

长江口及其邻近海域溶解氧的分布变化*

任 广 法

(中国科学院海洋研究所)

海水中的溶解氧与水体中动植物的生长有着密切关系(陈国珍, 1961)。溶解氧和氧饱和度的资料对估计水体生产力和评价水体的有机污染状况具有重要意义。

本调查海区位于 $30^{\circ}20' - 32^{\circ}00'N$, $124^{\circ}00'E$ 以西至长江口及其沿岸, 地貌和水动力学均较为复杂。长江等水系终年输入淡水, 在丰水期几乎影响到整个调查海区; 东海沿岸流和台湾暖流的侵入导致调查海区溶解氧的分布变化较为复杂。我们于 1985 年 8, 11 月和 1986 年 1, 5 月对该海区进行了包括溶解氧在内的综合调查。共设 6 个断面 50 个调查站(图 1), 分层采样, 沿用 Winkler 法进行溶解氧测定, 结合同期水文、生物调查资料, 研究了溶解氧的分布特征。

一、溶解氧含量分布

1. 季节变化 海洋中的溶解氧 (O_2) 主要来源于大气, 其次是水体中自养生物(特

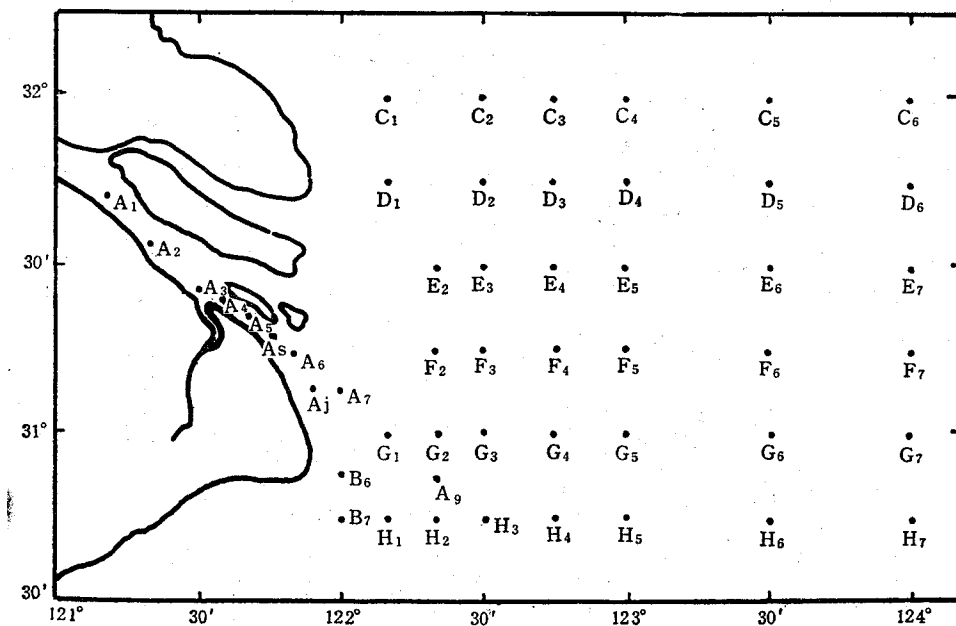


图 1 调查站位图

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2060 号。
收稿日期: 1989 年 11 月 4 日。

别是浮游植物)的光合作用的补充(刁焕祥, 1986)。O₂的消耗主要为海洋动物的呼吸和有机质的分解等过程。此次调查资料(表1)表明,水温是影响O₂含量变化的决定因素。

从表1可看出表层各参数平均值的相互关系: 1月水温最低(7.53℃), O₂值最高(9.98mg/L); 8月水温最高(26.93℃), 则O₂值最低(7.96mg/L)。5月和11月表层水温

表1 长江口及邻近海区 t 、O₂、O₂%、浮游植物和叶绿素的季节变化

月份	层次	t (°C)		O ₂ (mg/L)		O ₂ %		浮游植物 平均值 ($\times 10^4$ 个/m ³)	叶绿素 平均值 (mg/m ³)
		变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值		
1	表	4.35—12.73	7.53	8.35—11.78	9.98	94.4—108.3	97.2	126.1	1.783
	底	4.47—12.86	8.47	8.26—11.01	9.37	94.9—101.5	96.5		
5	表	14.32—20.22	17.74	7.22—10.92	8.47	86.8—135.2	104.6	44.0	3.039
	底	12.93—19.43	14.97	6.02—8.85	7.37	72.0—103.2	86.9		
8	表	22.36—29.90	26.93	6.15—15.32	7.96	81.1—220.6	111.8	7 858.0	8.819
	底	16.83—29.16	20.94	2.29—7.72	4.05	29.9—108.5	52.0		
11	表	12.80—20.08	15.91	5.92—9.90	8.16	78.7—100.2	93.9	29.0	1.051
	底	14.33—20.77	18.93	4.52—9.12	7.12	60.9—97.9	87.3		

