

Anchoring Risk Analysis and Management of Anchored Vessels at Tangshan Caofeidian Port

Feng Wang^{1,2}, Qiang Long¹, Zhengjiao Qi³, Chang Wang¹, Yi Lin⁴

¹Caofeidian Meteorological Bureau, Hebei Tangshan, Tangshan 063015, China

²Tangshan Meteorological Bureau, Tangshan 063000, China

³Caofeidian Maritime Bureau, Tangshan 063015, China

⁴Meteorological Institute, Tianjin Meteorological Bureau, Tianjin 300074, China

唐山曹妃甸港锚泊船走锚的风险分析及管理

王锋^{1,2}, 龙强¹, 齐正胶³, 王畅¹, 林毅⁴

¹唐山市曹妃甸区气象局, 唐山 063015, 中国

²唐山市气象局, 唐山 063000, 中国

³唐山曹妃甸海事局, 唐山 063015, 中国

⁴天津市气象局气象科学研究所, 天津 300074, 中国

Abstract

Using the fuzzy comprehensive evaluation method based on AHP, combined with the maximum degree of membership and the subjective scoring of influencing factors, the risk of mooring ships anchoring in the Caofeidian harbor anchorage was analyzed, and the weights of selected influencing factors were determined, and in response to the maritime and meteorological business processes, the time node, key links, and important details of anchoring risk control are emphasized. The results show that the anchoring risk of the Caofeidian anchorage is very high. Among the selected objective factors, wind power is the main factor which leads to anchor removal, followed by traffic density. The management and control of the anchoring risk needs the cooperation of the

meteorological and maritime departments, and the refinement the various risk links, so as to reduce the occurrence of ship anchor accidents effectively.

Keywords: dragging anchor; risk; AHP; evaluation; management

摘要

利用基于层次分析的模糊综合评价方法, 结合最大隶属度原则、影响要素的主观打分, 分析了唐山曹妃甸港锚地锚泊船走锚的风险, 确定了所选影响因素的权重, 并针对海事、气象业务流程, 指出了走锚风险管控所须关注的时间节点、关键环节和重要细节等内容。结果表明: 唐山曹妃甸港锚地的船舶走锚风险很高, 在所选的客观因素中, 风力是导致走锚的最主要因素, 其次是交通密度。走锚风险的管控需要气象、海事部门的共同协作, 细化各个风险环节, 才能有效减少船舶走锚事故的发生。

关键词: 走锚; 风险; 层次分析; 评价; 管理

基金项目: 环渤海区域科技协同创新基金项目 (QYXM201609); 唐山市气象局课题项目 (tssqxj201701)

作者简介: 王锋 (1962-), 男, 高级工程师, 主要从事海洋气象服务管理工作。E-mail: tsqx_fw@163.com

1. 引言

锚地锚泊船的监管是各船舶交通管理中心的一项重要业务内容^[1]，特别是随着海洋、港口经济快速发展，走锚事故频发^[2-4]，各地交管中心高度重视锚地锚泊作业和走锚风险管控。目前锚泊业务管理大多依赖于个人经验、实时不断的人为监控以及严格的值班制度。然而，由于值班人员的阅历、认识、经验以及反应能力等不尽相同，对恶劣天气下锚泊船的走锚风险认识程度不一，且锚泊船的安全管理目前还没有明确的监管标准，锚泊作业存在着较大的环境不确定性，以及由此所致的潜在走锚风险。影响锚泊船安全锚泊的因素很多，如风、浪、流以及锚地底质、锚泊船密度等客观因素，也有锚泊方式、应急处置等主观因素。根据多年的海洋气象预报服务经验积累和需求调研反馈，我们认为这些因素应该有主次、轻重之分，也就是说，各因素在导致锚泊船走锚的整体评估中应该有各自的影响权重。为了确定这一问题，科学、定量的观测、实验以及足够的案例积累十分必要，但限于成本、机制、信息不对称等原因，难以实现十分精确的判断和分析。

因此，针对防灾减灾和风险预估的需求，基于主观评价并采用一定方法的风险分析就显得十分必要。文中利用基于层次分析的模糊综合评价方法^[5-8]、隶属度判断以及调查研究、分值匹配等，对曹妃甸港锚地锚泊船走锚的风险高低、主要影响因素作了分析，并结合气象、海事的业务流程特征，指出了风险管控所须关注的时间节点、关键环节和重要细节内容。

