

中国海洋学文集

OCEANOGRAPHY IN CHINA

2

杭州湾锋面研究

海洋出版社

《中国海洋学文集》编辑委员会

顾问：(以姓氏笔划为序)

文圣常 任美镔 严 恺 陈国珍 汪德昭 郑 重 林秉南 金德祥
陶诗言 戴安邦

主 编：苏纪兰

副主编：(以姓氏笔划为序)

刘光鼎 刘瑞玉 朱继懋 汪兆椿 张正斌 巢纪平

委 员：(以姓氏笔划为序)

万邦和	王 荣	王 颖	王世勤	王绍武	石 松	石中瑗	甘子钧
丘书院	业治铮	孙秉一	孙玉善	关定华	纪明侯	许星煌	许振祖
汪品先	李玉成	李德尚	苏育嵩	张仁和	张家诚	张 憺	张金标
陈吉余	陈伯乐	陈则实	陈邦林	陈宗镛	陈隆勋	吴宝铃	邱大洪
余宙文	邹仁林	林庆礼	郑文振	郑全安	承继成	金翔龙	郭令智
夏世福	秦蕴珊	秦曾灏	顾宏堪	顾懋祥	袁耀初	黄土松	黄宗国
黄奕普	逯玉佩	龚锦涵	韩慕康	管秉贤	潜琬英	戴爱云	

前 言

杭州湾锋面研究任务来源于国家自然科学基金资助项目“杭州湾水系界面及其悬移物质输运的研究”(编号4860244)和浙江省科委、浙江省自然科学基金资助项目“杭州湾水系界面对悬浮物质和污染物质迁移的影响”(编号188011)。这两个并行项目试图通过多门学科、多种手段的专题调查研究,深入地了解杭州湾锋面的温、盐和环流结构、锋面对悬浮物质输运和沉积过程的作用,以及锋面对颗粒态重金属、有机污染物、微生物的富集作用。

据此,我们于1987~1989年间组织了3个专题调查航次,实施了多船同步、准同步观测、追踪观测、锚系观测、台站资料和卫星资料相结合的调查手段。调查内容包括水文、泥沙和沉积、生物、化学等多种要素。根据调查结果共完成了19篇专题论文以及课题的综合研究报告。并于1990年3月通过成果鉴定。

本专辑选编了本课题成果中的9篇论文。除了反映杭州湾锋面研究的进展外,也想借此为该海域的开发提供一份比较完整的学术性参考资料。

借此文集,我们向支持和协助我们完成该课题的单位和同志表示感谢,特别是其中在调查船只上提供支持和配合的国家海洋局东海分局、浙江省河口海岸研究所和驻浙海军某部。

国家海洋局第二海洋研究所

杭州湾锋面课题组

1991年8月20日

中国海洋学文集

第 2 集

目 录

前言.....	(i)
杭州湾的锋面及其物质输运.....	苏纪兰 王康璿 李 炎 (1)
杭州湾锋面的结构特征.....	王康璿 苏纪兰 (13)
杭州湾锋面区余流场结构及其动力分析.....	陈 伟 黄大吉 杨昭庆 (22)
杭州湾悬沙输移及其有关水动力因素分析.....	李伯根 杨昭庆 谢钦春 (29)
杭州湾锋面及高浑浊带动态的遥感和分析.....	李 炎 李 京 苏纪兰 任伏虎 (37)
杭州湾地貌、沉积特征及其与水系锋面的关系.....	冯应俊 李 炎 李伯根 (47)
杭州湾重金属的来源及其对泥沙运动的指示意义.....	廖先贵 张湘君 应时理 魏琳瑛 朱林范 (57)
杭州湾海域烃类化合物的地球化学特征.....	朱桂海 卢 冰 郑士龙 施建中 (64)
杭州湾锋面附近水域微生物生态分布特征.....	史君贤 陈忠元 (79)

OCEANOGRAPHY IN CHINA

(2)

CONTENTS

Foreword

Fronts and Transport of Suspended Matter in Hangzhou Bay.....	
..... <i>Su Jilan, Wang Kangshan and Li Yan</i> (12)	
Hydrographic Features of the Plume Front in Hangzhou Bay.....	
..... <i>Wang Kangshan and Su Jilan</i> (20)	
Residual Currents in the Plume Front Zone of Hangzhou Bay.....	
..... <i>Chen Wei, Huang Daji and Yang Zhaoqin</i> (27)	
Suspended Sediment Transport and its Concerned Dynamic Analysis in the Hangzhou Bay..... <i>Li Bogen, Yang Zhaoqing and Xie Qinchun</i> (36)	
A Study on the Fluctuations of Plume Front and Turbidity Maximum in the Hangzhou Bay by Remote Sensing Data.....	
..... <i>Li Yan, Li Jing, Su Jilan and Ren Fuhu</i> (45)	
Landforms, Sediments and the Roles of Plume Front in the Hangzhou Bay, China..... <i>Feng Yingjun, Li Yan and Li Bogen</i> (56)	
The Source of the Heavy Metals and its Indication to the Transfer of the Sediment in Hangzhou Bay.....	
..... <i>Liao Xiangui, Zhang Xiangjun, Ying Shili, Wei Linying and Zhu Linfan</i> (63)	
The Research on the Concentration and Distribution of Organic Pol- lutants Influenced by the Front in Hangzhou Estuary.....	
..... <i>Zhu Guihai, Lu Bing, Zheng Shilong and Shi Jianzhong</i> (77)	
Ecological Characteristics of the Abundance and Distribution of Bac- teria in the Waters Nearby the Front of the Hangzhou Bay.....	
..... <i>Shi Junxian and Chen Zhongyuan</i> (85)	

杭州湾的锋面及其物质输运*

苏纪兰 王康瑾 李 炎

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州)

