

# 春末黄东海海域溶解氧分布特征 与水团相互关系探讨\*

李福荣

(青岛海洋大学东方红调查船, 青岛 266003)

**摘要** 采用1987年5—6月中日合作黄东海海域综合调查溶解氧资料,参考有关文献,讨论调查海域溶解氧分布特征及与水团的对应关系。分析结果表明,各水团中溶解氧含量的差异与各水团温盐特性及生物地球化学过程不同有关。通过分析还发现溶解氧对鉴别次表层以深各水团,特别是对东海次表层水及黑潮次表层以深各水团,是一个重要的指标。

**关键词** 溶解氧分布 水团 春末 黄东海海域

海水溶解氧是重要的化学要素之一。它的含量变化与海区水文条件及生物地球化学过程密切相关。它的分布特征又是海水运动的一个标志。关于黄东海海域溶解氧分布特征的研究,国内不少学者进行过报道(顾宏堪,1980;刁焕祥,1986;等)。尤其对夏季黄海冷水团区溶解氧垂直分布最大值的研究更为深入。但是,对于春末黄东海海域溶解氧分布与水团对应关系的研究未见报道。鉴于黄东海海域水系比较复杂,而水团是影响溶解氧分布的一个重要水文因素,李凤岐等(1989)曾用温盐和溶解氧三项指标对黄东海海域春季水团进行综合分析,取得满意结果。所以,作者在前人研究基础上,着重从水团角度对上述问题进行探讨。

## 1 调查区域及方法

调查区如图1所示,包括南黄海北部、中部和南部以及长江口以东,东海北部、中部及其相邻水域。共设7个观测断面,47个观测站。溶解氧取样层次为0,5,10,15,20,25,30,50,75,100,150,200,300,400,500,600,700,800,900,1000 m。溶解氧含量用Winkler法测定<sup>1)</sup>,海水盐度用HD-2型实验

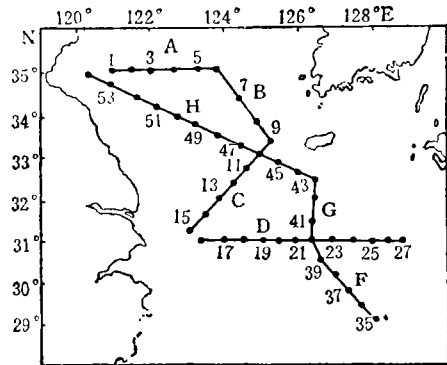


图1 调查区采样站位分布(1987.5)

Fig. 1 Locations of sampling stations in the investigation area (1987. 5)

\* 国家教委中日合作东中国海水团分布机制多学科调查研究课题,4701号。李福荣,男,出生于1939年10月,副教授。

收稿日期:1994年5月16日,接受日期:1995年9月12日。

1) 国家海洋局,1975,海洋调查规范,第三分册,13—17。

室电导盐度仪测定。温度资料由《东方红》调查船水文室提供。

## 2 结果与讨论

**2.1 水团中溶解氧含量与温、盐关系** 春末黄东海海域可划分为 11 个水团,分属于三个水系,即(1)沿岸冲淡水系;(2)混合水系;(3)黑潮水系(李凤歧等,1989),各水团中溶解氧含量、温盐特征值及相关系数列入表 1。

**表 1 各水团溶解氧含量、温、盐特征值及溶解氧含量同温盐的相关系数**

Tab. 1 Content of dissolved oxygen, values of temperature and salinity and correlation coefficients of dissolved oxygen content with temperature and salinity in every water mass

