

# 春季长江口外上升流的月际变化 ——以 123°E 断面为例

要 津<sup>1,2,3</sup>, 王珍岩<sup>1,2,4</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 上升流是长江口外海域的重要水文现象, 为深入了解该海域上升流的活动特征及其月际变化, 于 2015 年春季(4 月、5 月和 6 月)对长江口外海域的水文环境进行逐月综合调查, 并以 123°E 断面为例进行分析。结果显示, 在春季调查期间, 长江口外海域始终存在上升流现象, 是由台湾暖流挟带底层高盐海水自南向北不断推进, 并在长江口外海域沿海底斜坡涌升而形成。上升流强度在春季逐月增大, 表现为: 上升流涌升高度逐月变浅, 至 6 月高盐上升流水体的涌升高度已普遍抬升到约 15 m 以浅水层, 最高达到约 10 m 水深处; 其影响范围不断向北扩展。春季, 上升流活动区上层海水的温、盐特征逐渐由相对低温、高盐转变为高温、低盐; 位于下层的上升流水体的温、盐特征比较稳定, 变化幅度较小; 上升流活动区的温、盐跃层现象总体呈现出逐月增强的趋势, 盐度跃层现象尤为显著, 其水平分布呈现出自南向北逐月扩大的变化趋势; 跃层深度不断抬升。调查结果的月际变化特征表明, 台湾暖流北进强度的逐月增大是导致春季长江口外上升流活动不断增强的主要因素; 随着春季低盐长江冲淡水的强度和范围逐月增大, 其与下层上升流挟带的高盐涌升水之间的跃层效应逐渐增强, 对下层上升流的涌升有抑制作用; 春季苏北沿岸流活动对该海域上升流现象的影响不显著。

**关键词:** 上升流; 水文特征; 长江口; 春季

中图分类号: P736.21; P731.16; P731.21

文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)10-0001-09

DOI: 10.11759/hyxx20170307002

上升流是海洋中深层水体向海表涌升的水文现象, 能把深层水体中的营养盐带到上部水层, 促进上层水体中浮游生物生长<sup>[1-2]</sup>, 因此上升流区一般会形成渔场, 具有较大的经济价值。海洋上升流区通常形成富含有机质、硅质和磷酸盐矿物等沉积区, 经历漫长的地质时期后可形成独特的生源矿产资源<sup>[3-6]</sup>。在现代海洋环境中, 上升流的存在会对海洋悬浮体的运输和沉降产生重要影响<sup>[7-8]</sup>。一些学者认为上升流活动是促进陆架海区海底泥质区形成的重要因素<sup>[9-10]</sup>。前人研究指出, 在长江口外 122°20'~123°10'E、31°00'~32°00'N 范围内存在稳定的上升流现象<sup>[11-13]</sup>, 是由 Ekman 作用、斜压效应和潮汐混合等多种动力因素引起台湾暖流沿河口外斜坡涌升而形成的<sup>[14-16]</sup>。长江口外上升流区终年存在, 通常认为其强度具有“夏强冬弱”的季节性变化特征<sup>[11-12, 17]</sup>。春季的长江口及其邻近海域常常是赤潮等生态灾害的高发区<sup>[18-19]</sup>。韦钦胜等<sup>[20]</sup>的调查结果表明长江口外缺氧区的生消过

程及其季节性变化与上升流活动密切相关。春季是长江口外上升流活动由弱(冬)变强(夏)的过渡季节。对春季长江口外上升流现象进行逐月调查和分析, 对于深入了解该海域上升流现象的季节变化规律、深刻理解其形成机制、综合环境效应以及现代沉积学研究等具有重要意义。

## 1 材料与方 法

分别于 2015 年 4 月 10—25 日、5 月 12—24 日、

收稿日期: 2017-03-07; 修回日期: 2017-04-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(41476045); 中国科学院战略性先导科技专项(A 类)(XDA11020600, XDA11030103)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41476045; Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No. XDA11020600, No. XDA11030103]

作者简介: 要津(1988-), 女, 吉林白城人, 硕士研究生, 主要从事海洋沉积学研究, E-mail: yaojin13@mails.ucas.ac.cn; 王珍岩(1972-), 通信作者, 男, 副研究员, E-mail: zywang@qdio.ac.cn

6月15—29日先后搭载“科学三号”、“北斗号”考察船对长江口及其邻近海域的春季海洋环境进行综合调查。其中123°E断面沿123°E经向布设,由6个调查站位构成,纬度范围纵跨30°00′~32°30′N(图1)。前人研究结果显示,123°E断面纵切长江口外上升流区,是开展长江口外上升流现象研究的重要断面<sup>[11-12]</sup>。本次调查中,使用SeaBird公司SBE9/17CTD进行现场剖面水文观测,获得各站位垂向的温度、盐度和深度观测数据(因仪器原因,缺少6月航次的6号站数据)。使用SBE Data Processing软件对观测数据进行校正处理和质量控制,将数据按1m层平均进行处理;使用ArcGIS、Grapher等软件对各月份的水文观测数据进行绘图分析。

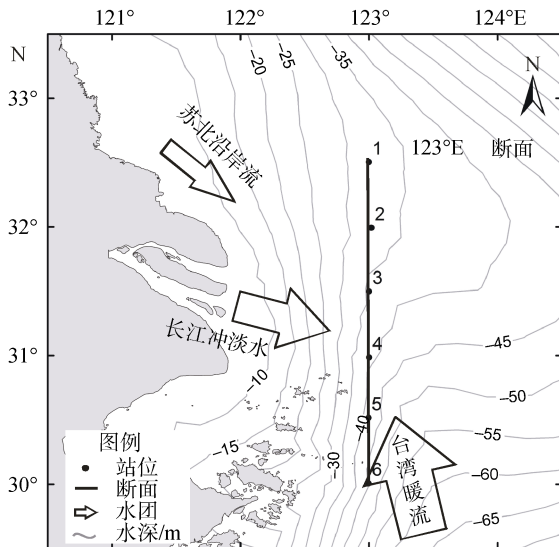


图1 研究区域主要水团及站位、断面分布(据文献[21])

