

东营港航道船舶航行风险评估

李成海¹, 杨洪海², 胡甚平³

(1. 山东交通职业学院, 山东 潍坊 261206; 2. 东营引航站, 山东 东营 257100;
3. 上海海事大学, 上海 201306)

摘要: 以船舶自锚地到泊位航行状态为研究对象, 基于物元分析法模型, 对船舶东营港航道航行过程整体动态风险进行评估, 根据信息数据确定的指标权重值, 得到船舶航道内航行动态风险评估仿真图, 从而为港航管理部门和船公司的安全管理提供理论依据。实船验证结果表明: 东营港航道船舶航行过程风险呈现“V”型变化规律, 5号浮至9号浮附近风险最大; 船舶交通流是影响船舶航行风险的首要因素。

关键词: 船舶; 航道航行; 物元分析法模型; 系统仿真; 动态风险评估

中图分类号: U675 **文献标识码:** A

0 引言

东营港位于渤海湾南岸, 处于西进黄骅港和天津港、东进龙口港和烟台港的必经之地。2020年东营港引航船舶达1052艘次。随着渤海湾经济圈和航运市场蓬勃发展, 进出东营港的船舶艘次及通航密度逐年递增。东营港是人工疏浚港口, 十万吨航道两侧设置有防波挡沙堤, 使航道水压力激增。特殊的地理位置、繁忙和受流压影响的航道给通行船舶安全造成了更大压力更多风险。因此, 熟悉和掌握船舶航行的动态风险, 对保障船舶航行安全具有重要意义。

目前, 已有很多船舶航行风险研究成果。文献^[1]通过分析北极航行主要威胁及其风险影响因素, 采用检测数据贝叶斯评估分析, 建立北极航道航行船舶风险评估模型, 完成北极航行船舶动态风险评估分析。文献^[2]在对船舶轨迹和采集的AIS数据预处理的基础上, 运用统计法对研究水域船舶动态进行研究, 提出模糊船舶模型; 建立横向、纵向和空间船舶碰撞风险模型, 基于网格化风险计算模型, 获取碰撞风险计算结果, 并使船舶碰撞风险在热力图上可视。文献^[3]针对船舶航行风险影响因素进行识别及初步评估, 采用贝叶斯分析法基于后果性的风险矩阵对航行船舶风

险进行分析和评估, 提出了航行船舶风险管理中提高人员素质和避免大风浪天气影响及海事监管的建议。文献^[4]从人-机界面分析航行船舶风险及影响因素, 运用可拓学理论建立航行船舶风险评估体系, 构建航行船舶风险的可拓评估模型; 实例验证表明, 可拓评估模型对航行船舶风险评估具有实时性, 可为船舶航行安全提供参考。文献^[5]采用航道初始数据运用随机模型进行变量选择, 根据选择的变量构建事故贝叶斯网络预警模型。实例验证表明: BN模型优于初始数据构建的模型, 海上事故预警准确率达到81.3%; 对于实时预报交通流船舶航行风险具有实效性。文献^[6]基于长江水道内交通事故和船舶数据, 学习和训练贝叶斯网络的结构和参数, 建立了学习及训练贝叶斯分配器。利用8组船舶事故和船舶数据构建贝叶斯分类模型。验证结果表明: 采用分配器的数据建立的模型分类取得理想效果, 证明是一种比较理想的交通流实时航行风险评估方法。

本文根据已有研究成果和东营港航道的实际情况, 构建船舶港内航道航行风险因素分析法模型, 分析影响因素之间的关联性。对船舶在东营港航道航行过程风险影响因素进行评估, 以此分析船舶航行风险具有的波动性和随机性。

