

海上失事目标搜救应急预报系统

李云, 刘钦政, 王旭

(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:详细介绍了国家海洋环境预报中心发展的海上失事目标搜救应急预报系统。该系统基于四阶精度的拉格朗日漂移路径模型,以预报中心发展的高分辨率风场和流场数值预报的结果作为环境动力强迫条件,预报落水人员或失事船舶(渔船)的漂移轨迹,预报结果可基于 Googleearth 平台显示。该系统的应用有助于提高海上搜救行动的及时性和有效性,减少失事人员死亡率和失事船舶失踪率,减少经济损失,具有很高的实用价值。

关键词:搜救;四阶精度;非线性模型;Googleearth

中图分类号:U 676 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2011)05-0077-05

1 引言

我国加入 WTO 后,海上贸易量逐年增加,进出我国港口的船舶数量也随之增长,特别是一些主要的通航水域,通航密度进一步加大。进入 21 世纪,进出口货运量和油运量逐年急剧增加,每年有 100 多个国家和地区的船舶航行于我国海域,但是,由于船体性能的欠缺以及陈旧的管理方式和突发性事件的影响,船舶事故也随之频繁出现。2007 年 5 月,南京港务局所属“阅江号”发生碰撞事故后倾覆,6 人死亡,3 人失踪。2008 年 11 月,舟山籍渔船“浙岱渔 04476”轮在长江口以东 93 海里处附近海域作业时,与一艘韩国籍船舶发生碰撞,8 名渔民失踪;2009 年 4 月发生在浙江沿海的碰撞事故造成伯利兹籍货物沉没,20 人失踪。2010 年 4 月 29 日,辽宁籍渔船“辽瓦渔 75182”在韩国以西海域翻沉,5 人失踪;5 月 4 日,“金圣海 29”轮出天津港过程中与驳船发生碰撞,7 人失踪。

根据国家海洋局职责,海上事故发生后,国家海洋局有责任和义务承担搜救工作进行时的海上环境预报工作和失事目标漂移轨迹的预测工

作,为各省市海上搜救指挥中心执行搜救任务提供辅助决策支持,为海运业、渔业、海上旅游业等涉海行业的快速发展,提供安全保障。

本文详细介绍了国家海洋环境预报中心“十一五”期间发展的一套具有业务化运行能力的海上失事目标搜救应急预报系统,该套系统已在国家海洋环境预报中心、浙江省海洋监测预报中心、宁波市海洋预报台安装应用。

2 系统概述

海上失事目标搜救应急预报系统对船舶(渔船)、落水人员等不同失事目标在海上的漂移情况进行分类,采用非线性漂移速度模型计算船舶(渔船)在风、流影响下的漂移速度,其预报精度较线性模型有了明显的改善;在计算拉格朗日漂移路径时,采用龙格-库塔差分方法,将常用的一阶或二阶精度模型提高为四阶精度;开发了基于 Googleearth 的漂移路径显示平台,能够提供未来 48 h 失事目标的漂移路径、速度、方向和集成了风、流等环境要素的电子预报单。整套系统具有操作简单,界面友好,运行效率高,预报精度

收稿日期:2011-01-27

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划课题“海上突发事件应急预报技术”(2006BAC03B04)

作者简介:李云(1981-),男,助理研究员,主要从事海洋环境预报研究工作。E-mail:liyun@nmefc.gov.cn

高,结果显示直观明了等特点,非常适合搜救指挥部门使用。研发成果已在国家海洋环境预报中心、浙江省海洋监测预报中心和宁波市海洋预报台安装并试验运行,已经具备业务化运行的能力。整套系统的业务流程见图1。

