

珠江三角洲河口区水位变化的典型场特征

杨清书

(中山大学河口海岸研究所, 广州 510275)

黄伟强 梁飞勇

(珠海市砂石土公司)

摘要 利用珠江三角洲河口区9个站的验潮记录资料,应用最平滤波器对月均验潮序列进行低通数字滤波,消除高频扰动对确定海平面变化趋势的影响.应用经验正交函数(EOF)对水位变化的典型场进行分解,根据各特征模态的空间特征函数的分布和时间特征函数的变化来分析河口区水位变化的时空特征.应用交叉谱探讨水位变化在频域上对流量、气温、气压和风的响应. EOF分解表明,近几十年来珠江三角洲河口区水位的平均变化率为2.1 mm/a.

关键词 水位变化, 高频扰动, 经验正交函数, 珠江三角洲河口区

分类号 P 731.34

珠江三角洲是中国经济最发达的地区之一,海平面变化及其引起的环境恶化将直接制约着该区的经济发展.许多研究者对珠江三角洲水位变化及口外海平面变化进行过研究^[1~4].同一区域的水位变化,不同的研究者其结论相差甚远,主要原因有:资料的记录时段不同;未能区分水位变化和海平面变化;资料的预处理方法不同.

高频扰动对确定海平面变化趋势的影响随记录长度作振荡性衰减,记录越短,高频扰动的影响越显著,在验潮记录较短的条件下,高频扰动对海平面变化趋势的影响已达到该站海平面变化的量级^[5].珠江三角洲大多数验潮站始建于五六十年代,而比较精确的连续验潮观测仅有30多年的历史,因此,不消除高频扰动的影响,其线性回归分析结果是不可信的.低通数字滤波是消除高频扰动的一种有效方法.本文应用最平滤波器对月均验潮序列进行低通数字滤波,由低通序列一元线性回归分析计算单站的水位变化率,应用 EOF 分解的特征函数来计算珠江三角洲区域的水位变化趋势.

1 资料与方法

1.1 资料来源及预处理

①水位,本文收集有珠江三角洲河口区莞城、灵山等9个验潮站1962~1984年的月均验潮序列,资料取自广东省水利水电厅的《珠江流域水文资料》.②风,广州站的地面风,将原始的月均序列分解成北分量和东分量,资料取自《广东省广州地面气象资料》.③气压、气温,收集有广州站气压,宝安站气温,均为月均序列,分别取自《广东省广州

收稿日期:1995-03-06 杨清书,男,31岁,讲师

地面气象资料》、《广东省地面气象年鉴》。④流量,收集有高要、石角、博罗 3 个水文站流量的月均序列,分别代表西江、北江、东江的流量,3 站的流量基本上反映了整个珠江三角洲的流量变化.流量资料取自《珠江流域水文资料》。

以上资料在计算前均应用最平滤波器进行低通滤波处理,最平滤波器的通带截止周期 T_c 为 24 月(2a),其冲激响应及性能见文献[7]。

1.2 经验正交函数(EOF)

设有验潮序列 $X_i(j)$, $i=1,2,3,\dots,M$; $J=1,2,3,\dots,N$; M 为空间点数, N 是观测序列的长度,将原始记录转化成标准化序列 A_{ij} 。

(1) 求相关矩阵
$$R(i,j) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N A_{ik} \cdot A_{kj}$$

用雅可比方法作旋转变换求相关矩阵的特征值 λ_i 和空间特征函数 V_{kj} 。

(2) 求时间特征函数
$$S(i,j) = \sum_{k=1}^N A_{ik} \cdot V_{kj}$$

(3) 通过第 n 个特征模(特征值)求比值 $\lambda_i / \sum_{j=1}^m \lambda_j$

便可计算每个模态在整个典型场中的相对重要性。

2 水位变化趋势及其典型场特征

2.1 水位变化的经验正交分解

为分析河口区水位变化的时空特征及其区域水位变化趋势,应用经验正交函数对水位变化的典型场进行分解,EOF 分解是从大范围观测资料中提取某一物理过程时空变化主要特征的有效方法,能高度概括水位变化的典型场特征,且 EOF 分解是由场本身的特性决定的,一定程度上减少了人为因素的影响.为消除高频扰动对典型场分解的影响,应用最平滤波器对月均验潮资料进行低通滤波预处理,由低通序列进行 EOF 分解。