Fig. 1 Major water masses and sampling stations in the study area (based on [21])

## 2 结果

### 2.1 春季123°E断面的上升流现象

将春季在123°E断面的水文调查结果绘制为图2。总体上,123°E断面的水深呈北浅南深的特征,其中断面中南部(3—5号站)存在一个海底地形斜坡,断面北部(1—3号站)是较为平坦的浅水区。

调查结果显示,4月123°E断面的海水混合程度较强,断面北部浅水区上、下层水体的温、盐特征比较一致,其水温小于14°C,盐度约为32;断面南部水体的温度、盐度略高于北部,最高温度可达15°C以上,盐度最高达到33左右,且南部深层水在近地

形斜坡处存在温、盐等值线上凸的现象,反映出有一股相对高温、高盐的深层水体沿海底斜坡北进、涌升的趋势,形成强度较弱的上升流。同时,在断面南部的上层水体中还出现较弱的盐度跃层。

5月,123°E断面的水体出现明显的层化现象。上层低盐海水的最低盐度值约为27;南部下层水体为高盐水,其31~34范围等盐线的分布呈现出沿地形斜坡向表层涌升的特征;上、下层水体之间形成较强的盐度跃层,跃层下界沿着海底斜坡由南至北向上倾斜。南部海水的温度整体大于16°C,明显高于北部。123°E断面的温度和盐度分布特征反映出该海域在5月已出现涌升特征非常显著的上升流现象。

6月的温、盐分布图表明,该海域在上层水体中已普遍出现强烈的温度和盐度跃层。跃层以上的海水温度最高约23°C,盐度最低约22;跃层以下水体呈现出相对低温、高盐的特征,温度约为19°C,盐度可达34以上。盐度大于31的高盐水几乎布满整个断面的15m以深水层,断面南部深层水体的33等盐线已抬升至20m层附近,31等盐线普遍达到约10~15m水层,可见上升流水体的活动范围已得到进一步扩大。

以上结果表明,2015年春季长江口外海域一直存在上升流现象,主要是由一股自南向北运动的深层高盐海水沿长江口外地形斜坡爬升而形成。该上升流的存在影响了123°E断面的温、盐分布,使上升流活动区的上、下层水体之间逐渐形成明显的温度、盐度跃层。上升流水体的活动范围也在不断扩大,到6月已几乎布满整个调查断面海域。

### 2.2 长江口外上升流的月际变化

调查结果显示(图2),4月份在123°E断面已经存在较明显的上升流现象,出现在断面南部4、5、6号站附近,其活动深度大致达到30m水深处。至5月份,上升流水体自南向北推进到3号站以北海域,其影响水深可达20m处,其中3号站的高盐水体最高涌升到约15m水深处。6月,盐度大于31的高盐水体已扩展至2号站以北海域,表明上升流水体北进涌升并越过海底斜坡后,已几乎贯穿整个123°E断面;上升流水体的影响深度则普遍抬升到15m以浅水层,在3号站最高达到约10m水深处。

