

# 秋末南黄海冷水团区溶解氧垂直结构 及其最大值的分析研究\*

熊庆成 丁宗信 赵保仁

(中国科学院海洋研究所)

南黄海溶解氧垂直分布上的中间高氧层及其最大值是黄海冷水团区的一个突出现象。毛汉礼等(1964)认为: 在夏季, 凡是黄海冷水盘踞的地方, 几乎都有一个中间高氧层, 其深度与温跃层有关, 大致都在温跃层的下界附近; 中间高氧层可作为黄海冷水的一项指标<sup>[2]</sup>。后来, 顾宏堪(1966, 1980)专题讨论了黄海的夏季溶解氧垂直分布中最大值问

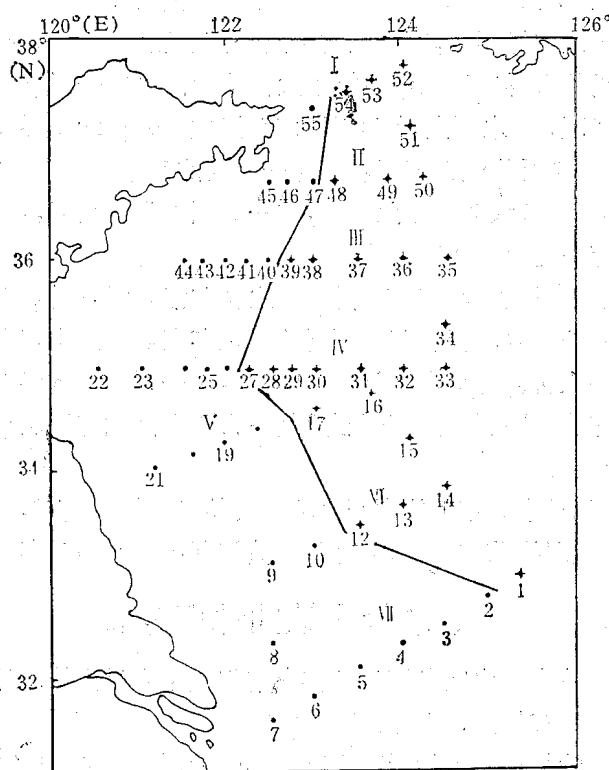


图 1 调查海区 and 站位分布

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1168 号。

本文是根据中美南黄海环流和沉积动力学联合调查所得资料写成。参加这次调查工作的有中美双方的科学家、我室技术组全体成员和“科学一号”、“金星二号”的全体船员; 文中插图由白少英同志清绘, 在此一并致谢。

收稿日期: 1985 年 3 月 11 日。

题<sup>[3,4]</sup>。他认为这一最大值主要是由冬季保持而来。但是,由于当时的资料垂向取样间隔大,因而对冷水团区溶解氧的垂直结构及其分布特征等问题没有进行详细的讨论。

本文试图在前人工作的基础上,利用1983年11月中美南黄海环流和沉积动力学联合调查所获取的CTD资料,和与其同步取样(每秒钟抽样一次,深度间隔约在0.3—0.8m之间)的溶解氧资料,对秋末南黄海冷水团区溶解氧垂直结构及其最大值分布特征,以及它们同水系的关系等问题作进一步的分析研究。

调查海区 and 站位分布如图1所示。由于种种原因,调查海区仅限制在 $124^{\circ}30'E$ 以西海域,这对研究上述问题,特别是同水系的关系,带来了一定的困难。

## 一、氧最大值在冷水区普遍存在

到目前为止,有关南黄海溶解氧最大值研究的文章,都是针对夏季的情况,对其他季节,特别是秋末冬初时期的情况却报道很少。这主要是因为夏季黄海深层冷水发展强盛,中间高氧层所在深度较浅,均在35m层以上,按标准层取样比较容易观测到;而在秋末冬初,由于垂直对流加强,温跃层(或密度跃层)大部分下沉到35m层以下,照常规观测,在35—50m之间没有标准取样层次,所以往往把这一高氧层和最大值漏测,造成测量上的遗漏现象。这就很容易使人得出秋末冬初氧最大值趋于消失这一不符实际的结论。

