

# 1986—1987年埃尔尼诺期间赤道太平洋的物理海洋学事件

王宗山 邹娥梅

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

John M. Toole

(伍兹霍尔海洋研究所, 伍兹霍尔, 美国)

Linda J. Mangum

(太平洋海洋环境研究所, 西雅图, 美国)

徐伯昌 杨克奇

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

## 摘 要

文中, 根据“中美热带西太平洋海气相互作用联合研究”第1—4航次考察的资料结合美国NOAA提供的SST资料和Wyrtki博士提供的水位资料, 对1986—1987年埃尔尼诺事件的发生、发展和消衰过程中的海洋事件作了综合分析。指出, 这次埃尔尼诺是一个中等偏强的事件。SST场和水位场的宏观变化是同步和相似的, 并且都与风场特征有关。次表层温度结构的变化是与上层暖水的东向输送相对应。在此期间, 热带西太平洋的流系结构和方向发生了异乎寻常的变化。在埃尔尼诺爆发前期, 南赤道流较强, 暖水在西太平洋堆积; 在爆发期内, 则在12.5个纬度带内形成东向流, 向东输送暖水; 在消衰期内, 北赤道逆流变弱, 而南赤道逆流变强; 在埃尔尼诺结束后, 海洋转为动力调整, 并在约12个纬度范围内变为西向流。在这次埃尔尼诺期间, 向东输送的暖水总量为 $11.4 \times 10^{14} \text{m}^3$ , 此量比1976年埃尔尼诺多1/3, 而比1982—1983年埃尔尼诺少2/5。

1986—1987年埃尔尼诺事件, 人们已初步认为是从1986年9月爆发和1988年2月结束的。对于这次埃尔尼诺的发生, 许多学者都作了预测, 例如M. Cane<sup>[1]</sup>及Rasmusson等<sup>[2]</sup>曾根据各自的模式预告1986年将出现埃尔尼诺事件, 陈菊英<sup>[3]</sup>根据天文背景也指出1986—1987年出现埃尔尼诺事件, 王宗山<sup>[4,5]</sup>及西山胜畅<sup>[6]</sup>根据各自于1985—1986年

冬季在西太平洋的考察结果,也预告1986—1987年可能爆发新的埃尔尼诺。但是,有的学者原先持有异议〔7〕。之所以出现如此不同的见解,重要的原因之一是,这次埃尔尼诺的出现,除了具有与1982—1983年埃尔尼诺相似之处外,还有其许多独特的特征。本文拟根据“中美热带西太平洋海气相互作用联合研究”第1—4航次考察的资料,结合海面风、表面水温和水位资料,对于1986—1987年埃尔尼诺的发生、发展及消亡过程的海洋事件作一综合分析。

## 一、沿赤道风场的特征

为了描述1986—1987年埃尔尼诺事件期间赤道区域的风场,我们引绘了纳鲁岛( $0^{\circ}26'S$ ,  $166^{\circ}57'E$ )的纬向风速和赤道附近( $5^{\circ}N-5^{\circ}S$ )的平均纬向风指数(分别见图1和图2)。由图1可见,在1986年上半年,东风较强,其中以3月份为最强(7—8 m/s);而自7月

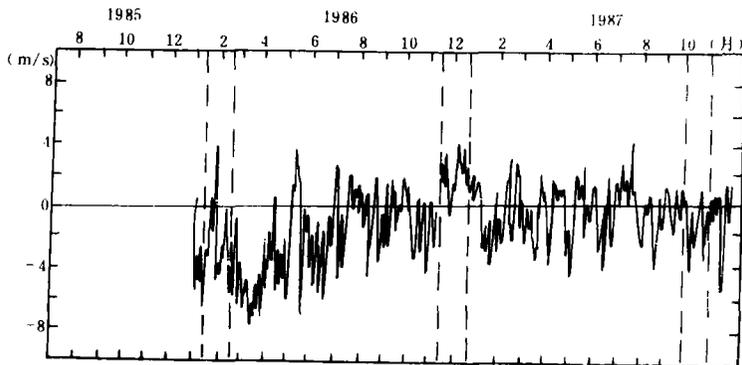


图1 纳鲁( $0^{\circ}26'S$ ,  $166^{\circ}57'E$ )纬向风的变化

中旬起,东风则迅速减弱且风向东西摆动,信风松弛,并且于11月中旬至1987年1月中旬出现了历时60天的稳定西风,随后又处于东西摆动状态。同时,从图2所示的平均状况来看,在1986年上半年,除年初和5月份在更日线以西出现过较强的西风以外,更日线以东均为较强的东风。而7月以后到1987年11月,平均风场均为西风;此西风在赤道中太平洋滞留的时间较长,且有向赤道东太平洋伸展的趋势。12月以后,特别是从1988年1月开始,赤道太平洋的东风重新形成,这标志着这次埃尔尼诺即刻结束。

