

1997~ 1998 年热带太平洋海面变化

仇天宇^{1,2}, 孙元福², 赵进平³, 申 辉², 逢爱梅²

(1 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 3 国家海洋局 第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

关键词: 卫星高度计; TOPEX; 海面高度异常; 厄尔尼诺

中图法分类号: P731 2 文献标识码: A 文章编号: 0253- 4193(2002) 04- 0111- 07

1 引言

在 1997~ 1998 年度发生的厄尔尼诺现象是有记录以来最强的一次, 整个地球几乎都受到它的巨大影响, 其中比较直接的影响有: 印度尼西亚和巴西北部发生特大旱灾, 秘鲁的洪水灾害, 印度尼西亚不断发生的森林大火, 巴西亚马逊河流域的原始森林的生态平衡遭到严重破坏. 经济方面的影响就更为广泛, 由于大气和海水的异常, 渔业和农业受到极大的损害, 鉴于厄尔尼诺引起的大量的自然灾害, 引起许多国家的经济动荡, 从而造成间接损失的数目更加庞大. 用高精度雷达高度计可以对这一现象进行有效的监测, 从热带海面高度异常场可以生动的演示厄尔尼诺的发生、发展和消衰的过程^[1, 2].

2 资料来源和处理方法

2.1 高度计资料

TOPEX/POSEIDON 卫星是美国航空航天局(NASA)和法国空间中心(CNES)1992年8月10日联合发射的, TOPEX 资料和 POSEIDON 资料的比例大约是 9:1, 本文使用的全部是 TOPEX 资料, 由 NASA 提供的 MGDR 光盘数据, 其测高精度达到 2.7 cm.

2.2 资料处理

数据覆盖的地理范围是 30°S~ 30°N, 120°E~ 60°W. 数据编辑的标准是根据以往对 SEASAT, GEOSAT 和 TOPEX 卫星测高数据的处理经验以及对 MGDR 数据的统计分析基础上制定的^[2~ 4]. 另外根据资料使用手册中的标定参数, 给出了以下一些标准.

(1) 卫星经过陆地或者其他非海洋地区;

收稿日期: 2001- 04- 21; 修订日期: 2001- 08- 10.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49634140); 国家海洋 863 计划资助项目(863- 818- 11- 03).

作者简介: 仇天宇(1974), 男, 山东省临沂市人, 在读博士研究生, 从事海洋遥感、海洋地理信息系统研究.

- (2) 用于计算 1 个/s 的测高数据个数不足 6 个;
- (3) 潮汐(负荷潮、固体潮和极点潮)模型质量不好;
- (4) 不存在双频电离层校正;
- (5) Ku 波段和 C 波段任一存在问题;
- (6) 海面高、有效波高(SWH)和后向散射系数可能存在问题;
- (7) 检测地面有雨;
- (8) 电磁偏差校正(EMB)超出范围.
- (9) 海面高均方差大于 10 cm;
- (10) 自动增益控制(AGC)小于 26 db,或者大于 38 db;
- (11) AGC 均方差大于 0.2 db;
- (12) SWH 大于 6 m;
- (13) SWH 均方差大于 20 cm;
- (14) 卫星指向角大于 0.3°;
- (15) 质心校正大于 2 cm;
- (16) 大洋潮(包括负荷潮)大于 0.8 m 或者小于 -0.8 m.

根据 MGDR 资料提供的各种偏差和校正项对编辑后的数据进行订正. 校正公式如下:

$$H = Alt - (Range + h_w + h_d + h_i + EMB),$$

其中, H 是相对于标准椭球面的海面高度; Alt 是卫星高度; $Range$ 是高度计测量值; h_w 是湿项校正; h_d 是干项校正; h_i 是电离层校正; EMB 是电磁偏差.

RH 是海面高度残差, 可表示为:

$$RH = H - h_{MSS} - h_t - h_b,$$

其中, h_{MSS} 是平均海面或者大地水准面, 通过对精确轨道求平均的方法可以滤掉它的影响; h_t 是所有潮汐效应的潮高; h_b 是反气压效应校正项.

我们需要的与海流有关的海面地形即海面位势高度(SSH)可表示为:

$$SSH = RH - h_o - h_e,$$

其中, h_o 是轨道误差; h_e 代表其他所有模型误差或者未能模型化的误差.

