

长江口海域温、盐度分布的基本特征 和上升流现象*

赵保仁 乐肯堂 朱兰部
(中国科学院海洋研究所)

长江口位于黄海和东海的分界处。1985 年 8 月至 1986 年 10 月对长江口海区进行了水文调查,调查范围为 124°E 以西, $30^{\circ}45'\text{N}$ 以北, 32°N 以南的黄海和东海区域(图1)。

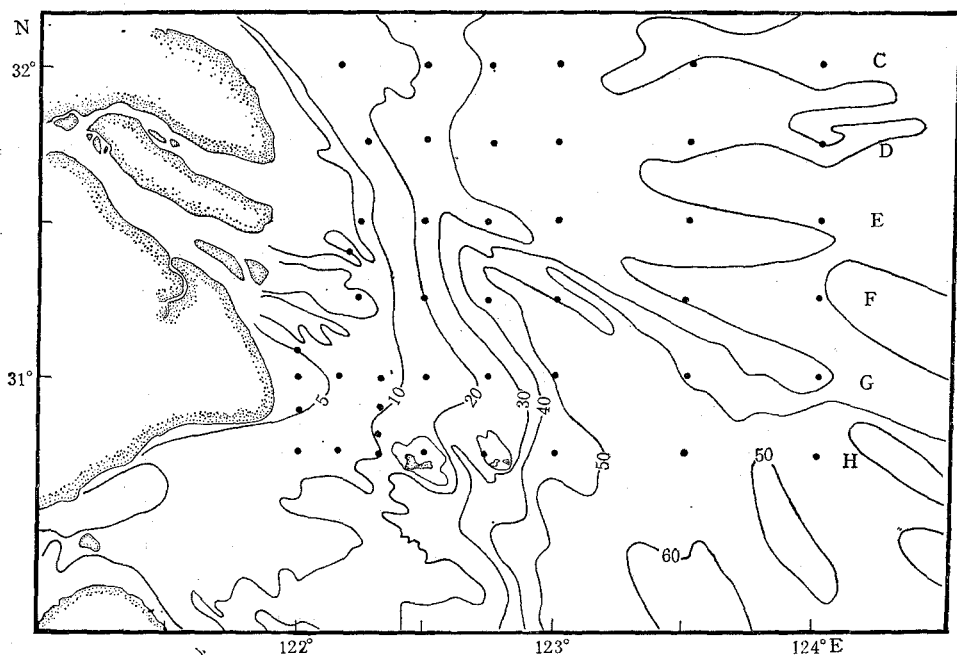


图 1 调查站位及水深 (m) 图

本海区属中纬度季风区,水深一般不超过 50m,气象因素对水文要素的影响很大。冬季盛行偏北风,西伯利亚的干冷气流频频南下,因海面冷却和蒸发造成的垂直对流可直达海底。夏季盛行偏南风,并常有台风侵扰。

长江径流量十分充沛,每年约有 9 240 亿立方米的淡水入海,约占进入黄海、东海的

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2053 号。

本文初稿写于 1986 年底,这次发表时略加修改。关于长江冲淡水转向机制问题,第一作者最近又有进一步的研究,认为除了与径流量和台湾暖流有关外,我国东南沿海由南向北的海面坡度是引起长江冲淡水转向的重要原因。这里仍按原来的观点发稿。

收稿日期: 1989 年 11 月 4 日。

径流量的 80%。长江径流量的季节变化十分显著, 5—10 月径流量约占全年总径流量的 71%。充足的淡水入海和海面的增温影响, 使调查海区水体在夏季明显分层, 并形成强大的淡水舌。特别令人感兴趣的是此淡水舌不是沿长江入海口门的方向指向东南, 而是经常转向东北方向, 并且转角的大小随着径流量的增大而增大。

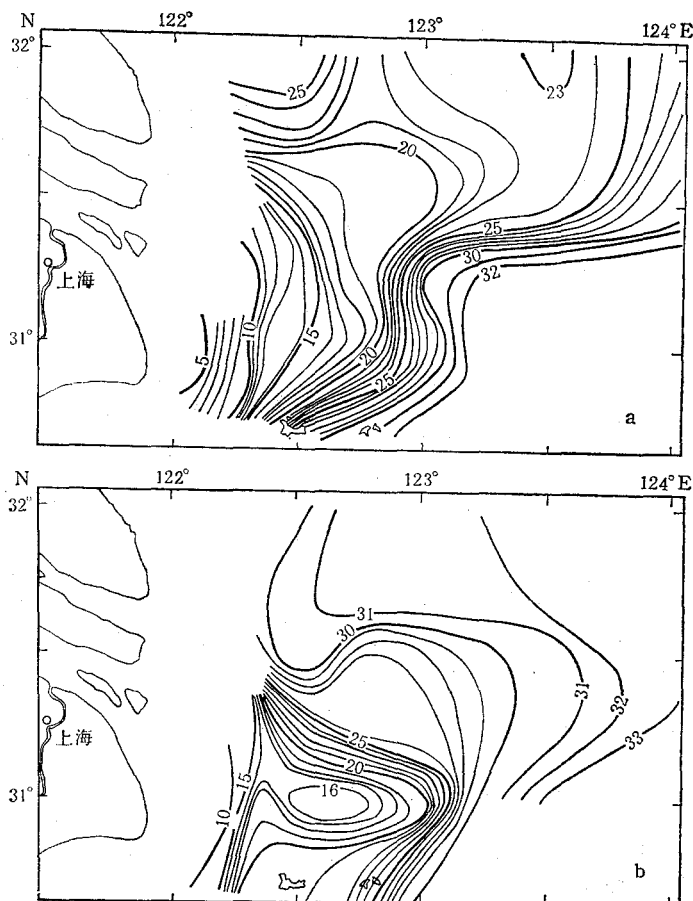
长江口区的潮流比较大, 潮混合对这里的水文要素的垂直和水平分布有重要影响。长江口是部分混合型即 B 型为主的河口(沈焕庭等, 1986), 发达的潮混合和充沛的径流输入, 两者相互作用, 使得河口区的盐度垂直分布有时呈垂直均匀状态, 有时呈层化状态。

