DOI 编码：10.13646/j.cnki.42-1395/u.2022.06.008

# 台风期船舶航行海区风险评估和避台规划

靳卫卫[1,2]，肖强[3]，罗教彬[4]，于波[5]，赵建平[1,2]，安伟[1,2]

（1. 中海油能源发展股份有限公司安全环保分公司，天津 300452；2. 中海油能源发展股份有限公司北京安全环保工程技术研究院，北京 102209；3. 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，广东 深圳 518067；4. 中海石油（中国）有限公司上海分公司，上海 200032；5. 中国海洋石油集团有限公司，北京 100011）

**摘　要：**不同于基于台风路径和风圈数据的避台规划技术，基于台风预报的风力网格化强度数据，实时开展船舶航行海区的风险区划评估，建立不同代价系数的风险地图，结合船舶安全“瞭望”距离开展多阶段动态路径规划计算，以此为据开展有效的船舶避台动作，提供更加安全有效的台风期船舶避台优化方案。

**关键词：**台风；船舶；风险区划；避台；路径规划

**中图分类号：**X951　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1006—7973（2022）06-0030-03

我国处于西太平洋台风多发地，每天都会遭受 20 余起台风影响，其中，南海海域生成台风，由于其地理位置特点，留给船舶避台应急反应时间短，造成台风期船舶无法及时撤离等风险。国内相关学者围绕船舶避台规划开展了一些相关研究[1]，多以台风路径和风圈为基础数据，开展避台规划。随着台风预报模型和网络传输技术的发展，提供了更加精细化的台风预报数据，动态评估风险区划，开展动态路径规划技术研究，可以更大程度地降低台风期船舶航行风险[2][3]。本文将以网格化的风、浪、流数据为基础，综合评估船舶航行海区的风险区划，以此建立底图，基于台风时间序列数据开展动态的路径规划和船舶避台动作，为台风期船舶避险提供更加可靠的保障。

## 1 数据网格化处理

海上船舶风险评估考虑的主要海洋环境要素有：风场、流场、海浪，通过网络业务化数据服务接口，每天定时获取 2 次，每次获取未来 7 天预报数据，数据时间间隔 3 小时，使用 Netcdf 数据格式压缩传输。

不用的海洋环境要素由不同机构的数值模式运行计算所得，因此，导致风、浪、流具有不同的空间分辨率，这里，使用的风场分辨率为 1/12 度，海浪场分辨率为 1/4 度，流场分辨率为 1/24 度，不同网格分辨率的数据无法直接应用与区划网格风险评价。因此，这里根据应用需求，统一以 1/12 度为准，使用反距离空间插值法（IDW）对海浪数据进行加密插值，得到 1/12 度海浪网格数据；以隔行抽取的方法对流场数据进行抽稀，得到 1/12 度流场网格数据。

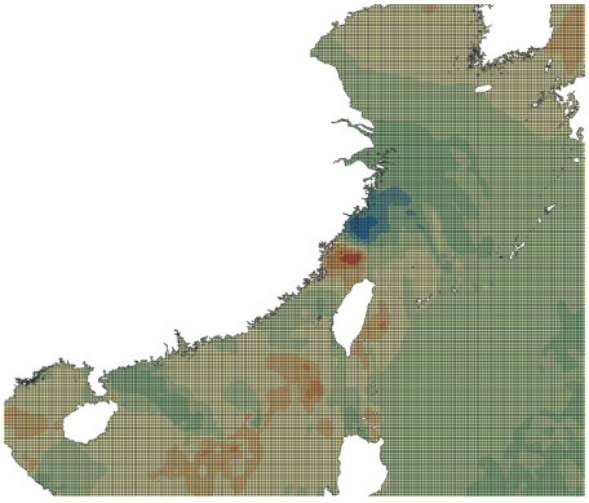

图 1 海洋环境网格化数据示意图

## 2 海区风险区划

根据 ALARP(As Low As Reasonably Practicable) 原则，由不可容忍线和可忽略线将海洋工程作业船舶在风浪条件下的风险划分为分：风险严重区、风险可容忍区和风险可接受区，分别对应高、中、低不同的风险等级[4]。

表 1 基于 ALARP 的海上船舶风险等级划分表

| 风险等级 | 低风险 | 中风险 | 高风险 |
|---|---|---|---|
| 预警色 | 绿色 | 黄色 | 红色 |
| ALARP 原则区 | 广泛可接受区 | 容忍区 | 不可接受区 |
| 风险定义 | 此状态下可航行，但需保持注意； | 存在威胁，尽量避免，可短暂航行，避免长时间； | 严重风险，要求避免航行； |

