

长江冲淡水扩展区域孤立水团分析*

李 博 卢军炯 王鹏皓 王 寇

(浙江海洋大学海洋科学与技术学院 舟山 316000)

摘要 本文利用 2017 年 5 月长江口外海域的实测资料,研究了孤立低盐水团的三维结构以及输运过程,并进一步统计了孤立水团发生的历史事件。低盐水团的水文参数在未脱离前于上层呈现同心圆等值区分布。研究发现,大潮引起的强上升流对低盐水团的脱离起到决定性的作用。孤立低盐水团的生消周期为 7—10d,其脱离和输运受长江径流、风场等的影响,偏北风和偏南风对水团输运分别起到抑制和促进作用。低盐水团的脱离及输运过程极大加强了冲淡水跨锋面的营养盐和陆源有机物的输运。这些发现进一步丰富了对长江冲淡水输运过程的研究。

关键词 长江冲淡水;低盐水团;三维结构;输运

中图分类号 P731.16 **doi:** 10.11693/hyhz20190500096

河口冲淡水的扩展长久以来就是物理海洋学研究的热点。国内外学者对河口的大量研究成果表明,冲淡水一般以羽状流的形态向外海扩展,并且在外海形成羽状锋。影响冲淡水扩展的动力因素很多,主要包括径流、地形、科氏力、风、斜压效应、背景环流和潮汐等(Uncles, 2002; 卢丽锋, 2008)。对河口冲淡水扩展的研究还发现,在部分河口的冲淡水扩展区域存在孤立的低盐水团。低盐水团脱离冲淡水锋面的现象在美国大西洋海湾、哥伦比亚河口以及长江口都有发生。Csanady(1974)曾基于风致埃克曼理论提出,上升流风场会导致近岸表层海水离岸运动,由此产生的上升流挟带下层高盐海水将冲淡水切断,从而产生孤立低盐水团。Oey(1986)和 Blanton 等(1989)发现,风致上升流在锋面处可以促使孤立低盐水团产生。Kourafalou 等(1996)研究了南大西洋海湾的低盐水团的形成,发现其可以用风致埃克曼理论解释,低盐水团从冲淡水主体脱离后离岸向陆架中部移动。Moon 等(2009)、张文静(2010)和 Xuan 等(2012)通过对夏季长江口外的多种因素分析,指出风致上升流、风混合和风驱北流等风场的作用导致了孤立低盐水团的产生,低盐水团的形成受到有利于上升流产生

的偏南风影响。毛汉礼等(1963)系统地分析了长江冲淡水的传播特点,认为夏季的长江径流入海后向东北扩展,扩展范围甚至可以到达济州岛。Lie 等(2003)验证了毛汉礼等(1963)的观点,指出低盐水团脱离后可向东移动至济州岛海域。

Chen(2000)对南大西洋海湾的盐度进行模拟发现,径流量增加和西南风增强会导致低盐水团形成: M_2 分潮的混合作用则会起到阻碍作用。García 等(2002)参考哥伦比亚河口环境设置了一个理想河口,利用 ECOM3d 模式研究了背景流流向、风向以及径流量与孤立低盐水团个数的关系。Klemas 等(1982)从卫星图片中观测到,在黄、东海的沿岸密度流附近存在椭圆形气旋式涡旋。Qiu 等(1988)也指出沿岸密度流锋面附近的不稳定波动会导致具有低盐特征的涡旋产生,这类涡旋空间尺度在 100km 左右,时间尺度为几天。Chen 等(2008)认为长江冲淡水的锋面不稳定是产生孤立低盐水团的原因: Moon 等(2010)、张文静(2010)进一步展示了春潮期间,潮汐混合中大小潮变化引起的垂直混合会导致低盐水团分离: Rong 等(2012)研究了潮汐对长江冲淡水的影响,发现涨落潮间的强湍流混合会产生周期性的低盐水喷射: Wu 等

* 自然科学基金委经费资助项目, 41706022 号; 舟山市科技局资助项目, 2018C21023 号; 国家重点研发计划, 2017YFA0604902 号。李 博, 博士, E-mail: acelibo@zjou.edu.cn

通信作者: 卢军炯, E-mail: lujunjiong@outlook.com

收稿日期: 2019-05-20, 收修改稿日期: 2019-07-25

(2011)进一步指出潮汐的强迫作用在长江口外会产生双向羽流结构,羽流的分离发生在海底峡谷的顶端。Wei等(2017)利用多种资料分析了2006年7月长江口外低盐水团脱离的现象,指出双上升流系统和反涡旋可能是造成局地低盐水团的原因。

以上研究主要着眼于导致长江口外低盐水团脱离的原因,对低盐水团本身的结构和输送过程的研究较少。本文根据长江冲淡水扩展区域观测到的完整的低盐水团脱离过程,对实测CTD和漂流浮标资料进行分析,讨论脱离水团的内部结构、脱离位置和脱离时间等,并结合文献资料和卫星数据对长江口外低盐水团脱离的历史事件进行统计。

1 数据和方法

1.1 航次规划

此次调查过程采用了以拉格朗日方法为基础的漂流浮标示踪法,根据漂流浮标的实时位置追踪水团并调整航线进行采样。在本次调查中,首先根据2017年5月17日的叶绿素a的遥感影像(图1)确定叶绿素a高值区的位置(图1中以五角星标注),中心位置为122°30'E,32°40'N。为了确定漂流浮标的投放点位置,在Z32—Z37站点组成的L1断面(图2)投放CTD进行了测量采样。最终找到叶绿素含量相对较高的点Z32(122°27.846'E,31°45.091'N),在该点投放带有温

度传感器的漂流浮标对水团进行示踪。随后以环形采样路线C1(图3),沿着浮标轨迹,以R1Z32—R1Z46的环形路线,每2h对距离浮标10km的点进行一次采样。L1断面上的点基本处于同一直线上,C1之所以与环形路线不一致,是因为以浮标为中心的环形路线整体随着浮标的位置变化不断移动。航次调查中设置漂流浮标的数据发送时间间隔为3min,追踪漂流浮标采样的时间为北京时间2017年5月17—18日,共获得定位数据11286组。

