

沿海渔船港口通航安全状况指标体系研究

薛臻¹, 任玉清¹, 杨炳栋²

(1. 大连海洋大学 航海与船舶工程学院, 辽宁 大连 116023; 2. 黄骅港引航站, 河北 沧州 061113)

摘要: 为降低沿海渔船港口通航事故风险, 本研究构建合理安全状况指标体系来保障渔船安全。分析并选取安全要素; 根据关联度与信息熵多次筛选指标; 并校核体系合理性。研究表明: 该体系能较为全面地评估通航风险, 保证通航安全。

关键词: 沿海渔船; 港口通航安全状况; 灰色关联度; 信息熵; 指标筛选

中图分类号: U698

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 10—0033—03

我国渔船数量居世界首位, 但渔港规模小, 渔船船型老旧, 渔船事故率高达 18%。因此, 有必要建立沿海渔船港口通航安全状况指标体系, 以评估通航安全性。国内外学者取得了较多成果, 如刘晓佳等^[1]采用改进灰云聚类模型; 余静^[2]用贝叶斯网络法定量分析风险。本研究从人-船-环境-岸基管控的指标选取原则出发, 建立安全状况指标体系。

1 指标的选取

1.1 指标的选取

受渔船港口通航复杂环境和诸多不确定因素影响, 本文对指标的系统性和代表性、可操作性、定量和定性指标相结合、科学性着手, 选取人-船-环境-岸基管控因素, 共分 13 个子节点, 52 个基层评价指标。

根据中国渔业互保协会研究^[3]可知, 渔船事故主要分为: 碰撞、风灾、触损等事故。因此需要针对渔船、船员、渔港的特点, 整理专家组成员意见, 总结指标如表 1 所示。

1.2 指标的分级

采用 0-2 级分级, 等级越大, 状态越好。整理如表 2 所示。

表 2 各项指标分级说明

指标 标号	分级依据 / 单位	分级标准		
		0	1	2
D2	渔船载重吨 /t	[20,50)	[50,200)	[200,500]
D5	浮力储备 /%	[0,10)	[10,20) ∪ [50,100]	[20,50)
D9	航向稳定性指数	(-∞, 0)	(1, +∞)	[0,1]
D10	相对停船冲程	[15, +∞)	(8,15)	[4,8]
D41	富余水深 /m	[0,0.2)	[0.2,0.5)	[0.5, +∞)

表 1 渔船通航安全各级指标

沿海 渔 船 港 口 通 航 安 全 状 况 指 标 A1	渔船因素 B1	装载与船龄 C1	渔获物装载合理性 D1
			渔船载重吨 D2
			船龄 D3
		结构与性能 C2	渔船材质 D4
			浮力储备 D5
			主机功率 D6
			初稳性 D7
			旋回性 D8
			航向稳定性 D9
	制动性能 D10		
	设备与保养 C3	船舶保养程度 D11	
		船舶维修程度 D12	
		安全设备状况 D13	
		机电设备状况 D14	
	船员因素 B2	生理 C4	身体健康状况 D15
			身体疲劳程度 D16
		心理 C5	心理状况 D17
			认知能力 D18
		专业水平 C6	水域 / 海况熟悉情况 D19
			培训程度 D20
			专业技术水平 D21
			船舶 / 设备熟悉程度 D22
	应急能力 D23		
	法律法规熟悉程度 D24		
	环境因素 B3	水文条件 C7	流速 D25
			流向 D26
		气象条件 C8	能见度 D27
			风力等级 D28
			风向 D29
			有义波高 D30
			波向 D31
		干扰因素 C9	交通密度 D32
			碍航物数 D33
			障碍物距离 D34
		停泊条件 C10	泊位长度 D35
			锚地底质 D36
			锚地距航道距离 D37
			锚地种类 D38
			港口航道长度 D39
			航道宽度 D40
		港口航道条件 C11	港口水深富余度 D41
	港口航行限制 D42		
	港口航道交汇点 D43		
	港口航道饱和度 D44		
	港口航道转向点 D45		
	应急锚地设置 D46		
	管理因素 B4	应急管理预案 C12	紧急撤离预案 D47
			航标种类 D48
			防污染管理 D49
		港口管理 C13	航标布置合理性 D50
			港口航标完善率 D51
			VTS 服务 D52

