

基于可拓学的锚泊安全评价

鲁峰^{*a},李伟^a,张华^b

(大连海事大学 a.航海学院;b.出版社,辽宁 大连 116026)

摘要:为丰富锚泊安全的有效评价方法,以锚泊安全评价作为研究对象,构建评价指标体系和评价尺度,计算指标权重,并建立基于可拓学的锚泊安全评价模型.以“育龙”轮和“翠洲”轮为例进行实例验证,并与模糊综合评价方法进行对比分析.

关键词:船舶;锚泊安全;综合评价;可拓权重;综合权重
中图分类号:U698 **文献标志码:**A

Safety assessment of ship anchoring based on extenics

LU Feng^{*a}, LI Wei^a, ZHANG Hu^b

(a. Navigation College; b. Press, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: In order to enrich effective evaluation method of the anchoring safety, the evaluation index system and evaluation standard were established taking the anchoring safety assessment as the research object, and the weights of the indexes were calculated, while the extenics-based anchoring and mooring safety evaluation model was established. “Yu Long” and “Tsui Chau” are chosen as examples to validate the rationality of the proposed method, and compared with the fuzzy comprehensive evaluation method.

Key words: ship; anchoring safety; comprehensive evaluation; extension weight; comprehensive weight

0 引言

船舶不断向大型化、专业化发展,数量也迅速增加,这给锚地造成拥挤,对船舶的锚泊安全也造成很大影响.因此,对锚泊安全问题进行研究就显得尤为重要.国内方面,李伟等^[1]提出了具有实用性的一种判断锚泊船是否安全的方法,该方法通过观测锚链在铅垂线和锚链筒处的夹角,监测锚

链受力情况来进行判断.袁星宇^[2]只考虑影响安全锚泊的风这一因素,运用模糊数学理论方法,构建锚泊安全综合评价模型,但该模型具有一定的局限性.李志玉^[3]分析影响锚泊安全的各种因素,并考虑人的因素,同时利用模糊决策方法确定安全危险性大小,但并未给出行之有效的模型.刘晓丰^[4]构建出锚泊安全的模糊综合评判模型,同时分析了各因素对锚泊安全影响的重要程度,最后对两艘实船的锚泊安全性进行实例验证.锚泊安全性评价指标有两种:走锚概率和走锚危险系数.国外方面,长尾义三^[5]基于走锚特性的模型试验结果建立了走锚概率评价指标.井上欣三^[6]将走锚危险系数作为评价指标,评价了双锚泊的安全性.然而,锚泊安全是受多种因素影响的,评价过程也因所选评价指标的不同和划分等级的不同而导致评价结果和实际情况有很大差别.因此,本文提供一种普适性强、运算量较小并简单易行、评价结果可靠的方法——可拓综合评价方法.

1 锚泊安全评价指标体系与评价标准的建立

1.1 评价指标体系建立

在详细分析影响锚泊安全的因素,收集众多相关领域的研究,发放调查问卷并咨询相关专家后,本文建立的锚泊船的评价指标体系如图1所示.

1.2 评价标准建立

本文参考文献[4],通过专家问卷调查并整理分析后,将锚泊安全评价指标体系中各评价指标分为低危险、较低危险、中等危险、较高危险和高危险5个安全等级,并制定了各级安全等级对

收稿日期:2013-03-14;修回日期:2014-09-24.

作者简介:鲁峰*(1986-),男,助理实验师,E-mail:fenglintianxia1220@163.com.

应的具体评价标准,具体如表 1 所示.