摘 要

连续站和大面站观测结果说明, 杭州湾内终年存在着一个NE—SW走向的锋面。该锋面由湾口北部的长江冲淡水次级锋面和湾顶的钱塘江冲淡水锋面构成。枯水季节的小潮时, 上述两个锋面可容易地分辨。我们发现, 悬浮物质沿着北端的长江冲淡水次级锋面, 向西南方向输入杭州湾内。锋面对湾内的悬浮物质分布, 浮游植物、微生物和颗粒态有机质的分布, 均产生相对富集作用。此外, 锋面引导的西南方向悬浮物质输运, 对杭州湾内细粒沉积区和沉积物中的重金属含量分布具有重要的影响。

一、引 言

杭州湾为钱塘江河口的外段, 是一个典型喇叭形湾(图1)。湾宽在口门约为100 km, 向西100 km湾顶处已缩窄为20 km以下。杭州湾地处中潮海岸, 平均潮差在口门处约为2.5 m, 至湾内潮差迅速增长, 在湾顶以西钱塘江河口内段形成著名的钱塘江涌潮。

湾内地形较为平坦, 沿北岸有数处深槽, 沿南岸有大片潮滩, 庵东一带淤涨甚快, 近600年来平均每年淤涨约20 m^[1]。钱塘江的径流量平均每年为42 km³, 所携带的悬移质泥沙为 7.9×10^6 t。除极细颗粒外, 这些泥沙大多为涌潮阻拦沉积在上游沙坎上。湾外北侧长江每年入海径流及悬移质分别为925 km³及 4.9×10^6 t。湾内底质无论在粒径上或矿物成分上皆与长江口底质相似^[2]。因此学者们一般认为湾口南岸淤涨的泥沙可能源自长江^[3], 但对于其搬运途径尚不清楚。

浙江省于1981~1983年间曾对杭州湾进行过冬、夏两次调查。根据对此调查资料的分析, 笔者认为长江冲淡水的次级锋面进入了杭州湾, 并可能对来自长江的泥沙输运入湾内起着重要的作用^[4]。该次调查的目的并非针对此锋面, 因此同步大面偏于杭州湾南侧, 且仅在大潮前后进行调查。为了对此锋面有进一步的了解, 我们于1987年12月13~24日及1988年7月22日~8月2日分别进行过大、小潮调查。冬季站位见图1, 夏季站位基本类似, 在这两个航次中我们还进行了浮标追踪。

本文主要根据我们的调查资料, 对锋面的存在及性质给以讨论, 并探讨锋面与物质输运的关系。

* 国家自然科学基金和浙江省自然科学基金资助项目。

二、资 料

在1987及1988的两个航次中皆分别设置了1个系泊测流站, 该站的海流计离底约4m, 5条大面线由5条船同步进行, 两年中共进行过7次。由于杭州湾潮流急, 大面线采取顺流及逆流两种方式进行, 以求有较全面的认识。图2给出了各次大面进行时间与系泊站流速记录的对照图。作为潮时的参考, 我们指出D断面东南端的潮相比H断面东南端的潮相约早十分钟, 而H断面两端的潮相差大致为1小时[5]。此外夏季时D断面的南端向外延伸了18km。

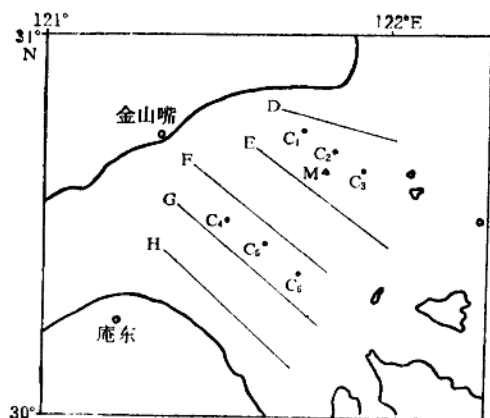


图1 1987年冬季小潮同步大面航线、系泊站位M (三角形) 及连续站C₁-C₆ (实心圆)

1987年冬季大潮时连续站C₁、C₃、C₆分别在图1中相应位置的西西南8km、南东南1.5km、东南3.5km。1988年夏季时C₂、C₄、C₅皆从图1中相应位置向东南移了3~5km。在1987年及1988两个航次中尚进行了漂流浮标跟踪, 浮标的十字形叶片在水深2.5~3m范围以内。浮标的航迹见图3, 起止时间及风场速度见图4。冬季仅在小潮时间用一条船跟踪了4个潮周期(50h), 夏季用了两条船, 但因渔网多, 仅在白天进行了跟踪。在跟踪开始

时尚投放了中层漂浮物及底层人工水母, 前者回收率一般甚低。

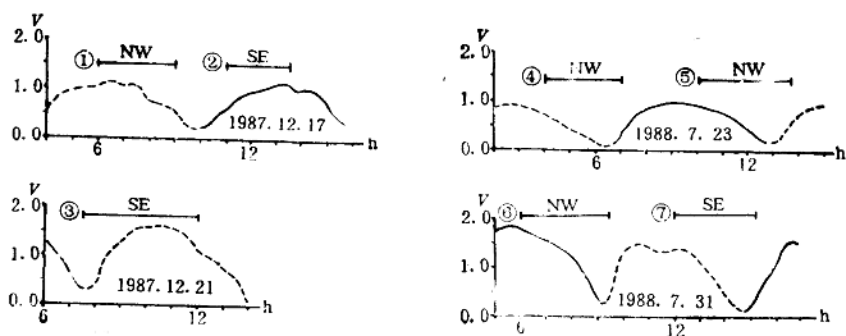


图2 各次大面进行时间与系泊流速时间变化对照图
实线表示落潮, 虚线表示涨潮, NW及SE表示各次大面进行的走向

三、长江冲淡水的锋面

长江为世界上第三大径流量河流。冬季时强劲的北风助长江冲淡水沿海岸南下, 在31°N处其主锋面底部位于杭州湾口以东约50km (以底层30等盐线为指标)。夏季时长江径流量比冬季约大3倍, 此时风向偏南, 外海台湾暖流加强, 再加上地形作用, 长江冲淡水折向东北进入东海, 其主锋面底部在31°N位于杭州湾口以东约100km。

