第10卷 第1期 海 洋 学 报 Vol.10, No.1
1988年1月 ACTA OCEANOLOGICA SINICA January, 1988

粤东沿岸上升流的研究

韩舞鹰 马克美

(中国科学院南海海洋研究所，广州)

摘 要

在粤东沿岸的夏季存在风生上升流，中心位置在20m以浅，该上升流的年际变化较大。1982年8月碣石湾外上升流流速为1.2×10^{-3}cm/s，活性磷酸盐的垂直通量为1.5 mmol/ ($m^2\cdot d$)，初级生产力为1558mg/ ($m^2\cdot d$)。在上升流靠岸内侧，5m以浅范围的底层存在着贫氧现象。在上升流的中心区外，有海水垂向逆温现象。上升流区海水的理化特征：温度为22.13℃，盐度为34.19，溶解氧为3.72cm^3/dm^3氧饱和度为74.6%，pH值为8.14，活性磷酸盐为1.10 $mmol/m^3$。

有关我国沿岸上升流的研究近年来有了一定的进展[1-8]。广东沿岸存在上升流现象，已为人所知，但具体的研究报道并不多[2,5,8]。研究上升流的形成机制、时空变异、建立计算模式，其先决条件是确定上升流的中心位置，因此上升流中心位置的确定是一个值得探讨的问题。夏季沿岸上升流中心的主要特征是低温高盐，因此低温高盐等值线的封闭区或低温高盐等值线与岸线组成的封闭区往往可用于确定上升流的中心位置，但已有的研究报道，由于调查位置多在20 m水深以外，因此所得温盐等值线不封闭，在20m处断开，故难以确定低温高盐中心区的边界。

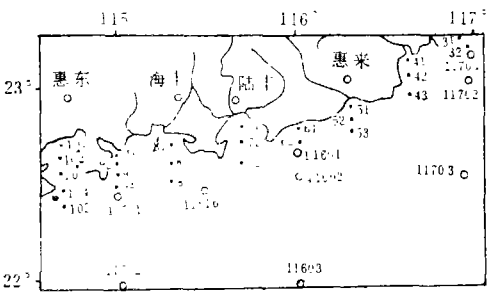


图1 调查站位图

广东省海岸带调查，其调查范围的重点是在20 m以浅，而且站位布设较密，以此资料研究上升流可以弥补以往研究的不足。本文主要用1982—1983年4个季节的调查资料，并参考国家海洋局南海分局1979—1982年断面调查资料，调查站位见图1。

一、上升流的中心位置

图2和图3是1982年8月表层海水的温度、盐度的分布图。由图可见，在红海湾至汕头

本文于1987年1月19日收到，修改稿于1987年5月4日收到。

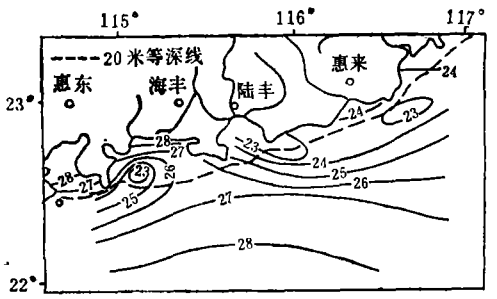


图2　1982年8月表层海水温度平面分布

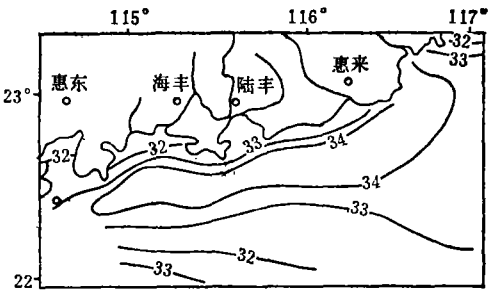


图3　1982年8月表层海水盐度平面分布

外海10—20 m左右水深范围内，存在着低温、高盐中心，表层测得最低水温22.24 ℃，最高盐度34.50．夏季表层出现的低温高盐海水，其来源是底层海水的涌升．由于受到大陆径流、大气及地形的影响，表层海水形成了3个温度低于23℃的低温中心．图4和图5是5m层的温度、盐度分布图，由图可见，低温高盐的上升海水仍然受到外界影响，在红海湾口处分开，东西各形成两个低温高盐中心．图6和图7是底层温度、盐度分布图．图中21℃和22℃温度等值线及34.6和34.5的盐度等值线很好地反映了上升流位置与范围．