2.3 轨道误差校正

由于轨道误差的波长与地球的周长相当, 所以把轨道误差简单地表示为正余弦函数^[4]:

$$h_o = a \cos(2\pi t/T) + b \sin(2\pi t/T),$$

式中, t 是该数据的观测时间; T 是卫星的轨道周期; $T = 6\,745\,72$ s; a 和 b 是待定系数, 根据共线调整法, 利用最小二乘法计算出 a 和 b , 从而进行轨道误差的订正.

3 1997~1998 年的厄尔尼诺现象

3.1 1997~1998 年厄尔尼诺的成因及基本特征

如果将整个地球可以看成是一个海洋和大气的系统, 其中海流和风分别是海洋和大气的主要运动形式, 它们的变化都来自于海水和空气对太阳能的吸收和再分配. 在赤道区域, 信风基本上是从东向西吹的, 这些风引起海水的堆积, 从而使得海面西高东低, 大洋西部海水堆积, 东

部则不断地从深层涌升冷水。

在这个系统中, 南美洲上空形成一个高压, 空气寒冷而干燥, 印度尼西亚上空则存在一个低压, 空气潮湿, 多云多雨, 这样的高压和低压配置维持着信风的正常方向。在北半球冬季, 南美洲的高压降低, 印度尼西亚的低压上升, 信风必然减弱, 在太平洋东岸较冷的新鲜的富营养化的深层水的涌升也变弱, 海面轻微上升, 海水温度也上升^[5-7]。

当上述平衡情况达到了极点, 信风在压力场的控制下严重减弱甚至反方向¹⁾, 太平洋西部堆积的海水得以释放其巨大的能量, 激发出向东传播的赤道 Kelvin 波, 并且使西岸的海面高度下降。当这种波动传到东边界时, 赤道 Kelvin 波分成向北和向南的两个分支, 形成沿岸 Kelvin 波(见图 1), 也可能反射形成 Rossby 波, 增强了当地的海面高度和海水温度, 易于降低气压, 从而进一步减弱信风, 并且一般持续几个月到一年的时间才能恢复到正常状态。这种气候异常产生巨大的能量, 而且经常是年际变化的。

厄尔尼诺的最大的特征就是秘鲁沿岸在几个月内才能形成的巨大暖池, 暖池的空间分布形态类似于冰山, 即表面只占一小部分, 所以在表层观测到相对比较轻微的温度异常(同时导致相应区域的高度异常)就意味着在相当大区域内都存在着海水温度和海面高度的异常, 与平均状况和变化范围相比较来说, 这种异常的幅度相当可观。

3.2 利用卫星高度计观测厄尔尼诺

利用高精度微波雷达高度计可以准确观测到海面高度的异常变化, 从而实现厄尔尼诺现象的监测。与海面温度的卫星传感器相比, 对于大洋区域, 高度计的精度有较高的保障; 观测资料时间连续性好; 在一定程度上可以反映深度变化; 由于海面高度与海水流动、海面高度有直接的关系, 因此在分析海水运动时更加方便和准确。

董晓军和黄^[2]计算了 TOPEX 和 POSEIDON 的 1993 年初至 1999 年 5 月的全球海面高度变化率为 2.0 mm/a , 并且指出, 全球海面高度与南方涛动指数在年际尺度的相关性达到 -0.73 , 说明 ENSO 事件对全球海平面高度变化有明显的影响。

Zheng Dawei^[8]对 TOPEX/POSEIDON 卫星测高数据进行了误差分析, 并且指出, 南半球和北半球存在相位相反的海面高度变化, 这种变化在中等纬度带达到极值, TOPEX/POSEIDON 卫星高度计揭示了海面变化与 ENSO 事件的相关关系。

3.3 1997~ 1998 年的厄尔尼诺

图 1 是 1997~ 1998 年的整个厄尔尼诺的演变过程, 从图中可以清楚地看到厄尔尼诺的年内变化规律, 即海水两次在南美洲沿岸进行堆积的现象。

(1) 1997 年厄尔尼诺的海面异常现象开始于 1997 年 4 月, 图 1 a 是 5 月的赤道海面高度异常图, 赤道平均海面约为 7 cm , 太平洋东岸的海面高度异常是 $16\sim 20 \text{ cm}$ 。另外, 在 15°N 附近、 22°N 以北都存在着明显的正异常条纹, 在 3 条正异常条带之间存在着明显的暗条纹, 事实上, 在 5°N , $11\sim 12^\circ\text{N}$ 和 18°N 是 Rossby 波的活跃区域, 在另文中将对此进行一些更深入的探讨。

(2) 此后厄尔尼诺不断发展, 1997 年 7 月海面高度正异常极值到达南美洲沿岸, 在此区域中最大的海面高度异常达到 30 cm 左右。结合图 1a 来看, 明暗条纹更加明显和有序, 5 月时西

1) ESA. Earth Observation, June 1998.