各站位的温度剖面(图3)显示,123°E断面上、下层水体的温度在4、5、6月份均有逐月升高的趋势。相比而言,上层水体升温较快,温度最高到22°C以

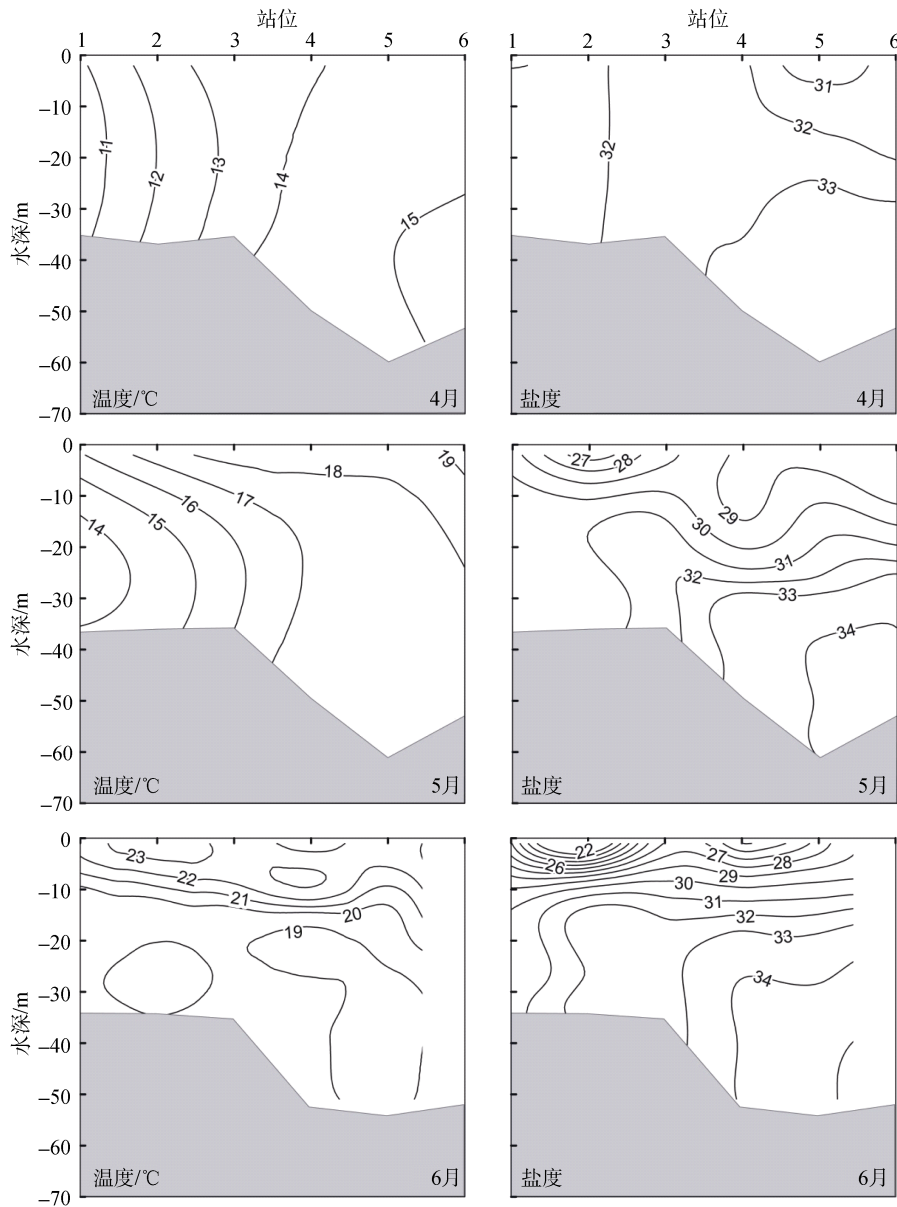


图2 春季4、5、6月份 123°E 断面的温度、盐度分布图  
 Fig. 2 Sectional distributions of seawater temperature and salinity in spring

上; 3 号站以南为上升流区, 其深层上升流水体升温幅度较小, 水温变化范围在 15~19°C。断面上层海水的盐度值均呈逐月快速降低趋势, 尤其是 2、3、4 号站附近上层海水的盐度呈逐月快速下降特征, 最低盐度为 22 左右; 下层海水的盐度略有升高, 特别是位于上升流区 4、5、6 号站深层海水的盐度呈明显逐月升高趋势, 但升高幅度较小, 盐度变化范围在 31~34.3。由此可见, 春季该海域受来自外海的深层高盐水的影响在逐月增强, 上升流活动强度在不断增大(图 3)。

上述结果表明, 在春季调查期间, 123°E 断面上

层海水的温、盐特征变化较大, 在 4、5、6 月份逐渐由相对低温、高盐转变为高温、低盐特征; 深层上升流水体的温、盐特征尽管也存在月际变化, 但变化幅度相对较小, 温、盐性质相对稳定, 导致与上层海水相比, 4、5 月份上升流水体的温度相对较高, 而 6 月份的温度却略低于上层海水。另外, 图 2、图 3 的调查结果也显示, 4 月份调查区海域的垂向温、盐分布特征比较均匀, 跃层现象不显著, 仅在断面南部区上层出现较弱的盐度跃层; 5 月份在断面上出现较强的盐度跃层, 盐跃层沿上升流涌升方向整体呈向北抬升趋势; 6 月, 调查断面普遍存在温、盐跃层, 跃层