注: 表中各参数平均值均为该月各站的总平均。

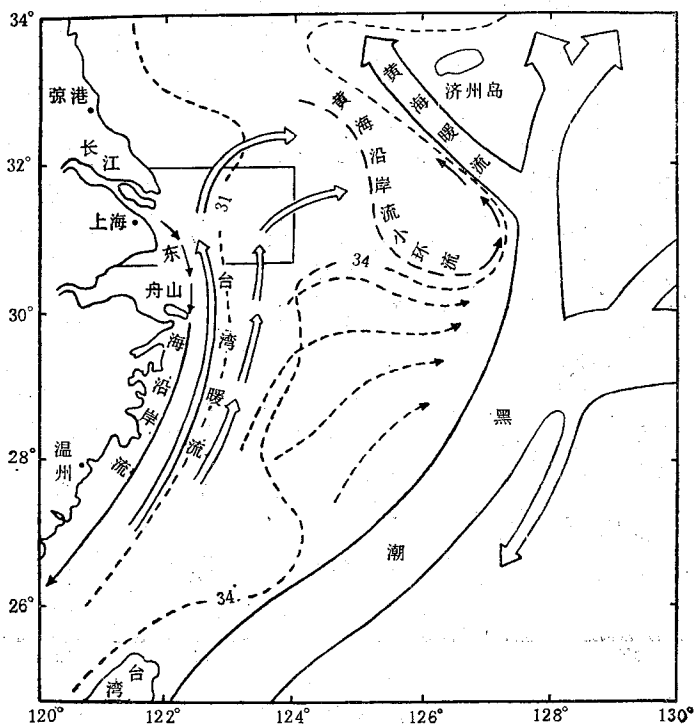


图2 东海夏半年流系及表层海水盐度分布示意图(管秉贤, 1978)
等值线为海水盐度

平均介于 1 月和 8 月之间 (17.74°C , 15.91°C), O_2 量值也相应介于两者之间 (8.47mg/L , 8.16mg/L)。

表 1 中浮游植物(浮游植物量是自底至表层整个水柱的生物量平均值)和叶绿素量的季节变化虽然也很明显(如 8 月各站总平均浮游植物量比 1 月高 69.1 倍多), 但浮游植物或叶绿素与 O_2 无明显的相关关系。这说明调查海区 O_2 的季节变化主要受水温控制。

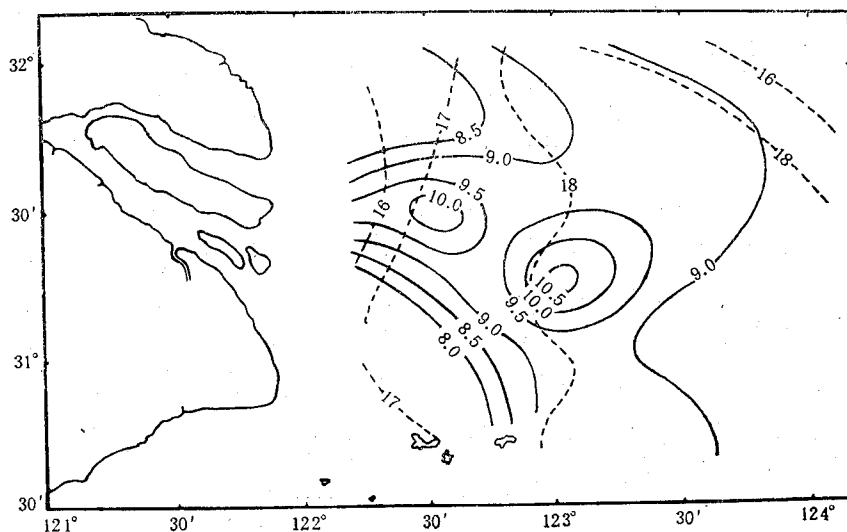


图 3 1986 年 5 月溶解氧、温度平面分布(表层)

— O_2 (mg/L); ---- t ($^{\circ}\text{C}$)
(图 12, 14, 15, 16, 20 图例同)

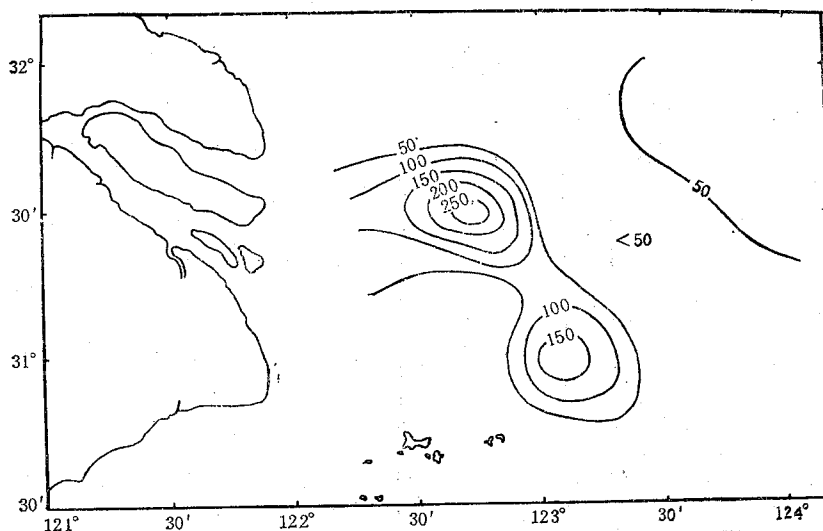


图 4 1986 年 5 月浮游植物平面分布

(单位: $\times 10^4$ 个/ m^3)

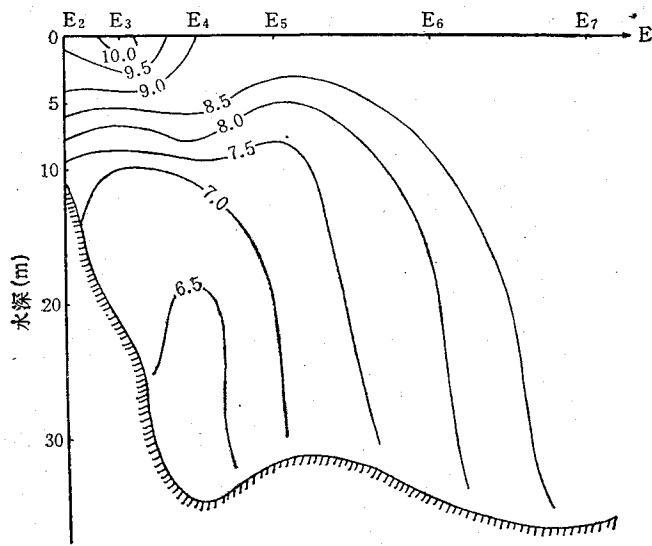


图5 1986年5月 O_2 的E断面分布
(单位: mg/L, 图10, 19同)