## 二、水位距平的时空变化

如所周知,水位对大气动力作用的响应是很敏感的。图3为沿赤道附近实测水位距平的时空变化图。由图可见,在1986年上半年,强劲的东风使更日线以东为负水位距平,而在 $160^{\circ}E$ 附近则产生水体堆积,造成水位超出正常14cm(3月)。此高水位的位置,是与 $140^{\circ}E$ 以西的冬(春)季偏西风的阻挡有关。这一点,与1982—1983年埃尔尼诺爆发前

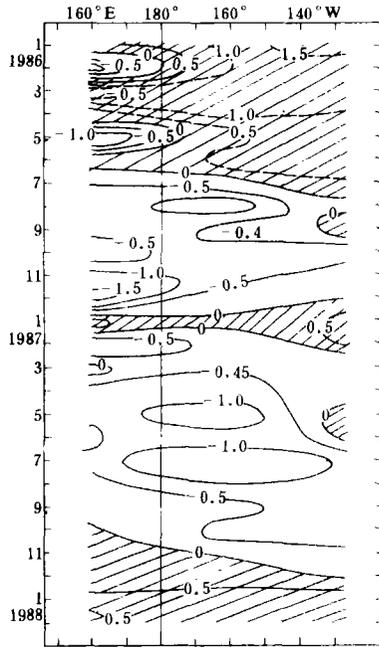


图2 赤道附近(5°S—5°N)850 hPa  
纬向风指数的时空变化

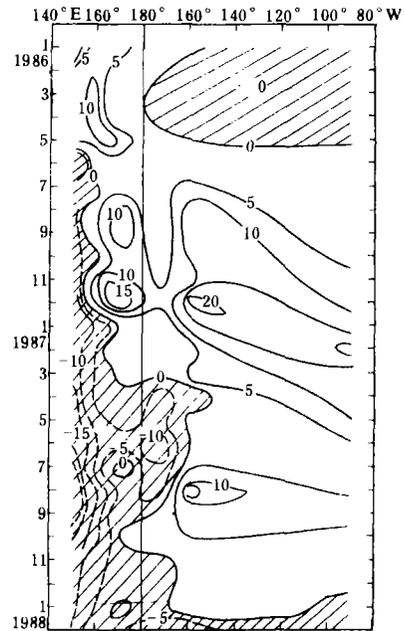


图3 赤道附近台站水位距平  
(cm)的时空变化

期高水位的位置(170°E)的成因相似,而与1976年厄尔尼诺的情况(位于西边界附近)则不同。

5月份,西太平洋出现一股强西风,高水位距平便向东方向运移;而后由于西太平洋赤道区域的风向不稳定,高水位便一直滞留在170°E附近。但是,值得指出的是,在中太平洋(160°W附近),从1986年9月起,在西风的作用下产生一个次高水位区,与前者构成双峰水丘,并向东传播,使加拉帕戈斯岛的水位于11月份上升(+7cm)。这表明赤道开尔文波已到达此处。随后,在西太平洋赤道区域强西风(历时60天)的作用下,水位峰便迅速向东传播,并于1987年2月抵达太平洋东岸,厄尔尼诺进入盛期。第二个水位峰(+7cm)约于9月抵达加拉帕戈斯岛。此峰值尽管如同1976年厄尔尼诺一样不甚明显,并且两个水位峰到达南美沿岸的时间约拖长2个月,但是,与它相对应的西太平洋赤道区域水位的显著降低(-28cm),是与1982—1983年厄尔尼诺相似的。1987年11月份以后,随着西风的减弱和东风的爆发,水位便向正常方向调整。但是,由于东风的强度不大,水位的调整时间拖得较长,直至1988年7月份方接近正常。