下界整体抬升至 15 m 水深以浅, 温、盐梯度显著增大。因此, 春季 123°E 断面的温、盐跃层范围总体呈

自南向北逐月扩大的变化趋势, 跃层深度不断抬升, 强度逐月增大。

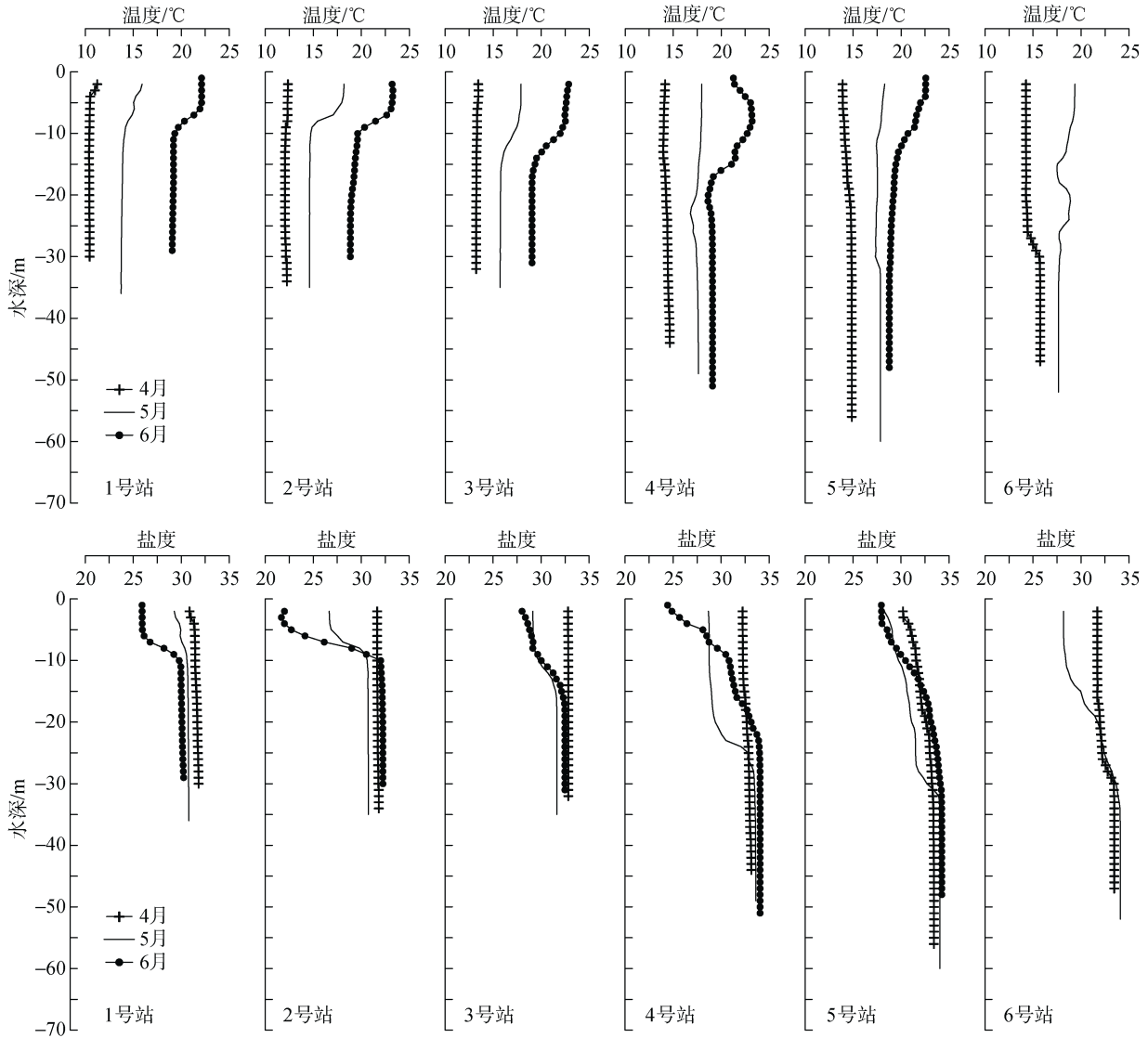


图 3 各站位温度和盐度剖面月际变化

Fig. 3 Monthly changes in the temperature and salinity at each sampling station

### 3 讨论

长江口海域位于黄、东海交界区, 其水文环境主要受长江冲淡水、苏北沿岸流和台湾暖流等水团活动的控制<sup>[21-22]</sup>。因此, 分别分析上述因素对春季长江口外上升流活动及其月际变化的影响。

#### 3.1 台湾暖流对长江口外上升流的影响

长江口外海域的上升流水体主要来自于高温、高盐的台湾暖流水<sup>[14-16, 23]</sup>。台湾暖流活动具有显著的季节性变化特征。在秋、冬季, 台湾暖流由来自台

湾东北部的黑潮水组成<sup>[24-25]</sup>, 向北最远可至 30°30'N 附近<sup>[25]</sup>。在暖季(4—9 月份), 根据台湾暖流的温、盐性质可将其分为台湾暖流表层水和台湾暖流深层水<sup>[26]</sup>。其中, 暖季的台湾暖流表层水由台湾海峡水和黑潮水两部分组成, 夏季表层水的北侵势力减弱, 水温升高, 盐度下降<sup>[22-25]</sup>; 台湾暖流深层水来自黑潮次表层水, 具有低温、高盐的特征<sup>[25]</sup>, 其夏季北侵势力增强<sup>[17, 27]</sup>, 主体温、盐特征值分别为 19°C、34.4<sup>[28]</sup>, 春季其活动范围最远可达 32°N 附近<sup>[29]</sup>。