3 环境动力预报

海面风场和表层流场的数值预报结果作为失事目标海上漂移的动力强迫条件,直接关系到漂移模型预报结果的准确率。

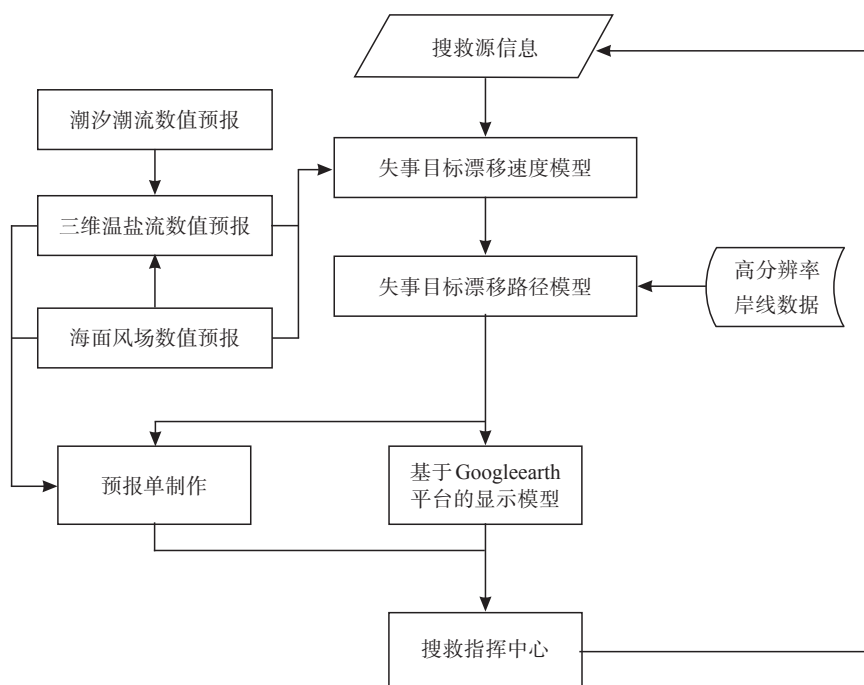


图1 海上失事目标搜救应急预报系统业务流程

3.1 风场数值预报

本系统采用国家海洋环境预报中心业务化风场数值预报系统的预报结果作为海面风场动力条件。该风场预报系统基于WRF模式开发,采用嵌套的运行方案,大区域时间步长240 s,小区域时间步长为80 s,积分时间72 h。物理过程参数化方案包括积云对流Kain-Fritsch(New Eta)方案、边界层(Mellor-Yamada-Janjic TKE)方案、微物理过程(WSN 3-class)简单冰方案、辐射(云辐射)方案、土壤(5层土壤)模式等。起报时间为每日12时(世界时),可以提供未来3天的风场预报结果^[1]。

3.2 海流数值预报

本系统采用国家海洋环境预报中心业务化的中国海三维温盐流数值预报系统的预报结果作为表面流场动力条件。该系统基于POM模式开发,

预报范围覆盖中国海全海域,采用曲线正交网格,水平网格分辨率为3.0—14.7 km,垂向分为不等距的35层,外模时间步长10 s,内模时间步长600 s,计算时考虑了浪致作用力对海流的影响,考虑了潮汐的作用。

4 失事目标漂移速度计算模型

失事目标漂移速度的计算分为两类,一类是船舶(渔船)漂移速度的计算,一类是落水人员漂移速度的计算。

4.1 船舶(渔船)漂移速度计算

计算船舶(渔船)漂移速度时采用非线性模型。基于一次在宁波附近海域进行的无动力船只(渔船)海上漂移试验的结果,拟合出风、流对船舶(渔船)漂移速度的非线性作用项,其预报精度

较线性模型有了明显的改善。

4.2 落水人员漂移速度计算

落水人员的漂移速度计算采用线性模型,即将落水人员作为海面风和表层流作用下的被动漂移物体,只考虑其在水平方向上的漂移运动,运动方程为:

$$\frac{dx_i}{dt} = v_a(x_i, t) + R \times v_d(x_i, t) \quad (1)$$

式中, v_a 是表层海流的速度, v_d 是海面风场的速度, R 是经验系数,由多次数值试验的结果给出。

5 失事目标漂移轨迹计算模型

在计算漂移轨迹时,采用四阶精度的龙格-库塔方法求解拉格朗日微分方程,时间步长为10 min。通过数值实验证明,这样的计算精度和时间步长设置,能使预报在保证精度的基础上获得更高的计算效率^[2-3]。

经典龙格-库塔方法^[4](classical Runge-Kutta method)利用在 (x_n, x_{n+1}) 之间预测多点的斜率,通过加权平均作为平均斜率以提高积分精度。用经典龙格-库塔方法解轨迹方程,可以写为:

$$\begin{cases} a = v_a(x^n, t^n) \cdot \Delta t \\ b = v_a(x^n + a/2, t^{n+1/2}) \cdot \Delta t \\ c = v_a(x^n + b/2, t^{n+1/2}) \cdot \Delta t \\ d = v_a(x^n + c, t^{n+1}) \cdot \Delta t \\ x^{n+1} \approx x^n + (a + 2b + 2c + d)/6 \end{cases} \quad (2)$$

