



## 天津近岸海水溶解氧分布特征

董景岗, 王海霞, 李 伟

(天津市海洋资源与化学重点实验室, 天津科技大学海洋科学与工程学院, 天津 300457)

**摘要:** 根据2006年12月至2007年10月对天津近岸(38°37′03.8″N~39°12′13.9″N, 117°33′14.8″E~118°02′50.1″E)海水的现场调查, 初步分析该海域溶解氧的时空变化特征及主要影响因素。结果显示: 调查海域溶解氧含量在3.93~11.34 mg/L之间, 平均值为(8.00±1.99) mg/L, 表层高于底层, 且存在冬季>春季>秋季>夏季的变化规律; 浅水区水体溶解氧含量变化幅度大, 而深水区相对稳定, 近岸浅水区水环境的影响因素复杂且具有多变性; 该海区溶解氧含量主要受温度的影响, 且和温度、pH均存在显著的线性相关性。

**关键词:** 天津近岸; 海水; 溶解氧; 分布特征

中图分类号: P734.4<sup>+</sup>5

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2009)03-0026-05

## Distribution Feature of Dissolved Oxygen in Tianjin Offshore Seawater

DONG Jing-gang, WANG Hai-xia, LI Wei

(Tianjin Key Laboratory of Marine Resources and Chemistry, College of Marine Science and Engineering,  
Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** Several cruises were carried out from December 2006 to October 2007 in Tianjin offshore, covering an area from 38°37′03.8″N to 39°12′13.9″N and 117°33′14.8″E to 118°02′50.1″E, with the purpose of making primary study on the spatio-temporal distributions and the main influence factors of the dissolved oxygen (DO). The inquisitional data showed that DO concentration varied from 3.93 mg/L to 11.34 mg/L, the mean being (8.00 ± 1.99) mg/L. The vertical distribution of DO was in a decreasing trend from the surface to bottom layer, and it in a increasing trend in four seasons winter>spring>autumn>summer. DO concentration had a big change in the shallow water, while it is comparatively steady in the deep water. In the shallow water of offshore, the environment took levities and had many complex influence factors. The DO concentration in the study area, significantly influenced by the temperature, had an apparent linear relationship with temperature and pH.

**Keywords:** Tianjin offshore; seawater; dissolved oxygen; distribution feature

2006年初, 国务院将天津滨海新区纳入国家总体发展战略, 为天津沿海地区经济和社会的发展提供了难得的历史机遇。全面了解天津近岸海水目前的环境状况是实现滨海新区海洋环境与资源可持续利用的重要前提。因此, 天津近岸海域海洋化学调查也将为天津滨海新区海洋经济发展、海域使用、海洋环境保护等提供重要的基础数据。

海水中溶解氧(DO)作为重要的生源要素参数和海水环境指标, 其分布、变化与温度、盐度、生物活动

和环流运动等关系密切, 对了解海区的生态环境状况具有重要意义<sup>[1]</sup>。对于近岸浅海域而言, 海水溶解氧的分布和变化主要受水温控制; 浅海水体水温季节变化明显, 溶解氧时空变化规律显著<sup>[2]</sup>。天津海域海洋化学调查进行过多次, 但在时间上缺乏连续性, 且空间覆盖范围也较小, 大都是针对某个具体海洋工程的。本文在四个季节溶解氧实际调查数据的基础上, 探讨了天津近岸海水溶解氧的时空变化规律及其影响因素, 溶解氧饱和度以及表观耗氧量和营养盐的相

收稿日期: 2008-10-16; 修回日期: 2009-03-09

基金项目: 天津市908专项近岸海域海洋化学调查(908-TJ-09)

作者简介: 董景岗(1960—), 男, 天津人, 副教授, dongjinggang@tust.edu.cn.

关关系.