收稿日期: 2023-01-05

第一作者简介: 李成海 (1965 -), 男, 高级船长, 副教授

1 东营港航道简介

东营港为正规全日潮港。该港潮差很小, 平均高高潮潮高 1.3 米, 平均低低潮潮高 0.4 米, 平均海面 0.9 米。

东营港海区海浪以渤海生成的风浪为主, 涌浪较少; 大浪主要由寒潮大风产生, 多发生在 9 月至次年的 5 月。

东营港现有两条相对独立的进港航道, 一条是为栈桥北侧码头服务的航道, 另一条是为栈桥南侧在建十万吨级航道南、北港池服务的航道。

自东北方向西南方至栈桥北侧码头的深水航道分为两段, 第一段至 5 万吨级液化码头, 该段航道长 1.5 海里, 设计水深 -14 米左右, 宽约 400 米; 第二段从 5 万吨级码头至 5 千吨级液化码头, 该段航道长约 3 海里, 设计水深 -10 米 ~ -14 米。另一条从南、北港池的进港航道至东营港引堤南北方波堤口门处航段, 长约 3.15 海里, 宽约 250 米, 航道内设计水深 -17 米。

通过临时航道后, 有三条较短的浅水航道。北港池的北航道长约 0.9 海里, 设计水深 -7.5 米, 宽约 100 米, 仅限于小型船舶通航。进入南港池的航道长约 1.15 海里, 宽约 250 米, 设计水深 -7.5 米。

十万吨航道两侧建设防波挡沙堤, 防波挡沙堤总长 13009 米。防波挡沙堤在最初 200 米内堤顶高程由 5 米过渡到 1 米, 然后由 1 米过渡到 -9 米。防沙堤在海底形成屏障, 对海流产生流向改变、加速作用, 受阻海流将沿潜堤方向寻找突破口。随着潜堤高度减小, 海流会由表层到底层绕过潜堤到达潜堤另一侧。受潜堤挑流作用影响, 海流运动方向和速度将发生变化。当防波挡沙堤上有 5 米水深时, 表层流流速最大, 对吃水 5 米左右的船舶影响最大, 航道航行需要不断调整航向。2016 年, 某船因调整流压差不及时, 流压作用船舶越过航道南侧红浮筒触碰防波挡沙堤。

在 11# 浮 12# 浮附近即防波挡沙堤堤口, 水流压力大, 船舶交通流大, 交汇船舶多。进港船舶经过临时航道后进入宝通国际码头航道。因为宝通国际码头航道 1# 至 3# 浮附近疏浚施工, 设置了宝通国际码头临时航道。宝港国际航道、顺东航道共用了部分万通南港池航道。往万通国际码头、顺鑫码头和宝港国际码头的船舶要通过 AIS 时刻关注船位和动态, 确认甚高频通信正常,

驾驶员要加强瞭望、谨慎驾驶。

进出港船舶在临时航道交汇, 不能在万通南港池航道、顺东航道和宝港国际码头航道交汇。

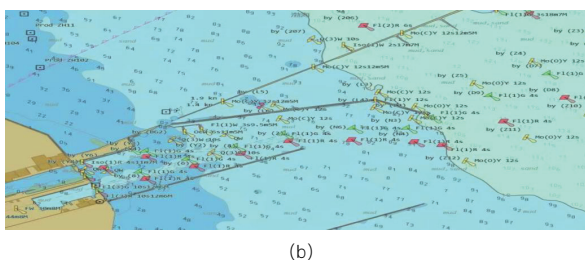
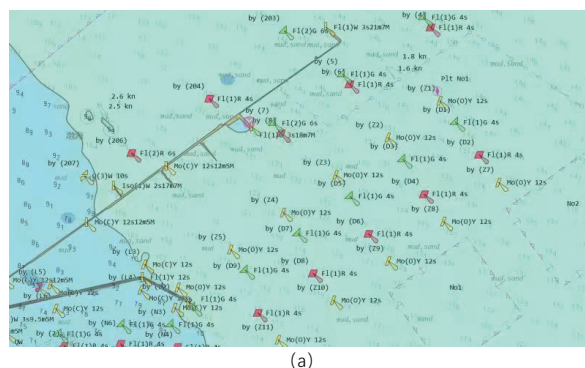


图 1 东营港航道示意图

Fig. 1 schematic diagram of the channel of Dongying Port

2 船舶港内航道航行风险研究

2.1 船舶港内航道航行风险因素

船舶自锚地到泊位经历的风险是一个复杂的系统过程, 是由人 - 机 - 环境组成的有机整体。船舶从锚地驶入泊位或从泊位驶往锚地影响航行安全的因素有外部环境 (风向、风力、流向、流速、潮汐和能见度)、航道条件 (航道宽度、深度和弯曲度)、船舶交通流 (船舶密度、各船船速)、船舶 (设备状况、应急效率) 和人员 (业务技能、配员) 等^[7]。

