

## 2006年9月南海北部表层温盐场的走航观测\*

孙振宇<sup>1</sup>, 胡建宇<sup>1</sup>, 毛华斌<sup>2</sup>

(1. 近海海洋环境科学国家重点实验室/厦门大学, 福建 厦门 361005; 2. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

**摘要:** 通过2006年9月南海北部开放航次的走航观测, 得到了该海区多个断面的表层温度、盐度分布曲线。QuikScat海面风场资料显示观测期间处于西南季风向东北季风的转换阶段, 走航观测所得的温、盐资料显示出在这一季风转换的特殊阶段该海区表层的水文特征。珠江口冲淡水的扩散范围在季风转向前后有显著的变化, 低盐的冲淡水在西南季风阶段向珠江口外海区的东南方延伸较远, 而在东北季风阶段则受珠江径流量、南海北部表层环流等因素的影响收缩至珠江口附近。闽南近岸和台湾浅滩南部表层具有低温高盐特征, 但CTD资料表明台湾浅滩区域存在上升流, 结合风场资料, 可证实观测期间此处的上升流由海流-地形因素所造成。

**关键词:** 南海北部; 珠江冲淡水; 表层; 温盐分布; 上升流

**中图分类号:** P731.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-5470(2008)01-0006-05

## Underway observation of surface temperature and salinity in north South China Sea in September 2006

SUN Zhen-yu<sup>1</sup>, HU Jian-yu<sup>1</sup>, MAO Hua-bin<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Marine and Environmental Science/Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

**Abstract:** Based on the underway observation data of Joint Survey of Northern South China Sea in September 2006, the distributions of surface temperature and salinity along several sections were obtained. The sea surface wind field data from QuikScat indicated that September was the conversion period from southwest wind to northeast wind in 2006, and the temperature and salinity data obtained from the underway observation could give a clear demonstration of the hydrological character of the northern South China Sea during this special period. The extension of diluted water near the estuary of Zhujiang River had a major change after the monsoon conversion. During the phase of southwest monsoon, the diluted water could extend to the southeast to a larger distance; while the diluted water was confined to the nearby area of the estuary in the northeast monsoon. In the inshore area off south Fujian and southern part of Taiwan Bank there existed cold and high salinity waters. It was proved by the CTD data that an upwelling was active in the southern part of Taiwan Bank. Considering the northeast monsoon, it could be confirmed that this upwelling was driven by the current-topography effect.

**Key words:** northern South China Sea; Zhujiang River diluted water; surface layer; temperature and salinity distribution; upwelling

南海北部地处东亚季风区, 海面风场的季节循环给该海区的水文和动力特征带来显著的季节特性。北部的陆架区有珠江等多条河流的淡水输入, 径流带来的低盐冲淡水在季风、环流等因素的驱动

下形成各种不同的扩散路径<sup>[1,2]</sup>; 同时, 粤东、闽南沿海又是夏季上升流多发的区域, 这些区域上升流的强度和持续时间各有不同, 从而出现很多复杂的海洋现象<sup>[3,4]</sup>。2006年9月, 厦门大学参加了中

**收稿日期:** 2007-02-27; **修订日期:** 2007-08-10。孙淑杰编辑

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(40576015, 40521003, 40576013)

**作者简介:** 孙振宇(1980—), 男, 山东省青岛市人, 助理工程师, 硕士, 主要从事物理海洋学研究。

\* 现场观测资料由“实验3”号船2006年开放航次的调查人员协助完成, 特此致谢。

中国科学院南海海洋研究所组织的 2006 年南海北部开放航次的科学考察。此次考察自 9 月 7 日始至 9 月 28 日止, 正值南海北部季风转换期。本文结合本航次的观测资料, 给出在这一季风转换的特殊时期南海北部相应的表层水文特征。

调查期间使用美国 Sea Bird 公司的 SBE 21 型表层温盐仪对表层海水进行了连续的走航观测, 获得了航行过程中各个断面以及连续站的表层温度、盐度资料。该温盐仪有较高的观测精度(温度精度  $0.01^{\circ}\text{C}$ , 电导率精度  $0.001\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ ), 借助泵水系统可以在航行中对表层海水以较高的采样频率( $0.2\text{Hz}$ )进行连续观测, 从而弥补 CTD 在大面站和连续站观测中空间和时间分辨率的不足。调查站位和航行路线如图 1 所示(以 T 开头的站位仅为命