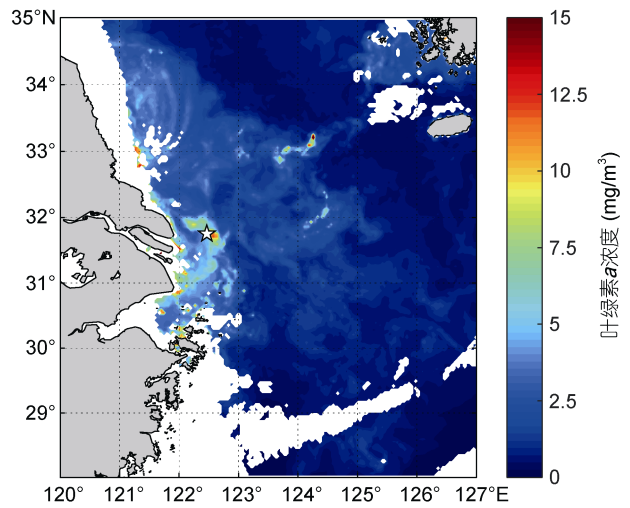


图1 2017年5月17日叶绿素a遥感影像
Fig.1 Remote sensing image of chl a on May 17, 2017

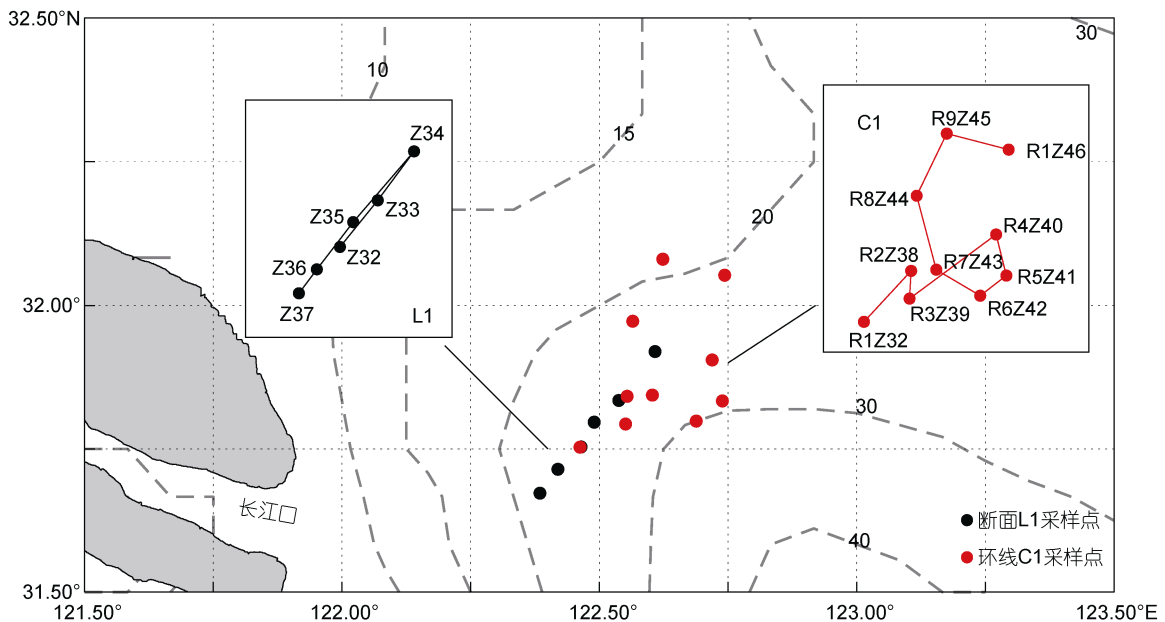


图2 大面站位图
Fig.2 In-situ observation stations
注:虚线为等深线(单位:m)

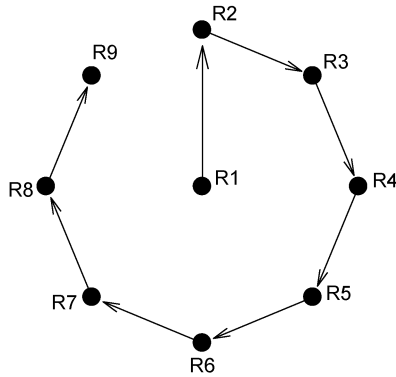


图 3 采样路线

Fig.3 The sampling route

1.2 数据的获取及初步处理

本次调查除获得漂流浮标数据外,还使用了美国 Sea Bird 公司的 SBE 25 Plus CTD 进行现场的水文剖面测量,获得了各个站位的垂向温度、盐度、密度及溶解氧含量剖面分布结果。CTD 上安装有 12 个 NISKIN 采水瓶,主要用于采集海水样品。使用 SBE Data Processing 软件对得到的 CTD 数据进行校正处理和质量控制,将数据按 1m 层进行平均处理,并用 MATLAB 绘制剖面图线。

除现场观测数据外,本文还使用了日平均的卫星数据,数据的区域范围是 28°—35°N, 120°—127°E, 时间跨度从 2006 年至 2017 年(5—8 月),包括风场数据、海表

温度数据、海表盐度数据、叶绿素 *a* 数据: 风场数据来源于 ASCAT(Advanced Scatterometer)表面风场 3 级资料,空间分辨率为 1/4°×1/4°; 海表温度和海表盐度数据则来自于延续了 Aquarius 卫星的盐度测量工作的 SMAP(Soil Moisture Active Passive)卫星,空间分辨率为 1/4°×1/4°; 叶绿素 *a* 数据来源于 NPP(National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System Preparatory Project)系统的 VIIRS(Visible infrared Imaging Radiometer),其空间分辨率是 3/80°×3/80°。

2 结果

2.1 漂流浮标的运动轨迹

漂流浮标自 5 月 17 日投放后,同时其轨迹的中心位置向东北方向不断移动(图 4)。根据漂流浮标在不同时间间隔内的运动状态,将图 4 中所示的轨迹分为三个部分。第一部分轨迹的发生时间是 5 月 17—20 日,在这段时间内,漂流浮标沿着 20m 的等深线快速向东北移动,其轨迹几乎为直线;第二部分轨迹的发生时间是 5 月 21—30 日,这段时间内的漂流浮标仍然保持顺时针旋转,但却在 123°05'—123°35'E, 32°30'—32°50'N 的经纬度范围内被捕获,徘徊不前,持续了 10d;第三部分轨迹发生的时间段是 6 月 1—5 日,漂流浮标虽然挣脱了前一段的限制,但是马上又被捕获,发生了一次短暂的徘徊不前现象。

