

# 南海中部海区溶解氧垂直分布最小值

杨嘉东

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005)

**摘要** 本文根据国家海洋局1983年9月—1985年1月在南海中部海区的综合调查资料,分析了该海区溶解氧的垂直结构特征和氧最小值的分布变化规律。结果表明,在水深500m至1000或1500m处终年存在着氧含量普遍小于 $2.0 \times 10^{-3}$ 的氧最小层,其厚度南部高于北部。氧最小值的含量在 $(1.65-2.10) \times 10^{-3}$ 之间,其量值也明显地随着纬度而增加。文中还对氧最小层形成的机理作了初步探讨。

关于南海溶解氧的分布变化状况,近期已有一些研究报告<sup>[1-4]</sup>。本文根据1983年9月—1985年1月在南海中部海区(111°00′—118°00′E, 12°00′—19°30′N)进行4个航次综合调查中有关溶解氧的资料,分析了该海区溶解氧的垂直结构特征和氧最小值的分布变化规律,并对构成与维持氧最小层的机理作了初步探讨。

## 一、调查与方法

调查海区的范围和站位见图1。取样层次为0, 10, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 700, 1000, 1200, 1500和2000m。其中4个加深站增取2500, 3000和4000m层次的水样。溶解氧含量用Winkler法测定<sup>[1]</sup>,双样分析偏差一般不超过 $0.03 \times 10^{-3}$ 。文中4个航次分别代表4个季节,即1983年9月(秋季);1984年4—5月(春季);1984年7—8月(夏季);1984年12月—1985年1月(冬季)。

## 二、结果与讨论

### 1. 溶解氧的垂直结构特征

由图2至图4可以看出,溶解氧含量有明显的层化现象,其垂直结构主要有以下几个特征。

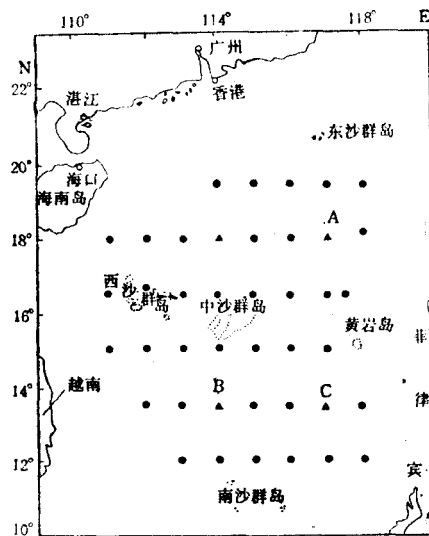


图1 取样站位图

(●大面站, ▲加深站)