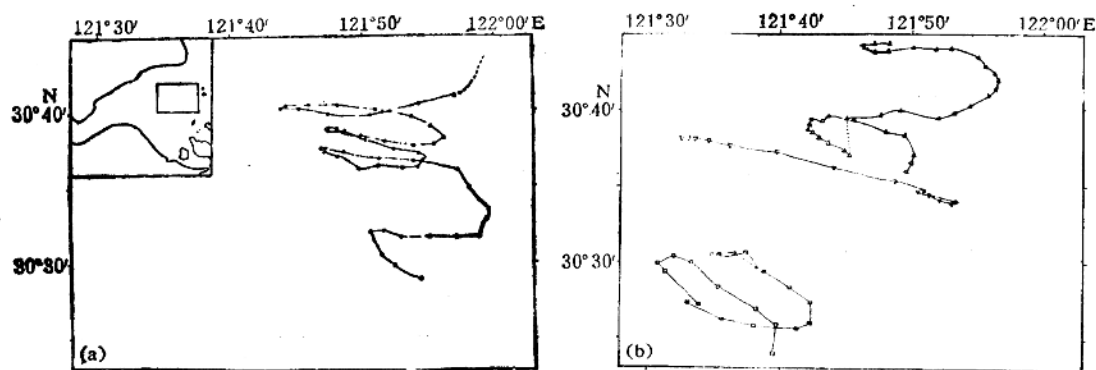


图3 漂流浮标航迹

(a)1987年冬季

小潮, 邻近两个相同符号的时间间隔为1h,

(b)1988的夏季

▲ △ 小潮, 邻近两个相同符号时间间隔为0.5h,

▽ 大潮, 邻近两个相同符号的时间间隔为0.5h,

□ ■ 小潮, 邻近两个相同符号时间间隔为1h

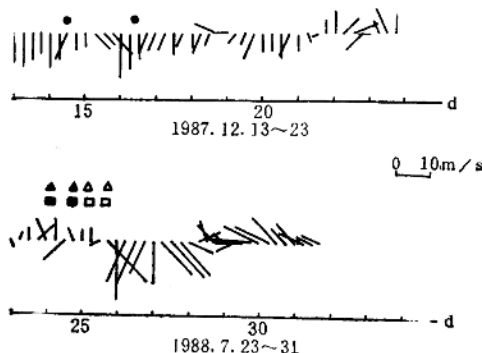


图4 大戢山风速矢量时间变化(时间间隔6h)

其他符号代表浮标的跟踪起止时间(见图3)

长江径流的主要出海水道为北港, 其次为北槽。南槽的水总的似是净进的, 但是南槽本身南侧的水却是净出^[6]。这股贴长江南岸净出的水因为盐度较低, 与长江冲淡水主体之间形成长江冲淡水的次级锋面, 其位置在 31°N 纬度处离杭州湾口为10km左右^[4]。

四、杭州湾锋面的水文结构

长江冲淡水次级锋面自杭州湾北侧进入湾内。1987年12月在施放漂移浮标前寻找锋面位置时, 曾在D断面东侧湾口北部测得表层盐度在4.5km内变化约为4。但以后在湾内未再测得如此强的梯度, 这可能是因为平流及垂向混合两者的弥散作用所致。当径流小且处于小潮时, 此锋面似仅局限于湾口附近, 与钱塘江冲淡水锋面明显分开(图5a)。相同径流但处于大潮时, 这两个锋面却连成一线(图6a)。当径流大时, 即使在小潮期间这两个锋面也是连

成一线的(图7a),但此时锋面较靠近杭州湾北岸。

表层水温也反映了锋面的存在(图5b、6b、7b)。这些卫星图像与相应的底层盐度分布虽然不是同时的,但潮差及潮相相近,因此仍是有互比性的。可以看出,表层温度分布与底层盐度分布在形态上有类似之处。台湾暖流在浙江沿岸50m等深线以东终年北上。在冬季它的水文特性表现为高温、高盐,而在夏季时它主要出现在下层,这时它的水文特性表现为低温、高盐。通过混合作用它的这些特性也影响了浙江的沿岸水,而沿岸水又主要通过杭州湾东南舟山岛两侧的通道影响湾内。湾内东南部高盐区冬季温度较高(图5b及6b)和夏季

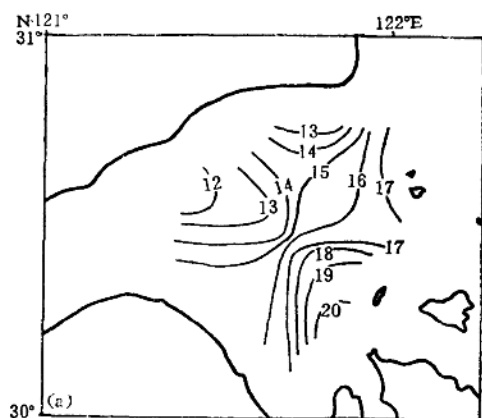
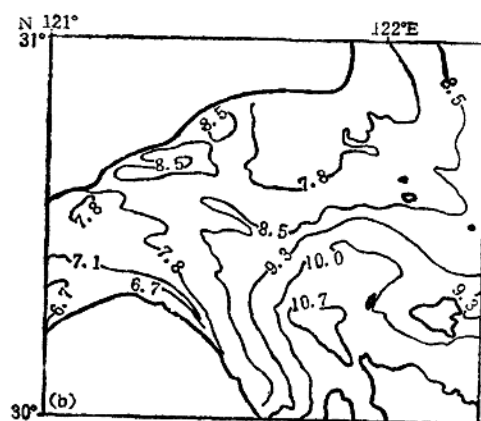


