

# 基于组合赋权和 TOPSIS 法的港口竞争力 评价方法研究

潘开灵, 易长伟

(武汉科技大学管理学院, 武汉 430081)

**摘要:** 研究构建静态指标与动态指标相结合的港口竞争力评价指标体系, 采用线性加权法来确定主客观赋权法的组合权重, 将得到的组合权重用于改进的灰色关联分析加权 TOPSIS 法作为港口竞争力评价方法, 并以环渤海地区港口群的港口竞争力评价为例验证了该方法的有效性及其合理性。

**关键词:** 管理工程; 组合赋权法; 层次分析法; 熵值法; 加权 TOPSIS 法

中图分类号: F552 文献标识码: A 文章编号: 1674-2850(2017)08-0925-08

## Research on evaluation method of port competitiveness based on combination weights and TOPSIS method

PAN Kailing, YI Changwei

(School of Management, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

**Abstract:** In this paper, we build the evaluation index system of port competitiveness, which is the integration of static and dynamic indicators. Then we use the linear weighted method to determine the combination weights of the objective and subjective weighting method, and the weighted TOPSIS method of the improved gray correlation analysis is used to evaluate the competitiveness of the port. In the end, we use the evaluation of ports competitiveness in the area around the Bohai sea as an example to prove that the method is effective and reasonable.

**Key words:** management engineering; combination weighting method; analytic hierarchy process; entropy value method; weighted TOPSIS method

## 0 引言

在世界港口竞争日益激烈的趋势下, 特别是我国沿海港口众多, 竞争尤为激烈, 有必要对港口的竞争力采取更为科学合理的方法进行评价, 明确港口的市场地位、竞争优势及港口发展方向, 避免港口之间的无序竞争。

港口竞争力评价是一个多属性决策问题, 通常需要考虑港口竞争力评价指标的权重, 评价指标权重的合理性将直接影响港口竞争力评价的准确性。现有港口竞争力评价的研究文献中, 指标权重的确定方法主要分为主观赋权法与客观赋权法两大类。主观赋权法如层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP)<sup>[1]</sup>、专家调查法等, 是依据决策者主观偏好信息以及经验、知识直接决定的属性权重; 客观赋权法如主成分分析法<sup>[2]</sup>、熵值法<sup>[3]</sup>、变异系数法等, 是依据原始数据信息, 通过一定的数学模型计算得出属性权重系数。主观赋权法与客观赋权法各有优缺点, 主观赋权法充分考虑了决策者的知识、经验和偏好, 但主观随意性较大, 评价的准确性及可靠性稍差; 而客观赋权法能充分挖掘原始数据信息, 但忽略了决策者的

主观偏好信息,有可能出现属性权重系数不合理的状况。目前已经有人提出使用将主观赋权法与客观赋权法的优点相结合的组合赋权法来确定权重系数<sup>[4-6]</sup>,并取得了一定的成果。

本文在现有的港口竞争力评价研究的基础上,构建静态指标与动态指标相结合的港口竞争力评价指标体系;然后采用线性加权的主客观权重组合赋权法,应用 AHP 和熵值法组合确定指标权重,综合考虑两种赋权方法的优势,合理确定指标权重;最后将组合权重用于改进的灰色关联分析加权 TOPSIS 法中对港口竞争力进行评价。

## 1 港口竞争力理论

### 1.1 港口竞争力的概念

港口竞争力是指港口企业在市场竞争过程中,通过对自身港口资源要素的整合、优化以及与外部环境的交互作用,在市场占有、价值创造以及港口可持续发展方面相比其他港口所具有的竞争能力与优势<sup>[7]</sup>。

### 1.2 港口竞争的特点

#### 1) 港口之间竞争的“政府因素”

港口是国民经济的基础设施,随着各级政府在港口对港口城市以及地区经济发展上重要性认识的不断加深,沿海各地政府纷纷树立了“以港兴市”的发展战略。为加强各自地区港口的竞争力,从政府政策、资金、税收及土地等各方面加强对港口的政策扶持力度,出台各项优惠政策吸引经济腹地货源。因此,当前港口之间的竞争并非完全意义上的“市场竞争”,它还要受到“政府因素”的影响。

