

QuikSCAT 风场在台风风暴潮计算中的应用

付翔, 仇天宇, 于福江

(国家海洋环境预报中心, 国家海洋局海洋灾害预报技术研究重点实验室, 北京 100081)

摘 要: 业务化风暴潮计算中多采用模型风场的算法来给出风暴潮强迫场。最大风速半径是模型风场最难确定的参数之一。利用 QuikSCAT 卫星风场数据拟合台风最大风速半径是确定该参数的有效方法。将拟合得到的最大风速半径代入模型风场计算风暴潮的驱动场, 模拟的沿岸风暴增水与实况更为接近。

关键词: QuikSCAT 风场; 模型风场; 最大风速半径; 风暴潮

中图分类号: P444 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-0239(2012)04-0018-05

1 引言

QuikSCAT 卫星是美国太空总署 (NASA) 于 1999 年 6 月发射的一颗海洋科学探测卫星, 它上面所携带的 SeaWinds (洋面风场散射探测仪) 能够探测洋面 10 m 的风向风速^[1]。该数据已经被广泛的用在洋面风场特征分析^[2-8], 热带气旋的监测和分析研究中^[6-7]。李明悝用 QuikSCAT 和 NCEP 的混合风场数据作为驱动模拟过东中国海一次大浪过程^[8]。但遥感风场用于风暴潮的计算还从未有过。

风暴潮是指由于强烈的大气扰动 (如台风、温带气旋、冷空气等) 而引起的海面异常升高的现象。大多数因热带气旋引起的特大自然灾害是由风暴潮造成的 (引自世界气象组织前秘书长 D.A. Davies)。我国是世界上遭受风暴潮灾害最为严重的国家之一, 根据国家海洋局海洋灾害公报^[9], 近 5 年来我国沿海平均每年发生 6.8 次风暴潮灾害, 直接经济损失达 182.254 亿元/年, 占年平均海洋灾害总体经济损失的 96.38 %, 其中台风风暴潮灾害又尤为严重。

目前业务化的台风风暴潮数值计算基本都是采用模型风场来刻画风暴潮驱动场, 其优点是输入参数简单, 时效性高。缺点就是参数不易确

定, 特别是最大风速半径。最大风速半径通常是取七级大风半径的 1/10。本文利用 QuikSCAT 卫星遥感风场数据提取风场模型的最大风速半径参数, 代入到风暴潮数值计算, 以期获得更为准确的风暴潮增水模拟值。

2 QuikSCAT 风场反演资料

采用第三级 (Level 3) 逐日海面风场格点数据作为研究用数据。SeaWinds 第三级再分析数据是在二级数据的基础上通过 Direction Interval Retrieval with Threshold Nudging (DIRTH) 的方法获得, 每日一个文件, 分为升轨和降轨两个通道数据, 包含风速、风矢量、降水概率等格点数据, 分辨率为 0.25°, 扫描幅宽为 1800 km^[1]。资料下载于 NASA 喷气推进实验室物理海洋学数据分发存档中心 (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center at the Jet Propulsion Laboratory), 利用其提供的解码程序对数据进行解码, 提取其中的经、纬向风速分量和卫星过境遥感时间。

3 风场模型参数的提取

使用正圆形对称的台风模型风场叠加台风移

收稿日期: 2012-02-16

基金项目: 海洋公益性行业科研专项“自主海洋动力环境卫星微波遥感处理技术研究示范”(201102032-4)

作者简介: 付翔 (1980-), 女, 助理研究员, 现从事风暴潮预报技术研究。E-mail: fx@nmefc.gov.cn

行风场来刻画风暴潮驱动风场。公式如下:

$$W_x = C_1 V_x \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \frac{|r-R|}{R}\right) - C_2 \left\{ -\frac{f}{2} + \sqrt{\frac{f^2}{4} + 10^3 \frac{2\Delta P}{\rho_a R^2} \left[1 + 2\left(\frac{r^2}{R^2}\right)\right]^{\frac{3}{2}}}\right\} \cdot [(x-x_0)\sin\theta + (y-y_0)\cos\theta] \quad (1)$$