通过这次调查发现,在水深大于60m的广大海域,40—50m层以下仍存在着南黄海深层冷水,其范围如图1折线以东海区。在这一海区的27个测站(以“+”表示)上都存在着中间高氧层,并伴有氧最大值。由此表明,这一高氧层和最大值,在秋末如同夏季一样,和南黄海深层水的存在是有密切联系的。

同时,我们还整理分析了近几年11月份的水文和溶解氧资料。由这些资料看出,每年11月,调查海区东部深水区都有范围不同的冷水存在。在冷水存在的区域内,都观测到中间高氧层及其最大值。尽管各年观测到的站数不一,如1978年有11个测站,而1981年仅有4个,但都充分表明了中间高氧层及其最大值和南黄海深层冷水的存在是分不开的。

综上所述,溶解氧垂直分布上的中间高氧层及其最大值,不管是在冷水发展最强的夏季,还是在冷水趋于减弱的秋末冬初,总是和南黄海深层冷水同时存在。

## 二、氧最大值的地理分布

由上节得知,南黄海冷水区各测站都存在溶解氧中层最大值。为了了解这一最大值及其所在深度的地理分布特点,我们绘制了图2。

如图2a所示,高的氧最大值位于冷水区中心附近,如30,37和49等站,其绝对含量均高于6.6mL/L。在冷水区边缘诸站,其绝对含量均偏低,最低者是1站,小于5.7mL/L。由图2a还看出,在冷水区的东南隅有一低的氧最大值舌伸入到调查海区,并在 $124^{\circ}E$ 以东由南向北伸展,可及 $36^{\circ}N$ 附近,基本上与由近底层切入的黄海暖流的路径吻合;这一低的氧最大值舌是受低氧的黄海暖流水的影响而形成的。另外,在山东成山角以东海区,也似有一个低的氧最大值舌,但轮廓很不清晰。以上事实表明,冷水的强弱和黄海暖流的切入对氧中层最大值有明显的影

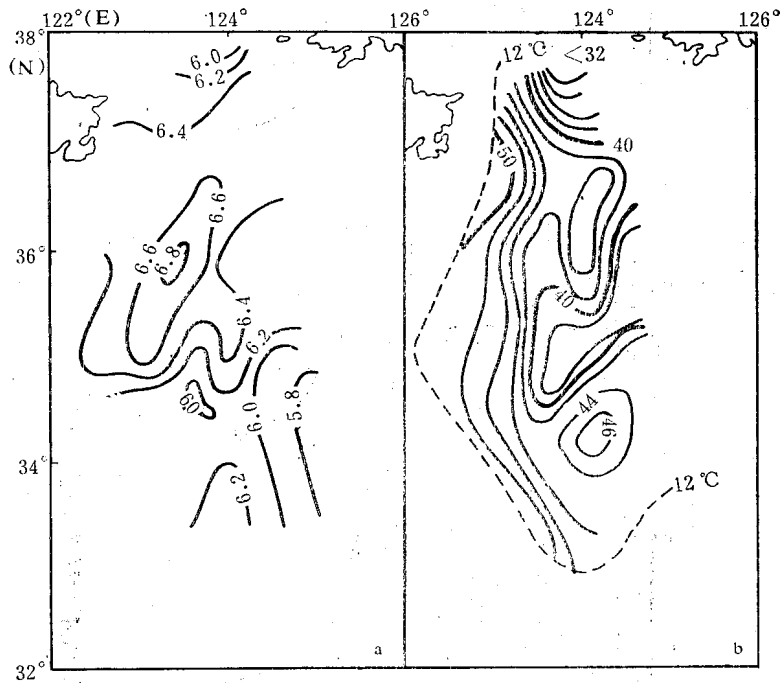


图2 氧中层最大值 (mL/L) (a) 及其深度 (m) (b) 的地理分布

如图2b所示,氧最大值所在深度的地理分布特点是:在冷水区西部大,约50m左右;东部小,约40m左右;最浅的地方是在冷水中心区域和调查海区北部,仅有30m。这种分布特点和温跃层(或密跃层)潜在深度有密切关系。

