

南黄海斜断面溶解氧分布特征 及其微细结构*

蓝淑芳

(中国科学院海洋研究所)

提要 本文根据1985年9月中科院“科学一号”调查船使用的 Neil Brown Mark-III CTD 微剖面探测仪所获取的溶解氧资料,对南黄海斜断面的溶解氧分布特征、垂向微细结构及其统计结果进行了分析研究,进一步揭示了黄海诸水团的配置及其水文特征。此外,利用回归分析方法,得到了溶解氧含量与温度、盐度等水文因子之间的相互关系。

海水中溶解氧含量与水文要素的分布及其变化密切相关。国内外海洋学者多用溶解氧因子分析水文状况并作为划分水团的重要指标之一,也有人将溶解氧和水文要素之间的关系进行了探讨,一些学者曾用该因子进行黄海冷水团和浙江沿岸上升流的研究^[1-3]。由于本文所研究的南黄海斜断面穿过青岛水团、黄海冷水团以及南黄海暖流水,所以本文试图通过对溶解

氧分布特征的研究,进一步揭示各水团的水文特征和垂向结构,并用回归分析方法计算分析了溶解氧含量与水文因子之间的相互关系。

“科学一号”于1985年9月使用 Neil Brown Mark-III CTD 微剖面探测仪,测量了斜贯南黄海断面(图1)的温度、盐度、条件密度(σ_t)、深度、溶解氧⁴⁾。

一、斜断面溶解氧分布特征

溶解氧的断面分布与温度、盐度的断面分布特征相类似,即存在着明显的季节性跃层,如图2所示。溶解氧跃层的上界,可用溶解氧值为5ml/l的等值线表征,它与温度图上表征温跃层上界的21°C等值线几乎重合在一起²⁾。整个断面5ml/l等溶解氧线以上至海面为上均匀层,该层溶解氧含量是准均匀的,除H₁、H₃及H₆测站近表层在4.5ml/l以下外,其它海域均

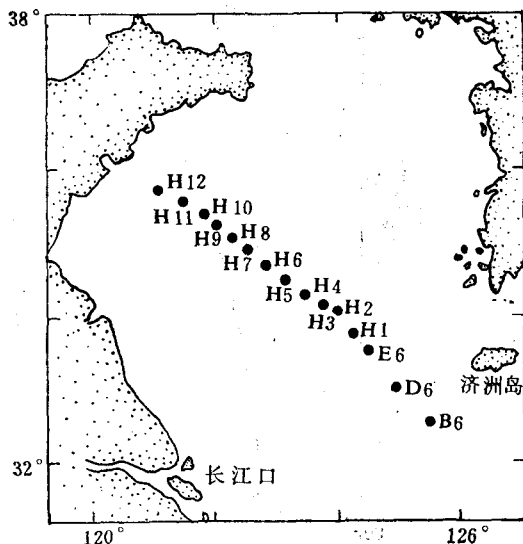


图1 斜断面的位置和站位分布

Fig. 1 Geographic position and station distribution of the oblique section

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1459号。
本文承傅秉照同志绘图,特此致谢。

1) 我所于1984年引进并使用CTD微剖面探测仪。为验证该仪器所获取的溶解氧资料的可靠性,作者于1985年9月在南黄海现场调查中,以不同速度投放CTD探头并将获得资料进行对比分析,结果表明,10m层以下,溶解氧资料可信;10m层以内,由于波浪等因素的影响,溶解氧资料不够准确。

2) 蓝淑芳等,1988。南黄海斜断面的水文状况及其微细结构。海洋科学集刊(待刊)。

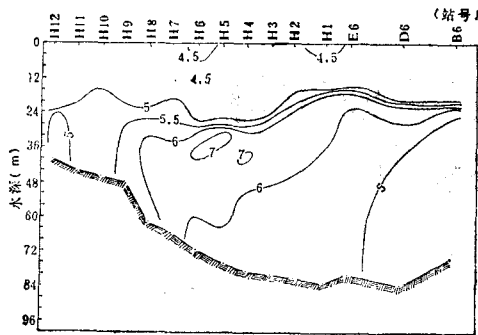


图2 溶解氧断面分布

Fig.2 Sectional distribution of dissolved oxygen (ml/l)

