

# 基于层次分析法的成山头商渔船碰撞安全评价

王士鹏,周兆欣\*,韩洋,秦圻,段鹏飞,冯喜惠

山东交通学院 航运学院,山东 威海 264200

**摘要:**为减少成山头水域商渔船碰撞事故的发生,分析引发事故的主要影响因素,邀请相关专家参与问卷调查,对成山头水域近10a的商渔船碰撞事故进行系统分析,从事事故致因理论“人-机-环-管”4个角度研究事故影响因素,构建成山头商渔船碰撞安全风险评价体系,运用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)构建比较矩阵,对各影响因素进行权重分析。结果表明:人员因素是造成成山头商渔船碰撞的主要影响因素,其余依次是管理因素、船舶因素和环境因素,并根据各影响因素的权重及特点提出针对性整改意见,为商渔船避碰研究提供一定的理论参考。

**关键词:**AHP;事故致因理论;商渔船碰撞;安全评价;成山头水域

**中图分类号:**U676.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-0032(2022)02-0041-07

**引用格式:**王士鹏,周兆欣,韩洋,等.基于层次分析法的成山头商渔船碰撞安全评价[J].山东交通学院学报,2022,30(2):41-47.

WANG Shipeng, ZHOU Zhaoxin, HAN Yang, et al. Collision safety evaluation of Chengshantou commercial fishing vessels based on analytic hierarchy process [J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2022, 30(2):41-47.

## 0 引言

随着我国海运事业及经济全球化的不断发展,各国间的贸易合作日益紧密,货物运输不断加强,我国沿海已经成为世界上水上交通最繁忙的区域之一<sup>[1]</sup>。成山头水域作为我国主要的海上交通要道之一,是船舶进出渤海及黄海的必经之路,也是我国北方沿海重要的渔业水域<sup>[2]</sup>,在捕鱼高峰时,许多渔船在成山头水域频繁从事渔业活动。因此,成山头水域的通航环境相对复杂,商船与渔船的矛盾较为突出,商船与渔船的碰撞事故频发,给船员、公司及国家造成了较大损失。为了满足时代发展的需要,改善海上船舶运营的安全环境,减少商渔船碰撞事故的发生,用科学有效的方法对海上商渔船碰撞的潜在风险进行评价、控制及预防刻不容缓。

目前对商渔船碰撞的研究主要集中在渔船碰撞事故分析、渔船检测系统研究及商渔船航行安全3个部分。在对渔船碰撞事故分析部分,杨志成<sup>[3]</sup>分析浙江沿海水域近10a的商渔船碰撞事故调查报告,揭示了事故发生的规律、特点及原因,并提出了相关应对建议;谢启迪<sup>[4]</sup>分析宁波辖区历年商渔船碰撞事故,通过事故致因理论分析并结合辖区现状提出了对应可行的改进措施;尹相等<sup>[5]</sup>根据商渔船碰撞事

**收稿日期:**2021-06-08

**基金项目:**山东省交通运输厅科技计划项目(2020B91);国家级大学生创新创业训练计划项目(S202011510006);山东省大学生创新创业训练计划项目(S202111510074,S202011510094S);山东交通学院研究生科技创新项目(2021YK02)

**第一作者简介:**王士鹏(1995—),男,济南人,无限航区一等三副,硕士研究生,主要研究方向为航海安全、水上救助与打捞技术,E-mail:wangsp1228@163.com。

\* **通信作者简介:**周兆欣(1971—),男,山东威海人,教授,工学硕士,主要研究方向为水上通航安全,E-mail:zhouzhaoxinwh@126.com。

