

# 沿 $22^{\circ}\sim 18^{\circ}\text{N}$ 航线上 $\text{CO}_2$ 对 ENSO 和 La Nina 的响应的季节变化

马黎明 乔然

(国家海洋环境预报中心, 北京)

## 摘 要

根据 1986 年 11 月~1997 年 12 月期间在  $114^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$ , 沿  $22^{\circ}\sim 18^{\circ}\text{N}$  航线各航次所测量的大气和表层海水中的  $\text{CO}_2$  分压和总  $\text{CO}_2$  浓度的变化, 分析海气分压差 ( $\Delta\text{PCO}_2$ ) 和溶解的总  $\text{CO}_2$  浓度 ( $\text{TCO}_2$ ) 在不同季节对海气异常事件的响应。结果表明, 无论春、夏、秋、冬, 在 ENSO 暴发期和成熟期  $\text{TCO}_2$  为高值,  $\Delta\text{PCO}_2$  为正值; 在 La Nina 时  $\text{TCO}_2$  为低值,  $\Delta\text{PCO}_2$  为负值; 在 ENSO 暴发前、后, 海-气  $\text{CO}_2$  分压呈近平衡状态;  $\text{PCO}_2$  (air) 和  $\text{PCO}_2$  (sw) 在各季节对 ENSO 的响应一致。在 ENSO 成熟期为高值, 在 ENSO 暴发前和暴发期为低值; 海气分压差与  $\text{PCO}_2$  (sw) 一致变化, 在 ENSO 期间达最大值。海气  $\text{CO}_2$  输送通量 (Flux) 以秋季 ENSO 期间达最大, 而在 La Nina 时减小, 在 ENSO 暴发前和结束后成为相反向, 即从大气到海洋的  $\text{CO}_2$  弱输送。本文根据 1986 年~93 年七个航次的平均值讨论了各季节  $\text{TCO}_2$  的距平对 ENSO 和 La Nina 的响应特征及最显著变化区段, 并依此推断出: 1995 年 10 月, 显示 1991~95 年 ENSO 结束, 1996 年 5 月出现 ENSO 暴发前的信号, 在 1997 年 7 月是夏季 ENSO 暴发期特征, 在 1997 年 12 月呈现强烈的 ENSO 特征。

**关键词:** 热带西太平洋西北部, ENSO, La Nina,  $\text{CO}_2$ 。

## 一、前 言

1986 年 11 月~1990 年 8 月在中美合作热带西太平洋海-气相互作用综合调查 (TOGA 试验) (观测范围为  $115^{\circ}\sim 165^{\circ}\text{E}$ ,  $20^{\circ}\text{N}\sim 10^{\circ}\text{S}$ ) 的结果表明, 若把从  $114^{\circ}\text{E}$ 、 $22^{\circ}\text{N}$  起至  $130^{\circ}\text{E}$ 、 $18^{\circ}\text{N}$  航线断面与沿  $130^{\circ}\text{E}$ , 从  $18^{\circ}\text{N}$  至  $8^{\circ}\text{N}$  航线断面结合统称为“热带西太平洋西北部”, 该海域的海水与大气的  $\text{CO}_2$  分压差 ( $\Delta\text{PCO}_2$ ) 及海水中总溶解的  $\text{CO}_2$  浓度 ( $\text{TCO}_2$ ) 对 ENSO 和 La Nina 事件有显著的响应, 其分布特征及距平变化与赤道中、东太平洋变化相反。(Fushimi, 1987; Inoue et al, 1994; Takahashi et al, 1990; Malin et al, 1993, 1995, 1997)。

\*本文于 1999 年 8 月收到。

作者简介: 马黎明 (1941-) 黑龙江人, 研究员。本文受国家自然科学基金资助 (NO. 49676282)。

由于该区是通过黑潮和台湾海峡流联系中国东海、南海和太平洋, 是对世界气候变化研究有重要作用而实地观测试验极贫乏的海域, 这一结果引起了我们的重视和很大兴趣, 期望通过进一步的反复、高精度地测量, 系统、反复地调查和验证, 了解海洋做为大气  $\text{CO}_2$  的源和汇的地理分布随时间变化及其影响因素, 了解它对主要大气和海洋环流扰动现象-ENSO 和 La Nina 事件的响应的规律和机制, 进一步利用这个规律去预测热带太平洋海-气异常事件的发生和发展。

在 1991 年 11 月世界大洋环流试验 (WOCE-1), 以及 1992 年 10 月至 1993 年 3 月的国际合作海气耦合相互作用试验 (TOGA COARE) 中我们发现, 本海区  $\text{TCO}_2$  和  $\Delta\text{PCO}_2$  的变化反映出与 TOGA 时期对 ENSO 事件的相同响应规律, 与观测海区的东部赤道区相反, 与海区的温盐、热含量、上层水团以及流系变化密切相关, 证明在 1990~93 年出现了罕见的持续的 ENSO 现象 (包括 1992 秋存在几个月的非 ENSO 时期) (Ma liming et al, 1993、1995、1997)。

1995 年 10 月、1996 年 5 月、1997 年 7 月和 1997 年 12 月“副热带环流调查”期间, 正处于, 1991~95 年 ENSO 事件结束, 1997~98 年 ENSO 事件发生时期, 我们又在该区进行了大气和海水  $\text{PCO}_2$  和  $\text{TCO}_2$  观测, 为了便于比较, 本文通过对 1986 年 11 月~1997 年 12 月, 沿  $22^\circ\sim 18^\circ\text{N}$  航线的结果分析, 验证以上规律, 着重讨论在不同季节时期, 大气和海水  $\text{PCO}_2$  和  $\text{TCO}_2$  对 ENSO 事件的响应的异同。

