

基于 RBF 神经网络的 EMD 方法 在海平面分析中的应用*

顾小丽¹ 李培良¹ 谭海涛² 张婷婷¹ 李磊¹ 王雪竹¹ 于宜法¹

(1.中国海洋大学海洋环境学院 青岛 266100; 2.中海石油研究中心 北京 100027)

提要 采用径向基函数神经网络法延拓原始数据序列,有效抑制了 EMD 分解中出现的端点发散效应,从而实现准确的 EMD 分解。利用该方法对中国近海验潮站的月平均海平面资料进行处理,分解得到的内在模函数分量代表了海平面各种周期性变化。通过 EMD 分解得到的总体自适应趋势项为非线性变化,比以往趋势项提取方法更有优势,它反映了在资料长度内海平面的长期升降情况。数据序列越长,该方法所能分解出来的 IMF 成分越多,可分辨的频率越小。

关键词 EMD, 径向基函数, IMF 分量, 海平面变化

中图分类号 P731

近年来,海平面变化对人类生存环境的影响,引起了国际社会和沿海各国政府的高度重视。海平面的深入研究对人类掌握海平面变化规律和进行海平面科学预测具有重要的理论和现实意义。Barnett(1984)曾利用本征分析法对海平面变化进行了细致的研究。90 年代以后陆续有学者提出动态预测模型(黄立人, 1991; 田晖等, 1993), 得到中国沿岸海面变化的线性趋势和变化速率。至此,关于海平面的研究大都将趋势项当作线性变化来处理。随后,左军成等(1996)提出的本征分析和随机动态的联合模式和左军成等(1997)应用的灰色系统理论对海平面变化建立了连续函数,关于海平面变化的研究开始考虑趋势项变化速率和加速度。夏华永等(1999)提出了带周期项的海平面变化灰色分析模型,改进了灰色系统理论在预测周期变化显著的月均海平面上精确度不高的问题。以上方法都没有实现海平面变化中各种周期项(尤其是长周期项)和趋势项的准确分离。

经验模态分解(EMD)方法是 Huang 等(1998)提出的分析非线性、非平稳信号的一种新方法。王卫强等(1999)采用经验模态分解法研究了中国沿岸海平面

变化,解决了资料序列的非平稳非线性问题,分离出各种海平面变化周期,得到海平面的年变率。但该文对 EMD 分解中存在的一个不容忽视的问题——端点效应未作处理。针对端点效应, Huang 等(1998)在提出 EMD 方法的同时已经开发出一种用特征波对原始信号进行延拓的方法,但未公布具体的处理方法。朱金龙等(2006)提出了正交多项式拟合法,但该方法主要针对数据量较大的因果信号。邓拥军等(2001)曾采用神经网络法处理 Hilbert 变换中的边界问题,其所用的是一种单层、单神经元的线性神经网络,延拓效果有待提高。本文中作者采用径向基函数神经网络延拓法处理 EMD 分解中的端点问题,有效抑制了端点对信号的扭曲。将这种方法应用于中国海区几十个验潮站的月平均海平面资料的分析,得到更准确的海平面周期变化项和非线性变化趋势,为中国沿海海平面长期变化的准确预测提供基础。

1 资料来源及研究方法

1.1 资料来源

本文资料来源于中国沿岸 47 个验潮站(图 1)的实

* 教育部科学技术重点项目, 108159 号; 国家自然科学基金资助项目, 40506006 号和 40676013 号; 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2007CB411807 号。

通讯作者: 李培良, 博士, 副教授, E-mail: lpli@ouc.edu.cn

收稿日期: 2008-10-05, 收修改稿日期: 2009-04-14

k 为样本组数, m, l 为数据点数。将训练样本(P, T) 输入到网络中训练网络, 同时取 spread 值从 1 到 10 调试网络, 即构造 10 个径向基网络, 由此得到的模拟向量 y 与目标向量 T 存在着一定的偏差。根据最小偏差来确定性能最佳的网络, 令

$$mse = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (t_i - y_i)^2 \quad (6)$$

得到最佳网络后, 需进行数据延拓。先确定序列 x 在边界(如右边界)的样本矩阵 p_1 , 将其输入到最佳网络中, 输出延拓序列 a_1 。将 a_1 当作原数据序列 x 新的边界, 以新的数据序列产生边界的样本矩阵 p_2 , p_2 输入网络, 得到新数据延拓序列 a_2 , 以此类推, 直到在数据的右端延拓出一个极大值点和一个极小值点。用同样的方法在左端延拓出包含一个极大值点一个极小值点的序列。这样得到一个新的序列 x_1 , 并将其作 EMD 分解。