在 4.5—5.0 ml/l 范围内。在季节性跃层以下，断面西北一侧的青岛水团附近为低溶解氧含量区，其溶解氧含量值在 5 ml/l 以下；在断面中部，跃层下界是溶解氧含量大于 6 ml/l 的高溶解氧带，其范围宽广，垂向尺度最大可达 35 m。

这一高氧带向东南方向逐渐减小，至断面东南端呈层状分布。在高氧带中，最高中心区位于断面中部的 H₄-H₆ 站，其周界溶解氧等值线值为 7 ml/l，这与文献 [1, 5] 的结果相近。在高氧带以下，溶解氧值又随深度减小；同时，自断面中部向东南部，溶解氧值递减，至断面东南端，降至 5 ml/l 以下。

据土可知，在季节性跃层以下，青岛水团和南黄海暖流水具有低溶解氧含量特征，而黄海冷水团，特别是冷水团中心海区具有高溶解氧含量特征。这一结果与毛汉礼等^[2]所指出的，凡是在黄海冷水盘踞的地方，几乎都有一个中间高氧层的结论是一致的。

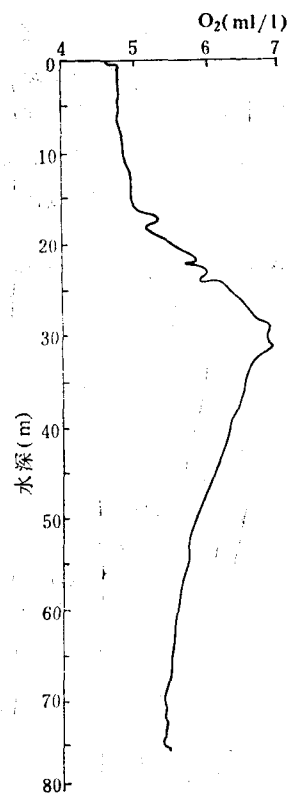
二、溶解氧垂向微细结构

自二十世纪七十年代，国外开始了海洋微细结构的研究。我国自八十年代开始引进了 XBT, CTD, STD 等先进海洋调查仪器，相继开展了海洋微细结构的调查研究，但有关报道至今为数甚少。本文着重对溶解氧垂向微细结构进行分析。

斜断面上各测站溶解氧的垂向分布与其相应温、盐度垂向分布均呈现上均匀层、季节性跃

层和下均匀层三层模式。在上、下均匀层里，溶解氧垂向分布是准均匀的；上均匀层溶解氧含量随深度的增加而略有增加；在下均匀层里，溶解氧含量随深度的增加而缓慢减小；在季节性跃层中，存在着溶解氧分布的阶梯状结构、多重结构和微细结构(图3)。这与温度、盐度、 σ_t 等季节性跃层的存在，以及水平和垂直平流、湍流和涡动混合等多种因子有关。

若取溶解氧含量随深度的增加而增加的水层作为溶解氧梯度层(亦简称溶解氧层)，则溶解氧随深度的增加而减小的水层称为逆氧梯度层(亦简称逆氧层)或负梯度层。具体取值标准如下：前者垂直梯度值大于或等于 0.1 ml/l·m，其中大于或等于 0.2 ml/l·m 的水层称为溶解氧跃层；逆氧层垂直梯度的绝对值大于或等于 0.05 ml/l·m，其中大于或等于 0.10 ml/l·m

图3 H₂ 站溶解氧垂直分布Fig.3 Vertical distribution of dissolved oxygen(ml/l) at H₂ station

