,图5显示在第一个和第三个孤立波经过前后垂向断面流速的时间序列,第一个单峰孤立波引起各水层水平流速 U 分量突然增大,产生水平最大流速大于2 m/s,周期大约为15 min。内波引起的

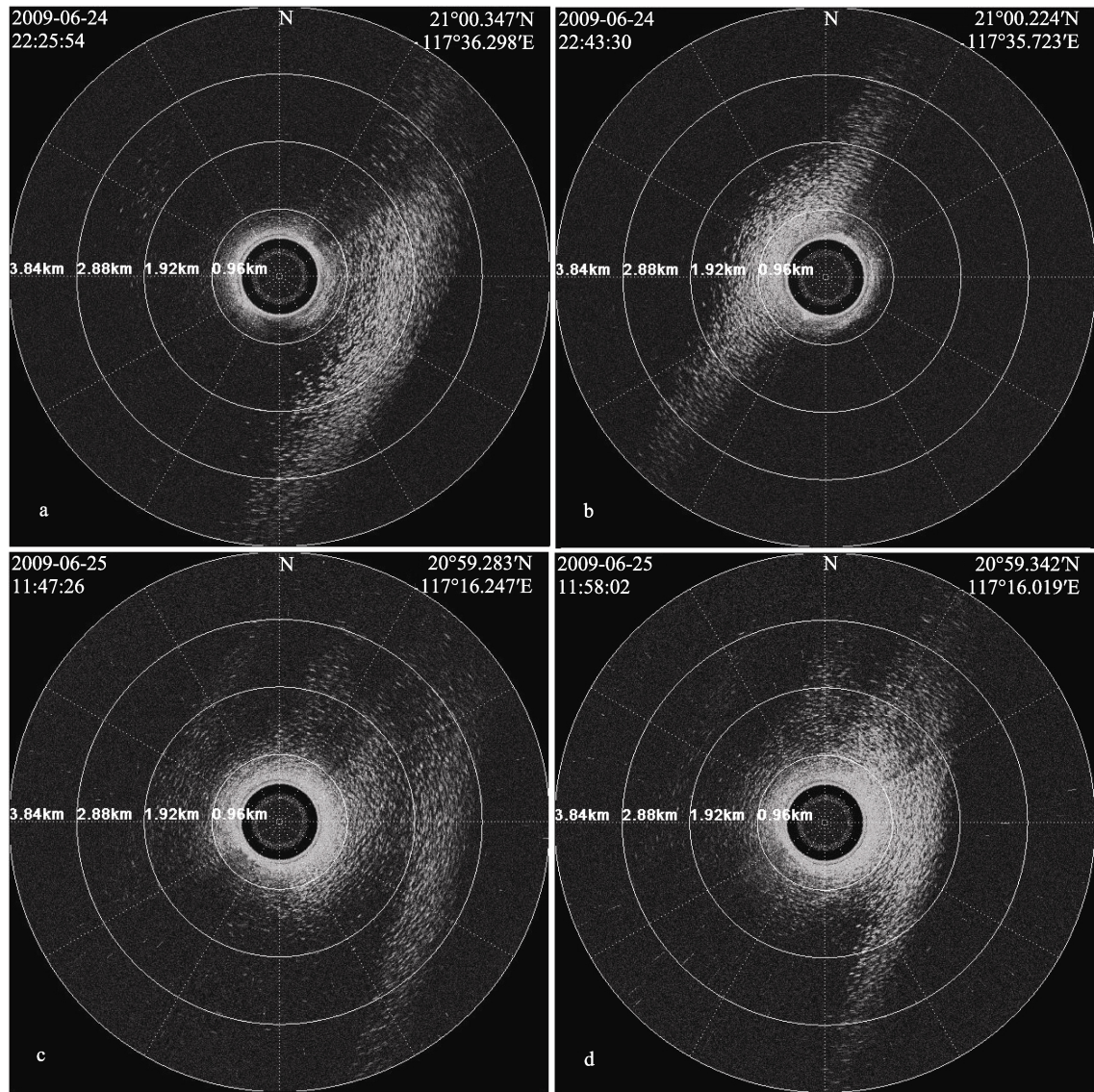


图 4 “科学一号”观测的第一个(a, b)、第三个(c, d)内孤立波后向散射强度影像

Fig. 4 Backscatter power images recorded when the 1st (a,b) and 3rd (c,d) ISW were observed on board R/V Science #1

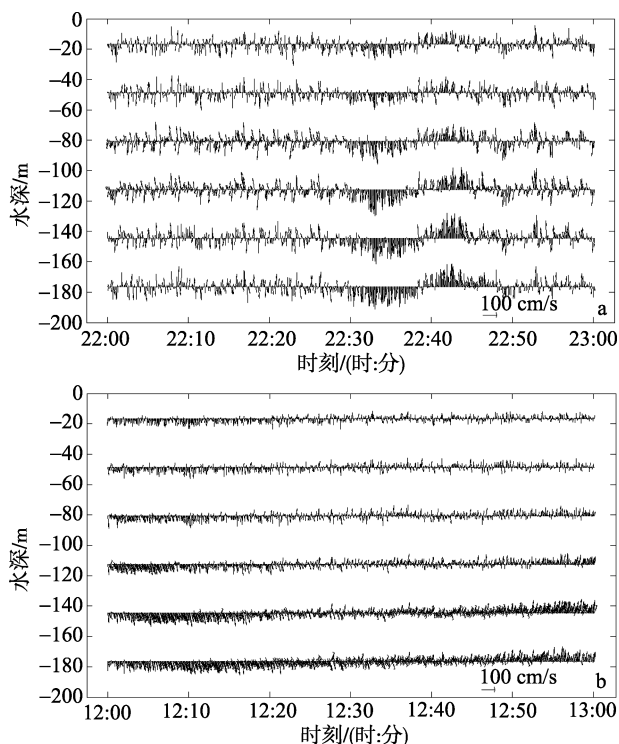


图 5 第一个(a)、第三个(b)孤立波经过 K106 时, ADCP 测得垂向断面流速时间序列

Fig. 5 Velocity at vertical section measured by ADCP when the 1st and 3rd ISWs were observed at K106