名方便而加入)。根据所测资料, 绘制出各个走航断面的表层温度、盐度分布曲线, 其中原始数据经过了 11 点滑动平均, 以去掉曲线上的毛刺。本文结合几个有代表性的断面着重分析调查期间该海区相关的海洋现象。

调查期间共获得了 50 多个站位的 CTD 温、盐剖面数据<sup>1)</sup>, 可以弥补走航观测只限于表层的不足。本文基于此数据绘制了部分断面的温度、盐度断面图, 为走航观测所反映的海洋现象提供必要的佐证。为反映调查期间该海区风场对海洋要素的影响, 本文还使用 QuikScat 海面风场资料(网址为 <http://www.ssmi.com>)。其空间分辨率为  $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ , 时间分辨率为 1d, 可以清楚地反映调查期间海面风场的分布和变化。

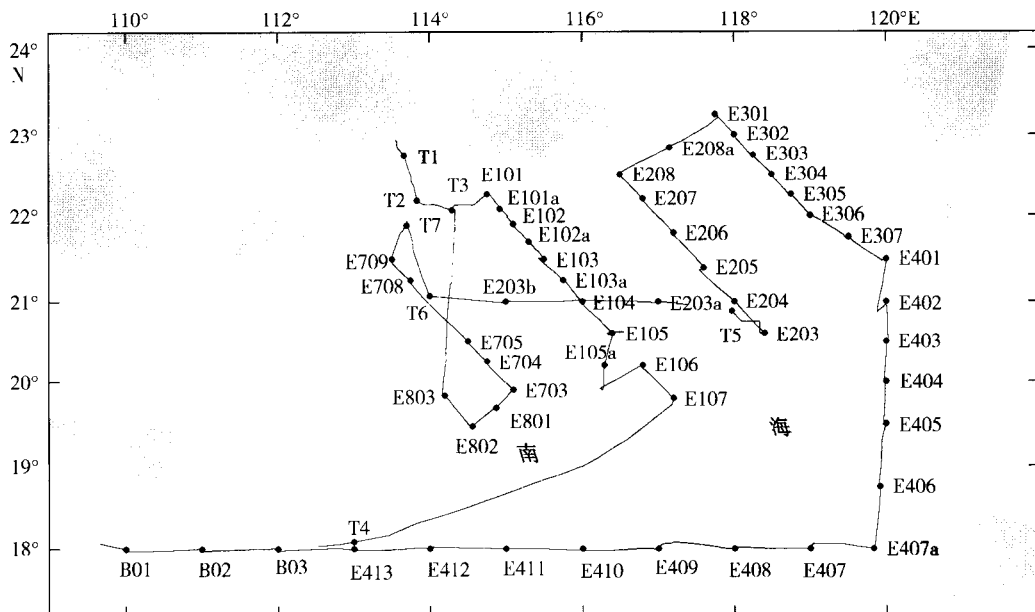


图 1 2006 年 9 月南海北部开放航次站位和航线图

Fig. 1 Stations and cruise track of joint survey of northern South China Sea in September 2006

## 2 季风转换前后的珠江冲淡水

珠江的年平均径流量为 3 091 亿  $\text{m}^3$ , 夏季是年内降水集中、雨量最多、径流量最大的季节, 大量的淡水通过珠江口汇入南海北部的陆架区, 在表层 10m 以上形成低盐混合水<sup>[5]</sup>。本次调查的时间处于 9 月, 正值夏末秋初的季风转向、降雨量和径流量减少的时期, 且航次的初期和后期两次经过珠江口区域, 可很好地抓住在这一转换时期内珠江冲淡水的变化特征。

航次初期, 经由 T1—T2、T2—E101、

E101—E105 三个断面获得了珠江口及其邻近海域的表层温度、盐度资料, 各断面的表层温盐分布曲线如图 2、图 3 所示。T1—T2 断面自虎门至大屿山附近, 南北贯穿了整个伶仃洋, 体现了水体性质由淡水转变为沿岸水的过程。由图中的温盐曲线可以看出, 从河口到外海, 温度由  $30.3^{\circ}\text{C}$  持续降低至  $27.2^{\circ}\text{C}$ , 而盐度则由 2.0 迅速增加到 29.0 左右, 达到一个较典型的混合水的盐度值。T2—E101 断面自西向东, 温度由  $27.0^{\circ}\text{C}$  逐渐回升至  $29.2^{\circ}\text{C}$ , 盐度值则在 27.0—32.0 之间有较大的波动, 反映出该区域水团混合的不均匀性。由于季风等因素的影响, 夏季珠江冲淡水在陆架区向东和向

1) 毛华斌, 陈荣裕. 2006 年 9 月南海北部开放航次科学调查物理海洋数据报告. 中国科学院南海海洋研究所 LED 实验室, 2006.

