

基于B/S架构的海上搜救应急预报平台设计与应用

郭凯旋^{1,2}, 于寒^{1,2}, 杨逸秋^{1,2*}, 张守文³, 张苗茵^{1,2}, 王梦佳⁴

(1. 卫星海洋环境监测预警全国重点实验室(国家海洋环境预报中心), 北京 100081; 2. 国家海洋环境预报中心 自然资源部海洋灾害预报技术重点实验室, 北京 100081; 3. 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海), 广东 珠海 519082; 4. 上海地听信息科技有限公司, 上海 200063)

摘 要: 针对建设海洋强国背景下我国海上搜救应急预报和辅助决策工作中面临的新形势和新需求, 基于B/S架构建立了海上搜救应急预报平台, 集成海上搜救事件应急漂移预测运算、结果输出、人工订正与显示、搜救应急专报制作等功能, 实现了搜救应急预报全流程的同平台操作, 极大提升了海上搜救应急预报保障能力。

关键词: 海上搜救; 漂移预测; 溯源分析; 平台设计; B/S架构

中图分类号: U676.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2025)03-0114-09

0 引言

海上搜救服务是政府的一项公共事务活动, 是国家应急救助体系的重要组成部分, 也是国家经济发展的重要保障。提升海上搜救应急保障能力可以降低搜救工作的盲目性, 更有效地调动搜救力量, 减少搜救资源的重叠和浪费, 提高搜救行动的有效性, 为最大限度地减少人民及财产损失提供科学方法和技术支持。

欧美发达国家先后基于数值模拟方法, 并结合计算机软件开发和地理信息平台技术研发了具备海上环境信息查询、海上搜救漂移预测、搜救路径方案设计等功能的海上搜救辅助平台, 大大提高了海上搜救的成功率。利用计算机开展辅助搜救计划和决策是欧美发达国家海上搜救平台的主要特点^[1], 其中比较典型的平台有加拿大的CANSARP (Canadian Search and Rescue Program) 平台^[2-4]、英国的SARIS (Search and Rescue Information System) 平台^[4-6]、法国的MOTHY (Modèle Océanique de Transport d'Hydrocarbures) 平台^[7-9]、美国的SARMAP (Search and Rescue Mapping and Analysis Program)

平台^[4,10]等。

CANSARP平台基于地理信息系统(Geographic Information System, GIS)运行, 平台使用格点化的环境数据。该平台预报主要涵盖4种计算模式, 分别为风致漂移模型(Leeway)、风驱动流模型、表层流驱动模型和蒙特卡洛(Monte Carlo)模型。SARSI搜救信息平台于1998年初开发, 它基于虚拟海上信息平台界面, 能够对海上失踪人员、船舶以及物体的搜寻区域进行较为准确的预测, 同时有效配置搜救力量开展搜寻, 是目前世界上较为先进的搜救计划工具软件之一。MOTHY平台的海上漂移物预报模型基于Leeway漂移属性, 采用蒙特卡罗随机方法进行预测, 该平台能够处理的海上失事目标物种类多达63种。目前MOTHY平台已经在北大西洋、地中海成功应用于追踪海上漂移物以及模拟货物集装箱的漂移轨迹。SARMAP平台根据美国国家搜寻与救助手册(USCG/IMO, 1992-IAMSAR1999)进行开发, 该平台的运行需要初始化表面风场和流场数据, 平台内搭建了海上漂移物参数库, 根据漂移物的不同种类能够进行快速建模, 并基于GIS平台高效输出直观的可视化结果。

收稿日期: 2024-07-15。

基金项目: 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)2023年度自主科研项目(SML2022SP504); 国家自然科学基金(42206218)。

作者简介: 郭凯旋(1986-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事海上突发事件应急预报和服务保障工作。E-mail: 254851745@qq.com

*通信作者: 杨逸秋(1986-), 女, 副研究员, 硕士, 主要从事海上突发事件应急预报业务和科研工作。E-mail: zjyangyiqiu@163.com