### 三、溶解氧垂直分布特征

这次调查获得的高密度溶解氧观测资料,和历史资料相比,更加真实而清楚地揭示了溶解氧在秋末期间的垂直分布情况。但从图3看出,在10m以浅的水层里,表层氧绝对含量很低,随深度之增加而迅速增加。这一点与历史资料(0m层高于10m层)差别较大,这种差别很可能是由于仪器氧探头感应速度和仪器施放速度不一致造成的。因此,我们只分析10m层以下的情况。归纳起来,冷水区氧垂直分布具有下列特征(见图3): (1)在温跃层以上(10m层以下)的上均匀层里,氧垂直分布趋于均匀;(2)从温跃层上界开始,氧含量随深度之增加而急剧增加,绝大部分测站在较薄的水层里很快达到最大值;(3)尔后,氧含量随深度的增加而逐渐减小,在逆温层附近(如37,49和15三站)或下均匀层上界(如30和32两站),氧含量迅速减小,这样便在温跃层和逆温层之间形成了一个厚度不一的中间高氧层;(4)在中间高氧层里,夹有一个低氧含量层,这样,溶解氧在垂直分布中就出现了两个极值,我们称这种结构为溶解氧的双峰结构(如图3中的32站)。上述只有一个溶解氧极值的,则称为单峰结构。单峰结构分布普遍,双峰结构只是在几个测站上观测到。