长江口海区南部有台湾暖流北上, 其延续体可越过长江口到达 32°N 以北海区。长江口北面有苏北沿岸流和黄海沿岸流南下。北上的台湾暖流和南下的黄海沿岸流和苏北沿岸流同长江冲淡水相互交汇、混合, 对长江口区的水文要素分布、变化有重要影响。

下面我们根据 1985 年 8 月至 1986 年 8 月调查所得资料和部分历史资料, 对长江口海区水文要素的基本特征作一扼要的记述。

一、温、盐度水文要素的分布变化特征

调查期间各季代表月份和蓄水月 10 月份的表、底层盐度分布如图 2, 3 所示(其他月



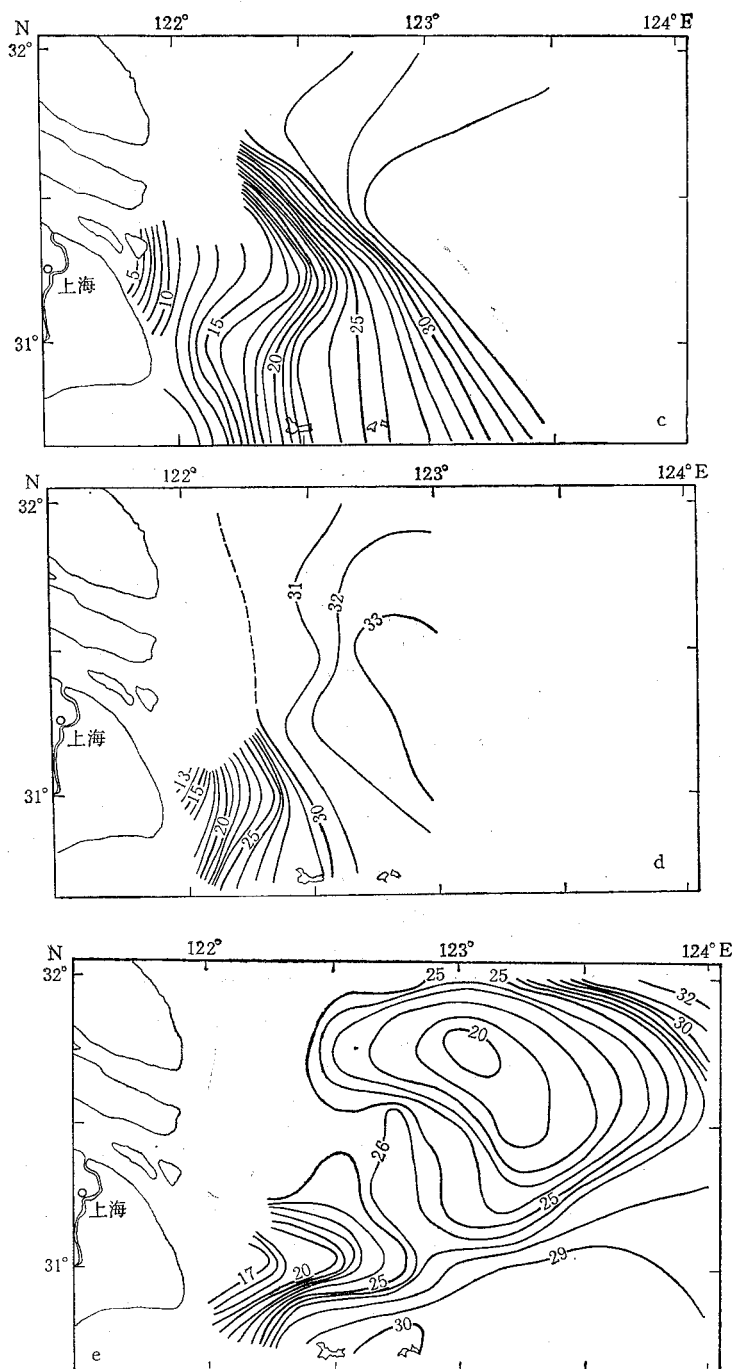


图2 各季代表月份表层盐度分布图

a. 1985年8月; b. 1985年10月; c. 1985年11月; d. 1986年1月; e. 1986年5月

份相应的盐度分布图从略)。由图可知,调查海区盐度分布的显著特征是,5—10月长江冲淡水扩展范围较大,其方向不是沿河口指向东南而是转成东至东北方向。其中,冲淡水向东或东略偏北扩展者有1985年10月,1986年7月,向东北甚至东北偏北方向扩展者有

