

海南岛东部陆架近底层的强海流观测<sup>\*</sup>王 刚<sup>1,2</sup> 乔方利<sup>2\*\*</sup> 侯一筠<sup>1</sup> 林 敏<sup>3</sup>

1. 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071;

2. 国家海洋局第一海洋研究所, 国家海洋局海洋环境科学和数值模拟重点实验室, 青岛 266061;

3. 中国海洋大学数学科学学院, 青岛 266071

**摘要** 2005 年 4 月在海南岛东部水深约 120 m 的陆架上进行了海水温度、盐度和海流的连续观测。4 月 20—30 日期间高速海流发生频繁, 其中 25 和 26 日都观测到流速在  $3.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上的海流, 主要运动方向大致与岸线平行。高速海流一般出现在 70—100 m 水深范围, 延续时间为几个小时, 有时可达十几个小时。

**关键词** 高速海流 南海陆架 连续观测

世界大洋洋底并非平静而稳定的。1963 年, 海洋地质学家 Holister 根据海底岩芯的波状结构提出了大洋海底存在高速海流的假说, 但是没有引起广泛的注意。1978 年开始的“高能海底边界层实验”(High Energy Benthic Boundary Layers Experiment)在北太平洋水深 3000—5000 m 的区域内观测到了  $0.3\text{—}0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的大洋底层流, 证实了 Holister 的假说。科学家们分析指出, 大西洋底层强流的能量是由上层高能涡动向下传播提供的<sup>[1]</sup>。墨西哥湾 1000 m 以深海洋底层也观测到了高速海流, Hamilton 等分析认为, 赤道 Rossby 波对该底层强流起着决定性作用<sup>[2]</sup>。

我国观测到的高速海流一般在浅海区。修日晨等分析了 1958 年海洋普查中的海流观测记录后推断, 中国近海存在着流速可达  $2.0\text{—}2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 甚至  $4.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的急流<sup>[3]</sup>。之后他们于 1995 年在渤海埕岛海区现场观测到了高速海流, 其中流速最大值达到  $3.18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。结合渤海区另外几个测站的长期观测资料, 修日晨猜测, 高速海流可能是流场的局部辐合导致的。刘爱菊<sup>[4]</sup>, 尹逊福等<sup>[5]</sup>对江苏海域辐射状沙脊群水域的高速海流现象进行了探讨, 推测其与假潮

现象关系密切。也许是由于近海潮流本身强度比较大, 上述观测和分析并没有引起太多的关注。随着海洋内波理论的发展和海洋内波调查数据的丰富, 更多学者倾向于用内波来解释高速海流现象。例如, 方文东等注意到, 1996 年春季南海北部大陆坡区(水深约 300 m)观测到的突发性强流一般出现在天文大潮后几天, 强流核(最大流速  $2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )位于跃层内(40—60 m), 因而判断这些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孤立内波所致<sup>[6]</sup>。

2005 年 4 月 20—30 日, 在海南岛东部陆架上进行的海洋定点连续观测, 发现了持续时间达 3 d 的强海流, 最大流速高达  $3.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。本文报道此次观测的结果, 并分析其与以往观测到的高速海流的不同特征。

## 1 观测与资料

海南岛东部外海海底地形坡度较大, 从西北向东南迅速倾斜, 等深线分布密集且大致与海岸线平行。测站位于南海西北部(约  $19^{\circ}35'N$ ,  $112^{\circ}E$ )水深 120 m 左右的陆架上(见图 1 中 A 点)。海流观测装置采用声学 Doppler 海流剖面仪(ADCP)。ADCP 锚定在海洋表层向下发射, 垂向采样间隔为 2 m,

2007-11-08 收稿, 2007-12-19 收修改稿

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(批准号: 40476017)和中国科学院知识创新(批准号: KZCX2-YW-201)资助项目

<sup>\*\*</sup> 通信作者, E-mail: qiaofl@fio.org.cn

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

采样区间 4—114 m, 采样时间间隔 10 min. 温度观测采用 24 个温度传感器和 5 个温盐度传感器. 温度传感器集中投放在 12—39 m 之间, 垂向间隔 1—4 m; 温盐度传感器布设在 8, 20, 30, 40 和 75 m 这 5 个深度上. 温度传感器和温盐度传感器的时间采样间隔均为 1 min. 分析的数据从 4 月 20 日 00:00 到 4 月 30 日 24:00.

