

DOI: 10.3969/j.issn.1674-0696.2020.07.16

基于灰色模糊的大桥对附近码头能力损失的研究

刘轶华¹, 马利华¹, 苑洋²

(1. 上海海事大学 商船学院, 上海 201306; 2. 大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 为保障大桥附近的码头通航安全, 分析影响码头能力损失的因素, 确定受大桥影响的码头能力损失指标, 提出了基于灰色模糊的码头能力损失模型。根据灰色关联度的隶属度求解, 用层次分析法分配计算各个因素权重, 以甬舟大桥为例, 验证了方法的可行性, 并选取 5 个有效的指标因素, 完成了对码头能力损失的定量分析。研究有利于加强码头安全规划管理、保障桥区船舶通航安全, 为桥位线的选线提供了科学参考依据。

关键词: 港口工程; 码头能力损失; 灰色模糊; 灰色关联度; 层次分析法; 损失率

中图分类号: U651+.4

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2020)07-108-06

Bridge to Nearby Wharf Capacity Loss Based on Grey Fuzzy

LIU Yihua¹, MA Lihua¹, YUAN Yang²

(1. Merchant Marine College, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

2. Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning, China)

Abstract: In order to ensure the navigation safety of wharfs near the bridge, the factors affecting the wharf capacity loss were analyzed, and the indexes of wharf capacity loss affected by the bridge were determined. A model of wharf capacity loss based on grey fuzzy was proposed. According to the membership degree of grey correlation degree, the weight of each factor was distributed and calculated by AHP. Taking Yongzhou Bridge as an example, the feasibility of the method was verified, and 5 effective index factors were selected to complete the quantitative analysis of wharf capacity loss. The proposed model is helpful to strengthen the safety planning and management of wharf and ensure the navigation safety of ships in the bridge area, which provides a scientific reference for the route selection of the bridge location.

Key words: port engineering; wharf capacity loss; grey fuzzy; grey correlation degree; analytic hierarchy process; loss rate

0 引言

近年来, 随着中国经济技术的迅速发展, 交通运输业也在蓬勃发展, 大型跨海、跨江等跨越交通工程日渐增多, 跨海大桥的建设与港区码头的建设交织在一起时, 问题就不可避免地产生了。大桥的建设不仅影响船舶的航行安全, 还严重影响附近码头的生产能力。此外, 为了保证桥区水域的安全, 国家和地方都颁布了一些标准及规定^[1-3], 对大桥、码头等

水工建筑物的建设进行约束, 而这些标准中涉及到大桥对码头影响的内容比较分散, 大桥对附近码头的影 响没有形成一个完整的体系。因此, 在建设大桥前, 对码头能力损失的影响进行分析、研究是一项十分重要和有意义的工作。

国内外针对受大桥影响的码头能力损失评价的研究相对较少。与之相关领域的研究成果主要包括两个方面的内容, 第 1 个方面是桥区水域通航安全研究, 桥区航道通过能力研究主要是借鉴国外相关

收稿日期: 2018-12-24; 修订日期: 2019-06-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(51509151); 山东省重大科技创新工程项目(2019JZZY020713)

第一作者: 刘轶华(1980—), 男, 湖南郴州人, 副教授, 主要从事海上交通安全及通航水域安全评价方面的研究。E-mail: liuyh@shmtu.edu.cn

通信作者: 马利华(1993—), 女, 山西朔州人, 硕士研究生, 主要从事交通信息工程及控制方面的研究。E-mail: lhma313@163.com

经验公式,推导出适合我国实际情况的一些公式,如长江公式、川江航道通过能力以及散流航道通过能力公式等^[4]。通过实地测量,分析船舶在苏通大桥桥区水域航行的流量数据,为大桥的安全施工和船舶安全航行提供了科学依据^[5]。第 2 个方面主要是提高船舶作业效率的码头泊位-岸桥联合调度优化研究,在泊位分配问题中用离散事件的模拟方法进行仿真验证,在泊位模型设计方面,从挂靠船舶的百分率和相关费用这两个方面构建了一个模型,并提出了基于序列对的新方法^[6-8]。

