

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

樊安德 王玉衡 董恒霖

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州)

提要 根据1981年6月、8月、10月3个专题调查航次测得的温度、盐度、磷酸盐、硅酸盐、无机氮以及溶解氧数据的平面和陆架横断面分布图,对夏季出现在浙江近海的台湾暖流深层水的沿岸涌升范围、上界面、稳定状态及其时间变化规律进行了分析研究。结果指出,各个参数的等值面逐渐向上升流核心区靠拢,在水深20m层形成了“羽状”平面分布结构;通过“羽状”移动的图形,可预测涌升中心边界位置在起始、发展、消衰3个阶段的变化规律。

夏季,在浙江近海海区出现向岸逆坡爬升现象的海流主要是台湾暖流深层水(以下简称深层水),对于其物理特性、起源和季节变化规律,已有不少报道^[4,5,8,10],一些专家还对沿岸涌升的物理过程进行了专门的研究^[11-3,6,9]。然而,有关该区域营养盐、溶解氧的研究尚不多。运用这些化学示踪要素的空间分布特征可以辅助论证上升流的范围、上界面、稳定状态以及时间变化规律。通过长期积累海洋水文、气象、化学、生物等学科的有关基础资料后,可期望根据有关参数空间分布状态的变化规律来预测上升流区的生物量^[7,13]。

本文根据1981年6月16—17日、8月5—8日、10月17—18日测得的化学资料,对照温度、盐度参数,对夏季前后营养盐、溶解氧因受上升流区水动力条件以及生物作用影响而形成的空间分布状态特征与时间变化规律进行了初步探讨。

一、调查区域与方法

调查区域位于 $27^{\circ}30' - 30^{\circ}30'N$, $124^{\circ}00'E$ 以西近岸斜坡海区(图1)。由于该区海岸线走向对北向经线基本上成 22° 夹角,且在距岸20—50km处有一条与海岸线走向大致相平行、坡度为 1.1×10^{-3} 的海底陆架“斜坡”,因此横断面站位的布点按垂直海岸线走向设置。深层水就在斜坡外海一侧北上,并具有自东南向西北爬坡涌升的趋势,文献[9]已介绍了8月航次准同步测得的横向垂直环流分布图。此外,8月前后盛行的风向为WSW-SSW,风速多为 $5-11m \cdot s^{-1}$ 。

在现场测定了温度、盐度、磷酸盐、硅酸盐、无机氮(硝酸盐、亚硝酸盐、铵)以及溶解氧的数值。温度由颠倒温度计上直读,盐度用电导盐度计测得,测定营养盐用的海水样品经过 $0.45\mu m$ 孔径的微孔薄膜过滤后用分光光度计测定单项浓度,溶解氧用容量法滴定。6月航次没有测无机氮。

收稿日期: 1985年7月7日。

1) 管秉贤、陈上及, 1984。中国近海的海流系统。全国海洋综合调查报告, 第五册, 1—85。

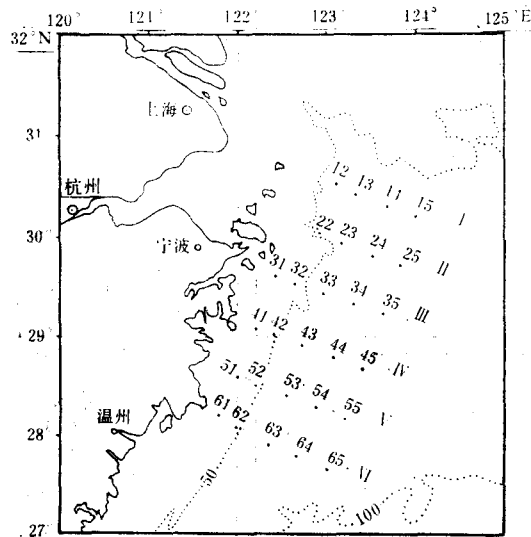


图1 浙江沿岸上升流调查站位图
(1981年6月、8月、10月航次)

二、结 果

1. 参数的平面分布状态

3个航次的调查资料表明,一年中深层水向岸涌升过程的最强程度在夏季出现,水温断面分布图显示出温跃层横卧在近岸斜坡上并向岸上倾,以温度低于 19°C 、盐度大于 34.5‰ 为特征值的深层水向上涌升至海面以下约20m深处。因此,先对8月航次测得的各个参数的空间分布状态通过表层,20m层和底层(离海底3m)的平面分布图加以说明,以便分析上升流等诸因素对化学要素分布的影响。