### 1 样品采集与测定

2006年12月、2007年4月、8月、10月期间,分四个航次对天津近岸10m等深线以浅海区(南至38°37'03.8"N,北至39°12'13.9"N,西至117°33'14.8"E,东至118°02'50.1"E)15个站位(见表1)进行了取样调查. 站位分别沿0m、2m、5m、10m等深线布设,0m和2m等深线站位逢高潮水位进行水样采集. 取样时使用QCC10-B型球阀采水器,分别采集表层和底层样品(1~4号站位只采集表层样品),并现场测定温度、pH和站位水深. 水样经现场固定后,带回实验室参照GB 17378.4—1998《海洋监测规范第4部分:海水分析》用碘量法测定溶解氧含量.

表1 调查站位坐标

Tab.1 Coordinates of sampling stations

站位	纬度	经度
1	39°09'57.0"N	118°02'20.0"E
2	39°05'00.0"N	117°48'20.0"E
3	38°42'30.0"N	117°37'10.0"E
4	38°37'10.0"N	117°38'45.0"E
5	38°52'51.6"N	117°43'12.0"E
6	39°07'30.0"N	117°57'00.0"E
7	38°48'25.2"N	117°42'00.0"E
8	38°37'04.0"N	117°44'22.0"E
9	38°55'51.6"N	117°53'24.0"E
10	38°51'00.0"N	117°48'54.0"E
11	38°42'30.0"N	117°46'00.0"E
12	39°01'00.0"N	118°02'52.0"E
13	38°52'55.2"N	117°59'38.4"E
14	38°48'25.2"N	117°57'50.4"E
15	38°37'04.0"N	117°57'00.0"E

### 2 结果与讨论

#### 2.1 天津近岸海水的溶解氧含量

调查结果如表2所示:天津近岸海水溶解氧含量在3.93~11.34 mg/L之间,除8月份外,天津近岸海水溶解氧含量均在6 mg/L以上,符合国家一类海水标准. 8月份溶解氧含量绝大部分介于二类和三类海水标准之间,少数海水为四类海水.

#### 2.2 天津近岸海水溶解氧季节变化

海水中溶解氧含量随季节的变化如图1、图2所示. 不论是表层还是底层,天津近岸海水溶解氧含量都存在冬季>春季>秋季>夏季的规律,这与水温、各季节海洋生物活动等变化规律相对应.

表2 天津近岸海水的溶解氧含量

Tab.2 Concentration of dissolved oxygen in tianjin offshore seawater

层次		溶解氧/(mg·L <sup>-1</sup> )			
		冬季	春季	夏季	秋季
表层	平均	10.06	9.08	4.83	7.90
	最大	11.34	9.74	5.59	8.52
	最小	9.50	8.26	4.11	7.42
底层	平均	9.89	9.24	4.70	7.74
	最大	10.24	9.71	5.59	7.98
	最小	9.42	8.91	3.93	7.39

