

37°N 断面营养盐和溶解氧的四季分布特征及变化

臧璐¹, 石晓勇¹, 张传松¹

(1. 中国海洋大学 化学化工学院, 山东 青岛 266100)

摘要: 以 2006 年 7 月至 2007 年 10 月期间, 4 个季节的 4 个航次对 37°N 断面的调查资料为依据, 分析并讨论了该断面四季生源要素的分布特征以及变化趋势。结果表明: 该断面受黄海冷水团和陆源输入的影响, 东西两侧的生源要素及温盐特征明显不同。夏季断面东侧由于受到冷水团的控制, 底层出现明显的低温、高盐、高营养盐和高溶解氧的特征, 并且跃层明显; 西侧浅水区的温盐及生源要素的变化则相对均匀。冬季由于温跃层的消失, 上下水体混合均匀, 故而温盐及生源要素的垂直分布趋于均匀, 断面西侧由于受到陆源输入的影响营养盐的浓度明显较东侧高。春季是增温降盐, 营养盐逐渐消耗, 东侧温跃层逐渐形成的过程; 而秋季则恰恰相反。

关键词: 分布特征; DO; $\text{PO}_4\text{-P}$; DIN; $\text{SiO}_3\text{-Si}$

中图分类号: P734.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2009)02-0078-08

1 引言

海洋中的生源要素是多年来人们研究海洋的基本研究项目, 其中营养盐是影响海洋初级生产力的关键因素之一, 而溶解氧(DO)亦是反映海水环境质量的重要指标, 其含量的高低直接影响海洋生物的生长发育, 对海洋渔业发展有重大影响。而我国对于黄海海域生源要素的研究则可追溯至新中国成立初期, 包括 1957 年由中国科学院海洋所主持的在渤海及黄海西部进行的海洋综合调查, 1958—1960 年由国家科委海洋组主持的全国海洋综合调查项目, 以及 1966—1986 年国家海洋局主持进行的标准断面调查等等。近年来王保栋等对南黄海海域生源要素的平面及垂直分布、输运状况等, 作了较为详细的研究, 并指出黄海冷水团成为黄海重要的营养盐储库^[1-2]。刘素美等, 分析并总结了黄海和东海生源要素的四季分布状况及影响机制, 并将河流、大气及沉积物对该海域营养盐的贡献作了分析^[3]。李淑媛等, 根据 1990 年

7 月辽宁省海岛调查资料, 讨论了北黄海大鹿岛海水营养盐的分布特征, 并对海域环境质量作了初步评价^[4]。宋国栋等, 也曾依据 2005 年春季对黄海的调查, 分析了春季该海域 DO 的平面分布特征及主要影响因素^[5], 结果表明: 春季, 影响黄海外海海域 DO 分布的主要因素为温度和盐度, 近岸的 DO 分布主要受温度控制, 与盐度无关。

37°N 断面是南黄海较北端的一个断面, 也是在南黄海海域最靠近北黄海的整纬度断面。它的一些理化性质的四季变化可清晰地指示黄海冷水团在该断面的形成、强盛到逐渐减弱, 直至最终消失。本文根据 2006 年 7 月至 2007 年 10 月四季的 4 个航次, 在 37°N 的断面调查数据, 对该断面生源要素的垂直分布特性进行了研究, 并讨论了该断面诸参数四季变化的主控因素。

2 调查与方法

2.1 调查时间与站位布设

调查分别于冬季(2007-01-03~2007-01-16)、春

收稿日期: 2008-08-18; 修订日期: 2009-01-10。

基金项目: 国家 908 专项(908-01-ST02)。

作者简介: 臧璐(1983—), 女, 山东省青岛市人, 硕士研究生, 主要从事海洋生物地球化学与海水分析研究。E-mail: zanglu811@163.com

季(2007-04-24~2007-05-04)、夏季(2006-07-23~2006-08-06)和秋季(2007-10-14~2007-10-25)进行,在37°N共设6个站,站位布设如图1所示。

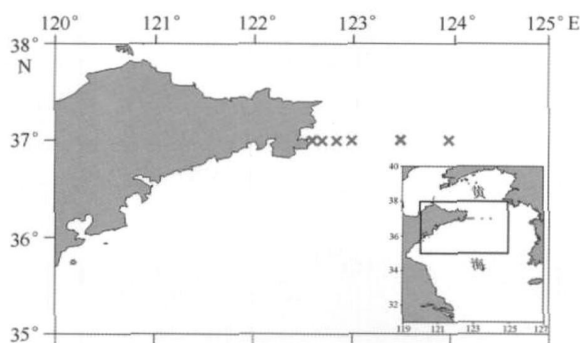


图1 断面调查站位

2.2 调查方法

4个航次的调查船均为“东方红2号”海洋科学考察船,调查过程中每个站位的海水温度、盐度及水深等参数均使用 SeaBird 911- Plus CTD 进行现场测量,同时使用电控12联装12 dm³ Niskin 采水器采集各个深度的水样(按照908海洋化学调查规程,主要为表层、10 m、30 m和底层),分别测定溶解氧(DO)和营养盐等参数。DO用Winkler法现场测定;营养盐样品现场经GF/F滤膜(450℃灼烧4h)过滤后使用营养盐自动分析仪(QuAatro, Bran-