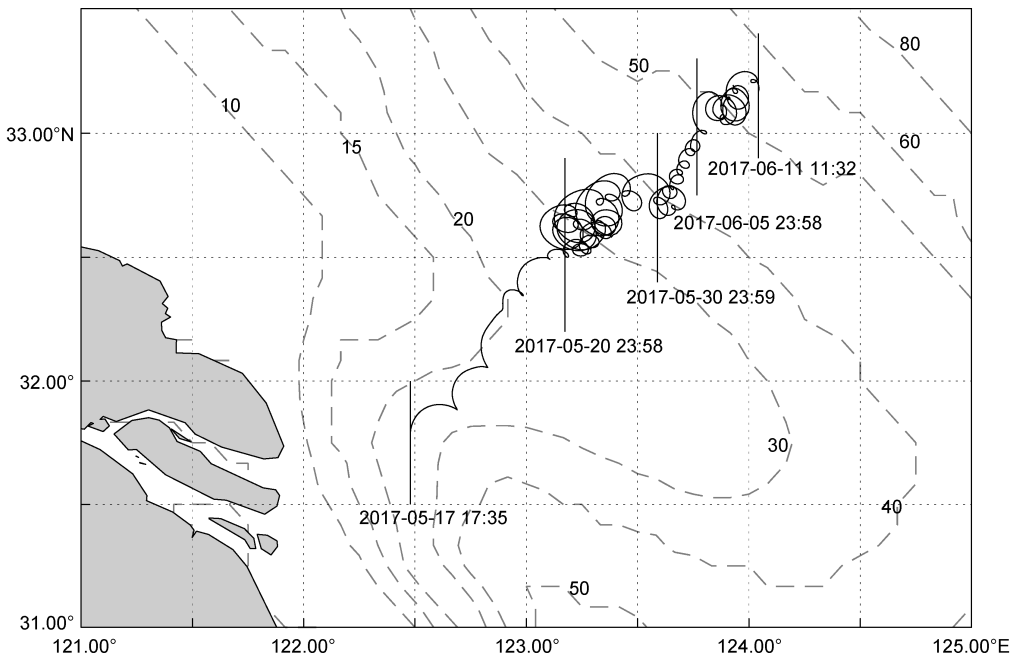


图 4 漂流浮标轨迹

Fig.4 Drifter trajectory

注: 黑色竖实线为四段轨迹发生的时间分隔线; 黑色曲线为漂流浮标的轨迹; 虚线为等深线(m)

2.2 示踪水团的垂直结构

图 5 为 5 月 17 日 L1 断面的温度、盐度、密度及溶解氧的垂向分布剖面图，以虚线标注了各站位点的位置。横坐标是相对 Z32，即漂流浮标投放点的距离。各水文参数等值线在 Z32 处均向上突起至 5m 层附近，同时将低盐水团分成东西两部分。5—8m 层的相同深度下，除溶解氧含量外，东侧水团的水文参数都要小于西侧部分。从 8m 层开始，仅存在东侧孤立

水团，其深度达到 15m。我们以 31 等盐线作为区分长江冲淡水 and 外海水的特征盐度线(王凯敏等, 2012)，表层至 8m 层的水团仍具有长江冲淡水的低盐特征。考虑到长江冲淡水水体垂向到达的深度一般在 10m，造成冲淡水厚度减小的原因是上升流将下层高盐低温海水向上输送，不仅将 31 等盐线抬升至 5m 层附近，还将 8m 层的盐度增大至 32，使表层呈现高溶解氧区，并在 Z32 站位将长江冲淡水分为东西两部分，示踪水