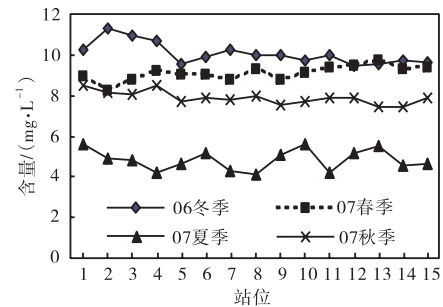


图1 表层溶解氧含量季节变化

Fig.1 Variation of DO in surface layer with season

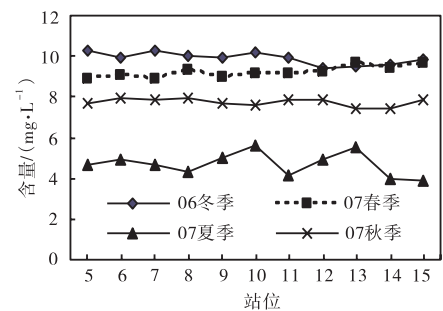


图2 底层溶解氧含量季节变化

Fig.2 Variation of DO in bottom layer with season

冬季,风力较大,海空交换作用剧烈,大气中氧气大量溶入海水,加上温度的大幅度降低,氧气在海水中溶解度增加,海空交换进入的氧气大部分被冷却的海水所吸收,海水中溶解氧达到全年的最大值,表层平均约10.06 mg/L,底层平均约9.89 mg/L. 春季,虽然由于浮游植物光合作用产生的大量氧气溶入海水,但随着海水温度的不断上升,溶解氧溶解度下降,光合作用产生的一部分溶解氧从海水中转移到大气中,使得表层溶解氧含量在9.08 mg/L左右,底层9.24 mg/L左右. 夏季,渤海湾水温比春季高12~13℃,可达28℃以上,高温下氧气在海水中的溶解度大大降低,溶解氧向大气转移,表层溶解氧降到4.83 mg/L左右,底层4.70 mg/L左右. 8月份渤海浮游植物细胞总量为下半年高峰,植物光合作用不断产生氧气,从理论上讲溶解氧含量不至于下降到最低,显然夏季溶解

氧含量低主要是受到了该季节水温高,氧的饱和度下降的影响<sup>[3]</sup>(本次夏季调查氧的饱和度平均值仅约为76%)。秋季,海水开始降温,溶解度增大,大气中的氧气大量溶入海水中,且溶解氧向大气逸出的速率减慢,或不再向大气逸出,表层溶解氧逐渐回升,10月表层为7.90 mg/L左右,底层为7.74 mg/L左右。

### 2.3 天津近岸海水溶解氧空间分布特征

#### 2.3.1 天津近岸海水溶解氧水平分布特征

天津近岸海水溶解氧的水平分布情况如图3所示。不同季节分布特点不尽相同,其中冬季呈现出近岸高远岸低的分布,春季和夏季呈现出近岸低远岸高的分布,秋季呈现出近岸低远岸高的分布。

的分布,秋季呈现调查海域南北含量较高中部较低的水平分布。比较冬季和春季的水平分布,可以发现它们似乎是反相分布的:冬季浅水区大于深水区,春季刚好相反;同时,深水区的溶解氧含量变化很小(12至15站位),浅水区含量却在两季间发生了逆转。显然,浅水区水体溶解氧含量变化幅度大,而深水区含量相对稳定。这反映了近岸浅水区水环境的多变性。首先,近岸浅水区水浅、热容较小,致使水体对季节气温变化更为敏感;其次,近岸浅水区更易受陆源污水的影响;另外,近岸浅水区中不同季节的水生生物活动差异也较大。