2 曹妃甸港锚地特征

曹妃甸港外锚地共有 2 处，分为东锚地和西锚地，位置如图 1 所示。西锚地为港口综合性锚地，面积约 65 平方公里，自然水深 12 米至 29 米，东南部为大型油船锚地，水深较大；东锚地主要供大型散货船、原油船、LNG 船等锚泊，面积约 128 平方公里，自然水深 21 米至 32 米，西北角水域为液化天然气（LNG）船舶应急锚地。

锚地的底质构成对锚落水抓力的发挥具有重要影响^[9]，一般来说，软硬适度的沙地、粘土质海底的锚地较好，沙泥混合的海底次之，而硬质泥沙的底质较差。曹妃甸港周边海域沉积物主要为淤泥、粉砂和黏土等，约占总沉积物的 85%，锚地底质基本均为硬泥。可见，曹妃甸锚地的底质并不理想，在一定程度上也增加了锚泊船走锚的风险。

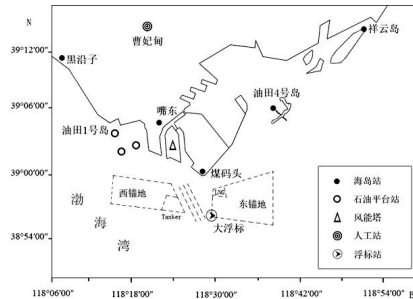


图 1 锚地地理位置及海洋气象观测站点分布图

根据近四年的走锚案例统计，曹妃甸港外锚地年均出现较严重的走锚事故 4-5 例，走锚的船舶尺寸大小不一、载重各不相同，事故发生的地理位置也不一样。

3 锚泊船走锚风险分析

文中采用基于层次分析的模糊综合评价方法分析京唐港锚泊船的走锚风险，确定主要影响因素的权重。按照方法原理和研究对象，确定本模型综合评价的对象集为： $P=\{\text{锚泊船走锚风险}\}$ 。

3.1 评价指标

影响船舶走锚的安全因素很多，根据船舶交通管理中心的工作经验和业务需求，所选取的影响因子（即评价指标）应该对锚泊船走锚的影响较大，这样得到的分析结论更有针对性和可用性。根据相关学者的分析，在锚地基本参数（大小、位置、底质等）确定的条件下，诸多影响船舶走锚的因素中，锚地风力大小、交通密度、锚泊船尺寸、船型是重要的客观指标，船员的综合素质、船长的应急能力为主观因

素，无法统一。因此，在交通管理中心了解本地锚地情况、熟悉通航业务的基础上，确定评价指标为：风力、交通密度、船舶尺寸和船型。

(1) 风力。根据《河北省灾害性天气预警信号与防御指南》对大风预警信号的规定，当渤海海区平均风力达 7~8 级，或阵风 9 级以上发布蓝色预警信号，平均风力达 9~10 级，或阵风 11 级以上发布黄色预警信号，平均风力达 11~12 级，或阵风 13 级以上发布橙色预警信号，平均风力达 12 级以上发布红色预警信号。根据该规定，风力指标确定为：7 级（阵风 9 级）、9 级（阵风 11 级）、11 级（阵风 13 级）、13 级及以上四个指标。

(2) 交通密度。交通密度是指锚地锚泊船的流量，密度小时直接于锚地抛锚，密度中等时，船舶需要在锚地内进行必要的疏散，密度大时就需要锚地外抛锚。因此，交通密度也是影响锚泊的重要因素，分为密度小、密度中等、密度大三个指标。

(3) 船舶尺寸。根据船舶的尺寸确定抛锚地点是提高锚地利用效率的基础，对船舶安全锚泊、保证锚泊秩序也十分有利。根据曹妃甸港的通航实际和业务需求，将船舶分为小型（船长 130 米以下）、中型（船长 130~200 米）、大型（船长 200~280 米）和超大型（船长 280 米以上）四类。

(4) 船型。根据船舶对锚泊的条件要求，将船型分为：一般船舶、客船类、危险品船和特殊船类。一般船舶对锚地没有特殊要求；客船涉及到承载人员，所以安全性级别要求很高；危险品船包括油轮、液化天然气货轮等运载易燃、易爆货物的船舶，有的需要专门的锚地。

3.2 指标集和评价集

根据评价指标分析，确定指标集合为：

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\} = \{\text{风力大小、交通密度、船舶尺寸、船型}\} \quad (1)$$