故的系统特点,引入复杂系统脆性理论,并建立脆性关联模型,计算各子系统的脆性波动熵和脆性联系熵,得出人的不安全行为是事故的主要原因;苏六十<sup>[6]</sup>根据实际地理情况,通过对天气、时间、空间等自然因素导致商渔船碰撞事故进行分析,挖掘引发事故的原因。在渔船检测系统研究部分,Edgar等<sup>[7]</sup>开发了一种渔船时空船只监测系统,在墨西哥湾东南部一个小型船队测试监测系统,测试结果表明,环境因素对该船队有较大的潜在干扰;吴宝福<sup>[8]</sup>以渔船轨迹数据为研究对象,利用渔船轨迹数据的时序性、渔船的状态延续性与快速切换性特点,提出了2种基于轨迹段的渔船行为判别方法:基于密度聚类算法的渔船行为判别方法和基于核心距离多步聚类的渔船行为判别方法;Birchenough等<sup>[9]</sup>检验了船舶监控系统在波尔港内作业、小于12 m的渔船组成的近岸渔业捕捞活动量化的有效性。在商渔船航行安全部分,李先强<sup>[10]</sup>对商船如何采取适当措施,减少甚至避免商渔船碰撞事故的发生进行了深入研究;闫循堂<sup>[11]</sup>统计分析成山头水域2009—2013年发生的水上交通事故,从事故发生的等级、时间、船舶、种类等方面查找原因及规律,提出应从船舶定线制的设置、加强气象预警、加强联合巡航执法、提高船员综合素质等方面探索成山头水域安全管理对策;梁栋<sup>[12]</sup>分析福州沿海通航环境,结合对商渔船水上交通事故时空分布及致因的剖析,总结福州沿海渔船活动规律,分析其与商船航行间的关系;林国新等<sup>[13]</sup>分析台湾海峡商渔船碰撞典型案例,研究成因规律及防范措施。

现有成果显示,学术界对商渔船碰撞致因研究较多,结合算法的应用研究较少。为降低成山头商渔船碰撞的交通风险,本文采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)分析成山头水域商渔船碰撞安全的主要影响因素,将事故致因理论与AHP相结合的算法应用到商渔船避碰安全评价分析研究中,从事事故致因理论“人-机-环-管”4个角度分析成山头水域商渔船碰撞安全的影响因素,结合AHP对各影响因素进行权重分析,通过权重分析结果提出针对性的指导建议,为完善、健全成山头商渔船安全管理体系提供理论支持。

## 1 成山头水域商渔船碰撞影响因素分析

### 1.1 事故致因理论分析

为分析引发成山头水域商渔船碰撞事故的主要影响因素,分析了成山头水域近10 a的商渔船碰撞事故数据,并通过征求相关专家意见,了解碰撞事故发生的主要类型、原因及特点。从事事故致因理论的“人-机-环-管”4个角度,构建成山头商渔船碰撞安全风险评价体系。商渔船碰撞的安全影响因素主要由4点构成:一是人员的影响,主要指商渔船船员的自身航海素质,影响船员航海素质的原因是多方面的,包括船员身体状况、船员心理素质、船员责任心、船员受教育程度及船员专业技能水平等<sup>[14]</sup>;二是船舶的影响,通常指影响商渔船船员操纵船舶及做出正确判断的外在和内在因素,包括船舶的类型、大小、操纵性能、船载导航设备状况及其它设备安全隐患等;三是环境的影响,通常指对商渔船船员及船舶航行过程中的影响,包括天气状况、交通流密集程度、航道深度、航道宽度、时差影响及噪声影响等;四是管理的影响,主要体现在船舶管理对于船舶航行和船员的安全方面,包括船舶配员、法规要求、船舶交通服务(vessel traffic service, VTS)调度水平、主管机关的监管力度及船东自身管理等<sup>[15]</sup>。

因此,构建商渔船碰撞安全风险评价体系,如图1所示。

### 1.2 AHP分析步骤

AHP由美国运筹学家T. L. Saaty于20世纪70年代初期提出,用于确定评价模型中各评价影响因素的权重,进一步选择最优方案。AHP具有系统性、简洁性及灵活性等优点,在解决实际问题时,AHP的主要步骤为:1)从目标层A、准则层B和准则层C3个层次结构构建风险评价体系;2)构建比较矩阵,通过专家问卷形式获取专家评分信息,专家评分的主要参考依据为重要性标度含义表,对准则层B和准则层C各层影响因素之间两两比较确定合适的标度进行赋值;3)将赋值后的各个比较矩阵进行层次单排序处理,并根据平均随机一致性指标表进行一致性检验;4)通过层次总排序判断每个比较矩阵中各影响因素对目标层的综合权重,并进行一致性检验<sup>[16]</sup>。