的水层称为逆氧跃层。据此,斜断面上溶解氧梯度层和逆氧梯度层的分布如图4和图5所示。

断面上共出现63个溶解氧梯度层,其中溶解氧跃层为41个,梯度值在0.1—0.3ml/l·m

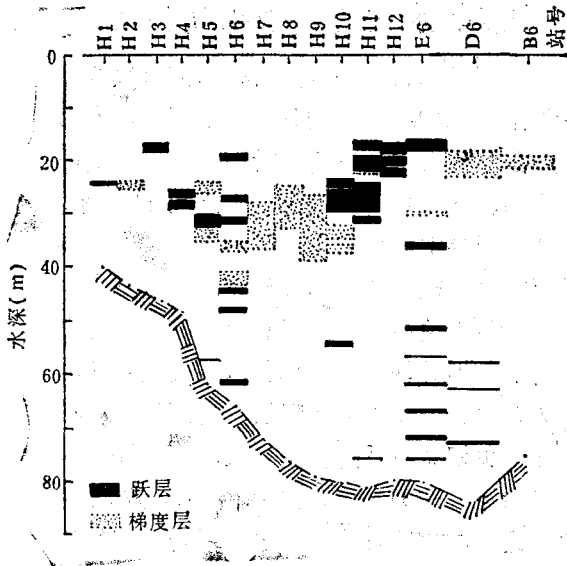


图4 溶解氧梯度层断面分布
Fig.4 Sectional distribution of gradient layers of dissolved oxygen (ml/l).

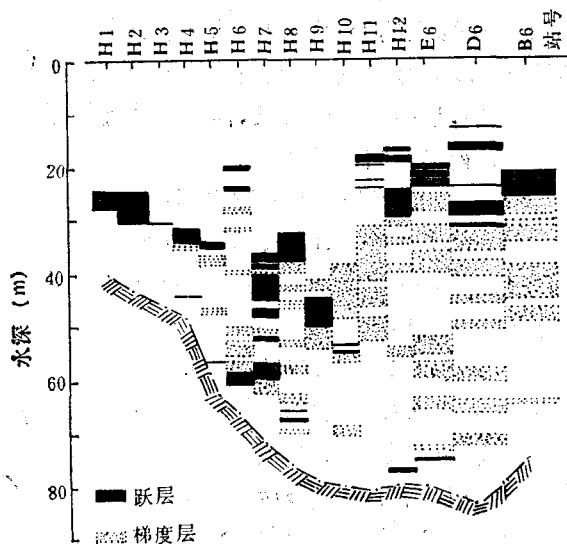


图5 逆氧梯度层断面分布
Fig.5 Sectional distribution of negative gradient layers of dissolved oxygen (ml/l)

范围内占62%。其分布特点为:(1)溶解氧梯度层主要位于20—35m水层之中,黄海冷水团所在海区,梯度层所在深度一般为30m左右,断面两侧海区深度较浅。(2)H₂、E₆、H₇站上梯度层出现个数较多,该三站均位于黄海冷水团、黄海暖流水及沿岸水交汇处;这里,溶解氧垂向微细结构是比较明显的。

断面上共出现100个逆氧层,其分布遍及20m以下的整个断面,其中逆氧跃层接近半数,多位于季节性跃层之中。逆氧梯度层的梯度值大都在0.05—0.08ml/l·m,厚度值一般小于2m,主要分布在断面右侧黄海暖流水控制海区。黄海暖流水具有低氧特征,当它自济州岛东南进入南黄海时,下层较上层势力强劲,所以,显示出溶解氧随深度递减分布的特点。

三、溶解氧垂向微细结构的统计结果

本节对南黄海斜断面上溶解氧垂向微细结构各特征值概率分布的统计学参数进行统计计算,得出溶解氧各梯度层诸特征值的平均值 \bar{X} 、均方偏差 σ 、偏斜度 S 和峭度 K 。