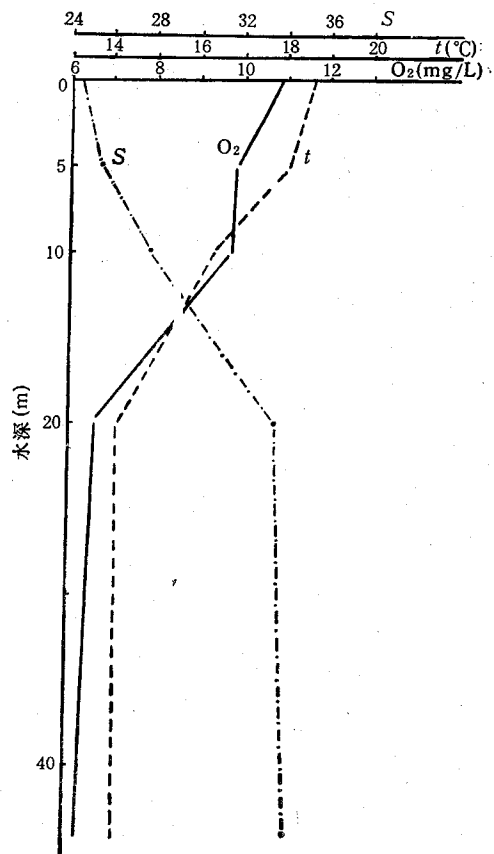


图6 1986年5月 F_5 站 t , S , O_2 垂直分布

2. 空间分布

(1) 春季 5 月份调查海区的中部和南部为浮游植物高量区($150-250 \times 10^4$ 个/ m^3), 表层水 O_2 量值比其他水域高 $1-2mg/L$, 其最大值为 $10.9mg/L$ (图 3, 4)。入春以后, 水温渐升, 特别是东海沿岸流的侵入(图 2), 使得调查海区东部、中部和南部增温尤快, 大部分在 $18^\circ C$ 以上, 加之长江径流量的不断增加, 淡水所挟带的大量营养盐不断流入, 这些均有利于适应本环境的浮游植物种群的繁殖。5 月份水体日趋稳定, O_2 的交换速度变慢, 浮游植物繁殖生长过程中所释放的氧必然影响到上层水 O_2 的水平分布趋势, 两者呈一致关系。

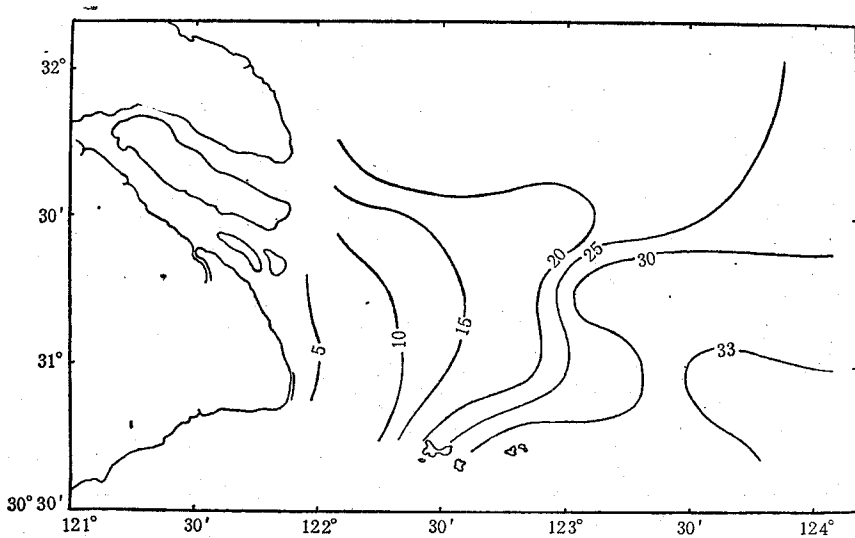


图 7 1985 年 8 月 S 平面分布

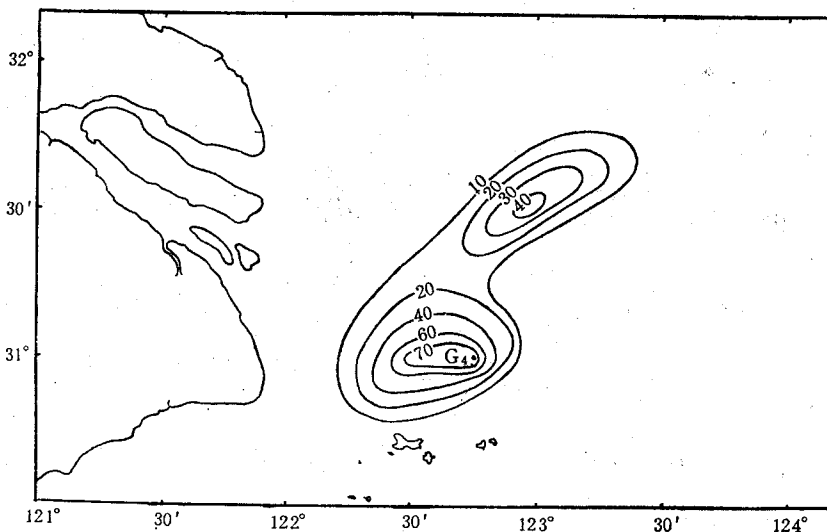


图 8 1985 年 8 月浮游植物平面分布
(单位: $\times 10^8$ 个/ m^3)