调查结果显示(图 4), 4 月份 123°E 断面北部(3 号站以北)上、下层水体的温、盐分布特征比较均匀,

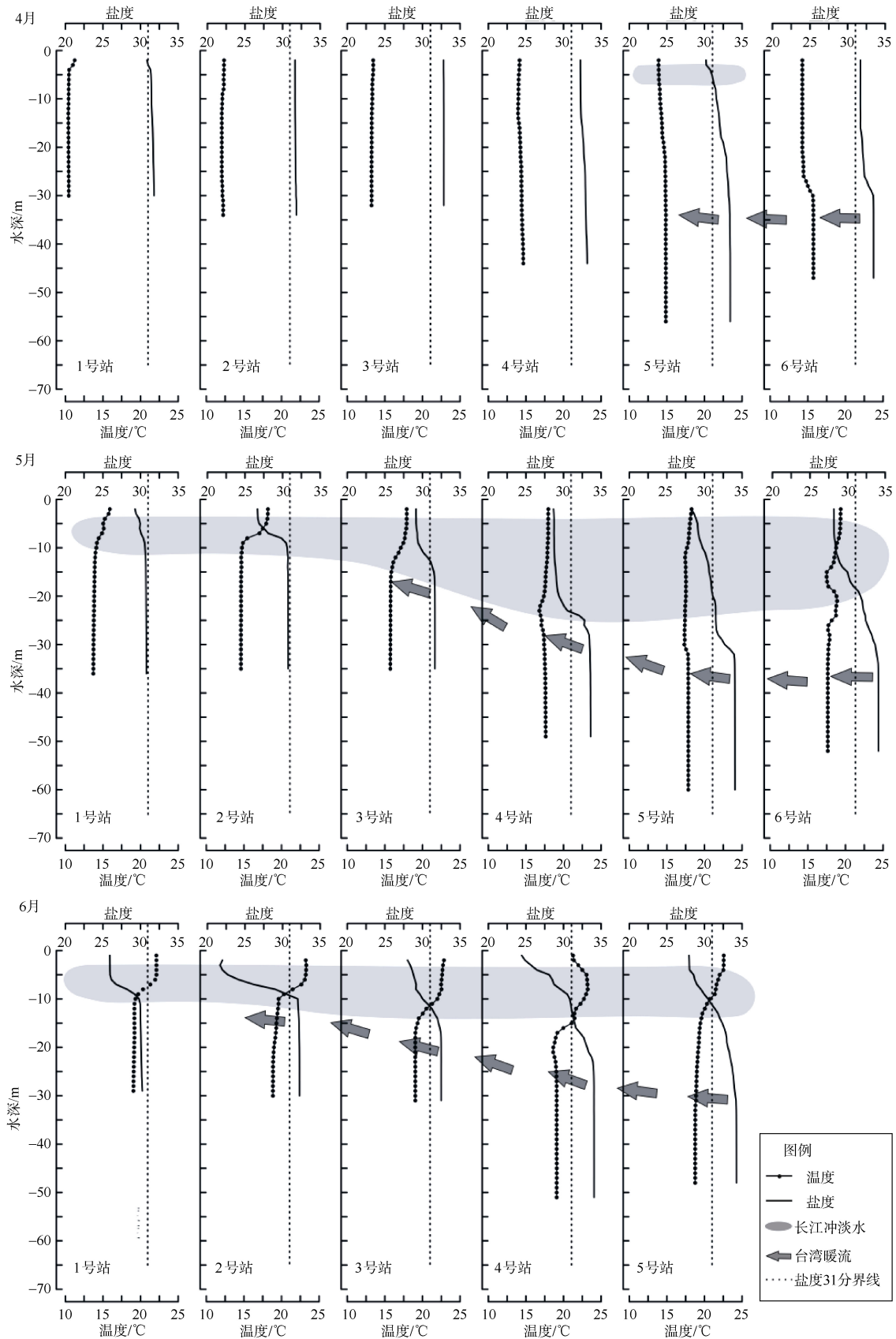


图4 春季不同月份各调查站位的温、盐特征及其变化趋势

Fig. 4 Vertical distributions of temperature and salinity of each sampling station in spring



难以识别出不同水团的影响,反映出该海域在初春季节受季风强混合作用的影响仍然较大;但是,在断面最南部的逆温跃层以下仍然可观测到盐度值大于 34、温度高于 15℃的台湾暖流水迹象。5 月,台湾暖流的北进范围急剧增大,沿其自南向北的运动方向,温盐跃层的深度呈逐渐升高趋势,反映出台湾暖流在其北进过程中沿长江口外海底斜坡不断涌升形成上升流,在 3 号站海域最高涌升至约 15 m 水深处。6 月,台湾暖流的北进范围进一步扩大,盐度值大于 31 的高盐水抵达 2 号站以北;其涌升高度进一步抬升,整个断面各站位的高盐水体均涌升至 15 m 以浅水层(6 月份 6 号站数据缺失)。上述分析表明,台湾暖流不仅是春季长江口外上升流现象的主要水体来源,其北进运动的季节性变化过程也是导致该海域上升流现象呈现出月际变化特征的主要因素。

### 3.2 长江冲淡水对长江口外上升流的影响

长江冲淡水是指长江径流带来的淡水在冲出口门后浮于盐度较高、密度较大的口外海水之上,以盐度低、密度小为主要特征,通常以 31 盐度值作为区分其外边界的特征参数<sup>[30-33]</sup>。长江冲淡水在东海陆架区的扩展具有明显的季节变化特征:夏季最强,扩展范围最大;秋、冬势力较弱<sup>[34-36]</sup>。其中,冲淡水在夏季势力最强时,东海表层低盐海水的厚度约 10~15 m 左右<sup>[34]</sup>。春季是长江冲淡水由弱到强的过渡季节,其东向扩展范围可达 123°E 附近海域<sup>[37]</sup>,且在春末开始转向东北远岸方向扩展<sup>[33-34]</sup>。

本文调查结果显示(图 2),春季 123°E 断面上层低盐冲淡水(盐度小于 31)的分布范围同样存在月际变化过程。4 月份在 123°E 断面南部 5 号站附近海域的近表层存在少量的低盐水现象;5 月,调查区海域表层海水盐度值不断下降,低盐水范围明显扩大;到 6 月份其盐度最低达到 22 左右,低盐水分布范围几乎遍布整个断面的海表水层(图 2)。据长江水资源公报,近河口的大通站在 2015 年 4、5、6 月的径流量分别为约 702、844 和 1 341 亿 m<sup>3</sup>,表明 6 月份长江径流带来的冲淡水量出现显著增高<sup>[38]</sup>。由于春季气温逐月升高,入海冲淡水的径流量剧增,使得受冲淡水影响的表层低盐水体的温度也快速升高,而来自台湾暖流的底层水体的温、盐性质则相对稳定,导致 123°E 断面的上升流水体的温度在 6 月份转为略低于上层海水,最终表现出相对于表层海水,上升水体由 4、5 月份呈“暖水”特征转为在 6 月份

呈现出“冷水”特征。随着低盐冲淡水对调查区的影响逐月增大,其与下层台湾暖流带来的高盐涌升水之间的跃层效应愈发显著(图 2)。5 月份上升流的涌升高度(以 31 等盐线为界)已在局部(3 号站)达到约 15 m 水深处,涌升水的前缘到达 2 号和 3 号站之间(图 2);到 6 月,其涌升高度普遍达到 10~15 m 水深处,相较 5 月略有升高,高盐涌升水的前缘已抵达近 1 号站海域,表明台湾暖流带来的底层高盐水在越过海底斜坡后大幅北进,而上升流的涌升高度受到跃层的抑制(图 2)。