#### 2) 港口之间竞争的“区位因素”

港口区位条件的优劣将直接影响港口的竞争力,其是衡量和评价一个港口综合竞争力的关键指标。港口区位条件包括港口所在的地理位置、水文情况、航道水深、可作业天数等;港口腹地的经济发展状况、对外贸易额、产业关联度、政府政策扶持力度;水陆交通运输体系的建设发展情况,如铁路、公路、水路及航空的运输状况。一个区位条件差的港口,即使其服务突出、价格便宜、陆路运输接近,也难以获得顾客的认可。

#### 3) 港口竞争的焦点是货源

港口作为国民经济基础设施和先行工程,往往被列为超前发展项目,在可行性论证上充分强调港口建设的社会效益,淡化码头本身的经济效益。这种有别于普通商业投资决策的思维特点是由港口的社会性所决定的,从而也决定了港口的竞争目标是货源。

#### 4) 港口的竞争实力是动态发展的

港口的市场竞争实力并不是固定不变的,而是不断动态发展的。随着社会经济技术水平的不断发展,特别是港口直接或间接腹地经济的不断发展、港口腹地产业结构的持续调整优化、政府与民营资本的不断涌入、港口装卸设备及管理技术的不断更新,港口的竞争力也将随之改变。

### 1.3 港口竞争力的影响因素

港口竞争力受到地理区位、港口直接或间接腹地的经济发展水平、腹地水陆综合运输体系的发展状况、当地政府的政策环境、港口通关效率、基础设施、装卸效率、港口费率、管理技术及服务水平等因素的影响。通过对现有港口竞争力评价的文献研究以及专家学者的调查发现,影响港口竞争力的因素主要可以分为自然资源、基础设施、腹地经济、服务水平及营运能力、软实力和发展潜力 6 个方面<sup>[8-9]</sup>,在

此基础上构建了静态指标与动态指标相结合的港口竞争力评价指标体系，其中动态指标主要表现在港口的发展潜力方面，具体如表 1 所示。

表 1 港口竞争力评价指标体系  
Tab. 1 Evaluation index system of the port competitiveness

目标层 A	准则层 G	决策层 C	指标类型	数据来源	AHP 赋权	熵值法赋权
港口竞争力	自然资源 G1	地理位置 C11	定性指标	专家打分	0.021 319	0.032 173
		自然条件 C12	定性指标	专家打分	0.013 426	0.021 289
		进港航道水深 C13	定量指标	统计数据	0.033 831	0.025 554
	基础设施 G2	码头长度 C21	定量指标	统计数据	0.011 253	0.046 173
		堆场面积 C22	定量指标	统计数据	0.014 715	0.035 792
		泊位数量 C23	定量指标	统计数据	0.036 043	0.045 703
		生产用泊位比 C24	定量指标	公式计算	0.069 929	0.017 665
		万吨级以上泊位数比 C25	定量指标	公式计算	0.049 982	0.025 606
		装卸机械数量 C26	定量指标	统计数据	0.023 358	0.054 13
		腹地经济 G3	腹地 GDP C31	定量指标	统计数据	0.087 919
	腹地进出口贸易额 C32		定量指标	统计数据	0.048 384	0.043 343
	相关产业支持 C33		定性指标	专家打分	0.026 627	0.033 834
	服务水平及营运能力 G4	机械装卸效率 C41	定量指标	统计数据	0.013 838	0.062 372
		港口费率 C42	定性指标	专家打分	0.023 931	0.021 387
		港口拥挤程度 C43	定量指标	公式计算	0.063 925	0.037 981
		港口航线数量 C44	定量指标	统计数据	0.031 035	0.049 707
		货物吞吐量 C45	定量指标	统计数据	0.116 298	0.037 088
		外贸吞吐量 C46	定量指标	统计数据	0.057 763	0.033 113
		集装箱吞吐量 C47	定量指标	统计数据	0.055 723	0.041 884
		港口集疏运条件 C48	定性指标	专家打分	0.031 496	0.037 824
	软实力 G5	港口品牌形象 C51	定性指标	专家打分	0.033 831	0.029 843
		政府支持力度 C52	定性指标	专家打分	0.021 312	0.036 895
		信息化程度 C53	定性指标	专家打分	0.013 426	0.026 087
	发展潜力 G6	腹地 GDP 增长率 C61	定量指标	公式计算	0.012 433	0.031 059
		腹地进出口贸易额增长率 C62	定量指标	公式计算	0.009 422	0.023 072
货物吞吐量增长率 C63		定量指标	公式计算	0.039 508	0.028 238	
外贸吞吐量增长率 C64		定量指标	公式计算	0.018 845	0.034 948	
集装箱吞吐量增长率 C65		定量指标	公式计算	0.020 437	0.029 419	