5月,海水处于增温过程,加之长江输入的淡水形成了明显的密度跃层,伴随产生了 O_2 跃层。 O_2 跃层的上下界差值一般达 $2-4\text{ mg/L}$ (图5,6)。这是因为跃层上界的高 O_2 来自大气中 O_2 的溶解和浮游植物光合作用 O_2 的释放,致使氧饱和度多呈过饱和状态(表层 $O_2\%$ 各站平均为 104.6%);跃层下界的低值则是由于动物呼吸和有机质的分解消耗 O_2 ,且又得不到补充所致(任广法,1987),故底层 $O_2\%$ 各站平均呈不饱和状态(86.9%)。

(2) 夏季: 8月,调查海区表、底层平均水温分别为 26.93°C 和 20.94°C ; O_2 含量为

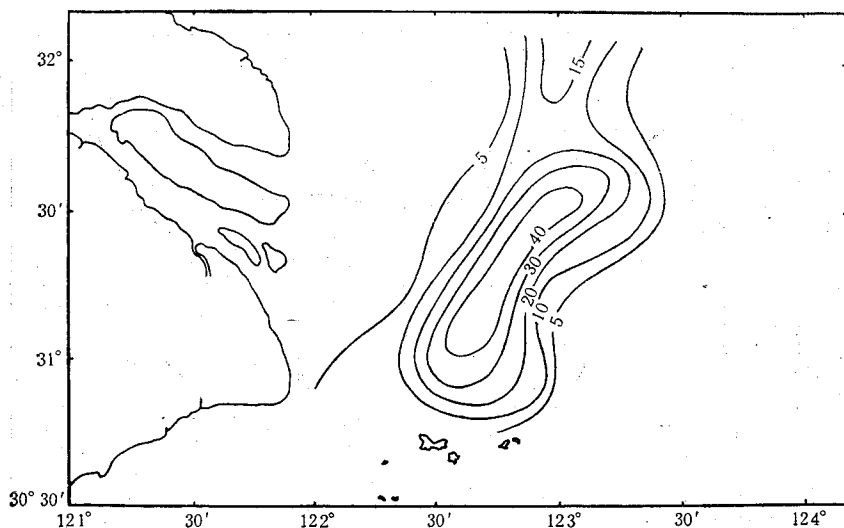


图9 1985年8月叶绿素平面分布
(单位: mg/m^3)

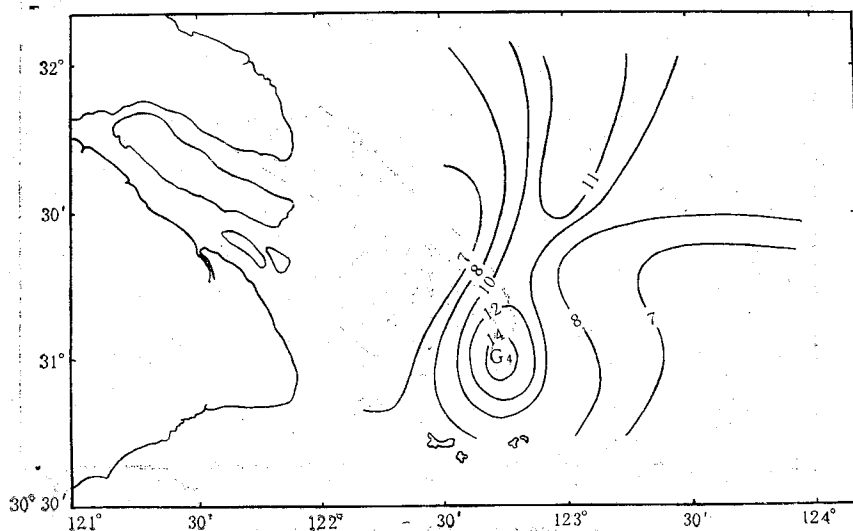


图10 1985年8月 O_2 平面分布(表层)

