

基于动态海洋环境要素的航行风险评估方法研究

杜沛¹, 曾喆¹, 任利锋², 李政海³, 杨建昌⁴

(1. 中国石油大学(华东)海洋与空间信息学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司海洋物探分公司, 天津 300457; 3. 青岛中远海运通导科技有限公司, 山东 青岛 266001; 4. 海洋石油工程股份有限公司, 天津 300461)

摘要: 海洋气象环境复杂多变, 船舶航行风险随时间演变具有较高的不确定性。本文从时空分析的角度出发, 动态评估船舶的航行风险: 选择风场、海流、海浪、海温等 4 种动态因素和海雾发生频率、海底地形等 2 种静态因素作为评估因子, 使用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)计算各评估因子的权重, 在此基础上, 利用有序加权方法(ordered weighted averaging, OWA)优化上述权重, 最后结合地理信息系统(geographic information system, GIS)技术生成航行风险评估的动态风险图。研究表明, AHP-OWA 算子能够突出数值变化较大的评估因子对于风险的影响, 具有较好的稳定性, 动态风险评估结果能够直观展示航行风险演化过程。

关键词: 海洋动态环境; 航行风险评估; AHP; 有序加权方法; 海雾

中图分类号: P732.1; P285.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2021)05-0121-09

DOI: 10.11759/hyxx20201108005

海上航行安全对于海上油气运输、海上冷链运输等海运行业来说十分重要。但是受到船舶自身因素(船龄、货物等)、航线因素(交通流、助航情况等)、海上环境要素(风速、浪高等)以及人为因素等的影响, 船舶在海上的航行安全具有极大的不确定性。定量评估航行风险, 对于船员做出正确的航行决策具有重要意义。目前, 评估航行风险主要从致险因子和评估方法两个角度出发, 针对不同的情景采用不同的评价方式。评估方法通常采用故障树分析^[1]、模糊推理^[2]、贝叶斯网络^[3-5]、层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)^[6]等方法, 但是总体存在一定的主观不确定性, 缺乏地理空间的普适性和评估风险的动态性。而在评估因子选取上, 针对不同区域的环境, 有不同的特点, 例如: 对于极地特殊的通航环境, 选取海冰密集度、气温、风速和能见度这四个因素为评估因子^[7]; 针对中国南海区域的航道, 除了选择各种海洋环境要素外, 也考虑了航道空间因素(航道离岸距离)和其他因素(海盗武装抢劫率等)^[8]。同时, 船舶自身信息(船龄、材质结构等)和港口信息(港口助航能力、交通流等)也会作为评估因子。在众多评估因子中, 海雾也是一个影响航行安全的重要要素^[9], 但是由于数据获取较难, 且没有较好的处理方式, 很多航行风险评估会避开对海雾这一重要风险要素进

行探讨。近年来, 卫星遥感影像已经成为海雾监测不可或缺的重要技术手段, 基于中分辨率成像光谱仪(MODIS)卫星数据反演日间海雾探测模型准确率能够达到 80%^[10-11], 以卫星遥感影像为数据源的海雾监测技术, 让获得大量海雾发生数据成为可能。同时在空间域统计海雾发生频率, 也会成为描述区域气象特征的重要依据^[12], 在地理信息系统(geographic information system, GIS)多决策技术中, 也已经将海雾空间域发生频率作为一项重要评估因子纳入评估体系中^[13]。因此, 从历史数据中统计海雾发生频率, 可以用来表征区域一段时间内的地理特征, 将其作为航行风险的潜在影响因素纳入评估指标中, 会获得更加合理的评估结果。

同时上述航行风险的评估结果总体呈现为静态统计结果。但是由于海上多变的气象和各类环境因素, 航行风险也存在着时间和空间上的变化。静态的风险统计结果, 在预警和实际应用中缺乏实时性和连续性。如今, GIS 技术已经在风险评估、灾情跟踪、

收稿日期: 2020-11-08; 修回日期: 2020-12-07

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1405600)

[Foundation: National Key R & D Plan, No. 2017YFC1405600]

作者简介: 杜沛(1998—), 男, 甘肃平凉人, 硕士, 主要从事航行风险评估研究, E-mail: dupei2020@126.com; 曾喆(1979—), 男, 通信作者, 硕士生导师, 主要从事 GIS 与遥感方向研究, E-mail: zengjia@outlook.com

响应及部署等方面发挥重要的作用^[14]。在航行风险领域,也会通过 GIS 技术达到风险可视目的^[8]。通过 GIS 技术和具有时空属性的海洋环境要素评估海上航行风险,风险评估结果也应该具有时序更新能力和动态变化能力。这也要求可靠的预报数据源、稳定的数据更新以及成熟的 GIS 技术。

综上所述,本文主要针对试验区域的特点,选择合适的航行风险的评估因子;从试验区域 3 年(2016—

2018)的海雾数据中,统计空间域海雾发生频率;通过 AHP-序加权平均算子方法确定每个风险因子的权重,结合 GIS 技术,进行航行风险评价,并对特定航线进行分析。