中间时刻的速度用插值法求得:

$$v^{n+1/2} = \frac{5}{16}v^{n+1} + \frac{15}{16}v^n - \frac{5}{16}v^{n-1} + \frac{1}{16}v^{n-2} \quad (3)$$

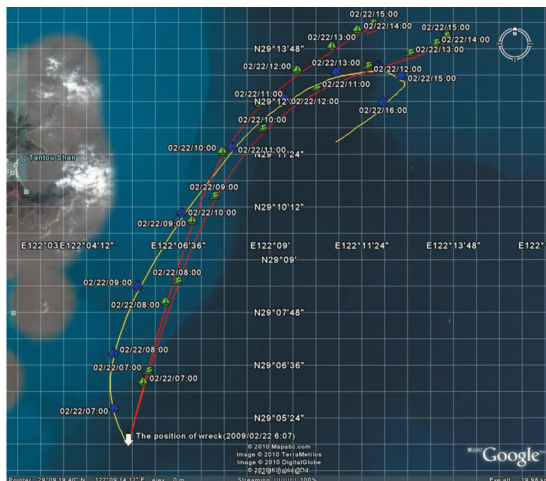
上式右边的速度分别为质点在 n^{+1} , n , n^{-1} , n^{-2} 四个时刻的速度。

系统具有靠岸判断功能,当当前时刻位置与下一时刻位置的连线与某条海岸线相交时,就认为失事目标已经靠岸,积分过程终止。

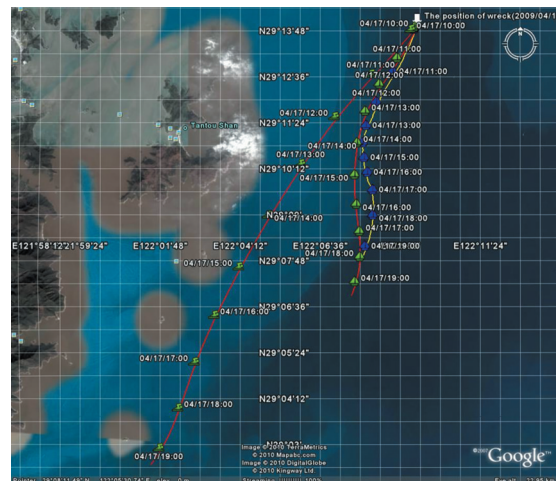
6 个例模拟和结果检验

采用本系统对在浙江海域进行的两次有代表性的无动力船只自由漂移过程进行了实测数据模拟和结果对比,分别是090222和090417过程。

090222过程是2009年2月22日,在浙江近海做的一次无动力自由漂移试验;090417过程是2009年4月17日,在浙江近海做的一次无动力自由漂移试验。图2分别显示了这两次过程的模拟结果。图中,红色带人形图标表示预报的人员漂移路径;红色带船形图标表示预报的船舶漂移路径;黄色带船形图标表示真实船舶漂移路径。由图可以看出,在相同时刻相同地点遇难的船舶和



a. 090222 过程



b. 090417 过程

图2 个例模拟结果

表 1 090222 过程结果检验(初始位置:29.07906°N,122.0883°E)

时刻	漂移方向误差	速率相对误差	位置误差 (km)
7:00	-41.32	58.44 %	1.595
8:00	-27.48	56.91 %	3.001
9:00	-13.59	44.50 %	3.427
10:00	-5.01	27.74 %	2.927
11:00	-1.61	14.76 %	2.000
12:00	0.36	7.46 %	1.198
13:00	2.49	4.40 %	1.086
14:00	5.08	4.14 %	1.817
15:00	6.77	6.04 %	2.530
16:00	6.36	14.92 %	3.344

表 2 090417 过程结果检验(初始位置:29.2319°N,122.1584°E)

时刻	漂移方向误差	速率相对误差	位置误差 (km)
10:00	-2.56	37.61 %	0.188
11:00	-2.97	26.83 %	0.753
12:00	-4.61	19.77 %	0.927
13:00	-4.27	10.96 %	0.723
14:00	-2.51	1.51 %	0.281
15:00	-1.11	13.08 %	0.938
16:00	-0.21	20.78 %	1.608
17:00	-0.73	24.54 %	2.082
18:00	-0.89	21.32 %	2.068
19:00	-0.43	15.36 %	1.728

落水人员的漂移路径可能有很大的差异，以 090417 过程为例，7 小时后落水人员与船舶的距离已经超过 10 km。因此，在实际的搜救行动中，对于不同的失事目标采用不同的参数模型进行漂移轨迹的预测是有必要的。