选取莞城、灵山、板沙尾、竹银、黄埔、万顷沙西、横门、灯笼山、浮标厂 9 个验潮站水位的低通序列,构成 9×228 阶矩阵,分解的时段为 1964~1982 年.经 EOF 分解,各模态的特征值及其方差贡献见表 1,各验潮站在前 3 个模态下的空间特征函数见表 2。

由表 1 看出,前 3 个主要特征模态(第一、二、三模态)累积方差贡献占总方差的 92.5%,这说明前三个特征函数足以代表河口区水位变化的时空结构.各模态特征值的

表 1 典型场的特征值和方差贡献

Tab. 1 Eigenvalues, variances and accumulative total variances of different eigenstructure modes

| 模 态 | 模态 1 | 模态 2 | 模态 3 | 模态 4 | 模态 5 | 模态 6 | 模态 7 | 模态 8 | 模态 9 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 特征值 | 6.81 | 0.91 | 0.61 | 0.33 | 0.23 | 0.07 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 方差贡献/% | 75.5 | 10.0 | 6.8 | 3.7 | 2.6 | 0.8 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| 累积方差贡献/% | 75.7 | 85.7 | 92.5 | 96.2 | 98.8 | 99.6 | 99.8 | 99.9 | 100 |

表 2 典型场中前三个模态的空间特征函数

Tab. 2 Eigenvectors spatial function of the important three modes

| 验潮站 | 浮标厂 | 黄 埔 | 莞 城 | 灵 山 | 板沙尾 | 横 门 | 万顷沙西 | 竹 银 | 灯笼山 |
|----------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 空间特征函数第一 | 0.3732 | 0.3096 | 0.2201 | 0.2969 | 0.3358 | 0.3586 | 0.3615 | 0.3615 | 0.3544 |
| 第二 | 0.0828 | 0.3742 | 0.7744 | 0.1505 | -0.0609 | -0.2440 | -0.2135 | -0.2433 | -0.2505 |
| 第三 | -0.2159 | 0.2416 | -0.3942 | 0.7009 | 0.2547 | -0.2868 | 0.1309 | -0.1784 | -0.2288 |

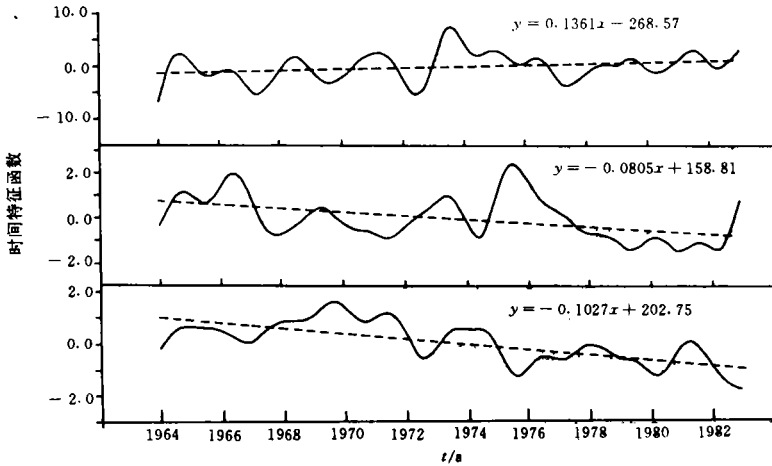


图 1 第一、第二、第三时间特征函数(a,b,c)

Fig. 1 The first, second and the third sub-series of EOF analysis

收敛速度表明,第一模态比其余各模态的特征值收敛速度快,第二模态之后收敛速度愈来愈慢,反映河口区水位变化的一致性和复杂性.

2.2 典型场特征及水位变化趋势

2.2.1 第一特征函数 第一特征函数的贡献率为 75.7%,说明第一模态是河口区水位变化典型场的主要模态,即第一特征函数反映了河口区水位变化的一般趋势.如图 1a 所示,第一时间特征函数的变化趋势是递增的,其线性回归方程为 $S(t) = 0.136 t - 268.57$,表明河口区水位变化的总趋势是上升的,这与各站低通序列的计算结果相符.莞城、板沙尾、竹银、万顷沙西、横门、灯笼山、浮标厂 7 个验潮站水位变化趋势是上升的,上升率范围为 1.1~5.6 mm/a.