2 数据分析结果验证

为检验基于 RBF 神经网络的 EMD 分解方法的适用性, 以长涂 37 年资料(图 2)为例进行分解, 分解所得 IMF 分量经过显著性检验, 并与未作延拓处理所得的 IMF 分量进行对比, 同时将趋势项与五年滑动平均结果进行比较。

2.1 延拓前后 IMF 分量和趋势项比较

图 3 是基于 RBF 神经网络延拓的 EMD 分解得到的 IMF 分量与未延拓时 EMD 分解所得的 IMF 分量的比较。从图 3 中可看出, 改进后的 EMD 分解有效抑制了原方法中出现的端点效应, 在边界处得到比较准确的周期性振动。由延拓前的 IMF 分量看出, 随着

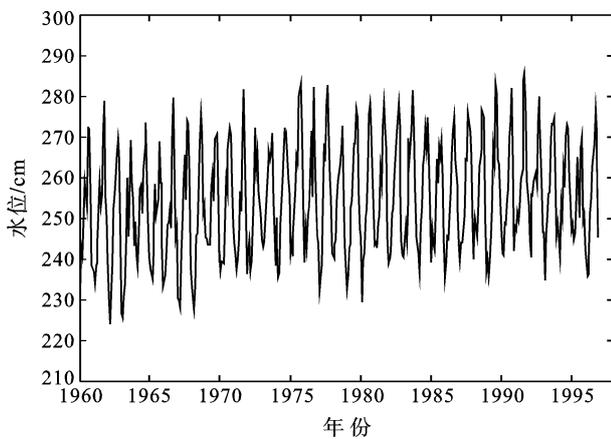


图 2 长涂站 1960 到 1996 年月均海平面变化
Fig.2 Sea level variability of Changtu from 1960 to 1996

分解的进行边界扩散现象不断向信号内部传播: 在 IMF1、IMF2 高频振荡成分中端点的上冲下冲现象非常厉害, 使整个信号的图像难以辨认; IMF3、IMF4 和 IMF5 的边界效应影响了边界处周期与振幅的正常表现; 到 IMF6 和 IMF7, 端部效应不断向信号内部传播, 已经淹没了边界处可能存在的波动, 最终在趋势项(图 4 中红色曲线)中达到最大“污染”。出现这种现象是因为在分解过程中, 要不断进行三次样条插值, 其产生的边界发散效应不断积累并向下传播, 最终传递给趋势项(图 4 中红色曲线)。此外, 延拓前后低频的 IMF 成分在振幅和频率上有一些出入, 这是因为每一个 IMF 成分不是限制在某一窄波段内的信号, 而是振幅和频率调制而成的。

更值得注意的是延拓后的 EMD 分解比没有做延拓的分解多得到一个 IMF 分量 IMF8 (图 3)。大连、连云港、北海等站也有比延拓前分解出更多 IMF 分量的现象, 这是因为作延拓处理后的数据分解抑制了严重的边界效应干扰, 将原来隐藏在边界处的振荡分离出来, 从而达到 EMD 的完全分解。而在秦皇岛、东山和湛江站, 延拓改进后分解得的 IMF 分量个数比未作延拓分解得到的 IMF 分量要少, 但最大周期成分不变, 这是因为未延拓分解时端点处扭曲造

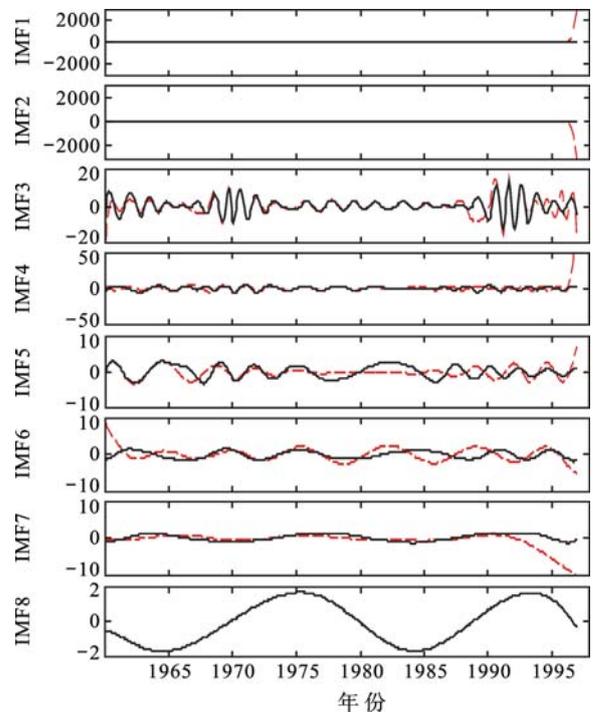


图 3 长涂站延拓前后 IMF 分量
Fig.3 Unextended and extended IMF of Changtu station (虚线为延拓前分解的 IMF, 实线为延拓后分解的 IMF)