## 二、结果和讨论

### (一) 全断面平均值的变化

将 1986 年 11 月~1997 年 12 月各航次分为春 (3、4、5 月), 夏 (6、7、8 月), 秋 (9、10、11 月), 冬 (12、1、2 月) 四季, 与该季节的断面平均值进行比较, 按其所处的不同阶段分为 ENSO 暴发前 (或 La Nina 期)、ENSO 暴发期 (onset)、ENSO 期和刚结束期 (ENSO (A)), 可以看出沿  $18^\circ\sim 22^\circ\text{N}$  航线上表层水中  $\text{CO}_2$  对 ENSO 和 La Nina 的响应: (见图 1~2)

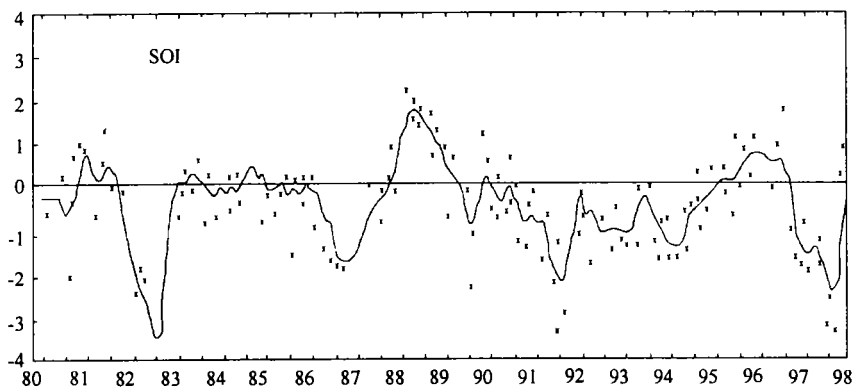


图 1 1980 ~ 98 年 SOI 指数 (<http://www.nnic.noaa.gov>)

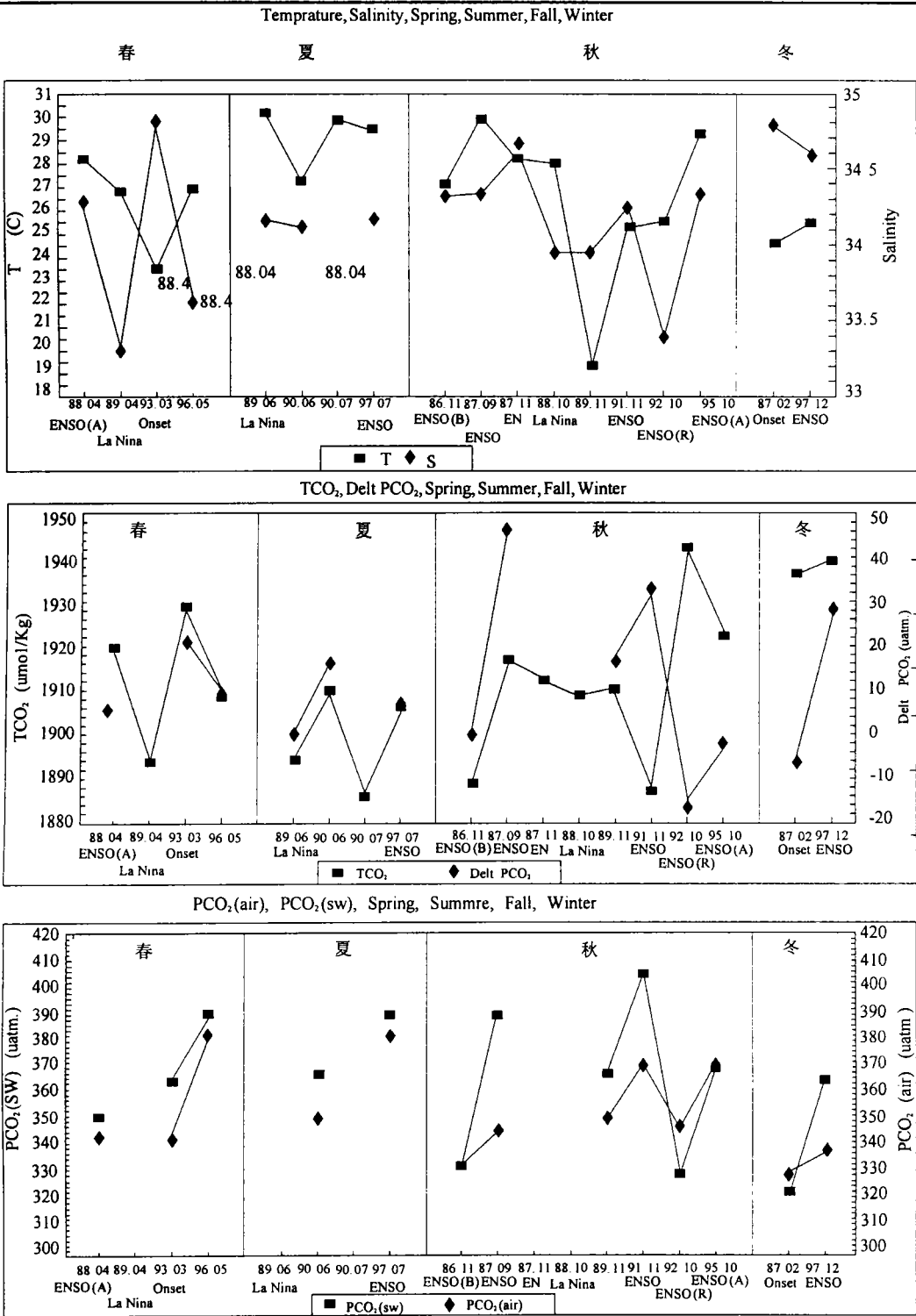


图 2 各季节，沿 22°~18°N 航线全断面表层水 CO<sub>2</sub> 参量的距平值

### 1. $\text{PCO}_2$ (air) 和 $\text{PCO}_2$ (sw)

$\text{PCO}_2$  (air) 和  $\text{PCO}_2$  (sw) 在各季节对 ENSO 的响应一致:

春季—在 ENSO 结束后 (1988 年 4 月) 和暴发期 (1993 年 3 月),  $\text{PCO}_2$  (sw) 在较低值范围内 (350~365uatm),  $\text{PCO}_2$  (air) 略低于  $\text{PCO}_2$  (sw); 而非 ENSO 期 (1996 年 5 月), 二者均为高值 (380~390uatm)。

夏季—ENSO 期间 (1997 年 7 月), 二者均为高值 (380~390uatm),  $\text{PCO}_2$  (sw) 值略高于  $\text{PCO}_2$  (air)。1990 年 6 月与 1993 年 3 月相近, 在低值范围。

秋季—ENSO 期间 (1987 年 9 月、1991 年 11 月),  $\text{PCO}_2$  (sw) 为高值 ( $> 390\text{uatm}$ ), 而 ENSO 暴发前 (1986 年 11 月、1992 年 10 月) 为低值 ( $< 340\text{uatm}$ ), 甚至低于  $\text{PCO}_2$  (air)。在 ENSO 结束后 (1995 年 10 月), 二者为较高平衡值 (370uatm), 与 La Nina 时期 (1989 年 11 月)  $\text{PCO}_2$  (sw) 值相近。 $\text{PCO}_2$  (air) 与  $\text{PCO}_2$  (sw) 变化一致, 但变化值小, 所以造成 ENSO 期间海-气分压差的正值加大, ENSO 暴发前和结束后为平衡或负值。

冬季—在 ENSO 暴发期 (1987 年 2 月),  $\text{PCO}_2$  (air) 和  $\text{PCO}_2$  (sw) 均为低值 (320~330uatm), ENSO 期间 (1997 年 12 月), 二者均升高且海-气分压差的正值加大。

总之,  $\text{PCO}_2$  (air) 和  $\text{PCO}_2$  (sw) 在 ENSO 成熟期为高值, 在 ENSO 暴发前和暴发期为低值, 由此可知, 当 ENSO 期间及其前后, 海洋中  $\text{PCO}_2$  (sw) 迅速增加或减少时, 空气中  $\text{PCO}_2$  (air) 也相应有较少量的增加或减少, 因而海气分压差与  $\text{PCO}_2$  (sw) 一致变化, 在 ENSO 期间达最大值。考虑到该区秋、冬季风速大于夏、春季, 显然以秋季 ENSO 期间的海气  $\text{CO}_2$  输送通量达最大, 而在 La Nina 时减小, 在 ENSO 暴发前和结束后成为相反方向, 即从大气到海洋的  $\text{CO}_2$  弱输送。

### 2. $\text{TCO}_2$ 和 $\Delta\text{PCO}_2$

$\text{TCO}_2$  和  $\Delta\text{PCO}_2$  在各季节对 ENSO 的响应一致:

春季—ENSO 暴发期 (onset) (1993 年 3 月) 和刚结束期 (ENSO (A)) (1988 年 4 月) 值高; La Nina 时 (1989 年 4 月) 值低,  $\text{TCO}_2$  从 1930  $\mu\text{mol/Kg}$  降到 1894  $\mu\text{mol/Kg}$ ,  $\Delta\text{PCO}_2$  从 +23uatm 变为 -7uatm, 即从海洋对大气  $\text{CO}_2$  源变为汇。表层水温 (T) 有相同的变化。

夏季—ENSO 期 (1997 年 7 月)  $\text{TCO}_2$  值高,  $\Delta\text{PCO}_2$  为正值; La Nina 时 (1989 年 6 月)  $\text{TCO}_2$  值低,  $\Delta\text{PCO}_2$  为负值。表层水温 (T) 有相反的变化。

秋季— $\Delta\text{PCO}_2$  在 ENSO 期 (1987 年 9 月、1991 年 11 月) 为高值 ( $> +34$ ), 即为强源, 在 La Nina 时 (1988 年 10 月) 为弱源或汇 ( $-10$ )。在 ENSO 暴发前 (1986 年 11 月、1992 年 10 月) 和刚结束期 (1995 年 10 月) 呈海-气平衡。

表层水温 (T) 与  $\Delta\text{PCO}_2$  有相同的高低变化。在 1986 年 11 月~89 年 11 月期间,  $\text{TCO}_2$  与  $\Delta\text{PCO}_2$ , T 的变化一致, 在 ENSO 期为高值 (1916  $\mu\text{mol/Kg}$ ), 在 La Nina 时期  $\text{TCO}_2$  与  $\Delta\text{PCO}_2$  为低值。但应指出, 在 1991 年 11 月的 ENSO 期间,  $\text{TCO}_2$  呈低值, 而 1992 年 10 月 (ENSO 暴发前) 呈高值, 与  $\Delta\text{PCO}_2$ , T 的变化相反。