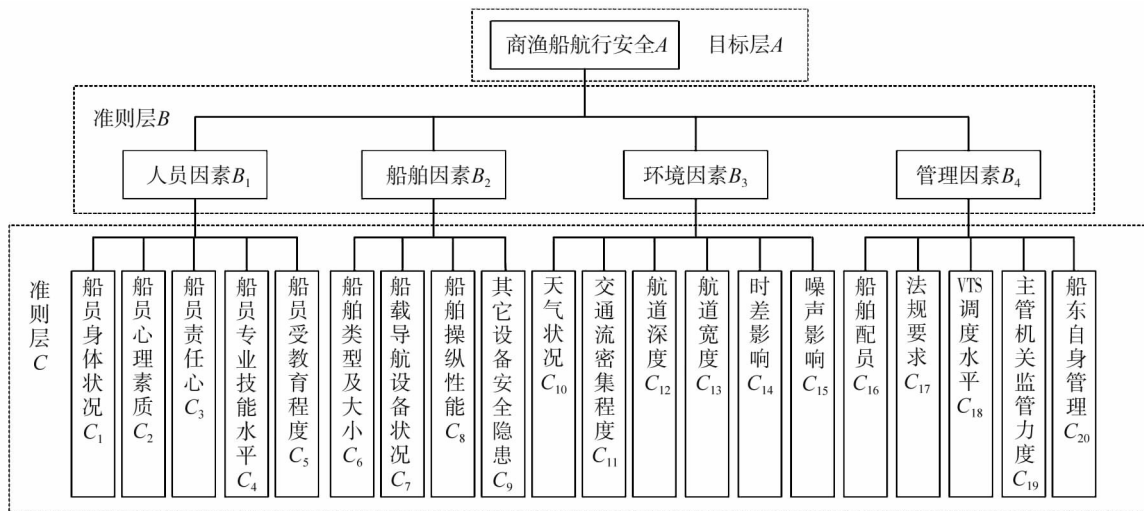


图 1 商渔船碰撞安全风险评价体系

## 2 层次分析法在商渔船碰撞影响分析中的应用

### 2.1 构建比较矩阵

邀请有航海经验的船长、轮机长、船员及航海类院校专业老师等专家参与问卷调查,获得专家打分数据,共发放 20 份调查问卷,有效收回 18 份。根据重要性标度含义表中 1~9 的重要性标度对准则层 B 和准则层 C 各影响因素进行赋值打分,构建比较矩阵,重要性标度含义见表 1<sup>[17]</sup>。

表 1 重要性标度含义

重要性标度	含 义
1	2 个因素相比,具有同等重要性
3	2 个因素相比,前者比后者稍重要
5	2 个因素相比,前者比后者明显重要
7	2 个因素相比,前者比后者强烈重要
9	2 个因素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	上述判断的中间值
倒数	若元素 $i, j$ 的重要性之比为 $a_{ij}$ , 则元素 $j, i$ 的重要性之比为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

### 2.2 比较矩阵单排序及一致性检验

构建比较矩阵后,对比较矩阵各层进行单排序,并检验是否满足一致性要求。以准则层 B 各影响因素的比较矩阵 X 为例进行计算,其余层计算排序步骤相同。

#### 2.2.1 比较矩阵单排序

比较矩阵单排序是求该层各风险因素对目标权重的计算过程,采用 Python 软件,用算术平均法计算各影响因素的权重。

1) 构建经专家打分后的准则层 B 各影响因素的比较矩阵

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 8 & 5 & 2 \\ 1/8 & 1 & 1/3 & 1/4 \\ 1/5 & 3 & 1 & 1/3 \\ 1/2 & 4 & 3 & 1 \end{pmatrix}。$$

2)将矩阵  $X$  按列进行归一化处理,采用算术平均法计算权重。

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, (i = 1, 2, \dots, n),$$

式中: $n$  为列数, $a_{ij}$  为  $X$  内第  $i$  行第  $j$  列的元素。

经计算,得  $W_1 = 0.5797, W_2 = 0.1202, W_3 = 0.1038, W_4 = 0.1963$ 。

同理可计算准则层  $C$  各影响因素对目标层  $B$  的权重  $W_{C_i}$ 。

最后可计算准则层  $C$  对目标层  $A$  的综合权重  $W_Z$ ,以保证所有指标的权重之和为 1。 $W_Z$  的计算公式为

$$W_Z = W_i W_{C_i}。$$

### 2.2.2 一致性检验

1)采用 Python 软件计算比较矩阵的最大特征值

$$\lambda_{\max} \approx \sum_{i=1}^n \frac{(XW)_i}{nW_i},$$

式中  $W$  为权重矩阵。

经计算得  $\lambda_{\max} = 4.1842$ 。

2)一致性指标

$$C_L = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}。$$

通过计算一致性检验比率  $C_R$  判断结果是否通过一致性检验,计算公式为:

$$C_R = \frac{C_L}{R_1},$$

式中  $R_1$  为随机一致性指标。

$R_1$  取值如表 2 所示。

表 2  $R_1$  对应数值

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$R_1$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