为了使船舶港内航行风险评估具有客观性和可操作性, 根据已有专家研究成果和实际情况选取影响因素。基于综合考虑选取“外部条件”和“船舶”作为研究对象, 研究外部环境、航道条件、船舶交通流和人员相互影响导致的船舶航行风险, 建立评估指标集 $u_0 = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)$ 。这 5 个评估因素相互作用, 构成了船舶港内航道航行风险因素系统^[8-9]。

2.2 分析法模型

运用物元分析法解决不相容问题的特性建立分析法模型。设物元的状态 N 、研究指标 D 和物理量值 x 三要素描述物元不同问题下的状态, 构成物元 V 成分的基本元。 V 表示状态 N 的一物

元 (N,D,X)。

物元在某时状态 N 有 m 个指标 D_1, D_2, \dots, D_m , 对应量值为 x_1, x_2, \dots, x_m , 则 N 的 m 物元记作:

$$\begin{bmatrix} N & D_1 & x_1 \\ & \vdots & \vdots \\ & D_m & x_m \end{bmatrix} \dots\dots (1)$$

若物元有 n 个状态 N_1, N_2, \dots, N_n , 具有 m 个统一指标 D_1, D_2, \dots, D_m , 物元 N_i 的指标 D_i 相应量值

$$v_h = v_q = v_\varepsilon = \begin{bmatrix} N_1 & \dots & N_n \\ H_i & H_1 = \sum_{j=1}^m q_j \varepsilon_{j1} & \dots & H_n = \sum_{j=1}^m q_j \varepsilon_{jn} \end{bmatrix} \dots\dots (3)$$

式 (3) 中, H_i 表示第 i 个状态的关联程度, V_h 表示由 n 个元素组成的关联程度复合单元。

2.4 确定评估权重

利用信息熵评估指标信息的效用及其有序性优点, 评估判断矩阵指标值的指标权重, 消除主观因素对计算指标权重的影响, 力求评估结果符合实际情况^[10]。信息熵评估法确定指标权重有如下步骤:

以 $w_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 代表某一时间 N 的状态第 j 指标权重, 则指标权重复合元 V_w 为:

$$V_w = \begin{bmatrix} q_1 & D_1 & \dots & D_m \\ & q_1 & \dots & q_m \end{bmatrix} \dots\dots (4)$$

假设物元有 n 个状态, 每一状态有 m 个指标, 第 i 个状态的第 j 个指标数值为 $x_{ji} (n \geq i \geq 1, m \geq j \geq 1)$, 则初矩阵为:

$$X = (x_{ji})_{m \times n} \dots\dots (5)$$

计算得到各指标权重值为:

$$Q = (q_1, q_2, \dots, q_m) \dots\dots (6)$$

2.5 建立隶属矩阵

1) 将效用值转换为:

$$u_{ji} = \frac{x_{ji} - \min x_{ji}}{\max x_{ji} - \min x_{ji}} \quad (j=1, 2, \dots, m; i=1, 2, \dots, n) \dots\dots (7)$$

2) 转换隶属矩阵

隶属系数和关联系数可转换, 即 ε_{ji} 为第 i 状态与第 j 标准状态指标的相关系数, 可得到相关系数矩阵:

为 x_{ji} , 则复合分析矩阵为:

$$V_{m,n} = \begin{bmatrix} N_1 & \dots & N_n \\ D_1 & x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ D_m & x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \dots\dots (2)$$

2.3 关联度计算

关联度 H_i 实质上是标准事物与某一事物关联程度的量值。经过平均加权处理后, 有

$$v_\varepsilon = \begin{bmatrix} N_1 & \dots & N_n \\ D_1 & \varepsilon_{11} & \dots & \varepsilon_{1n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ D_m & \varepsilon_{m1} & \dots & \varepsilon_{mn} \end{bmatrix} \dots\dots (8)$$