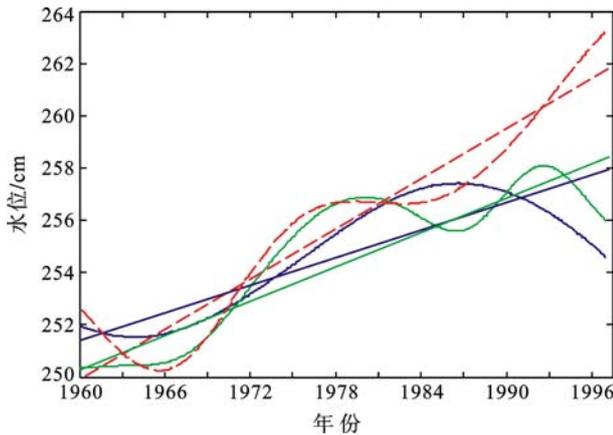


图 4 长涂趋势项与 5 年滑动平均结果

Fig.4 Trends and 5 year running mean result of Changtu (蓝实曲线为延拓后趋势项, 红虚线为未延拓趋势项, 紫实曲线为滑动平均结果, 蓝、红、紫色直线分别为延拓后、未延拓、滑动平均趋势的线性拟合趋势)

成了假性成分。

延拓处理后 EMD 得到的 IMF 相对于未作延拓的 IMF 在边界处有明显的改善, 但是要证明由此得到的 IMF 为包含有用信息的海面变化成分, 还需要对其进行显著性检验。Wu 等(2004)的研究结果表明, 比较 IMF 的能量分布与显著性检验的置信线, 位于上置信线之上和下置信线之下的 IMF 分量, 可认为是在所选置信水平范围内包含了具有实际物理意义的信息成分, 落在置信水平线之间的部分认为是含有物理意义较少的白噪声成分。图 5 是对长涂站经延拓处理的 IMF 进行显著性检验, 图上紫红色和绿色点为白噪声样本的 IMF1—8 的能量相对于平均周期的分布, 蓝虚线为白噪声样本 1% 和 99% 的置信线, 红色圆点为 IMF 能量相对于平均周期的分布。由图 5 可看出, 8 个 IMF 周期能量分布全都位于 99% 的置信水平线之上, 所以长涂站分解的结果通过显著性检验, 分解得到的 IMF 成分为包含实际物理意义的海面变化信号。对其它站做显著性检验, 大部分站点的 IMF 分量通过显著性检验, 只有大连、青岛、旅顺等站的个别 IMF 分量落在白噪声显著区间, 说明 EMD 分解出了不含物理意义的白噪声成分, 然而此噪声成分并不影响趋势项的结果。

2.2 延拓前后的趋势项与滑动平均结果的比较

图 4 为 EMD 方法改进前后得到的趋势项和五年滑动平均结果的比较。由图 4 可看出, 未作延拓处理的 EMD 分解得到的趋势项(红色曲线), 其右端有很明显的边界扩散现象, 且这一效应已经“污染”到信号

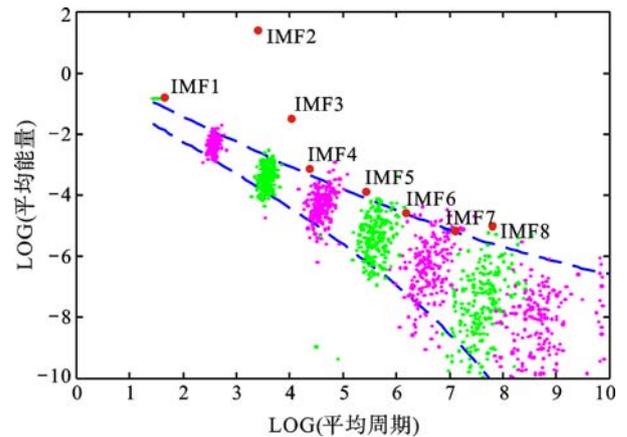


图 5 长涂站 IMFs 显著性检验

Fig.5 IMFs significance test for Changtu (粉红色和绿色点为白噪声样本的 IMF1—8 的能量相对于平均周期的分布, 蓝虚线为白噪声样本 1% 和 99% 的置信线, 红色圆形点为 IMF 能量相对于平均周期的分布)