Luebbe GmbH Co.)测定,其中PO₄-P用磷钼蓝分光光度法,SiO₃-Si用硅钼蓝分光光度法,NO₂-N用萘乙二胺分光光度法,NO₃-N用Cd-Cu还原法,NH₄-N用次溴酸盐氧化法测定分析,DIN = NO₃-N + NO₂-N + NH₄-N。

3 结果与讨论

3.1 冬季

由温度、盐度的断面分布图(图2)可明显看出:水体垂直混合均匀,由表至底的温、盐度性质较为均一。但西侧近岸水温明显低于东侧,并有向东侧推进的趋势,由此可推断西侧近岸受到沿成山头向南及西南推进的黄海沿岸流^[6]的影响较大。袁业立、郭炳火和臧家业等,曾多次指出冬季黄海暖流并非沿黄海槽北上,而是偏西到沿50~60 m等深线,地形较陡的位置北上^[7-9];这与此次研究中,断面东侧出现较高温盐值的区域相吻合,因此可以推断东侧水温与盐度较高与黄海暖流余脉向北黄海的输送有关。

DO的分布与水温几乎完全相应(图2),并呈负相关关系。除黄海槽内的低洼处以外,其他区域垂直混合较为均匀;沿海槽西侧北上的黄海暖流余脉中DO的浓度明显偏低,且均低于9.2 mg/dm³。而整个水体的DO均未达到饱和,并以黄海槽内的饱和度最低。

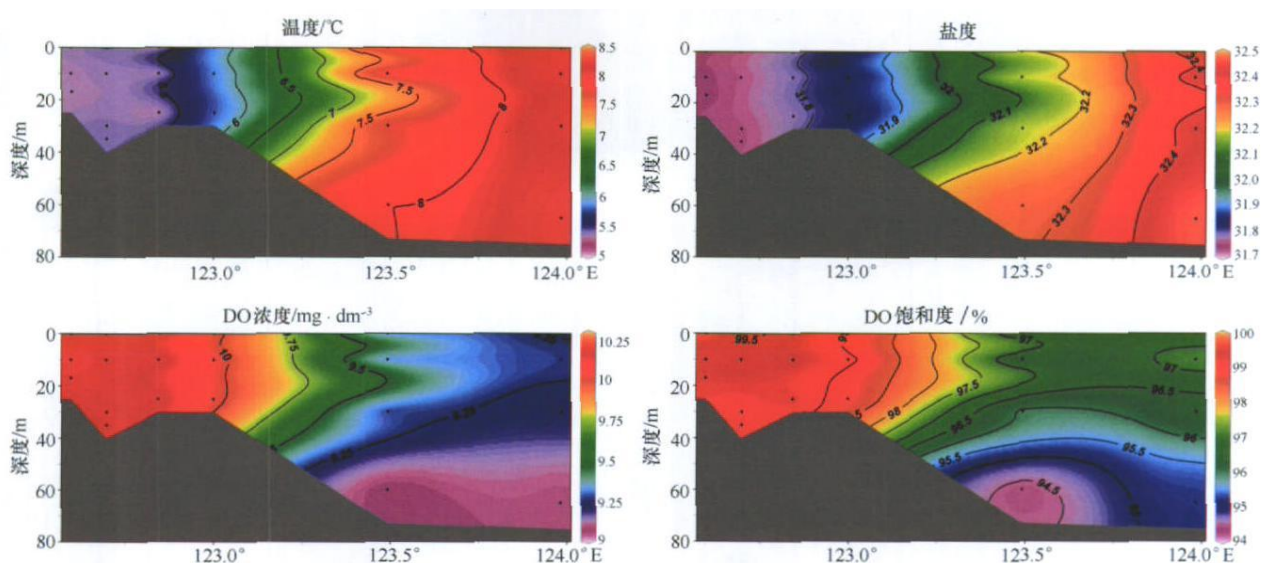


图2 37°N断面冬季温度、盐度、溶解氧浓度和饱和度分布

PO₄-P也同样由于海水垂直混合的影响(图3),由表至底呈均匀分布,但近岸浓度普遍高于0.6 μmol/dm³,明显高于东侧外海(浓度低于

0.4 μmol/dm³)。每个季节中DIN与PO₄-P的分布趋势极为相似,冬季近岸浓度高于9.0 μmol/dm³,东侧外海浓度低于5.5 μmol/dm³。SiO₃-Si

的分布趋势,除夏季与 DIN 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 略有不同以外,其他季节是一致的。冬季其近岸浓度超过 $13.0\ \mu\text{mol}/\text{dm}^3$, 外海浓度低于 $11.0\ \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 。由各项营养盐近岸高,外海低的趋势,可以推断近岸的黄海沿岸流营养盐水平较高,而外海的低营养盐浓度则与王保栋^[2]的调查结果相一致。

3.2 春季

如图 4 所示,表层水温开始回升,并且东侧外海

温度较高;整个水体的盐度比冬季也有所提高,但断面东侧的盐度仍然远高于西侧。海水垂直交换作用趋于减弱,有逐渐发生层化的趋势。

随上层水体升温、层化,DO 浓度在上层水体中与冬季持平或略有升高。海槽中 DO 的含量则有所降低,浓度降至 $8.8\ \text{mg}/\text{dm}^3$ 以下。由 DO 饱和度也可看出上层水体中 DO 均达饱和甚至过饱和,DO 的饱和度在 $100\%\sim 115\%$,下层则呈不饱和状态,DO

