

文章编号:1671-1637(2012)04-0083-10

海面遇险目标快速接近辅助决策系统

范中洲¹, 刘大刚¹, 李康¹, 罗红红², 吴兆麟¹

(1. 大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026; 2. 中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要:在大风浪天气条件下,为了使救助船在能够保障自身安全的前提下,尽早靠近遇险目标实施救助,采用专家问卷调查的方式,得到了北海救助局主力救助船的失速情况、航行风压差与风险等级隶属度等数据。根据模糊数学和风险分析理论,建立了救助船的风险评估模型,提出了基于电子海图的大风浪信息综合显示与救助船舶航线优选平台的功能需求,优化了航线风险评估流程,并设计了大风浪天气条件下海面遇险目标快速接近辅助决策系统。仿真结果表明:距离遇险目标最近的救助船北海救196航线风险等级过大,Ⅲ级风险的隶属度为1.0;救助船北海救108沿2号航线前往遇险目标时,会遭遇8级横风,Ⅲ级风险的隶属度为0.5,失速明显且航行时间过长;救助船北海救113的1号航线安全性较佳,时间最短,为最佳航线。仿真结果与实际结果一致,可见,系统有效。

关键词:交通安全;辅助决策;风险分析;模糊评价;遇险目标;救助船;大风浪天气;航线优选

中图分类号:U698

文献标志码:A

Quick approaching assistant decision system of distress target on sea surface

FAN Zhong-zhou¹, LIU Da-gang¹, LI Kang¹, LUO Hong-hong², WU Zhao-lin¹

(1. School of Navigation, Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning, China;

2. Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038, China)

Abstract: Under heavy weather condition, in order to make rescue ship approach distress target and implement assistance while the self-security of rescue ship could be guaranteed, the method of expert consult survey was used, and the stall situations, navigation leeways and risk grade membership degrees of brunt rescue ships in Beihai Rescue Bureau were obtained. Based on fuzzy mathematics and risk analysis theory, the risk evaluation model of rescue ship was set up, the functional requirements such as the integrated display of heavy weather information and the optimal route platform of rescue ship based on electronic chart were carried out, the evaluation process of route risk was optimized, and the quick approaching assistant decision system of distress target on sea surface under heavy weather condition was designed. Simulation result indicates that though BHJ196 is the nearest rescue ship to distress target, the route risk is too large, and the membership degree of Ⅲ-grade risk is 1.0. While approaching distress target by No.2 route, BHJ108 will encounter 8-grade crosswind, the membership degree of Ⅲ-grade risk is 0.5, stall situation is significant, and navigation time is too large. The safety of No.1 route for BHJ113 is better, and navigation time is the least, so the No.1 route of BHJ113 is the optimal route. The simulation result is consistent with the actual result, so the proposed system is

收稿日期:2012-02-14

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2009BAG18B03)

作者简介:范中洲(1970-),男,浙江湖州人,大连海事大学副教授,工学博士研究生,从事海上交通安全研究。

导师简介:吴兆麟(1947-),男,江苏盐城人,大连海事大学教授。

effective. 5 tabs, 9 figs, 24 refs.

Key words: traffic safety; assistant decision; risk analysis; fuzzy evaluation; distress target; rescue ship; heavy weather; optimal route

Author resumes: FAN Zhong-zhou(1970-), male, associate professor, doctoral student, +86-411-84729640, ffzz101@163.com; WU Zhao-lin (1947-), male, professor, + 86-411-84729640, wuzl2010@126.com.

0 引 言

当处于中国近海的船舶在大风浪中遇险时,中国交通运输部所属各救助局位于海上待命位置的救助船有义务在最短时间内赶往出事地点,对遇险目标实施救助。由于救助部门在海上有多艘待命的救助船,抗风浪性能和航速各不相同,且每条救助船前往出事地点有不同的航行方案,在航线上遇到的风浪情况也就不相同,这对救助船的自身安全和航速都有很大影响,因此,如何根据当时的大风浪天气状态,结合各待命救助船的具体情况,科学地选取能够保障救助船自身安全,同时又能尽快赶赴遇险目标位置的救助船与航行方案,是关系到能否实施及时救助和人民生命财产能否得到保全的问题。

目前,中国各救助局的指挥部门在制定救助船的航线设计和船舶选派等方面,还是采用人工分析、判断和制定方案,均未配备具有人工智能技术的计算机辅助决策手段^[1]。在国际上,国际海事组织(International Maritime Organization, IMO)对海上遇险船舶和人员的搜寻救助工作非常重视。1998年,IMO与国际民用航空组织联合推出了搜救手册《国际航空和海上搜寻救助手册》,并在2001~2004年又分别完成了搜救手册的修正方案。实际上,目前国内外绝大多数海上搜救方面的计算机软件系统都是以这部手册为基础开发的,其中加拿大海岸警卫队、美国海岸警备队、英国海岸警备队和日本海上保安厅等开发和使用的搜救辅助软件较为突出。加拿大海岸警卫队根据遇险船舶的实际情况,结合从搜救机构救起遇险人员的比例、反应时间、环境条件和水文、地理状况对搜救影响和反应力量按照不同的搜救类型给予不同的安全评价^[2]。但是,由于中国的搜救力量配备、搜救信息获取途径与上述国家相比有较大的差距,因此,这些辅助软件在中国并未有大规模的推广与使用^[3]。

罗永宏就如何实现海上搜救智能辅助决策提出了具体途径和实现方法,通过读取所输入的遇险信息,计算出各搜救力量处于待命位置的飞机或船舶

驶往遇险地点的所需时间,再根据时间的长短,以列表方式分别显示搜救资源数据库中飞机与船舶执行海上搜索与救助任务的优先次序,提供给决策人员作为任务调度的参考依据^[4];马文耀等以电子海图为基础,研究开发了对海难事故地点的准确定位和对海难事故搜寻与救助进行可视化管理的决策系统,决策系统集成与海上搜救相关的其他信息,主要包括风、浪、流等水文气象信息、通信条件、船舶交通和搜救资源等信息数据库,便于用户查询和辅助决策,并采用人工智能中的最短路径算法,求出救助站中救助船到达出事地点的最短路径^[5]。这些研究基本尚处于理论探讨阶段或仅有一些设想,并没有设计出真正可投入业务使用的应用系统。