1 航行风险评估方法

本文主要从数据、海雾频率统计和动态航行风险评估三个方面进行描述,评估流程如图 1 所示。

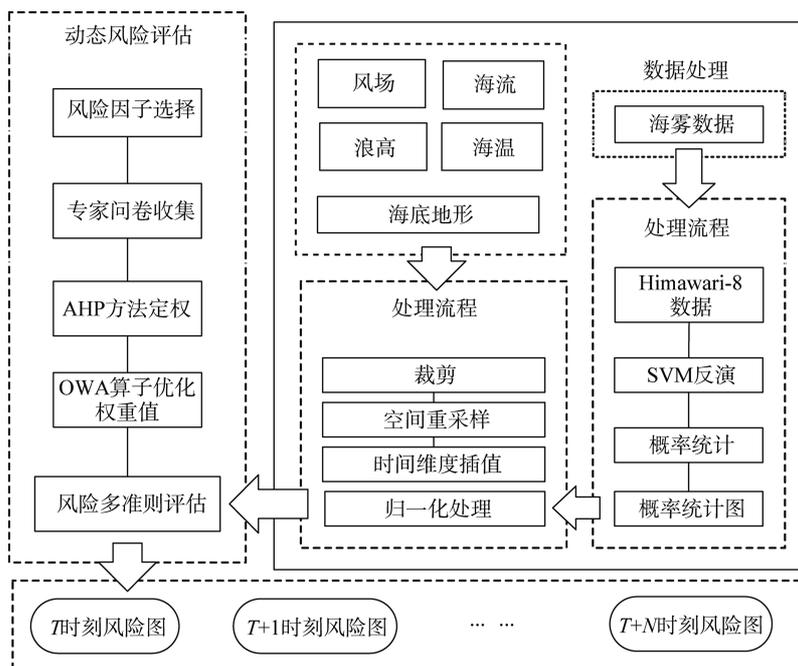


图 1 动态航行风险评估流程图

Fig. 1 Flow chart of dynamic navigation risk assessment

1.1 数据

本文使用的动态海洋环境要素数据主要包括: 风场、海浪、洋流、海温, 静态数据为海底地形和海雾空间域频率数据, 具体数据组织形式和数据源如表 1 所示。

表 1 数据信息表

Tab. 1 Data information

数据名称	格式	数据范围	来源
风场数据	Grib2->NetCDF	全球	NOAA
洋流数据	NetCDF	全球	NOAA
海浪数据	Grib2->NetCDF	全球	NOAA
温度数据	NetCDF	全球	NOAA
海底地形	NetCDF	全球	BODC
海雾数据	TIFF	局部	Himawari-8

注: NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)指美国国家海洋和大气管理局; BODC(British Oceanographic Data Centre)指英国海洋学数据中心; Himawari-8 指日本 2014 年发射的“葵花-8”号卫星

为了方便管理和使用,可以使用文件型数据库(MongoDB)对各类环境要素数据进行动态更新和维护。结合表 1 对本文所用到的数据进行进一步说明:

1) 风场数据

本文所使用的风场数据来自美国国家海洋和大气管理局(NOAA), 每日北京时间 12: 00 更新未来 99 h 风速数据, 用于动态风险评估。数据的空间分辨率为 0.5°, 时间分辨率为 3 h。数据源网址为: <ftp://ftpprd.ncep.noaa.gov/pub/data>。

2) 洋流数据

本文所使用的洋流数据来自美国国家海洋和大气管理局(NOAA), 每日北京时间 6: 00 更新未来 72 h 数据, 数据的空间分辨率为 0.08°, 时间分辨率为 1 h。数据源网址为: <https://www.ncei.noaa.gov/threddscoastal/catalog/hycom>。

3) 海浪数据

本文所使用的海浪数据来自美国国家海洋和大气管理局(NOAA), 每日北京时间 12: 00 更新未来 99 h 的数据, 数据的空间分辨率为 0.5°, 时间分辨率为 1 h。数据源网址为: ftp://ftp.ncep.noaa.gov/pub/data。

4) 温度数据

本文所使用的温度数据来自美国国家海洋和大气管理局(NOAA), 每日北京时间 6: 00 更新未来 72 h 温度数据, 数据的空间分辨率为 0.08°, 时间分辨率为 3 h。数据源网址为: https://www.ncei.noaa.gov/threddscoastal/catalog/hycom。

5) 水深数据

本文所使用的水深数据来自英国海洋学数据中心(BODC)。数据格式为 NetCDF, 数据的空间分辨率为 0.01°, 数据源网址为: http://www.bodc.ac.uk/data/online_delivery/gebco。