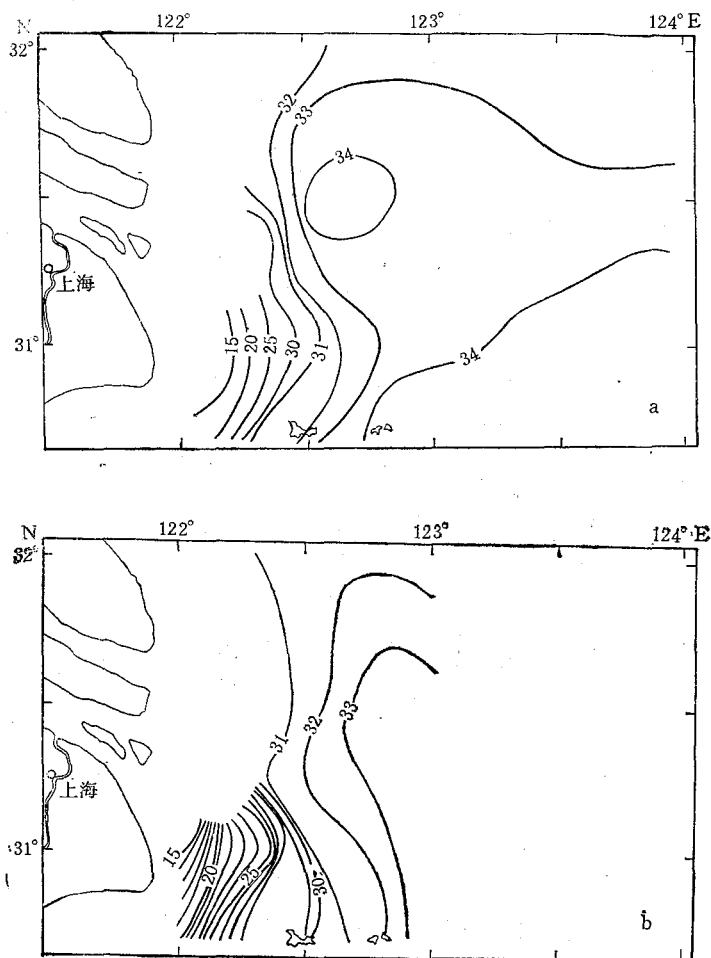


图3 冬夏季代表月份底层盐度分布图

a. 1985年8月; b. 1986年1月

1985年8月、1986年5,6,8月。调查期间冲淡水转向时大通站的最小月平均径流量约为 $2.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ (1986年5月), 这一数值远小于乐肯堂(1984)给出的临界流量值。其他月份, 即长江枯水期, 淡水入海后沿河口方向扩展到 $122^\circ 30' - 123^\circ \text{E}$ 区域, 然后便向舟山群岛附近海面扩散。观测表明, 枯水期径流量较大的月份如1985年11月和1986年4月, 冲淡水可扩展到 123°E 一线; 水量较小的月份, 如1986年1月只达 $122^\circ 30' \text{E}$ 一线。

调查海区盐度分布的另一重要特征是, 在海区的东南角, 底层有一高盐水(舌), 大体沿长江口外的深槽(略偏深槽的外沿)向西北方向扩张。该高盐水(舌)的核心盐度一般可达 33.5—34.0 左右。这是台湾暖流高盐水向调查海区扩张的表现。一般说来该高盐水在夏季势力最强, 扩展范围最大, 冬季次之, 春、秋季较弱, 扩展范围小。

长江口海区盐度分布的又一特点是, 洪水期在 $122^\circ 45' \text{E}$, $31^\circ 20' \text{N}$ 附近海域, 即在伸向长江口的海槽的西侧和北侧, 0—10m 层经常出现盐度相对均匀或较周围海域略高的水域。调查期间比较典型的月份有1985年8月、10月, 1986年5月、8月, 1986年4