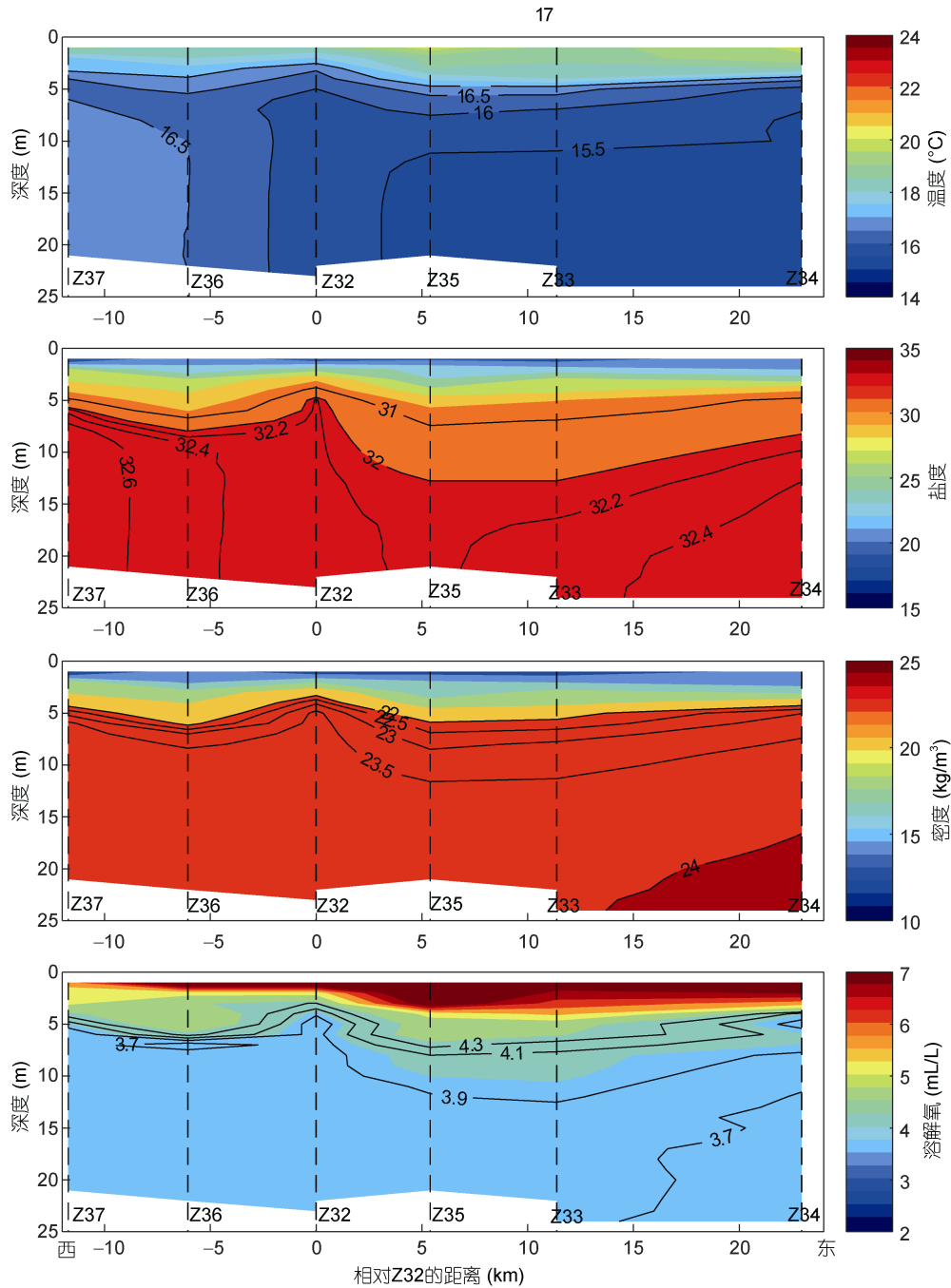


图 5 L1 断面的温度、盐度、密度和溶解氧含量分布

Fig.5 Distributions of different temperature, salinity, density, and DO concentration along L1 section

团因此呈现脱离的趋势。Wei 等(2017)以及韦钦胜等(2011)研究了夏季 32°N 纬线以上的海水盐度分布, 要津等(2017)研究了 123°N 断面盐度分布, 二者都发现了在 31.5°N 和 33°N 附近垂向盐度分布存在向上突起, 突起深度在 10m 左右。此次 L1 断面所处的经纬度除了拓宽了他们的研究区域, 也显示出等值线的突起深度小于他们所发现的 10m 深度。

2.3 示踪水团的水平结构

与普通大面站调查路线不同, 本次调查前期采用环形采样路线(图 2 中红色点连线)的目的是追踪水

团的运动, 实际的环形中心位置并不固定, 因此将环形采样点按照如图 3 的规则八边形进行处理, 得到如图 6 所示的低盐水团的 1、5、10 和 15m 层的水平结构。温度分布从表层至 5m 层都呈现出不规则的同心圆等值区, 1m 层、5m 层的中心温度与 L1 断面的相应温度一致, 为 18.5°C。10m 层以下, 温度分布呈现出单一水团的特征。盐度、密度和溶解氧含量分布在 5m 层以下逐渐呈现出两个不同水团的特征。东侧水团的中心盐度、密度大于西侧, 至 15m 层以下, 仅表现为单一水团的特征。溶解氧分布除了在 5m 层以下