6) 海雾数据

采用 SVM 方法, 从葵花 8(Himawari-8) 卫星数据中反演出 2016—2018 三年的海雾数据, 处理为各月海雾发生频率统计图。

各类数据统一处理成 0.125° 分辨率的栅格, 除了两种静态数据外, 动态数据也需在时间维度插值, 统一时空分辨率。

1.2 海雾发生频率统计

分析区域性海雾发生, 空间域频率统计十分有效, 一段时间内海域存在较高的海雾发生频率, 说明海域存在一定潜在的航行风险, 将这种潜在风险通过评估方法纳入到航行风险的计算结果中, 会使评估结果更加完整。由于海雾的生成、发展及消散的过程与周围环境密切相关^[9], 为了使统计结果具有较为统一的特征, 时间尺度上按月划分; 空间尺度上, 将海域划分为 0.125° 的栅格。每个栅格的统计值根据公式(1)获得:

$$\alpha_{(i,j)} = \frac{\sum Z_{(i,j)}}{30 \times 3}, \quad (1)$$

其中, $\alpha_{(i,j)}$ 为栅格 (i,j) 一个月的海雾发生频率, $\sum Z_{(i,j)}$ 为一个月内, 栅格 (i,j) 发生海雾的次数。对 3 年的数据进行统计, 就会得到 1—12 月份每个月海雾发生的空间域频率统计结果。

1.3 评估准则

评估准则用于界定评估的整体体系, 制定合适

的航行风险评估准则, 对于合理的风险结果十分重要。综合考虑数据支持程度和风险评估的合理性。定义航行风险(A_1)最终评估目标, 包括 3 个一级准则: 海洋动力环境(B_1)、海上气象环境(B_2)、区域特征环境(B_3), 其中海洋动力环境是指海域海面状况, 包括浪高(C_1)和洋流速度(C_2); 海上气象环境指区域海况天气状况, 包括风速(C_3)和海温(C_4); 区域特征环境是指能够表征区域环境特征的要素, 包括海底地形(C_5)和海雾发生频率(C_6), 故二级准则共包括 6 个。

1.4 风险权重确定

AHP 方法作为一种决策方法, 其定权方式能与 GIS 制图技术有效结合起来, 在 GIS 空间多决策技术中有广泛使用^[15]。为了获取各个评估指标相对于航行风险决策的权重, 本文采用调查问卷的方式获取数据, 对 23 位具有丰富海上航行经验的专家进行问卷提问, 根据 AHP 打分规则, 提出类似“你认为海洋环境要素 A 和要素 B 对于海上航行安全哪个更为重要?”的问题, 获得专家打分, 之后对数据进行统一均值处理开始 AHP 定权, AHP 定权的具体步骤如下:

- 1) 采用一致矩阵法构建判断矩阵。
- 2) 计算矩阵特征值, 取最大特征值所对应的特征向量, 对其进行归一化处理。
- 3) 对归一化的特征向量进行一致性检验, 计算一致性比率。
- 4) 当一致性比率小于 0.1 时, 认为结果具有可靠的一致性, 通过一致性检验, 将归一化后的特征向量作为权向量; 否则重新构建判断矩阵重复第 1~4 步。

通过以上步骤, 得到每个风险评估因子的权重, 具体权重结果如表 2 所示。

表 2 评估因子权重表
Tab. 2 Weight of assessment factors

目标层 A	一级准则层 B	二级准则层 C	权重
航行风险 (A_1)	海洋动力环境 (B_1)	浪高(C_1)	0.170 7
		流速(C_2)	0.116 3
	海上气象环境 (B_2)	风力(C_3)	0.199 6
		海温(C_4)	0.096 1
	区域特征环境 (B_3)	海底地形(C_5)	0.233 4
		海雾发生频率(C_6)	0.183 9

1.5 权重优化

有序加权方法^[16](OWA), 是将数据按照数值大小进行重新排序, 通过数据在排序中的位置进行加权聚合。基于问卷调查数据得到的 AHP 权重, 在一定程度上包含着人为主观因素, 而有序加权平均算子, 能够优化各个评估因子的权重, 突出对风险影响较大的评估因子。为了更加科学、合理地获取权重, 引入有序加权平均算子进一步对权重进行优化, 突出排名靠前的评估因子的重要性。

有序加权方法的核心是对给定的数据重新排序定权, 其中所涉及到的排序定权方法有很多种, 考虑到海洋环境要素之间可能存在的相关性, 本文选择均值相似度的权重算子^[17]。具体来说: 对于一个有序加权平均算子:

定义 b_j 是数据 (a_1, a_2, \dots, a_n) 从大到小排列的第 j 大的值, 则均值相似度的计算方法为公式(2):

$$s(b_j, \mu) = 1 - \frac{|b_j - \mu|}{\sum_{j=1}^n |b_j - \mu|}, \quad (2)$$

其中, b_j 为排列后第 j 大的元素, n 为数据个数, μ 为数据均值, $\mu = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{n}$ 。

因此, 有序加权方法(OWA)权重计算公式为公式(3):

$$w_i = \frac{s(b_j, \mu)}{\sum_{j=1}^n s(b_j, \mu)}. \quad (3)$$

根据上述公式可对经过归一化后的海洋环境要素在每个栅格像素值上重新排序, 在 AHP 方法中得到较低打分的评估因子, 在排名靠前时, 也有机会体现其重要性, 最终风险值用公式(4)来计算。

$$\text{Risk}_{(i,j)} = \sum_{k=1}^n \left(\frac{w_k v_k}{\sum_{k=1}^n w_k v_k} \right) w_{(i,j)}^k, \quad (4)$$