中部, 使后 15 年的海平面变化趋势加速向上偏离, 结果失真, 而方法改进后分解所得的趋势项(蓝色曲线)明显改善了边界扩散的问题, 使趋势项结果更可信。方法改进后的趋势项显示, 上世纪 80 年代海平面变化平缓, 1987 年以后水位有下降的趋势, 5 年滑动平均结果(紫色实线)的最后 5 年也出现下降现象, 与未延拓分解得后 15 年加速上升有本质区别, 所以改进后所得趋势项更能反映海平面的真实变化。延拓改进前长涂站海平面平均年变率为 3.20 mm/a, 延拓改进后年变率为 1.73 mm/a, 原水位资料拟合的年变率 2.29 mm/a, 显然延拓改进后的年变率比改进前的值更可信。对其它站点进行比较分析, 得到相类似的结论。

以上结果说明 RBF 数据延拓方法能有效抑制 EMD 分解中的端点效应, 实现准确的 EMD 分解, 得到准确趋势项以及海平面年变率。

3 方法的应用及分析

3.1 内在模函数分量(IMF)

经基于 RBF 神经网络的 EMD 分解首先得到准线性、准平稳的内在模函数分量(IMF)(图 6)。对作延拓改进的 EMD 分解法所得长涂站在模函数分量作进一步的分析研究。

图 6 中各个 IMF 分量表示不同尺度的变化, 每一个 IMF 分量并不只是限制在某一窄波段内的信号, 而是由振幅和频率调制而成的。第一个 IMF 是从长涂资料中分解出来的振幅最大、频率最高的振动; 依

次下去的各 IMF, 频率逐渐变低、振幅逐渐减小。图 6 中第一个 IMF 代表周期小于一年的高频成分, 其中包含的半年显著周期振荡, 对应着半回归年的天文周期, 其主要振幅约为 5 cm, 间断出现高频、10 cm 和 20 cm 大振幅的波动, 这就是振幅调制。IMF2 表示周期为一年的显著振动, 对应回归年天文周期, 振幅以 15—20 cm 为主, 中间混有 5 cm 左右的振荡。IMF3 周期约为 17.5 个月, 振幅在 3—5 cm 之间, 由于振幅调制, 信号中有高频、大振幅的振动, 它显然是一种显著周期的振动, 左军成等(1994)认为这可能是年周期与 3 年左右周期的非线性效应产生的。IMF4 是准两年水位振荡, 振幅在 3—5 cm 之间, 它由准两年的大气振荡引起。IMF5 和 IMF6 的振幅分别为 1—3 cm、1—2 cm, 平均周期分别为 3—3.3 年和约 6.2 年, 这两项变化情况与厄尔尼诺事件的发生频率关系密切, 是对厄尔尼诺现象、黑潮大弯曲和中国沿海气候变化作出的综合响应(左军成等, 1994)。IMF7 表示 12.3 年左右的振动, 振幅约为 1 cm, 它对应着太阳黑子周期(Frairbridge, 1961)。IMF8 的周期约 18.5 年, 振幅约为 1.5 cm, 它是月球轨道 18.61 年升交点周期在海平面变化中的反映, 并且这项是未作延拓处理的

EMD 分解中分解不出来的。

在我国海区, 尤其是高纬度海区, 年变化分量是主要的周期成分, 其次是半年周期振动。通过中国沿海验潮站各周期成分对比发现, 年周期的振幅由北向南逐渐变小; 而半年周期的振幅由北向南逐渐变大, 这是因为每年太阳两次直射低纬度海区, 产生的辐射潮振幅由北向南增加。如位于北纬 39°的大连站年周期振幅约为 30 cm, 半年振动为 5 cm, 到北纬 30°附近的镇海年和半年周期振动的振幅分别约为 20 cm 和 7 cm, 向南到香港站年和半年的振幅分别约为 8 cm 和 8.5 cm。由此可见, 虽然年周期在海平面变化中占据主导地位, 但其振幅由北向南下降非常明显, 而半年周期的振幅由北向南增加, 它在海平面变化中比重在上升, 甚至比年振动的振幅还大, 这与文献(左军成等, 1994; 郑文振, 1999)的结果一致。

周期成分中的理论天文周期(如: 半年、年、18.61 年)、准两年大气振动周期、3—7 年厄尔尼诺周期和太阳黑子周期在所选的大部分验潮站中都有表现, 有些站还出现 4.4 年的天文周期、14 年左右的周期和 1.19 年地极移动周期等。由于受站点时间长度限制(时间序列最长为 48 年), 所以难以得到 22.2 年的双黑子周期以及 25 年以上的超长显著振动周期。

