

长江口及杭州湾邻近海域夏季表层海水中的溶解无机碳

高学鲁^{1,2}, 宋金明¹, 李学刚¹, 李 宁¹, 袁华茂¹

(1. 中国科学院 海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 南海海洋研究所 热带海洋环境动力学重点实验室, 广东 广州 510301)

摘要: 根据 2004 年 8 月在长江口、杭州湾附近海域获得的调查资料对表层水中 pH 值、总碱度和溶解无机碳的分布特征及其与环境参数的关系进行了研究, 并由此得到了溶解无机碳的组成情况。结果表明, HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 和 $\text{CO}_2(\text{T})$ 占溶解无机碳浓度百分比分别为 80.33% ~ 97.75%、0.61% ~ 19.42% 和 0.25% ~ 2.34%, 平均值分别为 $(93.28 \pm 3.68)\%$ 、 $(5.58 \pm 4.03)\%$ 和 $(1.14 \pm 0.43)\%$ 。水文、浮游植物等对各参数的分布具有重要影响, 但对不同参数的影响程度不同。

关键词: 溶解无机碳; 空间分布特征; 影响因素; 长江口及杭州湾邻近海域

中图分类号: P593

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)04-0061-07

海水中溶存在着大量的碳化合物, 其中绝大部分是无机碳。海水中溶解的 CO_2 是海洋中自养生物合成有机物质的碳素来源。河口是陆架边缘海的一个重要组成部分, 也是陆地与陆架边缘海相互作用的重要纽带之一, 每年都有大量的淡水和各种营养物质通过河口输送到陆架边缘海, 对其中发生的许多生物地球化学过程均有显著影响。河流向海洋的碳输送是全球碳循环研究的重要组成部分^[1-4]。 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 CO_2 和 H_2CO_3 是组成海水中溶解无机碳(DIC)的主要成分, 它们之间通过一系列热力学平衡构成所谓的 CO_2 体系, 在缓冲海水 pH 值、指示发生在河口生态系统中的光合作用与呼吸作用方面扮演着重要角色^[5]。研究河口区海水中的 CO_2 体系对于海洋科学的各个分支都有重要意义^[6]。

长江口、杭州湾附近海域水团相互作用剧烈, 海流活动频繁; 西部紧邻工农业发达的长江三角洲经济区, 受人为活动影响显著。作者根据 2004 年 8 月份获得的数据海水温度及盐度等资料, 对长江口、杭州湾附近海域表层海水中的 pH 值、总碱度(TA)和 DIC 进行了研究。

1 材料与方法

2004 年 8 月 5 ~ 10 日, 随“浙海环监”号科学考察船对长江口和杭州湾附近海域进行了调查, 整个调查区域共设置了 37 个站位(图 1)。调查项目包括温度、盐度、营养盐、pH 值和 TA。现场对温度、盐度、pH 值和 TA(Gran 滴定法)进行测定, 采用 NBS 标度对 pH 计标定。

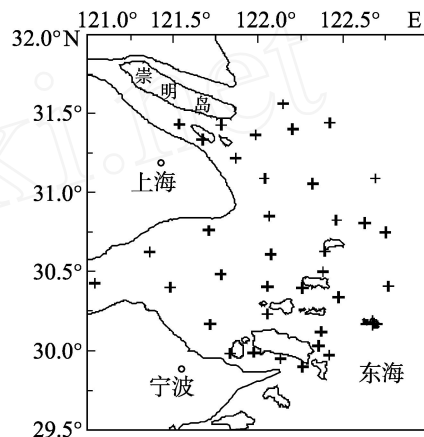


图 1 采样站位

Fig. 1 Locations of the sampling stations

当海水的 CO_2 体系处于平衡时, 如果海水的温度、盐度和压力已经测定, 那么 CO_2 的溶解度系数 s 、碳酸的表观离解常数 K_1 和 K_2 、硼酸的第一表观离解常数 K_B 以及总硼酸浓度 B_T 就可以通过计算得到, 则 pH、TA、DIC 浓度、 HCO_3^- 浓度、 CO_3^{2-} 浓度、总溶解 CO_2 浓度 ($[\text{CO}_2(\text{T})] = [\text{CO}_2] + [\text{H}_2\text{CO}_3]$) 和 CO_2 分压 $p(\text{CO}_2)$ 7 个参数中只要测定其中 2 个就可求出其余的 5 个参数, 但由于 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 和 $\text{CO}_2(\text{T})$ 浓度

