

集合 Kalman 滤波同化方法在福建沿岸潮汐数值模拟和预报中的应用研究

王代锋¹, 洪华生^{1,2}, 张文舟^{1*}, 商少平³, 谢燕双¹, 魏艳¹

(1. 福建省教育部共建海洋环境科学联合重点实验室(厦门大学、福建海洋研究所), 福建 厦门 361005;

2. 近海海洋环境科学国家重点实验室(厦门大学),

3. 厦门大学水声通信和海洋信息技术教育部重点实验室, 福建 厦门 361005)

摘要: 为了提高潮汐数值模拟和预报的准确度, 利用《2009 潮汐表》, 建立了含集合 Kalman 滤波同化模块的潮汐数值预报模型, 对集合 Kalman 滤波同化模块中的参数进行确定, 并对同化效果进行了检验. 为了确定集合 Kalman 滤波同化模块中的参数(主要是集合数和截断半径), 考虑了 42 种参数组合, 在这些组合中, 以模拟准确度和计算相同时段的潮汐值所需时间为标准, 存在最优的参数组合: 其中, 东山、厦门、娘宫、崇武 4 个站最优的截断半径为 35 km, 三沙站最优截断半径为 30 km, 5 个站的最优集合数均为 20. 实验结果表明: 将集合 Kalman 滤波同化方法用于潮汐数值预报模拟中是可行的, 同化验潮站的潮汐表上的潮位数据对验潮站本身及其邻近网格点的潮汐模拟改进最大; 当 5 个站不同化调和数据进去的时候, 东山、厦门、娘宫、崇武 4 个站的模拟准确度, 在未来 12 h 仍然有所提高.

关键词: 潮汐; 集合 Kalman 滤波; 数据同化; 台湾海峡

中图分类号: P 333

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2010)01-0128-06

随着我国海洋观测技术的快速发展和观测手段的不断改进, 可得到大量观测资料, 对这些资料进行处理和利用的数据同化技术受到越来越多的关注.

数据同化方法已由过去的简单同化方法, 发展到现在的具有较好的数学物理模式基础的数据同化方法; 从过去的三维同化方法, 发展到现在的四维同化方法. 其中, 当前使用频率较高的数据同化方法有四维变分同化方法和 Kalman 滤波同化方法. 最早的 Kalman 滤波同化方法^[1](称标准 Kalman 滤波同化方法)是针对线性系统提出的, 而实际中常常考虑非线性系统, 为了使 Kalman 滤波同化方法更可行, 目前, 已经发展了很多种优化的 Kalman 滤波同化方法, 如扩展 Kalman 滤波同化方法、稳态 Kalman 滤波同化方法、集合 Kalman 滤波同化方法等. 集合 Kalman 滤波同化方法是 Evensen 等在 1994^[2]年提出的, 是一种较新的资料同化方法, 以其独特的优越性显示出广泛的业务应用背景. 最近几年, 集合 Kalman 滤波同化方法得到了广泛的认可, 成为资料同化方法的一个研究热点. 研究表

明, 该方法在不同天气尺度的大气模式中都有较好的可利用性和有效性^[3-5]; 同时, 在浅水非线性动力学模式^[6]及海表温度数值预报^[7]中也已有研究. 但是, 目前还未见到将该方法用在台湾海峡潮汐数值模拟中.

本文建立了含集合 Kalman 滤波同化模块的潮汐数值预报模型, 同化了《2009 潮汐表》^[8]上验潮站的数据, 对集合 Kalman 滤波同化方法中 2 个参数进行确定, 分析了同化效果.

1 潮汐模型介绍

1.1 基本方程

模式采用下列二维潮波基本方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \varphi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{v}{R} \frac{\partial u}{\partial \varphi} - fv = -\frac{g}{R \cos \varphi} \frac{\partial \zeta}{\partial \lambda} - \frac{\gamma_b^2 (u^2 + v^2)^{1/2} u}{H}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \varphi} \frac{\partial v}{\partial \lambda} + \frac{v}{R} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + fu = -\frac{g}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} - \frac{\gamma_b^2 (u^2 + v^2)^{1/2} v}{H}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial (Hu)}{\partial \lambda} + \frac{1}{R} \frac{\partial (Hv)}{\partial \varphi} = 0. \quad (3)$$