由于港区码头的泊位类别不同,等级不同,有其个性特征,对于码头能力损失并不是定性,而是定量的分析,利用数学模型达到评价目的^[9],就必须结合实地情况具体分析。此外影响码头能力损失的因素是复杂的,而且各因素之间存在模糊不确定关系^[10]。传统的方式是单因素评价,存在偶然、片面、粗略的缺点。而模糊综合评判法是将一些不确定、不易量化的因素定量化,从多个因素对被评价事物隶属等级状况进行综合性评价。事物与其影响因素共同构成了灰色系统,研究灰色系统中各因素之间相互关系的方法称为灰色关联度分析。其优点是:数学模型简单,容易掌握,对多因素、多层次的复杂问题评判效果好,是别的数学分支和模型难以代替的。

笔者提出了基于灰色模糊的大桥对附近码头能力损失的研究:首先建立了码头能力损失模型,对算法原理中灰色关联度的隶属度和层次分析法的权重分配进行了计算;随后以甬舟大桥为例,选取有效的 5 个指标因素,确定权重与关联系数的隶属度,定量的分析了码头能力损失;最后实例结果为当地政府的决策提供了科学依据。

1 基于灰色模糊的码头能力损失模型

在码头能力损失评价中,参与评价的码头组成的集合为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$,其中 a_j 是第 j 个码头,因素指标集为 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$,其中 y_i 是第 i 个因素的指标。对于某一指定码头 a_j ,可以表示为向量 $a_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{mj})$, $y_{ij} \in y_i, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。在指标 y_{ij} 上建立了单目标模糊决策函数:

$$f_i: y_i \rightarrow [0, 1] \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

单目标模糊决策函数 f_i 的取值范围是 0 到 1 之间,愈接近 1 表明该因素指标 y_i 对码头 a_j 的影响愈

大,对于给定的码头集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$,函数值可转化为 $f_i(a_j) \triangleq f_i(y_{ij}) \in [0, 1]$,令:

$$\eta_j(i) \triangleq f_i(y_{ij}) \triangleq f_i(a_j) \quad (2)$$

式(2)中 $\eta_j(i)$ 为因素指标 y_i 对码头 a_j 的损失率,通常称其为隶属度, $\eta_j(i)$ 是通过灰色关联系数来求解的。

则可以得到一个模糊关系矩阵为:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} \eta_1(1) & \eta_2(1) & \dots & \eta_n(1) \\ \eta_1(2) & \eta_2(2) & \dots & \eta_n(2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \eta_1(m) & \eta_2(m) & \dots & \eta_n(m) \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (3)$$

式(3)中 \tilde{R} 为综合评判矩阵, \tilde{R} 的第 i 行向量 $\tilde{R} = [\eta_1(i), \eta_2(i), \dots, \eta_n(i)]$ 中每一个分量 $\eta_j(i)$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) 为第 j 个码头 a_j 的第 i 个因素指标 y_{ij} 与第 i 个最优指标(虚拟码头) y_i^* 的关联度。因此,可依据 $\eta_j(i)$ 的大小对其进行分类排序。

由于 Y 中各因素的地位和作用程度不同,因此,用模糊集 $\tilde{P} = (P_1, P_2, \dots, P_m)$ 来表示各因素的权重

分配,这里 $\tilde{P} \in [0, 1], \sum_{i=1}^m P_i = 1$ 。可以得到码头能力损失评价的数学模型为:

$$\tilde{B} = \tilde{P} \cdot \tilde{R} \quad (4)$$

式中: \tilde{B} 为模糊综合评判向量,模糊集 \tilde{P} 为各因素的权重分配, \tilde{R} 为综合评判矩阵,码头 a_j 综合考虑因素 $y_i, i = 1, 2, \dots, m$ 后, $\tilde{B} = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 可称为优越程度,即 b_i 越大码头受影响损失越少。其中:

$$b_j \in [0, 1] \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

2 算法原理

2.1 基于灰色关联度的隶属度求解

式(2)中 $\eta_j(i)$ 隶属度,是通过灰色关联系数来求解的,其实质就是表示码头 a_j 就指标因素 y_i 而言,其指标 y_{ij} 与虚拟最优指标 y_i^* 的关联程度,其算法步骤为:

2.1.1 确定最优指标集 y_i^*

$$y_i^* = (y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*) \quad (6)$$

式中: y_i^* ($i = 1, 2, \dots, m$) 为第 i 个指标在各个码头中的最优值(如果某一指标其实际要求越大越好,则该指标为各码头中最大值,反之取最小值)。因此,我们可构造初始矩阵 E :

$$E = \begin{bmatrix} y_{11}^* & y_{12}^* & \cdots & y_{1m}^* \\ y_{21}^* & y_{22}^* & \cdots & y_{2m}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n1}^* & y_{n2}^* & \cdots & y_{nm}^* \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中: y_{ji} 为码头 a_j 的第 i 个因素 y_i 的指标值。

2.1.2 指标值的无量纲化处理

由于决策中所涉及各个指标因素具有不同的量纲,不能直接进行比较,因此,需要对原始数据指标进行无量纲化处理。假定第 i 个因素指标 y_i 的最小值为 y_i^{\min} ,最大值为 y_i^{\max} ,那么令:

$$C_{ji} = \frac{y_{ji} - y_i^{\min}}{y_i^{\max} - y_i^{\min}} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

2.1.3 计算灰色关联系数

以无量纲化处理,分别以最优指标集 $C^* = (C_1^*, C_2^*, \dots, C_m^*)$ 为参考数据列,各码指标为 $C_j (j=1, 2, \dots, n)$,其中被比较数列为 $C_j = (C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jm})$,那么第 j 个码头 a_j 在第 i 个因素 y_i 的指标 y_{ji} 的作用下与其最优指标 y_i^* 关联系数 $\eta_j(i)$ 为:

$$\eta_j(i) = \frac{\min_j \min_i |C_i^* - C_{ji}^*| + \rho \max_j \max_i |C_i^* - C_{ji}^*|}{|C_i^* - C_{ji}^*| + \rho \max_j \max_i |C_i^* - C_{ji}^*|} \quad (9)$$

式中: $\rho \in [0, 1]$,一般取 $\rho = 0.5$,称为分辨系数。采用这种方式求得的关联系数,就是式(7)和式(8)中的隶属度^[11]。

2.2 基于层次分析法的权重分配计算

根据上面式(4)数学模型中的权向量 $P = (P_1, P_2, \dots, P_m)$,由层次分析法可知:

$$P_i = P_j \cdot U_{ij} \quad (i, j=1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

将因素集 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ 中的第 k 个元素与其他元素比较,其重要度以 1~9 标度,即可写出第 k 行元素的比率判断标度值 $U_{k1}, U_{k2}, \dots, U_{km}$,这就意味着式(10)中的 $i=k$,即:

$$P_j = \frac{P_k}{U_{kj}} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

累加 P_1, P_2, \dots, P_m 有:

$$P_1 + P_2 + \dots + P_m = \frac{P_k}{U_{k1}} + \frac{P_k}{U_{k2}} + \dots + \frac{P_k}{U_{km}} =$$

$$\sum_{j=1}^m \frac{P_k}{U_{kj}} = P_k \sum_{j=1}^m \frac{1}{U_{kj}} \quad (12)$$

又 $\sum_{j=1}^m P_j = 1$ 故有 $P_k \sum_{j=1}^m \frac{1}{U_{kj}} = 1$,于是:

$$P_k = \left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{U_{kj}} \right)^{-1} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (13)$$

式中:第 k 行元素的比率判断标度值 $U_{kj} (j=1, 2, \dots, m)$ 已知,于是 P_k 可得。将求得的 P_k 值代入式(11)中,即可求得各因素的权重 $P_j (j=1, 2, \dots, m)$ 。这是基于层次分析法的行元素法的基本思想。显然,这种算法比传统的权重层次计算简捷得多。依据该方法,不难求得模型中模糊综合评判向量 $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$,依据 b_i 的大小,我们即可对各码头的能力损失进行分析和评价。

