

# 太平洋海平面变化特征及影响因素分析

顾小丽<sup>1</sup>, 李培良<sup>1\*</sup>

(1 中国海洋大学 物理海洋实验室, 山东 青岛 266100)

**摘要:** 采用经验模态分解法对太平洋沿岸验潮站的月平均海平面资料进行处理, 结合 T/P 高度计资料、Church (2004) 重构 SSH 资料、Ishii (2005) 月均海温资料, 研究太平洋海平面年际、年代际变化以及资料长度内海平面变化趋势。太平洋沿岸海平面总体呈上升趋势, 平均上升速率为  $1.4 \text{ mm/a}$ , 趋势项分布有明显的区域性和纬度特征。ENSO 对太平洋地区海平面年际变化有显著影响, 海平面年际变化与 Nino3 指数在西(东)太平洋为负(正)相关, 海平面年际变化与 Nino3 指数的相关性在热带太平洋最大, 并随着纬度升高相关性减弱, 且不同地区年际变化有滞后 ENSO 时间不等的最大相关。海平面年际变化与 PDO 指数在西(东)太平洋为负(正)相关, 海平面与 PDO 的相关性分布有区域性和随时间演变特征。年代际变化对目前使用卫星高度计资料分析海平面长期趋势项的预测有直接影响, 可能完全掩盖海平面长期变化趋势。

**关键词:** 海平面变化; 年际变化; 年代际震荡; ENSO

中图分类号: P731

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2009)01-0028-09

## 1 引言

海平面是上层海水特征和海洋环流的重要指示, 海平面的变化对海洋大气系统以及人类的生产生活都有着重要影响。近年来由于温室效应加剧, 导致的海平面加速上升, 使海平面变化成为社会关注的焦点问题。太平洋海平面变化受其特有的地理环境、海气相互作用、全球变暖大背景等因素的影响, 表现出特殊的规律和特征。

近年来中外学者利用验潮站资料、卫星高度计资料对海平面长期变化趋势进行了深入的研究<sup>[1-4]</sup>。研究结果表明, 太平洋海平面在过去十几到几十年间总体趋势是上升的, 且在近十几年有加速上升的现象, 海平面长期变化趋势有显著的区域性分布特征<sup>[5]</sup>, 而海平面的年际和年代际变化对使用短期资料(特别是卫星高度计资料)分析海平面的

长期变化趋势有显著的影响。

Daniel 等<sup>[6]</sup>, Wu 等<sup>[7]</sup>, Albert 等<sup>[8]</sup>的研究表明太平洋地区的气候演变有明显年际、年代际变化特征。这种年际和年代际变化在海温场、大气压强、大气环流等方面都有显著表现, 对季风和降水有重大影响<sup>[9]</sup>。研究表明太平洋年际变率与 ENSO 相关<sup>[10-12]</sup>, 年代际变化与 PDO 有关<sup>[8-9]</sup>。Smith<sup>[13]</sup>, Han 等<sup>[14]</sup>, Yoshi 等<sup>[15]</sup>的研究表明热带太平洋海平面也存在显著的年际和年代际变化, 而 ENSO 和 PDO 是海平面年际和年代际变化的重要影响因素<sup>[16]</sup>。作为高频变化的重要背景, 海平面年代际变化对高频变化有重要的调制作用。而年际和年代际变化影响着海平面低频变化和长期趋势的预测。吕俊梅等<sup>[17]</sup>、Albert 等<sup>[8]</sup>认为 PDO 在热带太平洋的叠加使 ENSO 循环表现出年代际的低频震荡特征, 该调制作用是近年来 ENSO 现象频发、强度较大的

收稿日期: 2008-08-18; 修订日期: 2008-12-30。

资助项目: 教育部科学技术重点项目 (108159); 国家自然科学基金资助项目 (40506006; 40676013); 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2007CB411807); 国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目 (2007AA0912012)。

作者简介: 顾小丽 (1984—), 女, 江苏省宿迁市人, 在读硕士, 从事海平面变化研究。E-mail: ccho.dgl@gmail.com

\*通讯作者: 李培良 (1975—), 博士, 副教授。E-mail: lpli@ouc.edu.cn

重要因素。Cazenave 等<sup>[18]</sup> 利用最近 15 a 的高度计资料得到热带西太平洋海平面有显著的上升趋势, 而热带东太平洋下降明显, 该结果与过去 50 a 的热比容高度分布相反, 太平洋海平面年代际震荡的空间分布<sup>[19]</sup> 是影响这一结果的重要因素。因而, 海平面年代际变化对海平面长期趋势项的准确预测有非常大的影响, 对其深入的研究有重要意义。

本文利用经验模态分解(EMD)<sup>[20-21]</sup> 方法处理 PSMSL(Permanent Service for Mean Sea Level) 的验潮站资料, 研究太平洋地区海平面长期变化趋势, 海平面年际、年代际变化的分布特征、主要影响因素以及年代际变化对海平面变化趋势的影响。