模式在准球(不考虑曲率项)坐标展开, λ, φ 分别

收稿日期: 2009-06-05

基金项目: 国家 863 计划重大项目(2006A09A302-6)课题; 福建省自然科学基金(2009)

* 通讯作者: zwenzhou@xmu.edu.cn

表示纬向(向东为正)和经向(向北为正)坐标; u, v 分别为垂直平均流在向东和北向的分量,

$$u = \frac{1}{H} \int_{-h}^{\zeta} u' dz, v = \frac{1}{H} \int_{-h}^{\zeta} v' dz,$$

u', v' 分别为垂直方向 z 处流速的东,北分量,坐标系的原点位于未扰动海面上, ζ 为海面从未扰动海面起算的垂直位移,向上为正,向下为负; $H=h+\zeta$ 为水柱的总水深, h 为未扰动时的水深; g 为重力加速度; γ_b^2 为海底摩擦系数,本文中取为 0.000 9; f 为科氏参数, $f=2\Omega\sin\varphi$, φ 为地理纬度, Ω 为地转角速度, $\Omega=7.292 \times 10^{-5}$ rad/s; R 为地球平均半径, $R=6\ 372$ km.

1.2 差分方案

计算中采用有限差分方法离散方程组,空间上采用交错网格(C 网格),网格的空间步长为 $6' \times 6'$,计算区域为 $110^\circ \sim 130^\circ \text{E}$, $18^\circ \sim 30^\circ \text{N}$,如图 1. 时间上采用可显式计算的隐显交替格式,时间步长为 30 s.

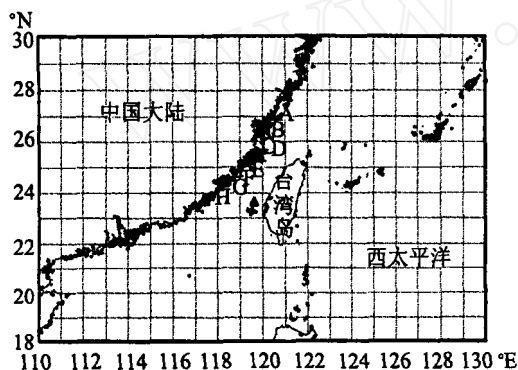


图 1 计算域及所考虑的验潮站位置图
A. 三沙; B. 黄岐; C. 娘宫; D. 平潭; E. 崇武;
F. 深沪湾; G. 厦门; H. 东山
Fig. 1 Computational domain and distribution of stations

1.3 初始条件和边界条件

初始条件取 $\zeta = u = v = 0$. 计算中陆边界取为折线,并使其通过 u 点或 v 点,在这些点设 $u=0$ 或 $v=0$. 研究海域的所有水边界设定为水位强迫边界,水边界的潮位以 $M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1$ 这 8 个基本分潮的周期性余弦函数形式输入,即

$$\zeta = \sum_{i=1}^8 H_i \cos(\sigma_i t + v_{0i} - g_i) \quad (i=1, 2, 3, \dots, 8), \quad (4)$$

其中, H_i 为分潮的振幅, g_i 为它的迟角, σ_i 为 i 分潮的角速率, v_{0i} 为 i 分潮的天文初相角,可由基本天文要素等公式^[9]计算.

1.4 集合 Kalman 滤波同化方法计算步骤

集合 Kalman 滤波同化方法是集合预报思想和

Kalman 滤波方法的有机结合. 集合预报的理论基础是 Monte Carlo 统计试验法^[10-11], 集合 Kalman 滤波同化方法是一个用 Monte Carlo 的短期集合预报方法来估计预报误差协方差的四维同化方法. Monte Carlo 方法具体做法: 初始时刻, 在模式的初始场及观测值上叠加或减去不同的随机扰动, 从这些具有不同扰动的初始场出发分别做预报, 然后把不同的预报结果来求统计平均, 集合的平均值即为模式预报的最优估计值.

集合 Kalman 滤波计算步骤如下:

- 1) 给定初始场. 给定 m 个初始场, m 称为集合数.
- 2) 计算 $n+1$ 时刻的潮汐模拟值.

$$X_a^{n+1} = MX_a^n \quad (i=1, 2, 3, \dots, m), \quad (5)$$

式中 X 为非线性预报模式; X_a^{n+1} 为第 i 个初始场对应 $n+1$ 时刻的潮汐模拟值; X_a^n 为第 i 个初始场对应 n 时刻同化处理后的潮汐分析值.