表层各参数的平面分布图(图2)清楚地显示了不存在以低温、高盐、低氧、富营养盐为特征的深层水直接向上涌升至海表面的迹象。在近140km宽的调查区域内,近岸海水的温度值为 26.0°C ,外海为 28.8°C ,没有出现冷水中心,近岸相对低温是由于潮汐混合强烈导致近岸表层增温反比外海慢的缘故。盐度值在 29.5‰ — 33.8‰ 之间由西往东逐渐增加,不过在近岸区水平梯度相对大一些。磷酸盐的含量,除了近岸区外,多数站位已低于 $0.05\mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ 的检出限度;硅酸盐的含量为 $2\text{—}6\mu\text{gSi}\cdot\text{L}^{-1}$;无机氮的含量在 $2\text{—}4\mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内变化;溶解氧的含量在近岸区最高可达 $6.7\text{mlO}_2\cdot\text{L}^{-1}$,饱和度为143%,且与盐度值一样,水平分布梯度变化较大,说明沿岸水长时间以来只能存在于近岸海区,即使在夏季水温较高的状况下,经过生物生产而使氧含量增加后,也能够达到过饱和水平;在中部和外部海区的含量比较接近,为 $4.6\text{—}5.0\text{mlO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ 。

由此可见,夏季存在于表层的海水主要由低盐度的沿岸水和高温、高盐的台湾暖流表层水组成。主要因盐度差异而引起的盐度锋区,影响了沿岸水中高含量化学溶解物质向

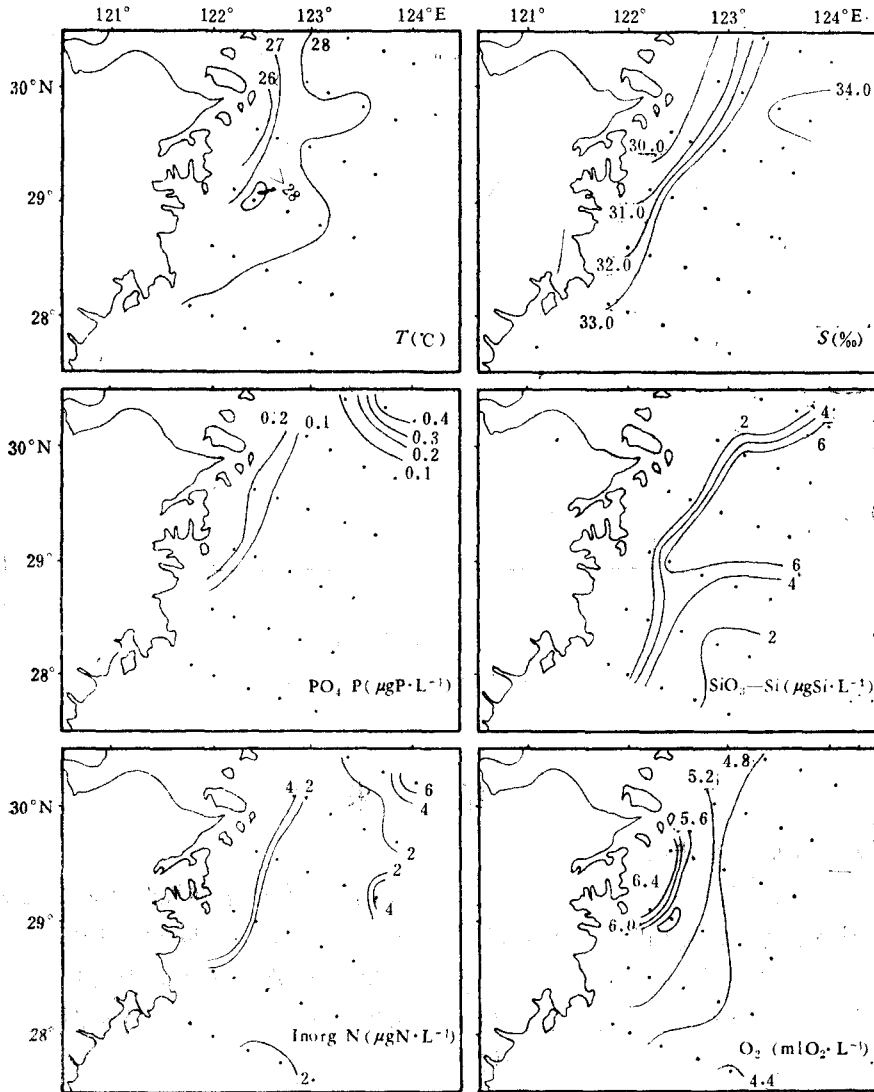


图2 表层温度、盐度、磷酸盐、硅酸盐、无机氮、溶解氧的平面分布图

(1981年8月5—8日)