当前我国在搜救力量投入方面,主要侧重于搜救装备的更新,强化其在海难事故中的救助能力。我国在海上搜救信息平台建设方面起步晚、投入少,目前我国在全国各海区推广应用的“国家海上搜救环境保护服务平台”仅包含海上失事目标物漂移预报和环境背景场可视化功能,虽然其在预报精度和时效方面有了较大提升^[11-12],但是与欧美发达国家相比,该平台的功能比较单一,缺乏辅助决策方面的功能。随着多源数值预报数据的广泛使用,海上搜救信息平台强大的运算能力和高效的运算速度能够快速、准确地为搜救部门提供决策信息。这不仅能够有效提高海上搜寻工作的工作效率,还能为最大程度降低生命及财产损失提供科学方法和技术支持。因此,基于高性能计算机的强大算力,发展快速、准确、直观、有效的搜救信息平台,是未来海上搜救预报发展的主要趋势^[13-14],也是我国当前亟需解决的难题。

1 海上搜救应急预报平台设计

海上搜救应急预报平台综合利用计算机及网络信息化技术,将涵盖海上搜救模型集成、海上搜救目标漂移特征参数库构建、搜救目标信息接入、多源环境场接入、模型计算参数输入、模型运算及结果输出、结果显示与输出、结果人工订正和应急预报产品制作等功能模块所涉及的各类数据,统一集成在GIS地图界面进行展示,并对各类资源实施合理管理。同时,平台还衔接了多源气象海洋模式数据用于在线驱动线性、风压、半解析3套搜救模型,计算并完成搜救模拟并实现在线人工订正,为海上突发性搜救事故应急决策提供科学高效的搜救预报保障服务支撑。

1.1 平台设计原则

①快速响应:在规定的时效内完成搜救信息甄别、数据处理、产品加工、查询统计等全流程功能。

②数据直读:采用直读方式直接将多源异构数据和原始数据快速链接,添加一次性元数据并建立动态数据索引,无预生成和存储地图及数据图层,节省大量储存空间。

③界面管理灵活:平台界面实现动态调整,满足不同用户对界面功能展示进行灵活管理和配置的需求。

1.2 平台总体架构设计

海上搜救应急预报平台采用Browser/Server架构的设计模式(见图1),分为用户层、业务功能层、业务逻辑层、数据存储层和数据接入层。

①用户层:预报人员通过账户名称和密码登录海上搜救应急预报平台。

②业务功能层:为用户提供基于WebGIS人机友好交互操作的HTML5/JavaScript图形界面。

③业务逻辑层:通过多种不同的Web API与服务器端进行数据交互,实现搜救漂移模型的集成调用和在线驱动运算、结果显示和输出、预报产品制作、搜救方案制定等业务功能。业务逻辑层代码独立,各功能模块具备很强的独立性,确保平台运行的灵活性和平台后期的可扩展性。

④数据存储层:由环境数据数据库、搜救目标数据库、搜救事件数据库、情景案例数据库等8个数据库组成,是平台数据资源存储的核心。

⑤数据接入层:负责平台中多源数据采集传输和模型集成。

1.3 平台总体功能设计

海上搜救应急预报平台包含大气海洋环境、海上搜救应急预报和多源数据管理3大功能模块。平台详细功能结构见图2。

①大气海洋环境功能模块可实现对气象海况、水深地形、遥感观测等不同分类和类型数据的二维分层动态交互配置、可视化显示和多形式时空特征查询。查询结果以图表形式展现,并可实现下载。

②海上搜救应急预报功能模块通过构建搜救事故情景完成模型的在线驱动运算和监控,实现搜救预测结果的人工在线交互订正,创建搜救事故情景结果动画,并根据不同的应急需求制作预报产品。