在实施救助的过程中,救助指挥人员希望能够预先了解施救海区的风浪与天气状态,特别是能够给出在精细网格下(按小时区分)的船舶与风浪流等水文气象要素区的动态显示情况,并在此基础上,对救助船的安全性进行预先风险评估,达到优选救助船与施救航行方案的目的。但是,目前各救助局的指挥部门也都没有配备根据中尺度风浪数值预报模式得到的细网格、短时间步长、具有可视化功能的船舶-大风浪区动态显示监测和评估系统^[6]。

现代气象导航技术实际上是这方面应用比较成熟、应用效果较好的实例之一,但气象导航更多要依赖中长期天气海浪预报的结果,在优选条件上更多地考虑经济效益,即要综合考虑航时和油耗等经济因素。而对于救助船来说,时间就是生命,除了保证自身安全之外,主要考虑的是航行时间。同时,救助区域一般多在沿海海区,短时天气预报可提供基本保障,更多的要参考实时的风浪实况信息。国外一些专业气象导航公司开发了具有可视化的天气动态显示系统,主要用于使用气象导航的船舶在航行过程中,对将遇到的天气系统和天气海浪情况进行监测^[7],但这些系统主要用于大洋航行的船舶,天气预报模式的计算网格和时间步长都较大,不适用于中国沿岸海区的救助指挥行动^[8-9]。

交通运输部天津海上安全监督局曾提出港口与

附近海区船舶动态监测系统,将港口与附近海区中运行的船舶通过计算机动态显示在大屏幕(或图形显示器)上,并采用电子海图技术和数据库技术,将地理信息、水文信息、气象信息、人文信息综合分层次显示,该系统的主要功能是实现对港口与附近海域的船舶信息实时显示^[10-11],但对水文气象信息的动态显示方面所做的工作较少,只是将当天的海流和风浪情况叠加到电子海图上,没有风浪的预报信息;吴中鼎等在电子海图上简单集成了海难发生时的风、浪、流等气象水文信息^[12-13],但并未细致地将这些信息对救助力量产生的影响进行量化,也没有考虑救助船在大风浪中的失速情况,仅仅是简单利用各救助船距离海难发生位置的里程与设计航速计算出到达时间,并按照时间长短排序进行优选。

在利用风险分析理论和人工智能技术对在大风浪等恶劣天气下的船舶安全性进行评估和航行方案择优方面,目前外军已开始使用概率天气预报的技术方法来保障军事任务的完成,如美军使用任务成功指数(Mission Success Indicator, MSI)、气候任务成功指数(Climate Mission Success Indicator, CMSI)和预报任务成功指数(Forecast Mission Success Indicator, FMSI)等来制定军事计划,用于战术气象保障^[14-15]。总的来看,无论国内还是国外,关于海上搜救决策方面的研究还非常少,运用先进的数学建模方法和信息技术解决海上搜救相关问题的研究则更少。

本文根据模糊数学与风险分析理论,构建了关于可动用的救助船和可能航线的风险评价与评估体系,进而开发研制了可供救助部门使用的大风浪条件下海面遇险目标快速接近计算机辅助决策系统,系统可根据国内专业气象台的大风浪预报资料与救助部门的救助船舶情况,对大风浪等气象水文信息和可动用救助船舶的预计航线实施小时化的可视化动态显示,可对在未来的大风浪条件下各可动用救助船舶前往遇险目标的各条航线进行安全评价。

随着 2012 年 STCW 公约马尼拉修正案的生效,IMO 推行的电子航海战略的实施将给航海技术带来重大的革新和进步。作为电子航海技术重要组成部分的电子海图显示与信息系统将逐步得到应用,在电子海图平台上开发的高科技信息化产品将具有重大的应用价值。

1 救助船在大风浪条件下的性能

1.1 救助船在大风浪中的失速情况

当船舶在大风浪中航行时,会因风浪产生的阻力

使船速低于静水船速,这种船速降低的现象称为自然失速。同时,由于波浪的冲击和剧烈摇荡而引起严重的拍底、甲板上浪,推进器空转致使船体受损和安全性下降,船舶驾驶员为了保证航行的安全,人为地降低航速,这种现象称为有意降速。估算船舶的这 2 种失速状态,不仅对救助船在大风浪中的操纵有着现实指导意义,并且对救助船的航线优选也非常重要。

确定船舶失速状态有多种办法,其中使用专家问卷调查方法可以有效地克服建立船舶水动力模型计算失速或使用现有失速公式带来计算结果的不准确性,并可通过建立模糊风险矩阵方法^[16],得到救助船在大风浪条件下的风险隶属度。

本文采取专家问卷调查的方法,对北海救助局现役主力救助船的参数进行了调查统计,将救助船进行分类,依据各救助船的正常航行速度和风浪情况,设计了救助船失速调研表格,参考众多具有多年救援经验的专业人员的意见,得到了不同类型救助船的失速情况。

北海救 111 系列救助船,正常航速均为 17.5 kn,根据实际调查,该系列救助船抗风能力较强,当风力在 7 级以下时,风浪对救助船航行的影响很小,基本不考虑救助船的失速状态。当风力为 9 级时,救助船实际航速统计见表 1。

表 1 实际航速

Tab. 1 Actual speeds

kn

浪高/m	风浪舷角/(°)				
	0	45	90	135	180
≤2	11.0	11.5	11.0	14.5	15.0
(2,3]	9.0	9.5	8.5	13.0	14.0
(3,4]	7.0	7.5	6.0	11.0	12.5
(4,5]	5.5	6.0		8.0	9.5

1.2 救助船在大风浪中的风舷角

为更加精确地评估救助船在大风浪中航线的风险,需要研究救助船的航线与风向之间的夹角对救助船风压差的影响。

风压差的大小与风速、船速、风舷角等因素相关,如能得到救助船在不同风浪条件下的风压差,则可根据各航段节点上的风、浪、流等气象预报信息与在此条件下的失速状态,以“先流后风”为原则,推算救助船的风流压差,从而推算救助船的风舷角。风压差的矢量分析见图 1。