东南的扩散势力比较强，混合水在粤东沿海盘踞较大的区域<sup>[1]</sup>。若以 32.0 等盐度线作为混合水和外海高盐水的分界，T2—E101 断面仍处于低盐混合水的控制范围。E101—E105 断面从陆架区向东南的陆坡区延伸，沿此断面温度保持在 29.0—30.5℃ 之间，并有一定的波动；盐度在靠近陆架的部分与 T2—E101 断面相同，保持在 29.0—30.5 左右，并有较大的起伏，仍表现为低盐混合水，而在外海的一侧则完全体现出南海外海水的高盐属性，盐度稳定地保持在 33.0 以上。在 E103a 站和 E105 站之间(距离大约 80km)，盐度从 29.5 迅速增加到 33.0 以上，形成一个显著的盐度锋面。

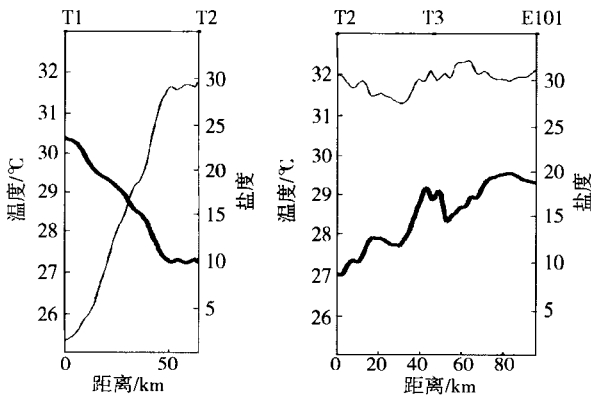


图 2 断面 T1—T2、T2—E101 的表层温度(粗线)、盐度(细线)分布曲线

Fig. 2 Surface temperature (thick line) and salinity (thin line) along sections T1—T2 and T2—E101

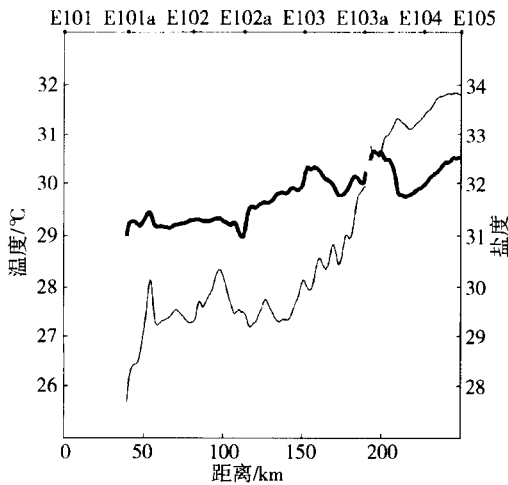


图 3 断面 E101—E105 的表层温度(粗线)、盐度(细线)分布曲线

Fig. 3 Surface temperature (thick line) and salinity (thin line) along section E101—E105

从以上 3 个断面的盐度分布可以看出，9 月上旬珠江冲淡水的控制范围仍然很大，可以达到沿 E101—E105 断面离岸约 200km 的区域，对比以往

的调查数据，这在历年的珠江冲淡水影响势力中都算较大的一次<sup>[1,2]</sup>。另外，基于 CTD 盐度数据，E101—E105 上层海水盐度断面图(图 4)清楚地表现出冲淡水在垂直方向上的分布特征，仍以 32.0 等盐度线为划分界线，冲淡水在此断面上集中地分布在深度 10m 以上。