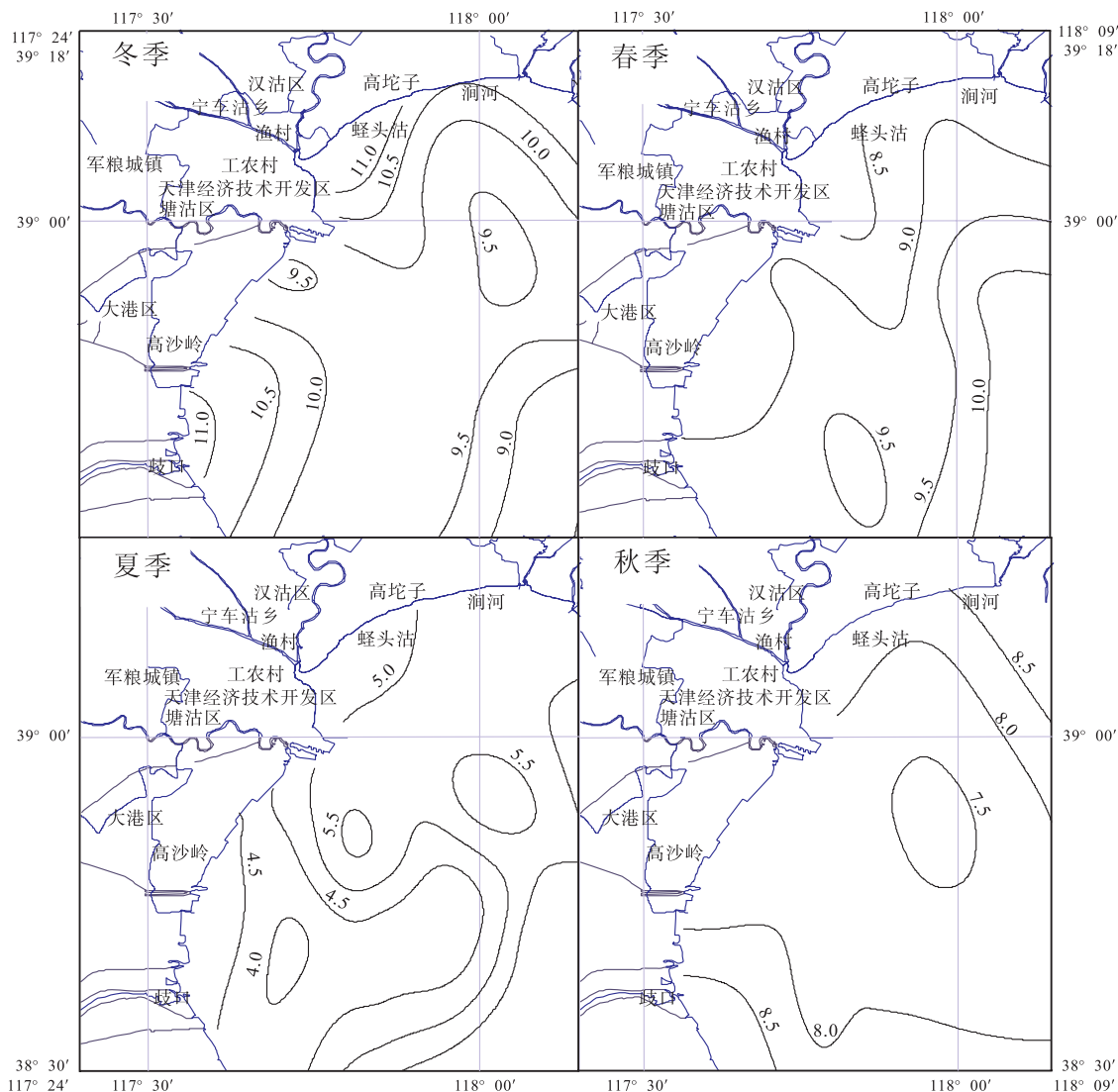


图3 表层海水溶解氧(mg/L)水平分布图

Fig.3 Horizontal distributions of DO in surface layer

#### 2.3.2 天津近岸海水溶解氧垂直分布特征

天津近岸海水溶解氧垂直分布特征如图4所示。海水中悬浮物含量较高,海水透光层薄,随着深度的增加,光合作用逐渐减弱,海洋生物呼吸作用逐

渐加强,所以从各个站位表层和底层溶解氧含量的比较来看,表层溶解氧的含量还是略大于底层的。但春季出现了表层低、底层高的分布。一方面,春季海洋生物开始繁殖,光合作用产生大量氧气溶入海水,此

时底质却缺乏耗氧有机物,造成溶解氧在底层积累较多;另一方面,底层水体中溶解氧相对于表层而言难于逸出,最终导致底层高于表层的结果. 表 2 的平均值显示,各季表层和底层溶解氧的平均含量差值不超过 0.18 mg/L,与浙江沿岸海水表层底层差值 0.4 mg/L<sup>[4]</sup>相比,天津近岸海域溶解氧含量表层底层差别较小. 本次调查海区是 10 m 等深线以浅水域,水体垂直混合和涡动混合可直达海底<sup>[5]</sup>,使得表底层海水充分混合,从而导致含量接近.