## 2 基于组合赋权的 TOPSIS 法的评价方法

### 2.1 组合赋权法确定指标权重

经比较研究，本文选取客观性较强的熵值法和主观性较强的 AHP 来确定指标的组合同权重。在两种方法中，一种依据原始统计数据信息客观确定权重，一种基于专家、学者的专业知识与经验主观确定权重。综合运用主客观赋权方法既可充分考虑专家或学者的知识和经验，消除信息熵的负面影响，又减少了赋权时的主观随意性影响。

决策层指标的客观权重  $w^0 = (w_1^0, w_2^0, \dots, w_j^0, \dots, w_n^0)$  采用熵值法来确定, 其具体计算步骤可参考文献[3]; 决策层指标的主观权重  $w^1 = (w_1^1, w_2^1, \dots, w_j^1, \dots, w_n^1)$  采用 AHP 来确定, 其具体计算步骤可参考文献[10]。

合理的属性权重应该与主客观赋权法的权重总偏差最小, 而线性加权法能够使属性权重与主客观权重的总偏差最小 [11~12]。因此, 本文采用线性加权法来确定主客观赋权法的组合权重  $w = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n)$ , 即

$$w = \alpha w^0 + \beta w^1, \tag{1}$$

其中,  $\alpha$ 、 $\beta$  分别为主客观权重的权衡系数,  $0 \leq \alpha \leq 1$ ,  $0 \leq \beta \leq 1$ , 且  $\alpha + \beta = 1$ 。当  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 0$  时, 只考虑客观赋权法即熵值法; 当  $\alpha = 0$ ,  $\beta = 1$  时, 只考虑主观赋权法即 AHP; 当  $0 < \alpha < 1$ ,  $0 < \beta < 1$  时, 同时考虑主客观赋权法。线性加权法能够使属性权重与主客观权重的总偏差最小的证明如下。

首先, 建立属性权重即组合权重与主客观权重的偏差函数 [12]:

$$\begin{cases} f_i(w^0) = \sum_{j=1}^n [r_{ij}(w_j - w_j^0)]^2, \\ h_i(w^1) = \sum_{j=1}^n [r_{ij}(w_j - w_j^1)]^2, \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, m, \tag{2}$$

其中,  $f_i(w^0)$  为组合权重  $w$  与客观权重  $w^0$  的偏差;  $h_i(w^1)$  为组合权重  $w$  与主观权重  $w^1$  的偏差;  $r_{ij}$  为数据标准化后的指标值。

其次, 建立基于主客观赋权法的总偏差的单目标优化模型 [12]:

$$\begin{aligned} \min & \left\{ f(w) = \alpha \sum_{i=1}^m f_i(w^0) + \beta \sum_{i=1}^m h_i(w^1) \right\}, \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^n w_j = 1, \quad w_j \geq 0. \end{aligned} \tag{3}$$

最后, 应用拉格朗日方法求解得出唯一解 [12]:

$$w_j = \alpha w_j^0 + \beta w_j^1, \quad j = 1, 2, \dots, n. \tag{4}$$

## 2.2 改进的灰色关联分析加权 TOPSIS 法

此方法首先对应用极差法标准化的原始统计数据矩阵进行加权处理, 得到灰色关联度系数矩阵, 再依据灰色关联度系数矩阵运用 TOPSIS 法求各指标的正理想解与负理想解, 再利用相关公式求各指标到正理想解与负理想解的距离, 最后再计算出各指标的贴近度值, 将其作为港口竞争力评价的依据。具体步骤可参考文献[13]。