图5 (a) 1987年12月17日底层盐度;
(第2次大面)



(b) 1987年12月18日14时17分表层温度(°C)
(NOAA-9卫星红外图像)

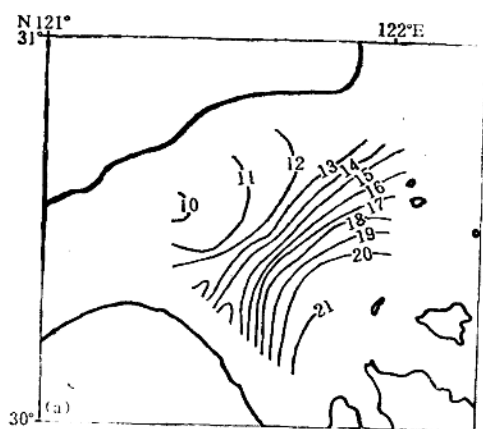
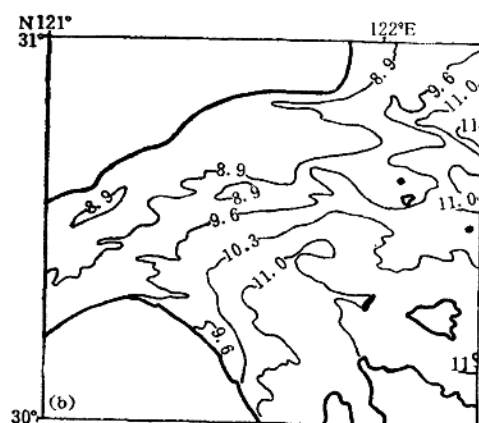


图6 (a) 1987年12月21日底层盐度;
(第3次大面)



(b) 1987年12月23日15时09分表层温度(°C)
(NOAA-9卫星红外图像)

温度较低(图7b)反映了沿岸水的入侵,这个入侵与湾内锋面的形态的维持有密切的关系。夏季时长江冲淡水南下不远且台湾暖流较强,这些因素可能与此时锋面较靠近北岸有关。

除H断面因靠近浅滩锋面不明显外,在其他断面上各次大面走航可见盐度的锋面结构(如图8)。冬季时风混和作用大,小潮期间断面上盐度的垂向变化一般较小,仅在东南端因受沿岸水入侵影响,层化较为明显(图8a)。夏季一般风力较弱,小潮时层化在整个断面上皆甚明显(图8c),在D断面的北端且可见块状淡水出现在表层,此乃为长江南槽南侧的低盐水进入杭州湾的另一表征。图8也显示,夏季时锋区前沿较靠近杭州湾北岸。无论冬夏,大潮时盐度在垂向上几无变化(如图8b)。

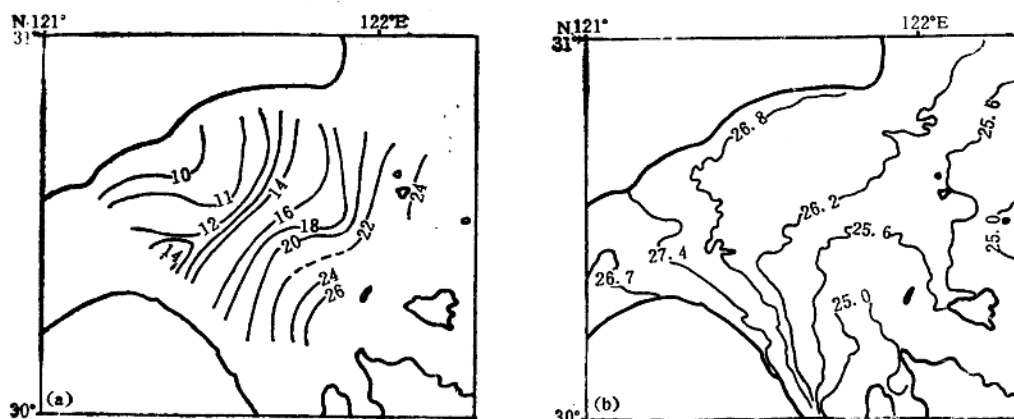


图7 (a) 1988年7月23日底层盐度;
(第5次大面)

(b) 1988年7月8日8时4分表层温度($^{\circ}\text{C}$)
(NOAA-9卫星红外图像)

五、锋面的余流

冬季时在湾口施放漂流浮标,最初时其所在位置的表层盐度为12.5,但在施放后10小时中浮标迅速横穿锋面至表层盐度为15以上处。在之后的24小时内,浮标附近的表层盐度一直在15到16之间波动,直至强劲北风兴起,很快把浮标驱使到盐度为17.5海域。夏季小潮时,在湾口及湾内同时进行过漂流浮标追踪,大潮时也在湾内进行过一次。由于湾内渔网过多,夏季的追踪仅在白天进行。

由图3可知,所有在小潮期间施放的漂流浮标,其净位移皆指向西南方向。冬季小潮初始的两个半日潮周期期间(25h)风浪较小,下面以这一段追踪为例子来估算除去风、浪、潮影响后的漂流浮标净漂移速度。在这段期间内浮标向南偏西 25° 方向净移了9.6km,相当于 0.11m/s 的平均流速。同期间的平均风速为偏北风 5m/s ,由吴京^[7]给出的公式估得风生漂流为 0.05m/s 、浪生漂流为 0.02m/s ,由于水浅两者皆取为南向。潮生拉格朗日余流由一个二维半日潮数值模式求解(许卫忆提供)。当潮差及潮相取值与观测期间值相当时,模式所得拉格朗日余流为 0.04m/s ,方向为北偏西 65° 。因此,由于锋面引起的漂流浮标平均漂移速度为 0.05m/s ,方向为南偏西 20° ,大致与锋面走向相当(图5a)。若用冬季小潮浮标追踪的其他的两个半日潮周期(不包括最后12小时的强风期),估算所得的平均漂移速度均为 0.05m/s 左右,方向均为南向但可能偏西或偏东。