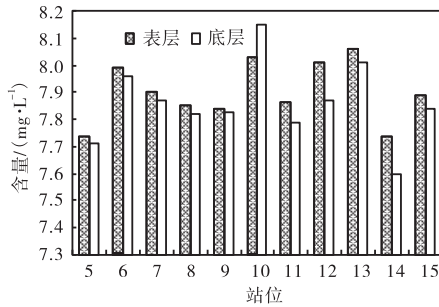


图 4 表底层溶解氧平均含量

Fig.4 Average DO concentration in the surface and the bottom layer

## 2.4 溶解氧影响因素分析

### 2.4.1 溶解氧和温度的关系

天津近岸海水中溶解氧含量与海水温度的关系如图 5 所示,两者呈显著的负相关,也就是说:冬季水温低时,溶解氧含量增大;夏季水温较高,溶解氧含量下降,这与溶解氧的溶解度随温度变化有关. 对实测数据进行回归分析可得:  $DO=11.17-0.224 t$  ( $r=-0.9836, n=102$ ), 相关系数临界值  $r_{0.01}=0.254, |r| > r_{0.01}$ , 溶解氧与水温间线性关系特别显著. 因此,可以认为,海水温度是影响天津近岸海水溶解氧含量的首要因子.

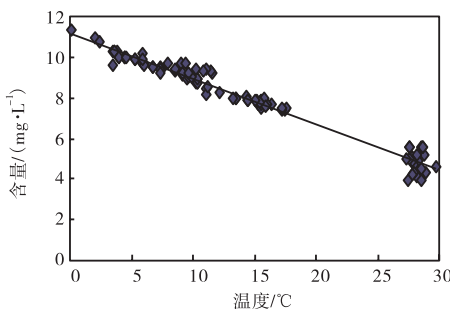


图 5 溶解氧与温度的关系

Fig.5 Relationship between DO concentration and temperature

### 2.4.2 溶解氧和 pH 的关系

天津近岸海水溶解氧与 pH 的关系如图 6 所示,

二者之间呈正相关. 两者之间的关系为:  $DO=-119.38+15.776pH$  ( $r=0.6834, n=102, |r| > r_{0.01}$ ), 溶解氧与 pH 间线性关系非常显著,说明 pH 也是影响天津近岸海水溶解氧含量的重要因子之一. 这种关系主要受控于水体中海洋生物的光合作用. 光合作用可以表达为<sup>[6]</sup>:

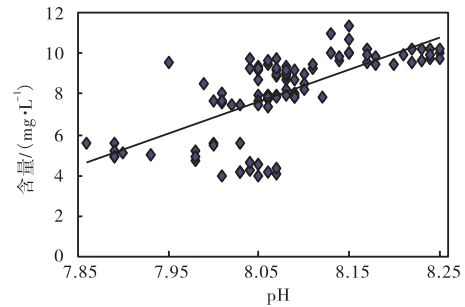
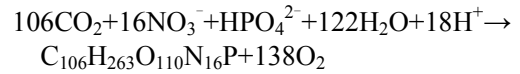


图 6 溶解氧与 pH 的关系

Fig.6 Relationship between DO concentration and pH

光合作用消耗  $CO_2$  和  $H^+$ ,使其在海水中的含量减少,因而 pH 升高;同时,光合作用产生了大量的溶解氧,所以溶解氧含量随 pH 升高而增大.

### 2.5 溶解氧饱和度与表观耗氧量

结合采样温度、盐度数据,应用 Weiss 方程计算溶解氧饱和度 ( $C'_{O_2}$ ) 和表观耗氧量 (AOU), 结果如表 3、表 4 所示.

表 3 天津近岸海水溶解氧饱和度

Tab.3 Values of  $C'_{O_2}$  in Tianjin offshore seawater

层次		$C'_{O_2}$			
		冬季	春季	夏季	秋季
表层	平均	0.975 5	1.005 9	0.770 8	0.965 4
	最大	1.002 0	1.063 8	0.890 7	0.988 4
	最小	0.909 5	0.960 4	0.653 9	0.927 0
底层	平均	0.978 8	1.004 6	0.741 9	0.969 3
	最大	1.024 0	1.058 0	0.881 0	0.984 3
	最小	0.958 2	0.962 0	0.618 3	0.958 0
总平均值		0.976 9	1.005 3	0.759 5	0.966 8