表 1 评价尺度表
Tab.1 The standard table of evaluation

指标	等级				
	低危险(1)	较低危险(2)	中等危险(3)	较高危险(4)	高危险(5)
C_1 船龄/a	[0~4]	(4~8)	(8~15)	(15~23]	(23~35]
C_2 船舶种类	[90~100]	[80~90)	[70~80)	[60~70)	[0~60)
C_3 主机和舵性能	[90~100]	[80~90)	[70~80)	[60~70)	[0~60)
C_4 锚抓重比(锚抓重/锚重量)	(10~14)	(8~10)	(6~8)	(4~6)	[0~4]
C_5 出链长度(出链长度/水深)	(12D~15D]	(9D~12D]	(6D~9D]	(3D~6D]	[0~3D]
C_6 锚设备工况	[90~100]	[80~90)	[70~80)	[60~70)	[0~60)
C_7 水深(水深/吃水)	[0~2d]	(2d~3d]	(3d~3.5d]	(3.5d~4d]	(4d~8d]
C_8 底质	[90~100]	[80~90)	[70~80)	[60~70)	[0~60)
C_9 风(级)	[0~2]	(2~4)	(4~5)	(5~7)	(7~12]
C_{10} 流/kn	[0~1]	(1~2)	(2~3)	(3~4)	(4~8]
C_{11} 锚泊密度	[0~0.2]	(0.2~0.4]	(0.4~0.5]	(0.5~0.6]	(0.6~1]
C_{12} 船长综合能力	[90~100]	[80~90)	[70~80)	[60~70)	[0~60)
C_{13} 船员综合能力	[90~100]	[80~90)	[70~80)	[60~70)	[0~60)

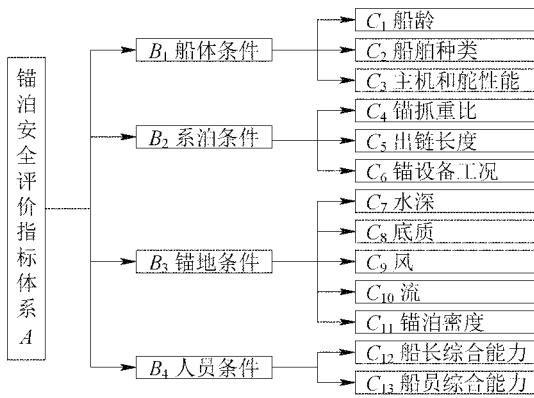


图 1 评价指标体系结构

Fig.1 The structure chart of the evaluation index system

2 锚泊安全可拓评价模型建立

2.1 确定经典域和节域

$$\text{令 } \mathbf{R}_{0j} = (N_j, c, v_j) = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & v_{1j} \\ & c_2 & v_{2j} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{nj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & \langle a_{1j}, b_{1j} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{2j}, b_{2j} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{nj}, b_{nj} \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: \mathbf{R}_{0j} 为第 j 等级的 n 维评价标准的锚泊安全物元模型; v_j 为经典域; N_j 为锚泊安全评价的第 j 等级; $v_{nj} = \langle a_{nj}, b_{nj} \rangle$ 表示 N_j 的第 n 个指标所对应的量值范围.

$$\text{令 } \mathbf{R}_p = (N, c, v_p) = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_{1p} \\ & c_2 & v_{2p} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & c_1 & \langle a_{1p}, b_{1p} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{2p}, b_{2p} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{np}, b_{np} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中: p 为关于 c_n 的节域;且有 p 表示锚泊安全评价等级的全体为 $v_{np} = \langle a_{np}, b_{np} \rangle$.

2.2 确定待评物元

对于待评锚泊安全 p , 收集的锚泊船相关信息用物元 \mathbf{R} 表示, 称为待评物元.

$$\mathbf{R}_t = (T, c, v(x)) = \begin{bmatrix} T & c_1 & v(x_1) \\ & c_2 & v(x_2) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v(x_n) \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中: $v(x_n)$ 为待评锚泊安全有关第 n 个指标 c_n 的样本数据; T 为锚泊安全; \mathbf{R}_t 为待评物元.

2.3 建立与计算关联函数

设待评锚泊安全物元属于经典域 v_{ij} 的第 i 个指标值 $v_i(x)$ 的关联度表示为 $k_j(v_i(x))$, 则有

$$k_j(v_i(x)) = \begin{cases} \frac{-\rho(x, v_{ij})}{|a_{ij} - b_{ij}|}, & x \in X_0 \\ \frac{\rho(x, v_{ij})}{\rho(x, v_p) - \rho(x, v_{ij})}, & x \notin X_0 \end{cases} \quad (4)$$

其中: $\rho(x, X_0)$ 为 x 与 $X_0 = \langle a, b \rangle$ 的距.