| 水团名称及代号       | 氧含量 (ml/L) |      | 温 度(°C)   |       | 相关系数   | 盐 度         |       | 相关系数   |
|---------------|------------|------|-----------|-------|--------|-------------|-------|--------|
|               | 范围         | 均值   | 范围        | 均值    |        | 范围          | 均值    |        |
| 沿岸冲淡水 (D)     | 6.58—7.58  | 7.12 | 17.0—18.5 | 17.77 | -0.059 | <31         |       | -0.645 |
| 黄海表层水 (Y)     | 6.42—7.66  | 6.94 | 13.7—18.0 | 15.44 | -0.892 | 31.05—33.00 | 32.14 | 0.130  |
| 黄海冷水团 (YC)    | 5.98—8.16  | 7.27 | 6.5—13.6  | 10.85 | -0.124 | 31.25—33.85 | 32.84 | -0.370 |
| 黄东海混合水 (YE)   | 6.01—6.53  | 6.46 | 17.3—22.5 | 19.43 | -0.933 | 32.00—33.30 | 32.85 | -0.548 |
| 东海表层水 (E)     | 5.82—6.42  | 5.94 | 17.5—23.2 | 20.63 | -0.987 | 33.40—34.40 | 34.08 | -0.193 |
| 东海次表层水 (EU)   | 5.44—6.23  | 6.09 | 13.1—16.5 | 14.53 | -0.069 | 33.25—33.85 | 33.78 | -0.253 |
| 黑潮表层水 (KS)    | 5.31—5.73  | 5.37 | 22.7—28.0 | 25.35 | -0.723 | 34.42—34.80 | 34.66 | -0.904 |
| 黑潮次表层水 (KU)   | 4.53—5.97  | 5.30 | 16.3—22.7 | 19.65 | 0.138  | 34.45—34.95 | 34.72 | -0.340 |
| 黑潮次中层混合水 (KM) | 4.24—4.83  | 4.63 | 11.6—15.8 | 13.95 | 0.738  | 34.37—34.69 | 34.54 | 0.827  |
| 黑潮中层水 (KI)    | 3.22—4.23  | 3.79 | 7.4—10.5  | 9.51  | 0.863  | 34.24—34.43 | 34.36 | 0.450  |
| 黑潮深层水 (KD)    | 2.21—3.12  | 2.69 | <7.0      |       | 0.995  | 34.30—34.43 | 34.37 | 0.869  |

海水中的氧溶解度随大气中氧的分压不同而不同,但决定因素是海水温度和盐度。调查区各水团由于所处地理环境和水文条件不同,水团本身具有不同的温度和盐度及不同的生物化学过程,因而各水团溶解氧含量有很大的差异。从表 1 看出,以低温(10.85°C)为特征的黄海冷水团的溶解氧含量是诸水团中最高的(7.72 ml/L),以低盐(<31)为特征的沿岸冲淡水次之,以高温(>25°C)、高盐(>34)为特征的黑潮表层水最低(5.37 ml/L),但它在黑潮诸水团中又是最高者。黄东海混合水系溶解氧含量低于黄海冷水团和沿岸冲淡水,而高于黑潮水系,介于中间。因它们的温盐也介于中间。盐度对溶解氧含量变化的影响在沿岸冲淡水区比较显著。该区溶解氧含量同盐度呈负相关(表 1)。外海,温度对溶解氧含量的影响占主导地位。如黄海表层水、黄东海混合水、东海表层水和黑潮表层水溶解氧含量同温度均呈负相关。这些水团的溶解氧含量随水团温度盐度增加而依次降低(见表 1)。

表层以下深层水团溶解氧含量一般低于表层水团。如黑潮表层水以下各水团,尽管水温随深度增加逐渐降低,而溶解氧含量却一直下降,这是因为深层有机质氧化分解耗氧(溶解氧含量同温盐呈正相关(表 1)),而海水不能及时供氧,导致黑潮深层水团溶解氧含量最低(2.69 ml/L),但也有反常情况,如东海次表层水团溶解氧含量(6.09 ml/L)高于东海表层水团(5.94 ml/L),这是因为东海次表层水团的水温(14.53°C)、盐度(33.78)均低于东海表层水团的温度和盐度(20.63°C,34.08)。