## 3 实证研究

本文以环渤海地区的港口群为例, 根据 2014 年的相关数据对青岛港、天津港、大连港、日照港、营口港、秦皇岛港及烟台港进行港口竞争力评价分析, 应用组合赋权法和改进的灰色关联分析加权 TOPSIS 法分析不同的权衡系数对港口竞争力评价的影响。依据相关公式将各港口各项决策层指标的原始统计数据矩阵无量纲后得到的标准化数据如表 2 所示。

表 2 无量纲化后的数据

Tab. 2 Dimensionless data

决策层	青岛港 B1	烟台港 B2	日照港 B3	天津港 B4	秦皇岛港 B5	大连港 B6	营口港 B7
C11	0.857 1	0.428 6	0.500 0	1.000 0	0.000 0	0.214 3	0.214 3
C12	1.000 0	0.846 2	0.846 2	0.384 6	0.000 0	0.923 1	0.461 5
C13	0.924 8	0.210 5	0.473 7	1.000 0	0.586 5	0.661 7	0.000 0
C21	0.316 5	0.190 3	0.000 0	0.771 4	0.128 6	1.000 0	0.160 2
C22	0.808 2	0.000 0	0.146 7	1.000 0	0.377 7	0.782 6	0.198 4
C23	0.171 3	0.215 5	0.000 0	0.569 1	0.182 3	1.000 0	0.154 7
C24	1.000 0	0.765 8	0.542 8	0.992 0	0.000 0	0.751 2	0.908 4
C25	0.980 0	0.546 6	1.000 0	0.694 1	0.197 5	0.000 0	0.599 3
C26	0.428 6	0.071 4	0.023 8	1.000 0	0.000 0	0.756 6	0.336 0
C31	0.515 9	0.330 7	0.028 4	1.000 0	0.000 0	0.444 5	0.026 9
C32	0.583 2	0.373 8	0.235 0	1.000 0	0.000 0	0.474 2	0.019 7
C33	0.900 0	0.500 0	0.300 0	1.000 0	0.000 0	0.700 0	0.100 0
C41	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.478 7	0.085 1	0.297 9	0.234 0
C42	0.916 7	0.583 3	0.583 3	1.000 0	0.000 0	0.750 0	0.333 3
C43	0.360 3	0.860 8	0.000 0	0.733 3	1.000 0	0.208 7	0.108 0
C44	1.000 0	0.112 1	0.037 4	0.719 6	0.000 0	0.869 2	0.299 1
C45	0.763 1	0.171 7	0.229 3	1.000 0	0.000 0	0.561 4	0.213 2
C46	1.000 0	0.244 3	0.687 8	0.957 8	0.000 0	0.377 0	0.195 4
C47	1.000 0	0.120 1	0.124 1	0.844 2	0.000 0	0.601 2	0.321 5
C48	0.857 1	0.285 7	0.357 1	1.000 0	0.000 0	0.642 9	0.071 4
C51	0.909 1	0.318 2	0.227 3	1.000 0	0.000 0	0.727 3	0.363 6
C52	0.833 3	0.333 3	0.166 7	1.000 0	0.000 0	0.666 7	0.166 7
C53	0.700 0	0.300 0	0.300 0	1.000 0	0.000 0	0.600 0	0.400 0
C61	0.600 0	0.820 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0	0.160 0	0.300 0
C62	0.575 0	1.000 0	0.800 0	0.716 7	0.241 7	0.000 0	0.583 3
C63	0.335 2	1.000 0	0.709 6	0.671 2	0.000 0	0.308 7	0.254 8
C64	0.207 2	0.000 0	0.120 1	0.704 2	0.833 8	0.514 0	1.000 0
C65	0.309 6	0.460 8	1.000 0	0.377 5	0.306 3	0.000 0	0.256 4

### 3.1 数据来源

本文中定量数据主要来源于中国港口年鉴 2015 版、各省市 2014 年的统计年鉴、统计公报、交通运输部网站 2014 年的数据、各个港口网站及中国海运网等。定性数据来源于邀请专家对相关定性指标的评分，取其均值。