冬季— $\text{TCO}_2$  在 ENSO 暴发期 (onset) (1987 年 2 月) 和 ENSO 期间 (1997 年 12 月) 均为高值, (1938~1940  $\mu\text{mol/Kg}$ ), 而  $\Delta\text{PCO}_2$  在 ENSO 暴发期为负值 ( $-7$ ), 在 ENSO 期间为较高的正值 ( $+29$ )。

总之, 无论春、夏、秋、冬, 在 ENSO 暴发期和成熟期  $\text{TCO}_2$  为高值,  $\Delta\text{PCO}_2$  为正值;

在 La Nina 时 TCO<sub>2</sub> 为低值, ΔPCO<sub>2</sub> 为负值; 在 ENSO 暴发前、后, 海-气呈近平衡状态。

### 3. 盐度平均值变化

春季—盐度(S)平均值与 TCO<sub>2</sub>、ΔPCO<sub>2</sub>、T 平均值的变化一致, 在 ENSO 期间和结束后为高值, 在 La Nina 和 ENSO 暴发前为低值。

夏季—盐度在各航次的值相差很小, 说明该季节盐度少变化, 不受 ENSO 和 La Nina 的影响。

秋季—与春季一样, 盐度在 ENSO 期间和结束后为高值, 在 La Nina 和 ENSO 暴发前为低值, 在 1989 年 11 月以前盐度比 TCO<sub>2</sub> 变化滞后, 1989 年 11 月以后与 TCO<sub>2</sub> 变化反相, 与 ΔPCO<sub>2</sub> 相同;

冬季—在 ENSO 暴发期和 ENSO 成熟期均为很高的值 (>34.5), 这一点与 TCO<sub>2</sub> 相同。

总之, 盐度在春、秋、冬季对 ENSO 有响应: 在 ENSO 暴发期和 ENSO 成熟期均为高值 (>34.3), 而在 ENSO 暴发前和 La Nina 时期为低值 (<34)。

## (二) 沿 18°~22°N 航线上各季节表层水中 TCO<sub>2</sub> 距平对 ENSO 和 La Nina 的响应

1986 年 11 月~93 年 3 月期间共 15 个往返航次, 含 ENSO 暴发前 2 个, 暴发期 2 个, ENSO 成熟期 3 个, 结束后 1 个, La Nina 时期 4 个, 非 ENSO 期 3 个, 做各站平均值, 并做各航次平均值和各季节沿航线距平分布图。(图 3)。

可以看出平均值分布为: 南海及黑潮区 (115°~123°E) 为低值 (1920 μmol/Kg); 表层大洋水影响区 (127°E, 129°~130°E) 也为低值 (1915 μmol/Kg); 114°E、123.5°E、126°E、128.5°E 附近) 为高值区 (1930 μmol/Kg), 表现出近岸和次表高值水的影响, 因而, 平均值呈现沿断面不同经度上的起伏。各季节 TCO<sub>2</sub> 距平分布为:

春季-ENSO 结束后 (1988 年 4 月) 为较小距平起伏 (±20), 但 128°E 有突出的正距平 (>80), 这个位置与秋季 ENSO 结束后 (1995 年 10 月) 的高距平位置一致。春季 ENSO 结束后 (1988 年 4 月) 与秋季的 ENSO 成熟期距平位置相似。但 128°E 有突出的正距平 (>80), 这个位置与秋季 ENSO 结束后 (1995 年 10 月) 的高距平位置一致。春季 ENSO 结束后 (1988 年 4 月) 与秋季的 ENSO 成熟期高距平位置相似。

春季 La Nina 期与秋季的 ENSO 暴发前期距平分布相似, 基本为负距平, 以 123°~126°E 最甚。非 ENSO 期 (1996 年 5 月, 在 1991~95 年 ENSO 和 1997~98 年 ENSO 之间) 在 122.5°~123°E 黑潮区为弱负距平, 115°E 和 124°E 为正距平, 高于 88.04, 显示出 ENSO 的影响。

夏季 ΔTCO<sub>2</sub> 值绝大部分位于负值区, 表明在 114°E 上, 夏季 ENSO 期 (1987 年 9 月) TCO<sub>2</sub> 距平值为高正值, 与冬季相反 (97 年 12 月, 93 年 3 月)。从 121°E 到 130°E, ΔTCO<sub>2</sub> 在 ENSO 和 La Nina 期的相反变化值较小, 在 -30 到 +20 之间, ENSO 期有显著低值区可以视为与冬季相似, 但峰值向东移动一个经度。

秋季 ENSO 暴发前 (1986 年 11 月、1992 年 10 月) 和 La Nina 时期 (1988 年 10 月、1988 年 11 月) 全断面为负距平, 以 114°~115°E, 123.5°E 较甚 (|ΔTCO<sub>2</sub>| > 30), 在 126°E 达 -60 之强。