收稿日期: 2006-04-12; 修回日期: 2006-11-02

基金项目: 国家 973 计划资助项目(2005CB407305); 中国科学院百人计划资助项目(科人 2003-202); 青岛市科技英才专项计划资助项目(04-3-JJ-03, 05-2-JC-90)

作者简介: 高学鲁(1976-), 男, 山东招远人, 博士, 主要从事海洋生物地球化学研究, 电话: 020-89023164, E-mail: xlgao@scsio.ac.cn; 宋金明, 通讯作者, 电话: 0532-82898583, E-mail: jmsong@ms.qdio.ac.cn

难于直接测定,因此实际应用中只能从 pH、TA、DIC 和 $p(\text{CO}_2)$ 中任意选择两个进行测定^[7,8]。本研究利用测得的 pH 和 TA 数据计算 CO_2 体系的其他参数。按照 Weiss^[9] 和 Millero^[10] 的报道对海水中 CO_2 的溶解度和硼酸的浓度进行计算。

研究表明,在对 CO_2 体系各分量进行计算时碳酸解离常数的选择对于结果的准确性至关重要^[11]。根据 Frankignoulle 等^[12] 的研究,对于河口水体利用 NBS 标度 pH 值和 TA 计算 $p(\text{CO}_2)$ 时,使用 Mehrbach 等^[11] 报道的碳酸解离常数获得的结果与实测值吻合得很好。本研究海域也为河口区,所测定的 pH 值也是基于 NBS 标度,据此,本研究中也采用 Mehrbach 等的碳酸解离常数进行计算^[13]。

根据 pH 和 TA 对 CO_2 体系各分量进行计算必须用到的另一个参数是硼酸的第一表观解离常数 K_B 。许多研究者采用不同 pH 标度对不同温度范围的人工海水等电解质溶液中硼酸的表观解离常数进行了研究^[14~20],虽然各报道结果因介质、测量方法及所采样的 pH 标度的不同而有所差异,但都反映出了总体上 K_B 随着温度和盐度的降低而增加这一趋势。早期应用较广的是 Lyman^[15] 基于 NBS 标度的 K_B ,但所适用的盐度范围较窄,为 29~38。后来 Hansson^[16]、Dickson^[19] 和 Roy 等^[20] 分别基于总氢离子标度对人工海水中硼酸的 K_B 值进行了测定,所适用的范围和准确度均比 Lyman^[15] 的有所提高,其中尤以 Dickson^[19] 的报道广为使用。尽管如此,实际上目前人们对于天然海水中硼酸确切的 K_B 值并不是十分了解^[21]。本研究区域地处河口,盐度跨度大,因此采用 Dickson^[17] 的 K_B 值进行计算。

2 结果与讨论

2.1 表层海水中溶解无机碳及相关参数的空间分布特征

2.1.1 盐度和温度

盐度和温度对海水溶解无机碳体系影响重大,一般而言,高盐低温海水更有利于海水无机碳的保存^[22],所以,探讨盐度和温度的分布特征对阐明海水溶解无机碳的地球化学分布有重要意义。

盐度是河口环境的一个重要的生态因子,它对河口的很多物理、化学、生物以及生物地球化学过程有直接或间接影响。8 月份为长江下游地区洪季中期,大通水文站长江径流量的多年平均值显示本月的月平均流量占全年径流量的 13.28%,仅次于 7 月份^[23]。由于受到强大的长江径流的影响,调查区表层盐度等值线的走向与长江径流的入海方向接近垂直(图 2a)。整个调查区表层水盐度的变化范围为 0.1~32.2,除调查区东南部舟山群岛以东的小部分区域外,其余区域的表层盐度均小于 30。

温度是河口环境的又一个重要的生态因子,在水生生物的生活中起着重要的作用,直接影响生物的新陈代谢;对水体中各种平衡的移动也有重要影响。通常情况下,冬季河口区低盐度水体的温度要低于高盐度水体,夏季则相反。本次调查的温度分布符合这一规律,表层温度等值线呈现出由近岸向外海递减的分布特征,高值区位于杭州湾内,超过 30,最高值为 30.9,比最低值高 5.4(图 2b)。全部站位表层水温度的平均值为 27.9 ± 1.5 。