各指标的二级评价指标为：

表 1 锚泊船走锚风险评价指标集

一级评价指标		二级评价指标	
u_1	风力大小	u_{11}	海区平均风力 7 级或阵风 9 级以上
		u_{12}	海区平均风力 9 级或阵风 11 级以上
		u_{13}	海区平均风力 11 级或阵风 13 级以上
		u_{14}	海区平均风力 13 级及以上
u_2	交通密度	u_{21}	密度小
		u_{22}	密度中等
		u_{23}	密度大
u_3	船舶尺寸	u_{31}	小型（船长 130 米以下）
		u_{32}	中型（船长 130~200 米）
		u_{33}	大型（船长 200~280 米）
		u_{34}	超大型（船长 280 米以上）
u_4	船型	u_{41}	一般船舶
		u_{42}	客船类
		u_{43}	危险品船
		u_{44}	特殊船类

按照评价原理和业务应用需求，确定评语集为：

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\} = \{\text{很高, 高, 较高, 低}\} \quad (2)$$

3.3 评价指标的权向量

利用层次分析法确定评价指标权向量。

(1) 指标权重

通过调研确定四个评价指标的相对重要性，结果如表 2 所示。

表 2 四个一级指标的调研判断

U	u_1	u_2	u_3	u_4	权重
u_1	1	2	7	4	w_1
u_2	1/2	1	4	3	w_2
u_3	1/7	1/4	1	2	w_3
u_4	1/4	1/3	1/2	1	w_4

判断矩阵即为，

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 7 & 4 \\ 1/2 & 1 & 4 & 3 \\ 1/7 & 1/4 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

此处采用和积法对判断矩阵进行特征向量计算，首先计算矩阵各列的和，然后按列作归一化处理，结果如表 3 所示。

表 3 归一化处理和权重结果

U	u_1	u_2	u_3	u_4	权重
u_1	0.5283	0.5581	0.56	0.4	2.0464
u_2	0.2642	0.2791	0.32	0.3	1.1633
u_3	0.0755	0.0698	0.08	0.2	0.4253
u_4	0.1321	0.0930	0.04	0.1	0.3651

对判断矩阵 A 进行一致性检验， A 的最大特征根为：

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 7 & 4 \\ 1/2 & 1 & 4 & 3 \\ 1/7 & 1/4 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2.0464 \\ 1.1633 \\ 0.4253 \\ 0.3651 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2.0464 \\ 1.1633 \\ 0.4253 \\ 0.3651 \end{bmatrix} \quad (4)$$

由上式求得： $\lambda_1=4.3054, \lambda_2=4.2835, \lambda_3=4.0879, \lambda_4=4.0459$ ，可得 $\lambda_{\max}=4.1806$ 。

检验 A 的一致性指标为： $C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$ ， λ 比 n 大得越多， A 的不一致性就越严重。也就是说，如果用最大特征值的特征向量作为被比较因素对某因素影响程度的权向量， λ_{\max} 比 n 大得越多时，不一致性的程度越严重，判断误差就越大。这里用一致性比例 $C.R.$ 来度量 A 的一致性。

$$C.R. = C.I. / R.I. \quad (5)$$

式中 $R.I.$ 为随机一致性指标。

当 $C.R.=0$ ， A 是完全一致性矩阵， $C.R. < 0.1$ 时，为满意一致性矩阵， $C.R. > 0.1$ ， A 便不具有有一致性。

由上可得： $C.R.=0.0677 < 0.1$ ，所以 A 为满意一致性矩阵，也就是说各一级指标权重系数的分配是合理的。因此， A 的特征向量为：

$$W = (w_1, w_2, w_3, w_4) =$$

$$(2.0464, 1.1633, 0.4253, 0.3651) \quad (6)$$

归一化处理后即可得一级指标矩阵的权向量：

$$A = (0.5116, 0.2908, 0.1063, 0.0913) \quad (7)$$

根据上述方法，获得二级指标的权向量为：

$$A_1 = (0.0455, 0.0962, 0.3340, 0.5243)$$

$$A_2 = (0.0832, 0.1933, 0.7235)$$

$$A_3 = (0.5575, 0.2596, 0.1123, 0.0706)$$

$$A_4 = (0.0802, 0.2082, 0.2284, 0.4832)$$

3.4 模糊评价关系矩阵

港航管理部门的调度人员、经验丰富的船长或船员对二级指标内容进行打分，对打分作平均处理以体现整体意见，并作归一化处理，建立的风力、交通密度、船舶尺寸、船型模糊评价关系矩阵分别为 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 ：