③多源数据管理功能模块用于实现岸线边界、环境数据、遇险目标数据、船舶类型数据、事故案例、应急预报单等信息的管理。

1.4 平台关键技术实现

1.4.1 基于HTML5/JavaScript的WebGIS界面开发技术

平台界面采用HTML5/JavaScript前端开发语

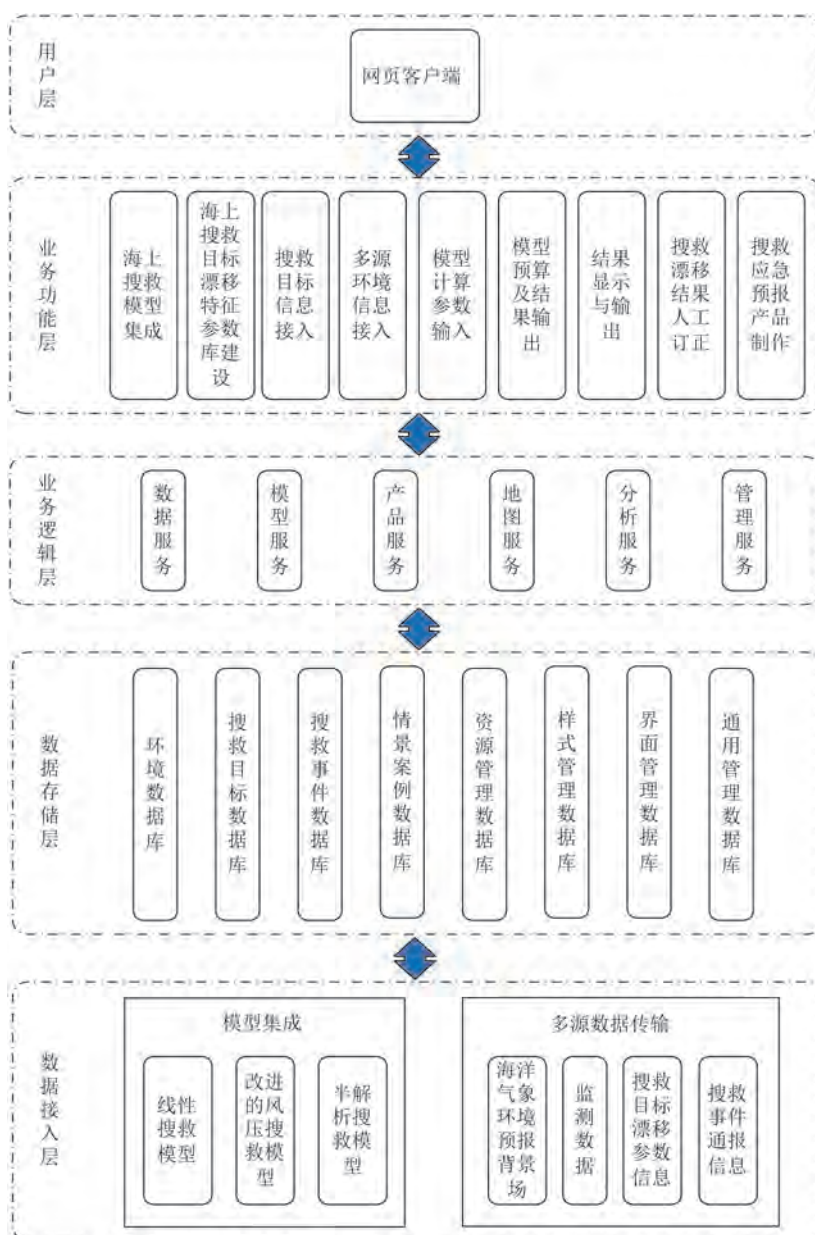


图1 平台总体框架图

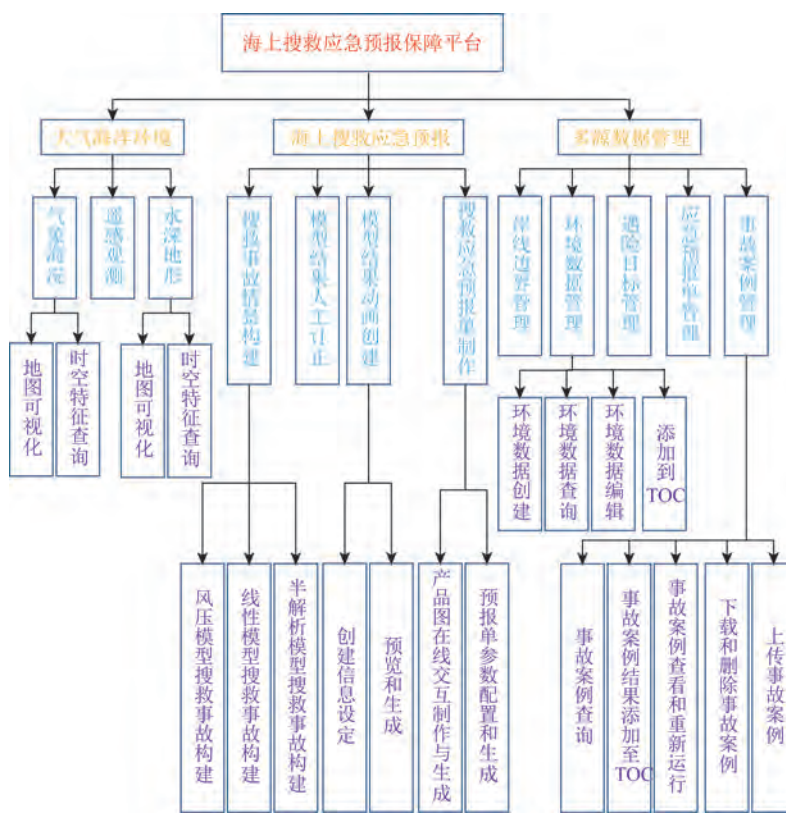
Fig.1 Overall system framework diagram

言,并基于Vue前端开发框架构建。用户通过访问浏览器就可以直接完成与平台的人机交互操作,无需额外安装插件或程序,很大程度上加快了访问速度,提升了用户体验。在将WebGIS技术应用到平台界面(见图3)的构建中,将平台通过通用地图界面与Web中的其他信息服务进行无缝集成,通过互联网实现对网络地图和用户自定义地图的发布、地图浏览、多源图层叠加展示以及空间数据查询、分析和灵活多变的GIS应用。应用OpenLayers进行

开发可确保地理空间数据的访问方法符合行业标准。

1.4.2 在线模型驱动运算技术

通过WebGIS界面获取或输入事故的搜救信息、搜救对象信息、环境场及水陆边界信息和模型参数信息,传输到多源数据管理功能模块并发出运行请求,服务器端的模型运算服务将会自动对风场、流场等环境数据、搜救对象特性进行查询及提取并生成模型参数文件、模型配置和搜救对象选项