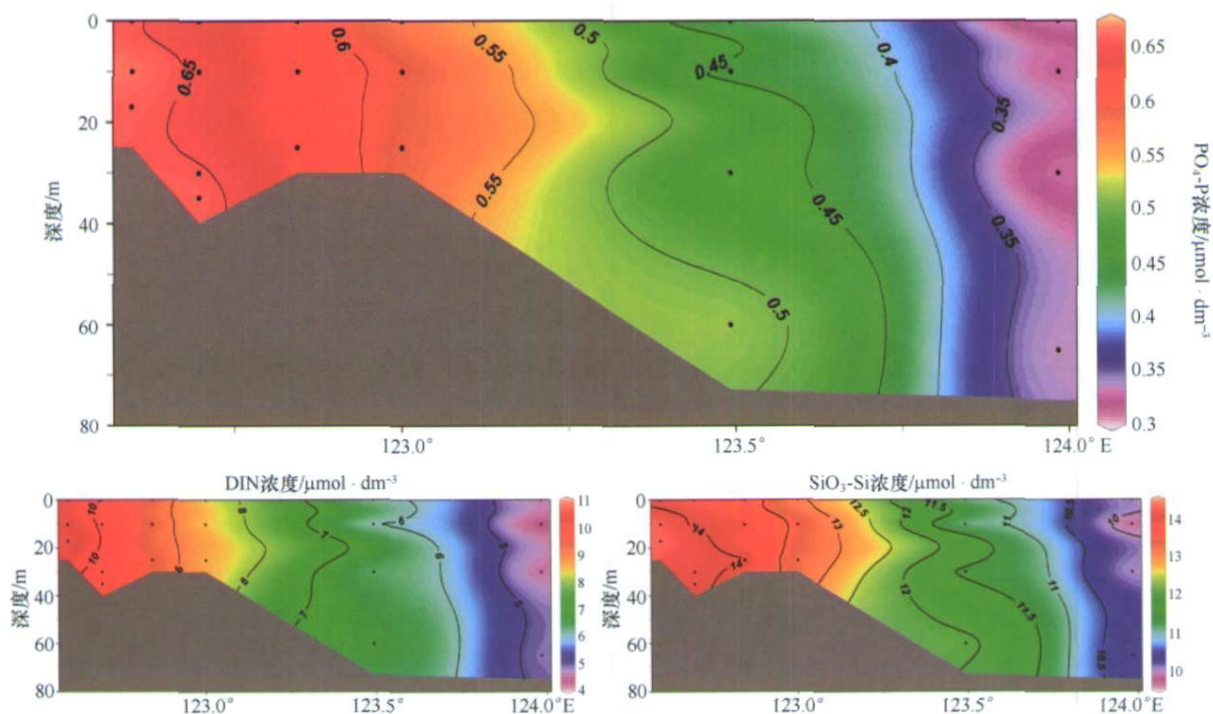


图 3 37°N 断面冬季 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、DIN 和 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 浓度分布

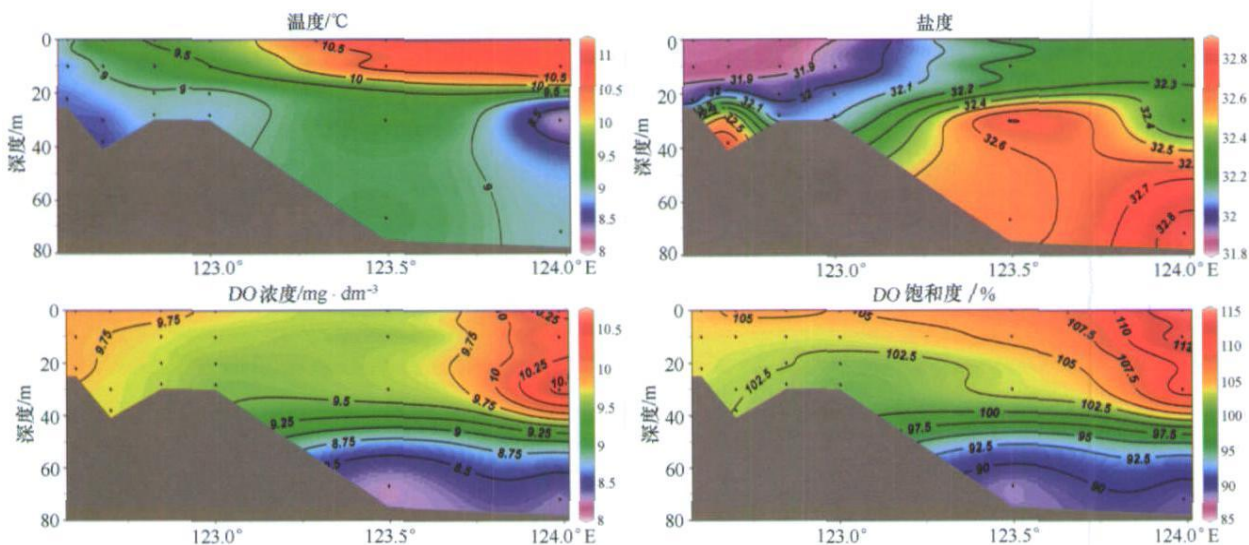


图 4 37°N 断面春季温度、盐度、溶解氧浓度和饱和度分布

饱和度为 85%~100%。根据黄海初级生产力的变化趋势(春季>夏季>秋季>冬季^[10])分析:上层 DO 含量主要受水温升高及浮游植物光合作用影响而达过饱和;下层 DO 浓度及饱和度的明显下降则是由于异养生物的呼吸及有机质的分解耗氧和水体层化引起的垂直交换不畅等原因所致。