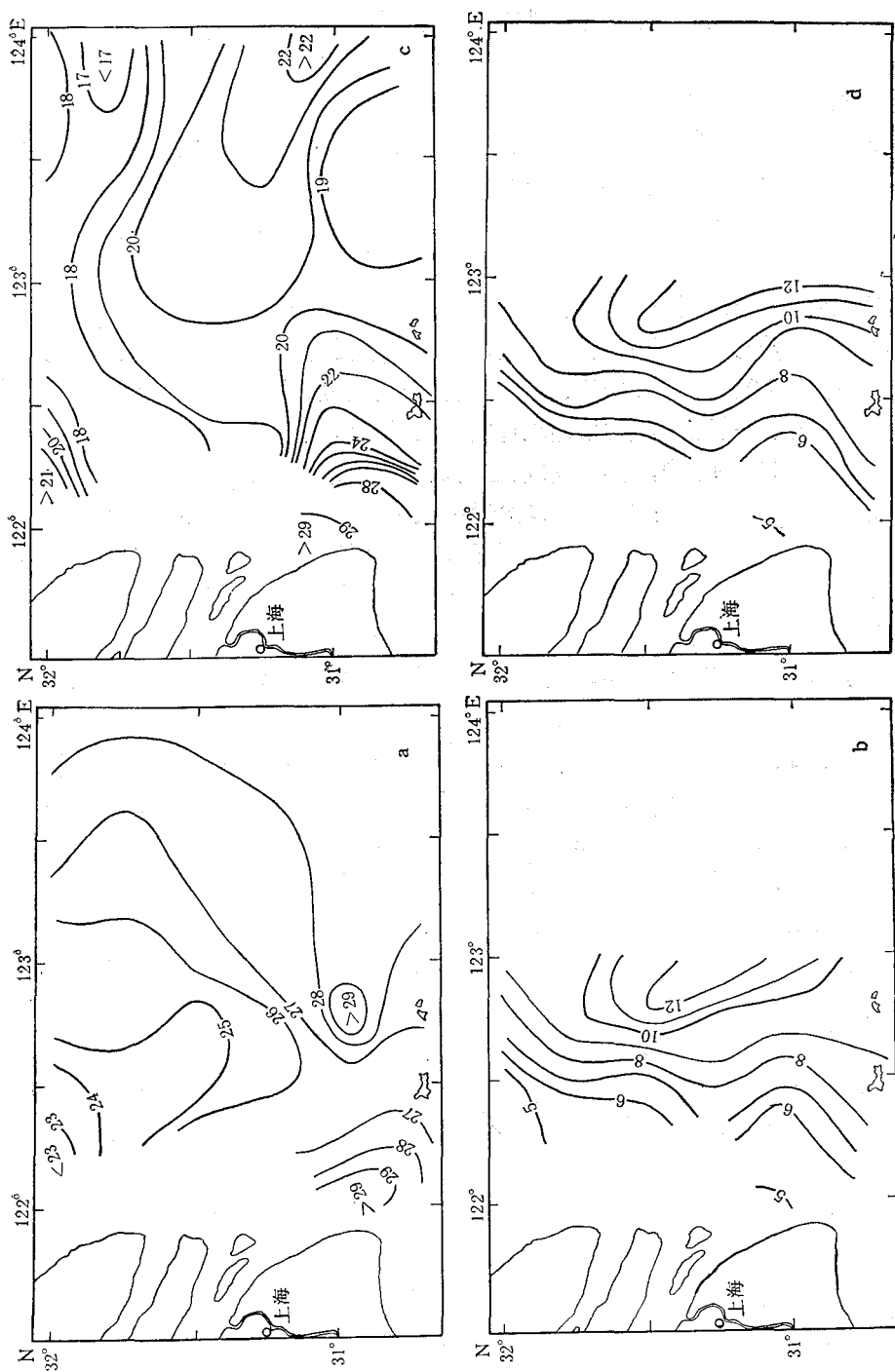


图4 表、底层温度分布 (°C)
a. 1985年8月表层温度; b. 1986年8月表层温度; c. 1985年8月底层温度; d. 1986年8月底层温度

月和6月也有迹象可见。从1986年5月的表层大面图可以看到,沿上述海槽向西北延伸的相对高盐水将长江冲淡水横割成两部分,在海区东北部形成一个中心盐度低达19,厚度达10m的孤立低盐水区。在历史资料中类似的情况还有1980年6月,1978年5月等。下面我们将要指出,上述相对高盐水的出现是同那里的上升流现象相联系的。

表层温度水平分布(图4)的基本特点是,从春末到秋初(一般为5—9月),在长江口有一高温水舌向外海扩张,其方向同低盐水舌基本一致,但范围较低盐水舌小得多。另外在调查海区的西北部有一低温水区。嵊泗附近海面也有一低温区。在调查海区的东南部则有高温高盐水入侵。上述两个低温水区的出现,是同潮混合现象相联系的(赵保仁,1985)。

洪水期底层水温分布(图4)的基本特点是,在长江口有一高温水舌向外海扩展,并有向东或东北转向的趋势。由于周围水温较低,此高温水舌一般比表层的更为明显。由于潮混合影响,调查海区的西北部,即表层低温区的下方,底层为高温区。在调查海区的东南部水温一般较高,但在长江口外的深槽中,底层水温相对较低。

从秋末至春初(11—4月),长江淡水水温明显低于海水水温,因此这一时期调查海区的水温水平分布的基本特点是:在长江口附近可以看到一低温水舌自长江口向东南方向扩展,其方向和范围同低盐水舌基本一致。另外,在东南外海区有一高温水舌向西北方向扩展,它是台湾暖流影响调查海区的表现。在这一季节,因海面冷却和蒸发造成的对流作用可直达海底,所以底层的水温分布趋势同表层基本一致。

作为代表,图5给出G断面(31°N)各季代表月份盐度及5月份温度和溶解氧的断面分布图。一般说来,调查海区5—10月由于淡水输入量大增及海面增温影响,水体呈层化状态;11—4月由于海面降温和蒸发影响,一般呈垂直均匀状态。从图5还可以看出,洪水期河口处盐度分布有时呈垂直均匀状态,如1986年5月;有时呈层化状态,如1985年8月。这是因为长江口的层化状态与观测时间的径流量和潮流大小有关(沈焕庭等,1986)。从断面图看,长江冲淡水在 G_4 站附近已明显层化,此时冲淡水的厚度约5—10m。从5月和8月的断面盐度分布图还可以看出,在 G_4 站($122^{\circ}45'\text{E}$)附近等盐线有明显的抬升现象;相应地在温度和溶解氧断面图上,在 G_4 站附近也可看出等温线和等溶解氧线的抬升现象。

需要指出,在长江口海区的其他断面如D,E,F等, $122^{\circ}30'—123^{\circ}\text{E}$ 附近均出现类似的等值线抬升现象;由于篇幅所限,我们不再给出有关的断面图。此外,毛汉礼等(1963)在早期的研究中也曾经指出,长江冲淡水的厚度为右侧厚左侧薄,我们的调查结果与此相一致。