*TOC指可视化界面后台数据库

图2 平台功能设计图

Fig.2 System function design diagram

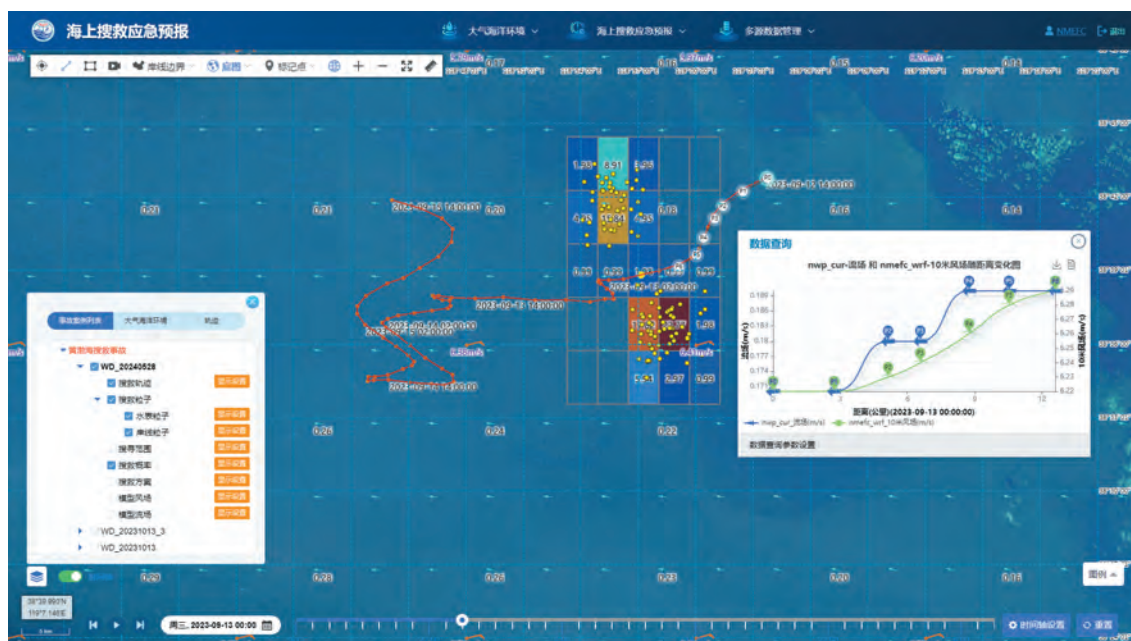


图3 平台主界面示意图

Fig.3 Schematic diagram of the main interface of the platform

文件,以此作为轨迹和风化模型运算的输入文件并进行输入(见图4)。输入文件准备完成后,服务器端自动调用搜救漂移轨迹模型计算程序和结果分析、处理程序,执行模型运算并输出分步搜救漂移预测结果和辅助决策分析结果。



图4 搜救事故情景概览和运行监控
Fig.4 Overview of search and rescue accident scenarios and operational monitoring

1.4.3 多源异构数据地图渲染技术
该技术预报平台不但能进行各种逻辑运算,同

时它也是一个强大的、专业化的地图服务器。通过 DrawGIS、DrawEDS 和 DrawModel 工具,可以实现将搜救模拟结果、气象海况环境数据和 GIS 数据通过标准动态地图服务进行渲染。DrawGIS 用于绘制具有地理信息的 GIS 图层,包括点、线、面等几何类型;DrawEDS 和 DrawModel 分别用于输出时空变化的环境数据地图和模型结果地图,包括提供图层、空间范围、投影等信息。

2 平台检验与应用

2.1 平台检验

2.1.1 检验方法

在实际的海上搜救应急预报工作中,考虑到遇险信息误差、海洋环境背景场预报数据误差、搜救预报模型误差等多源误差的影响,预报精度通常以漂移轨迹预报距离误差(单位:km)来表示^[15]。12 h 预报距离误差≤6 km、24 h 预报距离误差≤10 km 为预报准确。

2.1.2 历史案例

我们搜集整理了 2013—2022 年的海上搜救应急事件、海上搜救应急演练以及海上搜救漂移实验的案例数据,并使用海上搜救应急预报平台进行复盘演练预报。预报距离误差见表 1。

由表 1 可以计算得出,海上搜救 12 h 预报准确率=预报准确次数(33 次)/预报次数(40 次)=82.5%;海上搜救 24 h 预报准确率=预报准确次数(25 次)/

表 1 海上搜救预报误差统计表
Tab. 1 Statistical table of forecasting errors for maritime search and rescue forecast support

| 年份 | 案例信息 | 预报类型 | 漂移轨迹预报距离误差/km | |
|------|---------------|------|---------------|------|
| | | | 12 h | 24 h |
| 2013 | 0728 舟山渔船实验 | 实验 1 | 11 | 11 |
| | | 实验 2 | 19 | — |
| 2014 | 0722 东海搜救演习 | 人 | 1.8 | — |
| | | 人 | 8 | — |
| | | 救生筏 | 4 | — |
| | 1031 舟山渔船实验 | 实验 1 | 3.2 | 3.3 |
| | | 实验 2 | 2.2 | — |
| 2015 | 0909 台湾海峡搜救演习 | 人 | 6.5 | 10.5 |
| | | 人 | 3 | 5.5 |