$$0 \leq r \leq 2R$$

$$W_y = C_1 V_y \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \frac{|r-R|}{R}\right) + C_2 \left\{ -\frac{f}{2} + \sqrt{\frac{f^2}{4} + 10^3 \frac{2\Delta P}{\rho_a R^2} \left[1 + 2\left(\frac{r^2}{R^2}\right)\right]^{\frac{3}{2}}}\right\} \cdot [(x-x_0)\cos\theta - (y-y_0)\sin\theta] \quad (2)$$

$$0 \leq r \leq 2R$$

$$W_x = C_1 V_x \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \frac{|r-R|}{R}\right) - C_2 \left\{ -\frac{f}{2} + \sqrt{\frac{f^2}{4} + 10^3 \frac{\Delta P}{\rho_a (1+r/R)^2 R r}}\right\} \cdot [(x-x_0)\sin\theta + (y-y_0)\cos\theta] \quad (3)$$

$$2R < r < \infty$$

$$W_y = C_1 V_y \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \frac{|r-R|}{R}\right) + C_2 \left\{ -\frac{f}{2} + \sqrt{\frac{f^2}{4} + 10^3 \frac{\Delta P}{\rho_a (1+r/R)^2 R r}}\right\} \cdot [(x-x_0)\cos\theta - (y-y_0)\sin\theta] \quad (4)$$

$$2R < r < \infty$$

W_x 、 W_y 为模型风在经向和纬向的分量, x 、 y 为格点位置, V_x 、 V_y 为台风移速在经向和纬向的分量, ΔP 为台风外围气压与中心气压差, ρ_a 为空气密度, R 为台风最大风速半径, θ 为流入角; C_1 、 C_2 为常数, x_0 、 y_0 为台风中心位置。

目前台风的预报参数基本可以满足该模型风场的计算, 除了最大风速半径。将 W_x 、 W_y 看做是 R 的函数, 根据最小二乘法拟合原理(式5), 利用 QuikSCAT 风场数据求出一个最大风速半径, 即当时的 R , 其中 m 为计算区内同轨遥感风场的总格点数, u_{si} 、 v_{si} 为卫星遥感风速。将 R 带入方程(1)~(4), 计算得到模型风场。

$$F = \sum_{i=1}^m \sqrt{(u_{si} - W_{xi}(R))^2 + (v_{si} - W_{yi}(R))^2} = \min \quad (5)$$

4 风暴潮计算模式

采用球坐标下深度平均的二维浅水方程计算风暴潮, 控制方程如下:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left(\frac{\partial(Du)}{\partial \theta} + \frac{\partial(Dv \cos \varphi)}{\partial \varphi} \right) &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \varphi} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{v}{R} \frac{\partial u}{\partial \varphi} - \frac{uv \tan \varphi}{R} - fv &= -\frac{g}{R \cos \varphi} \frac{\partial \zeta}{\partial \theta} - \frac{1}{\rho R \cos \varphi} \frac{\partial p_a}{\partial \theta} + \frac{1}{\rho D} (F_s - F_b) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \varphi} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{v}{R} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{u^2 \tan \varphi}{R} + fu &= -\frac{g}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} - \frac{1}{\rho R} \frac{\partial p_a}{\partial \varphi} + \frac{1}{\rho D} (G_s - G_b) \end{aligned} \quad (6)$$

式(6)中, t 代表时间, θ 、 φ 分别代表经度和纬度, z 代表从平均海平面起算的水位高度, u 、 v 代表深度平均流的经向和纬向分量, F_s 、 G_s 代表海表面风应力 τ_s 的经向和纬向分量, F_b 、 G_b 代表海底摩擦应力 τ_b 的经向和纬向分量, P_a 代表海表面的大气压力, D 代表总水深, ρ 代表海水密度, 假定为均匀的, R 代表地球半径, g 代表重力加速度, f 代表柯氏参数。

模式采用有限差分方法求解方程, 网格为 Arakawa C 型网格(见图1), 采用前差-后差(半隐式)差分格式求解, 分辨率为 $1/30$ 度。陆地边界为刚壁边界, 水边界取静压边界条件。