EMD 分解最后剩下一个趋势项(图 7), 它包含了时间尺度大于资料长度的成分, 反映了 1960 年到 1997 年间长涂海平面长期升降情况。由图 7 可见, 趋势项虽然总体上以 1.73 mm/a 的平均年变率上升, 然而它并非作线性变化。1960—1964 年间水位略有下降; 1965—1986 年这 22 年间海平面加速上升, 平均年变率为 2.73 mm/a(图 7 中绿色线), 显然大于整个时间长度内平均年变率 1.73 mm/a(图 7 中红色虚线); 1987 年以后水位加速下降, 平均年变率为 -2.73 mm/a (图 7 中绿色线), 与整个时间段内海平面上升的变化趋势相反。由此可见, 长涂站海平面变化有明显的非线性、非单调性特征, 其它验潮站也出现了这种变化特征, 当然各站的非线性具体表现不尽相同。这种非线性特征对海平面变化短期预报的准确性有很大改善。按照以往将趋势项当作线性变化处理的方法, 在资料长度的未来几年里, 长涂站海平面将一直以年变率 1.73 mm/a 的速度线性上升, 然而实际的海平面趋势是随时间变化的, 它不可能保持同一速率一直上升, 所以这种结果预报可信度低。根据 EMD 分解的结果, 在 1987 年以后海平面开始加速下降, 所以该方法对海平面的预报在未来几年将有下降趋势, 其

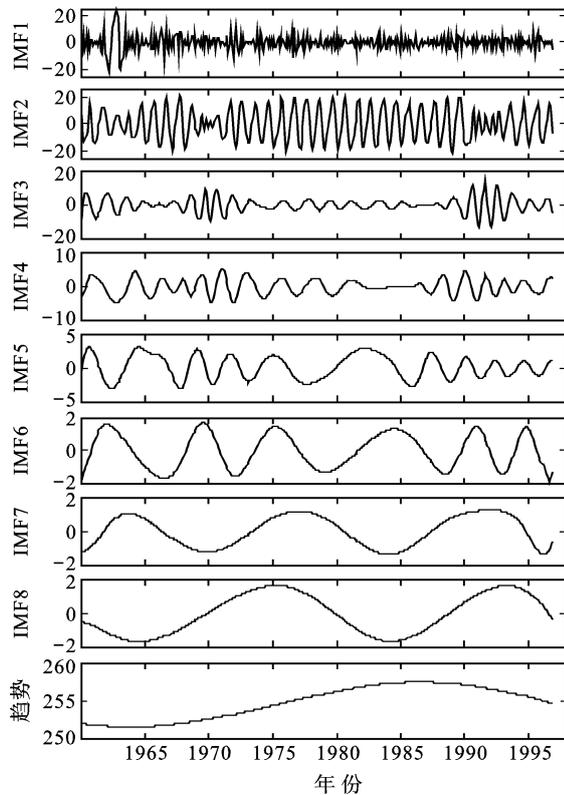


图 6 长涂站 IMF1-IMF8 分量和趋势项
Fig.6 IMF1-IMF8 and trend of Changtu

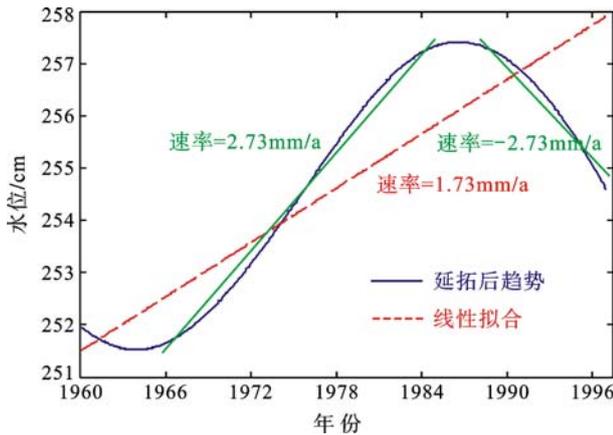


图7 长涂站趋势项
Fig.7 Trend of Changtu

下降速率约为 2.73 mm/a , 这与前者一直上升的趋势有本质的区别。显然后者的结果更符合实际情况, 其预报的准确性也更高。

RBF 神经网络能很好地延拓数据序列, 抑制 EMD 方法中的边界问题, 从而将海平面资料中各种周期项准确分离, 得到更真实的趋势项, 进行准确的海平面变化预测。所得趋势项为非线性变化, 它详细地反映海平面非单调变化, 相对于以往线性的趋势项分析方法这是它的一大优势。

3.2 中国沿岸海平面变化趋势

Lombard 等(2006)的研究表明, 全球平均海平面总体上呈上升趋势有两个主要因素: 一是由全球气候变暖而引起的热膨胀, 另一个为海洋质量的变化(如陆地水储量变化、陆地冰川和南北极冰盖消融等造成的质量增加)。中国沿岸海平面变化总体上与全球变化趋势一致(申辉等, 2003)。然而, 海平面变化在空间分布上存在明显的区域性差别, 不同地区其升降性质以及升降幅度的大小不同。各验潮站海平面年变率随时间变化, 且存在明显的非线性、非单调性特征。