3 应用实例结果与分析

将“码头能力”定义为:码头的岸线水域布局、码头泊位通过能力、码头靠泊能力和码头服务能力的合理组合而构成的综合能力。拟建大桥影响码头能力损失的主要因素有:各项标准规定限制导致的码头岸线水域布局能力损失,因过桥船舶延迟到港、因大风或能见度不良时交通管制导致码头泊位通过能力损失。

3.1 选取实例

以甬舟大桥为例,选取影响码头能力损失的 5 个指标因素作为我们的评价因素:桥区码头损失率(%)、近桥区损失率(%)、过桥区损失率(%)、夜航管制损失率(%)、封航管制损失率(%)。笔者将损失率定义为:

$$\text{损失率} = \left(1 - \frac{\text{建桥后通过能力(艘)}}{\text{未建桥通过能力(艘)}} \right) \times 100\%$$

其中当桥区码头损失率达到 100% 时,该码头泊位完全损失,采用吸收原则,故其他指标因素不再考虑。

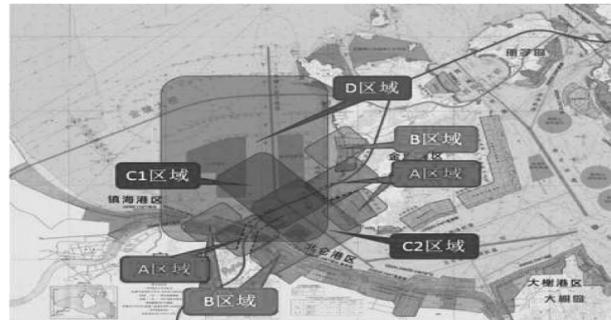


图 1 甬舟大桥附近码头能力损失区域分布
Fig. 1 Regional distribution of wharf capacity loss near Yongzhou Bridge

通过分析我们可得现有 4 个港口作业区的各个码头泊位损失指标基础数据见表 1~表 4。表中

“—”表示不再考虑,“0”表示没有损失。

表 1 大浦口作业区能力损失指标

Table 1 Indicators of capacity loss in Taepokou operation area %

大浦口码头	泊位	桥区码头损失率	近桥区损失率	过桥区损失率	夜航管制损失率	封航管制损失率
大浦口山咀码头		100	—	—	—	—
金塘货运、客运码头		100	—	—	—	—
大浦口作业区	1#	30.3	52.54	0	0	0
	2#	14.7	52.54	0	0	0
	3#	0	0	0	0	0
	4#	0	0	0	0	0
	5#	0	0	0	0	0

表 2 木岙作业区能力损失指标

Table 2 Indicators of capacity loss in Mu'ao operation area %

木岙码头	泊位	桥区码头损失率	近桥区损失率	过桥区损失率	夜航管制损失率	封航管制损失率
支持系统		100	—	—	—	—
木岙作业区	9#	100	—	—	—	—
	8#	100	—	—	—	—
	7#	14.56	52.54	59.52	38.38	5.26
	6#	0	52.54	59.52	38.38	5.26
	5#	0	0	59.52	38.38	5.26
	4#	0	0	59.52	38.38	5.26
	3#	0	0	59.52	38.38	5.26
	2#	0	0	59.52	38.38	5.26
	1#	0	0	59.52	38.38	5.26

表 3 北仑西作业区能力损失指标

Table 3 Indicators of capacity loss in Beilun West operation area %

北仑西码头	泊位	桥区码头损失率	近桥区损失率	过桥区损失率	夜航管制损失率	封航管制损失率
三星重工 5 000 通用码头	3 个	0	0	23.00	0	5.26
冠保规划 5 万通用码头		0	0	23.00	33.85	5.26
青峙化工 3 万液化码头	1#	0	0	23.00	42.90	0
青峙化工 5 万液化码头	2#	0	0	23.00	33.85	0

(续表 3)