### 3.3 苏北沿岸流对长江口外上升流的影响

苏北沿岸流是影响长江口海域水文环境的另一个重要水团来源。苏北沿岸流是由江苏北部的入海径流与沿岸海水混合形成的一股沿岸流<sup>[40]</sup>。苏北沿岸水具有高温、低盐的特征<sup>[40-41]</sup>,一年中大部分时间向东南流动,冬季最远可达济州岛附近海域<sup>[21]</sup>。春季其表层平均温度、盐度约为 18.3℃、29.7;底层其温、盐平均值约为 17.2℃、31.2,向南可达 33°N 附近海域<sup>[41-42]</sup>。夏季苏北沿岸流受到西南季风的影响,扩散范围较冬季小<sup>[21]</sup>,并在长江口北部海域转向东北方向流动<sup>[42-44]</sup>。

本文调查的 123°E 断面最北端的 1 号站位的纬度约为 32°30'N(图 1),接近春季苏北沿岸流的影响区范围。调查结果显示(图 4),123°E 断面在 4 月份其北部为低温、高盐水体,上下水层混合比较均匀;5 月开始在断面北部表层海水中出现明显的低盐冲淡水现象,下层海水的温、盐特征呈现出受上升流挟带的低温、高盐水影响的迹象,没有表现出苏北沿岸流所具有的高温、低盐特征;6 月,123°E 断面的表层水体总体受高温、低盐的长江冲淡水的影响,底层则受北进的低温、高盐的台湾暖流水所控制。因此,春季苏北沿岸流对本文 123°E 断面水文环境的作用较弱,没有对该海域的上升流活动产生明显影响。

## 4 结论

本文以 2015 年春季(4、5、6 月份)在长江口外海域上升流区开展海洋环境调查获得的资料为依据,通过对 123°E 断面水文环境特征及其月际变化规律进行分析,获得如下结论:(1)2015 年春季长江口外海域始终存在上升流现象。该上升流现象由台湾暖流挟带底层高盐海水自南向北推进,在长江口外海域沿海底斜坡涌升而形成。(2)春季长江口外上升流

活动呈现逐月增强的变化趋势, 表现为上升流涌升高度逐月变浅, 影响范围逐月扩大。上升流活动区上层海水的温、盐特征变化较大, 由相对低温、高盐逐月转变为高温、低盐; 下层上升流水体的温、盐特征变化较小, 相比于变化幅度较大的上层海水其在 4、5 月份表现为相对高温、高盐的特征, 而在 6 月份则表现为相对低温、高盐的特征。(3)春季上升流活动区的温、盐跃层现象呈现出逐月增强的趋势, 特别是盐度跃层现象比较显著; 海区跃层特征在 4 月份比较微弱, 出现在调查断面的南部海域; 5、6 月份比较显著, 跃层出现范围呈现出自南向北逐月扩大的趋势, 跃层深度不断抬升。(4)台湾暖流月际变化是影响该海区春季上升流活动的主要因素。台湾暖流的北进范围不断扩大, 沿长江口外海域海底斜坡的涌升强度逐月增大, 导致上升流活动的强度和范围也逐月增加。(5)随着春季低盐长江冲淡水的影响逐月增大, 使其与下层高盐涌升水之间的跃层效应逐渐增强, 对下层上升流的涌升有抑制作用, 其涌升的上界水深范围最大到约 10 m 水深处。同时, 作为长江口附近的另一重要水团, 苏北沿岸流对该海域上升流现象的影响不显著。

致谢: 感谢 2015 年春季航次中国科学院海洋研究所“科学三号”考察船和中国水产科学研究院黄海水产研究所“北斗号”考察船全体船员和科考队员对海上调查工作提供的支持和帮助。中国科学院海洋研究所李铁刚研究员、俞志明研究员和于非研究员对作者参与本航次调查工作提供了诸多指导和帮助, 谨致谢忱。

#### 参考文献:

- [1] Chen Y L L, Chen H Y, Gong G C, et al. Phytoplankton production during a summer coastal upwelling in the East China Sea[J]. *Continental Shelf Research*, 2004, 24(12): 1321-1338.
- [2] Jiang Z B, Chen J F, Zhou F, et al. Controlling factors of summer phytoplankton community in the Changjiang (Yangtze River) Estuary and adjacent East China Sea shelf[J]. *Continental Shelf Research*, 2015, 101: 71-84.
- [3] Parrish J T, Curtis R L. Atmospheric circulation, upwelling, and organic-rich rocks in the Mesozoic and Cenozoic eras[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1982, 40(1): 31-66.
- [4] 东野脉兴. 上升洋流与陆缘坻[J]. *化工矿产地质*, 1996, 18(3): 156-162.  
Dongye M X. Upwelling oceanic currents & epicontinental chi[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 1996, 18(3): 156-162.
- [5] 吕炳全, 王红罡, 胡望水, 等. 扬子地块东南古生代上升流沉积相及其与烃源岩的关系[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2004, 24(4): 29-35.  
Lü B Q, Wang H G, Hu W S, et al. Relationship between Paleozoic upwelling facies and hydrocarbon in southeastern marginal Yangtze Block[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2004, 24(4): 29-35.
- [6] Liu S M, Zhang J, Li D J. Phosphorus cycling in sediments of the Bohai and Yellow Seas[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 59(2): 209-218.
- [7] 杨作升, 郭志刚, 王兆祥, 等. 黄东海陆架悬浮体向其东部深海区输送的宏观格局[J]. *海洋学报*, 1992, 14(2): 81-90.  
Yang Z S, Guo Z G, Wang Z X, et al. Suspended matter in the Huanghai Sea and East China Sea shelf and macro-pattern of their being transported to the eastern deeper sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1992, 14(2): 81-90.
- [8] Gao S, Jia J J. Modeling suspended sediment distribution in continental shelf upwelling/downwelling settings[J]. *Geo-Marine Letters*, 2002, 22(4): 218-226.
- [9] Hu D X. Upwelling and sedimentation dynamics[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1984, 2(1): 12-19.
- [10] Qu T D, Hu D X. Upwelling and sedimentation dynamics[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1993, 11(4): 289-295.
- [11] 赵保仁. 长江口外的上升流现象[J]. *海洋学报*, 1993, 15(2): 106-114.  
Zhao B R. Upwelling phenomenon off Changjiang Estuary[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1993, 15(2): 106-114.
- [12] 裴绍峰, 沈志良. 长江口上升流区营养盐的分布及其通量的初步估算[J]. *海洋科学*, 2008, 32(9): 64-70.  
Pei S F, Shen Z L. The nutrient distribution and nutrient flux estimation in the upwelling area of the Changjiang estuary[J]. *Marine Sciences*, 2008, 32(9): 64-70.
- [13] 韦钦胜, 臧家业, 战闰, 等. 夏季长江口东北部上升流海域的生态环境特征[J]. *海洋与湖沼*, 2011, 42(6): 899-905.  
Wei Q S, Zang J Y, Zhan R, et al. Characteristics of the ecological environment in the upwelling area northeast of the Changjiang River Estuary[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(6): 899-905.
- [14] 白涛, 杨德周, 尹宝树. 夏季长江口外海区域上升流现象的数值研究[J]. *海洋科学*, 2009, 33(11): 65-72.  
Bai T, Yang D Z, Yin B S. Numerical study of upwelling of the Changjiang River Estuary and its adjacent sea area in summer[J]. *Marine Sciences*, 2009, 33 (11): 65-72.
- [15] Zhu J R. Dynamic mechanism of the upwelling on the west side of the submerged river valley off the Changjiang mouth in summertime[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(24): 2754-2758.