### 3.2 主客观权重的计算

#### 3.2.1 AHP 赋权

根据专家确定的判断矩阵，应用 MCE 软件中的 AHP 模块计算各项指标的权重，最后计算得出决策层指标的绝对权重  $w^1 = (w_1^1, w_2^1, \dots, w_j^1, \dots, w_n^1)$ ，具体如表 1 所示。准则层的判断矩阵为  $S_{A-G}$ ，决策层

中各指标的判断矩阵依次为  $S_{G1-C}$ 、 $S_{G2-C}$ 、 $S_{G3-C}$ 、

$S_{G4-C}$ 、 $S_{G5-C}$ 、 $S_{G6-C}$ ，其中，

$$S_{A-G} = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 & 1/5 & 1 & 1/2 \\ 3 & 1 & 2 & 1/3 & 3 & 2 \\ 2 & 1/2 & 1 & 1/2 & 2 & 3 \\ 5 & 3 & 2 & 1 & 5 & 4 \\ 1 & 1/3 & 1/2 & 1/5 & 1 & 1/2 \\ 2 & 1/2 & 1/3 & 1/4 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

各判断矩阵的一致性检验结果如表3所示。

表3 判断矩阵的检验结果

Tab. 3 Results of the judgment matrix

判断矩阵	最大特征根 $\lambda_{max}$	检验结果 CI
$S_{A-G}$	6.190 2	0.030 7 < 0.1
$S_{G1-C}$	3.053 6	0.026 8 < 0.1
$S_{G2-C}$	6.248 8	0.049 8 < 0.1
$S_{G3-C}$	3.009 2	0.004 6 < 0.1
$S_{G4-C}$	8.318 2	0.045 5 < 0.1
$S_{G5-C}$	3.053 6	0.026 8 < 0.1
$S_{G6-C}$	5.110 4	0.027 6 < 0.1

### 3.2.2 熵值法赋权

将表2中无量纲化后的数据即标准化数据进行归一化处理，再根据相应计算公式求出决策层中各个指标的熵值，最后用熵值法对决策层中各个指标进行赋权，得到的指标权重系数为

$$w^0 = (w_1^0, w_2^0, \dots, w_j^0, \dots, w_n^0)$$

### 3.3 港口竞争力评价

#### 3.3.1 不同权衡系数下的评价

对主客观赋权法下的权衡系数  $\alpha$ 、 $\beta$  的取值进行分析，不同取值时依据改进的灰色关联分析加权TOPSIS法求得的港口竞争力评价结果如表4所示。表中港口竞争力的评价按照青岛港、烟台港、日照港、天津港、秦皇岛港、大连港及营口港的次序排列，同时各港口分别用B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7表示。

表4 不同权衡系数下的评价结果

Tab. 4 Evaluation results under different weighing coefficients

组合	权衡系数 $\alpha$ 、 $\beta$	港口竞争力评价	港口排序
(1)	$\alpha=1, \beta=0$	(0.556 3, 0.315 0, 0.320 0, 0.685 8, 0.216 8, 0.435 7, 0.241 7)	B4>B1>B6>B3>B2>B7>B5
(2)	$\alpha=0.7, \beta=0.3$	(0.567 7, 0.321 2, 0.320 6, 0.703 4, 0.224 7, 0.431 0, 0.251 7)	B4>B1>B6>B2>B3>B7>B5
(3)	$\alpha=0.5, \beta=0.5$	(0.576 9, 0.327 5, 0.321 6, 0.719 5, 0.231 5, 0.430 0, 0.258 3)	B4>B1>B6>B2>B3>B7>B5
(4)	$\alpha=0.3, \beta=0.7$	(0.587 7, 0.337 1, 0.324 9, 0.739 1, 0.238 7, 0.429 2, 0.265 6)	B4>B1>B6>B2>B3>B7>B5
(5)	$\alpha=0, \beta=1$	(0.596 3, 0.350 4, 0.329 1, 0.761 2, 0.248 1, 0.416 0, 0.272 8)	B4>B1>B6>B2>B3>B7>B5