### 三、表面水温距平的时空变化

图4所示为赤道附近表面水温距平的时空变化。由图可以看出,1986年上半年,在西

太平洋的赤道区域，与高水位距平的位置相对应地存在一个高于+1.0℃的水温距平区，赤道中太平洋则为负距平区；而南美近岸于2月份出现正距平，并且0.5℃等值线沿赤道向西伸展至120°W附近，随后（3—6月）此处为负距平所占据。8月以后，西太平洋的正距平逐渐东移越过更日线，并于1987年3月抵达南美沿岸。随后，在中、东赤道太平洋出现高于+2.0℃的距平区，并且在南美沿岸与水位的第二个（弱）峰相对应于9—11月出现高于+1.0℃的距平。及至1988年2月，整个赤道太平洋的水温分布才基本上恢复到正常状况。

由上述可以看出，在1986—1987年厄尔尼诺期间，暖水不是首先在南美沿岸出现和向西传播，而是从中太平洋产生后向东传播。这一特点，类似于1982—1983年厄尔尼诺，而不同于其以前的厄尔尼诺〔8〕。此外，比较图4和图2可以发现，1987年4月以前的赤道中太平洋高正距平区和以后的中、东太平洋的高距平区，均与西风的加强和东移相对应，只是水温距平的出现约落后于强西风1个月。

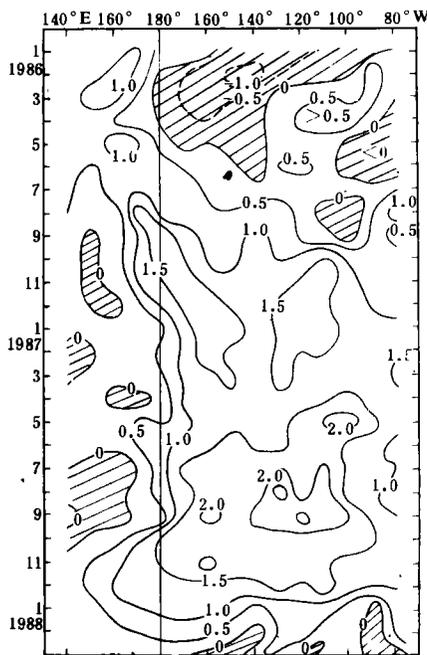


图4 沿赤道表面水温距平(℃)的时空变化

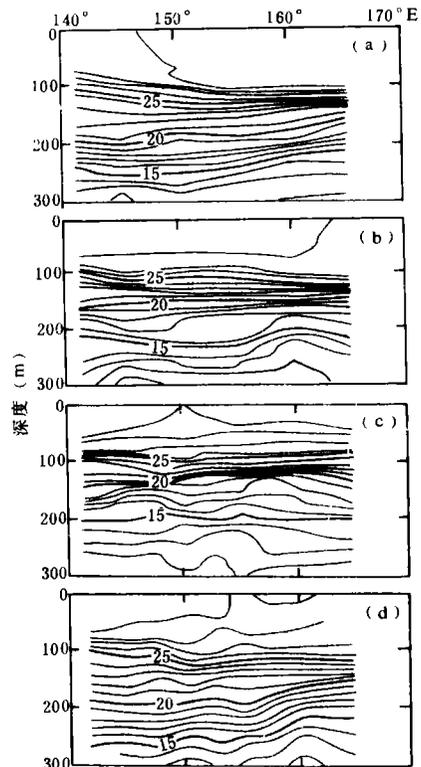


图5 “中美热带西太平洋海气相互作用联合研究”第1—4航次沿赤道的温度剖面  
a——第1航次(1986年1—2月) b——第2航次(1986年11—12月) c——第3航次(1987年10—11月) d——第4航次(1988年4—5月)

#### 四、热带西太平洋次表层温度结构的变化

图5所示为“中美热带西太平洋海气相互作用联合研究”4次考察的赤道水温剖面图。

由图可见, 在第 1 航次观测期间 (1986 年 1—2 月), 80—115m 以浅为高于 28°C 的海水所占据, 其中在 147°—175°E 间, 100—110m 以浅为高于 29°C 的暖水。表征温跃层中心位置的 20°C 等温线位于 150—200m 之间。这表明在更日线以西已有大量的暖水堆积。在第 2 航次考察期间 (1986 年 11—12 月), 虽然 28°C 等温线稍有上抬 (位于 90m 左右), 然而 29°C 等温线却上抬至 60m 左右, 其边界向西退缩至 163°E 附近。在此期间, 20°C 等温线上抬至 150—160m (见图 5b)。这表明, 此时西太平洋的上层暖水已有流失, 下层的冷水上涌和温跃层上抬, 一次新的埃尔尼诺已经形成。而第 3 航次 (1987 年 10—11 月) 的考察结果 (图 5c) 表明, 28°C 等温线已上升至 40—60m, 高于 29°C 的海水仅存在于 0—50m 之间, 同时 20°C 等温线也上抬至 120—140m。这表明, 西太平洋的上层暖水已濒临枯竭的程度, 埃尔尼诺行将消衰。图 5d 所示为第 4 航次 (1988 年 4—5 月) 的观测结果。由图可见, 28°C 等温线已下沉至 50—75m, 153°E 以西出现厚度为 50m 左右的高于 29°C 的高温水, 同时 20°C 等温线下沉至 150—180m。这表明, 热带西太平洋正处于埃尔尼诺结束后的热力恢复阶段。