2.6 相关度求解

计算出相关度后, 按照相关度原则, 对相关度比较取得最理想的解。相关度强的为大, 相关度弱的为小^[11]。用 $H^* = \max(h_1, h_2, \dots, h_n)$ 代表相关度, H^* 对应的物元就是最理想的物元。

3 案例验证

选取东营港内航道水域, 以某船在高潮前 3 小时备车进港, 从南港池进航道经万通航道航行至宝港国际一期码头为例, 对航经此航线船舶动态风险进行分析评估。

3.1 船舶航行评价

在假设情景条件不变的情况下, 每隔半小时对 5 个船舶航行安全影响因素进行一次样本信息数据采集, 运用调查问卷形式定性判断各影响因素。各个影响因素所处风险状态分为很强 (A_1)、强 (A_2)、一般 (A_3)、弱 (A_4) 和很弱 (A_5) 5 大状态^[12-13]。

海域与航时划分: 以半个航时作为一个航时单位, K_0 表示进港开航时间, K_1 表示进港半个航时, \dots , K_{10} 表示船舶靠妥码头时间。以东营海事局 2020 年官方数据和专家调查问卷结果做依托。专家组包括海事局人员、东营港引航人员、高校教师和高级船员。共发放调查问卷 300 份, 收回有效调查问卷 290 份, 调查结果如表 1。

表 1 不同航时船舶进出靠泊东营港码头调查问卷表

Table 1 questionnaire on the entry and exit of ships in and out of berthing Dongying Port at different voyages

海域与航时	K_0	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}
外部环境 U_1	A_2	A_2	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_1	A_1
航道条件 U_2	A_2	A_2	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3
船舶交通流 U_3	A_1	A_1	A_2	A_3	A_3	A_3	A_2	A_2	A_2	A_1	A_1
船舶 U_4	A_3	A_4	A_4	A_4	A_4	A_4	A_3	A_3	A_2	A_2	A_2
人员 U_5	A_2	A_2	A_3	A_4	A_4	A_4	A_3	A_3	A_3	A_2	A_2

根据调查问卷表的实际评估,需要量化转化。
本研究选取高斯分布取得随机信息数据,该数据
为船舶从开航到靠妥码头3个小时一次随机的11
个航时状态的风险因子信息数据。

3.2 熵权法风险仿真

以外部环境(风向、风力、流向、流速、潮汐、
能见度)、航道条件(航道宽度、深度、弯曲度)、
船舶交通流(船舶密度、各船船速)、船舶(设
备状况、应急效率)、人员(业务技能、配员)
为风险评估因素,以半小时船时间隔作分析对象,
通过熵权物元计算方法,依据计算结果确定不同
船时该海域各影响因素的风险相关度大小^[14-15]。

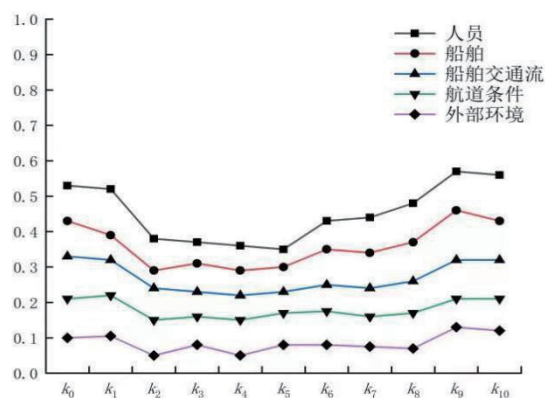


图 2 航行船舶不同船时风险因子值

Fig. 2 value of risk factor when sailing ships with different ships

将风险因素数据量化后,运用熵权法取得各因素的权重 V_q 。

$$V_q = \begin{bmatrix} d_1 & d_2 & d_3 & d_4 & d_5 \\ q_j & 0.213 & 0.257 & 0.220 & 0.163 & 0.140 \end{bmatrix} \dots (9)$$