2.2 溶解氧最大值与冷暖水关系 春末在南黄海和东海受黄海冷水及东海北部底层冷水和黑潮次中层爬升水影响水域,溶解氧在垂直分布上存在明显最大值(图 2 a)。该季

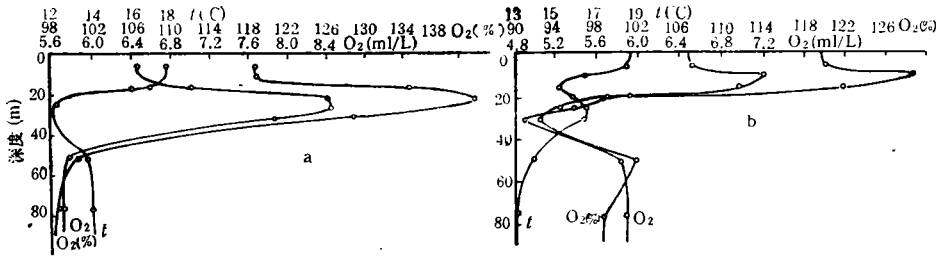


图 2 45 站、23 站 O<sub>2</sub>(ml/L)、O<sub>2</sub>(%) 及 t(°C) 垂直分布(1987)

Fig. 2 Vertical distribution of O<sub>2</sub> (ml/L), O<sub>2</sub>(%) and t(°C) at stations 45, 23 (1987)

节海表层增温,由于升温形成明显的温跃层,温跃层以上,因升温溶解氧含量下降,跃层以下,由于浮游生物及底栖生物呼吸有机质同化分解耗氧而使溶解氧含量下降,中层跃层下界附近仍保持冬季以来低温特性(大约6—14°C),加上跃层下余流流速小,水体相对稳定,为溶解氧含量最大值形成提供了决定性条件,其中温度又起决定性作用。从分析得知,

春末黄东海海域溶解氧含量最大值分布相当普遍。在总数 47 个观测站中,出现最大值的站点就有 34 个,约占 72%。这些站点主要分布在南黄海受黄海冷水团及东海受北部底层冷水及黑潮次中层爬升水影响区域。其中南黄海的最高,范围为 8.00—8.60 ml/L;东海北部较低为 7.2—8.0 ml/L;东南部最低,为 5.6 ml/L 以下。从图 3 看出,南黄海 8.00 ml/L 溶解氧含量等值线由西北向东南扩展,外围的 7.6 ml/L 等值线向南伸展到 31° N 附近。溶解氧含量最大值扩展范围与上述冷水边界线、扩展线相吻合,与上述冷水边界线的相应温度(黄海冷水为 14°C,东海北部冷水为 15°C,黑潮次中层爬升水为 17°C)也相吻合。凡是有冷水存在的地方,

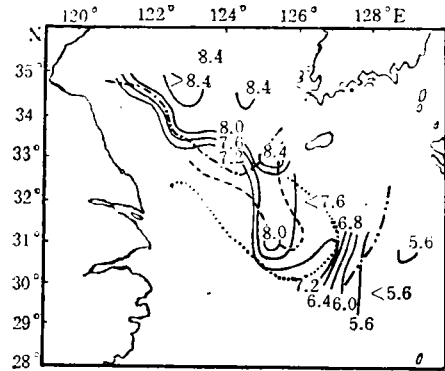


图 3 溶解氧含量最大值 (ml/L) 水平分布

Fig. 3 Horizontal distribution of oxygen content maximum value (ml/L)

——溶解氧含量最大值; - - - 黄海冷水团边界线; - · - · - 北部冷水边界线; ····· 冷水扩展线; - ··· - 黑潮次中层混合水爬升线。

均有明显的最大值出现,溶解氧含量最大值与冷水同存。春末,在冷水边缘及受暖流入侵的区域,如南黄海北部(3站)、济州岛南部(42,43站)、东海中部(23,38,39站)及东南部深水区(35,36站)均发现有强度不一的溶解氧双峰结构。熊庆成等(1986)也指出黄海冷水团区及东海黑潮区有溶解氧双峰结构出现的现象。这些测站,大多位于冷水边缘及受暖流入侵区域。对照温度资料看出,凡是出现溶解氧双峰结构的测站,均存在逆温现象的双温跃层,双温跃层范围大都位于黄海冷水边界及东海北部冷水边界及黑潮次中层爬升水区域(李凤岐,1989)。因这些区域有冷水从中层流出,同时底层又有温度较高的暖水流