秋末冷水区溶解氧垂直分布所具有的上述特点,主要取决于该区水系的组成——上

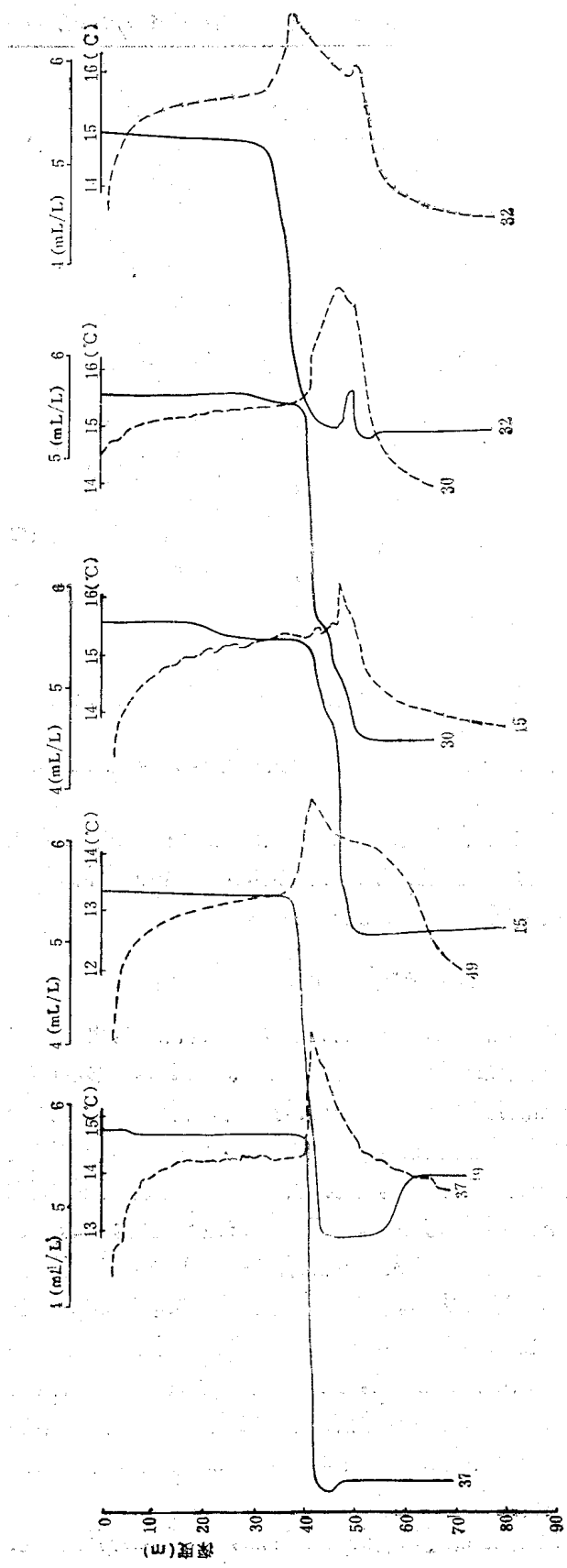


图 3 37, 49, 15, 30 和 32 五站温度(实线)和溶解氧(虚线)垂直分布

层是温、盐度垂直均匀的氧含量略低的黄海上层水,近底层是切入调查海区的低氧的黄海暖流水,中层为含高氧的原夏季保留下来的黄海深层冷水<sup>[1]</sup>,当然,也与温跃层的存在、平流的影响有着密切的关系。

**1. 上均匀层氧垂直分布和温、盐度场的关系** 如上所述,在上均匀层(10m层至温跃层上界)里,氧含量趋于均匀,随深度的增加略有增大。氧含量的这种分布,是和该层的温、盐度场有关的。这次调查结果,该海区上均匀层的温、盐度分别在 12.5—16.5℃ 和 31.8—32.2‰ 之间,要使该层海水氧含量达到饱和(一般不会饱和),氧含量应在 5.9—6.2 mL/L 之间,比相应的中层氧最大值低,这时应把中间高氧层看作一个高氧源。秋末期间,由于垂直对流加强,温跃层从上界不断受到破坏,同时上均匀层由于密度垂直均匀而不稳定,所以温跃层里的氧慢慢向上层释放,因而造成了上均匀层氧垂直分布的上述特点。我们认为,在垂直对流加强的秋季,它始终保持着这一特点。