二、长江口区的上升流现象

前面已经指出,洪水期长江口附近海域,在 $122^{\circ}30'—123^{\circ}\text{E}$ 一带经常出现盐度相对均匀或盐度较周围区域略高的水域,在断面图上则可看到低温、低氧的高盐水的抬升现象。显然这是同海水的上升运动相联系的。为阐明该处的上升流现象,这里再给出几幅温盐要素的平面分布图及断面分布图。其中图6a,b为调查得1985年8月5m层温、盐度

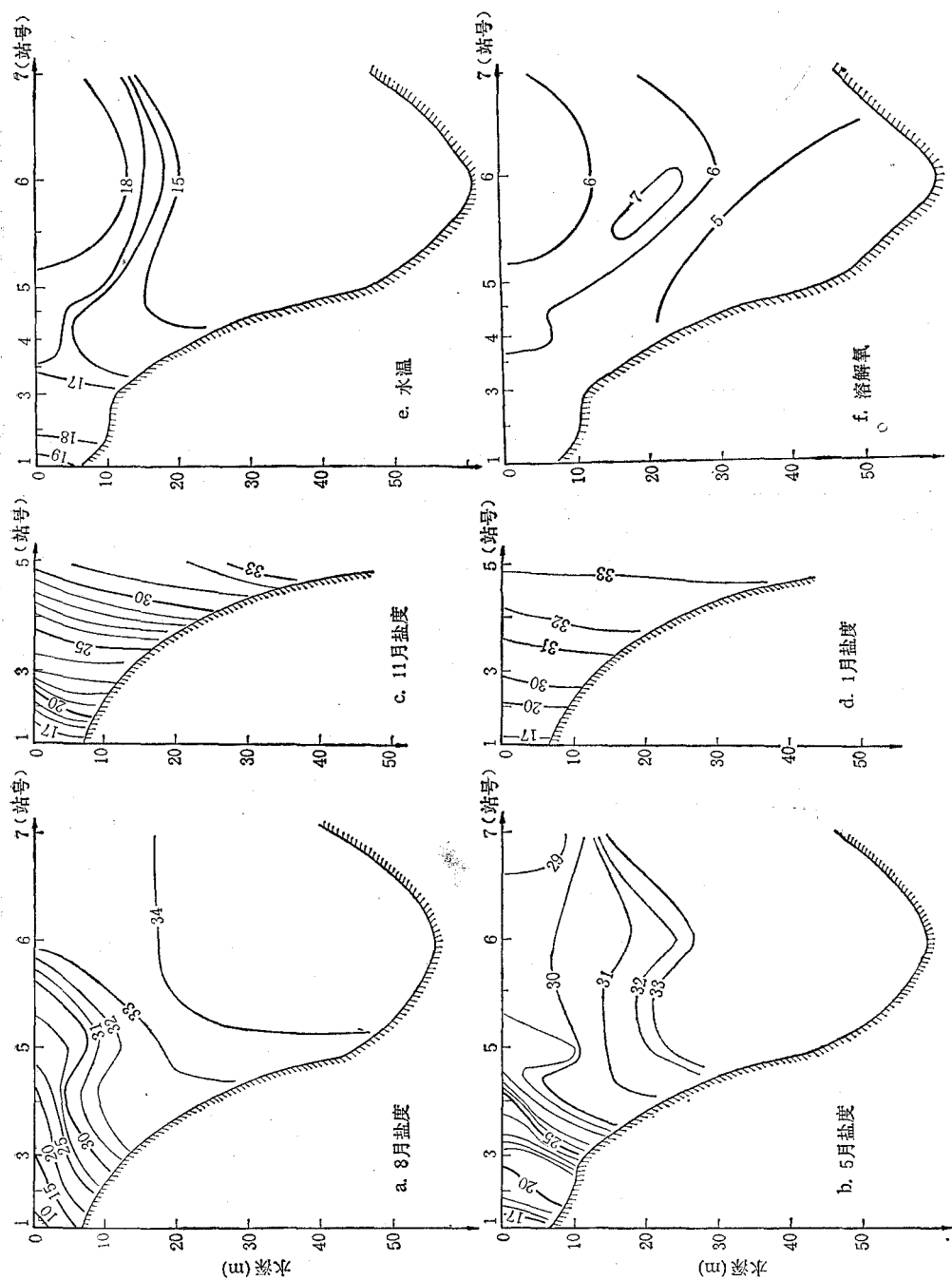


图5 G断面各季代表月份盐度及5月份温度和溶解氧断面分布

a. 1985年1月(S); b. 1986年5月(S); c. 1985年11月(S); d. 1986年1月(S); e. 1986年5月(T, °C); f. 1986年5月(O₂, mL/L)

水平分布,图 6c 为 1986 年 5 月 10m 层盐度分布。由图可知,在 31°N 以北、 $122^{\circ}30'\text{E}$ 以东海区明显地存在着一大片孤立的低温高盐水区, 5 月份中心盐度达 33.4, 8 月份达 33.5, 温度低于 18°C 。相应地在上述区域有溶解氧含量较低,而浮游生物总量较高(郭玉