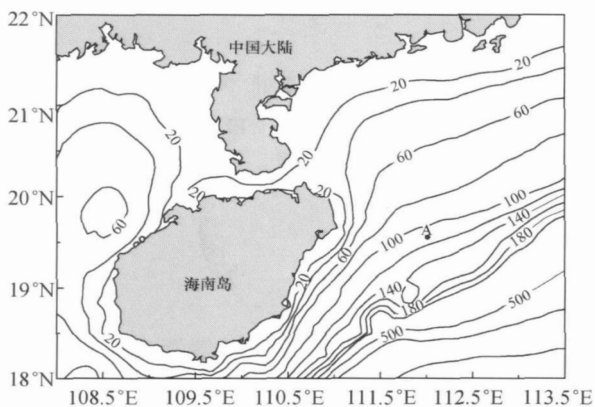


图 1 测站位置(图中 A 点)及周边海域海底地形

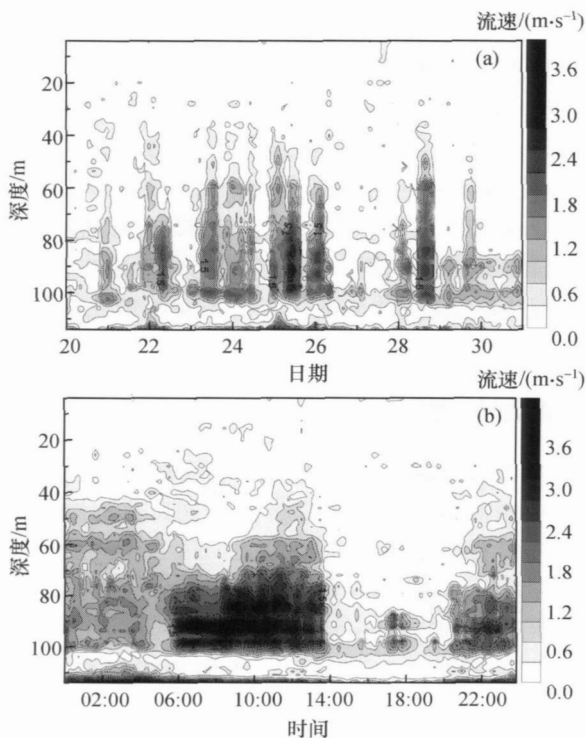


图 2 流速(单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )的时间—深度分布图  
(a) 2005 年 4 月 20—30 日; (b) 2005 年 4 月 25 日

## 2 高速海流事件

### 2.1 观测到的高速海流

本文的高速海流是指绝对流速在  $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上的流动. 图 2(a) 是 4 月 20—30 日测站海流速度的时间—水深分布图. 可以看出, 这段时期测站高速海流事件频繁发生, 并且每次事件延续时间可达数小时, 23—26 日尤为显著. 高速海流在 50 m 以深发生的可能性大, 30 m 以浅没有发生. 近底层出现了显著的断层现象, 是 ADCP 在海底的盲区.

以 4 月 25 日为例(图 2(b)), 70—100 m 出现多个流速高值中心, 且流速呈间歇性的变化, 在 06:00—14:00 的 8 h 内, 流速持续在  $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上.

