

由 ERS-2 和 TOPEX 卫星测高数据推算的海面高异常的主成分分析

文汉江¹ 章传银¹

(1 中国测绘科学研究院, 北京市海淀区北太平路 16 号, 100039)

摘要: 利用 1995~2003 年间的 TOPEX/POSEIDON 和 ERS-2 卫星测高数据, 尽量采用相同的改正模型对 TOPEX 和 ERS-2 卫星测高数据分别进行改正, 然后由共线分析法分别推算了全球 $1^\circ \times 1^\circ$ 的 35 d 的海面高异常时间序列, 并采用主成分分析法分别对这两个海面高异常时间序列进行了分析。

关键词: 卫星测高; TOPEX/POSEIDON; ERS-2; 海面高异常; 共线分析; 主成分分析

中图法分类号: P229.2; P228.42

主成分分析(empirical orthogonal functions, EOF)是分析多维时间序列的有效方法之一,在许多实际应用中,可以将时间序列进行分解,并对分解后的低阶模式进行分析。主成分分析已有不同方面的应用,如利用主成分分析对 1942-01~1999-06 的全球 SOI(southern oscillation index)时间序列进行了分析^[1];采用 TOPEX/POSEIDON 卫星测高数据确定了海平面的变化,利用 EOF 将稀疏的验潮站数据内插为全球格网^[2];利用 EOF 对海平面和海面风场进行了分析并提取它们之间的主要模式^[3-4];对厄尔尼诺事件的预测进行了研究;王勇等利用复主成分分析对中国近海的海平面变化进行了研究,给出了中国南海、黄海和东海的海平面变化的空间和时间分布特征,并得出了主要主成分的空间分布与海洋环流相对应的结论^[5]。

1 海面高异常序列的生成

本文所采用的 ERS-2 卫星测高数据是 CER-SAT(Center ERS d'archirage et de traitement)的 OPR 产品,TOPEX/POSEIDON 卫星测高数据由 AVISO 提供。在实际处理时,尽量对两种测高数据采用相同的误差改正模型。海洋潮汐采用 FES2002 Grenoble 模型,海洋负荷采用 NAO99 模型(MATSUMOTA),极潮采用 IERS

(international earth rotation service)提供的 EOPC04 模型。干对流层改正采用 ECMWF(European center for medium weather forecast)提供的模型,而湿对流层改正则采用由卫星上辐射计测定的结果。

对 ERS-2 卫星测高数据,电离层改正模型采用 IRI95(international reference ionosphere 1995)。2000 年以后,由于多种因素的影响,使 ERS-2 的后向散射系数发生了改变。2000-01-16 之后的 ERS-2 的 σ_0 需要进行改正。ERS-2 OPR CD 上提供的 σ_0 在 2000-01-16~2000-02-07 需加 0.15 dB,2000-02-10~2000-03-07 间加 0.35 dB,2000-03-03 后加 0.25 dB。ERS-2 卫星测高数据的海况改正 ssb (sea-state bias)由风速和显著波高(significant wave height, SWH)根据以下的模型进行计算:

$$ssb = SWH(-0.048 - 0.0026U + 0.000126U^2) \quad (1)$$

式中,SWH 为显著波高,以 m 为单位;U 为风速,单位为 m/s,计算所得的 ssb 的单位为 m。值得一提的是, σ_0 变化 0.2 dB,对 ssb 改正值将产生影响,并引起最终的海面高计算值约 2 mm 的变化。

由 USO(ultra stable oscillator)的漂移所引起的系统误差通过 ESRIN 提供的改正数进行修

正,从而减少其影响,同时顾及了 SPT R2000(single point target response) 的影响。

对 TOPEX/ POSEIDON 卫星测高数据, 电离层改正采用由双频测高仪的观测数据进行改正。其他的改正模型与 ERS-2 卫星测高数据所采用的相同。

采用如下的准则对测高数据进行编辑。当某观测值出现如下情况之一时, 则不采用该观测值:

- 如缺少某一改正数; SWH 大于 9 m; 所测定距离的 σ 大于 0.3 m; 风速大于 15 m/s;
- 海深小于 100 m; 海面高与模型平均海面高的差大于 3 m。

