

黄海绿潮应急溯源数值模拟初步研究

吴玲娟, 曹丛华, 黄娟, 曹雅静, 高松, 白涛

(山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 国家海洋局 北海预报中心, 山东 青岛 266033)

摘要: 基于三维全动力 POM 海洋模式, 根据 2008 年 6 月 1 日海监飞机监测绿潮所在位置, 采用拉格朗日粒子追踪法反向积分, 追溯绿潮来源。数值模拟结果显示, 回溯至 5 月中旬, 绿潮主要来源于黄海南部江苏连云港和盐城近海海域。黄海绿潮溯源数值模拟, 为政府相关部门了解绿潮的源头, 并采取相应的措施提供依据, 进而为保护生态环境、防灾减灾做贡献。

关键词: 绿潮; 全动力海洋模式(POM); 溯源; 拉格朗日粒子追踪法

中图分类号: X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2011)06-0044-04

大型海洋绿藻大量增殖的现象, 被称为“绿潮”(Green Tides)。绿潮在全球沿岸海域爆发并造成严重危害的现象变得越来越频繁, 发生地理范围也日趋增大, 已经成为一种世界性的海洋灾害。从 1980 年以来美国、加拿大、丹麦、法国、意大利、日本、韩国等国家均爆发过绿潮灾害, 法国沿岸海域的情况尤为严重^[1-2]。从 1997 年到 2001 年, 全球受绿潮危害的滨海城市从 60 个增加到 103 个^[3]。2008 年 5 月以来, 在黄海北部, 特别是青岛沿岸海域发生了绿潮大量增殖聚集的情况。2009 年和 2010 年, 在黄海又发现大量绿潮繁殖漂移。

国外很多科学家主要研究对绿潮的生长机制、运动方向和速度等要素。Aurousseau 等^[4]在法国绿潮灾害比较严重的 Brest 湾, 建立三维生物地球化学模式, 模拟该海域漂浮绿潮的生长和腐败-漂移-沉降过程。Cugier 等^[5-6]建立浮游植物三维生态学模型和三维水动力模型, Ménesguen^[7-8]建立适应于 Brest 湾的绿潮特征的三维生物地球化学模型, 同时开展了潮间带绿潮的预报研究。Perrot 等^[9]发展了预报潮间带海藻的简单方法。

2008 年 5 月 31 日黄海海域发现漂浮绿潮后, 国内研究人员对绿潮的预测和溯源进行研究。国家海洋局北海预报中心立即利用卫星、船舶、飞机、海洋站等多源观测和监测数据, 采用三维全动力 POM(Princeton Ocean Model)海洋模式和拉格朗日粒子正向^[10]追踪方法, 快速准确预报绿潮的漂移轨迹。乔方利等^[11]根据历史的数值模拟海流场, 指出影响青岛近海的绿潮可能来自黄海西南部。

绿潮大面积爆发时, 对海洋环境、海洋渔业和海

洋生态系统都会造成一定的影响。国内外主要是进行绿潮的生长机制研究和漂移数值模拟工作, 而没有追溯其来源。本文基于三维全动力海洋模式, 根据绿潮监测所在位置, 采用拉格朗日粒子反向追踪方法追溯绿潮的来源。

1 研究方法

绿潮溯源数值模式采用三维全动力 POM 海洋模式, 该模式由美国普林斯顿大学大气海洋科学项目组在 Mellor^[12-13]1977 年发起和主持下发展起来的, 逐渐被众多的海洋科学工作者接受和采用, 取得了许多令人满意的效果。

根据绿潮所在位置, 模式计算范围包括整个渤、黄、东海以及西北太平洋部分区域, 模式地形来源于 GEBCO(General Bathymetric Chart of Oceans)分辨率为 $1' \times 1'$ 的数据, 并采用中国海图水深和 Google Earth 进行水深和岸线订正(图 1, 水深单位为 m), 地形水平分辨率 $1/30^\circ$, 垂向 10 层。在边界上采用 8 个分潮(M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1)来驱动, 同时采用全球海洋模式(HYCOM+NCODA global $1/12^\circ$ analysis)的水位、流场、温盐场等输出结果作为大区域模式的初值和边值场; 采用业务化 WRF 模式(weather research and forecasting model)风场和热通量场作为大气强迫场; 考虑长江、黄河等河流径流的作用。

收稿日期: 2010-04-12; 修回日期: 2011-04-24

基金项目: 国家海洋局青年科学基金(20100203)和中国科学院海洋环境与波动重点实验室开放基金课题(KLOCAW0907)

