

# 南黄海溶解氧的垂直分布特性<sup>\*</sup>

王保栋 王桂云

郑昌洙 梁东范

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

(韩国海洋研究所, 汉城)

**摘 要** 根据中韩黄海水循环动力学合作研究项目 1996~1998 年对南黄海全海域 6 个航次的现场调查资料, 对南黄海溶解氧的断面分布和垂直分布特征及其季节变化规律进行了系统、全面地研究, 并对夏半年溶解氧垂直分布最大值的地理分布、强度及与温跃层和生物活动的关系等进行了进一步的探讨。

**关键词** 溶解氧 垂直分布 南黄海

## 1 引言

关于黄海溶解氧垂直分布规律的研究, 最早的成果应属顾宏堪等<sup>[1]</sup>根据 1959 年的海洋普查资料所获得的研究成果。顾宏堪等<sup>[1,2]</sup>最先发现了黄海夏季溶解氧垂直分布中的最大值现象, 并提出了“黄海夏季溶解氧垂直分布中的最大值, 主要系由冬季保持而来”的理论。此后, 不少研究者<sup>[3~5]</sup>均沿用上述理论来解释黄海、东海及南海夏季溶解氧垂直分布最大值的成因。王保栋<sup>[6]</sup>根据 1976~1985 年 10 a 的断面调查资料研究指出, 黄海溶解氧垂直分布中的最大值并非主要由冬季保持而来, 而是温跃层和光合作用共同作用的结果。此观点与杨嘉东<sup>[7]</sup>、王小羽等<sup>[8]</sup>及蒋国昌等<sup>[9]</sup>分别对南海、东海陆架及黑潮区的研究结果基本一致。蓝淑芳<sup>[10]</sup>对南黄海斜断面溶解氧的分布特征及其与水文因子的相关性进行了研究。熊庆成等<sup>[11]</sup>研究了秋末南黄海冷水域溶解氧垂直分布最大值的地理分布及其与温跃层的关系。于圣睿等<sup>[12]</sup>对南黄海溶解氧的分布和季节变化进行了研究。然而, 上述作者所依据的调查资料仅限于黄海西半部, 而对横贯东西断面的整个黄海溶解氧的断面分布规律, 迄今尚无清楚的认识。本文根据“中韩黄海水循环动力学合作研究”项目 1996~1998 年对南黄海 6 个航次的联合调查所获得的资料, 拟对南黄海溶解氧的断面分布和垂直分布规律进行较系统、全面地研究, 并依据最新资料对黄海溶解氧垂直分布中的最大值现象进行进一步探讨。

本文于 1997-12-29 收到, 修改稿于 1998-09-11 收到。

\* 中韩黄海水循环动力学合作研究项目(1996~1998 年), 国家海洋局资助。

第一作者简介: 王保栋, 男, 35 岁, 副研究员, 硕士, 从事海洋生物地球化学研究。

## 2 调查和方法

在南黄海布设6条东西断面共60~80个测站(图1)。用CTD探头测温、盐、深度并采水(标准层,并在温跃层处加密)。溶解氧按Winkler法测定(GB12763.4-91)。

## 3 结果和讨论

### 3.1 断面分布

#### 3.1.1 冬季

冬季(2月)由于强烈的垂直涡动混合作用,黄海上、下水体同性成层,因此,溶解氧垂直分布均一(见图6)。其断面分布(图略)特征为:溶解氧含量自中央海域分别向东、西近岸呈平行线状递增,而水温的分布则相反。这是由于冬季黄海暖流自济州岛以西进入黄海中央海域,带来了高温、低氧水。此外,对全部数据的统计结果表明,溶解氧含量与水温呈显著负相关( $r = -0.97, n = 231$ ),这说明冬季南黄海溶解氧含量主要受水温控制。

#### 3.1.2 春季

4月份溶解氧的断面分布有以下特征:在南黄海中、北部(34°~37°N,图2a),近岸海域(水深小于40m)溶解氧呈垂直均匀分布;远岸海域(水深大于40m)溶解氧呈现明显的层化现象,即约以30m为分界线,其上层水体溶解氧含量很高(640~810  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ),下层水体溶解氧含量明显较低(<640  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )。这是由于4月份乃黄海浮游植物春花期(spring bloom),真光层中含有高浓度的叶绿素a(2~12  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ,详见文献[13]),强烈的光合作用产生了大量氧,使真光层中(0~30m)溶解氧含量大大增加;而下层水体中则基本是由冬季保留下来的,并因