2 安全状况指标的筛选

本研究采用灰色关联度与信息熵理论相结合的方法, 逐级对指标进行筛选, 并建立指标体系图。

法, 逐级对指标进行筛选, 并建立指标体系图。

2.1 系统关联度计算

假设初步所得安全指标有 m 个，每个指标分别收集 n 个样本信息，则有指标数据矩阵 (X_0, X_1, \dots, X_n) 如下。

$$(X_0, X_1, \dots, X_n) = \begin{pmatrix} x_0(1) & x_1(1) & \dots & x_n(1) \\ x_0(2) & x_1(2) & \dots & x_n(2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_0(m) & x_1(m) & \dots & x_n(m) \end{pmatrix} \quad (1)$$

为考察数据集的指标构成，应先确定参考数据序列，其次确定对系统行为造成影响的比较数列。参考序列记作：

$$X_0 = (X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(m)) \quad (2)$$

本研究采用初值镜像化的无量纲处理方式：

$$x_i'(k) = \frac{x_i(k)}{x_i(1)} \quad (3)$$

无量纲化结果：

$$(X'_0, X'_1, \dots, X'_m) = \begin{pmatrix} x'_0(1) & x'_1(1) & \dots & x'_m(1) \\ x'_0(2) & x'_1(2) & \dots & x'_m(2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x'_0(n) & x'_1(n) & \dots & x'_m(n) \end{pmatrix} \quad (4)$$

逐个计算每个被评价对象指标序列与参考序列对应元素的绝对差值即

$$\Delta_i(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)| \quad (5)$$

$$\Delta = \begin{pmatrix} \Delta_{01}(1) & \Delta_{02}(1) & \dots & \Delta_{0m}(1) \\ \Delta_{01}(2) & \Delta_{02}(2) & \dots & \Delta_{0m}(2) \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ \Delta_{01}(n) & \Delta_{02}(n) & \dots & \Delta_{0m}(n) \end{pmatrix} \quad (6)$$

确定对应值的最大最小值

$$m = \min_{s=1}^n \min_{t=1}^m |x_0(t) - x_s(t)| \quad (7)$$

$$M = \max_{s=1}^n \max_{t=1}^m |x_0(t) - x_s(t)| \quad (8)$$

式中： m 为两层式取绝对差值中最小值的计算，第一层为先分别由各比较数列 X_s 曲线上的每一个点与参考序列 X_0 曲线上的每一点之绝对值差值中取最小值，再由这些值中选取最小值，简记为 m 。而 M 则为最大值。

$|x_0(t) - x_s(t)|$ 为各比较数列 X_s 曲线上的每一个点与参考序列 X_0 曲线上的每一个点之绝对差值，记为 $\Delta_{0i}(k)$ 。分别计算每个比较序列与参考序列对应元素的关联系数：

$$r(x'_0(k), x'_i(k)) = \frac{m + \alpha \cdot M}{\Delta_{0i}(k) + \alpha \cdot M} \quad (9)$$

$$r = \begin{pmatrix} r_{01}(1) & r_{02}(1) & \dots & r_{0m}(1) \\ r_{01}(2) & r_{02}(2) & \dots & r_{0m}(2) \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ r_{01}(n) & r_{02}(n) & \dots & r_{0m}(n) \end{pmatrix} \quad (10)$$