太平洋的正异常分布比较分散,而两个月以后西太平洋已经形成大片的负异常区域;赤道上的正异常向东移动,海水在南美洲沿岸堆积现象明显,15°N的正异常同时向西移动。

(3) 1997年9月厄尔尼诺处于调整状态,在太平洋中部偏东仍然存在巨大的异常,最大异常也是30 cm,但是南美洲沿岸则回落到10 cm。赤道以北海面负异常的强度却越来越大,此时已经形成横贯整个太平洋的一条暗条纹;15°N的正异常严重消耗,只残留留下一点痕迹。

(4) 1997年12月上旬,厄尔尼诺以完全发展状态再次到达南美洲,异常值超过35 cm,同时,西太平洋海面下降的幅度也更大,厄尔尼诺现象发展到最高峰,西太平洋与东太平洋的海面高度的差值达到最大(达到75 cm以上)。15°N以北区域形成强度较弱的正异常,尽管范围较广,但没有形成明显的中心,从海水流动特征来分析,这些海水有相当部分来自北美洲沿岸,因为在厄尔尼诺期间,北美洲沿岸的狭窄的高度正异常始终存在,并且强度有所增强,根据地球流体动力学,此处可能形成强度较大的沿岸 Kelvin 波。

(5) 高度异常开始回落,海流在大陆沿岸反射成向北和向南的两个沿岸 Kelvin 波。从图1中可以发现,形成高度异常的东太平洋海水从赤道区域的沿岸海域迅速向5°S和5°N转移,然后再从这两个纬度向西传播。

以上海面高度观测结果与同期水温图像发展变化完全吻合,ESA给出水温图像¹⁾。历史资料统计显示,1997~1998年的厄尔尼诺现象的强度可能是最大的,它的发生、发展和高潮的变化过程属于比较典型的一种^[9],即形成两次海水堆积,一次大约在7月,另一次在12月初,后一次的强度要大于前一次,并形成厄尔尼诺的高峰。

4 小结

利用 TOPEX 高度计的资料对1997~1998年的厄尔尼诺现象期间赤道太平洋的海面高度异常进行分析,发现了一些有益的特征。

1997~1998年的厄尔尼诺属于典型的两次极值的种类;高度异常的发生始于4月份,此后不断地发展,高度正异常向赤道靠拢并且沿赤道向东传播;7月份到达南美洲沿岸形成第一次高潮;9月份正异常中心向西移动,位于5°N的负异常也在不断发展,此时已经形成明显的条带状分布了;又经过3个月的发展,厄尔尼诺终于在12月初在南美洲沿岸达到顶峰,正异常与负异常之差也达到最大,超过75 cm;1998年初,海水从赤道向5°S和5°N迅速转移,厄尔尼诺现象结束。