表 1 (续)
Tab. 1 (Continued)

| 年份 | 案例信息 | 预报类型 | 漂移轨迹预报距离误差/km | |
|-------------|-----------------|-------------|---------------|-------|
| | | | 12 h | 24 h |
| 2016 | 0605 东海搜救演习 | 人 | 7 | — |
| | | 救生筏 | 5 | — |
| | 0722 东海搜救演习 | 人 | 3.8 | — |
| | | 救生筏 | 3.6 | — |
| 2018 | 0901 南海搜救演习 | 人 | 6 | 8 |
| | 1013 北海搜救演习 | 人 | 4 | — |
| | 0106“桑吉轮”漂移应急保障 | 油轮漂移预报第 1 期 | 10.6 | — |
| | | 油轮漂移预报第 2 期 | — | 19.88 |
| | | 油轮漂移预报第 3 期 | 9.26 | 19.09 |
| | | 油轮漂移预报第 4 期 | — | 14 |
| 油轮漂移预报第 5 期 | | — | 6.5 | |
| 2020 | 南海表漂漂移实验 | 油轮漂移预报第 6 期 | 1.12 | — |
| | | 表漂 10210 | 3.14 | 5.77 |
| | | 表漂 10208 | 3.55 | 6.58 |
| | | 表漂 10203 | 5.15 | 9.74 |
| | | 表漂 10215 | 3.45 | 6.29 |
| | | 表漂 10206 | 5.13 | 9.97 |
| | | 表漂 10213 | 4.75 | 7.86 |
| | | 表漂 10212 | 4.95 | 7.67 |
| | | 表漂 10205 | 4.70 | 7.18 |
| | | 表漂 10201 | 4.16 | 7.46 |
| 2021 | 印度洋表漂漂移实验 | 表漂 10202 | 4.45 | 8.74 |
| | | 表漂 10211 | 4.67 | 9.01 |
| | | 表漂 10204 | 4.60 | 9.13 |
| | | 表漂 10209 | 4.27 | 8.04 |
| | | 表漂 10207 | 3.85 | 6.94 |
| | | 珠江口海上搜救漂移实验 | 渔船 | 1.64 |
| 垂直假人 1 | 0.38 | | 0.22 | |
| 垂直假人 2 | 0.23 | | 0.05 | |
| 水平假人 1 | 0.11 | | 0.65 | |
| 水平假人 2 | 0.02 | | 0.19 | |
| 海上塑料浮子漂移实验 | 浮子 | | 1.49 | 8.44 |
| 2022 | 海上塑料浮子漂移实验 | 大浮子 | 4.27 | — |
| | | 小浮子 | 3.04 | — |