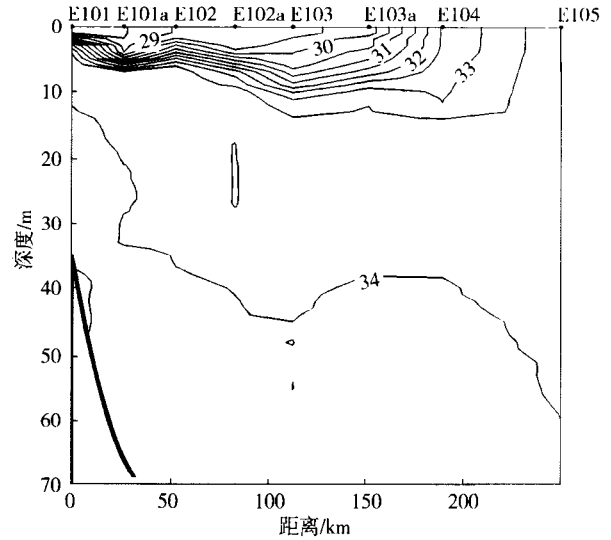


图 4 断面 E101—E105 的盐度分布断面图

Fig. 4 Salinity distribution of section E101—E105

9 月是南海北部季风转换的月份，夏季持续的西南季风转变为东北季风，降水和河流径流也有所减少，同时风向和平均风速的变化也通过改变环流和上层海洋混合等机制影响着南海北部的水文特征<sup>[1]</sup>。图 5 是根据 QuikScat 海面风场资料计算出的 2006 年 8—10 月南海北部区域(112°—118°E, 20°—23°N)的平均风速矢量。由图中可以清楚地看到，从八月初到 9 月上旬该海区的风向基本为南风，且 9 月上旬为持续的西南风；9 月 9 日之后风向突变为东北风，并在此后直到 10 月下旬维持东北风的风向基本不变。从风速大小来看，总体上东北风的风速大于季风转换之前南风的风速，特别是 9 月中、下旬风速较大，平均风速可达 10—15m · s<sup>-1</sup>。

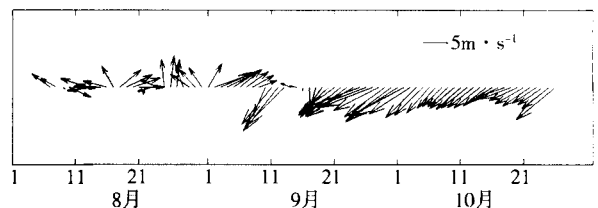


图 5 2006 年 8—10 月 112°—118°E、20°—23°N 区域平均的 QuikScat 海面风场

Fig. 5 Area (112°—118°E, 20°—23°N) averaged QuikScat wind from August to October of 2006

航次后期对珠江口附近海区的第 2 次走航观测在 9 月的下旬, 此时的表层温盐特征有了显著的变化。T3—E803 断面从珠江口向南延伸, 并且与航次初期的 T2—E101 断面相交于 T3 站, 故可以给出季风转变前后同一位置的水文特征变化。从图 6 可以看出, 该断面的表层温度整体上有降低, 范围在 27.0—28.5℃ 之间, 并且呈现出近岸低、外海高的趋势, 可见北部较强的东北季风给上层海洋造成较强的湍流混合, 并通过夹卷作用带来显著的降温。另一个显著的现象是, 整个断面的表层盐度都保持在 33.5—34.0 之间, 呈现外海高盐水的特征, T3 站位的盐度季风转换前后从 30.0 左右跃变为 33.5 以上。珠江口外的另一个断面 T7—T6 的温盐曲线(图略)也表现出相同的特征, 温度有近岸低、外海高的趋势, 盐度普遍在 33.0 左右。由此可见, 此时珠江口外大范围的低盐混合水都被外海的高盐水所替代。由于走航测线多次经过珠江口附近区域, 且有较长时间的停留, 故排除了潮汐因素造成这种盐度变化的可能。一方面, 降水量减少导致的珠江径流量减少在一定程度上限制了冲淡水的势力; 另一方面, 夏季冲淡水一般在表层 10m 之内, 强劲的东北季风造成的湍流混合也破坏了淡水在高盐水之上的稳定层结, 从而使表层盐度有较大的提高。

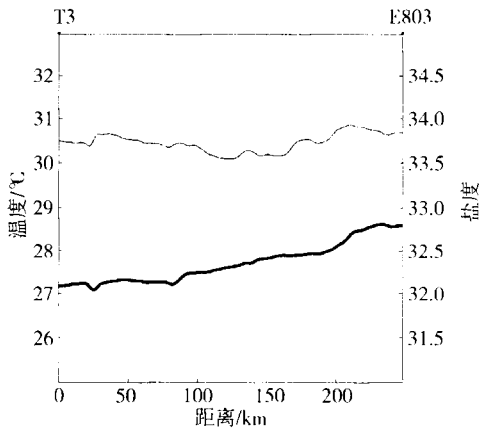


图 6 断面 T3—E803 的表层温度(粗线)、盐度(细线)分布曲线

Fig. 6 Surface temperature (thick line) and salinity (thin line) along section T3—E803