第一空间特征函数的分布一般是向河口方向(下游方向)递减,洪奇门则相反,一般地,向下游地形趋于开敞,潮汐作用逐渐加强,河流作用趋于减弱,那么第一特征函数表明,河流作用引起的水位效应是上升的.洪奇门的第一空间特征函数向河口方向递增,可能与西、北江之间的分流、分沙有关,多年统计表明,存在北江净向西江输水,西江净向北江输沙趋势^[2].第一空间函数均为正值,表明各站水位变化具有较好的相关性

和同步性,典型场的区域水位变化率可由第一时间特征函数进行换算,根据 BARNETT^[6]的换算关系式计算,珠江三角洲河口区的区域平均水位变化率为 2.1 mm/a. 第一特征函数反映了珠江三角洲河口区水位变化上升的一般趋势.

2.2.2 第二、第三特征函数 由表 1 看出,第二、第三特征模态是水位变化典型场中的相对次要模态. 第二、三时间特征函数均呈下降趋势(图 1b、c),表明局部地段水位变化趋势是下降的. 单站低通序列的一元线性回归分析结果表明少数测站如黄埔、灵山站的水位变化呈下降趋势,可见第二、第三模态是典型场中反映水位下降的模态. 第二、第三空间特征函数均为异号,表明导致局部地段水位下降的原因是复杂的,如珠江三角洲各断块升降的差异性及局部的地貌变化等.

2.2.3 河口区水位变化的原因 影响河口区水位变化的原因是复杂的,既与水文气象要素有关,又与河口区局部地段的冲淤变化、地貌演变有关,还受人为筑闸等因素的影响. 要把海平面变化从上述影响因素中分离出来是相当困难的. 本文只讨论几种因素对海平面(水位)变化的影响. 如气压变化 1 hPa,水位反向变化 1 cm,1964~1982 年,广州站的气压变化是下降的,由此引起的水位上升率约 0.15 mm/a;珠江三角洲河口区流量递增,必然引起河口区水位上升;河口区水位与风的关系较为复杂,与局部地形有关,主要以风引起的增减水效应及季风引起的沿岸流方式影响水位变化,对于珠江口沿岸,一般情况下,风的东分量引起增水而北分量减水. 广州站风的北分量是递减的,其效应是增水,而东分量基本保持不变;经典的海平面与全球温度变化的关系是^[7] $S(t) = aT(t - t_0) + b$,式中 S , T 分别是 5 a 平均的海平面和温度, t 为时间, $t_0 = 18a$ 为滞后时间, a 和 b 为最小方差线性回归系数;厄尔尼诺事件也是影响水位变化的重要因素,可引起月均水位偏离 10~20 cm. 另外,河口延伸,其邻近上游水位必然按河口水位比降相应升高,如磨刀门河口每外延 120 m,水位则抬升 1 cm^[8],必然引起竹银、灯笼山站的水位上升. 人类活动对水位变化的影响,50 年代,人为堵塞了当时珠江 9 大出海口门之一的泥湾门水道,曾引起白蕉站年平均水位上升 70 cm.

在频域上,可通过交叉谱分析研究水位变化与水文气象要素的关系,

第一时间特征函数与水文气象要素的交叉商谱分析如图 2,图中 a, e, e 是交叉谱, b, d, f 为相干谱,在周期大于 2.8 a 的低频带,第一特征模态所反映的水位变化主要与气压、气温和风的北分量有较高的相关性,即口门区水位变化受气候周期波动的影响. 在中心频率为 0.038 转/月(对应的周期为 2 a)上,水位变化与河流流量有较好的相关性,水位变化与周期为 2 a 的径流变化有关.

第二、第三时间特征函数与水文气象要素的交叉谱分析表明,在低频带(周期大于 3 a),第二模态反映的水位变化与气压、气温有较高的相关性,在个别窄频上与流量亦有一定的相关性,在另一低频带(对应周期 ≤ 3 a),第二模态反映的水位变化与气温、流量的相关性很高. 在低频带(周期大于 4 a),第三模态反映的水位变化与气压、气温、风的北分量有较高的相关性.

以上的分析结果表明,水位变化仍受周期为 2~4 a 的气候变化的影响,因此要准确计算海平面(水位)变化的趋势,有必要消除周期为 2~4 a 的气候变化的影响.