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.3 & 0.7 \\ 0.1 & 0.4 & 0.5 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.1 & 0.9 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0 & 0.1 & 0.3 & 0.6 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.5 & 0.3 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

3.5 模糊评价向量

模糊评价向量的确定采用 $M(\wedge, \vee)$ 模糊合成算子，在运算中能够突出主要因素。计算风力的评价向量为：

$$B_1 = A_1 \circ R_1 = (0.04555, 0.09615, 0.3340, 0.5243) \circ$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.3 & 0.7 \\ 0.1 & 0.4 & 0.5 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= (0.5243, 0.3, 0.09615, 0.04555) \quad (12)$$

归一化后的 $B_1 =$

$$(0.5428, 0.3101, 0.0995, 0.0472)$$

根据该方法，可得交通密度、船舶尺寸、船型的归一化后的评价向量 B_2 、 B_3 、 B_4 分别为：

$$B_2 = (0.5866, 0.1676, 0.1620, 0.0838)$$

$$B_3 = (0.5352, 0.2492, 0.1078, 0.1078)$$

$$B_4 = (0.3967, 0.2976, 0.2065, 0.0992)$$

3.6 模糊综合评价风险分析

综上可得评价向量为:

$$B = A^{\circ}R = (0.5116, 0.2908, 0.1063, 0.0913)^{\circ}$$

$$\begin{bmatrix} 0.5428 & 0.3101 & 0.0995 & 0.0472 \\ 0.5866 & 0.1676 & 0.1620 & 0.0838 \\ 0.5352 & 0.2492 & 0.1078 & 0.1078 \\ 0.3967 & 0.2976 & 0.2065 & 0.0992 \end{bmatrix} = (0.5116, 0.3101, 0.1620, 0.1063) \quad (13)$$

归一化后的 B

$$(0.4694, 0.2845, 0.1486, 0.0975)$$

模糊评价的结果显示:

$$b_1 = 0.4694 = \max\{b_j\}, 1 \leq j \leq 4 \quad (14)$$

根据最大隶属度原则, 综合指标对哪个评价等级的隶属度更高, 就将其所要评价的目标定为该评价等级。因此, 锚地锚泊船走锚的风险隶属于第 1 级, 即风险很高; 在所列的影响因素中, 风力对锚泊船走锚的影响程度最高, 其次是交通密度, 也就是说, 风力的大小是影响锚地锚泊船走锚的最主要因素, 交通密度是重要因素。

4 锚泊船走锚的风险管理

通过上述的分析, 大风是影响锚泊船走锚的重要因素, 气象部门应当加强海面大风的时间和空间精细化预报预警, 海事部门应当制定有效的应对措施, 完善监控管理标准和风险防控体系, 强化应急处置能力。本节从气象服务的角度, 结合海事应急处置流程, 浅析锚泊船走锚的风险管理。

4.1 风险管理的时间节点

根据大风对锚泊船影响的整个过程, 将走锚风险的管理时间节点划分为大风来前、大风过境、大风结束, 再细化各时间节点重点关注的内容。

(1) 大风来前

关注每日气象部门提供的预报, 对即将发生的天气有足够的预知, 并做好如下工作:

(a) 关注滚动预报, 获取最新的预报

信息, 确保掌握的信息足够准确;

(b) 通过 VHF 等系统将重要信息发送至相关船舶, 提醒各船舶做好防范大风的准备;

(c) 通过 CCTV 视频监控系统、气象监测网, 严密监控海上天气实况;

(d) 做好锚泊船的登记信息, 特别是危化货物运输船、大型船舶的锚泊情况要熟知;

(e) 利用现有技术手段, 如不同风力对应的走锚风险, 评估风险等级;

(f) 做好应急处置的准备工作。

(2) 大风过境

(a) 所辖海域已经起风, 通过 VHF 等系统发布实况信息, 提醒做好防范工作;

(b) 抽查锚泊船值班、应急准确情况;

(c) 严密监控锚泊船状态, 确保第一时间发现、第一时间启动应急;

(d) 如出现走锚事故, 应积极按照应急预案要求配合、参与应急行动。

(3) 大风结束

(a) 有序调度相关船舶起锚续航;