对测高数据进行处理之后, 采用共线分析推算沿卫星轨道方向的海面高异常值。对 ERS-2 和 TOPEX/ POSEIDON 分别选取同一时间段的平均沿轨海面高作为参考值, 将每圈中卫星沿轨海面高减去平均沿轨海面高即得到该圈的海面高异常值, $1^\circ \times 1^\circ$ 的海面高异常格网值通过一定范围内的离散海面高异常值加权平均得到。不同圈的海面高异常值构成海面高异常的时间序列。由于 ERS-2 卫星的轨道重复率为 35 d, 而 TOPEX/ POSEIDON 卫星的轨道重复率为 10 d, 因此, 由 TOPEX/ POSEIDON 卫星测高数据采用共线分析只能得到重复率为 10 d 的海面高异常时间序列。为了便于将两个时间序列进行比较, 实际处理时, 将 TOPEX/ POSEIDON 的时间序列采用高斯函数内插得到对应于 ERS-2 卫星测高数据的重复率为 35 d 的时间序列。以下对 35 d 的 $1^\circ \times 1^\circ$ 海面高异常时间序列进行主成分分析。

2 主成分分析

假定与位置和时间有关的函数, 在某一时刻 t 有 M 个观测值 $P_m(t) (m = 1, 2, \dots, M)$, 例如在

M 个不同点的海面高异常观测值, 而在不同的时刻 t_1, t_2, \dots, t_n 对应于不同的观测值组, 得到的观测序列 $P_m(t_i)$, 其中的下标 m 表示不同的位置, t_i 表示不同的观测时刻。由上面推算的全球范围内的 $1^\circ \times 1^\circ$ 海面高异常的时间序列, 可以看成是间隔为 35 d 的不同时刻的海面高异常的观测值。

将观测序列 $P_m(t_i)$ 用只与时间和只与空间位置有关的函数来表示, 即

$$P_m(t_i) = \sum_{k=1}^M Y_m(x_k) Q_k(t_i) \quad (2)$$

式中, $Y_m(x_k)$ 表示未知的只与位置有关而与时间无关的函数; $Q_k(t_i)$ 则为只与时间有关的系数。EOF 分析即是通过寻找一组经验正交函数来分解原时间序列。

图 1 显示的是由 ERS-2 测高数据所得的空间分布特征, 图 2 显示的是由 TOPEX/ POSEIDON 测高数据所得的空间分布特征。图 3 显示的是由 ERS-2 和 TOPEX/ POSEIDON 测高数据所得的第一个模式所对应的时间序列。在这两种情况下, 第一个模式占总的方差的百分比分别为 32.4% 和 31.5%。

图 3 中的横坐标为由 1995 年 6 月起算的 ERS-2 的圈数。从图 3 中可以看出, 它们之间是非常相似的, 可以说 ERS-2 和 TOPEX/ POSEIDON 数据中所提取的海面高异常的信息几乎相同。两者都显示出明显的周期变化, 这两个图中的明显的峰值正好是 1997 年 12 月, 也就是说, 由分析卫星测高数据推算的海面高异常的时间序列与发生在 1997~ 1998 年间的厄尔尼诺事件可能是相关的, 需要进行更深入的研究。由图 1 和图 2 的比较可以看出, 第一模式的空间分布特征也是非常相近的。由这两个图也可以看出, 海面高异常变化比较大的区域, 与由 ERS-2 和 TOPEX/ POSEIDON 卫星测高数据推算的海面高异常序列总体是一致的。

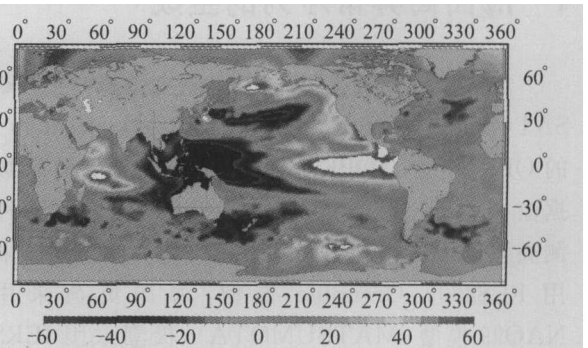
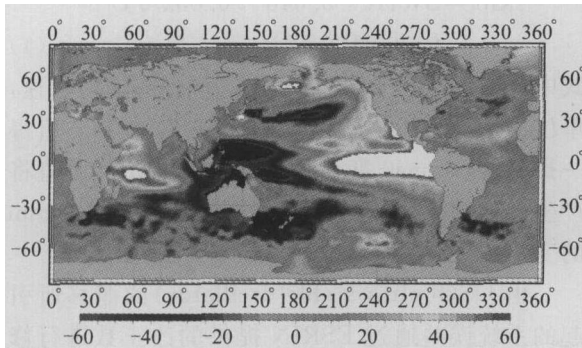