各深度层海流均为西向。第三个孤立波经过时刻, 在 250 m 以深处 ADCP 测到的最大水平流速大于 2 m/s。由图 4 雷达影像显示至少四个条带, 其中最后的条带雷达表面信号最强。

从图 6 中看出, 上面提到的第一、第三个孤立波记录时刻分别接近 K106a 和 K106e 站点, 所以用这两个站点实测 CTD 数据推算得到的垂向密度廓线, 分别代表各自的水下密度层结。K106a 处混合层厚度 H 约为 20 m, K106e 处混合层厚度 h 低于 10 m。同

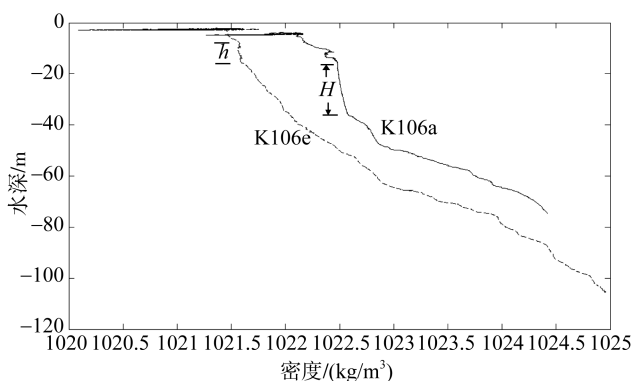


图 6 在 K106a 和 K106e 站测得垂向密度廓线

Fig. 6 The density profiles observed at K106a and K106e

时 K106a 处混合层深度比 K106e 处要深。这表明, 内波表面信号强弱很可能与混合层深度有关系, 混合层加深, 能减弱内波表面信号的强度。

3 结论

通过对 2009 年夏季测到的三个孤立波事件的分析, 发现: 孤立波经过时, 伴有突发性强流, 本次观测期间, 最大水平东西分量 U 大于 0.5 m/s, 周期大约 15 min, 内波引起的各深度层海流均为西向。第三个孤立波事件中, 雷达影像中包含至少 4 个亮条带, 其中最后的条带雷达表面信号最强。本次观测中, 第一个孤立波西部振幅 20 m 的非线性内波在雷达影像中无条纹显示, 而第三个孤立波前部振幅约 5 m 的内波在雷达影像中有条纹显示, 说明内波表面信号又不仅与内波振幅有关, 还可能与潮流, 混合层深度等海洋环境条件有密切关系。

参考文献:

- [1] Hsu Mingkuang, Liu A K. Nonlinear internal waves in the South China Sea [J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2000, 26(2): 72-81.
- [2] Zheng Quanan, 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]. Journal of Geophysical Research-Oceans, 2007, 112(C3): 1-16.
- [3] 甘锡林, 黄韦良, 杨劲松, 等. 利用多源遥感卫星数据研究南海内波的时空分布特征[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(2): 242-245.
- [4] Du Tao, Tseng Yuheng, Yan Xiaohai. Impacts of tidal currents and Kuroshio intrusion on the generation of nonlinear internal waves in Luzon Strait [J]. Journal of Geophysical Research-Oceans, 2008, 113(C8): 1-15.
- [5] 方文东, 陈荣裕, 毛庆文. 南海北部内波引起的突发性强流[J]. 热带海洋, 2000, 19(1): 70-75.
- [6] 方文东, 施平, 龙小敏, 等. 南海北部孤立内波的现场观测[J]. 科学通报, 2005, 50(13): 1400-1404.
- [7] Lü Haibin, He Yijun, Shen Hui, et al. A new methodology to estimate oceanic mixed-layer depth with hipboard X-band radar images [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(5): 962-967.
- [8] Zha Guozhen, Lin Mingsen, Shen Hui, et al. Extraction

of internal wave amplitude from nautical X-Band radar observations [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2012, 30(3): 497-505.

[9] 吕海滨, 何宜军, 申辉. 基于 X 波段雷达获取东沙群岛附近内波的传播速度 [J]. 海洋科学, 2012, 11: 98-102.

Internal solitary waves at the Dongsha Islands observed in the summer of 2009

LÜ Hai-bin^{1,2}, SHEN Hui², HE Yi-jun³

(1. School of Geodesy & Geomatics Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China;
2. Key Laboratory of Ocean Circulation and Wave, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;
3. School of Marine Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Received: May, 5, 2013

Key words: internal solitary wave; X-band radar; mixing layer

Abstract: Three internal solitary waves (ISWs) around Dongsha were observed in the summer of 2009. Based on in situ onboard X-band radar, thermistor chains, ADCP and CTD data, we found that during the internal solitary waves passing the vessel, there was a strong abrupt current, with maximum east-west speed (U) of more than 0.5 m/s, and the whole course was about 15 minutes. All the deep ocean currents faced west. During the third internal solitary waves, there were at least four light stripes in the radar backscatter power images, and the strongest internal wave surface signal lied at the rear of the stripes. Besides the amplitude of ISWs, the background current and mixing layer depth may also have impact on sea surface signal power. This study is very helpful to understanding of ISWs remote sensing and examination.

(本文编辑: 刘珊珊 李晓燕)