PO₄-P 浓度等值线开始逐渐转向水平方向

(图 5), 并且随“春华期”的到来整个水体的浓度比冬季明显下降, 浓度不超过 0.5 μmol/dm³, 而高值则出现在近岸区和 50 m 以深的黄海槽中。近岸区和黄海槽内也是 DIN 的最高值区, 浓度高于 6.0 μmol/dm³。SiO₃-Si 春季黄海槽内和近岸浓度均超过 7.0 μmol/dm³。

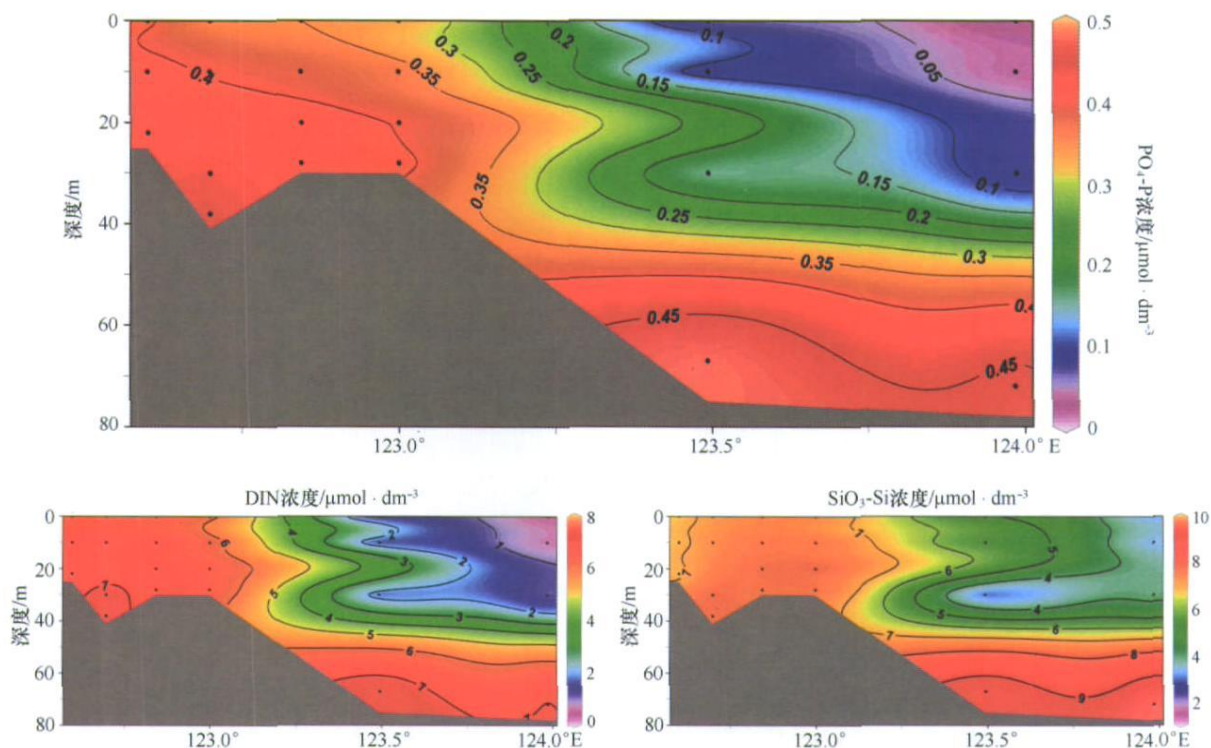


图 5 37°N 断面春季 PO₄-P、DIN 和 SiO₃-Si 浓度分布

3.3 夏季

太阳辐射普遍增强, 表层水温进一步升高(见图 6), 东侧水温依然高于西侧近岸, 温跃层明显形成, 并且在东侧外海, 海区的低洼处, 有明显而强大的冷水团存在, 水温低于 10℃。上层水体随着雨季的到来, 盐度明显降低。

随温跃层的完全形成, 上层由于温度的进一步升高, 水体中 DO 浓度比春季大幅下降(见图 6), 大多低于 8.0 mg/dm³, 但其依然呈现过饱和状态, 且饱和度达到四季的最大值, 温跃层以上甚至超过 110%; 而由 10℃等温线所包围的冷水团区域 DO 浓度均大于 8.2 mg/dm³, 但由于此处较低的水温致使 DO 饱和度依然低于 100%, 并且不饱和范围比春季有所扩大。由溶解氧饱和度的图中, 还充分反映出, 近底层的溶解氧主要被有机质氧化分解所消耗, 但由于该处的水