**2. 溶解氧最大值和温跃层(或密跃层)的关系** 这里主要阐述氧最大值所在深度问题。根据历史资料分析得出,氧最大值在夏季处在温跃层的下界附近<sup>[2-4]</sup>。但在秋末期间

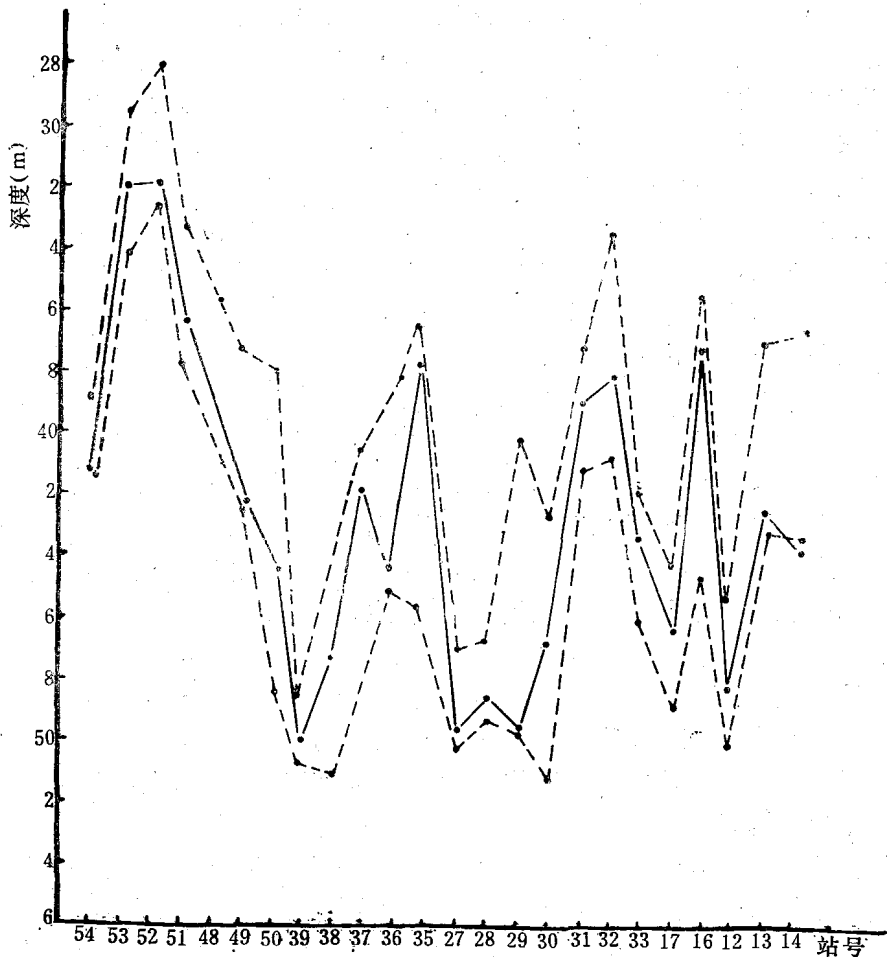


图4 冷水区各站氧最大值深度(实线)和温跃层上、下界深度(虚线)

情况又是如何?我们把调查所得的温跃层上、下界深度和氧最大值所在深度绘于图4。由图4看出,26个测站上氧最大值深度,除29,49和14站落在温跃层下界上外,其他测站都落在温跃层里,距温跃层下界有的几十厘米,有的竟达几米。一般说来,在温跃层薄的冷水区西部,靠温跃层下界近些;在温跃层厚的冷水区东部,则离温跃层下界远些。造成这种区别的主要因素,我们认为是温跃层下界海水垂直涡动的大小。由此可知,秋末氧最大值所在深度和夏季不同,它位于温跃层里。

**3. 中间高氧层和黄海冷水、黄海暖流的关系** 这次调查资料表明,南黄海深层冷水团在秋末实际上是由原夏季保留下来的冷水和自近底层切入调查海区的黄海暖流深层水组成,两者之间有一个明显或不太明显的逆温层<sup>[1]</sup>。黄海冷水氧含量高,黄海暖流深层水氧含量比较低,所以随深度之增加,氧含量在冷水中减小得慢,而在黄海暖流深层水中则减小得快,在两种水体的界面——逆温层附近减小得尤为迅速。如图3所示,49站上冷水层比较厚,中间高氧层也厚;37站上冷水层较薄,中间高氧层也就薄;再如15站上尽管仍有逆温层存在,但其冷水受黄海暖流的影响完全变性,几乎看不出有明显的冷水层存在,相应地中间高氧层更薄;在不存在逆温层的30站,中间高氧层和温跃层厚度相吻合,由文献[1]知,该海区温跃层厚度又和冷暖水相互作用有关。因此,归根到底,中间高氧层的厚薄取决于黄海冷水、黄海暖流深层水的配置和影响。由图3还可看出,氧含量的迅速减小,总是发生在上述两种水体的界面附近或下均匀层的上界附近,所以这时期近底层氧含量减小的主要原因不是有机物的分解耗氧,而是黄海暖流入侵这一平流效应。