在图 1 中: xOy 为平面坐标轴; C_A 为救助船舶计划航线; \vec{V}_0 为船舶预测对水速度; \vec{V}_1 为船舶对地速度; \vec{V}_2 为流速; θ 为风向与计划航线的夹角; β 为

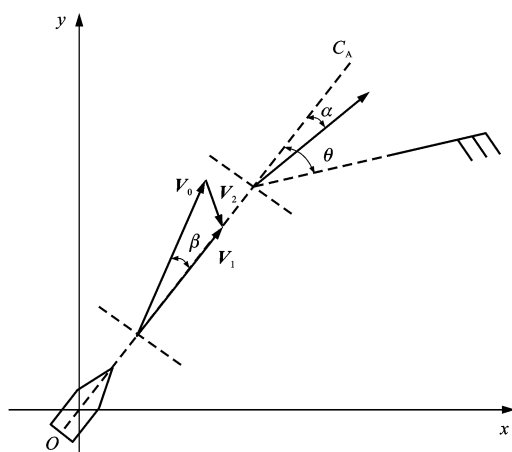


图 1 风压差矢量分析

Fig. 1 Vector analysis of leeway

流压差,船舶左舷受流其值为正,右舷受流其值为负; α 为风压差,船舶左舷受风其值为正,右舷受风其值为负。

由以上分析得

$$\mathbf{V}_1 + \mathbf{V}_0 = \mathbf{V}_2 \quad (1)$$

\mathbf{V}_1 的方向即为航线方位,则有

$$\beta = \frac{1}{2} \arccos \left[\theta \left(\frac{|\mathbf{V}_0|^2 + |\mathbf{V}_1|^2 - |\mathbf{V}_2|^2}{|\mathbf{V}_0 \mathbf{V}_1|} \right) \right] \quad (2)$$

根据专家调研结果,可估算风压差 α ,则风流压差为

$$\gamma = \alpha + \beta \quad (3)$$

进一步求得风舷角 Q 为

$$Q = \theta - \gamma \quad (4)$$

预测得到救助船各航段节点处的风舷角,为下一步风险度评估提供数据支持。北海救 111 系列救助船的风舷角见表 2。

表 2 风舷角

Tab. 2 Wind string angles

风力等级	风向与航线之间夹角/(°)				
	0	45	90	135	180
7	—	3	4	2	—
8	—	3	5	2	—
9	—	5	6	3	—
10	—	6	7	4	—
11	—	10	12	7	—
12	—	15	14	9	—

2 救助船航线的风险评估模型

2.1 大风浪状态下救助船风险等级的划分

本文所使用的大风浪状态下救助船的风险等级是根据风险分析的理论确定的。在确定具体的风险

等级时,主要考虑救助船能否在目标航线上的大风浪条件下保证本身的安全,风险等级具体名称与含义见表 3。救助船或前往遇险目标航线隶属于各风险等级的隶属度含义见表 4。

表 3 风险等级

Tab. 3 Grades of risk

风险等级	名称	含义
I	风险较小	此状态下,救助船可以航行,但应注意,必要时须严格遵守大风浪航行的有关规定
II	有一定风险	此状态对救助船安全有一定威胁,救助船应避免在此状态下航行较长时间
III	风险极大	此状态对救助船安全有严重威胁,救助船要完全避免在此状态下航行

表 4 隶属度

Tab. 4 Membership degrees

隶属度	0.0	0.1~0.4	0.5	0.6~0.9	1.0
含义	完全不属于	逐渐减小	临界值	逐渐增大	完全属于

2.2 各救助船在不同大风浪状态下的风险矩阵

根据风险分析理论可知,救助船在大风浪状态下的主要致灾因子是大风和大浪,因此,使用专家经验评定方法,可从具有丰富救助船驾驶经验的船长处得到救助船在各种大风浪状态下的隶属度,即可得到救助船在大风浪状态下的风险等级与大风和大浪状态之间的模糊关系。

北海救 111 系列救助船主要包括北海救 111、北海救 112、北海救 113 与北海救 115 等船舶,这些船舶建造时间与船舶尺度略有差异,但其差别很小,因此,船舶的操纵性能和救助能力基本相同。

经分析可知,北海救 111 系列救助船的抗风能力情况为:风力小于等于 5 级,对船舶航行没有影响;当风力大于 6 级时,船舶航行开始受到影响;风力大于等于 8 级,对船舶航行影响大,可定义为大风浪航行。据此,本文设计了不同大风浪条件与不同风浪弦角状态下,北海救 111 系列救助船的风险矩阵的调查表。具体来说,风力影响从 6 级开始考虑,分为小于 5 级、6~7 级、8 级、9 级、10 级、11 级和大于等于 12 级共 7 种情况;浪高情况从大于 1 m 开始考虑,分为小于 1、1~2、2~3、3~4、4~5、5~6、大于等于 6 m 共 7 种情况。

通过调研可知,当北海救 111 系列救助船在 9 级风力条件下时,风险矩阵为

	I 级	II 级	III 级
顺风	0.1	0.7	0.2
侧顺风	0.2	0.6	0.2
横风	0.0	0.2	0.8
侧顶风	0.4	0.5	0.1
顶风	0.3	0.5	0.2

矩阵中的第一行为在 9 级风力条件下,救助船在采取顺风航行状态时,隶属于 I、II、III 级风险的隶属度;以下各行依次为在 9 级风力条件下,救助船分别采取侧顺风、横风、侧顶风和顶风航行状态时,隶属于 I、II、III 级风险的隶属度。从该矩阵中可以看到,在 9 级风力条件下,北海救 111 系列救助船分别采取顺风、侧顺风、顶风和侧顶风的状态航行时,对应的风险状况均基本属于 II 级风险,对救助船的安全有一定威胁,救助船应避免在此状态下航行较长时间,若在此状态下航行,要严格遵守大风浪航行的相关规定。在 9 级风力条件下,当救助船采取横风航行时,则对应的风险状况基本属于 III 级风险,即此状态对救助船安全有严重威胁,救助船要完全避免在此状态下航行。

使用专家问卷调查方式得到的救助船航行时的风险矩阵,相当于多位救助船驾驶员在遇到某种大风浪状态,并采用某种风浪弦角航行时,对船舶风险程度的主观感觉的综合体现,而本文采用的模糊评价方法能够较好地将这种态度定量地给予表达。