台风期海上船舶风险评价属于模糊集合概念，不具备确定性，应用模糊系统的原理，从多个因素对被评判事物的隶属度等级状况进行综合评判。因此，这里采用模糊综合评价法进行海洋环境区划风险评价。

对于不同的船舶类型，应根据其船舶尺寸、吨位、载重、船龄、航速、货物类型等自身影响因素，建立模糊综合评价体系和模型。

### 2.1 建立评价因素集

针对不同船舶，根据关注的风力、浪高、流速等海洋环境要素因素的不同恶劣程度，建立评价指标集，用U表示。

$U = (u_1, u_2, \ldots, u_m)$

其中，元素ui代表影响评价对象的第i个因素。

### 2.2 建立评价集

根据ALARP原则，将海上船舶风险划分为高、中、低三级，用V表示。

$V = (v_1, v_2, \ldots, v_n)$

其中，元素$v_j$代表第j种评价结果。

### 2.3 构建评价矩阵

因素集U中第i个元素对评价集V中第1个元素的隶属度为$r_{i1}$则对第i个元素因素评价的结果用模糊集合表示为：

$R_1 = (r_{i1}, r_{i2}, \ldots, r_{in})$

则，m个单因素评价集为行组成矩阵Rm*n称为模糊综合评价矩阵。

$$R = \begin{array}{c} \\ >8\text{级风} \\ 6\sim8\text{级风} \\ <6\text{级风} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} \text{高} & \text{中} & \text{低} \end{array} \\ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{21} & r_{21} \\ & \ddots & \\ r_{21} & r_{21} & r_{21} \end{bmatrix} \end{array}$$

### 2.4 确定因素权重

各因素的重要程度有所不同，为此，给各因素ui一个权重ai，各因素的权重集合的模糊集，权重系数可以通过层次分析法AHP的成对比较阵来构造，用A表示：

$A = (a_1, a_2, \ldots, a_m)$

### 2.5 建立综合评价模型

确定单因素评判矩阵R和因素权向量A之后，通过模糊变化将U上的模糊向量A变为V上的模糊向量B，即：

$$B = \max(A * R_{m*n}) = \max((b_1, b_2, \cdots, b_n))$$

根据上面建立的海上船舶环境风险等级模糊综合评价模型，对每个网格内的风、浪、流进行综合评价，计算其风险等级，即可得到整个关注海区的整体风险区划，为下一步避台路径规划提供基础数据。

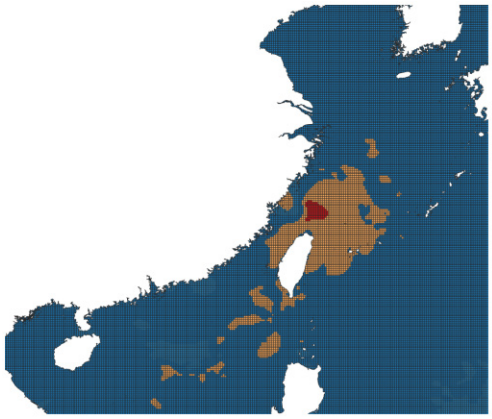

图2 基于海洋环境数据的风险区动态划分示意图

## 3 避台规划

根据风险程度区划评估结果，各个网格赋予不同的权重系数，高、中、低不同的风险对应着不同的数值系数，作为路径规划中不同路径经过当前网格的代价系数。经过中风险区网格的路径虽然比低风险区近，但整体路径上的代价系数较大，将不利整体路径，以此动态规避风险[5]。

海上船舶避台航行中，由于台风预报的精度和不确定性，需要保持与台风保持一定的安全距离，用于保证突发情况下，船舶有充足的时间做出调整避开风险，将此安全距离称为安全“瞭望”距离。“瞭望”距离这里设定为船舶与高风险区边缘的最短距离，根据不同的海况情况可以设置不用的“瞭望”距离，通常以船舶航速和应急反应时间计算所得，这里以5小时应急反应时间为例，则安全“瞭望”距离约为100公里左右。