## 2 资料来源及数据处理

### 2.1 资料来源

验潮站资料为 PSMSL 提供的月均、年均海面 RLR(revised local reference)数据, 文中选取了太平洋海区 27 a 以上的 240 个站点的资料, 站点分布见图 1。计算比容海面高度的温度场为 1945—2003 年 Ishii(2005) 月均三维海温资料, 空间分辨率为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。采用 Church(2004) CSIRO(the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) 提供的海表高度重构资料, 空间分辨率为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。海面高度资料为 1993—2007 年共 15 a 的 T/P 和 Jason1 联合高度计资料。取 Nino3 指数代表 ENSO 现象的海洋效应(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>), PDO 指数来源于 <http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>。选取东太平洋( $10^{\circ}\text{S} - 10^{\circ}\text{N}, 80^{\circ} - 120^{\circ}\text{W}$ ), 西太平洋( $10^{\circ}\text{S} - 10^{\circ}\text{N}, 140^{\circ}\text{E} - 180^{\circ}$ ) (图中蓝色长方形区) 作为计算重构海面高度和比容海平面在热带太平洋东、西区域平均的范围。为研究海平面的年际和年代际变化, 对海平面时间序列取距平, 然后进行 35 个月或 10 a 的低通滤波。计算比容海面高度的温度场为 1945—2003 年 Ishii(2005) 月均三维海温资料, 空间分辨率为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。采用 Church(2004) CSIRO(the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) 提供的海表高度重构资料, 空间分辨率为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。海面高度资料为 1993—2007 年共 15 a 的 T/P 和 Jason1 联合高度计资料。取 Nino3 指数代表 ENSO 现象的海洋效应(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>), PDO 指数来源于 <http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>。选取东太平洋( $10^{\circ}\text{S} - 10^{\circ}\text{N}, 80^{\circ} - 120^{\circ}\text{W}$ ), 西太平洋( $10^{\circ}\text{S} - 10^{\circ}\text{N}, 140^{\circ}\text{E} - 180^{\circ}$ ) (图中蓝色长方形区) 作为计算重构海面高度和比容海平面在热带太平洋东、西区域平均的范围。

为研究海平面的年际和年代际变化, 对海平面时间序列取距平, 然后进行 35 个月或 10 a 的低通滤波。计算比容海面高度的温度场为 1945—2003 年 Ishii(2005) 月均三维海温资料, 空间分辨率为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。采用 Church(2004) CSIRO 提供的海表高度重构资料, 空间分辨率为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。海面高度资料为 1993—2007 年共 15 a 的 T/P 和 Jason1 联合高度计资料。取 Nino3 指数代表 ENSO 现象的海洋效应(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>), PDO 指数来源于 <http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>。

### 2.2 EMD 方法

EMD 方法的基本思路是: 如果一个原始的数据序列  $x(t)$  中极大值或极小值点的数目比上跨零点或下跨零点的数目多两个或两个以上, 那就对该数列进行平稳化处理, 产生一系列具有不同特征尺度的数据序列, 称固有模态函数(intrinsic mode function)。EMD 分解为一个从高频到低频的极值筛选过程, 分解得原始数据的一系列 IMF 分量  $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$  与原数据序列的关系如下:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i + r_n, \quad (1)$$

式中,  $r_n(t)$  为原始数据序列整个时间范围内的固有适定单调函数, 或是最多一个极值的函数, 称为总体自适定趋势<sup>[21]</sup>, 以下文中提到的趋势项都指该总体自适定趋势。

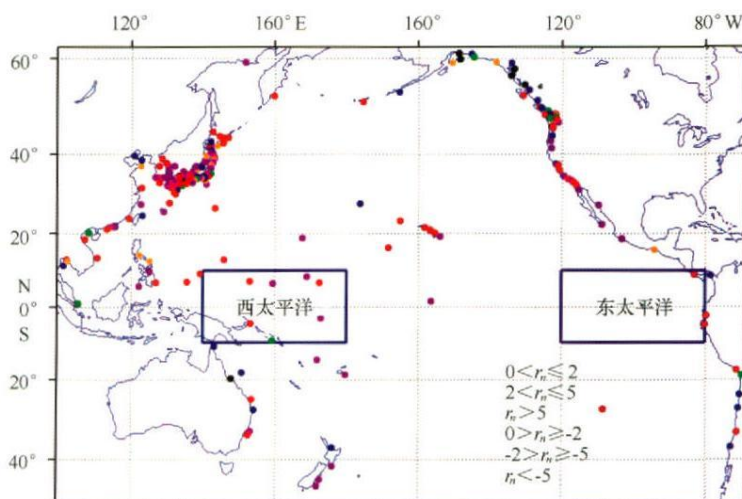


图1 太平洋验潮站海平面变化趋势分布

蓝色长方形区域为热带东、西太平洋区域平均范围; 暖色点为海平面上升站点, 冷色点为海平面下降站点

### 3 太平洋海平面长期趋势变化特征

EMD 方法可以很好的提取时间序列的非线性变化趋势,本文对太平洋沿岸的 240 个验潮站资料作 EMD 分解,得到各点海平面变化趋势。太平洋地区海平面总体呈上升趋势,其速率平均值为  $1.4 \text{ mm/a}$ ,与 Church 等<sup>[1]</sup> 全球海平面在过去 50 ~ 100 a 间上升速率约  $1 \sim 2 \text{ mm/a}$  的结论较一致。各个站点的长期变化趋势空间分布极不平衡,呈现出西部上升快、东部上升不显著的区域分布特征(见图 1)。一半以上(约 57%)的站点海平面变化趋势在  $-2$  和  $2 \text{ mm/a}$  之间,而少数站点表现出极大的上升或下降趋势。