其中, $\text{Risk}_{(i,j)}$ 为栅格单元 (i, j) 处的综合航行风险, n 为评估因子的总个数, $w_{(i,j)}^k$ 为第 k 个评估因子在栅格单元 (i, j) 处的归一化值, v_k 为 AHP 方法获得的权重, w_k 为有序加权平均算子计算得到的优化权重。

得到的风险值划分为五个层次: $[0, 0.2]$ 安全、 $[0.2, 0.4]$ 较安全、 $[0.4, 0.6]$ 不太安全、 $[0.6, 0.8]$ 危险、 $[0.8, 1]$ 很危险。

通过上述方法, 计算每个栅格像素的风险值,

利用 GIS 技术制作航行风险图, 在选定的时刻 t , 提取各类动态要素 t 时刻和 t 时刻后的预报数据, 根据需要对数据进行插值, 统一空间分辨率和时间分辨率, 依照时间顺序连续计算航行风险, 实现航行风险的动态展示。

2 实例分析

2.1 实验区域简介

本文选择部分黄海区域作为实验区, 具体如图 2, 该区域北部通过渤海海峡和渤海相连, 南与北海相连, 东临朝鲜半岛, 是我国重要的海上通道。该海域水产丰富, 对于气候变化和环境污染较为敏感, 若出现类似海冰等自然灾害导致航行事故, 会造成重大的经济损失^[18]。同时区域海雾出现频率较高, 海雾年出现频率在 23%^[12], 局部区域连续雾天能达到 83 d^[19], 具有季节特点。

对于航线, 本文选取成山角水域-连云港的中华人民共和国海事局官方推荐航线(图 2 中黑色航道), 该航线整体水深在 16 m 以上, 专家提示要规避大风、大浪以海雾影响^[20]。

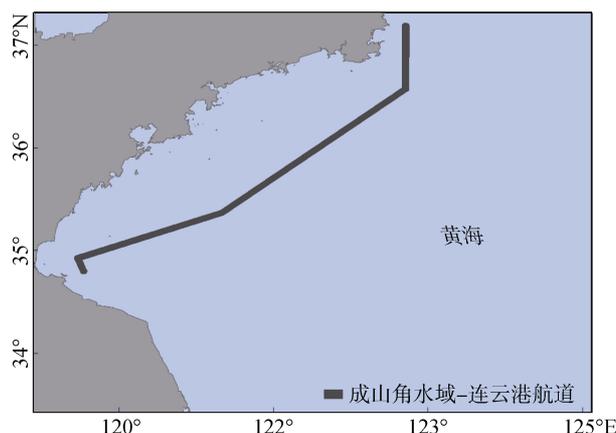


图 2 实验区域示意图
Fig. 2 Schematic of experimental area

2.2 海雾空间域频率统计

黄海作为海雾高区域, 海雾出现频率在季节上和空间分布上的差异较为明显, 选取每日上午 9 时的 Himawari-8 卫星数据进行海雾反演, 统计 2016—2018 年共 1 104 天的反演结果, 得到海雾空间域发生频率, 选取部分统计结果, 如图 3, 黄海海雾最高发生季节出现在夏季(6 月、7 月), 逐渐转向秋季时, 海雾发生频率开始减小到 0.16(8 月到 10 月), 与黄淮海