个例的误差检验结果见表 1 和表 2，从误差检验的情况看，两次个例在漂移试验过程中各时次的位置误差均小于 5 km，可以满足实际搜救的精度需要，说明本预报系统的预测结果具有较好的参考价值，可以应用于实际的海上搜救辅助决

策中。

7 业务预报实例

在收到遇险报警信息后，值班员应立即将包括遇险时间、遇险位置、遇险类型(人员、船舶)等信息在内的源信息输入到预报系统的搜救源信息文件中，然后启动预报主程序，运行约 20 min 后，自动生成基于 Googleearth 平台的 kml 文件和集成了风场、海流等环境预报信息的预报单文

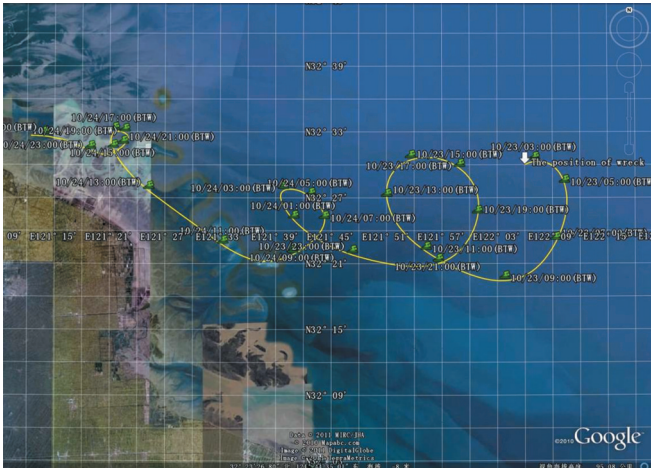


图 3 “浙三渔 0036”渔船事故预报的落水人员漂移轨迹

本。整个计算过程无需人工干预,具有较高的自动化程度。

以2010年10月23日“浙三渔0036”渔船的失事事故为例,该渔船在长江口以北约60海里的位置,被强台风“鲇鱼”大风吹翻,船上18人全部落水,图3是收到险情通报后利用本系统进行的预报结果。图中白色箭头为失事地点,黄色曲线为预报的落水人员的漂移轨迹,绿色小人图像表示预报的各时刻落水人员的可能所在位置。预报结果基于Googleearth平台显示,具有直观、清晰、易懂的优点。

8 结论

在海上搜救行动中,搜救部门因对未来海况变化缺乏了解,使搜救任务的执行具有一定的盲目性。海上失事目标搜救应急预报系统结合了环境预报信息和高阶精度的漂移模型,预报结果对

搜救行动具有重要的参考价值和很强的实用性。

在下一步的工作中,需要对多种船型以及救生艇进行海上漂移试验,以确定不同类型船舶和救生艇的漂移参数,使预报更具有针对性,提高预报精度;此外,该预报系统应纳入海上搜救辅助决策系统中,在海上搜救计划的制订中发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 杨学联,季晓阳,凌铁军等. 高分辨率有限区域海面风场数值预报业务化系统研制[C]. 海洋灾害发生机理及预报减灾技术研究成果汇编,2009:23-38.
- [2] 龙绍桥,娄安刚,谭海涛等. 海上溢油粒子追踪预测模型中的两种数值方法比较[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2006,36(S):157-162.
- [3] 李云,李燕. 理想流场下拉格朗日漂移过程数值计算中三种数值方法的比较试验[M]. 海上污染防治及应急技术研讨会论文集. 北京:中国环境科学出版社,2009:251-256.
- [4] 现代应用数学手册计算与数值分析卷[M]. 北京:清华大学出版社,2005:563-566,571-573.

Maritime search and rescue emergency forecasting system

LI Yun, LIU Qin-zheng, WANG Xu

(Key Laboratory of Research on Marine Hazards Forecasting, National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China)

Abstract: The marinetime search and rescue emergency forecast system, developed by National Marine Environmental Forecasting Center (NMEFC), is introduced in this article. Based on fourth-order Runge-Kutta lagrangian drift method and driven by high-resolution sea surface wind and numerical current forecast system which is also developed by NMEFC, the system can provide drift trace of wrecks or drowning people. The forecast product can be displayed on the Google earth platform. This forecast system can improve the timeliness and effectiveness of maritime search and rescue and has proved its value in mitigating personnel casualty and economic loss.

Key words: search and rescue; fourth-order; nonlinear model; Google earth