西太平洋区域平均趋势的线性上升值为  $1.90 \text{ mm/a}$ 。中高纬( $25^\circ \text{N}$  以北)日韩附近海平面平均趋势为  $2.17 \text{ mm/a}$ ,中低纬( $25^\circ \text{S} - 25^\circ \text{N}$ )海平面平均趋势为  $2.33 \text{ mm/a}$ ,两者都大于西太的总体平均,上升站多于下降站点。朝鲜半岛、日本群岛附近海平面升降趋势较复杂,大部分站点海平面上升,日本东部由于受黑潮及其延伸体以及陆地沉降等因素的影响海平面上升很快,个别站点受地壳运动影响表现为下降。中低纬暖池附近海域海平面上升趋势比较显著,这与赤道西太平洋存在的海面高度变化速率的高值中心相吻合<sup>[22]</sup>。澳大利亚附近海区下降站点居多,且由于站点稀疏,海面变化趋势代表性不强,很难反应总体特征。

东太平洋海域海平面上升趋势不明显,其区域平均约  $0.20 \text{ mm/a}$ 。北部中高纬地区总体趋势在下降,平均年变率约  $-0.43 \text{ mm/a}$ ,这与该区域地壳上升有关<sup>[23]</sup>。处于高纬的阿拉斯加和阿留申地区海平面下降尤为显著,区域平均达  $-2.13 \text{ mm/a}$ ,是验潮站海平面下降最大地区,太平洋验潮站海平面下降的极大值点几乎都分布于该区。东太平洋中低纬地区平均海平面变化速率为  $1.91 \text{ mm/a}$ ,由于此区站点较稀疏、区域范围较大,平均变化趋势代表性不佳。南美沿岸验潮站较少,但大都表现为下降趋势。

### 4 太平洋海平面年际变化特征

由于南太平洋站点较少,将以  $20^\circ \text{S}$  以北海区作进一步研究,另外由于验潮站较多难以一一画出,本文将取部分有代表性的站点绘图。将验潮站资料进行 35 个月的低通滤波,可见太平洋验潮站海平面存

在年际变化特征(图 2,3 中蓝色实线,其他未画出站点也有类似的特征),年际变化的振幅可达  $150 \text{ mm}$ 。网格点上和区域平均的重构海表高度<sup>[24]</sup>也表现出年际变化特征(图略),由此可见,太平洋海平面有明显的年际变化特征。海平面的年际变化与 ENSO 的发生发展关系密切<sup>[16]</sup>。

图 2 为热带太平洋验潮站海平面变化与 Nino3 指数的关系,其中图 2a—d 为热带西太平洋站点,图 2e—h 为热带东太平洋站点,图中数据均经 35 个月的低通滤波处理。由图可见热带西太平洋海平面与 Nino3 指数负相关,二者的相关系数可达  $-0.91$ 。热带东太平洋海平面与 Nino3 指数同步相关,不同站点二者相关性大小不等(在  $0.42 \sim 0.87$  之间)。验潮站海平面资料与 Nino3 指数呈现出东(西)太平洋二者正(负)相关的关系,东、西区域平均(图 1 蓝色区域)的 Church 等<sup>[24]</sup> 重构海表面高度资料与 Nino3 指数也有相似的相关性。Church 等<sup>[24]</sup> 重构海面高度资料(见图 4 中蓝色和黑色线)在热带西(东)太平洋与 ENSO 负(正)相关为  $0.78$  ( $-0.78$ )。图 2—5 都表现出在强 ENSO 年海平面与 Nino3 指数相关更为明显、海平面变化振幅增大的特征,其最大振幅差可达  $300 \text{ mm}$ 。由此可见,ENSO 对热带太平洋海平面的年际变化影响显著。

图 3 为北太平洋中高纬度验潮站海平面年际变化与 Nino3 指数的关系,其中图 3a—d 为西太平洋站点,图 3e—h 为东太平洋站点。与热带太平洋相似,西(东)太平洋中高纬地区海平面年际变化与 Nino3 指数负(正)相关,然而二者的相关性远小于热带地区,相关系数在  $-0.2$  到  $-0.54$  ( $0.60 \sim 0.82$ ) 之间,且海平面年际变化表现出滞后 Nino3 指数 1 个月到 1 a 不等的相关。比较图 2、图 3 不难看出,中高纬度地区验潮站海平面的年际变化强度小于热带低纬度地区,热带太平洋地区年际变化振幅可达  $140 \text{ mm}$ ,而中高纬站点的年际变化振幅不到  $100 \text{ mm}$ 。由此可见,海平面的年际变化在热带地区更为显著,ENSO 对低纬度地区的影响较大,随纬度升高,影响减弱。在中高纬度海区,海平面变化与 ENSO 的发生发展表现出一定的超前滞后关系。

### 5 太平洋海平面年代际变化特征

由图 3 验潮站资料可看出在年际变化曲线上叠加有年代际变化的信号,其中以图 3 a, c, f, g, h 尤为明显,振幅可达到  $50 \text{ mm}$ 。

众多观测和研究结果显示 1977 年前后北太平洋气候出现一次显著突变, 该现象引起了学者对年代际变化的认识。由于太平洋年代际涛动对气候的影响、对 ENSO 循环的调制作用以及对海平面长期趋势项的影响<sup>[6,8]</sup>, 年代际变化受到越来越多的关注。吕俊梅等<sup>[17]</sup>的研究表明 PDO 是太平洋地区年代际变化的主导模态(图 5, 7 中的蓝色实线), ENSO 现象因受 PDO 的调制作用, 表现出年代际变化特征(图 5, 7 中的青色虚线)。太平洋海平面变化有明显的年代际特征, 该年代际变化在验潮站资料(图 5, 图 6 中红色实线)、重构的海表高度资料(图 7 蓝色实线)和比容海面高度(图 7 红色实线)中均有反映。对于验潮站资料, 年代际变化振幅可达 50 mm, 重构场区域平均的年代际振幅也达 25 mm。