作者简介: 吴玲娟(1979-), 女, 福建漳州人, 博士, 主要从事海洋环境要素预报和研究, 防灾减灾工作, E-mail: wulingjuan@nmfc.gov.cn

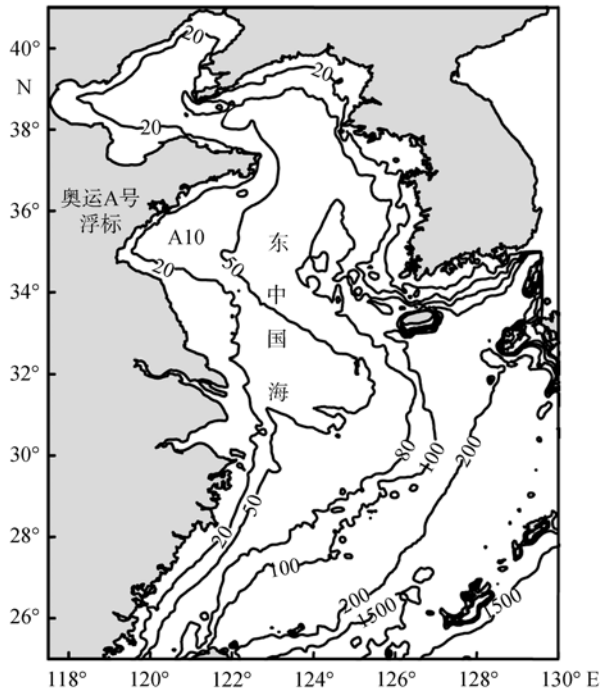


图1 模式计算区域(东中国海)水深分布

Fig. 1 Depth of the simulated area (the East China Sea)

在不考虑绿潮自身生态特征的情况下, 其在海

水中的移动, 可以看作是质点跟随海流的物理运动, 所以绿潮溯源数值模拟, 采用拉格朗日粒子反向追踪方法。粒子追踪方法采用粒子随机走动模式来模拟粒子的运动。每个粒子的位移变量都可以由Lagrange方程来确定; 粒子群的运动特性是一个随机过程, 它的条件概率密度函数可以由相应的Fokker-Planck方程决定。将对流扩散方程转化为Fokker-Planck形式, 通过数值求解粒子的Lagrange方程, 确定每个粒子的位移, 从而实现了粒子的动态追踪, 达到了污染物运动过程数值模拟的目的^[14]。Lagrange粒子反向追踪法就是通过该方法在时间上反向积分, 计算出上一时刻粒子所在的位置。

2 模式验证

图2、图3是2008年8月19~20日奥运A号浮标(120°24'E, 36°2.4'N)和2009年3月26~27日董家口倾废区附近A10测流点(120°1.967'E, 35°22.3'N)(位置见图1)表层流速、流向模拟计算值与实测值的比较。无论是流速还是流向, 模拟值和实测值的变化基本一致, 吻合较好。

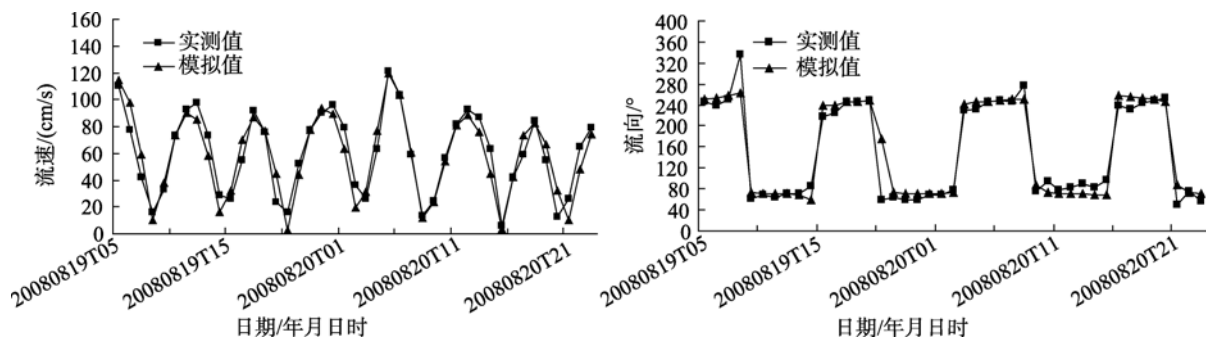


图2 奥运A号浮标表层流速、流向计算值与实测值比较

Fig. 2 Comparison between the simulated and observed surface current speed and direction for Olympic buoy A