出,这样冷暖水的相互入侵就容易产生逆温现象的双温跃层,致使溶解氧在垂直分布上出现两个极大值(图 2 b)。所以冷暖水相互入侵是形成溶解氧双峰结构的原因。

### 2.3 溶解氧含量分布与水团的对应关系

#### 2.3.1 平面分布 表层溶解氧含量分布可分为氧高值区、低值区和最低值区(图 4 a)。

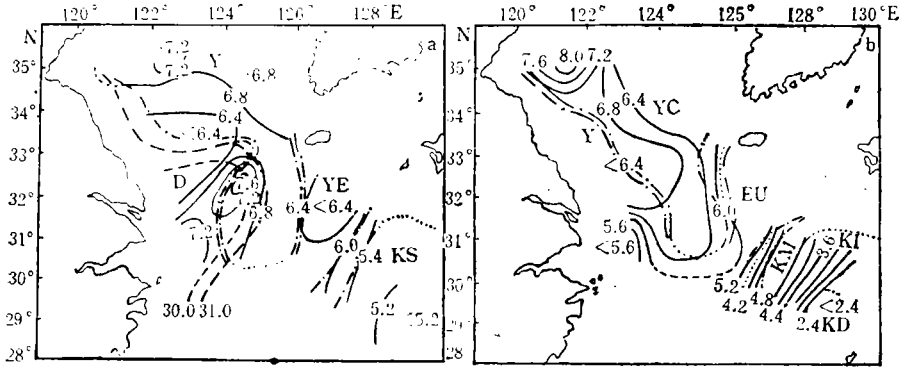


图 4 表层 (a)、底层 (b) 溶解氧含量及水团平面分布

Fig. 5 Horizontal distributions of dissolved oxygen content and water masses at the surface (a) and bottom layer (b)

——溶解氧含量等值线; ----盐度等值线; -·-·-水团边界线。

高值区主要分布在沿岸冲淡水影响区及西北部黄海冷水影响区。在冲淡水影响区,存在类似于低盐水舌分布的溶解氧含量舌状分布,自长江口指向济州岛方向。在舌状范围内出现溶解氧含量高达 7.66 ml/L (12 站 0 m 层)的高值区。在连云港以东 1—2 站及 52—53 站同样存在一小范围的高值区 (7.00 ml/L)。上述两区均是浮游生物密集区,叶绿素- $\alpha$  分别为 10 mg/m<sup>3</sup> 和 2.2 mg/m<sup>3</sup> (柴心玉等,1991)。溶解氧含量等值线与冲淡水团边界线及盐度分布相吻合。表明溶解氧含量直接受冲淡水控制。126° E 以西 31° N 以北广大外海水域表层为黄海表层水团控制区。溶解氧含量变化幅度不大 (6.80 ml/L 左右),分布相当均匀。由于黄海暖流影响,6.80 ml/L 氧等值线呈东南西北向分布。该等值线将海区分为北部含量大于 6.80 ml/L,南部小于 6.80 ml/L 两部分。126° E 以东溶解氧含量低于黄海表层水团,为黄东海表层水区。其含量为 6.4 ml/L。6.4 ml/L 氧等值线与黄海表层水团及黄东海表层水团相交汇的水团边界线相吻合,低氧水扩展方向与黄东海表层水团扩展方向相一致。该水团东南部依次为东海表层水和黑潮表层水,由于两水团温度和盐度由北向南逐渐递增,所以溶解氧含量也逐渐递减。