海平面的年代际变化与 PDO 的影响有关, 图 5

为热带太平洋验潮站海平面年代际变化与 PDO 指数的关系, 图中 a—d 站点位于西太平洋沿岸, e—h 站点位于东太平洋沿岸, 数据均经十年低通滤波处理。由图可见, 热带西太平洋海平面年代际变化与 PDO 指数表现为负相关, 且部分地区海平面有滞后 PDO 指数约 1 a 的最大负相关。热带东太平洋海平面年代际变化与 PDO 指数为显著正相关(图 5e—h), 部分地区出现前者滞后后者一年左右的最大正相关。热带太平洋地区重构的海面高度场和比容海平面也有与 PDO 相关的年代际变化现象(见图 7), 且对于重构场, 海平面年代际变化滞后 PDO 一年左右, 在西(东)太平洋达到最大负(正)相关。这说明太平洋年代际涛动对热带太平洋海平面有显著影响, 海平面的响应变化滞后 PDO 一年左右。由于卫星高度计资料时间长度有限, 难以分辨年代际变化, 在此不作分析。

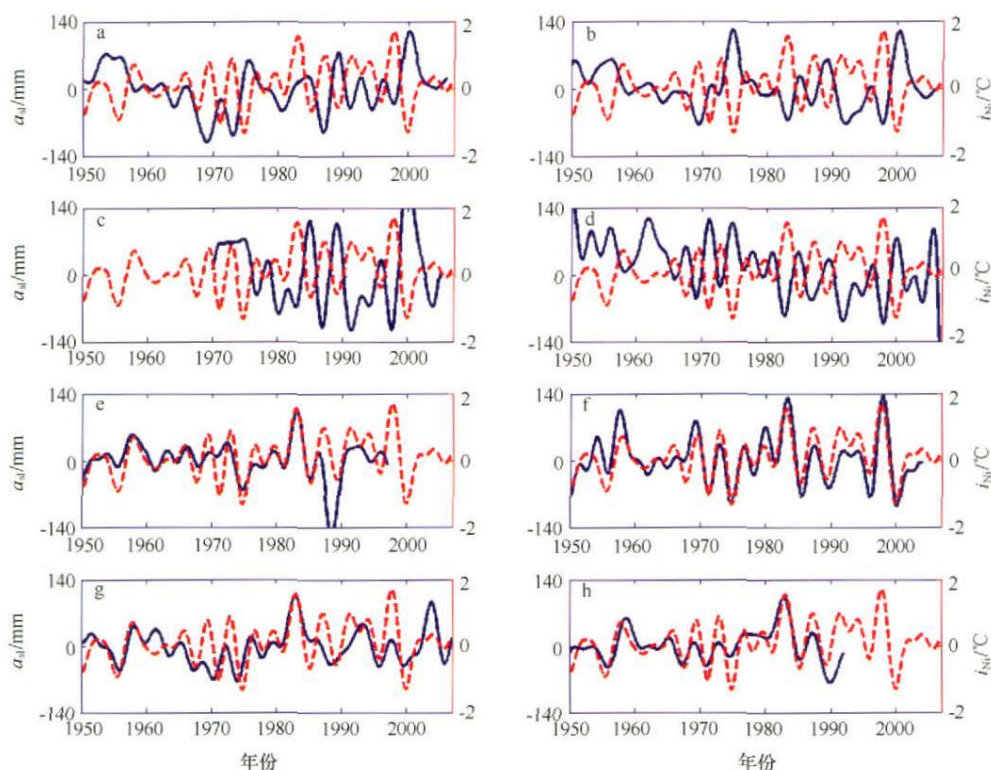


图 2 热带太平洋(25°S—25°N)验潮站海平面年际变化  $a_{sl}$  与 Nino3 指数( $i_{ni}$ )

蓝色实线为验潮站海平面变化, 红色虚线为 Nino3 指数。图中 a, b, c, d 位于热带西太平洋(站点经纬度依次为 13 09°N, 123 45°E; 10 18°N, 123 55°E; 9 31°N, 138 08°E; 8 44°N, 167 44°E); e, f, g, h 位于热带东太平洋(站点经纬度依次为 8 58°N, 79 34°W; 2 12°N, 80 55°W; 0 45°N, 90 19°W; 23 38°N, 70 24°W)