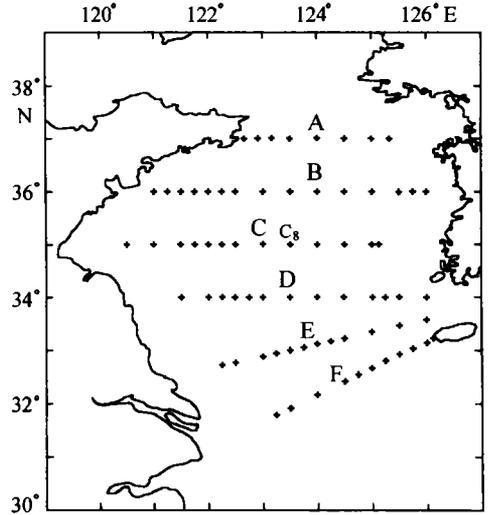


图1 调查站位

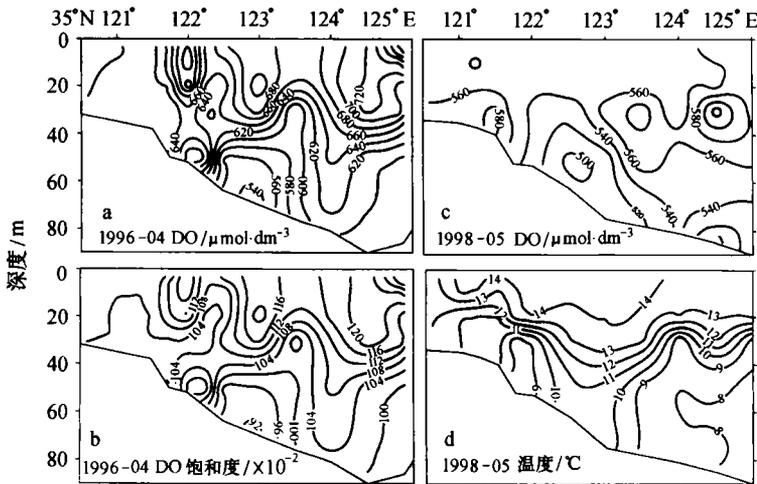


图2 南黄海春季断面C溶解氧、溶解氧饱和度及水温的断面分布

有机物的分解耗氧而使溶解氧含量降低. 从溶解氧饱和度的断面分布(见图 2b)中亦可看出, 光合作用对真光层的增氧效应是极其显著的(溶解氧饱和度最高达  $136 \times 10^{-2}$ ). 4 月份溶解氧的层化现象, 为 5 月份温跃层形成后中层氧最大值的形成奠定了基础.

在南黄海南部(断面 E、F), 溶解氧垂直分布均匀(图略), 且氧含量自东向西递增, 水温则自东向西递减, 这说明该海域溶解氧含量主要受水温控制.

5 月份, 由于上层水体急剧增温, 溶解氧含量锐减, 因此, 溶解氧的层化现象不如 4 月份那样明显. 然而, 5 月份温跃层已经形成(见图 2d), 在深水区的温跃层中产生了溶解氧垂直分布最大值层(见图 2c), 同时, 该层中亦出现叶绿素 a 最大值层(本航次资料). 显然, 溶解氧垂直分布中的最大值现象是与温跃层和叶绿素 a 最大值层相伴生的.

此外, 由图 2 还可以看出, 溶解氧、溶解氧饱和度及水温的等值线, 在某些海域有明显的上凸趋势, 因此, 推断这些海域有底层冷水涌升现象.

### 3.1.3 夏季

夏季(7 月)溶解氧垂直分布中的一个突出现象是在温跃层中出现氧最大值层, 其地理分布范围及强度均较 5 月份大(图 3). 下面将分别讨论氧最大值的地理分布、深度、强度及其与温跃层和生物活动的关系.