从区域分布来看(图 8), 渤海、黄海沿岸海平面总体呈现上升趋势, 海平面的非线性变化最为显著, 所有站都呈现升降交替变化的现象, 大连、塘沽、羊角、烟台和连云港的非线性尤为明显。该地区塘沽的海平面上升速率最大, 与此地过度开采地下水, 地面下沉严重有关(郑文振, 1999), 秦皇岛、连云港和山东半岛附近的海平面年速率是下降的, 位于山东半岛的威海、乳山和石臼所在数据长度时期内下降趋势显著, 这与该地区位于基岩区, 近代地壳上升有很大关系(任美镔等, 1993, 郑文振, 1999)。秦皇岛和连云港海平面在上世纪 80 年代前加速下降, 而之后上升

趋势明显。青岛由于位于海平面年速率零等值线上, 所以它的趋势项比较平缓, 但在上世纪 70 年代以后仍有微小的上升趋势。东海的 18 个站中有 14 个站平均年变率为正, 所以海平面总体呈上升趋势。该地区海平面变化的非线性特征表现也很明显, 除了绿华山、大戢山和东山三个站海平面单调上升外, 其它站的海平面都有升降交替变化, 吕泗、长涂、健跳和厦门站在上个世纪 80 年代中期以后海平面明显下降。处于长江口三角洲地区的吴淞和高桥, 海平面年变率比较大, 上升趋势明显, 黄河口的羊角也有这样的现象。这与三角洲地区地理环境和人类活动等有很大关系。一方面河口三角洲地区受径流影响, 沉积物的沉积、侵蚀、压实作用强, 导致地面下陷, 另一方面, 这些地区经济发达、大量开采地下水也导致地面下陷, 造成海平面升高(陈宗镛等, 1991)。南海的海平面变化平缓, 而其总趋势仍为上升。该区海平面变化的非线性与其它海区相比不明显, 汕头、黄埔、三灶水位单调下降, 湛江单调上升, 其它站有非线性、非单调变化。从图 8C 可看出汕头、香港、黄埔和三灶的年变率为负值, 但是汕头只有 20 年的资料且较早, 不能代表后期的水位变化, 赤湾、湛江、北海、东方等站于上世纪 80 年代之后水位加速上升。Cheng 等(2007)的研究表明, 南海海平面变化主要受南海上层热变化影响, 水平热对流在这种热变化中起着关键作用, 水体交换对海平面变化也有贡献。海平面变化的这种区域性分布特征与当地的地质条件、环流等因素有关。由北向南我国沿海海平面变化幅度有逐渐变小的特点。这是由沿岸气压、水温、盐度等的变化幅度由北向南逐渐减小造成的(左军成等, 1994)。

从单个站点的海平面变化趋势来看, 各个验潮站在资料长度时间内海平面并非作单调升、降的线性变化, 在不同时间段内海平面升降性质和升降速率的大小并不一定相同。该趋势项能更准确地反映和预测海平面变化, 这种特点使得该方法可以很好地应用在海平面的分析中。

从图 8 中可看出对于数据序列比较小的站, 如羊角、龙湾站, 趋势项的波动幅度大, 仍有周期性波动的特征, 这是因为数据序列短, EMD 分解不完全, 趋势项中还有显著长周期的不完整波动存在。

