

大亚湾核电站运转前和运转后大鹏澳海区的二氧化碳体系*

彭云辉 王肇鼎 朱卓洪 潘明祥

(中国科学院南海海洋研究所 广州 510301)

提要 根据大亚湾核电站运转前和运转后对大鹏澳海区春、夏、秋、冬 4 季的现场调查,通过测定 pH 和碱度计算了大鹏澳海区二氧化碳体系各组分浓度,并比较了核电站运转前和运转后的差别。对核电站运转前和运转后 ΣCO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} 和 CO_2 与水温、盐度以及与 DO 和 Chl a 的相互关系作了讨论和比较。

关键词 大亚湾,核电站,二氧化碳体系

二氧化碳体系是海洋中重要而较为复杂的缓冲体系,它对大气-海洋界面交换,海水化学和海洋沉积等过程起着重要的作用。研究核电站运转前和运转后大鹏澳海区二氧化碳体系的变化规律,对进一步研

* 中国科学院“九五”重大项目 KZ951-AI-301 和中国科学院“九五”特别支持项目 KZ95 F04 号。

收稿日期:2000-03-20;修回日期:2000-08-05

究该海区的海水化学和海洋沉积等过程具有重要意义,并可为该海区水产养殖的持续利用和环境保护提供科学依据。

研究水体二氧化碳体系现有两种方法,一是直接测定水样的总二氧化碳与溶解 CO_2 ,二是通过测定水样的 pH、碱度以及水温和盐度进行间接计算。第二种方法所用参数较易获得,为不少学者所采用。本文根据大亚湾核电站运转前(1991年)和运转后(1994~1995年)对大鵬澳海区春、夏、秋、冬4个季节的现场调查,运用后一种方法描述大亚湾大鵬澳海区二氧化碳各组分的变化及其与环境因子的关系。

1 实验方法

调查海区及站位布设如图1。

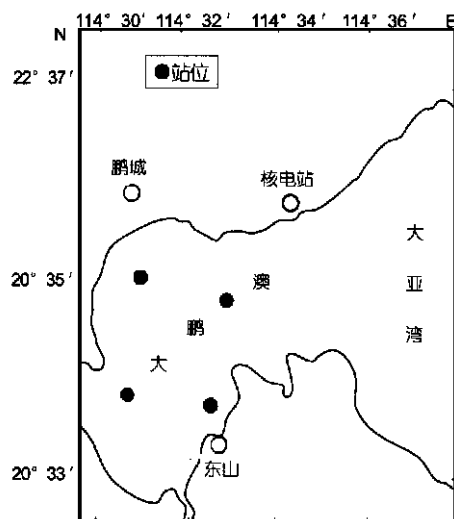


图1 调查海区及站位

Fig.1 Investigated sea area and setting of stations

调查分春、夏、秋、冬4个季节进行。核电站运转前的时间分别为1991年1月(冬),4月(春),7月(夏)和10月(秋);核电站运转后的时间分别为1994年7月(夏)和10月(秋)及1995年1月(冬)和4月(春)。在各站位用颠倒采水器或有机玻璃采水器采集表层、底层水样,除水温和pH在船上即时测定外,其余样品送回岸上实验室,用pH计电测法测定碱度,选用HD2型或SYA2-1型海水电导盐度计测定盐度,尔后按 $S=1.85655 C_G$ 式换算氯度 (C_G 为 Cl^- 浓度)^[1],其余项目按《海洋调查规范》或《海洋监测规范》方法测定。

根据pH、碱度、海水温度和盐度计算海水中二氧化碳各组分浓度。

2 结果与讨论

2.1 计算结果

通过计算可获得核电站运转前和运转后大鵬澳海区水中各季节总二氧化碳 (ΣCO_2) 及其各组分碳酸氢根 (HCO_3^-)、碳酸根 (CO_3^{2-}) 和溶解二氧化碳 (CO_2) 的浓度,各组分占 ΣCO_2 的百分比。