北仑西码头	泊位	桥区码头损失率	近桥区损失率	过桥区损失率	夜航管制损失率	封航管制损失率
青峙化工规划 5 万液化码头	3#、3-1#	0	0	23.00	33.85	0
科元塑胶 5 000 液化码头		0	0	23.00	0	0
石场 5 000 散货码头		0	0	23.00	0	5.26
杨公山石化 5 万成品油码头		0	0	23.00	0	5.26
镇海炼化 3 000 成品油码头		0	0	23.00	0	5.26
中石化镇海炼化 10 万成品油码头	7 个	0	0	23.00	0	5.26

表 4 镇海港区能力损失指标

Table 4 Indicators of capacity loss in Zhenhai port %

镇海港区码头	泊位	桥区码头损失率	近桥区损失率	过桥区损失率	夜航管制损失率	封航管制损失率
通用及多用途作业区	万吨级及以上 9 个	0	0	4.48	19.19	5.26
	万吨级及以下 2 个	0	0	4.48	0	5.26
液体散货作业区	万吨级及以上 9 个	0	0	4.48	38.38	0
	万吨级及以下 2 个	0	0	4.48	0	0
煤炭作业区	3 千吨级	0	0	4.48	0	5.26
	2 万吨级	0	0	4.48	0	5.26
	5 万吨级	0	0	4.48	38.38	5.26

上述桥区码头损失率、近桥区损失率、过桥区损失率、夜航管制损失率是由船舶 AIS 流量数据统计分析建桥后损失的实用通过能力(实用通过能力是在航道理论最大通过能力基础上乘以系数 0.6^[10]);封航管制损失率是根据北仑海事局 2016 年 9 月—2017 年 3 月统计数据估计的损失率。根据以上各个泊位等级及码头泊位数量,按比例进行估算,最终得出 4 个港口作业区的码头能力损失指标如表 5。

显然,模型中参与评价的码头组成的集合为 $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$,其中 a_j 是第 j 个码头,因素指标集为 $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$,其中 y_i 是第 i 因素的指标。依此,可根据前述的原理和方法,分别对 4 个港口作业区的码头能力损失状况进行分析。

表 5 4 个港口作业区能力损失指标

Table 5 Capacity loss indicators for the operation areas of four ports

作业区	%				
	桥区码头 损失率	近桥区 损失率	过桥区 损失率	夜航管制 损失率	封航管制 损失率
大浦口	13.33	53.35	0	0	0
木岙	23.84	33.90	68.52	38.38	26.31
北仑西	0	0	23.00	8.87	4.19
镇海	0	0	4.48	29.01	2.55

3.2 确定权重 P 与关联系数的隶属度 R

1) 根据专家以封航管制损失率(因素 y_5) 为基准,给出了其他各因素 $Y=(y_1, y_2, \dots, y_5)$ 对因素 y_5 的重要性比较标度值,如表 6。

表 6 因素间的重要性比较标度值

Table 6 Importance comparison scale value between factors

y_i/y_k	y_1/y_5	y_2/y_5	y_3/y_5	y_4/y_5	y_5/y_5
$U_{ik(1-9)}$ 标度	9	5	3	2	1

显然,这里给出了比率判断矩阵中第 5 列的标度值: $U = \{U_{15}, U_{25}, U_{35}, U_{45}, U_{55}\}$, 可得因素 y_5 的权重值:

$$P_5 = \left(\sum_{j=1}^5 U_{j5} \right)^{-1} = \frac{1}{20} \quad (14)$$

由式(14)代入得:

$$P_1 = P_5 / U_{15} = P_5 \times U_{15} = \frac{1}{20} \times 9 = \frac{9}{20} \quad (15)$$

$$P_2 = P_5 / U_{25} = P_5 \times U_{25} = \frac{1}{20} \times 5 = \frac{5}{20} \quad (16)$$

同理 $P_3 = \frac{3}{20}, P_4 = \frac{2}{20}, P_5 = \frac{1}{20}$ 即:

$$P = \begin{pmatrix} \frac{9}{20} & \frac{6}{20} & \frac{3}{20} & \frac{2}{20} & \frac{1}{20} \end{pmatrix} \quad (17)$$