4 结论

基于 RBF 神经网络的 EMD 分解方法能有效抑制端点效应, 其分辨率高, 能分解出更多、更小振幅的

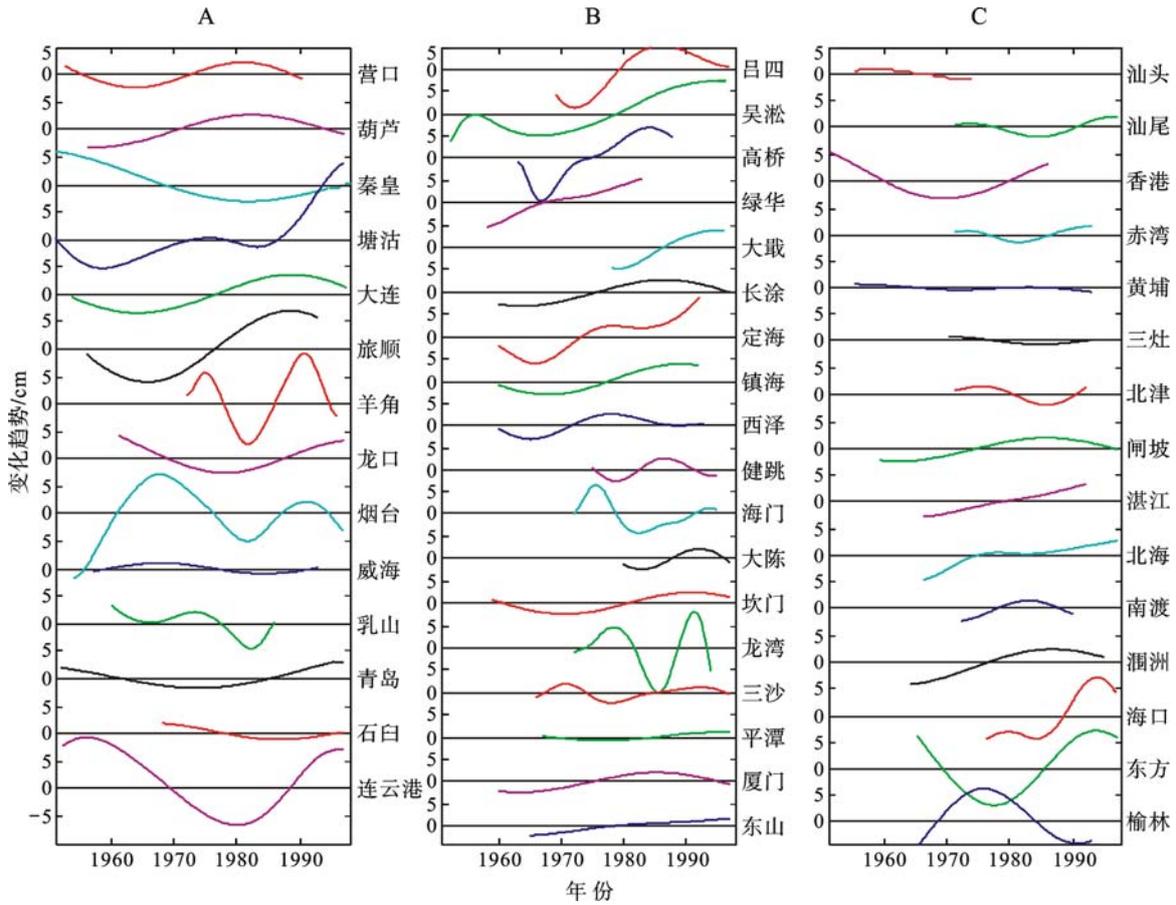


图 8 中国沿岸 47 个验潮站海平面变化趋势(A 渤海、黄海海域, B 东海海域, C 南海海域)

Fig.8 Seal level variability trends of China 47 tide stations

IMF 分量, 得到准确的趋势项。基于 RBF 神经网络的 EMD 分解对不同长度数据的分解效果不同, 数据序列越长, 该方法所能分解出来的 IMF 成分越多, 得到的海平面变化趋势更为准确, 而同时数据序列长在 EMD 分解中要达到平稳所做样条插值的次数越多, 得到的趋势项失真的可能性就越大。如果数据序列比较短, 分解较容易达到稳定, 但是趋势项中还有显著长周期的不完整波动难以分离, 导致海平面变化非线性显著。

用该方法处理中国沿岸验潮站资料, 所得 IMF 分量代表海平面各种周期性变化, 其中年周期为最显著振动成分, 半年周期次之。趋势项准确地反映了资料长度内海平面的长期升降情况。我国沿海海平面上升与下降的分布是有规律的, 海平面变化总体上呈非线性上升趋势。然而, 海平面变化在空间分布上存在明显的区域性差别, 渤海沿岸、东海沿岸和南海沿岸海平面总体呈上升趋势, 其中河口三角洲地区上升尤为显著, 南海沿岸海平面上升变化比较平缓,

山东半岛附近海平面下降。验潮站海平面年变率随时间变化, 有明显的非线性、非单调性特征, 这一特征在渤海、黄海表现最为显著, 东海次之, 南海较弱。由北向南我国沿海海平面变化幅度逐渐变小。

经改进后的 EMD 方法在一定程度上有效地抑制端点效应, 但该方法受资料长度的影响, 数据序列太短, 显著的长周期成分难以完全分离造成趋势项不准确, 所以对短期的海平面资料, 该方法预报的准确性有待提高。对于非线性、非平稳的海平面资料, RBF 神经网络算法的精度和效果如何还需深入研究和不断检验, 更先进、合适的延拓方法将大大提高分解的准确性。此外, EMD 方法存在的模态混淆问题和 RBF 延拓算法计算量大而导致分解速度慢等问题还有待进一步改进。