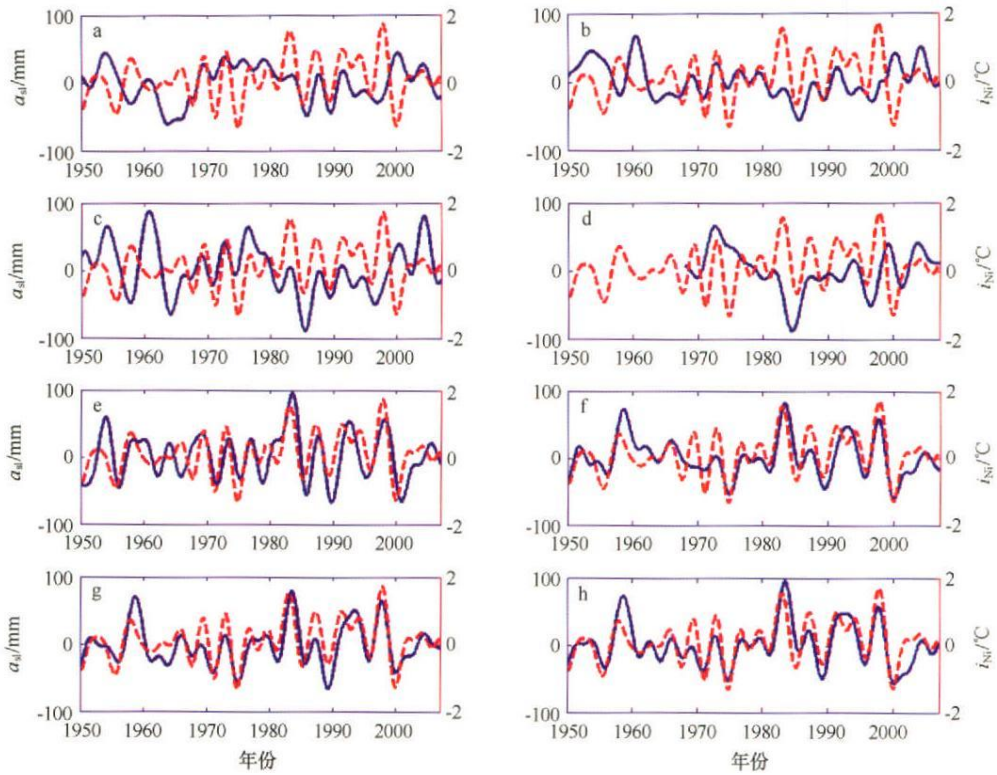


图 3 北太平洋中高纬(25°N 以北)验潮站海平面年际变化与 Nino3 指数

同图 2, 图中 a, b, c, d 位于中高纬西太平洋(站点经纬度依次为 34.55°N, 139.50°E; 35.09°N, 139.37°E; 35.01°N, 138.54°E; 34.02°N, 131.48°E); e, f, g, h 位于中高纬东太平洋(站点经纬度依次为 54.19°N, 130.20°W; 38.00°N, 122.59°W; 33.43°N, 118.16°W; 32.43°N, 117.10°W)

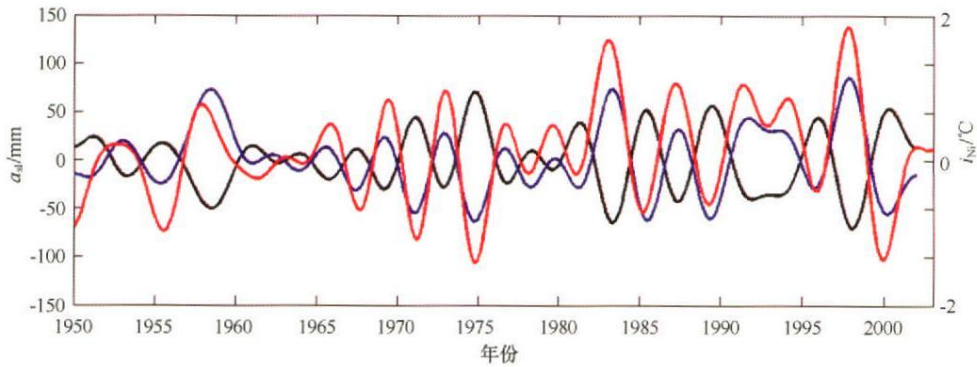


图 4 热带太平洋地区 Church 等<sup>[24]</sup>重构资料区域平均海平面年际变化与 Nino3 指数

(黑色线为热带西太平洋区域平均, 蓝色线为热带东太平洋区域平均, 红色线为 Nino3 指数)

图 6 为北太平洋中高纬地区验潮站海平面年代际变化与 PDO 的关系, 图中 a—d 站点位于西北太平洋沿岸, e—h 站位于东北太平洋沿岸。由图可见, 西(东)北太平洋海平面年代际变化与 PDO 指数表现为显著的负(正)相关, 二者的相关系数可达-0.50(0.90)。验潮站海平面的年代际变化与 PDO 的相关性有区域性分布和随时间演变的特征: 不同

地区二者相关性大小不同, 不同时期海平面超前、滞后 PDO 的关系不同。总体上, 西太平洋海平面年代际变化与 PDO 指数呈反相变化; 然而在中国沿海和日本海附近站点二者负相关不显著, 年代际变化强度较小(振幅在 40 mm 以下), 这些地区海平面变化可能还受其它因素的影响; 在韩国和北海道附近站点甚至表现为前者滞后后者一年左右的正相关。日