2) 根据各个指标因素的实际意义,显然,因素 y_1, y_2, \dots, y_5 的取值越小越好。由表 5 容易得到:

$$y^* = \{0, 0, 0, 0, 0\} \quad (18)$$

根据式(7)与表 5 得到初始矩阵:

$$E = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.13 & 0.53 & 0 & 0 & 0 \\ 0.24 & 0.34 & 0.69 & 0.38 & 0.26 \\ 0 & 0 & 0.23 & 0.09 & 0.04 \\ 0 & 0 & 0.04 & 0.29 & 0.03 \end{bmatrix} \quad (19)$$

无量纲化后得:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.56 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.64 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0.34 & 0.23 & 0.16 \\ 0 & 0 & 0.07 & 0.76 & 0.10 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow C_0 \\ \leftarrow C_1 \\ \leftarrow C_2(20) \\ \leftarrow C_3 \\ \leftarrow C_4 \end{matrix}$$

所以:

$$\Delta C = \begin{bmatrix} 0.56 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.64 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0.34 & 0.23 & 0.16 \\ 0 & 0 & 0.07 & 0.76 & 0.10 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow C_1 \\ \leftarrow C_2 \\ \leftarrow C_3 \\ \leftarrow C_4 \end{matrix} \quad (21)$$

得:

$$\eta_j(i) = \frac{0+0.5 \times 1}{|C_i^* - C_{ji}^*| + 0.5 \times 1} = \frac{0.5}{|C_i^* - C_{ji}^*| + 0.5} \quad (22)$$

关联系数 $R = (R_1, R_2, R_3, R_4)$

$$R = \begin{bmatrix} 0.47 & 0.33 & 1 & 1 \\ 0.33 & 0.44 & 1 & 1 \\ 1 & 0.33 & 0.60 & 0.88 \\ 1 & 0.33 & 0.68 & 0.40 \\ 1 & 0.33 & 0.76 & 0.83 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow y_1 \\ \leftarrow y_2 \\ \leftarrow y_3 \\ \leftarrow y_4 \\ \leftarrow y_5 \end{matrix} \quad (23)$$

3.3 结果与分析

由式(4)和式(17)及(23)可得:

$$B = P \cdot R = \begin{pmatrix} \frac{11.88}{20} & \frac{7.15}{20} & \frac{17.92}{20} & \frac{18.27}{20} \end{pmatrix} = (0.590, 0.358, 0.896, 0.914) \quad (24)$$

得到结果: $b_4 > b_3 > b_1 > b_2$ 。

通过对计算结果分析,综合以上 5 个评价因素,桥区码头损失率、近桥区损失率、过桥区损失率、夜航管制损失率、封航管制损失率, b_4 最大说明码头 4 (镇海港区) 受影响损失最少,其次是 b_3 和 b_1 说明码头 3 (北仑西作业区) 受影响损失较少,能力损失较多的是码头 1 (大浦口作业区), b_2 最小说明能力损失最多的是码头 2 (木岙作业区),木岙作业区受拟建大桥的影响最大。另一方面,从基于关联系数 $\eta_j(i)$ 的隶属度矩阵 R ,我们可以看到,码头 1 (大浦口作业区)、码头 2 (木岙作业区) 与码头 4 (镇海港区) 在桥区码头损失率(因素 y_1)、近桥区损失率(因素 y_2) 上存在明显差距,同时,码头 2 (木岙作业区) 在因素 y_3 和因素 y_5 方面与码头 4 (镇海港区) 也有明显偏差,即过桥区损失率和封航管制损失率方面均比镇海港区大。

为了减少码头1(大浦口作业区)、码头2(木岙作业区)两个码头的能力损失,建议在以上3个方面(y_1 y_2 y_3)即桥区码头损失率、近桥区损失率、过桥区损失率对码头规划方案进行调整和改进,作为努力的方向。大浦口作业区最靠近大桥的集装箱泊位降级到30 000吨级集装箱泊位或其他符合规范要求的船型泊位;木岙作业区南侧3个集装箱泊位及其支持区不满足建设条件,应制定相应的管理政策,夜航和其他极端天气下的交通管制将造成大桥西侧相关码头的通过能力下降,减少船舶可以进行靠泊作业的窗口时间。但是码头能力损失仍属严重状态,为当地政府部门的决策提供理论依据。