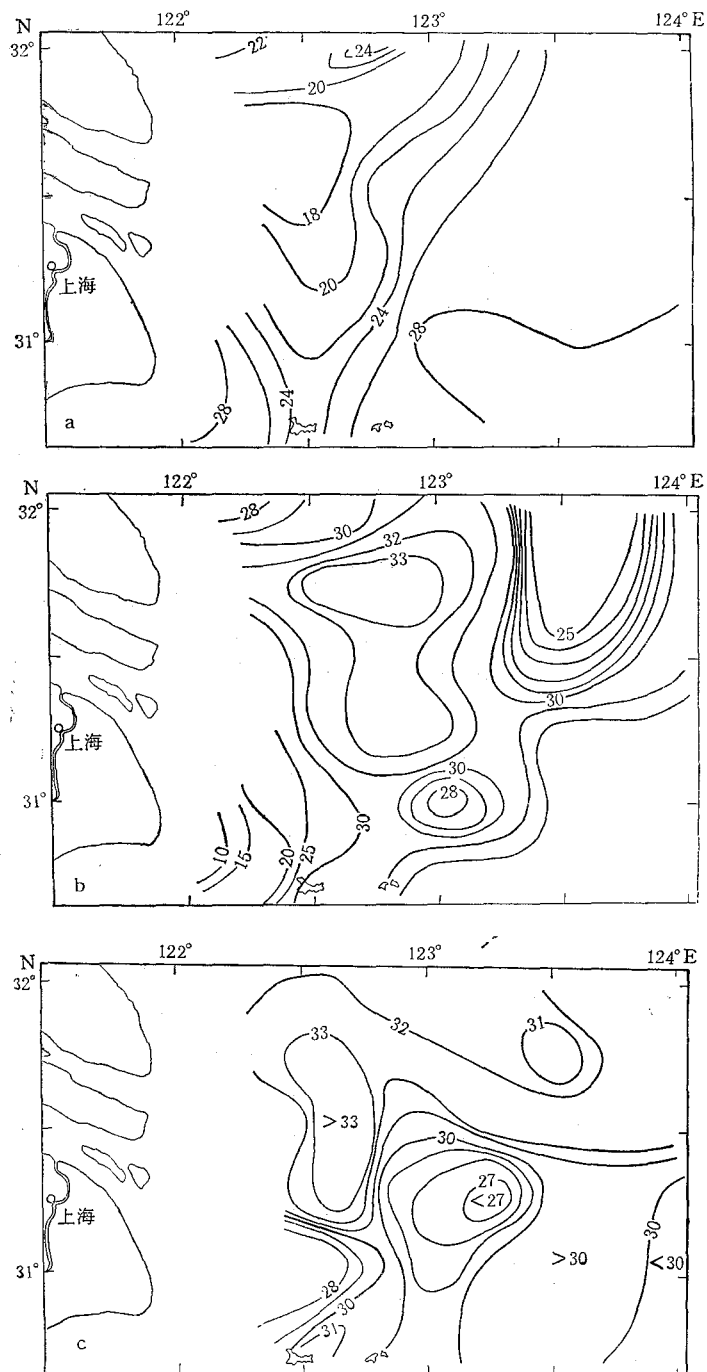


图 6 温、盐度的平面分布

a. 5m 层温度(1985 年 8 月); b. 5m 层盐度(1985 年 8 月); c. 10m 层盐度(1986 年 5 月)

洁、杨则禹,本集)的现象出现。在这一海域,只有台湾暖流才能达到如此高的盐度值,而低溶解氧也正是台湾暖流深层水所固有的水化学特征(毛汉礼等,1964)。我们认为,这一高盐冷水显然是变性后的台湾暖流深层水在这一区域逆坡涌升的结果。

根据给出的温、盐度平面分布,该上升流区域大约以 $122^{\circ}45'E$, $31^{\circ}30'N$ 为中心,在东西和南北方向上各达一个经纬度。在我们调查所得的5月份和8月份的断面图上,来自深层的高盐水可以到达5m以上的水层。

在历史资料中,同样可以看出该区域存在着深层高盐水的涌升现象。例如从1981年8月中美合作调查所得的长江口区的一个温、盐、密度的断面图中(图7),可以清楚地看到来自深层的高盐冷水,在 P_{54} 和 P_{53} 站附近可逆坡上升到表层附近。同样在1980年6月的中美合作调查资料中也可以发现类似的情况(Beardsley *et al.*, 1983)。由此我们认为,长江口海区出现的底层高盐水的涌升现象在春、夏季普遍存在。

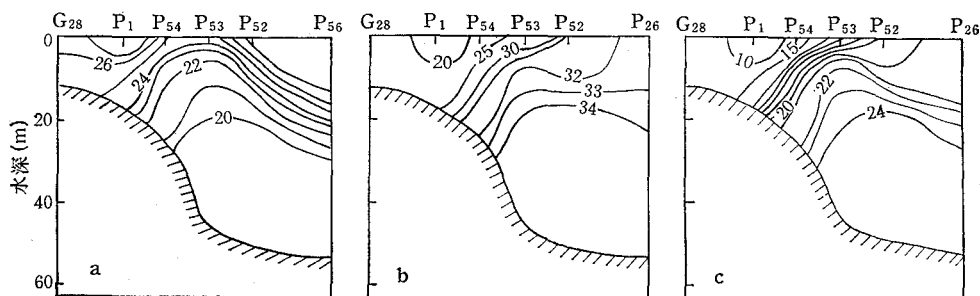


图7 1981年8月长江口断面($30^{\circ}50'N$ 附近)图(Limeburner *et al.*, 1983)

a. 温度($T, ^{\circ}C$) b. 盐度(S); c. 密度(σ_t)