核电站运转前和运转后 ΣCO_2 及其组分计算值(表、底平均)的季节变化示于图2。

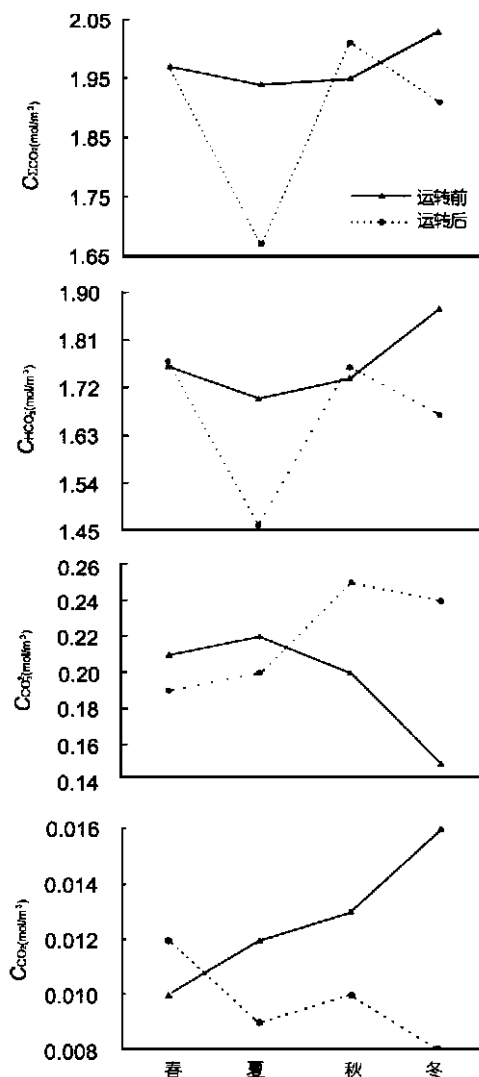


图2 二氧化碳各组分的季节变化

Fig.2 Seasonal variation of each ingredient of CO_2 system

二氧化碳各组分的季节变化分述如下:

ΣCO_2 ——最高值分别出现在冬季(2.03 mol/m³, 运转前)和秋季(2.01 mol/m³, 运转后);最低值出现在

夏季,分别为 1.94 mol/m³(运转前)和 1.67 mol/m³(运转后)。HCO⁻₃——其季节变化与 ΣCO₂相似,最高值分别出现在冬季(1.87 mol/m³,运转前)和春季(1.77 mol/m³,运转后);最低值均出现在夏季,分别为 1.70 mol/m³(运转前)和 1.46 mol/m³(运转后)。

CO²⁻₃——其浓度春、夏季节运转前高于运转后,秋、冬季节则运转后高于运转前。最高值分别出现在夏季(0.22 mol/m³,运转前)和秋季(0.25 mol/m³,运转后);最低值分别出现在冬季(0.15 mol/m³,运转前)和春季(0.19 mol/m³,运转后)。

CO₂——其浓度除春季运转后高于运转前外,其余季节均是运转前高于运转后,最高值分别出现在冬季(0.016 mol/m³,运转前)和春季(0.012 mol/m³,运转后);最低值分别出现在春季(0.010 mol/m³,运转前)和冬季(0.008 mol/m³,运转后)。

各组分占 ΣCO₂ 百分比的季节变化示于图 3。

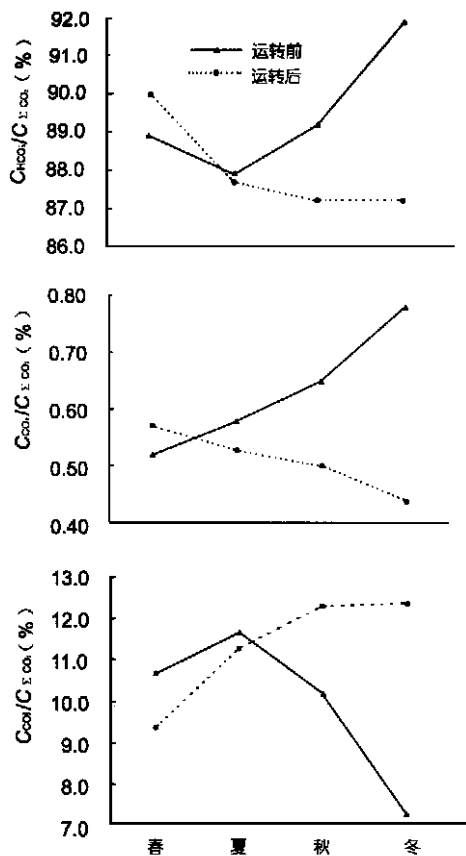


图 3 各组分占 ΣCO₂ 百分比的季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of the ratio of each ingredient to ΣCO₂

从图 3 可见,无论核电站运转前运转后 HCO⁻₃ 和 CO₂ 占 ΣCO₂ 百分比的季节变化是相似的,除春季运

转后高于运转前外,其余季节均是运转前高于运转后。CO²⁻₃ 占 ΣCO₂ 百分比的季节变化与 CO²⁻₃ 浓度的季节变化相一致,均是春、夏季节运转前高于运转后,秋、冬季节运转后高于运转前。