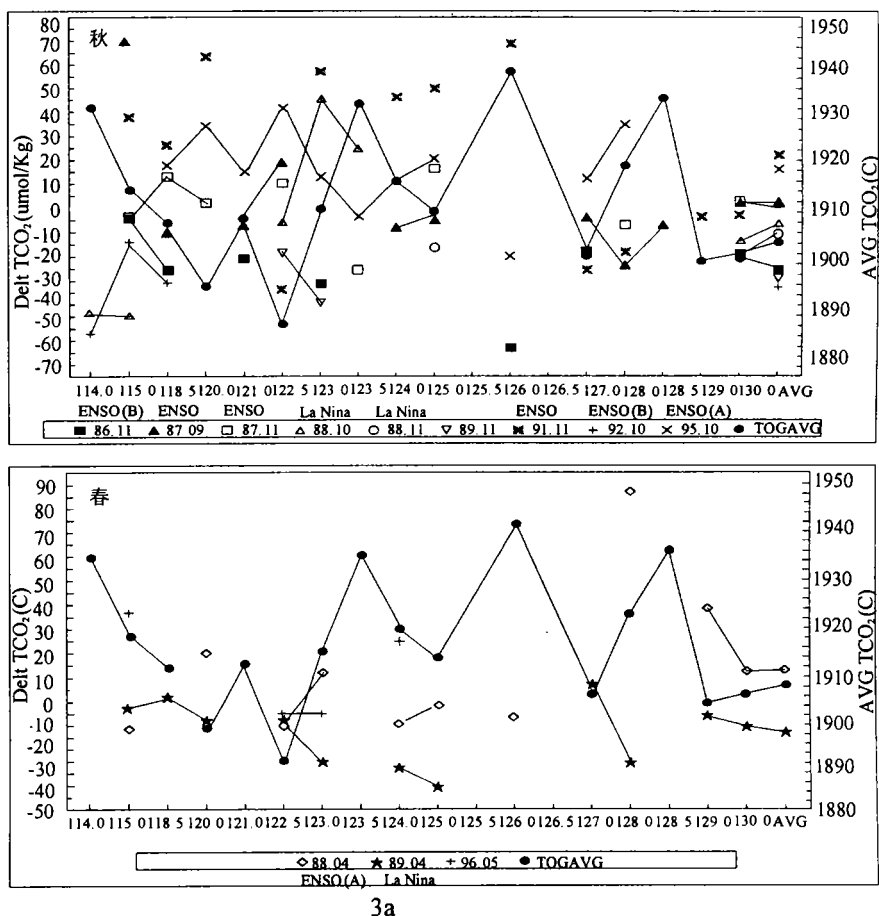


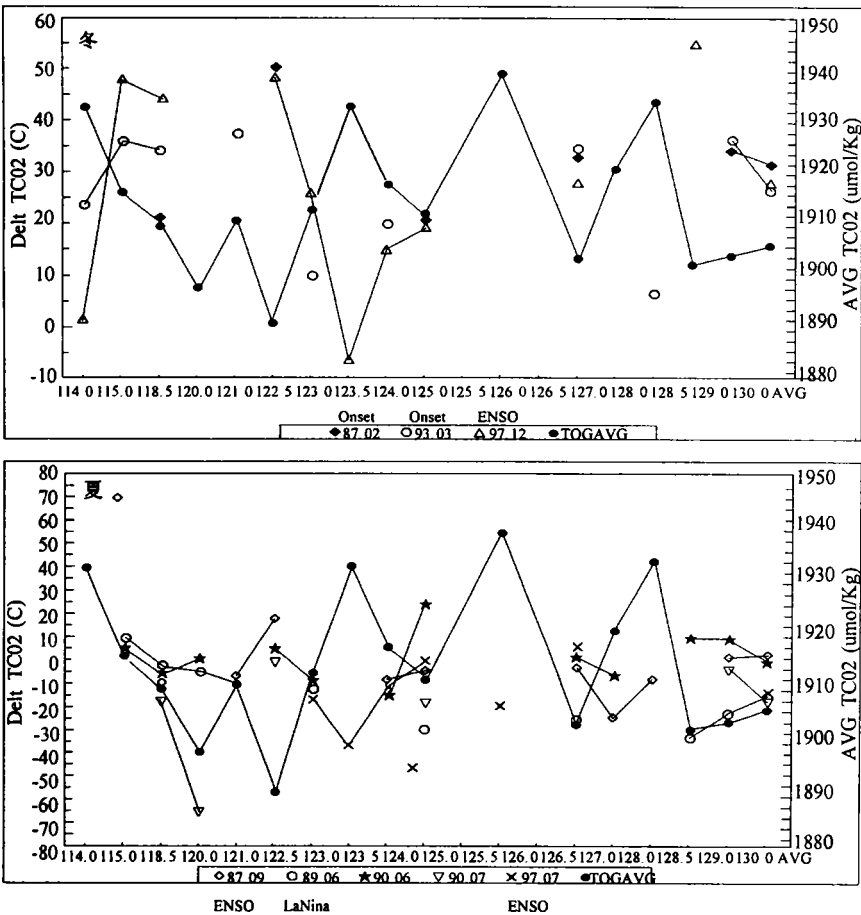
图3 各季节沿 18°-22°N 航线上表层水中 TCO<sub>2</sub> 距平分布

ENSO 成熟期 (1987 年 9 月、1987 年 11 月) 距平沿断面起伏很小 ( $\pm 20$ )。但在 114°E 有强正距平 ( $> +70$ )，123.5°E 有显著负距平。ENSO 结束后 (1987 年 11 月，1995 年 10 月) 正距平明显，起伏大，

此外，值得指出的是，1991 年 11 月的 TCO<sub>2</sub> 距平显示出在 115°~126°E 之间值较高且东-西均匀 ( $> +30$ )，与 1995 年 10 月相似，这表明 1991 年 11 月并不是处于 1991~95 年 ENSO 之初期，而是呈现 ENSO 结束后的 TCO<sub>2</sub> 距平特征。这符合我们在 1989 年 11 月及 1990 年 6 月航次根据热带西太平洋 TCO<sub>2</sub> 变化做出的预测和判断：在 1986~87 年和 1991~95 年两个 ENSO 事件之间，在 1990~91 年间该区也曾有一个明显的 ENSO 过程发生。1991 年 11 月与 1995 年 10 月不同之处在于，在 122.5°E 和 127°~129°E 区前者为负距平，与秋季 ENSO 成熟期的特征一致，后者为正距平。