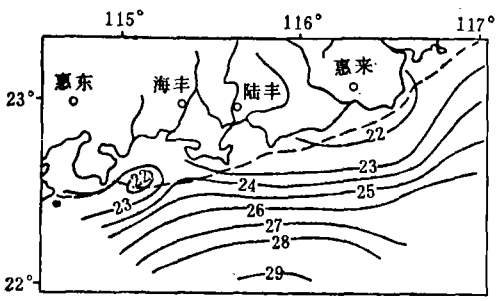


图4　1982年8月5m层海水温度分布

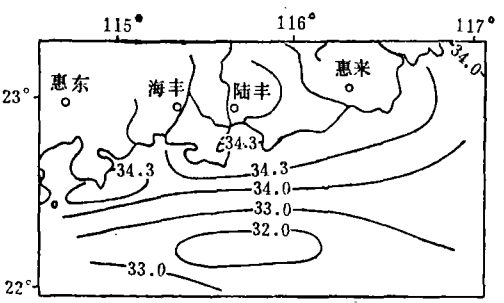


图5　1982年8月5m海水盐度分布

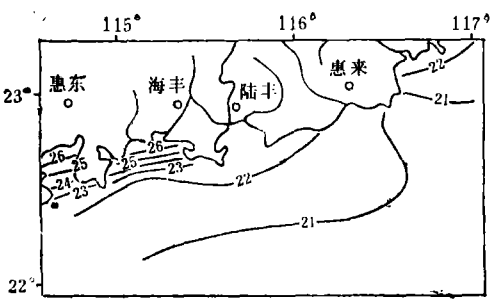


图6　1982年8月底层海水温度分布

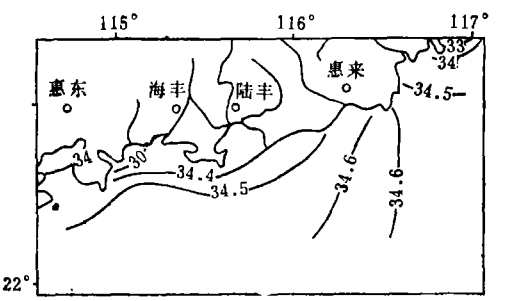


图7　1982年8月底层海水盐度分布

底层水除了低温高盐外，还具有低氧高磷和低pH值的特征．图8—10是表层氧、磷和pH的分布图，由图可见表层低温高盐区同样也是低氧、高磷和低pH区．图11是上升流区底层水的运动示意图，图12是上升流区表层水运动方向的示意图．