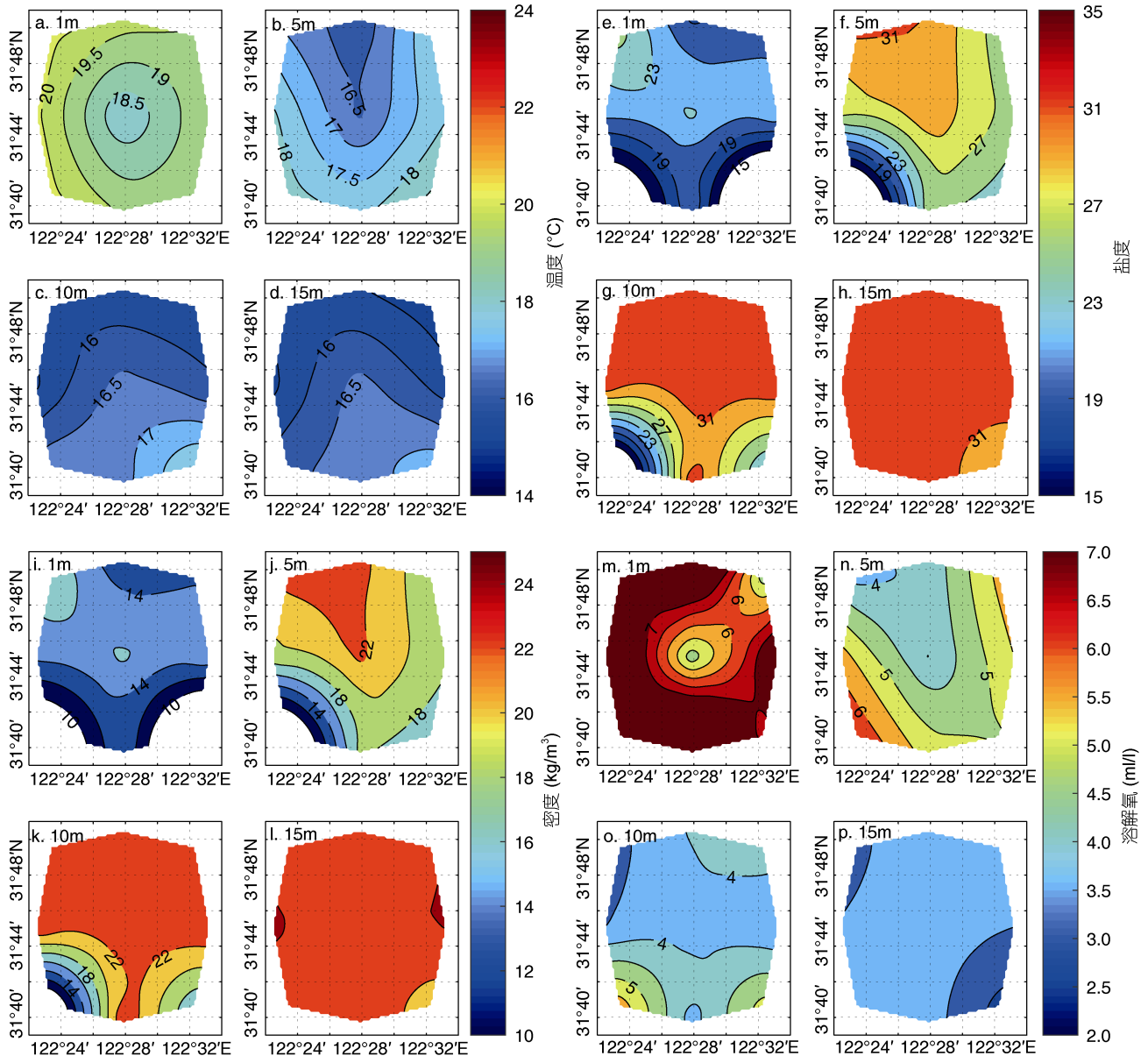


图 6 示踪水团温度、盐度、密度和溶解氧含量水平分布

Fig.6 Temperature, salinity, density and DO concentration horizontal distribution of traced water

呈现出两种水团的特征外,在表层还表现出两个相连的同心圆等值区,其中心的溶解氧含量分别为5和5.5mL/L。示踪水团的水平结构进一步表明,具有长江冲淡水特性的水团从5m层开始逐渐分离成两个在水文分布上具有差异的水团,靠近外海的水团随即成为低盐孤立水团向外海运动。

2.4 示踪水团的温-盐关系

毛汉礼等(1964)提出了应用 $T-S$ 图解分析陆棚浅海区域水团的方法,本文同样利用 $T-S$ 点聚图(图10)对低盐水团的温度-盐度特征关系进行分析。低盐水团的温盐关系,说明水团存在两部分特征明显的水体,一部分是上层的具有冲淡水性质的水体,

另一部分是下层的高盐水体。在盐度 5—10, 温度 16—20°C 的范围内的 $T-S$ 点比较密集。这部分 $T-S$ 点所对应的水体的密度较小,大概在 4—7kg/m³ 的范围内,说明这部分水体为表层水体。另一部分 $T-S$ 点则聚集在盐度 20—33, 温度 15.5—20°C 的范围内,这部分点所对应的水体的密度在 15—24kg/m³, 属于深层水体。特别地,在盐度 32.5, 密度 24 kg/m³附近, $T-S$ 点聚集的尤其密集,温度变化范围小(15.5—17°C),这说明具有该水文特征的水体占据了深层水体的大部分深度。 $T-S$ 点聚图表示的两部分水体在水文参数特征上与 L1 和 C1 所描述的十分一致。

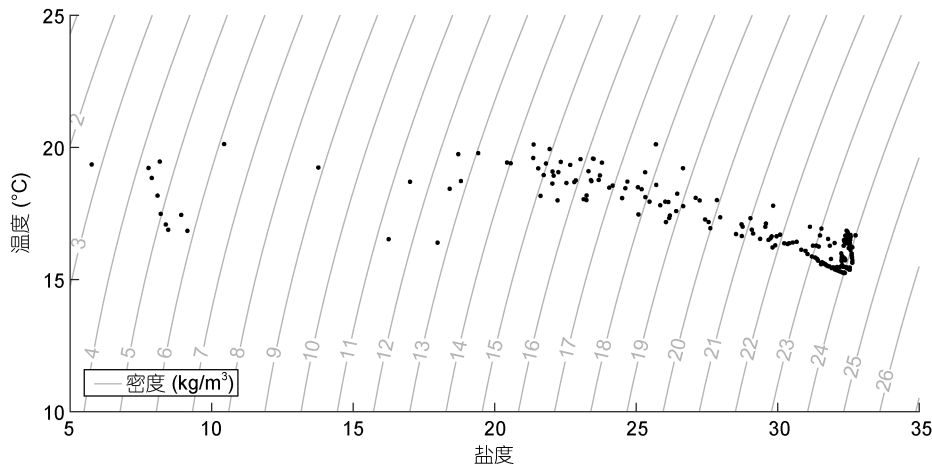


图7 示踪水团温-盐点聚图

Fig.7 $T-S$ scatter diagram of the traced water mass

3 讨论

3.1 潮汐对低盐水团运动的影响

毛汉礼等(1963)提出以 26 特征盐度作为长江冲淡水水体的界限盐度。张文静等(2014)模拟研究了一个 1977 年夏季典型低盐水团盐变特征,其中脱离的低盐水团的边界盐度值为 26。考虑到冲淡水团脱离后由于与外海水混合导致盐度增大,因此以 27 盐度作为表征脱离的低盐水团的特征盐度。从高分辨率的卫星数据影像中能看到孤立低盐水体的生消过程。5月24—26日,冲淡水的水舌在 123°E, 32°N 位置有脱离的趋势。到5月28日,水舌前端的水团才发生脱离,其中心经纬度为 123°15'E, 32°40'N,同时,长江冲淡水水舌在近岸和离岸产生两个低盐核心区。查阅农历,5月26日和5月28日为大潮日,大潮强烈的涨急落导致强烈的上升流产生,足以为低盐水团从水舌前端剥离提供强烈的作用力(Wu *et al.*, 2011)。图8c

和图8d显示,漂流浮标的中心位置位于盐度27等值线圈出的低盐水团中心,5月28—30日,平均位置几乎不变。刚脱离时的低盐水团水平尺度约为60km但由于混合作用其表层面积逐渐减小,到6月1日,水平尺度减小到30km,随后至6月3日,低盐水团便混合消散。

本次调查中的长江冲淡水水团脱离发生在大潮日前后,为了验证这一结果,对涉及长江冲淡水的文献资料(Beardsley *et al.*, 1985; 樊安德等, 1987; 赵保仁, 1993; 浦泳修, 2002; 朱建荣等, 2003; Lie *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2008)。1975—2016年,长江口外低盐水团的脱离一般发生在夏季。1975—2000年,仅有一次6月份的低盐水团脱离过程。如表1所示,2006—2016年,几乎都存在孤立的低盐水团,发生的时间以6、7月份居多,且一般发生在大潮日前后的5d之内。根据统计结果,孤立的低盐水团出现的位置包括冲淡水扩展区域、近口门段、或是靠近济州岛西侧的扩