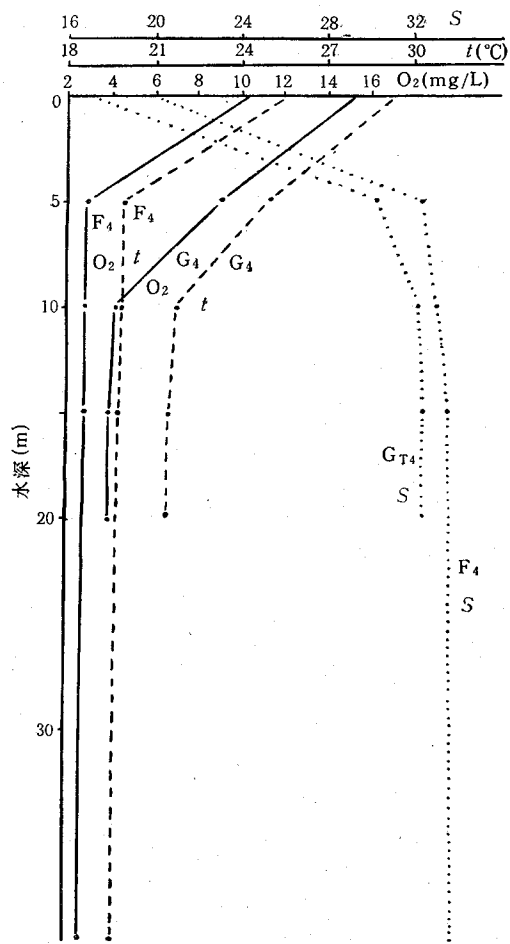


图 11 1985 年 8 月 G_4 , F_4 站 O_2 , t , S 垂直分布

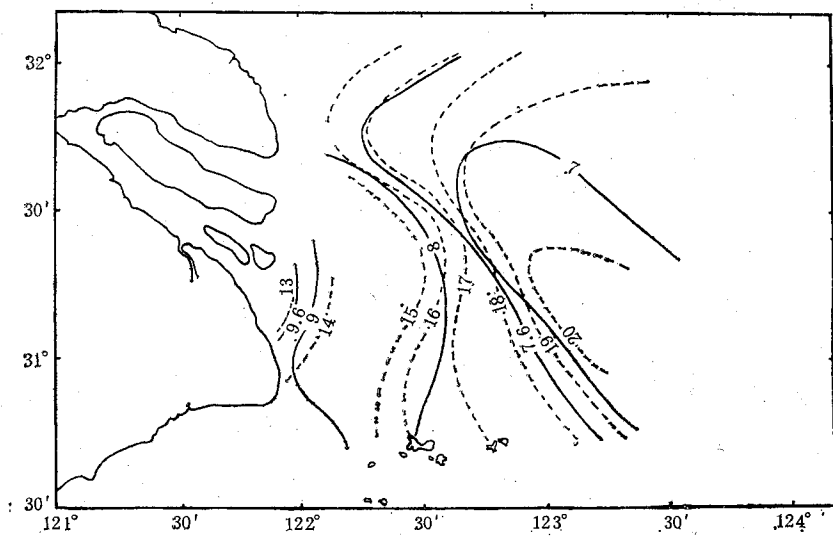


图 12 1985 年 11 月 O_2 , t 平面分布(表层)

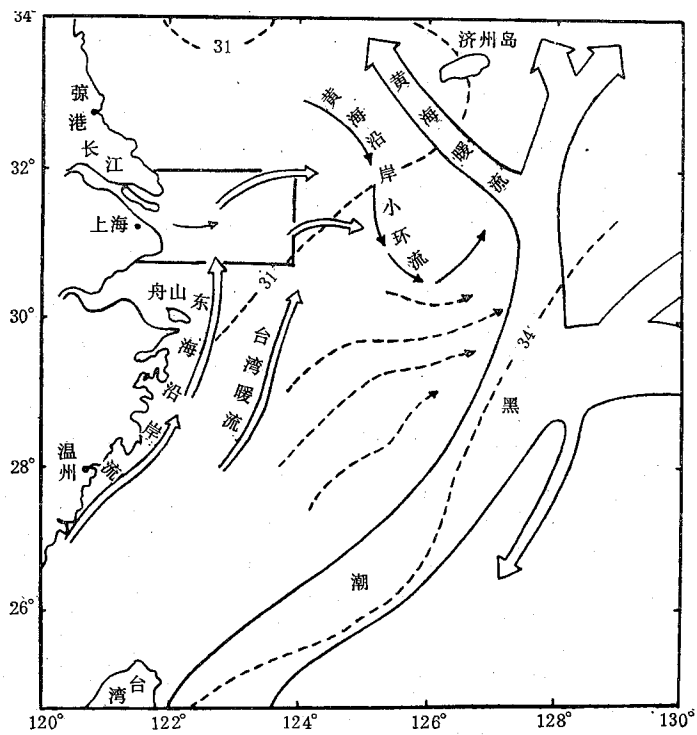


图 13 东海冬半年流系及表层海水盐度分布示意图(管秉贤, 1978)