- [16] Lü X G, Qiao F L, Xia C S, et al. Upwelling off Yangtze River estuary in summer[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2006, 111(C11): S08.
- [17] Bai X Z, Hu D X. A numerical study on seasonal variations of the Taiwan Warm Current[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2004, 22(3): 278-285.
- [18] Zhou M J, Shen Z L, Yu R C. Responses of a coastal phytoplankton community to increased nutrient input from the Changjiang (Yangtze) River[J]. *Continental Shelf Research*, 2008, 28(12): 1483-1489.
- [19] Kong F Z, Xu Z J, Yu R C, et al. Distribution patterns of phytoplankton in the Changjiang River estuary and adjacent waters in spring 2009[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2016, 34(5): 902-914.
- [20] 韦钦胜, 王保栋, 陈建芳, 等. 长江口外缺氧区生消过程和机制的再认知[J]. *中国科学: 地球科学*, 2015, 45(2): 187-206.  
Wei Q S, Wang B D, Chen J F, et al. Recognition on the forming-vanishing process and underlying mechanisms of the hypoxia off the Yangtze River estuary[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2015, 45(2): 187-206.
- [21] Yuan D L, Zhu J R, Li C Y, et al. Cross-shelf circulation in the Yellow and East China Seas indicated by MODIS satellite observations[J]. *Journal of Marine Systems*, 2008, 70(1): 134-149.
- [22] Su Y S, Weng X C. Water masses in China seas[C]//Zhou D, Liang Y B, Zeng C K. *Oceanology of China Seas*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1994: 3-16.
- [23] 赵保仁, 李徽翡, 杨玉玲. 长江口海区上升流现象的数值模拟[C]//中国科学院海洋研究所. *海洋科学集刊*(45). 北京: 科学出版社, 2003: 64-76.  
Zhao B R, Li H F, Yang Y L. Numerical simulation of upwelling in the Changjiang River mouth area [C]// Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences. *Studia Marina Sinica*(45). Beijing, Science Press, 2003: 64-76.
- [24] Chen C T A, Sheu D D. Does the Taiwan Warm Current originate in the Taiwan Strait in wintertime? [J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2006, 111(C4): 153-172.
- [25] Qi J F, Yin B S, Zhang Q L, et al. Seasonal variation of the Taiwan Warm Current Water and its underlying mechanism[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2017, 35(5): 1045-1060.
- [26] 翁学传, 王从敏. 关于台湾暖流水的研究[J]. *青岛海洋大学学报*, 1989, 19(1): 159-168.  
Weng X C, Wang C M. A study on Taiwan warm current water[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1989, 19(1): 159-168.
- [27] Chuang W S, Liang W D. Seasonal variability of intrusion of the Kuroshio water across the continental shelf northeast of Taiwan[J]. *Journal of Oceanography*, 1994, 50(5): 531-542.
- [28] 翁学传, 王从敏. 台湾暖流深层水变化特征的分析[J]. *海洋与湖沼*, 1983, 14(4): 357-366.  
Weng X C, Wang C M. An analysis of variational characteristics of the deep water of Taiwan warm current[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1983, 14(4): 357-366.
- [29] 白虹, 王凡. 台湾暖流水和长江冲淡水在 32°N 断面和 PN 断面上的分布及其变化[C]//中国科学院海洋研究所. *海洋科学集刊*(50). 北京: 科学出版社, 2010: 11-22.  
Bai H, Wang F. Distributions and variations of the Taiwan Warm Current water and Changjiang diluted water along 32°N and PN sections [C]//Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences. *Studia Marina Sinica*(50). Beijing: Science Press, 2010: 11-22.
- [30] 毛汉礼, 甘子钧, 蓝淑芳. 长江冲淡水及其混合问题的初步探讨[J]. *海洋与湖沼*, 1963, 5(3): 183-206.  
Mao H L, Gan Z J, Lan S F. A preliminary study of the Yangtze diluted water and its mixing processes[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1963, 5(3): 183-206.
- [31] Lie H J. A note on water masses and general circulation in the Yellow Sea (Hwanghae)[J]. *J Oceanol Soc-Korea*, 1984, 19: 187-194.
- [32] Gong G C, Chen Y L L, Liu K K. Chemical hydrography and chlorophyll a distribution in the East China Sea in summer: implications in nutrient dynamics[J]. *Continental Shelf Research*, 1996, 16(12): 1561-1590.
- [33] 潘玉球, 王康塘, 黄树生. 长江冲淡水输运和扩散途径的分析[J]. *东海海洋*, 1997, 15(2): 25-34.  
Pan Y Q, Wang K S, Huang S S. Analysis on the path of transportation and diffusion of Changjiang diluted water[J]. *Donghai Marine Science*, 1997, 15(2): 25-34.
- [34] Lie H J, Cho C H, Lee J H, et al. Structure and eastward extension of the Changjiang River plume in the East China Sea[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2003, 108(C3): 22-1-22-14.
- [35] Yuan D L, Hsueh Y. Dynamics of the cross-shelf circulation in the Yellow and East China Seas in winter[J]. *Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography*, 2010, 57(19-20): 1745-1761.
- [36] 吴晓丹, 宋金明, 李学刚. 长江口邻近海域水团特征与影响范围的季节变化[J]. *海洋科学*, 2014, 38(12): 110-119.  
Wu X D, Song J M, Li X G. Seasonal variation of water mass characteristic and influence area in the Yangtze Estuary and its adjacent waters[J]. *Marine Sciences*, 2014, 38(12): 110-119.
- [37] 王凯敏, 熊学军, 郭炳火, 等. 2006—2007 年长江冲淡水的扩展形态及季节变化[J]. *海岸工程*, 2012, 31(1): 46-54.  
Wang K M, Xiong X J, Guo B H, et al. The extension