待评锚泊安全关于等级 j 的关联度:

$$k_j(t) = \sum_{i=1}^n w_i k_j(v_i(x)) \quad (5)$$

其中: w_i 为各指标的权重系数, 且有 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

2.4 等级评定

如果有 $k_{j_0}(t) \sqrt{2}$ 满足:

$$k_{j_0}(t) = \max\{k_j(t) \mid j \in (1, 2, \dots, m)\} \quad (6)$$

那么可判定 T 属于等级 j_0 .

$$\bar{k}_j(t) = \frac{k_j(t) - \min_j k_j(t)}{\max_j k_j(t) - \min_j k_j(t)}$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \cdot \bar{k}_j(t)}{\sum_{j=1}^m \bar{k}_j(t)} \quad (7)$$

那么称 j^* 为 T 的级别变量特征值^[7].

3 实例计算

3.1 待评对象取值

经查阅相关资料, 通过专家问卷调查并整理分析后, 得到“育龙”轮 A 和“翠洲”轮 B 两船锚泊安全评价指标值(表 2).

表 2 数据

Tab. 2 The statistical data

编号	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}
A	20	72	75	4	9.2D	95	1.875d	78	5	1.5	0.4	85	85
B	19	85	75	4	8.25D	95	3.6d	77	5	3.2	0.5	82	78

3.2 物元构造

$$R_0 = (v_{ij})_{13 \times 5} = \begin{bmatrix} c & N_1 & \dots & N_5 \\ C_1 & v_{11} & \dots & v_{15} \\ C_2 & v_{21} & \dots & v_{25} \\ C_3 & v_{31} & \dots & v_{35} \\ C_4 & v_{41} & \dots & v_{45} \\ C_5 & v_{51} & \dots & v_{55} \\ C_6 & v_{61} & \dots & v_{65} \\ C_7 & v_{71} & \dots & v_{75} \\ C_8 & v_{81} & \dots & v_{85} \\ C_9 & v_{91} & \dots & v_{95} \\ C_{10} & v_{101} & \dots & v_{105} \\ C_{11} & v_{111} & \dots & v_{115} \\ C_{12} & v_{121} & \dots & v_{125} \\ C_{13} & v_{131} & \dots & v_{135} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c & N_1 & N_2 & N_3 & N_4 & N_5 \\ C_1 & <0.4> & <4.8> & <8.15> & <15.23> & <23.35> \\ C_2 & <90.100> & <80.90> & <70.80> & <60.70> & <0.60> \\ C_3 & <90.100> & <80.90> & <70.80> & <60.70> & <0.60> \\ C_4 & <10.14> & <8.10> & <6.8> & <4.6> & <0.4> \\ C_5 & <12D, 15D> & <9D, 12D> & <6D, 9D> & <3D, 6D> & <0.3D> \\ C_6 & <90.100> & <80.90> & <70.80> & <60.70> & <0.60> \\ C_7 & <0.2d> & <2d, 3d> & <3d, 3.5d> & <3.5d, 4d> & <4d, 8d> \\ C_8 & <90.100> & <80.90> & <70.80> & <60.70> & <0.60> \\ C_9 & <0.2> & <2.4> & <4.5> & <5.7> & <7.12> \\ C_{10} & <0.1> & <1.2> & <2.3> & <3.4> & <4.8> \\ C_{11} & <0.0.2> & <0.2, 0.4> & <0.4, 0.5> & <0.5, 0.6> & <0.6, 1> \\ C_{12} & <90.100> & <80.90> & <70.80> & <60.70> & <0.60> \\ C_{13} & <90.100> & <80.90> & <70.80> & <60.70> & <0.60> \end{bmatrix}$$

$$R_t = (T, c, v(x)) = \begin{bmatrix} t & T_{(a)} & T_{(b)} \\ C_1 & 20 & 19 \\ C_2 & 72 & 85 \\ C_3 & 75 & 75 \\ C_4 & 4 & 4 \\ C_5 & 9.2D & 8.25D \\ C_6 & 95 & 95 \\ C_7 & 1.875d & 3.6d \\ C_8 & 78 & 77 \\ C_9 & 5 & 5 \\ C_{10} & 1.5 & 3.2 \\ C_{11} & 0.4 & 0.5 \\ C_{12} & 85 & 82 \\ C_{13} & 85 & 78 \end{bmatrix}$$