长江口产生上升流的原因何在? 本调查所得的温、盐资料表明,台湾暖流大体沿长江口外的深槽北进,可到达 $31^{\circ}30'N$ 附近海区。翁学传等(1983)也曾指出,台湾暖流大体沿 $123^{\circ}E$ 线北上,可以到达 $31^{\circ}-32^{\circ}N$ 附近海区。根据有关测流和透光度资料(赵保仁,1982;1987),台湾暖流的延续体一般要扩展到 $32^{\circ}N$ 以北海区。由图1给出的水深分布可知,台湾暖流进入调查海区之后,一直是逆坡北上的。此外,长江径流外泻时,在河口底层附近还形成卷吸倒流现象¹⁾(沈焕庭等,1986),其卷吸倒流也是逆坡而进的。因此可以认为,海流的爬坡作用可能是该海区形成上升流的主要动力机制。另外,洪水期长江冲淡水转向东北方向时气旋型涡度增加,夏季长江口外的气流场为正涡度场,这两种效应形成的埃克曼抽吸作用也可能是形成上升流的原因之一。

三、长江冲淡水转向原因分析

洪水期长江冲淡水的转向现象曾引起许多学者的浓厚兴趣(王从敏等,1986;顾玉荷,1985;崔茂常,1984;浦永修,1983;毛汉礼等,1963,1964)。虽然已经提出了若干理论来解

1) 乐肯堂,1984,长江冲淡水洪水期盐度分布和海流结构的初步分析,渤海、黄海、东海调查研究报告,151—163(内部资料)。

释这一现象,但到目前为止,对实际资料的分析仍是不够。现在还不十分清楚,长江冲淡水转向这一重要水文现象究竟同哪些现象相联系,转向的主要原因是什么。至少目前还没有一个大体一致的看法。本文打算以实测资料为基础,对长江冲淡水的转向问题作一概要的分析。

根据我们掌握的资料,引起冲淡水转向的原因,主要可能有三方面:(1)长江径流量,(2)台湾暖流,(3)风场。地形可能是通过径流量和台湾暖流起作用的。

首先分析冲淡水转向角度同径流量的关系。这里所指的转向角,是指淡水舌主轴方

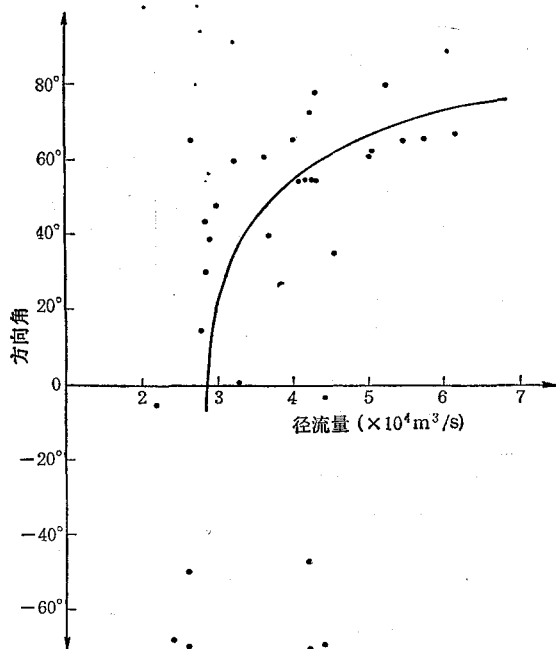


图8 冲淡水转向角与流量的关系

向与正东方向之间的交角,取向北偏转为正,向南偏转为负,当转角为正时称冲淡水转向。图8是我们早先得到的流量与冲淡水转角之间的关系图(图8),图中包括了1971—1981年间的大部分观测资料。该图表明冲淡水转向角与流量之间确实存在着某种关系,一般地说,当流量超过 $2.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,长江冲淡水便转成东北方向,并且转向角随着流量的增大而增大。但是也可以看到,图中给出的点子比较分散,而且有若干次观测,流量已超过 $4.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$,冲淡水仍没有转向。

根据不完全统计,1959—1986年期间,洪水期(5—10月)各月都有大流量冲淡水并不转向的事件发生(见表1),其中以9、10月份为最多。

表1 冲淡水转向统计表

月 份	5	6	7	8	9	10
转向最小流量 ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$)	2.40	2.68	3.58	2.80	3.44	3.05
不转向最大流量 ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$)	2.43	3.43	4.74	5.20	4.15	4.05
转向次数/观测次数	5/6	9/10	7/9	15/19	3/10	2/8

图8和表1的事实表明,流量确实是引起长江冲淡水转向的重要因素,但不是唯一的因素,因为还存在若干大径流量条件下冲淡水不转向的例外情况。

台湾暖流可能是引起长江冲淡水转向的另一重要因素(顾玉荷,1985;翁学传、王从敏,1983)。我们认为,台湾暖流对长江冲淡水的影响可以有两个方面。第一,如前所述,台湾暖流沿长江口外的深槽北上时引起上升流;从而对冲淡水的层化状态有显著影响。台湾暖流较强时,上升流可直达海面,此时盐度较高的深层水把淡水分割成左右两部分,使台湾暖流前进方向右侧的长江冲淡水脱离母体,从而有时会掩盖冲淡水已经转向的实质。