雾发生频率之前的统计结果一致^[19]。从空间海雾发生频率看到海雾发生规律，沿岸区域在相同季节发

生海雾的频率总体要大于其他区域，对近岸航行来说存在潜在风险。

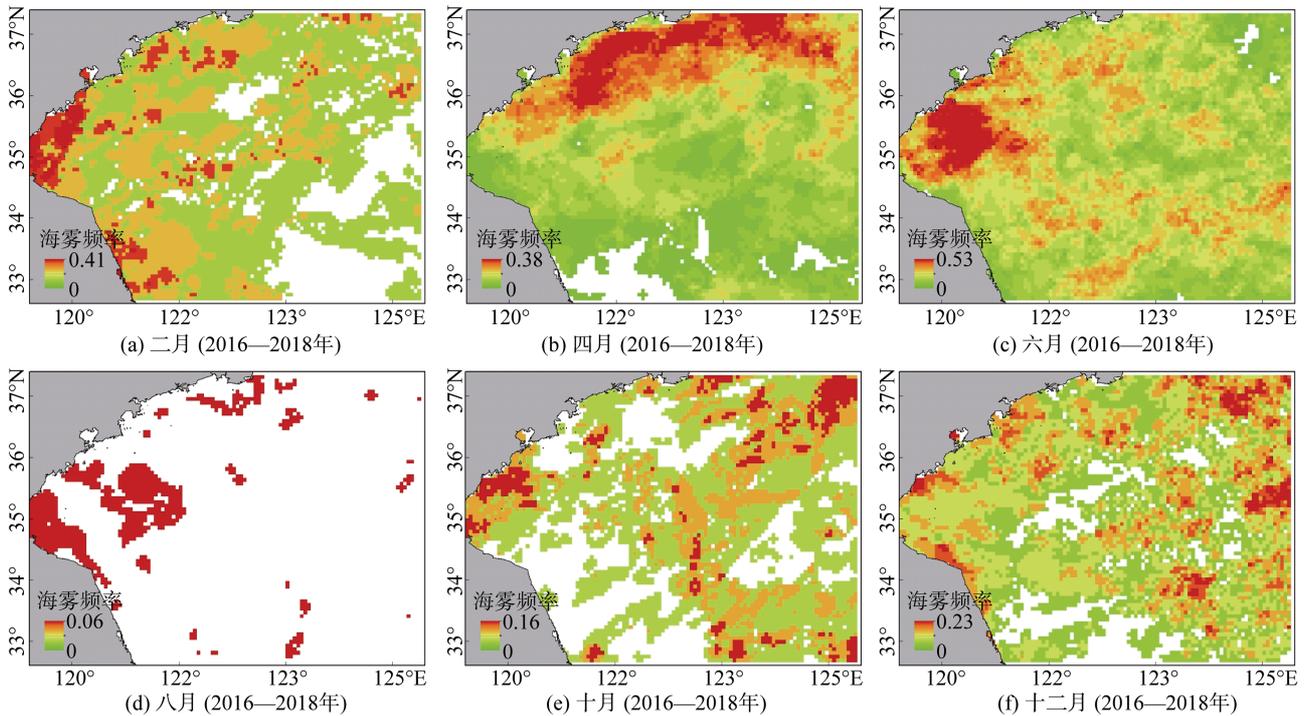


图3 海雾发生频率统计图
Fig. 3 Statistics of sea fog occurrence frequency

2.3 动态风险评估

本文选择黄海雾季 2020 年 7 月 30 日和非雾季 2020 年 10 月 12 日 00:00 到 09:00 间隔 3 h 的两组数据进行对比实验。实验所选择的两天数据海洋环境条件接近。海域整体风险评估结果如图 4: 黄海区域西侧航行风险相对高于东侧，雾季 7 月 30 日的风险评估结果整体高于非雾季 10 月 12 日的结果，单独观察一日内的实验结果，风险值整体变化不大，局部可以看到风险演化过程(7 月 30 日北部靠岸区域风险值随时间逐渐增大)，评估结果体现了动态性和连续性。

风险值相对较高区域聚集于黄海西部沿海，由于水深缘故，有序加权平均算子在此区域将地形因子的重要性通过排序选出，给予较高的权重，风险值相对较高且变化稳定。在远离海岸区域的风险受到各种评估因子的变化，呈现出一种整体变化较小，局部细节动态改变的特点；其次 7 月处于雾季，较高的海雾发生频率让评估的风险值整体大于 10 月份，体现了黄海区域航行风险时空分布的特点；实验中 10 月 12 日最高风险值到 0.48，未达到危险程度，7 月

30 日最高风险达到 0.58，接近危险程度，说明雾季航行需要格外注意。

成山角水域—连云港航线的航行风险情况如图 5，能够直观地看到不同时间航线风险的空间分布特点。在 10 月 12 日航线风险最大值达到 0.45，未达到危险(0.6~0.8)的程度，航线风险从两端向中段发展，在 7 月 30 日航线风险整体高于 10 月 12 日，最高为 0.52，航线南部的风险大于其他区域，随着时间发展，风险有向北发展的趋势。分析航线中部坐标点为(121.225°E, 35.519°N)的各评估因子(如图 6)，10 月 12 日各因子的数值呈现缓慢上升趋势，风险值也从 0.34 上升到 0.41，海雾发生频率仅为 0.06，对航线风险基本无影响，7 月 30 日，风险也呈现缓慢上升的趋势，但在 9:00，风速、浪高的数值有所下降，洋流速度突然增大，此时计算风险值结果为 0.453，比 6:00 高 0.012，说明 OWA 算子通过重新排序定权发现突然增大的流速值，将洋流较小的权重(0.116 3)增大，让风险计算结果保持稳定。7 月该点海雾发生频率为 0.12，计算的风险值在相近的海洋环境中大于 10 月。