根据表 1 确定锚泊安全可拓综合评价经典域 R_0 和节域 R_p . 根据表 2 确定待评锚泊安全的物元 R_t .

3.3 综合权重计算

3.3.1 层次分析法权重

利用层次分析法(AHP), 建立判断矩阵, 得到权重向量并通过一致性检验后, 得到各指标的权重, 如表 3 所示. 其中锚地条件分满载、半载和压载三种状态.

3.3.2 可拓动态权重

文献[8] 提出一种基于简单关联度函数确定权重的方法. 该方法具体步骤如下. 设:

$$r_{ij}(v(x), v_{ij}) = \begin{cases} \frac{2(x - a_{ij})}{b_{ij} - a_{ij}}, & x \leq (a_{ij} + b_{ij})/2 \\ \frac{2(b_{ij} - x)}{b_{ij} - a_{ij}}, & x > (a_{ij} + b_{ij})/2 \end{cases} \quad (8)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$$

$$R_p = (N, c, v_p) = \begin{bmatrix} N & c & v_p \\ C_1 & v_{1p} \\ C_2 & v_{2p} \\ C_3 & v_{3p} \\ C_4 & v_{4p} \\ C_5 & v_{5p} \\ C_6 & v_{6p} \\ C_7 & v_{7p} \\ C_8 & v_{8p} \\ C_9 & v_{9p} \\ C_{10} & v_{10p} \\ C_{11} & v_{11p} \\ C_{12} & v_{12p} \\ C_{13} & v_{13p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & c & v_p \\ C_1 & <0.35> \\ C_2 & <0.100> \\ C_3 & <0.100> \\ C_4 & <0.14> \\ C_5 & <0.15D> \\ C_6 & <0.100> \\ C_7 & <0.8d> \\ C_8 & <0.100> \\ C_9 & <0.12> \\ C_{10} & <0.8> \\ C_{11} & <0.0.8> \\ C_{12} & <0.100> \\ C_{13} & <0.100> \end{bmatrix}$$

表 3 AHP 权重表

Tab.3 The index weight table from AHP method

船体条件			系泊条件			锚地条件					人员条件		
C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	
0.0576	0.0384	0.0288	0.1166	0.0924	0.0785	满载	0.0883	0.0915	0.0625	0.0652	0.0883	0.1097	0.0822
						半载	0.0774	0.0974	0.0654	0.0583	0.0973		
						压载	0.0769	0.0981	0.0664	0.0563	0.0981		

令: $r_{ijmax}(v(x), v_{ijmax}) = \max_j \{r_{ij}(v(x), v_{ij})\}$ (9)

指标 $v(x)$ 数据落入的等级类别越大,则该指标应赋予越大的权重,取

$$r_i = \begin{cases} j_{max} \times (1 + r_{ijmax}(v(x), v_{ijmax})), & r_{ijmax}(v(x), v_{ijmax}) \geq -0.5 \\ j_{max} \times 0.5, & r_{ijmax}(v(x), v_{ijmax}) < -0.5 \end{cases} \quad (10)$$

否则,如果指标 $v(x)$ 的数据落入等级类别越大,则该指标应赋予越小的权重,取

$$r_i = \begin{cases} (m - j_{max} + 1) \times (1 + r_{ijmax}(v(x), v_{ijmax})), & r_{ijmax}(v(x), v_{ijmax}) \geq -0.5 \\ (m - j_{max} + 1) \times 0.5, & r_{ijmax}(v(x), v_{ijmax}) < -0.5 \end{cases} \quad (11)$$