运用式(7)~式(9)计算风险因素值,求取各因素隶属程度 v_e 。

$$v_e = \begin{bmatrix} N_0 & N_1 & N_2 & N_3 & N_4 & N_5 & N_6 & N_7 & N_8 & N_9 & N_{10} \\ D_1 & 0.641 & 0.721 & 0.000 & 0.241 & 0.016 & 0.286 & 0.326 & 0.290 & 0.145 & 1.000 & 0.910 \\ D_2 & 1.000 & 0.988 & 0.141 & 0.000 & 0.106 & 0.236 & 0.269 & 0.019 & 0.440 & 0.301 & 0.550 \\ D_3 & 0.978 & 0.761 & 0.473 & 0.220 & 0.160 & 0.000 & 0.364 & 0.410 & 0.549 & 1.000 & 0.892 \\ D_4 & 0.486 & 0.171 & 0.000 & 0.292 & 0.166 & 0.167 & 0.597 & 0.609 & 0.751 & 1.000 & 0.834 \\ D_5 & 0.699 & 1.000 & 0.372 & 0.091 & 0.190 & 0.000 & 0.303 & 0.570 & 0.564 & 0.700 & 0.882 \end{bmatrix}$$

运用式(3)求得该海域风险因素相关度 V_h

$$V_h = \begin{bmatrix} H_0 & H_1 & H_2 & H_3 & H_4 & H_5 & H_6 & H_7 \\ p & 0.790 & 0.747 & 0.193 & 0.161 & 0.120 & 0.149 & 0.360 & 0.338 \\ & & & H_8 & H_9 & H_{10} & & & \\ & & & 0.469 & 0.776 & 0.796 & & & \end{bmatrix}$$

得到该海域不同船时风险评估仿真图(图3)。假如对表1内11个船时风险因素数据多次量化和多次仿真,可得到风险因素多次仿真下的相关度结果。

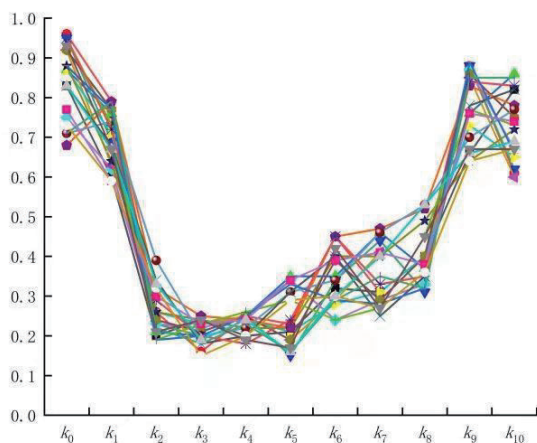


图3 航行船舶不同船时风险动态分析仿真图

Fig. 3 Simulation diagram of dynamic risk analysis of different ships

分析图3可知:

东营港航道船舶航行风险呈“V”形分布,风险变化整体稳定。影响风险波动的因素有:进出口航道是人工疏浚航道,且航道两侧建有防波挡沙堤,表层流流速很强,航行船舶风险值很大;防波挡沙堤堤口附近航道交汇,水流流压差大,船舶流量大,交汇船型多,风险值增大。

船舶所处船位不同或船时不同风险值有较大差异,表明船舶进出口航道航行风险有很大波动性,引水员和船舶驾驶人员务必高度重视。

航道高风险海区主要在5#、7#、9#浮筒附近,航道中段风险水平略低,但是局部海区风险水平有变化。

十万吨航道两侧有防波挡沙堤,当防波挡沙堤上有5米水深时,表层流流速最大,航行船舶风险最大,需要不断调整航向,以抵消水流流压差影响。

防波挡沙堤堤口,即11#浮筒、12#浮筒附近水流压力大,船舶密度大,进出港船舶多,且有众多不按照规定航行的渔船穿插航道,船舶风险急剧增大,应控制船速、备双锚,谨慎航行。

宝通国际码头1#浮筒至3#浮筒之间疏浚作业,从而设置了临时航道。因为临时航道与顺东航道部分共用,所以此航区狭窄、航道密度陡增,

靠离泊船舶半小时内风险较大,引水员和船舶驾驶员应通过AIS时刻关注船舶动态,加强瞭望、谨慎驾驶。

4 结语

东营港内航道船舶航行风险因素随航道海域和船时不同而动态变化,风险因素的作用有较大不同。基于物元分析法模型,从船舶航道航行风险仿真具有的随机性变化特征所反映的信息数据无序化来合理确定指标权重值,客观评估船舶航道航行过程整体动态风险值。航道航行过程中的风险特征通过仿真应用体现的结果符合实际。