外海扩散,扩大了化学要素的水平分布梯度,这在溶解氧的分布上反映特别明显。

20m 层各参数的平面分布图(图3)与表层形成鲜明的对照。在距岸约 50km 以东 28°30'—30°30'N 海区, 19—26°C 等温线在 20m 层呈“羽状”平面分布特征,说明以温度低于 19°C 为特征的深层水沿第 VI 横断面往第 I 横断面向北扩展过程中,始终存在着向岸逆坡爬升的现象,这股上升流势力自浙江大陈岛以东海面至长江口附近,强度基本相等,跨距 2 个纬度以上。这种被文献[2, 12, 14]称之为在地理分布上呈大水平尺度的“均匀”上升流特征,也充分反映在其它参数的空间分布状态上。在盐度的平面分布图中,上升水可以其高盐度而得以辨认,具有较高涌升程度的 23 站与 43 站的盐度值达 34.5‰,而近岸一侧的海水是低盐度的,外海相对为次高盐度。同样,由于营养盐和溶解氧的等值面

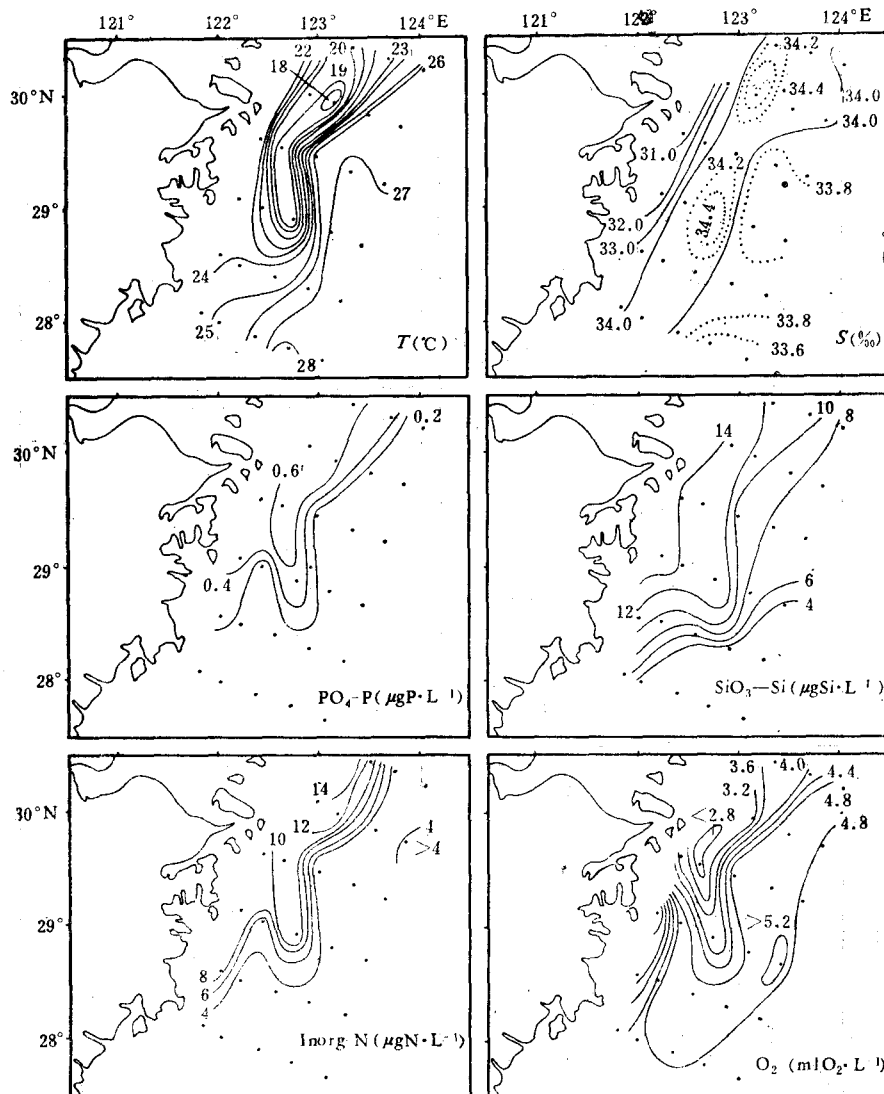


图3 20m层温度、盐度、磷酸盐、硅酸盐、无机氮、溶解氧的平面分布图
(1981年8月5—8日)