选取两个高速海流显著的時刻来分析流速及流向的垂向结构. 4 月 25 日 08:30, 94 m 层出现了流

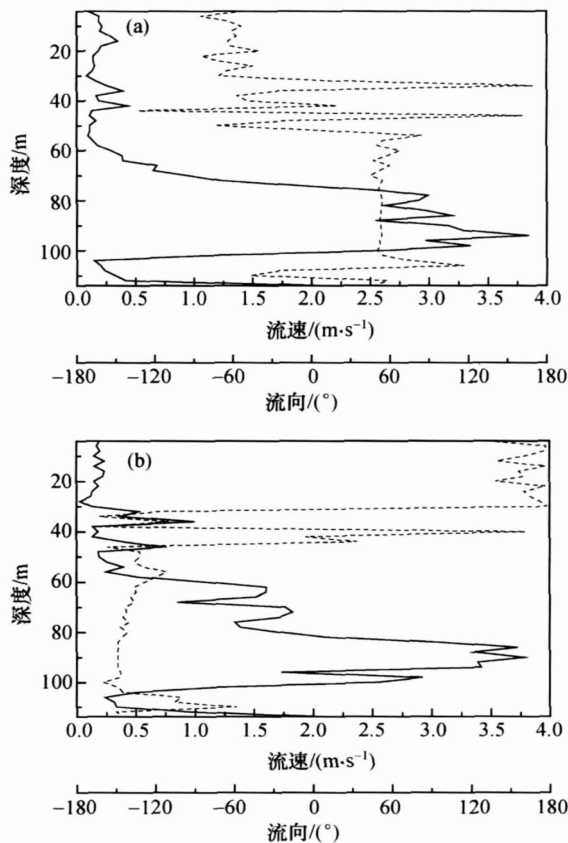


图 3 流速(实线)和流向(虚线)的垂向结构  
(a) 2005 年 4 月 25 日 08:30;  
(b) 2005 年 4 月 26 日 03:40

速高达  $3.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的高速海流,  $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上海流影响的垂向范围为 74—102 m, 在此空间范围内, 海流流向约  $55^\circ$  (正北去向为零, 顺时针旋转), 大致与岸线平行(图 3(a)). 4 月 26 日 03:40, 水深 90 m 处的流速达到  $3.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 流速在  $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上的海流垂向分布达 40 余米(60—102 m). 此时流向约  $235^\circ$ , 仍然平行于岸线(图 3(b)).

4 月 24 日 12:00—26 日 24:00 这段时间最强流速出现在 90 m 层附近. 25 日和 26 日, 90 m 层流速多次达到  $2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上(图 4(a)). 将海流矢量分解为沿岸和垂直于岸方向, 可以看出, 高速海流沿岸方向的分量显著(图 4(b)).

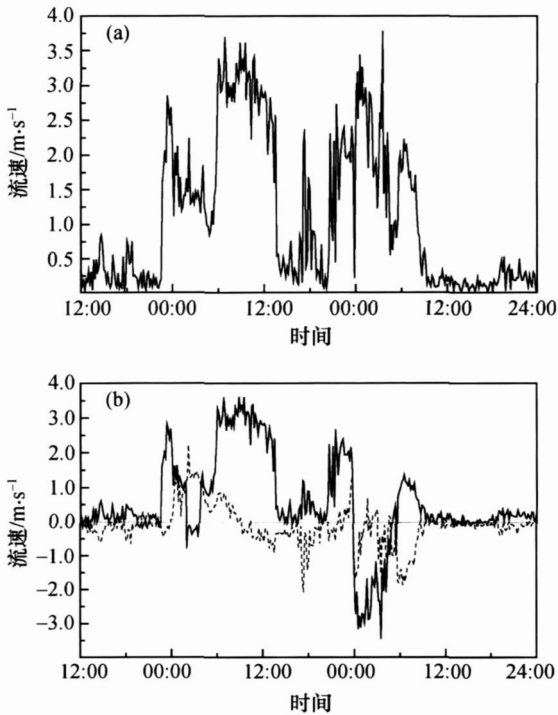


图 4 2005 年 4 月 24 日 12:00—26 日 24:00 水深 90 m 处的海流流速  
(a) 流速时间序列; (b) 沿岸方向(实线)和垂直于岸方向(虚线)的海流分量时间序列

高速海流在大潮(2005 年 4 月 23 日是农历三月十五)后的几天内达到最强, 与南海东沙群岛附近观测到的强流一致. 表明文昌站的高速海流也受到了潮汐的影响. 与通常的内波致强流不同, 南海北部海区<sup>[6-8]</sup>, 安德曼海<sup>[9]</sup> 以及苏禄海<sup>[10]</sup> 发现的突发性强流(内波致强流)通常都是垂直于岸传播, 而文

昌站的高速海流其沿岸分量更显著. Zikanov 等指出, 陆坡上湍流层中的内波发生破碎时, 会在沿岸方向生成强边界流<sup>[11]</sup>. Legg 也用数值模拟的方法证实, 沿岸方向的潮汐与褶皱地形作用可以生成内潮<sup>[12]</sup>. 因而, 文昌站的高速海流可能也是一种内潮波致流.

## 2.2 高速海流事件发生期间海水温度的变化

在温度的最深观测层 75 m 附近, 高速海流事件也比较活跃. 对 4 月 20—30 日 74 m 层的流速时间序列(图 5(a)) 和 75 m 层的温度时间序列(图 5(b)) 进行比较.