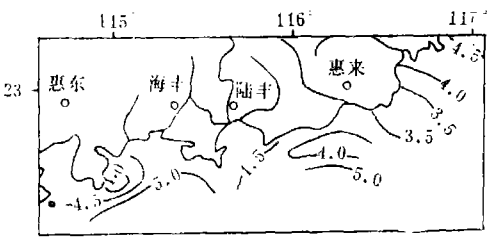


图8 1982年8月表层海水溶解氧分布

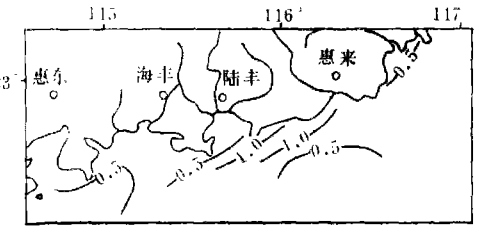


图9 1982年8月表层海水活性磷酸盐分布

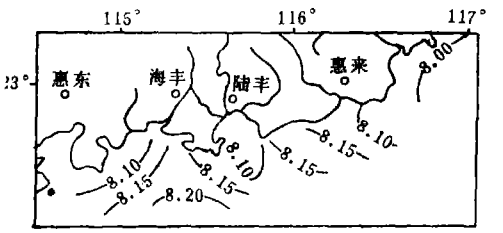


图10 1982年8月表层海水pH值分布

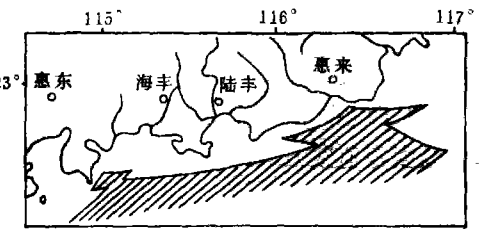


图11 1982年8月上升流区底层水运动示意图

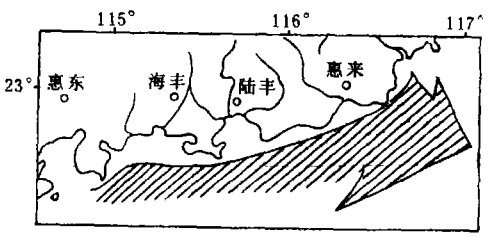


图12 1982年上升流区表层水运动示意图

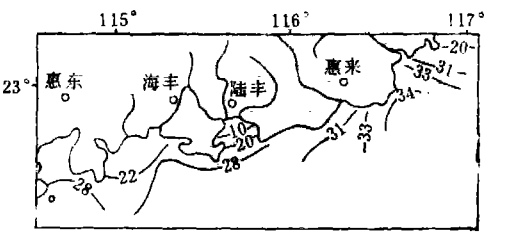


图13 1982年4月表层海水盐度分布

二、粤东沿岸上升流的形成机制

粤东沿岸夏季盛行西南季风，6月份4级以上西南风出现频率为76%，7月份为42%，8月份为52%．风向与岸线平行，海岸位于风向的左侧．根据埃克曼理论，由于风引起表层海水的离岸运动，促使深层水涌升补充，形成沿岸上升流．该上升流有两个主要特征，一是直接发生在岸边浅水处，二是随着西南季风的消长而消长，具有明显的季节性．而地形、河流、海流、潮汐等因素，只是使上升流变得复杂而已，形成上升流的主要动力是风．

三、粤东沿岸上升流的时空变异

从图13可见，4月份在靖海港外开始出现上升流；而由图14可看到，10月份上升流已消失，可见上升流是有季节性的.

由于在上升流中心位置没有进行多年的调查，因此难以深入研究上升流的年际变化. 本文试用国家海洋局南海分局断面调查资料（图1中用圆圈表示的站位），研究上升流的年际变化，由于缺少20 m以浅海区的资料，研究是比较粗略的. 图15—17是1979—1981年8月海水表层温度分布图，由图可见各年温度的平面分布相差较大. 1979年与1980年温度分布图相似，具有较明显的低温区. 而1981年整个调查区温度都是较均匀的，这说明上升流的年际变化是明显的.