夏季小潮中仅第一次浮标追踪达到历时13h, 即一个半日潮周期(图3b)。北侧的浮标向南偏西 30° 方向净漂移了10.2km, 即平均0.22m/s。南侧的浮标则以0.21m/s的平均漂移速度向南偏西 60° 方向漂移。当时为偏南风, 因此风及浪所诱生的漂移皆为偏北向。可以认为, 在夏季小潮时, 锋面导致的西南向沿锋面流速大于冬季小潮时的值。大潮时的浮标追踪

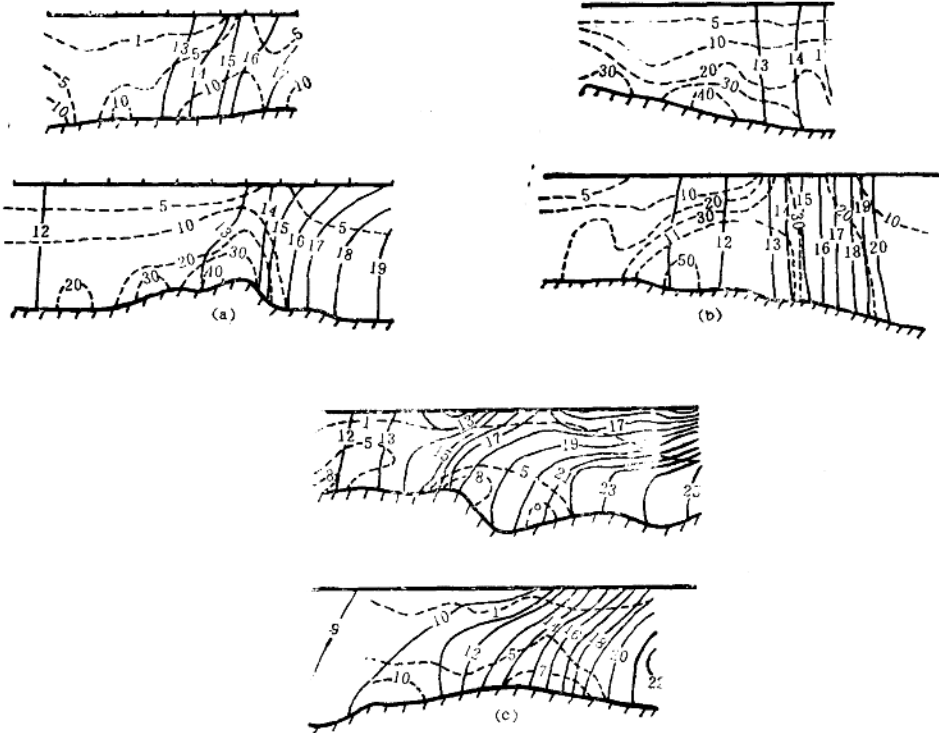


图8 D断面及F断面上盐度(实线)与悬移质浓度(虚线)的分布
(a)第2次大面(冬季小潮); (b)第3次大面(冬季大潮);
(c)第5次大面(夏季小潮)。悬移质浓度单位为 10^{-1} kg/m^3

历时不到一个半日潮周期(图3b), 无法对沿岸锋面流速的方向及大小作出估计, 但从浮标航迹趋势看此流速值可能不大。

若采用James^[8]的锋面环流湍流封闭数值模式, 对理想的二维锋面进行诊断计算, 结果表明^[10], 类似于杭州湾冬、夏季小潮时锋面的表层沿锋面流速皆为0.1m/s的量级, 而大潮时锋面的表层沿锋面流速则甚小, 仅为0.001m/s的量级, 底层沿锋面流速则均甚小。模式结果与浮标观测结果大致相符。但必须指出, 观测时间的锋面结构远比二维结构复杂。

在D断面附近施放的底层漂移人工水母大多在南汇嘴一带拾得, 而在湾内F断面中部施放的人工水母, 其回收点则较分散, 但总的平均方向为偏西。二维潮余流计算结果表明(许卫忆提供), F断面以东的拉格朗日潮余流偏向西北, 而F断面以西的北侧的余流偏北、南侧偏南、中间偏西。因此底层的漂移似与潮的关系较大, 而与锋面关系较小, 这与黄大吉计算的锋面底层流速小的环流结构^[10]也是一致的。

六、悬移质运输

(一) 锋面与悬移质的分布

图8中各断面上也分别绘出了悬移质的分布, 可见在锋面的低盐侧处的底层总有高悬移质浓度出现。在我们的观察中, 无法排除这些底层悬移质高浓度为潮作用再悬浮的可能。但是事实上, 其他各次大面观测中各断面上也都发现同样的相关关系, 只有H断面在第1、2次大面观测中因锋面不明显而无法得出结论。因此, 锋面低盐侧底层高浓度带与锋面的关系仍然是可信的。从图8中还可以看出, 冬季大、小潮时, 在上述底层高浓度区的锋区内侧的表层悬移质浓度也较高, 这在平面图上更是明显, 如图9a所示。可见光遥感图像上也可以清晰地看到这条高浓度带(图9b)。夏季大潮时表层悬移质浓度也有相同分布(图略), 但夏季小潮时因上层的层化较强, 这种分布规律不明显(如图8c)。