- 3) 计算 $n+1$ 时刻的 Kalman 增益矩阵 K .

$$K^{n+1} = B^{n+1} H^T (HB^{n+1} H^T + O^{n+1})^{-1}, \quad (6)$$

$$B^{n+1} H^T = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (X_a^{n+1} - \overline{X_a^{n+1}})(HX_a^{n+1} - \overline{HX_a^{n+1}})^T, \quad (7)$$

$$HB^{n+1} H^T = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (HX_a^{n+1} - \overline{HX_a^{n+1}})(HX_a^{n+1} - \overline{HX_a^{n+1}})^T, \quad (8)$$

$$\overline{X_a^{n+1}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_a^{n+1}, \overline{HX_a^{n+1}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m HX_a^{n+1}.$$

式中 $\overline{X_a^{n+1}}$ 表示 $n+1$ 时刻潮汐预报值的平均值; H 为观测算子; B^{n+1} 为 $n+1$ 时刻背景场误差协方差; O^{n+1} 为 $n+1$ 时刻观测场误差协方差; 上标“ -1 ”表示求逆; 上横线“ $-$ ”表示求平均值; 上标“ T ”表示转置.

- 4) 计算 $n+1$ 时刻的潮汐分析值的平均值 $\overline{X_a^{n+1}}$.

$$X_a^{n+1} = X_a^{n+1} + K^{n+1}(X_a^{n+1} - HX_a^{n+1}), \quad (9)$$

式中 X_a^{n+1} 为 $n+1$ 时刻验潮站的潮汐表上的潮位值加上第 i 个观测扰动后的数据. $\overline{X_a^{n+1}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_a^{n+1}$, $\overline{X_a^{n+1}}$ 即为模式预报的最优潮汐估计值.

- 5) 进入下一时刻, 重复步骤 2)~4).

式(5)~(9)为集合 Kalman 滤波主要式子.

2 集合 Kalman 滤波同化实验及参数确定

2.1 实验设计

潮汐模拟时间: 2009 年 1 月 5~31 日. 模式从 1 月 1 日 0 时开始计算, 1 月 1~4 日 4 d 的数据不输出,

从1月5日0时开始输出数据。

同化数据来源:本文只用东山、厦门、娘宫、崇武、三沙5个站潮位值作为同化数据,流的同化不予考虑。同化数据来自《2009 潮汐表》^[8]中1月5~31日的潮位值。因为应用潮汐表上潮位数据和应用实测数据在本质上是一样的,因此本文用潮汐表上的潮位数据。

扰动的确定:在进行同化实验前,先用 Matlab 软件生成 100 个初始扰动和观测扰动。经过大量的实验,取初始扰动的方差为 0.5,由集合 Kalman 滤波同化方法的理论推导要求初始扰动是均值为 0 的高斯分布随机序列;同化数据扰动的方差根据各站同化数据确定,同样也是均值都为 0 的高斯分布随机序列。

观测算子 H 的确定:观测算子 H 并不是单独求出来的,而是间接求出来的。由式(5)~(9)可以知道, H 总以 HX^n 的形式出现,所以要求 H 只需转化为求 HX^n 。 HX^n 涉及到模式的空间向验潮站空间转换的问题,也就是,将模式网格水位点模拟值转换到指定的验潮站对应值。基于这一点,本文具体处理方法是:以验潮站所在位置为圆心,以截断半径为半径作圆,圆里面的点用距离反比法将网格点上的值插值到验潮站位置上,这样网格点的个数由圆的大小来确定。

2.2 参数确定

本文要确定的参数主要是集合数和截断半径,集

合 Kalman 滤波同化方法中集合数和截断半径的确定直接关系到集合预报结果的好坏。本文考虑了截断半径取 10, 15, 20, 25, 30, 35 km, 6 种取值,截断范围均为圆;集合数取 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 7 种取值,这样共有 42 种参数组合。以模拟准确度和计算同时段的潮汐值所需时间为标准,通过实验,可以确定最优的参数组合。