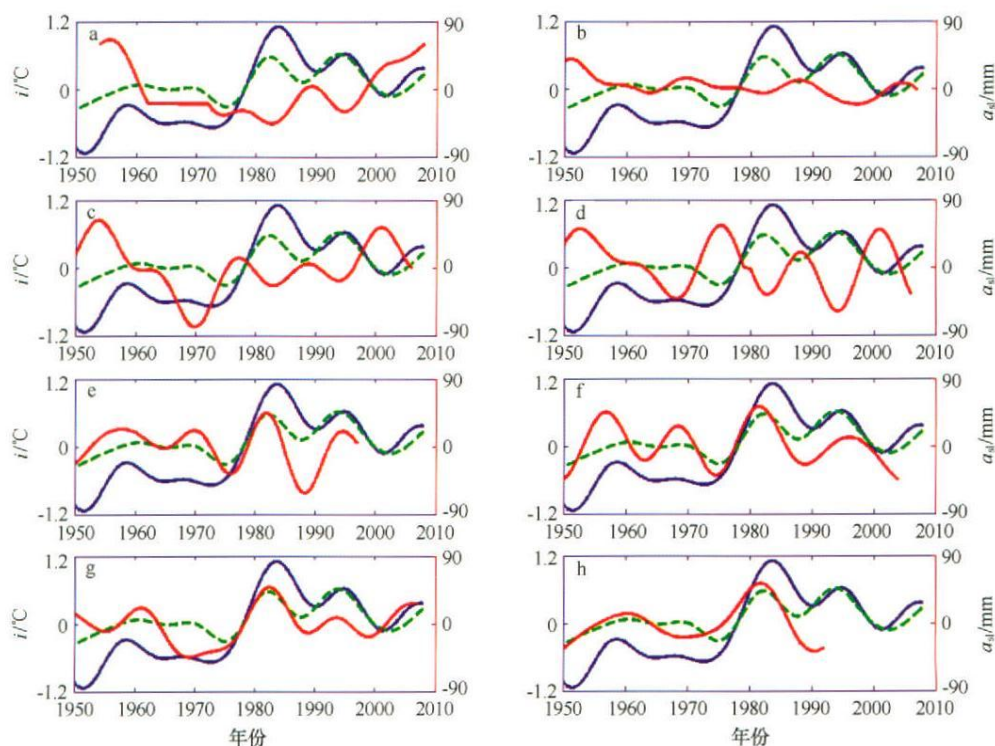


图 5 热带太平洋验潮站海平面年代际变化与 PDO 指数(站点的位置)

蓝色实线为 PDO 指数( $i$ ), 青色虚线为 Nino3 指数, 红色实线为验潮站海平面变化。图中 a, b, c, d 位于热带西太平洋(站点经纬度依次为 1.28°N, 103.50°E; 11.48°N, 103.50°E; 13.09°N, 123.45°E; 10.18°N, 123.55°E); e, f, g, h 位于热带东太平洋(同图 2. e-h); 图中数据经 10 a 的低通滤波处理

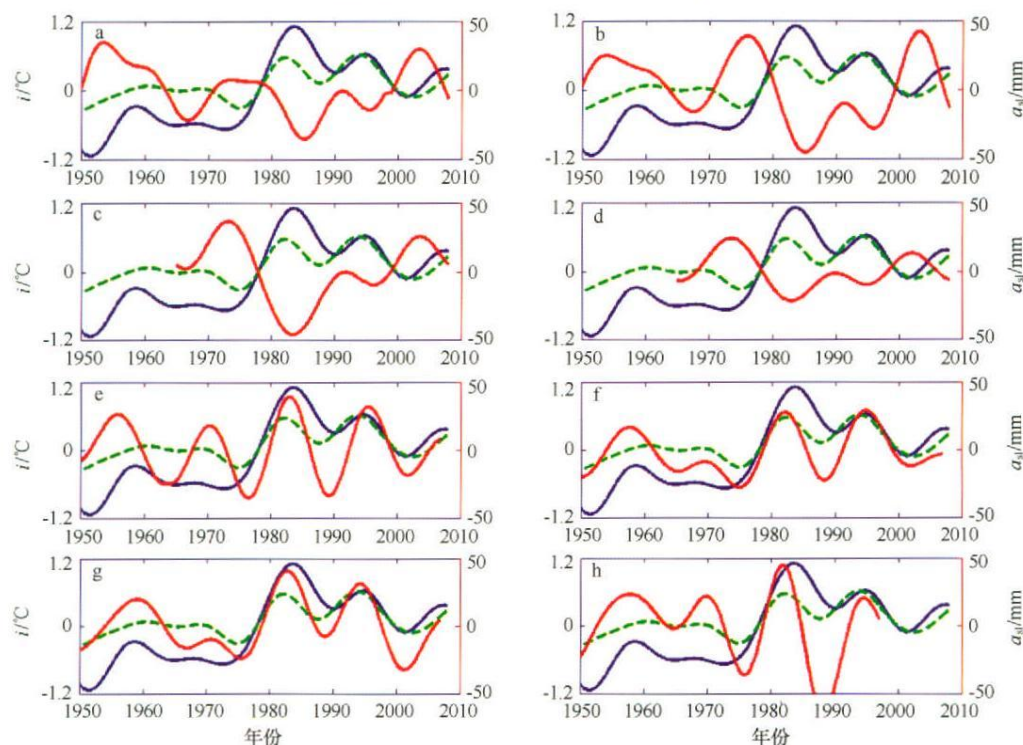


图 6 北太平洋中高纬验潮站海平面年代际变化与 PDO 指数

蓝色实线为 PDO 指数, 青色虚线为 Nino3 指数, 红色实线为验潮站海平面变化。图中 a, b, c, d 位于西北太平洋(站点经纬度依次为 35.09°N, 139.37°E; 35.01°N, 138.54°E; 31.01°N, 130.41°E; 32.44°N, 129.52°E); e, f, g, h 位于东北太平洋(站点经纬度依次为 48.51°N, 125.08°W; 47.36°N, 122.20°W; 33.43°N, 118.16°W; 32.43°N, 117.10°W)



本太平洋沿岸站点海平面的年代际变化随纬度变化, 35°N 以北(南) 海平面年代际变化超前(滞后) PDO 指数 1 a 左右达最大正(负) 相关。东太平洋的阿拉斯加地区, 海平面年代际变化振幅 20 ~ 40 mm, 主要表现为超前 PDO 指数一年左右的最大正相关, 向南二者总体为正相关, 振幅增大, 于 2000 年之前前者超前后者 5 个月左右的达最大正相关, 2000 年之后为同步相关。1977 年到 2000 年间, PDO 变化有两次极大值(图 6 中蓝色实线), 西(东) 太平洋中高纬度站点海平面年代际变化也表现出相对应的两个极小(大) 值, 由此可见太平洋海平面年代际变化受 PDO 影响显著。比较图 5, 7 可见太平洋中高纬地区的验潮站海平面与 PDO 的相关性大于低纬度地区, 由此可见北太平洋中纬度地区海平面变化受北太平洋年代际震荡的影响更为显著。海平面年代际变化的这种空间分布和时间演变特征与 PDO 模的时空演变<sup>[25]</sup> 有关。