体稳定而难以得到补充^[11], 故饱和度是最低的。较为突出的是, 在断面最东侧 124°E 的 30 m 所在的次表层出现了 DO 浓度的极大值, 根据同期对于叶绿素 a 的调查结果来看, 此处也存在高于周围区域的极大值。而对于叶绿素在这一层次的高值, 在其他海区也曾有过相关报道^[12, 13]。据此推测, 此处 DO 浓度的高值是由于浮游植物的生长所致: 夏季冷水团区强烈的温盐跃层导致上层营养盐耗尽后, 底层高浓度营养盐难以向上补充; 而在跃层下界、冷水团的上界, 则保持了较充足的营养盐供给和较好的光照条件, 因此出现了浮游生物生长的旺盛区, 而浮游植物在该层次所进行的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, 故而促进了氧最大值的形成^[14]。

由于强大的温、密跃层的存在, 阻碍了水体的垂

直交换, 跃层以上 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的浓度低于 $0.1 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ (见图 7), 而跃层以下冷水团区的浓度则超过 $0.4 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$, 且高浓度范围比春季有明显扩大。跃层以上 DIN 浓度则降至 $1.5 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 以下; 冷水团以内浓度高于 $5.5 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$, 高值范围比春季有所扩大, 但浓度水平明显低于春季。 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 在跃层以上浓度低于 $4.0 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$, 黄海槽内浓度高

于 $6.0 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$, 但其浓度水平依然低于春季, 其突出特点是: 在海槽内自东向西浓度递减, 东部浓度高于 $8.0 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 。