底层溶解氧含量的分布特征是西北部因受黄海冷水影响仍保持类似于表层的高氧特征,含量最高达 8.05 ml/L (2 站 40 m 层)。在靠近大陆一侧的黄海表层水团,同表层一样溶解氧含量分布均匀。外侧黄海冷水扩展方向与 6.80 ml/L 和 6.40 ml/L 两条氧等值线走向相一致。济州岛以南到东海东南部深水区底层,依次为东海次表层水团,黑潮次中层混合水团、黑潮中层水团及黑潮深层水团,这些水团溶解氧含量均低于其它水团,并且由北部的 6.00 ml/L 向东南一直降低到 2.40 ml/L 以下,其等值线分布与水团边界线也相吻合。东南部底层由于存在两条锋带(赵保仁,1989),所以,溶解氧含量等值线也存在两块密集区(图 4 b)。

2.3.2 断面分布 现选择有代表性的 H,D,F 断面溶解氧含量和水团分布图(图 5)进行讨论。

H 断面(图 5 a)西部, 0—5 m 层, 有一块溶解氧含量较高区 (6.80 ml/L 左右), 对应为苏北沿岸流影响区。断面东部 0—10 m 层, 有块含量较低值区 (<6.40 ml/L), 对应为黄海表层水团。其余表层主要为黄海表层水团, 溶解氧含量分布均一, 对应温度为 16—17℃。

51—43 站 10—30 m 中层, 与温盐跃层对应为氧跃层区, 氧等值线密集, 呈波浪状分布。该区处于黄海表层水团、冲淡水、黄海冷水团及黄东海表层水团与东海次表层水团交汇处。在黄海冷水及东海北部底层冷水的上界存在封闭形高氧区 (溶