可以认为  $C_R < 0.1$  时,矩阵  $X$  通过一致性检验,矩阵构造合理, $C_R$  越大,比较矩阵的不一致性程度越严重<sup>[16]</sup>。

计算可得  $C_R = 0.0682 < 0.1$ ,矩阵  $X$  通过一致性检验。

### 2.3 比较矩阵总排序及一致性检验

层次总排序是计算准则层  $B$  及准则层  $C$  所有影响因素对目标层  $A$  的相对权值,采用从上而下的计算方法,逐层合成。成山头商渔船碰撞安全评价各影响因素总排序见表 3。

由表 3 可知:在准则层  $B$  各影响因素中, $B_1$  的权重最大,其余依次是  $B_4, B_2, B_3$ 。在商渔船碰撞安全风险中,应首先考虑人员因素的影响,其次是管理因素、船舶因素及环境因素。

在  $B_1$  影响方面, $C_3$  的权重最大, $C_1$  的权重最小。在成山头水域商渔船实际碰撞事故中,值班驾驶员存在玩忽职守的现象,对待工作不负责任,部分驾驶员对自己的操船技术过于自信,对可能存在的碰撞危险未能做出充分估计和准确判断,未及时采取有效的避让措施<sup>[17]</sup>。还有一种原因是部分驾驶员航行交接班期间,未按规定对相关事项“交清接明”,未留出充裕时间让接班人员熟悉航行环境,导致接班驾驶员对当前船舶航行环境不明确,对危险局面未做出正确判断,无法采取准确的避让行动。因此,需提高商渔船船员的业务素质,培养船员的责任心,以提高船员海上航行安全意识,降低海上商渔船碰撞交通风险。

表3 成山头商渔船碰撞安全评价各影响因素总排序

准则层 $B$	$W_i$	准则层 $C$	$W_{C_i}$	$C_R$	$W_Z$
$B_1$	0.579 7	$C_1$	0.047 0	0.059 7	0.027 3
		$C_2$	0.185 4		0.107 5
		$C_3$	0.389 1		0.225 6
		$C_4$	0.263 5		0.152 7
		$C_5$	0.114 9		0.066 6
$B_2$	0.120 2	$C_6$	0.183 3	0.036 3	0.022 0
		$C_7$	0.487 2		0.058 6
		$C_8$	0.213 1		0.025 6
		$C_9$	0.116 4		0.014 0
		$C_{10}$	0.409 6		0.042 5
$B_3$	0.103 8	$C_{11}$	0.256 0	0.067 2	0.026 6
		$C_{12}$	0.045 1		0.004 7
		$C_{13}$	0.043 2		0.004 5
		$C_{14}$	0.155 0		0.016 1
		$C_{15}$	0.091 1		0.009 5
$B_4$	0.196 3	$C_{16}$	0.068 6	0.025 5	0.013 5
		$C_{17}$	0.329 1		0.064 6
		$C_{18}$	0.118 4		0.023 2
		$C_{19}$	0.338 8		0.066 5
		$C_{20}$	0.145 0		0.028 5

在  $B_4$  影响方面,  $C_{17}$  和  $C_{19}$  的权重最大。说明船舶管理对商渔船碰撞的安全影响极为重要。为有效解决“带病”渔船事故频发的问题,建议相关渔业主管部门加强渔船监管,依法打击涉渔“三无”船舶,加大对渔船船员持证情况的监督检查,提高水上交通安全与人员安全。在对商船的管理过程中,主管机关应加强对辖区所属公司的船员岗前培训、安全管理体系在船落实等情况的督查管理<sup>[18]</sup>。