逐渐向上升流的核心区彼此靠拢，以致 $0.2-0.6\mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ 的磷酸盐等值线、 $8-12\mu\text{gSi}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硅酸盐等值线、 $4-12\mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$ 的无机氮等值线和 $2.8-4.8\text{mlO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ 的溶解氧等值线的平面分布位置基本上与 $19-26^\circ\text{C}$ 等温线的平面分布位置相近，也在相似位置呈现“羽状”中心分布结构。根据“羽状”在 32 站有自东南方向转向东北方向的偏转形状，可估计到深层水在北上过程取“蛇行”轨迹，而非按一定方向作直线运移。

从底层各参数的“平面”分布图(图4)中可以看到，水温低于 19°C 、盐度为 34.5‰ 的深层水大体上出现于等深线为 $30-70\text{m}$ 的陆架上方，夏季可“蛇行”向北扩展到长江口附近。深层水中营养盐的浓度范围分别为 $0.6-1.0\mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $12-16\mu\text{gSi}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $8-10\mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$ ，底层海水中营养盐浓度普遍高于 20m 层，系因微生物对有机质的氧化分解

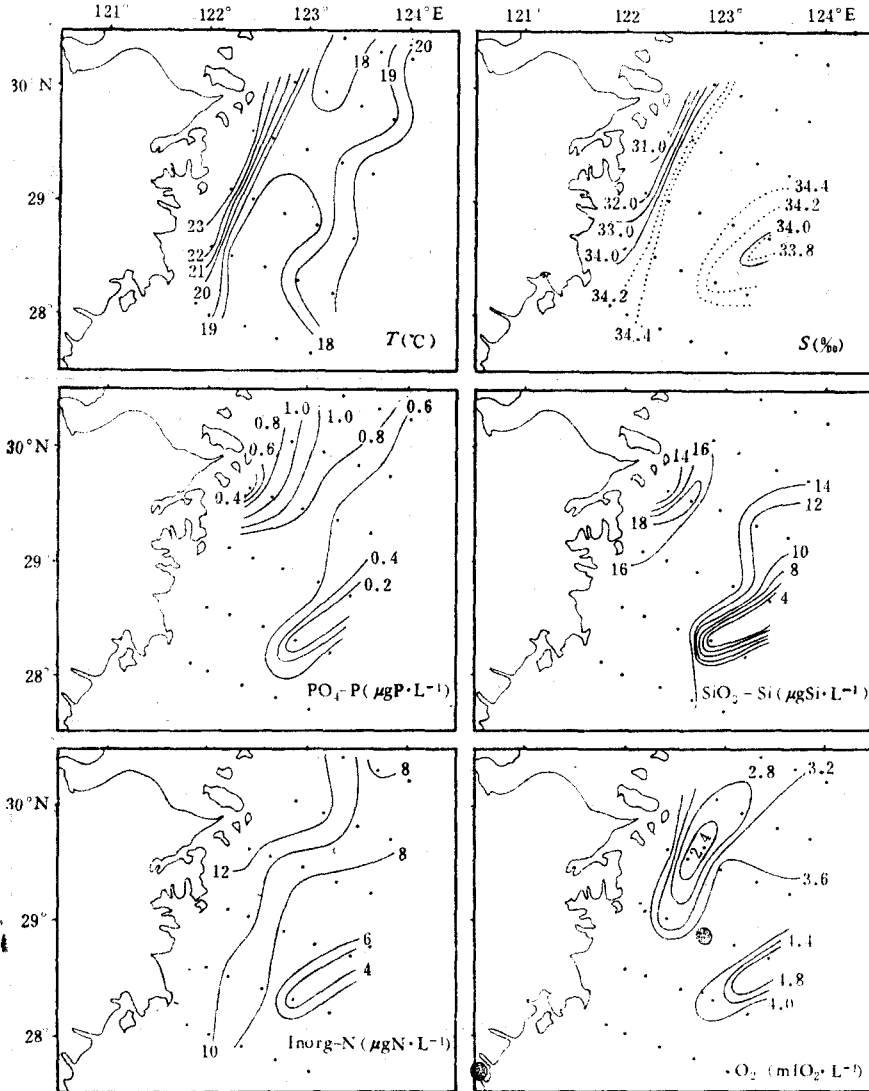


图4 底层温度、盐度、磷酸盐、硅酸盐、无机氮、溶解氧的“平面”分布图
(1981年8月5—8日)

而增值。深层水中的氧含量至少低于 $3.6\text{mlO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ ，有些地方处于较严重的低氧状态，例如 32 站的氧含量只有 $2.1\text{mlO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ ，饱和量仅达 41%。