#### 3.3.2 评价结果对比分析

由表4中组合(1)、组合(5)可知，仅采用客观赋权法或主观赋权法对指标赋权时，两种情况得到的港口竞争力排序存在一定的差异，但两者之间的差异不大，主要差异在烟台港与日照港的港口竞争力排序上。然而由表1可知，单纯采用主观赋权法或客观赋权法时得到的决策层指标的权重差异是比较大的，而最终港口竞争力的排序差异却较低，分析认为可能是由于港口评价指标过多，淡化了两种赋权方法中指标权重差异对港口竞争力评价的影响。通过表5中组合①、组合⑤和表4中组合(1)、组合(5)的港口排序结果对比可知，虽然在评价指标较多时单独应用AHP或熵值法对评价指标赋权后得出的目标

层的港口竞争力评价结果差异不大，但在港口竞争力评价的各准则层如港口基础设施评价结果上会造成很大差异。因此，单独应用其中一种方法，并不能保证港口竞争力评价结果在目标层与准则层的必然正确，有必要采用组合赋权法对评价指标进行赋权。

表 5 不同权衡系数下港口基础设施评价结果

Tab. 5 Evaluation results of port infrastructure under different weighing coefficients

组合	权衡系数 $\alpha$ 、 $\beta$	港口基础设施评价	港口排序
①	$\alpha=1, \beta=0$	(0.429 9, 0.213 5, 0.288 6, 0.669 2, 0.104 9, 0.628 5, 0.265 1)	B4>B6>B1>B3>B7>B2>B5
②	$\alpha=0.7, \beta=0.3$	(0.491 9, 0.259 4, 0.327 9, 0.681 9, 0.1064 5, 0.605 1, 0.329 4)	B4>B6>B1>B7>B3>B2>B5
③	$\alpha=0.5, \beta=0.5$	(0.531 9, 0.290 0, 0.354 3, 0.691 5, 0.109 4, 0.588 2, 0.369 0)	B4>B6>B1>B7>B3>B2>B5
④	$\alpha=0.3, \beta=0.7$	(0.575 4, 0.325 8, 0.386 1, 0.700 4, 0.111 1, 0.566 4, 0.414 3)	B4>B1>B6>B7>B3>B2>B5
⑤	$\alpha=0, \beta=1$	(0.642 1, 0.384 8, 0.439 1, 0.706 4, 0.105 5, 0.523 2, 0.483 7)	B4>B1>B6>B7>B3>B2>B5

表 4 中分别采用不同权衡系数的组合 (2)、组合 (3)、组合 (4) 得出的港口竞争力排序结果均为 B4>B1>B6>B2>B3>B7>B5，同时表 5 中分别采用不同权衡系数的组合②、组合③得出的港口基础设施评价排序结果也皆为 B4>B6>B1>B7>B3>B2>B5，组合④仅有微小的差异，说明采用组合赋权法得出的港口排序结果是稳定的、正确的；但是观察表 5 中组合②、组合③、组合④中只有组合③对各个港口的基础设施评价区分效果最好，这说明在使用组合赋权法时要选取适当的权衡系数，即充分考虑对主客观权重的权衡，才可以使港口竞争力的排序结果更具备说服力。

## 4 结论

本文在现有港口竞争力评价研究的基础上，构建了静态指标与动态指标相结合的港口竞争力评价指标体系，并提出了一种基于组合赋权法（AHP 和熵值法）与改进的灰色关联分析加权 TOPSIS 法的港口竞争力评价方法。该方法既充分考虑了专家、学者的知识和经验，消除了信息熵的负面影响，又减少了赋权时的主观随意性影响，可以更加准确、全面地反映港口竞争力，为港口企业优化港口资源的合理配置、调整港口组织结构、洞察自身与其他港口的差距等方面提供决策支持。同时，本文不仅在理论上证明了线性加权的组合赋权法是合理、可行的，还以环渤海地区港口群的港口竞争力评价为例验证了该方法的可行性和有效性，说明基于组合赋权法与改进的灰色关联分析加权 TOPSIS 法的港口竞争力评价方法在港口竞争力评价中具有较好的实用性。