展区域的尾段, 其生消周期约为 7—10d, 与本次观测结果一致, 个别年份(如 2006)的低盐水团的脱离不止一次。

3.2 风对低盐水团运动的影响

大通水文站测得 5 月和 6 月的月径流量约为 750 亿 m³ 和 970 亿 m³(2017 年的中国河流泥沙公报), 呈现显著增长, 这对冲淡水的输运起到了明显的促进作用, 低盐水团在该径流作用下的运动始终是积极

的。对比漂流浮标运动中心位置的风矢量与运动速度矢量可知, 5 月 18—23 日, 5 月 27—31 日, 在这两段时间内, 根据埃克曼漂流理论, 漂流浮标的运动受到偏南风的影响, 不断向东北方向输运, 且第一段时间内的运动速度明显大于第二段。5 月 24—26 日, 6 月 1—5 日, 这两段时间内的漂流浮标运动受到偏北风的影响, 偏北风对漂流浮标的运动及低盐水团的输运起抑制作用。低盐水团的输运路径显示, 5 月 23—

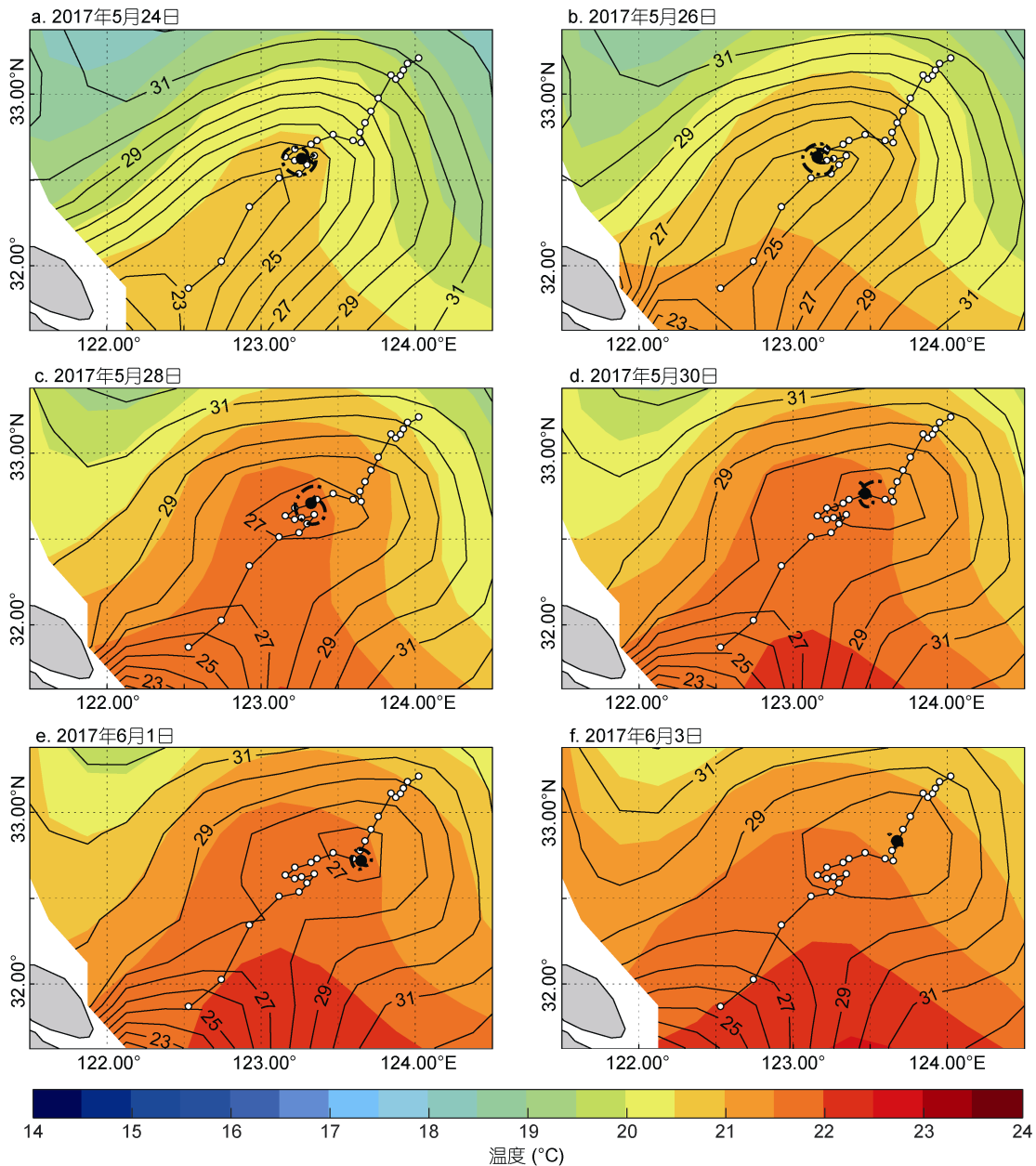


图 8 长江口外低盐水团的脱离过程

Fig.8 The course of detachment of low salinity water in Changjiang River estuary

注: 等值线为盐度分布; 加粗黑线为 31 等盐线和孤立低盐水团的外边界等盐线; 黑色实心点为漂流浮标的当日中心位置; 白色实心点为漂流浮标的当日中心位置, 其连线为水团输运路径

表 1 2006—2017 年长江口外孤立低盐水团发生时间
Tab.1 The occurrence time of low salinity water in Changjiang River estuary (2006 to 2017)

发生时间(年/月/日)	大潮日前/后	发生时间(年/月/日)	大潮日前/后
2006/06/28	大潮日	2009/06/13	前 5 天
2006/07/01	后 5 天	2009/08/31	前 4 天
2006/07/15	后 5 天	2010/06/13	后 1 天
2007/07/01	后 2 天	2010/08/11	后 1 天
2007/07/10	前 4 天	2012/07/18	前 1 天
2007/08/11	前 2 天	2013/08/10	后 3 天
2008/06/05	后 1 天	2014/06/01	后 3 天
2008/06/14	前 4 天	2014/06/16	后 4 天
2008/07/11	前 5 天	2016/06/20	后 1 天
2009/06/07	大潮日	2017/05/28	后 2 天