5 模拟实例与结果分析

本文采用 0915 号台风作为模拟实例。0915 号台风“巨爵”于 9 月 13 日在菲律宾北部洋面生成, 两日后在广东省台山市附近登陆, 在珠江口到台

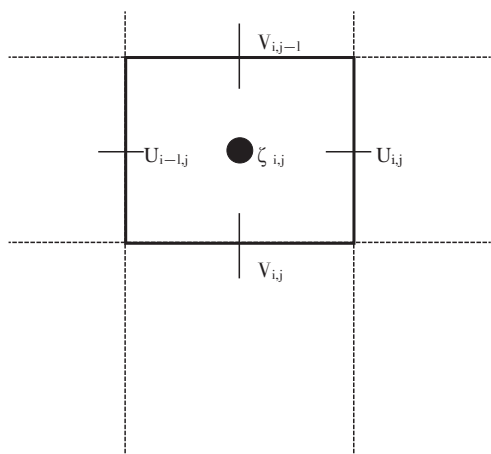


图1 差分网格各物理量的分布图

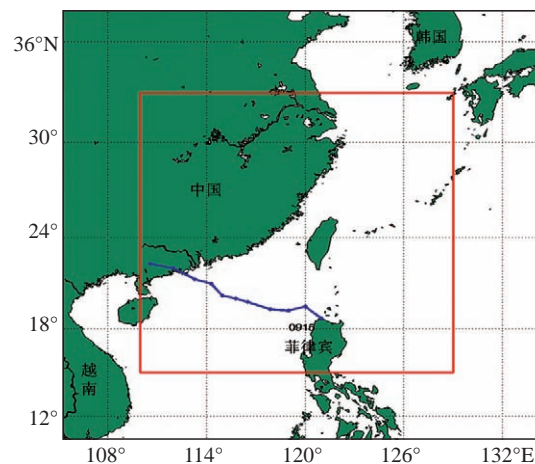


图2 模式计算区域及台风路径

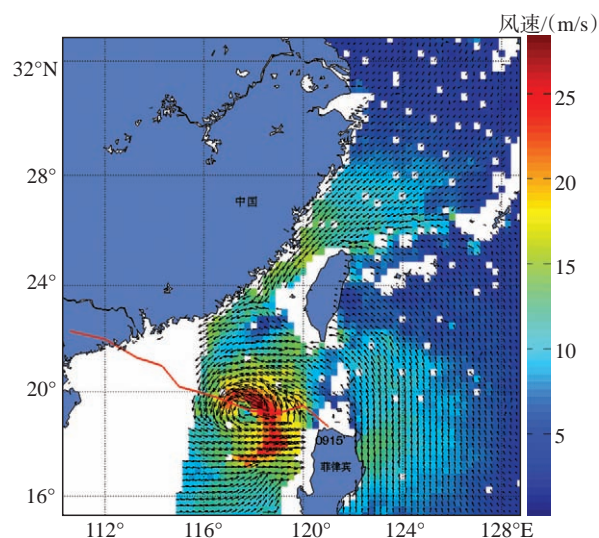
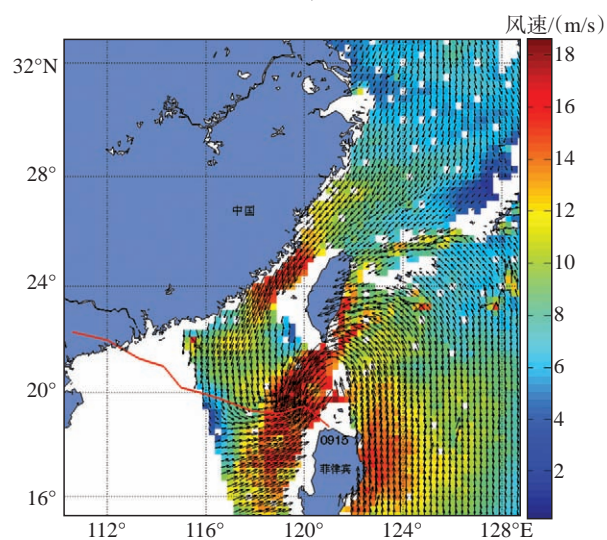
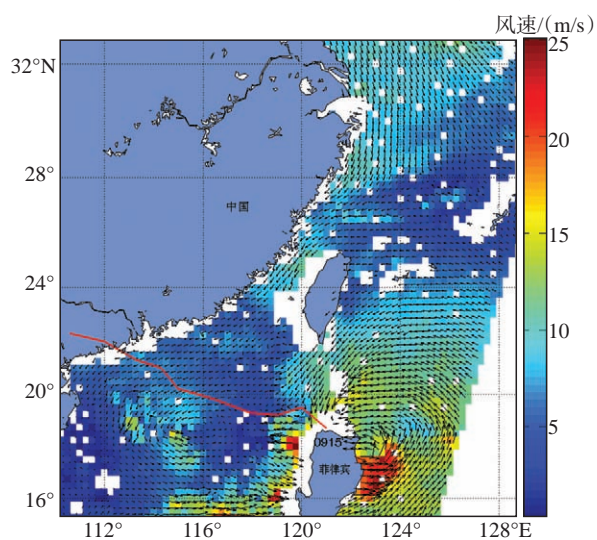