### [参考文献] (References)

- [1] DYCK G K V, ISMAEL H M. Multi-criteria evaluation of port competitiveness in west africa using analytic hierarchy process (AHP)[J]. American Journal of Industrial & Business Management, 2015, 5(6): 432-446.
- [2] 郭晓清, 黄建设. 厦门港与我国主要港口竞争力的比较分析[J]. 中国航海, 2015, 38 (4): 121-124.  
GUO X Q, HUANG J S. Comparative analysis of competitiveness of Xiamen port against major Chinese ports[J]. Navigation of China, 2015, 38(4): 121-124. (in Chinese)
- [3] 孙然, 王泽宇, 郭萌雨. 我国沿海地区港口竞争力综合评价[J]. 资源开发与市场, 2013, 29 (8): 809-813.  
SUN R, WANG Z Y, GUO M Y. Comprehensive evaluation research on competitiveness of ports in Chinese coastal areas[J]. Resource Development & Market, 2013, 29(8): 809-813. (in Chinese)
- [4] 李旭辉. 基于 AHP-熵权组合赋权的人文社会科学发展评价模型及实证——以财经类高校为例[J]. 科技管理研究,

2016, 36 (20): 53-58.

LI X H. The research on the evaluation model and empirical analysis of the level of humanities and social sciences development based on the AHP and entropy methods in economic universities[J]. Science and Technology Management Research, 2016, 36(20): 53-58. (in Chinese)

- [5] 邓朝晖, 孟慧娟, 张华, 等. 基于组合赋权的机床加工工艺参数多目标综合决策方法[J]. 中国机械工程, 2016, 27(21): 2902-2908.
- DENG Z H, MENG H J, ZHANG H, et al. A multi-objective comprehensive decision method for machine tool machining process parameters based on combination weight[J]. China Mechanical Engineering, 2016, 27(21): 2902-2908. (in Chinese)
- [6] LIU H C, YOU J X, YOU X Y, et al. A novel approach for failure mode and effects analysis using combination weighting and fuzzy VIKOR method[J]. Applied Soft Computing, 2015, 28(3): 579-588.
- [7] 王常达. 我国沿海主要港口竞争力的因子分析[J]. 全国商情 (经济理论研究), 2006 (10): 18-19.
- WANG C D. Factor analysis of China's major coastal ports competitiveness[J]. China Business (Economic Theory Research), 2006(10): 18-19. (in Chinese)
- [8] 郑辉. 我国港口竞争力演化测度研究[J]. 统计与决策, 2008 (18): 59-60.
- ZHENG H. The evolution measure research of China's port competitiveness[J]. Statistics and Decision, 2008(18): 59-60. (in Chinese)
- [9] 陈露露. 环渤海主要港口竞争力评价研究[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2014, 4 (31): 1-2.
- CHEN L L. Research on main port competitiveness evaluation around Bohai[J]. Urban Construction Theory Research (Electronic Edition), 2014, 4(31): 1-2. (in Chinese)
- [10] 王森勋. 基于 AHP 与 TOPSIS 算法的港口竞争力评价与对策研究[J]. 经济师, 2012, 7 (2): 18-20.
- WANG S X. Port competitiveness evaluation and countermeasures research based on AHP and TOPSIS algorithm[J]. China Economist, 2012, 7(2): 18-20. (in Chinese)
- [11] 耿涛, 张安, 郝兴国. 基于组合赋权 TOPSIS 法的空战多目标威胁评估[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36 (3): 16-19.
- GENG T, ZHANG A, HAO X G. Multi-target threat assessment in air combat based on combination determining weights TOPSIS[J]. Fire Control & Command Control, 2011, 36(3): 16-19. (in Chinese)
- [12] 周文坤. 基于最小偏差指标赋权的多属性决策方法[C]//第四届全国决策科学/多目标决策研讨会论文集. 杭州, 2007: 39-45.
- ZHOU W K. Multi-attribute decision-making method based on the index weighting of minimizing deviations[C]//The fourth Session of National Decision Science/Multi-objective Decision-making Symposium Proceedings. Hangzhou, 2007: 39-45. (in Chinese)
- [13] 匡海波, 陈树文. 基于熵权 TOPSIS 的港口综合竞争力评价模型研究与实证[J]. 科学学与科学技术管理, 2007, 28(10): 157-162.
- KUANG H B, CHEN S W. The research on port overall competitiveness model based on entropy weight TOPSIS method[J]. Science of Science and Management of S. & T., 2007, 28(10): 157-162. (in Chinese)