4 结 论

通过码头能力损失模型,以及对灰色关联度的隶属度和层次分析法的权重分配的计算,首次运用定量的方法实现了大桥对附近码头的损失影响的分析。研究结果如下:

1) 基于灰色模糊的码头能力损失模型能够定量分析大桥对附近码头的的能力损失,可以为大桥线位的选线决策提供科学的参考依据。

2) 通过甬舟大桥的实例应用和分析,能够客观地反应其对附近码头能力损失的的程度,为甬舟大桥跨线方案的优化和选线决策提供了基础支撑数据。

3) 提出的码头能力损失模型未充分考虑通潮汐、风及通航环境等因素的影响,这也是下阶段的研究方向,进一步完善模型指标选取和参数权重分配,提高模型的精准性及扩大模型的适用广度。

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 通航海轮桥梁通航标准: JTJ 311—1997 [S].北京:人民交通出版社,1997.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. *Bridge Navigation Standard for Seagoing Vessel: JTJ 311—1997* [S]. Beijing: China Communications Press, 1997.
- [2] 中华人民共和国交通运输部. 海港总体设计规范: JTS 165—2013 [S].北京:人民交通出版社,2013.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. *Design Code of General Layout for Sea Ports: JTS 165—2013* [S]. Beijing:

China Communications Press, 2013.

- [3] 中华人民共和国交通运输部. 海港水文规范: JTS 145—2—2013 [S].北京:人民交通出版社,2013.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. *Code of Hydrology for Sea Harbour: JTS 145—2—2013* [S]. Beijing: China Communications Press, 2013.
- [4] 万长征. 桥区航道船舶通过能力研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
WAN Changzheng. *Research on Passing Capacity of Ships in Bridge Area Channel* [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008.
- [5] 刘明俊,艾万政,程志友. 苏通大桥桥区水域船舶通航能力研究[J]. 船海工程, 2006, 35(4): 80-82.
LIU Mingjun, AI Wanzheng, CHENG Zhiyou. Study on navigability of ships in water area of Sutong bridge [J]. *Marine Engineering*, 2006, 35(4): 80-82.
- [6] LEGATO P, MAZZA R. Berth planning and resources optimization at a container terminal via discrete event simulation [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 133: 537-547.
- [7] MONOACA M, SAMMARRA M. The berth allocation problem: A strong formulation solved by a lagrange approach [J]. *Transportation Science*, 2007, 41(2): 265-280.
- [8] 冯永超, 黄有方, 胡志华. 基于船舶作业损失评价的连续泊位与岸桥分配模型研究[J]. 河南科学, 2013, 31(12): 2289-2297.
FENG Yongchao, HUANG Youfang, HU Zhihua. Study on the distribution model of continuous berths and quayside bridges based on ship operation loss assessment [J]. *Henan Science*, 2013, 31(12): 2289-2297.
- [9] 李若寒, 李波, 苗红林. 灰色模糊改进模型在航道安全评价中的应用[J]. 中国水运(下半月), 2015(10): 62-64.
LI Ruohan, LI Bo, MIAO Honglin. Application of grey fuzzy improvement model in waterway safety assessment [J]. *China Water Transport (Second Half of The month)*, 2015(10): 62-64.
- [10] 刘方. 基于灰色关联度的模糊层次组合矿山地质环境评价模型研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.
LIU Fang. *Research on Fuzzy Hierarchical Combination Mining Geological Environment Evaluation Model Based on Grey Relevance Degree* [D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.
- [11] 王亥索, 张冠群. 进港航道通过能力经验公式的比较分析[J]. 港工技术, 2009, 46(5): 5-6.
WANG Haisuo, ZHANG Guanqun. Comparative analysis of empirical formulas for passage capacity of inbound channels [J]. *Port Engineering Technology*, 2009, 46(5): 5-6.

(责任编辑:朱汉容)