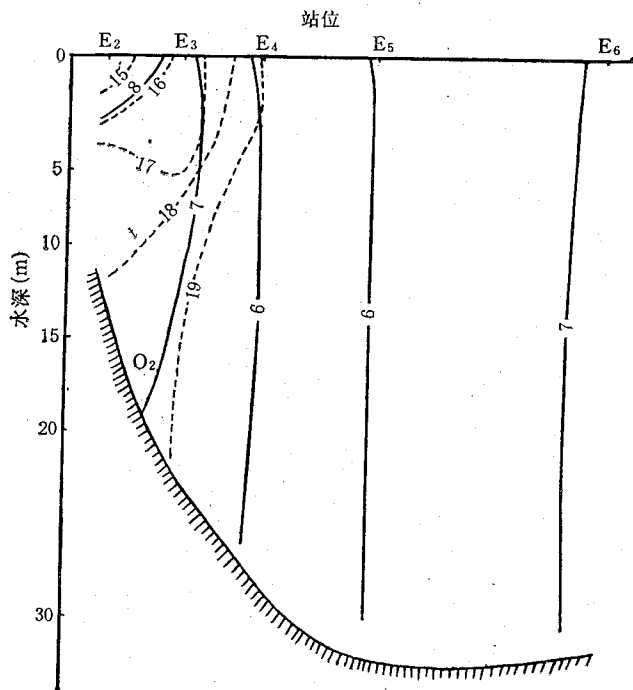
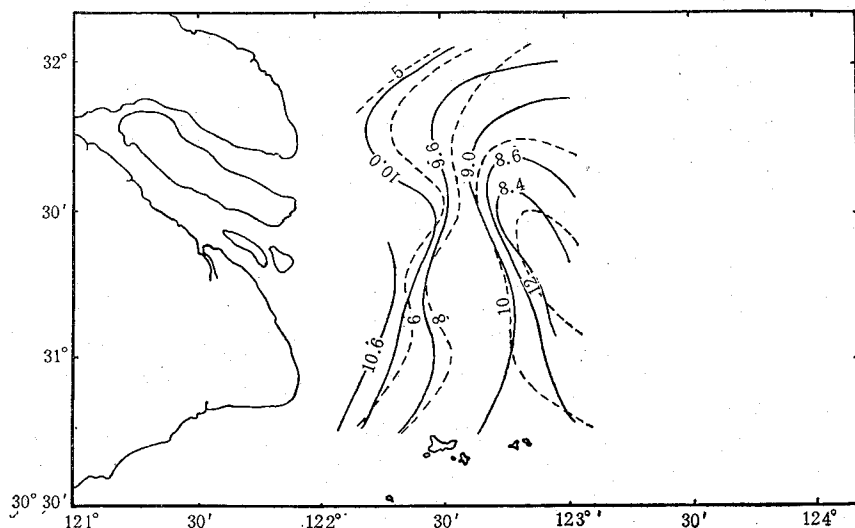
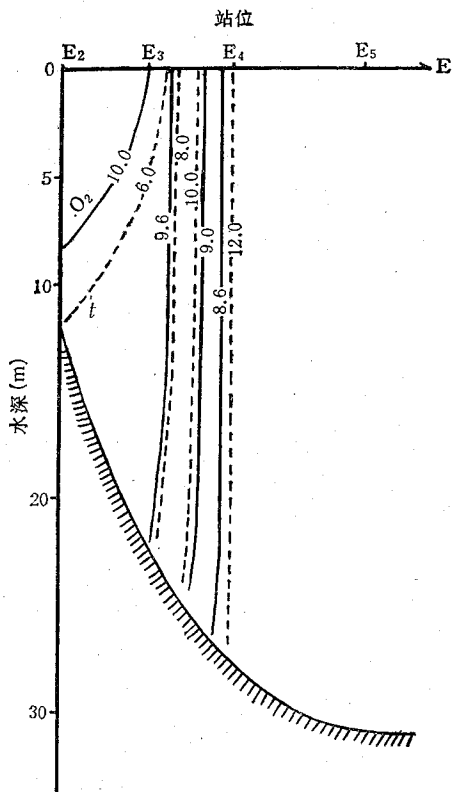


图 14 1985 年 11 月 O_2 , z 的 E 断面分布

图 15 1986 年 1 月 O_2 , σ_t 平面分布(表层)

7.96 和 4.05mg/L, t 与 O_2 呈相反关系。8 月降雨量大, 长江冲淡水几乎影响到整个调查海区(图 7), 大量淡水携带着极丰富的营养盐不断注入海中, 加之光照时间长, 适存的浮游植物得以迅速繁殖与生长, 因而出现了浮游植物量的高值(浮游植物各站平均为 $7\,858 \times 10^4$ 个/ m^3 , 叶绿素为 8.819mg/ m^3 , 见表 1)。此时水体相对稳定, 浮游植物光合作用所释放的大量氧难以迅速进行水气交换, 导致 $O_2\%$ 在表层呈过饱和状态, 其各站平均值高达 111.8%。由图 8, 9, 10 可看出, 调查区的中部和南部出现了比 5 月份更为明显的 O_2 和浮游植物的高含量区: 表层 O_2 最高值达 15.32mg/L, $O_2\%$ 为 220.6%; 浮游植物量为 $73\,207 \times 10^4$ 个/ m^3 , 叶绿素为 38.311mg/ m^3 (G 站)。长江口门外与杭州湾外的浅海区 O_2 含量较低, 同时亦是浮游植物量最少的水域。应当指出, 8 月份沿岸河口水域浮游植物量偏低与水的浊度大有关, O_2 量低尚受水温高的影响。

8 月, 由于水温高、淡水排入量大, σ_t 跃层更趋稳定。跃层的上、下界 t 相差 5—8℃ 左右, 盐度相差 10—12 之多, O_2 差值一般在 5 mg/L 左右, 有的相差达 10 mg/L (图 11)。

图 16 1986 年 1 月 O_2 , σ_t 的 E 断面分布

(3) 秋季: 入秋后水温迅速降低(表 1), 11 月调查海区表层水温各站平均已降至

15.91℃(底层为 18.93℃)。随着氧溶解度的增大,海水中 O_2 含量也增加(表层 O_2 已增至 8.16mg/L, 底层为 7.12mg/L), 但因其增加速度往往落后于前者, $O_2\%$ 均呈不饱和状态(表层 $O_2\%$ 平均值为 93.9%, 底层为 87.3%)。

根据调查资料,此时浮游植物对 O_2 含量虽有一定影响,但已不足以影响 O_2 的水平分布;而 O_2 与 t 的水平分布趋势却基本一致,即 O_2 在近岸比远岸区约高 3mg/L, 近岸区 t 低于远岸区约 6℃, 其等值线大致平行于海岸线。 O_2 从近岸的高区(9mg/L)向外海递减,至 123°E, 31°30'N 附近出现低区(6mg/L); t 从近岸的低区(13℃)向外海的高温区递增(20℃)。这种分布与台湾暖流的高盐、高温水的影响有关(图 12, 13)。