2.3 救助船在不同航行方案下的风险评估

在整个航行过程中,对任一种航行状态 t 来说,风的影响矩阵为

$$\mathbf{R}_t = \begin{bmatrix} r_{11t} & r_{12t} & r_{13t} \\ r_{21t} & r_{22t} & r_{23t} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1t} & r_{n2t} & r_{n3t} \end{bmatrix} = (\alpha_{1t}, \alpha_{2t}, \alpha_{3t}) \quad (5)$$

式中: n 为救助船所关注的大风条件数量; \mathbf{R}_t 中的每一行数据为救助船在所关注的大风条件下,分别隶属于 I、II、III 级风险的隶属度;列向量 α_{jt} ($j=1,2,3$) 为在对应风弦角的航行状态下,救助船在不同的大风条件下,分别隶属于 I、II、III 级风险的隶属度。

浪的影响矩阵为

$$\mathbf{S}_t = \begin{bmatrix} s_{11t} & s_{12t} & s_{13t} \\ s_{21t} & s_{22t} & s_{23t} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ s_{m1t} & s_{m2t} & s_{m3t} \end{bmatrix} = (\beta_{1t}, \beta_{2t}, \beta_{3t}) \quad (6)$$

式中: m 为救助船所关注的浪高条件数量; \mathbf{S}_t 中的

每一行的数据为救助船在所关注的浪高条件下,分别隶属于 I、II、III 级风险的隶属度;列向量 β_{jt} 为对应海浪弦角的航行状态下,救助船在不同的浪高条件下,分别隶属于 I、II、III 级风险的隶属度。

考虑到当前气象科学发展的实际水平,大风浪预报的准确率有一定误差,预报的不确定性要加以考虑。当气象部门预报某级大风、浪状态后,实际出现该等级大风、浪状态的概率分别为

$$\mathbf{A}_1 = (a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}) \quad (7)$$

$$\mathbf{A}_2 = (a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2m}) \quad (8)$$

式中: \mathbf{A}_1 、 \mathbf{A}_2 分别为实际出现该等级大风与大浪状态的概率; a_{1i} 、 a_{2p} ($i=1,2,\dots,n$; $p=1,2,\dots,m$) 分别为不同等级的大风和大浪实际出现的概率。

当得知某 1 h 内救助船航行海区的风浪预报情况后,救助船的此段航程隶属于各风险等级的隶属度即可按下列方式求出。

对于大风的影响结果,救助船的航行方案风险等级的模糊子集为

$$\mathbf{B}_1 = \left(\max_{1 \leq l \leq k} (\mathbf{A}_1 \alpha_{1t_l}), \max_{1 \leq l \leq k} (\mathbf{A}_1 \alpha_{2t_l}), \max_{1 \leq l \leq k} (\mathbf{A}_1 \alpha_{3t_l}) \right) = (x_1, x_2, x_3) \quad (9)$$

式中: $\mathbf{A}_1 \alpha_{jt_l}$ 为在此种风弦角与不同的风力等级 (t_l 状态)下,救助船分别隶属于 I、II、III 级风险的隶属度; k 为救助船在此航行方案下划分的总航行时间; x_j 为在当时的大风影响下,救助船的航行方案分别隶属于 I、II、III 级风险的隶属度。

对于大浪的影响结果,模糊子集为

$$\mathbf{B}_2 = \left(\max_{1 \leq l \leq k} (\mathbf{A}_2 \beta_{1t_l}), \max_{1 \leq l \leq k} (\mathbf{A}_2 \beta_{2t_l}), \max_{1 \leq l \leq k} (\mathbf{A}_2 \beta_{3t_l}) \right) = (y_1, y_2, y_3) \quad (10)$$

式中: $\mathbf{A}_2 \beta_{jt_l}$ 为在此种海浪弦角与不同的海浪高度下,救助船分别隶属于 I、II、III 级风险的隶属度; y_j 为在当时的海浪条件影响下,救助船的航行方案分别隶属于 I、II、III 级风险的隶属度。

综合考虑大风和大浪的共同作用,救助船的航行方案风险等级的模糊评定结果为

$$\mathbf{B} = (z_1, z_2, z_3) \quad (11)$$

$$z_j = x_j + y_j - x_j y_j$$

式中: z_j 为大风浪的共同作用下,救助船的航行方案分别隶属于 I、II、III 级风险的隶属度。

3 大风浪信息综合动态显示平台

3.1 电子海图平台

支持海面遇险目标快速接近辅助决策系统的电

子海图平台(ECDIS)主要包括可视化界面、符合国际标准的电子海图数据导入系统和气象信息加载系统,可实现电子海图的显示与控制,根据 S-52 标准对海图进行各种显示控制,还具有海图改正、对气象信息显示与控制、查询与回放以及遇险船舶与海上救助力量信息显示等功能。

通过平台的可视化界面,可集海图数据信息、船舶动态与静态信息、航海资料信息和气象信息等同一屏幕显示,以地理方式查询,在救助范围内任意打开窗口,任意比例放大或缩小显示海上信息和气象信息。在任意比例尺环境下,可对海上信息选择分层显示和叠加显示、水深点信息无级显示、物标信息点选显示及气象信息查询显示^[18]。

3.2 中尺度数值预报系统

本文系统所使用的预报系统是由天津气象局在全球海浪数值预报系统的基础上开发的精细海浪数值预报系统,包括中尺度数值预报 ADAS-WRF 模式及黄渤海浪、潮、流的 3 层嵌套耦合水动力模型。其中,ADAS-WRF 中尺度模式的分辨率为 15 km;WAVEWATCH-III 海浪模式的海底地形数据分辨率为 5 km;风场输出数据的空间分辨率为 $9\text{ km} \times 9\text{ km}$;海浪场输出数据的空间分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$;海流场输出数据的空间分辨率为 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ 。