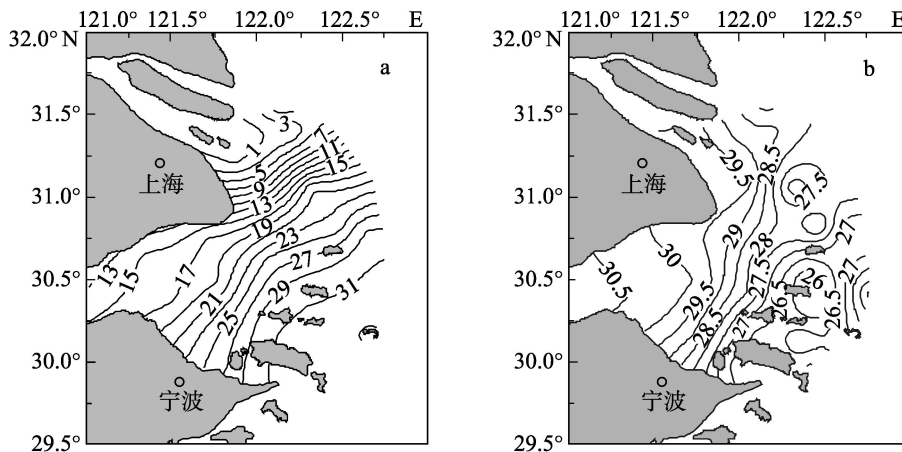


图 2 表层盐度(a)和温度(b)等值线的分布

Fig. 2 The distributions of salinity (a) and temperature (b) isolines in surface waters
b 的单位是 ; The unit of b is

2.1.2 pH 和 TA

pH 值是研究海水中 CO₂ 体系时易于直接测定的最重要的物理量之一。虽然海水中 CO₂ 体系的某些分量难于直接测定,但是通过对 pH 值的测定,结合其他一些可测的物理参数,就可以通过计算获得海水 CO₂ 体系各分量的含量,从而能够对不同海区不同水层中 CO₂ 平衡体系有一个比较明确的了解。pH 值还对海洋中许多元素的赋存形态以及许多反应的反应途径有直接或间接影响,是描述海水中酸碱平衡的主要变量^[24]。

表层海水 pH 值等值线呈现出由近岸向外海递增的分布特征(图 3a)。调查区中部 pH 值分布较其他区域均匀;东部 pH 值等值线呈南北走向,表明南北方向上的 pH 值差异要小于东西方向。pH 值的

变化范围为 7.69 ~ 8.52,最大值和最小值分别出现在调查的东南部和杭州湾内。

海水中含有相当数量的 HCO₃⁻、CO₃²⁻、H₂BO₃、H₂PO₄⁻ 和 SiO(OH)₃ 等弱酸阴离子,总碱度(TA)是水体中弱酸阴离子总含量的一个量度。对于大部分海水,尤其在水深较浅的海域,可只考虑前 3 项,其他项的贡献很小。和 pH 值一样,TA 也是描述海水中 CO₂ 平衡体系的 4 个参数之一,通过无机碳循环 pH 值、TA 和 DIC 紧密地联系在一起。

全部调查站位表层海水 TA 的变化范围为 1 805 ~ 3 155 μmol/kg。长江口口门附近和杭州湾内的 TA 呈现出随盐度的增加而增加的趋势,而在调查区东南部,东西方向上自西向东 TA 值有所减小,与此区域盐度的分布趋势相反(图 3b)。