3.4 秋季

表层水温开始降低(图 8), 温、盐跃层强度逐渐减弱; 冷水团的范围明显减小, 已完全龟缩至 60 m 以深的黄海槽内, 其强度也明显减弱。

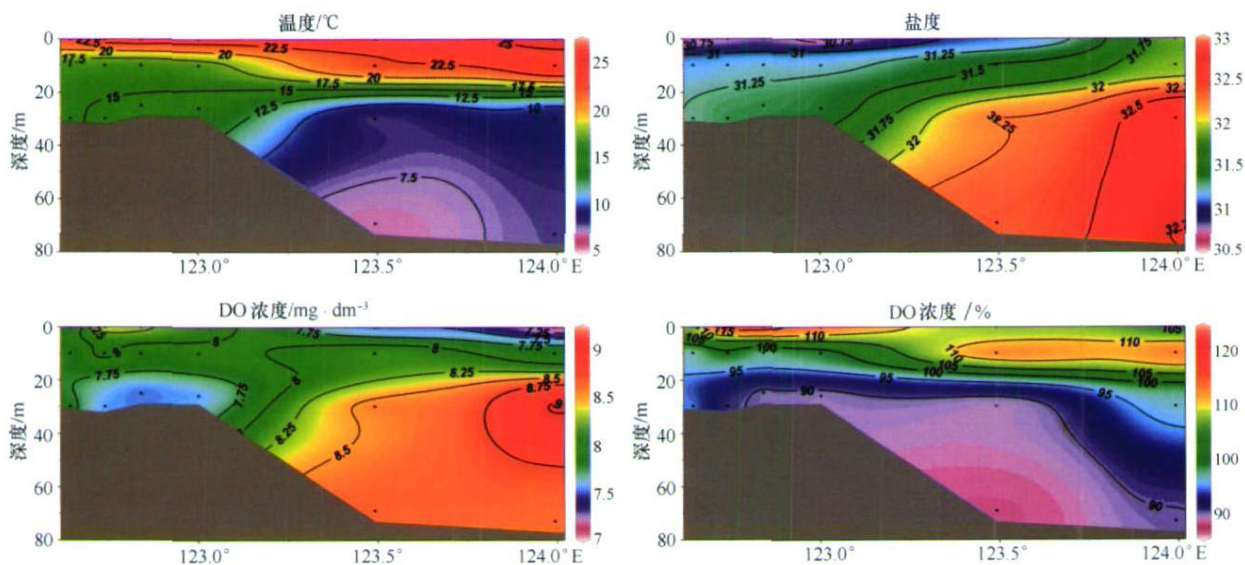


图 6 37°N 断面夏季温度、盐度、溶解氧浓度和饱和度分布

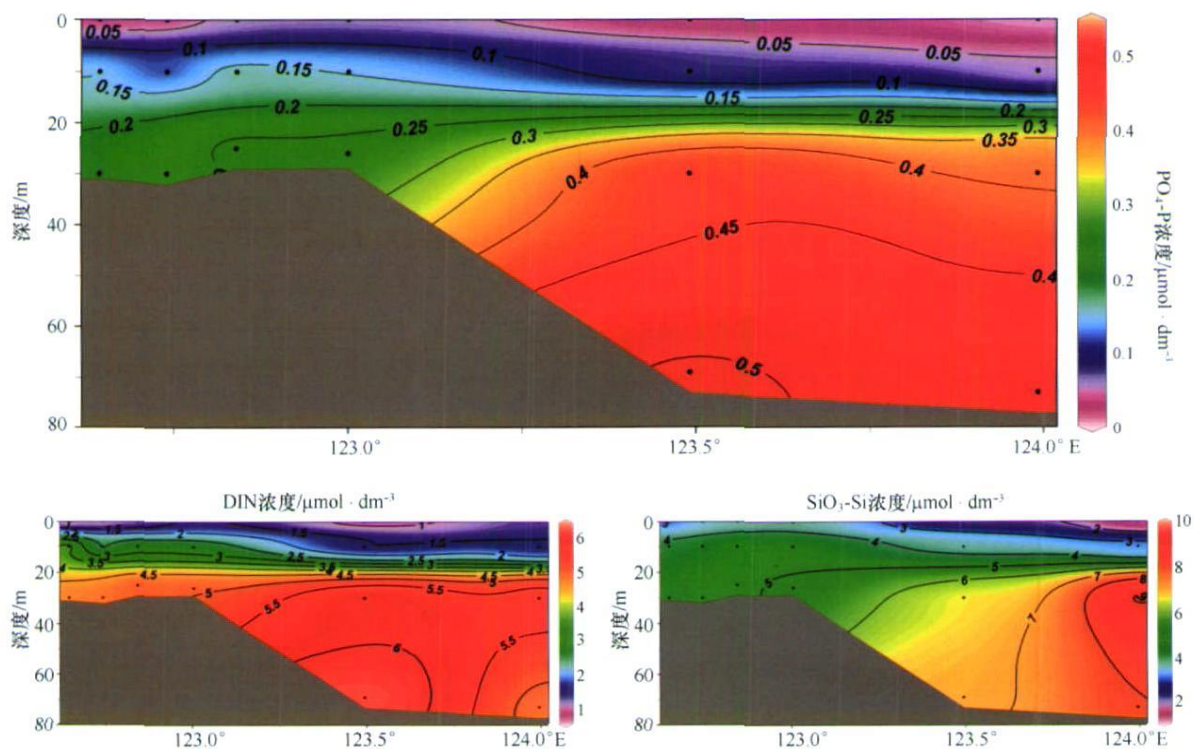


图 7 37°N 断面夏季 $\text{PO}_4\text{-P}$, DIN 和 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 浓度分布

随着强大温跃层的消失, 底层冷水区 DO 的高值亦消失(见图 8), 整个断面由表至底 DO 呈逐渐降低的趋势, 原冷水区的浓度也降至 7.5 mg/dm^3 以下; 饱和度亦大幅下降, 底层最低值不足 75%。

如图 9 所示, 随跃层减弱, 陆源输入的影响趋于明显, 另外由于秋季浮游植物的光合作用已转入低谷期, 近岸 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 浓度高于 $0.4 \text{ } \mu\text{mol/dm}^3$,

黄海槽底层水中浓度普遍比夏季偏高, 最大接近 $1.0 \text{ } \mu\text{mol/dm}^3$ 。黄海槽内依然是 DIN 的最高值区, 且比夏季偏高, 浓度高于 $7.0 \text{ } \mu\text{mol/dm}^3$, 最高达 $11.0 \text{ } \mu\text{mol/dm}^3$ 。 $\text{SiO}_3 - \text{S}$ 在秋季浓度普遍高于夏季, 近岸和海槽内浓度大于 $8.0 \text{ } \mu\text{mol/dm}^3$ 。就总体来说, 营养盐的分布依然保持了上低下高的层化现象。