**4. 溶解氧双峰结构和冷暖水相互入侵的关系** 通过这次调查,发现溶解氧在垂直分布上出现了两个明显极值的现象,即溶解氧双峰结构(见图3中32站)。尽管这一结构只存在于少数测站上,但它代表了氧在垂直分布上的一种特征。从该站温度垂直分布看出,主溶解氧极值和温跃层(密跃层)所在深度一致,而次溶解氧极值出现在有一定厚度并沿等密度面入侵的暖水层下方。所以冷暖水相互入侵是形成溶解氧双峰结构的原因。

## 四、单独划分黄海冷水的一种方法——溶解氧中层最大值法

文献[2]曾指出,中间高氧层在夏季可以作为黄海冷水的一个指标。本文第一节又强调了氧中层最大值与黄海冷水的不可分割性。为此,我们设想借用这一最大值分布特点来划分黄海冷水团的边界。其根据是黄海冷水团与周围水团之间有一个明显的温度锋面(在平面上)和一个强的温跃层(在垂向上)。如前所述,出现氧中层最大值的测站全部落在温度锋面所包围的底层冷水范围内,并且氧最大值也都在温跃层里。因此,利用观测到氧最大值的测站落在底层的范围和各站氧最大值所处深度联接成的一个曲面来划分黄海冷水团与周围水团的界面,至少在秋末冬初,是一种切实可行的方法。为了和利用温、盐度资料通过相似系数法<sup>[5]</sup>计算的结果作比较,我们绘制了底层和IV断面上相似系数分布图(图5)。如图5所示,氧最大值出现的范围(见图5a)和所在深度的连线(见图5b),除1站外,同相似系数70%等值线基本吻合。根据文献[5]利用相似系数划分水团的原则,70%等值线可视为冷水团的边界,所以说两者划分的结果是很接近的。由此看来,用溶解氧中层最大值法划分黄海冷水团的边界,同其他方法相比是非常简便的。但是这个方法有它的局限性,一是仅适用于划分黄海冷水团;二是必须具有较密的溶解氧取样资料方可使