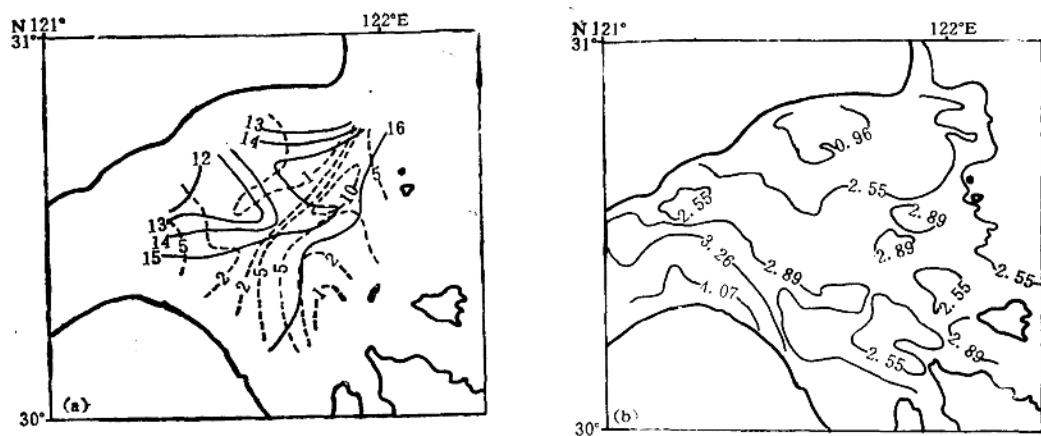


图9 (a) 1987年12月17日第2次大面表层盐度(实线)及悬移质(虚线)的分布。

悬移质浓度单位为 10^{-1} kg/m^3

(b) 1987年12月18日14时17分表层悬移质浓度(NOAA-9(卫星可见光图像))。

悬移质浓度单位为 10^{-1} kg/m^3

锋面的诊断计算结果也显示(黄大吉提供^[10]), 横切锋面的环流结构在高密侧下降, 在低密侧上升。这有利于底层悬移质在锋面的低密侧富集。由此富集区上升的环流也可导致在锋面低密侧的表层悬移质浓度较高。

图8a、b同时显示, 在冬季断面F的悬移质浓度高于断面D上的浓度。冬季悬移质的平面分布也清楚地反映(图略), 浓度由湾口向南岸递增。夏季时这种趋势则不明显。

两条连续站断面的走向皆横切锋面, 它们大致与潮椭圆长轴同方向。从连续站的潮平均

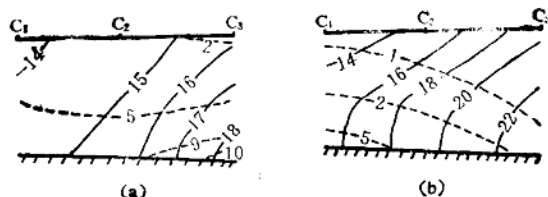


图 10 东北侧的连续站断面上潮平均盐度（实线）及悬移质（虚线）的分布
(a) 1987年12月小潮, (b) 1988年7月小潮。悬移质浓度单位为 10^{-1} kg/m^3

值看, 冬季小潮时东北侧断面的东南端的底层悬移质浓度略高于其西北端的值 (图10a), 大潮时也如此 (图略)。而夏季时, 东北侧断面的东南端的底层悬移质浓度则明显低于其西北端的值 (如图10b)。至于西南部的断面, 无论冬、夏, 其西北端的大、小潮平均底层悬移质浓度皆分别高于其东南的大、小潮平均值。

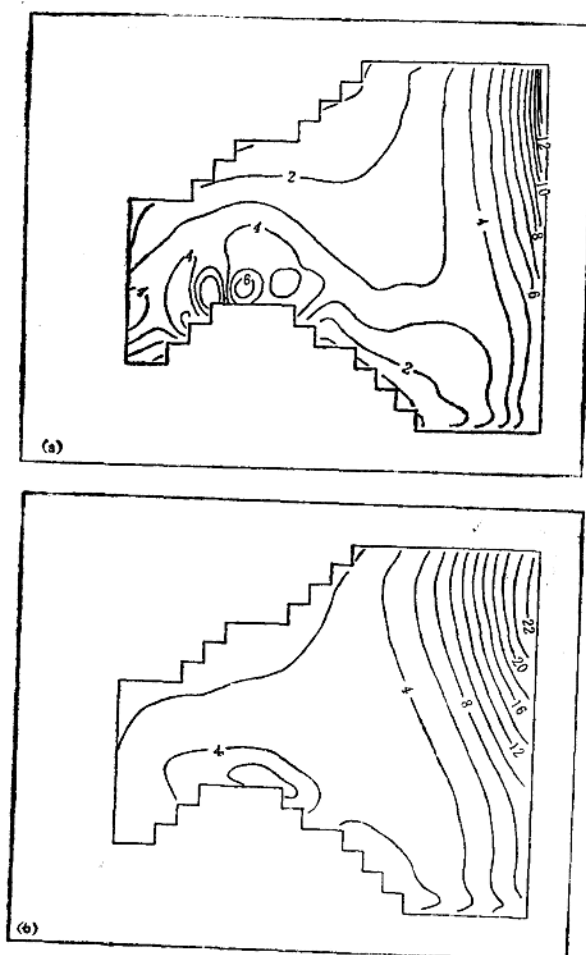


图 11 二维模式的悬移质计算分布
(a) 落憩, (b) 涨憩。悬移质浓度单位为 10^{-1} kg/m^3 。
(许卫亿和苏纪兰提供)