## 五、热带西太平洋动力状况的变化

为了说明在 1986—1987 年埃尔尼诺期间热带西太平洋动力状况的变化, 我们以动力高度及漂流浮标资料加以阐述。

图 6 所示为 165°E 经向动力高度 (0/100 000hPa) 分布图。从第 1 航次的动力高度看, 2.5°S—4°N 为异常强的南赤道流 (SEC) 所占据, 4°—8°N 为较强的北赤道逆流 (NECC), 4°S 以南存在一股弱的南赤道逆流 (SECC), 8°N 以北为北赤道流 (NEC)。在此期间, 赤道流系的格局是正常的<sup>[9,10]</sup>。而在第 2 航次期间, 除了在 0°—1.5°N 尚存在一点南赤道流以外, 在 0°—6°S 和 1.5°—8°N 的广大范围内均为东向流, 且在 4°—7°N 间的北赤道逆流有所加强。这表明, 南赤道流的结构已发生了显著的异常。热带西太平洋已在 12.5 个纬度带上向东输送暖水, 这表明一次新的埃尔尼诺业已形成 (见图 8)。在第 3 航次考察期间, 南赤道流在 0°—2.5°S 和 7°—9.5°S 处有所恢复, 0°—7°N 间 (包括 NECC) 的东向流

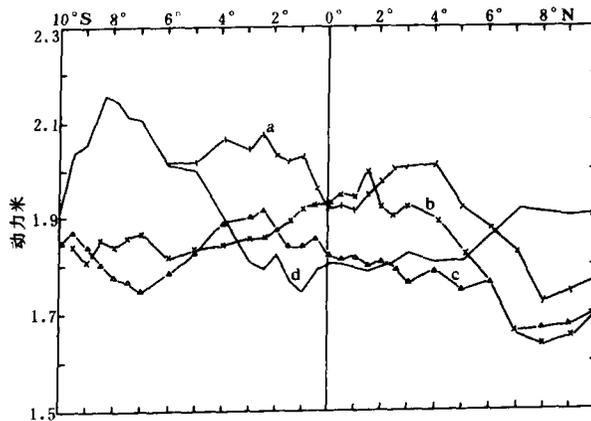


图 6 165°E 断面的动力高度 (0/100 000hPa)

a, b, c, d 同图 5

比第2航次弱得多,唯有在2.5°—7°S暖水出现较强的南赤道逆流.这表明暖水向东的输送量大大减少,埃 尔 尼 诺 处 于 消 衰 过 程 中. 此 外, 它 与 第 2 航 次 比 较 可 以 看 出, 在 埃 尔 尼 诺 形 成 期 间, 北 赤 道 逆 流 在 向 东 的 输 送 暖 水 中 贡 献 较 大, 而 在 消 衰 期, 它 便 变 为 衰 竭 状 态, 代 之 以 南 赤 道 逆 流 的 东 向 输 送 为 主. 第 4 航 次 的 动 力 状 况 基 本 上 与 第 2 航 次 相 反, 即, 除 在 1°S—1.5°N 和 3°—4°N 处 存 在 一 点 东 向 流 以 外, 在 8.5°S—7°N 间 约 在 12 个 纬 度 范 围 内 变 为 西 向 流, 其 中, 1°—8.5°S 间 的 南 赤 道 流 的 输 送 量 较 大. 这 表 明, 在 第 4 航 次 期 间, 热 带 西 太 平 洋 是 处 于 1986—1987 年 埃 尔 尼 诺 结 束 后 的 动 力 调 整 阶 段.