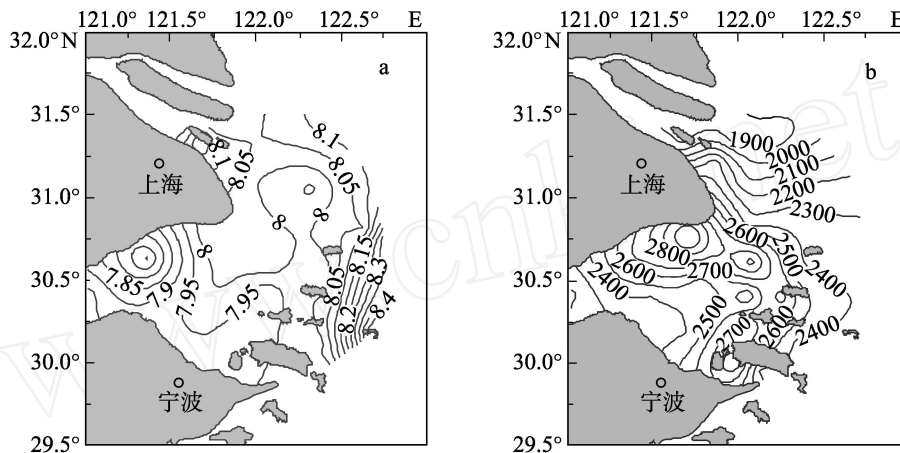


图 3 表层 pH 值(a)和 TA(b)等值线的分布

Fig. 3 The distributions of pH (a) and TA (b) concentration isolines in surface waters
b 的单位是 μmol/kg
The unit of b is μmol/kg

2.1.3 DIC 的组成与含量

研究区域 DIC、HCO₃⁻ 浓度等值线的分布特征总体上与 TA 相似(图 4a、b)。这主要是因为,一般情况下,海水中 HCO₃⁻ 相对于其他组分而言是 TA 和 DIC 最主要的贡献者,HCO₃⁻ 含量高的站位通常其 TA 和 DIC 值也高,因此 TA、DIC 和 HCO₃⁻ 三者的浓度等值线的分布特征比较相似。DIC 的变化范围为 1 808 ~ 2 997 μmol/kg; HCO₃⁻ 的变化范围为 1 485 ~ 2 815 μmol/kg。

CO₃²⁻ 是 CO₂ 体系的另一重要组分,其浓度等值线的分布特征与 DIC、HCO₃⁻ 有所不同,总体上自西向东呈增加的趋势(图 4c)。调查区东南部 CO₃²⁻ 的浓度等值线呈南北走向,其在东西方向上单位距离内的梯度变化要显著地大于其他区域。CO₃²⁻ 浓度的变化范围为 11.6 ~ 358.9 μmol/kg。

一般情况下,海水中 CO_{2(T)} 是 CO₂ 体系各分量中含量最少的。本次调查中,其在表层海水中浓度等值线的分布趋势总体上呈南北走向,从近岸到外海方向上 CO_{2(T)} 的浓度显著降低(图 4d),由调查区西部的 62.6 μmol/kg 减少到东南部的 4.6 μmol/kg。

本次调查中,HCO₃⁻、CO₃²⁻ 和 CO_{2(T)} 占 DIC 浓度的百分比分别为 80.33% ~ 97.75%、0.61% ~ 19.42% 和 0.25% ~ 2.34%,平均值分别为 (93.28 ± 3.68)%、(5.58 ± 4.03)% 和 (1.14 ± 0.43)%。HCO₃⁻ 和 CO_{2(T)} 占 DIC 浓度的百分比总体上随盐度的增加而减小,CO₃²⁻ 则相反。虽然对于每一个站来说,HCO₃⁻ 占 DIC 浓度的百分比都远高于 CO₃²⁻ 和 CO_{2(T)} 而居于首位,但居于第 2、3 位的却并不全都相同。所调查的 37 个站中,除位于长江口口门附近的 6 个盐度接近于 0 的站,CO_{2(T)} 占 DIC 浓度百分比超

过 CO_3^{2-} 而居第 2 位外,其余的 31 个站 CO_3^{2-} 占 DIC 浓度百分比均超过 $\text{CO}_2(\text{T})$ 而居第 2 位。