在  $B_2$  影响方面,  $C_7$  权重最大,  $C_9$  的权重最小。在实际船舶航行运营中,部分商船导航、助航设备性能仍存在技术限制,例如雷达回波受风浪、雨雪、天线或船体遮蔽等影响,可能探测不到小物标,雷达图像经人为判断处理后也容易遗漏小物标。部分老旧船型驾驶室布置不合理,不利于驾驶员在紧急情况下进行必要的避碰操作。例如在雾号装置需手动鸣放时,驾驶室位置离雷达及操舵系统有一段距离,在紧急情况下操纵船舶与鸣放雾号示警难以兼顾<sup>[19]</sup>。随着科技和时代的进步,无论是商船还是渔船都应该重视对船载导航设备、仪器设备、船舶自动识别系统(automatic identification system, AIS)设备及电子海图显示与信息系统(electronic chart display and information system, ECDIS)设备的升级和完善,给驾驶员提供更多可靠的数据,充分发挥助航设备在航行安全方面的作用。

在  $B_3$  影响方面,  $C_{10}$  的权重最大。在环境影响因素方面,应加强对天气状况变化的观测及监测。尽管气象学、海洋科学及大气科学的发展已有了突破性的进展,但对海上天气的预报,如雾、风、流、涌等因素的掌握也无法做到百分百精准。在恶劣天气条件下,船舶固有特性决定天气对渔船的影响要远大于商船,因此渔船船员需要加大岗位培训力度及相关航海规定的学习与了解,确保关于雾航、商渔船避碰等要求在船上得到有效落实<sup>[20]</sup>。对于商船来讲,要发挥良好船艺,结合规范使用相关导助航仪器,降低不良条件下对船舶航行安全的影响。

### 3 结论

本文将事故致因理论与层次分析法相结合,应用到商渔船避碰安全评价分析中,通过分析成山头水域商渔船碰撞安全风险因素权重可知,人为因素是造成海上商渔船碰撞事故发生的主要影响因素,其次是管理因素、船舶因素及环境因素。

商船与渔船在实际航行中如产生交叉相遇等危险局面时,人员因素应是确保安全航行中的防御重点。建议船舶经营人、实际管理人进一步强化公司管理体系的执行,加大对船员的岗位培训力度,加强对所属公司的船员岗前培训、安全管理体系在船落实等情况的督查管理,并定期开展安全知识培训,尤其应注重渔船的航行特点及商渔船会遇避让等方面的培训;开展商渔安全警示教育,可联合渔港监督部开展形式多样的商渔安全警示教育,或通过走访港行企业、渔业公司宣传商渔碰撞知识,定期开展雾航安全教育专项活动,或在休渔期间组织渔民开展安全培训,为渔民讲解专业的避碰知识等。

#### 参考文献:

- [1] 范中洲,洪碧光,张闯. 成山角水域大型船舶定线制和报告制的研究[J]. 航海技术, 2012(2): 2-4.
- [2] 吴晨辉. 基于事故树方法的成山头海域渔商船碰撞事故分析及预防[J]. 青岛远洋船员职业学院学报, 2020, 41(1): 12-15.  
WU Chenhui. Analysis and prevention of collision accident of commercial vessels and fishing boats in Chenshantou sea area based on accident tree method[J]. Journal of Qingdao Ocean Shipping Mariners College, 2020, 41(1): 12-15.
- [3] 杨志成. 浙江沿海水域商渔船碰撞事故发生规律及商船防范措施[J]. 中国海事, 2020(12): 20-23.  
YANG Zhicheng. The regularity of collision accident between merchant vessel and fishing vessel at Zhejiang coastal waters and the precaution measures of merchant vessels[J]. China Maritime Safety, 2020(12): 20-23.
- [4] 谢启迪. 渔船与商船碰撞事故原因分析与预防措施[J]. 中国水运(下半月), 2020, 20(6): 25-26.
- [5] 尹相达,李先强,赵学军,等. 基于复杂系统脆性的商渔船碰撞事故分析[J]. 中国航海, 2019, 42(3): 62-66.  
YIN Xiangda, LI Xianqiang, ZHAO Xuejun, et al. Analysis on collision between merchant ship and fishing vessel from angle of brittleness of complex system[J]. Navigation of China, 2019, 42(3): 62-66.
- [6] 苏六十. 基于黄渤海域的商渔船碰撞事故分析[J]. 中国水运, 2019(9): 33-34.
- [7] EDGAR T I, SILVIA S, JORGE E Á I, et al. Spatio-temporal determination of small-scale vessels' fishing grounds using a vessel monitoring system in the southeastern gulf of Mexico[J]. Frontiers in Marine Science, 2021, 8: 542-553.
- [8] 吴宝福. 基于轨迹数据的渔船行为判别关键技术研究[D]. 杭州:杭州电子科技大学, 2019.  
WU Baofu. Research on key technology of vessel behavior identification based on trajectory data[D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2019.
- [9] BIRCHENOUGH S E, COOPER P A, JENSEN A C. Vessel monitoring systems as a tool for mapping fishing effort for a small inshore fishery operating within a marine protected area[J]. Marine Policy, 2021, 124 (Suppl. 1): 104325.
- [10] 李先强. 基于中国沿海商渔船碰撞事故的商船安全航行对策分析[J]. 世界海运, 2018, 41(7): 22-28.
- [11] 闫循堂. 成山角水域水上交通事故原因分析及监管对策研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2016.  
YAN Xuntang. Cause analysis of waterborne traffic accidents in the water area of Chenshanjiao and research on supervision countermeasures[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [12] 梁栋. 福州海事辖区商渔船通航安全协调研究[D]. 大连:大连海事大学, 2016.  
LIANG Dong. Study on navigation safety coordination between merchant ship and fishing ship in Fuzhou maritime jurisdiction area[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2016.
- [13] 林国新,黄敏东. 台湾海峡商渔船碰撞成因规律及防范措施研究[J]. 中国海事, 2015(2): 41-42.  
LIN Guoxin, HUANG Mindong. Research on reason pattern of merchant and fishing vessel collision in Taiwan Strait and associated countermeasures[J]. China Maritime Safety, 2015(2): 41-42.
- [14] 李惠敏. 成山头水域海上交通事故特征及致因分析研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2012.  
LI Huimin. Marine traffic accident characteristics and cause analysis research in the Chengshantou water area[D]. Wuhan:

Wuhan University of Technology, 2012.

[15] 徐善雷, 周文涛. 浅析商船与渔船碰撞事故特点及对策措施[J]. 航海, 2017(5): 43-45.

[16] 邓桂花, 黄立文. 层次分析法在船舶近海安全航行中的应用[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2011, 33(3): 480-482.

DENG Guihua, HUANG Liwen. Application of AHP in safety of navigation in offshore area[J]. Journal of WUT (Information & Management Engineering), 2011, 33(3): 480-482.

[17] 邹俊. 成山头附近海域船舶雾航安全监管对策研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.

ZOU Jun. Research on safety administrative measures for vessels navigating in fog off Chenshanjiao promontory[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2014.

[18] 王欣. 基于船舶操纵性的船舶海上航行安全研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2017.

WANG Xin. The research on the safety of ship navigation on the open sea based on ship maneuverability[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2017.

[19] JIAO Jialong, REN Huilong, SUN Shuzheng. Assessment of surface ship environment adaptability in seaways: a fuzzy comprehensive evaluation method[J]. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2016, 8: 344-359.

[20] NI Huiyang. Research on innovation and development of ship management mode in shipping enterprises[J]. International Journal of Education and Economics, 2020, 3(3): 194-195.

## Collision safety evaluation of Chengshantou commercial fishing vessels based on analytic hierarchy process

WANG Shipeng, ZHOU Zhaoxin<sup>\*</sup>, HAN Yang,  
QIN Qi, DUAN Pengfei, FENG Xihui

School of Shipping, Shandong Jiaotong University, Weihai 264200, China

**Abstract:** To reduce the occurrence of collision between merchant ship and fishing vessel accidents in Chengshantou water area, the main influencing factors of the accident are analyzed, relevant experts' opinions on the commercial fishing vessel collisions in Chengshantou waters in the past 10 years are systematically analyzed. To explore the impact factors of accidents from the accident-causing theory including man-machine-circum-management four angles, Chengshantou collision between merchant ship and fishing vessel safety risk evaluation system is built with the analytic hierarchy process (AHP) to build a comparison matrix and analyze the weight of each influencing factor. The results show that the human factor is the main influencing factor that caused the collision between merchant ship and fishing vessel in Chengshantou, and the rest are management factors, ship factors and environmental factors in order. According to the weight ratio and characteristics of each influencing factor, targeted rectification suggestions are put forward. The research provides a certain theoretical reference to avoid collision between merchant ship and fishing vessel.

**Keywords:** AHP; accident-causing theory; collision between merchant ship and fishing vessel; safety evaluation; Chengshantou water area

(责任编辑:王惠)