从图 3 还可看出,无论核电站运转前或是运转后,HCO⁻₃ 占 ΣCO₂ 百分比均在 87% 以上,说明在大鹏澳海水的 pH 条件下,碳酸氢根是碳酸离解平衡中最稳定形态。核电站运转后,CO₂ 占 ΣCO₂ 百分比有所下降,而 CO²⁻₃ 占 ΣCO₂ 百分比有所上升。无论核电站运转前或运转后,二氧化碳各组分占 ΣCO₂ 百分比由大至小排列顺序为 HCO⁻₃ > CO²⁻₃ > CO₂, 与大亚湾^[2]及胶州湾^[3]相一致。大鹏澳海区水中二氧化碳各组分占 ΣCO₂ 百分比随季节变化会有小波动,HCO⁻₃ 占 ΣCO₂ 百分比最低值,运转前出现在夏季(87.9%),年变化达 4%;运转后出现在冬、春季(87.2%),年变化为 2.8%。CO²⁻₃ 占 ΣCO₂ 百分比的最大值,运转前出现在夏季(11.7%),年变化为 4.2%;运转后出现在冬季(12.4%),年变化为 3%。

2.2 二氧化碳体系各组分与水温 and 盐度间的相互关系

核电站运转前和运转后春、夏、秋、冬四季二氧化碳体系各组分与水温 and 盐度间的相关系数列于表 1。

从表 1 可看出,无论核电站运转前或运转后,春、秋季节二氧化碳体系各组分与水温 and 盐度均不相关,且运转前 ΣCO₂, HCO⁻₃ 和 CO₂ 与水温呈负相关趋势,与盐度呈正相关趋势,CO²⁻₃ 与水温呈正相关趋势,与盐度呈负相关趋势;运转后,春季 ΣCO₂, HCO⁻₃ 和 CO²⁻₃ 与水温呈正相关趋势,CO₂ 与水温呈负相关趋势,且相关显著性有所提高。各组分与盐度的相关性,除 CO₂ 与运转前完全相反呈负相关趋势外,其余呈正相关趋势。秋季 ΣCO₂, HCO⁻₃ 和 CO₂ 与水温呈正相关趋势,与运转前相反,且相关程度显著增大;与盐度呈负相关趋势,亦与运转前相反,但是 ΣCO₂ 和 HCO⁻₃ 与盐度的相关程度明显降低。冬季各组分除 CO²⁻₃ 在运转前与盐度显著相关 (a = 0.05) 外,其余相关性不显著。夏季各组分与水温 and 盐度的相关显著性水平,无论运转前或运转后,均高于其他季节。水温与各组分间的相关性分述如下:与 ΣCO₂ 运转前高度显著负相关 (a = 0.05),运转后仅呈负相关趋势;与 HCO⁻₃ 运转前高度显著负相关 (a = 0.01),运转后显著负相关 (a = 0.05);与 CO₂ 运转前和运转后均呈显著负相关;与 CO²⁻₃ 运转前和运转后均呈显著正相关。盐度与各组分间的相关性分述如下:与 ΣCO₂ 运转前后均呈显著正相关;与 HCO⁻₃ 运转前呈正相关趋势,运转后则显著正相关;与 CO₂ 运转前显著正相关,运转后呈正相关趋势;与 CO²⁻₃ 运转前后均呈负

表 1 二氧化碳体系各组分与水温 and 盐度的相关系数

Tab.1 Correlative factors of each ingredient of CO₂ system with water temperature and salinity

季节	项目	时间(年-月)	ΣCO ₂	HCO ₃ ⁻	CO ₂	CO ₃ ²⁻
春	水温	1991-04	-0.193	-0.243	-0.385	0.066
		1995-04	0.324	0.216	-0.447	0.518
	盐度	1991-04	0.082	0.054	0.131	-0.196
		1995-04	0.090	0.003	-0.516	0.354
夏	水温	1991-07	-0.920 * *	-0.903 * *	-0.800 *	0.789 *
		1994-07	-0.496	-0.724 *	-0.833 *	0.700 *
	盐度	1991-07	0.708 *	0.703	0.747 *	-0.624
		1994-07	0.789 *	0.795 *	0.511	-0.146
秋	水温	1991-10	-0.214	-0.394	-0.319	0.429
		1994-10	0.558	0.629	0.508	0.040
	盐度	1991-10	0.665	0.514	0.151	0.092
		1994-10	-0.236	-0.272	-0.446	0.215
冬	水温	1991-01	0.518	0.500	0.301	0.014
		1995-01	-0.098	0.095	0.699	0.005
	盐度	1991-01	0.679	0.605	-0.006	0.717 *
		1995-01	-0.488	-0.318	0.090	0.427