Fig. 1 Location of sampling stations

收稿日期: 1989年3月12日。

1) 国家海洋局, 1975。海洋调查规范。III 13—17。

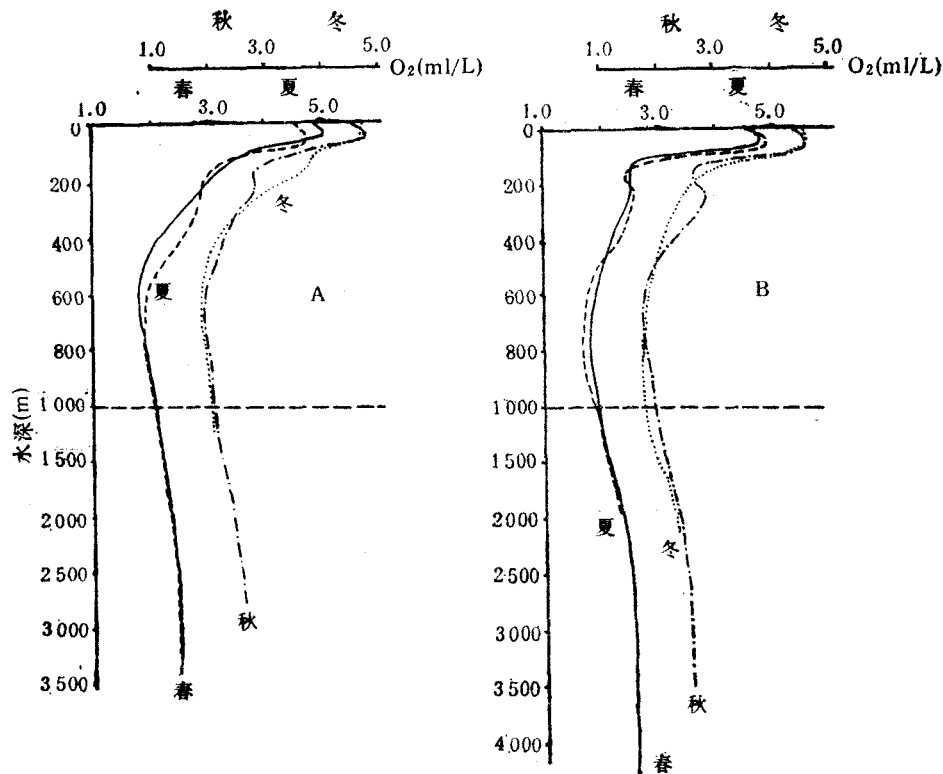


图2 A站和B站溶解氧垂直分布

Fig. 2 Vertical distribution of dissolved oxygen ( $\times 10^{-3}$ ) at stations A and B

(1) 表层(0—50 或 75m)溶解氧含量最高。除了冬季外,最大值均出现在 30—50m 层中。表层以下,随着深度增加氧含量呈不均匀递减状态,但氧等值线多数与海面平行(图 3)。在 700m 附近出现氧最小值。最小值以下至 4 000 多米深海盆水,氧含量又缓慢回升到 $(2.4-2.6) \times 10^{-3}$ 。这种垂直变化特征与大洋中氧的分布相类似。

(2) 表层与次表层之间(即 10—75 或 100m 层中),除冬季由于强烈的混合作用而使氧含量呈现均匀分布外,其他季节均存在高氧层。这些高氧层正好是叶绿素 a 含量最大值的深度(50—75m)的稍上方,说明这种层化结构与浮游植物的光合作用有密切关系。

(3) 在高氧层以下至 150m 左右,氧含量呈急速下降趋势,氧等值线密集,垂直梯度最大,构成了氧跃层。这与温度跃层和盐度跃层及磷酸盐和硝酸盐的含量急速增加相对应(图 4)。说明氧跃层的形成与密度跃层的存在和有机质的氧化分解过程存在着密切关系。

(4) 在 150m 以深至 500m 左右,氧含量缓慢递减,各断面上氧等值线较稀,而且在不同程度上由北向南倾斜。这种结构特征说明调查海区在 150—500m 之间的北部氧含量高于南部,与平面分布中氧含量北高南低的趋势相一致<sup>[3]</sup>。

(5) 在 500m 以下至 1 000 或 1 500m 之间,普遍出现了氧含量低于  $2.0 \times 10^{-3}$  的氧最小层,氧最小层的厚度是南部远大于北部,量值为  $2.0 \times 10^{-3}$  的低氧等值线呈楔形状态由南向北楔进。这种结构是由于调查海区的氧含量呈现北高南低和太平洋深层水通过巴