由上述可得计算权重的公式:

$$w_i = r_i \sum_{i=1}^n r_i \quad (12)$$

该方法基于可拓学的简单关联函数知识构造权重系数,根据待评对象的实际情况来确定各评价指标的权重系数,而且不需要依赖专家经验和历史数据,简单易行,属于客观的动态可变权重,所以可称之为可拓动态权重。

从锚泊安全的角度考虑,利用前文所介绍的可拓动态权重思想. 指标 i 的数据落入的类别越大,该指标对锚泊安全的影响越不利,所以应赋以越大的权重,则各个指标的动态权重:

$$Q = \begin{bmatrix} c & Q_{(a)} & Q_{(b)} \\ C_1 & 0.1435 & 0.1367 \\ C_2 & 0.0861 & 0.0684 \\ C_3 & 0.1230 & 0.1025 \\ C_4 & 0.1025 & 0.0855 \\ C_5 & 0.0463 & 0.0769 \\ C_6 & 0.0410 & 0.0342 \\ C_7 & 0.0231 & 0.0957 \\ C_8 & 0.0861 & 0.0821 \\ C_9 & 0.0615 & 0.0513 \\ C_{10} & 0.0820 & 0.0957 \\ C_{11} & 0.0409 & 0.0513 \\ C_{12} & 0.0820 & 0.0479 \\ C_{13} & 0.0820 & 0.0718 \end{bmatrix}$$

3.3.3 综合权重计算

为弱化主客观赋权法各自缺点,本文采用动静相结合、主客观相结合思想确定锚泊安全评价指标的权重系数. 设利用上文方法得到的可拓动态权重系数为 Q , 利用主观赋权层次分析法计算的权重系数为 P , 二者通过经验因子联系起来构造出综合权重 A , 即

$$A = \alpha P + (1 - \alpha) Q, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (13)$$

经验因子 α 取 0.5, 满载、半载和压载三种状态下的综合权重 A 如下所示.

满载状态的综合权重:

$$A = \begin{bmatrix} c & A_{(a)} & A_{(b)} \\ C_1 & 0.1005 & 0.0972 \\ C_2 & 0.0622 & 0.0534 \\ C_3 & 0.0759 & 0.0656 \\ C_4 & 0.1095 & 0.1011 \\ C_5 & 0.0694 & 0.0846 \\ C_6 & 0.0598 & 0.0564 \\ C_7 & 0.0557 & 0.0920 \\ C_8 & 0.0888 & 0.0868 \\ C_9 & 0.0620 & 0.0569 \\ C_{10} & 0.0736 & 0.0804 \\ C_{11} & 0.0646 & 0.0698 \\ C_{12} & 0.0959 & 0.0788 \\ C_{13} & 0.0821 & 0.0770 \end{bmatrix}$$

半载状态的综合权重:

$$A = \begin{bmatrix} c & A_{(a)} & A_{(b)} \\ C_1 & 0.1005 & 0.0972 \\ C_2 & 0.0622 & 0.0534 \\ C_3 & 0.0759 & 0.0656 \\ C_4 & 0.1095 & 0.1011 \\ C_5 & 0.0694 & 0.0846 \\ C_6 & 0.0598 & 0.0564 \\ C_7 & 0.0503 & 0.0865 \\ C_8 & 0.0918 & 0.0897 \\ C_9 & 0.0634 & 0.0584 \\ C_{10} & 0.0701 & 0.0770 \\ C_{11} & 0.0691 & 0.0743 \\ C_{12} & 0.0959 & 0.0788 \\ C_{13} & 0.0821 & 0.0770 \end{bmatrix}$$