从底层各参数的平面分布图中还可以清晰地看到，外缘有一水温大于 20°C 的相对高温区，尤其在 45 站附近，海水盐度低至 33.8‰ ，磷酸盐浓度低于 $0.2\mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ ，硅酸盐低于 $4\mu\text{gSi}\cdot\text{L}^{-1}$ ，无机氮低于 $4\mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$ ，而溶解氧则高达 $4.8\text{mlO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ ，各参数均接近次表层海水的范围值，说明有上层海水下降现象存在。上升流核心区外侧海区出现上层海水下降现象，一方面可归因于深层水向岸涌升后外侧上层海水的下降补充，另一方面，当它发生转向时，在转向段内侧也必然会因反气旋度的加强而导致上层海水的下降。

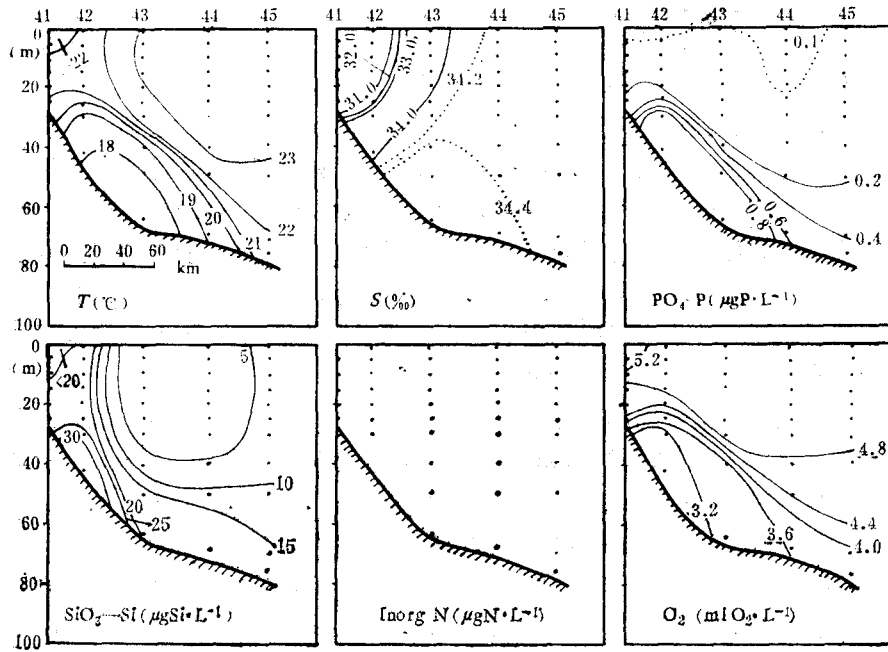


图5 第IV横断面温度、盐度、磷酸盐、硅酸盐、溶解氧的垂直分布图 (1981年6月17日)

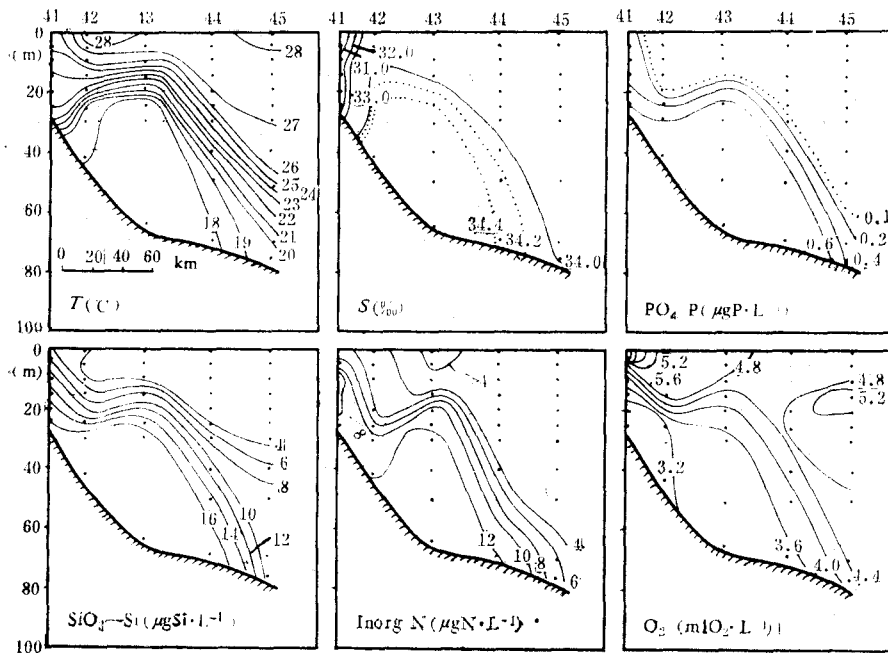


图6 第IV横断面温度、盐度、磷酸盐、硅酸盐、无机氮、溶解氧的垂直分布图 (1981年8月7日)