(b) 做好总结、反馈, 完善应急预案、业务流程等。

4.2 风险管理的重要环节

根据锚泊业务管理流程和经验总结, 走锚风险的管理环节包括跟踪预报、风险评估、发布告警、信息记录、强化监控、随机抽查、应急处置。

跟踪预报: 气象-海事部门应不断强化信息沟通、共享机制, 畅通信息互通渠道, 确保气象部门的最新预报能够第一时间被海事部门接收, 海事部门能够实时查看气象监测网实况。

风险评估: 当海面风力预报较大时, 应根据现有的技术能力, 对可能造成走锚的风险作初步评估, 为应急准备、随机抽查等工作提供借鉴。

发布告警: 在确认预报内容、风险等级的基础上, 及时发布大风告警, 提醒相关船舶做好应急准备工作。

信息记录: 记录好辖区内各船舶的联系渠道、船舶载货等信息, 并对信息作分

类、分级规整。

强化监控：多手段监控锚泊船的位置、出链长度、安全锚泊距离等，及时发现问题、及时予以解决。

随机抽查：主要对船舶应对大风天气的应急值守、准备措施、沟通渠道作随机抽查，抽查比例应根据风险等级有所不同、侧重。

应急处置：当出现走锚事故时，应快速做出反应和处置。值班人员通过甚高频电话直联走锚船舶，按要求采取应对措施，同时通知下游船舶做好避让、协作等准备。当情况发展迅速、严重时，应及时告知搜救值班处，按照应急预案等要求开展应急处置工作。

4.3 风险管理应关注的细节

(1) 风向。曹妃甸锚地独特的地理位置导致不同的风向所致的走锚风险等级不一，如东北方向是辽东湾，偏东方向是渤海海峡，直通黄海，较长的风区、频繁的大风系统、较大的水深等都使得在其他条件一致的情况下，东北到偏东大风所致的船舶走锚的风险较高，而西北风的下垫面是陆地，风区长度较小，所造成的走锚风险就较低。

(2) 交通流。影响因素的权重分析结果显示，交通密度是除了风力之外对走锚最有影响的因素，值班人员应熟悉辖区内的航线、气象和水文环境、业务内容等，这样才能有针对性地开展防范工作。

(3) 船员素质。由于工作年限、认知能力、学习深度、阅历积累等不同，各船舶船员的综合素质往往也不一样，对工作的职业操守、责任心也参差不齐，这就导致了同样的指令被实施的结果、程度也可能不一样。因此，值班、调度等管理人员应考虑该因素，加强抽查、沟通，管控不必要的风险。

5 总结

(1) 模糊综合评价方法计算和隶属度分析的结果表明，唐山曹妃甸港锚地的锚

泊船走锚的风险很高。

(2) 在所选定的影响因子中，风力是导致锚泊船走锚的最主要因素，其次是交通密度，船舶尺寸、船型因素的作用明显偏小。

(3) 锚泊船走锚的风险管控需要气象、海事等部门的有效协作，从安全管理的时间节点、关注环节和重要细节入手，才能减少大风天气条件下险情和事故的发生。

参考文献

- [1] 赵亮. 基于模糊故障树方法的船舶锚泊安全分析. 大连海事大学, 2017.
- [2] 吴卫兵, 尹建川. 准确判断船舶走锚方法. 中国航海, 2012, 35(04): 124-127.
- [3] 刘勇, 徐海军, 李振. 锚泊船舶的安全警戒范围. 航海技术, 2015(05): 31-33.
- [4] 祝贵兵, 池弘福, 吴剑锋. 灾害天气下无动力船锚泊安全性分析. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2012, 31(01): 70-74.
- [5] Kaufman A, Gupta M M. Int reduction to fuzzyarithmetic: theory and applications. New York: Van Nostrand Reinhold, 1985.
- [6] Zhu W, You Q J. 2016. High-rise Building Group Regional Fire Risk Assessment Model Based on AHP. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 6(1): 31-37.
- [7] Wang W D, Qiao S, Zeng F L, Guo J, Huang C F. 2016. An Approach to Ranking Integrated Models for Risk Assessment by Using the Internet of Intelligences. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 6(1): 2-7.
- [8] Wang Z, Ge S S, Zhang R, Yang M Q, Jiang D L. The Weight Analysis of Northeast Passage Straits Index Based on AHP and Rough Set Theory. Proceedings of the 7th Annual Meeting of Risk Analysis Council of China Association for Disaster Prevention (November 4-6, 2016, Changsha, China), pp. 32-37.
- [9] 李宇服, 周俊, 陈琦. 钦州港锚地规划及锚抓力研究. 中国水运, 2009, 9(09): 11-13.