(二) 潮与悬移质高浓度带

在河口内, 潮的不对称也会形成最大混浊带, 这在Allen等^[9]的论文中已作过详细的阐述。杭州湾水浅、潮流急, 因此潮不对称的特征也是明显的。许卫忆和苏纪兰曾用一个二维的悬沙运输模式, 发现杭州湾内的确存在着潮生的最大混浊带(图11)。

图11中悬移质浓度在东及东南开边界处所采用值, 乃取自1981年7月大潮时的25h观测值^[6]。计算所用潮差为杭州湾大潮时的潮差。可以看出, 高浓度带的中心在庵东浅滩, 由此向湾的两端延伸。向湾口延伸的高浓度带大致指向东。从开边界处悬移质浓度为零的计算结果(图略), 这条高浓度带的形态基本不变。但是在落憩时它从图11a的形态继续向北延伸, 直达北岸的东北角, 而在涨憩时它也从图11b的形态向北延伸, 比落憩位置较偏西。

为了验证潮与锋面两者对高浓度带的重要性, 我们还分析了1976至1987年间春、夏、秋、冬分别各5、11、12、5张1976至1987年间可见光卫星图像。这些图像在潮时的分布上大致均匀。每张图像中我们按混浊度人为的分为两级, 较混浊区赋值为1, 较不混浊区赋值为零。然后取各季节的图像的累积值, 并换算为出现频率, 以代表该季节表层最大混浊带的位置。结果发现, 除庵东浅滩附近外, 春、夏季(高径流季节)的最大混浊带位置比秋、冬季的位置较近北岸(如图12)。它与高径流季节锋面的低盐侧较近北岸(图8)是一致的, 而潮的季节变化则相对小得多。需要指出, 若以金山的高潮位作为零时, 夏季的卫星图像分布在6个潮时中, 即0、 ± 2 、 ± 4 、6h。而冬季的则分布在4个潮时中, 即0、 ± 4 、6h。因此, 图12有一定的季节代表性。

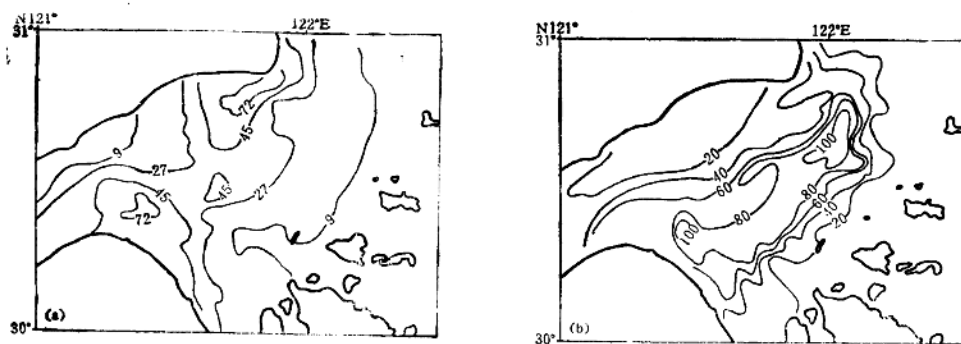


图12 由不同年代但相同季节可见光卫星图像计算出的高混浊带位置

(a) 夏季, (b) 冬季。数字代表出现的频率数

(三) 杭州湾悬移质的运输模式

从以上的分析可知, 杭州湾高浓度带的形成与锋面及潮的不对称性二者皆有关, 其中锋面由于对物质有辐聚性尤为重要, 特别是在湾内东北部分。

锋面作用对高浓度带的形成是通过横切锋面的环流, 形成的高浓度带在锋面的低盐侧尤其显著。潮作用则是由于潮的不对称性, 再通过潮对沉积物的再悬浮而产生高浓度带。因此,

杭州湾的高浓度带上层的悬移质一般向西南输送,主要的动力作用来自沿锋面流速。高浓度带中层悬移质的输运,沿锋面流作用及潮余流作用皆是重要的,至于高浓度带底层的悬移质则主要受潮余流的输运作用。在F断面以东拉格朗日潮余流基本为西北向,而在F断面以西则由北侧的西北向逐渐转向至南侧的西南向。此外,风、浪的作用对输运也很重要^[10],但因无充足资料本文不作讨论。

长江输出的悬移质,随长江冲淡水次锋面进入杭州湾的只是其中一小部分,其余在夏季时大多沉降于长江^[11]。冬季时长江口外的沉积物复再悬浮,并随长江冲淡水南下。这些南下的悬移质中一部分从杭州湾锋面南侧进入湾内,导致了在湾口锋面的高盐侧悬移质浓度略高于低盐侧的浓度。夏季时从锋面南侧进入杭州湾的水较不混浊,因此湾口锋面高盐侧的悬移质浓度明显低于低盐侧的浓度。

七、锋面与湾内其他物质的分布关系

若取大于40%底质粘土含量的区域代表杭州湾的细颗粒沉积区(图13),其分布成丁字形,主要部分从南汇嘴外到C₄站附近,为东北—西南走向。此外,在E及F断面之间该细颗粒沉积区部分向南偏东延伸,直达舟山岛西北。该区东侧的底质粘土含量大多高于30%。而在该区的西侧,30%等值线的形态与40%等值线类似,两者相距甚近。图13中还给出了底质锰元素含量的等值线,可以看出其高值区的走向与细颗粒沉积区是一致的。表明本海区底质重金属元素与细颗粒沉积物之间是相关的。