WRF(Weather Research and Forecast)模式系统是美国气象界联合开发的新一代中尺度预报模式和同化系统,采用高度模块化、并行化和分层设计技术,集成了迄今为止在中尺度方面的研究成果。WRF 模式系统对预报各种天气都具有较好的性能,特别在精细的中小尺度天气系统的预报上具备极佳的表现,因此,该系统具有广阔的应用前景^[19]。引进开发并使用 WRF 模式系统,可以跟上数值预报的主流发展进程,为提高预报水平提供技术支撑^[20]。

ADAS 同化方案是由 Oklahoma 州立大学国家强风暴实验室(the Center for Analysis and Prediction of Storms, CAPS)开发的气象数据分析与同化系统,主要目的是为数值模式提供初始场。

目前的同化方法主要有三维变分(3D-VAR)、四维变分(4D-VAR)、集合卡尔曼滤波(EnKF)等,4D-VAR 和 EnKF 的计算太复杂,难以在基层台站应用;对于 3D-VAR 和统计(或最优)内插方案(OI 方案)而言,两者在业务试验中能达到类似的效果,而 OI 的处理速度较 3D-VAR 更快些^[21]。

ADAS 同化方案是一种连续迭代的方法,因为

不需要巨大的计算矩阵,迭代方法能够大大节省计算时间。在每一次迭代结束后都可进行稳定性等平衡调整,同时在数次迭代之后可引入新的更多的观测数据进行再次迭代^[22]。ADAS 同化系统见图 2。

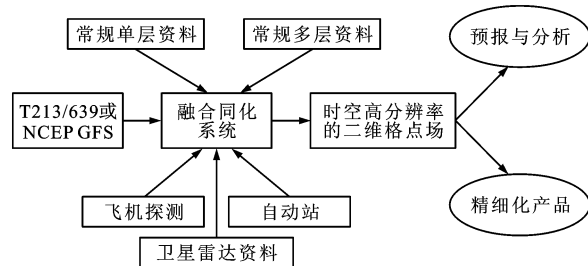


图 2 ADAS 同化系统

Fig. 2 ADAS assimilation system

3.3 水文气象数据的解析和加载

本文系统所使用的水文气象信息数据来自天津海洋中心气象台,主要包括风、浪和海流的预报资料,预报时效均为 72 h,时间分辨率均为 1 h,预报数据每天更新 2 次,分别在世界时 0600UTC 和 1800UTC 进行,资料范围为 33.5°N 以北、 125°E 以西。

气象数据包括 MM5 模式风压场数据、MM5 模式风浪数据、潮流数据以及插值得到的 WAVEWATCH 网格模型数据,主要以数据文件的形式进行组织和存储。其中,MM5 风压场数据采取文本文件的形式进行存储,具体来说,存储大模型风压场的气压、风速分量的文件;存储小模型风压场的气压、风速分量的文件;大模型风场的格点为 210×150 ,小模型风场的格点为 141×141 。潮流大模型和小模型格点坐标以文本文件形式分别存储于 2 个文件中,大模型网格的格点为 78×61 ,小模型的格点为 121×161 。

内存映射文件技术是 Windows 操作系统为文件数据存取提供的一种存取机制,利用这种技术,系统可以在 2 GB 地址空间中为文件保留一部分空间,将文件映射到这块保留空间。当文件被映射之后,操作系统将接管页映射、缓冲与高速缓冲等任务,而不需要调用分配、释放内存块和文件输入/输出函数,也不需要提供任何缓冲算法。在 Windows 操作系统中,对于大数据量文件的读取,内存映射文件技术可以“分配”出一块足够大的内存空间。

本文系统在电子海图平台上实现了通过调用内存映射文件类的方法,完成海量气象数据文件的快速打开、关闭以及数据的快速加载。

4 救助航线选优过程的实现

4.1 遇险目标和救助船信息的显示

在本文系统中,8艘救助船主要包括3个系列,各救助船分布位置见图3。

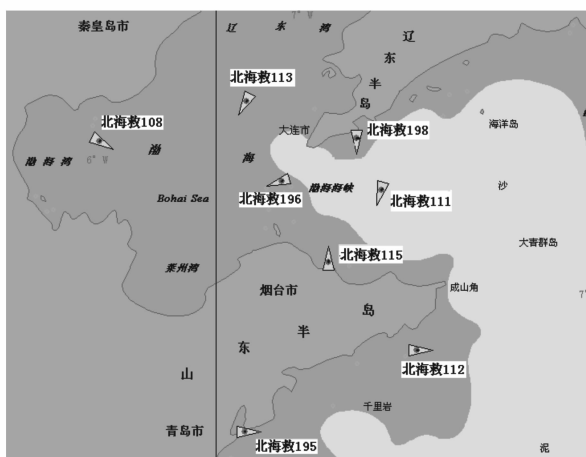


图3 救助船分布

Fig. 3 Distrabution of rescue ships

遇险目标的位置可在接到遇险报告后使用人工标绘功能标出。在实际使用本文系统时,可由救助决策指挥人员根据当时的具体情况与以往经验,人工初步选取拟前往遇险目标实施救助的救助船与计划航线,系统可根据通过事先调研得到的各救助船在不同等级大风浪条件下的失速和风险等级隶属度等数据^[23],计算得到各可动用的救助船在沿各自的计划航线前往遇险目标的航线上,每1h的预测船位与这1h内救助船隶属于不同风险等级的隶属度^[24]。

4.2 航线评估操作流程

在使用本文系统时,首先对最新的风、浪、流信息进行加载,手动标出遇险目标;然后由救助指挥人员根据遇险目标附近的待命救助船抗风浪能力和位置情况,初步选定可用的救助船,并根据风浪要素在电子海图上人工标绘出初步选取的可用救助船和相应的计划航线;系统将自动对不同救助船沿不同的计划航线前往遇险船位的航行方案给予风险评估,将救助船在计划航线上不同航段中风险度的最大值作为此航线的风险度,将各航线的风险度和预设阈值进行比较,舍去风险度较高的航线;对于满足安全要求的航行方案,则再考虑在大风浪中的失速情况后计算航行时间;最后根据航时最短为最优的原则,显示满足安全等级且航时最短的救助船的航行方案作为最优方案决