- form and seasonal variation of the Changjiang diluted water during 2006-2007[J]. *Coastal Engineering*, 2012, 31(1): 46-54.
- [38] 长江水利委员会. 长江流域及西南诸河水资源公报(2015)[M]. 武汉: 长江出版社, 2015: 8.  
The Commission of the Changjiang Water Resources. Changjiang & Southwest Rivers Water Resources Bulletin in 2015 [M]. Wuhan: Changjiang Press, 2015: 8.
- [39] 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 278-279.  
Sun X P. The Ocean of China Offshore area[M]. Beijing: Ocean Press, 2006: 278-279.
- [40] Wang B D, Wang X L, Zhan R. Nutrient conditions in the Yellow Sea and the East China Sea[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 58(1): 127-136.
- [41] 韦钦胜, 战闰, 臧家业, 等. 南黄海春季海水化学要素的分布特征及其受控因素[J]. *海洋科学*, 2010, 34(3): 52-60.  
Wei Q S, Zhan R, Zang J Y, et al. Distributions and influence factors of the chemical parameters in the Southern Yellow Sea in spring[J]. *Marine Sciences*, 2010, 34(3): 52-60.
- [42] 卢健, 张启龙, 李安春. 苏北沿岸流对浒苔暴发及漂移过程的影响[J]. *海洋科学*, 2014, 38(10): 83-89.  
Lu J, Zhang Q L, Li A C. The influence of Subei coastal current on the outbreak and drift of *Enteromorpha prolifera*[J]. *Marine Sciences*, 2014, 38(10): 83-89.
- [43] 朱建荣, 沈焕庭, 周健. 夏季苏北沿岸流对长江冲淡水扩展影响的数值模拟[J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 1997, 2: 62-67.  
Zhu J R, Shen H T, Zhou J. Numerical simulation of the impact of the Subei coastal current on the expansion of the Changjiang River diluted water in summer[J]. *Journal of East China Normal University(Natural Science)*, 1997, 2: 62-67.
- [44] 韦钦胜, 葛人峰, 李艳, 等. 夏季江苏近海水文化学要素特征及其对沿岸水东北向扩展的指示[J]. *海洋学报*, 2012, 34(5): 197-204.  
Wei Q S, Ge R F, Li Y, et al. Chemicohydrographic characteristics offshore of Jiangsu and their implications to the northward expansion of the coastal water[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2012, 34(5): 197-204.

## Monthly variation of upwelling area off the Changjiang River Estuary in spring

YAO Jin<sup>1, 2, 3</sup>, WANG Zhen-yan<sup>1, 2, 4</sup>

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

**Received:** Mar. 7, 2017

**Key words:** upwelling; hydrographic features; the Changjiang River Estuary; spring

**Abstract:** To analyze the monthly variation in the hydrographic upwelling features off the Changjiang River Estuary in spring, we investigated the hydrographic environment of the sea area using conductivity–temperature–depth (CTD) sensors in April, May, and June 2015. The survey data of the 123°E section show that the upwelling was persistent during spring. The upwelling water was mainly characterized by high salinity and originated from Taiwan Warm Current water, which upwelled along the submerged slope off the estuary as it flowed northward. We observed the upwelling to strengthen monthly and reach the 10 m layer in June. During the investigation period, the surface cold saline water was rapidly replaced by warm fresh water, whereas the upwelling water was relatively stable. Thus, the intensities of the thermocline and halocline tended to increase and the halocline gradually advanced northward. According to our analysis results, the strength of the northward flow of the Taiwan Warm Current became stronger from April to June, so it could be a major factor influencing the monthly variation in upwelling. The results also show that the influence of diluted the Changjiang River water increased monthly and caused an intensive thermocline and halocline, which ultimately restrained the upwelling. In addition, although the Northern Jiangsu coastal current is an important water mass in the adjacent Changjiang River Estuary area, it had the least effect on upwelling.

(本文编辑: 刘珊珊)