预报次数(29次)=86.2%。

在开展海上演习和海上漂移实验时,失事目标

物的类型、失事时间、失事状态均非常准确,海上演习和海上漂移实验的预报准确率超过了90%。但是

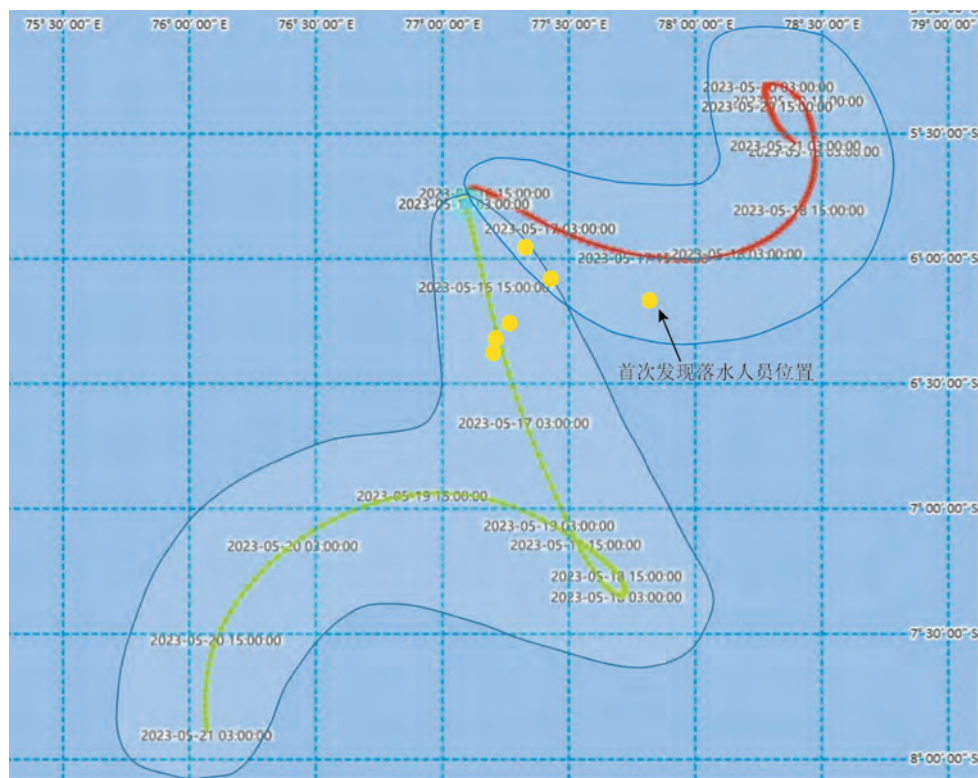
在真实的海上搜救案例中,上述失事相关信息的获取非常困难,因此真实海上搜救事件的预报准确率明显低于海上演习、海上漂移实验。

2.2 平台应用:“鲁蓬远渔028”号远洋渔船倾覆搜救事件

2023年5月16日03时(北京时),中国籍远洋渔船“鲁蓬远渔028”在印度洋中部海域倾覆,船上39人失联。国家海洋环境预报中心接到协助请求后,立即启动海上搜救应急响应机制,部署应急保障工作,应用海上搜救应急预报平台预测

失事落水人员的漂移轨迹,结果见图5。第1期预报单基于初始事发位置、事发时间进行预报。考虑到渔船倾覆后船员姿态不明确,可能存在直接漂浮在水面和乘坐救生筏逃生两种情景,因此从第3期预报单开始以落水人员和救生筏分别为目标进行滚动预报。5月19日基于第一次获得的落水人员位置对落水人员漂移特征参数进行了优化。

预报结果表明,18—21日陆续发现的落水人员或船只残骸位置(6处)均分布在搜救救生筏和人的搜救区域内,预报结果较好。



注:红色线为落水人员漂移轨迹,绿色线为救生筏漂移轨迹,蓝色线包围区域为搜寻范围,黄色点为首次发现落水人员位置

图5 落水人员、救生筏漂移轨迹及搜寻范围预报图

Fig.5 Prediction of drift trajectory and searching range for drowning personnel and life rafts

3 结论

本文介绍了国家海洋环境预报中心开发的海上搜救应急预报平台的设计、组成以及关键技术问题。该平台建立了高效的人机交互界面、便捷的操作接口和多样化的预报产品展示画面,大大提高了我国海上搜救预报人员的应急处置效率。

该平台投入运行后,成功应用于印度洋“鲁蓬远渔028”号远洋渔船的倾覆搜救预报保障行动和其他多起海上搜救应急预报保障工作中,多次在预报轨迹和预报范围内成功找到失事目标物,得到了一线搜救部门的好评和感谢。海上搜救应急预报平台的开发和应用为我国海上搜救工作提供了强有力的技术支撑,不仅提高了我国近海海域的搜