2. 参数的时间变化规律

下面仅以具有典型涌升特征的第 IV 横断面为例来说明各参数在上升流的起始(6月)、发展(8月)、消衰(10月)3个阶段里的变化规律。

6月份,深层水已自东南方向进入调查海区。水温横断面分布已显示出层化形成,深层水上方出现了一条强度约为 $0.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ 的向岸倾斜温跃层,说明已有上升流形成,但只能在核心区水深 30m 以下的水体中才能观测到(图 5)。盐度横断面分布显示出近海底部等盐线明显向岸变曲,也说明是深层水向岸爬坡的结果。同时,在近岸区上层海水中,还可观测到一条盐度范围为 30.0—33.0‰ 的向海倾斜盐度锋。营养盐和溶解氧的横断面分布都反映了这些水文状况的影响,也出现了作为沿岸上升流特征的各等值线向岸倾斜抬升至水深 30m 上下的分布状态。

8月份,根据深层水向岸抬升高度的判断上升流强度,即可以知道涌升处于强盛时期。这时深层水由 44 站水深约 40m 处向岸涌升至 43 站的水深约 18m 处(图 6)。深层水上方,温度结构的基本特征是有一条垂直梯度为 $0.38\text{—}0.65^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ 、由东往西强度逐渐增强、厚度逐渐变薄的向岸倾斜温跃层存在,但它不抬升至海表面,上界面最高处在水深 8m 附近。这种较高程度的稳定性由于明显的密度不连续性而得到保持,在 43 站 10m 层处 σ_t 为 22.3,而在 20m 层处升至 24.6。受此影响,在相应位置也出现了营养盐和溶解氧的跃层,把表层和深层具有不同营养盐和溶解氧含量的两种水团截然分隔开。跃层之上水深 10m 层处,营养盐浓度比 20m 层“羽状”中心区内的数值低得多,尤其是 $0.05\mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下的磷酸盐含量,已远远低于生物吸收的需要。在外部海区,由于下降水

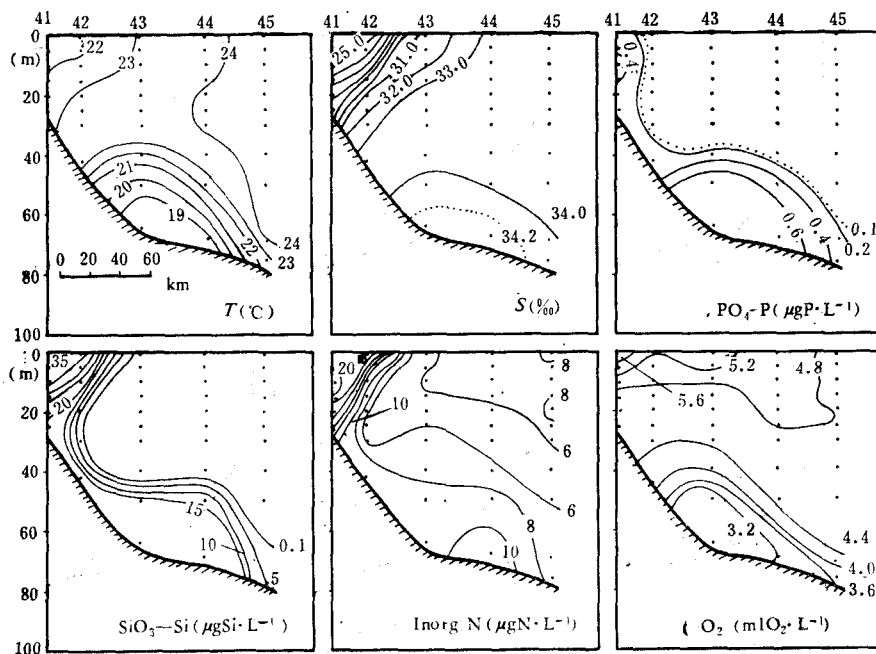


图7 第 IV 横断面温度、盐度、磷酸盐、硅酸盐、无机氮、溶解氧的垂直分布图
(1981年10月17日)

不可能在底层积聚,因而向较深的东南外海流去,营养盐与溶解氧等值线向外海幅散的趨勢比温、盐等值线反映得更明显。

10 月份,偏北季风开始增强,表层海水开始降温,在自上而下的垂直对流作用下,深层水也自上而下逐渐变性消失,这时在水深 40m 以下的水体中尚可观测到温度、营养盐以及溶解氧的层化结构(图 7)。跃层以下的水体仍保持深层水的物理、化学特性,跃层以上的水体成了表层水与深层水的变性混合水。同时,受长江冲淡水沿岸南下并向外海扩散所形成的大梯度盐度锋(25—33‰)的阻挡影响,近岸高营养盐含量的海水不易向外海水传递,以至于继磷酸盐之后,硅酸盐含量也因低于 $0.1\mu\text{gSi}\cdot\text{L}^{-1}$ 检出限度而成了影响硅藻生长的限制元素^[11]。