策结果。

对于所选出的最优方案和被排除的不满足安全等级的航行方案,均可选择性地模拟动态演示。航线风险评估与优选流程见图4。

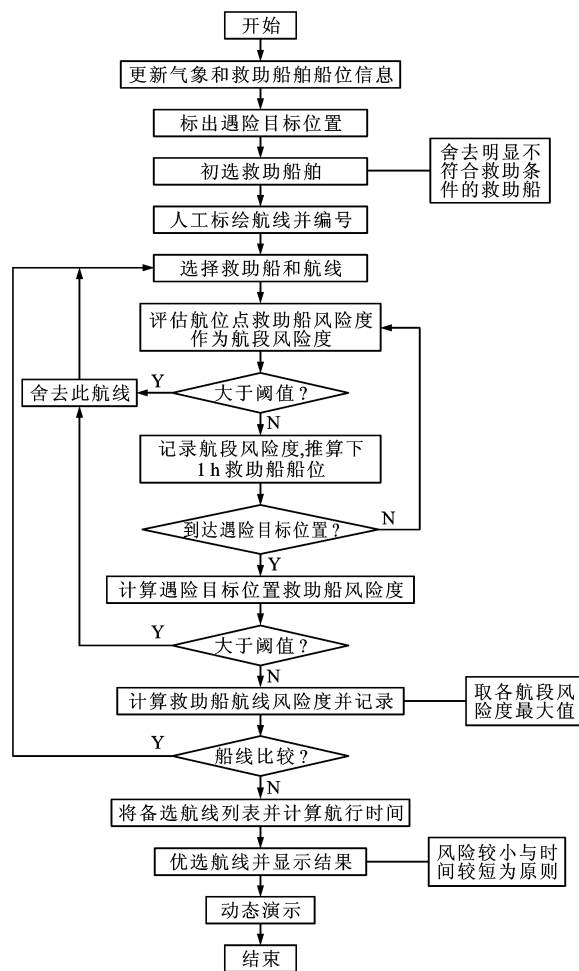


图4 航线评估流程

Fig. 4 Route evaluation flow

5 救助决策过程分析

5.1 救助过程背景实况

本文模拟2009年4月15日北京时间00:00:00(14日1600UTC)某遇险目标在渤海遇险时,北海救助局选取前往实施救助的救助船的决策过程。

2009年4月14日夜间,渤海和黄海海区受强冷空气影响,出现大范围的大风天气,大部分海区风力达8级,部分海区风力达10级以上。

遇险目标位置为 $38^{\circ}18'N$ 、 $119^{\circ}42'E$,北海救助局可动用救助船的待命位置见图5。

5.2 救助船决策过程

在本实例中,共选用了6艘救助船和8条可能的航线,见图6。

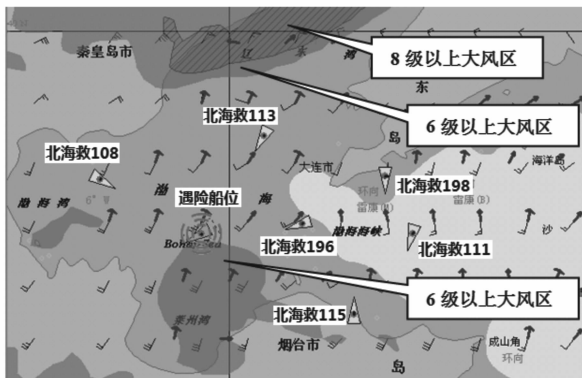


图 5 遇险目标和救助船

Fig. 5 Distress target and rescue ships

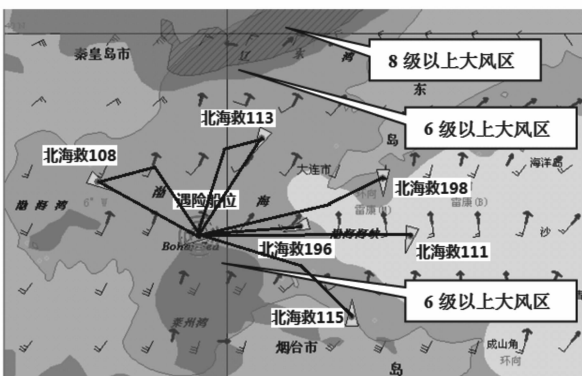


图 6 救助船和救助航线

Fig. 6 Rescue ships and rescue routes

经系统对各可能救助船与救助航线进行风险

评估后,给出的风险评价结果为

$$\begin{aligned} B_{115-1} &= (0.8, 0.2, 0) \\ B_{111-1} &= (0.5, 0.4, 0.1) \\ B_{198-1} &= (0, 0, 0.1) \\ B_{196-1} &= (0, 0, 0.1) \\ B_{113-2} &= (1, 0, 0) \\ B_{113-1} &= (1, 0, 0) \\ B_{108-2} &= (0.1, 0.4, 0.5) \\ B_{108-1} &= (0.3, 0.5, 0.2) \end{aligned}$$

式中: B_{115-1} 为北海救助船沿 1 号航线前往遇险目标的风险评价向量,其余类似。

系统最后给出的风险评价结果、预计航行时间和航行距离见表 5,从中可见,距离遇险船位最近的北海救 196 和位于大连的北海救 198 两船航线风险等级过高,Ⅲ级风险的隶属度均为 1.0,这是因为北海救 196、198 在沿航线航行时,会遭遇到 8 级以上大风,而 2 艘救助船的抗风能力较弱,不足以保证航行安全,故认为不可航行,不能参与此次救助行动。

其他救助船与救助航线的风险等级和航行时间各不相同。北海救 108 沿其 2 号航线前往遇险目标会遭遇 8 级横风,Ⅲ级风险的隶属度为 0.5,处于临界状态,有一定危险,且因为在较大风浪中航行产生明显的失速,航行时间过长,当改驶 1 号航线虽然操纵上安全性高些,Ⅱ级风险的隶属度也为 0.5,但航行时间仍较长。

表 5 评价结果

Tab. 5 Evaluation result

救助船	航线编号	I 级风险隶属度	II 级风险隶属度	III 级风险隶属度	航行时间/h	航程/n mile
北海救 115	115-1	0.8	0.2	0.0	4.8	80.2
北海救 111	111-1	0.5	0.4	0.1	6.1	93.1
北海救 198	198-1	0.0	0.0	1.0		
北海救 196	196-1	0.0	0.0	1.0		
北海救 113	113-2	1.0	0.0	0.0	3.0	51.8
	113-1	1.0	0.0	0.0	2.5	43.9
北海救 108	108-2	0.1	0.4	0.5	7.7	58.8
	108-1	0.3	0.5	0.2	6.0	51.9