确定过程:用所建立的含集合 Kalman 滤波同化模块的潮汐模型,同化 2009 年 1 月 5~20 日 5 个站潮汐表上的潮位数据,分别在 42 种参数组合情况下,计算 5 个站对应网格水位点的潮汐值,将 5 个站 42 种组合时潮汐模拟值与《2009 潮汐表》^[8]上对应站的潮位值进行比对,计算出各种参数组合情况下各站的平均绝对误差,误差最小的、或当误差相差不大时,计算相同时段的潮汐值用时最少的,表示这组潮汐值对应的参数组合是该站最优的参数组合,进而统计出 5 个站的最优参数组合。这里假设各站相距足够远,可以独立的考虑各个站的同化而忽略各个站之间的相互作用。

图 2 是 5 个站 42 种参数组合计算的数据与对应潮汐表上数据计算得到的平均绝对误差变化曲线图。

图 2 中五角星表示原模型模拟 5 个站潮汐值与对应的潮汐表上的潮位数据计算所得的平均绝对误差,其他 6 条不同的曲线表示含集合 Kalman 滤波同化模

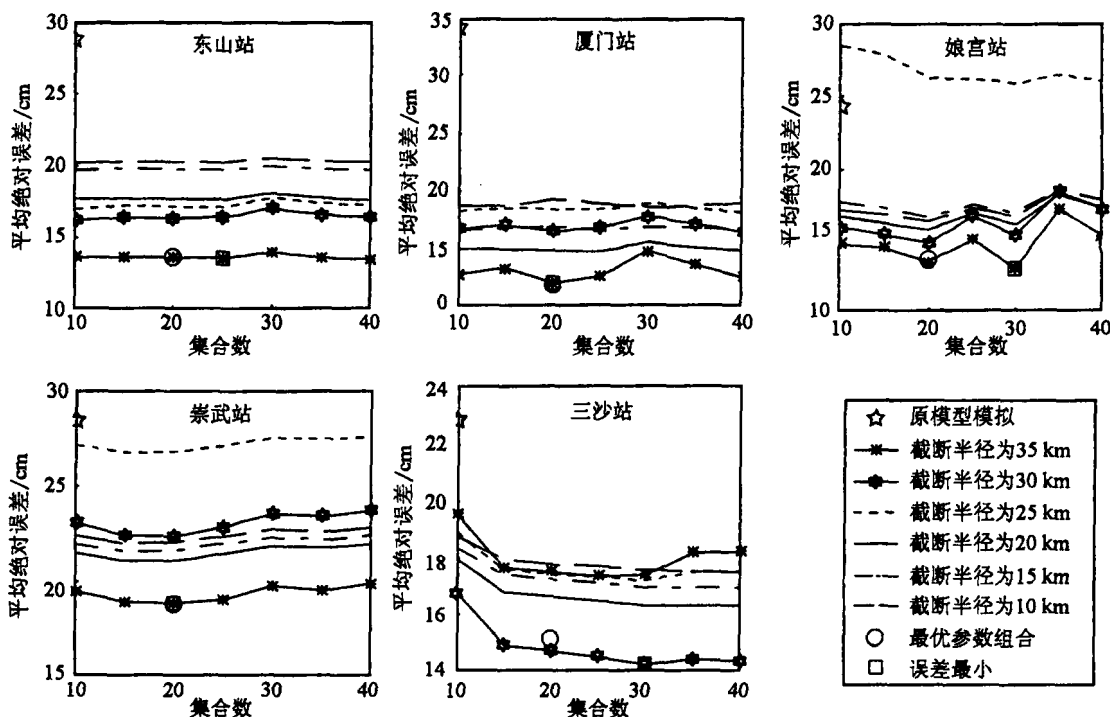


图 2 不同参数组合(集合数、截断半径)模拟结果的平均绝对误差

Fig. 2 The mean absolute errors of simulated results with different parameter combination(cut radius, ensemble number)

块的潮汐模型,在不同的参数组合时所模拟的潮汐值与对应的各站潮汐表上的潮位数据计算得到的平均绝对误差变化曲线.圆表示选取最优参数值后,含同化模块潮汐模拟数据与对应的各站潮汐表上的潮位数据计算得到的平均绝对误差,正方形表示误差最小时的情况.

由图 2 可知,除了娘官站当截断半径为 25 km 时平均绝对误差曲线高于原潮汐模型模拟计算所得的平均绝对误差(五角星所在位置),其他各条曲线均在五角星所在位置下面,即,其他各种参数组合时,含集合 Kalman 滤波同化模块的潮汐模型同化 5 个站的数据后,均能很大程度上提高该站的模拟准确度.