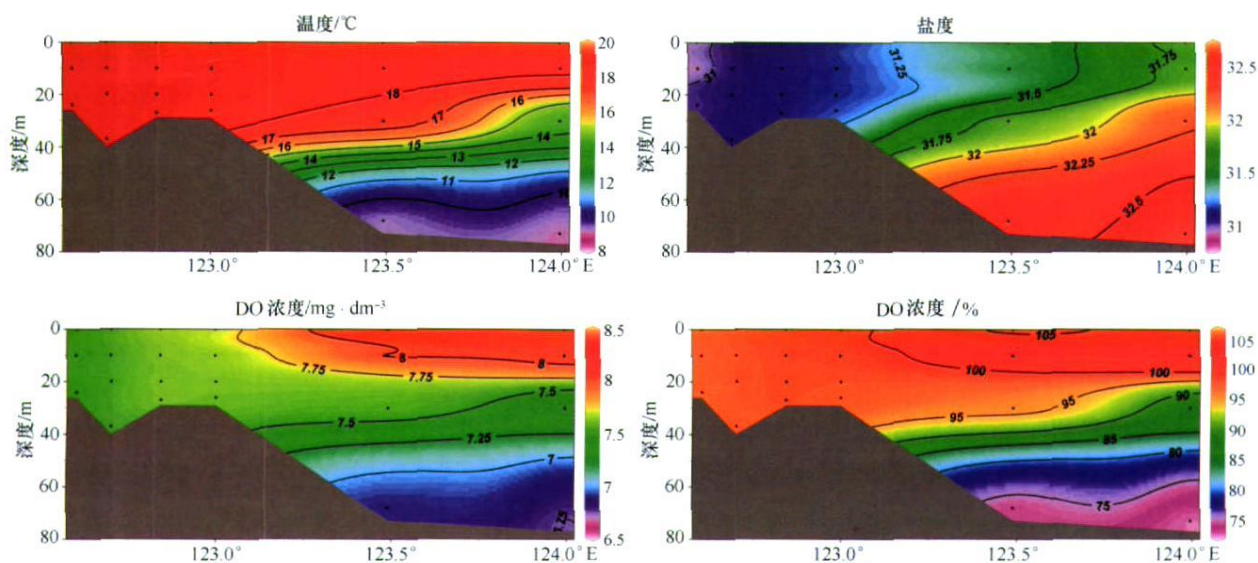


图 8 37°N 断面秋季温度、盐度、溶解氧浓度和饱和度分布

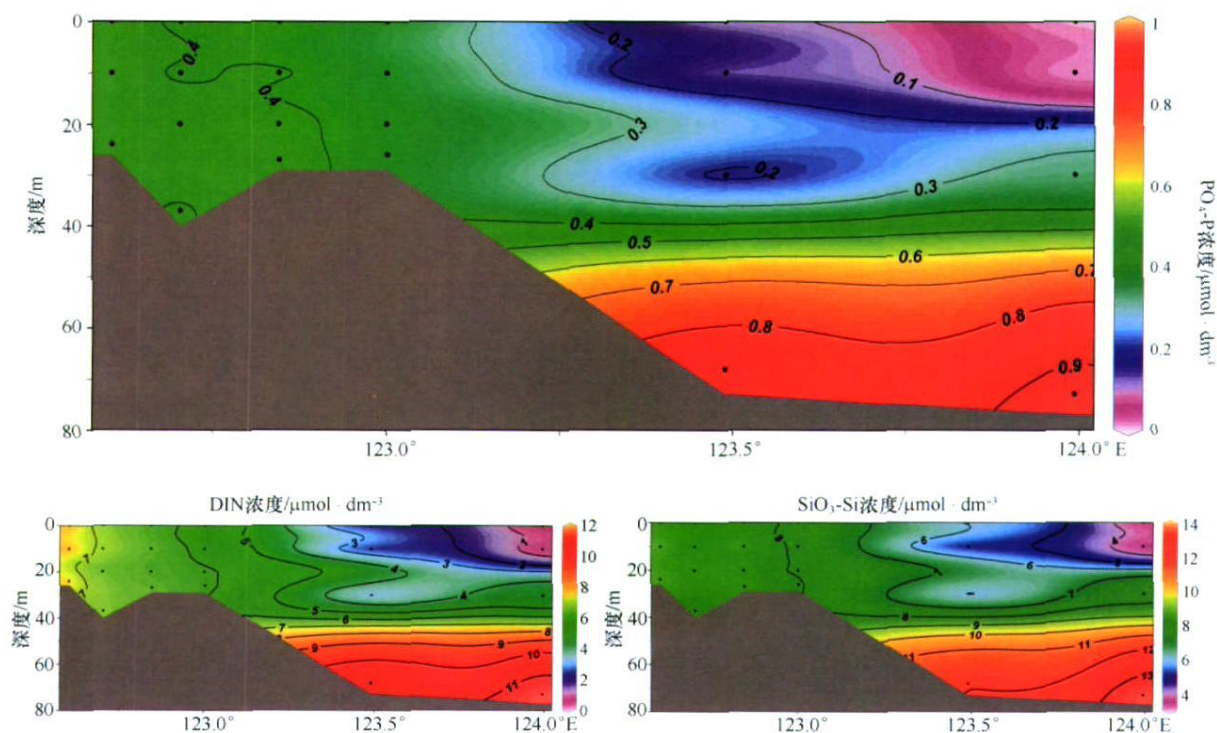


图 9 37°N 断面秋季 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 、DIN 和 $\text{SiO}_3 - \text{Si}$ 浓度分布

4 各项指标四季变化之间的关联

冬季, 上下水体垂直混合均匀, 温盐及各生源要素的垂直混合也较均匀。温盐受断面东西两侧黄海暖流余脉水与黄海沿岸流的影响而呈现西侧近岸较低, 东侧外海较高的趋势。与之相应的, DO 和各项营养盐的浓度亦呈由近岸向东侧外海递减的趋势。

春季, 随春华期的开始, 浮游植物活动性增强, 导致 30 m 以浅的上层水中 DO 浓度与饱和度的增大, 营养盐浓度的减小。而在下凹的海槽内 DO 的浓度与饱和度则比冬季有所降低, 但与之相反的是, 该处各项营养盐的浓度却比冬季时高, 下层生物尸体及有机质分解是产生这一现象的主要原因。

夏季, 随着稳定温、密跃层的形成, 上下水体交换更加不畅, 致使在春季所呈现的 DO 饱和度上高下低、各项营养盐浓度上低下高的趋势更趋于明显, 充分显示随太阳辐射的加强、上层水温的升高, 跃层以上浮游植物活动性加强, 大量生长繁殖, 产生 O_2 并消耗营养盐; 而在跃层以下的冷水团区域由于沉降的生物尸体及有机质的分解再生, 导致 DO 饱和度的下降, 并伴随无机态营养盐自有机体内的释放。DO 的浓度由于基本与水温呈负相关, 故而呈现上低下高的趋势。因此, 夏季在由冷水团控制的东侧海槽区内, 有明显的低温、高盐、高营养盐和高溶解氧浓度的特征。