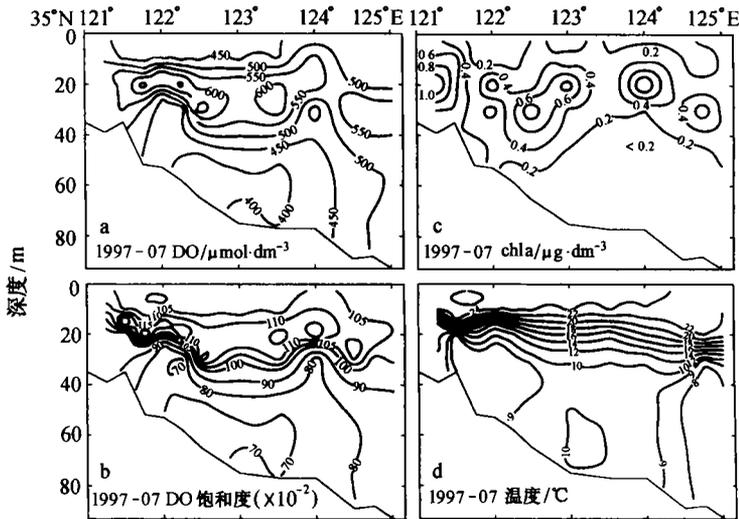


图 3 南黄海夏季断面 C 溶解氧、溶解氧饱和度、叶绿素 a 及水温的断面分布

(1) 地理分布: 根据对本航次及 1995 年 6~7 月韩国在南黄海东部近岸海域调查资料的分析表明, 夏季在南黄海氧最大值较明显的海域是 50 m 等深线以深海域, 而不是文献[1, 2]中所说的“在底层冷水  $12^\circ\text{C}$  等温线范围内”. 此结果与刁焕祥等<sup>[3]</sup>的研究结果基本一致.

(2) 氧最大值强度: 最大值处溶解氧含量在  $550 \sim 681 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  之间, 与表层之差值在  $53 \sim 248 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  之间, 平均值为  $145 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ . 最大值处氧含量, 在绝大多数站位低于 4 月份之值; 与 2 月份相比, 一些站位的值较 2 月份高, 一些站位的值与之持平, 而另一些站位较 2 月份低.

(3) 氧最大值所在深度及其与温跃层的关系: 对存有明显氧最大值站位的统计结果表明

(见图4),氧最大值层一般在10~40 m,最大值一般出现在15~30 m,绝大多数站位氧最大值位于温跃层中,并且大多数站位的氧最大值深度与温跃层下界接近.同时,出现氧最大值的站位还同时具备两个条件:一是温跃层厚度大于10 m,二是温跃层强度大于 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ .这说明氧最大值的存在,既需要有较低的水温,又需要该处的水体有较强的垂直稳定性.若温跃层强度太小或温跃层厚度太薄,则温跃层中的水体不够稳定,不足以维持氧最大值的存在.

#### (4) 氧最大值与生物活动的关系:如前

文所述,在4月份浮游植物春花期,强烈的光合作用使真光层中积累了高浓度的氧.当温跃层形成以后(5~10月),温跃层以上水体由于增温而使氧含量锐减;温跃层以下,由于有机物分解而不断耗氧,亦使氧含量大大降低;温跃层中由于水温较低,因而仍保持了4月份以来较高的溶解氧含量,同时,5和7月南黄海有次表层叶绿素最大值现象(SCM).以断面C为例(见图3c),在10~40 m层有叶绿素a最大值,其与氧最大值的深度基本一致.由于该层中光合作用产生了大量氧,不仅补偿了有机物分解被消耗的氧,而且还可能有剩余,这就促进了中层氧最大值的形成.中层极高的溶解氧饱和度( $110\times 10^{-2}\sim 132\times 10^{-2}$ )是上述观点的有力佐证.文献[1,2]认为氧最大值产生在生物及生化作用较弱的海域,显然,与本文的调查结果不符.

#### 3.1.4 秋季

10和11月溶解氧的断面分布(图5)有以下特征:(1)所有断面溶解氧含量均为上层高、下层低.其原因有二:一是秋季上层水体的水温随着气温的降低而降低,上层水体吸收大气中的氧气而使溶解氧含量较夏季增大;二是10和11月温跃层仍未消失,由于自春季以来温跃层以下水体中有机物分解不断耗氧,使溶解氧含量较夏季继续减少.(2)10月黄海冷水域仍有中层氧最大值现象,但其出现的频度、范围及强度均较夏季时小得多,显然,此乃夏季氧最大值残留的结果.11月,由于温跃层深度变深,上均匀层厚度加大,原来的氧最大值层被海水的垂直混合作用(主要是对流作用)所破坏,因而中层氧最大值现象消失.(3)10月份在南黄海中部黄海冷水团边缘(以底层冷水 $10\sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线为中心),溶解氧等值线呈上凸趋势,溶解氧饱