参 考 文 献

王卫强, 陈宗镛, 左军成, 1999. 经验模态法在中国沿岸海平面变化中的应用研究. 海洋学报, 21(6): 102—109

- 邓拥军, 王伟, 钱成春等, 2001. EMD 方法及 Hilbert 变换中端点效应的处理. 科学通报, 46(3): 257—263
- 左军成, 于宜法, 陈宗镛, 1994. 中国沿岸海平面变化原因的探讨. 地球科学进展, 19(5): 48—53
- 左军成, 陈宗镛, 周天华, 1995. 中国沿岸相对海面变化的本征分析与预测. 海洋与湖沼, 26(3): 331—337
- 左军成, 陈宗镛, 周天华, 1996. 中国沿岸海平面变化的一种本征分析和随机动态联合模型. 海洋学报, 18(2): 7—14
- 左军成, 陈宗镛, 戚建华, 1997. 太平洋海域海平面变化的灰色系统分析. 青岛海洋大学学报, 27(2): 138—144
- 田晖, 周天华, 陈宗镛, 1993. 平均海面变化的种随机动态预测模型. 青岛海洋大学学报, 28(1): 33—42
- 申辉, 郭佩芳, 钱成春等, 2003. 1993—2001 年全球海面高度变化特征. 海洋与湖沼, 34(2): 169—178
- 任美镠, 张忍顺, 1993. 最近 80 年来中国的相对海平面变化. 海洋学报, 15(5): 87—97
- 朱金龙, 邱晓晖, 2006. 正交多项式拟合在 EMD 算法端点问题中的应用. 计算机工程与应用, 23: 72—74
- 陈宗镛, 黄蕴和, 周天华等, 1991. 长江口平均海面的初步研究. 海洋与湖沼, 22(4): 315—320
- 郑文振, 1999. 我国海平面年速率的分布和长周期分潮的变化. 海洋通报, 18(4): 1—10
- 夏华永, 李树华, 1999. 带周期项的海平面变化灰色分析模型及广西海平面变化分析. 海洋学报, 21(2): 9—17
- 黄立人, 1991. 海面变化趋势的动态预测. 海洋通报, 10(1): 1—6
- 瞿伟廉, 程磊, 2006. 应用径向基函数神经网络处理 EMD 方法中的边界问题. 华中科技大学学报, 29(4): 1—4
- Barnett T P, 1984. The estimation of "Global" Sea level change: a problem of uniqueness. Journal of Geophysical Research, 89(e5): 7980—7988
- Cheng Xuhua, Qi Yiquan, 2007. Trends of sea level variations in the South China Sea from merged altimetry data. Global and Planetary Change, 57: 371—382
- Frairbridge R W, 1961. Eustatic change sea-level. Physics and Chemistry of the Earth, 4: 99—185
- Lombard A, Garcia D, Ramilien G *et al*, 2006. Estimation of steric sea level variations from combined GRACE and Jason-1 data. Earth and Planetary Science Letters, 254: 194—202
- Huang N E, Shen Z, Long S R *et al*, 1998. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. Proc Roy Soc Lond A, 454: 903—995
- Wu Zhaohua, Norden E Huang, 2004. A study of the characteristics of white noise using the empirical mode decomposition method. The Roy Soc London, 460: 1597—1611
- Wu Zhaohua, Norden E Huang, Steven R Long *et al*, 2007. On the trend, detrending, and variability of nonlinear and non-stationary time series, PNAS, 104(38): 14889—14894

SEA LEVEL VARIATION ANALYSIS WITH RBF NEURAL NETWORK BASED EMD METHOD

GU Xiao-Li¹, LI Pei-Liang¹, TAN Hai-Tao², ZHANG Ting-Ting¹, LI Lei¹, WANG Xue-Zhu¹, YU Yi-Fa¹

(1. Oceanography Department, Ocean University of China, Qingdao, 266100;

2. China National Offshore Oil Research Center, Beijing, 100027)

Abstract A new empirical mode decomposition (EMD) method was developed based on radial basic function (RBF) neural network and applied to analyze sea level variability. A temporal signal series is extended with the network before a new round of EMD starts. The result of analysis with the new method agrees better with the result of 5 year running mean than that using traditional EMD. The new method decomposes a series of sea level temporal signal into a set of intrinsic mode functions representing the periodic components of signal and an overall adaptive trend. It was shown that the annual variability was very remarkable in 47 stations along coast of China, and the semi-annual variability was also clear but less remarkable, with the amplitude decreased north to south. In the last 40 years, the sea level fluctuation of the area has been increasing in a non-linear pattern generally but varied geographically. The maximum fluctuation occurs in estuary zones. The results also reveal that the longer the temporal signal series is, the more IMF can be obtained from the data using the new method and a more exact overall adaptive trend can be extracted from signal. A shorter time series could achieve a complete decomposition easily but some of the IMF components may be hidden in overall adaptive trend, resulting in obviously nonlinear sea level variability, which may not be actually true.

Key words EMD, Radial Basic Function, IMF, Sea level variations