秋季, 随温、密跃层强度的减弱, 各指标等值线的密度变小, 但是海水的上下交流依然不畅。黄海

槽内随有机质的降解, DO 的含量与饱和度比夏季进一步降低; 而各项营养盐则比夏季有明显升高, 体现了其自有机体内的释放。

由上述各指标的四季变化可以看出: 冬季是垂直混合均匀的季节; 夏季则是海水层化稳定和强度最大的季节。而春季和秋季则分别是形成冬、夏季水体不同特性的过渡季节, 即春季是跃层逐渐形成、强化的阶段; 秋季是跃层逐渐减弱、消退的阶段。这与众多前人^[15-17]的研究结果是完全一致的, 但由于其所处的地理位置较为特殊, 故断面两侧四季生源要素变化的主控因素又有所不同。

5 结论

该断面的 DO 和营养盐分布主要受黄海冷水团和陆源输入的影响, 东西两侧的生源要素及温盐特征明显不同。夏季断面东侧由于受到冷水团的控制, 底层出现明显的低温、高盐、高营养盐和高溶解氧的特征, 并且跃层明显; 西侧浅水区的温盐及生源要素的变化则相对均匀。冬季由于温跃层的消失, 上下水体混合均匀, 故而温盐及生源要素的垂直分布趋于均匀, 断面西侧由于受到陆源输入的影响营养盐的浓度明显较东侧高。春季是增温降盐, 营养盐逐渐消耗, 断面东侧温跃层逐渐形成的过程; 而秋季则恰恰相反。

衷心感谢中国海洋大学海洋环境与生态重点实验室李正炎老师在叶绿素方面给予的数据支持和无私帮助!

参考文献:

- [1] 王保栋, 王桂云, 郑昌洙, 等. 南黄海营养盐的平面分布及横向输运[J]. 海洋学报, 1999, 21(6): 124—129.
- [2] 王保栋. 南黄海营养盐的垂直分布特性及其垂向输运规律[J]. 海洋环境科学, 1999, 18(1): 13—18.
- [3] 刘素美, 张经, 陈洪涛. 黄海和东海生源要素的化学海洋学[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(1): 68—74.
- [4] 李淑媛, 张凤林, 苗丰民, 等. 北黄海大鹿岛海域营养盐分布特征[J]. 海洋湖沼通报, 1995, 3: 24—31.
- [5] 宋国栋, 石晓勇, 祝陈坚. 春季黄海溶解氧的平面分布特征及主要影响因素初探[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(6): 534—536.
- [6] 刘丽萍. 黄海冬季锋生锋消过程的数值研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [7] 袁业立, 郭炳火, 孙湘平. 泛黄海水区的物理海洋特征[J]. 黄渤海海洋, 1993, 11(3): 1—6.
- [8] 郭炳火. 黄海物理海洋学的主要特征[J]. 黄渤海海洋, 1993, 11(3): 7—18.
- [9] 臧家业, 汤毓祥, 邹娥梅, 等. 黄海环流的分析[J]. 科学通报, 2001, 46(增刊): 7—15.
- [10] 朱明远, 毛兴华, 吕瑞华, 等. 黄海水区的叶绿素 a 和初级生产力[J]. 黄渤海海洋, 1993, 11(3): 38—51.
- [11] 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.
- [12] 陆赛英. 东海北部叶绿素 a 极大值的分布规律[J]. 海洋学报, 1998, 20(3): 64—75.
- [13] 李宝华, 傅克付, 曾晓起. 南黄海夏末叶绿素 a 的分布特征[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(3): 300—305.
- [14] 王保栋, 王桂云, 郑昌洙, 等. 南黄海溶解氧的垂直分布特性[J]. 海洋学报, 1999, 21(5): 72—77.
- [15] 刁焕祥, 沈志良. 黄海冷水域水化学要素的垂直分布特征[J]. 海洋科学集刊, 1985, 25: 41—51.

- [16] 屠金钊. 渤、黄海温度跃层的分布与变化[J]. 海洋通报, 1992, 11(4): 27—32.
- [17] 鲍献文, 王赐震, 高郭平, 等. 渤海、黄海热结构分析[J]. 海洋学报, 2001, 23(6): 24—31.

Seasonal distribution features of nutrients and DO at 37°N transect

ZANG Lu¹, SHI Xiao-yong¹, ZHANG Chuan-song¹

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Based on the four cruises carried out at 37°N transect from July 2006 to October 2007 in four seasons. The distribution features of biogenic elements at this section and its changes were discussed. The results showed that: Influenced by the Huanghai Sea Cold Water Mass and inshore area input, the biogenic elements temperature and salinity have obviously differences at this transect. In summer, the east of this section was controlled by the cold water mass, where had features of lower temperature, higher salinity and higher concentration of biogenic elements. In the west the variation of all factors were more equably. In winter, thermocline faded lead all factors in this transect were vertically uniform. The west had higher concentrations of nutrient elements than that in the east, because of the influence of inshore areas input. In spring, the temperature increased and salinity decreased, while the nutrient elements were consumed, the thermocline and halocline grown up; these were conversely in the autumn.

Key words: distribution pattern; DO; PO₄-P; DIN; SiO₃-Si