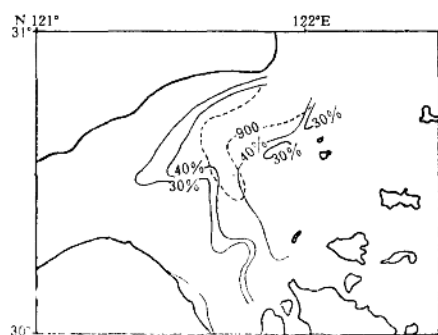


图13 杭州湾底质粘土含量百分比等值线(实线)及底质锰元素含量等值线(虚线)分布图

前者取自冯应俊等^[12],后者取自廖先贵等^[13]。锰元素含量单位为 $\times 10^{-6}$

因素虽然较多,如时辰、浊度、营养盐等,

由图12与图13的比较可见,东北—西南走向的细颗粒沉积区在冬季表层高混浊中心带的北侧,与夏季表层高混浊中心带相重叠。这可能与夏季长江输出泥沙量较高有关,也可能与夏季风浪小悬移质较易沉积的事实同样有联系。

底质中油、石油烃、有机氯农药等高值区出现于锋面的北侧^[14],在所述细颗粒沉积区之内。水体中溶解和颗粒有机物都在锋面中盐度为15一带显示出最高浓度值^[14]。后者表明锋面环流对水体中有机污染物的富集作用,而前者则反映前述锋面高浓度悬移质沉积的效应。

锋面环流结构对水体中物质的富集作用,也反映在总细菌数、异氧细菌数和大肠杆菌数在锋面均较高的现象^[15]。影响初级生产力的调查结果发现沿锋面也为其高值区。

八、结 论

冬、夏季节的多种观测结果皆显示,杭州湾存在着自南汇嘴外朝西南走向的锋面。它实际上是由长江冲淡水的次级锋面和钱塘江冲淡水锋面所构成。二者在枯季小潮期间是分开的。

锋面淡水侧的下层为悬移质高浓度区,该区表层的悬移质浓度也高于附近海区。冬季时东北段锋面的高盐侧的下层也是悬移质高浓度区。锋面也是浮游植物、细菌及颗粒有机物的富集区。此外,湾内底质细颗粒沉积区和重金属元素高值区也与锋面密切相关。

分析表明,长江冲淡水的次级锋面从杭州湾北侧带入悬移物质。湾内锋面则起着辐聚并向西南输运悬移物质的作用。潮不对称性导致的高浓度带在湾内近庵东浅滩区较为重要,其位置与锋面位置近乎重叠。冬季时长江冲淡水也从锋面南侧向湾内输入悬移质。

本项工作为国家自然科学基金会(项目4860244)及浙江省自然科学基金会(项目188011)所资助项目,部分调查由国家海洋局“海监42”号及“海监47”号和钱塘江管理局“钱测1号”承担。

参 考 文 献

- [1] 谢钦春,浙江海岸带动态和演变趋向(浙江海岸办、浙江海岸带调查报告编委会编),浙江海岸带和海涂资源综合调查报告,海洋出版社,1988,125~129。
- [2] 严肃庄、胡方西,钱塘江河口重矿物特征及其与动力环境的关系,华东师范大学学报,1986,4: 83~90。
- [3] 孙英、黄文盛,浙江海岸的淤涨及其泥沙来源,东海海洋,2(1984),4: 34~42。
- [4] Su Jilan and Wang Kangshan, Changjiang River Plume and suspended sediment transport in Hangzhou Bay, *Continental Shelf Research*, 9(1989), 1: 93~111。
- [5] Su Jilan and Xu Weiyl, Modelling of the depositional pattern in Hangzhou Bay, In: *Proceedings of Nineteenth International Coastal Engineering Conference*, American Society of Civil Engineers, New York, 1984, 2181~2191。
- [6] Su Jilan and Wang Kangshan, The suspended sediment balance in Chanjiang Estuary, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 23(1989), 81~98。
- [7] Wu J., Sea-surface drift currents, *Offshore Technology Conference*, Houston, Texas, Paper #OTC 2294, 1975。
- [8] James, I.D., A three-dimensional numerical shelf-sea front model with variable eddy viscosity and diffusivity, *Continental Shelf Research*, 3(1984), 69~98。
- [9] Allen, G.P., J.C. Salomon, P. Bassoullet, Y. Du Penhoat and C. De GrandPre, Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries, *Sedimentary Geology*, 26(1980), 69~90。
- [10] 陈伟、黄大吉、杨昭庆,杭州湾锋面区余流场结构及其动力分析,本文集,1992,22~28。
- [11] Milliman J.D., H.T. Shen, Z.S. Yang and R.H. Meade, Transport and deposition of river sediment in the Chanjiang Estuary and adjacent continental shelf, *Continental Shelf Research*, 4(1985), 36~46。
- [12] 冯应俊、李炎、李伯根,杭州湾地貌、沉积特征及其与水系锋面的关系,本文集,1992,47~56。
- [13] 廖先贵、张湘君、应时理、魏琳瑛、朱林范,杭州湾重金属的来源及其对泥沙运动的指示意义,本文集,1992,57~63。
- [14] 朱桂海、卢冰、郑士龙、施建中,杭州湾海域烃类化合物的地球化学特征,本文集,1992,64~78。
- [15] 史君贤、陈惠元,杭州湾锋面附近微生物生态分布特征,本文集,1992,79~85。

Fronts and Transport of Suspended Matter in Hangzhou Bay

Su Jilan, Wang Kangshan and Li Yan

(*Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou, China*)

ABSTRACT

Based on hydrographic and anchored-station data it is shown that a persistent NE-SW front exists inside Hangzhou Bay year-round. This front is actually the merging of the secondary Changjiang plume front and the Qiantang plume front from the upstream side of the bay. At neap tides during the low runoff periods these two plumes can readily be identified. Our findings suggest that suspended sediment is transported into the bay through the northern end by the secondary Changjiang plume. The front inside the bay acts to concentrate suspended sediment, and phytoplankton, bacteria, particulate organic matter as well. It also transports suspended sediment south-westward into the bay and plays an important role in the distributions both of fine grained sediment and heavy metals in this sedimentary basin.