### 3 闽南—台湾浅滩上升流

图 7 是断面 E301—E307 的表层温度、盐度分布曲线, 该断面呈 NW-SE 方向, 横贯台湾海峡的南部, 并且中间 E304 站附近的区间穿过水深较浅的台湾浅滩。从图中的温度分布来看, 近岸的

E301—E302 之间有一个低温区, 温度约为 26.8℃, 而 E302—E303 之间是一相对高温区, 温度约为 28.0℃, 二者之间形成一个狭窄的温度锋面。对应此区间的温度变化, 盐度分布曲线有基本相反的趋势, 即近岸有一高盐区, 向远岸盐度有下降的趋势, 但盐度的锋面并不明显。除近岸有一低温高盐区之外, 在距离 E301 站位 80—130km 的区间(E304 站附近)也存在一个明显的低温高盐区, 此区域的温度略高于 27.0℃, 而两侧的相对高温区温度在 28.0℃ 以上, 于是在距离 E301 站位 80km 和 130km 的位置分别又形成 2 个温度锋面。盐度的分布曲线同样显示出相反的趋势, 但锋面不明显, 并在外海区域维持在 33.5 以上的较高盐度。总的来说, 此断面的表层温盐有较多的起伏, 温度和盐度分布的趋势相反, 存在 2 个明显的低温高盐区域, 而这 2 个区域又恰好分别位于闽南和台湾浅滩的上升流所在位置。前人的调查研究显示<sup>[6-8]</sup>, 闽南的东山岛东南侧和台湾浅滩南部分别存在一个活跃的上升流中心, 其中东山岛近岸的上升流多发于夏季 6—8 月; 台湾浅滩南部的上升流位置远离陆地, 并在一年当中的持续时间较长, 更加稳定。这两处上升流的位置与本文 E301—E307 断面观测到的 2 个低温高盐区所在位置完全吻合, 但要确认这 2 处上升流的存在, 仍需 CTD 剖面数据加以验证。

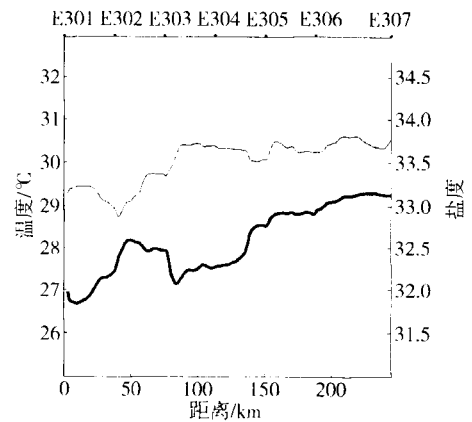


图 7 断面 E301—E307 的表层温度(粗线)、盐度(细线)分布曲线

Fig. 7 Surface temperature (thick line) and salinity (thin line) along section E301—E307

图 8 是基于 CTD 数据绘制的 E301—E307 温度、盐度分布断面图。图中显示在近岸的 E301 站附近确实有低温高盐水的存在, 但此处的温、盐垂直分布非常均匀, 不存在上升流时期等温线和等盐度线向岸倾斜的特征, 故走航观测在此处得到的表层低温高盐水不是由下层低温高盐水的涌升造成, 所以无法确认此处上升流的存在。在 E304 站附近

的区域,断面图也显示出了低温高盐水的存在,等温线在该区域有沿陆坡爬升的趋势,底层的冷水沿陆坡向上涌升,其影响可达到表层,使得 E304 站表层温度低于旁边两个站位;此处的盐度分布也反映出底层高盐水向上涌升的趋势,但不及温度分布的特征明显。

由于闽南沿岸的海岸线与该区域夏季风方向平行,Ekman 效应带来的表层海水离岸输运是形成近岸上升流的重要因素,但上升流的位置和强度受到季风、海面高度、海底地形、海流多种因素的影响,各种因素之间的主次关系有时并不明显,而且

还存在各种因素之间的相互作用。综合闽南—台湾浅滩上升流的发生位置和时间分布的特点,多数作者还是认为地形对海流的抬升作用是该区域产生稳定上升流的最主要原因<sup>[4,9]</sup>。本次调查对 E301—E307 断面的观测在 9 月下旬进行,根据 QuikScat 风场资料的显示,9 月上旬季风发生转向,下旬闽南和台湾海峡已经处于东北季风的控制,故观测所得的台湾浅滩上升流是由海流-地形效应造成。而此时东山外海 E301 站附近的区域已经无法观测到上升流的迹象,表明西南季风对于此处产生沿岸上升流的重要性。