总之，秋季 ENSO 暴发前和 La Nina 期以强负距平为特征，ENSO 期以较弱的距平变化为特征。ENSO 结束后有较强的正距平。在 126°E 上上述特征极强。

冬季--在 ENSO 暴发期 (1987 年 2 月，1993 年 3 月) 和 ENSO 成熟期 (1997 年 12 月)



3b

图 3 各季节沿 18-22 (N 航线上表层水中 TCO<sub>2</sub> 距平分布

几乎都是正值 (25~30)。以 123°E 以西和 129°E 最甚，达+45 以上。但 123°~126°E 之间则为低正距平，以 123°~124°E 最甚。这个相对低值在 1987 年 11 月、1997 年 12 月 (ENSO 成熟期)，1993 年 3 月，1997 年 7 月 (ENSO 暴发期)，1995 年 10 月 (ENSO 结束后) 都出现。

我们注意到：1. 在冬季 ENSO 暴发期及成熟期，原位于 114°E 的平均值峰值东移到 115°~122.5°E，保持高值 (>+40)。123.5°E 当平均值为峰值时 TCO<sub>2</sub> 距平下降达负值，而在 125°E 上各航次 TCO<sub>2</sub> 距平值几乎不变。原位于 126°E 和 128°E 的平均值峰值在冬季 ENSO 暴发期及成熟期东移到 127°E 和 129°E。可以作为该区冬季 ENSO 期的一个特点。2. 在冬季 ENSO 暴发期及成熟期，在 114°E、115°~122.5°E 和 123.5°E、127°E、128.5°E、129°~130°E 上的 TCO<sub>2</sub> 距平的峰值与 TCO<sub>2</sub> 平均值的峰值有显著反相变化，也可以作为该区冬季 ENSO 期的一个特点。

总之，冬季 ENSO 暴发期和成熟期以 115°~122.5°E、129°E 上显著 TCO<sub>2</sub> 正距平为特征 (>+40)，其分布与平均值反相位，比平均值峰值东移约一个经度。冬季观测 ENSO 暴发

期及成熟期的最佳点位为  $115^{\circ}\sim 123^{\circ}\text{E}$ 、 $127^{\circ}\text{E}$ 、 $129^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$ ，其  $\text{TCO}_2$  距平可高于 30 至 50。

此外，在春季和秋季 ENSO 结束后（1988 年 4 月、1995 年 10 月），在  $128^{\circ}\sim 129^{\circ}\text{E}$  均出现特高正距平（ $>50$ ），也可视为该区  $\text{TCO}_2$  距平对 ENSO 的响应特征之一。

应该指出，在该断面最西端， $114^{\circ}\text{E}$ ， $22^{\circ}\text{N}$  海区，即在我国南海近岸区，春季 ENSO 暴发期（1993 年 3 月）距平为 +20，秋季 ENSO 成熟期（1987 年 9 月） $\text{TCO}_2$  平均值为较高值（ $>1930\mu\text{mol/Kg}$ ），距平为特高值（ $>+70$ ），冬季 ENSO 成熟期（1997 年 12 月）则距平降为近于零，与  $115^{\circ}\text{E}$  有很大的反差，这表明近岸点上  $\text{TCO}_2$  距平有更强烈的季节变化，并且是观测 ENSO 和 La Nina 的较好的位置。

### （三）副热带环流调查期间 $\text{CO}_2$ 分布随 ENSO 发展的变化过程

根据 1986 年 11 月~1993 年 3 月所做的沿  $18^{\circ}\sim 22^{\circ}\text{N}$  时间变化图（图 4），我们可以看出：

沿该断面在 1986 年 11 月、1987 年 2 月，即 ENSO 暴发前和暴发期，表面水温降低到低于  $25^{\circ}\text{C}$ ，从 1987 年 9 月到 1988 年 4 月，即 ENSO 成熟期和结束后升高到  $29^{\circ}\text{C}$  以上， $\text{PCO}_2$  (sw) 有相同的变化，在 ENSO 暴发前与暴发期，随表面水温降低到低于  $320\sim 340\mu\text{atm}$ ，在 ENSO 成熟期升高到  $380\mu\text{atm}$  以上的高值。在 ENSO 结束后和 La Nina 期间降到  $360\mu\text{atm}$  以下的低值。可以清楚看出，1990 年 6 月~1991 年 11 月有高值，1992 年 10 月~93 年 3 月有低值，这与 1990~91 年的 ENSO 现象和 1992 年 10 月短暂的非 ENSO 和 1991~95 年 ENSO 暴发前和与暴发期对应。

相应于  $\text{PCO}_2$  (sw) 和  $\text{PCO}_2$  (air) 的共同变化结果， $\Delta\text{PCO}_2$  在 ENSO 暴发前与暴发期及 La Nina 期间为负值，即海洋是对大气的  $\text{CO}_2$  汇，在 ENSO 成熟期为正值，成为源。

$\text{TCO}_2$  在 ENSO 暴发前和暴发期及 La Nina 期间全断面为低值（ $< 1900\mu\text{mol/Kg}$ ），在 ENSO 成熟期全断面高达  $1920\mu\text{mol/Kg}$  以上。在 ENSO 结束后一段时间内以  $126^{\circ}\sim 128^{\circ}\text{E}$  为中心， $123^{\circ}\text{E}$  以东仍保持高值。由 1986~87 年 ENSO 和 1988~89 年 La Nina 得出的这个特征，在 1990~91 年、1991~95 年 ENSO 期间及 1992 年 10 月短暂的非 ENSO 期得到了很好的验证。