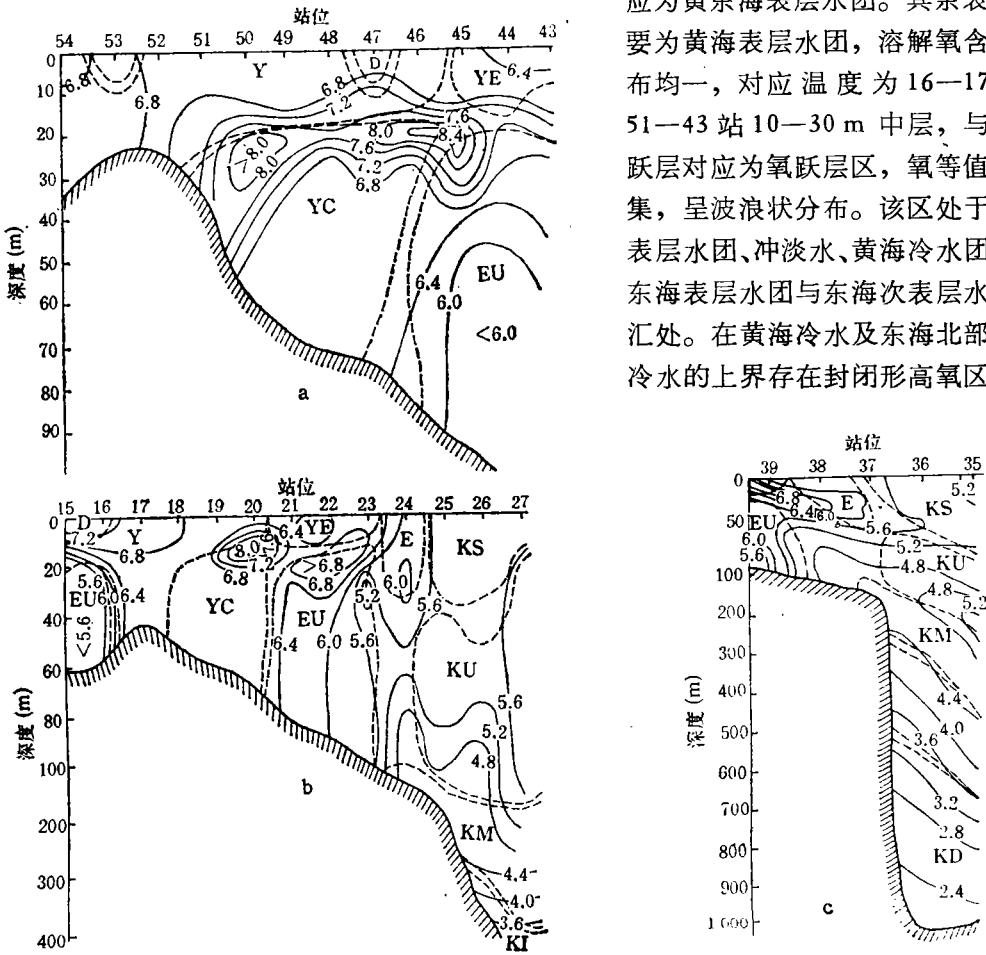


图 5 溶解氧含量与水团断面分布

Fig. 5 Distributions of dissolved oxygen content and water mass along section a. H 断面; b. D 断面; c. F 断面。 ——溶解氧含量等值线; ---水团边界线。

解氧含量大于 8.00 ml/L)。在温跃层下界附近, 存在溶解氧垂直分布最大值 (顾宏堪, 1980; 刁焕祥, 1986)。由于下层冷水上升(赵保仁, 1989), 使冷水上界氧等值线出现明显上抬现象。整个断面下层水体溶解氧含量可分为三个亚区, 分属三个水团。它们是: (1) 西部氧高值亚区 (6.66—7.00 ml/L), 属黄海表层水团; (2) 中部氧高值亚区 (6.47—6.78 ml/L), 属黄海冷水团; (3) 东部氧低值亚区 (<6.00 ml/L), 属东海次表层水团。

D 断面 (图 5 b)西部, 15—16 站 0—10 m 层, 有一块溶解氧含量较高区 (6.80—7.20), 为长江径流影响区。20 m 至底层有一块溶解氧含量低值区 (<5.6 ml/L), 为东

海次表层水区。16—20 站表层同 H 断面一样,溶解氧含量分布均匀(6.80 ml/L 左右),为黄海表层水团区。该水团下层为黄海冷水团控制区。由于水体比较稳定,溶解氧含量变化不大(6.7—6.8 ml/L)。在 19—20 站 10—20 m 层存在溶解氧含量高达 8.18 ml/L 高值区,这可能与北部黄海冷水向南入侵有关。断面中部(21—24 站),水系比较复杂。黄东海表层水团、东海次表层水团、东海表层水团、东海北部底层冷水及黑潮表层水团在该区交汇,溶解氧断面分布比西部复杂。正如前面提到那样,由于该区有冷暖水相互入侵,多出现逆温现象的双温跃层(熊庆成等,1986;李福荣,1993),溶解氧在垂直分布上存在明显的双峰结构(即存在两个氧极大值)(熊庆成等,1989)。从图 5 b 还可以看出,溶解氧含量为 6.4 ml/L 和 5.6 ml/L 两条氧等值线与东海次表层水团边界线相对应。该水团溶解氧含量(5.87—6.36 ml/L)低于黄东海混合水。该水团以东为高温高盐的黑潮表层水团,溶解氧含量低(5.32—5.44 ml/L)。下层水体可分为三个区,属三个水团,即:(1)西部氧低值亚区(<5.6ml/L),属东海次表层水团;(2)中部氧高值亚区(6.66—6.70ml/L),属黄海冷水团;(3)东部氧低值区(5.28—5.39 ml/L),属东海次表层水团及黑潮次表层水团。断面东部 200 m 至底层,依次分别为黑潮次中层混合水团(溶解氧含量为 4.00—4.80 ml/L)和黑潮中层水团(溶解氧含量为 4.00 ml/L 以下)。氧等值线与水团边界线较好对应,并且有明显的沿坡涌升现象。