其他救助船的航线 113-1、113-2、111-1、115-1 则被评估为可行航线,其中北海救 113 的 1 号航线 113-1 因为距离遇险位置相对较近,并且沿航线顺风行驶,安全性较佳,时间最短,可视为最佳航线。此结果与北海救助局多位救助船驾驶员和救助指挥员讨论的结果基本一致。

5.3 航行过程动态演示

利用系统的航线仿真功能,可对所关注的救助

船与航行方案进行航行动态演示,同步观察救助船在沿预设航线行驶过程中每 1 h 的船位与周边海域的风力和浪高情况。

在 00:00:00、01:00:00、02:00:00 三个时刻,最优航行方案北海救 113-1 号航线的动态演示分别见图 7~9,从中可明确看出北海救 113 在 00:00:00、01:00:00、02:00:00 的实时船位以及同步时刻的风力和浪高情况。

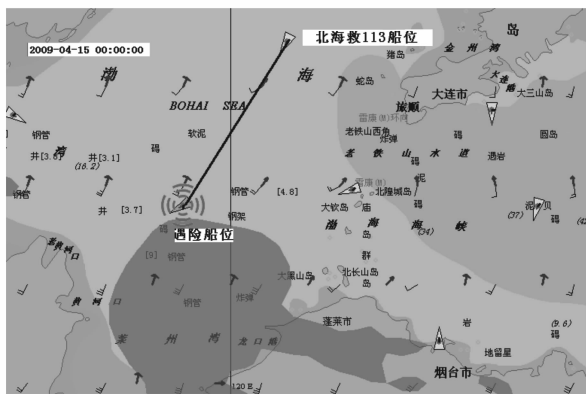


图7 航线 113-1 动态演示(00:00:00)

Fig. 7 Dynamic demonstration of route 113-1 at 00:00:00

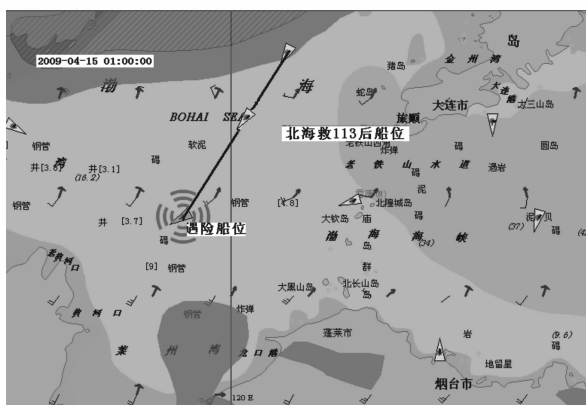


图8 航线 113-1 动态演示(01:00:00)

Fig. 8 Dynamic demonstration of route 113-1 at 01:00:00

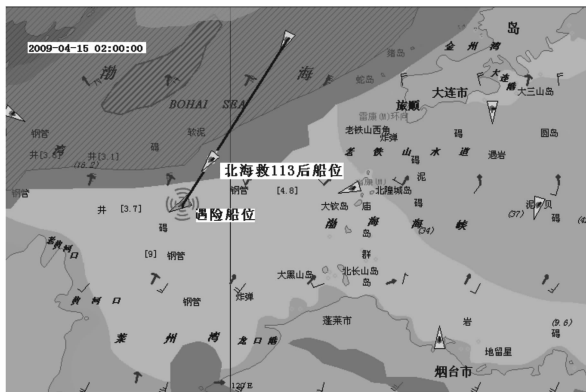


图9 航线 113-1 动态演示(02:00:00)

Fig. 9 Dynamic demonstration of route 113-1 at 02:00:00

6 结 语

(1)使用专家问卷调查取得救助船在不同的大风浪条件下航行时的风险评估矩阵,应用模糊数学中的模糊评价方法来评估救助船在大风浪状态下的风险程度,可以代表大多数救助船驾驶员对当时船舶的风险状况的总体评价结果。

(2)本文系统选出的大风浪条件下前往海上遇

险目标的最优航线和最适合实施救助的船型,与多位救助船长集体讨论的结果基本一致,但从本文系统中可得到更利于现场指挥的可视化直观效果和定量分析结果。

(3)使用风险分析理论,实现大风浪要素的动态综合显示,对救助船舶和航线风险度实施预评估,救助船舶航线的动态演示和优选等功能,可为救助决策部门优选救助船舶和航线提供辅助参考。符合交通运输部要求的实施精细化、量化、具体化的科学决策的原则,是有效利用信息技术提高救助部门的管理和操作水平的工具,是提高救助部门快速高效地处置海上突发事件的能力、完善突发事件应急管理机制的有效决策辅助支持手段。

(4)本文系统可望改变中国应急救助指挥依靠人工分析、判断和制定救助决策的工作模式,提高中国快速科学地制定海上应急救助方案的能力,满足对突发事件快速、科学地制定应急救助决策的时效性的特殊要求,提高国家海上应急搜救指挥计算机辅助决策的能力,进而提高国家海上应急搜救的效率和成功率。

参考文献:

References:

- [1] 吴金龙,刘大刚,范中洲,等.大风浪条件下渤海海区重点船舶风险评价模型[J].中国航海,2012,35(2):89-92.
WU Jin-long, LIU Da-gang, FAN Zhong-zhou, et al. The risk evaluation model of major vessels in Bohai Area in the condition of rough[J]. Navigation of China, 2012, 35(2): 89-92. (in Chinese)
- [2] 刘渐道,张英俊,朱博麟,等.基于网络电子海图的海洋气象信息服务系统[J].中国航海,2011,34(1):79-82.
LIU Jian-dao, ZHANG Ying-jun, ZHU Bo-lin, et al. Marine meteorological information service system based on web electronic chart[J]. Navigation of China, 2011, 34(1): 79-82. (in Chinese)
- [3] 赫永霞.海上搜救决策支持系统的研究与开发[D].大连:大连海事大学,2008.
HE Yong-xia. Research and design on the SAR DSS[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2008. (in Chinese)
- [4] 罗永宏.海上搜救智能辅助决策系统探究[J].中国航海,2004,27(3):21-24,57.
LUO Yong-hong. Study of intelligentized aided decision system for salvage rescue at sea[J]. Navigation of China, 2004, 27(3): 21-24, 57. (in Chinese)
- [5] 马文耀,毕修颖,杜健.基于电子海图的海上搜寻与救助决策系统软件的实现[J].航海工程,2009,38(1):62-64.
MA Wen-yao, BI Xiu-ying, DU Jian. Implementation of decision system for sea search and rescue based on electronic