基于海上风险程度区划建立船舶路线规划网格底图，网格赋予不同的代价系数，结合“瞭望”距离反向考虑，通过膨胀扩大不同风险区的网格范围，来使船舶与实际风险区保持一定的安全距离。在此基础上引入经典的路径规划D-star lite算法，根据时间序列不同时刻的台风强度场预报，实时计算风险评估和建立路径底图，开展动态多阶段路径规划，计算不同的避台优化路径，根据预测路径开展减速、改向、抛锚等不同的船舶避台操作[6]。

DOI 编码：10.13646/j.cnki.42-1395/u.2021.2022.06.009

# 沿海某重力式码头检测与安全性评估

张素杰[1]，赵冰[1]，杨献鹏[1]，韩锋[1]，郑玉洁[2]

（1. 青岛实华原油码头有限公司，山东 青岛 266400；2. 山东科技大学，山东 青岛 266590）

**摘　要：**为满足港口日常维护和管理的需要，本文结合沿海某重力式码头工程实例，进行码头结构变形测量等各项检测和安全性内容，为码头后期的维修加固提供依据。

**关键词：**码头结构；检测；安全性评估

**中图分类号：**U656.1+11　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1006—7973（2022）06-0032-03

## 1 概述

重力式码头是我国分布较广，使用较多的一种码头结构形式。其结构具有抗冻性和抗冰性强、承载力大、装卸工艺适应性强、施工维护简单等特点。但随着码头结构使用年限的增加，码头受自身老化、环境腐蚀、超能力（等级）作业等影响会产生不同程度的损伤。为保证码头生产和安全，排除码头和引桥等结构的安全隐患，需对码头进行常规性的定期检测，评定码头现有设施的技术状态。本文结合沿海某重力式码头结构物的工程实例以及国内的一些研究成果开展检测评估，为码头后期的维修加固提供依据。

本次检测评估工程为沿海某 30 万吨级原油码头，码头布置型式为“蝶式”，引桥长 852m，泊位长度为 520m，采用重力墩式结构。码头前沿底标高 -26.2m。工程于 2006 年 1 月开工建设，2007 年 3 月投入试运行。

## 2 码头结构的整体变形与变位测量

### 2.1 码头结构的水平位移测量

水平位移监测首先采用 GPS 静态测量的方法，施测出基准点及工作基点的点位坐标，然后使用全站仪采用极坐标法施测出变形监测点点位坐标。2017~2021 年连续五年对码头进行了水平位移测量，均匀选取 6 处

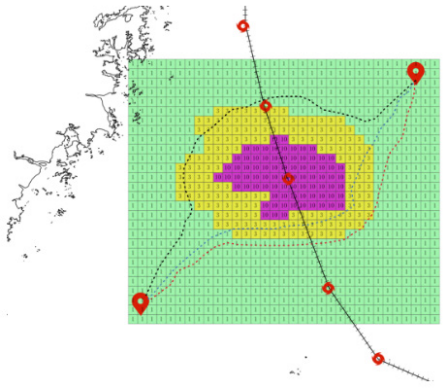

图 3 台风过程某时刻船舶航行避台路径规划示意图

## 4 结论

基于台风强度预报的网格化数据，可以实时地开展局部海区的船舶航行风险区划评估，结合安全“瞭望”距离建立船舶避台路径规划风险底图，结合路径规划算法，动态开展多阶段避台路径规划，以此为据开展有效的船舶避台动作。相比较与基于路径和风圈的避台路径规划技术，本文提出的基于台风网格强度和动态路径规划，可以提供更加安全和有效的船舶台风期航行避台优化方案。

参考文献：

[1] 杜志啸，赵甲文，郭鹞，马硕．船舶避障技术综述 [J]. 舰船电子工程，2019,39(05):12-15.

[2] 赵化川．基于实况气象的动态航线规划方法设计 [D]. 哈尔滨工程大学，2017.

[3] 张进峰，王晓鸥，刘永森．基于动态风浪环境的我国近海船舶避台航线优化 [J]. 中国航海，2016,39(02):45-49.

[4] 刘大刚，解以扬，刘斌贤，林毅，杨晓君，吴丹朱，吴彬贵，郭虎．大风浪条件下船舶风险状况动态评估预警系统 [J]. 中国航海，2015,38(01):63-67.

[5] 冉明衢．基于 GIS 的南海 FPSO 避台航线规划 [D]. 大连海事大学，2020.

[6] 汤青慧，陈戈，刘艳艳．一种智能化的避台航线设计方法 [J]. 中国海洋大学学报（自然科学版），2011,41(06):104-108.