注: * 为显著相关 α=0.05; * * 为高度显著相关 α=0.01。

表 2 二氧化碳体系各组分与 DO 和 Chl a 的相关系数

Tab.2 Correlative factors of each ingredient of CO₂ system with DO and Chl a

季节	项目	时间(年-月)	ΣCO ₂	HCO ₃ ⁻	CO ₂	CO ₃ ²⁻
春	DO	1991-04	-0.230	-0.261	-0.415	0.210
		1995-04	-0.242	-0.240	-0.439	0.087
	Chl a	1991-04	/	/	/	/
		1995-04	0.353	0.343	-0.209	0.557
夏	DO	1991-07	-0.864 * *	-0.924 * *	-0.976 * *	0.919 * *
		1994-07	-0.603	-0.842 * *	-0.878 * *	0.715 *
	Chl a	1991-07	0.637	0.730	0.830 *	-0.909 * *
		1994-07	-0.266	0.051	0.331	-0.585
秋	DO	1991-10	0.013	0.126	0.095	-0.171
		1994-10	-0.428	-0.386	-0.358	-0.162
	Chl a	1991-10	0.806 *	0.763 *	0.561	-0.322
		1994-10	0.445	0.263	0.154	0.103
冬	DO	1991-01	-0.712 *	-0.694	-0.391	-0.261
		1995-01	-0.707 *	-0.841 * *	-0.861 * *	0.657
	Chl a	1991-01	/	/	/	/
		1995-01	>0.005	-0.043	-0.102	0.346

注: * 为显著相关 α=0.05 * * 为高度显著相关 α=0.01。

运转后: C_{HCO₃⁻} = 1.64 - 0.039 C_{DO} (n = 8, r = 0.842) C_{CO₂} = 0.014 - 0.001 1 C_{DO} (n = 8, r = - 0.878)

相关趋势。

上述结果表明,无论核电站运转前或运转后,水温及海水混合作用在春、秋、冬季节对大鹏澳海区二氧化碳体系各组分的影响不显著;而夏季水温对二氧化碳体系各组分的影响运转前强于运转后。水温对各组分的影响很大程度上是通过生物作用来体现的,可以预见,各组分与 DO 和 Chl a 的相关性应较为显著。海水混合作用(见 2.3 节)对 ΣCO₂ 和 HCO₃⁻ 的影响运转后强于运转前,而对 CO₂ 和 CO₃²⁻ 的影响则运转前强于运转后。

2.3 二氧化碳体系各组分与 DO 和 Chl a 的相关关系

核电站运转前或运转后春、夏、秋、冬四季二氧化碳体系各组分与 DO 和 Chl a 的相关系数列于表 2。

从表 2 可看出,春、秋季节,二氧化碳各组分与 DO 在核电站运转前或运转后均不相关。冬季,运转前,除 ΣCO₂ 与 DO 显著负相关外,其余组分不相关;运转后,DO 与 ΣCO₂ 显著负相关,与 HCO₃⁻ 和 CO₂ 高度显著负相关,与 CO₃²⁻ 呈正相关趋势。夏季,运转前,DO 除 CO₃²⁻ 高度显著正相关外,与其余组分高度显著负相关;运转后,DO 与 ΣCO₂ 不相关,与 HCO₃⁻ 和 CO₂ 高度显著负相关,与 CO₃²⁻ 显著正相关。

图 4 为运转前和运转后夏季 DO 与 HCO₃⁻ 和 CO₂ 的相互关系,回归方程如下:

$$\begin{aligned} \text{运转前: } C_{\text{HCO}_3^-} &= 2.10 - 0.092 C_{\text{DO}} (n = 8, r = 0.924) \\ C_{\text{CO}_2} &= 0.022 - 0.002 \\ &4 C_{\text{DO}} (n = 8, r = - 0.976) \end{aligned}$$