三、讨 论

深层水沿岸涌升过程的消长变化,对浙江近海的水文状况和渔业生产的影响都很显著。根据以上温度、盐度、营养盐和溶解氧的空间分布状态的分析,已经说明夏季自 28°N 附近开始的沿岸上升流的北部边界至少可达 $30^{\circ}30'\text{N}$,在那里受流向东北方向去的长江冲淡水阻挡而转向、消失;涌升中心离岸距离约达 50km 以外;北部 4 条横断面的涌升高度在水深 $20\pm 2\text{m}$ 之间;对各项参数在 20m 层这一涌升上界面的分布状态的分析,更清晰地展示了深层水的“羽状”中心分布特征,“羽状”中心区长达 2 个纬距以上。

海水中营养盐与溶解氧的含量还间接提供了对于其它守恒参数来说并不明显的涌升究竟处于活动还是稳定的信息。例如 8 月份,32 站底层磷酸盐的含量比周围环境高,为 $1.0\mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ 。可以假设,这种局部高值现象是由于得到微生物再生补充的缘故。因有机质氧化分解而造成溶解氧含量格外低(为 $2.1\text{mlO}_2\cdot\text{L}^{-1}$)的现象证实了这一假设。但是,在水深 20m,即深层水与温跃层的交界处,仍可得到磷酸盐含量为 $0.6\mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ 、溶解氧含量为 $2.5\text{mlO}_2\cdot$

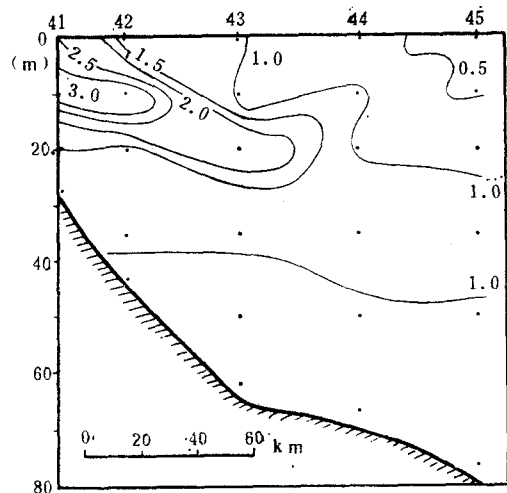


图 8 第 IV 横断面叶绿素-a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) 的垂直分布图

(1981 年 8 月根据宁修仁提供的周日观测资料绘制)

L^{-1} 的相对高磷低氧水的补充。把深层水上下界面处营养盐与溶解氧含量的这种连续性结合起来进行分析,就证明当时的涌升仍然处于活动时期。

营养盐、溶解氧的空间分布状态在调查区域内还可按近岸区、上升流区和外缘海区来加以区别。近岸区沿岸水中高浓度营养盐向外海迁移的程度由存在于沿岸水与台湾暖流表层水之间的高密度梯度的盐度锋区决定,春秋季节盐度锋外推时,近岸高浓度营养盐也随之外移,且与盐度锋的分布形状相类似,营养盐等值线也是向外海倾斜分布的。上升流区因深层水向上涌升而引起的温跃层把海水垂直分为 2 个不连续水体,上层高氧低营养

盐,下层低氧富营养盐。上升流的消长过程影响着上下层水体分层位置的变化,营养盐、溶解氧的含量也就随着起相应的变化。由于深层水在较长时间周期内保持化学要素的特征范围值,一旦水动力条件起了变化,化学要素的空间分布也就重新进行调整。这样经过长时期观测后,尤其是对“羽状”边界位置的变化过程进行监测,在排除了生物量变化以及各自的生物地球化学循环规律的影响之后,就可以建立起一幅“羽状”演变的过程图。结合演变过程的条件分析,就有可能预测涌升中心的边界位置。至于外缘海区,由于受上层海水下降补充的影响,底层海水中营养盐、溶解氧含量与上层海水相接近。