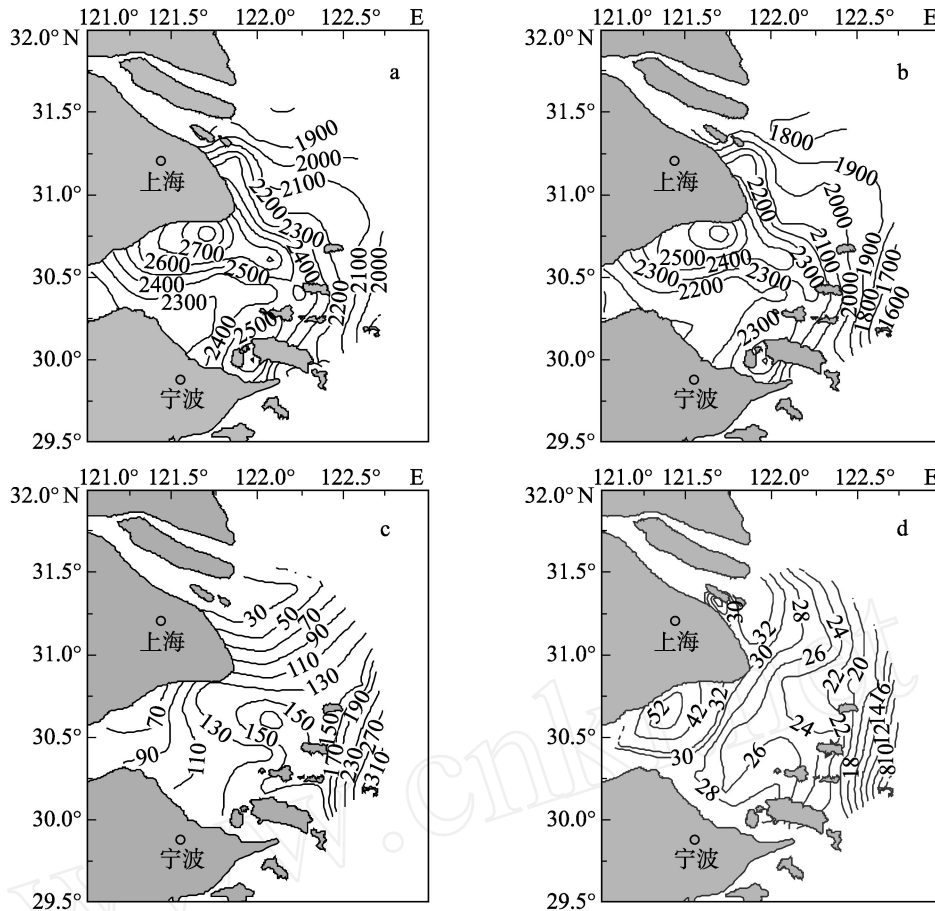


图 4 表层 DIC(a)、 HCO_3^- (b)、 CO_3^{2-} (c) 和 $\text{CO}_2(\text{T})$ (d) 浓度等值线的分布

Fig. 4 The distributions of DIC (a), HCO_3^- (b), CO_3^{2-} (c) and $\text{CO}_2(\text{T})$ (d) concentration isolines in surface waters
单位为 $\mu\text{mol}/\text{kg}$
The unit is $\mu\text{mol}/\text{kg}$

2.2 影响因素分析

海水中 CO_2 体系各参数的量值及其时空变化特征是各种物理、化学、生物等因素综合作用的结果,海洋环境中许多生物地球化学反应能够对 pH 值、TA 及 DIC 的组成和浓度产生影响。Abril 等^[25]曾在 Scheldt 河口上段观测到因水体中硝化作用的发生而引起的碱度显著降低现象。厌氧环境中进行的反硝化反应在将有机物分解为无机物的过程中,能够引起 pH 值和碱度的增加。浮游植物对于 NO_3^- 的同化会使 pH 值和碱度增加,而对于 NH_4^+ 的同化则会使 pH 值和碱度降低。另外,氨化作用、Mn(IV)、Fe(III) 及硫酸盐的还原、碳酸钙的生成与溶解等过程均会引起 pH 值和碱度的变化。

许多关于河口区 pH 值的研究均显示 pH 值的最小值出现在低盐区域^[26-28]。早期认为,由于离子

强度的增加而导致的碳酸解离常数的增加是造成这一现象的原因^[26]。后来的研究发现,不同水团的物理混合或者异养活动的加强也可能引起这种现象的发生^[29, 30]。一般来说,河流径流的 pH 值是河口区 pH 值时空变化的主要控制因素,但藻类光合作用强烈时也会对其产生显著影响。水体盐度和温度的时空分布常用来指示河口区不同性质水团间的混合过程。本次调查结果显示,pH 值和盐度、温度之间都没有显著相关关系,这在一定程度上说明调查期间该海域不同水团间的相互作用对 pH 的空间变化影响不大(表 1)。