压载状态的综合权重:

$$A = \begin{bmatrix} c & A_{(a)} & A_{(b)} \\ C_1 & 0.1005 & 0.0972 \\ C_2 & 0.0622 & 0.0534 \\ C_3 & 0.0759 & 0.0656 \\ C_4 & 0.1095 & 0.1011 \\ C_5 & 0.0694 & 0.0846 \\ C_6 & 0.0598 & 0.0564 \\ C_7 & 0.0557 & 0.0920 \\ C_8 & 0.0888 & 0.0868 \\ C_9 & 0.0620 & 0.0569 \\ C_{10} & 0.0736 & 0.0804 \\ C_{11} & 0.0646 & 0.0698 \\ C_{12} & 0.0959 & 0.0788 \\ C_{13} & 0.0821 & 0.0770 \end{bmatrix}$$

3.4 关联度计算

利用上文介绍的关联度计算和等级评定公

表 4 锚泊船评价等级关联度

Tab. 4 Correlated degree of assessment grade of anchoring ship

$K_j(t)$	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	max	j_0	j^*
A	-0.2986	-0.0466	-0.1244	-0.2419	-0.4181	-0.0466	2	2.55
B	-0.3392	-0.1674	-0.0271	-0.0978	-0.3331	-0.0271	3	3.11

4 结 论

(1) 将可拓学引入锚泊安全评价研究是合理可行的。

(2) 采用主观层次分析法权重和客观的可拓动态权重相结合的综合权重更加科学合理,而且具有普适性,所确定的权重对于专家的依赖程度可以通过经验因子反映出来,该值越大,表明依赖程度越大;该值越小,表明依赖程度越小。

(3) 可拓综合评价方法不受指标数量、种类等的限制,并从多角度、多因素出发,与模糊综合评价相比,运算简单易行,运算量小,而且不存在取大取小、隶属度近似的问题。

参考文献 (References):

- [1] 李伟,于洋,刘贤朋. 基于锚链状态的锚泊安全评估[J]. 大连海事大学学报,2004,30(1):55-57.
LI Wei, YU Yang, LIU Xian-peng. The safety assessment of ship anchoring based on the state of anchor chain[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2004, 30(1): 55-57. (in Chinese)
- [2] 袁星宇. 大风中单锚泊安全性的综合评价[D]. 大连:大连海事大学,1998.
YUAN Xing-yu. The comprehensive evaluation of single anchoring safety[D]. Dalian: Dalian Maritime University,

式,采用 MATLAB 编程计算的具体结果如表 4 所示。

3.5 评价结果分析

通过表 4 可知,“育龙”轮 A 对应的安全等级为 2,属于较低危险等级;“翠洲”轮 B 对应的安全等级为 3,属于中等危险等级。这与文献[4]中利用模糊综合评判方法对上述两艘锚泊船的安全评价结果是一致的。由此可以看出,可拓综合评价方法在锚泊安全评价方面是切实可行的,其评价结果也是符合实际情况的,且在权重选取上较文献[4]更加合理。

1998. (in Chinese)

- [3] 李志玉. 锚泊船安全性评价[J]. 中国水运(下半月), 2008,8(12):6-7.
LI Zhi-yu. Safety assessment of anchoring ship[J]. China Water Transport, 2008, 8(12): 6-7. (in Chinese)
- [4] 刘晓丰. 影响锚泊安全的因素分析[D]. 大连:大连海事大学,2009.
LIU Xiao-feng. Analysis of factors for affecting anchoring safety[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2009. (in Chinese)
- [5] 长尾义三. 大风浪时港外锚泊安全性评价模型[C]//日本航海学会论文集,1986,74:19-27.
- [6] 井上欣三. 荒天中锚泊的安全性向上に関する研究[C]//日本航海学会志,1985,84:28-37.
- [7] 周开君. 基于可拓学的航道水域通航环境安全评价研究[D]. 大连:大连海事大学,2011.
ZHOU Kai-jun. Study of the safety assessment of navigation environment in channel waters extenics-based[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2011. (in Chinese)
- [8] 胡宝清. 可拓评价方法在围岩稳定性分类中的应用[J]. 水利学报,2000(2):66-67.
HU Bao-qing. Application of extension assessment method to stability classification of surrounding rocks[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000(2): 66-67. (in Chinese)