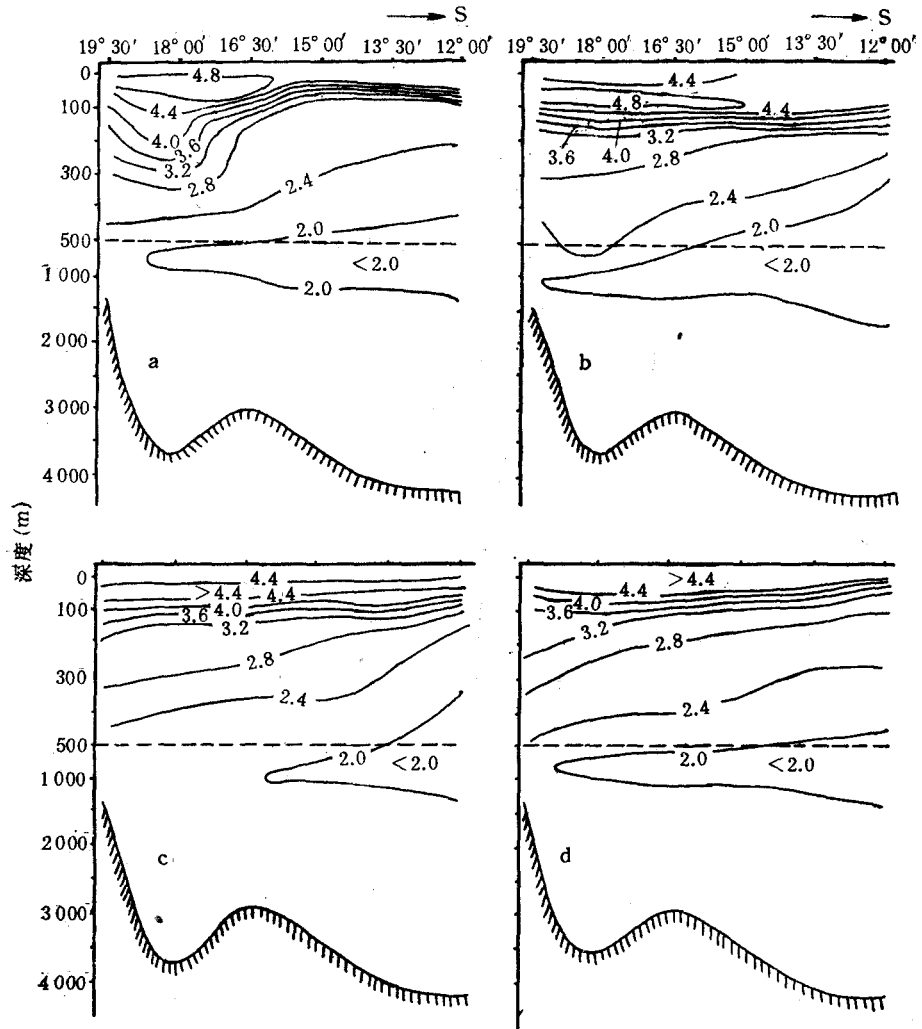


图3 南海中部海区溶解氧沿 115°E 断面图

Fig. 3 Profiles of dissolved oxygen in the central area of South China Sea at 115°E

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季。

士海峡进入南海后水体中的氧含量在南移过程中逐渐下降的综合结果<sup>[2,3]</sup>。

另外,从图3还可看出,在 18°N, 115°E 附近的高氧等值线出现明显的下凹现象,这个下凹水体的温度比周围高,而磷酸盐、硅酸盐和硝酸盐的浓度却比周围低,其水平范围约二个半纬距,下界影响深度可达 400m<sup>[3]</sup>,形成暖涡。这个暖涡现象的产生,可能是由于进入南海后的黑潮分支,开始向西偏南方向流动,及至东沙群岛西南海域,与 NE 向的南海暖流交汇,加上受到海底地形和正在交替的西南季风的影响,使分支主流转向东北,从而在东沙群岛西南方形成一个暖涡,其位置与 1979 年夏季和 1981 年冬季出现的暖涡位置有所不同<sup>[2]</sup>。

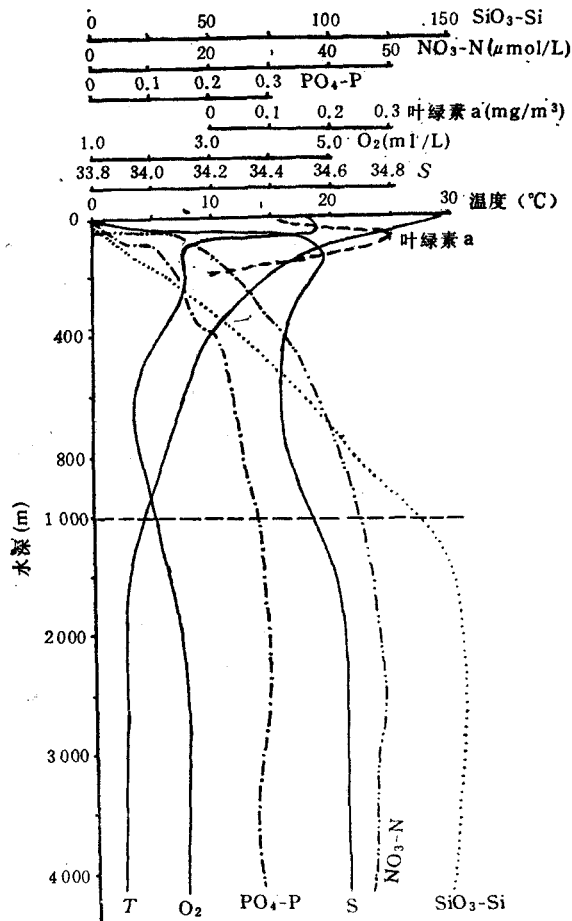


图4 C站溶解氧、温度、盐度、硝酸盐、磷酸盐、硅酸盐和叶绿素 a 的垂直分布(春季)

Fig. 4 Vertical distributions of dissolved oxygen, temperature, salinity, nitrate, phosphate, silicate and chlorophyll a in spring at station C