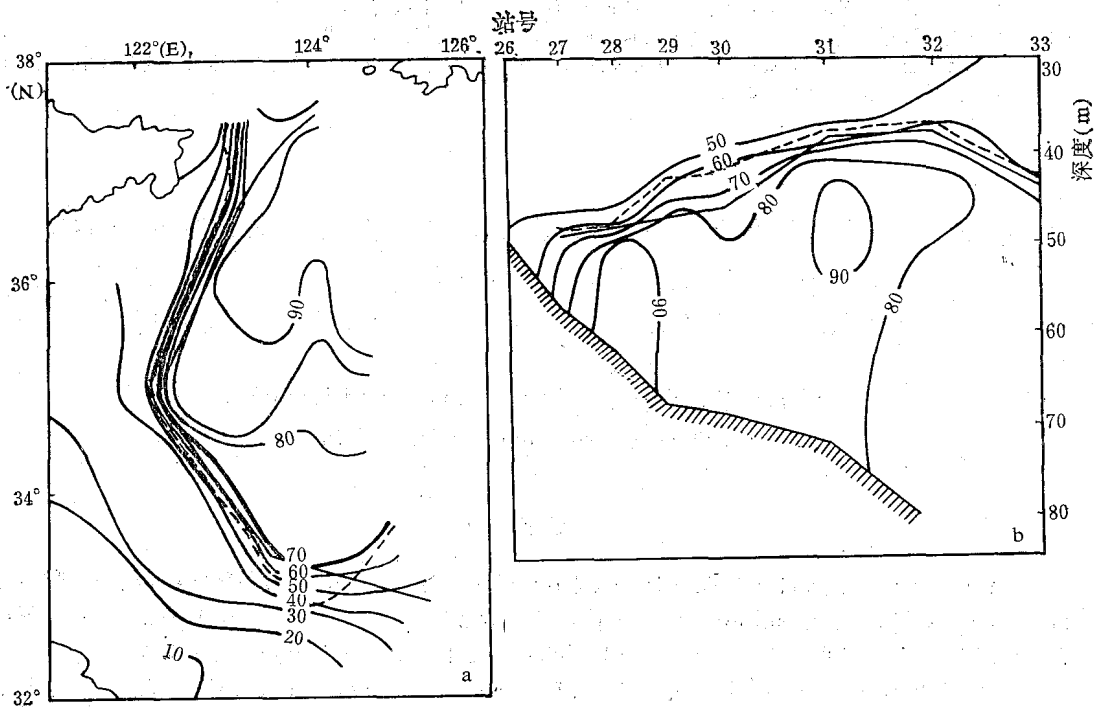


图5 底层(a)和断面 IV (b) 相似系数(实曲线)、12°C 等温线(虚线)和氧最大值出现范围及所在深度(折线)分布

用,否则会产生较大的误差(在垂向上)。另外,如何利用跃层下最大负溶解氧垂直梯度这一特征量,进一步把原称为黄海深层冷水团里的黄海冷水与黄海暖流深层水划分开来,有待获得较多的资料后再予以讨论。

## 五、结 束 语

综上所述,我们可得出以下几点结果:

1. 南黄海溶解氧中层最大值和高氧层,不论在黄海冷水强盛的夏季,还是在它势力趋于减弱的秋末冬初,它总是和冷水同存。
2. 南黄海氧最大值的地理分布,在一定程度上反映了低氧流系伸入调查海区的路径和冷水中心的位置。在秋末氧最大值总是位于温跃层里。
3. 南黄海冷水区氧垂直分布的形式,绝大部分海区是单峰结构,而在少数地方则是双峰结构。氧的这种垂直分布特征与温盐跃层、黄海暖流的切入、冷暖水的相互入侵等有着密切的关系。
4. 提出用氧最大值法划分黄海冷水的边界,同其它方法相比此法比较简便。

## 参 考 文 献

- [1] 丁宗信等,1986。南黄海秋末温盐度垂直结构及其与流系关系的分析。海洋科学集刊 27: 87—95。
- [2] 毛汉礼等,1964。南黄海和东北北部(28—37°N)夏季的水文特征以及海水类型(水系)的初步分析。海洋科学集刊 01: 23—77。

- [3] 顾宏堪, 1966. 海水溶解氧垂直分布中的最大值. 海洋与湖沼 8(2): 85—91.  
[4] 顾宏堪, 1980. 黄海溶解氧垂直分布的最大值. 海洋学报 2(2): 70—80.  
[5] 翁学传、王从敏, 1983. 黄海冷水团边界及温、盐度范围的确定. 中国海洋湖沼学会水文气象学会学术会议论文集. 科学出版社, 61—70 页.

## VERTICAL STRUCTURE OF DISSOLVED OXYGEN AND ITS MAXIMUM IN COLD WATER REGION OF THE SOUTHERN YELLOW SEA IN LATE AUTUMN\*

Xiong Qingcheng, Ding Zongxin and Zhao Baoren

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

### Abstract

In this paper, vertical structure of dissolved oxygen in Cold Water region of Southern Yellow Sea is examined in terms of dissolved oxygen data gathered with Neil Brown Mark-III CTD November 1983. The results obtained are as the following:

(1) There was a maximum value of dissolved oxygen when Cold Water Mass of Southern Yellow Sea existed.

(2) There were two types of vertical distribution of dissolved oxygen: the one-peak distribution and the two-peak distribution. The latter resulted from the intrusion of sea water with low oxygen into the water layer where oxygen was higher.

(3) Decrease of oxygen content near bottom caused by Yellow Sea Warm Current was more than that by decomposition of organic matter in late autumn of 1983.

(4) The maximum value of dissolved oxygen was used for identifying the Cold Water Mass in the Southern Yellow Sea. The boundary of the Cold Water Mass determined with oxygen maximum is consistent with that by others.

---

\* Contribution No. 1168 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.