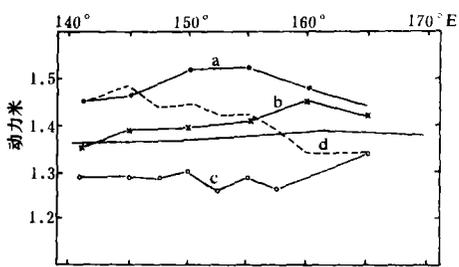


图7 沿赤道的动力高度(0° 5000hPa)

a, b, c, d 同图5. 实线——  
长期平均值(引自文献[11])

力厘米, 而且与平均状况相比较, 在此区域约高出5—12动力厘米, 以东则低于平均状况.

上述情况不仅再次展示了这次埃 尔 尼 诺 发 展 的 不 同 阶 段 的 动 力 状 况, 而 且 还 表 明 热 带 西 太 平 洋 又 出 现 了 值 得 关 注 的 新 的 暖 水 堆 积 现 象.

为了说明在这次埃 尔 尼 诺 期 间 水 量 的 输 送 情 况, 我 们 利 用 上 述 4 个 航 次 在 165°E 断 面 6°S—10°N 之 间 的 水 文 资 料 计 算 了 地 转 流 通 量, 其 结 果 列 于 表 1. 由 表 可 见, 东 向 输 送 量 在 埃 尔 尼 诺 爆 发 期 间 特 别 大, 而 西 向 输 送 量 则 在 埃 尔 尼 诺 爆 发 前 和 结 束 后 期 间 最 大. 净 输 送 量 明 显 表 明, 在 埃 尔 尼 诺 爆 发 前 期 为 西 向 输 送, 在 埃 尔 尼 诺 爆 发 后 为 东 向 输 送, 而 在 埃 尔 尼 诺 结 束 后 的 调 整 时 期 为 西 向 输 送.

图7所示为4次考察期间沿赤道动力高度(0° 5000hPa)的变化曲线. 由图可见, 在第1航次中, 动力高度较平均状况约高出5—15动力厘米, 即形成一个丘峰位于150°—155°E间的暖水域. 在第2航次期间, 此暖水丘东移至160°E, 并且变低. 这表明部分暖水已流失. 在第3航次期间, 暖水丘已东移出考察区域, 西太平洋的暖水大量流失, 海面低于平均状态5—12动力厘米. 而在第4航次期间, 沿赤道的动力高度普遍高于第3航次, 其中, 在157.5°E以西高出约11—17动

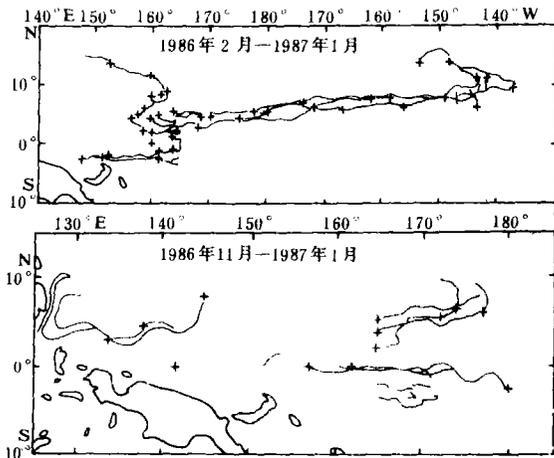


图8 漂流浮标的轨迹

表1 第1—4航次165°E上6°S—10°N间地转流(12℃等温线以浅)通量

流通量(S <sub>v</sub> )	第1航次	第2航次	第3航次	第4航次
东向输送	49.5	78.2	48.7	44.1
西向输送	-60.4	-24.5	-18.3	-83.5
净输送	-10.9	53.7	30.4	39.4

此外, 为了估算这次埃尔尼诺期间暖水总的东向输送量 ( $V_E$ ), 我们根据西太平洋最高水位 (1986年3月) 和最低水位 (1987年9月) 的资料采用下式进行估算:

$$V_E = \iint [\Delta D d_x dy = \rho \Delta \rho] \iint \Delta h dx dy,$$

式中,  $\Delta \rho / \rho = 3.3 \times 10^{-3}$ ,  $\Delta h$  为水位差,  $\Delta D$  为等值线深度的变化<sup>〔11—13〕</sup>. 算得的  $V_E = 11.4 \times 10^{14} \text{ m}^3$ , 向东的输送率为  $2.4 \times 10^7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$ . 这一输送量, 比1976年埃尔尼诺的 ( $8.5 \times 10^{14} \text{ m}^3$ ) 多1/3, 而比1982—1983年埃尔尼诺的 ( $15.9 \times 10^{14} \text{ m}^3$ ) 约少2/5. 这表明, 这次埃尔尼诺是属于中等强度偏强.