通过船舶东营港内航道航行风险研究可以得到:船舶交通流(航行船舶密度、各船船速)是影响船舶航行风险的首要因素。外部环境(风向、风力、流向、流速、潮汐、能见度)和航道条件(航道宽度、深度、弯曲度)是影响船舶航行风险的次要因素。船舶(设备状况、应急效率)和人员(业务技能、配员)对船舶航行风险的影响相对不大,但不能忽略。

参考文献:

- [1] 李壮,付姗姗,高郭平,席永涛,胡甚平.海冰影响下船舶北极水域航行风险评估方法[J].交通信息与安全,2020,38(03):92-98.
- [2] 刘磊.武汉桥区水域船舶航行碰撞风险可视化研究[D].武汉理工大学,2018.
- [3] 万子谦.船舶航行风险的识别、过滤与评估研究[D].哈尔滨工程大学,2017.
- [4] 郑世民,翁大涛,刘广强.跨海客滚运输船舶航行风险评估[J].交通运输研究,2015,1(04):75-80.
- [5] 张树奎,肖英杰.实时交通流条件下船舶航道航行风险预警模型[J].上海海事大学学报,2015,36(04):11-15.
- [6] 张树奎,肖英杰,苏文明.航道内实时船舶交通流航行风险主动评估[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2016,35(02):151-155.
- [7] 崔怀峰,江军.基于WBS-RBS模型的白茆沙水道船舶航行风险[J].航海技术,2017,(03):7-10.
- [8] 付姗姗,张笛,桑凌志,严新平.柔性工程理论在极地船舶航行风险防控中的应用[J].极地研究,2016,28(02):250-256.

- [9] 轩少永, 黎法明, 胡甚平, 席永涛. 广州港水域船舶航行风险评估 [J]. 中国航海, 2013, 36(04): 96-99.
- [10] 王高耀, 梁小成. 基于航行风险的船舶交管系统的分级管理 [J]. 中国航海, 2010, 33(03): 47-50+63.
- [11] 汤国杰. 超大型船舶受限水域航行风险评价 [J]. 中国航海, 2010, 33(03): 105-108.
- [12] 应荣鎔, 石爱国, 蔡烽, 王骁, 杨宝璋. 船舶大风浪航行风险等级评估 [J]. 中国航海, 2009, 32(04): 49-52+76.
- [13] 席永涛, 方泉根. 船舶航行风险形成原因重要度分析与计算 [J]. 中国航海, 2007, (02): 39-43.
- [14] 孙祖杰. 船舶安全航行风险分析及应对措施 [J]. 船舶物资与市场, 2020, (04): 68-69.
- [15] 刘家国, 崔进, 周欢, 万子谦, 曹静. 基于HHM-RFRM的船舶航行风险评估方法研究 [J]. 中国管理科学, 2019, 27(05): 174-183.

Navigation Risk Assessment of Ships in Dongying Port Channel

LI Cheng—hai¹, YANG Hong—hai², HU Shen—ping³

(1. Shandong Vocational College of Communications, Weifang 261206, China; 2. Dongying Pilot Station, Dongying 257100, China; 3. Shanghai Maritime Univ, Shanghai 201306, China)

Abstract: Taking the navigation state of a ship from Anchorage to berth as the research object, the overall dynamic risk of the navigation process of the ship channel is evaluated based on the matter element analysis model, and the index weight value determined by the information data is used to obtain the simulation chart of the dynamic risk assessment of navigation in the ship channel, so as to provide a theoretical basis for the safety management of port and shipping management departments and shipping companies. The actual ship verification results show that the risk of ship navigation in Dongying Port shows a "V" shape, and the risk is the highest near float No. 5 to No. 9, and the ship traffic flow is the primary factor affecting the risk of ship navigation. Based on the matter element analysis model, there can be a scientific and reasonable assessment of the dynamic risk of ship navigation.

Keywords: ship; waterway navigation; matter element analysis model 'system simulation; dynamic risk assessment