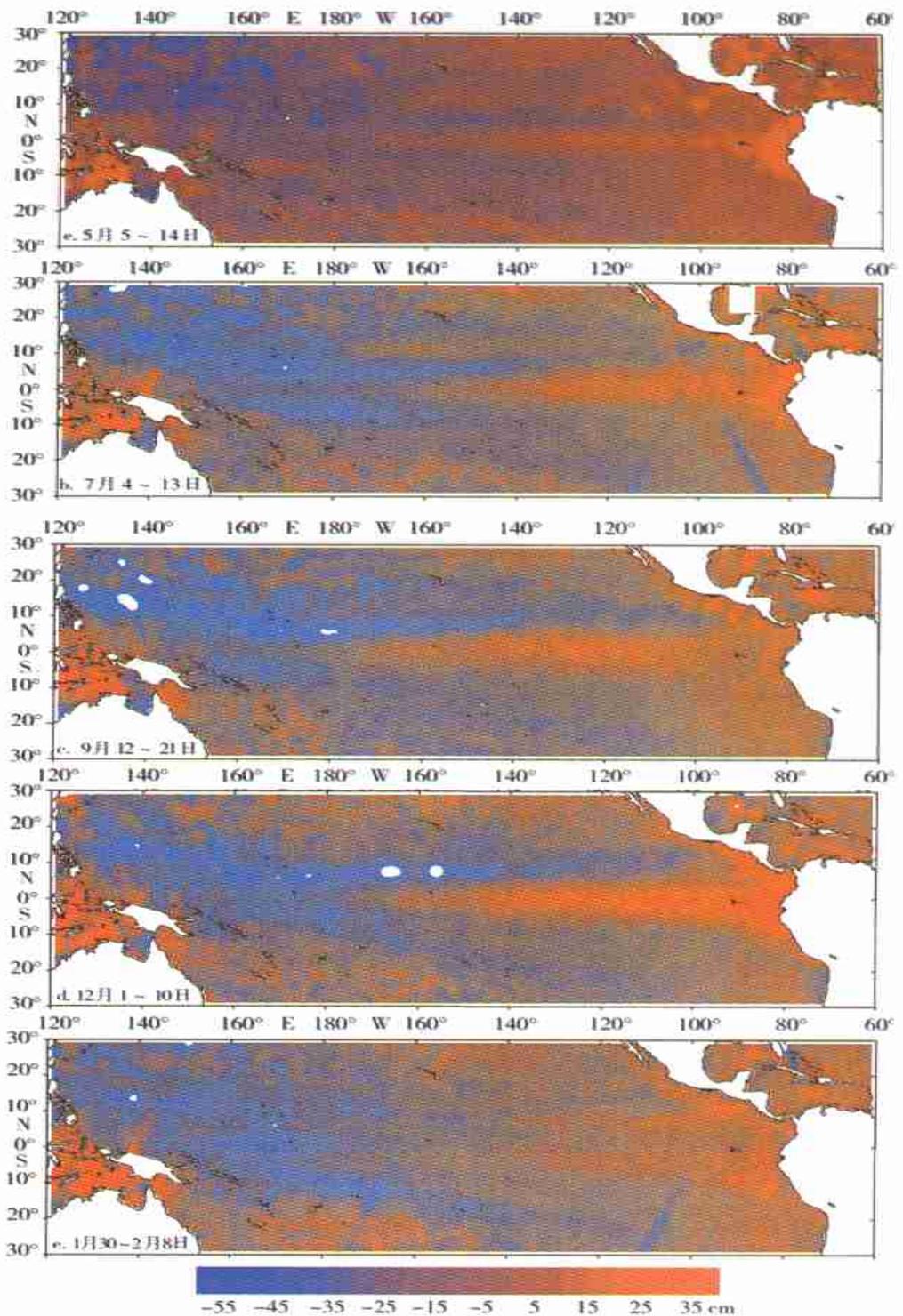


图1 海面高度异常

a. 1997年5月5~14日 b. 1997年7月4~13日 c. 1997年9月12~21日
d. 1997年12月1~10日 e. 1998年1月30日至2月8日

参考文献:

- [1] 王广运. 卫星测高原理[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [2] 董晓军, 黄 . 利用 TOPEX/POSEIDON 卫星测高资料监测全球海平面变化[J]. 测绘学报, 2000, 29(3): 266-272.
- [3] 潘家 , 袁业立, 郑全安. 用 Geosat 高度计数据观测黑潮流系的低频变化(1)[J]. 海洋学报, 1997, 19(4): 41-50.
- [4] 侯文峰, 张 岑, 用 GEOSAT 卫星高度计资料估计热带西太平洋赤道纬向流[J]. 海洋通报, 1997, 16(5): 1-6.
- [5] RTKIK W Y. El Nino The dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing [J]. JPO, 1975, 5: 572-584.
- [6] PTKIK W Y. Fluctuations of the dynamic topography in the Pacific Ocean [J]. JPO, 1975, 5: 450-459.
- [7] PTKIK W Y. Sea level during the 1972 El Nino[J]. JPO, 1977, 7: 779-787.
- [8] ZHENG D, WU H. Correction of TOPEX altimeter data error and its preliminary results in application [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(17): 1451-1455.
- [9] SALACCHIJ B U, CANE A. Hindcasts of sea level variations during the 1982~ 1983 El Nino [J]. JPO, 1985, 15: 213-221.

SSH in tropic Pacific during 1997~ 1998

ZHANG Tian-yu^{1,2}, SUN Yuan-fu², ZHAO Jin-ping³, SHEN Hui², PANG A-mei²

(1 *Institute of Geographic Science and Resources Research, CAS, Beijing 100101, China*; 2 *First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China*; 3 *Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China*)

Key words: satellite altimeter; TOPEX; SSH; El Niño