它反映出该海区在 ENSO 时期，高温、低盐的热带表层水团向东移，其厚度明显减小，而北半球次表高盐水团则上升。同时来自北部台湾东的冷水团上升流区和南部南赤道流的高 S、高  $\text{TCO}_2$  水来补充。由此也说明前者，同时，由于北赤道流和明达瑙海流的减弱，及由于南下流使其向东-西的偏移，造成黑潮路径的变化。在 La Nina 时期，高温、低盐的西部热带表层水团在西部堆积，沿  $18^{\circ}\text{N}$  断面主要是北向流，北赤道流和黑潮强，南部冷涡区的低  $\text{TCO}_2$  向北影响加强，加上此时该区多个涡旋状流，空气对流强，降水量大。这些原因造成该区大面积低  $\text{TCO}_2$  低 S、低  $\text{PCO}_2$  (sw) 值，使该区海气  $\text{CO}_2$  交换成为负值。

用这个规律来讨论副热带环流调查期间  $\text{CO}_2$  分布随 ENSO 发展的变化过程，可以看出： $\text{PCO}_2$  (sw) 在 1995 年 10 月，值显示为非 ENSO 期，1996 年 5 月在  $120^{\circ}\sim 123.5^{\circ}\text{E}$  出现高值，1997 年 7 月和 1997 年 12 月在  $120^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$  有较大范围的高值区，显示进入了 ENSO 期。 $\text{TCO}_2$  显示从 1993 年 3 月~1997 年 12 月，除 1996 年 5 月和 1997 年 7 月以  $122.5^{\circ}\sim 123.5^{\circ}\text{E}$  为中心，在  $121^{\circ}\sim 128^{\circ}\text{E}$  有较低值外均为高值这反映出 1991~95 年和 1997~98 年两个 ENSO 过程在 1996~97 年有个间歇，但并未成为影响全断面  $\text{TCO}_2$  值降低的 La Nina 事件。



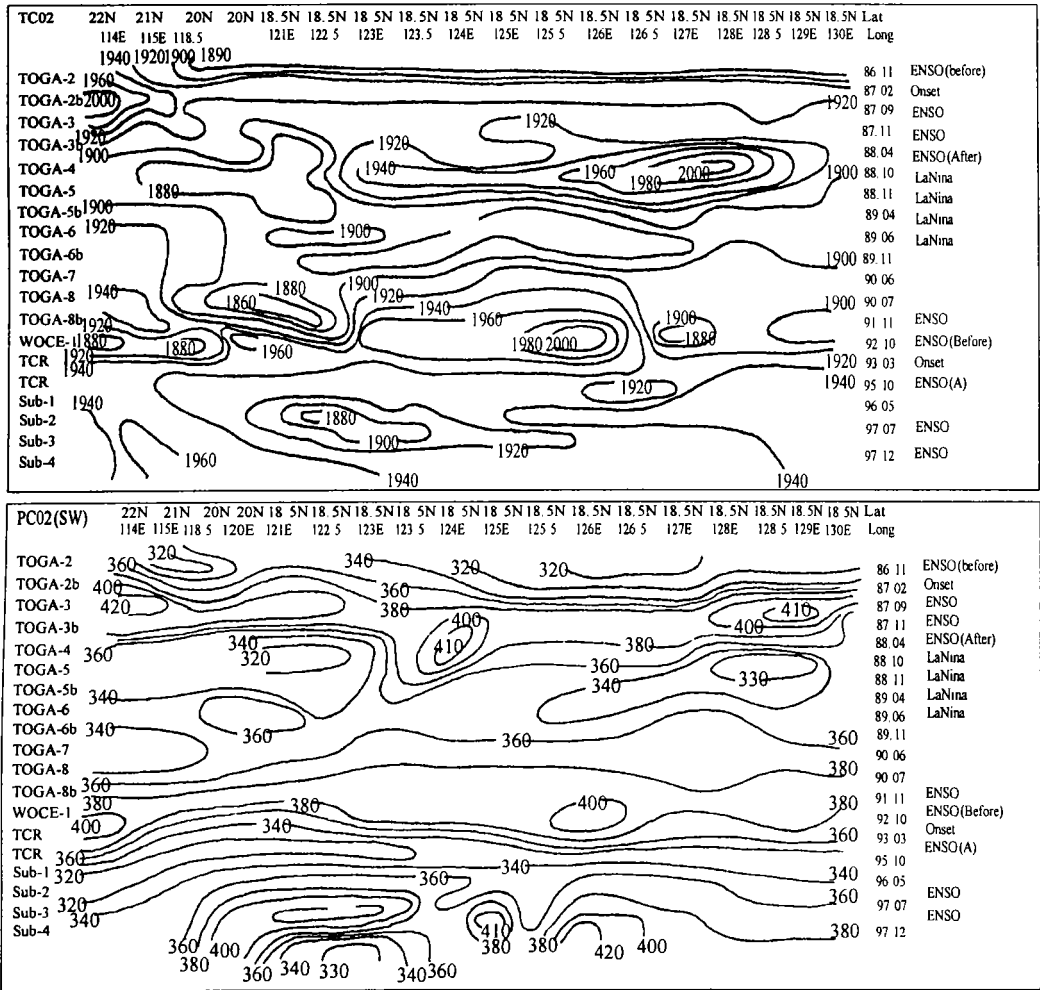


图 4. 沿 18°~22°N CO<sub>2</sub> 分布时间变化图

TCO<sub>2</sub> 值距平在 1995 年 10 月, 除 126°E 有 -20 负距平外, 全部为正距平。显示 1991~95 年 ENSO 结束后的距平特征。在 1996 年 5 月, 除 122.5°~123°E 呈现弱负距平 ( $|\Delta\text{TCO}_2| > 10$ ), 其东, 西侧均仍为正距平。表明从黑潮区开始出现 TCO<sub>2</sub> 负距平值, 即出现 ENSO 暴发前的信号。在 1997 年 7 月, 全断面为近于零或负距平, 以 123.5°E 较强, 是夏季 ENSO 暴发期特征。在 1997 年 12 月, 除 123.5°E 外, 全断面上呈现强正距平, 以 123°E 以西和 129°E 最甚 ( $> +40$ ), 呈现强烈的 ENSO 特征。