TA 和表层水的盐度和温度有密切关系,这说明不同水团间的相互作用是影响其空间分布重要因素之一(表 1)。这和以前的研究结果是一致的,Brockecker 等^[31]的研究表明,碱度的分布主要由能够引起

盐度变化的过程所控制。虽然这一结论是从对开阔大洋表层海水的研究而得来,但本研究中 TA 和盐度的关系基本上也体现了这一点。

相关系数还显示,不同水团间的相互作用对 DIC 浓度的空间变化有一定影响,但不如对 TA 的影响强;对 CO_3^{2-} 和 $\text{CO}_2(\text{T})$ 浓度的空间变化有显著影响;对 HCO_3^- 浓度的空间变化影响较弱(表 1)。

表 1 CO_2 体系各相关参数与盐度、温度和营养盐之间的相关系数

Tab. 1 The correlation coefficients between related parameters of CO_2 system, salinity and temperature

项目	pH	TA	DIC	HCO_3^-	CO_3^{2-}	$\text{CO}_2(\text{T})$
盐度	ns	0.777***	0.479**	ns	0.807***	-0.586***
温度	ns	-0.448**	ns	ns	-0.463**	0.391*

ns: $P > 0.05$; *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ***: $P < 0.001$

本次调查区域主要涉及长江口最大浑浊带和杭州湾,这两个海区都以水体中悬浮颗粒物浓度高为特征。长江口拦门沙地区表层悬浮体质量浓度变化范围在 100~700 mg/L,底层高达 1 000~8 000 mg/L^[23]。杭州湾为典型的喇叭形强潮河口湾,海底地形平坦,平均水深 8~10 m,湾内潮差大,潮流急,且具有涌潮,潮流的携沙能力很强,夏季小潮汛水体层化明显,表层水体悬浮体质量浓度在 100 mg/L 以内,大潮汛流速快,悬浮体浓度明显增加,表层均值高达 2 800 mg/L^[32]。如此高的悬浮体浓度使这两个区域水体的透明度很低,极大地限制了浮游植物的初级生产力。长江口最大浑浊带附近的海域秋季浮游植物初级生产力(以 C 计,下同)基本上 < 100 mg/(m²·d)^[33]。长江径流出口门之后,在向南扩展的过程中次级锋面进入杭州湾,在湾口存在一条东北-西南方向的强盐度水平梯度带,即长江冲淡水次级锋面,该锋面附近海域为初级生产力高值区,但即使是该区在浮游植物光合作用强烈的夏季初级生产力平均值也仅有 150 mg/(m²·d)左右^[32]。通过与海-气间 CO_2 通量等值线分布图^[34] 比较可以发现,即便是如此低的初级生产力,仍与调查区东部区域的海-气间 CO_2 通量相当,因此会对其产生显著影响。通过以上分析可以看出,浮游植物的光合作用必然对 pH、TA 及 CO_2 体系各分量的空间分布格局产生不同程度的影响,尤其是像 $\text{CO}_2(\text{T})$ 这样浓度较低的组分。

3 结论

2004 年 8 月长江口、杭州湾附近海域表层水中 pH 值和 CO_3^{2-} 浓度总体上呈西高东低的分布特征, $\text{CO}_2(\text{T})$ 则相反;杭州湾湾口北部海域为 TA、DIC 和 HCO_3^- 浓度的高值区。 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 和 $\text{CO}_2(\text{T})$ 占溶解无机碳浓度百分比分别为 80.33%~97.75%、0.61%~19.42%和 0.25%~2.34%,平均值分别为 $(93.28 \pm 3.68)\%$ 、 $(5.58 \pm 4.03)\%$ 和 $(1.14 \pm 0.43)\%$ 。pH 值、TA 和 DIC 的组成和分布是水文、生物等因素综合作用的结果。