表 4 天津近岸海水表观耗氧量

Tab.4 Values of AOU in Tianjin offshore seawater

层次		AOU/ (mg·L <sup>-1</sup> )			
		冬季	春季	夏季	秋季
表层	平均	0.250	-0.051	1.437	0.286
	最大	0.951	0.341	2.174	0.644
	最小	-0.022	-0.563	0.683	0.094
底层	平均	0.216	-0.044	1.635	0.244
	最大	0.434	0.364	2.424	0.336
	最小	-0.239	-0.532	0.755	0.126
总平均值		0.236	-0.048	1.514	0.271

结果表明,调查海区  $C'_{O_2}$  分布和溶解氧分布有相似的规律,除春季外其他季节均呈现不饱和状态,且饱和度变化幅度较大,夏季尤为突出. AOU 全年平均值为 0.147 mg/L,呈现溶解氧亏损状态. 春季正值水温回升阶段,浮游植物繁殖较快,光合作用产生大量的氧,能够补充消耗的溶解氧,使海水中氧的补给速率超过了消耗速率而呈现富氧状态. 夏季海水温度很高,有机物分解较快,动植物呼吸作用较强,消耗了较多的溶解氧,是造成夏季 AOU 较高、 $C'_{O_2}$  较低的重

要原因<sup>[2]</sup>.

AOU 在秋、冬季节底层小于表层;夏季底层大于表层;春季表底层呈现富氧状态,表层富集得更多. 显然,这种溶解氧消耗的季节差异,与海洋生物活动的季节和水层差异相关.

将 3 个航次(夏季航次未进行营养盐要素调查)的 AOU 分别与活性磷酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、溶解态磷、溶解态氮、活性硅酸盐进行线性回归,线性回归相关系数见表 5.

表 5 AOU 与营养盐因子的线性相关性 (n=74)

Tab.5 Linear relationship between AOU and nutrimental factors (n=74)

项目	活性磷酸盐	硝酸盐	亚硝酸盐	铵盐	溶解态磷	溶解态氮	活性硅酸盐
r	0.255	-0.432	-0.072	-0.376	0.249	-0.467	-0.138

当  $r_{AOU} > 0.229$  时两者线性相关,  $r_{AOU} > 0.298$  时两者显著线性相关. 可见, AOU 与硝酸盐、铵盐、溶解态氮呈显著负相关,与活性磷酸盐、溶解态磷呈正相关.

呈正相关.

参考文献:

3 结 论

(1) 四个航次所得天津近岸海域海水溶解氧含量在 3.93~11.34 mg/L 之间,平均值为 (8.00±1.99) mg/L; 含量的季节变化规律为:冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季; 含量的垂直变化规律为:表层含量高于底层;这主要是由水温、各季节海洋生物数量和生物活动强弱造成的.

(2) 天津近岸海域海水溶解氧与水温之间呈显著负相关,与 pH 呈显著正相关,因此,水温和 pH 都是影响天津近岸海区溶解氧含量变化的重要因子.

(3) 天津近岸海域海水表观耗氧量与硝酸盐、铵盐、溶解态氮呈显著负相关,与活性磷酸盐、溶解态磷

[1] 石晓勇,陆茸,张传松,等. 长江口邻近海域溶解氧分布特征及主要影响因素[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版,2006,36(2):287-290.

[2] 江志华. 珠江口海域丰水期的表观耗氧量[J]. 广州环境科学,2007,22(1):40-43.

[3] 崔毅,宋云利,杨琴芳,等. 渤海溶解氧的时空变化与环境因子和浮游植物的关系初探[J]. 海洋水产研究,1993(14):113-118.

[4] 樊安德. 浙江沿岸海水中溶解氧的分布变化规律[J]. 浙江水产学院学报,1986,5(1):61-68.

[5] 张竹琦. 渤海、黄海(34°N 以北)溶解氧年变化特征及与水温的关系[J]. 海洋通报,1992,11(5):41-45.

[6] 王玉衡,蒋国昌,董恒霖. 春季浙江南部海区溶解氧、pH 和营养盐分布特征及相互关系研究[J]. 海洋学报,1990,12(5):654-660.