最后,还应看到浮游植物生产量(图8)与因上升流而产生的温跃层和近岸盐度锋区对营养盐迁移过程的影响密切相关。一方面富营养盐的深层水往上输送到透光层,供生存于光合作用有效幅照区内的浮游植物吸收同化;另一方面高稳定度的温跃层阻碍了深层水向上层的继续扩展,致使温跃层以上水体中的磷酸盐和硅酸盐在蓝藻和硅藻得到了较大发展以后,先后低于生物吸收的限制浓度。但是,上升流区营养盐的供应情况仍然比其它近海海区有利。这是因为就供应时间来说,上升流区为浮游植物的生长提供了远比其它海区持久的营养盐源。在非上升流区,经过浮游植物大量吸收的春季以后,夏季透光层里营养盐的浓度都已低于浮游植物正常生长所需的浓度,致使那里的浮游植物量远不如上升流区大。对于寡营养盐海水的厚度来说,由于深层富营养盐海水的向上涌升,上升流区透光层内寡营养盐海水的厚度要比非上升流区薄。对于底层海水输送营养盐的储量来说,由于上升流区生物密集,海底有机化合物丰富,经微生物分解后,再生了的营养盐又会不断地补充到水体中去。至于在近海海区,那里由沿岸水带来的高浓度营养盐类因不能向外海扩散而有较大的积累,从而提高了近前海区的初级生产力,体现了上升流对海岸带区域的间接效应。此外,夏季外缘海区20m层溶解氧含量普遍有较大的突跃,最高可达 $5.2\text{mlO}_2\cdot\text{L}^{-1}$,说明浮游植物还在上升流区的外海一侧得到了较大的发展。

参 考 文 献

- [1] 丁宗信, 1983. 风对浙江沿岸海域夏季温、盐度垂直结构和上升流的影响. 海洋与湖沼 14(1): 14—21.
- [2] 毛汉礼, 任允武, 孙国栋, 1964. 南黄海和东海北部(28°—30°N)夏季的水文特征及海水类型(水系)的初步分析. 海洋科学集刊 1: 23—77.
- [3] 胡敦欣, 1980. 关于浙江沿岸上升流的成因及动力结构的研究. 海洋科学集刊 21: 101—112.
- [4] 翁学传, 王从敏, 1980. 台湾暖流水夏季的 T-S 特征及来源的初步分析. 海洋科学集刊 21: 113—133.
- [5] 翁学传, 王从敏, 1983. 台湾暖流深层水变化特征的分析. 海洋与湖沼 14: 357—366.
- [6] 曹欣中, 潘玉球, 宣维莹等, 1980. 浙江近海沿岸上升流的初步探讨. 中国海洋湖沼学会水文气象学会学术会议(1980)论文集, 科学出版社, 125—136页.
- [7] 博吉, R., M. 托姆克托克编, 1981. 上升流生态系. 海洋出版社, 3—9页.
- [8] 管秉贤, 1978. 我国台湾及其附近海底地形对黑潮途径的影响. 海洋科学集刊 14: 1—22.
- [9] 潘玉球, 徐瑞蓉, 许建平, 1985. 浙江沿岸上升流区的锋面结构、变化及其原因. 海洋学报 7(4): 401—411.
- [10] 井上尚文, 1974. 東シナ海大陸棚上の海底流動. 海洋科学 7: 12—18.
- [11] Dugdale, R. C., 1967. Nutrient limitation in the sea: dynamics, identification, and significance. *Limnol. Oceanogr.* 12: 685—695.
- [12] Hsueh, Y. and J. J. C' Brien, 1971. Steady coastal upwelling induced by an along shore current. *J. Physic Oceanogr.* 1: 180—186.
- [13] Richards, F. A., 1981. Coastal Upwelling. Part 4, Some Chemical Consequences of Upwelling. American Geophysical Union (Washington D. C.) Press. pp. 209—281.
- [14] Yoshida, Kozo and H. L. Mao, 1957. A theory of upwelling of large horizontal extent. *J. Mar. Res.* 16: 40—54.

“PLUME” CENTER DISTRIBUTION OF CHEMICAL PARAMETERS IN THE COASTAL UPWELLING ZONE OFF ZHEJIANG IN SUMMER

Fan Ande, Wang Yuheng and Dong Henglin

(Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou)

ABSTRACT

Temperature, salinity, phosphate, silicate, inorganic nitrogen, and dissolved oxygen in sea water were measured in the coastal upwelling zone off Zhejiang during three cruises in June, August and October, 1981. The region, upper boundary, steady state, and seasonal variation about the upwelling of Taiwan Warm Current that appeared in summer are discussed according to the information of horizontal distribution and cross-shelf profiles of each parameter. The main result is that on 20 meter deep layer the upwelling center was found in terms of the characteristic structure of “plume”, because the isograms of the parameters were gradually close to the center. The boundary position of the center can be forecasted in terms of a pattern of historical evolution of the “plume” while it is drifting.