11 月,由于北风的影响,水温降低,调查海区的垂直对流和涡动扩散日趋加剧,夏季 σ_t 跃层基本消失, O_2 垂直分布多呈均匀分布状态(图 14)。

(4) 冬季: 进入冬季, 太阳辐射减弱, 水温已降至全年最低(1 月表层各站平均为 7.53℃, 底层为 8.47℃), O_2 含量相应普遍增高, 各站平均值为全年最高(1 月份表层各站平均为 9.98mg/L, 底层为 9.37mg/L)(表 1)。从图 14 可以看出, 1 月 O_2 及 t 的水平分布趋势与 11 月基本一致, 近岸高氧、低温 ($O_2 > 10\text{mg/m}^3$, $t < 6^\circ\text{C}$), 外海低氧、高温, 在 122°45'E, 31°30'N 附近出现了一个低氧高温区 ($O_2 < 8.4\text{mg/L}$, $t > 12^\circ\text{C}$), 这可能是受台湾暖流影响所致(图 13, 15)。

1 月,北风盛行, 水体的垂直对流与交换更为强烈, O_2 与 t 垂直均匀, 大致呈垂线平行分布(图 16)。

二、讨 论

1. O_2 和 $O_2\%$ 季节变化原因 本调查海区 O_2 的绝对含量季节变化是十分显著的, 表、底层海水 O_2 年变差分别为 2.02 mg/L 和 5.32 mg/L; 表、底层水温年变差达 19.40℃ 及 12.47℃ 之多(表 1)。从图 17 和表 2 可看出, O_2 与 t 的年变化基本上呈负相关, 故造成 O_2 含量季节变化的主要因素是水温。浮游植物量的多少对 $O_2\%$ 的季节变化产生明显影响(图 18)。8 月,浮游植物量高,导致表层(或近表层) $O_2\%$ 处于过饱和状态(111.8%)。

5 月浮游植物量虽不太高, 但叶绿素量较之 11 月、1 月为高, 尤其是此时期增温较快, 水体开始稳定, O_2 的交换受阻, 浮游植物光合作用所放出的氧气亦使表层 $O_2\%$ 呈过

表 2 O_2 与 t (表层)的相关系数

月 份	相关系数 r	相 应 的 临 界 值	
		置信水平 1%	置信水平 5%
8	-0.054, $n = 49^*$	0.372	0.288
11	-0.940, $n = 38$	0.418	0.325
1	-0.850, $n = 35$	0.449	0.349
5	0.123, $n = 40$	0.418	0.325

* 出海调查计划因天气变化时有调整,故每季采得样品数不尽相同。

饱和状态(各站平均为 104.6%)。

2. O_2 空间分布特征

(1) 平面分布: 调查海区 5 月与 8 月的 O_2 平面分布极为相似, 浮游植物量高的水域表层水中 O_2 量值亦高, 反之 O_2 量值低; 此时, O_2 与浮游植物的分布趋势几乎完全一致(图 3, 4, 8, 9, 10), 它们之间存有正相关关系。但中、下层 O_2 的分布则较为复杂, 在下面垂直分布一节里予以讨论。11 月、1 月 O_2 的平面分布趋势与 t 极为一致, 处于极好的负相关关系(表 2)。 O_2 溶解度主要取决于水温, 是这种分布的机理。