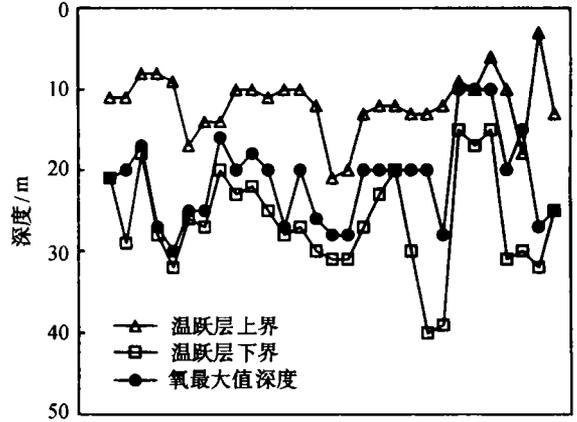


图4 溶解氧最大值深度与温跃层的关系

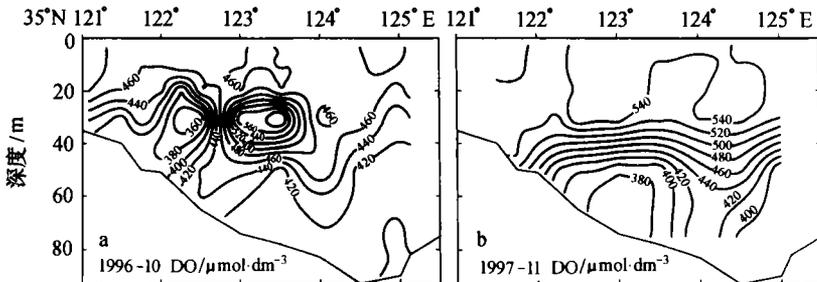


图5 南黄海秋季断面C溶解氧的断面分布

度和pH、水温及盐度等要素亦有相似的特征,因而认为在黄海冷水团边缘可能有底层冷水涌升现象.

### 3.2 垂直分布及季节变化

南黄海溶解氧垂直分布的季节变化十分复杂,不同站位、不同层次的季节变化各不相同,在此不再详述.这里仅对黄海中部某一典型站位溶解氧的垂直分布及其季节变化进行简要说明.

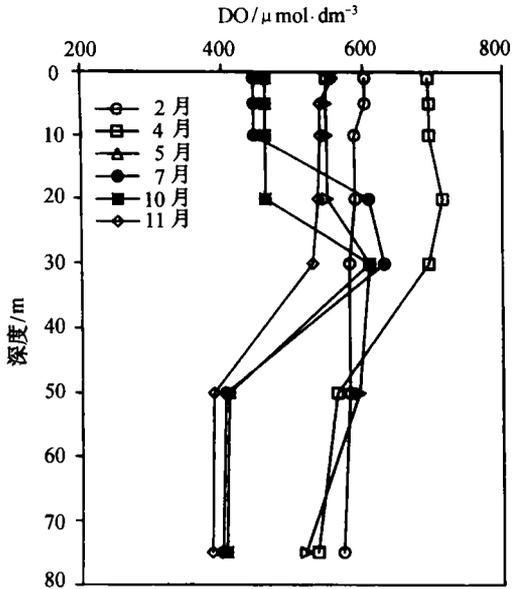


图6 南黄海C<sub>8</sub>站溶解氧的垂直分布及季节变化

图6为南黄海中央C<sub>8</sub>站溶解氧垂直分布及季节变化图,可以看出,4月份溶解氧垂直分布呈现明显的层化现象,即上层高、下层低;5月份,在中层(20~40 m)氧最大值层开始出现,氧最大值出现在30 m处,最大值处氧含量为609 μmol/dm<sup>3</sup>,此值较4月份的(694 μmol/dm<sup>3</sup>)低而比2月份的(580 μmol/dm<sup>3</sup>)高,与表层差值为60 μmol/dm<sup>3</sup>;7月份,氧最大值层出现在10~40 m,氧最大值仍出现在30 m处,最大值处氧含量为630 μmol/dm<sup>3</sup>,此值较4月份的低而比5月份的高,与表层差值为185 μmol/dm<sup>3</sup>,氧最大值强度加强;10月份,氧最大值层出现在20~40 m,氧最大值仍出现在30 m处,最大值处氧含量为609 μmol/dm<sup>3</sup>,此值与5月份的持平,与表层差值为148 μmol/dm<sup>3</sup>,氧最大值强度小于7月份的而大于5月份的;11月份,溶解氧的垂直分布与4月份的相似.溶解氧的上述垂直分布规律的成因,

已于3.1节中说明,在此不再赘述.