## 六、结 束 语

通过上述分析, 我们可以得出如下几点认识.

(1) 1986—1987年埃尔尼诺是一个中等偏强的事件. 它的发生, 不是首先于年初出现在南美沿岸, 而是于9月份开始得更日线附近发展并向东传播的. 这一特点与1982—1983年埃尔尼诺相似 (但滞后两个月), 而与1982—1983年以前的埃尔尼诺不同. 此外, 表面水温和水位的变化均表明, 这次埃尔尼诺事件的消衰期拖得较长, 直至1988年2月才结束. 这些特点均与赤道西风爆发的区域和持续的时间有关.

(2) 赤道附近区域的表面水温和水位距平在宏观变化上是同步和相似的, 而且它们均与风场之间存在较好的对应关系, 不过风场的变化约超前一个月.

(3) 在1986—1987年埃尔尼诺事件过程中, 热带西太平洋各流系间的格局和方向都发生了异常的变化. 这种变化, 归结起来看, 在埃尔尼诺爆发前期, 南赤道流强盛, 暖水在西太平洋堆积; 在爆发期内, 随着信风的崩溃, 南赤道流减弱, 甚至变为东向流, 同时北赤道逆流也加强, 形成了广大范围的东向流, 向东输送暖水; 在消衰期内, 原来在东向输送中贡献较大的北赤道逆流变为强弩之末, 而南赤道逆流反而加强; 在埃尔尼诺结束后, 海洋便进行动力调整, 赤道附近的广大范围内变为西向流, 其中南赤道流扮演一个重要角色, 而北赤道逆流却几乎消失.

(4) 热带西太平洋暖水堆积的多寡及温跃层的起伏, 能充分反映出1986—1987年埃尔尼诺发展过程中暖水向东输送的过程. 根据中美考察的4个航次水文观测资料所估算的净地转流通量表明, 在埃尔尼诺爆发前为向西输送, 在爆发期内为向东输送, 而在埃尔尼诺结束后的调整期内又变为向西输送. 此外, 根据水位资料估算的东向输送总量为  $11.4 \times 10^{14} \text{ m}^3$ . 此量值比1976年埃尔尼诺多1/3, 而比1982—1983年埃尔尼诺少2/5.

国家海洋局海洋环境预报中心宋学家先生和英国国家海洋大气局提供了世界大洋表面水温图, 夏威夷大学Wyrki博士提供了太平洋水位距平图, 笔者在此一并表示衷心感谢.

## 参 考 文 献

- 〔1〕 Hecht, A. D., Two El Nino forecasts, *Bull. of the American Soc.*, **67** (1986), 5: pp. 536, 580, 681.
- 〔2〕 Cane, M. A., S. E. Zebiak, and C. Dolan, Experimental forecasts of El Nino, *Nature*, **321** (1986), 827—832.

- 
- [3] 陈菊英, El Nino 年中国的气候特征及其背景, 长期天气预报研究通讯, 1986, 8605, 36—42
- [4] 大公报, 香港, 1986年2月24日.
- [5] The China Daily News, English Edition, 4 March 1986.
- [6] The Asahi Daily, Japanese Edition, 4 Feb. 1986.
- [7] Darwin tropical diagnostic statement, Department of science, Bureau of meteorology, *Australia* 12 (1986), 17—27.
- [8] Weare, B. C., El Nino and tropical Pacific Ocean surface temperature, *J. of Phys. Oceanogr.*, 12 (1982), 17—27.
- [9] 王宗山, 邹娥梅, 热带西太平洋海流的变化, 黄渤海海洋, 5 (1987), 1: 15—20.
- [10] Toole, J. M., E. Zou and R. C. Millard, On the circulation of the upper waters in the western Equatorial Pacific Ocean, *Deep-Sea Res.*, 35 (1988), 9: 1451—1482.
- [11] Wyrski, K., The slope of sea level along the equator during the 1982/1983 El Nino, *J. of Geophys. Res.*, 89 (1984), C6: 10119—10121.
- [12] Wyrski, K., The response of sea surface topography to the 1976 El Nino, *J. of Phys. Oceanogr.*, 9 (1979), 1223—1231.
- [13] Wyrski, K., Water displacements in the Pacific and the genesis of El Nino cycles, *J. of Geophys. Res.*, 90 (1985), C4: 7129—9132.