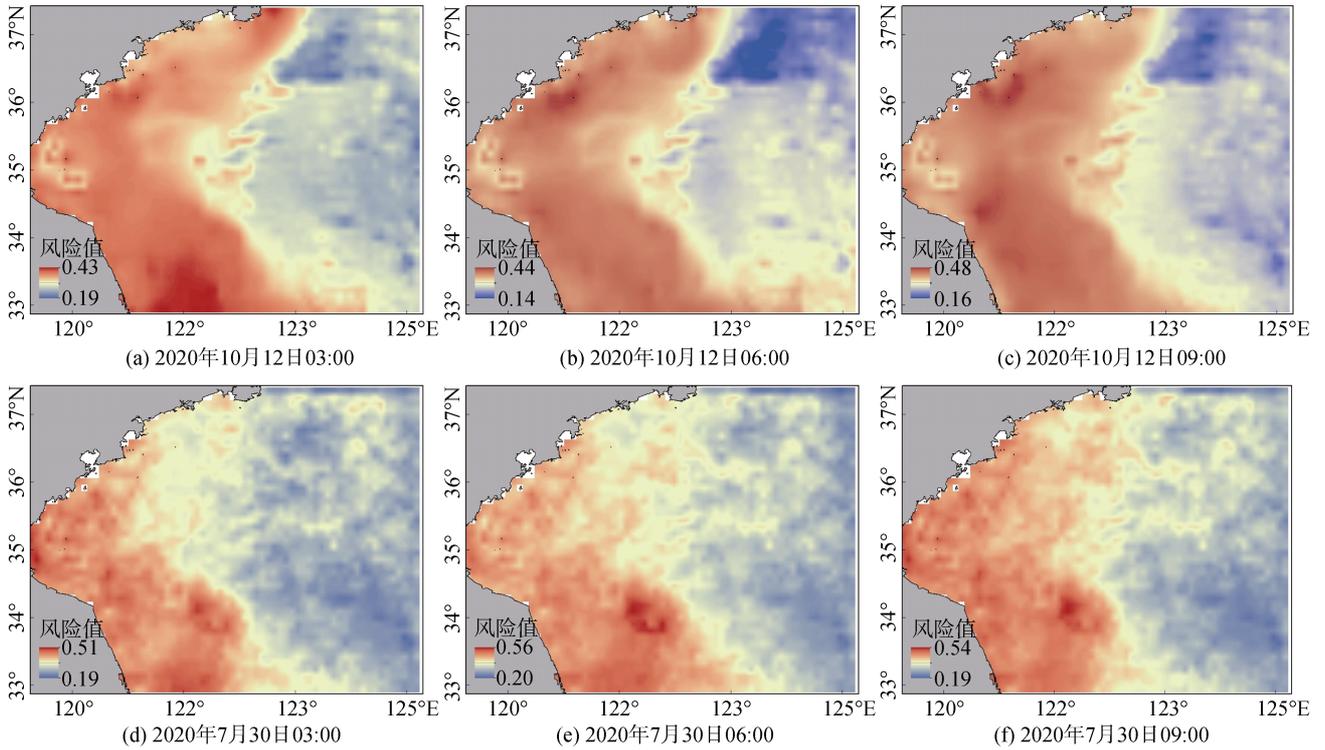


图 4 风险评估结果

Fig. 4 Risk assessment results

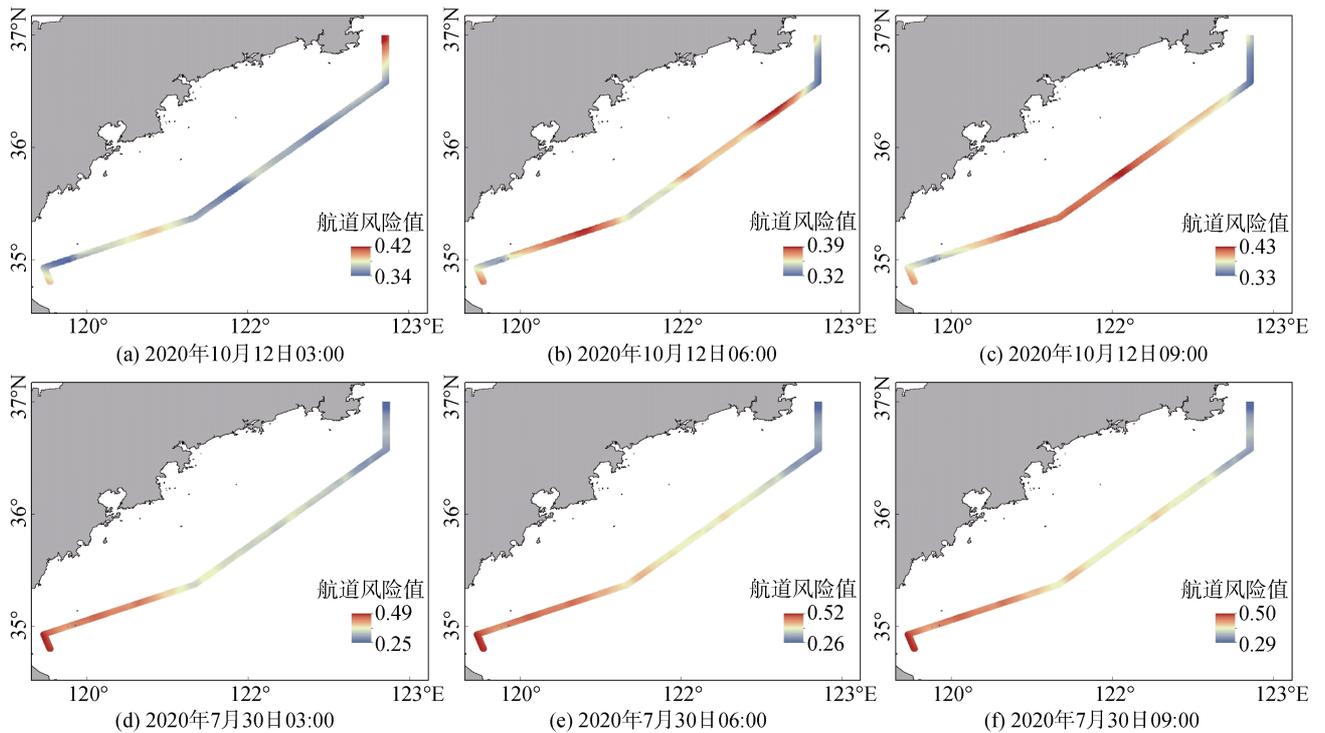


图 5 成山角水域—连云港港航线风险变化

Fig. 5 Risk change of the channel between Cheng Shanjiao water area and Lian Yungang Port