溶解氧含量的垂直分布的季节变化规律:在上层水体(0~20 m),4月的大于2月的,2月的大于5月的,5月的大于11月的,11月的大于10月的,10月的大于7月的.除4月份由于浮游植物春花期强烈的光合作用产生了大量氧而使4月份氧含量大于2月份外,其他月份溶解氧的变化趋势与水温的变化趋势相反,说明氧含量主要受水温的影响;中层氧最大值处(30 m),4月的大于7月的,7月的大于5月的(5月的等于10月的),5月的大于2月,2月的大于11月的,此季节变化规律进一步说明,溶解氧垂直分布中的最大值并非如文献[1,2]中所说的“主要系由冬季保持而来”,而是该层中自4月份以来强烈的光合作用及良好的温跃层共同作用的结果;下层(>40 m),2月的大于4月的,4月的大于5月的,5月的大于7月、10月的,7月、10月的大于11月的,显然,这是由于有机物的分解而逐渐耗氧所致.

### 参考文献

- 1 顾宏塔. 海水溶解氧夏季垂直分布中的最大值. 海洋与湖沼, 1966, 8(2): 85~91
- 2 顾宏塔. 黄海溶解氧垂直分布中的最大值. 海洋学报, 1980, 2(2): 70~79
- 3 刁焕祥, 沈志良. 黄海冷水团水化学要素的垂直分布特性. 海洋科学集刊, 北京: 科学出版社, 第25集, 1985, 41~51

- 4 刁焕祥,姜传贤,陆家平.南海溶解氧垂直分布最大值.海洋学报,1984,6(6):770~780
- 5 傅永法.东海北部黑潮及其邻近海域溶解氧分布特征的研究.黑潮调查研究论文选(二),北京:海洋出版社,1990,84~91
- 6 王保栋.黄海溶解氧垂直分布最大值的成因.黄渤海海洋,1997,15(3):10~15
- 7 杨嘉东.南海中部海区溶解氧垂直分布最小值.海洋与湖沼,1991,22(4):353~359
- 8 王小羽,朱碧英.东海陆架及黑潮区夏季次表层叶绿素最大值成因探讨.黑潮调查研究论文选(三).北京:海洋出版社,1991,297~304
- 9 蒋国昌,王玉衡,唐仁友.东海溶解氧垂直分布和季节变化.海洋学报,1991,13(3):348~355
- 10 蓝淑芳.南黄海斜断面溶解氧分布特征及其微细结构.海洋科学,1988,(3):1~5
- 11 熊庆成,丁宗信,赵保仁.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,北京:科学出版社,第27集,1986,107~114
- 12 于圣睿,孙秉一.南黄海溶解氧的分布与季节变化.青岛海洋学院学报,1980,10(2):81~90
- 13 王保栋,王桂云,刘峰.南黄海春季海水化学要素的分布特征.海洋环境科学,1998,17(3):47~52

## Features in vertical profiles of dissolved oxygen in the southern Huanghai Sea

Wang Baodong,<sup>1</sup> Wang Guiyun,<sup>1</sup> Chung Chang-Soo,<sup>2</sup> Yang Dong-Beom<sup>2</sup>

1. First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266003

2. Korea Ocean Research & Development Institute, Seoul

**Abstract**—Based on six cruise's data during 1996~1998 under the project of China-Korea Joint Research on the Seawater Circulation Dynamics in the Huanghai Sea, the features in vertical profiles and seasonal variations of dissolved oxygen in the southern Huanghai Sea are discussed systematically. The regional distribution and formation mechanism of dissolved oxygen maximum in vertical distribution in spring and summer and its relation to summer thermocline and organism activity are also discussed.

**Key words** Dissolved oxygen, vertical profile, Huanghai Sea