从图 2 可以看出误差最小时各站参数取值情况:东山、厦门、娘官、崇武 4 个站截断半径为 35 km,三沙站截断半径为 30 km;东电站集合数为 25,厦门站、崇武站集合数为 20,娘官站、三沙站集合数为 30.考虑到用 Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E4600,内存 1.00 GB 的单个电脑运行程序,计算相同时段的潮汐值时,集合数越大模拟所需要的时间也越长.因此,从计算相同时段的潮汐值所需时间及模拟效果(平均绝对误差的大小)两个角度考虑,主观的将各站的集合数统一取为 20.这样就确定最优参数取值情况:东山、厦门、娘官、崇武 4 个站最优截断半径取 35 km,三沙站最优截断半径取 30 km;5 个站最优集合数取为 20.

表 1 列出了同化模型参数分别取 42 种参数组合时,计算得到的误差中的最小值和同化模型参数取最优参数组合时,计算的误差.

从表 1 可看出同化模型参数取最优参数组合时,计算的各站的平均绝对误差与同化模型参数取 42 种参数组合时,计算得到的最小误差,相差最大仅 0.9 cm.因此,模型选取上述的最优参数组合是合理可行的.

表 1 5 个站数值模拟的平均绝对误差对比

Tab.1 Comparison between the mean absolute errors of numerical simulations at five stations (cm)

验潮站	最优参数组合时 计算的绝对误差	42 种参数组合时 计算的最小平均 绝对误差	两者差的 绝对值
东电站	13.6	13.5	0.1
厦门站	11.9	12.0	0.1
娘官站	13.8	13.1	0.7
崇武站	18.8	18.8	0
三沙站	15.1	14.2	0.9

3 同化检验

3.1 检验一

实验 1:模拟深沪湾、黄岐、平潭 3 个站 1 月 5~20 日的潮汐,不进行数据同化.

实验 2:模拟以上 3 个站 1 月 5~20 日的潮汐,并采用前面选择的最优参数组合对模拟过程进行集合 Kalman 滤波数据同化.该实验过程只同化东山、厦门、娘官、崇武和三沙的潮汐表的潮位数据.

利用深沪湾、黄岐、平潭 3 个站的潮汐表上潮位数据对以上模拟结果进行检验,检验结果如表 2 所示.

表 2 未同化、有同化模拟结果平均绝对误差的对比
Tab.2 Comparison of mean absolute errors of tide model results with and without data assimilation (cm)

验潮站	未同化模拟平均 绝对误差	有同化模拟平均 绝对误差	改进
深沪湾	36.8	34.2	2.6
黄岐	25.2	22.8	2.4
平潭	20.6	17.8	2.8

从表 2 可以看出,含集合 Kalman 滤波同化模块的潮汐模型,用东山、厦门、娘官、崇武、三沙 5 个站的潮汐表上的潮位数据进行同化,所得的上述 3 站的潮位值与没有同化的模拟的潮位值相比,模拟准确度有所提高,其中平潭站效果略好,平均绝对误差减小了 2.8 cm.深沪湾、黄岐、平潭 3 个站到参与同化的 5 个站最近的距离分别为 38.9,72.8,15.2 km.从上述距离及其对应的改进幅度可以看出:离参与同化的验潮站越近,模拟误差有减小的趋势.

3.2 检验二

实验 3:模拟东山、厦门、娘官、崇武、三沙 5 个站 1 月 5~20 日的潮汐,不进行同化.

实验 4:模拟以上 5 个站 1 月 5~20 日的潮汐,16 日 0 时之前进行同化之后不进行同化.

表 3、4 分别为实验 4 停止同化,16 日 0 时之后 12 h 和 24 h 内以上各验潮站的平均绝对误差(与潮汐表的潮位值相比)的统计情况.

由表 3、4 可以看出,与不同化任何数据的潮汐模拟相比,在前期同化停止后,东山、厦门、娘官、崇武 4 站的模拟准确度仍有提高.从 12 和 24 h 提高幅度可以看出,4 个站对应的 24 h 提高幅度没有 12 h 提高幅

度大. 唯一例外的是三沙站, 其模拟结果的准确度反而有所下降, 其原因可能是三沙站是所考虑的5个站中最北边的一个站, 而该海域潮波基本上是从北向南传播的, 停止同化后, 其前期同化的作用立即消失, 对该站后期的模拟没有贡献, 而且同化停止后的不利扰动使其模拟结果误差增大.