式中： α 为分辨系数， $0 < \alpha < 1$ 。一般取值为 0.5。

$$r(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_{0i}(k) \quad (11)$$

表 3 指标与体系关联度

指标	$r(x_i)$	指标	$r(x_i)$	指标	$r(x_i)$	指标	$r(x_i)$	指标	$r(x_i)$
D1	0.9715	D12	0.9284	D23	0.9535	D34	0.8388	D45	0.8320
D2	0.9508	D13	0.9076	D24	0.9653	D35	0.9250	D46	0.9575
D3	0.9130	D14	0.9092	D25	0.9273	D36	0.9605	D47	0.9105
D4	0.9872	D15	0.9810	D26	0.9839	D37	0.8635	D48	0.9090
D5	0.9497	D16	0.9741	D27	0.9062	D38	0.7287	D49	0.9089
D6	0.9604	D17	0.9346	D28	0.9159	D39	0.9684	D50	0.9473
D7	0.9882	D18	0.9710	D29	0.9020	D40	0.9662	D51	0.9446
D8	0.9294	D19	0.9075	D30	0.9426	D41	0.9225	D52	0.9485
D9	0.9079	D20	0.9448	D31	0.9150	D42	0.9515	—	—
D10	0.9292	D21	0.9711	D32	0.9622	D43	0.9111	—	—
D11	0.9699	D22	0.9551	D33	0.6706	D44	0.8824	—	—

系统关联度大于 0.9，代表最终筛选指标所包含有效信息多，与系统关联度高。删除系统关联系数小于 0.9 的指标，即 D33、D34、D37、D38、D44、D45 共 6 项指标。

2.2 信息熵与指标体系图

信息熵的度量代表系统无序程度，熵值越大，其有效信息量越多，对综合评价影响越大。信息熵能有效地反映每个风险因素有效信息量。

$$H_i = -k \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i \quad (12)$$

其中 P_i 为系统中样本 i 的数据占该指标全部样本数据的比重， k 为常数，而 H_i 则为该指标的熵值。

表 4 各指标熵值

指标	H_i	指标	H_i	指标	H_i	指标	H_i	指标	H_i
D1	0.9244	D11	0.9261	D21	0.9233	D31	0.9144	D47	0.8793
D2	0.9251	D12	0.9051	D22	0.9222	D32	0.9042	D48	0.8763
D3	0.9152	D13	0.8636	D23	0.9218	D35	0.9173	D49	0.8834
D4	0.9313	D14	0.8664	D24	0.9248	D36	0.9278	D50	0.9259
D5	0.9252	D15	0.9310	D25	0.9268	D39	0.9208	D51	0.9205
D6	0.9092	D16	0.9287	D26	0.9293	D40	0.9258	D52	0.9225
D7	0.9323	D17	0.9127	D27	0.9231	D41	0.9213	—	—
D8	0.9231	D18	0.9278	D28	0.9204	D42	0.9263	—	—
D9	0.9102	D19	0.9237	D29	0.9034	D43	0.9159	—	—
D10	0.9208	D20	0.9193	D30	0.9227	D46	0.9240	—	—