74 m 层流速有明显的阵发性, 能够表现出图 2(a) 中所示的高速海流的主要特征. 75 m 层温度信号有显著日周期振荡, 局部叠加许多高频信号以及一些不规则的脉动. 温度的大振幅高频脉动与高速海流的峰值在时间上有一定的对应, 温度脉动略有延迟. 这说明潮汐对高速海流和海水温度的高频脉

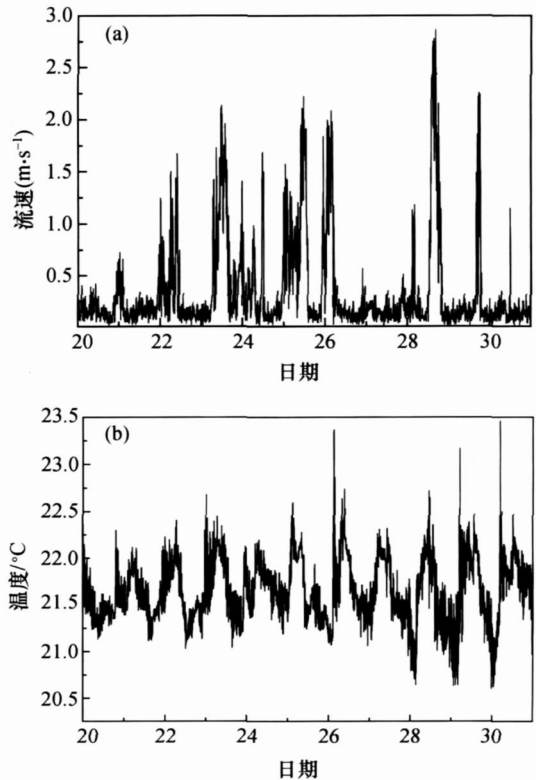


图 5 2005 年 4 月 20—30 日观测的海流与温度时间序列

(a) 74 m 层流速; (b) 75 m 层海水温度

动都有重要影响。

### 2.3 高速海流的基本特征

以上分析, 给出2005年4月下旬, 海南岛东部海域高速海流现象的几个基本特征:

(1) 流速高. 该海区海流的典型速度在 $0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右. 然而, 4月下旬观测到的高速海流的流速可以达到 $3.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,  $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的高速海流事件发生频率很高.

(2) 持续时间长. 通常观测到的高速海流的周期一般从十几分钟到几十分钟. 而在此次观测中多次看到延续几个小时, 甚至十几个小时的高速海流事件.

(3) 沿岸速度分量明显, 且会突然转向. 根据其分解速度(图4(b))来看, 高速海流沿岸方向分量远大于垂直于岸方向分量, 并且有突然转向的现象, 转向过程非常短暂(例如4月25日24时左右).

### 3 小结

2005年在海南岛东部外海陆架上观测到了非常活跃的高速海流事件. 4月下旬高速海流发生频繁( $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的高流速事件几乎天天发生), 持续时间较长(4月25日持续十几个小时), 流速极高(最大流速达到 $3.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上). 此外, 与通常的垂直于岸方向的内波致强流不同, 本次观测到的高速海流沿岸方向速度分量显著.

### 参 考 文 献

- 1 王慧中编译. 深海流暴及其地质意义. 海洋地质译丛, 1993, (2): 71-79
- 2 Hamilton P, Lugo-Fernandez A. Observations of high speed deep currents in the northern Gulf of Mexico. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28(14): 2867-2870
- 3 修日晨, 顾玉荷, 刘爱菊, 等. 海洋激流的若干观测结果. *海洋学报*, 2000, 22(4): 118-124
- 4 刘爱菊, 修日晨, 张自历, 等. 江苏近海的激流. *海洋学报*, 2002, 24(6): 120-126
- 5 尹逊福, 刘爱菊, 张海波. 南海东部区域的海流状况——II. 海洋激流现象. *黄渤海海洋*, 2002, 20(2): 7-11
- 6 方文东, 陈荣裕, 毛庆文. 南海北部大陆坡区的突发性强流. *热带海洋*, 2000, 19(1): 70-75
- 7 蔡树群, 甘子钧. 南海北部孤立子内波的研究进展. *地球科学进展*, 2001, 16(2): 215-219
- 8 陈守虎, 吴立新, 张仁和, 等. 南中国海内波特征及其引起的声场起伏. *自然科学进展*, 2004, 14(10): 1163-1170
- 9 Osborne AR, Burch TL. Internal solitons in the Andaman Sea. *Science*, 1980, 208: 451-460
- 10 Apel JR, Holbrook JR, Liu AK, et al. The Sulu Sea internal soliton experiment. *Journal of Physical Oceanography*, 1985, 15(1): 1625-1651
- 11 Zikanov O, Slinn DN. Along-slope current generation by obliquely incident internal waves. *Journal of Fluid Mechanics*, 2001, 445: 235-261
- 12 Legg S. Internal tides generated on a corrugated continental slope: Part2. Along-slope barotropic forcing. *Journal of Physical Oceanography*, 2004, 34(8): 1824-1838