26 日, 输运速度减小, 输运方向转为西向; 而 6 月 1—5 日的输运方向仍是指向东北且输运速度逐渐增大。造成这种差异的原因可能是在 6 月 1—5 日的某个时刻水团不再被漂流浮标所示踪, 图 9 所示的运动速度不再表示示踪水团的运动速度, 同时漂流浮标受到其他因素的影响, 才导致这段时间内的运动速度才会不断增大。

3.3 低盐水团输运过程分析

5 月 17—20 日, 低盐水团主要受到东南风的和长江径流的影响, 向东北快速移动。5 月 21—23 日, 输运方向仍然为东北但输运速度明显减小。5 月 24—26 日, 低盐水团受西偏北风的阻碍不再继续向东北方

向输运, 这段时间内的输运路径几乎往西, 由此可知, 偏北风产生的抑制作用显著。5 月 27—31 日, 风向转为南, 有利于输运, 此时低盐水团首先以东北方向输运, 30—31 日, 向东南方向输运。这段时间内, 长江冲淡水水舌前端在 5 月 28 日(大潮日)发生了低盐水团的脱离现象。Wei 等(2017)认为在双上升流系统和反气旋涡旋可能是造成局地低盐水团的存在原因, 并且在考虑河流径流、潮汐、风等情况下, 确认了 7 月份在 124°E , $32^{\circ}30'\text{N}$ 附近存在反气旋涡旋, 并且它的高温区域与高海平面区域大部分重合。30—31 日的东南输运可能也与反气旋涡旋的流场有关。尽管 6 月 1—3 日的风向为偏北, 但输运仍指向东北, 且输运速度

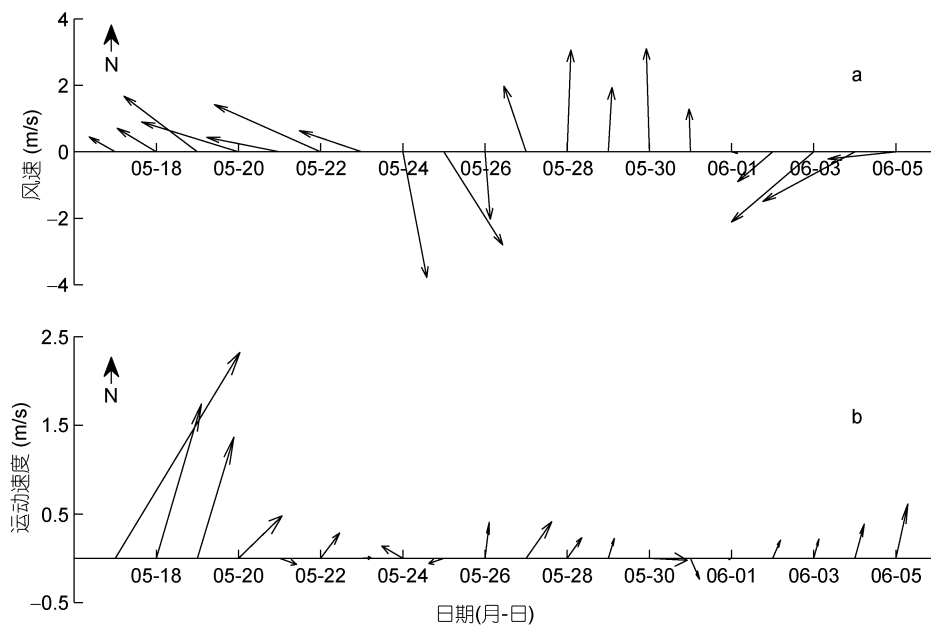


图 9 漂流浮标中心位置附近风矢量(a)以及运动速度矢量(b)随时间的变化(5 月 17 日—6 月 11 日)

Fig.9 Wind(a) and velocity(b) vector of the drifter central position (May 17 to June 11)

不断增大, 直至孤立水团消失, 漂流浮标不再示踪水团。低盐水团在运输的过程中, 主要受到风的影响, 显著的偏北风甚至能使运输向西。反气旋涡旋的流场使水体不断辐聚向下, 可能是导致 5 月 28 日盐度 27 等值线包围的低盐水团消散以及新的孤立水团产生的原因之一。

4 结论

本文以 2017 年 5 月在长江冲淡水扩展区域开展的海洋调查获得的走航观测数据、漂流浮标数据以及卫星数据为依据, 通过对示踪水团的漂流浮标轨迹以及卫星日平均盐度数据的分析, 获得如下结论: (1) 现场观测阐述了脱离的低盐水团的三维结构以及运输过程; (2) 根据文献资料和卫星数据, 统计了孤立水团发生的历史事件, 发现大部分事件发生在大潮日前后 5 日内, 大潮引起的强上升流作用极大可能将低盐水团从长江冲淡水前端剥离; (3) 风的方向与水团运输有关, 表现为偏南风促进运输, 偏北风抑制运输, 偏北风的强作用甚至可以导致水团西向运输。低盐水团的脱离及运输过程极大地加强了冲淡水锋面的营养盐和陆源有机物的运输, 进一步丰富了对长江冲淡水运输过程的研究。

参 考 文 献

王凯敏, 熊学军, 郭炳火等, 2012. 2006—2007 年长江冲淡水的扩展形态及季节变化. 海岸工程, 31(1): 46—54

韦钦胜, 臧家业, 战 闰等, 2011. 夏季长江口东北部上升流海域的生态环境特征. 海洋与湖沼, 42(6): 899—905

毛汉礼, 甘子钧, 蓝淑芳, 1963. 长江冲淡水及其混合问题的初步探讨. 海洋与湖沼, 5(3): 183—206

毛汉礼, 任允武, 万国铭, 1964. 应用 T-S 关系定量地分析浅海水团的初步研究. 海洋与湖沼, 6(1): 1—22

卢丽锋, 2008. 长江河口羽状流扩散与混合过程的数值模拟. 上海: 上海交通大学博士学位论文, 28—42

朱建荣, 丁平兴, 胡敦欣, 2003. 2000 年 8 月长江口外海区冲淡水和羽状锋的观测. 海洋与湖沼, 34(3): 249—255

张文静, 2010. 长江冲淡水扩展区域低盐水团的数值模拟及动力机制分析. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文, 89—91, 127