计算结果如表1—3所示。为了便于比较,作者还计算了 σ_z 垂向微细结构各特征值的统计学参数,也列入表中。文中取值标准是:将 σ_z 随深度的增加而增大,其垂直梯度值大于或等于0.04/m的水层称为条件密度梯度层(亦简称密度层),其中大于或等于0.20/m的水层为密度跃层。

由表1得知,溶解氧、逆氧、密度等梯度层强度的平均值是比较大的,各梯度层强度分布的两个统计参数 S 和 K 值差异较大,特别是 K 值。表1结果与温、盐、逆温及逆盐梯度层统计结果¹⁾相比较,其中逆氧层的 K 值最大,其次是盐度层。 S 值以逆氧层和逆温层较大,不同的是后者的 S 值为负偏值,说明逆氧梯度层的强度分布具有非对称性和明显的高峰态的特征。

1) 蓝淑芳等,1988。南黄海斜断面的水文状况及其微细结构。海洋科学集刊(待刊)。

表1 溶解氧、逆氧、密度梯度层强度分布统计参数
Tab. 1 Statistical parameters of the intensity distribution of the O_2 , σ_t gradient layers and O_2 negative gradient layers

统计参数 梯度层	\bar{x}	σ	S	K
溶解氧	0.33(ml/l·m)	0.24	1.72	3.09
逆氧	0.25(ml/l·m)	0.62	5.53	33.29
密度	0.37(m ⁻¹)	0.50	2.43	5.86

表2 溶解氧、逆氧、密度梯度层厚度分布统计参数
Tab. 2 Statistical parameters of the thickness distribution of the O_2 , σ_t gradient layers and O_2 negative gradient layers

统计参数 梯度层	\bar{x} (m)	σ	S	K
溶解氧	1.44	1.37	1.77	3.13
逆氧	1.75	1.58	1.62	3.26
密度	2.01	1.54	1.47	2.03

由表2得知,溶解氧和逆氧梯度层的厚度值均较小,且统计参数S和K值均接近,说明其分布具有较小的偏斜度和较低的峰态。

表3 溶解氧、逆氧、密度梯度层上下界深度分布统计参数
Tab. 3 Statistical parameters of upper and lower boundary depths distribution of the O_2 , σ_t gradient layers and O_2 negative gradient layers

统计参数 梯度层	\bar{x} (m)	σ	S	K
溶解氧 $\left(\frac{上}{下}\right)$	33.62 35.06	16.89 16.46	1.18 1.12	0.16 0.10
逆氧 $\left(\frac{上}{下}\right)$	41.39 43.14	16.24 16.16	0.29 0.19	-0.90 -0.93
密度 $\left(\frac{上}{下}\right)$	28.05 30.06	10.84 11.01	1.23 1.13	1.50 1.31

由表3可见,各梯度层上下界深度统计参数S和K值均较小,其中逆氧梯度层和逆温梯度层的S值最小,这说明,各梯度层上下界深度特别是逆氧层和逆温层上下界深度分布接近对称性分布。逆氧梯度层平均位置在溶解氧梯度

层以下。由于逆氧梯度层和逆温梯度层上、下界深度各统计参数比较接近,似可得出这样的结论,溶解氧随深度的增加而减小的现象与温度逆转现象的出现密切相关。

四、溶解氧含量与温度、盐度、条件密度等水文要素的相互关系

根据上述二、三节的讨论得出,溶解氧的分布均与温度、盐度、密度的分布密切相关,本节试图用回归分析方法讨论该断面季节性跃层中溶解氧与温度、盐度、密度三要素之间的关系。按季节性跃层中溶解氧含量的垂向分布序列与相对应的温、盐、密度垂向分布序列分别求相关,得出各相关系数。溶解氧含量与相应温度的相关呈负相关,相关系数最大,与文献[1]中所述的有关黄海冷水域溶解氧与水温完全相应,并呈负相关关系的结论一致。斜断面上各测站(除近岸的H₂站以外)相关系数均在-0.90及-1.0之间;其次为溶解氧与密度的相关,二者为正相关,相关系数多在0.90以上;溶解氧含量与盐度的相关虽也呈正相关,但相关系数较小,部分测站在0.90以上,其它则在0.70—0.90范围以内。