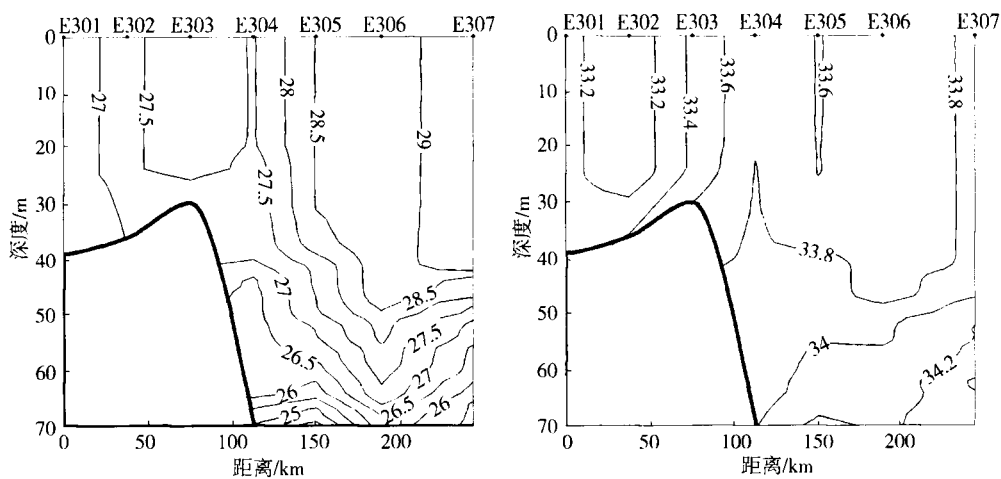


图 8 E301—E307 温度(a)、盐度(b)分布断面图

Fig. 8 Temperature (a) and salinity (b) distributions of section E301—E307

#### 4 结语和讨论

QuikScat 遥感的海面风场资料清楚地体现了 2006 年 9 月南海北部由西南季风转变为东北季风的过程,本文的表层温、盐走航观测则给出了在这一季风转变的特殊时期该海区表层的水文特征。

(1) 珠江冲淡水的扩散势力在季风转变后有极大的减弱,西南季风时期表层低盐水延伸出珠江口东南方向约 200km 的范围,而东北季风爆发后受径流量、表层环流的影响,珠江口附近海区表层盐度有显著的升高,显示出外海高盐水的特征。强劲的东北季风同时带来较强的上层湍流混合,在该海区带来大幅度的降温。

(2) 调查期间闽南的东山岛近岸和台湾浅滩南部区域分别有表层低温高盐水的存在,CTD 资料表明台湾浅滩南部区域存在上升流,但东山岛近岸并无上升流存在的迹象。由于此时该海区受东北季风控制,台湾浅滩南部的上升流不可能由风应力的 Ekman 效应产生,进一步证实海流-地形效应造成

的底层水受迫抬升是调查期间该上升流的成因。

#### 参考文献:

- [1] 庞海龙,高会旺,宋萍萍,等. 夏季珠江冲淡水扩散路径分析[J]. 海洋预报, 2006, 23(3): 58—63.
- [2] 曾滢宁,胡建宇,洪华生,等. 西南季风不同阶段南海北部珠江口外断面水文调查分析[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(3): 10—17.
- [3] 于文泉. 南海北部上升流的初步探讨[J]. 海洋科学, 1987, (6), 7—10.
- [4] 颜廷壮. 中国沿海上升流成因类型的初步划分[J]. 海洋通报, 1991, 10(6):
- [5] 苏纪兰,袁业立. 中国近海水文[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [6] 付子琅. 台湾海峡的上升流[J]. 海洋科学, 1984, (2): 52—54.
- [7] 杨玉玲,吴永成. 台湾海峡西部沿岸上升流的中心位置和共同特征探讨[J]. 海洋科学, 1996, (6): 44—49.
- [8] 吴日升,李立. 南海上升流研究概述[J]. 台湾海峡, 2003, 22(2): 270—277.
- [9] 吴永成,翁学传,杨玉玲. 台湾海峡西部上升流的生成和长消原因分析[J]. 海洋科学集刊, 1997, (38): 53—59.