- chart display system[J]. Ship and Ocean Engineering, 2009, 38(1): 62-64. (in Chinese)
- [6] 于 敏, 高煜中, 程明虎. 数字化天气预报与灾害天气预警自动合成系统——在黑龙江省的应用[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(4): 132-136.
- YU Min, GAO Yu-zhong, CHENG Ming-hu. An automatic synthesis system of digital weather forecast and disaster weather early warning: application in Heilongjiang Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(4): 132-136. (in Chinese)
- [7] 陈达森, 严金辉, 毕修颖. 湛江毗邻海域流场模型在海上搜救中的应用[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(1): 16-21.
- CHEN Da-sen, YAN Jin-hui, BI Xiu-ying. A flow field model and its application in search and rescue operations in adjoining sea area of Zhanjiang[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2008, 27(1): 16-21. (in Chinese)
- [8] XIAO Qing-nong, KUO Y H, MA Z, et al. Development of the WRF adjoint modeling system and its application to the investigation of the may 2004 McMurdo Antarctica severe wind event[J]. Monthly Weather Review, 2008, 136(6): 3696-3713.
- [9] CHEN Min, HUANG Xiang-yu. Digital filter initialization for MM5[J]. Monthly Weather Review, 2006, 134(4): 1222-1236.
- [10] 王 捷. 沿海港口交通安全和信息管理系统研究[J]. 中国航海, 2007, 30(3): 41-44.
- WANG Jie. Research on traffic safety and information management system for coastal ports[J]. Navigation of China, 2007, 30(3): 41-44. (in Chinese)
- [11] 祝贵兵. 基于 ECDIS 平台的气象信息处理技术研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2008.
- ZHU Gui-bing. Research on the weather information processing technology based on ECDIS[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2008. (in Chinese)
- [12] 吴中鼎. 海上搜救辅助系统研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2003.
- WU Zhong-ding. Structure and functions of the salvage assistant system[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2003. (in Chinese)
- [13] 谭朝阳. 海上搜救管理及其能力评价——广州救捞局搜救问题研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2003.
- TAN Chao-yang. On assessment and management of search and rescue at sea—the research on SAR of Guangzhou Salvage[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2003. (in Chinese)
- [14] SUN Cheng-zhi, LIU Da-gang, LI Yuan-hui, et al. Dynamic indication system of meteorological and hydrological information for naval ship[C]//PENG Qi-yuan, WANG K C P. Proceeding of the Second International Conference of Transportation Engineering (ICTE'2009). Reston: American Society of Civil Engineers, 2009: 4360-4365.
- [15] 金 波, 陶夏新. 分布式防震减灾信息和辅助决策系统[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(5): 86-88.
- JIN Bo, TAO Xia-xin. Distributed information and a decision-making support system for earthquake disaster reduction[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2004, 36(5): 86-88. (in Chinese)
- [16] 黄崇福. 综合风险评估的一个基本模式[J]. 应用基础与工程科学学报, 2008, 16(3): 371-381.
- HUANG Chong-fu. A basic model for assessing integrated risk[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2008, 16(3): 371-381. (in Chinese)
- [17] 李 康. 救助船在大风浪中的安全性评价及选用的研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2011.
- Li Kang. Research on risk evaluation and optimal route selection of rescue ship on heavy seas[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2011. (in Chinese)
- [18] 郭裕芳, 马闯关, 刘翔飞, 等. 灾害性天气规避及航行方案选优系统[J]. 大连海事大学学报, 2009, 35(4): 21-24.
- GUO Yu-fang, MA Chuang-guan, LIU Xiang-fei, et al. Disaster weather avoiding and optimal sailing route selecting system[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2009, 35(4): 21-24. (in Chinese)
- [19] HUANG Xiang-yu, XIAO Qing-nong, BARKER D M, et al. Four-dimensional variational data assimilation for WRF: formulation and preliminary results [J]. Monthly Weather Review, 2009, 137(1): 299-314.
- [20] WANG Hong-li, MU Mu, HUANG Xiang-yu. Application of conditional nonlinear optimal perturbation to tropical cyclone adaptive observation using the weather research forecasting (WRF) model[J]. Tellus A, 2011, 63(5): 939-957.
- [21] ZHANG Meng, ZHANG Fu-qing, HUANG Xiang-yu, et al. Intercomparison of an ensemble Kalman filter with three-and four-dimensional variational data assimilation methods in a limited-area model over the month of June 2003[J]. Monthly Weather Review, 2011, 139(3): 566-572.
- [22] 陈 敏, HUANG Xiang-yu, WANG Wei. 数学滤波初始化 (DFI) 在高水平分辨率模式中的应用[J]. 气象学报, 2012, 70(1): 109-118.
- CHEN Min, HUANG Xiang-yu, WANG Wei. Difficulties in the implementation of the digital filter initialization in a high resolution numerical weather forecast model[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2012, 70(1): 109-118. (in Chinese)
- [23] 刘大刚, 李国平, 吴兆麟. 气象-经济决策理论在大风浪中船舶航线的选优应用[J]. 中国航海, 2004, 27(4): 1-4.
- LIU Da-gang, LI Guo-ping, WU Zhao-lin. Application of meteorological-economic decision making theory in route choosing for navigating ships at heavy sea[D]. Navigation of China, 2004, 27(4): 1-4. (in Chinese)
- [24] 刘翔飞. 船舶-大风浪区动态标绘及安全评价系统的研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2009.
- LIU Xiang-fei. Research on ship-heavy sea area dynamic display and safety evaluation system[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2009. (in Chinese)