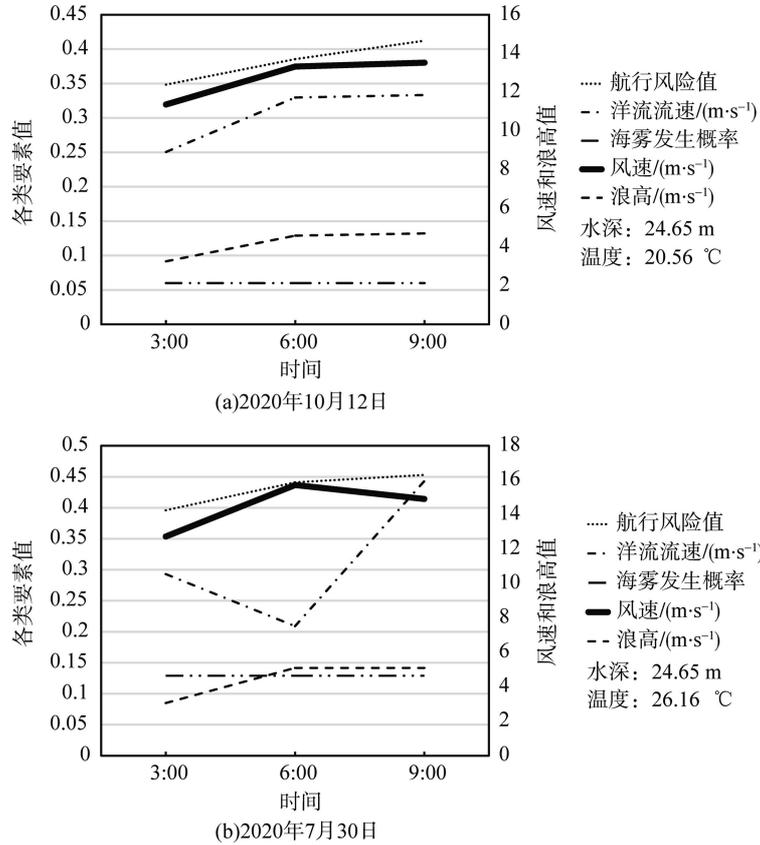


图 6 评估因子变化情况
Fig. 6 Variation of estimation factors

整体来看，该方法能够动态评估区域某一时段的航行风险，风险演变过程直观清晰；评估结果能够体现研究区域雾季和非雾季航行风险不同的特点；同时计算结果稳定，能够体现区域航行风险的特点。

3 结论

本文主要从时空分析的角度出发探讨动态航行风险评估的方法，将海雾发生频率也作为一个重要的风险评估因子，并使用 AHP 和 OWA 方法相结合计算权重，最后利用 GIS 技术动态生成航行风险图。能够看到，海雾发生频率能够体现区域在某段时间内的环境特点，将其作为一个评估因子，对评估目标海域的航行风险具有重要意义。同时结合 AHP 和 OWA 方法计算航行风险值，能突出数值变化明显的评估因子对于风险的影响，合理地评估航行风险。动态的风险评估结果能够直观展示航行风险的演化过程。

其次，本文尚未考虑降雨(暴雨、雷阵雨等)对航行安全的影响，下一步将在原算法基础上完善数据，开展深入研究。

参考文献:

- [1] SENOL Y E, SAHIN B. A novel real-time continuous fuzzy fault tree analysis (RC-FFTA) model for dynamic environment[J]. Ocean Engineering, 2016, 127: 70-81.
- [2] BALMAT J F, LAFONT F, MAIFRET R, et al. A decision-making system to maritime risk assessment[J]. Ocean Engineering, 2011, 38(1): 171-176.
- [3] ELEYE-DATUBO A G, WALL A, WANG J. Marine and offshore safety assessment by incorporative risk modeling in a fuzzy-Bayesian network of an induced mass assignment paradigm[J]. Risk Analysis, 2008, 28(1): 95-112.
- [4] AFENYO M, KHAN F, VEITCH B, et al. Arctic shipping accident scenario analysis using Bayesian network approach[J]. Ocean Engineering, 2017, 133: 224-230.
- [5] 万伟强. 基于贝叶斯网络的渤海湾客滚船风险评估及分级[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2017.
WAN Weiqiang. Risk assessment and classification of Ro-Ro passenger ships in Bohai Bay based on Bayesian network[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2017.
- [6] LEE H H, KIM C S. An analysis on the relative importance of the risk factors for the marine traffic environ-