张文静, 朱首贤, 阮 鲲等, 2014. 长江口外低盐水团发展的正压不稳定机制分析. 解放军理工大学学报(自然科学版), 15(1): 81—88

赵保仁, 1993. 长江口外的上升流现象. 海洋学报, 15(2): 108—114

要 津, 王珍岩, 2017. 春季长江口外上升流的月际变化——以 123°E 断面为例. 海洋科学, 41(10): 1—9

浦泳修, 2002. 夏季东海 30°N 断面的盐度分布类型. 东海海洋, 20(1): 1—13

樊安德, 王玉衡, 董恒霖, 1987. 浙江沿岸上升流区夏季海水

化学要素的“羽状”中心分布特征. 海洋与湖沼, 18(1): 86—95

Beardeley R C, Limeburner R, Yu H *et al*, 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea. Continental Shelf Research, 4(1—2): 57—76

Blanton J O, Amft J, Oey L Y *et al*, 1989. Advection of momentum and buoyancy in a coastal frontal zone. Journal of Physical Oceanography, 19(1): 98—115

Chen C S, 2000. A modeling study of the episodic cross-frontal water transport over the inner shelf of the South Atlantic Bight. Journal of Physical Oceanography, 30(7): 1722—1742

Chen C S, Xue P F, Ding P X *et al*, 2008. Physical mechanisms for the offshore detachment of the Changjiang Diluted Water in the East China Sea. Journal of Geophysical Research: Oceans, 113(C2): C02002, doi: 10.1029/2006JC003994

Csanady G T, 1974. Barotropic currents over the continental shelf. Journal of Physical Oceanography, 4(3): 357—371

García Berdeal I, Hickey B H, Hickey M, 2002. Influence of wind stress and ambient flow on a high discharge river plume. Journal of Geophysical Research: Oceans, 107(C9): 13-1—13-24, doi: 10.1029/2001JC000932

Kourafalou V H, Lee T N, Oey L Y *et al*, 1996. The fate of river discharge on the continental shelf: 2. Transport of coastal low-salinity waters under realistic wind and tidal forcing. Journal of Geophysical Research: Oceans, 101(C2): 3435—3455, doi: 10.1029/95JC03025

Lie H J, Cho C H, Lee J H *et al*, 2003. Structure and eastward extension of the Changjiang River plume in the East China Sea. Journal of Geophysical Research: Oceans, 108(C3): 3077, doi: 10.1029/2001jc001194

Moon J H, Hirose N, Yoon J H *et al*, 2010. Offshore detachment process of the low-salinity water around Changjiang Bank in the East China Sea. Journal of Physical Oceanography, 40(5): 1035—1053, doi: 10.1175/2010JPO4167.1

Moon J H, Pang I C, Yoon J H, 2009. Response of the Changjiang diluted water around Jeju Island to external forcings: A modeling study of 2002 and 2006. Continental Shelf Research, 29(13): 1549—1564, doi: 10.1016/j.csr.2009.04.007

Oey L Y, 1986. The formation and maintenance of density fronts on the U.S. Southeastern continental shelf during winter. Journal of Physical Oceanography, 16(6): 1121—1135

Qiu B, Imasato N, Awaji T, 1988. Baroclinic instability of buoyancy-driven coastal density currents. Journal of Geophysical Research: Oceans, 93(C5): 5037—5050, doi: /10.1029/JC093iC05p05037

Rong Z R, Li M, 2012. Tidal effects on the bulge region of Changjiang River plume. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 97: 149—160, doi: 10.1016/j.ecss.2011.11.035

Uncles R J, 2002. Estuarine physical processes research: some recent studies and progress. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 55(6): 829—856

Wei Q S, Yu Z G, Wang B D *et al*, 2017. Offshore detachment of the Changjiang River plume and its ecological impacts in summer. Journal of Oceanography, 73(3): 277—294, doi:

- 10.1007/s10872-016-0402-0
- Wu H, Zhu J R, Shen J *et al*, 2011. Tidal modulation on the Changjiang River plume in summer. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C8): C08017, doi: 10.1029/2011JC007209
- Xuan J L, Huang D J, Zhou F *et al*, 2012. The role of wind on the detachment of low salinity water in the Changjiang Estuary in summer. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C10): C10004, doi: 10.1029/2012jc008121
- Zheng Q A, Klemas V, 1982. Determination of winter temperature patterns, fronts, and surface currents in the Yellow Sea and East China Sea from satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 12(3): 201—218, doi: 10.1016/0034-4257(82)90053-0

ISOLATED LOW-SALINITY WATER MASS IN EXPANSION AREA OF CHANGJIANG DILUTED WATER

LI Bo, LU Jun-Jiong, WANG Peng-Hao, WANG Kou

(*School of Marine Science and technology, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China*)

Abstract Based on in-situ observation in May 2017 and associated satellite-derived data, we analyzed isolated low-salinity water masses in the extension areas of the Changjiang River estuary and investigated the 3-D structure, transport, and detachment of the water masses, and the events of low-salinity water masses in history were also studied. We found that strong upwelling by strong tides movement was responsible for the detachment of low-salinity water mass. The hydrological parameters of the water mass before detachment presented a concentric distribution in the upper layer. The life cycles of the water masses were 7 to 10 days, whose detachment and transport were affected by the Changjiang River runoff, wind field etc. The northerly inhibited while southerly wind promoted the transport of the water masses. The detachment and transport of the water masses greatly promoted the exchanges of nutrients and organic matter with diluted water, which shall enrich our understanding of the low-salinity water masses off the Changjiang River estuary.

Key words Changjiang River Diluted Water; low-salinity water mass; 3-D structure; transport