由于断面上的H₂站和H₇站位于黄海冷水团两侧边缘不同水团的交汇处,其垂向微细结构比较明显,且相关序列较长,作者对其进行了回归计算,得出回归方程如下。

H₂站的溶解氧与温度回归方程:

$$O_2(\text{ml/l}) = -0.136t(^\circ\text{C}) + 7.84$$

相关系数 $r = -0.97$; 均方误差 $S = \pm 0.14$ 。

溶解氧与盐度回归方程:

$$O_2(\text{ml/l}) = 0.991S - 26.46$$

相关系数 $r = 0.77$; 均方误差 $S = \pm 0.38$ 。

溶解氧与密度回归方程:

$$O_2(\text{ml/l}) = 0.431\sigma_t - 4.56$$

相关系数 $r = 0.92$; 均方误差 $S = \pm 0.24$ 。

为了进一步研究两个水文因子对溶解氧的复合影响效应,作者还进行了三个变数的复相关计算,分别得出溶解氧与温、盐度以及溶解氧

与温度、密度的回归方程式。

$$O_2(\text{ml/l}) = 16.40 - 0.159t(\text{°C}) - 0.253S$$

$$O_2(\text{ml/l}) = 12.54 - 0.184t(\text{°C}) - 0.166\sigma_t$$

H₇ 站溶解氧与温度回归方程:

$$O_2(\text{ml/l}) = -0.120t(\text{°C}) + 7.60$$

相关系数 $r = -0.90$; 均方误差 $S = \pm 0.18$ 。

溶解氧与盐度回归方程:

$$O_2(\text{ml/l}) = 0.999S - 25.68$$

相关系数 $r = 0.95$; 均方误差 $S = \pm 0.13$ 。

溶解氧与密度回归方程:

$$O_2(\text{ml/l}) = 0.401\sigma_t - 3.54$$

相关系数 $r = 0.93$; 均方误差 $S = \pm 0.15$ 。

溶解氧与温度、盐度以及温度、密度的回归方程如下:

$$O_2(\text{ml/l}) = -17.15 - 0.038t(\text{°C}) + 0.746S$$

$$O_2(\text{ml/l}) = -6.94 + 0.038t(\text{°C}) + 0.523\sigma_t$$

据上述的计算结果, 在南黄海斜断面的季节性跃层中, 溶解氧的垂向分布与对应的温、盐、密度的垂向分布可由回归方程式近似地表示它们之间的定量关系。

参 考 文 献

- [1] 刁焕祥等, 1985。黄海冷水域水化学要素的垂直分布特征。海洋科学集刊 25:41—51。
- [2] 毛汉礼等, 1964。南黄海和东海北部(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] 林建平, 1983。浙江沿岸上升流区溶解氧分布特征。海洋科学 1:6—8。
- [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] 熊庆成等, 1986。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。海洋科学集刊 27:107—114。

DISTRIBUTION CHARACTERISTICS AND MICROSTRUCTURE OF DISSOLVED OXYGEN ALONG AN OBLIQUE SECTION IN THE SOUTH HUANGHAI SEA

Lan Shufang

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

Hydrological observations with Neil Brown Mark-III CTD microprofiler were carried out by Institute of Oceanology, Academia Sinica in September 1985, along an oblique section in the South Huanghai Sea. Distribution characteristics, vertical microstructure and statistical characteristics of the dissolved oxygen along the section are analysed and studied in this paper based on the Mark-III CTD data. The relation between dissolved oxygen and hydrological factors including temperature, salinity and σ_t was calculated and analysed by using the regression analysis method.