F 断面(图 5 c),位于调查区东南部溶解氧含量分布特征是断面西北部(37—39 站),水深在 100 m 之内,上层出现氧跃层,氧等值线密集,高氧舌状自西北向东南方向伸展。氧跃层区位于东海表层水团和东海次表层水团边界区。50 m 以下至底层有一块氧低值区(<5.60 ml/L)。该区为东海次表层水团区。水团的东南部,由于黑潮次表层水团影响,5.20 ml/L 氧等值线呈舌状向西北爬升到 50 m 以上。35—36 站为近 1 000 m 的深海区,该区从表层至底层完全为黑潮水系控制。该水系各水团溶解氧含量随深度增加逐渐下降。底层黑潮深层水团成为溶解氧含量最低的水团(2.69 ml/L)。黑潮水系各水团溶解氧含量分布趋势与水团边界线良好对应。黑潮次表层水团以下具有明显的沿坡涌升现象,这与 D 断面东部深水区的的情况是相同的。

### 3 结语

**3.1** 春末本区黄海冷水团溶解氧含量最高、冲淡水次之,黑潮水系最低,混合水系居中。基本呈近岸水团溶解氧含量高于远海,上层水团高于下层的发展趋势。表层以深各水团,特别是东海次表层水团及黑潮次表层以深各水团,氧等值线与水团边界线良好吻合。表明溶解氧含量分布变化不仅与水团分布、温盐特性及生物地球化学过程等多种因素有关,而且是鉴别次表层以深各水团的一个重要指标。

**3.2** 在水团边界区,中层氧跃层明显。在冷水的上界出现明显的氧垂直分布最大值。氧最大值与冷水共存且直接受冷水控制。

**3.3** 在冷水团边界区,冷暖水相互入侵导致溶解氧在垂直分布上出现双峰结构。深层,溶解氧含量低且有沿坡涌升现象。

### 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, 10(10): 20—28.

- 李福荣, 1993, 春末黄东海域溶解氧垂直结构及氧最大值初步分析, 青岛海洋大学学报, 23(2): 70—71。  
李风岐等, 1989, 黄东海域春季水团的划分、判别与分析, 青岛海洋大学学报, 19(1): 23—27。  
赵保仁, 1989, 南黄海西部的陆架锋与冷水团锋区环流结构的初步研究, 海洋与湖沼, 18(3): 218—220。  
柴心玉等, 1991, 长江口及济州岛邻近海域叶绿素- $\alpha$  分布与水团跃层的相关性, 青岛海洋大学学报, 21(2): 70—71。  
顾宏堪, 1980, 黄海溶解氧垂直分布最大值, 海洋学报, 2(2): 70—80。  
顾宏堪等, 1991, 渤黄东海海洋化学, 科学出版社(北京), 267—282。  
熊庆成等, 1986, 秋末南黄海冷水团溶解氧垂直结构及其最大值的研究, 海洋科学集刊, 27: 108—113。

## STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN DISSOLVED OXYGEN DISTRIBUTION AND WATER MASSES IN THE YELLOW SEA AND EAST CHINA SEA IN LATE SPRING

Li Furong

(*Dongfanghong Research Vessel, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003*)

### ABSTRACT

Analysis of dissolved oxygen data obtained the China-Japan Joint Survey in the Yellow Sea and East China Sea from May to June 1987, and other data to derive the relationship between the dissolved oxygen distribution and water masses there showed that the dissolved oxygen content differences in different water masses is due to the differences of temperature, salinity, and biogeochemical processes in different water masses. The dissolved oxygen distribution is an indicator of, and controlled by, water object movement, is a usable index to differentiate water masses that lie in under the subsurface water masses, especially those that lie in under the East China Sea Subsurface Water Mass and the Kuroshion Subsurface Water Mass.

**Key words** Distribution dissolved oxygen Water mass Late spring  
Sea area of Yellow Sea and East China Sea