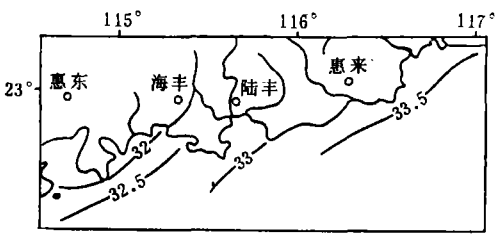


图14　1982年10月表层海水盐度分布

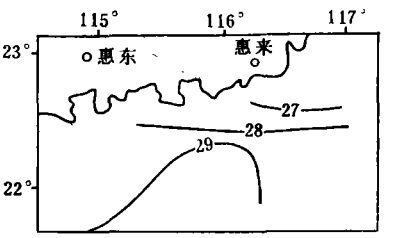


图15　1979年8月表层海水温度分布

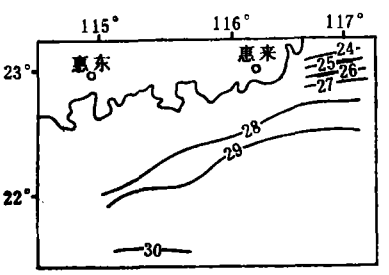


图16　1980年8月表层海水温度分布

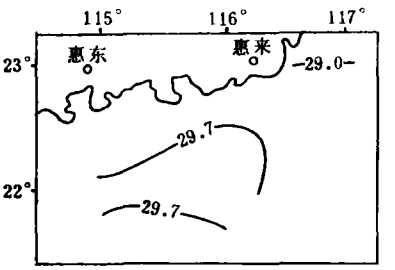


图17　1981年8月表层海水温度分布

图18和图15是1979年7月和8月表层海水温度分布图，由图可见：7月比8月低温区要明显得多，而1980年7月和8月表层温度分布(图19和图16)相比较，8月份在汕头外海水温度要比7月份低. 1981年7月和8月表层海水温度分布见图20和图17，由图可见：7月和8月海水的温度分布基本相似，而且都比其余年份的水温偏高，但低温位置都位于汕头外海. 图21是1981年7月5 m层水温分布图，由图可见，与表层相比，5 m层明显存在一个低温区，这说明上升流仍然存在并一直影响到5 m层，但表层由于受强大的珠江径流的影响，因此上升流对表层的影响不明显.

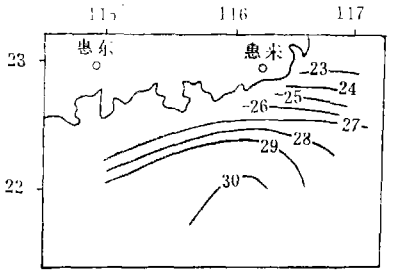


图18 1979年7月表面海水温度分布

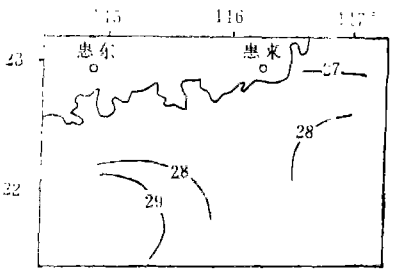


图19 1980年7月表层海水温度分布

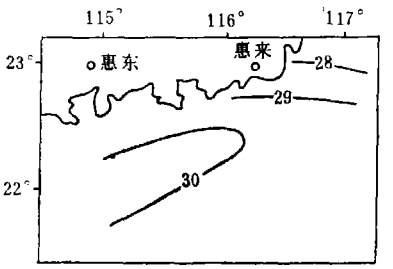


图20 1981年7月表层海水温度分布

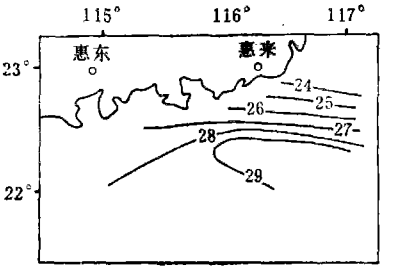


图21 1981年7月5m层海水温度分布

四、粤东沿岸上升流的流速

粤东沿岸上升流中心位置紧靠岸边，水浅地形复杂，受潮汐、地形、大陆排水和气温的影响大，因此一般用于计算上升流的上升速度的方法都不适宜于粤东沿岸上升流．本文采用下述方法，来计算碣石湾至神泉湾20 m以浅区域内上升流在1982 年 8 月 份 上 升的流速．

设上升流处于一稳定状态，海水由底层进入该区，上升后由上层流出该区，根据盐量平衡，产生下式：

$$V_0 S_0 = (V_0 + V_{河} + V_{降} - V_{蒸}) \cdot S, \tag{1}$$

$$V_0 = (V_{河} + V_{降} - V_{蒸})/(S_0/S - 1). \tag{2}$$

式中，V_0为底层进入的海水体积，$V_{河}$ 为流入该区的河水体积，$V_{降}$ 为该区的 降雨量，$V_{蒸}$ 为该区的蒸发量，S_0为底层海水盐度，S为流出该区海水盐度．