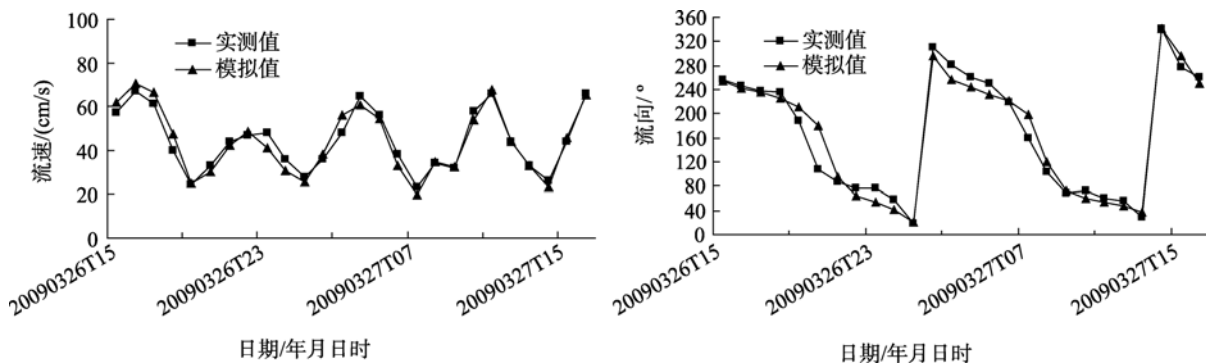


图3 董家口倾废区附近测流点A10表层流速、流向计算值与实测值比较

Fig. 3 Comparison between the simulated and observed surface current speed and direction for A10 near Dongjiakou dumping area

3 绿潮溯源数值模拟结果

为了追溯 2008 年绿潮来源, 利用 2008 年 6 月 1 日中国海监飞机监测到的绿潮信息, 确定绿潮的分布位置和范围。基于三维全动力 POM 海洋模式, 采用拉格朗日粒子追踪法反向积分, 结果显示, 回溯至 5 月中旬, 2008 年 6 月 1 日发现的黄海绿潮主要来源于黄海南部江苏连云港和盐城近海海域(图 4, 螺旋曲线代表绿潮外边界点的漂移轨迹)。

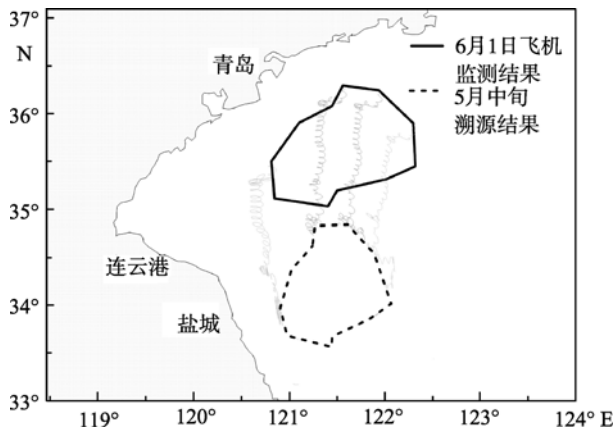


图 4 2008 年 6 月 1 日监测的绿潮追溯到 5 月中旬的模拟结果

Fig. 4 Back tracing green tides observed on 1st June 2008 to the middle of May by simulation

4 讨论

利用 2008 年 6 月 1 日中国海监飞机监测的绿潮数据进行应急溯源, 所得到绿潮 5 月中旬的范围包含了 2008 年 5 月 14 日利用 MODIS 卫星监测到的绿潮范围(图 5)。MODIS 监测数据受天气影响, 2008 年

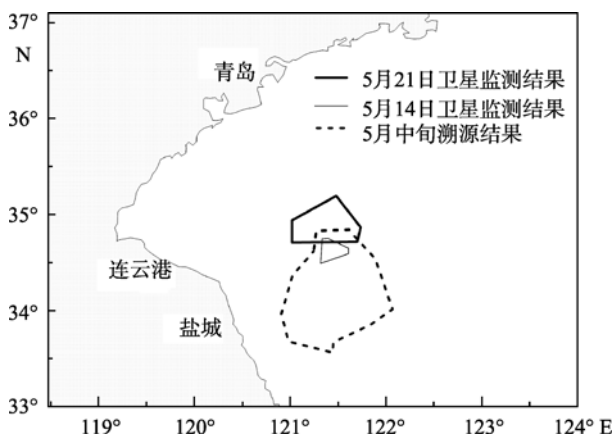


图 5 黄海中部 2008 年 5 月监测结果和溯源结果比较
Fig. 5 Comparison between the simulated and observed results of Green Tides in Mid-May