Cazenave 等<sup>[18]</sup> 的研究表明, 1993—2008 年卫星高度计观测的海平面变化趋势在热带西太平洋上

升、热带东太平洋下降, 1993—2003 年的热容海平面趋势在热带太平洋有相似的空间分布。然而, 1953—2003 年 50 a 的热容海平面变化趋势的空间分布与上面的结论相反, 即 1953—2003 年的 50 a 间, 热容海平面变化趋势在热带西太平洋下降, 热带东太平洋上升。为探求这种截然相反结果的原因, 本文分析了比容海平面和重构场的年代际变化在 1993 年之后的 10 a 多时间内的变化。

图 7 为热带东西太平洋重构的海面高度与比容海面高度的年代际变化于 1993—2003 年间的变化趋势。在热带西太平洋, 比容海面高度和重构场的年代际变化在后 10 a 间都表现为上升趋势(上升速率分别为 0.54 和 0.44 mm/a), 而东太平洋则显著下降(下降速率分别为 -0.35 和 -0.46 mm/a)。正是这种年代际变化对 Cazenave<sup>[18]</sup> 15 a 的海平面趋势的预测产生重大影响, 导致了完全相反的海平面变化趋势, 从而影响结果的准确性。因此年代际变化对海平面长期趋势项的预测有直接而重大的影响, 有可能导致完全相反的趋势项结果。

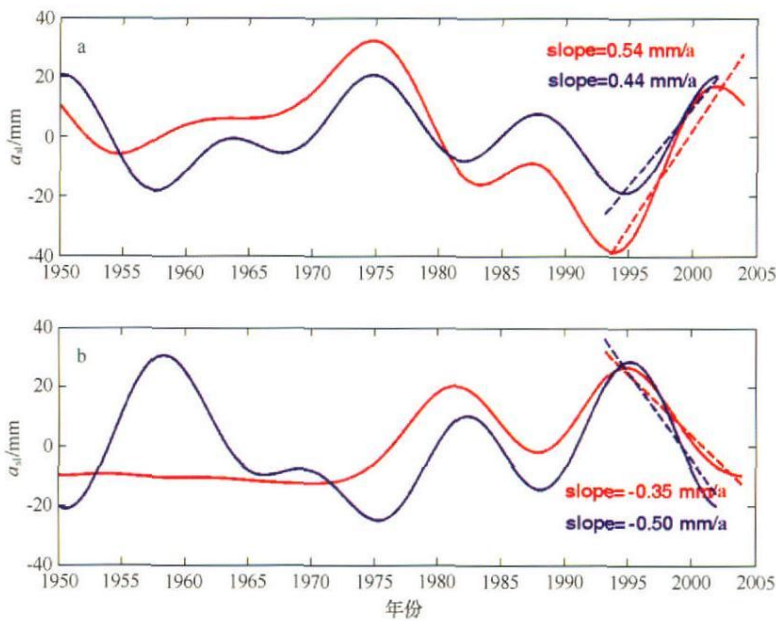


图 7 重构的海平面年代际变化(蓝色实线)于 1993—2002 年间的趋势项变化和比容海面高度(红色实线)于 1993—2003 年间的趋势项变化  
a 为热带西太平洋, b 为热带东太平洋。蓝色虚线为重构海平面后 10 a 趋势, 红色虚线为比容海平面后 11 a 趋势。图中资料经 10 a 低通滤波

## 6 小结

太平洋地区验潮站海平面总体呈上升趋势, 其平均速率为  $1.4 \text{ mm/a}$ , 升降速率的大小在空间上分布极不平衡, 呈现出西部上升快、东北部主要为下降的区域分布特征, 少数站点表现出极大的上升或下降趋势。

太平洋海平面有明显的年际和年代际变化特征。ENSO 是影响海平面年际变化的主要因素, 二者在西(东)太平洋表现为负(正)相关。ENSO 对低纬度地区海平面的影响较大, 随着纬度的升高影响有所减弱。海平面年代际变化与 PDO 指数在西(东)太平洋为负(正)相关, 且由低纬到中高纬, 二者

的相关性增大。PDO 对北太平洋中高纬地区海平面的影响大于热带地区。海平面与 PDO 的相关性有区域分布特征和随时间演变特征: 不同地区二者相关性大小不同, 不同时期海平面超前、滞后 PDO 的关系不同。中国和日本海附近海平面年代际变化可能还受其他因素影响, 日本太平洋沿岸海平面年代际变化在  $35^{\circ}\text{N}$  以南(北)海平面年代际变化滞后(超前) PDO 指数  $1 \text{ a}$  左右达最大负(正)相关。由南向北, 东太平洋海平面年代际变化超前 PDO 达到最大正相关的时间由 5 个月增大到  $1 \text{ a}$  左右。年代际变化对目前使用卫星高度计资料分析海平面长期趋势项的预测有直接影响, 可能完全掩盖海平面长期变化趋势。