(2) 垂直分布: 入春以后, 台湾暖流正位于长江冲淡水的低盐水舌内¹⁾, 水体上层增温较快, 基于温度及盐度的差异, 在 5—20m 深层处逐步

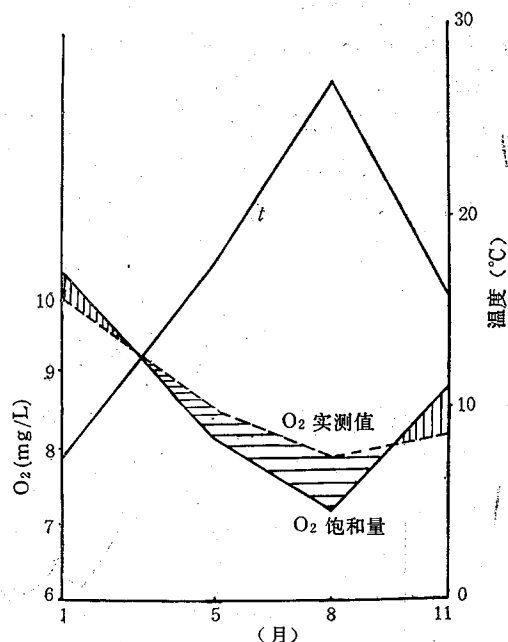


图 17 O_2, t 的季节变化

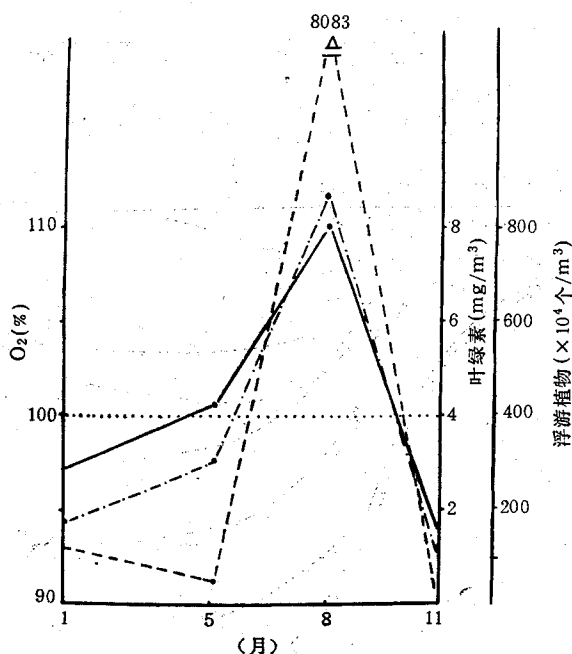


图 18 $O_2\%$ 、浮游植物、叶绿素量年变化

— $O_2\%$; - - - - 叶绿素; 浮游植物

1) 管秉贤, 1978, 东海海流系统概述, 东海大陆架论文集, 中国科学院海洋研究所编(内部资料), 126—129。

形成了稳定的 σ_t 跃层及相应出现的 O_2 跃层。在跃层的上、下界, O_2 的差值从5月的2 mg/L 左右,直至8月份的5—6mg/L 不等,最大差值达10mg/L 之多(图11)。这是因为 σ_t 跃层的存在,阻止了水体的上下对流与交换,底层 O_2 得不到补充,加之动物的呼吸、有机质的分解、氧化消耗 O_2 ,致使调查海区5月、8月底层 O_2 都很低,特别是8月这种趋势更为明显(图19, 20)。

赛维尔早在1937年的调查中作过实验,证明氧消耗量越多的地方,生物密度越大(黄海水产研究所,1960)。根据调查得知,入春以后,调查海区中、下层水体中 O_2 的消耗量是

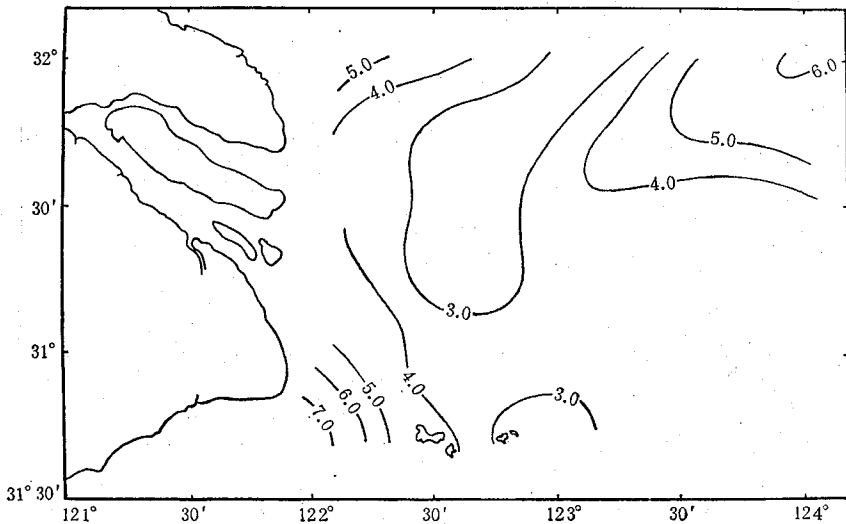


图19 1985年8月 O_2 平面分布(底层)

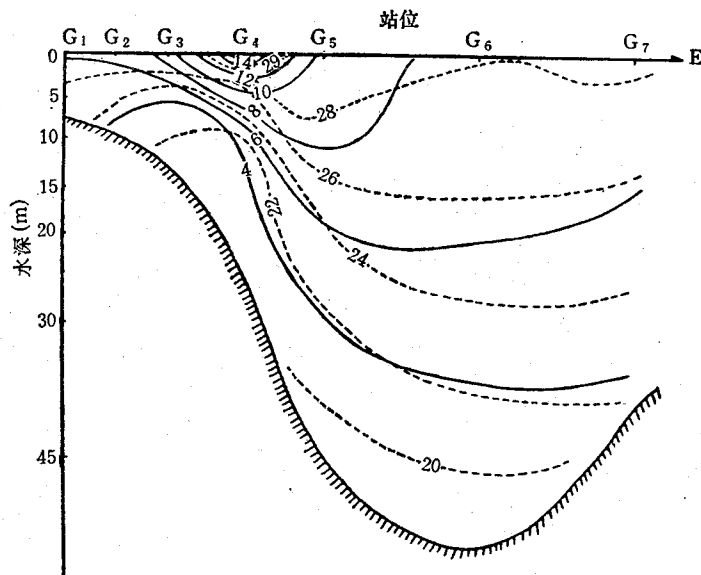


图20 1985年8月 O_2 的G断面分布

较大的,特别是底层 O_2 的季节年变幅高达 5.32mg/L ,进一步证明该海区丰富的生物量和有机质的存在与长江径流有关。

参 考 文 献

- 刁焕祥, 1986, 黄海冷水溶解氧垂直分布最大值的进一步研究, 海洋科学, 6: 33。
任广法, 1987, 黄河口区及其附近海域溶解氧的分布变化, 海洋科学, 3: 37。
陈国珍, 1961, 海水分析化学, 科学出版社, 61。
黄海水产研究所, 1960, 海洋水产资源调查手册, 上海科学技术出版社, 294。

DISTRIBUTION AND VARIATION OF DISSOLVED OXYGEN IN THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY AND ITS ADJACENT WATERS*

Ren Guangfa

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

Investigations on distribution patterns and variation of dissolved oxygen (DO) were carried out around the Changjiang River Estuary in August and November of 1985 and in January and May of 1986. The results showed that there was a significant negative correlation between DO and temperature in autumn and winter. DO was supersaturated in spring and summer due to high content of phytoplankton with average oxygen saturabilities of 105% and 112%, separately. The maximum value of DO ($15.32\text{mg } O_2/\text{L}$) was found in the middle part of the area during summer with oxygen saturability of 221%, phytoplankton content of 7.82×10^7 cells/ m^3 , and chlorophyll-a concentration of $38.3 \text{ mg}/\text{m}^3$, correspondingly.

* Contribution No. 2060 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.