救保障能力,还为其向深海大洋拓展提供了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 杨克巍, 梁笑天, 郭珂, 等. 海上搜寻理论与搜救决策支持系统现状及发展[J]. 海岸工程, 2021, 40(4): 291-302.
YANG K W, LIANG X T, GUO Y, et al. Status and development of maritime search theory and search and rescue decision support system[J]. Coastal Engineering, 2021, 40(4): 291-302.
- [2] CHU T N, TSAI C H. Drift track simulation for past marine incidents using SARMAP[C]//OCEANS' 10 IEEE Sydney. Sydney, NSW, Australia: IEEE, 2010: 1-4.
- [3] Canadian Coast Guard. National search and rescue manual[R]. Ottawa: Department of National Defense/Canadian Coast Guard (DND/CCG), 2000.
- [4] 严梦迪. 基于多目标优化算法的海上联合搜救资源调度与决策研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2023.
YAN M D. A multi-objective optimization algorithm-based research on maritime joint search and rescue resource scheduling and decision making[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2023.
- [5] 李广敏. 海上搜救辅助决策系统在南海的应用与实践[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
LI G M. Application in the South China Sea of aided decision system for salvage and rescue at sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
- [6] BMT CORDAH. Search and Rescue information system (SARIS) [EB/OL]. [2023-03-19]. <http://www.bmt.org/our-innovations/bmt-saris/>.
- [7] SHN&ANI C, DANIEL P. Atmospheric forcing impact in MOTHY oil drift model[J]. WIT Transactions on the Built Environment, 2001, 58.
- [8] DOS SANTOS A S, DANIEL P. Oil spill modelling near the Portuguese coast[C]//2nd International Conference on Oil and Hydrocarbon Spills, Modelling, Analysis and Control. Las Palmas, Spain, 2000: 11-18.
- [9] DANIEL P, JOSSE P, DANDIN P. Further improvement of drift forecast at sea based on operational oceanography systems[J]. WIT Transactions on the Built Environment, 2005, 78: 13-22.
- [10] MALYSZKO M. Assessment of the potential effectiveness of the WIG craft in search action at sea using SARMAP software[J]. TransNav: the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2019, 13(2): 437-442.
- [11] 朱岩, 牟林, 王道胜, 等. 海上搜救辅助决策技术研究进展[J]. 应用海洋学学报, 2019, 38(3): 440-449.
ZHU K, MU L, WANG D S, et al. Advance in maritime search and rescue decision support techniques[J]. Journal of Applied Oceanography, 2019, 38(3): 440-449.
- [12] 尚恒帅. 国家海上搜救环境保障服务平台设计与实现[D]. 青岛: 山东科技大学, 2018.
SHANG H S. The design and implementation of national maritime search and rescue support system[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2018.
- [13] 李阳晖. 海上搜救智能辅助决策系统的构建与应用[J]. 中国水运, 2019(7): 47-48.
LI Y H. Construction and application of intelligent decision-making support system for maritime search and rescue[J]. China Water Transport, 2019(7): 47-48.
- [14] 王宁, 赵海彬, 都景彬. 关于美英两国海上搜救能力的探讨[J]. 中国水运, 2023(1): 25-27.
WANG N, ZHAO H B, DU J B. Discussion on the maritime search and rescue capabilities of the United States and the United Kingdom[J]. China Water Transport, 2023(1): 25-27.
- [15] 中华人民共和国自然资源部. HY/T 0389-2023 海上搜救预报产品检验规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
Ministry of Natural Resources, People's Republic of China. HY/T 0389-2023 Specification of forecast products verification for maritime search and rescue[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.

Design and application of maritime search and rescue emergency forecasting platform based on B/S architecture

GUO Kaixuan^{1,2}, YU Han^{1,2}, YANG Yiqiu^{1,2*}, ZHANG Shouwen³, ZHANG Miaoyin^{1,2}, WANG Mengjia⁴

(1. State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081, China; 2. Key Laboratory of Marine Hazards Forecasting, National Marine Environmental Forecasting Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100081, China; 3. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhuhai), Zhuhai 519082, China; 4. Shanghai Readearth Infotmation Technology Co.Ltd, Shanghai 200063, China)

Abstract: In response to the new situation and requirements of China's maritime search and rescue emergency

forecasting and decision-making, a maritime search and rescue emergency forecasting platform has been established based on the B/S architecture. It integrates functions such as emergency drift prediction, result output, manual correction and display, and emergency report production for maritime search and rescue events. The integration of all processes of maritime search and rescue emergency forecasting in a platform greatly improves maritime search and rescue emergency forecasting and supporting capabilities.

Key words: maritime search and rescue; drift prediction; traceability analysis; platform design; B/S architecture