由下式计算上升流平均上升速度：

$$V = V_0/A. \tag{3}$$

式中，V为上升速度，A为计算海域的面积．

根据1982年8月 份 的 调 查 资 料，可求得S_0、S、$V_{河}$、$V_{降}$、$V_{蒸}$和A的值，代入式（2）和式(3)求得8月份在碣石湾至神泉湾20m以浅水域平均上升速度为 1.2×10^{-3}cm/s，即1.1m/d．由于上升流较大的时空变异，不同时间和地点上升流流速的计算，要采取当时

当地的观测值由式（2）计算．对上升流边缘区计算时，则应考虑平流效应．

五、粤东沿岸上升流区环境特征

粤东海岸带是广东省一个重要的经济开发区，沿岸上升流的出现，使该区形成了独特的生态环境．

（一）独特的理化特征和季节变化

表1列出了上升流区理化特性的平均状况，由表可见，夏季的上升流表层形成一个低温、高盐、低氧、高pH和高磷的独特理化环境．由于上升流的出现，粤东沿岸理化环境的年变化是独特的，温度年变化最大值不是出现在夏季，而是出现在秋季．盐度年变化最大值出现在夏季，最小值出现在春季，而底层是出现在冬季．

表1　粤东沿岸上升流理化特征

季节	层次	温度(℃)	盐度	溶解度 (cm^3/dm^3)	氧饱和度(%)	pH	活性磷酸盐(mmol/m)
冬	表	14.91	31.18	6.03	103.3	8.18	0.92
	底	14.64	31.32	5.95	101.5	8.19	1.29
	各层平均	14.69	31.20	6.00	102.4	8.19	1.05
春	表	22.03	26.57	5.59	106.8	8.11	0.24
	底	20.70	33.19	4.72	91.6	8.14	0.71
	各层平均	21.14	31.40	5.07	98.1	8.13	0.45
夏	上升流区表层	23.28	33.47	4.38	89.3	8.13	0.64
	上升流外表层	27.04	30.18	4.76	101.4	8.09	0.39
	底层	21.66	34.46	3.33	66.3	8.13	1.59
	各层平均	22.13	34.19	3.72	74.6	8.14	1.10
秋	表	25.86	33.18	4.78	101.5	8.16	0.53
	底	25.83	33.39	4.65	98.8	8.17	0.81
	各层平均	25.82	33.33	4.70	99.9	8.16	0.62

（二）富营养盐和高初级生产力

由于海水上升，把底层富营养盐的海水带到表层，上升流为表层水施肥，从而大大提高了海水的初级生产力．上升流造成的营养盐的垂直通量由下式计算：

$$P=Vc, \tag{4}$$

式中，V为上升流速，c为底层水营养盐浓度．

由式（4）求得碣石湾至神泉湾20m以浅的上升流区活性磷酸盐的垂直通量为1.50 mmol/(m²·d)．

上述海区的初级生产力，由下式计算：

$$G=b\cdot P, \tag{5}$$

$$P=(P_1+P_3)Z, \tag{6}$$

$$P_1=(P_{底}-P_2)/(Z/V), \tag{7}$$

$$P_2=P_{表}-[P_{河}\cdot V_{河}/A], \tag{8}$$

$$P_3=a\cdot P_1. \tag{9}$$

式中，G为初级生产力[mg/(m²·d)]，P为每天每平方米水柱所消耗的磷，P_1为上升流带来的活性磷中每天被消耗的活性磷，P_2为扣除河流带来的活性磷后表层水活性磷浓度，P_3为再生被循环的活性磷，$P_{河}$、$P_{底}$和$P_{表}$分别为河水、底层和表层海水活性磷浓度，Z为平均深度，A为上升流海区面积，a为常数取0.3，b为常数取1440．最后求得初级生产力为1558mg/(m²·d)．

（三）湾内浅水区底层水贫氧

由于粤东沿岸出现上升流，南海次表层水爬坡而上，占据了粤东沿岸底层．该次表层水含氧量较低．粤东沿岸上升流区溶解氧平均值为3.33cm³/dm³．在湾内5m以浅的浅水区，表层海水发生离岸运动，短缺海水主要由大陆径流补充，因此海水上升运动就不明显，相反底层的低温高盐水与表层的高温低盐水之间形成了密度跃层，妨碍了海水的交换，底层海水氧得不到补充．表层水高生产力，颗粒有机物下沉到达底层，有机物分解却消耗底层水中的氧，这样便在粤东沿岸形成了贫氧区（图22），其化学特征见表2，我们调查的底层系指离底2 m而言，根据氧随深度而下降的趋势，可预言海底上覆水和间隙水中的氧含量还要低，这对海洋生物资源的开发利用是一个重要的问题．