以厦门站为例, 图3给出了1月15日0时~16日24时实验3和4模拟结果的绝对误差变化情况.

从图3可以看出厦门站1月15日有同化情况下模拟绝对误差明显小于没有同化情况下模拟的绝对误差, 误差减小幅度约达37%; 16日0时之后尽管已停

止同化, 但实验4的模拟结果比实验3的模拟结果在约11 h(16日0时~10时)内绝对误差要小, 之后两者误差趋于一致.

3.3 检验三

下面将从相关系数的角度来检验模型.

表5给出了实验1和2模拟数据与潮汐表上潮位值的相关系数. 表6给出了实验3和4模拟数据与潮汐表上潮位值的相关系数.

从表中可以看出, 潮汐模拟值与潮汐表上潮位值的相关系数本身就很大, 高度相关. 从表5可以看出, 实验2(有同化时)较实验1(没有同化时)模拟数据所计算的相关系数略有提高; 从表6可以看出, 实验3(没有同化)和实验4(前期有同化)的相关系数差不多. 总体而言, 有同化时对相关性没有很大的提高.

4 结论

将集合 Kalman 滤波同化方法应用到潮汐数值模拟中, 从上述实验可以得出以下结论:

- 1) 将集合 Kalman 滤波同化方法用于潮汐数值模

表3 实验4停止同化之后12 h内的平均绝对误差

Fig. 3 Comparison of mean absolute errors of tide prediction in 12 h forecast period

验潮站	实验3平均绝对误差/cm	实验4平均绝对误差/cm	准确度提高百分比/%
东山站	25.9	23.5	9.3
厦门站	20.0	12.7	36.5
娘宫站	13.3	10.4	21.8
崇武站	15.8	12.9	18.4
三沙站	11.4	12.7	-10.2

表4 实验4停止同化之后24 h内的平均绝对误差

Fig. 4 Comparison of mean absolute errors of tide prediction in 24 h forecast period

验潮站	实验3平均绝对误差/cm	实验4平均绝对误差/cm	准确度提高百分比/%
东山站	23.5	23.2	1.3
厦门站	21.4	18.0	15.9
娘宫站	16.7	15.0	10.2
崇武站	14.4	10.7	25.7
三沙站	10.7	13.5	-20.7

表5 实验1和2所计算的相关系数

Tab. 5 Correlation coefficient of experiments one and two

验潮站	实验1相关系数	实验2相关系数
深沪湾	0.981	0.987
黄岐	0.989	0.992
平潭	0.987	0.991

表6 实验3和4所计算的相关系数

Tab. 6 Correlation coefficient of experiments three and four

验潮站	实验3相关系数	实验4相关系数
东山站	0.942	0.955
厦门站	0.985	0.964
娘宫站	0.993	0.984
崇武站	0.984	0.961
三沙站	0.994	0.999

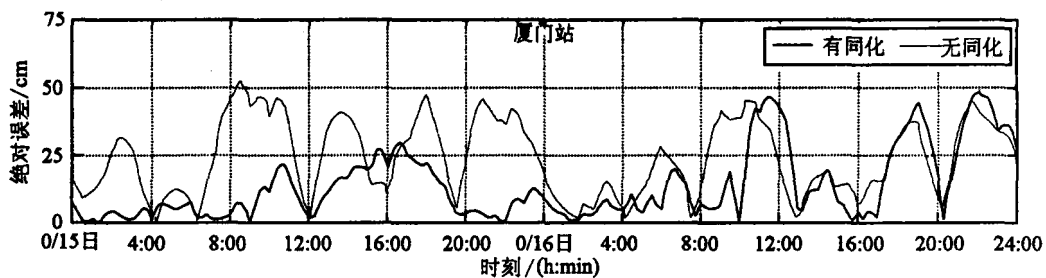


图3 厦门站1月15~16日误差时间序列图

Fig. 3 Time series of absolute errors in tide simulations with and without data assimilation during the period from January 15 to 16 of Xiamen station