## 2. 氧最小值的分布及其变化规律

南海中部海区在中层(即 500—1 000 或 1 500m)普遍观测到氧的含量很低,从而构成了氧最小层,而氧最小值一般是出现在 600—800m 处。由表 1 可知,氧最小值的含量随着纬度的增加而增加。氧最小值所处的深度也随着季节不同而异。春季,氧最小值所处深度随着纬度的增加而变浅,夏季则相反,秋季和冬季近似。表 2 指出,在氧含量低于  $2.0 \times 10^{-3}$  的氧最小层所处的深度范围内,虽然氧最小层所处的深度随季节的不同而有所不同,但其厚度均随纬度的增加而变小,出现了在  $15^{\circ}\text{N}$  以南的氧最小层厚度明显地大于  $15^{\circ}\text{N}$  以北的现象。

此外,从春、夏、秋、冬四个航次的调查中还观测到,在水深 100—200m 处,经常出现第二个氧最小值,其含量在  $(2.5-3.0) \times 10^{-3}$  之间。它的出现也随着季节和纬度的不同而有所差异,即冬季和春季出现的机率较小,约占测站总数的 30%;夏季和秋季出现的机率较大,约占 50% 左右,且多数出现在  $13^{\circ}00'-18^{\circ}00'\text{N}$  之间。第二个氧最小值出现的深

表 1 南海中部海区不同季节氧最小值的含量及其所处的深度

Tab. 1 The minimum values and located depth of dissolved oxygen in different seasons in the central area of South China Sea

海域范围	春		夏		秋		冬	
	氧最小值 ( $\times 10^{-3}$ )	深度 (m)	氧最小值 ( $\times 10^{-3}$ )	深度 (m)	氧最小值 ( $\times 10^{-3}$ )	深度 (m)	氧最小值 ( $\times 10^{-3}$ )	深度 (m)
111—118°E 19°30'—18°N	19.5	711	1.94	773	2.00	772	1.95	702
111—118°E 16°30'—15°N	18.9	735	1.84	739	1.95	793	1.92	766
111—118°E 13°30'—12°N	17.8	744	1.78	710	1.85	726	1.80	661
平均值	18.6	732	1.85	744	1.93	765	1.89	699

表 2 南海中部海区氧含量低于  $2.0 \times 10^{-3}$  的氧最小层所处的深度Tab. 2 The depth of the layer with oxygen contents of less than  $2.0 \times 10^{-3}$ 

海域范围	春		夏		秋		冬	
	深度范围 (m)	厚度 (m)	深度范围 (m)	厚度 (m)	深度范围 (m)	厚度 (m)	深度范围 (m)	厚度 (m)
111—118°E 19°30'—18°N	567—925	358	631—1052	421	649—937	288	651—982	329
111—118°E 16°30'—15°N	596—1003	407	562—976	414	711—1014	303	591—947	356
111—118°E 13°30'—12°N	516—1120	604	528—1277	749	517—1208	691	524—1236	712

度正好都是在南海盐度最大值的核层附近(见图 4), 这可说明第二个氧最小值的出现与南海的高盐水团有关, 而这个高盐水团可能就是来自北太平洋西部的亚热带次表层水, 只是在进入南海后与南海水的混合过程中有所变异而已<sup>[12]</sup>。

### 3. 构成与维持氧最小值层的机理

对于氧最小值层形成的机理, 早在 30 年代就有许多海洋学家进行过探讨<sup>[5-7,9,10]</sup>。由 Rakestraw 的研究结果得知<sup>[8]</sup>, 氧最小值层的有机物是来源于该海区的表层; 深层水体中硅酸盐、磷酸盐和硝酸盐等营养盐的过剩和氧的短缺是由于从表层下沉的有机物逐步氧化分解而造成的。由本调查的结果可知, 南海中部海区表层的营养盐是极其低微的, 从而抑制了浮游植物的繁殖生长, 所以有机物的含量相对较少, 以致于氧最小层中的氧含量相对较高。南海中部海区地处热带, 海上气温终年较高, 年变化也不大, 因此与热带海洋一样, 一年 4 季都有明显的密度跃层存在<sup>[3]</sup>, 从而使氧的向下运送受到抑阻, 在密度跃层的影响下氧的消耗率超过氧的供应率。这就是调查海区溶解氧含量随着水深的增加而呈现由快而慢不均匀递减的一个重要原因。