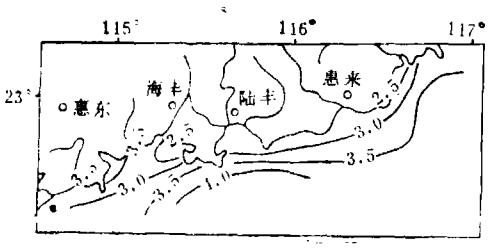


图22 1982年8月底层海水溶解氧分布

（四）海水逆温现象

在上升流中心位置外，一些测站观察到海水垂向上的逆温现象，这是由于上升流中心向外流的低温高盐水与较高温的表层水相混合而造成的．

表2　粤东沿岸上升流区贫氧水的理化特征

温　度 (℃)	盐　度	溶解度 (cm^3/dm^3)	氧饱和度 (%)	pH	活性磷酸盐 ($mmol/m^3$)	活性硅酸盐 ($mmol/m^3$)
23.38	33.40	2.57	52.4	8.04	1.37	47.9

10月份在上升流区不少测站也观察到海水垂向上的逆温现象，这是因为10月份上升流消失，风向的转换和气温下降，海水出现下降运动，夏季在表层具有较高温度的海水下沉，因而造成逆温现象.

六、结　论

1．粤东沿岸上升流是风生成的.

2．粤东沿岸上升流是季节性的，发生在夏季.

3．粤东沿岸上升流的时空变异，主要受风和径流的影响，风和径流的变动性较大，因此上升流的时空变异也较大.

4．粤东沿岸上升流中心位置紧靠岸边，一般在水深20m以浅水域，但由于风向、径流量、地形及潮流、海流的影响，上升流的中心位置会发生变动，并且会形成若干个中心区．1982年上升流的中心位置在红海湾至汕头外海，并存在3个低温中心.

5．碣石湾至神泉湾20 m以浅的区域，1982年8月上升流的上升速度是1.2×10^{-3}cm/s，活性磷酸盐的垂直通量为1.5 mmol/($m^2\cdot d$)，初级生产力为1558 mg/($m^2\cdot d$).

6．1982年8月上升流区海水平均理化状况：温度为22.13℃，盐度为34.19，液解氧为$3.72cm^3/dm^3$，氧饱和度为74.6%，pH值为8.14，活性磷酸盐为$1.10mmol/m^3$.

7．在上升流区靠岸内测，水深约小于5m的范围，底层存在着贫氧现象，平均氧含量为$2.57cm^3/dm^3$.

8．在上升流旺盛季节，上升流中心区外和秋季上升流消失时，会出现海水垂向上的逆温现象.

参　考　文　献

〔1〕　潘玉球等，浙江沿岸上升流锋区特征及其成因的初步探讨，海洋湖沼通报，1982，3：1—16

〔2〕　陈金泉等，关于闽南一台湾浅滩渔场上升流的研究，台湾海峡，1 (1982)，2：1—8.

〔3〕　胡敦欣等，关于浙江沿岸上升流的研究，科学通报，25 (1980)，3：131—133.

〔4〕　许建平等，浙江近岸存在沿岸上升流的证据，海洋湖沼通报，1983，4：21—25.

〔5〕　邓　松，七洲列岛南部海域上升流分析，南海海洋，1987，1：18—20.

〔6〕　雷鹏飞，浙江近岸上升流速度及其营养盐通量计算，海洋湖沼通报，1984，2：22—26.

〔7〕　潘玉球等，浙江沿岸上升流区的锋面结构、变化及其原因，海洋学报，7 (1985)，4：401—411.

〔8〕　曾流明，粤东沿岸上升流迹象的初步分析，热带海洋，5 (1985)，1：68—72.