图3 0915号台风QuikSCAT反演风场

山一带沿海引起了较大风暴潮。计算区域选取我国最易遭受台风影响的东海、南海区域(见图2)。使用了3个时次的卫星遥感数据(见图3),分别为

12日19时前后、13日07时前后和13日19时前后。初始时刻与最终时刻风场的最大风速半径采用七级风圈半径的1/10,设台风登陆前最大风速

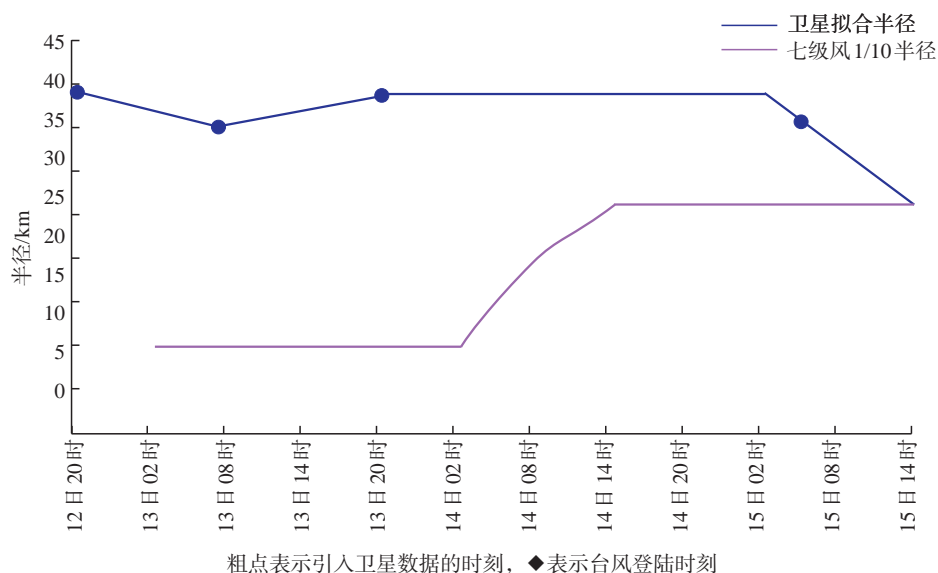


图4 最大风速半径序列

半径等于最末一个时次的卫星拟合半径,采用时间线性插值求得台风移行过程中的最大风速半径系列。

近岸浅水风暴潮对风场的响应非常敏感,因此台风最大风速半径的选取对风暴潮增水的模拟结果有着显著影响。我们分别采用卫星数据拟合的最大风速半径与七级风圈半径的1/10为最大风速半径来计算驱动风场,七级风圈半径的值由中央气象台发布的台风定位GTS报文获得。由图4可以看出,以七级风圈半径的1/10近似为最大风速半径与卫星风场的拟合半径有一定差别。表1为台