这种情况如本专题调查中的1986年5月,其他如1980年6月,1981年6月,1978年5月等。第二,当台湾暖流较弱,并且主轴明显偏向外海一侧时,长江径流入海后直接向东南方向扩张。比较典型的例子如1978年8月(图9),1983年8月等。1978年8月底层高盐水(34等盐线)较常年向南退缩至少一个纬度,这时表层的长江冲淡水直接向东南方向扩张,看不出有转向的迹象。

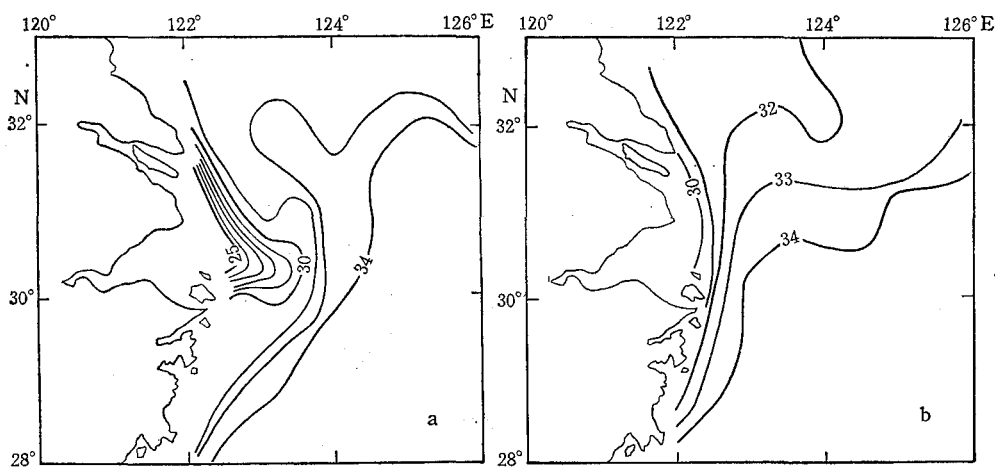


图9 1978年8月表、底层盐度分布

a. 表层; b. 底层

本专题调查资料也表明,5,8,9月底层高盐水向北向西扩展比较显著,相应地长江冲淡水向东北方向偏转角度也比较大。因此有理由认为台湾暖流也是影响长江冲淡水转向的一个重要因子。

最后分析风对冲淡水转向现象的影响。直观地看,4月中下旬在长江口海区即由偏北风为主转成以偏南风为主,从9月中上旬开始,又从偏南风转成偏北风为主。表1表明,在5月份的6次调查中,出现5次冲淡水转向现象;相反,在9月份的10次调查中,只有3次出现转向;在10月份的8次调查中,只出现2次转向情况。与表1相应,9月和10月的平均径流量分别为 $3.36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $3.29 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$,显著大于5月份的平均流量 $2.65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。因此我们可以说,风也是影响冲淡水转向的原因之一。

参 考 文 献

- 王从敏、翁学传,1986,台湾暖流对长江冲淡水扩展方向的影响——Fuzzy关系方程的一种应用,海洋与湖沼论文集,科学出版社,13—20。
- 毛汉礼、甘子钧、蓝淑芳,1963,长江冲淡水及其混合问题初步探讨,海洋与湖沼,5(3): 183—205。
- 毛汉礼、任允武、孙国栋,1965,南黄海和东东北部(28°—37°N)夏季水文特征和水型的初步研究,海洋科学集刊,01: 23—77。
- 乐肯堂,1984,长江冲淡水路径问题的初步研究(I)模式,海洋与湖沼,15(2): 157—166。
- 沈焕庭、朱慧芳、茅志昌,1986,长江河口环流及其对悬沙输移的影响,海洋与湖沼,17(1): 26—35。
- 赵保仁,1982,局地风对黄海和东海近岸浅海海流影响的研究,海洋与湖沼,13(6): 479—490。
- 赵保仁,1985,黄海冷水团锋面与潮混合,海洋与湖沼,16(6): 451—460。
- 赵保仁,1987,南黄海西部的陆架锋及冷水团锋区环流结构的初步研究,海洋与湖沼,18(3): 217—226。

浦永修, 1983, 夏季长江冲淡水扩展机制的初析, 东海海洋, 1: 43—51。

顾玉荷, 1985, 长江冲淡水转向原因的探讨, 海洋与湖沼, 16(5): 354—363。

崔茂常, 1984, 长江冲淡水转向研究, 海洋与湖沼, 15(3): 222—229。

翁学传、王从敏, 1983, 台湾暖流深层水变化特征分析, 海洋与湖沼, 14(4): 357—366。

Beardsley, R.C. *et al.*, 1983, Structure of the Changjiang River plume in the East China Sea during June, 1980, Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, China Ocean Press, 243—260.

Limeburner, R., Beardsley, R. C. and Zhao Jinsan, 1983, Water masses and circulation in the East China Sea, Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, China Ocean Press, 261—269.

CHARACTERISTICS OF THE TEMPERATURE AND SALINITY DISTRIBUTION AND THE UPWELLING PHENOMENA IN THE CHANGJIANG RIVER MOUTH AREA*

Zhao Baoren, Le Kentang and Zhu Lanbu

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

Hydrographic characteristics in the ChangJing River Mouth area are described for four seasons. The paper points out that there is an upwelling area off the mouth, which may be caused by upward climbing of Taiwan Warm Current along the slope bottom. By the statistics the discharges of the Changjiang River, Taiwan Warm Current and wind stress on the study area are the main factors causing the Changjiang River Diluted Water to turn to the northeast.

* Contribution No. 2053 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.