自然条件下,河流径流量呈现出一定的季节变化特征,河口系统的生物地球化学特征是对径流量季节变化长期适应的结果。河流上游大型水库的修建会使河流故有的径流量、水质等发生变化,对河口的能流物流流动等产生巨大影响。长江三峡工程是目前世界上已建成和在建的最大的水利工程,已于 2003 年 6 月开始蓄水,该工程投入使用之后,长江的年输沙量将会大大降低,径流量的季节分配也会发生变化,这些必然会改变长江口原有的生态系统功能,从而也会对 pH 值、TA 和 DIC 的组成与分布产生某些影响,因此有必要长时期对该海域的 DIC 及相关参数的变化情况进行监测。

参考文献:

- [1] Meybeck M. Riverine transport of atmospheric carbon: sources, global typology and budget[J]. **Water Air and Soil Pollution**, 1993, 70:443-463.
- [2] Amiotte Suchet P, Probst J L. A global model for present-day atmospheric/soil CO_2 consumption by chemical erosion of continental rocks (GEM- CO_2) [J]. **Tellus**, 1995, 47B(2):273-280.
- [3] Ludwig W, Probst J L, Kempe S. Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion[J]. **Global Biogeochemical Cycles**, 1996, 10:23-41.
- [4] Abril B, Etcheber H, Borges A V, et al. Excess atmospheric carbon dioxide transported by rivers into the Scheldt estuary[J]. **Earth and Planetary Sciences**, 2000, 330:761-768.
- [5] Whitfield M, Turner D R. The carbon dioxide system in estuaries - An inorganic perspective[J]. **The Science of the Total Environment**, 1986, 49:235-255.
- [6] Hernández-Ayón J M, Belli S L, Zrino A. pH, alkalinity

- ity and total CO₂ in coastal seawater by potentiometric titration with a difference derivative readout [J]. **Analytica Chimica Acta**, 1999, 394:101-108.
- [7] Millero F J. Thermodynamics of the carbon dioxide system in the oceans [J]. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 1995, 59:661-677.
- [8] Prieto F J M, Millero F J. The values of $pK_1 + pK_2$ for the dissociation of carbonic acid in seawater [J]. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 2002, 66: 2 529-2 540.
- [9] Weiss R F. Carbon dioxide in water and seawater: the solubility of a nonideal gas [J]. **Marine Chemistry**, 1974, 2:203-215.
- [10] Millero F J. The thermodynamics of seawater at one atmosphere [J]. **Ocean Science and Engineering**, 1982, 7:403-460.
- [11] Wanninkhof R, Lewis E, Feely R A, *et al.* The optimal carbonate dissociation constants for determining surface water p(CO₂) from alkalinity and total inorganic carbon [J]. **Marine Chemistry**, 1999, 65:291-301.
- [12] Frankignoulle M, Borges A. Direct and indirect p(CO₂) measurements in a wide range of p(CO₂) and salinity values (the Scheldt Estuary) [J]. **Aquatic Geochemistry**, 2001, 7:267-273.
- [13] Mehrbach C, Culbertson C H, Hawley J E, *et al.* Measurement of the apparent dissociation constants of carbonic acid in seawater at atmospheric pressure [J]. **Limnology and Oceanography**, 1973, 18:897-907.
- [14] Owen B B, King E J. The effect of sodium chloride upon the ionization of boric acid at various temperatures [J]. **Journal of the American Chemical Society**, 1943, 65:1 612-1 620.
- [15] Lyman J. Buffer mechanisms of seawater [D]. Los Angeles: University of California, 1956.
- [16] Hansson I. A new set of acidity constants for carbonic acid and boric acid in sea water [J]. **Deep-Sea Research**, 1973, 20:461-478.
- [17] Byrne R H J, Kester D R. Inorganic speciation of boron in seawater [J]. **Journal of Marine Research**, 1974, 32:119-127.
- [18] Hershey J P, Fernandez M, Milne P J, *et al.* The ionization of boric acid in NaCl, Na-Ca-Cl and Na-Mg-Cl solutions at 25 [J]. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 1986, 50:143-148.
- [19] Dickson A G. Thermodynamics of the dissociation of boric acid in synthetic seawater from 273. 15 to 318. 15 K [J]. **Deep-Sea Research**, 1990, 37:755-766.
- [20] Roy R N, Roy L N, Vogel K M, *et al.* Thermodynamics of the dissociation of boric acid in seawater [J]. **Marine Chemistry**, 1993, 44:243-248.
- [21] Sanyal A, Nugent M, Reeder R J, *et al.* Seawater pH control on the boron isotopic composition of calcite: evidence from inorganic calcite precipitation experiments [J]. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 2000, 64:1 551-1 555.
- [22] Lee K, Millero F J, Wanninkhof R. The carbon dioxide system in the Atlantic Ocean [J]. **Journal of Geophysical Research**, 1997, 102(C7):15 693-15 708.
- [23] 沈焕庭. 长江河口物质通量 [M]. 北京:海洋出版社, 2001. 1-176.
- [24] Tipping E, Lofts S, Lawlor A. Modelling the chemical speciation of trace metals in the surface waters of the Humber system [J]. **The Science of the Total Environment**, 1998, 210/211:63-77.
- [25] Abril G, Frankignoulle M. Nitrogen-alkalinity interaction in the highly polluted Scheldt basin (Belgium) [J]. **Water Research**, 2001, 35:844-850.
- [26] Mook W G, Koene B K S. Chemistry of dissolved inorganic carbon in estuarine and coastal brackish waters [J]. **Estuarine Coastal Marine Science**, 1975, 3:325-336.
- [27] Wong G T F. Alkalinity and pH in the southern Chesapeake Bay and the James river estuary [J]. **Limnology and Oceanography**, 1979, 24:970-977.
- [28] Howland R J M, Tappin A D, Uncles R J, *et al.* Distributions and seasonal variability of pH and alkalinity in the Tweed Estuary, UK [J]. **The Science of the Total Environment**, 2000, 251/252:125-138.
- [29] Morris A W, Mantoura R F C, Bale A J, *et al.* Very low salinity regions of estuaries: important sites for chemical and biological reactions [J]. **Nature**, 1978, 274:678-680.
- [30] De Mora S J. The distribution of alkalinity and pH in the Fraser Estuary [J]. **Environmental Technology Letter**, 1983, 4:35-46.
- [31] Broecker W S, Peng T H. Tracers in the Sea [M]. New York: Eldigio Press, 1982. 1-690.
- [32] 刘子琳, 宁修仁. 杭州湾锋区浮游植物现存量 and 初级生产力 [J]. 东海海洋, 1994, 12(4):58-66.
- [33] 刘子琳, 宁修仁, 蔡昱明. 杭州湾-舟山渔场秋季浮游植物现存量 and 初级生产力 [J]. 海洋学报, 2001, 23(2):93-99.
- [34] 高学鲁. 中国近海典型海域溶解无机碳系统的生物地球化学特征 [D]. 青岛:中国科学院海洋研究所, 2005.