风右半圆主要影响区域内验潮站的最大风暴潮对比检验结果。由模拟结果可以看出,采用卫星数据拟合最大风速半径的模型驱动风场,能更好的模拟出沿岸风暴潮最大增水分布。与七级风圈半径的1/10为最大风速半径的模拟结果比较来看,除了离登陆点最远的赤湾站和最近的台山站,其它站增水模拟的相对误差都明显减小,说明卫星数据拟合的大风半径更接近实际情况。但是由于卫星轨道覆盖的原因,数据不够全面,特别是缺乏台风登陆前的数据,因此不能刻画台风登陆前风场的变化,加上模型本身对风场分布的刻画误

表1 0915号台风风暴潮最大增水对比检验(单位/cm)

站名	赤湾	黄埔	大万山	珠海	灯笼山	三灶	台山
实测增水	87	181	107	143	153	210	119
卫星拟合半径模拟增水	110.2	187.9	93.6	119.4	167.2	129.7	139.4
绝对误差	23.2	6.9	13.4	23.6	14.2	80.3	20.4
相对误差 / %	26.7	3.8	12.5	16.5	9.3	38.2	17.1
1/10七级风半径模拟增水	82.2	144.9	68.6	87.9	124.5	98.1	119.3
绝对误差	4.8	36.1	38.4	55.1	28.5	111.9	0.3
相对误差 / %	5.5	19.9	35.9	38.5	18.6	53.3	0.3

差,导致个别站风暴增水的模拟误差变大。

5 小结

利用QuikSCAT第三级遥感数据提取台风风场的最大风速半径,是获取模型风场重要参数的一个有效方法。所计算出的模型风场与实际风场更为接近,作为台风风暴潮的驱动场,能较准确的

模拟出台风风暴潮的增水情况。但由于卫星自身运转特点的限制,其数据缺乏一定的连续性和时效性,影响了卫星数据的有效利用。若采用多卫星源数据,保证数据的覆盖区域和覆盖时间,将会大大提高卫星资料的利用率和模拟的准确度。

参考文献:

- [1] JPL SeaWinds Project. SeaWinds on QuikSCAT Level 3 Daily,

- ridded Ocean Wind Vectors[K]. Physical Oceanography DAAC.
- [2] 刘春霞,何溪澄. QuikSCAT 散射计矢量风统计特征及南海大风遥感分析[J].热带气象学报,2003,9(19S):107-117.
- [3] Simona B, Bjorn S. Principal Component Analysis of the Summer-time Winds over the Gulf of California: A Gulf Surge Index[J]. Monthly Weather Review,2006,134:3395-3414.
- [4] 陈德文,商少平,商少凌,等.台风期间台湾岛周边海域海面风场特征的卫星遥感研究[J].厦门大学学报,2007,46(1):141-145.
- [5] 刘付前,骆永军,王超.应用卫星散射计资料研究中国海海面风场时空特征[J].环境保护与循环经济,2009,29(10):37-38.
- [6] 方翔,咸迪,李小龙,等.QuikSCAT 洋面风资料及其在热带气旋分析中的应用[J].气象, 2007,33(3):33-39.
- [7] 邹巨洪,林明森,潘德炉,等.QuikSCAT 在台风监测中的应用[J].遥感学报,2009,13(5):847-853.
- [8] 李明悝,侯一筠.利用 QuikSCAT/NCEP 混合风场及 WAVE-WATCH 模拟东中国海风浪场[J].海洋科学,2005,29(6):9-12.
- [9] 国家海洋局.海洋灾害公报[G].2005-2009.

Application of QuikSCAT wind in typhoon storm surge simulation

FU Xiang, ZHANG Tian-yu, YU Fu-jiang

(Key laboratory of Research on Marine Hazards Forecasting, State Oceanic Administration, Beijing100081 China)

Abstract: Model wind is usually used as forcing field in the operational storm surge simulation. The maximum wind speed radius is one of the parameters which is the hardest to be determined in most wind models. By using QuikSCAT wind data fitting maximum wind speed radii, the storm surge forcing field is assimilated. As a result, the simulated surge is more approximate to the observations.

Key words: QuikSCAT wind field; model wind field; maximum wind speed radius; storm surge