我们看到 1997 年 7 月与 1990 年 7 月相近, 都是弱负距平, 因此 1990 年 7 月可以与 1997 年 7 月一样看作正处于 ENSO 暴发期。而 1996 年 6 月与 1989 年 6 月 (La Nina 时期) TCO<sub>2</sub> 距平明显不同, 前者为正距平, 后者为较强负距平。

把该海区与赤道太平洋观测区的在 ENSO 和 La Nina 时期 CO<sub>2</sub> 的变化规律相比较, 我

们看到它与 160°E 以东、5°S 以南海区特征相同,而与东部赤道区相反,由于该海区碳化学量观测结果能反映 ENSO 和 La Nina 事件的发展过程,有明显特征,它又是连系黑潮,东海,南海与太平洋,并离我们最近的海区。因此,加强该海域及附近海域碳化学量研究,并与太平洋的研究联系起来,是很有意义和令人感兴趣的。

## 参 考 文 献

- [1] Fushimi K. (1987) Variation of carbon dioxide partial pressure in the western North Pacific surface water during the 1982/1983 El Nino event. *Tellus*, 39B, 214~227.
- [2] Inoue Y. H., Matsueda H., Ishii M., Fushimi K., Hirota M. 1994. Long-term trend of the partial pressure of carbon dioxide ( $p_{CO_2}$ ) in surface western North Pacific, 1984~1993.
- [3] Ma Liming. 1993. The air-sea exchange of  $CO_2$  and the distribution of carbon chemistries in the western tropical Pacific In: *The study of air-sea interaction in the weatern tropical Pacific*. China Ocean Press. 156~173. (in chinese)
- [4] Ma liming. Qiao Ran. 1997. The distribution and exchange of  $CO_2$  in Autumn in the subtropics. in: *The study and progress on tracer elements*. №. 2, Wan Guo press 273~278. (in chinese)
- [5] Ma Liming. 1997. Responses of carbon dioxide in western tropical Pacific to 1991-1993 ENSO event, *Acta Oceanologica Sinica*, Vol. 16, №. 2, p201~214.
- [6] Taro Takahashi, David W. Chipman, John Goddard, Gay Mathieu, and Liming Ma, 1990, Carbon dioxide in the surface water of the western equatorial Pacific Ocean, IN: *US-PRC international TOGA symposium 1988.11.15~17*, Beijing, PRC. published by China Ocean Press. 511~539.
- [7] Weiss, R. F., Jahnke, R. A., and Keeling C. D. 1982. Seasonal effects of temperature and salinity on partial pressure of  $CO_2$  in sea water. *Nature* 300,511~513.
- [8] 马黎明. 1993, 热带西太平洋海-气  $CO_2$  交换与碳化学量的分布, 热带西太平洋海气相互作用综合研究, 第四章第四节, 海洋出版社, 156~173.
- [9] 马黎明, 张滨, 乔然. 1995, 热带西太平洋北部海水中的分布变化及对 ENSO 的响应, 《台湾海峡及邻近海域海洋科学讨论会论文集》, 科学出版社, 260~269.

## THE RESPONSES OF CO<sub>2</sub> TO ENSO AND LA NINA IN DIFFERENT SEASONS ALONG 22°~18°N LINE

Ma Liming      Qiao Ran

*(National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing)*

### Abstract

Based on the variation of the partial pressure of CO<sub>2</sub> in air (PCO<sub>2</sub> (air)) and surface water (PCO<sub>2</sub> (sw)) and the total dissolved in water (TCO<sub>2</sub>) measured during the cruises from Nov. 1986 to Dec. 1997 along 22°N, 114°~18°N, 130°E line, the responses of the difference of PCO<sub>2</sub> between sea and air ( $\Delta$ PCO<sub>2</sub>) and to the anomaly events of air-sea system in spring, summer, fall and winter are indicated. The results indicated that in every season during the onset and mature of ENSO, TCO<sub>2</sub> is high value and  $\Delta$ PCO<sub>2</sub> is positive, but during La Nina that are low and negative respectively; Before and after ENSO the PCO<sub>2</sub> (air) and PCO<sub>2</sub> (sw) are near balance. Both the responses of PCO<sub>2</sub> (air) and PCO<sub>2</sub> (sw) are similar in different seasons: in mature of ENSO are high and before and in onset of ENSO are low; The mean exchange of from sea to air are maximum during ENSO in fall and low in La Nina. Before and after ENSO the flux is near zero or weak from air to sea water. According to the 1986~93 averaging the characteristics of response of the anomaly of TCO<sub>2</sub> to ENSO and La Nina and the range of outstanding variation in different season were discussed. From above it can be deduced that In Oct. 1995, the 1991~95 ENSO is over; In May 1995 it is before a new ENSO; In July 1997 it is in onset of new ENSO; In Dec. 1997 it is in the mature of the ENSO event.

**Key words:** Northwestern of the western Tropical Pacific, ENSO, La Nina, CO<sub>2</sub>.