图 1 由 ERS-2 测高数据所得的空间分布特征
Fig. 1 Spatial Characteristics with Respect to the First Mode from ERS-2

图 2 由 TOPEX 测高数据所得的空间分布特征
Fig. 2 Spatial Characteristics with Respect to the First Mode from TOPEX/ POSEIDON

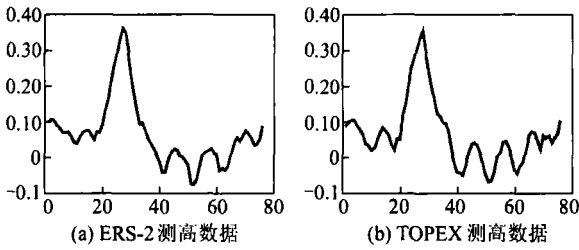


图 3 第一个模式时间序列

Fig. 3 Time Series of the First Mode

3 结 语

由主成分分析法分别对 ERS-2 和 TOPEX/POSEIDON 数据推算的全球海面高的时间异常序列进行了分析, 由第一模式所对应的时间序列可以明显看出 1997~1998 年间海面高的异常现象, 与发生在 1997 年至 1998 年间的厄尔尼诺事件有一定的相关性。对该模式所显示的周期变化还需要进行进一步的分析。此外, 如何确定厄尔尼诺事件与海面高的异常之间的关系也是值得进一步深入研究的问题。

参 考 文 献

[1] Ghil M, Allen M R, Dettinger M D, et al. Adv-

anced Spectral Methods for Climate Time Series [OR/J]. Rev. Geophys., 2002, 40(1), www.agu.org/pubs/back/jc/2002/index.shtml# Dec, 2006

- [2] Chambers D P, Mehlhoff C A, Urban T J, et al. Low-frequency Variations in Global Mean Sea-level: 1950~2000[OR/J]. J. Geophys. Res., 2002, 107(C4), www.agu.org/pubs/back/jc/2002/index.shtml# Dec, 2006
- [3] Alory G, Delcroix T. Interannual Sea Level and Associated Mass Transports in the Tropical Pacific from TOPEX/POSEIDON Data and Linear Model Results (1964~1999)[OL/J]. J. Geophys. Res., 2002, 107(C10), www.agu.org/pubs/back/jc/2002/index.shtml# Dec, 2006
- [4] Barnett T, Graham N, Cane M A, et al. On the prediction of the El Nino of 1986~1987[J]. Science, 1988(241):192-196
- [5] 王勇, 许厚泽, 詹金刚. 中国近海 TOPEX/POSEIDON 卫星测高海面变化的 CPCA 分析[J]. 测绘学报, 2001, 30(2): 173-178

第一作者简介: 文汉江, 博士, 研究员, 主要从事物理大地测量、卫星测高、小波及多分辨模型等方面的研究工作。

E-mail: wenhj@casm.ac.cn

EOF Analysis of Sea Level Anomaly Time Series Derived from ERS-2 and TOPEX Altimeter Data

WEN Hanjiang¹ ZHANG Chuanyin¹

(1 Chinese Academy of Surveying and Mapping, 16 Beitaping Road, Beijing 100039, China)

Abstract: The collinear analysis is used to get the time series of sea level anomalies(SLA) by using ERS-2 and TOPEX/POSEIDON altimeter data from July 1995 to November 2003, respectively. To make the comparison between the two time series, the 10 d SLA time series derived from TOPEX/POSEIDON altimeter data is interpolated to 35 d time series. The correction models are harmonized between the two missions. Mean sea surface from 1996 to 1997 is subtracted during the collinear analysis.

Key words: empirical orthogonal functions; sea level anomalies; satellite altimetry; collinear analysis; ERS-2; TOPEX/POSEIDON

About the first author: WEN Hanjiang, Ph. D, Researcher, majors in physical geodesy, satellite altimetry, wavelets and multiscale analysis.

E-mail: wenhj@casm.ac.cn