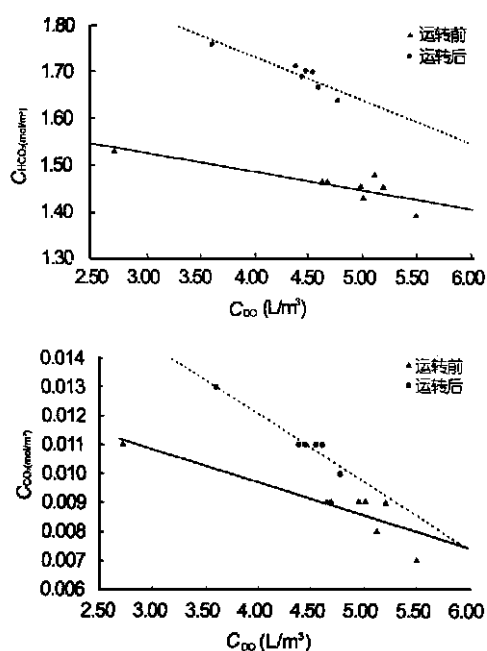


图 4 夏季 DO 与 HCO₃⁻ 和 CO₂ 的关系

Fig. 4 Relationship between DO and HCO₃⁻, DO and CO₂ in Summer

从相关系数可看出, 二氧化碳各组分与 DO 的相关显著性, 运转后比运转前有所降低, 因该海区大气和海水间的交换以及二氧化碳——碳酸盐系统平衡的影响因年度不同而有所差异。

二氧化碳各组分与 Chl a 的相关性(仅讨论夏、秋季), 夏季, 运转前, Chl a 与 ΣCO₂ 不相关, 与 HCO₃⁻

和 CO₂ 显著正相关 ($\alpha = 0.05$), 与 CO₃²⁻ 高度显著负相关; 运转后, Chl a 与各组分均不相关。秋季, 运转前, Chl a 与 ΣCO₂ 和 HCO₃⁻ 显著相关, 与 CO₂ 和 CO₃²⁻ 相关性不显著; 运转后, 各组分与 Chl a 均不相关。表明其相关显著性运转后有明显降低。

上述结果说明, 以 DO 和 Chl a 表征的生物活动对大鹏澳海区二氧化碳各组分的影响, 随季节变化而有所不同。春季, 无论核电站运转前或运转后, 其影响不明显; 夏、秋季节, 其影响在运转前较运转后明显; 冬季其影响则在运转后较运转前明显。从表 2 可看出, 除运转前秋季外, 其余季节无论核电站运转前或运转后, CO₂ 与 DO 均呈负相关趋势, 而冬季对比明显, 运转前二者仅呈负相关趋势, 运转后二者高度显著负相关 ($\alpha = 0.01$)。由于核电站温排水的影响, 冬季大鹏澳海区水温运转后(平均为 33.22 °C) 明显高于运转前(平均为 32.32 °C), 水温高有利于浮游植物进行光合作用, 光合作用越强, 固定 CO₂ 越多, 释放出氧气越多; 而有机物矿化生成 CO₂ 时又消耗 DO, 矿化生成 CO₂ 越多, 则水中 DO 就越少, 因此二者高度显著负相关, 说明大鹏澳海水中溶解二氧化碳浓度与生物活动密切相关, 生物活动在支配海水二氧化碳——碳酸盐体系平衡过程中起着重要作用。

参考文献

- 1 韩舞鹰等. 海水化学要素调查手册. 北京: 海洋出版社, 1986. 98 ~ 99
- 2 韩舞鹰等. 大亚湾和珠江口的碳循环. 北京: 科学出版社, 1991. 19 ~ 22
- 3 沈志良等. 胶州湾海水中的二氧化碳体系. 见: 董金海、焦念志主编. 胶州湾生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1995. 38 ~ 45

CARBON DIOXIDE SYSTEM OF DAPENG'AO SEA WATER BEFORE AND AFTER THE OPERATION OF NUCLEAR POWER STATION IN DAYA BAY

PENG Yun-hui WANG Zhao-ding ZHU Zhuo-hong PAN Ming-xiang
(South China Sea Institute of Oceanology, CAS, Guangzhou 510301)

Received: Mar. 20, 2000

Key Words: Daya Bay, Nuclear power station, Carbon dioxide system

Abstract

According to on-the-spot investigation carried out in Spring, Summer, Autumn and Winter at Dapeng'ao before and after the operation of Nuclear Power Station in Daya Bay (DNPS), we calculated the content of each ingredient of carbon dioxide system (CO₂ system) in Dapeng'ao seawater through determination of pH and alkalinity. We also compared the difference of the system before and after the operation of DNPS. We also discussed and compared the relationship between ΣCO₂, HCO₃⁻, CO₃²⁻, CO₂ and water temperature, salinity, DO, Chl a separately before and after the operation of DNPS.

(本文编辑: 张培新)