- ment using analytic hierarchy process[J]. Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 2013, 19(3): 257-263.
- [7] 单雨龙, 张韧, 李明. 基于动态贝叶斯网络的北极东北航道关键海区通航可行性研究[J]. 极地研究, 2019, 31(1): 94-102.
SHAN Yulong, ZHANG Ren, LI Ming. A feasibility study on navigation in a key sea area of the northeast passage of the arctic based on the dynamic Bayesian network[J]. Chinese Journal of Polar Research, 2019, 31(1): 94-102.
- [8] WANG J, LI M, LIU Y, et al. Safety assessment of shipping routes in the South China Sea based on the fuzzy analytic hierarchy process[J]. Safety Science, 2014, 62: 46-57.
- [9] GULTEPE I, CANADA E, MILBRANDT J A, et al. The fog remote sensing and modeling field project[J]. Bulletin of The American Meteorological Society, 2009, 90(3): 341-359.
- [10] 肖艳芳, 张杰, 崔廷伟, 等. 海雾卫星遥感监测研究进展[J]. 海洋科学, 2017, 41(12): 146-154.
XIAO Yanfang, ZHANG Jie, CUI Tingwei, et al. Review of sea fog detection from satellite remote sensing data[J]. Marine Sciences, 2017, 41(12): 146-154.
- [11] 刘树霄, 衣立, 张苏平, 等. 基于全卷积神经网络方法的日间黄海海雾卫星反演研究[J]. 海洋湖沼通报, 2019(6): 13-22.
LIU Shuxiao, YI Li, ZHANG Suping, et al. A study of daytime sea fog retrieval over the Yellow Sea based on fully convolutional networks[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2019(6): 13-22.
- [12] DORMAN C E, MEJIA J, KORA D, et al. World marine fog analysis based on 58-years of ship observations[J]. International Journal of Climatology, 2020, 40(1): 145-168.
- [13] SARAF A K, BORA A K, DAS J, et al. Winter fog over the Indo-Gangetic Plains: mapping and modelling using remote sensing and GIS[J]. Natural Hazards, 2011, 58(1): 199-220.
- [14] 杜清运, 王煜森, 刘纪平, 等. 面向灾害应急服务的自适应制图技术[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(8): 1117-1125.
DU Qingyun, WANG Yumiao, LIU Jiping, et al. Adaptive cartographic techniques for disaster emergency services[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(8): 1117-1125.
- [15] CHANDIO I A, MATORI A N B, WANYUSOF K B, et al. GIS-based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: A review[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2013, 6(8): 3059-3066.
- [16] YAGER R R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision-making[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1988, 18(1): 183-190.
- [17] XU Z H. An overview of methods for determining OWA weights[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2005, 20(8): 843-865.
- [18] 刘成, 车达升, 李晓东. 黄渤海海冰分布特征及其影响因素[J]. 资源科学, 2019, 41(6): 1167-1175.
LIU Cheng, CHE Dasheng, LI Xiaodong. Sea ice distribution and influencing factors in the yellow sea and the Bohai Sea during winter 2018[J]. Resources Science, 2019, 41(6): 1167-1175.
- [19] 张苏平, 鲍献文. 近十年中国海雾研究进展[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2008(3): 359-366.
ZHANG Suping, BAO Xianwen. The main advances in sea fog research in china[J]. Periodical of Ocean University of China, 2008(3): 359-366.
- [20] 中华人民共和国海事局. 中国沿海航行指南: 北方海区[M]. 北京: 人民交通出版社, 2018: 183-187.
Maritime Safety Administration of the People's Republic of China. China coastal navigation guide: northern sea area[M]. Beijing: China Communications Press Limited Liability Company, 2018: 183-187.

Navigation risk assessment method based on dynamic marine environmental factors

DU Pei¹, ZENG Zhe¹, REN Li-feng², LI Zheng-hai³, YANG Jian-chang⁴

(1. College of Oceanography and Space Informatics, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China; 2. China National Petroleum Corporation Marine Geophysical Prospecting Branch, Tianjin 300457, China; 3. Cosco Shipping (Qingdao) Electronics Limited Liability Company, Qingdao 266001, China; 4. Offshore Oil Engineering Limited Liability Company, Tianjin 300461, China)

Received: Nov. 8, 2020

Key words: marine environmental factors; dynamic navigation risk assessment; AHP; OWA; sea fog

Abstract: Navigation risk has a higher uncertainty with the complicated evolution of maritime meteorology environment over time. In this study, we dynamically evaluate the navigation risk of ships using spatial-temporal analysis. Four dynamic marine environmental factors, namely, wind field, current, wave, and sea temperature; and two static marine environmental elements, namely, sea fog frequency and submarine topography, are selected as the evaluation criteria. The preliminary weights of each evaluation criterion are calculated using analytical hierarchy process (AHP) and the optimized weights are developed using the ordered weighted averaging (OWA) combined AHP. Dynamic risk maps of navigation assessment are generated with the support of Geographic Information System. Results show stable performances. This study reveals that the significant impact of evaluation criteria with a large numerical variation on navigation risk can be highlighted by the AHP-OWA method. Furthermore, the dynamic assessment results obtained in this study can directly show the evolution process of navigation risk.

(本文编辑: 杨 悦)