5 月中旬江苏近海海域多云, 同时此模式未考虑到绿潮的生长情况, 所以模式的溯源结果与监测结果还是比较一致的。

在数值模拟工作中, 该三维全动力模式还未考虑绿潮生消过程, 风与绿潮之间的拖曳作用等方面内容, 模式还需进一步改进, 以进一步提高溯源水平。

参考文献:

- [1] Briand X. Seaweed harvesting in Europe[C] // Guiry M D, Blunden G. Seaweed resources in Europe: Uses and Potential. New York: John Wiley & Sons, 1991: 259-308.
- [2] Briand X, Morand P U. Stranded algae: a way of depollution through methanisation[C] // Grazi G, Delmon B, Molle J F, et al. Biomass for Energy and Industry, Proc. 4th European Conference. London: Elsevier Applied science, 1987: 834-859.
- [3] Jannika B, Saara B, Devid P F, et al. Novel morphology in enteromorph(ulvophyceae) forming green tides[J]. American Journal of Bottany, 2002, 89(1): 1756-1763.
- [4] Aourousseau P. Les flux d'azote et de phosphore provenant des bassins versants de la rade de Brest: Comparaison avec la Bretagne[J]. Océanis, 2001, 27(2): 137-161.
- [5] Cugier P, Le Hir P. Three dimensional (3D) ecological modelling of the Bay of Seine (English Channel, France) [J]. J Sea Res, 2005, 54: 104-124.
- [6] Cugier P, Le Hir P. Development of a 3D hydrodynamical model for coastal ecosystem modelling, application to the plume of the Seine River (France) [J]. Estuar Coast Shelf Sci, 2000, 55: 673-695.
- [7] Ménesguen A, Salomon J C. Eutrophication modelling as a tool for fighting against Ulva coastal mass blooms [C] // Schrefler B A, Zienkiewicz O C. Computer modelling in ocean engineering. London: Taylor & Francis Inc, 1988: 443-450.
- [8] Ménesguen A. Modelling coastal eutrophication: the case of French Ulva mass blooms[C]//Vollenweider R A, Marchetti R, Viviani R. The response of marine transitional system to human impact: Problems and perspectives for restoration. London: Elsevier, 1992: 979-992.

- [9] Perrot T, Dion P, Populus J, et al. A predictive approach to the mapping of furoid beds using spot magery and a digital elevation model[C]//Anderson R J, Brodie J A, Edvar O, et al. Eighteenth International Seaweed Symposium. Germany: Springer, 2004: 23-27.
- [10] 黄娟, 吴玲娟, 高松, 等. 黄海绿潮应急漂移数值模拟[J]. 海洋预报, 2011, 28(1): 25-32.
- [11] 乔方利, 马德毅, 朱明远, 等. 2008 年黄海绿潮爆发的基本状况与科学应对措施[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(3): 409-410.
- [12] Blumberg A F, Mellor G L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in Three-Dimensional Coastal Ocean Models [M]. Washington: American Geophysical Union D. C., 1987: 1-208.
- [13] Mellor G L. Analytic prediction of the properties of stratified planetary surface layers[J]. J Atmos Sci, 1973, 30: 1061-1069.
- [14] Zhang Xueyong. Ocean outfall modeling-interfacing near and far field models with particle tracking method [D]. United States: Massachusetts Institute of Technology, 1995.

Numerical tracing simulation on Green Tides in the Yellow Sea for contingency forecast

WU Ling-juan, CAO Cong-hua, HUANG Juan, CAO Ya-jing, GAO Song, BAI Tao
(Shangdong Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Environment and Disaster Prevention and Mitigation, North China Sea Marine Forecasting Center of State Oceanic Administrator, Qingdao 266033, China)

Received: Apr., 12, 2010

Key words: Green Tides; POM (Princeton Ocean Model); numerical tracing simulation; Lagrangian particle tracking method

Abstract: Based on three-dimensional dynamical POM (Princeton Ocean Model), the origin of Green Tides was traced in contingency forecast by backward integration of Lagrangian particle tracking method. The results showed that if tracing to the middle of May, Green Tides observed on 1st June 2008 by marine surveillance airplane came from waters near Jiangsu and Yancheng in the southern Yellow Sea. The numerical results provided the information of the origin of Green Tide, serving as a reliable base for Chinese government to take corresponding measures.

(本文编辑: 刘珊珊)