Dissolved inorganic carbon in surface waters around the Changjiang Estuary and Hangzhou Bay in summer

GAO Xue-lu^{1,2}, SONG Jin-ming¹, LI Xue-gang¹, LI Ning¹, YUAN Huan-mao¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecology & Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Tropical Marine Environmental Dynamics, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Received: Apr. , 12, 2006

Key words: dissolved inorganic carbon; spatial distribution; controlling factors; Changjiang Estuary and Hangzhou Bay adjacent areas

Abstract: Based on the data collected from the area around the Changjiang Estuary and Hangzhou Bay during the field observation carried out on August 2004, concentration, distribution and composition of dissolved inorganic carbon and two related parameters, namely pH and total alkalinity, in their surface waters were examined in this paper. On the whole, the concentration distributions of DIC, HCO_3^- and $\text{CO}_2(\text{T})$ decreased latitudinally from west to east, while those of pH and CO_3^{2-} were reverse. HCO_3^- accounted for 80.33% to 97.75% of the DIC with an average of $(93.28 \pm 3.68)\%$; CO_3^{2-} accounted for 0.61% to 19.42% of the DIC with an average of $(5.58 \pm 4.03)\%$; $\text{CO}_2(\text{T})$ accounted for 0.25% to 2.34% of the DIC with an average of $(1.14 \pm 0.43)\%$. The integration of many factors including the interaction among different water masses, phytoplankton activities and so on influenced on the spatial distribution characteristics of these parameters, while the degree of influence on these parameters varied greatly from one to another for a certain influence factor.

(本文编辑:谭雪静)