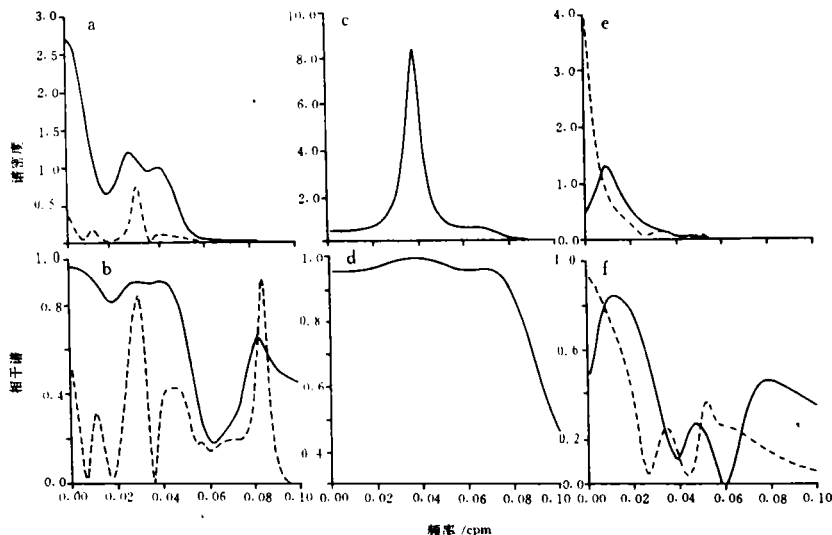


图 2 第一时间特征函数与影响因素的相干谱

a. 气压、气温(虚线); c. 流量; e. 风的北、东分量(虚线); b, d, f 为对应的相干谱

Fig. 2 Coherence squared between river discharge, air pressure, temperature and components of wind

3 结论与讨论

(1) 验潮记录越短, 高频扰动对趋势项的影响越显著, 在验潮记录较短的客观条件下, 若不消除高频扰动对确定海平面变化趋势的影响, 其线性回归分析确定的水位变化率是不可信的。

(2) 应用 EOF 分解的特征函数能较好地描述珠江三角洲河口区的水位变化, 能从整体上揭示水位变化的时空结构, 从中可分析水位变化与各影响因素的相互关系。

(3) EOF 分解结果表明, 近几十年来珠江三角洲河口区水位变化总体呈上升趋势, 平均上升率为 2.1 mm/a, 与各站简单的算术平均有差异, 原因是 EOF 分解是由场的特性决定的, 一定程度上减少了人为因素的影响, 能真实地反映该区的水位变化趋势。

(4) 影响珠江三角洲河口区水位变化的因素多而复杂, 如流量变化、河口延伸、河床淤高、地形效应、人工联围筑闸等, 要研究各影响因素对水位变化的确切影响, 需要大量的测量资料和野外调查, 是一项艰巨而有意义的工作。

参 考 文 献

- 1 Emery K O and Aubrey D G. Relative sea level changes from tide gauge records of eastern Asia mainland. *Geology*, 1986, 72: 33~55
- 2 赵焕庭. 珠江河口演变. 北京: 海洋出版社, 1990. 108~126.

- 3 曾昭璇, 刘南威, 胡男, 等. 珠江口海平面最近 25 年上升趋势研究及其影响. 热带地貌, 1991, 12(1, 2):1~18
- 4 任美镔. 黄河长江珠江三角洲近 30 年海平面上升趋势及 2030 年上升量预测. 地理学报, 1993, 48(5):385~393
- 5 杨清书, 吴超羽. 数字滤波器及其在海平面变化研究中的应用. 第七届全国海岸工程学术讨论会论文集, 1993. 742~753
- 6 Barnett T P. RECENT CHANGES IN GLOBAL SEA LEVEL AND THEIR POSSIBLE CAUSES. *Climate Change*, 1983, 5(1):15~38
- 7 Gornitz, Lebedeff and Hansen, Global Sea Level Trend in the Past Century. *Science*, 1982, 215: 1611~1614
- 8 何焯霞. 西江下游磨刀门水道洪水水位变化趋势及其原因分析. 人民珠江, 1984(3):23~32

The Eigenstructure Characteristics of Water Stage Variability in the Estuaries of Pearl River Delta

*Yang Qingshu * Huang Weiqiang Liang Feiyong*

Abstract Tide gauge records were collected from nine stations. High frequency components were removed from monthly mean time series by the Maximum Flat Filter. Three orthogonal eigenmodes which accounted for 93% of the total variance of the low passed time series were found through EOF analysis. According to the distribution of spatial and temporal eigenvectors, the characteristics of the water stage variability in the Pearl River Delta area were discussed. The overall average rate of water stage change is 2.1 mm/a. Based on co-spectrum analysis, the frequency responses of water stage to variations in river discharge, wind, atmospheric pressure and atmospheric temperature were discussed.

Keywords water stage variability, high frequency components, empirical orthogonal function, Pearl River Delta estuaries

* Institute of Coastal & Estuarine Studies, Zhongshan University, Guangzhou 510275