拟中是可行的,同化对验潮站本身及其邻近网格点的改进最大。

2)模拟实验表明,本文所建立的含同化模块中最优的参数组合是:东山、厦门、娘宫、崇武 4 站最优的截断半径为 35 km,三沙站最优的截断半径为 30 km;5 个站取统一的最优的集合数 20。

3)当 5 个站没有数据同化进去时,其中东山、厦门、娘宫、崇武 4 个站的模拟准确度在接下来 12 h 内仍有所提高;只是最北边的三沙站模拟准确度没有提高,反而降低,这可能是因为该站位于最北,而该海域潮波是向南传播的,由同化停止后的不利扰动造成。

4)当有数据同化时,对相关性没有很大的提高。

本文在建立潮汐集合 Kalman 滤波同化模型过程中,只讨论了集合 Kalman 滤波中集合数和截断半径的确定情况,而对观测算子的作用未做深入分析,观测算子对同化效果的影响也值得今后进一步研究;同时可以进一步考虑同化不同类型的实测数据,比如 Jason-1 卫星海面高度资料、地波雷达资料等。

参考文献:

- [1] 宋文尧,张牙.卡尔曼滤波[M].北京:科学出版社,1991:1-6.
[2] Evensen G. Sequential data assimilation with a nonlinear

quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics[J]. J Geophysical Research, 1994, 99(10):143-162.

- [3] Snyder C, Zhang Fuqing. Assimilation of simulated Doppler radar observations with an ensemble Kalman filter[J]. Mon Wea Rev, 2003, 131(8):1663-1677.
[4] Houtekamer P L. Atmospheric data assimilation with an ensemble Kalman filter-results with real observations[J]. Mon Wea Rev, 2005, 133(3):604-620.
[5] 陈东升,沈桐立,马革兰,等.气象资料同化的研究进展[J].南京气象学院学报,2004,27(4):550-564.
[6] 黄勇,王颖.集合卡尔曼滤波在浅水模式数据同化中的应用[J].解放军理工大学学报:自然科学版,2008,9(1):89-94.
[7] 张学峰.集合卡尔曼数据同化方法在海温数值预报中的应用研究[D].杭州:浙江大学,2005.
[8] 中国人民解放军海军司令部航海保证部.2009 潮汐表:东海海区[M].天津:中国航海图书出版社,2008:196-300.
[9] 方国洪,陈宗镛,郑文振,等.潮汐和潮流的分析和预报[M].北京:海洋出版社,1986:58-88.
[10] 关吉平,黄泓,张立凤.集合预报中初始扰动生成方法的探讨[J].解放军理工大学学报:自然科学版,2003,4(2):89-92.
[11] 刘东贤,张庆阳.集合预报及其发展趋势[J].中国科技信息,2007,20:268.

Application of Ensemble Kalman Filter Data Assimilation Method in Tide Simulation and Prediction in the Taiwan Strait

WANG Dai-feng¹, HONG Hua-sheng^{1,2}, ZHANG Wen-zhou^{1*},
SHANG Shao-ping³, XIE Yan-shuang¹, WEI Yan¹

(1. Joint Key Library of Coastal Study(Xiamen University and Fujian Institution of Oceanography), Xiamen 361005, China;

2. State Key Laboratory of Marine Environmental Science(Xiamen University), 3. Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of numerical simulation, a numerical model of tide with an Ensemble Kalman Filter(EnKF) data assimilation technique is established. In this article we take into account 5 stations, which are Dongshan, Xiamen, Niangong, Chongwu, Sansha. The data assimilated in the model is from the book of 2009 Tide Table. In order to decide EnKF the best combination of two parameters, which are the cut radius and ensemble number, we consider 42 kinds of parameter combinations at each station. Based on the accuracy of numerical simulation and the time spent in calculating the same period of tide, we can define the best parameter combination at each station. Numerical experiments show that the best value of cut radius is 35 km for Dongshan, Xiamen, Niangong and Chongwu stations, and the best value of cut radius is 30 km for Sansha station. The unique best value of ensemble number for 5 stations is 20. It can be seen from numerical experiments that data assimilation with EnKF method can improve the accuracy of tide simulations and tide predictions in the following 12 hours in the Taiwan Strait.

Key words: tide; Ensemble Kalman Filter; data assimilation; Taiwan Strait