若指标熵值小于 0.9，则为有序程度较低，因此剔

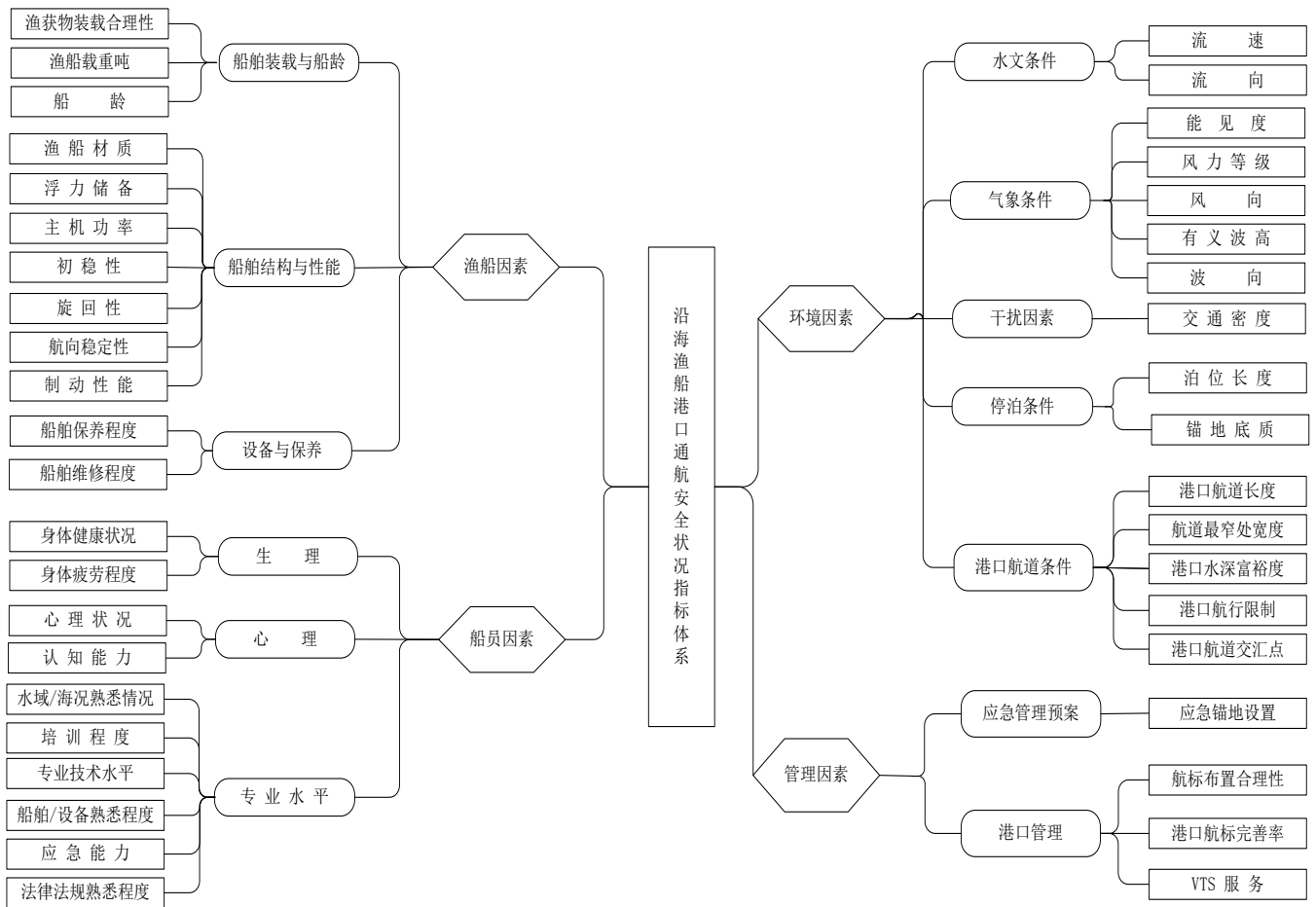


图1 沿海渔船港口通航安全状况指标体系

除 D13、D14、D47、D48、D49 指标。安全状况指标体系如图 1 所示。

3 指标体系合理性检验

为验证合理性，提出指标与系统整体关联度^[4]。采用二次筛选后指标体系所含特征信息量占比与最初指标体系所含特征信息量占比之比值作为整体关联度 α ：

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^m R_1}{\sum_{i=1}^n R_0} \quad (13)$$

式中： R_0 为原始指标关联度之和； R_1 为二次筛选指标关联度之和。计算得 α 为 0.8056，即指标与体系关联较大，能有效呈现体系与指标关联性，动态衡量一个体系变化趋势。

4 结论

采用灰色关联度定性指标并量化处理，以信息熵剔除有序度低指标，并验证体系合理性。结果表明：能

有效地筛选安全代表性指标；合理反映沿海渔船港口通航安全状况。

参考文献：

- [1] 刘晓佳, 张荀, 汪强等. 基于灰云聚类的港口水域通航环境危险度评价 [J]. 中国航海, 2019, 42 (3) : 55-61.
- [2] 余静, 蒋慧园, 胡佳颖. 基于贝叶斯网络的浙江沿海船舶通航风险研究 [J]. 中国航海, 2018, 41 (2) : 97-101.
- [3] 中国渔业互保协会. 中国渔业船舶安全分析报告 (1994-2015) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [4] 张威, 张庆年. 内河无人驾驶船舶航行安全状况指标体系研究 [J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(5):105-110.

基金项目：农业农村部渔业渔政管理局资助项目 (171821301124231120)。