南海四周较浅, 中央深陷, 构成水深大于 3500 m 状似菱形的南海海盆, 其长轴呈 NE-SW 走向, 长轴的东北端濒临巴士海峡, 西南伸向中南半岛和南沙群岛之间的海域。这种地形非常有利于南海与太平洋之间进行水体交换。本次调查海区大部分处于南海中央海盆, 其上层盐度比太平洋低, 在 600m 水深以下与太平洋的盐度的垂直分布大致相同; 但在 2000m 处的盐度略上升为 34.6, 水温下降至 2.5°C 时与太平洋黑潮区域同深度水的极

为相似<sup>[11]</sup>。由此可见,南海中部海区位于热带,表层水温一年 4 季都较高,故无冷水下沉。而在深层,由于水温很低,氧化过程较难进行,所以来自太平洋的水体从巴士海峡进入南海后,在南移的过程中由于水温较冷而逐渐下沉,致使南海中部海区深层水中的氧含量不可能随深度的增加而降低,反而具有比中层有所升高的趋势。

由上述分析可以认为,假如没有生物的作用,那么与水温相应的溶解氧含量应该随着深度的增加而增加;但是,在海中同时进行着氧的向下输送和有机物氧化而被消耗两种作用,因而在密度跃层的存在下,氧的向下输送量比消耗量小,致使氧含量在密度跃层下随深度的增加而减少。因此,在较深的水层中,来自表层的氧含量因湍流扩散而向深层运送的速率在垂直方向上的变化,有机物氧化对氧的消耗速率在垂直方向上的变化,密度跃层的终年存在以及来自太平洋的水体对深层氧的补充等 4 个方面是构成与维持南海中部海区氧最小值层终年存在的主要因素。

### 参 考 文 献

- [1] 刁焕祥,1984。南海溶解氧垂直分布最大值,海洋学报 6(6): 770—780。
- [2] 中国科学院南海海洋研究所,1985。南海海区综合调查研究报告(二)。科学出版社,204—231, 274—295 页。
- [3] 国家海洋局,1988。南海中部海域环境资源综合调查报告。海洋出版社,38—68,89—124 页。
- [4] 韩舞鹰等,1982。南海中部海水化学要素的研究。南海中部海区综合调查研究论文集,科学出版社, 159—175 页。
- [5] 堀部纯男等著(日),崔清晨等译,1983。海洋化学。科学出版社,193—247 页。
- [6] Cline, J. D. and F. A. Richards, 1972. Oxygen deficient conditions and nitrate reduction in the eastern tropical north Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.* 17(6): 885—899.
- [7] Goering, J. J., 1968. Denitrification in the oxygen minimum layer of the eastern Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.* 15: 157—164.
- [8] Rakestraw, N. W., 1947. Oxygen consumption in sea water over long periods. *J. Marine Res.* 6: 259—263.
- [9] Sverdrup, H. U., 1938. On the explanation of the oxygen minimum and maxima in the ocean. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 13: 163—172.
- [10] Wattenberg, H., 1939. Entstehung der saurstoffarmen Zwischenschicht in Ocean. *Ann. Hydrogr.* 67: 257—266.
- [11] Wyrтки, K., 1962. Physical Oceanography of the South-East Asian Water. Scientific Result of Marine investigation of the South China Sea and Gulf of Thailand 1959—1961. Naga Report, 2.

## MINIMUM VALUES OF DISSOLVED OXYGEN VERTICAL DISTRIBUTION IN THE CENTRAL SOUTH CHINA SEA

Yang Jiadong

(Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen, 361005)

### ABSTRACT

Based on the survey data of the central area of the South China Sea from September 1983 to January 1985, the vertical structure characteristic of dissolved oxygen and the distribution of oxygen minimum values are studied. It is shown that minimum layers with dissolved oxygen content of less than  $2.0 \times 10^{-3}$  appear at intermediate depth (from 500 to 1 000 or 1 500 m) in this area. Its thickness in the south part of this area is larger than that in the north. The oxygen minimum values of dissolved oxygen vertical distribution range from  $1.65 \times 10^{-3}$  to  $2.10 \times 10^{-3}$ . Its values increase with the latitude. The mechanism of the formation and maintenance of a state of oxygen minimum layers is preliminarily discussed in this paper. It is concluded that downward diffusive rate of dissolved oxygen from surface, oxidation rate of sinking organic matter, existence of pycnocline in all seasons and supply of oxygen by deep water inflow from the Pacific Ocean into South China Sea are the important factors of the formation and maintenance of oxygen minimum layers in the area.