## 参考文献:

- [1] CHURCH J A, GREGORY J M, HUYBRECHTS P, et al. Changes in sea level [R] // Climate Change the Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ Press, 2001
- [2] CAZENAVE A, NEREM R S. Present-day sea level change: observations and causes [J]. Rev Geophys, 2004, 42; doi: 10.1029/2003RG000139.
- [3] LOMBARO A, CAZENAVE A, LE TRAON P Y, et al. Contribution of thermal expansion to present-day sea level rise revisited [J]. Global Planet Change, 2005, 47: 1—16
- [4] ANTONOV J, LEVITUS S, BOYER T P. Thermosteric sea level rise, 1955—2003 [J]. Geophys Res Lett, 2005, 32; doi: 10.1029/2005GL023112
- [5] CABANES C, CAZENAVE A, LEPROVOST C. Sea level rise during past 40 years determined from satellite and in situ observations [J]. Science, 2001, 294: 840—842
- [6] DANIEL M W, THOMSON R E. Interannual to multidecadal timescale climate variations in the northeast Pacific [J]. Journal of Climate, 2000, 13: 3209—3221
- [7] WU L, LIU Z, GALLIMORE R, et al. Pacific decadal variability: the tropical Pacific mode and the North Pacific mode [J]. Journal of Climate, 2003, 16: 1101—1120
- [8] ALBERT M M, ARTHUR J M. Interdecadal variability and climate change in the eastern tropical Pacific: A review [J]. Progress in Oceanography, 2006, 69: 267—284
- [9] 李崇银, 朱锦红, 孙照渤. 年代际气候变化研究 [J]. 气候与环境研究, 2002, 7(2): 209—218
- [10] 莫如平. 中国降水、气温的年际振荡及其与厄尔尼诺的联系 [J]. 海洋学报, 1989, 11(2): 16—24
- [11] 荣增瑞, 刘玉光, 陈满春, 等. 全球和南海海平面变化及其与厄尔尼诺的关系 [J]. 海洋通报, 2008, 27(1): 1—8
- [12] 杨修群, 朱益民, 谢倩, 等. 太平洋年代际振荡的研究进展 [J]. 大气科学, 2004, 28(6): 1—5
- [13] SMITH T M. Tropical Pacific sea level variations (1948—1998) [J]. J Climate, 2000, 13(15): 2757—2769
- [14] HAN W, WEBSTER P J. Forcing mechanisms of sea-level interannual variability in the Bay of Bengal [J]. J Phys Oceanogr, 2002, 32: 216—239
- [15] YOSHIN S, SHOSHIRO M, NIKLAS S, et al. Decadal sea level variability in the south pacific in a global eddy-resolving ocean model hindcast [J]. American Meteorological Society, 2008, 38: 1731—1746
- [16] TIWARIA V M, CABABNESB C, DOMINHB K, et al. Correlation of interannual sea level variations in the Indian Ocean from Topex/Poseidon altimetry, temperature data and tide gauges with ENSO [J]. Global and Planetary Change, 2004, 43: 183—196
- [17] 吕俊梅, 琚建华, 张庆云, 等. 太平洋海温场两种不同时间尺度气候模态的分析 [J]. 海洋学报, 2005, 27(5): 30—36
- [18] CAZENAVE A, ALIX L, WILLIAM L. Present-day sea level rise: a synthesis [J]. C R Geoscience, 2008, doi: 10.1016/j.crite.2008.07.008
- [19] LOMBARO A, CAZENAVE A, LE TRAON P Y, et al. Contribution of thermal expansion to present-day sea level rise revisited [J].



Global Planet Change, 2005, 47: 1—16

- [ 20] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis [ J ]. Proc R Soc Lond, 1998, 454A: 903—995.
- [ 21] WU Z, HUANG N E, LONG S R, et al. On the trend, detrending, and variability of nonlinear and nonstationary time series [ J ]. PNAS, 2007, 104( 38 ): 14889—14894
- [ 22] 申辉, 郭佩芳, 钱成春. 1993—2001 年全球海平面高度变化特征[ J]. 海洋与湖沼, 2002, 33( 3 ): 225—232
- [ 23] 马继瑞, 田素珍, 郑文振, 等. 太平洋水位站相对海平面升降趋势分析[ J]. 海洋学报, 1996, 18( 5 ): 14—20
- [ 24] CHURCH J A, WHITE N J, COLEMAN R, et al. Estimates of the regional distribution of sea level rise over the 1950 to 2000 period [ J ], J Climate, 2004, 17( 13 ): 2609—2625
- [ 25] 咸鹏, 李崇银. 北太平洋海温变化的年代际模及其演变特征[ J]. 大气科学, 2003, 27( 5 ): 861—867

## Pacific sea level variations and its factors

GU Xiao-li<sup>1</sup>, LI Pei-liang<sup>1</sup>

(1 *Physical Oceanography Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266100, China*)

**Abstract:** Decomposing monthly sea level data at tide gauges along the coast of the Pacific Ocean in the EMD method, and combining with other data, the Pacific Ocean sea level's interannual and decadal oscillation were investigated, as well as information on the sea level trends. Overall, the Pacific Ocean coastal sea level rises, with an average rate in 1.4 mm/a, and shows highly non-uniform properties in geography. There are obvious interannual and decadal variability at the Pacific sea level. The interannual variations of the Pacific Ocean sea level oscillations are significantly affected by the ENSO. In the east Pacific Ocean the interannual sea level variability and Nino3 index are positive correlation, while negative correlations in the west Pacific Ocean. The correlation between both is significant in the tropical Pacific Ocean, and the correlation is weakened with latitude increasing. At different areas this correlation coefficient is different. In the west (east) Pacific Ocean sea level decadal variation performs significant negative (positive) correlation with the PDO index overall. The correlation between them is non-uniform geographically and evolves with time. Sea level decadal changes could lead to exactly the opposite sea level trend, due to decadal variation direct impact on the trends.

**Key words:** sea level variations; interannual variation; decadal oscillation; ENSO